

# 沙漠研究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

---

## 目 次

---

**口 絵**

坂田俊文：シルクロードに沿うホレズム及びトルファン付近の衛星画像

**展望論文**

ロイ A ステイシイ・セルジュ セヌレッシュ：変貌する農業社会における

砂漠化防止とリスク管理（英文） ..... 87-103

篠田雅人：砂漠化の気候に対する影響：概説 ..... 105-114

**原著論文**

大塚義之・井伊博行・榎原晋：カラム実験での塩分集積過程の解析 ..... 115-120

ムハタル チョン・高村弘毅：タクリマカン沙漠南縁地域における *Tamarix* 砂丘の形成 ..... 121-130**小特集I：乾燥地農業—現代との相剋**

松本聰：「小特集：乾燥地農業—現代との相剋」を企画するに当たって ..... 131-132

松本聰：土壤からみたドライファーミングの思想と現代農業 ..... 133-139

勝俣誠：サヘル地域における沙漠化防止対策と農村開発—サヘル性の方法  
論的試論— ..... 141-147

赤澤威：採集から農耕へ、西アジアにおける歴史 ..... 149-157

**小特集II：衛星データ・考古学・文献からみた沙漠の遺跡と環境**

## —トルファン付近とホレズム付近を中心として—

相馬秀廣：「小特集：衛星データ・考古学・文献からみた沙漠の遺跡と環境—  
トルファン付近とホレズム付近を中心として—」に寄せて ..... 159-161石田紀郎・川端良子・辻村茂男・中原紘之：アラル海流域の灌漑農業と  
環境問題 ..... 163-170

林俊雄：ホレズムの遺跡 ..... 171-181

坂田俊文：ウズベキスタン・ホレズム地区の人工衛星による調査 ..... 183-186

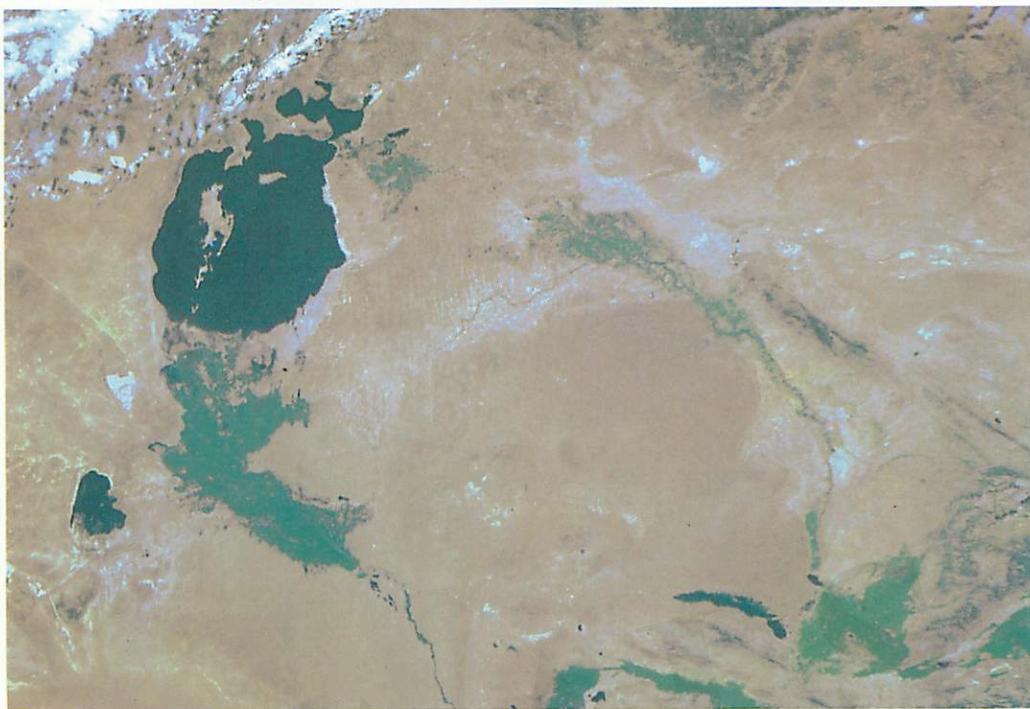
李軍：タリム盆地の古代遺跡 ..... 187-192

吉野正敏・劉永誌：トルファン盆地の気候—過去と現在— ..... 193-202

堀直：文献資料からみたトルファン付近 ..... 203-207

相馬秀廣・坂田俊文・田中好男・中野良志・森井眞：衛星画像から  
みたトルファン付近 ..... 209-217

シルクロードに沿うホレズム及びトルファン付近の衛星画像  
 Satellite Images of the Khorezm area and Turpan Basin along Silk Road



画像1 ウズベキスタン、ホレズム周辺のNOAA画像

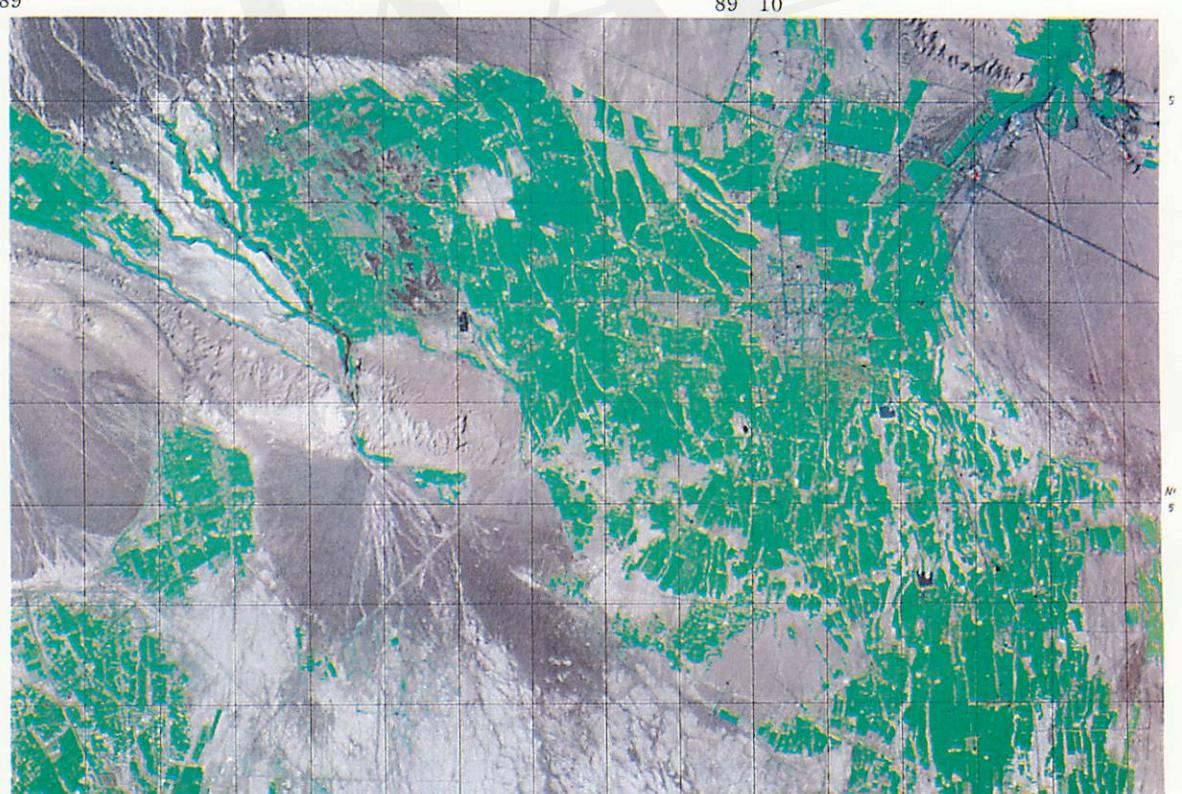
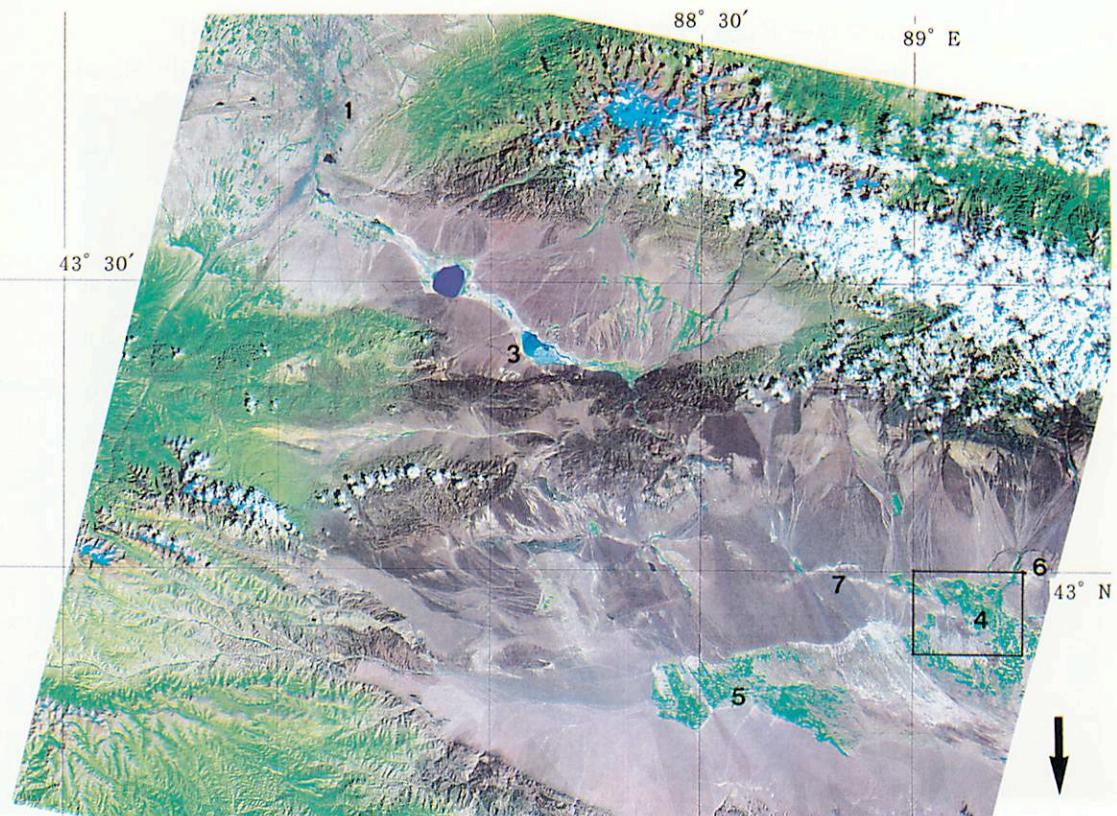


画像2 ホレズム地域のLANDSAT TM 画像

現地調査データ表

1994年 9月 27日 14時 50分 天気 晴 記録者: TNK

GTコードNO. 15	緯 度	北緯 41度 41分 33秒 東経 60度 58分 51秒 標高	(GPS: M )
PIXEL: LINE :	度	北緯 度 分 秒 東経 度 分 秒 標高	(GPS: )
地域名: グリドルスン (ケリドスン/ケリトゥルスン)		地域コード: ホレズム トウカヨウ タジキスタン 道路名: グリドルスン (壮大な城)	
土地利用/被覆:		■TM □SPOT □ 1987年 9月 22日 [B: 1.G: 7.R: 4] (1: )	
		城の周辺の城壁が残っている。 内部は、草に覆われている。	周辺の城壁と内部の草地の植生のコントラストが TM画像で確認できる。
植生: □樹木 ■草 □灌 □密 ■粗 □無 水分: □ ■湿 ■乾			
備 考:		 (道路) 13世紀頃のモンゴル侵入前の遺跡! 下に古代の剣があった!	
地域概観		写真NO. - ~	写真NO. - ~
			



トルファン付近の衛星画像（画像3－上、画像4－下）

（坂田俊文 Toshibumi SAKATA）

# Desertification Control and Risk Management in a Changing Agriculture : The Case of the Sahel

Roy A. STACY<sup>\*\*</sup> and Serge SNRECH<sup>\*\*</sup>

## Summary

This article has been written following the preliminary results of the CILSS-Club du Sahel joint working group on "Agricultural Transformation in the Sahel". It is based on the confrontation of macroeconomics findings of the West Africa Long Term Perspective Study with an extensive review of field studies about micro-rationales of rural dwellers, undertaken in the context of the working group.

It shows that macro-trends and local behaviors are evolving simultaneously, and at a fast pace. The varied evolution of the main determinants of production systems (pressure on land, access to market, climatic risks, access to technology, off farm labor market...) throughout the region gives rise to a wide diversity of situations, which prevents any uniform solution to the Sahelian peasants' problems.

There appear to be several issues of varying natures to be addressed for agricultural development in the Sahel: the central issue is to create more income from agriculture (in a broad sense). But solutions to this central issue do not automatically solve the problem of the most arid zones (where climatic risks prevent full market efficiency, except for cattle), the problem of the poorest households (who do not have access to the factors of production that would allow them to answer to market incentives), or the problem of long term evolution of the systems, as most rural development actors' time frames are very short, from the peasants to the projects.

Interventions from the macro level (national policies or aid) are confronted with two problems: the first is to bring simultaneous and coherent answers to the aforementioned four issues. Too often, these issues are dealt with in isolation, which leads to solutions that may be contradictory with one another, e.g. for credit or land tenure. The second problem is to find a medium to reach a highly disseminated rural population. It is estimated that the 35 million rural Sahelians are scattered in more than 50,000 villages. This task of intermediation has become a field of fierce competition between a variety of service suppliers: public services, private entrepreneurs, NGOs, local collectives or peasants' unions... This activity should be managed in the future in a market perspective, using competition to help increase efficiency and reliability of all kinds of service providers.

However, despite the variety of service providers and funding sources, the capacity of the macro-level to change the micro-trends is limited. Although some of these trends are not satisfactory, they appear to be the result of strong private rationale on the ground, that will be difficult to counteract. It is probably only in making a broad range of technical and financial solutions available to peasants, thus allowing them to optimize their private choice according to their own objectives, that a greater sustainability can be reached in the medium term. A more systemic understanding of the evolution of the Sahelian rural world can help identify, within the current dynamics of change, opportunities to come, and prepare the tools that will be necessary to take advantage of those opportunities.

**Key Words :** Sahel, Structural change, Desertification, Risk management, Partnership

\* Invited paper. Revised version of the paper presented at Symposium sur les mesures de lutte contre la désertification – différentes approches pour un environnement planétaire –: "A la recherche d'un Sahel verdoyant", October 17, 1996 organized by Japan Agricultural Land Development (JALDA) under the patronage of the Japanese Association for Arid Land Studies.

\*\* Club du Sahel, OECD, 39-41, Boulevard Suchet, 75016 Paris, France.

## 1. Introduction: Societies Undergoing Radical Change

### A profound change in Sahelian societies

Since the end of World War II, a number of major phenomena have combined to radically transform West Africa: consistently high population growth (+2.7% p.a.), greater exposure to the rest of the world, and the acquisition of national sovereignty. The West Africa Long Term Perspective Study (WALTPS) undertaken by the Club du Sahel Secretariat, has highlighted some of these changes:

- Between 1960 and 1990, the region's total population grew from 85 to 193 million; Economic activity, largely based on commodity exports, developed rapidly along the Gulf of Guinea and, to a lesser extent, in the southern parts of the Sahelian countries;
- With high commodity prices and easy access to international loans, the newly-independent West African States undertook major expenditures primarily focused on towns;
- People responded to changes in the economy by migrating in large numbers to pioneer farming areas, the more dynamic countries and towns;
- Since the early 1980s, these movements have been sharply cut back as commodity prices collapsed, indebtedness increased and States entered financial crisis. The economic slowdown reduced opportunities linked to urban growth and made the social climate generally harsher.

### Agriculture responds to changes in society at the regional scale

The WALTPS study has looked at the reactions of agriculture to the changes in its environment.

Long term production series have shown that, overall, regional supply has followed the evolution of demand, although this demand was experiencing rapid changes, both quantitatively and qualitatively. The delay in the supply response peaked in the early 1980s, under the combined effect of a number of concordant factors: explosion in urban growth, bad weather, high export commodity prices,

encouraging expansion of these products while imported food prices declined as a result of growing surpluses in developed countries, easy access to credit, substantial contribution to public budgets from import taxes and ineffective national food policies. The time-lag has shrunk considerably since then, as most of these factors have been reversed.

A study of the spatial repartition of supply (NINNIN, 1994) has shown that there is a high correlation between market connection and farmers' productivity: the closer an area is to major markets, the higher the rural population density, but also, despite tenure constraints, the higher the per capita food production.

### Regional evolution of agriculture covers a wide range of farmers' behavior and a growing specialisation

In order to understand the mechanisms of farm supply and how it might be stimulated, the Club du Sahel undertook a bibliographic review of farmers' behavior (SNRECH, 1991). This review shows that when farmers' behavior is seen against its economic, social and ecological background, with its opportunities, threats and constraints, it appears very rational (and, thus, difficult to modify without altering the environment).

Farmers' strategies have two essential components: priority is given to safeguarding the family and its means of survival in the long-term, implying high risk-aversion: low capital investment, diversification of activity, etc; followed by the desire to maximize the economic and social value obtained from available resources (land, capital, labor), behavior that is better understood and described by economists, favoring gradual economic specialization to acquire or optimize comparative advantage.

### Subsistence strategies still predominate

In practice, since most farmers are poor and only just above self-sufficiency levels, minimizing risk often takes priority over making optimal use of resources. In particular, most rural dwellers continue to produce the bulk of their own consumption, and to sell only under constraint. Therefore, the food crop market is

にみてみる。

broad spectrum な経済活動と narrow spectrum な経済活動の間では土地と人間との関係が異なる。なかでも土地利用という点で、前者はより開放的 (open system), 後者はより閉鎖的 (closed system) である。それは両者のメニューの内容をみれば明らかであるが、それをうらづける定量的データを紹介する。イラン南西部の追跡データをもとに算出された過去10,000年前以降の人口と土地利用の推定値である(図8)。

人口は約10,000年前以降、狩猟採集時代0.1人/km<sup>2</sup>, 天水農耕が始まった時代1～2人/km<sup>2</sup>, 灌漑農耕の時代6人/km<sup>2</sup>以上と、約6,000年の間に人口密度は60倍以上と急高した。ところがそれぞれの時代の最も生産性が高い経済活動に利用できた潜在的な土地面積は、狩猟採集時代を100とすると天水農耕ではその29パーセント、灌漑農耕ではわずか3パーセントとなる。

西アジアの地で起こった農耕革命は土地利用についても非常に効率のよい戦略を編み出したように見える。そ

れが何故に、同時に、自然破壊の典型例を演出することになったのか、農耕社会における土地と人間の閉塞的関係、そこに問題がある。

#### 引用文献

- DAVIS, S.J.M. (1987): *The Archaeology of Animals*. B. T. Batsford.
- FLANNERY, K.V. (1969): Origins and ecological effects of early domestication in Iran and the Near East. In Ucko, P.J. and Dimbleby G.W. eds., *The Domestication and Exploitation of Plants and Animals*, Gerald Duckworth, 73-100.
- GARROD, D.A.E. (1932): A new Mesolithic industry: The Natufian of Palestine. *J. Royal Anthropological Institute*, 62: 257-270.
- SAUER, C.O. (1952): *Agricultural Origins and Dispersals*. Bowman Memorial Lectures Series 2. 竹内常行・斎藤晃吉訳:『農業の起源』古今書院。
- 太田正次(1994) :『死海地帶の植生』デリエ研究会, 東京大学総合研究資料館。
- 阪本寧男(1987) :栽培植物の起源と文化. 阪本ほか編著『植物遺伝学』朝倉書店, 200-228.

## 6. ナトゥーフ人、その多面・多角的な狩猟採集生活について

ナトゥーフの自然に対する働きかけは多角的、多面的であった。食糧となるものはなんでも利用する、いわゆる“broad spectrum”な生存戦略である。

後期旧石器時代に各地でみられる特定の資源、それは多くの場合が動物資源であるが、それを集中的に収奪する生存戦略、また農耕革命後に登場する特定の作物、家畜を計画的にエネルギー源とする、総じて特殊化した生存戦略、“narrow spectrum”な戦略に対して、きわめて多面的、多角的な生存戦略といえるものである。

この多面・多角的な経済戦略は地球上どこでも有効というわけではなく、食糧となる資源が潜在的に豊かな地において、実は世界各地で起こったことが考古学的に明らかにされている。それが先述した食料革命発祥の六大地域とほぼ一致するのである。それぞれの地で、broad spectrumな資源利用が共通に認められ、同時に、植物資源を収穫し調理する道具の発達と併せて定住的な生活を示す証拠が認められるのである。

この新戦略がどのような背景のもとで編み出されたことになったのか、未だ謎が多い。しばしば指摘されるのが更新世から完新世への移行期に起こった気候変化である。ただ気候変化は多くの場合に人間の自然に対する働きかけの歴史を見るとマイナス面として作用する例が多いものである。そこで別の視点を述べておきたい、それはやはり人口増加を背景とする考え方である。

人口の増加は人口圧という理論のもとに人類史の画期的事件を説明するキーワードとして利用される例が多い。農耕革命の要因に利用されるのはその好例である。しかし人口増加はそのようなプラス効果だけではあるまい。

ナトゥーフ文化における自然に対する働きかけの多面化、多角化、そこから生まれる新しい経済活動はおそらく、組織的な分業による効率性の高い社会システムで維持される必要があった。なかでも重視された活動が植物資源の恒常的確保であった。しかしそれには大きなエネルギーインプットを要する。この意味を一つの事例をもって説明する。扱うのはアリ・コシュ (Ali Kosh) 遺跡 (7,500~5,600bc) である。

この遺跡で同定された動植物にはエンマコムギやオオムギの栽培種、家畜化されたヒツジやヤギが含まれているが同時に、また非常に多面・多角的な経済活動が認められる。同定された野生動植物は実にさまざまで、マメ類、オオムギなど種々のイネ科植物、ピスタチオなどの堅果類、ガゼラ、イノシシ、キツネ、カモメ、ガンなどさまざまな鳥類、コイ、ナマズなどの魚、さまざまな貝

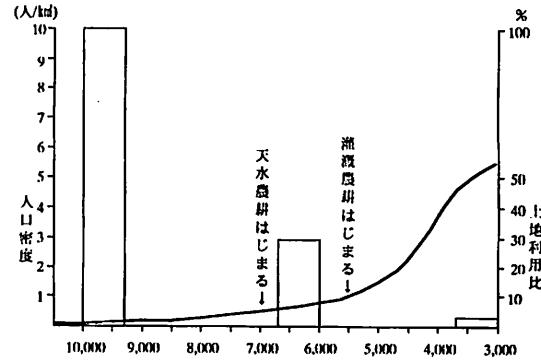


図 8. イラン南西部における人口と土地利用の関係 (FLANNERY, 1968: Table 5 を改変)。

類である。

以上の経済戦略を維持するために投入されるエネルギー量を現世動植物を材料として算出してみる (FLANNERY, 1969, Table 3 参照)。1 kg の可食量を入手するためにどの程度の個体数が必要となるか。ガゼラ、ヒツジ、ヤギでは25分の1頭分が必要となり、カモメ、ガンで約1羽、魚で4匹となる。以上はリスクの大きい資源であるが、入手が容易とみられるイガイでは400個、コムギ33,000粒、オオムギ44,000粒、小粒の野性のマメ類では100万粒以上、イネ科植物で30,000粒以上、ピスタチオで約3,000個、アーモンドで約1,000粒となる。

メニューが豊かになればその分必要な栄養分の確保が容易になり、ひいては生活の安定化がはかられる。しかし、上述の数値はこの新しい経済活動は従前の narrow spectrum な経済活動の時代とは異なるエネルギーインプットが必要なことを示唆している。それを維持するのは組織的な分業システムをもつ新しい社会である。しかもそれは一定量の人口の増加と、うらはらの関係にある。

人口増加と同時に起こったのが定住的生活である。季節的であれ収穫場所が固定している植物資源をエネルギー源とする戦略、しかもそれを基軸とする生存戦略が生まれれば居住パターンは遊動的なものからより定住的なものへと転換していく。定住度が高く常時同じ植物を観察し利用している状況の上で、たまたま熟しても脱粒しない個体を見つけ、それを保存するという偶然が生まれる。恵まれた自然でなければ脱粒しない穀物も口に入れたであろうが、また遊動している状況であれば勿論口に入れただろうが。

## 7. むすび：土地と人間の関係

農耕革命のシナリオを書いたナトゥーフ人とその後この地に登場した農耕民、それぞれの土地との関係を最後



図 6. 埋葬人骨。

定住的な生活が送れたのであると、また彼らの集落に接してみつかる墓地、ペンダントなどの副葬品を伴って発見される埋葬人骨(図7)，それらもすべて定住的な生活の証拠となり、同時に、生活の安定を保証する食料生産活動をうらづける証拠と解釈されたのである。

しかしその後、発掘の方法が精緻となり、あまり注目されることはなかった植物化石の研究が進み新しい知見が得られることになる。遺跡の堆積物の中に混じる植物の種子はすべて野生種であることがわかったのである。今日までにナトゥーフの植物種子として、ソラマメ、レンズマメ、インゲンマメ、エンドウ、ルーピン、オオムギなど数々の種子化石が発見されているが、今まで栽培種とされたものは一例もないである。

同時に堆積物からは数々の動物骨が発見される。ところで、西アジアで家畜化された動物は植物の場合と同様に数多いことが知られている(表3参照)。イヌ、ヒツジ、ヤギ、ウシ、ブタ、ウマ、ネコ、ラクダと多様である。ところが同定された動物骨の中に家畜の特徴をとどめるものは一例もなかったのである。そして彼らが最も好んだ獲物はガゼラ(Gazella)であったが、同時に、あらゆる種類の獲物を食糧資源としていたことが明らかとなった。以上の結果から、ナトゥーフ人は未だ植物の栽培化、動物の家畜化には成功しておらず、彼らを最初の農耕民とするガロット以来の仮説は成り立たなくなつたのである。彼らは旧石器時代以来の専ら自然物をエネルギー源とする狩猟採集民であった。ただそれまでの狩猟採集民と一つの点で違っていた。

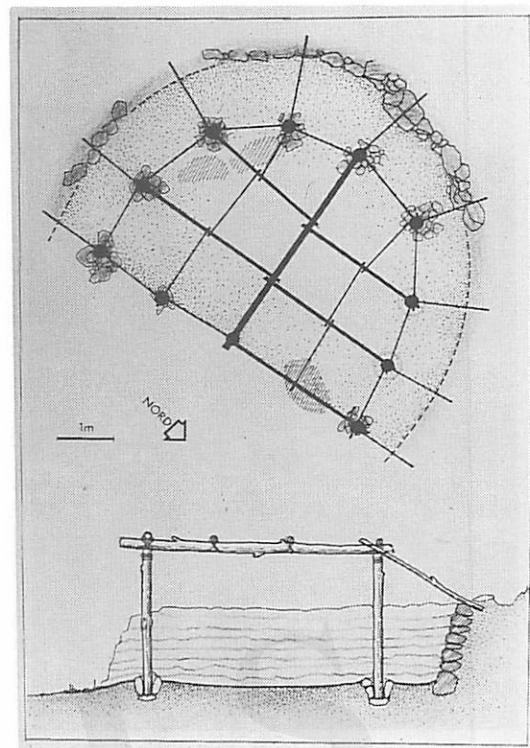


図 7. 住居復元モデル。

表 3. 代表的な家畜の誕生地と年代(DAVIS, 1987, Table 6.1より)。

イヌ	西アジア	c. 10,000 bc
ヒツジ	西アジア	7,000 bc
ヤギ	西アジア	7,000 bc
ウシ	西アジア	6,000+bc
ブタ	西アジア	6,000+bc
ロバ	西アジア	3,500 bc
ウマ	南ロシア	c. 4,000 bc
ネコ	西アジア	c. 6,000 bc
ラクダ	西アジア	c. 3,000 bc
ラマ	アンデス	by 4,000 bc
アルパカ	アンデス	by 4,000 bc
イタチ	アフリカ	?
モルモット	アンデス	? 5-1000 bc
ウサギ	イベリア	? 1000 bc
ニワトリ	インド・ビルマ	? 2000 bc
シチメンチョウ	中米	?



図 2. ナトゥーフ文化のタイプ遺跡、シュクバ洞窟。

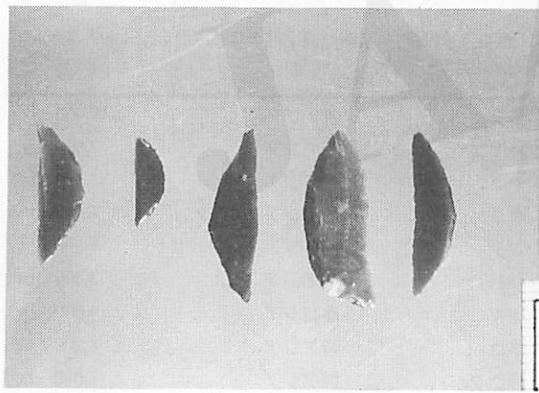


図 3. lunates.

年前～11,000年前の約1,500年間を前期 (Early Natufian), 11,000年前～10,500年前の約500年間を後期 (Late Natufian), 最後に10,500年前～10,300年前の約200年間を晚期 (Final Natufian) とするものである。

ナトゥーフと気候条件との関係についてはアイソotopeおよび花粉分析の結果にもとづいて論じられており, 前期は, 寒冷期である Early Dryas (12,100～11,900 bp) を間にはさむが, Bölling (12,800～12,100 bp) と Alleröd (11,900～11,000 bp) の温暖期にあたり, それに続く後晩期ナトゥーフ文化は Younger Dryas (11,000～10,000 bp) の寒冷期にあたることになる。このように,

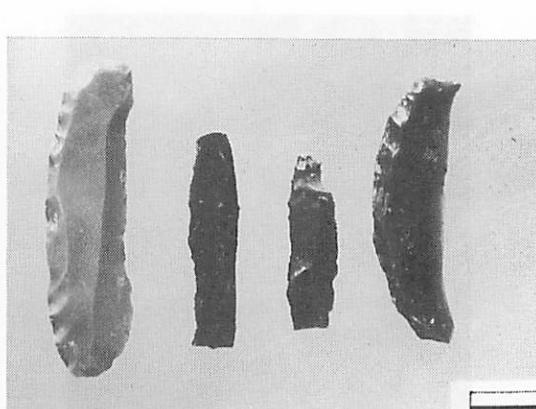


図 4. sickle blades.

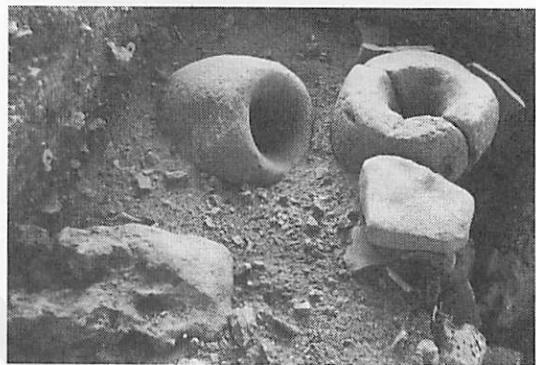


図 5. 石臼。

ナトゥーフ文化は更新世から完新世に至る移行期, 気候条件が温暖, 寒冷, 乾燥, 湿潤といった変動が繰り返し起こった時期に出現した文化である。

##### 5. ナトゥーフ, その文化属性について

最大の特徴は, 石器類である。なかでもフリントを材料とするlunate (図3) とsickle blade (図4) が顕著である。この小さな石器類は鎌刃として利用するために, 骨や棒に掘り込まれた溝に埋め込まれ利用された。その他石灰岩を材料とする石臼, 石杵 (図5) である。

注目されるのは住居パタンである。洞窟を利用した場合でも, 中に建造物を作り住み着く例があり, 平地において石材を用いて住居を建てており (図6), それが, 彼らがすでに恒久的な住居をもって定住度の高い生活を送っていた証拠となつた。

以上のような文化属性から, ナトゥーフは, 当初, 農耕革命を最初に演じた人々の文化であると, 彼らこそ最初の農耕民であると考えられることになった。穀物を栽培し, 石鎌で収穫し, 適宜石臼, 石杵で粉にして食べた。このような計画的な経済生活を背景としてはじめて

表2 地中海—西南アジア起源センターで栽培化された主要な食用植物（太田, 1994）

	同属の野生種類	祖先野生種および近縁種の利用可能シーズン
穀類		
一粒系コムギ	2 (17)	
二粒系コムギ		
オオムギ	6	4月～6月
ライムギ	1	
エンバク	8	
マメ類		
エンドウ	5	
レンズマメ	4	
ヒヨコマメ	2	
ソラマメ	33	4月～6月
ピターベッチ		
グラスピー	23	
ルーピン	7	
果物類		
リンゴ	0	
ナシ	2	
ブドウ	1	
イチジク		
スモモ類	8	6月～11月
サクランボ		
ザクロ	1	
オリーブ	1	
堅果類		
セイヨウハシバミ	1	
セイヨウグルミ	1	
ピスタチオ	4	
アーモンド	6	6月～10月

具体的な考察に入る前に一つの仮説を紹介する。かつてアメリカの地理学者 C.O. サウアー (SAUER, 1952) が農耕牧畜の起源についてのべたきわめて挑戦的な説明モデルである。ただ、ここで取り上げるのはサウラーの仮説の中から特に重要と考えられる部分を筆者の考えを交えながらまとめたものである。

1. 農耕は、食糧不足のために起こったのではない。食糧不足に悩みながら生活している人々には植物の栽培、動物の飼育にかかわる実験を試みるだけの時間・余裕がないければ手段も持ちあわせない。しかし実際はそのような実験を繰り返すうち、しかも当初は生存戦略として効果が期待できない実験でありながら、それが効をそうし、次第に新しい経済戦略が発達するものなのである。

2. 植物の栽培、動物の家畜化という実験は、さまざまな動植物の存在する地域で有効である。そこには実験に向くさまざまな資源があった。いいかえれば、遺伝的に栽培・家畜化に適した動植物に出会う機会が多く、そ

れを選別したり交配させることができだからである。ということは、その地は地形的・地質的に変化に富み、かつ気候においても、多様性を持つ土地であることを意味する。

3. 実験をはじめた狩猟採集民たちは、きたるべき農耕社会で必要となる特殊な技術そして道具をすでに考察していたので、実験をデザインしやすい状態にあった。植物を収穫、貯蔵そして加工調理する技術と道具、また動物を囲い込むといった方法や技術についてである。

4. 実験は、定住度の高い生活を送る狩猟採集民の間ではじまる。作物を育てるには、というよりもその前に、作物、家畜に向いた野生の動植物を特定するには継続的な観察と注意が必要である。また人間にとって食糧となるものは、動物にとってはこのうえないご馳走である。畑に作物を植えたままで収穫期まで放っておけば、当然収穫皆無となるのである。

そしてサウラーは、“人類にもっと役に立つように人為淘汰された植物の改良は、常時欠乏に悩んでいるのではなくて、快適に余暇をもって生活を営むことのできた人々によってのみ行われたものである。必要が発明の母であるといわれているのは、だいたい間違っている。欠乏に苦しみ、みじめな生活をしている社会には、決して発明はおこらない。”というの彼らは反省、実験、討論の余暇を持たないからである。”と (SAUER著、竹内・齊藤訳、1982)。

以上のサウラーの仮説を検証するために、約12,500年前、西アジアに登場したナトゥーフ文化をとりあげてみる。西アジアの西端を南北に帶状に走る死海地溝で、農耕革命に至る準備を演出したと考えられる狩猟採集文化である。

#### 4. ナトゥーフ文化 (Natufian Culture) とは

イギリスの考古学者 D.A.E. ガロット (GARROD, 1932) によるシュクバ (Shukba) 遺跡の発掘が端緒となり、ナトゥーフ文化の存在が知られることになる。当遺跡は死海地溝の西側斜面、比較的湿潤な気候が卓越するナトゥーフの谷 (Wadi en-Natouf) に口を開く洞窟である (図 2)。この洞窟の発見物を基準とした新しい文化が定義されることになり、谷の名をとってナトゥーフと命名された。

その後同様の特徴を示す遺跡の発見が相次ぎ、時代的、地理的な分布も次第に明らかとなり、同時にC-14年代値にもとづく遺跡の分類が進み、今日、ナトゥーフ遺跡は三つの時期に分類定義されるようになった。まず12,500

## 2. アフリカ

西アフリカのニジェール河地域よりサハラ砂漠の南縁を通りアビシニア高原に至る地域である。この地域ではモロコシ、シコクビエ、トージンビエ、テフ、アフリカイネなどのイネ科雑穀類が、また、ササゲ、スイカ、オクラ、コーヒーノキ、ヒヨータン、アブラヤシなどが栽培された。

## 3. 中国

広大な中国大陸と日本列島を含めた東アジア島嶼部は栽培植物の起源と分化の一つのセンターであったと考えられる。特に中国北部はヒエ、キビ、アワ、ダイズなどの重要資源の起源地であり、また、ここでは地中海地域起源のアブラナ類の仲間やダイコン類が多様に分化した二次的な中心地域でもあった。

## 4. 東南アジア

中国南部、インド亜大陸、東南アジアの大半と島嶼部を含む広い地域である。中国南部と東南アジア大陸部一帯はイネが栽培化された重要な地域である。キビやアワはインド亜大陸起源ともいわれている。この地域で栽培化された植物は栄養繁殖するものが多いことで特徴づけられる。つまり、ダイジョを中心とするヤムイモ（ヤマイモの仲間）、タロイモ（サトイモの仲間）、バナナ、サトウキビなどがある。また種々の柑橘類、熱帯性の果樹、さらにコショウ、ナツメグ、チョウジなどの香辛料植物の原産地でもある。

## 5. メソアメリカ

メソアメリカとはメキシコ高原を中心として北アメリカ南部および中央アメリカを含む地域をいう。紀元前約5,000年頃この地域で新大陸独自の穀類であるトウモロコシが栽培化された。トウモロコシとセットになったのが、インゲンマメとカボチャ類である。その他、トマト、サツマイモ、現在世界中で広く利用されている香辛料のトウガラシやバニララン、さらに綿（陸地棉）などがある。北アメリカの中北部ではヒマワリが栽培化された。

## 6. 南アメリカ

主にアンデス山脈に沿った高原地帯およびその周辺の斜面低地を含む地域である。澱粉源として重要な二種のイモ類、熱帯地域のキャッサバと冷涼な高原地域のジャガイモが特筆すべき栽培植物である。また双子葉穀類のセンニンコクとキノア、インゲンマメとラッカセイ、セイヨウカボチャ、数種のトウガラシ類、タバコ、ワタ（海綿棉）、熱帯性のバイナップルやパパイヤ、飲料植物のカカオなどが栽培化された。アマゾン地域からもたらされたパラゴムノキは、過去わずか数十年間に近代的な需要のため広く栽培されるようになったもので、栽培植物起源の歴史劇の中で最も新しくかつ華やかに登場した

特用作物の一例である。

以上各地で栽培化された代表的な植物の内容を六地域の間で比べてみると、西アジアの地の特徴がうかび上がってくる。西アジアを含む一帯で栽培化された植物の種類は、イモ類を除くすべてにおいて、しかも非常に多彩である。穀類、マメ類、蔬菜・根菜類、油料植物、果物、堅果、香辛植物等そのすべてにおいて、しかも数多くの植物が栽培化されたことがわかる。

このようにして、ムギ類から供給される炭水化物、マメ類から得られる植物性タンパク質、油料植物からもたらされる植物性脂肪、さらに、この地域で家畜化されたウシ、ヒツジ、ヤギ、ラクダなどから得られる肉および乳製品による動物性タンパク質および脂肪を基盤とする、きわめてバランスのとれた農耕文化が誕生、発展することになった。

## 3. 農耕革命に至る歴史的背景

植物の栽培化・動物の家畜化、肥沃な三日月地帯一帯でその実験がはじまるのは10,000年前以前であることはすでにのべた。人類史500万年とすると、人類はその誕生以来のほとんどを、もっぱら自然物を栄養源とする狩猟採集生活でもって生きてきたことがわかる。ところがこの狩猟採集経済の時代もまた西アジアの地は豊かな大地であったのである。

その地には、人類が栽培化することになったさまざまな食用植物が野生種として自生していた。しかもその種類は、栽培植物の原種になったと考えられる同属の野生種の数でみると非常に数多く、しかもそれらの収穫シーズンを組み合わせると、ほとんどの季節に数々の植物が収穫できるという恵まれた自然であったことがわかる（表2参照）。肥沃な三日月地帯は、それに先立つ狩猟採集時代もまた、人類にとって理想郷であったようである。

それならば、何が、西アジアにおいて人々の生活を植物の栽培化、動物の飼育化へと驅り立てたのか。この歴史的過程を説明するモデルとしてしばしば登場するのが大幅な環境の変化に起因する食糧資源の欠乏という見方である。環境の変化によって栄養源であった動植物が姿を消し、新たなエネルギー源を確保する必要性が起り、植物の栽培化、動物の家畜化という実験がはじまると、すなわち、氷河時代が終わり、更新世から完新世への移行期に起こった環境変化が直接、それまでの生存戦略に重大な変更を迫ったとする説明モデルである。ところが、今まで、以上のモデルをうらづける証拠はみつけられない。

表 1. 栽培植物の起源六大中心地域と代表的な栽培植物 (阪本, 1987, 表 7.4).

栽培植物	地域 <sup>a</sup>	地中海—西南アジア	アフリカ	中国	東南アジア	メソアメリカ	南アメリカ
穀類		一粒系コムギ 二粒系コムギ パンコムギ オオムギ ライムギ エンバク	モロコシ シコクビエ トウジンビエ テフ アフリカイネ フォニオ	ヒエ キビ アワ ソバ ダッタンソバ	イネ インドビエ キビ アワ ハトムギ コダミレット	トウモロコシ センニン コク類	キノア センニンコク カニワ
マメ類		エンドウ ソラマメ ヒヨコマメ レンズマメ グラスピー <sup>b</sup> ルーピン	ササゲ フジマメ バンパラナット	ダイズ アズキ	キマメ リョクトウ ブラック グラム	インゲンマメ リマピーン ペニバナ インゲン	ナンキンマメ インゲンマメ リマピーン
イモ類			ヤムイモ類數種	ヤマノイモ類	サトイモ ダイジョ	サツマイモ クズウコン	キヤッサバ ジャガイモ オカ ヤウチウ
蔬菜類		キャベツ タマネギ ニラ レタス パセリ	オクラ	ハクサイ <sup>**</sup>	ナス キウリ	トウガラシ カボチャ トマト ハヤトウリ	トウガラシ類 セイヨウ カボチャ
根菜類		ニンジン ダイコン カブ、ピート		カブ <sup>**</sup> ダイコン <sup>**</sup>			
油料植物		セイヨウアブラナ カラシナ ベニバナ アマ オリーブ	アブラヤシ ヌグ ヒマ	アブラナ <sup>**</sup>	ココヤシ ゴマ	リクチメン (陸地縦) ヒマワリ	カイトウメン (海島縦) ナンキンマメ
果物類		リンゴ ナシ ブドウ イチジク アンズ スモモ サクランボ ザクロ ナツメヤシ メロン <sup>**</sup>	スイカ メロン バオバブ	スモモ モモ アンズ ナシ カキ メロン <sup>**</sup>	カンキツ類 レモン ライム バラミツ ドリアン マンゴー <sup>**</sup> バナナ ランブータン	アボカド サボジラ	パイナップル パパイヤ グアバ
堅果類		セイヨウハシバミ セイヨウグルミ ピスタチオ アーモンド		クリ ハシバミ クルミ			カシュナット ブラジル ナット
香辛料植物		イノソド ウイキョウ ヒメウイキョウ コエンドロ クミン アニス	マラグエーテ	ワサビ サンショウ	コショウ ナツメグ チョウジ カルダモン ウコン ショウガ	トウガラシ バニララン	トウガラシ類
纖維植物		アサ アマ	ワタの1種	ラミー ワタの1種	ココヤシ ジュート ケナフ マニラアサ	リクチメン (陸地縦) サイザル	カイトウメン (海島縦)
薬用植物 飲料植物		ジギタリス ペラドンナ	コーヒーノキ チャット	チョウセン ニンジン	チャ ベテル センナ	カカオ	タバコ マテチャ コカ
その他		アルファルファ オーチャードグラス チモシー	ヒヨータン タマリンド アビシニアバナナ	モウソウチク マダケ クワイ	サトウキビ サゴヤシ コンニャク	ヒヨータン <sup>**</sup> パラゴムノキ ダリスグラス	

<sup>a</sup> 地域は図1と対応する。<sup>b</sup> 二次的分化中心地域を示す。

古代文明をはぐくむ原動力となったのは具体的には植物の栽培化にはじまる計画的な食料生産であったことは疑いようがないが、今日、この植物の栽培化、とりわけ数多くの植物が集中的に栽培化された地域について、阪本寧男氏（1987）は6地域をあげ、それぞれの特徴を次のように要約している（図1、表1）。

### 1. 地中海—西南アジア

西アジアを中心に地中海周辺より中央アジアに至る地域である。この一帯では、地球上で今日、最も広く栽培されている温帶性の食用植物の多くが誕生することになった。さらに、この地域でウシ、ヒツジ、ヤギなど最も代表的な家畜が登場する。

## 採集から農耕へ、西アジアにおける歴史

赤澤 威\*

### 1. 今なぜ、西アジアか

“谷にも山にも水の流れあり泉あり瀦水ある地、小麦、大麦、葡萄、無花果および石榴ある地、油橄榄および蜜のある地、汝の食う食物に欠けるところなく汝に何も乏しきところあらざる地なり。その地の石はすなわち鉄、その山よりは銅を掘りとるべし”（旧約聖書「申命記」第八章、第八十節）。

紀元前1200年頃、モーゼがヨルダンの地ネボ山に立ち、かなたに“カナンの地”を望みながら、エジプト脱出以来苦楽をともにしてきたヘブライ人達に語った一節である。一方、西アジアのその後については次のように語られることがある。

「文明人はその跡に砂漠を残した」と、そして、そういう見方をする人が心に留める主要地域の一つに西アジアがある。その地では、人間が自然を急激に破壊したという顕著な事例を数多く見ることができるというわけである。それは約10,000年前からはじめたと。

西アジアの地で数々の植物、動物が栽培化そして家畜化され、それを背景とする計画的な食料生産がはじまる。その後、生活の安定、人口増加そして世界に先駆けて都

市文明が誕生することになる。ところが、この過程の中で、森林の減少・消滅に象徴される自然破壊の典型例を提供する地にもなったというのである。

人間活動の自然に対する働きかけには、このようにプラス面とマイナス面とがつきまとるものと考えるべきであるが、その両面の評価が深刻に別れる地域の一つとしてしばしば西アジアの地がえらばれる。人間活動そのものが人間と環境に対して脅威を与えるという思ってもいなかった事態を招くことにもなったという農耕革命、その最も典型的な事例がみられる西アジアで、それが生まれた背景を紹介するのが本稿の目的である。その中から、農耕社会における土地と人間の関係を考えてみる。

### 2. 肥沃な三日月地帯

カナンの地は、かつてアメリカのエジプト学者プレステッドが、「肥沃な三日月地帯」(Fertile Crescent) とよんだ古代文明発祥の地、西アジアの一角にある。この地は、植物の栽培化、動物の家畜化とともにはじまる計画的な食料生産を背景として、長い人類史の中で起こった革命的事件、農耕革命とそれに続く古代文明の誕生劇が演じられた場所である。

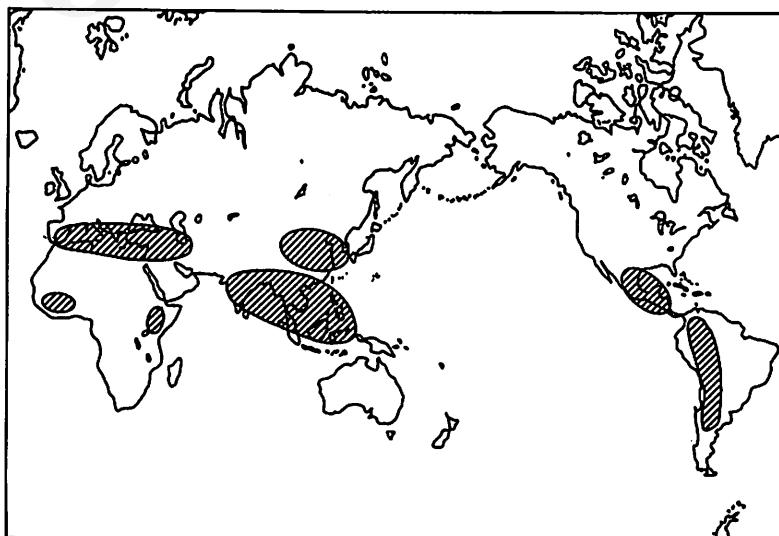


図 1. 栽培植物の起源の六大地域 (阪本, 1987)。

## Anti-Desertification Actions in the Sahelian Region and Rural Development : A Methodological Essay on "Sahelity"

Makoto KATSUMATA\*

On the lines of Agenda 21 adopted in June 1992 at the Rio Earth Summit, the United Nations Convention to Combat Desertification (CCD) was signed in June 1994 by all countries participated in the negotiations, which included Japan, and will enter into force by the end of 1996. The CCD has some of the interesting features compared with other international agreements on global environmental issues. First, the CCD clearly states the rights and duties of contracted countries; it is not a mere expression of good intentions. Second, it gives geographic priority to African countries. Third, it regards the participation of local people to design, implement and follow up the anti-desertification actions as essential. Fourth, it recognizes Non-Governmental Organization (NGO) or Community Based Organization (CBO) as genuine and formal partners in elaborating the national action plan to combat the desertification. Fifth, it provides a clearer definition of desertification, which will solve some confusions in distinguishing the anti-desertification plan based on social scientific approach from purely technological challenges to greening of the desert, which are not directly linked to the central issues of the desertification.

This paper examines the efficacy of the above mentioned positive facets of the CCD by clarifying the political, social and economic conditions which will enable more sustainable society in the Sahelian region. Within the context of rural development, the following key questions will be posed: What are the local specificities to be considered in thinking about rural development in the Sahelian region?; What should be the appropriate approach for the local participation based on these specificities? Who are the main actors in this participatory rural development? Five basic factors characterizing the Sahelian region are limited rainfall and diversity of the livelihood which derives from it, existence of ethnic conflicts, uneven distribution of population, high mobility of workers, and weakened state capacity. Combined with these factors the paper deals with a methodological question: What is the unit of participation most appropriate to rural development? The paper seeks a possible socio-cultural approach to rural development. A participatory approach based on the villager's perception on their land, "terroir" in French, will be discussed with potential problems in its implementation.

In conclusion, the key to the effectiveness of the CCD is summarized at two points: (1) Micro-level identification of actors (central government, local government, the local private sector, local NGO, international NGO, international aid agency, CBO, etc.) at each stage of anti-desertification actions; and (2) the urgent necessity of clearly specified accountability. Only these methodological and micro-level researches and reflexions will give effectiveness to the term of participation highlighted in the CCD.

**Key Words:** Desertification, Sahel, Rural development, Africa, Participation

---

\* Faculty of International Studies, Meiji Gakuin University. 1518, Kamikurata-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244, Japan.

(Received October 28, 1996; Accepted December 12, 1996)

開発に関する世界委員会」のブルントラント報告（『地球の未来を守るために』大来佐武郎監修、福武書店）に負う。この概念の重要な点は、持続性の対象は環境であり、資金ではないことである。

- 5) 1990年代のサヘル地域での最大の北部移牧民族問題は、マリ、ニジェールのトゥアレグ民族問題である。本問題の解説は茨木透「トゥアレグ問題」世界民族辞典、1995年、pp. 765-766を参照。なお、同民族の民俗学的紹介としては、福井慶則「サヘル地域の遊牧民—トゥアレグ」、門村浩・勝俣誠編「サハラのはとり—サヘルの自然と人々」TOTO出版、1992年を参照。
- 6) 西アフリカの国家の歴史と牧畜民から分析したものとして、嶋田義仁『牧畜イスラーム国家の人類学—サヴァンナの宿と権力と救済』世界書院、1995年がある。
- 7) サヘル地域を含んだ西アフリカ地域全体における人口動態から、地域市場の可能性を提示したものとして、拙稿「胎動する西アフリカ地城市場」ジェトロセンサー、日本貿易振興会、1996年6月号、pp. 36-38を参照。
- 8) *L'approche gestion des terroirs, Documents de formation* 32. FAO, 1993.
- 9) 対セネガル融資資料、FAO/BAD、1994年。
- 10) OECD/Sahel Club, CILSS: *La gestion des terroirs et le*

*développement local au Sahel*. 1995年7月、その詳細な紹介、解説は、筆者が参画した環境庁沙漠化防止総合対策検討会報告書1996年の「政策決定におけるコミュニティーの参加」を参照。

- 11) *Terroir* アプローチはあまりに固定的概念であるので、時間的及び空間的により変化を織り込んだ「行動空間 Action space」というより包括的な分析単位が有用であるという批判もある。PAINTER, T., SUMBERG, J. and PRICE, T. (1994): Your *terroir* and my 'action space': Implications of differentiation, mobility and diversification for the approche *terroir* in sahelian west africa. *African Journal of the International African Institute – Revue de l'Institut Africain International*, Univ. College London, Vol. 64, No. 4.
- 12) セネガルの新森林法の骨格については、筆者の「日本沙漠学会講演要旨集」第4集（1993年度第4回学術大会）を参照。
- 13) 参加形態は地域内でもその歴史・社会・政治・経済条件の差異に応じて画一的なモデルとしては存在し得ず、これらは一例にすぎないことが強調されなければならない。
- 14) 食糧問題を食糧安全保障問題の視角から論じたものとして、拙稿「西アフリカにおける食糧問題と農村組織」協同組合経営研究月報、No. 513、1996年6月号、協同組合経営研究所、pp. 9-16を参照。

の作成作業が中心となる。

第2期：継続して、かつ段階的に進められる期間で、天然資源整備事業と社会経済的事業による整備計画の実施、天然資源管理の新しいルールを発足させることが中心となる。

他方、土地管理アプローチがぶつかる問題点としては、サヘル地域における過去の経験から以下の3点があげられる<sup>11)</sup>。

- 1) 新規に村落組織を発足させた場合、この組織が村全体や村の諸資源に対して現実の影響力を及ぼせず、形式的なものにとどまったり、既存の村落組織が役割を奪われてしまうことである。対象地域の権力構造のきめ細かい知識や教条的でない柔軟なアプローチがこうした危険を回避してくれる。
- 2) 準備期間の長さ次第では、村民、政府および援助機関の不満、ひいては無関心を引き起こすことが考えられることである。こうした事態を避けるためには、よりプログラマチックなアプローチを採用することで、土地の管理・整備計画が発足する前にすでに周到に練られ、波及効果のある天然資源管理事業及び社会経済事業に着手することがこれに当たる。
- 3) 前述の状況を避けるために、充分な事前分析・調査なくモノやカネを大量に投入して打ち出される「インセンティブ」型社会経済的事業に踏み切ることがあるが、こうした促進策は、しばしば管理がずさんになってしまって期待された効果を生んでいない。その結果、土地の整備・管理計画の順調な実施を阻むことになる。

#### 4. 参加プロセスにおける主体の協力形態

サヘル地域において地域住民が開発に関与した歴史は植民地期にさかのばる。当時は強制労働として道路建設などのために住民が徴用された。独立期から70年代までは、新興国家により大衆動員の形で、いわば行政主導の住民の労働力利用が行なわれた。

1980年代、とりわけ大かんばつを契機に地域住民の生活・生産基盤たる自然環境の回復・維持が注目され、住民の主体的管理の方法に関する論議が活発化した。これはまた内外のNGOの活動の重要性が行政からも認知されだした時期でもあった。

1990年代に入り、財政・経済危機が続く中で、冷戦崩壊にともなう「民主化」も手伝い、住民およびNGOなどの農村開発への参加が不可欠という認識が一層強まり、行政及び援助機関も参加をより容易にする仕組み（地方分権関連法、森林法などの改正・整備）に本格的に取り

組みだしている<sup>12)</sup>。

こうした中で、「参加」はもはや単なる開発行政の総論的方向付けではなく、サヘル地域の農村開発、とりわけ沙漠化防止事業に対してどう住民組織、地元NGO、外国NGO、外国援助行政機関が「参加」していくかが具体的に問われてきている。

当面、ある事業プログラムの各段階においてどの組織ないし団体が主体となり、責任をとっていくかという関与プロセスのワク組を、地域の特性を踏まえつつ構想しておくことが不可欠である。その際、段取り作業としては、ある事業の各々の段階において、だれがどのような内容にどうやって介入し、責任をとるかという点が明確にされねばならない。表1は、西アフリカのNGOがワークショップにて報告したスキームであるが<sup>13)</sup>、参加のプロセスにおける主体の協力形態および責任の所在をより明確にする作業にとって有用な一例と考えられる。とりわけ、地元NGOと地元企業の活用がサヘル地域で今後重視されねばならない。地元NGOは、近年の政治の民主化の進展と行政サービスの弱体化により、その活動はより活発になっている。また、地元企業は公共部門縮小とともにその発展条件を備えてきている。

もっとも今後、この方法論に関しては、サヘル地域でのより多くのかつ掘り下げた現地調査を通じて考察されなければならない。たとえば、都市化現象の進行とともにますます深刻になるサヘル地域の食糧問題を沙漠化防止と農村組織の活性化を通じて追求するミクロレベルの持続可能な農村開発の発案が不可欠である<sup>14)</sup>。実際、こうした具体的な作業及びその援助行政機関の取り組み方の改善を通じてのみ、沙漠化防止条約の「参加」に実効性が与えられるであろう。

#### 謝 辞

本稿のもととなった報告の発表時において、小堀巖会員、松本聰会員、高瀬国雄会員からそれぞれ貴重なコメントをいただいたことを感謝する。

#### 注

- 1) 外務省仮約「砂漠化防止条約」、国際農林業協力、Vol.19, No.1, 1996.6.
- 2) 1989年アフリカ統一機構(OAU)はアルーシャ会議で「開発への民衆参加(African Charter for Popular Participation in Development)」を採択している。
- 3) NGOの定義は確定していないが、その存立条件としては少なくとも①国家ないし行政から相対的に自律していること、②営利を目的としないこと、③運営が民主的であること、の3点が挙げられる。
- 4) 「持続可能な開発」という語は、英語の sustainable development の訳で、その他「持続可能な発展」などの様々な訳が与えられている。その語の本格的登場は1987年の「環境と

表1. プログラムの作成と実施における住民の関与プロセスの一例。

主 体	段 階	活 動 内 容	方 法	手 段	責 任 の 所 在	責 任 の 文 春 化
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO	1. 国、NGO、農村開発組織、外部援助機関、民間部門、農業会議所等による全国協議	- 全国委員会の設置 - 全国レベルの諸目標の分析と定義 - 沙漠化防止条約文書の広域普及 - 条約要約の民族諸語への翻訳 - 介入協定の準備	- 各団体をしっかりと代表する人選による全国フォーラム - メディアを通じて RIOD の主要課題についての発表・討論	- 各種伝達手段 - 準備資料	- 政府グループ - NGO集合体 - 選ばれた代表	協定議定書
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO	2. 地方(regional)および地域(local)レベルでの協議	- 各レベル(国、NGO、地方行政組織)における能力強化支援 - 地域および地方プログラムの作成 - 戦略のワク組準備 - プロジェクト/行動計画の受け付け - 地方および地域委員会の設置	- 研修ワークショップあるいはセミナー - コンフェランス - 計画のための参加型ワークショップ	- 技術支援 - 学際的専門家グループ - 人材投入 - 財政負担	- 政府グループ - NGO集合体 - 農民組織 - 援助機関	開発業務契約 " " "
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO	3. 村レベルおよび村間レベルでの技術診断	- 村落委員会の設置 - 学際的専門家グループの形成 - 地方および地域諸委員会の設置(政府、NGO、地方および市町村行政組織) - 研修と広報	- 参加型諸手段 - 交渉	- 技術支援	- 農民組織 - NGO - 諸政府 - 援助機関	開発業務契約 "
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO	4. 村レベルおよび村間レベルでのプロジェクトの形成	- 住民との諸問題の分析-実現性(フィジビリティ)調査 - 研修・情報・広報 - プログラム管理技術の開発	- 参加型討論 - フォローアップ評価の手法	- 理論武装 - 各種指標の作成	- 農民組織 - NGO	開発業務契約
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO	5. 資金調達	- 援助機関-政府-NGOとの契約の促進	- 国内、国外資源の活用 - 資金集め - 研修/広報	- 若干の同一部門への課税 - 連帯基金 - 投資予算 - 援助機関との円卓会議	- 政府グループ - NGO - 援助機関	議定書および契約
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO	6. 計画の実施	- プログラムの実施	- 実施計画の管理と交渉	- 技術支援 - 資金協力	- 農民組織 - NGO - 政府グループ	契約
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO ・民間コンサルタント	7. フォローアップ	- プログラムの実施	- 初期作成された文書にもとづく参加	- 技術支援 - 資金協力	- 農民組織 - NGO - 民間コンサルタント	契約
・政府 ・住民組織 ・地元NGO ・パートナーNGO ・民間コンサルタント	8. 事後評価	- プログラムの実施	- 参加 - 自己評価 - 参加型評価	- 技術支援 - 資金協力	- 農民組織 - NGO - 民間コンサルタント	契約

(GUAMINA, ENDA-Tiers Monde et al. (1994): Contribution en vue de l'élaboration d'une approche méthodologique participative pour la préparation de programmes d'actions nationaux 1994年12月)

これは何らかの農村開発事業において生産性向上策を立案する際、採用する技術選択に影響を与えるであろう。

第4は、出稼ぎや移牧などにあらわれるごとく地域の人々及び家畜に高い移動性が認められ<sup>9)</sup>、人間の移動に関してはやはり図1の示すごとく海岸部に向けて人々が集中している。この出稼ぎ収入はブルキナファソのような労働者排出国においては膨大な額に達し、家計所得に非農業所得がかなりの割合を占める場合がある<sup>10)</sup>。

第5は、国連統計などに言及するまでもなく、サヘル諸国は後開発途上国ないし「最貧困」が集中し、しかも70年代末以来の対外債務返済問題によりサヘル諸国家の財政基盤は著しく脆弱している。これは、行政の介入能力を過大評価したあらゆる外部からの農村開発事業はほぼ確実に外部の支援の停止をもって終了すると考えることが可能であることを示している。

### 3. 参加の単位と主体の認定作業

こうしたいわばサヘル性というべき特性を農村開発という行為の計画・実施に織り込み「参加」の内実をより確実にするためには、参加の単位、参加主体の歴史的・社会的背景を明らかにしてくれるよりきめ細かい社会科学の分析道具やアプローチが必要である。

当面、農村開発の文脈から分析及び参加の地域単位としての「ムラ」の位置づけが重要と思われる。この際、フランス語圏西アフリカの主として人文地理学で利用されてきた「Terroir」の概念は有用と思われる。「Terroir」とは、本稿では農牧地と訳しているが、フランス語の辞書では「農業上の適性からみた有界地」とある。しかし、FAOは開発途上国を対象とした資料の中で、「ある農村共同体によって管理される土地全体を含む通常境界のある多様な地理空間で、耕作地・休閑地・森林・放牧地域および原野一般さえこの範疇にはいる」とより踏み込んだ定義を与えている<sup>11)</sup>。

さらに同資料は、Terroirの特徴として農業・生態学的に規定される「自然空間」であると同時に、一つないし複数の集団が占有権・利用規則・生産体系・天然資源の保存技術を適用する「社会化された空間」でもあるとしている。

この概念は「ムラ」概念と密接に結びついており、具体的にセネガルの落花生栽培地域を見ると、「ムラ」によってTerroirは次のような3つの次元で認識されている<sup>12)</sup>。

- 1) 住民によって経験的に熟知されている土壤や植生などの生態学的地域区分
- 2) 土地の農業利用区分

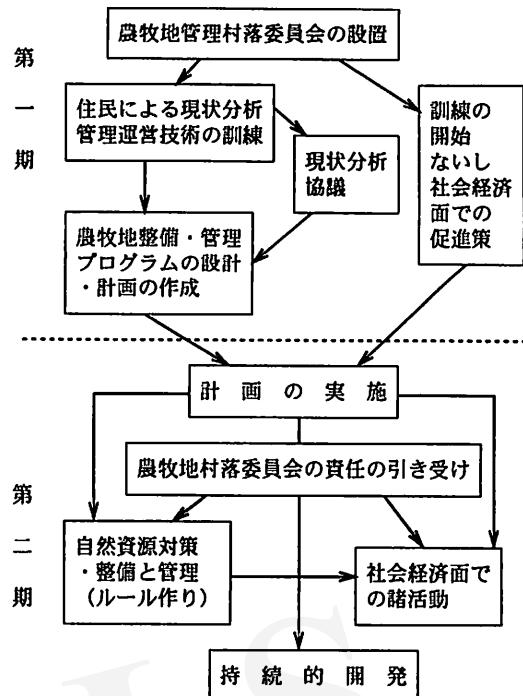


図2 農牧地管理アプローチ。  
(Sahel Club(1995): *La gestion des terroirs et le développement local au Sahel.* p.2)

通常、村を中心として輪状に「近い畠」「遠い畠」と定義されている。また村内部も家の集合体(quartier)に細分化されている。

#### 3) 村落を形成するサブ集団あるいは家族間の土地分配

サヘル地域では、このTerroirを分析および実際面での参加単位として、対象地の環境保全に高い優先度を与える天然資源管理(gestion des ressources naturelles)や分権化の一環として実施される地域開発などの様々な農村開発のアプローチが考案・実施してきた。

これらのアプローチには必ずしも明確な定義が与えられていないが、それぞれ参加の規模、開発内容の優先度などによって異なっている。ここでは、サヘルクラブおよびCILSSのワークショップで論じられた内容をもとに、簡単に整理しておきたい<sup>13)</sup>。

従来の農牧地管理(gestion du terroir)は、「ムラ」を基本参加とし、その農牧地を旧来ないし新規の村落組織を通じて管理していく方式である。天然資源保全管理と当面の村民のニーズの2つを同時に充足させることが狙いであるが、通常、2つの期間に区分できる(図2)。

#### 第1期：新規村落組織の設置、訓練、現状分析協議および土地整備と管理の概要、そしてプログラム

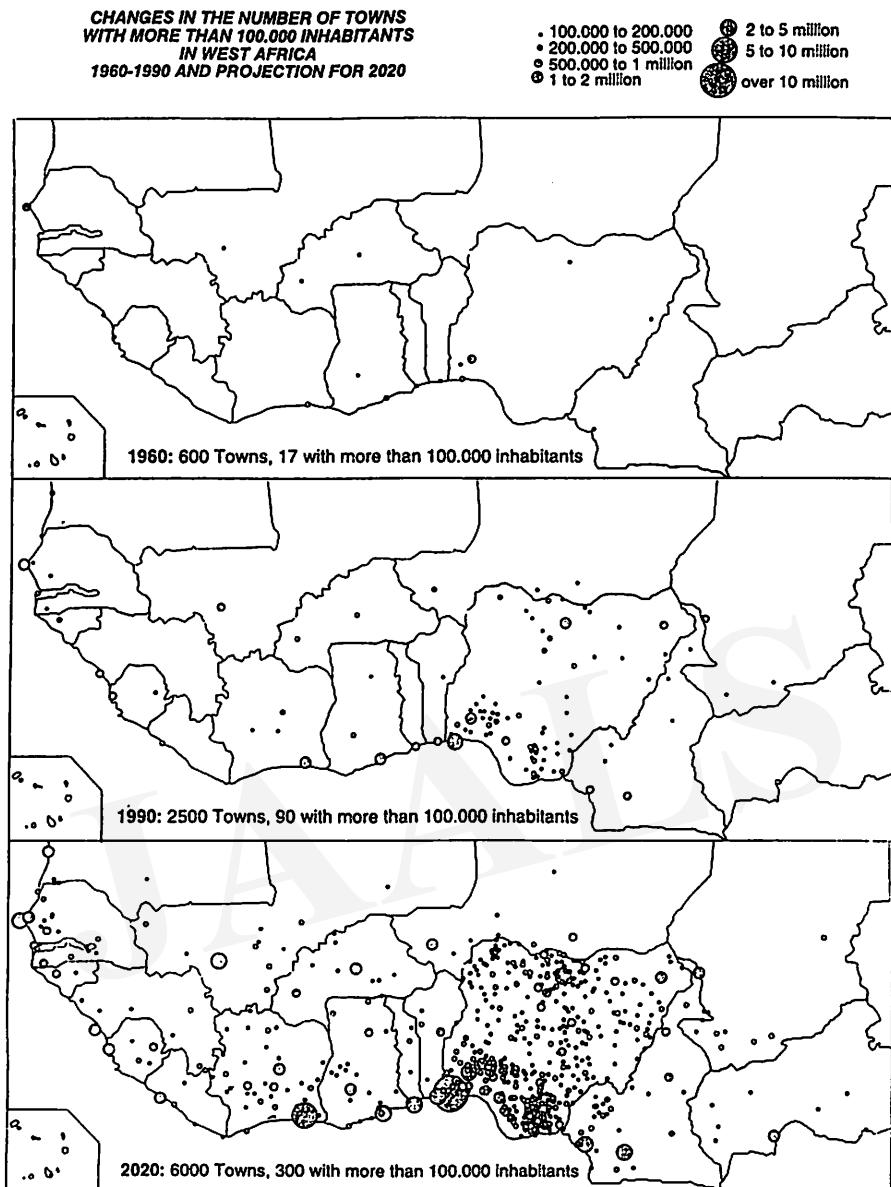


図 1. 西アフリカにおける人口10万以上の都市数の変化。  
(OECD/Sahel Club, ADB, CILSS (1995): *Summary Report of the West Africa Long Term Perspective Study*, p.12)

年間雨量が500mm以下がほとんどで、しかも年度間及び地域間においてきわめて不規則な変動を繰り返している。

これは河川部や雨期直後の沼地などを除き、農耕の可能性を著しく制約していることを意味する。そこで農耕に適さない土地でも営まれる牧畜業がサヘル地域で広範に見いだされ、半農・半牧という生産形態も存在している。

第2は、基本的には同一国内においてサハラ沙漠に近

い牧畜中心地域と、より雨量の多い農耕中心の南部との間に社会経済格差とエスニシティー問題が存在することである。両者は、今日のサヘル社会において表裏一体をなし、格差問題はしばしばエスニシティーによる対立・紛争という形をとる。具体的には、地域内の南北問題ないし北部移牧民族の自治問題として取り組むことが今日要求されている<sup>9)</sup>。

第3は、前述の農業生産の制約を反映し、図1の示すごとく海岸部に比して人口密度が著しく低いことである。

# サヘル地域における沙漠化防止対策と農村開発 —サヘル性の方法論的試論—

勝 俣 誠\*

## 1. はじめに—沙漠化防止条約の特徴—

ブラジルで1992年開催された国連環境開発会議（地球サミット）以来続けられてきた政府間交渉の結果、1994年沙漠化防止条約が日本を含めて署名された。同条約は從来の沙漠化会議や森林に関する原則声明などの環境保全の国際的合意に比し、少なくとも5つの特徴を有していると考えられる。

第1は、国際間の条約という形をとり、単なる意向表明でなく、権利と義務を明記した国家間の合意となっていることである。

第2は、条約第7条が「アフリカ以外の地域の被影響締約国を無視することなく、アフリカ地域に広がっている特別な状況に照らして、アフリカの被影響締約国に対して高い優先順位を与える」<sup>1)</sup>と明記しているごとく、アフリカに沙漠化対策の中心的地域の位置を与えられていることである。また、これを受けて同時にアフリカに対する緊急行動決議も国連の場で採択されている。

第3は、沙漠化防止対策を從来のように各国民政府及び国際機関や欧米日の政府援助機関のみの事業ではなく、その事業やプログラムがその立案から実施、フォローアップに至るまで住民や地域社会の参加を通じた事業の必要性も明確に盛り込んだことである。すなわち、同条約第3条において「沙漠化防止またはかんばつの影響の緩和のための計画の立案及び実施についての決定が住民及び地域社会の参加を得て行われること」の確保が唱えられている。これは、從来「住民参加」と名づけた政府事業の住民による実質的「下請け化」とは異なる本格的の参加の必要が国際的に認められたことを意味する<sup>2)</sup>。

第4は、これを受けて発展途上国の非政府組織（Non Governmental Organization, NGO）<sup>3)</sup>ないし、非営利市民団体ならびにコミュニティーベース組織（Community Based Organization, CBO）が明確に条約の中で各國の行動計画におけるパートナーとして位置づけられたことである。

第5は、沙漠化を「乾燥、半乾燥及び乾燥半湿潤地域

における種々の要素（気候変動及び人間の活動を含む）に起因する土地の劣化」と定義し、しばしば一般に考えられているような人間の生存が不可能な沙漠そのものを対象とするより、むしろ数十年前に比して土地が劣化したという過程ないし変化を問題にしていることである。すなわち、この定義からすると、その防止対策は沙漠そのものに何らかの介入を通じてその与件を変化させると言うより、人間の営みが何らかの形で関係づけられている土地の劣化をくい止め、改善するという人々の生活ないし生業とその自然環境との関係で把握されていることに注目しなければならない。したがってそこでは、わが国で一般に「沙漠の緑化」と呼ばれている沙漠の内部に向けての自然科学上の実験的行為よりもすでに住民が存在する農村部における土地の劣化改善事業が中心となり、条約の前文にて、同条約が「持続可能な開発」実現の一つとして位置づけられている由縁となっている<sup>4)</sup>。

本稿では、こうした条約の基本的狙いを踏まえて、近年の大かんばつにより著しい被害を受けたアフリカ・サヘル地域における「持続可能な開発」に立脚した社会を実現する政治・社会・経済的条件とは何かを探る作業の一環として農村開発における「参加」の方法と主体の認定に関する考察が中心となる。具体的には、以下の2つの問い合わせを明確にすることである。

- 1) サヘル地域の農村開発はいかなる地域的特性の中で展開され、その特性を生かす「参加」の方法はどうあるべきか。
- 2) 現行の農村開発において「参加」の内容はどう変化してきて、その主体はどのような層ないし集団によって担われているのか。

## 2. サヘル地域の基本的特徴

あらゆる開発行為は特定の地域の自然・社会・経済的条件のもとでのみ具体化され得るという観点から、まずサヘル地域の基本的特性を明らかにしなければならない。その第1の基本的特性として重要と考えられるのは、水資源供給の制約と生業の多様性である。この地域では

\* 明治学院大学国際学部。

## The Thought of Dry Farming from the Viewpoint of Soils and Current Agriculture

Satoshi MATSUMOTO\*

All of agricultural techniques in dry farming have been fostered in the natural features of the desert and represent methodologies of the arid lands agricultures. However, soils of arid lands are generally too strongly influenced by water stress to expect a remarkable increase of yields. On the other hand, a large scale and modernized irrigation agriculture in arid lands which has been developed water resources by a heavy capital investment can remove the limitation of water use, so that succeeded to produce a productive yields in these regions which corresponds to three or four times of the yield in dry farming. At the same time, however, it was an apparent challenge against the natural features of the desert that modernized agricultural techniques could remove the limitation of water use in the desert. There were and still are quite little recommendable techniques to solve problems which were caused by the huge volume of water induced into the arid circumstance. The most difficult and severe problem is the salinization of soils. In the periods from 1976 to 1985 when desertification had expanded widely, soil degradation due to salinization was also the main cause of the desertification and the expanding area of desertification at one time was reported to reach into 50,000 km<sup>2</sup> per year. One of main reasons why soils suffered from salinization have never recovered to wash by leaching lies in such an economical policy that it is a better way to develop a new land for irrigation area than washing and recovering lands salinized by the expensive irrigation water.

There are some unstable factors to maintain the agriculture in dry farming. However, the development of sustainable agriculture exists only in rational techniques which are symmetrical to natural environments and are using their benefits given to the lands to the maximum extent. We should learn firstly this fundamentals of the promotion of regional agricultures and then examine what kinds of technologies are needed for more stable and productive yield.

**Key Words:** Dry farming, Traditional agriculture, Current agriculture, Soil salinization, Sustainable agriculture

---

\* Department of Biological Chemistry, Graduate School of Agriculture and Life Sciences, University of Tokyo.  
Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

(Received October 14, 1966; Accepted December 12, 1996)

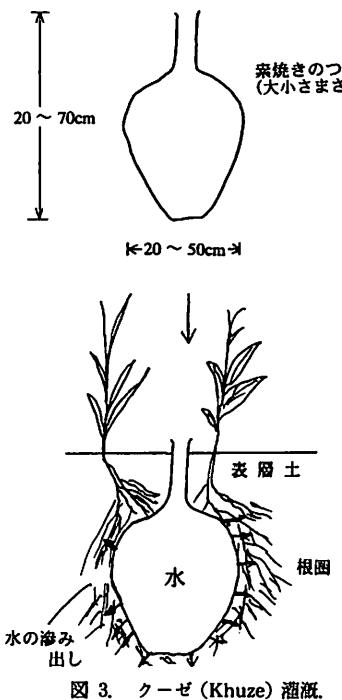
りには鳥類の糞がうず高く堆積し、格好の有機肥料として塩害を起こすことなく、安全に使用できるのである。なぜならば、鳥類の糞は乾燥地土壤で欠乏しやすいリン酸と窒素を多量に含むからである。

## 6. おわりに

以上に示したドライファーミングの農業技術は、いざれも砂漠という風土に培われてきた技術であり、思想である。しかしながら、水の規制や土壤の規制を受けてるので、飛躍的な農業生産の増加は望めないし、収量も不安定である。しかし、その土地での永続的な農業の展開は自然との調和に立って、その地に与えられた自然の恩恵を、場合によっては制限を最大限に利用した合理的な技術の中にこそ見いだせるものである。地域農業の振興のこの基本をわれわれはまず学ぶべきであり、その上で、より安定した技術を確立して行くにはどのような技術の集積がなければならないかを考えるべきであろう。

## 引用文献

- ショール, S.W.・ホール, F.D.・マッククラッケン, R.J. 著、久馬一剛ほか訳 (1977):「ペドロジー—土壤学の基礎」博友社, 494p.
- カーター, V.G.・デール, T. 著、山路 健訳 (1995):『土と文明』家の光協会, 332p.
- 松本 駿 (1982): 乾燥地における人為因子の影響とその問題点。「ペドロジスト」26-2: 173-186.
- 松本 駿 (1986): 土壌管理面からみた砂漠化防止対策に関する一考察。「国際農林業協力」9-2: 92-102.
- 松本 駿 (1988): 砂漠化の実態—ドライファーミングの教訓—。「科学」58-10: 618-623.
- 松本 駿 (1993): 土壌圈の拡大と土壤改良。「植物細胞工学」5-6: 430-438.
- 松本 駿 (1993): 乾燥地土壤におけるナトリウム、カルシウムの輸送と集積。「土壤の物理性」67: 3-10.
- 日本土壤肥料学会編 (1991):『塩漬地土壤と農業』博友社, 204p.
- BOWER, C.A. (1965): An index of the tendency of  $\text{CaCO}_3$  to precipitate from irrigation water. *Soil Sci. Am. Proc.*, 29-1.
- BURINGH, P. (1970): *Introduction to the Study of Soils in Tropical and Subtropical Regions*. Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 99p.
- DARAB, K., CSILLAG, J. and PINTER, I. (1980): Studies on the ion composition of salt solutions and saturation extracts of salt-affected soils. *Geoderma*, 23-2: 95-100.
- DOORENBOS, J. and PRUITT, W.O. (1977): Guidelines for predicting crop water requirement. FAO: *Irrigation and Drainage Paper*: 32-50.
- GUPTA, R.K. and ABROL, I.P. (1990): Salt affected soils; Their reclamation and management for crop production. *Adv. in Soil Sci.*, 11, Soil Degradation: 223-288.
- MATSUMOTO, S. (1985): Soil salinity under irrigation in the arid lands of Iran. *Proc. Inter. Seminar on Envir. Factors in Agri. Production*: 175-185.
- MATSUMOTO, S. (1995): Proposal for technologies for sustainable bioproduction in arid lands. *Toward Global Planning of Sustainable, Use of the Earth*. Elsevier Science, 423-426.
- SHAINBERG, I. and OSTER, J. D. (1978): *Quality of Irrigation Water*. IIIC Publication, No.2, Irrigation information Center, 65p.
- TOOTH, T., MATSUMOTO, S., MAO, R. and YIN, Y. (1995): Precision of predicting soil salinity based on vegetation categories of abandoned lands. *Soil Sci.*, 160-4: 218-231.
- U. S. SOIL SURVEY STAFF (1983): Keys to soil taxonomy. *Technical Monograph*, No. 6, USDA, 141p.



期の7倍に増加することによる塩類の洗脱など土壤の塩類濃度を低下させる要因が重なって、塩類土壤が急速に改善されたことを示している。

乾燥地域における現在の灌漑の実情は生産の設備投資に多額の資金が投入されており、この資金を少しでも回収するために、周年灌漑栽培が強行されている。伝統的なドライファーミングでは夏期乾燥期の作物栽培は行なわず、むしろ地表面に形成される土壤被膜（クラスト）を破壊して、下層土からの土壤水分の毛管上昇を抑える土壤保全のための農作業に止めている事実と比較すると、近代大規模灌漑農法との間に、乾燥地土壤に対する考え方そのものに格段の違いがあることがわかる。

##### 5. ドライファーミングに何を学び、現代にどのように生かすか

ドライファーミングにおける土壤による貴重な水の保水方法、良質の水资源の確保などをこれまでに述べてきた。このほかにも、実際の栽培技術にドライファーミング独自のものが存在していて、それらの底流にはドライファーミングの思想を超えた、農業の原点を我々に教えてくれるものがある。ここでは、二つの優れた農業技術を紹介しながら、農業とは何かを考えてみたい（DOORENBOS and PRUITT, 1977; SHAINBERG and OSTER, 1978; TOTH *et al.*, 1995; MATSUMOTO, 1995）。

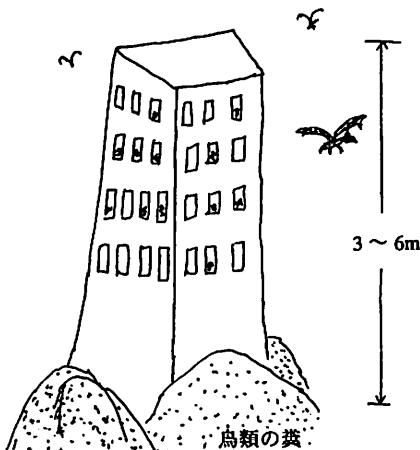
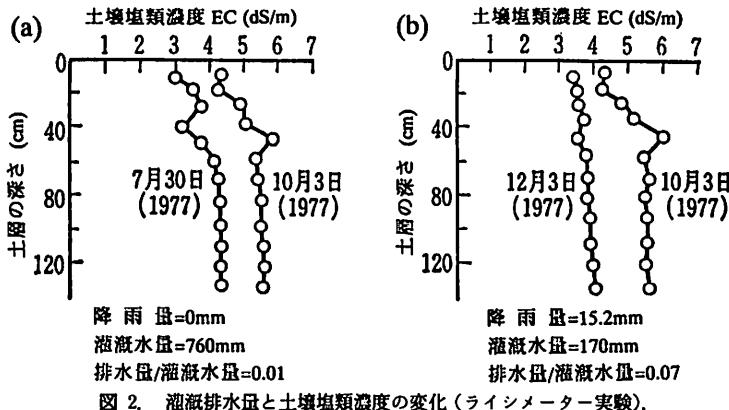


図4. ピジョンタワー (Pigeon tower)  
による有機肥料の収集。

中近東諸国の中東諸国には小規模ではあるが、クーゼ（Khuze）と呼ばれる数百年の歴史を有する独特の灌漑方法がある（図3）。その灌漑方法は素焼きのつぼに水を入れ、これを土中につぼの首だけを残して埋設し、つぼの周りに作物を植えて栽培する方法である。素焼きのつぼから滲み出す水量は周囲の土壤水分の含量に応じて自動吸水される。すなわち、作物が日中土壤から水分を吸収して、土壤中の水分がつぼの周りの水分との間に差が生ずれば、つぼから水は滲み出し、夜間作物の水分吸収が低下し、土壤中の水分含量とつぼの周りの水分含量との間に差が少なくなればつぼからの滲み出しが抑えられるというわけである。このような方法であれば、水が過剰に灌漑されることはない。水経済を考えた優れた方法といえる。

また、ドライファーミングが行なわれる乾燥地土壤で用いられる肥料は基本的に有機肥料である。それには羊、山羊、鶏の糞を主体にした堆肥が多い。化学肥料はドライファーミングの農民の間ではそれほど用いられない。化学肥料の原形が無機の栄養塩で構成され、それらのイオン形は元来土壤中にあって、農民には非常に忌避される塩類を構成する同一種のイオンが存在するからである。しかし、本来囲い飼（柵をめぐらせて家畜をその中で飼育する方法）をほとんど行なわない乾燥地では家畜糞を大量に収集することは非常に難しい。エジプト、中近東、西アジアの広い範囲にわたって、図4に示すような土の塔を至る所に見いだすことができる。このような土の塔は一般にピジョンタワー（pigeon tower）と呼ばれているが、塔には多くの小さな穴があけてある。森林の少ない乾燥地では鳥類はそれを壠（ねぐら）とするが、鳥の習性で糞は外に落とす。ピジョンタワーの周



場に新たに持ち込まれる塩量も無視できないほど多い。大量の灌漑水が乾燥地土壤に供給された場合に起こる土壤の塩類化はつぎの三つの場合が想定される。

### 1) 地下水位の上昇と土壤の塩類化

灌漑は通常、灌漑水路より導水される。灌漑水路は土路で施工される場合が多く、また、圃場への導水を容易にするため、水路より一段と低い水準に圃場が施工される。そのため、水路からの漏水や圃場内の下層土に生ずる一次停滞水の影響で、地下水位の上昇が起こる。一次停滞水が土中の浅い部分に形成されると、停滞水位面からの毛管水が表層土に容易に連結し、地上面での激しい蒸発散による吸引力で毛管水の上昇が絶え間なく起り、土中の塩類が毛管水に溶け込んで表層土に移行集積する。この場合、移動性がもっとも大きいのは作物に塩類障害を与えやすいナトリウム塩である。

### 2) 灌漑水による塩の土壤付加

乾燥地土壤の大規模灌漑に用いられる灌漑水は通常、河川水や地下水が多いがこれらの灌漑水は乾燥地特有の風化を受けた岩石や土壤を通過して来るので、一般に大量の塩類を含んでいる。水に溶けている塩の量を表す言葉に全可溶性塩類 (TSS, Total Soluble Salts) が用いられるが、乾燥地土壤の灌漑水は TSS が高く、たとえば、灌漑水 1 トン当たり 1.8~2.5kg の塩量を含むことはごく普通である。ちなみに、わが国の河川の TSS は 15~25g 程度と考えられ、いかに乾燥地域の水の塩量が高いかがわかる。このような塩分含量の多い灌漑水を用いれば、1 作物の栽培期間中に灌漑によって新たに土壤に加えられる塩量は容易に推定できる。

しかし、灌漑水が土壤に加わることによって、土壤に元来存在した塩や灌漑水中の塩の一部もそのまま土層の深いところに溶脱されてしまうのも事実で、灌漑によってすべての塩がそのまま土壤に集積するわけではない。

とりあえずは、作物の生産性に直接は影響のない部位（根圈外という）にまで、灌漑によって塩類がどの程度移動するか推定することが必要である。このような推定を行なうためには、土壤を一定の容器（通常は 2 m × 2 m × 1.5m のコンクリート製の容器）に入れ、なるべく圃場と同じ条件を保ちながら作物の灌漑栽培を行なう。灌漑水量、容器の底部から浸透してきた排水量とその塩組成、蒸発散量、作物による吸収塩量などから灌漑による土中の塩の行動を推定している。この装置をライシメーターと呼んでいるが、乾燥地の現場でライシメーターによる塩分の行動の推定を行なった一例によれば、塩は重炭酸塩として土壤に集積することがわかった。しかし、土壤の種類、灌漑水の水質、使用作物、気象条件で異なるので、一概には言えない。

### 3) 排水量が低下することによる土壤の塩類化

上記のライシメーターを用いて、乾燥地において、夏期の高温乾燥期と雨期の湿润期に灌漑を行なった場合の実験例をもとに話を進めてみよう。

図2-a は 7 月 30 日から 10 月 3 日までの高温乾燥期に作物の灌漑栽培を行なったときの土壤中の塩類濃度の変化を土層別に調べたものである。また、この間に記録された降水量は 0mm、灌漑総水量（灌水量）は 760mm、灌水量に対する排水量の比（排水量割合、LR）は 1 % である。わずか 2 カ月の灌漑栽培で、土壤の各層の塩類濃度は土壤の塩類化の指標である 4dS/m をすべて超えており、急速に土壤が塩類化したことを示している。一方、図2-b は 10 月 3 日から 12 月 3 日の乾燥地の雨期にあたる時期に 10 月 3 日からの状態を引き続いて作物を栽培したときの土壤の塩類濃度変化を示している。この間に記録された降水量は 15.2mm、灌水量は 170mm、LR は 7 % である。図から明らかなように、雨期の栽培は蒸発散量が著しく低下することに起因する必要灌漑水量の低下、降雨による塩類の溶脱促進、浸透排水量が高温乾燥

から二つに大きく区分できる。その一つは灌漑を一切行なわず天水だけを頼りに作物栽培を行なう方法であり、他の一つは良質で安定な水源を求めて、小規模な灌漑を行なう方法である。まず、天水だけを頼りに農業を営む「天水農業」から見ていこう。すでに2. で述べたように、乾燥地にも短期間ではあるが、雨期が存在する。天水農業ではこの雨期の雨を利用して農業を行なう。雨期が近づくと、雲量が増加し、地上面からの蒸発散量は急速に低下し始めるので、農民は作付けのための農作業を開始する。天水農業で栽培される穀類は、300mm前後という降水量がもっとも少ないところで栽培されるミレットから500~700mm前後で栽培される、とうもろこし、大麦、小麦に至るまで種々あるが、300mm以下では栽培農業は不可能に近く、家畜の遊牧が主体となる。人口が少なく、土壤を酷使せずに農業を行なっていた時代には、天水農業に使用される圃場はその年すべての地域に作付けするのではなく、土壤表面を粗起し（あらおこし）するだけに止め、作付けをしない休耕地を必ず造っていた。生物生産性の低い土壤に少しでも地力を温存させる以外に、粗起しにより雨水の土壤浸透を促し、貴重な雨水を土中に保水しておくこともできるからである。人口圧のかかっている中国の乾燥地の一つ黄土高原では、黄土から成る圃場を休耕させる余裕こそないが、黄土による優れた保水性を「土壤ダム」と称して重要視しており、土壤表面に形成される土壤被膜を破壊し、貴重な降雨を土壤に蓄えさせる重要な農作業があるほどである。このように、天水農業地帯では休耕地を併存させることによって、不安定な降水量や地力不足に起因する生産性の低下を少しでも回避する方策が取られてきた（松本、1986, 1988；日本土壤肥料学会、1991）。

一方、良質で、安定した水源を求めるため、山麓に母井（ぼせん）を掘り当て、その場所から緩やかな傾斜を有する地下水路を施工して、圃場まで導水するカナートによる灌漑農業や自然の湧水を灌漑に利用したオアシス農業が、乾燥地におけるもう一つの伝統的な農業として栄えている。カナートによる灌漑農業の歴史は古く、3,000年前にさかのぼり、現在、中近東、西アジア、中国西北部、北アフリカに広く分布し、たとえばイランだけでも4万6,000個所にカナートが現存し、年間100億m<sup>3</sup>の水を貯っているといわれている。1個所のカナートから得られる水量は高々20~30リットル/秒ぐらいのものであり、決して多くはない。しかし、灼熱の砂漠に水を求める、何世代もかけて一つのカナートが完工されるその苦労は想像を絶するものがある。当然、水に対する乾燥地の人々の思想には湿潤地域の人々のそれとはまったく異なっていることに気がつく。砂漠に住む農民は「水は

使い捨てる前に何度も繰り返し使わねばならない」とよくいう。カナートから汲み上げた水差しの水は最初に赤子を洗い、その水でつぎに食器を洗い、その後衣服を洗い、最後に畑に使用されたるとえられるよう、乾燥地には徹底した水経済の思想が根源にある。この思想は単に苦労して得たカナートの水の有効利用に留まるものではなく、この思想がなければ、乾燥地の土壤を永続的には使用できず、早晚文字通りの不毛の大地に様変わりするであろうことを長い歴史の農業の経験則から学び取って来たものに違いない。すなわち、本来水に強く制限されていた乾燥地農業に、灌漑として水の使用が可能になったからといって、その使用を間違えると自らの生存も危うくするほどの土壤崩壊が現実に起こることを警告したものと受けとめられるのである。これについてはつぎの4. で詳解することにする。

#### 4. 乾燥地における近代大規模灌漑農業がもたらす土壤荒廃—その機構と実態

近代大規模灌漑農業の特徴は大量の灌漑水を乾燥地土壤に持ち込むことにある。大量の灌漑水が乾燥地土壤に供給された場合に起こるもっとも顕著な土壤変化は土中塩類の表層土への集積であり、その結果生成される塩類土壤による土壤荒廃である。なお、土壤の塩類化の指標は土壤の水飽和抽出液の電気伝導度（EC）が4dS/m以上を塩類土壤であるとしている。以下には乾燥地における土壤の塩類化の機構と実態を詳解しよう（BOWER, 1965; DARAB *et al.*, 1980; MATSUMOTO, 1985; GUPTA and ABROL, 1990; 松本, 1993）。

圃場に水が入る場合、灌漑水という形で導入される場合と、雨水が圃場に加わる場合とでは水が土壤に浸透してからの様相、とくに水そのものの動態と水に溶解している塩類の多少がもたらす土壤への影響とに大きな相違があることに注意しなければならない。すなわち、雨水でもたらされる水の場合には、塩分濃度がきわめて低いという特徴のほかに、雨期という気象条件を反映して地上面蒸発散量も少なく、雨水の土壤浸透量は大きく、それによって土中の塩類の溶脱がよく進行する。一方、灌漑水の場合は気象条件とは関係なく水が供給される。地上面蒸発散量が大きいときに灌漑を行なえば、2. で述べたように土中の水分の動きが下層土から表層土への方向である（水分フラックスが上向き）ため、灌漑水の土壤浸透は灌漑が行なわれているときだけに限られ、それ以外のときには灌漑でもたらされた土中の水は表層へ移行し、蒸発しようとする。また、灌漑水の水質も雨水と違って、はるかに塩類濃度の高いものであり、灌漑で圃

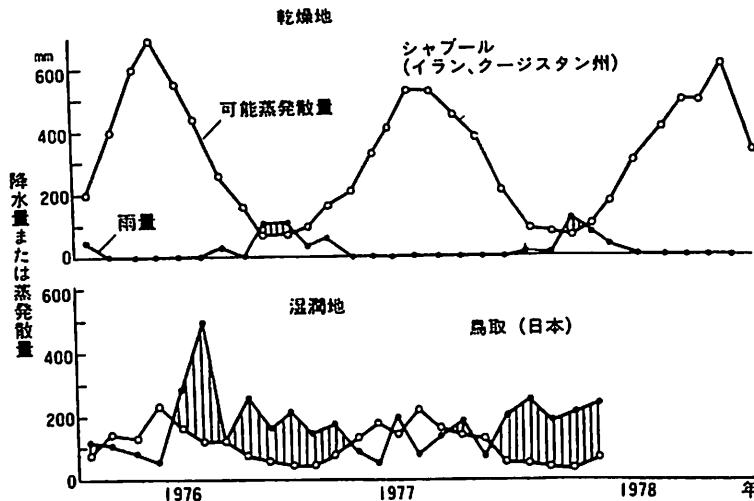


図 1. 乾燥地と湿潤地における土壤中の水分動態.

区別が明確に存在する。降水が集中する雨期に限って、土壤中の水に可溶な塩類の下方移動（溶脱）が起こる。図1は、降水量と蒸発散量との関係を乾燥地と湿潤地で見たもので、図中に示す斜線の部分は降水量が蒸発散量を上回る期間を示すもので、この時期に限って土壤の水分は土層中を下方に向けて浸透し、それに伴い水に可溶な塩類の下方移動が起こる。乾燥地土壤中に見られる可溶性塩類の主体は塩化物、硫酸塩および炭酸塩であるが、これらの塩類はその種類によって水に対する溶解性が異なるので、土層内では水に溶けやすい塩ほど土層のより深い部位に集積している。すなわち、溶解度積の小さい炭酸カルシウムは、砂漠土壤であると表層から30cm以内の浅い部分に存在し、炭酸カルシウムよりもやや溶解度積が大きい硫酸カルシウムは70~80cmあたりに存在することが多い。そして、これらの難溶性塩類に比べてもっと水に溶解しやすい塩化物（塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウムなど）はさらに土層の深くに溶脱されている。このような降水量と難溶性の塩類の集積部位の関係は、乾燥地の土壤調査において、炭酸カルシウムの集積部位の確認（通常、白色の粉体状の沈積または不定形で白色の塊状物となっていて、希塩酸を滴下すると発泡するので簡単に確認できる）は降水量の多少の推定のほかに、雨水がどの程度浸透するか、その深さについても推定することができ、これら的重要な指標を与えることができる。この指標をもとに、たとえばアメリカの土壤分類では炭酸カルシウムの沈積位置が土層の1m以下にあるような土壤は乾燥地土壤の範疇にないとしている。

乾燥地土壤に限らず、土壤は一般に地域によって土壤の母材が異なるので、乾燥地土壤の諸性質を一様に見な

すことはできない。上記に述べた事項は乾燥地で進行する土壤生成過程の気象的要因から見た理化学的性質の概要を述べたにすぎず、種々の性質を示す乾燥地土壤が実際には存在する。たとえば、乾燥地土壤の理化学的のうち化学反応性をさらに詳しく調べてみると、土壤反応（pH）はpH12を超える強アルカリ土壤からpH7付近の中性土壤まで広い範囲にわたって存在する。しかし、pH6以下の酸性を示す乾燥地土壤は存在しない。それは、乾燥地土壤の生成から明らかのように、酸性岩に起因する乾燥地土壤でも塩類がそのまま残存しており、この塩類によって土壤の反応が緩衝されているので反応が大きく酸性側に偏ることはないからである。また、土性が砂質か、粘質かによっても土壤中に存在する塩の量や移動量も異なる。乾燥地土壤のもとで灌溉農業を行なう場合、土壤を塩類化しないで、安全に、持続的な農業が行なえるか否かを決定する重要な一つの鍵は、乾燥地土壤中の塩類をどのように制御するかである。

### 3. 乾燥地における伝統的農業形態（ドライファーミング）の思想と実践

降水量に乏しく、水利用が著しく制限されている乾燥地において、農業を営むことは非常に困難があろうことは容易に想像される。しかし、乾燥地における農業が乾地農法（ドライファーミング）という農業技術として、数千年の歴史を有し、今日なお圧倒的な支持のもとにその技術を受け継がれてきている事実を知ると、農業の原点を改めて見せつけられる思いがして非常に興味深いものがある。

乾燥地における伝統的な農業は水の確保、利用の違い

# 土壤からみたドライファーミングの思想と現代農業

松 本 聰\*

## 1. はじめに

人類の最初の文明の発祥地はつぎの4つの地域、すなわち、メソポタミア文明が肥沃な三日月と呼ばれたチグリス・ユーフラテス河の一部の沿岸に、エジプト文明がナイル河の河口デルタに近い部分に、インダス文明がインダス河流域の平坦な沖積面に、そして、中国文明が黄河流域の安定な氾濫原地帯にそれぞれ開花したとされている（カーター・デール、1995）。これらの地域はいずれも、少なくとも以下の3つの共通した立地条件を備えていたと考えられる。すなわち、1) 土壤が肥沃であったこと、2) 灌溉による水利の便がよく、水が豊富にあったこと、3) 土地が比較的平坦で、降水量が少なかったことから土壤侵食が起らなかったことである。しかも、これらの文明は人類の最初の文明であったのみならず、その後各地で発生した文明に比較してもその文明持続期間がもっとも長いものにあたることも共通している。文明を発祥させ、長期にわたって文明を持続させた要因はこれらの土壤生産性の耐久性が優れて大きく、その結果、農業に従事する人々の数より、他の職業に従事するるるかに多くの人々を抱え得る人口収容力を發揮できたことに他ならない。

輸送手段が発達した今日では、ある地域土壤とその土壤の有する人口収容力とは直接的なつながりは薄れて来つつあるが、地球全体の人口収容力と土壤の生産力の関係は古代の文明発祥の要因となった上記の立地条件をそのまま当てはめても大きな支障はない。乾燥地の肥沃な沖積土壤はこのように成因的に見れば、本来、その肥沃性が他の土壤に比べて優れていた事実は植物の生育に必要とする窒素、リンおよび水は定期的な氾濫でもたらされ、それ以外の無機成分は降水量が少ないことを反映して溶脱を受けることなく、そのまま土壤に豊富に存在している事実を裏付けているものである。しかし、反面、乾燥地土壤が土壤中に無機成分を大量に内在させていることは灌溉の方法によっては、塩類土壤の生成を他の種類の土壤よりも迅速に、しかも強度に発達させる一面を有し、問題土壤になりやすい側面も有している（松本、1993）。本稿では、乾燥地土壤の植物の培土としてのこ

のような「二面性」を中心に述べ、現在の視点で乾燥地土壤の生産性をどのように生かすかについて検討してみたい。

## 2. 乾燥地土壤の生い立ち

乾燥地土壤とは年間降水量が750mm以下の地域に分布する土壤の総称であって、具体的には降水量が250mm以下の乾燥地土壤を砂漠土壤、250~500mmの土壤を半乾燥地土壤、500~750mmの土壤を半湿润土壤と区別している。乾燥地土壤は年間の大部分が乾燥した気象条件に置かれているので、湿润地域の土壤とは異なる大きな特徴がある。まず、土壤の母材となる岩石の風化の様式が異なる。乾燥地の気象は1日の最高温度と最低温度の差（日較差）と、年間の最高気温と最低気温の差（年較差）が非常に大きいことが特徴で、日較差は25~35°C、年較差は55~70°Cにも達する。そのため、岩石を構成する鉱物の熱膨張率の違いによって岩石は物理的に崩壊する。これを岩石の物理的風化と呼ぶが、乾燥地ではこの物理的風化が水を介した化学的風化よりも優先して進行するために、岩石中の種々の元素、とくにアルカリ金属やアリカリ土金属のように、それらの塩が水に溶けやすい物質でも、溶脱されることなくそのまま土壤中に存在する。このことが大きな要因となって、後に述べるように、乾燥地土壤を不適切に灌漑すると塩類土壤（塩漬け土壤）を生成させる。また、乾燥地土壤には元来、被覆している植生の存在量がきわめて少ないために、植物遺体などの有機物が土壤に加わることが少ないために、土色は明るく、有機物の集積はほとんどない。乾燥地の土壤を分類する特徴の一つに表層土の土色が明るいことが挙げられるが、このような希薄な生物性によるものである。水分が少なく、有機物も少ないこの条件は土壤中の微生物の数と活動を著しく制限することになり、微生物を介した物質代謝は非常に低い（BURINGH, 1970; ブォールほか、1977; 松本、1982; U. S. SOIL SURVEY STAFF, 1983）。

乾燥地の土壤にもたらされる年間数百mmの降水量は1年を通してほぼ均一に分配されるわけではなく、降水が集中する雨期と降水量がほとんど記録されない乾期の

\* 東京大学大学院農学生命科学研究所

(受付: 1996年10月14日, 受理: 1996年12月12日)

## Special Reports I

## Traditional Agriculture in Arid Lands and Its Conflict with Current Agriculture

Satoshi MATSUMOTO\*

Saying from the viewpoint of soil mineral nutrients, soils in arid or semi-arid lands contain sufficient mineral nutrients except nitrogen, phosphorus and water. If we can get enough fresh water for irrigation and soil conditions are kept in suitable, soils in these regions will be able to produce a vast sum of foods for mankind. As everybody know, all of the world biggest four cradles of civilization were formed along the floodplain of big river in arid regions and this fact was historically proved to be correct. Because of the less leaching of soil mineral nutrients due to little precipitation, a large amount of water soluble salts is kept in the rhizosphere root system. Although some of them are indispensable nutrients for plants growing, some of them are harmful for growing to promote soil salinity. These cradles of civilization ruined from soil degradation owing to salinity hazard which was caused by irrational irrigation methods or from the inundation due to the indiscriminate deforestation of catchment area in the upper reaches of the river. At the present time as of 21th century being near at hand, the world population have become more than 5.8 billion, and even now have been developing a strong tendency to increase. Accordingly, it is a matter of course that the food problem of the world is now argued from all angles. More than 50% of the land surface of the earth consists of arid and semi-arid land soils, which are generally too dry to produce a productive yield. If enough fresh water is available, these soils can be irrigated and used for agricultural land resources as mentioned above. From these background, for the last decade much attention to arid and semi-arid regions is paid again, and more agricultural development projects using a large scale and modernized techniques are being planned and carried out. In the past and even now, however, many projects fail, because after some years salinity or alkali hazard increases in the just same way which was experienced by ancient peoples.

On the other hand, there are traditional agricultural techniques in these regions which are often called dry farming. Agricultural production by dry farming is never stable since water supply for crops production depends on the natural precipitation only. In spite of the unstable food production technique, dry farming has been supported by overwhelming majority of arid lands farmers. Where can we find right reasons why arid lands farmers support this unstable dry farming which runs counter to the modernized and productive agriculture? This symposium is planned in line with the better understanding of traditional agriculture in arid lands, and then how to make its best use for the sustainable agriculture which will be needed strongly from now on.

**Key Words:** Traditional agriculture, Current agriculture, Dry farming, Conflict, Desertification control

---

\* Department of Biological Chemistry, Graduate School of Agriculture and Life Sciences, University of Tokyo.  
Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

日本沙漠学会1996年度春季シンポジウム

## 小特集 I : 「乾燥地農業—現代との相剋」を企画するに当たって

松 本

聰\*

農業は自然生態系との調和のもとに技術開発を育んできた産業である。食糧生産を主たる目的としたこの産業は、その成立の時点から安全で、安価で、安定した食糧の供給を通じて、持続的な生物生産技術を人々から期待されてきた。地球上の人口が58億人を数える今日、食糧の安定供給に課せられた農業の使命は益々重要度を増している。にも拘わらず、発展途上国を含めた世界の多くの国々では工業化を国家の存立基盤に掲げ、優良農地がつぎつぎと他の産業に供するための土地利用に変換され、二度と再び農地には返れない状態が依然として続いている。それでは、今後も急速に増加しつつある人口を賄うだけの土壤資源は世界に存在するのであろうか。世界の土壤資源をその分布面積からのみで判断すると、乾燥地・半乾燥地土壤は地球の陸域のおよそ60%ともっとも大きな面積を占め、しかもその一部は実際に灌漑によって飛躍的な農業生産をあげることに成功した地域が存在する。国内に乾燥地・半乾燥地を有する国々ではこれらの成功した灌漑地域にならって、灌漑農業の振興こそが国家の繁栄の基礎を約束するだけではなく、将来の人類の食糧危機を回避することが期待できる方策と考え、多額の投資を行なって灌漑農業の導入を敢行した。しかし、乾燥地における灌漑農業はすべてが成功したわけではなかった。むしろ、灌漑によって土壤の塩類化を助長し、土壤劣化を招き、砂漠化の発現を招いた例の方が多い結果となつた。乾燥地における灌漑農業の維持管理は予想外に

困難な一面があることを自然は人間に知らしめたといえる。この視点で現代農業、とくに乾燥地・半乾燥地における農業開発、砂漠の緑化手法、砂漠化防止技術といった我々が有する現在の生物培養方法や生物生産技術を改めて検証し直してみると、そこにはすべてが必ずしも農業の原則に則った方法であるとはい難く、むしろ、自然の制約から脱却した新しい斬新的な生物生産手段ではあるが、果たして持続性があるや否やにおいて大いに疑問視される方法がいくつもあることに気がつく。

一方、伝統的な乾燥地農業（ドライファーミング）の技術はその生産性の不安定さ故に、多くの人口を扶養するに足る技法にはなり得ず、為政者には疎まれた技法であるにも拘わらず、乾燥地の農民の間では圧倒的な支持の元に、依然として伝統的乾地農法が営まれている事実は人間が自然から享受できる生物生産方法は「こうでなければならない」という一つのあり方を我々に示していくとみることができる。伝統的な乾地農法を現在の視点で捉え、それをどのように生かしていくか、その技術の背景を読むことは意義あるものと考えられる。

本シンポジウムは現在、我々が抱える上記の二つの相剋の例、すなわち、乾燥地・半乾燥地における近代灌漑農業と伝統的乾地農法を例にして、両者を種々の角度から多面的に捉え、比較しながら、有り得べき乾燥地・半乾燥地での生物生産の姿を模索するために企画されたものである。

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科・日本沙漠学会集会理事

## The Formative Process of *Tamarix* cones in the Southern Part of the Taklimakan Desert, China

Muhtar QONG\* and Hiroki TAKAMURA\*\*

The distribution, formative process, and internal structures of *Tamarix* cones which are located in the southern part of the Taklimakan Desert were investigated during three years from 1993 to 1995. In order to observe the internal structures of the *Tamarix* cones, typical dunes were excavated. The main results obtained can be summarized as follows:

1. *Tamarix* cones have developed on piedmont alluvial fans, low river terraces and the areas between oases and moving sand dunes.
2. The climate of the study area is extremely arid, with the windy season from March to July. During the windy season sand materials were transported by the frequent storms and accumulated around *Tamarix* spp. clumps, resulting in a sand layer, while during the autumn the vegetation like *Tamarix* spp. fall leaves and forms a litter layer overlying the sand layer. There are a lot of sticky nodules along the leaves of *Tamarix* spp., so that fallen leaves stick together and form a cohesive litter layer. As a result, a sand layer and a litter layer are alternatively formed once a year. If this process lasted several years, a *Tamarix* cone can be formed and developed.
3. The excavated cross sections of *Tamarix* cones are composed of the alternation of sand layers and litter layers. The thickness of the both layers differs from part to part of the cross section. They are thicker on the central part around the trunk of *Tamarix* bush than the marginal part.
4. In the upper part of the cross section, the organic materials of litter layers are very fresh, but they are decomposed in the lower parts due to the increase of moisture holding capacity and the load of overlying layers.

**Key Words:** *Tamarix* cones, Taklimakan Desert, Sand layers, Litter layers, Formative units.

---

\* Graduate Student of Risho University.

\*\* Department of Geography, Faculty of Letters, Risho University. 4-2-16 Osaki, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan.

(Received January 10, 1996; Accepted December 12, 1996)

砂層)である。これは断面におけるすべての生長ユニットの数ではなく、その中の識別できる一部にすぎない。断面の下部には有機物が腐朽したため不明瞭になった層がさらに続いている。

*Tamarix* 砂丘の生長ユニットが年1回形成されるとすると、砂丘の形成は少なくとも39年前に遡る時代に始まったものと考えられる。これは、タクリマカン沙漠南縁で河川の上・中流域の開発に伴って下流域の水量が減少し、地下水位が低下して地表面に移動可能な砂が現われた時期と一致する。

*Tamarix* 砂丘に類似したミニ砂丘に、サハラ沙漠北部のチュニジアに見られる *Ziziphus* ネブカや、ブルキナファソのサヘル地帯に見られる *Acacia* と *Balanites* のネブカ (TENGBERG, 1995), Pakistan 南部における *Salvadora* のネブカ (COOKE et al., 1993) などがある。TENGBERG (1994) は樹木の年輪を数えてアフリカのネブカの形成開始年代を推定している。本地域でも砂丘の年齢を年輪解析などの方法を用いて推定する必要がある。

#### 謝 辞

本研究は「中国新疆ウイグル自治区域の沙漠化と砂丘の移動の相関性について（研究代表者：高村弘毅）」の一環として立正大学石橋湛山記念基金研究助成費の援助を受けて行なったものである。本稿は、日本沙漠学会1994年度第5回学術大会で「タクリマカン沙漠南部地域における固定・半固定砂丘の構造と形成について」として発表した内容に加筆したものである。現地調査にあたっては中国科学院新疆分院地理研究所黄 明敏先生、中国新疆大学地理学系 Mijit HUDABARDI 教授、新疆大学運転手 Ablat ABDUREHIM さんなど多くの方々の御協力をいただいた。記して深く感謝いたします。本文をまとめるにあたって適切なコメントを寄せていただいた立正大

学の門村 浩先生に心からのお礼を申し上げます。

#### 引 用 文 献

- 任 美鈞編, 阿部治平・駒井正一訳 (1986):『中国の自然地理』東京大学出版会。任 美鈞編 (1982):『中国自然地理綱要(修訂版)』商務印書館, 北京。
- 張 希明 (1988): 策勒綠洲辺縁防砂体系的建立及防護効益、「策勒治沙研究実験所成果編」11-18。
- 中国中央気象局編 (1979):『中華人民共和国気候図集』(1979年第一版), 地図出版社, 北京。
- 長島秀樹・趙 岩峰・岡崎守良・夏 訓誠 (1991): タクラマカン沙漠における気象要素と砂面変動の自動観測一チーラでの1990年10月～1991年3月の観測から。「沙漠研究」1: 61-66。
- 胡連輝地 米吉提 (1996): タクリマカン沙漠のフローラと植生の概観。「沙漠研究」5: 217-221。
- 西北師範学院地理系主編 (1984):『西北地区植被類型及植被土壤区「中国自然地理地理図集』地図出版社。
- 相馬秀廣 (1996): タクリマカン沙漠における沙漠化—塩類集積、砂の被覆、風食—。「沙漠研究」5: 117-128。
- 朱 震遠・陳 広庭 (1995):『中国土地沙漠化』科学出版社, 北京, 24p.
- COOKE, R.U., WARREN, A. and GOUDIE, A.S. (1993): *Desert Geomorphology*. UCL Press, London, 356p.
- LANCASTER, N. (1995): *Geomorphology of Desert Dunes*. Routledge, London, 77p.
- TAKAMURA, H. and QONG, M. (1984) On desertification and its prevention in the Xinjiang Autonomous Region. *Bull. Rissho Univ. Graduate School*, No. 10: 1-22.
- TENBERG, A. (1995): *Desertification in Northern Burkina Faso and Central Tunisia: Inferred from Vegetation Cover Changes, Land Degradation Indicators and Local Knowledge*. Earth Science Centre Publ. A1, Göteborg University Department of Geography, Göteborg.
- ZHU, Z., LIU, S., WU, Z. and DI, X. (1986): *Desert in China*. Institute of Desert Research, Academia Sinica, Lanzhou, China.

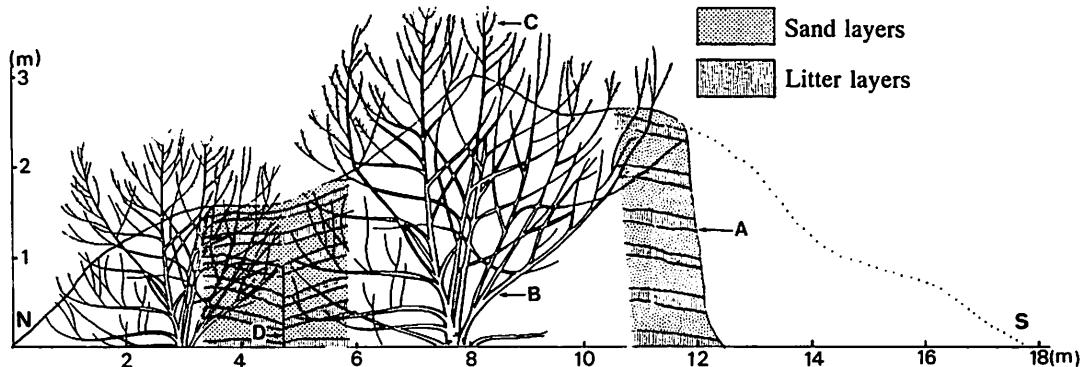


Fig. 13. Schematic representation showing architecture of *Tamarix ramosissima* buried with sandy deposits.  
A: depositional structure, B: buried branches, C: exposed, new branches, D: intersection of layers

た細枝や葉が落下して夏までにできた砂層の上に重なり、1層の連続した落葉層を形成する。このとき大気の相対湿度も高くなるので、濡れた落葉が重なり合って夏までにできた砂層の表面に付着し、安定した層を形成する。また、冬には砂丘表面が地下10~20cmまで凍結し、1~2月までの1ヶ月のうち数日間は積雪に覆われる。このため融雪・解凍が終わる春までの間、前年までに形成された砂層と落葉層の互層が安定した状態で保存される。このような過程が数年以上継続することにより、砂層と落葉層の互層を1年における生長ユニットとした累層からなる*Tamarix*砂丘が形成していくものと考えられる(Fig. 12)。

砂丘が高くなるほど*Tamarix*類も主幹を埋没させがらも大きく成長し、地下により深く伸長した根系から水分を吸い上げるので、砂丘砂の水分含有量も増加する。このため砂丘表面を覆う植物の生育が促進され、植被率も増える。その結果、乾季にも簡単に風食されたり移動したりすることがない安定した小砂丘(固定砂丘)に成長していく。しかし、降水条件が変化したり、砂丘表面の植生が人為的に破壊された場合には植被率が低下して風食が進み、半固定砂丘に変化する。

相互に近い2本の*Tamarix*類を中心として砂の堆積が進む場合には、当初独立していた2つの*Tamarix*砂丘が次第に合体して1つの砂丘として成長するようになる(Fig. 13)。

## 6. まとめ

本研究で明らかになったことがらは、次のように要約できる。

1) タクリマカン沙漠周辺地域では、*Tamarix*砂丘はオアシスと流動砂丘地帯の中間や河岸段丘の地域など地下水位が比較的浅い、植生状況の比較的良好なところに

多く分布している。

2) 春から夏にかけて飛砂が発生し、砂が移動する。移動する砂が*Tamarix*類の低木にひっかかり、その周囲に順次堆積して砂のみからなるミニ砂丘をつくる。つぎに、秋になると*Tamarix*類の枯れた細枝と葉が落下して夏までにできた砂層の上に重なり、連続した落葉層を形成する。このような過程が数年以上続くと安定した*Tamarix*類砂丘に成長していく。干ばつが続いたり、表面の植生が人為的に破壊された場合には、風食が進み半固定砂丘になる。

3) 一枚一枚の生長ユニットの層厚は砂丘断面の各所で異なる。また、断面の底部にいくほど落葉の腐朽が進んで砂粒と分別できない状態になる。同時に、落葉層の厚さや落葉の色が変化し、腐植土に類似した状態になる。また、部分的には生長ユニットが存在しないところもある。

4) Loc. 3の*Tamarix*砂丘(Fig. 6)の下部には粘土層とラクダの糞が埋められている。粘土層はこの場所がQarqan川の氾濫原であった時期に洪水で運ばれた浮流物質が沈殿して形成されたものであると考えられる。また、その当時は地下水位も浅かったので、*Tamarix*類や*Phragmites australis*などが生育し、そこではラクダなどの家畜が放牧されていたのであろう。その後、河川の水量が減少するかあるいは河道が移動したため、河床とその周辺では地下水位が低下したことと相まって、地表面の乾燥化が進んだものと思われる。こうして砂が移動可能な地表状態がつくられ、強風で運ばれる砂が*Tamarix*類などの障害物の周囲に堆積して、かつての氾濫堆積物を覆って*Tamarix*砂丘群が形成されていったものと考えられる。

5) 本研究で取り上げた*Tamarix*砂丘の高さは最大で11~12m、長軸の最大は42m(Loc. 1)である。肉眼で識別できる生長ユニットの数は最多で39層(Loc. 3)の



Fig. 10 Cross section of a *Tamarix* cone at Beshtograk, Lop (Apr. 4, 1993).  
A: sand layer, B: litter layer (organic layer)



Fig. 11. Close-up of leaves of *Tamarix ramosissima* at Beshtograk, Lop (Aug. 18, 1995).  
Note leaves with a lot of sticky nodules.

次堆積し、夏の終わりまでの間に厚さ 2~3 cm の砂粒のみからなる 1 層の砂層を形成する (Figs. 10, 12).

### 3) 落葉層の形成

*Tamarix* 砂丘の断面に落葉層が形成される過程は次のように考えられる。落葉季節の10月~12月に落葉・落

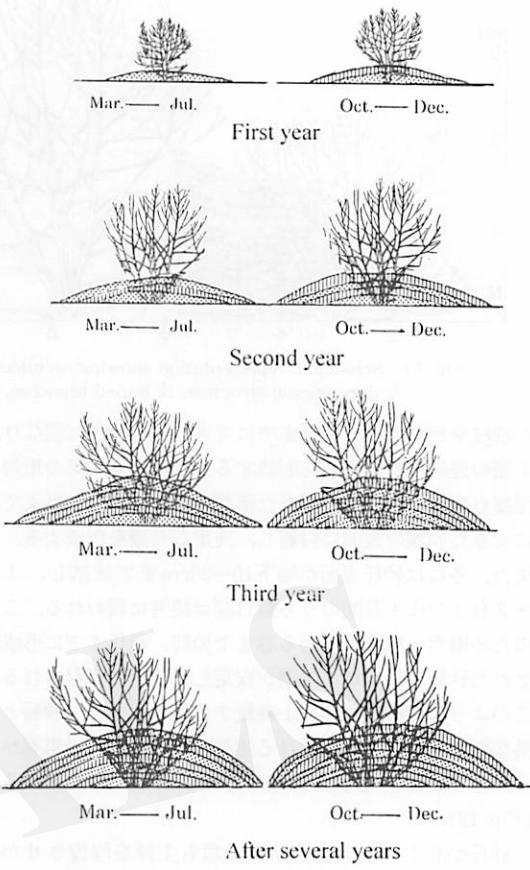


Fig. 12. A scheme showing the formative process for a *Tamarix* cone in the Tarim Basin.

枝が砂丘表面に供給される。砂丘表面を覆う主な植物である *Tamarix* 類の葉には付着性の高い節が数多くついている (Fig. 11)。したがって、落葉した場合、葉と葉が相互に付着して安定した状態で砂丘表面を覆うことになる。加えて10月~12月には風速が小さく (Fig. 3), 大気の相対湿度が高いので、落葉が風に飛ばされることなくその場に集積し連続した落葉・落枝のみからなる落葉層が形成される (Figs. 10, 12).

### 4) *Tamarix* 砂丘の形成

タクリマカン沙漠周辺では春季になると風速が増加し、強風の出現頻度も高くなるので (Fig. 3), 春 (3月) から夏 (7月) にかけて頻繁に飛砂が発生し、砂が移動する。移動する砂は *Tamarix* 類などの低木に妨害されてその周囲に順次堆積し、円錐状のミニ砂丘をつくる (Fig. 12)。つぎに、秋になると *Tamarix* 類などの枯れ

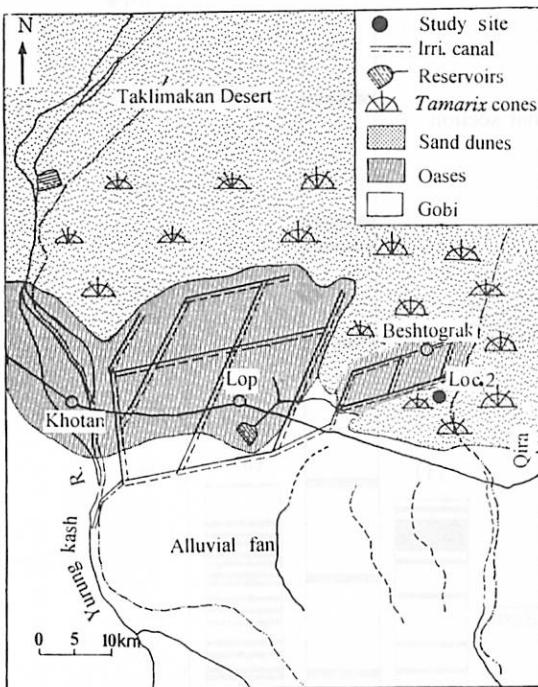


Fig. 7. Synoptic geomorphological map of the Beshtograk area, Lop.

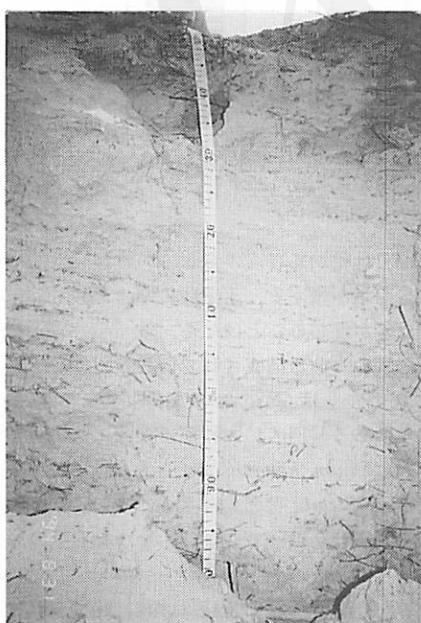


Fig. 8. Cross section of a *Tamarix* cone at Beshtograk, Lop (Aug. 31, 1994).  
Note the increased decomposition of organic materials downward with increase in depth.

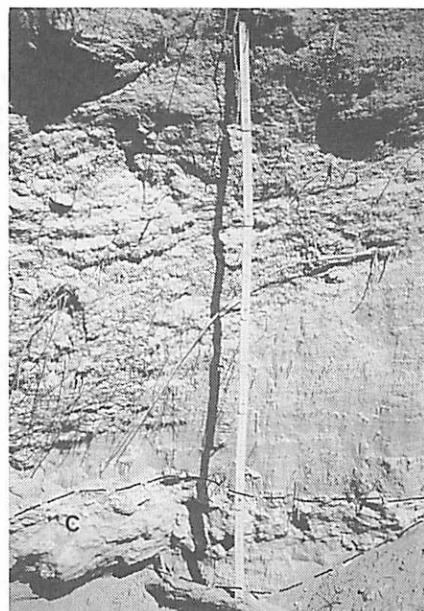


Fig. 9. Cross section of a *Tamarix* cone at Togasulik, Qarqan (Aug. 16, 1995).  
C: clay layer

とがともに途切れたり、交叉したりするところもある。表面から2.7mのところに厚さ10cmの粘土層と径3cmの大ラクダの糞が介在していた(図Figs. 6, 9)。

## 5. *Tamarix* 砂丘の形成過程

### 1) 前提条件

砂丘が形成されるためにはいくつかの条件が必要である。まず、供給源となる砂が存在することである。調査地域内で *Tamarix* 砂丘が広範囲に分布しているところはオアシスと流动砂丘の中間である。そこには砂の供給源になり得る、河床堆積物が砂からなるワジや間欠河川があり、旧河床や河岸段丘面など表面をルーズな砂が覆う植生のまばらな地形面が広がっている。また、植被率が低く裸地になっているところが多いので、砂が動きやすい状態にある。さらに、砂粒を移動させ得る風速4m/s以上の風の出現日数は年間90日もある。また、移動する砂の障害となる *Tamarix* 類などの植生が生育している。しかも、供給される砂の量は大型のバルハンド砂丘群を形成するほど大量ではない。調査地域は小型の障害砂丘が形成されるのに好都合な場となっている。

### 2) 砂層の形成

調査地域では、春から夏にかけて風速4m/s以上の砂粒を移動できる風が90日も吹送し続ける(Fig. 3)。そして移動する砂粒は *Tamarix* 類など障害物の周辺に順

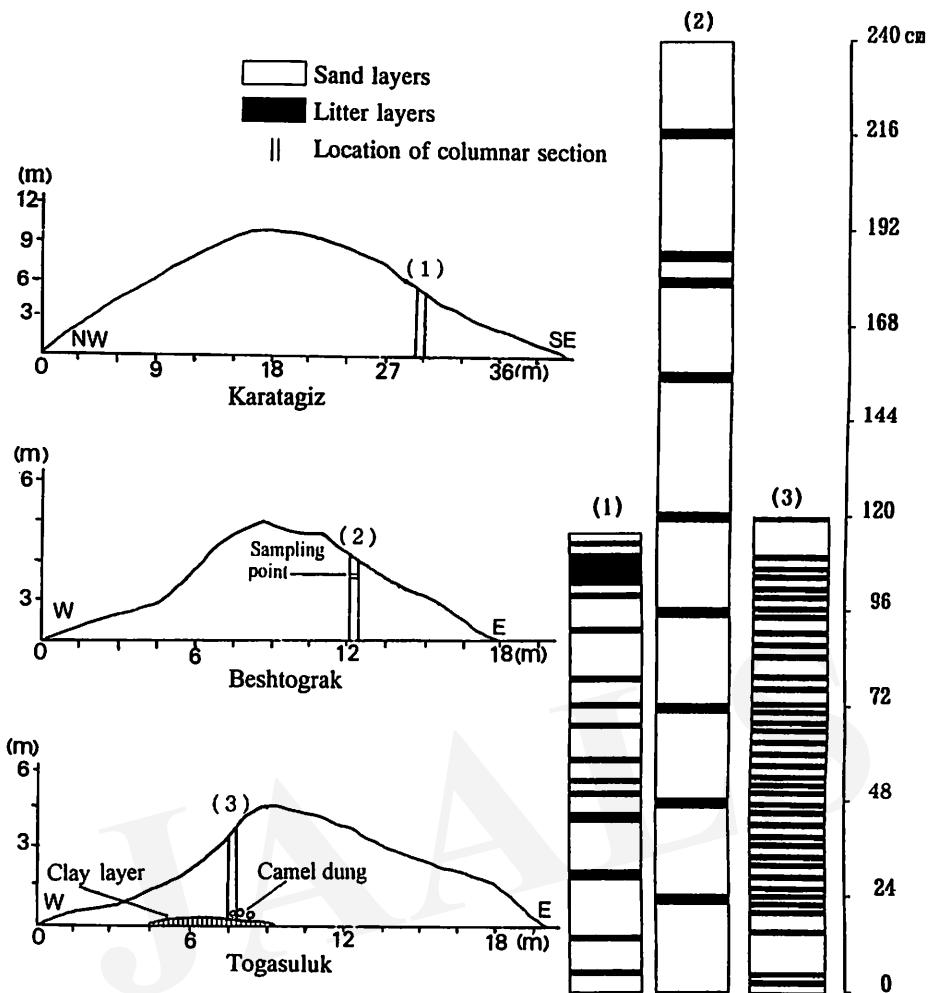


Fig. 6. Cross sections of *Tamarix* cones at Karatagiz, Beshtograk, and Togasuluk.  
See Fig. 1 for location of study sites.

が生育している。4 m × 2 mのプロット (Fig. 4) の平均植被率は43%で、半固定砂丘である。露出した部分では風食により砂が移動し始めている。砂丘はマウンド型であり、長軸21m、短軸15m、高さ4.5mで、北東（風下側）～南西（風上側）方向に配列している。傾斜は風下側が22°、風上側が14°である。砂丘のほぼ中心部で西～東方向に深さ3.5mまで掘削した (Fig. 6, Loc. 2)。表面から2.4mまでの間で明瞭な砂層10層と落葉層9層が確認された。砂層と落葉層の層厚はLoc. 1の場合と同じように、断面の中心部で厚く、縁辺にいくほど薄くなっている。この砂丘では砂層の層厚は最大35cm、最小1cmである。砂丘砂の粒径は中粒砂の範疇に入るが、風上側で比較的粗く、風下側でやや細かくなっている。上から110cmの深さで採取したサンプルの粒径は平均で2～3 φが14%，3～4 φが67%，4 φ以下が19%を占める。

砂は上部では乾いてさらさらしているが、下部にいくほど水分含有量が増える。落葉層の厚さは約1cmで、基本的に砂が混じることはなく、*Tamarix ramosissima*などの落葉のみから構成されている (Fig. 8)。

Loc. 3の砂丘はQarqanの北方40kmのTogasuluk村の郊外にある (Fig. 1)。砂丘の表面には*Tamarix hispida*, *Poasnum hendersonii*, *Alhagi sparsifolia*, *Glycyrrhiza inflata*などが生育している。植被率は50%で、まだ風食を受けていない。マウンド型の形態を示し、長軸長23.8m、短軸長17m、高さ4.3mで、北東（風上）～南西方向に配列している。傾斜は風上側が28°、風下側が36°である。表面から深さ3mまで掘削した結果、表面から1.2mまでの間に砂層39層、落葉層38層が確認された。砂層の層厚は最大10cm、最小1cmである。落葉層の層厚には変化なく約1cmである。砂層と落葉層



Fig. 4. *Tamarix* cones in the southern part of the Taklimakan Desert, at Beshtograk, Lop (Apr. 4, 1993).

### 3. 調査方法

調査は1993～1995年の間に3回にわたって *Tamarix* 砂丘が多く分布している Guma の Karatagiz 村, Lop の Beshtograk 村, Qarqan の Togasuluk 村 (Fig. 1, Loc. 1～3) などで次のように行った。

代表的な *Tamarix* 砂丘を選び、長軸・短軸・比高・傾斜・植被率などを計測した。計測は高度計（ドイツ Brauniger 製 ALTOVARIO Besis SP）、ハンドレベル、クリノコンパス、テープなどを用いた。植被率を測定するために砂丘表面に長さ 4 m, 幅 2 m の区画を設定し、それを 1 m × 1 m の 8 つの方形区に分けた (Fig. 4)。各方形区の中の植生の樹冠の投影が占める割合を計測して植被率とし、8 つの方形区の平均値を計算し、当該砂丘の植被率とした。

砂丘の内部構造を調べるために、Guma, Lop, Qarqan などで代表的な *Tamarix* 砂丘を合計 16 個選び、ブルドーザで掘削して砂丘断面を露出させ、堆積構造、層相、各層の厚さ・枚数・走向などを調査した。崩れやすい断面の場合はガムテープを断面に垂直に貼り付けて堆積構造のコピーをとって観察した。

### 4. *Tamarix* 砂丘の断面構造

掘削した Loc. 1 の砂丘は Guma の東 30 km の Karatagiz 村近辺にある (Fig. 1)。かつては固定した *Tamarix* 砂丘であったが、採薪のため樹木が完全に伐採され、現在は植被をまったく欠いて露出した砂が風食にさらされている。砂丘全体の形は長軸長 42 m, 短軸長 24.8 m のやや細長いマウンド型で、高さは 11.6 m である。北西（風上側）～南東（風下側）方向に配列し、平均傾斜は風下（南東）側で 16°、風上（北西）側で 32° である。

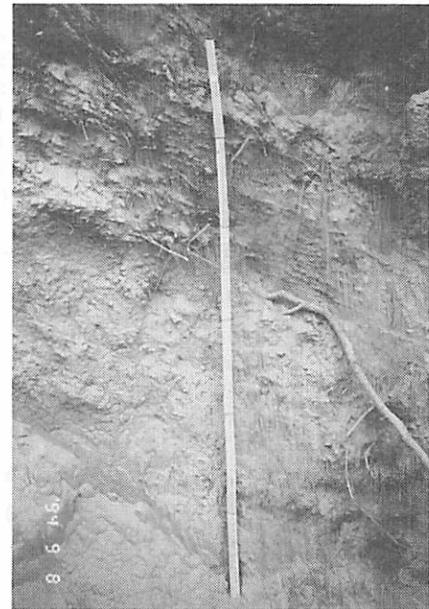


Fig. 5. Cross section of a *Tamarix* cone in the southern part of the Taklimakan Desert, at Karatagiz, Guma (Sep. 8, 1994).

この砂丘では風下側の地点 Loc. 1 で深さ 3 m まで掘り下げた (Figs. 5, 6)。表面から 1.15 m までの間に砂層 (sand layer) と落葉層 (litter layer) からなる明瞭な生長ユニット (formative unit) が発達している。砂層は均質な中粒砂からなり、15 層を数える。両層とも砂丘の中心部で厚くかつ明瞭で、縁辺にいくほど薄くかつ規則性がなくなる。この砂丘では、一枚一枚の砂層の層厚は最大 19 cm、最小 1 cm である。また、砂層の層厚は風上側に薄く、風下側に厚くなっている。砂は断面の上部では乾いてさらさらしているが、下部にいくほど湿めり、手で握り固めることができるようになる。砂丘の表面に生育する *Tamarix* 類やイネ科の草本 *Phragmites australis* などから供給された落葉と細い落枝など有機物からなる落葉層は 14 層あり、砂層と同じように砂丘の中心部で厚く、縁辺にいくほど薄くなっている。部分的に落葉層が存在しないところも見られる。この砂丘では落葉層の層厚は最大 3 cm、最小 1 cm である。落葉層は断面の上部では新鮮な状態に近いが、下部にいくほど腐朽が進んで灰褐色を呈している。最下部ではさらに腐朽が進んで肉眼では識別できない状態になっている。

Loc. 2 の砂丘は Lop の Beshtograk 村の南 500 m にある *Tamarix* 砂丘である (Figs. 4, 7)。砂丘表面には *Tamarix ramosissima*, *Phragmites australis*, *Alhagi sparsifolia*, *Calligonum mongolicum*, *Nitriaria sibirica*, *Scorzonera divaricata* など耐乾性の高い植物

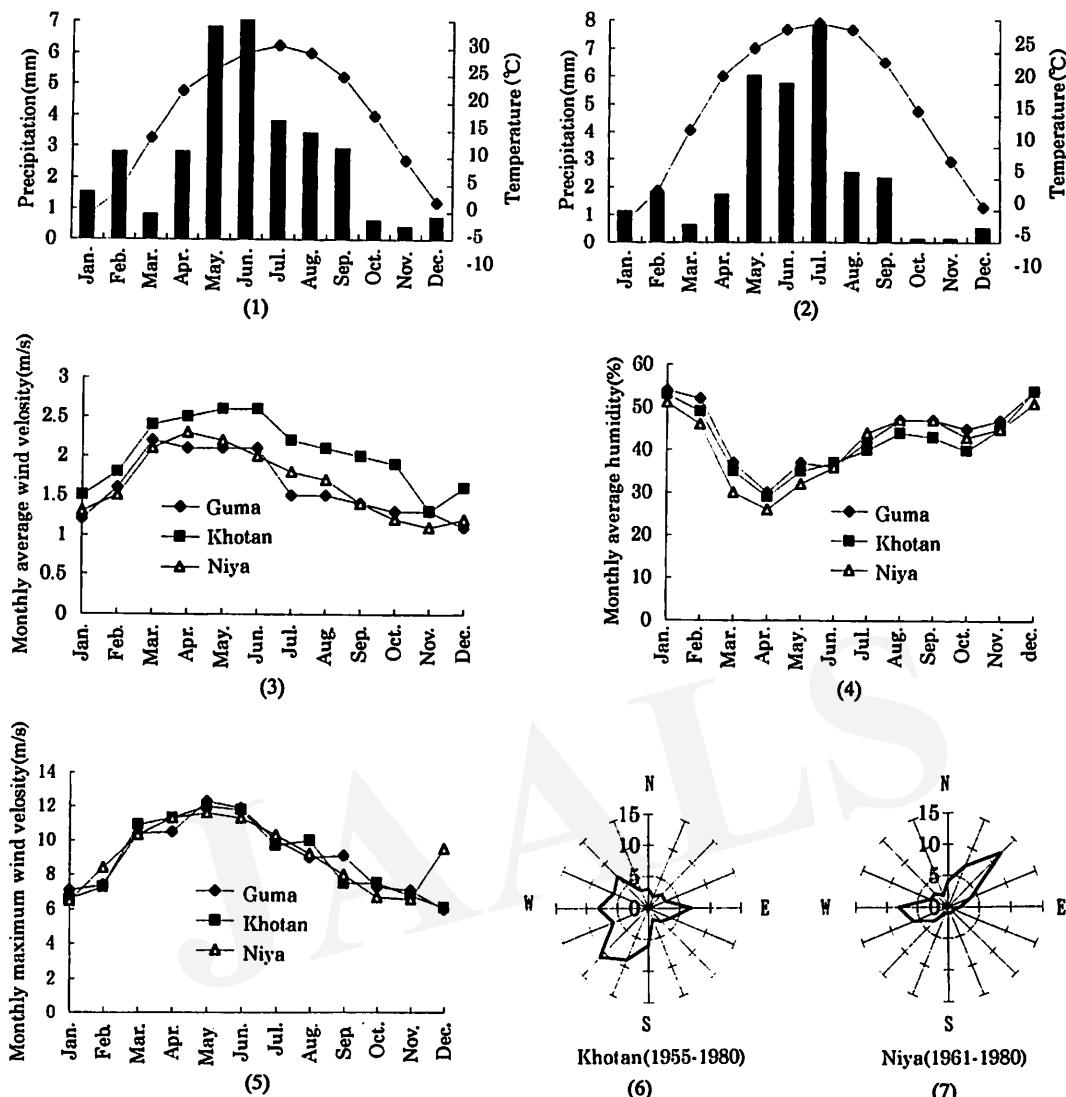


Fig. 3. Average precipitation and temperature at Khotan and Niya (1, 2), the monthly average wind velocity (3), average maximum wind velocity (4), and average relative humidity at Guma, Khotan and Niya (5), and frequency of wind direction at Khotan and Niya (6, 7) (1959-1979). (CHINA CENTRAL METEOROLOGICAL STATION, 1979).

に現われ $12.5^{\circ}\text{C}$ である。年平均降水量は $35.0\text{mm}$ で、雨は5月～7月に集中して降る。冬には降雪があり、多少の積雪もある。年可能蒸発量は $2,602.0\text{mm}$ 、大気の年平均相対湿度は42%である。しかし、大気の相対湿度は季節によって異なる。夏は相対湿度が低いが、気温の低い秋から冬にかけては大気の相対湿度は高くなり、11月～2月間の相対湿度は50%以上に達する。月平均風速は5月～6月が最大で $2.5\sim 3\text{m/s}$ 、11月～12月が最小で $1.5\sim 2\text{m/s}$ である。平均最大風速は $12\sim 14\text{m/s}$ である。Khotan以外の地域でも風は強く、風速 $17\text{m/s}$ 以上の強

風日数はGumaとQiraで年間9日である。またQiraでは風速 $3\text{m/s}$ 以上の風日数は年間200日、風速 $4\text{m/s}$ 以上の風日数は年間90日で、強風の出現頻度が非常に高い(張, 1988)。強風は主に2月～9月に発生し、最大風速値は5月～6月に記録される。瞬間風速 $20\sim 30\text{m/s}$ の風もしばしば発生し、農作物に多大な被害をもたらすことがある。卓越風向は、KhotanでSW方向、NiyaでNE方向である(Fig. 3)。

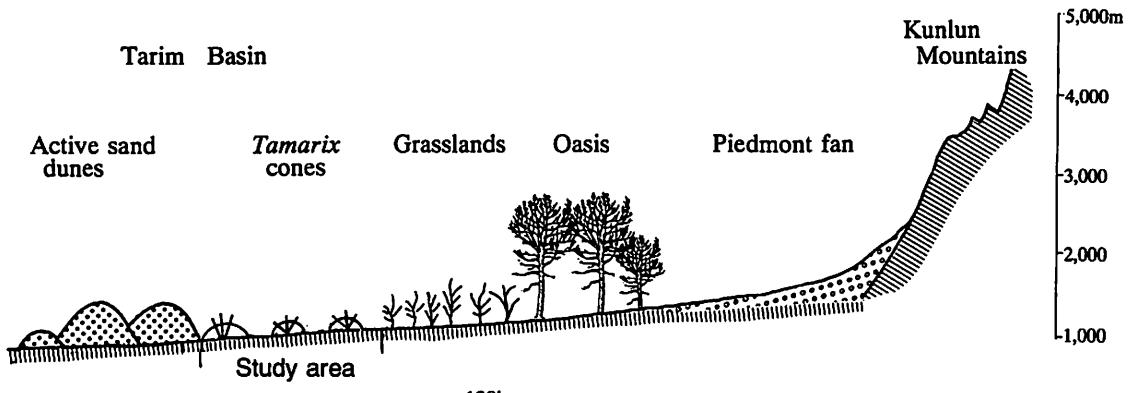


Fig. 2. Major geomorphological regions in the southern part of the Tarim Basin.

Table 1. Some meteorological data at Khotan (1954–1984).

Temperature (°C)			Av. prep. (mm)	ETP (mm)	R. hum. (%)	Max wind velocity (m/s)	>4m/s wind days
Annual	Jul.	Jan.					
12.2	25.6	-5.4	35.0	2,602.0	42	14	90

Av. prep.: Average annual precipitation, R. hum.: Relative humidity, ETP: Evapotranspiration

## 2. 調査地域の概要

調査地域はタクリマカン沙漠の南部に位置する新疆ウイグル自治区 Khotan 地区(Guma, Karakash, Khotan, Lop, Qira, Keriya などの各県)と Bayingulun モンゴル自治州の Qarqan とにまたがる地域である。調査地域の南側にはコンロン山脈があり、Khotan 川, Keriya 川, Qarqan 川など多くの河川が流下している。これらの河川は山麓(海拔 1,500~2,500m)に砂礫を堆積して広大な扇状地を形成している。扇状地表面の一部は礫間の細粒物質が風で吹き飛ばされて礫だけが残り、礫沙漠(ゴビ)になっている。Khotan 川, Keriya 川, Niya 川などの扇状地の扇端部にはオアシスが形成され、集落が立地し、農業生産が行なわれている(相馬, 1996)。扇端部には湧水地が多く、オアシスの下流側では一般に地下水位が浅いのでアシ(*Phragmites australis*)などが生えた湿草地となっている(胡達拝地, 1996)。また河川沿いの氾濫原、旧河床、低位河岸段丘面などの地下水位の浅いところには異葉胡楊(*Populus euphratica*/*Populus diversifolia*)、灰楊(*Populus pruinosa*)などが生育する。

オアシスや湿草地の地域から離れるに従って、砂の集積による凹凸が次第に大きくなる。植生も *Tamarix* 類、*Alhagi sparsifolia* などの耐乾性のものが多くなり、*Tamarix* 砂丘の集合からなる固定・半固定砂丘地帯へと移行し、さらに流动砂丘地帯へと変わる。Khotan 付

近に見られるコンロン山脈からタクリマカン沙漠にかけて移り変わる地形・植生景観を模式的に表わすと Fig. 2 のようになる。

ここでオアシスと流动砂丘地帯の間に分布する *Tamarix* 砂丘について詳しく調査することとした。住民からの聞き取りによると、この場所では地下水位が 3~10m と比較的浅いので、かつては *Tamarix* 類などの灌木と *Phragmites australis*, *Alhagi sparsifolia* などのイネ科の草本で被覆された固定砂丘が広く分布していたという。しかし、*Tamarix* 類などの灌木が燃料として伐採されるようになり、*Phragmites australis*, *Alhagi sparsifolia* などの草木が家畜の飼料、農作物の肥料または燃料として利用されるようになったため、植被率が 50% 以下まで低下し、風食を受けやすい半固定砂丘になったものも見られる。調査地域の一つ、Lop の Beshtogruk 村周辺は、かつては固定砂丘地(*Tamarix* 砂丘)であったが、1959 年以降の開発に伴って半固定砂丘が増えたという。

調査地域の気候は、夏は高温で低気圧性天気が発達し、しばしば降雨がある。冬はタリム盆地に冷気がたまるので高気圧性の天気が継続し、降水量は少ない。春と秋には気温の日较差が大きく、天気は不安定である。春から夏にかけては強風の日が多く、飛砂が発生し砂の流动が始まる。タクリマカン沙漠南西縁の Khotan での 1954 年~1985 年までの観測データによると、年平均気温 12.2°C, 7 月平均気温 25.6°C, 1 月平均気温 -5.4°C (Table 1) で、冬には土壤が凍結する。気温の日较差の最大は 1 月

# タクリマカン沙漠南縁地域における *Tamarix* 砂丘の形成

ムハタル チョン\*・高村弘毅\*\*

## 1. はしがき

中国北西部に位置するタリム盆地は東西長約 1,500 km, 南北の最大幅約 600km の世界有数の内陸盆地である。盆地の標高は南西端の 1,400m から北東端の 800m まで緩やかに下がる。盆地の中央部には面積約 33.8 万 km<sup>2</sup> (任, 1986), 中国最大の沙漠であるタクリマカン沙漠がある (Fig. 1)。そのうち、植生を欠く流动砂丘 (active dune) が沙漠地域の総面積の 85% を占める。流动砂丘の高さは 100~150m で、最高は 300m に達する。盆地南西縁に連なるオアシスとそれに続く河川沿いの湿地、盆地中央部などの地下水位が比較的浅い (2~3 m) 塩性草原には、*Tamarix* spp. (紅柳) とアシ (*Phragmites australis*) などの植生で覆われた固定・半固定砂丘が分布する (相馬, 1996)。これは *Tamarix*

spp. などの植生が流动する砂に埋まりながらもたえず生育し続けて形成されたもので、その高さは 2~10m である。タクリマカン沙漠の 15% の地域がこうした固定砂丘 (植被率 50% 以上) と半固定砂丘 (植被率 50% 以下) で占められている (ZHU et al., 1986: 54, 104; TAKAMURA and QONG, 1994)。

タクリマカン沙漠では同地域で見られる紅柳により固定化された固定・半固定砂丘を紅柳包 (*Tamarix* cone) と呼ぶこともある (朱・陳, 1995; 相馬, 1996) が、本稿ではこれらを *Tamarix* 砂丘と呼ぶこととする。*Tamarix* 砂丘は障害砂丘 (anchored dune) の一種で、サハラ沙漠の縁辺などで見られるネブカ (nebkha) と同類のものである (LANCASTER, 1995)。本稿では、タクリマカン沙漠南縁地域を例として *Tamarix* 砂丘の構成物質、内部構造、形成過程などについて現在までに得られた知見に基づいて報告する。

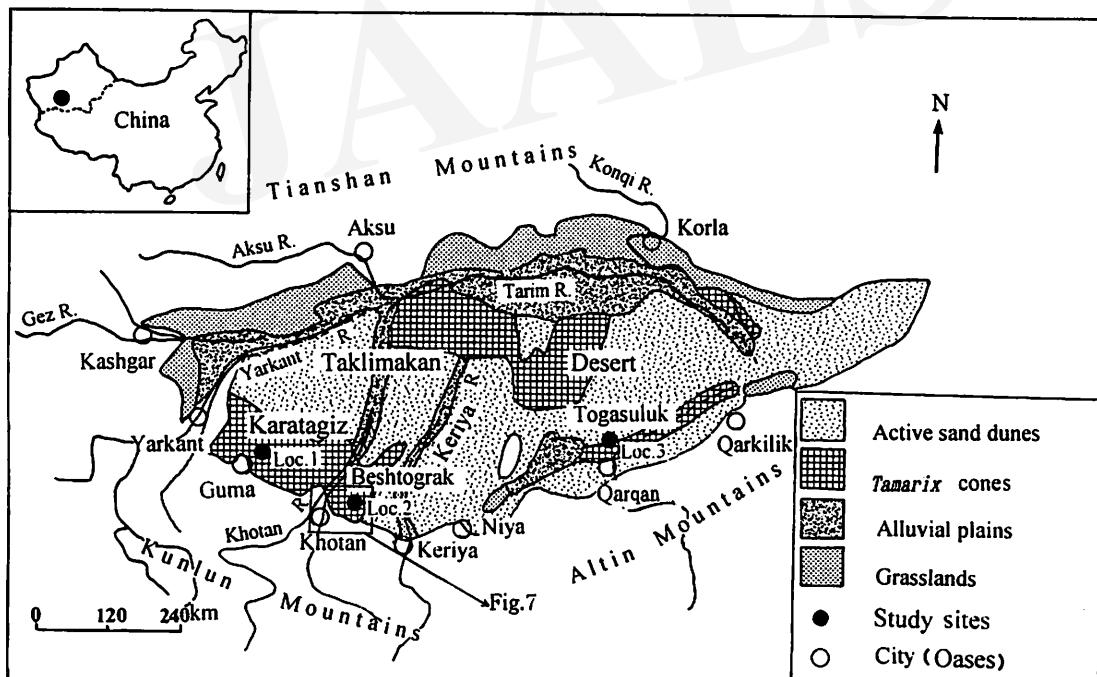


Fig. 1. Major land surface features of the Tarim Basin. (compiled from GEOGR. DEPT. of NW NORMAL UNIV., 1984).

\* 立正大学大学院文学研究科地理学専攻  
\*\* 立正大学文学部地理学教室

(受付: 1996年1月10日, 受理: 1996年12月12日)

## Salt Accumulation Analysis for Column Experiment Results during Eevaporation

Yoshiyuki OHTSUKA\*, Hiroyuki Ii\*\* and Shin SAKAKIBARA\*\*\*

The movements of salt water through unsaturated sand during evaporation was traced by column experiments and the FEM flow and transport analysis. In this analysis, salt accumulation in soil surface could be analyzed by calculating mass flux at the surface from the surface salt concentration and evaporation rate. The analyzed longitudinal dispersivities of unsaturated sand were about one tenth of the test scales. This was in agreement with the empirical relationship derived from experiments under saturated conditions. Therefore, salt water movement under both saturated and unsaturated conditions was almost the same.

**Key Words:** Evaporation, Salt accumulation, Migration analysis

---

\*Shimizu Corporation. 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135, Japan.

\*\*Faculty of Systems Engineering, Wakayama University. 930 Sakaedani, Wakayama 640, Japan.

\*\*\*Core Corporation. 3-4-15-903 Mita, Minato-ku, Tokyo 108, Japan.

過程での不飽和時の物質の移流拡散現象は飽和時と大きく変わらないものと考えられる。しかしながら、地下水面から9cmの高さでも飽和度が90%に保持されていたため、今回の室内実験は飽和に近い条件で行ったことになる。それ故、今後は供試体の高さを大きくして飽和度が小さい場合での実験と解析を行う必要がある。

図8は図7のベントナイトと石英砂の混合土（フラタリーサーを使用）を用いた飽和時の室内トレーサ試験によって求められた実流速と分散係数の関係を示したものである（Ii, 1995）。今回の実験では、蒸発速度が0.068cm/hourであるから、実流速は有効間隙率を38%とすると、 $5.0 \times 10^{-5}$ cm/secである。したがって、分散係数は $2.5 \times 10^{-5}$ と $4.5 \times 10^{-5}$ cm<sup>2</sup>/secである。この結果は、飽和時のフラタリーサーを主体とする試料の結果とよく一致した。

このように、不飽和時の実験と解析によって求められた分散長や分散係数は飽和時の経験的な値と一致した。また、蒸発面の塩濃度と蒸発速度から蒸発面の物質移動量を補正計算することによって、蒸発過程での塩分の集積過程を解析することができた。

## 6. まとめ

排水条件下での解析によって排水面の濃度（蒸発面の濃度）と排水速度（蒸発速度）から系外に出ていった物質量を計算し、その物質量を強制的に系内に戻す方法で、蒸発過程での塩分の集積を解析することができた。蒸発過程での不飽和時の上方向の移動現象での分散長を実験結果に基づく解析によって求めた。分散長は試験規模の1/10となり、飽和時の経験的に得られた結果と一致した。この結果、不飽和時の上方向の塩の移動現象は飽和時と大きく変わらなかった。

## 引用文献

- 安部征雄・山口智治・横田誠司・大塚義之・井伊博行（1992）：土壤表面に集積する塩類の捕集法。「沙漠研究」2: 19-27。  
 井伊博行・大塚義之・小川哲夫・安部征雄・山口智治（1993）：ペーパーロールを用いた土壤の塩類捕集方法に関する実験的研究。「沙漠研究」3: 1-7。  
 鈴木 潤（1978）：『乾燥地域の水利と開発戦略』日本イリギーションクラブ。  
 田中 明・山本太平（1987）：地下水位一定の土壤カラムからの蒸発に伴う水と塩の移動。「農土論集」129: 25-31。  
 ABE, Y., TSURUI, J., YAMAGUCHI, T., OHTSUKA, Y. and Ii, H. (1995): Evaporation effect of a salt capturing stick and its influence on movement of solution and solute in soil. *J. Arid Land Studies*, 5: 43-54.  
 Ii, H. (1995) : Effective porosity and longitudinal dispersivity of sedimentary rocks determined by laboratory and field tracer tests. *J. Environmental Geology*, 25: 71-85.  
 Ii, H. and SUGIYAMA, H. (1991) : Physical properties, especially effective porosity, of a bentonite and quartz sand mixture as backfill and buffer material for disposal of high-level radioactive waste. *Proc. 1991 Joint International Waste Management Conference. Am. Soc. Mech. Eng.*, 2: 243-248.  
 Ii, H., OHTSUKA, Y., OGAWA, T., ABE, Y. and YAMAGUCHI, T. (1995) : Tracing the movement during evaporation of salt water through a sand layer and solid paper core using three different anions as tracers. *J. Arid Land Studies*, 5: 33-42.  
 KAWAMURA, R. (1987) : Three-dimensional ground-water flow and advection diffusion code for treating decay chain of radioactive materials by finite element method. *J. Nuclear Sci. Tech.*, 24-11: 937-950.  
 OHTSUKA, Y., Ii, H., OGAWA, T., ABE, Y. and YAMAGUCHI, T. (1995) : Tracing the movement of sand salts during evaporation through a cotton cloth core and sand and polymer tube inserted into sand using three different anions as tracers. *J. Arid Land Studies*, 5s: 191-194.  
 YAMAGUCHI, T., ABE, Y., YOKOTA, S., OHTSUKA, Y. and Ii, H. (1995) : Study on the capture method of salt accumulated on the soil surface using the sheet and stick materials. *J. Arid Land Studies*, 5s: 299-302.

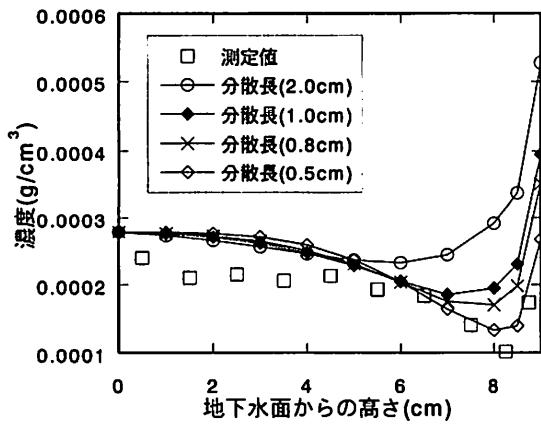


図 5. 41時間後の解析結果。

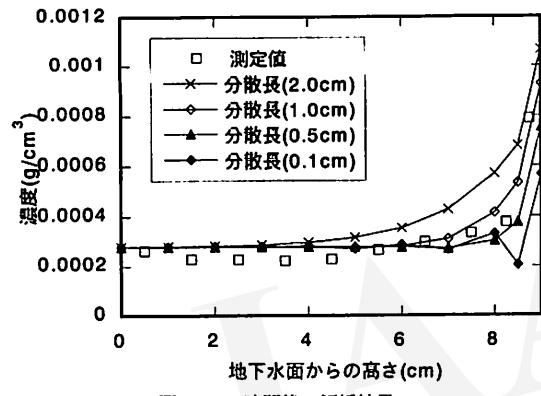


図 6. 73時間後の解析結果。

0.00028 g/cm<sup>3</sup>に設定した。

## 5. 解析結果及び考察

図 5 と 6 に分散長を様々な値に変えた時の解析結果とともに実測値を示した。表面で蒸発が起こり、塩が表面に集積しながら、塩分が下から移動する現象では、時間の経過とともに砂層の塩濃度は下面から次第に溶液濃度に達し、表面では塩の集積で溶液濃度よりも高くなる。図 5, 6 では、分散長が小さいほど表層の濃度が低く、分散長が大きいほど表層の塩濃度は高くなっている。これは、分散長が大きいほど塩分が下面から速く拡がったためである。

41時間後では分散長が0.5cmの時に、73時間後では分散長が0.5から1cmの時に実測値と一致した。図 7 は飽和時の様々なトレーサ試験での分散長と試験規模の関係を示したものである (Ii, 1995)。特に、ベントナイトと石英砂の混合土を用いた Ii and SUGIYAMA (1991) の実験試料は、石英砂はフランジャー砂を用いており、ベン

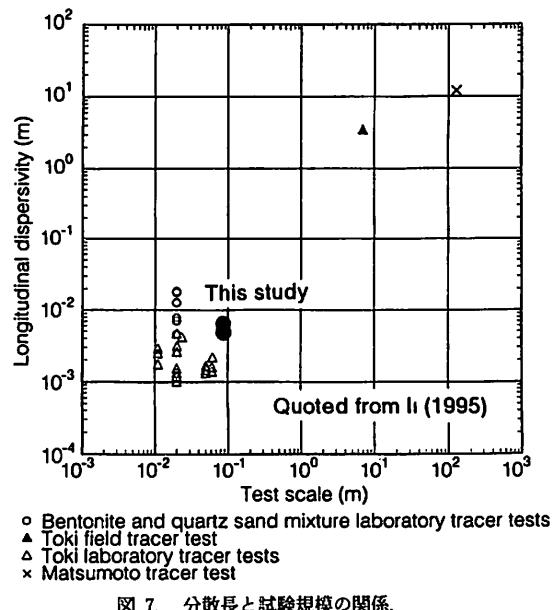


図 7. 分散長と試験規模の関係。

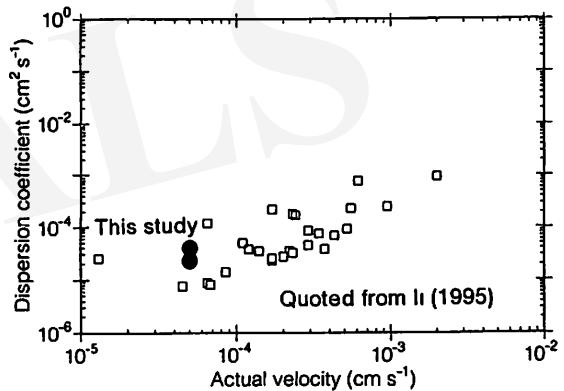


図 8. 実流速と分散係数の関係。

トナイトの混合割合も 7 から 10% で、今回の実験の試料と近似していた。図 7 に示すように供試体の高さは 9cm で、分散長は試験規模の約 1/10 となり、経験則と一致した。

田中・山本 (1987) では土壤表面の溶液濃度を塩の飽和濃度と仮定することで、蒸発過程での分散係数を解析解で求めた。この時に、同一材料での飽和時の分散係数を入力することで解析結果は実験結果と一致した。このように今回の FEM 解析結果も田中らによる解析解で求められた蒸発過程での結果も蒸発過程での上方向と飽和時の下方向での分散長は一致した。このことからこの FEM 解析は計算上、大きな問題はないものと考えた。また、蒸発過程での上方向の分散長は飽和時の下方向の分散長と一致するものとも考えた。このことから、蒸発

表 1. 浸透流及び物質移行解析の条件.

有効間隙率	飽和度と間隙率の積
透水係数	$9.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$
境界条件	不透水境界（表面と下面を除く）
砂層の表面	ピエゾ水頭：1 cm 強制物質流出境界
砂層下面	ピエゾ水頭：2.85cm 濃度固定境界： $2.8 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$
分散長	0.01cmから50cm

表 2. 有効間隙率.

地下水水面からの高さ	41時間	73時間
0.5cm	41%	41%
1.5cm	36%	38%
2.5cm	37%	38%
3.5cm	38%	38%
4.5cm	38%	38%
5.5cm	39%	38%
6.5cm	40%	38%
7.5cm	39%	38%
8.25cm	39%	38%
8.75cm	40%	39%

それ故、砂層下面と砂層表面の境界部は以下のとおりであり、その他の境界部は不透水境界とした。

$C = C_0$  砂層下面（濃度固定境界）

$F = F_0$  砂層表面（強制物質流出境界） (5)

ここで、 $C_0$  は砂層下面での濃度である。 $F$  は物質流出量である。物質移行解析は式 (3), (5) に適用して導入した代数方程式を基にコンピューターを用いて実行した。

## 2) 解析条件

表 1 に解析条件を、図 4 に解析モデルを示す。分散長は逆解析で求められた。つまり、様々な分散長を入力して解析を行い、解析結果が実測値と一致する分散長を求めた。その時の入力値は表 1 に示すように有効間隙率、透水係数、ピエゾ水頭、濃度と分散長である。次に入力値と解析条件を述べる。

入力に用いた有効間隙率は、次のようにして設定した。室内実験に用いたフタリヤー砂は99%石英から構成されている。石英の密度  $2.7 \text{ g/cm}^3$  を用いると、砂層は乾燥密度が  $1.6 \text{ g/cm}^3$  になるように締め固められているので、間隙率は41%に相当する。また、砂層の飽和時の含水比は24%である。そこで、各深さごとの有効間隙率は飽和度と間隙率の積に設定し、表 2 に示すようになった。

入力に用いた透水係数は、次のようにして設定した。図 2, 3 の含水比分布からわかるように、砂層の表面の

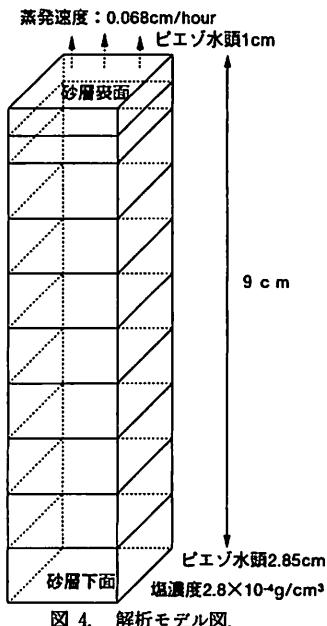


図 4. 解析モデル図.

含水比は21%以上もあり、飽和度で88%以上に保たれていることがわかる。深さの違いによる含水比の変化は水面の直上にある試料を除いて認められなかった。不飽和の透水係数は飽和度に依存するが、不飽和の透水係数の測定は容易でなく、なおかつ湿潤過程と乾燥過程によっても異なるなど取り扱いが難しい。そこで、どの深度でも飽和度が88%以上に保たれていることから、砂層の透水係数は一様に飽和時の透水試験の結果である  $9.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$  を用いた。

分散長は経験的に観測規模（高さ 9 cm）の  $1/10$  といわれているので (Ii, 1995), 0.01cm から 50cm の範囲で変化させ、実測値と一致する分散長を求めた。

境界条件は砂層の表面と下面を除くと不透水境界である。

砂層の表面と下面のピエゾ水頭は表面からの蒸発速度が実験条件と一致するよう  $597 \text{ mm/year}$  ( $0.068 \text{ cm/hour}$  : 実験の平均値) に設定した。

$$Q/A = (h_1 - h_2) k/L = 0.068 \text{ cm/hour} \quad (6)$$

ここで、 $(h_1 - h_2)$  は表面と下面のピエゾ水頭の差、 $Q$  は蒸発量、 $A$  は断面積、 $k$  は透水係数、 $L$  は砂層の高さである。この結果、水頭差が  $1.85 \text{ cm}$  の時に蒸発速度が観測結果と一致した。表面と下面のピエゾ水頭値は様々な組み合わせが考えられるが、ここでは、表面の水頭を  $1 \text{ cm}$ 、下面を  $2.85 \text{ cm}$  に設定した。

砂層の下面是マリオットタンクからポーラスストーンを通じて水溶液が自由に供給される。そこで、砂層の下面の溶液の濃度はマリオットタンクの溶液濃度の

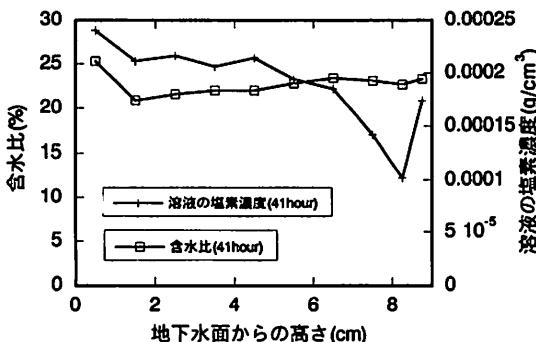


図 2. 41時間後の含水比と溶液の塩素濃度。

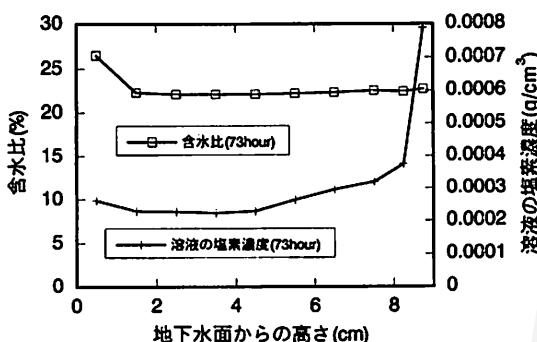


図 3. 73時間後の含水比と溶液の塩素濃度。

解体した試料で 581mm/hour に相当した。含水比はカラム内の水位直上で 24% 以上であるが、他の高さでもほぼ 22% で、高さによる変化は小さい。41時間後に解体した試料でも、砂層表面で塩の集積は始まっていることがわかる。73時間後になると表層で塩が著しく集積した。この濃度変化を用いて次に示す方法で解析を行った。

#### 4. 有限要素法による解析

##### 1) 解析方法

解析は既存の 3 次元の移流拡散コードである MIGR3D (KAWAMURA, 1987) を後述する方法で改造して行った。解析は浸透流と物質移行を並列して行っており、3 次元の有限要素法である。実験結果は 1 次元の現象で、以下に示す基礎方程式はソフトの構造上 3 次元で表現されるが、計算する上で水平 2 方向の流速値は 0 となり、結果として鉛直一次元の解析となっている。

定常状態での均質媒体中での 3 次元の浸透流の基礎方程式は以下のようになる。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $\phi$  はビエゾ水頭（位置水頭と圧力水頭の和：cm）、 $x, y, z$  は鉛直、水平座標である。また、砂層表

面と砂層下面の境界条件は以下のようになる。ただし、その他の境界は不透水境界である。

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_1 && \text{砂層表面} \\ \phi &= \phi_2 && \text{砂層下面} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\phi_1$  と  $\phi_2$  は砂層表面と砂層下面のビエゾ水頭で、砂層表面の水頭が小さく、砂層下面の水頭が大きく、水の流れは上向きになる。浸透流解析は式 (1) と (2) に FEM を適用して導いた代数方程式を基にコンピューターを用いて実行した。

定常状態での均質媒体中での 3 次元の物質移行の基礎方程式は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x}(D \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(D \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(D \frac{\partial C}{\partial z}) \\ &\quad - \frac{\partial}{\partial x}(V_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(V_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(V_z C) + \frac{F}{\epsilon} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_x &= v_x/\epsilon, V_y = v_y/\epsilon, V_z = v_z/\epsilon \\ D &= \alpha |V|, |V| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \end{aligned}$$

ここで、 $\epsilon$  は有効間隙率、 $C$  は土壤の溶液濃度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $D$  は分散係数 (cm<sup>2</sup>/sec)、 $\alpha$  は分散長 (cm) である。 $V_x, V_y, V_z$  は  $x, y, z$  方向の実流速 (cm/sec)、 $v_x, v_y, v_z$  は  $x, y, z$  方向のダルシー流速 (cm/sec) で、分散係数はどの方向にも一様とした。 $y, z$  方向ではビエゾ水頭の差がないので、流速は 0 である。その結果、(3) 式の  $y, z$  の偏微分項は 0 となり、結果として、1 次元の解析と同じことになる。

ここで、表層での塩の濃集が起こるよう MIGR3D における砂層表面の解析を改造した。前述した基礎方程式上、表層に塩を集積するためには工夫が必要である。蒸発面では水は砂層表面から出ていき、塩だけが表層に残ることになる。そこで、砂層表面では蒸発量に合わせた排水条件を与え、水を系外に出す。計算上、系外に出ていく水に含まれていた物質（塩）も、系外に出ていくことになる。そこで、系外に出ていく物質量を計算し、その量を系内に戻すために砂層表面に加える方法を行う。系外に出ていった物質の量は排水量と表層の濃度の積で表わされる。一番表層にある要素から出ていった単位時間あたりの物質の量は表層の濃度と表層からの蒸発速度の積であるので、下式のように表わされる。

$$F_o = C_i \times V \times S \times \epsilon \quad (4)$$

ここで、 $F_o$  は単位時間あたりに砂層表面から出ていく物質の量 (g/sec)、 $C_i$  は表層の要素の濃度 (要素の下面) (g/cm<sup>3</sup>)、 $V$  は蒸発速度 (cm/sec)、 $S$  は砂層表面の面積 (cm<sup>2</sup>) である。したがって、 $\Delta t$  時間に内に一番外側の要素から出ていった物質の量は  $F_o \times \Delta t$  である。そこで、 $\Delta t$  時間後に、一番外側の要素の表面に  $F_o \times \Delta t$  を加えて、系外に出ていった物質を系内に戻した。

## カラム実験での塩分集積過程の解析

大塚義之\*・井伊博行\*\*・榎原 晋\*\*\*

### 1. はじめに

乾燥および半乾燥地帯では土壤水に溶けている塩が土壤表層からの蒸発によって表層に集積し、植物の生育障害などを起こしている。また、我が国のハウス栽培でも同様に過剰な施肥や植物からの排泄物質が集積することによる土壤の塩化がみられる。塩化した土壤の改善はリーチングによって達成することができる。しかしながら、乾燥および半乾燥地では元々リーチングを行うほど十分な水が得にくく、また、リーチング後の排水には塩濃度が高く、これを下流で再利用している場合には下流域に新たな塩害が発生することになり、塩化地域の範囲を拡大することになり、リーチングが必ずしも有効な対策方法とはいえない（鈴木、1978）。

著者らは塩害対策の1つとして、蒸発作用を利用して、塩を土壤から除去する方法を提案してきた。蒸発過程では水に溶解した塩分が蒸発面に移動し、蒸発が活発な部分ではより多くの塩が集積する。土壤表層に周囲の土壤よりも水が蒸発しやすい物質（蒸発促進材）を設置することにより、塩が選択的に蒸発促進材に集積することが実験により確認されてきた（安部ほか、1992；井伊ほか、1993；Ii *et al.*, 1995；ABE *et al.*, 1995；OHTSUKA *et al.*, 1995；YAMAGUCHI *et al.*, 1995）。これらの実験は実験条件が制御された室内が中心で、今後、野外での実証実験を行うにあたり、今までの室内実験の結果を基にして、数値解析により実証実験の条件を決定する必要がある。そこで、本論文では解析の初期段階として、土壤表面からの蒸発に伴う水分移動によって表層に塩分が集積する過程を解析で表現し、これを基に、蒸発過程での分散長(cm)を求めた。

### 2. 実験方法

蒸発に伴って塩が土壤の表層に集積する過程を調べるために、図1に示すカラム実験を行った。35°Cに設定された恒温室にカラムを設置し、マリオットタンクを用い

て定水位の条件で砂層表面から蒸発を起こさせ、一定の時間後にカラムを解体し、塩分濃度と水分量を測定した。直径5cmのカラムに乾燥したフラタリー砂（オーストラリア産）282gを充填して、厚さが9cmになるように締め固めた。その時の乾燥密度は $1.6\text{g/cm}^3$ で、マリオットタンクから純水が供給され、一定の蒸発量になるまで数日間放置し、その後、マリオットタンクの水を塩水に切り換えた。塩水の塩素イオンの濃度は $0.00028\text{g/cm}^3$ であった。カラム内の水位は砂層表面から深さ9cmになるように固定した。恒温室内のパンによる最大蒸発量は年3,800mmで、砂層からの蒸発速度は平均年597mmに相当した。フラタリー砂の飽和透水係数は乾燥密度が $1.64\text{g/cm}^3$ で $1.0 \times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 、 $1.6\text{g/cm}^3$ で $9.0 \times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 、 $1.5\text{g/cm}^3$ で $3.4 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$ であった。

### 3. 実験結果

図2、3に解体時の水分量、塩濃度を示す。2試料を塩水に切り換えてから41及び73時間後に解体した。蒸発速度は解体時までのマリオットタンクの重量変化から41時間後に解体した試料で612mm/hourで、73時間後に

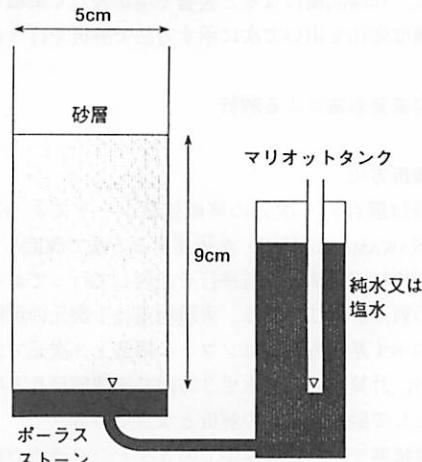


図1. 実験装置。

(受付：1996年5月13日、受理：1997年1月17日)

\*清水建設株式会社技術研究所

\*\*和歌山大学システム工学部

\*\*\*株式会社コア

## Effect of Desertification on Climate: A Review

Masato SHINODA\*

The present review paper outlines the state of the art of numerical simulation and observational studies on the impact of land degradation over world arid regions (desertification) on climate. The focus here is placed on the relative effects of regional land surface conditions affected by desertification and global atmospheric/oceanic circulations to the regional climatic changes.

Interannual variations in rainfall over major tropical arid regions, with the exception of the Sahel, are substantially influenced by the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon having a primary periodicity of 2–5 years. In general, the tropical and subtropical regions of the Northern Hemisphere exhibits significant decreasing trends in rainfall since the 1960s.

Especially, the Sahel region, south side of the Sahara, experienced a marked multi-decadal decline in rainfall from the 1950s to the mid-1980s. The hypothesis that desertification leads, through, reduced soil moisture, and reduced surface roughness, to drought conditions has been qualitatively verified by general circulation model simulations. Neither ground-based nor satellite-derived observational evidence has, however, been demonstrated to support the hypothesis.

The global- or basin-scale sea surface temperature patterns, modulating a long-term atmospheric trend, are most likely to play a major role in the above Sahelian drought.

**Key Words:** Drought, Desertification, Arid Region, Sahel

---

\* Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-03, Japan.

(Received, December 20, 1996; Accepted, January 17, 1997)

- impact on the surface in arid regions. *Tellus*, 33: 68–77.
- OTTERMAN, J. (1989): Enhancement of surface-atmosphere fluxes by desert-fringe vegetation through reduction of surface albedo and of soil heat flux. *Theoretical and Applied Climatology*, 40: 67–79.
- PARKER, D.E., FOLLAND, C.K. and WARD, M.N. (1988): Sea-surface temperature anomaly patterns and prediction of seasonal rainfall in the Sahel region of Africa. In GREGORY, S. ed., *Recent Climatic Change*, Belhaven Press, London, 166–178.
- PARKER, D.E., FOLLAND, C.K. and JACKSON, M. (1995): Marine surface temperature: Observed variations and data requirements. *Climatic Change*, 31: 559–600.
- POTTER, G.L., ELLSAESSER, H.W., MACCRACKEN, M.C. and ELLIS, J.S. (1981): Albedo changes by man: Test of climate. *Nature*, 291: 47–49.
- ROPELEWSKI, C.F. and HALPERT, M.S. (1987): Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115: 1606–1626.
- ROWELL, D.P. and BLONDIN, C. (1990): The influence of soil wetness distribution on short-range rainfall forecasting in the West African Sahel. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 116: 1471–1485.
- ROWELL, D.P., FOLLAND, C.K., MASKELL, K. and WARD, M.N. (1995): Variability of summer rainfall over tropical north Africa (1906–92): Observations and modelling. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 121: 669–704.
- SAGAN, C., TOON, O.B. and POLLACK, J.B. (1979): Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate. *Science*, 206: 1363–1368.
- SELLERS, P.J. (1992): Biophysical models of land surface processes. In TRENBERTH, K.E. ed., *Climate System Modeling*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 451–490.
- SHINODA, M. (1990a): Long-term variability of the tropical African rainbelt and its relation to rainfall in the Sahel and northern Kalahari. *J. Meteor. Soc. Japan*, 68: 19–35.
- SHINODA, M. (1990b): Long-term Sahelian drought from the late 1960's to the mid-1980's and its relation to the atmospheric circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 68: 613–624.
- SHINODA, M. (1995): West African rainbelt variation: An update to 1990. *J. Meteor. Soc. Japan*, 73: 259–266.
- SHINODA, M. and KAWAMURA, R. (1994): Tropical rainbelt, circulation, and sea surface temperatures associated with the Sahelian rainfall trend. *J. Meteor. Soc. Japan*, 72: 613–624.
- SHINODA, M., IWASHITA, H., YATAGAI, A. and GAMO, M. (1997): Use of satellite data for studying the land surface-atmosphere interaction over the African Sahel. *Proc. Int. Symp. on the Role of Remote Sensing for the Environmental Issues in Arid and Semi-Arid Regions*. Chiba Univ., 29–31 Jan., 1997: 137–142.
- SUD, Y.C. and FENNESSY, M. (1982): A study of the influence of surface albedo on July circulation in semi-arid regions using the GLAS GCM. *Int. J. Climatol.*, 2: 105–125.
- SUD, Y.C. and FENNESSY, M. (1984): Influence of evaporation in semi-arid regions on the July circulation: A numerical study. *Int. J. Climatol.*, 4: 383–398.
- SUD, Y.C. and MOLOD, A. (1988): A GCM simulation study of the influence of Saharan evapotranspiration and surface-albedo anomalies on July circulation and rainfall. *Mon. Wea. Rev.*, 116: 2388–2400.
- SUD, Y.C. and SMITH, E. (1985): The influence of surface roughness of deserts on the July circulation (a numerical study). *Bound. Layer Meteor.*, 33: 15–49.
- TUCKER, C.J., DREGNE, H.E. and NEWCOMB, W.W. (1991): Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 253: 299–301.
- TUCKER, C.J., NEWCOMB, W.W. and DREGNE, H.E. (1994): AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *Int. J. Remote Sensing*, 15: 3547–3565.
- UNEP (1991): *A New Assessment of World State of Desertification*. Desertification Control Bull., No. 20.
- WENDLER, G. and EATON, F. (1983): On the desertification of the Sahel zone. Part I: Ground observations. *Climatic Change*, 5: 365–380.
- WILLIAMS, M.A.J. and BALLING, R.C. (1994): *Interactions of Desertification and Climate*. WMO/UNEP, 230p.
- WOLTER, K. (1989): Modes of tropical circulation, Southern Oscillation, and Sahel rainfall anomalies. *J. Climate*, 2: 149–172.
- XUE, Y. (1996): The impact of desertification in the Mongolian and the inner Mongolian grassland on the regional climate. *J. Climate*, 9: 2173–2189.
- XUE, Y. and SHUKLA, J. (1993): The influence of land surface properties on Sahel climate. Part I: Dertification. *J. Climate*, 6: 2232–2245.
- XUE, Y. and SHUKLA, J. (1996): The influence of land surface properties on Sahel climate. Part II: Afforestation. *J. Climate*, 9: 3260–3275.

えられる。今後、干ばつを引き起こすと考えられる各要因（砂漠化も含めた）の貢献度を定量的に明らかにしていくためにも、衛星観測を利用して広域的な地表面状態を継続的・長期的にモニターしていくとともに、それに対応させる地上検証データも蓄積していく必要がある。

### 謝 辞

作図について岩下広和君（東京都立大学・日本学術振興会特別研究員）にお世話になった。ここに感謝いたします。

### 引 用 文 献

- 篠田雅人（1991）：熱帯アフリカの干ばつと砂漠化。「地学雑誌」**100**: 910-926.
- 篠田雅人（1994）：サヘルの干ばつは終息したか。「地理」**39-11**: 66-80.
- 篠田雅人（1995）：サヘルの干ばつにおける海水面温度と地表面被覆の影響。「地学雑誌」**104**: 592-598.
- BALLING, R.C., Jr. (1988): The climatic impact of a Sonoran vegetation discontinuity. *Climatic Change*, **13**: 99-109.
- BALLING, R.C., Jr. (1989): The impact of summer on United States-Mexico border. *J. Appl. Meteor.*, **28**: 304-308.
- BALLING, R.C., Jr. (1991): Impact of desertification on regional and global warming. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **72**: 232-234.
- BRYANT, N.A., JOHNSON, L.F., BRAZEL, A.J., BALLING, R.L., HUTCHINSON, C.F. and BECK, L.R. (1990): Measuring the effect of overgrazing in the Sonoran Desert. *Climatic Change*, **17**: 243-264.
- CHARNEY, J.G. (1975): Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **101**: 193-202.
- CHARNEY, J.G., STONE, P.H. and QUIRK, W.J. (1975): Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, **187**: 434-435.
- CHARNEY, J., QUIRK, W.J., CHOW, S.-H. and KORNFIELD, J. (1977): A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *J. Atmos. Sci.*, **34**: 1366-1385.
- COUREL, M.F., KANDEL, R.S. and RASOOL, S.I. (1984): Surface albedo and the Sahel drought. *Nature*, **307**: 528-531.
- CUNNINGTON, W.M. and ROWNTREE, P.R. (1986): Simulations of the Saharan atmosphere-dependence on moisture and albedo. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **112**: 971-999.
- DAVENPORT, M.L. and NICHOLSON, S.E. (1993): On the relation between rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa. *Int. J. Remote Sensing*, **14**: 2369-2389.
- DREGNE, H.E. and TUCKER, C.J. (1988): Green biomass and rainfall in semi-arid sub-Saharan Africa. *J. Arid Environments*, **15**: 245-252.
- FOLLAND, C.K., PALMER, T.N. and PARKER, D.E. (1986): Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901-85. *Nature*, **320**: 602-607.
- FOLLAND, C.K., OWEN, J.A., WARD, M.N. and COLMAN, A.W. (1991): Prediction of seasonal rainfall in the Sahel region using empirical and dynamical methods. *J. Forecasting*, **10**: 21-56.
- FRANCHITO, S.H. and RAO, V.B. (1992): Climatic change due to land surface alternations. *Climatic Change*, **22**: 1-34.
- GORNITZ, V. (1985): A survey of anthropogenic vegetation changes in West Africa during the last century - Climatic implications. *Climatic Change*, **7**: 285-325.
- GUTMAN, G. (1984): Numerical Experiments on land surface alternations with a zonal model allowing for interactions between geobotanic state and climate. *J. Atmos. Sci.*, **41**: 2679-2685.
- HASTENRATH, S. (1990): Decadal-scale changes of the circulation in the tropical Atlantic sector associated with Sahel drought. *Int. J. Climatol.*, **10**: 459-472.
- HASTENRATH, S. and WOLTER, K. (1992): Large-scale patterns and long-term trends of circulation variability associated with Sahel rainfall anomalies. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**: 1045-1056.
- HENDERSON-SELLERS, A. and GORNITZ, V. (1984): Possible climatic impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation. *Climatic Change*, **6**: 231-257.
- IPCC (1990): *Climatic Change, the IPCC Scientific Assessment*. HOUGHTON, J.T., JENKINS, G.J. and EPHRAUMS, J.J. eds., Cambridge Univ. Press, Cambridge, 365p.
- IPCC (1992): *Climatic Change 1992, the Supplementary Report*. HOUGHTON, J.T., CALLANDER, B.A. and VARNEY, S.K. eds., Cambridge Univ. Press, Cambridge, 198p.
- IPCC (1995): *Climatic Change 1995, the Science of Climatic Change*. HOUGHTON, J.T., FILHO, L.G.M., CALLANDER, B.A., HARRIS, N., KATTENBERG, A. and MASKELL, K. eds., Cambridge Univ. Press, Cambridge, 572p.
- JACKSON, R.D. and IDSO, S.B. (1975): Surface albedo and desertification. *Science*, **189**: 1012-1013.
- JONES, (1994): Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993. *J Climate*, **7**: 1794-1802.
- LARE, A.R. and NICHOLSON, S.E. (1994): Contrasting conditions of surface water balance in wet years and dry years as a possible land surface-atmosphere feedback mechanism in the West African Sahel. *J. Climate*, **7**: 653-668.
- LAVAL, K. and PICON, L. (1986): Effect of a change of the surface albedo of the Sahel on climate. *J. Atmos. Sci.*, **43**: 2418-2429.
- MALO, A.R. and NICHOLSON, S.E. (1990): A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *J. Arid Environments*, **19**: 1-24.
- NICHOLSON, S.E., DAVENPORT, M.L. and MALO, A.R. (1990): A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA AVHRR. *Climatic Change*, **17**: 209-241.
- NORTON, C.C., MOSHER, F.R. and HINTON, B. (1979): An investigation of surface albedo variations during the recent Sahel drought. *J. Appl. Met.*, **18**: 1252-1262.
- OTTERMAN, J. (1974): Baring high-albedo soils by overgrazing: A hypothesized desertification mechanism. *Science*, **186**: 531-533.
- OTTERMAN, J. (1981): Satellite and field studies of man's

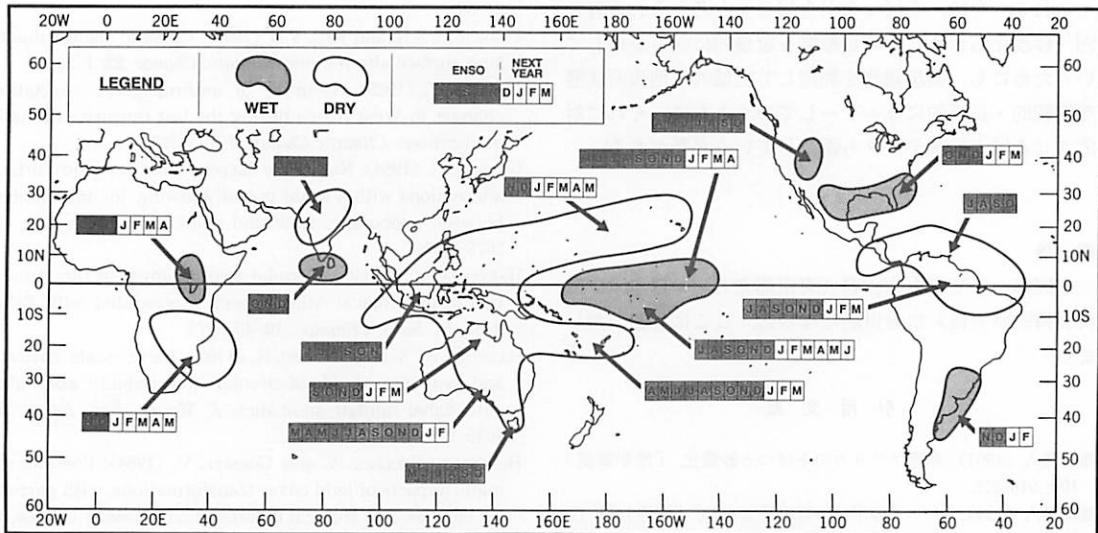


図 6. ENSO に関する降水量変動. (ROPELEWSKI and HALPERT (1987) を IPCC (1990) より引用)

IPCC (1995) では、最近の地球温暖化に関連して、サヘルを含む北半球亜熱帯でここ数十年に乾燥化が進んでいると結論づけているが、サヘルではとくに長期的に一貫した降水の減少傾向が卓越している。

このような10年スケールの気候変動を生み出すものとして、最近では海洋の役割が注目されている。すなわち、サヘルの降水の減少傾向の原因として、地表面状態の変化よりも全球規模の海面水温の変動が重要であるとする研究が近年増えてきている (IPCC, 1990)。近年の全球的な海面水温の傾向として、赤道南大西洋とインド洋の昇温傾向が認められるが (PARKER *et al.*, 1995)，これがサヘルの降水減少と関係しているらしい。HASTENRATH (1990), HASTENRATH and WOLTER (1992) は赤道南大西洋の昇温傾向、FOLLAND *et al.* (1986, 1991), WOLTER (1989) は全球的な傾向に注目しているが、SHINODA and KAWAMURA (1994), SHINODA (1995) はとくにインド洋の昇温傾向を重視している。

篠田 (1995) は、熱帶の海面水温の主要な三つの変動成分によって、サヘルの夏季降水量変動における半分以上の分散が説明できることを示し、全球規模の海面水温のほうが地域的な地表面状態の変化より重要であると結論づけている。これは、PARKER *et al.* (1988) の結果とも合致する。

さらに ROWELL *et al.* (1995) も、大気大循環モデルを用いて、海面水温による降水量の変動成分のほうが大気・陸面システムの内的変動によるものより大きく上回ることを示した。

## 6. まとめ

一般的に、世界の多くの乾燥地域では気候（とくに、降水量）の変動が大きい。アフリカ東・南部、南アジア、オーストラリア、南米にある熱帯の半乾燥地域では、数年周期をもつENSO現象がその降水量変動を支配している。1976/77年以降、とくに1989年以降、エルニーニョが頻発・持続するようになり、インドネシア・北東オーストラリアなどで干ばつとなっている。

一方、サハラ砂漠南縁地帯のサヘルでは ENSO 現象の影響は小さく、最近数十年間、降水の減少傾向が顕著である。最近の地球温暖化に関連して、サヘルを含む北半球亜熱帯でここ数十年に乾燥化が進んでいるが (IPCC, 1995)，サヘルにおける観測的研究によると、その近年の降水の減少傾向に対して、全球規模の気候システム（海面水温・大気循環）が主要な役割を果たし、砂漠化にともなう地表面状態の変化は二次的な要因であると考えられる。

一方、地表面変化に対する大気大循環モデルの感度実験によると、サヘルにおけるような地域的な砂漠化は、地表面のアルベド、土壤水分、地表面粗度を変え、地表面とその上の大気の熱・水収支に影響し、干ばつ（少雨）をもたらす作用のあることが確認してきた。しかしながら、その影響が地上観測や衛星観測のデータによって実証されてはいない。

このような乾燥地域の気候変動に対する地域的な陸面過程と全球的な気候システムの役割は、地域の自然環境条件、砂漠化の程度などによって異なるものと考

## LAND SURFACE / ATMOSPHERE INTERACTION, A DROUGHT CASE

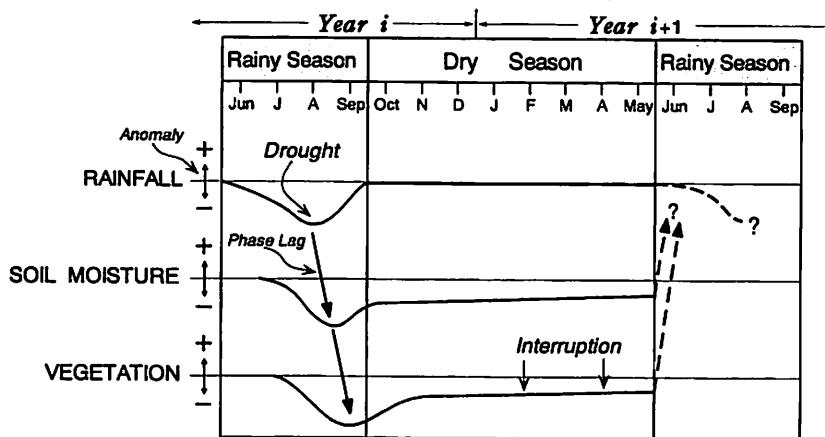


図 5. 西部サヘルにおける降雨、土壤水分、植生の間の偏差の伝播(少雨の場合)。

太線は平均的な季節変化からの偏差。少雨が土壤水分、植生に位相差をもって影響を及ぼす。植生の偏差は長い乾季を経て翌年雨季まで維持されることもあるが、翌年2、4月にとぎれる傾向がある。

砂漠化によって増加すると考えられるダストが地表面と大気のエネルギー収支に及ぼす影響は複雑であるが、一般的にはダストの層で温暖化、その下の地表面付近で寒冷化が起こる(WILLIAMS and BALLING, 1994)。地表面のエネルギー収支の大きな変化は、ダストの日射吸収によって地表面に入射する短波放射が減少することである。

全世界の二酸化炭素の増加量のうち乾燥地域からもたらされるものはその5~10%を占め、そのうち土地荒廃によるものは5%に近づきつつあると見積もられている(WILLIAMS and BALLING, 1994)。この割合は多くはないが無視できる量でもない。

## 4. 歴史文書

衛星観測以前の期間については、GORNITZ(1985)が、西アフリカにおける人為的な植生変化を文献資料から復元し、ここ100年間のアルベドの増加が最小0.004、最大0.04であると推定した。この数字はサヘルにおける近年の干ばつの変化のおよそ0.1(NORTON *et al.*, 1979; COUREL *et al.*, 1984)に比べて小さいが、世界的な変化傾向(SAGAN *et al.*, 1979; HENDERSON-SELLERS and GORNITZ, 1984)に比べると大きい。

また、GORNITZ(1985)は、上でも述べたようにサヘル地帯よりもその南に位置する湿润地域でアルベドの増加が大きいとしている。この点についても、サヘルのみでアルベドを大きく変化させたCHARNEY(1975)の数値実験の仮定と反する。

## 5. 全球的気候変動

地球表面付近の環境は、様々な要素、たとえば大気圏・生物圏・土壤圏・水圏などで成り立っている。これらは相互に関連しあって、全体としての機構を維持しながら変化している。この全体的なシステムを、大気圏を主体としてみて「気候システム」と呼ぶ。この視点は、気候変動を考えるときに重要なってくる。大気(たとえば、降水や気温)の変動の原因を探るとき、大気自身が自動的に変動している場合もあるが、時間スケールの長い変動になると大気圏以外からの影響が重要となる。とくに、海洋は地球表面の70%を占め、大気と比べて熱容量が大きく、運動にかかる時間スケールが長いため、季節を越えるような時間スケール(数カ月以上)で大気に及ぼす影響は重要である。

たとえば、全球規模の大気と海洋の相互作用のうちで最も重要な現象は、数年の周期をもつエルニーニョ/南方振動(ENSO)現象である。これは、太平洋地域を中心とする大気・海洋相互作用である。アフリカ東・南部、インド、東南アジア、オーストラリア、中南米など世界の熱帶地域の大部分で、降水量がENSOの影響を受けて大きく変動している(ROPELEWSKI and HALPERT, 1987; 図6)。ENSO現象は過去120年間で1976/77年以後、とくに1989年以後、異常な状態にあり、エルニーニョが頻発・持続するようになった(IPCC, 1995)。この影響でインドネシア、北東オーストラリアなどの多くの地域で降水が減少してきている。

一方、サヘルではENSO現象の影響は比較的小さい。

向は夏季平均気温でも認められることが指摘された (BALLING, 1988, 1989)。同様なアルベドと地表面温度の関係は、アリゾナ (JACKSON and IDSO, 1975), チュニジア南部 (WENDLER and EATON, 1983) でも観測されている。

これらの結果は OTTERMAN のものと矛盾するようにみえるが、これは合衆国-メキシコ国境ではシナイ-ネゲブ地域ほど植生の違いによるアルベド差がなく、むしろ植生の違いによる土壤水分の多少が地表面からの顯熱・潜熱輸送の配分、ひいては地表面温度・気温の低高を決めているためであると考えられる。最近では、砂漠化の気候に対する影響として、アルベドのみならず土壤水分・蒸発散などの水文過程の重要性が指摘されている。

## 2) 広域スケール

次に、広域スケール ( $10^2\text{km}$  以上) における観測的研究は、おもに衛星観測により進められてきた。サヘルにおける広域的な地表面状態の観測は、衛星データが利用可能になった1970年前後に始まった。このような解析によると、アルベドと正規化植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index) は降水量と同調して経年変動していることがわかっている。

たとえば、NORTON *et al.* (1979), COUREL *et al.* (1984) によると、アルベドは1969～1973年に降水の減少にともなって増加するが、それ以降降水が増加に転じるとアルベドも減少する。また、緑色バイオマスを示す植生指標の閾値によって定義される1981～1986年の砂漠限界は、今世紀最悪の干ばつ年であった1984年に南偏し、比較的雨の多かった1981・1985年には北上している (DREGNE and TUCKER, 1988)。このように、サヘルにおける植生指標の経年変動は降水量変動とよく対応していることが指摘されている (MALO and NICHOLSON, 1990; NICHOLSON *et al.*, 1990; TUCKER *et al.*, 1991, 1994; DAVENPORT and NICHOLSON, 1993など)。したがって、地表面状態の年々変動は、長期的に進行する砂漠化によるというよりは、降水量の多寡で決まっているものと考えられる。

以上の結果だけからすると、CHARNEY が示唆したような砂漠化と干ばつの間に正のフィードバック機構が実際に働いているということに疑問がもたれる。サヘルでは、雨の多かった1950年代から今世紀最悪の干ばつ期である1980年代前半まで、降水量が一方的に減少しているが、これに対する砂漠化の役割についてはよくわかっていない。というのも、衛星データの利用が1970年代以降に限定されていること、砂漠化に関連した地表面状態の現地観測の長期的な時系列データが存在しないことによ

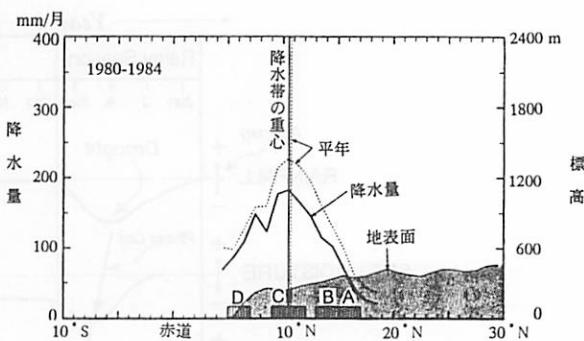


図 4. 5°W-5°E における1980-1984年、7-9月の降水量の南北断面。(SHINODA, 1995)

点線は1951-1980年の平均、A, B ゾーンがサヘル。

る。

一方、その干ばつに対して陸面過程の重要性を支持する観測事実もある。LARE and NICHOLSON (1994) は、サヘルにおいて乾燥年には蒸発散量・土壤水分量が減少し、これが西アフリカの大気循環 (対流圈中層偏東風ジェット) に及ぼす影響が小さくないことを示した。

一方、降水量の緯度分布の詳細な解析から、今世紀最悪の干ばつに相当する1980～1984年の降水帶には、その重心の緯度が1951～1980年の平均とあまり変わらないのに対し、降水量が全体的に減少していることが示された (SHINODA, 1990a, b, 1995; SHINODA and KAWAMURA, 1994; 図 4)。以上のような実際の降水の南北分布パターンは、降水帶の南偏をシミュレートした CHARNEY の結果 (図 2) と明らかに異なる。さらに、サヘルにおいて地表面状態に関する別の条件を変えた感度実験でも、同様に降水帶の南下がシミュレートされた。以上のように現実と数値実験の結果が異なる原因として、数値実験で仮定した地表面状態の変化がサヘルだけでなく、それ以南を含めた全域で起こっていること (4章参照)、あるいは現実の降水帶の全体的な弱まりが別の要因、たとえば全球的な気候変動に起因していること (5章参照)、が考えられる。

今後、砂漠化と干ばつの相互作用について詳細な実証的研究を進めるためには、衛星による地表面状態のモニターが長期的になされる必要がある。サヘルの長期的干ばつに対して、陸面過程が何らかの影響を及ぼしているかどうかを調べるためにには、次のような現象に注目していく必要がある。すなわち、ある年の雨季の降水量の多寡が陸面状態の偏差を決め、その偏差が長い乾季を経て翌年雨季まで維持され、翌年雨季の降水に何らかの影響を及ぼすというメカニズムである (SHINODA *et al.*, 1997; 図 5)。

1985; NORTON *et al.*, 1979) に比べるとかなり大きい (篠田, 1991, 1994). また, CHARNEY (1975) の数値実験でアルベドを変化させた地域設定についても, 4章で述べるように問題がある (篠田, 1991). ③土壤が最大限含みうる含水量について, 全世界で同一値がとられているが, 実際には各地域で異なっていると考えられる.

④蒸発散量の計算方法が不適切で, 湿潤地域のそれが過大評価であること.

①について, 地表面状態の各特性値の変化をできるだけ実際の砂漠化現象に合致させ, 首尾一貫させることのできる生物物理学的モデルの構築が望まれていた. このような視点から, 植生・土壤タイプごとに決められた各特性値を同時に変化させた数値実験が行なわれるようになった (XUE and SHUKLA, 1993, 1996; XUE, 1996). その結果, CHARNEY の数値実験でも認められたような降水帯の南下と, それにともなうサヘルの降水の減少がシミュレートされた (XUE and SHUKLA, 1993). しかしながら, XUE and SHUKLA (1993) の数値実験にしても, 地表面状態の各特性値の変化量・変化地域が, 現実のものと比べて過大評価となっている. したがって, モデル研究では, 特定の乾燥地域の砂漠化がどの程度干ばつの発生に影響を及ぼしているのかといった定量的な議論をする段階には達していないのが現状である.

現在のところ, 陸地面積のおよそ 1/4 に相当する地域において砂漠化が進行しているといわれる (UNEP, 1991). 特定の地域だけでなく, このように全球的な地表面状態の人為的改変が地球大気に及ぼす影響が, 3 次元の大気大循環モデルよりも単純な鉛直1次元あるいは南北-鉛直 2 次元のモデルによって調べられてきた. しかしながら, 研究によってアルベド変化の見積もりがまちまちであり (SAGAN *et al.*, 1979; HENDERSON-SELLERS and GORNITZ, 1984), さらに, モデルによって気温低下量の推定も異なっている (SAGAN *et al.*, 1979; POTTER *et al.*, 1981). このように, 現段階では広く認められた結果が得られていない.

GUTMAN (1984), FRANCHITO and RAO (1992) の南北-鉛直 2 次元モデルによると, 砂漠化・熱帶雨林伐採による地表面状態の変化において, 蒸発散量の変化のほうがアルベドの変化よりも気温に及ぼす影響が大きいことが示されている. 今後, 全球的な視点からのモデル研究においても, アルベドのみならず土壤水分量・蒸発散量, 地表面粗度をあわせた変化に対する感度実験が望まれる.

過去100年間の全球的な気温上昇は 0.3~0.6°C である (IPCC, 1990, 1992, 1995). JONES (1994) によると,

1901~1993年に陸域全体で気温の上昇は 0.44°C であるのに対して, 乾燥地域ではそれより大きい 0.62°C の気温上昇が認められる. 乾燥地域の気温上昇は, 中・北部アメリカで最も大きく (約 0.8°C), 南米で最も小さい (0.3°C 強). 乾燥地域で大きいこの気温上昇が, 温室効果気体によるものか, 乾燥地域の砂漠化によるものか (BALLING, 1991), あるいは両方であるのか, 確固たる証拠はない.

大気大循環モデルによると, 温室効果気体の増加によって, 乾燥地域 (特に中高緯度) で全季節にわたって気温が上昇することが予測されている (IPCC, 1990). 降水量の変化の地域的な予測は難しいが, 気温上昇で蒸発量も上昇することを考えると, 大幅な降水量の増加がない限りは乾燥地域はさらに乾燥することが予想される (WILLIAMS and BALLING, 1994). ただし温室効果気体の他に, 近年増加している硫酸エアロゾルを考慮した最近の実験では, 温室効果気体のみを扱った実験 (IPCC, 1990) と比べて観測値との対応がよく, 気温上昇, 降水量上昇の程度は小さくなる傾向がある (IPCC, 1995).

### 3. 観測事実

次に, 乾燥地域における地表面状態の観測的研究を概説し, 上述したモデル研究との整合性について議論する.

#### 1) 局地スケール

局地スケール ( $10^2 \text{ km}$  以下) における観測的研究は, 現地観測, 航空機観測, 衛星観測に基づいて行なわれてきた. OTTERMAN (1974) は, 航空機による地表面の放射温度観測により, 過放牧により形成された中東, シナイの高アルベド域で低温, 一方シナイに隣接するが過放牧の影響が少ないネゲブの低アルベド域では高温になることを示した. さらに, OTTERMAN (1981) は, Landsat の MSS (Multispectral Scanner System) データを用いてシナイとネゲブのアルベドを比較し, 地表面状態の人為的改変によってシナイでアルベドが 0.28 から 0.45 に增加了としたとえた. さらに, OTTERMAN (1989) は, 高アルベドが大気への顕熱・潜熱輸送の総量を減少させることを示した.

一方, 合衆国とメキシコの国境に沿って過放牧の程度が大きいメキシコ側では, 合衆国側よりおよそ 0.01 大きいアルベドが観測されている (BRYANT *et al.*, 1990). Balling らの一連の研究によると, 降水直後は両地域の地表面温度・気温の違いは明瞭でないものの, その後数日するとアルベドの大きいメキシコ側でそれらが高くなること (BALLING, 1989; BRYANT *et al.*, 1990), この傾

発と植物からの蒸散をあわせたもの)して大気にかえる水蒸気が減少する。そのために、凝結して降ってくる雨も減る。熱収支をみると(図1-b), 蒸発散, すなわち潜熱が減り, その分だけ長波放射と顕熱が増える。また, 砂漠化により植生地が裸地化すると, 地表面粗度, すなわち地表面の摩擦が減少し, 下層大気の収束量, すなわち降水が減少する(図1-c)。この場合, 热収支の各項は変わらない。

CHARNEY *et al.* (1977) では, 世界の乾燥・湿潤地域でアルベドを変化させた実験を蒸発散の二つの計算方

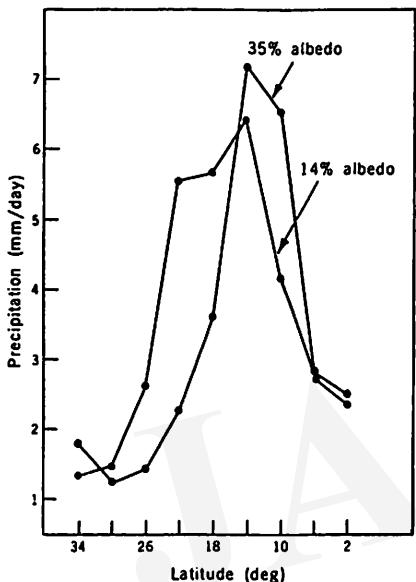


図2. 大気循環モデルによってシミュレートされた降水量の南北断面(サヘル(16–20°N)のアルベドを14%から35%にした場合)。(CHARNEY *et al.*, 1975)

法で行なった。一つの蒸発散の計算方法が過大評価, もう一つが過小評価する傾向があるが, 両者の結果の比較から, 降水量の減少に対して, 砂漠化にともなう蒸発散量の減少はアルベドの増加と同様に重要であることが示唆された。

サヘル及びサハラ地域における, 土壌水分量・蒸発散量(SUD and FENNESSY, 1984; CUNNINGTON and ROWNTREE, 1986; SUD and MOLOD, 1988; ROWELL and BLONDIN, 1990など), 地表面粗度(SUD and SMITH, 1985など)の変化が降水量に及ぼす影響について, 大気循環モデルを使った多くの数値実験によって調べられてきた。CHARNEY以後のモデル研究によると, 砂漠化にともなう土壌水分量・蒸発散量の減少と地表面粗度の減少が, それぞれ降水を減少させる効果をもつことがわかつってきた。

以上のように砂漠化が干ばつをもたらす可能性のあることが, 大気循環モデルによる数値実験によって定性的に示されている。しかしながら, おもに1980年代中頃までに行なわれた地表面状態の変化に対する大気循環モデルの感度実験にはいくつかの問題点が指摘されており, それらは次のようにまとめられる(SELLERS, 1992)。

- ①砂漠化にともない同時に変化する地表面状態の各特性(アルベド, 土壌水分量・蒸発散量, 地表面粗度)がそれぞれ別々の境界条件として, 別々に数値実験が行なわれていること。
- ②非現実的なアルベド・地表面粗度の値が用いられていること。たとえば, CHARNEYの仮定したアルベドの変化は, 热帯雨林(0.14)を砂漠(0.35)に変えたような変化に相当し, 実際に観測される経年変化の幅のおよそ0.1(COUREL *et al.*, 1984; GORNITZ,

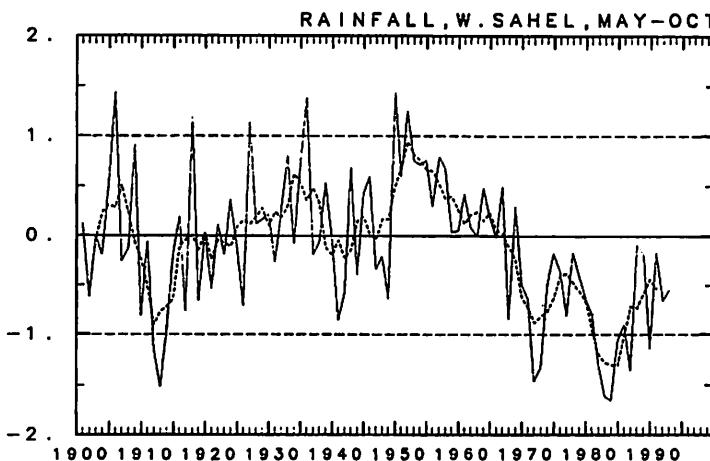


図3. 西部サヘルにおける5–10月の降水量偏差(篠田, 1995)。破線は5年の移動平均。1950年代から1980年代中頃まで降水の減少傾向が認められる。

### 典型的な亜熱帯の熱収支

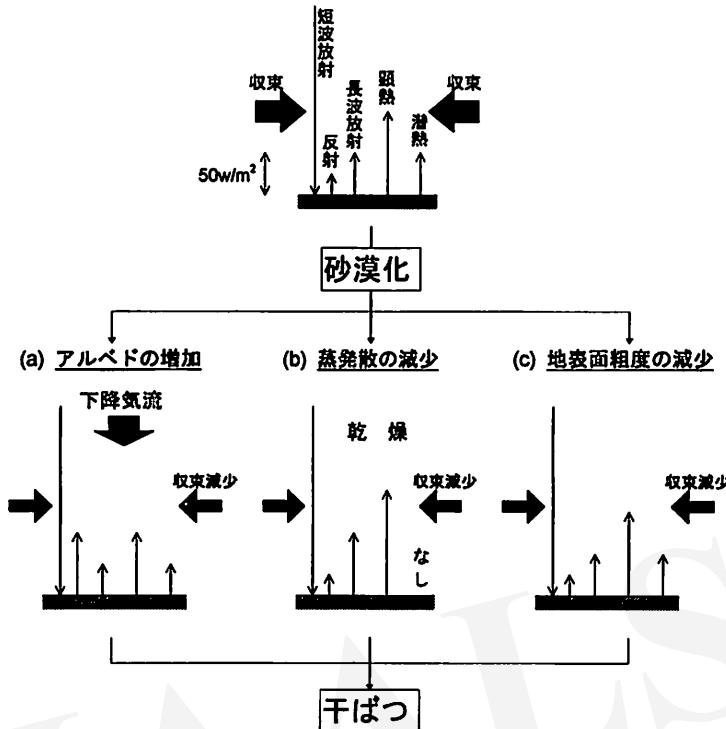


図 1. 热収支・大気循環に及ぼす砂漠化の影響（典型的な亜熱帯の例）。

（a）アルペドの増加は、短波放射の吸収量を減少させる。

（b）蒸発散量の減少は、大気の水蒸気量を減少させる。

（c）地表面粗度（摩擦）の減少は、大気の収束量を減少させる。

ことである。このモデル大気に、大気下部の境界条件として砂漠化したときの地表面状態を与えたとき、大気がどう応答するかということを調べる感度実験が行なわれてきた。

サハラ砂漠のアルペドは約0.35、熱帯雨林の場合は約0.12である。乾燥地域で砂漠化が生じると、植生が乾燥・減少したり裸地が露出することで、アルペドが大きくなる。CHARNEY (1975), CHARNEY *et al.* (1975) は上に述べたモデルを用いて、西アフリカのサヘル地帯 ( $16\text{--}20^\circ\text{N}$  の緯度帯) のアルペドを0.14から0.35に変化させた数値実験を行なった。すると、サヘルではアルペドが増加したため、地表面に吸収される短波放射が減少し、長波放射・顯熱・潜熱として大気に与えられるエネルギーの総量も減少する（図1-a）。その結果、地表面とその上の気柱の全体的な温度が下がるため、上昇気流とそれにともなう下層大気の収束が抑えられ、降雨が減少する。

この数値実験により、降水帯の南下とサヘルにおける降水の減少がシミュレートされた（図2）。この数値実

験では、サヘルの砂漠化によるアルペドの増加が降水量の減少をもたらし、その結果ますます砂漠化と干ばつが加速されていく可能性が示唆された。このように、ある方向の変化を強めるような作用のことを正のフィードバックという。このメカニズムによって、近年におけるサヘルの降水量の減少傾向（図3）を説明できると考えられた。

これ以降、別の大気循環モデルによって、アルペドの増加に対する感度実験が多数行なわれてきたが (SUD and FENNESSY, 1982; LAVAL and PICON, 1986; CUNNINGTON and ROWNTREE, 1986; SUD and MOLOD, 1988など)，サヘルで降水量の減少がみられる点については、定性的にCHARNEYと同様な結果が得られている。

実際の砂漠化では、アルペドの増加ばかりでなく、土壤水分量・蒸発散量の減少と地表面粗度の減少が同時に起きる。すなわち、砂漠化により植生や土壤が失われるとなつて、土壤水分として土壤中に保持されず、多くは流出してしまうため、そこで蒸発散（土壤面からの蒸

## 砂漠化の気候に対する影響：概説

篠 田 雅 人\*

### 1. はじめに

砂漠化とは、「乾燥、半乾燥及び乾燥半湿润地域における様々な要因（気候変動及び人間の活動を含む）に起因する土地の劣化」である。この定義は1992年、国連環境開発会議（別名、地球サミット）で採択されたアジェンダ21のなかに記述され、砂漠化防止条約にも採用されている。この定義とそれ以前の定義を比較した場合、自然的要因の変動、とりわけ干ばつの砂漠化への影響が含まれたことが特徴である。

ところで、砂漠化の原因は大きく気候的要因、人為的要因とに分けることができる。気候的要因とは地球規模での大気循環の変動などをさし、人為的要因とは過放牧、過耕作など当該地域の生態系の許容範囲を超えた人間活動であり、その背景には貧困、人口増加といった社会経済的な要因がある。

砂漠化の影響を受けている土地の面積は約36億ヘクタールで、これは世界の耕作可能な乾燥地域（乾燥、半乾燥、乾燥半湿润地域の合計）約52億ヘクタールの70%、地球の全陸地の25%に相当する（UNEP, 1991）。砂漠化の広がりを地域別にみると、アフリカで約10億ヘクタール、アジアで約13億ヘクタールと、両地域で全世界の砂漠化の影響地域の2/3を占める。このような砂漠化は農業を中心とする人間活動に大きな影響を及ぼす。これを砂漠化の直接的影響であるとすると、砂漠化が気候を変更し、この気候変化がさらに砂漠化を進行させ人間活動に作用するという間接的影響も考えられる。

本論では、このような砂漠化が、大気・陸面相互作用を通して気候に及ぼす影響についての研究を概説し、将来への展望を述べる。

陸面は地球表面の約30%を占め、大気との間で水、熱、運動量の交換、すなわち大気・陸面相互作用を行なっている。地球表面の残りの70%を占める海洋と比べると、陸面での交換過程は陸面状態に大きく依存している。たとえば、陸面の乾湿によって蒸発量が変化する。また、陸面を構成する植生・土壌の特性によって、アルベド（日射の反射率）、すなわち日射の吸収量が変化する。

これに加えて、陸面は人類史において人間の生活舞台

となってきたため、陸面状態は人為的改変を受け続け、その影響の程度が様々であるため、大気・陸面相互作用もますます複雑なものとなっている。本論では、この点に関連して、特に乾燥地域における砂漠化の問題について述べる。

砂漠化のなかでも気候に影響を及ぼす重要な現象として、地表面状態の改変とそれにともなう大気組成の変化があげられる。地表面状態の改変とは、土壤構造の破壊、風・水による土壤侵食、土壤の塩類化、土壤水分の減少と表面流出量の増加、植物の種多様性・生産性の低下、すなわち土壤・植生の荒廃現象を示す。また、大気組成の変化とは、バイオマスの燃焼による微粒子・トレースガスの放出量の増加、大気中のダスト量の増加を意味している。

以上のような砂漠化にともなう変化は、地表面のアルベドと大気中の微粒子を増加させ、地表面粗度（地表面の粗さの程度）と土壤水分を減少させる。これらは地表面とその上にある大気におけるエネルギーの収支に作用し、最終的にはそこに干ばつ（異常少雨）を発生させる可能性がある。そこで、砂漠化が干ばつを引き起こす可能性について、これまでの数値モデル研究、観測的研究で明らかにされていることを整理する。

### 2. 大気大循環モデルによる数値実験

まず、典型的な亜熱帯における熱収支をみると（図1）、太陽からの短波放射が入射し、その一部分が反射される。反射の割合（アルベド）は先に述べたように陸面状態に左右されている。入射した短波放射から反射したものと差し引いたものが地表面に吸収されるエネルギーである。吸収されたエネルギーは長波放射、潜熱（熱伝導と対流によって輸送される熱）、潜熱（おもに水の蒸発・凝結にともない吸収・放出される熱）に分配されて地表面から大気に与えられる。4 μmを境に波長の長い放射を長波放射、波長の短い放射を短波放射という。地表面に入るエネルギーと出していくものは等しい。

大気大循環モデルとは、大気状態を气温や風などで表現し、これらの気象要素を物理法則にしたがって時間的に変化させ、大気状態をシミュレートする数値モデルの

\* 東京都立大学理学部地理学教室

(受付：1996年12月20日、受理：1997年1月17日)

## 変貌する農業社会における砂漠化防止とリスク管理 —サヘルの場合—\*

ロイ・A・ステイシイ\*\* セルジュ・セヌレッシュ\*\*

この論文は、「サヘルにおける農業変革」と題するCILLS（サヘル干ばつ対策国家間常設委員会）—サヘルクラブ共同ワーキンググループの研究活動で得られた予備的成果<sup>1)</sup>に基づいて書かれている。それは、ワーキンググループ活動の一環として行われた農村居住者のミクロ原理に関する野外調査の広範なレビューを通して西アフリカ長期展望研究（WALTPS）が明らかにしたマクロ経済的課題に基づくものである。

マクロ傾向とローカルな振る舞いとは、同時にかつ急速な早さで変貌している。生産システムにおける主要な決定要因（土地への圧力、市場へのアクセス、気候のリスク、技術へのアクセス、農業外労働市場など）は、サヘル地域を通してさまざまな様相を呈して変貌し、多様な状況をもたらしており、このことがサヘルにおける農民問題の統一的な解決を困難なものにしている。

サヘルにおける農業発展については、性質の異なるいくつかの課題がある。中心的な課題は、農業収入（広義の意味の）の増大を計ることである。しかし、この中心的課題の解決が最も乾燥した地帯（牛牧畜の場合を除いて、気候リスクの制約のため市場効率が満足できない）や、貧困層（市場インセンティブへの対応を可能ならしめる生産因子へのアクセスを持たない人々）の問題、あるいはシステムの長期的変動の問題の解決に自動的につながる訳ではない。なぜなら、多くの農村開発計画の時間的枠組みはごく短いからである。

マクロレベルの対応（国家政策または援助）は、二つの問題に直面している。その一つは、上述の四つの課題に対して同時にかつ理路整然とした解答を用意することである。これまで、これらの問題は別々に取り扱われることが多かった。そのため、例えばクレジットと土地制度のように、一つの問題への対応が他の問題に不都合を生むことがあった。もう一つの问题是、広く分散している農村人口を網羅する手段をどのようにして見い出すかということである。サヘル地帯の農村では、3,500万の人々が5万以上の村に分散して生活していると推定される。この調整課題は、公共サービス、民間企業、NGO、地方の協同組合、農民組合など、いろいろなサービス提供者間の熾烈な競争の場となっている。こうした行動は、将来的には、すべてのサービス提供者の効率と信頼性の向上を刺激する競争原理に基づく市場的展望に立って管理されるべきであろう。

しかし、多様なサービス提供者と財源があるにもかかわらず、マクロレベルの能力をミクロ傾向に転換するには限りがある。こうした傾向のあるものは十分ではないとはいえ、それらは逆らうことが困難な現場における強力な民間原理を反映しているものと思われる。農民にとって利用可能な広範な技術的・財政的解決を計ることによってのみ、彼らの目的にしたがって彼らの個別の選択を最大化することが可能になろう。つまり、中期的にみてより大きな持続性に到達することができよう。サヘルの農村社会の変貌をよりシステムティックに理解することにより、最近のダイナミックな変貌の中で来るべき好機を明らかにし、こうした好機を利用するためには必要なツールを準備することができよう。

1) セルジュ・セヌレッシュ著、JICAパリ事務所訳（1994）：『西アフリカの未来に備えるために2020年に向けた展望—西アフリカ長期展望研究の総論—』OECD/サヘルクラブ、79 pp.

キーワード：サヘル、構造変化、砂漠化、リスク管理、パートナーシップ

\* 招待論文。「砂漠化防止対策シンポジウム—地球環境への取り組み—緑豊かなサヘルをめざして」（1996年10月17日、東京、農用地整備公団主催・日本沙漠学会等後援）発表論文に基づく。（訳注：H. K.）

\*\* 経済開発協力機構（OECD）—サヘルクラブ

（受付：1997年1月3日、受理：1997年1月17日）

- "Promotion de systèmes agricoles durables dans le pays d'Afrique Soudano-sahélienne", 205-217.
- SNRECH, S. and de LATTRE, A. (1994): *Pour préparer l'avenir: une vision de l'Afrique de l'ouest l'horizon 2020*. Club du Sahel-OCDE, CILSS, Cellule Cinergie (BAD).
- SNRECH, S. (1996): *Etat des réflexions sur les transformations de l'agriculture au Sahel*. doc sah/D (96) 451.

priority over responding to needs at an artificial pace. They must therefore support local dynamics without monopolizing them in the pursuit of their own objectives.

- Equally, lowering transaction costs and improving economic efficiency is not possible without a better functioning judiciary or economic regulation system on a national scale. There again, the virtue of policies cannot be imposed from the outside, but aid, through its strong presence among public and private actors, does have a role to play: it must endeavor to establish a dialogue and the co-management of policies in conjunction with the major interest groups.
- Finally, should it be true that the current transition phase is the time for a fundamental readjustment of social relations with the emergence of new, more commercial relations (a labor market, the rental of equipment among farmers, the sale of land), then donors, one of whose main justifications is still ethical, are badly placed to decide which direction these developments should take, even assuming that they can influence them. Without taking sides, what aid can do is to popularize widely all the social innovations that can be seen throughout Africa and elsewhere in their diversity, in order to stimulate a domestic debate on favorable developments in each group or each society.

## 5. Conclusion

In this article, we show that structural transformations are taking place at a rapid pace in the Sahel and the West African rural world. Some of these transformation are positive, some seem rather negative, but most of them are deep-rooted in the structure of Sahelian economies and societies. As one of the primary justifications of aid is ethical, outsiders are often tempted to attack directly what they see as the most adverse effects of development: environmental degradation, desertification and marginalization of the poorer people or the weakest groups...

While these are real issues of concern, one must not forget the systemic nature of development, and should look to the roots of these

problems rather than to their most visible effects. In the transformation process underway, there are undoubtedly some losers, and some traditional systems are probably condemned. But this is not a reason to attempt to stop these evolutions, which, in any event, is probably not possible: the same transformation that creates social and economic problems provides new opportunities. It is in the context of these new opportunities that sustainable solutions have to be found for environment and desertification, as well as for poverty.

In this respect, Aid's comparative advantage lies probably more in encouraging the emergence of a wide variety of new opportunities, adapted to different social groups and helping to mitigate risks, than in addressing the most visible manifestation of the problems.

## References

- CHALÉARD, J.-L. (1994): L'essor du vivrier marchand: un contre-modèle aux marges du modèle ivoirien. In "Crise, ajustement et recompositions en Côte d'Ivoire: la remise en cause d'un modèle" Colloque international, Abidjan, nov. 1994.
- GUYER, J.I. and LAMBIN, E.F. (1993): Land use in an urban hinterland: Ethnography and remote sensing in the study of African intensification. *Amer. Anthropologist*, 95: 839-859.
- GOLDMAN, A. and SMITH, J. (1995): Agricultural transformation in India and northern Nigeria: Exploring the nature of green revolutions. *World Development*, 23: 243-263.
- HOPKINS, J. and BERRY, P. (1994): *Determinants of Land and Labor Productivity in Crop Production in Niger*. IFPRI.
- MORTIMORE, M. (1993): The intensification of peri-urban agriculture: The Kano close-settled zone, 1964-1986. In TURNER, HYDEN and KATES eds., *Population Growth and Agricultural Change in Africa*, University Press of Florida, Gainesville, USA, 358-400.
- NINNIN, B. (1994): Géographie économique du milieu ouest-africain: Marchés, peuplement, agriculture, routes. Eléments de modélisation 1960-1990. *Document de travail n° 4*, WALTPS, Club du Sahel-OCDE, 107pp.
- READON, T. (1994): La diversification des revenus au Sahel et ses liens éventuels avec la gestion des ressources naturelles par les agriculteurs. In

fewer partners and have made less progress in implementing the Convention (Mauritania, Niger).

- Make a special effort to adapt the international instrument that the Convention represents to extremely diverse national situations: clearly, the dry zones do not have the same importance in all countries as they do in the CILSS. In some cases, they cover the whole country, while in others they are marginal zones within a large geographic ensemble: the debate over the priorities for interventions, like the methods of intervention, cannot be achieved in the same way in these two figurative examples. When the groups in the dry areas constitute a minority that is clearly delineated from the majority groups (e.g., the Touareg), it is questionable whether national dialogue will spontaneously take into account the specific problems of these areas.
- Limit the thematic and geographic range of programs, but commit first of all to a long term continuity of effort. The vulnerable groups could find their situations even more precarious if there were a sudden interruption in the support they receive.

#### Promote the dynamic elements that create wealth and jobs

It seems that general economic growth is still the first and the best response to all the other problems in the long term. There is unfortunately no formula to ensure such growth, even if the extreme deprivation of Sahelian populations shows that there is a sizeable level of growth to be achieved, simply in satisfying their basic and relatively simple needs: food, lodging, clothing, transportation, health. If the export of agricultural products is an important engine of growth, growth will come first of all from the mutual domestic exchanges within these societies; diversified domestic and international markets will also improve ability to withstand external (macroeconomic) and internal (climatic) shocks. When the whole society is engaged in the same activity, you can expect little from your neighbor in time of crisis and it becomes "everyone for himself". If, by contrast, all actors exchange, buy and sell

products with one another, the complementarities and interdependencies will come into play more easily in times of crisis.

Agricultural policies, but other economic development policies as well, must take care to promote this complementary exchange, and the increasing complexity of the economies of the Sahel region, which sometimes also require a rethinking of trade policies in the developed countries. In this sense, if numerous voices are making themselves heard in the developed countries to challenge the export of subsidized agricultural products (rice) or inferior ones (bad cuts of meat) which compete unfairly with African agriculture, if rationalization measures are undertaken to regulate food aid practices, they are much less numerous to underline that the charitable donations of used clothing and shoes are strangling just as surely agricultural producers by eliminating their main potential clients: the mass of craftsmen who would otherwise provide these basic goods. One very concrete and not very expensive step to take toward the development of the Sahel would be to do away—under international wastes legislation—with the products that have no value in their country of origin but are substituted for local production in the Sahel, and to ban them from international trade.

On this general theme, it therefore seems desirable to:

- Encourage the flexibility and adaptability of economic actors: aid can play a large role by developing infrastructure (roads, markets, telecommunications) and supporting research to enable them to offer a wide choice of products and techniques to entrepreneurs, and by encouraging, by training, the circulation of knowledge.
- The capacity to respond also depends on the development of professional intermediaries, private or cooperative, for the major services —upstream and downstream—of production (agricultural counseling, credit, supplies, marketing). Aid is clearly not neutral in the development of these structures, to which they often contribute funding. But donors must demonstrate patience and modesty, and realize that establishing capacities must take

There is, thus, a permanent risk of letting the debate slip into the issues surrounding the interventions (who? what? how? with what remuneration?) and not on the synergies and compromises that need to be found among national interest groups.

- On the one hand, the international community cannot promote the establishment of national democracies in the Sahelian countries (and sanction those who intend to oppose it, e.g. Niger and The Gambia last year), and on the other hand organize representative forums to decide rural development priorities in a totally exogenous way. In countries where the rural sector represents on average half the economy and three quarters of the population, and where aid is a significant percentage of GNP, there is a real risk of seeing this process substituted for national authorities. The latter, who are democratically elected for the most part, pride themselves on the fact that they represent the various national elements in all their diversity, comprising diverse regions and social groups in the rural areas. The rural areas are still too important in population and economic terms for their destiny to be decided by anything other than national representation.

In both cases, direct organization of the debate by external partners slows down the process of learning about democratic negotiation of shared interests within the national framework. It also biases the results of these negotiations, by the expected financial support, towards donors' priority. In this area, it is therefore urgent to proceed slowly, while establishing solid bases. External interventions could take several directions:

- Strengthening the formation of and the information of the various interest groups in order to gain a shared understanding of each group position and perspectives; this information must be simple, accessible, and diversified.
- Encouraging the various interest groups to organize themselves to defend their interests, and training them in negotiating techniques.
- Encouraging the dominant powers and

groups to negotiate and co-manage and eventually making offers of aid conditional on an openness to these techniques.

#### **Offer long term support to the most vulnerable regions and groups**

There are, in the Sahel, certain regions or groups whose situation is especially precarious and who have very little hope of improving their situation by the sole mechanism of the market, even if they benefit temporarily. We underlined previously that these might be geographical regions (particularly the most drought-prone and the most remote zones) or social groups. One of the major justifications for aid is to support these groups, but this support often meets with great practical difficulties.

In fact, the destiny of the most vulnerable social groups seems to be inextricably linked to the general development process in the Sahel. It seems particularly difficult to conceptualize programs that are adapted to the needs of these groups and the scale of their problems -- programs that should be able to reach several million people at once. In this area, there is a higher risk of producing "cosmetic" projects, which are satisfying in principle more than they respond effectively to the problems.

On the other hand, targeted interventions seem easier in the arid zones because the problems are more focussed geographically, their problems reach the entire population of these zones and they carry limited demographic and economic weight in most countries.

Action in the areas that suffer from drought has long been discussed under the auspices of the United Nations Convention to Combat Desertification (CCD). In the light of the preceding comments, it seems to us that those responsible for implementing the CCD in African countries, as well as international partners, have to:

- Reflect seriously on the information and methods required to identify the countries and, within them, the target groups or areas, and the best ways to give them structural support. It appears today that some countries that have the largest percentage of dry zones are also those that, for various reasons, have

contrast with export products for which there is shared interest in the country, agricultural producers are in competition with each other for small food markets: the support of an official channel or a given region sometimes translates into recapturing the markets and increased consumption, but this applies equally to sharing parts of the markets of other regions.

#### **An eminently political problem**

There are numerous mediators of the transfer between the international community (or within the national communities) and the rural sector, and they have different perspectives: some are just emerging, while others are stagnating or in decline. The forms of mediation have objectives that are at once economic (they absorb a very significant part of financing in rural areas) and political (they can allow access to rural areas, which host the majority of the population in all Sahelian countries). The presence of certain types of mediators clearly determines part of the supply of cooperation.

We are not trying to resolve whether some forms of mediation are better than others, a frequent temptation among analysts and aid agencies. Rather, we must strive to organize positive competition among the various service providers, based on a certain quality of the services provided, and encourage a certain restraint on the part of the recipients of services, who should adapt their financing to the real managerial abilities of the intermediaries chosen. Only the development of a supply of diversified and high quality mediation will respond to the diversity of situations, in the short and in the longer term. Monopolies and exclusions in mediation must at all costs be avoided: the NGO-only approach is as counterproductive as the market-only or the State-only approach.

For the moment, the supply of services is still highly variable, the structures abound and "everyone claims to be doing everything". The use of intermediation services must take care to ensure that this supply progressively becomes more professional, more adapted to the needs of some of the end users (which are often quite precise) rather than those of the donors

(which are often very broad). To the extent that solvency (and thus payment of the intermediary) at present resides with the donors, this "sensitivity to the demand" presupposes that the donor encourages the intermediary to submit to this discipline.

#### **4. The Implications for Interventions in Rural Development**

##### **Help the various national interest groups negotiate rural development priorities amongst themselves**

The tasks to confront in the rural development process are enormous, and the human and financial resources are limited. This is why there is clearly a need for a strategic rethinking of the whole rural development process in the Sahelian countries and its priorities in the medium to long term. However, the existing bodies (CCD fora, NEAPs, ASAP) are both too narrow in sectoral terms (they do not simultaneously take into account territorial, demographic, environmental, economic, institutional, and social objectives) and, above all, too exogenous, having been created more to negotiate the forms of external support than to debate priorities among national interest groups.

The international community is pressured by the recognized urgency problems to solve in African agriculture and by its public opinion, which is sensitive to the striking images of poverty and under-development. It is also more and more conscious of the need to respond to the priorities expressed within the societies that can most effectively gage them. This being the case, the temptation is great to organize in a voluntary way participatory forums to debate aspects of rural development and negotiate ways of supporting the process. This temptation, however, raises two major risks:

- The first is that obtaining external financing will take priority over negotiating internal compromises. With the exception of the cotton regions, the challenges around which the economic players are likely to mobilize themselves will have a limited financial magnitude. The largest part of external financing will go towards the costs of intermediation.

with rural development:

- By definition, they ensure total and relatively homogenous coverage of the territory, which is not the case of the NGOs.
- They are specifically adapted to managing basic public services, those that are the closest at hand.
- They allow interventions to be targeted spatially (specific services aimed at local collectives in the arid zones or those that are especially disadvantaged).
- They can ensure local jobs in public works (a kind of rural agétip).

Local collectives are thus promising partners in rural development, especially for public or social services or infrastructures. Although their role, by all accounts, is probably going to be very significant in the medium term, there are still unknown factors regarding the role they may actually play in the short term:

- It is generally considered that they must seek to become self-financing through local taxation. However, many analysts think that such financial autonomy will take time to establish, and that the budgets of local collectives are going to be dominated by external contributions (from the State or the international community) for a long time. This underlines once more the risk that external financing will override internal priorities.
- The State and the administration, while recognizing the need for decentralization, obviously also recognize the risk for their own power, whether at the fiscal level, that of territory, or the control they have over the market for partnerships with the international community. The more rights and prerogatives given to the collectives, the more the power of central governments and their administrations will be limited, something that the latter will not necessarily see in a positive light. There is also a noticeable reluctance to implement the measures and a vague inclination to maintain forms of administrative *a priori* control while arguing that these organizations lack maturity.
- It is not always easy to find a compromise between the size required to ensure that local collectives have a minimal economic and human base (which militates in favor of the

multi-village collectives), but limited enough to maintain a strong ownership, which is one of the strengths of local collectives and favors those restricted to one village.

- In all cases, the economic and human potential of local collectives is very heterogeneous. The further that decentralization is pushed, the more the inequalities between regions will appear. The capacity to manage locally is a real asset, even if not very visible, but the initial endowment varies widely and its formation can be a long process. This only makes it more urgent to act rapidly.

### **Professional agricultural organizations**

In contrast to the collectives, professional agricultural organizations are more focused and more selective. They are just starting to get organized, and they generally emerge around places or products for which there is a need for negotiation. The case of cotton in Mali, for example, is an extreme case where there was at once a strong increase in economic value, and one single interlocutor—technical and commercial—facing the farmers: the CMDT. However, even in the southern cotton region of Mali, more than 20 years passed between the creation of the first village association to distribute inputs and collect cotton locally, and the creation, in 1991, of the cotton and food products growers' union in the same region, the Sycov. We find, although on a smaller scale, this type of determination when it is necessary to deal with constraints to the expansion of products with a high value-added (cotton, cattle) or are more capital intensive, requiring practical negotiations with public authorities (e.g., allocation of water and royalties in irrigated zones).

Progress is more difficult in areas dominated by food producers, where markets are less structured, the actors numerous and the practical challenges of the organization less tangible. In this case, the professional organization is often the focus for mediating outside support to technical constraints (support for supplies, new entrants, stocking, for processing and marketing, campaign credit and equipment). The creation of the organization is thus more exogenous and its viability more precarious without external intervention. Moreover, in

particularly weak connection with the market and have nothing – sometimes not even their labor – to sell, are marginally affected by market mechanisms. The arid zones are penalized by the fact that the climatic risks can weigh, directly or indirectly, on all economic activity. Moreover, even if the demand of some of the rural population increases rapidly, this demand will still be modest and often diluted over vast areas. This makes it even less attractive to those supplying services, so some solvent demand remains unsatisfied by the market.

Despite its limitations, the market is still a decisive force in the development of the rural areas of the Sahel. Institutional economists have shown that the market is not a “neutral” force but an institution that is (for better or worse) managed by public authorities to modulate the power struggle among economic actors and to promote certain groups or developments over others. In this light, the approach of the market in Africa is still very innocently liberal, too mechanical and not political enough: we must think about the direction to be taken by institutions that control the markets, to adapt them to changing opportunities and to evolving challenges, current and potential, of the Sahel economy, while continuously optimizing their contribution to development.

### **Scientists and other producers of knowledge**

Scientists do not, *per se*, provide an interface between the macro and local players. However, it is clearly part of their mandate to give an outlook on the local situation to national decision-makers. On the whole, this mandate is not completely fulfilled: most published research is very focused (by area or subject of study) and there are few syntheses that can inform the debate on the directions to give policies by describing overall rural dynamics in a systemic way.

### **NGOs**

Born essentially after the great drought of 1973, the NGO movement was at its peak in the middle of the 1980s, the period during which they filled the void left by States in crisis that had just embarked on structural adjustment programs. The NGOs offer direct mediation

between an external source of financing (sometimes northern NGOs use their own funds but it is also often public funding) and the rural people of the Sahel. This mediation was at first exclusively carried out by organizations from the North, followed by northern and southern NGOs working in tandem. The concept of the NGO is still extremely broad and, therefore, vague. It encompasses several functional sub-groups:

- Southern organizations that group rural populations together directly. These organizations, which are generally active at the village level or in groups of villages of limited size, play two different roles:
  - 1) A social and public service function which is aimed at the community as a whole and is the precursor to the activities of nascent local collectives
  - 2) An economic function which is aimed, in contrast, at specific interests, and does not necessarily (even rarely) address the group as a whole. This function is the precursor to the activities of nascent professional organizations, which can themselves be subdivided into unions (to defend and negotiate interests) or technical bodies (to acquire and disseminate technologies and services)
- NGOs, both northern and southern, which are themselves “private” intermediaries between international funds and the rural people of the Sahel. It is likely that most of these NGOs will progressively become providers of services (research, management or communications) in what will increasingly be a market for rural development services, where they will be judged on their performance in terms of cost and efficiency. In this direction, Swiss Cooperation in Mali is already subcontracting Malian firms in all the phases of a land management project.

### **Local collectives**

Most Sahelian countries are involved in a process of decentralization, subdividing territory into local collectives, endowed with a judicial personality and a set of regulatory and financial tools for intervention. The creation of these collectives offers particularly interesting perspectives for resolving problems associated

economic development, it would be an illusion to think that it can be developed without the simultaneous development of the non-agricultural sector. Altogether, the most dynamic sectors of rural societies are those that are closely connected to the market, or where methods of production have developed which widely make use of modern inputs. The flip side is that to finance the increased use of inputs in the production process, it is necessary to rely on viable markets. As we have emphasized, export markets could provide some support, but the main part must come from local markets. Agricultural supply cannot, therefore, grow sustainably in the Sahelian countries without the parallel development of non-agricultural economy.

### **3. What from Mediation between the Rural World and the International Community?**

We have shown that technical solutions exist to most of the problems at the root of environmental degradation, but most require financial, technical, or knowledge transfers from the international community. In this light, rural development poses a difficult problem: that of finding intermediaries.

In the CILSS countries, most of the investments in the rural sector come, directly or indirectly, from the bilateral and multilateral cooperation agencies, that is between 10 and 20 important sources of funds. On the other hand, the rural population of CILSS countries is approximately 35 million, distributed among some 50,000 villages or encampments. Cooperation with the rural sector thus presents a daunting problem of intermediation. To link highly concentrated sources of financing with a rural world that is largely dispersed, raises a political and economic challenge of the first order, and one which gives rise to intense competition among potential candidates.

Even though it is a perilous and unavoidably sketchy exercise, we can identify the main categories of intermediaries and the perspectives they adopt.

### **Governments, administrative bodies, and parapublic agencies**

These are the repositories of formal legitimacy, which makes them privileged interlocutors of international sources of funds. The legitimacy enjoyed by governments and their administrative agencies since independence has gradually been eroded with time. It has ended up with their interventions being questioned, first by the beneficiaries, then, in the early 1980s, by the international community, in light of the crises—financial (structural adjustments), political and social—experienced by these States. The democratic renewal that evolved in the region at the end of the 1980s, while giving a little lustre back to governments, has not improved the image nor the functioning of their administrations. These are too large, given available resources and, therefore, badly and often irregularly paid; they are often without operating budgets, and unable to accomplish the public service missions which they received. History shows that an efficient administrative apparatus can be an efficient development tool, but even relatively positive developments (like the CMDT working with cotton farmers in southern Mali) show that the notion of public service still has a long way to go in the Sahel.

### **Market mechanisms**

These represent another important solution. Building roads and markets that promote all kinds of exchanges and encourage the supply of several types of services, is one way to work towards rural development. Helping entrepreneurs to open new markets is also a way of helping peasants. Even more directly, Agétips call on private enterprises to undertake labor intensive public works, contributing at the same time to providing jobs and distributing income to the less qualified segment of the labor force; these initiatives unquestionably have a social impact. The entrepreneur's remuneration thus includes the cost of mediating the distribution of income.

However, if market mechanisms play a powerful role in economic growth, the solutions they provide are not equally effective for all problems: the poorest people, who have a

Table 2. Percentage of farmers, number of consumers per producer and share of food provided by the domestic market.

Parameters	MRT	SEN	GMB	GNB	CPV	MAL	BKF	NIG	CHD	CILSS
Total 1990 population (millions) (a)	1.9	7.3	0.9	0.9	0.3	8.2	8.7	7.7	5.5	41.4
Percentage of farmers(a)	65%	61%	64%	72%	62%	77%	79%	81%	7.3%	74%
Maximum number of consumers per producer (b)	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4
Share of food provided by the domestic market (c)	46%	51%	36%	76%	25%	90%	93%	90%	93%	80%
Actual number of consumers per producer(d)	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3

a) Data from WALTPS; b) non-agricultural population/agricultural population; c) expressed as a percentage of total available calories; d) calculations by M-C. LABRET using FAO data.

producer. It must be noted that this high in-house consumption has major structural determinants: there are only 0.4 consumers per producer on average for the CILSS countries, with a top rate of 0.6 in the Sahelian coastal countries. Even if the entire market in the Sahel region turned to domestic production, this would still not be a market large enough to finance agricultural investment and modernization (Tab. 2).

The growth of the food market to which Sahelian farmers have access has several possible sources, but the best prospects of growth for Sahelian agriculture seem to lie in the rapid evolution of local food consumption habits (increase in quantity, better balance, greater variety) and the capture of a share of the regional markets; two factors that could go in tandem.

However, this growth is hampered by the low percentage of buyers and their limited purchasing power, which induces them to concentrate their spending on cheap basic products, with limited value-added: cereals and roots.

This leads us to the following conclusions:

- There is great potential, both human and technical, for more productive, more sustainable agricultural production if producers have access to regular, solvent demand.
- However, local demand is very low when one considers the number of producers, which makes the markets uncertain, both in terms of prices and of volume.
- Meeting the demand on world markets, which are often highly specialized, requires a lot of knowledge which is out of reach for Sahelian farmers: they depend therefore on channels set up by intermediaries, either public (cotton, peanuts) or private firms

(which employ salaried workers directly or use production contracts).

- The regional market, notably that of the richer countries of the Gulf of Guinea which are more urbanized than the Sahel countries, offer important growth prospects, but this assumes that the Sahelian countries compensate the disadvantage created by their isolation.

Each type of production thus comes up against specific bottlenecks: investment made by suitable intermediaries for exports; irregular prices and narrow size for recapturing the local basic food market; limited purchasing power for diversifying local food consumption patterns; isolation and competition with closer neighboring regions in trying to penetrate the markets of coastal countries.

The potential for growth and the associated problems are more or less important from one country to the next. No country has one major and obvious source of growth that would fulfill all the basic objectives: the more dynamic products are marginal in terms of production, and the major products are lethargic because they are still dominated by auto-consumption.

Here again, barring a miraculous solution, the best approach is to put a maximum number of farmers in the position of being able to profit from the rapidly changing opportunities of the market. Help them form agricultural capital (land, tools, knowledge), provide the tools – upstream and downstream – to improve their production (credit, savings, supplies and marketing), and finally, put them in regular contact with the market (information, roads and markets, traders).

But if agriculture is an important factor in

difficult to implement and to sustain, as shown by the example of input subsidies in Northern Nigeria. A diagnosis has showed that the poorest farmers in this area could not pay for mineral fertilizers because their price was too high. It was therefore decided to subsidize these fertilizers. While the subsidy was primarily aimed at small farmers who produced for their own consumption, it was even more beneficial to those who were already active in the seed market: large producers or retailers. Consequently, some of the subsidized fertilizers went on the market in Niger, enabling some retailers to profit substantially, while the rest was used by the most well-off producers. As the subsidies only applied to a limited quantity of fertilizers, these products became increasingly scarce on the "free" market, its supply more uncertain, and the prices higher. Overall, the precariousness of the poorest was exacerbated and social differentiation was probably accelerated by this measure.

This is why, in supporting the most vulnerable groups, we must attempt to improve the access of the poorest to sources of income and/or factors of production, while taking into account the forces that have contributed to the marginalization of these populations. We must look at all the solutions that allow the most vulnerable groups to develop their resources, and we must not think *a priori* that this has to happen only through direct agricultural production. Comparisons with Asia show that "poor" Africans depend much more on agriculture than their Asian counterparts, but this does not mean that it is their only prospect for development. All labor-intensive activities should be promoted, including non-agricultural ones.

From this point of view, access to training by the most disadvantaged groups is probably a priority. We must not, however, overlook the difficulty of this task: the poorest groups are also those who can least easily do without the value of their own labor or that of their children, even for an investment that would be profitable in the medium term.

In all cases, when it means acting at the margin of social relationships to reinforce the weakest groups, or dealing with cases of

poverty, the main problem is not so much the cost of meeting the basic needs of the populations concerned as the costs of intermediation.

### **Offering more opportunities to agricultural producers**

If agriculture is to become more sustainable, it has to find more markets to finance capital investments, including soil fertility. The problem of Sahelian agriculture is its low level of diversification.

We have said before that rapid production growth rates can be achieved if one offers rural people profitable work (competitive with the alternatives), reasonable risk, and help to circumvent the technical obstacles raised by the demand (access to seeds, to fertilizers, marketing assistance) (see also, for example GUYER and LAMBIN, 1993; MORTIMORE, 1993; HOPKINS and BERRY, 1994; GOLDMAN and SMITH, 1995).

The problem is that these conditions are not often met in the region. The two main export crops, which typically meet these requirements are peanuts and cotton, because they have an easy access to world markets. But they make up only 13% of agricultural GDP. Export diversification is increasing, but with the exception of The Gambia and, to a lesser extent, Senegal, it does not represent a significant part of agricultural production.

As a general rule, it seems that the penetration of new export markets, for the most part highly competitive, is either the domain of relatively large firms, which have a salaried work force, or is accomplished through production contracts negotiated between entrepreneurs and small producers. There, the limiting factor to develop outputs is the entrepreneur competence and its willingness to invest in agriculture.

### ***Prospects in the domestic market***

The domestic market of Sahelian countries represents the largest part of agricultural GDP, but it remains primarily characterized by very high rates of national self-sufficiency, except for Sahelian coastal countries (Senegal, The Gambia, Mauritania), and by a high rate of households auto-consumption: the average market served is currently 0.3 consumer per

Table 1. Percentage of area under the 600mm threshold of the CILSS countries.

	MRT	CPV	NIG	CHD	MAL	SEN	BKF	GMB	GNB	CILSS
%of area	100	100	97	84	80	45	21	0	0	84
%of rural pop.	100	100	84	31	41	44	15	0	0	48

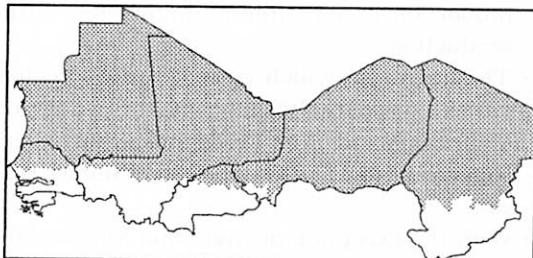


Fig. 1. Map of the area under the 600mm threshold of the CILSS countries.

- *Promote adaptability to the risks of drought:* mobility (of livestock), economic diversification that is not closely linked with local agricultural raw materials production (of which migration constitutes the largest part today); encourage flexibility in economic management and develop forms of insurance that are adapted to an increasingly monetized economy.

This adaptation to risk is already well developed among the population, and it is important to be careful to avoid thwarting it by exogenous actions and to safeguard it when it is threatened (mobility of herds, for instance).

In all cases, we must take into consideration the fact that the arid zones often have limited economic potential and that they are natural emigration zones, whether on a temporary or permanent basis. Intervention in arid zones should not necessarily work to counteract this migration but rather seek to provide those who cannot or do not want to leave the region with the means to live there in dignity. Emigration of a part of the family has always been, and probably still is, a method adopted by societies themselves to achieve this end.

### Facing extreme rural poverty

Based on our review of several surveys, the following conclusions can be drawn:

- Poverty is influenced by the natural environment (drought) and the location in relation to the market (remoteness), but it is also a product of social factors. In Burkina Faso,

even in those rural areas considered "rich" (cotton growing areas), 15% of the population belongs to the group corresponding to the poorest 20% in the country. This proportion rises to 30% in the northern and southwestern regions, the most disadvantaged. Extreme poverty appears therefore to be a phenomenon that is diffused spatially, and linked more to socio-economic factors within the groups, than to factors of a primarily geographic nature.

- The income of the poorest is essentially devoted to food (63% of the income of the poorest rural quintile, compared with 46% of that of the richest rural quintile in Burkina Faso).
- Among the poorest groups, what appears to be income corresponds in large measure to self-consumption (around two thirds for food as well as non-food consumption in the case of Burkina Faso): their financial capacity is therefore even more limited than their apparent income would suggest.
- In these groups, expenditure on essential services like health or education is particularly low (1 to 3% of income in Mali, depending on the region, and 5% in Niger).

In treating the problem of extreme poverty, one therefore faces several problems: the diffused nature of the phenomenon, which affects all the regions to significant degrees, the largely endogenous nature of this poverty, which is as much a product of the evolution of these societies as a consequence of the economic and natural environments in which people live, and the low market participation of the groups studied, which makes them particularly difficult to reach through broad measures. Initiatives whose aims are specifically to relieve extreme poverty are therefore often local and "interventionist" measures, in that they intend to counter locally the spontaneous evolution of the societies.

But we know from our previous interventions that all interventionist measures are very

Sahelian agriculture is growing slowly on average and its resource base is diminishing.

There are, in fact, three structural problems that contribute to this mixed results:

- *aridity and highly unpredictable climate*, which prevents the production of most export crops in some areas, and makes most intensification packages unreliable under a minimum rainfall. Typically, 600 mm rainfall is often considered to be the limit under which aridity and climatic risk becomes the most important risk faced by agricultural producers.
- *the acute poverty of a segment of the population*, which has no access to factors of production (land, labor, inputs, funds, markets, know-how). Those involved are constrained to mine their natural resources to survive, which brings them into a vicious circle of poverty and environmental degradation.
- *slow overall growth, limited division of labor, low diversification of agricultural exports*, which means that markets are narrow, that they cannot pay for a broad agricultural intensification, nor give off-farm, urban employment opportunities to the rural mass.

It is these three factors combined that prevent a faster growing and more sustainable agriculture in the Sahel, which means that there is no easy solution to the problem. Let us come rapidly to each of these three problems.

### Facing aridity

Aridity is the most obvious and specific problem in Sahelian countries, although it affects these countries to widely variable degrees. The root of the problem is climatic: insufficient rainfall that varies considerably in length and area, renders the outcome of rainfed agriculture very uncertain. This aridity has significant economic and social consequences: it discourages investment in agriculture because of uncertain profitability; it encourages migration because of the length of the dry season and the limited employment opportunities.

The definition of the zone where the climatic risk becomes an acutely limiting factor in agriculture varies with each author. If we take 600 mm as the threshold of aridity, it can be seen that:

- The area affected by aridity covers the majority of the CILSS area (84%) but concerns less than half the rural population (48%), and only a third of the value added of crops; while we were not able to calculate it, the proportion is undoubtedly higher for cattle production.
- The degree to which countries are affected varies considerably: it spans the whole of Mauritania and Cape Verde and almost all of Niger, but not The Gambia and Guinea Bissau.
- With the exception of Niger and Mauritania, the arid zones represent relatively specific areas in a broader national context.
- Cattle breeding and irrigation play a significant role in these zones. Rainfed agriculture, being too uncertain, is generally restricted to subsistence production.
- These are areas that have traditionally developed mechanisms to protect themselves as much as possible from risk: a long tradition of migration of populations in the dry season (the Sonink of the Senegal River, the Dogon of Mali, the Mossi of Burkina Faso, etc.); the mobility of herds, the importance of transhumance; and extensive and dispersed farming methods to reduce the economic and climatic risks (Tab. 1, Fig. 1).

The response to the problems of the dry zones revolves around two complementary strategies:

- *Reduce the risks associated with drought*: this can be achieved through better control of water resources (irrigation and other hydraulic works, managing the slopes to make better use of water run-off (half-pipes...)) and improving the drought resistance of plants and animals (research on and diffusion of adapted varieties and techniques). Reduced drought sensitivity sometimes occurs through less direct means than one would think. Dutch researcher BREMAN (Oral presentation at Seminar on "Agricultural Intensification in the Sahel", Dec. 1995, Bamako) has shown that, in the Mopti region of Mali, the primary limiting factor to grazing activity is not water, but phosphorus, whose scarcity limits root growth and prevents full exploitation of limited rainfalls by range grass.

associated with ecological features or production patterns, will have a growing impact and gradually take over market location: the specialization by regions and/or by-products that can just be seen emerging in Côte d'Ivoire and Nigeria, may develop and increase throughout the region.

### **A gradual but profound change in farmers' rationale**

Analysis of farmers' practices shows that changes in rural societies echo more general change in West African societies. Although the old rules still have a strong hold, rural society is undeniably shifting from a society dominated by a subsistence paradigm to one driven by the market economy. The technical, economic and social operations of the old farming systems are being undermined and forced to adapt to changes in individual behavior. It is important to note, however, that these changes are not taking place at the same pace. The transition is happening as a change in the proportion of peasants involved in commercial agriculture relative to the one in subsistence agriculture, rather than as a uniform change.

As the market economy expands into rural areas, the production factors become more diverse and increasingly based on cash. A market develops in land, in labor, in organic matter, in the supply of farm machinery (such as the rent of tractors)... causing farmers to make more and more subtle decisions between the technical opportunities they are presented with. There is obviously not one good solution for the Sahelian peasants. On the contrary, different needs in different regions and different types of household are arguments for offering a wider range of tools and technical solutions for farmers, rather than one-size-fits-all solutions. This, in turn, presupposes shifting the role of the extension worker to that of advisor for farmers.

Deep changes are also occurring in the social field. The family, which is the basic institution in farming, has always been faced with the difficulty of getting its useful hands to return to the farm during the crop season. Its control over crucial stages in family life has enabled the family to maintain its authority over the

young labor force. However, families are being increasingly forced to compromise with market forces, or risk seeing large farms break up. Generation conflict also shows in the frequent break-up of the farms of large families.

These increasingly reserved relations within farms are accompanied by similar relations between farms, some of which are becoming marginalized: the richest farmers lend their ploughs to the poorest in return for labor at the peak labor season, or they lend them cereals with a high interest rate over a few months, and differentiation quickly increases. Signs of a nascent rural proletariat can thus be witnessed, not only as a result of the adverse natural environment, but also as a product of the very functioning of society.

### **The difficult task of managing the transition from subsistence to market economy**

Every Sahelian country, without exception, is now a mosaic of widely varying situations:

- Some groups of farmers have managed to acquire the skills, tools and capital to respond quickly and effectively to the varying opportunities in the market.
- Conversely, other groups have not managed to get that far, either by not having access to the market; by not being able to take advantage of market opportunities; or by developing non-farm strategies rather than growing surpluses.

These two groups can be found in every region with the balance between them varying as a function of economic and social characteristics of the region. This wide variety among farmers clearly raises management problems for national policymakers in charge of agriculture and rural development.

### **2. What are the Implications of These Evolutions for Desertification Control?**

We hope that the preceding comments have helped illustrate that Sahelian agriculture is far from irrational, and that Sahelian peasants are far from inactive. We have examples of rapid growth together with examples of sustainable production, both with capital intensive and labor intensive means. Even so,

dominated by a host of marginal players and is structurally volatile and unremunerative.

Most rural dwellers, therefore, have preferred to diversify their activities rather than increase their food output to achieve surpluses, and their food crops are only intended to cover all or part of family needs. This strategy has been encouraged by the rapid development of non-farm activities associated with local trade (processing farm produce, crafts) and urban development (trade, migration, etc.). Surveys of the Sahelian countries (6, plus 2 for northern Nigeria) in the 1980s show that off-farm income varies from 20% to 64% of total income, with an average of 39% (READON, 1994).

This does not mean, however, that rural dwellers are systematically abandoning farming. Wherever possible, they have grown crops which have profitable and guaranteed outlets and easy supply of inputs. Export crops like groundnuts or cotton, which typically meet these requirements, have therefore expanded considerably in a number of countries, even where food production has developed slowly. When they have reliable access to food markets (where outlets are sufficiently regular and profitable), rural dwellers develop real strategies of commercial farming of food surpluses. As noted by CHALÉARD (1994) in Côte d'Ivoire: the farmer's behavior behind the increase in the food produced for the market is no different from that which led to the expansion of export farming: crops develop in so far as they provide a reasonable reward for work.

As long as land is largely available, farming develops primarily by extending the areas under cultivation, which is more cost-effective than any type of intensification, because it maximizes the use of natural resources and saves capital and labor. Conversely, land scarcity resulting from population growth and area expansion gives rise to various types of intensification, using more capital or more labor per land unit. Any technical change is usually a coherent response to variations in a number of parameters, including access to land, markets, techniques and the financing needed to use them, or the economic and climatic risks of one form of farming rather than another. The geographic variability of these parameters

throughout the Sahel determines a wide variety of systems, differing both in internal dynamics and their relationship to the market.

Finally, it is important to pinpoint that, despite increasingly varied opportunities, many zones and individual farms continue to have no access to the market, because of their relative remoteness and the small size of the overall market when shared amongst farmers: better-run or better-placed farms, or farms exposed to lower climatic risk can meet the solvent demand for these products. These zones continue to be oriented mainly towards home consumption, with varying degrees of economic diversification, often via migration.

#### **Medium-term trends are likely to increase specialization**

Although the speed of change is hard to predict, we know that further changes which will necessarily affect the functioning of rural areas are highly probable:

- A gradual saturation of land resources, as rural population density increases and farm equipment becomes more common, particularly in areas well connected to markets, and a rush on the last "virgin land" as it is opened up or cleared of major disease.
- An increasing proportion of town-dwellers, due to rise from 40% to over 60% of the population by 2020, and from 30% to roughly 50% in Sahelian countries. The increase in the share of farm output brought to market—over half by 2020—will help to make markets more stable and predictable.
- The development of the domestic market, which will be likely to improve the conditions of trade, reduce transport costs and therefore reduce the geographical rent that is now dominant by extending the supply areas of the major cities.

These changes will probably mean the development of more fluid and stable markets in which competition will be fairly fierce. As markets increase, both in area and as a proportion of total output, so economic risks should become lower, making possible the implementation of technology with reduced profit margins: the price of food will thus tend to fall. In these conditions, comparative advantages,

## Transition from Hunting-Fishing-Gathering to Agriculture in West Asia

Takeru AKAZAWA\*

Carl SAUER (1952) proposed, based on a well-defined concept, a logical framework to explain the historical background of agricultural origins. Six conditions necessary for the transition from hunting-fishing-gathering to agriculture were proposed. Of the propositions, the societies concerned must already have an affluent economic base, they must be sedentary, and they must involve potential pre-adaptations to agriculture in technology such as compound tools, grinding equipment, and storage facilities, and also a combination of these repertoire of knowledge, skills, and methods must be testified under an environmental condition characterized by a wide range of plants and animals. Sauer's insistence points in the same direction as Kent FLANNERY's (1969) suggestion that a broad spectrum economy lies behind the emergence of early agriculture.

The entire process of transition from hunting-fishing-gathering to food production agrees with the working model of broad spectrum revolution which occurred during the terminal stage between Pleistocene and Holocene. FLANNERY (1969) proposed, from comparative data of early West Asian domestication, an exploitation system of hunter-fisher-gatherers changed from "narrow spectrum" to broad spectrum.

"The trend is rather from exploiting a more narrow spectrum of environmental resources to a more broad spectrum collecting pattern characterized all subsequent cultures up to about 6000B.C., and I would argue that it is only in such a context that the first domestication could take place. It is a pattern in which everything from land snails (*Helix* sp.) to very small crabs (*Potamon* sp.), and perhaps even cereal grasses, was viewed as potential food. It was also accompanied by a number of preadaptations for early cultivation." (FLANNERY, 1969: 77).

Conversely, the procurement system of agricultural societies again became more tightly regulated by the seasonal scheduling demands of selected major productivities. Such agricultural innovation would have been a narrow spectrum economy. Special attention should be paid to the fact that the crucial point in mediating the transition from hunting-fishing-gathering was the extent of land-human relationship in space. With the highly developed agricultural efficiency, the adoption of food production threatened the land-human system.

**Key Words :** Agriculture, Hunting-fishing-gathering, Broad spectrum, West Asia

---

\* Tokyo University Museum. 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113, Japan.

(Received October 14, 1996; Accepted December 12, 1996)

日本沙漠学会1996年度秋季シンポジウム

## 小特集Ⅱ：「衛星データ・考古学・文献からみた沙漠の遺跡と環境 —トルファン付近とホレズム付近を中心として—」に寄せて

相馬秀廣\*

1972年に地球観測衛星 LANDSAT が打ち上げられて以降、多くの衛星データ・衛星画像が、陸域（植生、地形・地質・資源探査ほか）、海域（海面水温、海水分布ほか）、大気（気象、オゾン層の濃度ほか）などの様々な分野で利用されてきた。LANDSAT TM, SPOTなどにつづき、日本からも JERS-1（地球資源衛星：ふよう 1号）、MOS-1（海洋観測衛星：もも 1号）、さらに1996年には ADEOS（地球プラットフォーム技術衛星）が打ち上げられた。この間、利用できる衛星データの質・量は格段に向上了した。また現在では、1960年代の東西冷戦期にアメリカの NASA が撮影した衛星写真もインターネットを通して利用が可能となっている。

衛星データの普及にともない、衛星画像の遺跡調査への活用を目指す宇宙考古学（坂田、1995）という新しい学際的な研究分野が形成されてきた。1994年11月には奈良において、UNESCO, (財)なら・シルクロード博記念国際交流財団/シルクロード学研究センター、(社)日本ユネスコ協会連盟の主催により、「宇宙考古学国際セミナー」が開催された（シルクロード学研究センター、1995；相馬、1995）。セミナーの目的は、新分野に興味をもつ内外の研究者を一堂に集めること、そして、最近の活動に関する情報交換であった。

セミナーでは海外からの 6 名と日本からの 6 名が講演がおこない、当初の目的は達せられた。その成果は、「宇宙考古学研究」としてシルクロード学研究センター（1995）から発行されている。発表は、沙漠に分布する遺跡を主な対象としたものが多かったことから、沙漠地域が宇宙考古学の研究対象としてまずアプローチしやすいことが理解される。このセミナーは、今後予想される「宇宙考古学」研究の展開を考える上で、第一歩として大きな意義をもつものであろう。しかし、各研究者が異なる地域を対象としていたため、個別地域における、個別の研究分野からの発表にならざるを得ず、必ずしも衛星データを積極的に利用し、考古学をはじめとする関連する諸分野の成果を探り入れて、周辺の地域を含めて遺跡の全体像を明らかにするものではなかった。

一方、宇宙考古学に対しては、その中で重要な部分を占める考古学・古環境の復原などの研究が現在のいわゆる環境問題の研究にも役立つことが期待されている（小堀、1995）。過去は現在の鍵、そして、過去は未来への鍵でもある。その点において、遺跡は社会・経済的な面を含めた人為的あるいは自然的な原因のいずれにせよ、環境の変化により遺跡化したことは確実であり、過去に発生した環境問題のいわばタイムカプセルとして遺跡を位置づけ、様々な情報集積地とみることが可能である。

このような状況のもと、小堀 岩日本沙漠学会会長、櫻井清彦昭和女子大教授と相馬が集まり、坂田俊文東海大学教授の内諾を得て、日本沙漠学会1996年度秋季シンポジウムを宇宙考古学の第二弾として実施する案が浮上した。シンポジウムのねらいは、特定の地域を対象として、衛星データと考古学分野のみでなく文献史学や環境科学などの研究者を加えて、遺跡および遺跡の周辺をできるだけ総合的に検討することとした。そして、日本の研究者による研究蓄積が豊富なトルファン地域、およびかつて消滅したロブ・ノールの現在版ともいえるアラル海近くのホレズム地域を対象とすることなどが固められ、上記のテーマとなった。

秋季シンポジウムは、(財)なら・シルクロード博記念国際交流財団/シルクロード学研究センターとの共催の下、以下の発表がおこなわれた。石田紀郎「アムダリア下流域の灌溉農業と生態環境」、林 俊雄「ホレズムの遺跡」、坂田俊文「ウズベキスタン・ホレズム地区の人工衛星による調査」、李 軍「人類の活動とタクリマカン沙漠の環境変遷」、吉野正敏・劉 永誌「トルファン盆地の気候—過去と現在—」、櫻井清彦「トルファン付近の遺跡—ヤルホト古墳群を中心に—」、堀 直「文献資料からみたトルファン付近」、相馬秀廣・東海大学情報技術センター「衛星データからみたトルファン付近」。

総合討論では、残念ながら時間不足であったため十分に議論を深めることなどはできなかったものの、今後の研究方向として「衛星データの解析技術の向上」と「遺跡周辺を含めた総合的な視点からの遺跡の位置付け」が

\* 奈良女子大学文学部

必要であることが確認された。個別の地域では、農薬による健康被害は既にそのピークを過ぎ日本のレベルと変わらないことが報告されたホレズムについては、現在の環境問題が議論の中心となり、塩害対策としてアムダリヤ下流地域で進められている綿作から水田への転作が具体的にどのような土地条件のところで実施されているのかなどが問題とされた。トルファン地域については、交河故城（ヤルホト）の立地条件が、タリム盆地に多くみられる山麓の扇状地に形成されたオアシスと異なり、断層地塊である丘陵の上流側麓の段丘面上であること、そのような土地条件からみると遊牧民族とのつながりが強く示唆されるなどの指摘に対して、交河故城の成立の時代については問題が残ること、遊牧民のトルファン盆地への進出ルートとしては北からよりも西のユルドゥス草原からの方が重要である可能性、さらに、気候・水文などをを中心とする当時の自然環境との関連などを考慮して検討する必要性などが指摘された。

「なにをいたしましょう」「なにして下さいますか」との問題提起もなされた。この問題提起はまさに本シンポジウムの主旨であり、この指摘がなされたこと自体が本シンポジウムの成果を端的に示すものと考えられる。今後、今回参加しなかった諸分野も含めて、衛星データを核として各分野の成果が有機的に結合され、「宇宙考古学」が発展することが期待される。

本特集は、門村 浩、梅村 坦、林 俊雄の各氏に相馬を加えて編集委員として、残念ながらご都合によりご寄稿いただけなかた一つの発表を除いた、シンポジウムの成果をまとめたものである。内容的には、概説的なものも含まれているが、シンポジウムに参加できなかつた会員が多かった点なども考慮して、寄稿された報告は形式的には区別することなく、査読を経た後掲載した。

なお、一部の英文要旨は（財）なら・シルクロード博記念国際交流財団の Séan Gillis 氏に校閲をお願いした。また、李 軍論文は当初中国語で執筆・投稿されたものであったが、野呂美代子主任を中心とする（財）なら・シルクロード博記念国際交流財団/シルクロード学研究センターの方々の労によりに日本語論文として掲載することができた。これらの方々にお礼申し上げます。

#### 引用文献

- 小堀 巍（1995）：奈良シンポジウムの反省と今後の課題、「シルクロード学研究」1（宇宙考古学研究）：37-39。  
 坂田俊文（1995）：宇宙からの考古学、「シルクロード学研究」1（宇宙考古学研究）：3-7。  
 相馬秀廣（1995）：「宇宙考古学セミナー」の報告、「おあしす」10：2。  
 シルクロード学研究センター（1995）：『宇宙考古学研究』シルクロード学研究 (*Silk Roadology*), 1, 49p. + English translation.

**Special Reports II****Archaeological Sites and Environment in the Deserts Viewed from Satellite Images, Archaeology and Historical Documents: Turpan Basin and Khorezm Area—Introduction**

Hidehiro SOHMA \*

This special report carries the papers presented at the Symposium on "Archaeological Sites and Environment in the Deserts Viewed from Satellite Images, Archaeology and Historical Documents: Turpan Basin and Khorezm Area", held on 30 November 1996, at Nara Women's University, Nara, on the occasion of the 5th Autumnal Symposium of the Japanese Association for Area Land Studies, under the auspices of the Research Center for Silk Roadology.

Since the launching of the first earth observation satellite LANDSAT in 1972, many satellites have been launched and the satellites data available for various fields have been remarkably improved in both quality and quantity. Corresponding with the widespread use of the satellite data, "Space Archaeology", a new interdisciplinary science in archaeological research from the space, has been opened. The first International Symposium on "Space Archaeology", with six presentations from abroad and six from Japan, was held in the autumn of 1994, at Nara.

The 1996's Autumnal Symposium, focused on the Turpan Basin and Khorezm Area near the Aral Sea, was held as the second one on "Space Archaeology". And this Symposium was designed to concentrate discussions on these two specific areas along Silk Road, with combining the views of different science fields such as archaeology, history, physical geography and environmental studies through the satellite images.

It is confirmed through the discussions in the Symposium, that both further improvement in analytical methods and techniques of the satellite data and comprehensive examination of archaeological sites from various science fields are needed for the further development in "Space Archaeology".

**Key Words :** Space Archaeology, Satellites data, Turpan Basin, Khorezm, Interdisciplinary science, Environment

---

\* Faculty of Letters, Nara Women's University, Kita-uoyamachi, Nara 630, Japan.

## アラル海流域の灌漑農業と環境問題

石田紀郎\*・川端良子\*・辻村茂男\*・中原紘之\*

### 1. はじめに

世界第4位の湖面積を有したアラル海は、中央アジアのカザフスタン共和国とウズベキスタン共和国の両国に所属する内陸閉鎖湖である。ウズベキスタンのフェルガナ盆地からカザフスタンのキジルクム沙漠を流下するシルダリアと、パミール高原を源としてカラクム沙漠を流れるアムダリアという二本の大河川が流入するアラル海は小雨乾燥地帯にある（図1）。幾多の都市や農村を潤してきたこれらの河川とアラル海そのものが大変化を始めたのは1960年代からである。両河川はアラル海に到達する頃には小河川となり、アラル海への流入水量が激減し、1960年までは $66,460\text{km}^2$ もある大面積の内陸閉鎖湖が、現在は $35,000\text{km}^2$ （1989）にまで縮小し、干上がった旧湖底は沙漠と化して、この流域に幾多の環境問題が発生した。

タシケントやサマルカンドなどシルクロードを構成する諸都市は、シルクロードへの郷愁から、わが国でも多くの人々の知るところであったが、中央アジアと総称さ

れる国々（カザフスタン、ウズベキスタン、トルクメニスタン、キルギスタン、タジキスタン各共和国）で、どのような人々がどのような生活を営んでいるのか、どのような政治、社会、経済、環境のもとで存在しているのか、どのような困難な課題を抱えているのかは知られていなかった。というよりも、この地域への外国人の立ち入りは厳しく規制されていたので、この地域の諸情報を入手することがソ連邦成立後は極めて困難であり、アラル海にある島々への上陸が比較的自由になったのは5年前からであるように、環境問題でも報道の自由が束縛されていたためである。

アラル海が21世紀に消滅するだろうという衝撃的な情報が公然ともたらされたしたのは、ソ連邦でペレストロイカとグラスノスチ政策がある程度の成果を収め出した頃からである。なぜアラル海にこのような事態が発生したのか、アラル海の消滅過程で生成している諸問題がいかなるものであるのかが、わずかずつではあるが外国の知るところとなったのはこの数年である。このような段階でアラル海流域の環境問題について論述することは極めて困難であり、正確な記述は不可能であるが、より詳

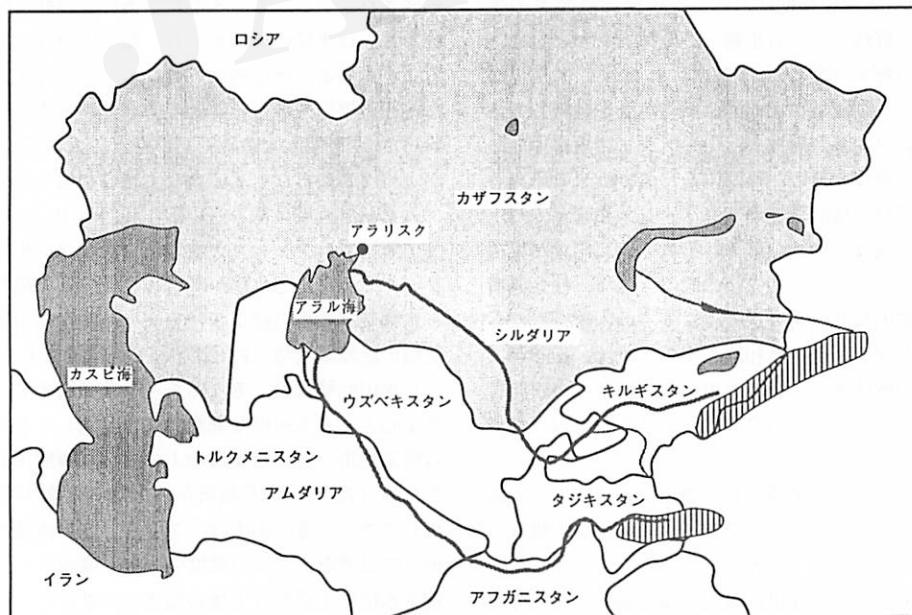


図1. 中央アジア略図。

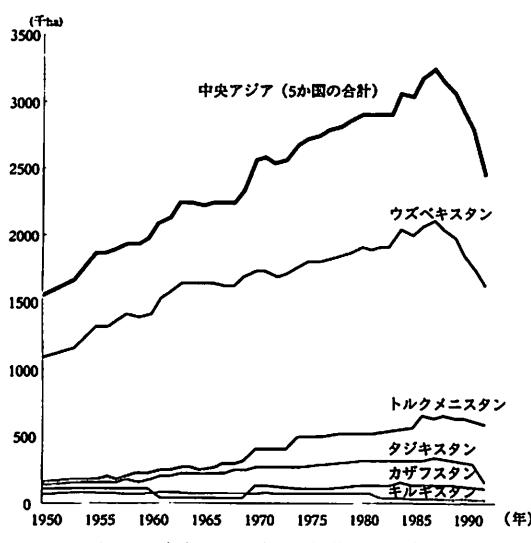


図2. 中央アジア諸国の綿花栽培面積。

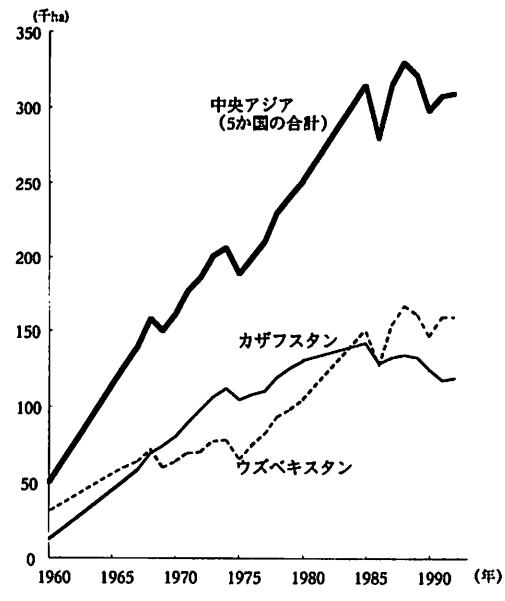


図3. 中央アジアの水稻栽培面積。

細な調査研究の遂行と環境再生への国際的共同事業の開始に資すると考え、筆者らが構成している日本カザフ研究会の調査活動から得られた知見を報告する。

アラル海問題と総称される農業・環境問題が深刻さを増したのは1960年代以降とされている。日本カザフ研究会は1990年に第1次の調査団をカザフスタンに派遣して以来、「中央アジア乾燥地における大規模灌漑農業の生態環境と社会経済に与える影響」を全体テーマとして、種々の研究分野の研究者が十数次にわたってアラル海およびバルハシ湖流域に出向き、調査活動を継続してきた。1991年にソ連邦が崩壊し、中央アジア諸国が独立して国際社会に登場すると、わが国をはじめ欧米の研究者がアラル海問題や核問題（カザフスタン共和国セミパラチンスク）の調査を開始し、それぞれの研究結果が集積されつつある。しかし、独立後の政治、経済、社会機構の変動は国際的な共同研究遂行上に多くの困難をもたらしている。カザフスタン共和国を例とすれば、1996年にアカデミーが解体され、組織の再編と半数に近い研究者の解雇などが実施され、日常的な研究活動が阻害されている。

また、ソ連邦時代に集積された貴重な研究成果が当該国には存在しないために過去のデータの利用が困難なことも、環境問題研究上の阻害因子である。このような研究環境下であるから、20世紀最大の環境破壊とさえ称されるアラル海問題（アラル海の危機）を取り組んでいる中央アジアの研究者との共同研究がより一層諸外国に望まれている。

## 2. 沙漠での灌漑農業

両河川流域の農業は綿花と水稻を基幹作物として、これにアルファルファと麦の栽培を組み入れた単作・輪作体系がそれぞれの地域の気候的、土壤的特性を考慮して形成されている。もちろん栽培条件の良好な地域では綿花あるいは水稻の単作もあり、輪作と単作が混在していることもある。歴史的にみれば、フェルガナ盆地のように綿花の単作を数百年継続してきているオアシス農業を除いて、「自然大改造計画」のもとで大規模な綿花栽培が両河川の豊富な水と広大な土地を利用して開始された。アムダリア流域は基本的に綿花栽培を中心とし、シルダリア流域ではフェルガナ盆地とシムケント州で綿花を、クジルオルダ州で水稻が栽培されている。綿花栽培面積と水稻栽培面積の経年変化を図2、図3に示す。両河川流域の総灌漑面積は約720万ヘクタールであるが、このうち水田面積はおよそ6%を占めるに過ぎず、綿花栽培を中心とする大規模な灌漑農業を展開してきた。しかし、各農業地帯ともに農業環境上の深刻な事態に直面しているため（表1）、綿花栽培から水田に転換する農地も出現している。例えば、アムダリア下流域のホレズム地方では灌漑水の塩分濃度の上昇と灌漑水による地域の地下水位の上昇から土壤の塩害化が進行し、畑作の継続が困難になり、湛水によって除塩する塩害回避が可能となる水田への転換を図っている地域もある。

沙漠地帯を農業地帯へと転換させた背景には、無尽

表1. ウズベキスタン各州の主要作物と環境問題

地 方	主要作物	土壤塩性化の問題	風触の問題
カラカルパック	綿花, 小麦, 水稻	深刻 (二次塩性化)	少ない
ホレズム	綿花, 小麦, 水稻	深刻	少ない
プラハ・ナボイ	綿花, 小麦	あり	あり
カシュカダリア・スルハンダリア	綿花, 小麦	あり	あり
シルダリア・ディザック	綿花, 小麦	深刻 (二次塩性化)	少ない
サマルカンド	綿花, 小麦	少ない	少ない
フェルガナ	綿花, 小麦, 水稻	少ない	あり
タシケント	綿花, 小麦, 水稻	なし	少ない

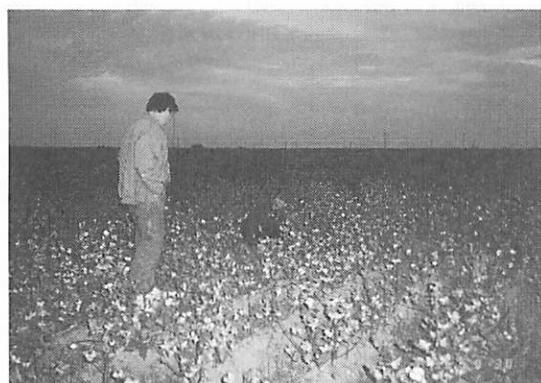


図4. 塩害が進行した綿花畑（ヌクス地方）。

藏ともいえる平坦な土地の存在とアムダリア・シルグリアの豊富な水量がある。しかし、ここから得られる農業用水が有効に利用されているか否の検証は、アラル海への流入量の回復の可能性を検討する基礎的な資料となる。渡辺らによると、ホレズム地方のヌクスでの調査から送配水過程での損失をも加味してみると、地区全体での年平均の「全灌漑効率」は0.2~0.25と推定され、効率的な水利用が実施されているとは考えがたい。今後、両河川からの取水量を低減させるためには、1) 農地と非農地の再配置、2) 送配水路などの改良、3) 水管理体制の確立などの必要性が指摘されている（渡辺、1996）。

### 3) 塩害と農業生産

綿花にしても水稻にしても大量に農業用水を必要とする作物である。綿花栽培には740~1,010mm/year、水稻では2,480~3,340mm/yearの水が必要とされているが（ZHU et al., 1991）、渡辺の報告によれば、現地では水稻の単位用水量は3,000~5,000mm/yearと膨大な水を實際には必要としている。この上に、塩類化が進行した耕地では塩類のリーチングのために作付け前に数回の洗浄を施すということであるから、大量の用水を必要とする農業が営まれているといえる。このような「水の使いすぎ」がアラル海の縮小をもたらした原因の一つと考えら

れている。また、平坦な沙漠地で大量の水を使用すれば、排水不良地では土壤の塩類化を惹起する。すでに、アラル海流域の綿花地帯でも、あるいは水稻地帯でも塩類化によって耕作を放棄した農耕地が出現しており、農業生産量と生産物の質的低下が現われている。図4はアムダリア下流域のヌクスでの綿花畑であるが、収穫期であるにもかかわらず、草丈は30センチほどであり、着花数もわずかである。良質な綿花を産出しているフェルガナ盆地に比べれば草丈で半分、着花数で5分の1程度である。

### 4. 農薬による環境汚染

アラル海流域の環境問題を論じた論文には必ずと言ってよいほどに農薬汚染が取り上げられている（中村、1991）。ところが、中央アジアでの農薬使用の実態を明確に把握した報告が見られないのが現状である。使用された農薬の種類や使用量の統計は機密事項とされ、まとまった統計は公表されていない。また環境試料の農薬汚染に関する調査結果が公表されることは少なく、汚染の実態が不明なままに、農薬汚染が環境問題の重要な問題点として論ぜられることが多い。ソ連邦からの独立後、農薬使用量などの統計資料の入手が部分的にでも可能となつたが、今後詳細なデータの公表が待望されるところである。

綿花栽培に使用される農薬は落葉剤と殺虫剤、水稻栽培では除草剤と殺虫剤が主である。このうち、環境問題を引き起こしたとして注目された農薬としては、落葉剤の有機リン系化合物 Butifos（図5）と殺虫剤の有機塩素系化合物である BHC と DDT が挙げられる。環境への影響は Butifos が急性毒性的であり、BHC と DDT は慢性毒性的、残留毒性的である。Butifos は過去においてはもともと多用され、汚染を引き起こした化学物質で、植物に対する毒性が強く、メルカプタンに似た悪臭を発する。ウズベキスタンからの報告によると、Butifos を施用したのちには、吐き気をもよおす悪臭が農場から村に忍び寄り、時には住民のアレルギー反応を

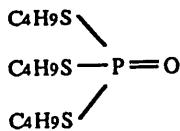


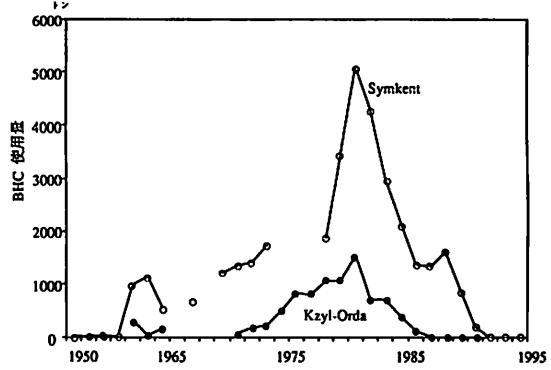
図 5 落葉剤 Butifos.

起こした。また、中枢神経毒があり、心臓、肝臓、腎臓に作用し、とくに子供に対しては免疫反応を破壊すると指摘され、綿花栽培地帯には肝炎が広がっており、Butifos が禁止されないかぎり肝炎に対処する方法がないとの報告もある。また、少量であっても女性の生殖機能にとくに影響を与えるとも警告されていた。1988年にソ連公衆衛生省はこの農薬の使用を禁止した。しかしながら、Butifos が自然環境へもたらした人間、汚染の実態がどの程度のものであり、前述した「アラル海の環境破壊」にどのような関係があったのかは不明のままである。

有機塩素系農薬は有機リン剤と並ぶ主要な農薬であり、第2次世界大戦後、世界的に使用され、現在多くの化合物が農薬として使用されている。この有機塩素系の中でも BHC と DDT は殺虫剤として多用され、環境汚染や人体汚染の面から1971年以降は欧米やわが国では使用が禁止された農薬であり、半減期間も長く、残留性が高いことから地球規模的汚染の継続が危惧されている。

カザフスタンやウズベキスタンなど中央アジア諸国でも多用され、アラル海流域の河川水、地下水、湖水の汚染が多くの文献で指摘されてきた。カザフスタンでの使用量をみると、DDT については1965年から1974年までの使用が確認でき、1960年代では年間1,000から2,000トン程度であるが、1970年代には減少し、1975年以降は不使用になったと思われる。一方、BHC は現在入手した統計資料の範囲では1950年から1992年までの使用が確認されており、最高使用量は1968年の17,686トンであり、その後は漸減しているが1983年でも6,543トンである。これ以降の全カザフスタンでの BHC の統計資料が不明であるが、シムケント州のみの使用統計（図6）によると、1992年までの使用が確認されている（石田ほか、1995）。

カザフスタン共和国農業科学アカデミーが1970年から1993年までに行なったシルダリア川の河川水中の BHC をはじめとする農薬調査の結果によれば、河川水中に  $\alpha$ -BHC が 1-30ppt の濃度範囲で、 $\gamma$ -BHC が 1ppt-9ppb で検出されている (RAU, 1994)。この結果を日本における河川水（飲料水源）と比較すると、極めて高い濃度ではなく、1970年代以前あるいは以後においてもたびたび観測された範囲内の濃度である。そのような理由から、

図 6 殺虫剤 BHC の使用量  
(シムケント州、クジルオルダ州)

この程度のBHC濃度ではシルダリアの水を水道水原水として不適とする理由になるか否か疑問である（もちろん、農薬を含んでいる水は飲料水として一般的に適していないと考えるが）。また、シルダリアの底質中の BHC 濃度も ppt レベルであり、琵琶湖の底質と大差ないか、より低い濃度である。

一方、アムダリア水中の BHC 濃度に関するウズベキスタン研究機関と UNDP 発表の調査結果を図7に示す。この資料によると、1980年代前半は Nukus (アムダリア下流域) での BHC 濃度は 50ppt 前後であったが、1980年代後半になると 30ppt 前後となり、1990年代には 10ppt 以下で、シルダリアの結果と同様の傾向を呈している。

アラル海流域で当該農薬が多用されたのは1960年代から1970年代であり、1980年代にはその使用量は急速に減少し、我々が入手した資料によるとシムケント州で1980年代前半に5,000トン、後半には数百トンになり、1990年代にはほぼゼロとなっている。調査結果と使用量に関する資料から、最大汚染時期はすでに経過したものと考えられる。そして、これらの農薬による現在の汚染レベルは日本の汚染レベルと同程度にしか過ぎないと結論できるであろう。この汚染レベルは世界的な基準と比較すると、WHO (世界保健機構) の飲料水水質ガイドラインや EPA (アメリカ環境保護局) の飲料水基準に比して約10分の1以下に相当する。しかし、旧ソ連邦の飲料水水質規制の許容最高濃度は WHO, EPA 基準以上に厳しい基準値を採用しており (UNDP, 1995)、この基準値を適用すると汚染レベルが上回っている場合も存在することが確認された (図7)。また、1960年代から1980年代前半の農薬使用量は現在と比較して多く、その時期には流域住民と環境に大きな被害を与えたであろうが、汚染レベルはその後低下していると考察できる。このような状況から、「アラル海危機」の中で、農薬が占める割

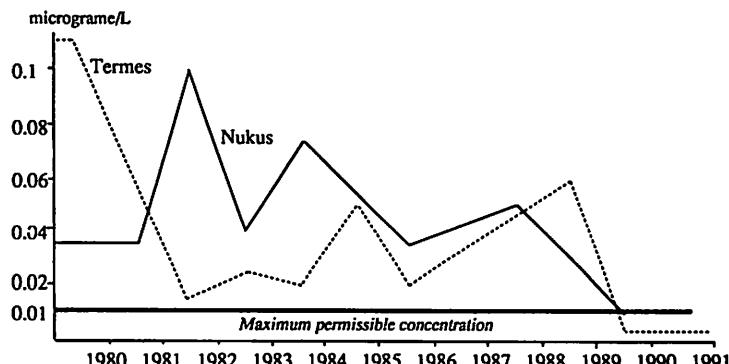


図 7. アムダリア河川水中のBHC濃度。

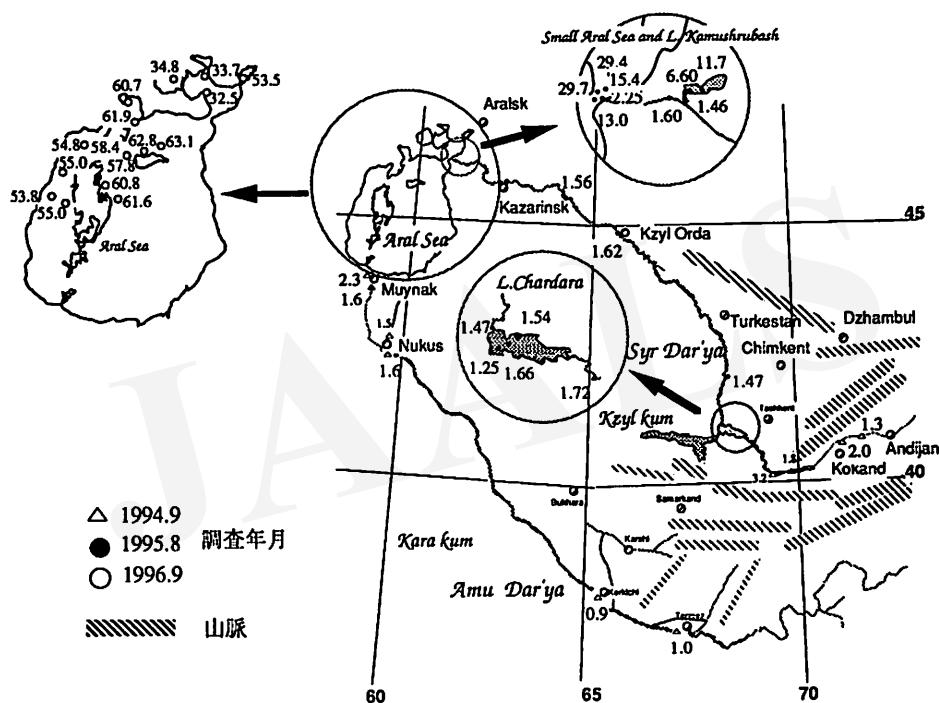


図 8. アラル海流域表流水の電気伝導度 (mS/cm)。

合もまた低下しているはずであり、1970年代の状況があつたかも現在も継続しているかのごとき評価をするのは間違いであろうと考える。いずれにしても、この分野の情報が不足していることが原因であり、農業による環境汚染調査が必要である。とりわけ、流域住民の健康被害との関連から、飲料水に利用されている地下水の汚染調査の実施が望まれるところである。

##### 5. 塩分濃度の上昇と漁業の壊滅

アラル海はもともと塩湖であり、1960年代以前は湖水の塩分濃度が10‰前後に保たれ、生息生物も豊かな湖で

あった。大規模灌漑農業が展開されはじめた頃より流入水量の減少によって湖水の塩分濃度が上昇を始め、1980年代後半には30‰を超える状況となった。1994年以来、筆者らの調査団はシルダリア、アムグリアおよびアラル海での水質調査を実施してきた。表流水の電気伝導度 (mS/cm) の測定値で塩分濃度を示す(図8)。測定には堀場製作所製U-10を用いた。両河川の本流での電気伝導度は0.9から3.2の範囲にあり、下流域で高い値が検出される傾向にあるが、農業排水やダムの影響がある調査地点では、中流域でも高い値が検出されている。このような電気伝導度を示す河川が流入するアラル海での値の分布は極めて特徴的な様相を示している。北部アラル海

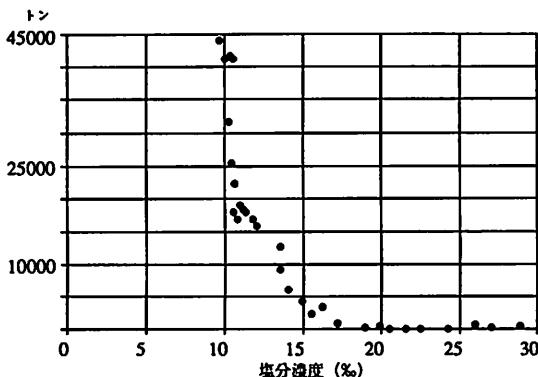


図9. アラル海湖水の塩分濃度と漁獲量。

(小アラル海)では、アラリスト付近で53.5を検出した以外は、ほぼ全域で35以下で、海洋と同程度の値である。これに対して、南部アラル海(大アラル海)ではすべての調査地点で55以上の値が検出され、バルサケレメス島北部の地点で63.1と最高値を検出した。すなわち、海洋より遥かに高い値である。塩分組成は今後の調査結果に待たねばならないが、この海域ではプランクトンも極めて少なく、魚類などが生息できる水環境ではない。

このような水質の変化とデルタ地帯の減少とともに、なう産卵帯の消失から、年間漁獲量が5万トン近くあったアラル海漁業は1980年代には壊滅に至った(図9)。その後、流域の漁業者はシルダリア・アムダリア沿いの湖沼、沼沢での漁業開発に力点を置かざるを得なくなっている。アラル海ではカレイ(カンバラ)がわずかに水揚げされている程度である。

## 6. 環境悪化と疾病発生

湖の縮小と新たな沙漠の現出(かつての湖底)はアラル海流域の気候変動をもたらし、気温の変動や砂嵐の発生頻度の增多、あるいは塩分の飛散増などが指摘されている。また、流域住民が飲用する河川水および地下水の塩分濃度の上昇によって、流域住民に健康障害(貧血症、肺結核など)が増加していると言われている。その顕著な事例として、乳児死亡率の増加が指摘されてきた。図10はウズベキスタン共和国における乳児死亡率の経年変化を示したものであるが、第二次大戦後は乳児死亡率が欧米や日本はもとよりソ連邦全体でも減少しているのに反して、アラル海流域では増加し、新生児1,000人あたり80人が1歳までに死亡するとされている。筆者らの現地聞き取り調査によれば集落によっては200人を超えるとの医療関係者の証言もある。この現象が、アラル海の縮小とともに発生した生態環境の変化に起因するとすれば即断しがたいが、環境悪化との関連性に関する詳細な

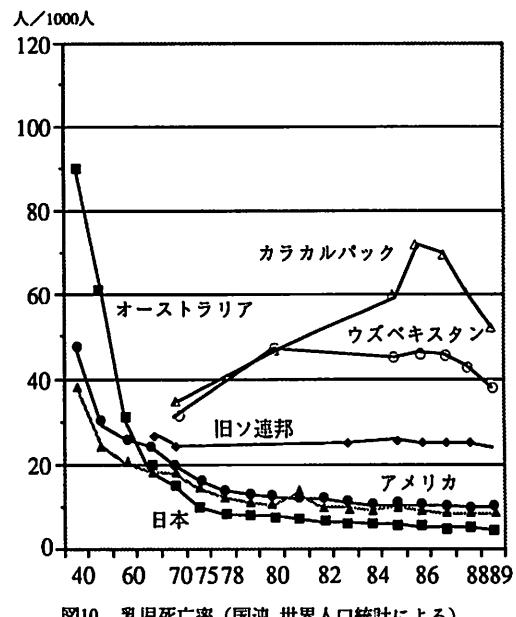


図10. 乳児死亡率(国連世界人口統計による)。

調査研究が希求されている。  
最近の報告によれば、女性の45.9%、子供の64.3%が貧血症であり、その他の疾病ともあわせて環境悪化の影響を示唆している(AKINOVA, 1996)。

以上、アラル海問題とされている問題点を概観してきたが、これらの問題以外に植生の変化や湿地帯の消滅によるペリカン類はじめとする水鳥類の世界的に貴重な生息地の消失など、いまだ問題としての存在さえ指摘されていないことが数多くあると思われる。また、個別課題についても現象をようやく把握はじめた段階であり、その発生メカニズムと相互関係を考察するまでには至っていない。アラル海消滅という事態を前にして、事実の把握、対策の確立が急がれるところである。

## 謝 辞

本研究の一部はトヨタ財団、中島平和財団の研究助成によって遂行した。また、カザフスタン共和国農業科学アカデミーのイスカコ博士の助力をえた。ここに記して感謝の意を表明する。

## 引 用 文 献

- 石田紀郎・辻村茂男・久保田 洋・和泉賀津子(1995)：アラル海・シルダリア流域の農業問題。「中央アジア乾燥地における大規模灌漑農業の生態環境と社会経済に与える影響」No. 3, 日本カザフ研究会:117-126.
- 中村泰三(1991)：『現代ソ連白書—民族・環境・共和国』古今書院。
- 渡辺紹興(1996)：アムダリア川・シルダリア川下流デルタ地域の灌漑農業と水管理。「中央アジア乾燥地における大規模灌漑農業の生態環境と社会経済に与える影響」No. 4, 日本カザフ

研究会:1-22.

AKINOVA, A.A. (1996): *Influence of land degradation on the domestic market-gardening, nutrition and women's and children's health in the Aral Sea region*. Kazakhstan International Conference on Land Degradation, Adama, Turkey.

RAU, A.G. (1994): *Quantitative Description of Water Contents of Syr Dary'a*. Kazakstan Agricultural Science Academy.

UNDP (1995): *Ecological and Environmental Problems in the Region of Central Asia*.

ZHU, Z., RASKIN, P. and STAVISKY, D. (1991): Water development strategies for the Aral Sea region. Proc. 7th World Congress on Water Resources.

JAALS

## Environmental Problems Caused by Large Scale Irrigation in the Aral Sea Basin

Norio ISHIDA\*, Yoshiko KAWABATA\*, Shigeo TSUJIMURA\* and Hiroyuki NAKAHARA\*

In the Aral Sea basin of Central Asia, the water-cycle has markedly changed due to the development of large scale irrigation agriculture, which had been designed and developed by the former Soviet government to foster cotton and rice cultivation. Vast quantities of water taken from the middle reaches of Amu Dar'ya and Syr Dar'ya resulted in a rapid decrease of water flowing into the Aral Sea. As a result, the alkaline content of the Aral Sea increased and the biota, in particular fish fauna, heavily deteriorated, since the Aral Sea dwindled to approximately half it's previous size and the water quantity markedly decreased. All of these environmental disasters, coupled with enlargement of desert areas, are now called as 'the Aral Sea Crisis'. Here, we critically review various problems, such as failures in water management, soil salinization, human health and so on, in the Aral Sea basin.

**Key Words:** Aral Sea, Large-scale irrigation, Desertification, Environment

---

\* Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-01, Japan.

(Received December 28, 1996; Accepted January 17, 1997)

## ホレズムの遺跡

林 俊 雄\*

### 1. はじめに

ホレズム（ホラズム、フワーリズム）は現在その北半分がウズベキスタン共和国の中のカラカルパクスタン自治共和国に属し、南半分は同じくウズベキスタン共和国のホレズム州とトゥルクメンニスタン共和国とに属している。この地域の主な住民である「ウズベク人」とはソ連の主導のもとに作り出されたかなり新しい民族呼称であるが、もともとは北方から侵入してきた遊牧民（主にトルコ系）と土着の定住農耕民（主にイラン系）とが混じり合って構成されている（小松、1996: 246）。またカラカルパク人とトゥルクメン人も本来はトルコ系の遊牧民である。

遊牧民と定住農耕民とが混在している状況は実ははるか以前から続いてきたのだが、そのことはホレズムが占めている地理的位置を見ればすぐに了解される。ホレズムの南方・西方にはカラクム沙漠が広がり、その南にはムルガブ川流域やコペトダグ山脈北麓のオアシス地帯が連なる。そこには早くも前6千年紀からジェイトゥン文化などの定住農耕文化が栄えていたが、これはさらに南西方のイラン高原の新石器文化に関係していた。

これに対し、ホレズムの北方・東方にはキジルクム沙漠が広がり、さらに北に進めばシルダリヤを越えてカザフスタンの草原地帯に至る。そこには前4～3千年紀から牧畜を主たる生業とする文化が生まれ、前1千年紀以降は騎馬遊牧民が活躍はじめて南方・東方・西方へと積極的に交流をはかるようになる。

一方、ホレズムそのものはアムダリヤの作り出すデルタによって一大オアシスを形成しており、定住農耕文化が育まれるのに適していた。

このような歴史地理的条件をもつホレズムをマッソン V. M. MASSON は「果てしない遊牧民の海における都市文明の離島」と呼んでいる（マッソン、1970: 173）。「都市」が成立するのは前1千年紀半ば以降のことであるから、それ以前の集落程度の規模のものがあった時期も含めて考えるとすれば、「遊牧地帯に突き出た定住農耕地帯の半島」、「遊牧と定住の接点」とでも言い換えたよいであろう。

本稿では以上のような特徴をもつホレズムの考古学調査のこれまでの成果と問題点を整理してみたい。

### 2. ホレズムにおける考古学調査の歴史

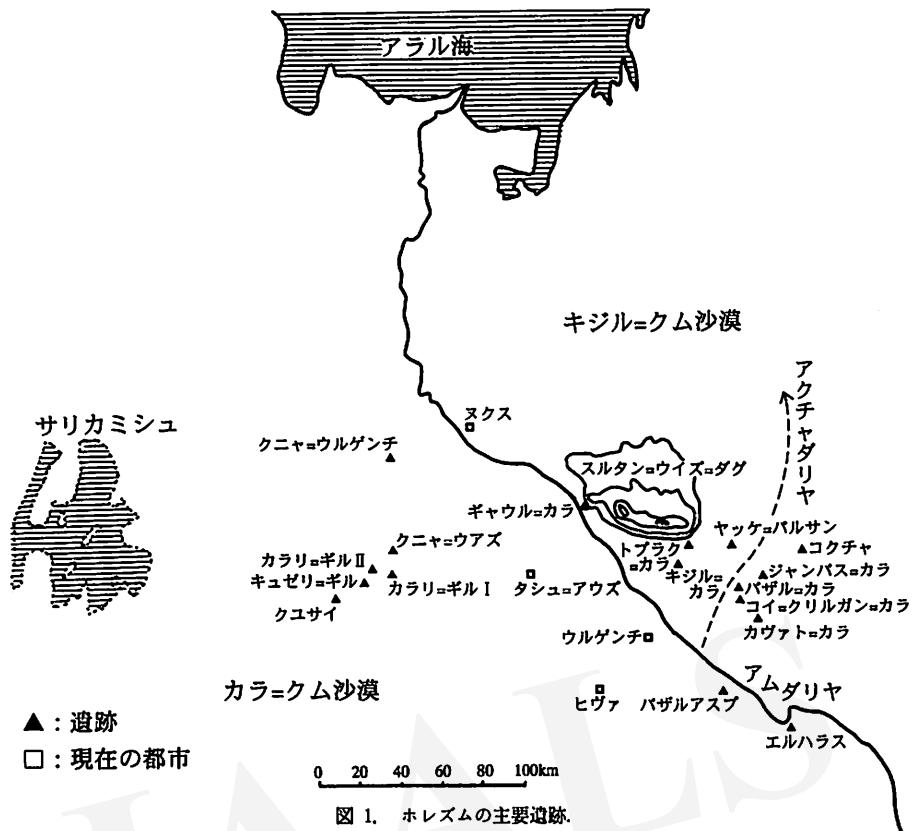
ホレズムにおける考古学調査は1920年代末から始めたが、とくに1938年から4年間、トルストフ (S.P. TOLSTOV, 1907-76)を中心とする調査が大きな成果を生んだ (TOLSTOV, 1948)。この調査はホレズム、すなわちアムダリヤ下流域やキジルクム、カラクムの沙漠も対象としていたが、調査の目的は、ホレズムの通史・遺跡の編年を明らかにし、どのような時代にオアシスが繁栄し、そして沙漠化していったのかという問題に答えることにあった。具体的には古代の灌溉システムと農耕オアシス住民の社会制度の問題がテーマとなった (ITINA, 1981: 5)。

第二次大戦による中断を経て、戦後再びトルストフの主導のもとに調査が開始されたが、規模はずっと大きくなつて名称も「ホレズム考古学・民族学総合調査団」と改められ、さらに自然科学系の研究者も参加するようになった。またソ連でははじめて遺跡の探索や測量に飛行機が本格的に導入された。研究テーマも広がり、アム・シル両河の旧河床の変遷や、遊牧民とオアシス定住民との関係、遊牧民がこの地域の経済・文化の面で果たした役割、現在この地域に住む民族の起源問題にまで及んだ (ITINA, 1981: 6)。

ところで古代の灌溉網や旧河床の調査は、もっと現実的な問題とも深く関わっていた。それは、オビ河などシベリアの大河の水を分流して中央アジアに導こうという遠大な計画、いわゆる「ソ連・水プロジェクト Soyuzvod-proekt」のことである。中央アジア南部は社会主义ソ連のモノポリー経済政策のもとで綿花栽培地域と位置づけられ、そのために必要な水を確保するためにアム・シル両河には大規模なダムや用水路がたくさん建設された。さらに沙漠に500万ヘクタールの灌漑地を開発するために、シベリアから水を導入するという構想が提示された (ITINA, 1981: 7)。そして古代の灌溉網を探索してそのルートを将来の灌漑システムに利用しようと考えたのである。しかし環境に重大な影響を及ぼしかねないこ

\* 創価大学文学部人文学科

(受付: 1996年12月28日、受理: 1997年1月17日)



の大計画は、ソ連の崩壊とともに雲散霧消した。

さて戦後の調査の成果は1962年にトルストフの著作『オクサスとヤクサルテスの古代デルタをたどって』(TOLSTOV, 1962)として現われ、さらに報告書 Trudy が1952年以来これまでに16冊、資料集 Materialy が1959年以来10冊刊行され、そのほかにも調査参加者によって多数の単行本や論文が発表されている。また私自身も1989年にユネスコのシルクロード調査団の一員としてホレズム地域を訪れ、いくつかの重要な遺跡を探訪することができた。次に上記のさまざまな報告や私の観察に基づいて新石器時代以降の文化と主な遺跡を年代順にまとめてみよう。

### 3. 各時代の特徴と主な遺跡（図1）

#### 1) 新石器時代=ケルテミナル Kelteminar 文化（前4～3千年紀）

ホレズム地域はほとんどが平坦であるが、唯一アムダリヤの流れをさえぎるかのように比高差約400mのスルタン=ウヴァイス Sultan-Uvais (またはスルタン=ウイズ=ダグ Sultan-Uiz-Dag) の山塊が東西に広がって立ちはだかっている。現在アムダリヤはこの山の西側を

流れているが、かつてその東側を流れてしまっすぐ北上し、アラル海に注いでいた時期があった。その旧河床はアクチャダリヤ Akchadarya と呼ばれているが、この川筋に新石器時代から青銅器時代にかけての遺跡が集中している。

その代表的な遺跡は、ジャンバス=カラ Djanbas-kala (前4～2世紀の都城址) の南にあるジャンバス4号住居址である。この住居址は火災に遭った後すぐに水没しとなり、粘土質の層で覆われたため、非常に残りがよい。発掘の結果、住居は木と葦で造られており、プランは卵形 (26m×17m) で大きいことがわかった。住居の覆いは円錐形で高さは8～10mと推定される(図2)。魚骨が大量に発見され、これが主な食料源と考えられる。ほかに比較的少ないが小動物や鳥の骨、淡水産の貝殻、土器、石器が発見されている(TOLSTOV, 1962: 30)。

この文化の石器には石鎌・スクレーパー・石錘など、狩猟・漁労用のものはあるが、シックルブレイドや家畜の骨など農耕・牧畜の存在を示す証拠は発見されていない(SARIANIDI, 1992: 122)。

初期の代表的な遺跡にはほかにジャンバス31号(通称「トルストフの住居址」)、中期・後期ではカヴァト5, 7号、ジャンバス5, 11号などがある。

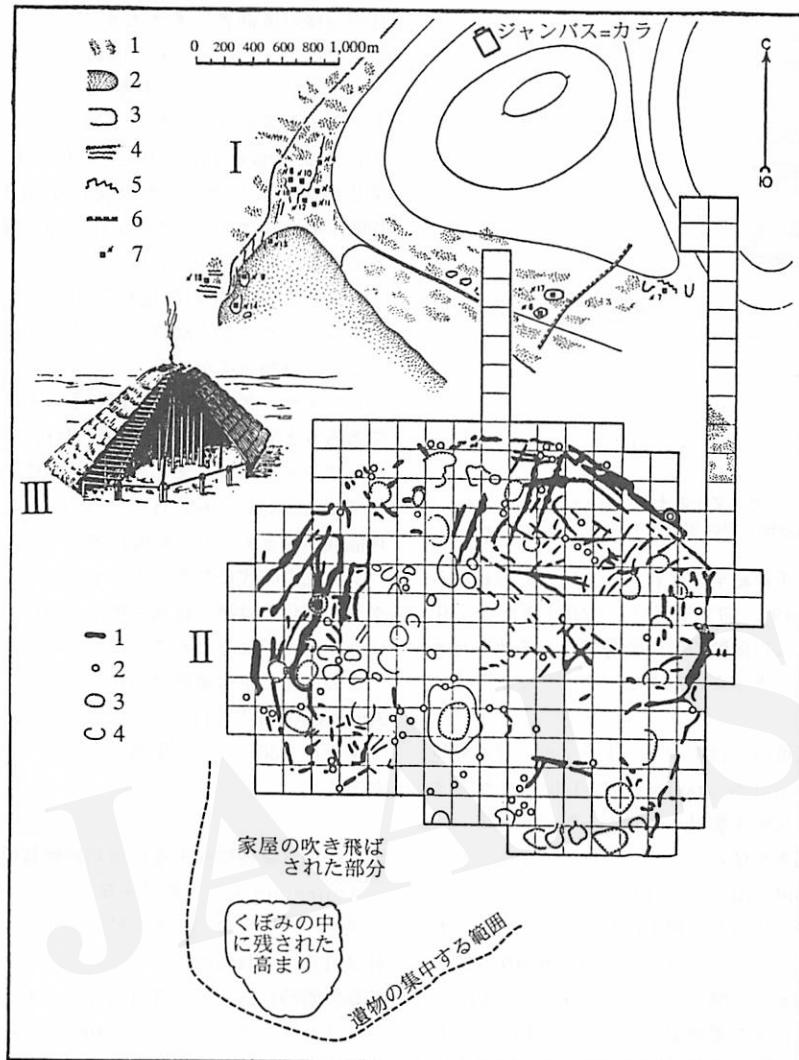


図2. ジャンバス4号住居址. (TOLSTOV, 1962)

- I. 住居址の分布: 1. 砂, 2. 一面の砂地, 3. くぼみ, 4. くぼみの崩れた地帯, 5. 高まりの崖, 6. 道, 7. 住居址  
 II. 発掘区のプラン: 1. 炭の堆積, 2. 柱穴, 3. 主な炉址, 4. たき火あと  
 III. 住居の復元

アムダリヤはまたかつてアラル海に注ぐ少し手前で西に向きを変えて流れていったこともあり、その干上がった流路はウズボイ Uzboi と呼ばれているが、この旧河床沿いにもケルテミナル文化ときわめて類似した文化が広まっていた (MASSON and SARIANIDI, 1972: 73)。さらにカザフスタンの西部・南部から東部にもケルテミナル文化が広まっていたらしい (DEREVYANKO and DORJ, 1992: 185-188)。

なおこの文化の年代については、C-14年代に基づくジェイトゥン文化の年代との比較などから前6~4千年紀とする説もある (KOROBKOVA i MASSON, 1978: 107;

VINOGRADOV, 1981: 119; SARIANIDI, 1992: 121)。

## 2) 青銅器時代=タザバグヤブ Tazabagyab 文化 (前2千年紀)

ケルテミナル文化の末期にホレズム地域には赤い顔料で彩色された大型土器を伴う文化が現われた。これはスヤルガン Suyargan 文化とかカミシリ Kamysly 文化と呼ばれ、金石併用時代の文化とする説もある (TOLSTOV, 1962: 42-47)。その起源については、南方起源説 (TOLSTOV i ITINA, 1963) とケルテミナル文化にさかのぼるとする説 (ITINA, 1981: 8) がある。

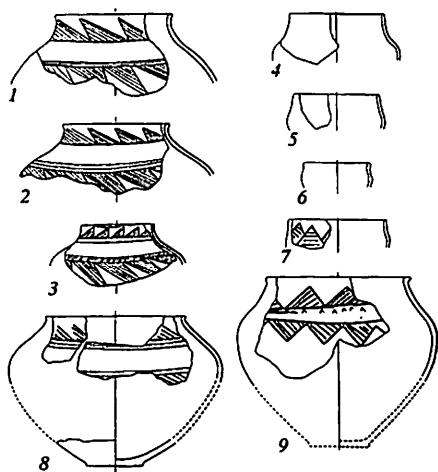


図3. タザハグヤブ文化の土器. (ITINA, 1977a)  
コクチャ15号集落址 6号住居址出土. スケールは5cm.

この文化は前2千年紀全体にわたっていたと思われるが (ITINA, 1977a: 19), 前2千年紀の中頃に新たな文化が現われる。それは青銅製の錐や装身具などを伴うため, 青銅器時代の文化と考えられ, タザバグヤブ文化と呼ばれている。

この文化の集落址からは牛や羊, まれに馬の骨が発見される (MASSON and SARIANIDI, 1972: 149). またたてがみに孔のあいた馬形土製品や車輪形土製品が出土していることから, 馬車が使われていた可能性も指摘されている (MASSON and SARIANIDI, 1972: 149).

牧畜のほかにごく粗放な農耕も行われていたらしいが, それほど重要ではなかったようだ。簡単な灌溉渠があったとする見方もあるが (MASSON and SARIANIDI, 1972: 149), トルストフはまだ灌溉渠はなく天水に頼っていたと考える (TOLSTOV, 1951: 180).

住居址はプランが方形で, 平均は $10m \times 12m$ から $12m \times 15m$ ぐらいである。半地下式ではあるが, それほど深くはない。入口は東壁か南壁にある。入口に向かい合った住居の中央には炉があるが, その近くにはほとんど何も発見されないため, トルストフはそれを生活用ではない(すなわち儀式用)炉と考えている (TOLSTOV, 1962: 50)。一方, 壁際には多くの穴や焚火のあとが見られ, 遺物の量も多い。

住居址や墓地から出土する遺物の中でとくに注目すべきは土器で, 樹状の押型でジグザグや三角形などの幾何学文様が表現されているが (図3), その文様や器形は北方草原地帯のアンドロノヴォ Andronovo 文化やスルブナヤ Srubnaya (木槧墓) 文化の土器のそれ(とくに前者)ときわめて近い。

トルストフは当初タザバグヤブ文化はケルテミナル文

化の直接の後継者と考えたが (TOLSTOV, 1951: 180), 最近ではアンドロノヴォ文化(あるいはそれとスルブナヤ文化とがウラル南部で接触融合して)が南下してきたものとする説が有力である (MASSON and SARIANIDI, 1972: 149; ITINA, 1977a: 19)。またイチナはスヤルガン文化が徐々にタザバグヤブ文化を同化していき, 前1000年前後にはスヤルガン文化の方が優勢になったと考えている (ITINA, 1977a: 19)。

ところで前2千年紀の北方草原地帯からの民族移動といえば, いわゆる印欧語族の南下と関係があるのかどうかという点が気にかかる。アンドロノヴォ, スルブナヤ, そしてタザバグヤブ文化の担い手はインド=イラン語族であろうとする研究者は多い (ITINA, 1977a: 235)。しかしアンドロノヴォ文化人はまだ純粹の遊牧民とはいえない (KHAZANOV, 1983: 94), 馬も少なく, 馬車も存在の可能性がみとめられる程度に過ぎない。後述するアミラバド文化の時代になると馬も増えてくるが, まだタザバグヤブ文化の段階では馬や馬車を駆使する騎馬遊牧民というイメージは浮かんでこない。

この文化の主な遺跡には, カヴァト3号, アングカ Angka 5号などの住居址, コクチャ Kokcha 15, 16号, ジャンバス30号などの集落址と, コクチャ3号墓地などがある。

### 3) 後期青銅器時代あるいは初期鉄器時代=アミラバド Amirabad 文化(前2千年紀末~1千年紀初)

タザバグヤブ文化の後に続く文化はアミラバド文化と呼ばれる。これを当初トルストフは前8~7世紀として初期鉄器時代に入れ (TOLSTOV, 1948: 69-70), マッソン, サリアニチラは年代を前10~8世紀に上げたものやはり初期鉄器時代に入れていたが (MASSON and SARIANIDI, 1972: 163; ASKAROV, 1992: 442), イチナらはスヤルガン文化末期の土器との比較から後期青銅器時代とする (ITINA, 1977a: 147)。

この文化はアクチャダリヤのデルタに広がり, 灌溉渠を有する定住的農牧文化であった。代表的な遺跡はヤッケ(またはヤッカ)=パルサン Yakke (Yakka)-Parsan 2号集落址である。この遺跡では2本の灌溉渠に挟まれたところにこれまでに20数戸の住居址が発見された(図4)。住居は方形の半地下式で, 面積は $90\sim110m^2$ , 2~3室からなっている (ASKAROV, 1992: 442)。出土した大量の土器は, 暗い茶, 赤, 灰色の化粧土がかけられ, 肩か頸部に連続×字や矢羽根状の刻文が施されている(図5)。これらの文様は上記のようにスヤルガン文化の末期の土器のそれに近い。ほかに針, 鎌, 両翼鎌などの青銅製品とともに, 8号住居址ではそれらの鋳型が発見

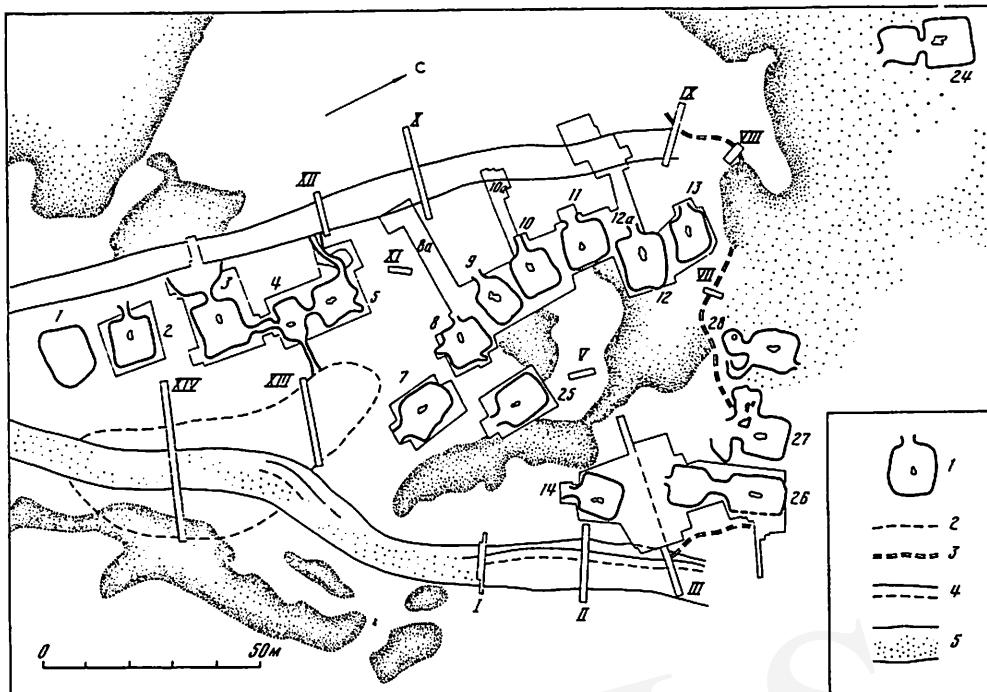


図4. ャッケ=バルサン2号集落址. (ITINA, 1977a)  
1. 住居址, 2. 浸水の痕跡, 3, 4. 後世の灌漑渠, 5. 灌漑渠

されたため、その住居址は「鑄物師の家」と呼ばれている (ITINA, 1977a: 210).

青銅製の鎌や大量の石皿の発見、そして灌漑渠の存在から、農耕が発達していたことがわかるが、同時に家畜骨も大量に発見されている。タザバグヤブ文化の集落址では出土した骨から判断すると個体数にして牛が1~4頭、羊・ヤギが4~11頭、馬が0~2頭であるのに対し(ほかに犬・ブタ・ラクダが0~1頭)、ヤッケ=バルサン2号では牛が40頭、羊・ヤギが70頭、馬が26頭(ほかに犬が2頭)と増えている (ITINA, 1977a: 185-187)。もちろん発掘の規模、集落の大小も考慮に入れなければならないので単純に頭数だけを比較することはできないが、家畜群の構成比から見れば、牛と馬が増えているということはできる。いずれにしても農耕だけでなく、牧畜も発達していたということができよう。

この時期、シルダリヤ下流域に日干し煉瓦を使った墓やアミラバド文化の土器によく似た土器が現われるが、これはアミラバド文化が北上した結果であろうと思われる (ITINA, 1977b: 190)。

遺跡にはほかにヤッケ=バルサン14号、カヴァト2号、コクチャ1, 4号、バザルBazar1, 3, 10号などの集落址がある。

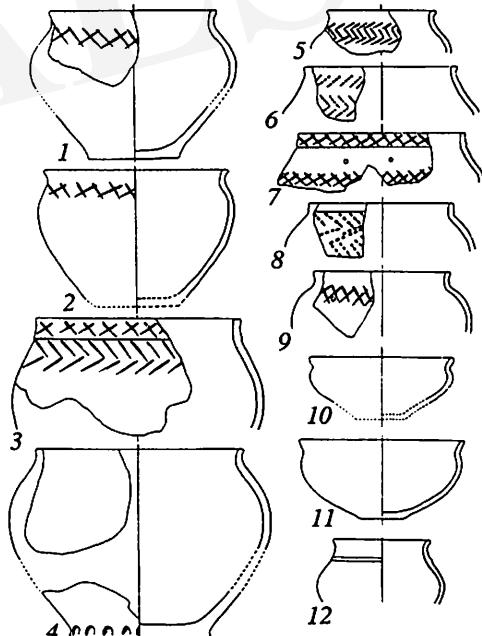


図5. アミラバド文化の土器. (ITINA, 1977a)  
ヤッケ=バルサン2号集落址5号住居址出土. スケールは5cm.

#### 4) 古典古代(前7~後5世紀)

前6世紀頃から都市や城塞、神殿などの大規模な建造物が造られるようになる。そしてアケメネス朝の記録や

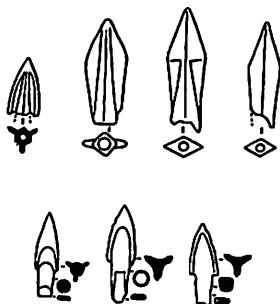


図 6. クユサイ文化の青銅鎗。(VAINBERG, 1979)  
クユサイ 2号集落址出土。

ギリシア・ローマ、さらには中国の文献にもこの地域の事情が記載されるようになる。また北方のシルダリヤ下流域でははじめはスキタイ系統、のちにはサルマタイ系統の騎馬遊牧民の活動が活発となり、その影響がホレズムにも及んでくる。

トルストフはこの時代を、①古拙期（前6～5世紀）、②康居期（前4～後1世紀）、③クシャン期（2～3世紀）、④クシャン＝アフリグ期（3～5世紀）と区分し（TOLSTOV, 1948: 32-33），旧ソ連圏には今でもこの編年を使う研究者が多い。しかし彼らの中にも「康居」とか「クシャン」という不明瞭な名称を使うことに対して躊躇する動きも見られるので（YAGODIN *et al.*, 1985: 317），本稿では使用しない。

#### (1) クユサイ Kuyusai 文化（前7～4世紀）

アムダリヤがアラル海に注ぐ手前で西に分かれた流れはサリカミシュ沼沢地を形成するが、そこに至るまでの流域に前7～4世紀頃独特な文化が現われた。それはクユサイ文化と呼ばれ、集落をもつ定住的な農牧民の文化である。その遺跡はまだあまり十分には調査されていないが、城壁などの防御施設をもたないクユサイ2号集落址では地上式と地下式の住居址が発見された。地上式は面積が100m<sup>2</sup>弱、地下式は約100m<sup>2</sup>で深さは旧地表面から3mに達する（ただし丘の斜面に位置する）。出土品には大量の土器と動物骨、土製紡錘車、石皿、青銅製の袋穂状両翼鎗と三翼鎗（図6）、鉄製の刀子などが発見された。土器の中には轆轤で作られた中央アジア南部産やイラン産のものも含まれるが、同時に両翼鎗・三翼鎗は北方系統のものであり、南北両方の要素が見られる（VAINBERG, 1979: 10-11）。集落の近くに灌溉渠のあとがみとめられないことから、住民の主たる生業は牧畜であったと思われるが、上記の出土品から考えて農耕も行っていたであろう（VAINBERG, 1979: 23）。

同文化のタリムカヤ Tarym-kaya I号遺跡は墓地と集落址とからなるが、墓地からはオッスアリ（納骨器）が発見されているため、ゾロアスター教の影響もあった

と思われる（VAINBERG, 1979: 52）。

ヴァインベルグはこの文化とそれ以前のタザバグヤブ文化やアミラバド文化との間に埋めがたい断絶をみとめ、この文化は新来の人々によるものであるとし、その起源を前7世紀第2四半期のメディア王国内の政治的混乱から逃れてきた人々に求めた（VAINBERG, 1979: 50-51）。まだこの説は仮説の段階にとどまっており、今後の検討が必要とされている。

サリカミシュに至るデルタにはこの時代に城壁をめぐらした城塞も存在した。その代表がキュゼリ＝ギル Kyuzeli-gyr とカラリ＝ギル Kalaly-gyr である。前者は南北に長い（約1km）三角形の丘の緩やかな斜面に造られており（図7）、その名の通り（「土器のある丘」を意味する）地表には土器片が散乱していた。ほかに前6～5世紀のスキタイ系の青銅三翼鎗、鉄製鎗、製鉄址などが発見された（TOLSTOV, 1962: 99）。

そこから東に20km離れたカラリ＝ギルI号遺跡は1,000×700mの長方形のプランをもつ。宮殿のような大規模な建築址では、グリフィンの頭部を鋳造するためのアラバスター製の鋳型や有翼馬の前駆の付いた土製リュトン、土製オッスアリなどが発見された。これらはアケメネス朝との強いつながりを示しているが、城塞そのものは未完成であるため、トルストフはアケメネス朝の崩壊とともにこの都市も放棄されたものと考えている（TOLSTOV, 1962: 117）。

#### (2) 前4～2世紀

この時期にはアムダリヤ両岸に強固な防御施設（城壁と壕）を伴う都市がいくつも建設された。その代表が右岸ではジャンバス＝カラ Djanbas-kala とバザル＝カラ Bazar-kala、左岸ではハザルアスピ Khazarasp、サドヴァル Sadvar とジゲルベント Djigerbent である（ITINA, 1981: 13）。これらは周囲の農耕地と隊商路を守ると同時に手工業・商業・宗教上の中心でもあった。

都市とは別に宗教上の施設だけが単独で造られることもあった。ホレズム最南端の交易路上に位置するエルフアラス Elkharas もそのうちの一つだが（LEVINA, 1991），この時期のもっとも興味深い遺跡は、アクチャダリヤのデルタの南部に位置するコイ＝クリルガン＝カラ Koi-Krylgan-kala であろう。プランは円形で（直径90m），城壁の内側に建物群があり、さらにその中に円筒形の2階建ての建築があった（図8、9）。この建築の外壁にはぐるりと矢狭間があけられていた。1階は8室に分けられ、アーチ型の通路で中央の部屋に通じていた。出土品には土器のほかに多数の土偶（人間と動物）が注目される。この特異な建造物は今のところ天文台の役割をももつ宗教上の施設ないし墓廟として前4～3世紀頃

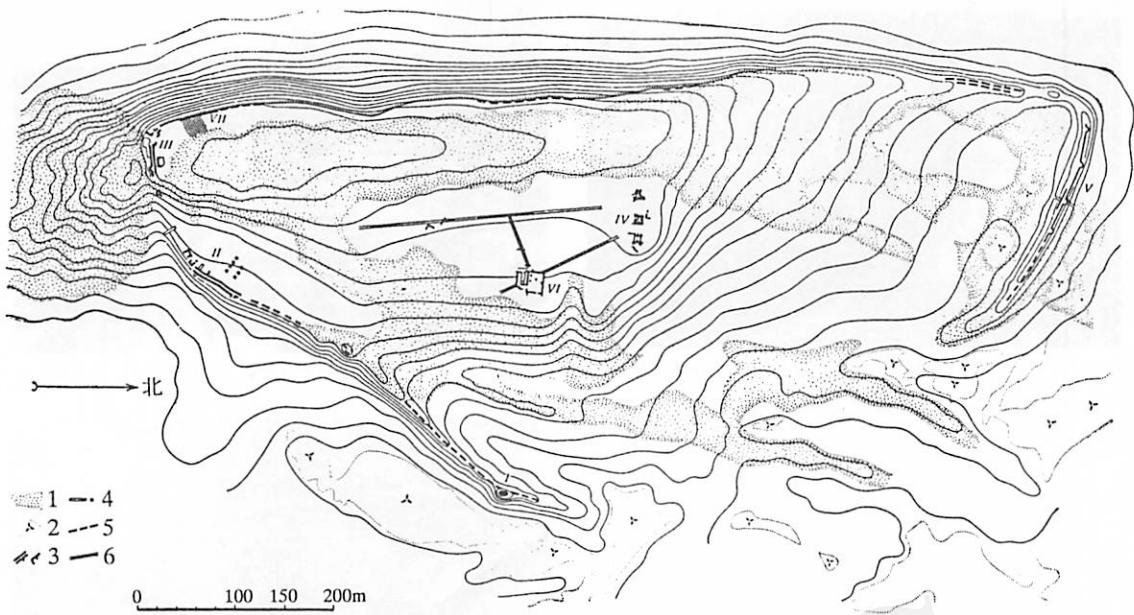


図 7. キュゼリ＝ギル城塞址.

1. 敵のある砂丘, 2. くぼみ, 3. 発掘された城壁, 4. トレンチ, 5. 未発掘の城壁, 6. 旧地表面まで出したところ (網掛けは文化層の露頭を示す), I ~ VII. 発掘区

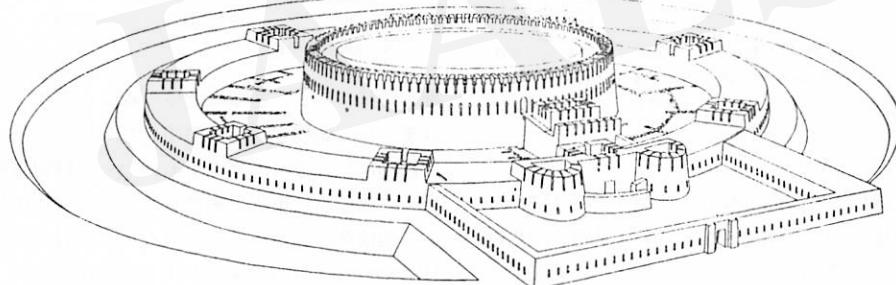


図 8. コイ=クリルガン=カラ復元図. (TOLSTOV i VAINBERG, 1967)

使われ、その後一時放棄されたあと、後1～4世紀に再利用されたと考えられている (TOLSTOV i VAINBERG, 1967: 310)。たしかにユニークな形ではあるが、似たような円形の墓廟はシルダリヤ下流域にこれよりやや早い時期に属するサカ系遊牧民が造った一連の遺跡があり、これらとの関係も考慮しなければならないであろう。

### (3) 前1～後5世紀

前2世紀から前1世紀にかけて中央アジアには北方から月氏などの遊牧民が侵入した。ホレズムもその影響を受けたと思われるが、考古学的にはまだはっきりとは確認されていない。その後中央アジア南部にはクシャン朝が勃興するが、その勢力がホレズムにまで及んでいたかどうかについては意見は一致していない。トルストフは

クシャン朝の勢力下に入ったと見るが (トルストフ, 1968), 最近では否定的な見解が優勢である。

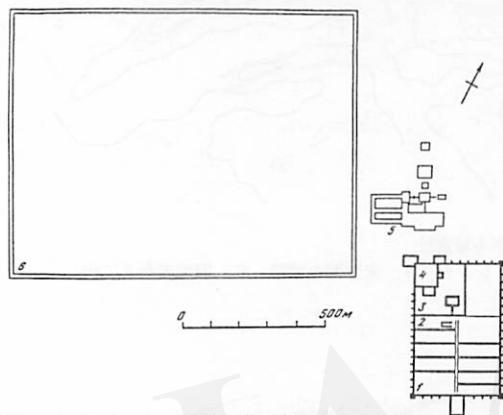
いずれにしてもクシャン朝が中央アジア南部で栄えていた後2世紀後半にホレズムには大規模な宮殿と神殿をもつ注目すべき都市が現われた。それがトプラク＝カラ Toprak-kala (「土の城」) である (図10, 11, 12)。プランは南北方向に長い長方形で (500m × 350m), 南壁の中央に城門があり、そこから北に大通りが伸びている。大通りの先には内城の城壁があり (180m × 180m), そのすぐ内側には、中央の部屋に大量の白い灰が発見されたため拝火神殿ではないかと思われる遺構がある (40m × 30m)。内城の東側の窪地は貯水池であったらしい (RAPORT i NERAZIK, 1984: 10-11)。



図9. コイ=クリルガン=カラ. (1989年9月, 筆者撮影)



図11. トプラク=カラ, 上の宮殿. (1989年9月, 筆者撮影)

図10. トپلک=カラ遺跡全体図. (RAPOORT i NERAZIK, 1984)  
1. 都城址, 2. 神殿の区画, 3. 拝火神殿の痕跡を伴う内城, 4. 宮殿 (上の宮殿), 5. 北の遺構群 (下の宮殿), 6. 土塁で囲まれているが建物のない空間

内城の西北隅は一段と高くなり（基壇の高さ14.3m），その上に宮殿址（「上の宮殿」）があった。基壇は四角錐台形で，1辺は下で90m，上で83mであった。東側中央に階段があり，宮殿に上れるようになっていた。宮殿では壁画や塑像，さらにはホレズム語が記された皮革文書や木簡が多数発見されたが，厨房がないため，日常生活が営まれていたとは考えにくい（RAPOORT i NERAZIK, 1984: 295）。

都城址の外側北方には，城壁で囲まれてはいないが，300m×350mの範囲に宮殿や神殿を含む相互に接した建築群があり，そこではやはり壁画や獅子の金の頭，浮彫り製作用のアラバスター製雌型，クシャン朝の貨幣やホレズムの貨幣などが発見された。ここは「下の宮殿」と名づけられた。この「下の宮殿」の西の張り出しから50m離れて広大な土塁で囲まれた空間がある（1,250m×1,000m）。土塁の高さは現在でも所々で3mはある，当初は4m以上，幅も約10mはあったと思われる（RAPOORT i NERAZIK, 1984: 12）。この土塁の南壁の

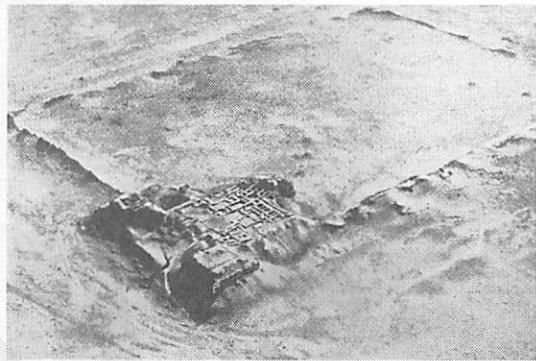


図12. トپلک=カラ都城址. (1950年撮影, RAPPORT i NERAZIK, 1984)

線を延長すると，都城の北壁の線と重なる。土塁の中にはまったく建物の遺構は検出されない。この広大な囲いの役割については，墓地であるとか，狩猟用動物の飼育場所，遠征前に軍隊を集合させる場所，新年祭などのさいに競技を行うところなどいろいろな説が出されている（RAPOORT i NERAZIK, 1984: 290-291）。また「上」と「下」の2つの宮殿があることについても，「聖的宮殿」と「俗的宮殿」と解する説，二重王権制と関連づける説などがある（RAPOORT i NERAZIK, 1984: 290-291）。

都市そのものの意味についても疑問な点がある。それは，宮殿や神殿が立派で大規模なわりには都市が小さいという点である。ホレズムにはキュゼリ=ギル（25ha）とかカラリ=ギル（70ha），バザル=カラ（31.3ha）などの大きな都城址があるが，トپلک=カラの都市部分の面積は17.5haにとどまり，人口は2,000~2,500人程度と推定されている（NERAZIK i RAPORT, 1981: 140）。「上の宮殿」で発見された文書の中に「神」に捧げられたものが多いことを考慮すると，トپلک=カラは宗教的性格の強い都市ということはできるであろう（RAPOORT i NERAZIK, 1984: 296）。

## 5) 中世（6～19世紀）

トプラク＝カラは5世紀に終焉を迎えたが、5～6世紀には灌溉面積が大幅に縮小する現象が見られる。これは内紛と「蛮族」の侵入の影響ではないかと考えられている。しかし7～8世紀には急速に回復し、アフリグ朝Afrigidが繁栄する。この時代の主な遺跡には、右岸のベルクト＝カラ Berkut-kala, カルガ＝カラ Kargalkala, ャッケ＝バルサンなどがある。

9～11世紀には左岸の交易路沿いにクニヤ＝ウルゲンチ Kunya-Urgench, ジゲルベント, サドヴァル, ハザルアスピ, カヴァト＝カラなどが栄えた。この時期、はるか北方のヴォルガ＝ブルガルやハザルなど、もともと遊牧民出身で交易により栄えた国家との交易が活発となった。またフワーリズミー Al-Khwarizmi (ca. 780-ca. 850) やビールーニー Al-Biruni (973-1050) などの学者が輩出した。

12～13世紀初にはホレズムシャー朝が大発展をとげ、中央アジアから西アジア全域にまで支配を広げた。アッラー＝アッディーン＝ムハンマド Allah al-Din Muhammad 二世（在位1200-20）は、「モンゴルの勃興にめぐり合う不運さえなければ世界史上にも大きな足跡を残すことになったかもしれない」（杉山, 1996: 49）とまで評されるが、非業の死を遂げた。クニヤ＝ウルゲンチはキプチャク汗国のもとすぐに復興したが、14世紀末にティムールによって破壊され、17世紀以降はヒヴァ Khiva がホレズムの中心となる。

## 4. おわりに

各時代を通してながめてみると、ホレズムの歴史は基本的にはオアシスの定住農耕と牧畜に経済の基盤を置きつつも、とくに前1000年以降は遊牧民との交流の中で文化や技術を発展させてきたことがわかる。言い換えると、農耕と牧畜の発生と展開という普遍的なテーマの研究上で、そしてもう一つ、東西南北の交易路上に位置しているためにユーラシア全域の文化交流の研究という面で、ホレズム地域は非常に重要であるということができよう。しかし個々の遺跡についてはまだ調査が充分とはいえず、編年や遺跡の役割については論議の余地がある。

最後にまったく別の面から問題点を指摘しておきたい。第1章でも言及したように、中央アジアは社会主義体制のもとに組み込まれてからは綿花供給地として位置づけられ、膨大な水が消費されてきたが、その結果深刻な塩害に悩まされることになってしまった。その被害は遺跡にも及んでおり、ちょうどインダスのモヘンジョダロで問題になっているのと同じように、地表に塩が吹き出

て白くなり、日干し煉瓦で造られた建築遺構はふやけて崩れかけているのである。

しかし、独立後まだ日の浅い中央アジア各国には経済的な余裕がなく、発掘調査や遺跡保存にも諸外国の援助が必要となっている。すでにいくつかの調査団が中央アジアで活動を開始しているが、ホレズム地域ではまだオーストラリア隊が活動をはじめた程度であり、今後の各国の協力が強く期待される。

## 引用文献

- 小松久男 (1996):『革命の中央アジアーあるジャディードの肖像』 東京大学出版会。  
 マッソン, V. 著, 加藤九祚訳 (1970) :『埋もれたシルクロード』 岩波書店。  
 杉山正明 (1996) :『モンゴル帝国の興亡：上』 講談社。  
 トルストフ, S.P. (1968) :『古代ホレズム、ヤクボーフスキーエカ』著, 加藤九祚訳『ソグドとホレズム』自費出版。  
 ASKAROV, A. (1992) : The beginning of the Iron Age in Transoxania. In DANI, A.H. and MASSON, V.M. eds., *History of Civilizations of Central Asia, Volume I*, UNESCO Publishing, Paris, 441-458.  
 DEREVYANKO, A.P. and DORJ, D. (1992): Neolithic tribes in northern parts of Central Asia. In DANI, A.H. and MASSON, V.M. eds., *History of Civilizations of Central Asia, Volume I*, UNESCO Publishing, Paris, 169-189.  
 ITINA, M.A. (1977a): *Istoriya stepnykh plemen Yuzhnogo Priaral'ya (Trudy Khorezmskoi Arkheologo-etnograficheskoi Ekspeditsii, X)*. Moskva.  
 ITINA, M.A. (1977b): Osnovnye itogi rabot Khorezmskoi ekspeditsii v minuvshem pyatiletii. In *Polevye Issledovaniya Instituta Etnografii 1975*, Moskva, 187-210.  
 ITINA, M.A. (1981) : Khorezmskaya ekspeditsiya—osnovnye itogi i perspektivy issledovanii. In *Kul'tura i Iskusstvo Drevnego Khorezma*. Moskva, 4-20.  
 KHAZANOV, A.M. (1983): *Nomads and the Outside World*. Cambridge University Press, Cambridge.  
 KOROBKOVA, G.F. i MASSON, V.M. (1978) : Pomyatiye Neolit i Voprosy Khronologii Neolita Srednei Azii. *Kratkie Soobshcheniya Instituta Arkeologii*, 153: 103-108.  
 LEVINA, L.M. (1991): Elkharas. In *Drevnosti Yuzhnogo Khorezma (Trudy Khorezmskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii, XVI)*. Moskva, 80-154.  
 MASSON, V. M. and SARIANIDI, V.I. (1972): *Central Asia: Turkmenia before the Achaemenids*. Thames and Hudson, London.  
 NERAZIK, E.E. i RAPOORT, Yu. A. (1981): *Gorodishche Toprak-kala (Trudy Khorezmskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii, XII)*. Moskva.  
 RAPOORT, Yu. A. i NERAZIK, E.E. (1984) : *Toprak-kala. Dvorets (Trudy Khorezmskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii, XIV)*. Moskva.  
 SARIANIDI, V. (1992): Food-producing and other Neolithic communities in Khorasan and Transoxania: Eastern Iran, Soviet Central Asia and Afghanistan. In DANI, A.H. and MASSON, V.M. eds., *History of Civilizations of Central Asia*.

- Volume I, UNESCO Publishing, Paris, 109–126.
- TOLSTOV, S.P. (1948) : *Drevniy Khorezm*. Moskva.
- TOLSTOV, S.P. (1951) : Drevniy Khorezm. In *Po Sledam Drevnikh Kul'tur*, Moskva, 169–208.
- TOLSTOV, S.P. (1962) : *Po Drevnim Del'iam Oksa i Yaksaria*. Moskva.
- TOLSTOV, S.P. i ITINA, M.A. (1960) : Problema suyar-ganskoi kul'tury. *Sovetskaya arkheologiya*, 1: 14–35.
- TOLSTOV, S.P. i VAINBERG, B.I. (1967) : *Koi-Krylgan-kala — pamyatnik kul'tury drevnego Khorezma IV v.d.n.e.—IV v. n.e.* (*Trudy Khorezmskoi arkheologo-ethnograficheskoi ekspeditsii*, V), Moskva.
- VAINBERG, B.I. (1979) : Pamiatniki kuyusaiskoi kul'tury. In *Kochemiki na Granitsakh Khorezma (Trudy Khorezmskoi arkheologo-ethnograficheskoi ekspeditsii, XI)*, Moskva, 7–76.
- VINOGRADOV, A.V. (1981) : *Drevnie Okhotniki i Rybolovy Sredneaziatskogo Mezdurech'ya* (*Trudy Khorezmskoi arkheologo-ethnograficheskoi ekspeditsii, XIII*). Moskva.
- YAGODIN, V.N., NIKITIN, A.B. i KOSHELENKO, G.A. (1985) : Khorezm. In *Drevneishie Gosudarstva Kavkaza i Srednei Azii (Arkheologiya SSSR)*, Moskva, 317–337.

## Archaeological Sites in Khorezm

Toshio HAYASHI\*

The area of Khorezm (Chorasmia, Khwarizm) is a big oasis where sedentary agriculturalists have been living for ages. But at the same time it is surrounded by the deserts where nomads have been living. Furthermore, in the south of Khorezm there lies the Kopetdag Mountains, along the northern foothills of which the early agriculture began in the sixth millennium. In the north of the deserts there are spreading the vast steppelands. This is to say, Khorezm is a peninsular of agriculture protruding into a nomadic zone. This situation is confirmed by archaeological materials.

In the Akchadarya delta (old riverbed of Amudarya) there are centralized Neolithic sites of the Kelteminar culture (Djanbas 4 house site, etc.). This culture is dated to the fourth/third millennia B.C., but some scholars date it to the sixth/fourth millennia B.C., comparing it with the Jeitun culture of Southern Turkmenistan.

The Bronze Age sites of the Tazabagyab culture (Kavat 3 settlement, Kokcha 3 graveyard) are also centralized in the Akchadarya delta. The decoration patterns of the Tazabagyab pottery are quite similar to the Andronovo pottery of the northern steppelands. This shows the influence from the north. However, it is not clear whether this means the Indo-Iranian migrations in the second millennium B.C.

In the Late Bronze Age of the Amirabad culture (the tenth to eighth centuries B.C.) there appeared the settlements with irrigation systems (Yakke-Parsan 2). The cattle and the horses were increased.

In the sixth/fifth centuries B.C. there constructed large fortresses, one of which, Kalaly-gyr, had a palace-like building probably under the Achaemenid control. At that time the steppe nomads (Scythians, Sakas) moved actively and had influence on the southern sedentary agricultural zones, including Khorezm. The Scythian type three-winged arrowheads were found in the settlements of Kuyusai culture (the seventh to the fourth centuries B.C.) in the Sarykamysh delta.

In the fourth/second centuries B.C. there appeared large walled cities on the right bank of Amudarya (Djanbas-kala, Bazar-kala) and on the left bank (Khazarasp, Sadvar), which played a role not only of a defence of agricultural lands and caravan routes but also of a center of manufacture, trade and religion. Koi-Krylgan kala is a unique religious institution or mausoleum, maybe combined with a round observatory.

In the second/first centuries B.C. nomads invaded Central Asia, after that the Kushan Empire was established in Southern Central Asia. However, it is controversial whether Khorezm was controlled by the Kushan Empire or not.

In the second half of the second century A.D. there was constructed a complex of walled and unwalled palaces, a Zoroastrian shrine and a huge walled space, named Toprak-kala. There have been found mural frescoes, clay sculptures and written documents on skin and wood. The study of the meaning of this complex site is a big subject.

As a result of rapid enlargement of cotton fields the Khorezm area now suffers from injury of salt. Archaeological sites are also damaged by salt, because they were made of mud bricks. They are in urgent need of conservation and preservation, as well as investigation.

**Key Words :** Khorezm, Archaeology, Oasis agriculture, Nomadism, Conservation

\* Sohka University, Faculty of Letters, Department of Humanities. 1-236, Tangi-cho, Hachioji 192, Japan.

(Received December 28, 1996; Accepted January 17, 1997)

## ウズベキスタン・ホレズム地区の人工衛星による調査

坂 田 俊 文\*

### 1. 衛星から見る地球環境

衛星やスペースシャトルから見る地球は雲に覆われているが、その間に見える海の青さ植生の緑と陸地のさまざまな混じりあうパターンをもつ星である。この地球を赤道中心にして見ると南北両半球の中緯度に帶状に雲の少ない乾燥地帯が見える。そして、その乾燥地帯の下に沙漠が広がっている。地球を観測する人工衛星ランドサットが1972年に打ち上げられて、現在では24時間地球のあらゆる地域を観測や監視ができるようになり、地球上の自然や環境や科学的な観測データは非常に短い時間でサービスされるようになった。

宇宙から衛星によって最初に遺跡を見たのがナスカの地上絵である。南米ペルーの乾燥の最も激しい沙漠にナスカの地上絵が描かれており1930年代に発見され、その不思議な絵画は多くの人達にさまざまな夢をもたらした。これが宇宙から最初に見ることのできた遺跡である。当時の人工衛星に搭載された電子の目センサーは900km上空から80mのものが見える地上解像力で、それほど鮮明ではなかった。しかし、宇宙から見える遺跡ということで話題になった。現在では地上10m以下のものまで見えるようになり、かなり細かい地上の構築物を数百km上空から見ることできる。ここ数年のうちには1mから2mの解像力の画像が使われることになっており、より鮮明な画像で調査が可能になろう。また、衛星にマイクロ波のレーダーが搭載されるようになり、地表から10mぐらいの地下を調べられるようになった。最近では光学センサーとこのレーダーでエジプトのピラミッド周辺の調査をして、未発掘のツーム・チャベルの遺跡が発見されている(図1)。

このように人工衛星による最先端の宇宙探査技術を考古学の領域に広げ、従来の考古学にない新しい視点から研究が進められている。今回の報告は中央アジアのウズベキスタンを中心にしてアラル海の周辺ホレズム地区の調査を行なったものである。

### 2. 沙漠の中の遺跡と古代都市

衛星観測によって古環境の調査の過程で古代の都市やさまざまな遺跡、消えた湖や河川や水路、運河の跡などが見え、また伝説の町が発見されたりするようなことがある。沙漠が広がる地球の中緯度帯、アフリカの中央部サハラ沙漠から中近東を通り中央アジアそしてタクラマカン沙漠にまで沙漠が続く。シルクロードはヨーロッパからアジア、ローマから西安に至る東西文化を結んだ道である。この道筋の多くは現在では沙漠になっており、都市が消滅したり、かつては文明の中心であった町も現在ではただの小都市にすぎないこともある。

壮大な神殿や豪華な宮殿や城がいま砂丘の下に埋もれていることもある。現在の沙漠はかつて緑の草原であり、森林であったのかも知れない。古代王朝の歴史のその栄枯盛衰をみると当時の環境に支配されていたのではないかと考えられる。地球の温暖化や寒冷化によって農作物の収穫量が変動し、種族や王朝の経済力や軍事力に大きな影響を与えた。約1万年前に始まった原始農業から今日に至るまでの人類の歴史は都市をつくり、文明を築き、技術を生み出し科学を考え出した。この人類の足跡はいまも地表に残されている。

### 3. 中央アジアを探査する

ウズベキスタンは東西を結ぶシルクロードの中央アジアの中心地である。首都タシケントをはじめサマルカンド、ブハラ、ヒヴァ、ウルゲンチなど歴史に残るいろいろな町がある。この地域には大きな沙漠であるキジル・クムがあり、天山山脈から流れるシルダリヤとパミール高原から流れるアムダリヤに沿った文明の地である。このアラル海の隣に世界最大のカスピ海があって、この地方の環境をつくっている。

長安を出発しシルクロードの道を東から西に向かうとタクラマカン沙漠に達する。このタクリマカン沙漠を囲んでいるのが崑崙山脈と天山山脈である。さらに西に向かうとパミール高原に至り中央アジアへと進む。パミール高原と天山山脈を水源とした河はここから西に流れ始

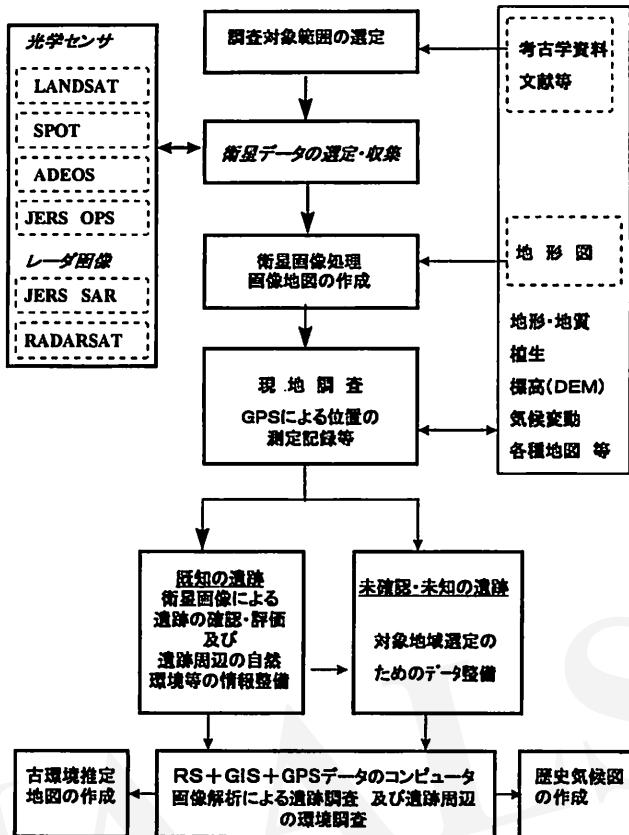


図 1. 宇宙考古学・遺跡調査の処理手順。

める。天山山脈の北の麓をシルダリヤは3,000kmを超える長いルートを北東からアラル海に向かって流れ、一方、パミール高原から流れるアムダリヤは約1,500kmを北西に向かい、南からアラル海に流れ込んでいる(口絵画像1)。アラル海はカスピ海とペアのようになっていて、その変化は興味深いものである。非常に古い時代には現在とは全く違った状況でカスピ海が大きくアラル海とつながっていたり、アラル海がなくなったりしている。石器時代や青銅器時代にはアラル海とカスピ海の間に湖があつたりしている。現在のアムダリヤは真北に向いているが、古い時代には西に向かって流れている。アラル海の南は長い間河の流れが広く移動したので土壤が豊かに広がり農地に適していた。このような理由から、古代から人が暮らすようになって集落ができていたのであろう。そして、アムダリヤの流域には農業が盛んになり、ホレズム地域に文化が生まれてきたのである(口絵画像2)。シルダリヤはアラル海の東側から流れ込んでいる。もちろん、この河の流域も農耕地が増えといったのであろう。6世紀ごろから灌漑によって農地の拡大が行なわれ、経済的な動きが出てきて、強い王国が生まれ

始めたのである。そして、シルクロードが盛んになる頃からこのルートを通じて東西の交流が行なわれたと考えられる。

#### 4. ホレズム地域の農業と環境

現在のこの地方はアムダリヤに沿って農耕地が広がり、人工衛星から見ると沙漠の中の巨大なオアシスに見える。しかし、地上調査をしてみると確かに農耕地としては立派なのであるが、環境の変化が激しくその影響は大きい。歴史的には長い間、時間をかけて沙漠を灌漑によって緑化してきたのであるが、ここ数十年の間に急激な農地の拡大を始め農業開発が行なわれてきたのである。多くの運河や排水路が今でも掘られているが、沙漠の中にしみ込んだ水は塩分を溶かし太陽の熱で蒸発して塩が析出する。農地にするにはこの塩を洗いながすことが必要であり、このため多量の水が必要で水路も別に作らなくてはならない。このあたりの灌漑の方法はアムダリヤの水を運河で引いてくる。高い所は給水路、低い所に排水路を作ってその中間に畑が作られる、こうして土から塩を除

いた塩分の高い水はアラル海に流されているのである。この結果、アラル海の塩分は年々高くなり魚が住めなくなったのである。これは余りにも短期間に開発をした結果である。1960年ごろから始まった経済優先の開発はアラル海に流れ込む水量を減らし、塩分濃度を高め生物の住めない湖に変えてしまったのである。

現在のアラル海の状況は悲劇的で、面積は1960年当時の半分になってしまっている。人工衛星からのデータで分析した結果、21世紀にはアラル海は消滅するだろうと推定されている。

## 5. ホレズム地域の遺跡

アラル海に注ぐアムダリヤの灌漑によってできあがった農地は綿作を中心である。急速に拡大したこの農耕地帯には多くの遺跡が点在していて、これらの貴重な文化財が消滅しつつある。人工衛星による遺跡探査では、その大きさや広がりがどの程度あるかが重要である。また、地下の埋蔵物の可能性があればその検知ができるかである。沙漠に点在する遺跡、例えば城址や神殿跡は比較的検出しやすい。しかし、構築物や城壁が日干しレンガで造られていると、周辺の沙漠のスペクトルとの差が少なく検出が難しい場合もある。これらの調査には、光学センサーや合成開口レーダーなどのデータを組み合わせて行なわれている。ホレズム地域の調査では沙漠に点在する遺跡と農地に点在する遺跡を対象とした。

ウズベキスタン・ホレズム地区ヌクスの南方約43kmにあるゾロアスター教の祭場チリピク、エリカカラ郡にあるホレズム王国アフリグ朝の王宮トブラク=カラなどは、沙漠ないし半沙漠地域に存在するため確認しやすく、

アヤズカラ1号、2号も同様である。歴史的に貴重とされるコイ=クルルガン=カラは中央部の円形の城跡が30mぐらいで、しかも周辺が灌漑による農地に埋もれて検出がなかなか難しい。この周辺にあるとされる遺跡は農地の中に埋没しているようである。12世紀頃の城址グリドゥルスンは周辺は農耕地である。しかし、規模が大きく画像として確認できた（図3・4）。ウルゲンチからヒヴァそしてブハラに至る地域での調査では多くの構築物、道路、オアシスなどが衛星画像の現地調査によって確かめられた。

サマルカンドはチムール王朝の都として多くの構築物があり、調査対象地区として重要である。現地調査では衛星画像のデータから都市の中に点在する王宮や墓所や広場、博物館などが確認された。この調査からすでに確認された既知の遺跡を基本として未知の遺跡の調査が可能になることが期待されている。

## 6. あとがき

衛星による宇宙からの遺跡探査は始まったばかりである。もともと地球環境の観測によって得られたデータ解析から過去の環境の痕跡がみられることがあり、さまざまな時代の古環境が推測してきた。エジプトの沙漠の地表下10数mに旧河道がみられたり、南米のジャングルの下に古代インカの運河の跡がみられたりした。地球の中緯度帯に分布する乾燥地帯にみられる遺跡や古代都市の跡も人工衛星だけでなく、スペースシャトルからも観測されることが多くなった。宇宙開発によって得られた新しい技術と人類の歴史を科学の視点で求める考古学の共同研究が始まるのではないだろうか。

## Satellite Image Map of the Central Asia—Uzbekistan Kholezm Area and Aral Sea

Toshibumi SAKATA\*

Satellite Imagery gives an overview, at a glance, of relatively large Continent of earth. The Space Archeology was used for many ancient cities and various ruins during about 10 years.

The Syrdar'ya River into the Aral Sea from its East Uzbekstan of Central Asia, Agriculture was developed along its river side. From the 6th century on, the use of irrigation had expanded the cultivating area, thus giving birth to some strong kingdom.

This Kholezm region today has a great stretch of agricultural land along the river of Amdar'ya, presenting a view from satellite as if it is a huge oasis in the middle of desert.

The reality known through the ground-survey of region, its environmental conditions are changing quite drastically. Also the Aral Sea of today presents a miserable condition, according to the analysis of data obtained by the satellite, the Aral Sea is estimated to vanish in the 21st Century.

**Key Words:** Space Archeology, Satellite, Environment, Ancient city, Ruin

---

\* Tokai University Research and Information Center, 2-28-4, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo 151, Japan.

(Received December 28, 1996; Accepted January 17, 1997)

## タリム盆地の古代遺跡

李 軍\*

### 1. はじめに

新疆ウイグル自治区の南部は天山山脈と崑崙山脈に囲まれてできたタリム盆地である。面積は約55万km<sup>2</sup>、海からは遙か遠く離れ、大きな山で温暖気流が阻まれるため、盆地の中央には面積が33.8万km<sup>2</sup>もある巨大なタクリマカン沙漠が形成されている。平均的年間降水量は30mm以下、蒸発量は2,500mm以上で、気温の年格差、日格差は大きく、7月の日格差は40℃以上にもなる。そのため典型的な砂漠気候となっており、過酷な自然環境から死の海とよばれている。

しかし、盆地の周間に源を発する数十本の河は、山の雪解け水を得て、途絶えることなく盆地に注ぎ込んでいる。したがって、タクリマカン沙漠の周縁部、さらには中心部にさえも大小多数のオアシスが形成されていて、これらのオアシスは遺跡が集中する地域となっている。例えば沙漠周縁部のア克蘇（アクス）、喀什噶爾（カシュガル）、和田（ホータン）、及び沙漠に伸びる河川沿いの喀拉墩（カラドン）、米蘭（ミーラン）等である。そこでは今から約1万年前の細石器文化の時代から、すでに人類の営みがあり、漢代以後、海のシルクロードが栄えるまでの、紀元前1世紀から14世紀までの間、東西文明の交流における重要な拠点であった。民族、文化・伝統を異にする人々が栄光ある文明を築き上げたことが考古資料からも判断されている。19世紀末以来、世界各国の探検家の調査によって未知の古代文明の痕跡が相続いで発見され、歴史、地理や古代文字言語等の専門家は、この地域を非常に重視するようになった。特にこの20年来、従来の成果を参考にしつつ、我々は多くの発掘調査を行った。そして発見した遺跡や墓は千にものぼり、古代遺跡の分布状況の解明が大幅に進んだ。また、沙漠、オアシス、河川などの自然環境と、人類の活動の関係に関する分析も開始された。今後、それらがさらに解明されていくことを願っている。

以下、新疆文物考古研究所（1988, 1995）<sup>1,2)</sup>などにより、いくつかの時代ごとに、タリム盆地での人類の活動の特徴を概観してみたいと思う（図1）。

### 2. 有史以前

目下、タリム盆地では、確実な層位関係によって証明できる旧石器の遺跡はまだ見つかっていない。しかし、塔什庫爾干県（タシュクルガン県）の東南、和田の玉龍喀什河（ユルンカシュ河）、尼雅河（ニヤ河）及びカシュガルの烏帕爾（ウパール）、巴楚（マラルバシ）、ロブノール等の地区では、細石器が発見されている。それらの地域はいずれもタリム盆地に流れ込む河川沿いの山麓に位置する段丘面、またはそれより下流側に位置する段丘面に分布しており、年代は今から約1万年～4千年前である。そしてその位置するところは中央部の沙漠を除く盆地の周縁部にあたる。細石器の中には楔形の石核、両側が真っ直ぐで平らな、截短細石刃、及び幾何形の細石器の二種類の違った型が存在した。そのことから、北米や中国華北と中央アジアの二種類の違った細石器の伝統の影響を受けていることが示唆される。また同時にこの時期のタリム盆地の河川沿いの地域では人類の生存に比較的適した環境が存在するところもあった。

### 3. 4千年前～2千年前

この時期は前後二段階に分けることができる。前期は今から3,800年ほど前の古墓溝文化に代表される。墓葬群は孔雀河下流の北岸の段丘上に分布している。この時期の人々は主に原始的牧畜に従事し、それ以外にも狩猟や漁業を行っていたことが出土文物より明らかにされている。日常生活の用具は主に木製器具、骨製器具、植物繊維の編物製品であり、陶器はまだ使用されていなかった。衣服は粗製の毛織物や羊皮革が多く、玉製や骨製の装飾品も存在した。また、女性の偶像が出土していることから、すでに原始的宗教的観念が存在していたと考えられる。

後期は今から2,800年程前の扎洪魯克墓地（ザグンルク墓地）に代表される。墓地は且末県（チエルチエン県）の南、車爾臣河（チエルチエン河）上流の旧流路付近に分布している。前期に比べると、この時期の人々はすでに陶器の製造技術を身につけており、毛織物や皮革技術

\* 中国新疆文物考古研究所、中国新疆烏魯木齊北京南路副4号。

（受付：1996年12月28日、受理：1997年1月17日）

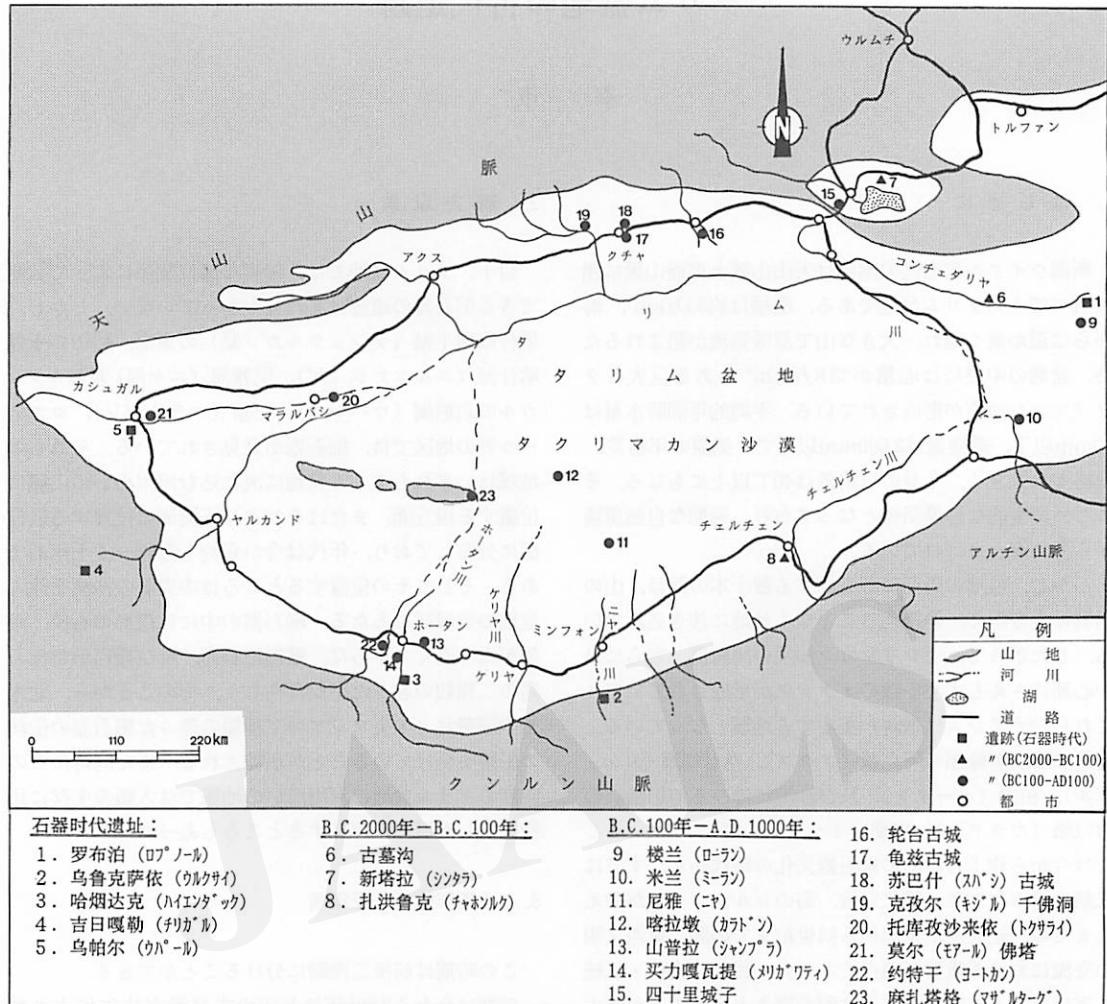


図 1. 研究対象地域。

も以前よりかなり発達していた。牧畜を主としていたが、おそらくそれ以外にも農業が出現したと思われる。漢代の文献資料によれば、後期の後半になると、楼蘭や精絶、龜茲（クチャ）等の小國家が出現したがその規模は小さく、精絶国では僅か3千人、480世帯程度であった。出土文物や歴史資料から、この時期のタリム盆地の河川沿いの地域では比較的牧畜に適した「民は畜牧に隨い、水草を逐う」<sup>1)</sup>環境が存在するところもあったようだ。

#### 4. 2千年前～千年前（漢～唐）

この時期はタリム盆地の古代文明が最も栄えた時期である。現在タリム盆地で発見されている古代遺跡墓葬はこの時期のものが大きな比重を占めている。漢文歴史書

中の、この時期に関する記載は非常に多く、考古資料と相互に検証し合うことができる。この時期もまた前期と後期に分けることができる。

#### 1) 前期

前期の代表的な古代遺跡・古墓葬には尼雅（ニヤ）、山普拉（シャンプラ）、喀拉墩、四十里城子、輪台古城等がある。中でも尼雅遺跡は当時のタリム盆地南縁のオアシス集落の状況を示す典型である。尼雅遺跡はタリム盆地南縁の民豊県（ミンフォン県）から北へ直線距離にして100kmの沙漠の中に位置している。1901年、イギリスの探検家スタインが初めて尼雅遺跡を発見し、公表して以来、国内外の学術界から重視されてきた（中日共同尼雅遺跡学術調査隊、1996）<sup>3)</sup>。1988年から中日共同調



図 2. ミンフォン ニヤ佛教遺跡.

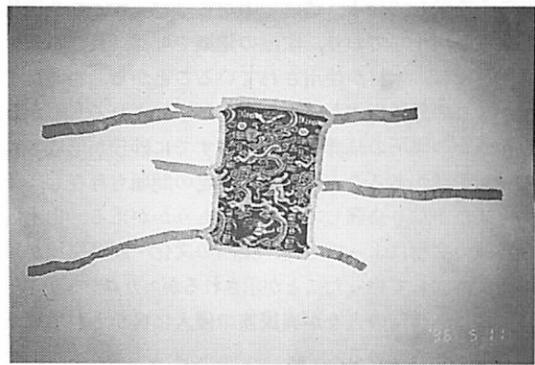


図 4. ミンフォン ニヤ遺跡墓葬から出土した絹織物.

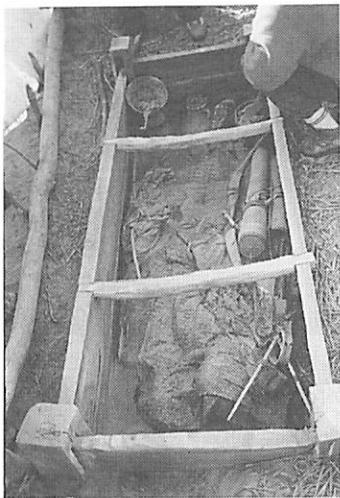


図 3. ミンフォン ニヤ遺跡内の墓葬出土状況.

査隊が度々調査を行い、1994年、1995年にはさらに2回の小規模な正式発掘調査も行った。その結果、我々はこの遺跡に関してかなり重要な知識を得ることができた。遺跡全体の範囲は南北約25km、東西約5km。現在調査番号が付されている各種の遺跡地点は70カ所余りで、家屋、墓地、仏塔、仏教寺院、果樹園、陶器の窯跡、貯水池等を含んでいる。遺跡の地理的位置により、また、カロシュティー文字や漢字で書かれた出土木簡の内容と『漢書』を照合分析した結果により、多くの専門家は、この遺跡は前漢時代には精絶、後漢時代には鄯善の領地であったと考えている。しかし、現在出土している文物の年代からみると、遺跡の年代は基本的には3世紀から5世紀であり、前漢の時期の遺跡であるとする積極的な証拠はない。スタインをはじめとして、探検家や考古学者達は尼雅遺跡から大量の文物を発見してきた。その中にはカロシュティー文字や漢字の木簡、銅鏡、銅印、金製耳飾り、絹、綿、毛織物製品及び皮革製品、漆器等が含まれている。1995年の中日調査隊による緊急発掘はN<sub>2</sub>

遺跡、N<sub>5</sub> 仏教寺院及び95 I号墓を含んでいた。N<sub>2</sub> 遺跡は尼雅遺跡の中でも重要な住居跡であり、その発掘によって尼雅の集落の建築構造や用材等、多くの知識が得られた。N<sub>5</sub> 仏教寺院発掘(図2)においては、尼雅の仏教寺院構造に関する新しい知識を得た。またそれ以外にも尼雅遺跡内で仏教壁画が発見され、スタインの頃の発掘方法よりも現代的な正式発掘方法導入によって、仏教文化の西域における伝播と変容に関する新しい情報が得られたのである。95 I号墓の発掘においては、100m<sup>2</sup>内に8基の墓葬が発見され、そのうち3基は木板を組み立てて造った箱式木棺(図3)、その他5基は木の幹をくりぬいて造った船形棺であった。また、すでに整理された2基の男女合葬墓からは錦、漆箱、銅鏡、紡錘車、真珠金製耳飾り、ガラス、玉、首飾り、弓矢、剣の鞘、及び木製や陶製の生活用具等が発見されている。中でも最も貴重なものは、完全保存状態で発見された十数種類の色鮮やかな絹織物であり、「王侯合昏千秋万歳宜子孫」「五星出東方利中国」(図4)等と漢字で織り込まれているものもある。

以上の調査・発掘から、徐々に当時尼雅で暮らしていた人々の生活様式の概要が理解される。3世紀から5世紀の尼雅では、人々は尼雅河沿いのオアシスに散居していた。家屋は「木骨泥壁」式の建築、すなわち木造であり、木の枝で籬を編んでから、その両面に泥土を塗り、内外の壁面をつくっていた。彼らは牧畜と農業を主としていたが(遺跡からは大量の駱駝や馬、羊等の骨や糞、そして小麦や黍の穂、糧、穀粒が発見されている)、遺跡内には陶器や銅器の工房等もみられる(遺跡内では窯跡や銅滓がみられる)。女性は多く紡績業に従事していた(女性の副葬品にはほとんど紡錘車、毛糸、織り軸等が含まれている)。また、独自の法律制度をもち、カロシュティー文字や漢字の文書、書状を使用していた。カロシュティー文字の木簡は当時の自然環境がかなり良かっ

たことを示している。遺跡の中からはたくさんの胡楊及び果樹が出土しており、家屋の建築や埋葬、及び日常生活用具には、木材が使用されていることから、当時はまだかなりの量の樹木があったことが示唆される。しかし、いくつかの場所の墓葬は埋葬時にすでに砂丘が形成されていた形跡があることから、水不足の問題も存在し、オアシスがかなり衰弱していたこともうかがえる。出土した各種の文物によって当時、東西の文化・経済交流が日増しに増大していったことが示されるが、カロシュティー文書には、当時の人々が異民族の侵入に脅かされていたことが記されている。

5世紀以後、その遺跡は短期間内に放棄されたと考えられる。遺跡からは更に5世紀末以後の遺物も出土しているが、木簡が全て開封されないまま置かれていた状況等から、人々が慌ててこの場所を離れていたと思われる。その原因には様々な説があるが、どれも確実な証拠が無いため、尼雅が何故突然放棄され、人々が何処へ移っていったのかは、未だ解決し得ぬ謎である。

尼雅等に代表される前期の遺跡や墓葬は以下のような共通の特徴を示している。

①人類のタリム盆地における活動はこの時期が最も広範囲に及んだ。盆地の周縁部のオアシス地帯にこの時期の遺跡があるほか、大部分の河川の下流域の旧流路付近にも同様の遺跡がみられる。ニヤ河下流の尼雅遺跡、克里亞河（ケリヤ河）下流の喀拉墩遺跡、孔雀河下流の樓蘭遺跡等がその例である。これらの遺跡がある場所はその後沙漠化が進み、現在では多くが無人地帯となっている。これらの遺跡は歴史上の環境変遷過程を反映しており、大変重要である。

②人類の生活は比較的安定していた。今の輪台（ブル）や、焉耆（カラシャール）、且末、和田付近では古代城壁跡が発見されており、この時期に城壁を備えた都市が出現したことを証明している。尼雅等では仏塔が日干しレンガで造られ、大部分の民家は胡楊や紅柳（タマリクス）で造られた。その建築技術はすでに一定の水準に達しており、建築方法はこの地区の沙漠周縁地帯における現在の建築方法と酷似している。

③東西交流は益々盛んになり、この時期にはすでにシルクロードが開通していた。シルクロードはタリム盆地で南北両側に分かれており、その中にある樓蘭は重要な中継地点であった。樓蘭から天山山脈の南側に沿って走る道は北道、崑崙山脈の北側を走る道は南道とよばれ、北部は漢代には匈奴の脅威にさらされていた。そのため漢政府と中央アジアとの交流には南道が多く使用された。この時期の遺跡をみると、一つの遺跡や墓葬中に中国の中原からのシルクや漆器、銅鏡、貨幣等と西方からのガ

ラス製品や毛織物等が共存している。しかし主要なオアシス間では、民族や言語の面において相違があった。このように、東西交流の増大によって、タリム盆地の各オアシス国家では融合と独自性の両方が存在したといえる。

④東西交流の増大に従って、経済生活における農業の地位は向上した。漢、魏、晋政府は西域の脅威を抑制するために植民をおこなって、樓蘭、輪台等で畑地を開拓し、大麦、小麦、粟、黍等を栽培した。尼雅遺跡では大量の麦わらや小麦、黍の殻粒が発見されている。また鎌やひき臼、木製鍬等の農耕器具も度々発見されている。同時に園芸農業もいたるところで発展した。尼雅遺跡では民家のそばで果樹園をつくり、桃や梨、葡萄等の果物を栽培していた。

⑤仏教が普及したため、この時期の多くの遺跡では仏教寺院や仏塔が多く発見されている。現在、南道で発見された前期の仏教遺跡では、バクトリアの影響を受けた仏教芸術がかなりみられる。

⑥灌溉農業の発展に伴う人口の増加により、タクリマカン沙漠の中に入りこんだオアシスではすでに沙漠化が進んでいた。そのため樓蘭、尼雅出土の絹織物多くの文物は、ほぼ完全な状態で保存されており、当時の気候がかなり乾燥していたことを物語っている。このほか、尼雅出土の木簡には、当時用水が不足して農業に被害が出たことが記されている。

## 2) 後期

後期の代表的な遺跡には蘇巴什（スパン）、約特干（ヨートカン）、麻扎塔格（マザルターグ）等の遺跡がある。この時期の遺跡はタリム盆地の文化が継続的に進歩していたことを表わしている。

①沙漠に位置する尼雅、樓蘭、喀拉墩等の前期の集落はこの時期にはすでに放棄され、人々は徐々に河川の上流側へと移住していった。前期の遺跡が放棄された原因には、現在いくつかの見解があるが、考古調査の状況から見て、それはかなり複雑である。流路の変化、過度な農耕開発による緑の破壊、土壤のアルカリ化、交通路線の変化、戦争等の要因が、これらの遺跡の放棄につながっているのであろう。しかしその一方で上流側のオアシス国家は規模や人口において以前に比べて拡大している。

②後期にはシルクロードの北道を主とする東西交流路線が徐々に確立された。とりわけ唐の政府はタリム盆地を征服して以来、地理条件のよい北道を使用した。すなわち、吐魯番（トルファン）から焉耆を経て、天山山脈の南側に沿って走る道である。烽火台が建てられてからは、この道は益々保護されるようになった。これらの唐代の烽火台は今日の庫爾勒（コルラ）-阿克蘇間の自動車

道からさほど離れていない場所に残っている。中でも輪台県の中心街付近にある拉依蘇（ライス）烽火台は比較的保存状態がよいものの一つである。このことから唐時代の北路の交通路線と現在の路線とはほぼ同じであったことがわかる。こうした交通路線の変化も北部のオアシスの繁栄と南部のオアシスの衰退に重大な影響を及ぼしているのである。

③東西文化交流は発展し続けた。シルクロードの確立に従って、交通路線上にあるオアシスは東西方面との交流が益々便利になり、西アジア、中央アジア、及び中原からの影響が増大した。同時にタリム盆地内の文化も東西方面へと波及していった。音楽や舞踊、服飾、食生活等は唐の長安の時代にも、かなりの影響力を及ぼしている。

④仏教は前期の基礎上にさらに発展し続けた。そして最盛期には蘇バ什、七個星（シクシン）等の大規模な仏教建築が出現した。また克噶爾千仏洞（キジル千仏洞）等の仏教石窟群もこの時期に最盛期を迎えた。タリム盆地のこの時期の遺跡には、ほとんど全てに仏教造構、仏教遺物がみられる。

## 5. 11世紀以後

11世紀になると、イスラム教が徐々にこの地域に広まつた。そのため多くの仏教建築物が破壊、放棄され、タリム盆地はイスラム教時代に入った。その過渡期にあったのが西ウイグル王国とそれを間接的に支配した西遼、タリム盆地西部のカハラン朝であり、その後タリム盆地はイスラム化が進んで政治的にはチャガタイ汗国等に支

配された。そして土着の政権成立、ジュンガルの支配という時代のあと、清朝時代をむかえ、19世紀の後半には清政府が正式に新疆省を設置した。喀什噶爾、庫車（クチャ）、和田等には今でもこの時期の、イスラム教聖人の陵墓やモスク等が残っている。

## 6. 結論

タリム盆地の面積は広大で、歴史、文化を異にする幾種類もの民族が生活していた。現在発見されている遺跡や墓葬群は千地点にものぼる。考古学研究においてこの地域の調査は大きな課題となっている。一部の古代のオアシスは現在では完全に沙漠化されており、タリム盆地及びタクリマカン沙漠の歴史時代における環境変遷と古代集落の放棄の原因については、現在更なる研究が進められている。

## 付記

本文については、(財)なら・シルクロード博記念財団／シルクロード学研究センター野呂美佐子氏に日本語訳していただきました。ここに一言お礼申し上げます。また、英文アブストラクトについては、同財団のショーン・ギリス氏にご協力いただきました。併せて御礼申し上げます。

## 注

- 1) 新疆文物考古研究所 (1988)『新疆文物考古三十年』
- 2) 新疆文物考古研究所 (1995)『新疆文物考古新収穫』
- 3) 中日共同尼雅遺跡学術調査隊 (1996)『中日共同尼雅遺跡学術調査報告書 第一巻』
- 4) 漢書・西域伝

## The Ancient Ruins of the Tarim Basin

Jun LEE\*

The Tarim Basin is located in the south of Xinjiang Uygur Autonomous Region of China and the centre of this region is, to a large extent, covered by the sands of the Taklimakan Desert. At the northern and southern fringes of this desert, the oasis cities came into being—for here ran the great trunk roads linking East and West from ancient times. I'd like to introduce some ancient ruins found in the Tarim Basin from three different periods.

### 1. The Stone Age

Paleolithic sites have not been found in the Tarim Basin. However, many Microlithic sites have been found on the edges of the Taklimakan Desert, dating from 10,000 to 40,000 years ago.

### 2. 2,000 B.C.-100 B.C.

Gumugou Culture (1,800 B.C.), which located itself in the lower reaches of the Konqihe River, is representative of the early days of this period. At this time, people were primitive nomads and pottery was not in use yet. However, later on in this period pottery was being made and wool-making and tanning techniques were improved.

### 3. 100 B.C.-1,000 A.D. (Han-Tang periods in China)

Early in this period, some oasis cities, which were protected by walls, were constructed, such as Loulan and Kucha. Many ancient sites from this time have not only been found in the oases but also in the depths of the desert, such as Niya, Karadon and Luntai. From excavations, we know that agriculture, as well as animal husbandry, was developed. Buddhism was widely practiced. The Silk Road began to prosper and divided into a northern route and a southern route through the Tarim Basin. East-West trade and cultural exchange increased. Late in this period (Tang periods in China), the Tang Kingdom of China controlled this region for a long time. Buddhism reached its peak and the route of East-West trade and cultural exchange mainly ran through the area of south of the Tianshan Mountains. Some oasis cities, which were in the depths of the desert, were abandoned and buried by sand. After the 11th century, Islamism gradually took hold in the Tarim Basin.

**Key Words :** Tarim Basin, Taklimakan Desert, Silk Road, Ruins

---

\*The Archaeology Research Institute of Xinjiang, No. 4 South Beijing Road, Urumqi, Xinjiang, China.

(Received December 28, 1996; Accepted January 17, 1997)

## トルファン盆地の気候—過去と現在—

吉野正敏<sup>\*</sup>・劉永誌<sup>\*\*</sup>

### 1. まえがき

中国北西部の乾燥地域に位置する新疆ウイグル自治区のタリム盆地・ジュンガル盆地などには、広大な沙漠と、面積はやや狭いが海拔高度が低いため極端な夏の高温と乾燥に見舞われるトルファン盆地などの沙漠がある。

ここは古くからユーラシア大陸の東西を結ぶ交通路、いわゆるシルクロードが発達し、1990年にトルファンはその2100年祭を祝った。トルファン盆地の古気候に関する研究は、タクラマカン沙漠やジュンガル盆地に比較すると少ない。

ここでは、まず現在の地形・気候などの概観を行い、次に主として歴史時代の古気候に関する知見をまとめ、人間活動との関連を文献によって紹介する。

### 2. トルファン盆地の現在の地形と気候の概観

トルファン盆地は新疆ウイグル自治区の中心部に位置し、 $87^{\circ}16' E \sim 91^{\circ}55' E$ ,  $41^{\circ}12' N \sim 43^{\circ}40' N$  の範囲にある。図1にスケッチを示すように、周辺の大部分の山地は高くはないが、その山地が囲む内部をトルファン盆地とするならば  $50,147 km^2$  の面積をもつ。中国で海拔が最も低く、平均海面以下の地域の面積は全体の8.1%に相当する  $4,050 km^2$  に達する。海拔-100m以下の面積も  $2,085 km^2$  に及び、いかに低い土地かがわかる。盆地内にある艾丁湖 (Ayding Lake) の最低地点の海拔

は-154m、盆地内の乾いた土地の部分の最低地点は-161mである。湖は名ばかりではほとんど干上がっており、塩を産出する。

このように、トルファン盆地はタ克拉マカン沙漠 ( $337,600 km^2$ ) があるタリム盆地より、面積は狭いが海拔高度が低いのが特徴である。これは以下のように、高温・乾燥をより一層ひどくする結果をもたらす。

トルファン盆地の気候は夏の高温が最も顕著である。中国語では「火洲」と俗称される(劉ほか, 1987)。これは、元代にトルファン一帯の総管府を置いたところの俗称「和洲」を、音は同じで非常に暑さを表現して火洲になったという(胡ほか, 1987)。盆地内の最も暑い地域はトルファン(吐魯番)市とトクスン(托克遜)県の付近である。中でも7月の中旬は最も高温で、日最高気温は約38°Cである。これまでの最高の極値は1975年7月13日の49.6°Cである。地表面温度はふつう70°Cに達し、特別な場合には80°Cを超すことさえある。

一方、冬には低温となり0°C以下の日が続く。トルファンでは月平均最低気温は-14.5°C、トクスンでは-14.4°Cである。これまでの最低気温の観測記録は-28.0°Cである。降水量は極端に少ない(張ほか, 1987)。長年の平均の年降水量は、表1にみるようにトルファン16.4mm、シャンシャン(鄯善)25.2mm、トクスン6.9mmで、6・7・8月に比較的集中して多い。図2は李・夏(1987)が描いた1月と7月の月平均気温分布図と年降水量分布図で、トルファン盆地の特異性がわかる。

このように降水量は少ないが、蒸発量はその100~540

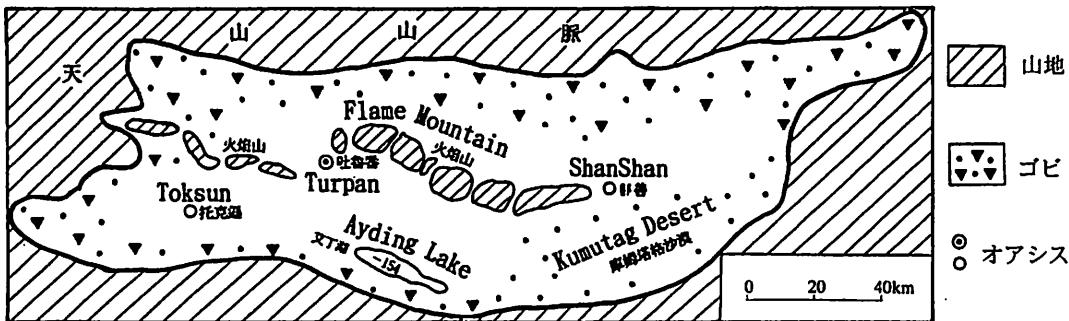


図1. トルファン盆地の地形のスケッチ。

\*愛知大学地理学研究室

\*\*愛知大学大学院

(受付: 1996年12月28日、受理: 1997年1月17日)

表1. トルファン盆地の3地点における降水量 (mm).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
吐魯番市	1.5	0.3	1.4	0.4	0.5	3.3	2.3	3.0	1.0	1.1	0.4	1.4	16.4
鄯善県	1.9	0.4	1.0	2.5	1.7	2.6	4.7	4.1	2.9	1.5	1.0	0.9	25.2
托克遜県	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.0	1.2	1.3	0.1	0.1	0.4	6.9

統計年数は、吐魯番市は1952～1980年、鄯善県は1956～1980年、托克遜県は1959～1980年。（資料は、北京気象中心資料室による）

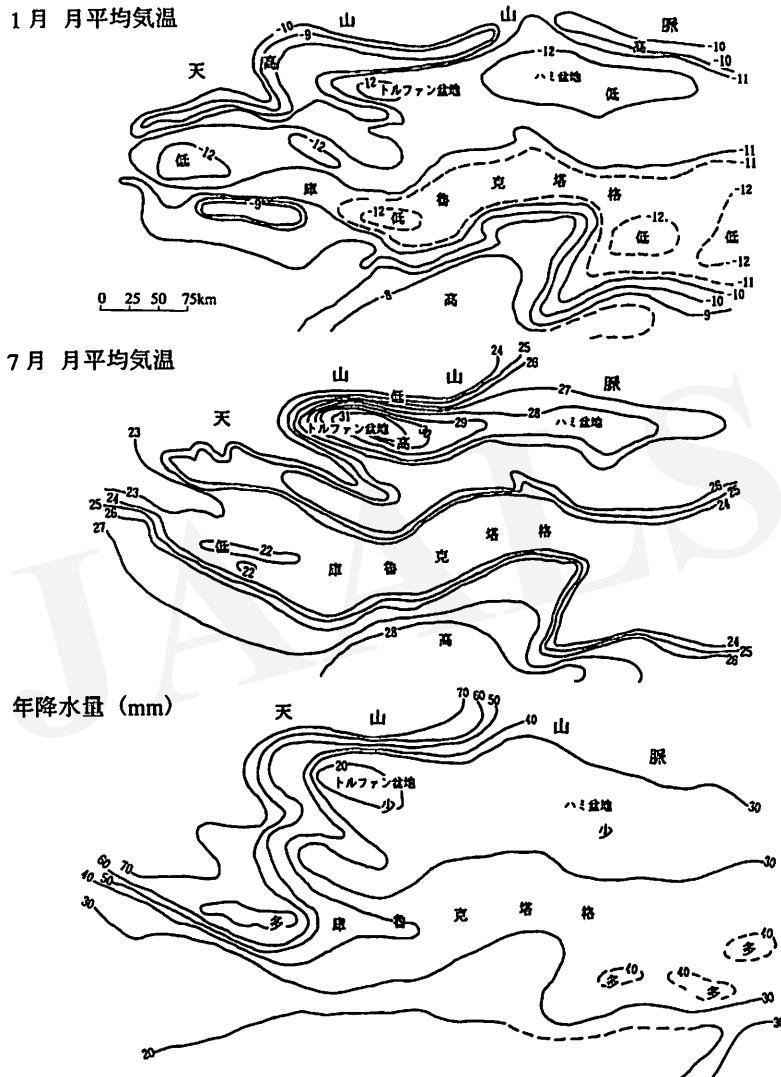


図2. トルファン盆地周辺の月平均気温 (1, 7月: °C), と年降水量 (mm). (李・夏, 1987)

倍にも達する。トルファンでは2,838mm, トクスンでは2,235mm, シャンシャンでは2,727mmである。相対湿度は冬には約50%だが、4～6月には30%より低くなる。

豪雨とは日降水量が $\geq 25\text{mm}$ の場合、大豪雨とは日降水量が $\geq 50\text{mm}$ の場合と定義すると、豪雨の発生頻度はトルファン盆地の南と北のゴビと、ハミ（哈密）盆地の

南と北のゴビでは20～30年に1回である。しかし、その付近の天山山脈の山間地帯は3～5年に1回発生する。大豪雨はあまり発生しないが、まったくないわけではない。

洪水の被害は1949～1990年の間にトルファン市では14回、ハミ市では22回発生した。付近のオアシスが数回、大都会のウルムチ（烏魯木齊）市ですら16回であるから、

表2. トルファン・ハミ盆地における自然災害の発生回数、1949~1990年の合計。

地 区	市・県	旱 ば つ	洪 水 害	風 害	凍 霜 害	病 虫 害	全 災 害 の 合 計
吐魯番	吐魯番市	0	14	22	3	4	43
	鄯善県	1	11	7	3	3	25
	托克遜県	0	5	21	0	3	29
哈密	哈密市	2	22	20	6	3	55
	巴里坤自治県	3	5	2	3	7	21
	伊吾県	1	9	9	2	1	22

(「新疆減災40年」編委会(1993) 地震出版社, 312p.による)

表3. 热乾風の定義と発生回数。

	中程度の熱乾風	強い熱乾風	激甚熱乾風	
飽差	$\geq 30$	$\geq 35$	$\geq 40$	
風速 (m/s)	$5 \geq$	$\geq 8$	$\geq 17$	
最高気温 (°C)	39~41	$\geq 42$	$\geq 38$	
最低気温 (°C)	$< 20$	$< 15$	$< 15$	
吐魯番市	123	7	1	131回
鄯善県	42	17	1	60回
托克遜県	58	33	2	93回

(「新疆減災40年」編委会(1993) 地震出版社, 312p.による)

相対的にみてかなり頻度が高い (吉野, 1995; 劉, 1996)。

トルファン盆地からハミ盆地にかけては大風が多く、風力が強い。地域内には著名な「七角井」や、「三十里風区」「百里風区」がある。風災が頻繁に発生する地区はトクスン県、トルファン市、ハミ市などである。大風による被害は、表2に示すように1949~1990年の42年間にトルファン市で22回、ハミ市で20回、トクスン県では21回を数えた。付近のオアシスの7~9回に比較して、かなり多い。大風が出現する季節は主として春から夏にかけた4~7月で、この期間に大風日の約半分が出現する。次は夏季で約20~25%をしめる。

トルファン盆地ではこのように春の大風による被害に加えて、晩春から夏へかけて起こる熱乾風(中国語では干熱風)による災害も大きい。特に農産物への被害は多額に達し、その発生回数はトルファン市では年間131回、平均すると約3日に1度に及ぶ(表3)。しかし季節的に集中しているので、晩春から夏へかけてはほとんど毎日、中程度の熱乾風に見舞われる。その結果、小麦は成育を阻害され、ワタは実を落とし、ブドウも落果し、スイカも枯れてしまう。小麦は、ふつうは10%減収、激しい場合は20~30%の減収となる。1978年6月9日の場合、20時間吹いた熱乾風のため、小麦は1,000トンの減収となった。

今後の農業発展としては、ブドウ、ハミ瓜などを中心にし、ワタの栽培面積の拡大が重要(楊, 1993; 季・楊, 1993)であるが、気象災害の克服が急務である。ま

た、トルファンは1991年の統計によると耕地が林地になった面積割合が非常に大きい(吉野ほか, 1996)。そのためかと思われるが、小麦や高粱などの播種面積が近年減少しており、オアシスにおける土地利用計画の再検討がまたられる。

北西方向から天山山脈の鞍部を越してトルファン盆地に入ってくる風は強い。40m/sを超す強風となることもまれではない。トクスン付近が特に強く、風力8以上の大風の回数は108日に達する。4~7月には平均して1カ月に14ないし17日も大風の日を数える。極端な場合には40日も続く。

また北側の天山山脈を越してくる北風はフェーン現象によって異常高温と乾燥をもたらす。元来、山を越える前から乾いた空気であるため、山麓の下降気流域では非常に乾燥する。DOMROES *et al.* (1992) はこの風のモデルを描いた。

この風の風速はそれほど大ではないが、農作物には大きな被害をもたらす。その中心地域は火焰山(Houyan-shan)の南麓で、47,000ha以上の農地が沙漠化の危険にさらされている。次はトクスン県の西の地域における山地の南斜面で、南東方向に16.5kmも延びる地域で風食による沙漠化が深刻である。

### 3. 地質時代の気候

トルファン盆地の地質時代の気候は詳しくは研究され

ていない。最近の記述（王, 1995）によると次の通りである。

トルファン盆地における乾燥した環境の形成は、中国北西部、さらにはアジア大陸の中央部における乾燥した環境の発生と展開に深くかかわっている。白亜紀後期-古第三紀に、中国北西部地区は当時の亜熱帯高気圧に支配されていたため乾燥し高温な気候であった。トルファン盆地の西縁から東縁まで、その時代の西北西-東南東に走る紅色の地層の帶がある。白亜紀後期以降、この乾燥地帯は急速に拡大し、紅色地層の分布範囲は広がり、乾燥の度合はさらに増したことが推定される。古第三紀の気候はさらに乾燥し、紅色地層はさらに広く分布し、石膏を含んだ層が卓越するようになった。

新第三紀になると全地球の気候は涼しくなり、新疆地区はより強く偏西風系に支配された。アジア大陸の中央部および近くの局地的な地形の変化によって、たとえば、崑崙山脈、パミル高原、天山山脈、アルタイ山脈、祁連山脈および青蔵高原など、広い面積にわたって大きく隆起したのにつれて、中国北西部における乾燥した環境は複雑化した。トルファン盆地はその影響を受けて、自然環境はさらに乾燥したと考えられる。巨大な天山山脈は、比較的湿潤な偏西風の気流に対して障害物の役割をはたし、トルファン盆地周辺の山地の隆起にしたがって、盆地の内部へ吹き下す風はフェーン現象によって乾燥高温となった。

第四紀以降、全地球の気候は一般的に寒くなった。これと同時に、天山山脈、特にトルファン盆地のすぐ北側の山地は大幅にブロック状に隆起したが、トルファン盆地はしだいに沈降した。このため、局地的な気候環境は乾燥化を強化した。中期更新世以来、局地的な地盤運動がしだいに進行し、第四紀の氷河期には周縁山地における周氷河作用は強くなり、さらに高いところでは山岳氷河が発達したが、盆地内の気候はさらに乾燥し、砂漠・ゴビ・黄土を出現させた。

トルファン盆地における第四紀晚期の環境は、盆地の南部にあるアティン湖の堆積物からはっきりとわかる。かつてアティン湖は一つの大淡水湖で、その湛水面積は $250\text{ km}^2$ で、現在のアティン湖の面積の11倍以上もあった。今から約24,900年前に塩湖の段階にはいり、今から約10,900年前に塩水はいっそう濃縮し、芒硝沈殿層と塩類殻を形成した（王, 1995）。アティン湖が淡水湖から塩水湖ひいては最後に塩湖に変わった過程は、トルファン盆地における気候が第四紀以来乾燥から極端な乾燥に、しだいに発展し変遷したことをよく物語っている。

表 4. トルファン盆地の古気候の変化。

時 代	年 数	気 候
4100~3300B.C.	800	湿, 暑
2000~1800B.C.	200	乾
1260~1230B.C.	30	乾
100 B.C. ~A.D. 400	500	乾
650~900	250	湿, 暑
1150~1240	90	涼
1240~1360	120	湿
1460~1530	80	涼
1530~1570	40	暑
1690~1720	30	乾, 涼
1720~1780	60	湿, 暑
1780~1830	50	乾, 暑
1830~1870	40	乾, 涼
1870 以降	90 以上	暑

#### 4. 歴史時代の気候

タクラマカン沙漠の歴史時代の気候は、表4にまとめられるように一般的に乾燥していた時代の間に、何回かの湿った時代が認められる。4100~3300年 B.C. は日本の繩文海進の時代に相当し、全世界的に温暖な時代であった。次の、紀元後650~900年はいわゆる中世の温暖期である。以上の二つは、おそらく北半球規模で起こった温暖・湿润期で、もちろんトルファン盆地もこのよう傾向をもった古気候であったと考えて間違いないであろう。

1240~1360年および1720~1780年のやや湿った時代は、タ克拉マカン南東部ではかなり明瞭であるから、地域的に近いトルファン盆地においても同じ状態を想定してよいだろう。図3はハミにおける樹木の年輪から復元した年平均気温の1500年から最近までの気温の経年変化を示す。温暖な時代は5回、寒冷な時代も5回あり、かなり明らかな数十年から100年くらいの周期が認められる。

タ克拉マカン沙漠の南側に位置する策勒（チーラ）において、胡楊 (*Populus diversifolia*) から復元した1790年から1980年までの190年間の、4月上旬~10月中旬の成長期間の平均気温は図4に示す通りである（凌, 1990）。この図によると、1795~1848年に寒冷期があり、その中心の1820年ごろはほぼ $1^\circ\text{C}$ 低温、1907~1939年ごろにはやや低温な時代があり、 $0.5^\circ\text{C}$ くらい低温であった。逆に温暖期は1848~1907年で約 $0.9^\circ\text{C}$ 高温、1939年以降は温暖な時代で最大 $1.5^\circ\text{C}$ 高温であり、特に近年の温暖化は明らかである。

同様に、タ克拉マカン沙漠の南側の于田における1790~1980年の年降水量の変化を復元したものを図5に示す。極めて明らかな変化で、1790~1864年の75年間は多雨期、

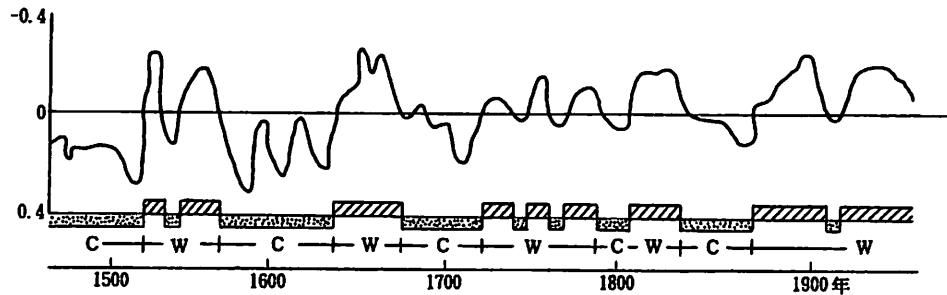


図3. ハミにおける樹木年輪から復元した年平均気温の偏差. (李, 1991)  
W: 温暖期, C: 冷涼期

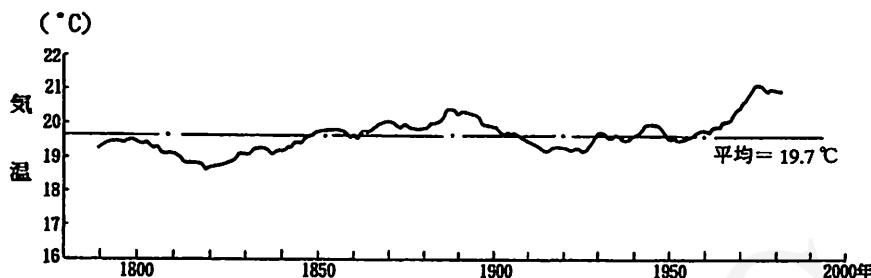


図4. 策勒における胡楊から復元した4月上旬～10月中旬の平均気温 (°C) と10年の移動平均曲線. (凌, 1990)

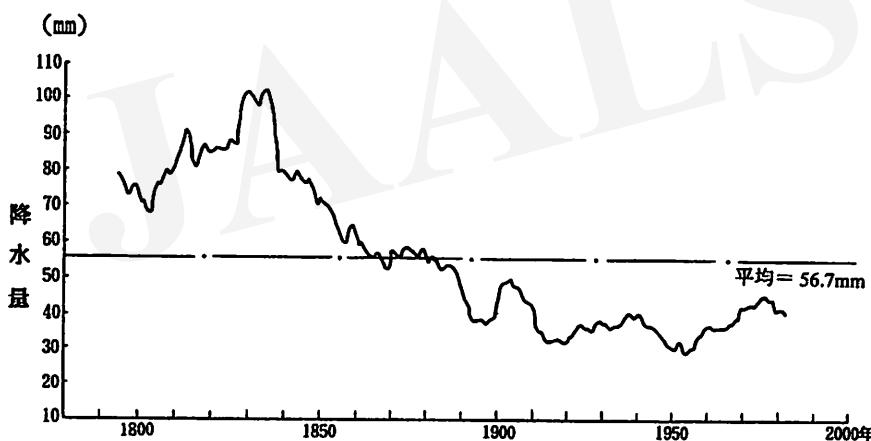


図5. 于田における復元した年降水量 (mm) の10年移動平均曲線. (凌, 1990)

年降水量は60mm以上で、ピークは1830年前後の10年間で100mmを超した。それに対して1890年以降の乾燥化はいちじるしく、特に1890年以降はほとんどの年が40mm以下であった。近年30年間の于田の年降水量は、過去200年間の平均値より約13.6mm減少した。

前述の気温の長期変動と、この降水量変動とを比較してみると、低温・湿潤、高温・乾燥という対応が結論づけられるようである。このような気候が特に卓越した期間は、1810～1840年の低温・湿潤であった期間、1890～1900年の小さな短い高温・乾燥の期間、1960年以降の高温・乾燥の傾向をもつ期間である。

しかしながら、中国の半乾燥地域の2,000年間の気温と湿润の度合の長期傾向をみると、温暖期は雨量が多く、寒冷な時期は雨量が少ない（龔・HAMEED, 1993）。したがって、上記の傾向はトルファン盆地を含む極端に乾燥した地域の傾向と考えた方がよいであろう。

タクラマカン沙漠の南縁で崑崙山脈からの水で灌漑されているクリヤ川（克里雅河）の、1740年ごろから1980年までの流量の長期変動を復元したのが図6である。全般的には減少の傾向にあり、さらに小さな短い期間の変動がみられる。図5と図6とを比較してみると興味深い。すなわち図6の流量は、図5を数年から約10年遅らせて

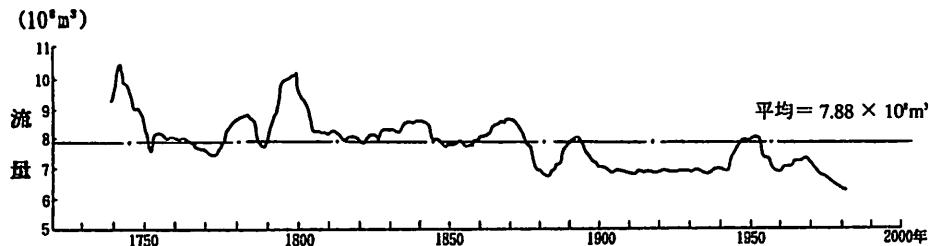


図 6. クリヤ川(克里雅河)の復元した流量の10年移動平均曲線。(凌, 1990)

みるとピークや谷が合致する場合が多い。たとえば、降水量の1795～1805年の谷は流量の1805年ごろの急減少へ、降水量の1827～1837年ごろの山は流量の1835～1845年の山へ、降水量の1885年ごろの山から1890年ごろの谷に向かう変化は流量の1892年ごろの山から1900年ごろの谷に向かう変化へ、降水量の1940年ごろの山から1950年ごろの谷への変化は流量の1948～1952年ごろの山から1958～1960年ごろの谷への変化と対応している。これはいずれも8年ないし10年のずれである。しかし、まったく対応がみられない山や谷があり、必ずしも単純な対応関係がないことがわかる。これはクリヤ川の水源地域の降水量(冰雪となっている場合は気温変動も関係している)と于田の降水量が並行している時代と並行していない時代とがあることを意味している。

## 5. トルファン盆地の古気候と人間活動

トルファン盆地はシルクロードの天山南道と天山北道との会合点に位置し、古くから西域における各民族が交流する中心地帯であった。古い時代の人間活動による数多くの古文化遺跡が残っている。1988年のトルファン地区文化財調査隊の調査資料によると、地域全体に文化財遺跡が175あり、そのうちトルファン市だけで78ある(闕, 1992)。しかも、全新疆における10カ所の国家級文化財保護単位の中で、トルファン地区は5カ所をしめる。これは、トルファン地区が全新疆における古文化遺跡の中で重要な地位にあることを意味する。

前述の通り、トルファン盆地はいちじるしく高温であるが、水資源が比較的に豊富であったため、古代から人類が居住するのに適していた。主要な文化財遺跡は、すべて盆地内部を東西に走る狭くて長い地帯に分布しており、かつ継続時間が長く、動態変化もあまり大きくなない。たとえば、高昌古城はトルファン市の東側から約50kmのところに位置しており、漢時代の高昌壁・高昌郡治・高昌国都、唐時代の西州州治・高昌県治・高昌回鶻國などのいくつかの段階を経て、1,400年以上にわたって続いた。元時代の末期から明時代の初期になって廃れてし

まった交河古城は、トルファン市の西側から約10kmの雅爾乃孜溝村に位置しており、十六国時代から北朝時代にかけて高昌国の交河郡城となり、唐時代以後高昌郡の交河県政府の所在地であった。その後荒廃に向かったが、明時代の初期まで続いた。

アジア大陸の中央部の過去の気候がしばしば乾燥と湿润をくり返したのは、周知の事実である。しかし歴史時代の時間スケールでみて、タリム盆地やその周辺はつねに乾燥しており、沙漠の気候環境であった。では、オアシスの興亡や、古城が壊滅したこと、植生が貧弱になったこと、河川が短縮したこと、湖沼が涸れたこと、沙漠が広がったことなどの現象は、なぜ発生したのだろうか。これらは主に人間の経済活動の結果であり、気候が特に乾燥化したためではない(夏・樊, 1987)。

タリム盆地とその周縁の盆地は極めて乾燥した地区で、灌漑がなければ農業は成立しない。一般的にいって、人口の増加、水利事業の進歩、灌漑と耕地面積の拡大などのいくつかの原因によって自然の川から引く水量は増加する一方、下流への水量は減少する。沙漠地区では自然環境の構造が簡単であり、また生態系の安定性も低いので、ひとつの要素が変化し始めると生態系のバランスが破壊されやすい。水は乾燥地区で最も重要な要素であるため、水分条件が変化し始めると、必ず他の要素の一連の変化をもたらす。まず植生、特に河沿いの両岸に分布している胡楊の林は、一旦灌漑用水がなくなると必ず枯死してしまう。植生がなくなり地表面を保護するものを失うと、風食作用と流砂の堆積が起こり、沙漠面積の拡大をもたらす。あるオアシスがあれてしまった事実や古城が壊滅した事実は、ひとつひとつ原因が複雑ではあるが、一般的には主として水不足や風砂による侵食および土地の塩類化などが原因としてあげられる。

シルクロードの前漢時代における西域南道については、「漢書」の「地理誌」には次の記載がある(李, 1991)。すなわち、沙州(敦煌)から于闐(和田)に行く道は、西域南道の南側に別のひとつの道があった。両道間の距離は50～150kmである。図7に示すように、西域南道の南側の道は陽關(現在の敦煌)から出発、鄯善(漢の

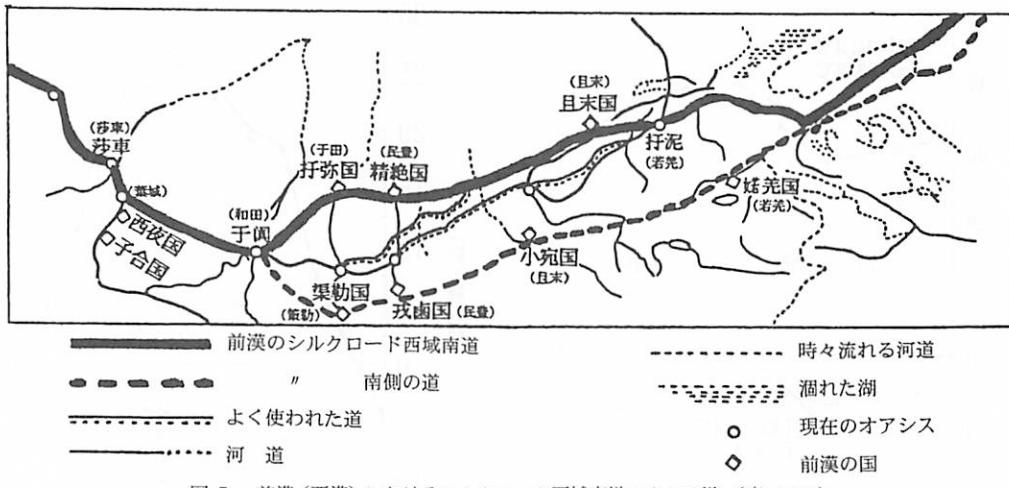


図7. 前漢（西漢）におけるシルクロード西域南道の2つの道。（李, 1991）

元鳳4年以前の樓蘭國、現在の若羌県の東米闐（ルオナチャン）などを経ないで、西へ婼羌（若羌）、小宛（且末）、戎歎（民豊）および渠勒（策勒）を経て、于闐（和田）で南道と会合した。

これは崑崙山脈により近い山麓のオアシスを連結していた道である。一方、クリヤ川流域には扱弥國（于田）、ニヤ川（尼雅河）流域には精絕國（民豊）などがあったが、いずれも前漢時代に西域で栄えた国であった。前漢時代の第3期（前102～AD2）には、一般的には中国では自然環境も社会環境もよい時代であった（吉野, 1996）。甘肃省や青海省でも人口が増えた時代であった。このことはトルファン盆地やその周縁にもあてはまるであろう。

気候がやや湿潤で降水が多いならば、植生が茂り、生態系もバランスを保ち、これらの地域における四つの小国は栄えただろうが、その後乾燥化して山地の降水量が減少し、沙漠における河の流出量が減少して下流で川が断流し、それにつれて水に頼るオアシスの人びとの生活は苦しくなり、オアシスや古城を放棄して他へ移らなければならなかつた（中国科学院「中国自然地理」編纂委員会, 1982）。なお、絹貿易の変遷については保柳（1981）の記述がある。

8世紀前半には唐の制度、法律、芸術、学問、思想、技能、文学、文字など、唐を中心にしてひとつの文化圏が東アジアに完成した（江上, 1980）。これは気候条件がよかつたことがその背景にあることは別に述べた（吉野, 1996）。唐は西域政策を積極的に推進し、高昌国は滅亡され、トルファン盆地に唐の直轄の州県である西州が置かれた。なお、焉耆鎮（焉耆）、龜茲鎮（庫車）、疏勒鎮（喀什）、于闐鎮（和田）の安西四鎮が置かれた。東西交通がシルクロードを通って極めて活発であった。

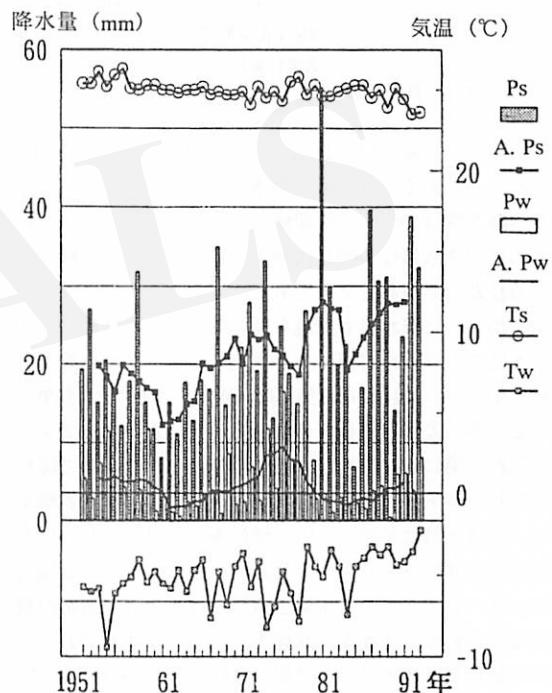


図8. タクラマカン沙漠周辺のオアシスの最近40年間（1951～1993年）の気温と降水量の変化。（Du et al., 1996）

Ps : 夏の降水量, Ts : 夏の気温, A.Ps : 夏の降水量の5年移動平均値, Pw : 冬の降水量, Tw : 冬の気温, A.Pw : 冬の降水量の5年移動平均値

## 6. 近年の気候変化

タ克拉マカン沙漠の中に分布するオアシスの気象台における1951～1993年の観測値を、各年で平均して示したものが図8である。ここで夏とは6・7・8月、冬とは12・1・2月である。この図からわることは次の諸点

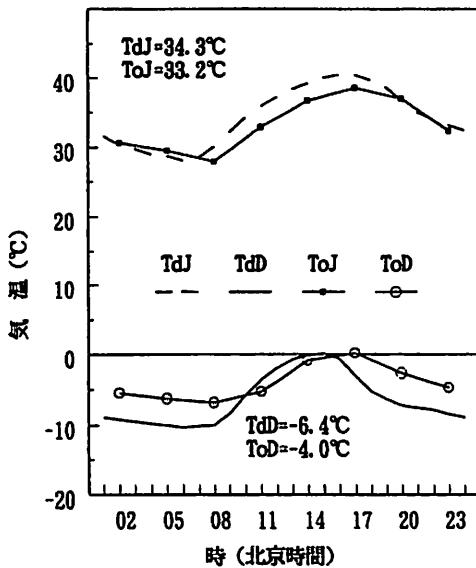


図9. トルファンの気温日変化. (Du et al., 1996)  
12月(D), 7月(J). To: オアシス, Td: 沙漠

である. (a) 夏の気温は低下しつつあり、冬の気温は上昇しつつある. (b) 夏の降水量は増加しつつあるが、冬の降水量は40年間の長期傾向は認められない. (c) むしろ冬の降水量は1960年代前半と1980年代前半に極小がある長期周期があるようである.

このように降水量も気温も夏と冬でその長期傾向が逆であることは極めて興味ある事実である. これは次項で述べるオアシスにおける気温の日変化.“オアシス効果”の夏と冬の差などと合わせて考えると、夏にはオアシス効果が次第に強くなりつつあり、冬にはオアシスで暖かくなりつつあると結論してよからう. また、図は省略するが、降水量はオアシス内で暖候季(3月～8月)に多くなり、寒候季(9月～2月)には逆に少なくなる傾向が認められる. この春・夏と対する秋・冬は、温帯湿润地域のいわゆる暖候季と寒候季の区分とは離れており、降水量に及ぼすオアシス効果の1特性として興味がある.

オアシスも2000年以上にわたる歴史をもち、その中心には近代都市の景観が成立し、ビル群が立ち並び、自動車の台数が増えれば、当然、都市特有の気候が形成される.しかし、従来の都市気候学は乾燥・半乾燥地域ではほとんど研究されていない.そこでタクラマカン沙漠の2～3のオアシスにおける都市気候について考察した結果を述べたい.

元来、“オアシス効果”という言葉があるように、周縁の沙漠地域に比較して、オアシス内は一般に日中の気温は低く、夜間の気温は高く、相対湿度は高く、風速は弱い. オアシス内は灌漑により蒸発散が多いので水蒸気

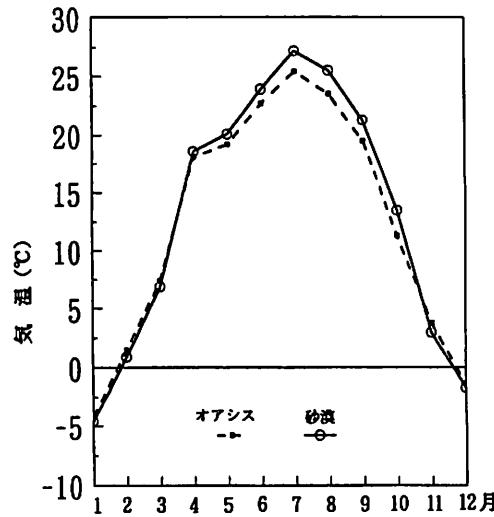


図10. トルファンのオアシス内外における月平均気温の年変動. (Du et al., 1996)

量が多く、降水量は一般的には多いと信じられている.

図9は、トルファンのオアシスの内部と周縁地域における12月(D)と7月(J)の気温日変化の比較(Du and MAKI, 1994)を示す. 12月、オアシス内(ToD)では日平均気温は-4.0°C、沙漠(TdD)は-6.4°Cで、オアシス内は沙漠より約2.4°C暖かい. これは沙漠の気温は16時ごろから(李, 1991)翌朝の9時ごろまで4～5℃も低いためである(ただしこれは北京標準時で、現地時間は約3時間遅いので13時～6時くらいと考えてよい). しかも興味あるのは最高気温はほとんど差がないが、最高気温の出現時間はオアシス内では2～3時間遅れることである.

7月にはオアシス内(ToJ)の日平均気温は33.2°C、オアシス外(TdJ)では34.3°Cで、約1°Cオアシス内が涼しく、いわゆるオアシス効果がみられる. 特に8時ごろから20時まで(現地時間では5時ごろから17時ごろまで)、日中は2～3°Cもオアシス内が低温で、明らかなオアシス効果である.

トルファンのオアシス内外における月平均気温の年変動を図10に示す. この図によると、最暖月は7月、最寒月は1月で、典型的な大陸性気候である. オアシス内が周縁の沙漠より低温なのは5月から10月までである. いわゆる暖候季の4月から9月ではなく、1カ月遅れの5月から10月にオアシス効果が明らかな点は注目に値しよう.

次に、トルファンのオアシスの内部とその周縁の沙漠における7月と12月の月平均気温、およびオアシス内のヒートアイランド形成地域の推定値を表5にあげた. ト

表 5. トルファン盆地のオアシスの内外における気温の比較。

	沙 漠	オアシス	オアシス内の 都市地域（推定値）
7月の月平均気温	34.3°C	33.2°C	33.8°C
12月の月平均気温	-6.4°C	-4.0°C	-3.5~-4.0°C
気温上昇時（5~14時）*	（基準）	2~3°C 低温	1~2°C 低温
日中（8~11時）*	（基準）	1~2°C 低温	0.5~1°C 低温
気温下降時（14~5時）*	（基準）	4°C 高温	4~5°C 高温
夜間（23~2時）*	（基準）	0~1°C 高温	1~1.5°C 高温

\* は地方時

表 6. 和田（オアシス）と策勒（沙漠）および和田のヒートアイランドの月平均気温の比較。

	策勒 (沙漠)	和 田 (オアシス)	和田のヒート アイランド地域（推定値）	推定ヒート アイランド強度
夏	（基準） 1.5~2°C 低温 (基準) 0.4°C 高温		1°C 低温 0.4~0.5°C 高温	0.5~1°C 0~0.1°C

ルファンのオアシス内では7月に約0.6°C、12月には0.5°Cのヒートアイランドが形成されていると推定される。表6には、和田（オアシス）と策勒（沙漠）、および和田のヒートアイランド地域の推定値をあげた。和田は気象台における観測値、策勒はMIKAMI *et al.* (1994)による推定値である。和田の気象台の測定値と和田のヒートアイランドの推定値との差をとると、オアシスの中でのヒートアイランドは夏には0.5~1°C、冬には0~0.1°Cで、冬が夏より小さい。

## 7. ま と め

本稿はトルファン盆地の現在の気候と過去の気候について記述した。タクラマカン沙漠に比較してまだ詳しい研究結果が多くないので、周辺の地域からの推定をも含めて現在の知見をまとめた。

トルファン盆地は地質時代の第三紀以来、乾燥化を続けた。亜熱帯高気圧の支配下にあったので乾燥した。特にこの盆地はその周囲が山で囲まれ、また海拔高度が低いので、山脈を越して流入する気流はフェーン現象によって乾燥高温になる。これが極端な高温をもたらす原因である。また風が強く、砂塵の回数も多い。

一方、東西交通の要にあたったタ克拉マカン沙漠のオアシスは、人口の増加、灌漑や用水量の増加、耕地面積の拡大などによって、タリム盆地における崑崙山脈の北麓という地形のため下流で水が不足し、オアシスが放棄された。最近十数年の気候変化は明らかで、気温は上昇、降水量は減少の傾向にある。

## 付 記

中国の乾燥地域におけるトルファン盆地の人間活動の役割は大きい。詳細については、別にまとめた（吉野、1997）。

## 引 用 文 献

- 中国科学院「中国自然地理」編輯委員会 (1982) :『中国自然地理、歴史自然地理』科学出版社、262p.
- 江上波夫 (1980) :八世紀のユーラシア。江上波夫ほか編『八世紀の日本と東アジア (1)』平凡社、13~13.
- 胡 载ほか (1987) :『吐魯番』三秦出版社、138p.
- 保柳睦美 (1981) :『シルクロード地帯の自然の変遷』古今書院、327p.
- 凌 裕泉 (1990) :塔克拉瑪干沙漠の気候特徴及其変遷、「中国沙漠」10-2: 9~19.
- 李 江風 (1991) :『新疆気候』気象出版社、302p.
- 李 江風・夏 訓誠 (1987) :羅布泊地区気候特性、「羅布泊科学考察与研究」科学出版社、118~131.
- 季 元中・楊 肖 (1993) :『新疆応用気候』気象出版社、195~197.
- 劉 華訓ほか (1987) :『中国地理之最』中国旅行出版社、19~21.
- 劉 永志 (1996) :中国新疆タクラマカン沙漠のオアシスにおける自然災害、「愛知大学大学院愛知論叢」61: 169~194.
- 夏 訓誠・樊 自立 (1987) :閻干塔里木盆地環境変化と気候変遷問題、中国科学院新疆分院、羅布泊総合科学考察隊「羅布泊科学考察与研究」科学出版社、106~117.
- 楊 德剛 (1993) :吐魯番地区農業生産特徴、潜力及發展方向。「干旱区地理集刊」3: 28~33.
- 吉野正敏 (1995) :タ克拉マカン沙漠のオアシスにおける気候変遷・沙漠化と人間活動 (2) 人口変化・気象災害一、「愛知大学文学論叢」110: 66~88.
- 吉野正敏 (1996) :中国の人口変化と環境の変遷、「愛大史学」5: 1~26.
- 吉野正敏 (1997) :『中国の沙漠化』愛知大学文学部叢書第1号、大明堂、300p.
- 吉野正敏・藤田佳久・有園正一郎・杜 明遠・雷 加強 (1996) :タクリマカン沙漠における沙漠化に及ぼす農業的土利用の影響、「沙漠研究」5: 107~115.

- 張 家宝ほか (1987) :『新疆降水概論』気象出版社, 359-369.
- 王 樹基 (1995) : 吐魯番盆地の干旱環境と人類生産活動, 「干旱区地理集刊」4: 28-34.
- 龔 高法・HAMEED, H. (1993) : 近2000年来中国温度変化と湿润状況変化の関係. 張 賀ほか編『気候変化及其影響』気象出版社, 70-77.
- 閻 翔平 (1992) : 新疆古文化遺址の地理分布特性. 尹譯 生ほか主編, 「西北干旱地区全新世環境変遷と人類文明興衰」地質出版社, 120-125.
- DOMROES, M., PENG, G. and ZHANG, S. (1992) : The characteristics of the desert climate at Turpan, China. *Erdkunde*, 46: 217-223.
- Du, M. and MAKI, T. (1994) : Climate differences between an oasis and its peripheral area in Turpan Basin, Xinjiang, China. *JIRCAS J.*, 1: 47-55.
- Du, M., YOSHINO, M., FUJITA, Y., ARIZONO, S., MAKI, T. and LEI, J. (1996) : Climate change and agricultural activities in the Taklimakan desert, China, in recent years. *J. Arid Land Studies*, 5: 173-183.
- MIKAMI, M. et al. (1994) : Observational studies of land surface-atmosphere interaction in Taklimakan desert. *Proc. Japan-China Intern. Symp. Study of the Mechanism of Desertification, Sci. Tech. Agency, Japan. Mar. 2-4, 1993, Tsukuba*, 343-348.

## Climate of The Turpan Basin : Past and Present

Masatoshi YOSHINO\* and Yongzhi Liu\*\*

The Turpan Basin ( $50,147\text{km}^2$ ) is the hottest part in the northwest arid region in China. The observed highest maximum air temperature is  $49.6^\circ\text{C}$  on 13 July, 1975. On the other hand, it is very cold in winter; the monthly mean daily minimum temperature is  $-14.5^\circ\text{C}$  at Turpan. Precipitation is very low : mean annual precipitation is 16.4mm at Turpan, and 6.9mm at Tokshun. Contrary, heavy rain-fall more than 25mm per day occurs once in 20-30 years. Flood results in serious damage frequently. Strong wind occurs in late spring and summer causing damages on agricultural crops seriously. The hot-day wind hazards do occur 131 times a year at Turpan.

The past climate change was : relatively wet periods were 4100-3300 B.C. and A.D. 650-900. Also it is supposed to be relatively humid in the periods of 1240-1360 and 1720-1780. These conditions must be influenced on the change of Silk Road activity in the historical period. During the last 200 years, the following fluctuation was observed :  $1^\circ\text{C}$  cooler in the years around 1820 among 1785-1848, and  $0.5^\circ\text{C}$  cooler in 1910-1920. On the other hand,  $0.9^\circ\text{C}$  warmer in 1848-1907. Temperature increase during the recent several decades is striking.

In the oases, air temperature is decreasing particularly in the last 20 years and rainfall in summer is increasing markedly in the last 30 years. Heat islands in the oases can be recognized : it is estimated that heat island intensity in Hotan is  $0.5-1^\circ\text{C}$  in summer and  $0-0.1^\circ\text{C}$  in winter.

**Key Words :** Climate, Paleoclimate, Turpan Basin, Oasis, Heat island

\* Institute of Geography, Aichi University, Machihata-cho, Toyohashi 441, Japan.

\*\* Graduate School of Aichi University, Machihata-cho, Toyohashi 441, Japan.

## 文献資料からみたトルファン付近

堀 直\*

### 1. はじめに

本稿は衛星データ・考古学などとの協同による、乾燥沙漠地域研究の試みのひとつとして、中央アジアのトルファン付近で歴史時代に営まれた事象を、文献の上から解析したものである。そして、未解決のいくつかの問題を例示して、協同作業の具体的な方向性を提案したものである。

### 2. トルファンに関する文献資料

大陸内部に横たわる海面下の小盆地トルファンは、内陸アジア史研究では突出して研究が進んでいる分野である（柳ほか、1990）。その理由は、他のオアシスに比べて利用可能な資料が断然多いことに由来している。そしてこのことはいくつかの原因の総合的な結果であるが、その主要なものを挙げておこう。

ひとつには、内陸乾燥地域という自然条件の故に、現地から多量の資料が出土していることである。これらの文字記録のうち漢字の記録には、主に行政資料を中心とした2,000点近い紙文書や、碑文・墓碑などがあり（吐魯番出土文物研究会、1991），また断片が多く全体数などは計算しようもない仏教などの宗教經典が含まれる。またウイグル語・ソグド語記録もあり、多くはマニ教・仏教などの宗教教典であるが、西暦9-14世紀の行政・私契約文書なども200点以上が知られている（森安、1991；山田ほか、1993）。

次には、このトルファン地域が中国内地と比較的の近いことから、年代の精確さに定評のある漢字記録が紀元前97年完成とされる司馬遷の「史記」以来、系統的に数多く残されていることである。

また更には、シルク=ロード東端上の有力オアシスとして、漢籍以外の周辺文化圏の言語—例えばホタン語やイスラーム史料など—でもトルファンに言及されることが多い。

そして最後にもうひとつ付け加えれば、トルファンは近現代の中国領中央アジアの内では情報の公開が進んだ地域であり、トルファン市（吐魯番市地名委員会、1990）

とピチエン県（鄯善県地名委員会、1990）の詳細な地図志や外国人研究者の調査などの公刊（MENGES, 1933-1936; HOPPE, 1987）もあり、遡行的かつ体系的な地域研究に多大の便宜が供されていることである。

これら全ての理由の総合が、トルファン史研究の水準を高いものにしているのであるが、次にその梗概を紹介しておこう。

### 3. トルファン地域史の構造—古代の姑師を中心として—

確実な文献で確認される、この地域の最古の住人は紀元前2世紀に登場する姑師（『史記』）である。トルファン盆地のみならず、東部天山山脈の周辺に広範に分布していた人々の中国人による命名であり、その実状は未多くの点が不明のままである。まず人種については、1992-1994年の現地調査で協働した新疆文物考古研究所の張玉忠氏によれば「コーカソイド」系とのことであるが、これは主に盆地西部のアルグ（阿拉溝）古墳群からの出土例を根拠としており、漢籍で示す姑師人を総覧した結果ではない。同様に、彼らの生業にても「狩獵・遊牧」と張氏は主張されるが、この根拠も上記の通りで、後の車師國の歴史的展開からして山麓や盆地底部に居た姑師の農業への関与を否定することには躊躇せざるを得ない。また彼らの言語に関しては、故鳩崎氏の魅力的なアルタイ語族説も提唱されているけれども（鳩崎、1977, 第1論文参照），確実な証拠に基づくとは言い難い。

いずれにせよ、中国史料で姑師と総称されているだけの根拠で、この集団を性急に均質・単一のものと断定することには慎重であらねばならない。かつ、それらが遊牧的性格を有する集団の場合には、その「契約社会」としての結合理念から、人種を超える複合的な社会関係の可能性もありうることからして一層の留意が必要なことは、最近に沢田 熙氏が指摘されている通りであろう（沢田、1996: 189-191）。

このように多くの不明な侧面がありながらも、姑師が後に東部天山に拠る諸勢力と共に特色を持っていたことは明確である。まず北方の遊牧国家と深い関係を有し

ていたこと、姑師の場合は、匈奴との結びつきである。次にオアシスでの農耕にも関与していたこと、トルファン盆地そのものが、牧畜には不適なことは、つとに安部健夫氏の指摘があるが（安部、1955: 324-325）、漢語で都市を意味する城を擁していた姑師が農業と無関係であったとは考えられない。

要するに、内陸アジアに普遍の牧農合体型の社会を基本としており、またシルク＝ロードの一角にあったことから交易への関与も想定が容易である。そしてこれらの特性が、内陸アジア交易路に進出してくる周辺勢力の、この地域への介入をもたらし、諸勢力の絡みあいを軸に歴史が展開していくことになるのである。姑師の場合は、その典型にして最初の事例と言うことができる。

姑師は紀元前1世紀中葉に、漢によって天山山脈を境に北麓の車師後国などの諸国と南のトルファン盆地の車師前国とに分割された（『漢書』西域伝）。さらに漢はトルファン盆地の高昌壁に屯田をなし、柳中にも駐屯し、この地の漢化の端緒を開いた。匈奴と漢との長期にわたる抗争の間、天山以北の車師後国などは匈奴の側に流れがちであり、西暦3世紀末には新興の遊牧帝国柔然（蠕蠕）に吸収されたようである。一方トルファン盆地西部の交河城に拠る車師前国は、東部の高昌を拠点とする漢人勢力と併存していたが、三国以来の華北の動乱を避けて流入して数を増した後者に圧倒され、450年に内地からの亡命集団に滅ぼされた（松田、1970；嶋崎、1977参考）。

高昌國を名乗る新勢力は、数代の政権交代の後、漢系住民を主体とし麹氏を国王に戴く体制にまとまり、150年近く存続するようになる。

以上に姑師・車師の変遷をやや詳しく述べてきたが、この後にトルファン地域で展開する歴史は基本的に同一のパターンに属し、当該する集団の名称と若干の時代的特性が異なるだけすぎない。それ故、通史が目的ではない本稿では、代表的勢力の列挙にとどめ、多くは省略に従いたい（個別の時代テーマについては本文に引用したもののがほか、v. GABAIN, 1973; 佐口, 1986; 蘇・黄, 1993などを参照）。

柔然の後、トルファンと関係をもった遊牧勢力には、5世紀のエフタル・6世紀のテュルク・8世紀のトクズ＝オグズ・13世紀以降のモンゴルとその後継勢力。そして17世紀のジンガルなどが挙げられ、これらと抗争した周辺勢力に唐・チベット・清などがあり、清末の新疆省の設置をへて、現在の中国領新疆ウイグル自治区の構成領域の一部をなすにいたるのである。

#### 4. トルファン地域史に関するひとつの疑問

さて次には、遊牧とオアシスそしてシルク＝ロードとの交差の一例としてのトルファン史の大枠から、この地域独自の史的問題のうち、地域のセンターとして機能したオアシスの変動に焦点を絞って提示してみることにしよう。

##### 1) 地域の中心オアシスの遷移

まず古代の車師前国の王治が交河城にあり、漢王朝が高昌・柳中に屯田・駐屯していたことは、前章で言及した。そしてこれらの地は、全て西暦1世紀には史上に登場する。それぞれ現在のヤル＝ホト・カラ＝ホージャ・リュクチンに比定することには異説がない（漢の高昌壁の所在をカラ＝ホージャではなく、その北方数kmの勝金口に比定する侯燉氏の説があるが（吐魯番出土文物研究会, 1991: 20）、都市あるいはオアシスとしての高昌（城）が、カラ＝ホージャに相当することには疑惑はない）。しかしながら、現在ではリュクチンがやや大きな集落を形成しているだけで、カラ＝ホージャとヤル＝ホトは巨大な遺跡を有する寒村にしかすぎない。

ところが、現今のトルファン地域には、吐魯番市・鄯善県・托克遜県の三つの行政区画があり、それぞれトルファン・ピチェン・トクスンのオアシスが中心となっている。ピチェンとトクスンは、5世紀の『梁書』高昌伝に白力・篤進の名で登場するものの、14世紀モンゴル期までは先に挙げた交河・高昌・柳中の三つのオアシスを凌駕するような存在であった可能性は低い。姑師の時代は交河、その後は高昌（コーボン）が、地域の中心であったことは確実である。とりわけ、現在では地域を代表とするトルファンの地名も、925年のものとされるStaël-Holstein文書にTturpanäと見えるものの（森安, 1977: 124, 129-130）、地域勢力の代名詞あるいは城（city）としての記録は15世紀初めの『平番始末』や『西域行程記』まで存在しない。数多い中世ウイグル文書には全く見ることができないことから、14世紀までの地域の中心は高昌から続くコーボン＝オアシスであったと見なしうる。

この14・15世紀ころを境とする中心的オアシスの変移が何に起因しているのかについては、未だ明快な説が提示されていないと、私は考えている。

##### 2) ひとつの仮説とその弱点

ただし、文献史学の立場からして、周辺諸勢力の介入にひとつの理由を求めるることは可能である。

天山以北の遊牧社会との関連性が強い車師前国の拠点が、盆地西部に偏った交河（ヤル＝ホト）にあり、これと中国内地からの移住農耕民を核にして、盆地の中央部に成立した高昌（コーチョ）のふたつのオアシスを想定し、時々の対抗勢力の伸縮によって説明する手法である。例えば、トクソン＝オアシスの比重の増大の理由を、その西隣ユルドズ河谷を拠点とするイスラーム系遊牧勢力のトルファン制圧と関連づける仮説である。

ただし、絶対量の少なさはさておいても、遊牧側に残る史料と中国史料の量的較差の問題がまず大きい。また数が多く、比較的系統的であったとしても、後者はあくまで中国の辺境防衛・経営に関するもので、その対外政策が消極的であったり、防衛線が内地へ後退していた時期については情報の質の低下は免れ難い。例えば、遊牧イスラーム勢力がトルファン盆地へ進攻し、この地をイスラーム化した15世紀あたりでは、極めて断片的な記録しか残されていない（堀、1975）。そもそも彼ら遊牧モグルが、天山山脈の北側から南下したのか、あるいはユルドズ河谷から東進してトルファンに入ったのかすら判定できないのが現状である。当時の南方チベット勢力のこの地への関与については、何の手懸かりもない。

さらに盆地内部の社会変動、直裁には農業力の変動などは、考古学との協同による遺跡分布の復元までが限界であり、文献上からの考察は不可能と言わざるをえない。

### 3) 衛星情報への期待

ここに自然科学系の、今回テーマに掲げられていることでは衛星情報からのアプローチの可能性を期待したい。簡潔に纏めれば、トルファン盆地西端のアルグ（阿拉溝）から、西方ユルドズ河谷にかけての草原地帯の植生の通年の詳細な情報が判明すれば、この地と盆地との史的考察の大きな参考となる。さらには彼の地における放牧の痕跡なども、何らかの手懸かりが得られないであろうか。痕跡といえば、遺跡分布の調査も山岳地帯では不十分であるのが実状である。天山山中の巨大墳丘あるいは古墓群の正確な分布図が提示されれば、歴史解釈に新しい局面を開くことになるであろう。

また衛星からの探査で、古道の復元はどの程度が可能なのであろうか。例えば堀崎氏の提唱された（堀崎、1977、第13論文）、敦煌とトルファン盆地を直結する「新道」の開通説（B.C. 1年-A.D. 5年頃）や、盆地南部のアイディン湖付近のいくつかの古墓群の発見は（新疆文物考古研究所、1995）、古くに放棄された交易路の存在を予想させる。天山山中とならんで、砂漠を走っていた道路網が現代地図上で正確にトレースされれば、新

史料の出土などを伴って、全く異なった地域史が出現する可能性も否定できないであろう。

### 5. 乾燥地農業と衛星情報

さらにこの地について残される文献の性格から、耕地の具体的な状況や全体的の数値の把握などには十分な精度が期待できないことが、衛星情報への期待をそそる。

またひとつ例を示せば、近代トルファン農業の地域的特色に、イラン起源のカレーズ灌漑法の急速な普及と定着現象がある。その伝来時期については、鳩崎氏の労作によって18世紀末のこととして解決をみている（鳩崎、1977、第9-11論文）。また特殊トルファン地域だけで生じた原因についても、拙考がある（堀、1983）。しかしこれらの文献に基づく諸論は、カレーズ普及の具体的な空間的・時間的展開と量的分布の掌握、さらには自然地理上の因子の読み込みを経ず提案されたものである。いつ、どこで、どの様な規模で、カレーズの普及が進んだのかは、普及原因を証明する不可欠の情報である。鐘・儲（1993）の情報との対比による地図上の復元の作業も貴重なものとなろう。

もうひとつ、私は1987年に天山南麓ムルトゥク川の水量減少についてウイグル人の古老から聞き取りを試みたことがあったが、それは極く最近1960-1970年代のことであり、それ以前には及ばなかった。

流水量の変動が、乾燥地帯の農業そして社会に与える影響には賛言を要しない。ところが、このような自然環境の変動は、短期・長期を通じて、日常茶飯事として或いは当事者の変遷により記録には残りにくい性格のものである。たまさか存在したとしても、その評価と利用には困難を免れ難い。

この点では、気温変動などと並んで、河川の流通や水量の客観的な変化の痕跡を時系列で提示することは、衛星情報の分析に期待できるのであるまい。内陸アジアの他地域とは条件を異にして、現在のトルファン盆地には人工灌漑に供されている地表河川が小規模である。古代から同様であったとは想定しにくいことであり、地域の歴史における水利用を考える上での、河道と水量の変動データがとりわけ望まれる所以である。

### 6. おわりに

最後に、そもそもトルファンの地が東部天山の要地として歴史上の意義を高めるのは、その南方で東西を結んでいた敦煌～ホタン線、いわゆる「西域南道」の衰退・放棄に一因があった。遊牧勢力の問題を別にすれば、自

然条件の変動によるところが大きいと推察されるが、このことは、地図がなければ問題すら説明できないように、衛星情報の巨視的観察からでなければ説得的なヴィジョンが提示できそうにもない。

今回はトルファンの極一部の問題に言及したのみであるが、最近の30年余に展開しつつある衛星情報の分析に期待するところが大である。「何をして下さいますか」の希望とともに、蓄積した文献データを整えて「何をいたしましょうか」と、対話の開始を我々は準備している。

#### 引用文献

- 安部健夫（1955）：『西ウイグル国史の研究』眞文堂書店。  
 郡善県地名委員会（1990）：『郡善県地名図志』  
 堀 直（1975）：明代のトルファンについて、「待兼山論叢」8（史学篇）：13-37。  
 堀 直（1983）：トルファンのカーレーズ小考。譲 雅夫編『内陸アジア・西アジアの社会と文化』山川出版社、459-480。  
 松田壽男（1970）：『古代天山の歴史地理学的研究・増補版』早稲田大学出版部。  
 森安孝夫（1977）：ウイグルの西遷について。「東洋学報」59-1・2：105-130。  
 森安孝夫（1991）：『ウイグル＝マニ教史の研究』朋友書店。
- 柳 洪亮ほか（1990）：『吐魯番学著作論文資料目録』新疆美術摄影出版社。  
 佐口 透（1986）：『新疆民族史研究』吉川弘文堂。  
 沢田 熊（1996）：『匈奴—古代遊牧国家の興亡—』東方書店。  
 鴎崎 昌（1977）：『隋唐時代の東トルキスタン研究—高昌国史研究を中心として—』東京大学出版社。  
 新疆文物考古研究所（1995）：『新疆文物考古新収穫1979-1989』新疆人民出版社。  
 鐘 興麒・儲 懐貞（1993）：『吐魯番坎兒井』新疆大学出版社。  
 蘇 北海・黃 建華（1993）：『哈密・吐魯番維吾爾王歴史（清至民国）』新疆大学出版社。  
 吐魯番出土文物研究会（1991）：『吐魯番出土文物研究情報集録』文部省科学研究費報告。  
 吐魯番市地名委員会（1990）：『吐魯番市地名図志』  
 山田信夫著、小田裕典ほか編（1993）：『ウイグル文契約文書集成1~3』大阪大学出版社。  
 HOPPE, Th. (1987) : Observations on Uyghur Land Use in Turpan County, Xinjiang—a preliminary report on field work in summer 1985. *Central Asiatic J.*, 31: 224-251.  
 v. GABAIN, A. (1973) : *Das Leben im uigurischen Königreich von Qočo (850-1250)*, 2 Vols. Wiesbaden (Veröffentlichungen der Societas Uralo-Altaica Vol. 6).  
 MENGES, K. (1933-1936) : *Volkskundliche Texte aus Ost Turkistan, I. und II. aus dem Nachlass von N. Th. Katanov*. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-Historische Klasse 1933 und 1936.

## The Turpan Basin: From the Historical Point of View

Sunao Hori\*

The oldest inhabitants of the Turpan Basin, known as the Che-shi, were mentioned in the Chinese book *Shi-jì* from the 2nd century B.C. They seemed to have been a mixed group, consisting of nomadic and agrarian peoples, who were deeply connected with Xiong-nu, the major nomadic power beyond the Tian-shan Mountains.

These allied nomadic powers tried to rule and control the strategic oases and trade routes that passed through the area. On the other hand, an agrarian power, the Chinese Han, also advanced to Turpan Basin with the same intention and made Chinese settlements there. A long struggle for the initiative in the Turpan Basin continued between Xiong-nu and Han. Patterns similar to this often recurred later on.

Nevertheless, some historical changes, did occur at the local level in the Turpan Basin. For example, the three cities of Jiao-he(Yarhoto), Gao-chang (Qojo), and Liu-zhong (Lukchong), which were built around the main oases located there, had fallen into decay by the end of the Middle Ages. In this place, Turpan, Pichan (Shan-shan) and Toqsun (Tuo-ke-xun) newly grew up after that.

The question why these transitions occurred has remained unsolved.

**Key Words :** Turpan, Che-shi, Nomadic powers, Silk-road, Tian-shan

---

\* Faculty of Letters, Konan University, 8-9-1 Okamoto, Higashinada-ku, Kobe 658, Japan.

(Received December 28, 1996; Accepted January 17, 1997)

## 衛星画像からみたトルファン付近

相馬秀廣<sup>\*</sup>・坂田俊文<sup>\*\*</sup>・田中好雄<sup>\*\*\*</sup>・中野良志<sup>\*\*\*</sup>・森井 真<sup>\*\*</sup>

### 1. はじめに

中国西北部に位置するトルファン盆地は、北側の標高5,000mに達する天山山脈東部（ボゴダ山脈）と南側の標高2,000-3,000m程度のクルックターク（北山山地）との間に形成された、南北約80km、東西約250km、面積約5万km<sup>2</sup>の構造盆地である（図1）。盆地内では、礫沙漠（ゴビタン）が広く、砂沙漠は東部の広大なシャンシャンクムターグ沙漠を除くとあまり発達していない。標高0m以下の範囲が広く、盆地の最低所には最近縮小が著しいとされるアイディン湖（標高-154m）が存在する。トルファン盆地は、南に分布する標高約800-1,500mのタリム盆地に比べて、規模が小さく標高も低い。トルファン市は年平均気温が14.0℃、1月の平均気温が-9.5℃、7月の平均気温が33.0℃、そして気温の年較差が42.5℃である（李・夏、1987）。新疆から甘肃省にかけての乾燥地域に分布する主要なオアシスは、いずれも夏の月平均気温は30℃に達しない。それらに比べて、トルファン盆地の夏ははるかに厳しい。

『史記』123大宛列伝には、張騫による紀元前2世紀末頃の報告として、タリム盆地にあってロブノールに近い樓蘭と並んで、トルファン盆地の姑師が塩湖（おそらく、アイディン湖）に近い城郭都市（邑）として記されている。この前後からその後しばらくの間、トルファン盆地やタリム盆地では北方の遊牧民族である匈奴と東方の農耕民である漢民族による覇権争いが、城郭を形成していた姑師やアーリア系の定着民などの小勢力を巻き込み、繰り返されていた。このように、トルファン盆地は中国中原に居を構えた漢民族と遊牧民族との接点の一つとして重要な地域である。

トルファン盆地には、姑師（車師前国）の交河故城や、唐の西域都護府がクチャに移るまで置かれていた高昌故城（カラコージョ）をはじめとして、前漢時代から唐代にかけての遺跡が多く存在する。しかし姑師については、タリム盆地のアーリア系定着民とは民族的には異なる（嶋崎、1977）、遊牧系の農耕民（同）などの見解があり、姑師の交河故城は漢民族やアーリア系定着民による城邑

とは立地条件などが異なっていた可能性が推察される。

そこで、本稿では交河故城（ヤルホト）付近を中心に、トルファン盆地における現在のオアシスおよび遺跡の立地条件を明らかにすることを目的として、衛星画像判読を中心として1/20万地形図の読図などをおこない、合わせてトルファン盆地の土地的な自然環境についても検討した。なお、1993年7月23日撮影の地球資源衛星画像（JERS-1: 161-228, 161-229）と1990年8月6日撮影のLANDSAT TM画像（142-30）を主に使用し、1972年10月4日撮影のLANDSAT MSS画像（152-30: 中国科学院地理研究所、1980）を副次的に利用した。

### 2. 衛星画像・地形図からの判読結果

#### 1) 自然環境

(1) 氷河・植生: 図2（口絵2頁のカラー画像3と同じ）は、LANDSAT TM（142-30）のバンド1, 4, 7を合成したものである。図2の範囲は、図1のほぼ西側半分に相当し、東端はトルファン市から北方のボゴダ山脈にかけて、西端はアラゴウ山脈の東部からウルムチ付近にかけての地域が示されている。口絵画像3南東端には、わずかにアイディン湖が現われている。ボゴダ山脈の主稜線付近はかなりの部分が雲に覆われているもの、雲のない西端付近で青色を示す部分が氷河である。雲に覆われた主稜線付近においても、断片的に氷河の存在が確認される。

緑色は植生の分布する部分であり、大まかには、色の濃い部分が森林で、薄い部分は草原とオアシスである。森林はボゴダ山脈の北側斜面で密に分布し、南側斜面では主稜線から離れるにつれて乏しくなり、中腹以下では河沿いおよび盆地の底付近を除くと全く分布しない。口絵画像3は雲の多いシーンであるが、雲のほとんどないLANDSAT MSS画像（中国科学院地理研究所、1980）においても、氷河・植生の同様な分布状況がボゴダ山脈北側からトルファン盆地にかけての範囲で認められる。ボゴダ山脈の南西に位置するアラゴウ山脈は、標高がやや低く氷河の発達は悪いものの、逆に植生の分布範囲は広くなっている。

\* 奈良女子大学文学部

\*\* 東海大学情報技術センター

(受付: 1996年12月28日、受理: 1997年1月17日)

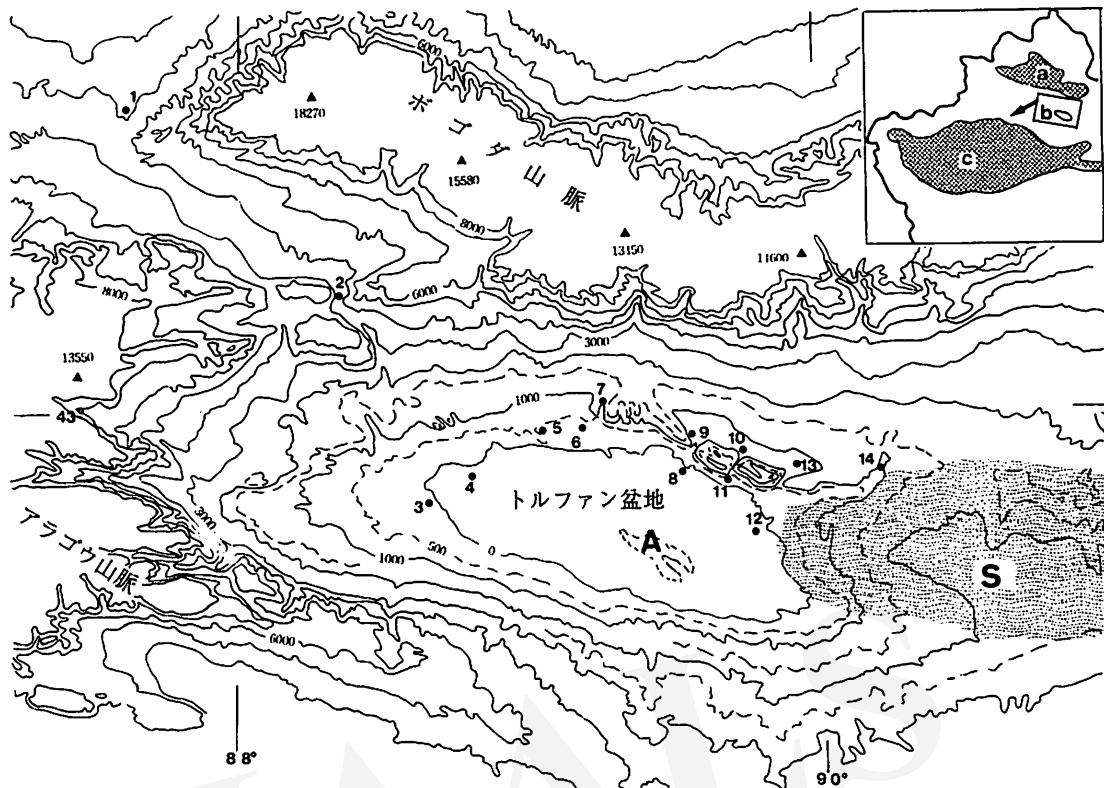


図1. 調査地域

1. ウルムチ, 2. ラオフーコウ, 3. トクスン, 4. オイタム, 5. ヤルホト(交河故城), 6. トルファン,  
7. ブルユック, 8. カラコージョ, 9. ムルットク, 10. シンギン, 11. トユック, 12. ルクチュン, 13. ラム  
ジン, 14. シャンシャン

A: アイディン湖, S: シャンシャンクムターク沙漠, a: ジュンガル盆地, b: トルファン盆地, c: タリム盆地  
(単位はフィート)

このような植生の分布は、水蒸気が主にボゴダ山脈の北西（あるいは北）側から流入し、トルファン盆地を含めて、風下にあたる主稜線南側の中腹以下はいわゆる山陰沙漠であることを示している。

なお、盆地の底付近にみられる植生部分は、大まかにオアシス部分に相当する。

(2) 地形：ボゴダ山脈主軸の南麓には大きな構造線が存在する（中国地質科学院地質力学研究所, 1984）。ボゴダ山脈主軸の方向は、大まかには東西に延びるもの、トルファン市の真北付近から西側ではやや西北西に変化する。主軸が西北西方向を示す部分では、ボゴダ山脈とトルファン盆地との間に標高2,000-3,000mの東西に延びる山地（以下、中間山地とする）が存在する。中間山地の存在は図1ではややわかりにくいものの、口絵画像3（図2）には、北側斜面にのみ草地が分布する山地として明瞭に現わっている。

ボゴダ山脈の主軸方向がほぼ東西を示す部分では、南

側のトルファン盆地との間に標高500-700mの火焰山山地（キジル・ターク）が分布する。火焰山山地は南縁側が逆断層で限られ（HUNTINGTON, 1907; STEIN, 1933）、さらに、北縁側の一部にも明瞭な逆断層が分布する。北縁側の一部は明らかに活断層であり、そのほかにも活構造である可能性の高い部分が多い（図3）。少なくとも南縁側では、新旧を含めて複数の構造線が認められる。

図4-Aは、トルファン市付近における南北方向の地形断面である。この断面は火焰山山地西端近くを通り、山地の西側延長に相当する部分には小規模な峡谷が分布し、山地南麓には扇状地が形成されている。扇面には、19世紀以降（堀, 1983）さかんに利用されるようになった坎兒井（カレーズ）により、現在ほぼ全面にオアシスが分布する。流路は、扇状地の下流側では、現在上流側で水が多量に消費されているため不明瞭となっているものの、オアシスを経て土沙漠が広がる旧アイディン湖底へ達している（図4-A）。

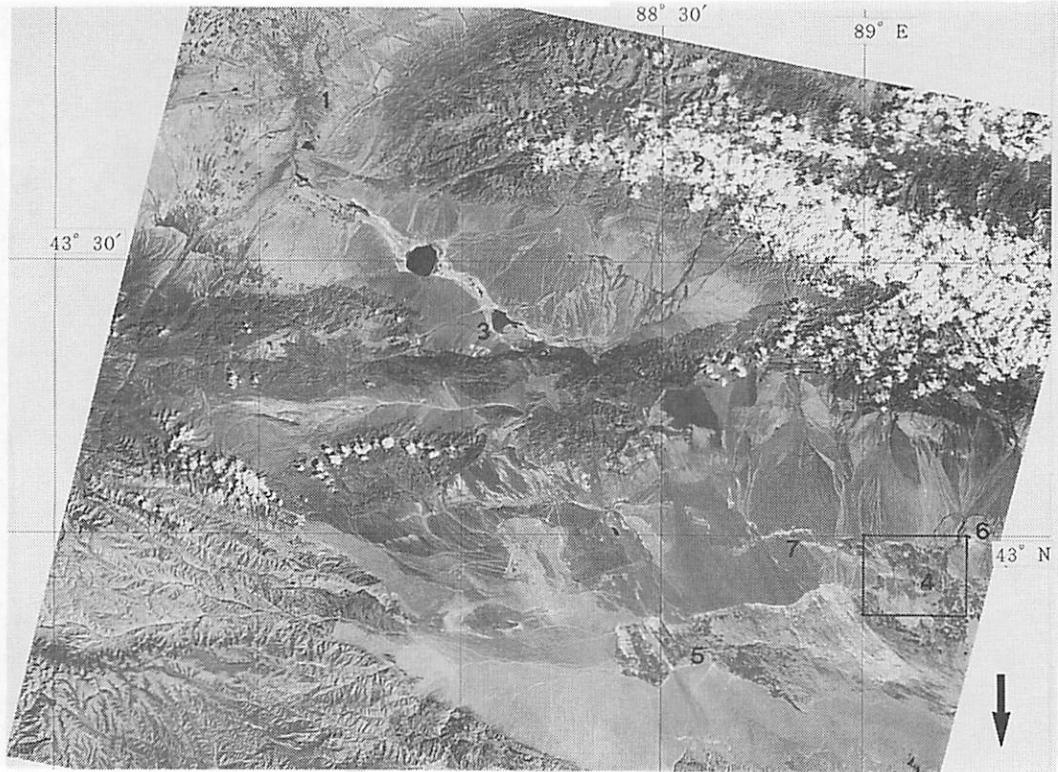


図2. トルファン盆地西部の衛星画像 (LANDSAT TM). © TRC  
1. ウルムチ, 2. ボゴダ山脈, 3. 塩湖, 4. トルファン, 5. トクスン, 6. 火焰山山地, 7. 西部丘陵群

図4-Bは、トルファン市東方約8km付近における火焰山山地の南北方向の地形断面である。火焰山山地は、幅5-10kmで形態的には地壘状の山地である。稜線部と現河床との比高は南縁の方が大きく、全体としてやや北側へ傾斜している。火焰山山地は、地質的には南部にジュラ系がほぼ東西方向に分布し、以下北側へ向かって順に白亜系、古第三系、新第三系が帶状に配列し、さらに南縁部には背斜軸が存在する（中国地質科学院地質力学研究所、1984）。なお、LANDSAT MSS画像では、少なくとも火焰山山地の中央部付近から東部にかけては、山地の主軸方向に一致する背斜軸が明瞭に認められる。

ボゴダ山脈東部から南流する河川は、いずれも南麓で分流しつつ広い岩石扇状地（ペディメント）を形成した後、火焰山山地へ近づくにつれて再び合流傾向へ転ずる。これらの河川は、いずれも先行谷として火焰山山地を峡谷をなして流下した後、その南麓に扇状地を形成している（図3）。

ところで、火焰山山地の西方にも、南縁を逆断層で限られて隆起した長さ数-10km、幅1km前後の細長い丘陵が断続的に分布する（図5）。これらの丘陵（以下、西部丘陵群とする）は、全体としては東西方向に雁行

状に配列している。さらに西部丘陵群の北には、ボゴダ山脈との間に中間山地が存在する（図1、3）。中間山地の南側斜面はほぼ岩石沙漠（口絵画像3）で乾燥しており、北側から丘陵地域へ注ぐ河川は火焰山山地を流下する河川に比べて流量が少ない。火焰山山地では南麓に大きなオアシスが形成されていたが、西部丘陵群の南麓には現在大きなオアシスは認められない。また、峡谷が西部丘陵を通過する部分にやはり形成されているものの、谷は浅い。ボゴダ山脈西部から直接流出する白楊河は、乾いた中間山地を峡谷となって通過した後、南のトルファン盆地へ注いでいる。白楊河沿いには、現在小さなオアシスがわずかに分布している。

トルファン市は火焰山山地西端部の南麓に形成されており、いわば火焰山山地と西部丘陵群地域との境界付近に位置するといえる。

(3) 風と砂丘：トルファン盆地は全般に風が強いところである（吉野・劉、1997）。白楊河が盆地北西部の中間山地を抜ける峡谷部（ラオフーコウ）には、両側の谷壁に北西風によると考えられる風食凹地が密に分布している。火焰山山地南麓のオアシスは、北よりの風が吹くと上流側にある峡谷が風の吹き抜け部分になるため、強

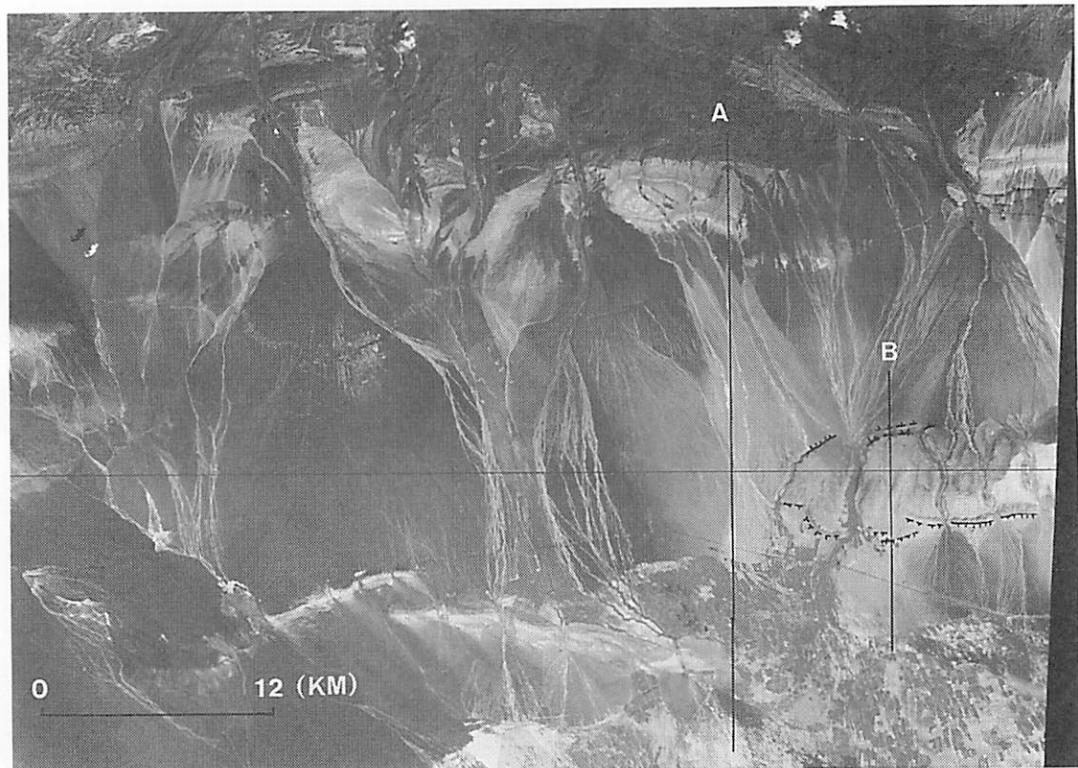


図3. トルファン市北西部の衛星画像 (JERS-1: 161-228).  
(衛星データ所有: 通商産業省/宇宙開発事業団. 衛星データ提供: 宇宙開発事業団)

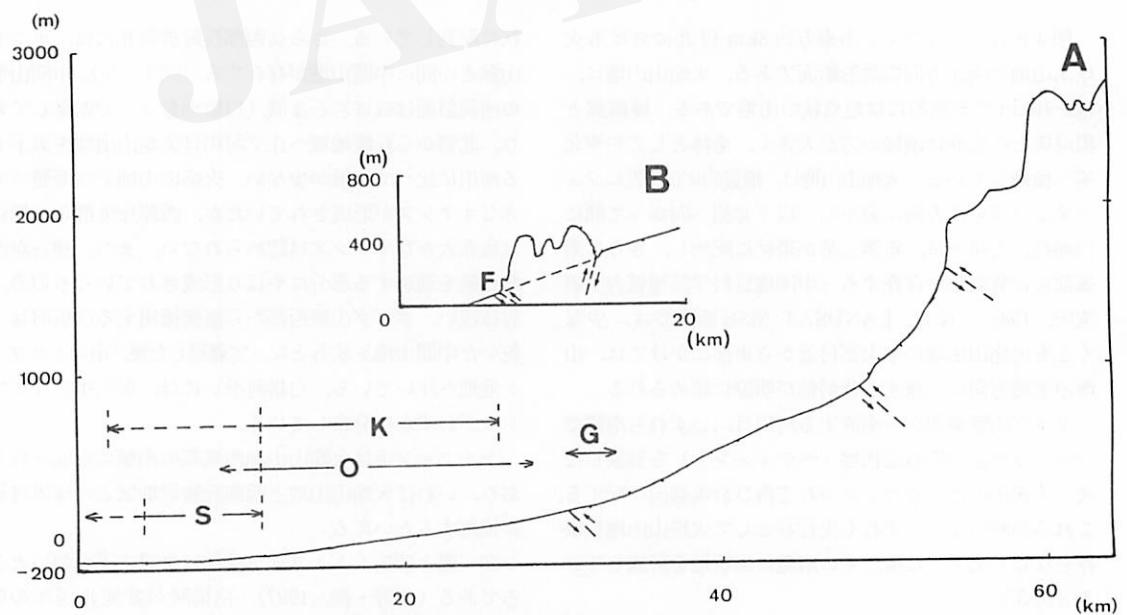


図4. 火焰山山地付近の地形断面.  
A: ボガド山脈から盆地底までの南北断面 (トルファン市付近), B: 火焰山山地の南北断面  
F: 断層 (構造線), G: 峡谷, K: カレーズ, O: オアシス, S: 塩性草原 (湿地)  
断面の位置は図3に示した.



図 5. 北へ傾斜した西部丘陵群の一部。

風となりやすい。衛星画像をやや詳しくみると、トルファン市の中心部分や高昌故城（図1の8）などは谷出口の延長線からやや側方にずれており、強風を避けた位置に建設されたことがうかがえる。なお、ベゼクリク千仏洞などは、強風が吹きやすい峡谷出口付近の谷壁に掘込まれている。

トルファン盆地では、既に述べたように砂沙漠は一部を除いて発達が悪い。地形断面（図4）からみると、砂が河床に堆積しやすい、日本でいえば自然堤防帶が形成されやすい河床勾配を示す部分が狭い。河床から供給される砂の少なさが、強風が吹きやすいにもかかわらず砂沙漠の発達の悪さに反映されている。

年降水量が20mm以下（吉野・劉、1997）と極めて少ないトルファン盆地では、夏季を中心として多量に下流へ供給される、主稜線付近からの雪や氷河の融け水が貴重な水資源となっている。しかし、ゴビタンが斜面の傾斜方向に長く広がっているため、河川水は途中で浸透しやすい。この大量に浸透した地下水は、山麓の扇状地から土沙漠にかけて数多く分布するカレーズの重要な水源となっていることがうかがわれる。

## 1) 現在のオアシスと遺跡

### (1) トルファン盆地の現在のオアシス

衛星画像（LANDSAT MSS: 152-30: 中国科学院地理研究所、1980）では、シャンシャンクムターグ沙漠よりも西側のトルファン盆地に分布する現在のオアシスは、植生の密度を反映した色調に基づき比較的容易に判読される。オアシスの位置は、火焰山山地との位置関係によって北方から、ボゴダ山脈南麓、火焰山山地北麓（以下、北麓）、先行谷部分、火焰山山地南麓、「その他」に大別される。衛星画像で輪郭が直線的平面パターンを示すオアシスが多いことおよび1/20万地形図の読図などから、多くのオアシスがカレーズや地下水の揚水などを利用し

て拡大してきたことが推定される。

主なオアシスとして、北麓にはシャンシャン、ラムジン、シンギム、マルトック、火焰山山地南麓にはトルファン、カラコージョ、ルクチュン、トユック、先行谷部分にはヤルホト、トルファン市北のブルユックなどが、それぞれ分布する（図1）。火焰山山地南麓のオアシスは扇状地に立地しており、さらにその下流側の旧アイディン湖底地域の一部にまでかなり連続的に広がっている。ボゴダ山脈南麓のオアシスも、基本的には扇状地に分布する。「その他」のオアシスは、ボゴダ山脈南麓の扇状地から下流側の段丘化した谷沿いなどに立地し、いずれも小規模である。

火焰山山地北麓のマルトック、ラムジンは、1972年撮影の衛星画像では山地に沿ってかなり広い面積を占めている。とりわけマルトックは、その下流に分布するカラコージョに比べてオアシスと推定される範囲が広い。これらのことから、オアシスは、ある時期以降火焰山山地の南麓に比べて、河川の給源に近い上流側でより活発に拡大してきたことが示唆される。

火焰山山地を先行谷なしで流下する河川は、いくつかの流路ごとに合流して峡谷を通過する。北麓のオアシスは、基本的には流路が収斂する峡谷の入口付近を中心に立地している。先行河川では、合流する流路に対して衝立てのように山地が存在するため、峡谷入口付近には排水不良地が形成されることがある。しかし、火焰山山地の北麓では峡谷入口付近から上流側にかけて LANDSAT MSS 画像（中国科学院地理研究所、1980）で十分識別できる程度に段丘が分布していることから、その付近が現在下刻傾向にあることがうかがわれる。

シャンシャンは、火焰山山地東端から東（北東）側へシャンシャンクムターグ沙漠の北（北西）縁に沿って帶状に広い範囲に分布する、トルファン盆地東部を代表する大きなオアシスである。南北方向の分布範囲も広い。オアシスの北東部分はボゴダ山脈からの河川が形成した扇状地に立地し、オアシスの西端部分は火焰山山地の北麓に位置している。現在のシャンシャンは北麓に分布するオアシスであるが、マルトックとラムジンとは分布範囲がやや異なっている。マルトックとラムジンは、最近拡大したと推定されたオアシスであるもののシャンシャンに比べるとかなり小規模であり、地形的には火焰山山地北麓のオアシスであることが明瞭である。これらのことから、シャンシャンは、当初北麓のオアシスとして出発したものが、ある時期以降拡大されて現在の範囲になったものと推察される。

なお、トルファン盆地西部の主邑トクスンは、ボゴダ山脈からの河川によるのではなく西方のアラゴウ山脈か

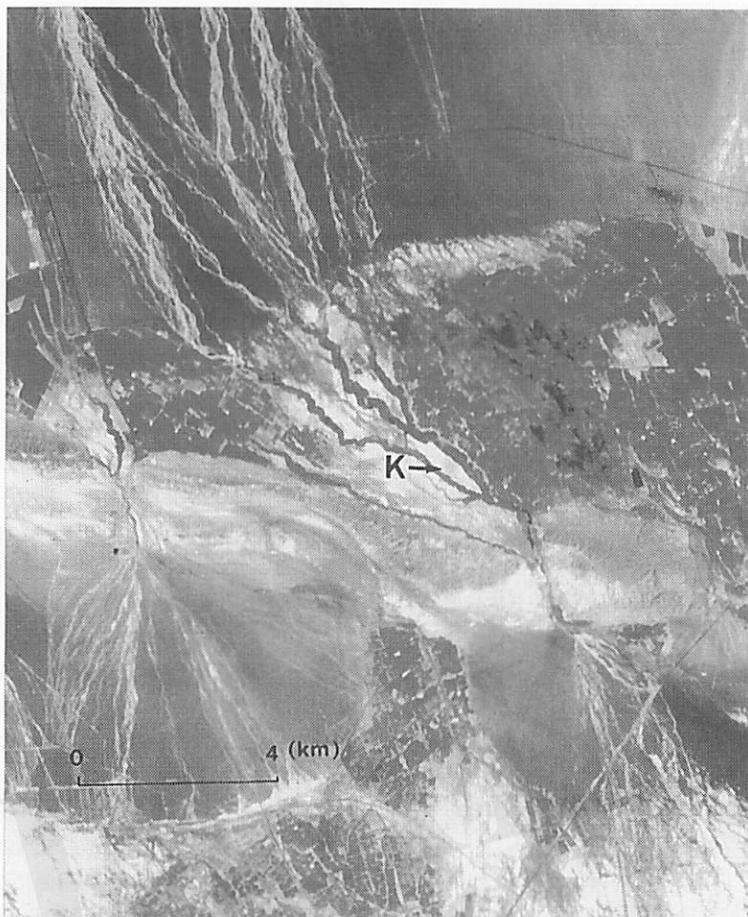


図 6. 交河故城付近の衛星画像 (JERS-1 : 161-228).

K : 交河故城

ら流出する河川が形成した扇状地に立地している。

ところで、トルファン盆地では、オアシスは火焰山山地の南麓では発達がよいものの、西部丘陵群の南麓では明瞭なものは認められない。これは、西部丘陵群に含まれる地域では、冰河の発達したボゴダ山脈との間に岩石沙漠である中間山地が存在するため、その下流側には河水が来にくくことを反映している。

## (2) 唐時代の5県の立地条件

嶋崎 (1977, p.115) によれば、『通典』卷191、辺防7、西戎3、車師の条に、唐が高昌国を滅ぼして西州とし、蒲昌 (ピシャン、善善: シャンシャン)、高昌 (カラコージョ), 柳中 (ルクチュン)、交河 (ヤルホト)、天山 (オイタム) の5県を設置したことが記されている。天山以外の4つの県は、その位置が確定されている (嶋崎, 1977) ようである。地形的には、カラコージョとルクチュンは火焰山山地南麓の扇状地に立地する山麓オアシスである。シャンシャンは、既に述べたように、唐代頃には

火焰山山地東端の北麓、河岸段丘に立地したオアシスであったと考えられる。

ヤルホトは、次に述べる交河故城の立地条件から、丘陵の北麓に分布し、シャンシャンと同様な立地条件にあったものと考えられる。

トルファン市の西方 10–20km は、西側丘陵群の一部である、幅の狭い丘陵が西北西から東南東へ延びている。JERS-1 の画像 (図3) によれば、ボゴダ山脈から分流しつつ南流してきた河川は、南東に向きを変えて合流傾向に転ずるとともに小規模な峡谷を形成し、その後再び南流して幅の狭い丘陵を先行谷としてぬけてトルファン盆地へ流入している。車師前国の交河故城 (松田, 1970) は、丘陵の北 (上流) 側に発達した浅い峡谷部の中、周囲を河川で囲まれた細長い段丘面上に立地している (図6)。

以上のことから、天山を除く唐によって設置された4つの県は、カラ・コージョとルクチュンが火焰山山地南

麓の扇状地に分布していたのに対して、シャンシャンが火焰山山地の北麓、そして、ヤルホトが西部丘陵群の北麓にそれぞれ分布し、立地条件は地形的に異なる2つのグループに分けられる。なお、天山はトクスンの東ないし北東付近であるとすると、農業水利の面では火焰山山地南麓のオアシスに類似した条件下に置かれている。

### 3) 考 察

#### (1) オアシスの立地条件からみたトルファン盆地とタリム盆地

タリム盆地の現在のオアシスは、大まかには、盆地を縁取るように山麓の扇状地分布する山麓オアシスとその下流側に形成された河畔オアシスとに区分される（相馬、1996）。漢代から唐代にかけてのタリム盆地のオアシスではアーリア系城郭民が生活し、その生活基盤は農業であった（嶋崎、1977ほか）。アーリア系定着民によるかつての城邑は、タリム盆地北部では主に山麓オアシスに形成されており、現在でもタリム盆地の主要なオアシスはいずれも山麓に立地している。既に述べたように、トルファン盆地においてもタリム盆地と同様に山麓に扇状地が形成され、そこにオアシスが立地する場合は少なくない。しかし、タリム盆地では山麓オアシスが一例のみであるのに対して、トルファン盆地ではボゴダ山脈と火焰山山地の下流側（南麓）に合わせて2列分布し、さらに火焰山山地の上流（北）側麓にも分布するなど、大きな相違点もみられる。両盆地のオアシス分布にみられるこのような違いが、新しい構造運動を受けて現在も隆起中と推定される火焰山山地の存在と密接に関連することは確実である。

なおタリム盆地では、北流する河川沿いにかつて分布した河畔オアシスは、現在砂に埋もれた遺跡となっているものが多い（相馬、1996）。しかし、盆地の規模が小さいトルファン盆地では砂丘の発達が悪いこともあり、砂丘に著しく覆われた遺跡は知られていない。また、トルファン盆地では、現在のオアシスの立地条件とその周辺の遺跡のそれとはタリム盆地南縁側などとは異なり、大局的には大きな違いはみられない。

#### (2) 灌溉水利との関わりからみた火焰山山地南麓と北麓の比較

唐代におけるトルファン盆地の5県の中で、カラコージョとルクチュンが火焰山山地南麓に立地していた。両オアシスは、ボゴダ山脈に給源をもつ、流域面積が広い河川が火焰山山地の南麓に形成した広い扇状地に立地していた。扇状地では、一般に扇端付近は地下水位が高く水が得やすいため、集落や耕地が形成されやすい。これに加えて、扇面では扇頂付近から流路が分流しているこ

とが多い。このような土地的自然条件から、火焰山山地南麓付近では農業用灌漑水路をいわば放射状に設けることが容易であり、広い範囲を耕地化することが比較的容易である。いわば、農耕民が定着しやすく、しかも大規模に耕地化（屯田）を実施する上で有利な条件を備えているのである。両オアシスのこのような立地条件は、タリム盆地のアーリア系定着民による城邑の立地条件と共通する。そして、このような立地条件をもった高昌故城には、唐による最初の西域都護府が置かれた。

一方、火焰山山地北麓では下流側に衝立のように山地が存在するため、既に述べたように流路は先行谷部分の入口へ向かって収斂していた。このことは、2つの点で重要であると考えられる。1つは、収斂する付近に排水不良地が形成される可能性であるが、これは殷耕化に際して必ずしもマイナスの要因ではない。もう1つは、収斂する付近にオアシスが形成されていた場合、オアシスからみると流路は上流へ向かっては発散することとなり、耕地と耕地との間、すなわち流路と流路との間の地域を新たに上流側から水路を設けて灌漑するには南麓側に比べてはるかに大きな労力を必要とする点である。しかも北麓では段丘化が進んでおり、一層困難をともなうことになる。

火焰山山地北麓のマルトックやラムジンでは、衛星画像によればオアシスは上流側ではなく主に側方へ広がっており、1/20万地形図によればカレーズ群が東西に並んでいる。カレーズは水流のある付近の流路と直接接続することなく設置できることから、両オアシスではカレーズ設置以降オアシス範囲が側方へ拡大した可能性が示唆される。これらのことから、下流側に山地をひかえた山麓（北麓）のオアシスでは、農耕を主とする定着生活が始まった後、1本の流路を中心として耕地を上流側へ大規模に拡大することはかなり困難であると推察される。

#### (3) 交河故城とシャンシャン

シャンシャン付近の火焰山山地の南麓では、シャンシャンクムターク沙漠が広がっており、カラコージョ付近などとは異なり扇状地が発達しにくい。このため、火焰山山地の東端では南麓にはオアシスは形成されにくい。シャンシャン（ビシャン）は、トルコ・モンゴル系種族である柔然（蠕蠕）と関係が深く、直接建設された城邑あるいは駐屯地である可能性が示唆されている（嶋崎、1977: 130）。

一方、交河故城付近の古墓では、火焰山山地南麓のアスター古墓などの多くの古墓と異なり、時代が新しい造構ほど深い層準に設けられている（櫻井、1996）。

ヤルホトに交河故城を建設した姑師族は、移動してきたルートに関しては問題が残るもの、元来遊牧系民族

であったことはほぼ確実であろう。そして、トルファン盆地の最初の城郭を建設したと考えられる姑師族は、カラコージョ付近などの火焰山山地南麓ではなく、丘陵北麓のヤルホトを拠点として選んだのである。

すなわち、ヤルホトとシャンシャンは、唐が設けた5県の中では山地や丘陵の上流側麓に位置していた。建設した民族は、もとからの農耕民ではなく遊牧民族とのつながりが深かった。さらに、この両オアシスは初めて設置された時代は異なるものの、奇しくも火焰山山地のいわば東と西の端付近に位置しているのである。

それにしても、姑師族はカラコージョ付近などの火焰山山地南麓ではなく、火焰山山地と西部丘陵群丘陵との接点に近い、丘陵北麓のヤルホトを拠点として何故選んだのであろうか。周囲を河川で囲まれた細長い段丘面上という防御機能が主に重視されたのであろうか。疑問が残るところである。

以上述べたように、トルファン盆地では、火焰山山地を間に挟んで南北両線に性格の異なる大きなオアシスが存在したことはほぼ確実であろう。両者は、空間的には隆起地域を刻む峡谷への入口付近に分布するオアシスと、その出口に分布するオアシスという違いに対応する。そして、このような違いは現在も一部が活動中である地殻変動に影響を受けた土地的自然条件の違いを背景として反映したものであると判断される。

#### 4. まとめ

以上、トルファン盆地のオアシスの土地的自然環境、遺跡の立地環境などについて衛星画像の判読などを通じて検討し、以下の結果が得られた。

1. 火焰山山地は現在も少なくとも一部の地域で地殻変動が進行中であり、火焰山山地の存在はトルファン盆地におけるオアシス分布に強く影響している。
2. オアシスの位置は、火焰山山地との位置的な関係により、ボゴダ山脈南麓、火焰山山地北麓、先行谷部分、火焰山山地南麓、「その他」に大別される。
3. 唐に設置された5県は、カラコージョとルクチュンが火焰山山地南麓の扇状地に立地する山麓オアシスで

あり、シャンシャンは火焰山山地東端北麓の河岸段丘地域、ヤルホトは火焰山山地西端に近い、丘陵北麓の河岸段丘地域にそれぞれ立地したオアシスである。

4. カラコージョとルクチュンは、農業を生活基盤としたタリム盆地のアーリア系城郭民が開いたオアシスと同様に、扇状地に形成された山麓オアシスである。
5. 交河故城とシャンシャンは、1本の中心的な流路により耕地を上流側へ大規模に拡大することが難しい、下流側に山地をひかえた山麓のオアシスである。両オアシスは、建設した民族はもともとの農耕民ではなく、遊牧系民族とのつながりが深かった。

#### 付 記

本研究の一部は、文部省科学研究費基礎研究(A)(研究代表者 戸祭由美夫: 課題番号, 06401017) の補助金を利用した。また、通商産業省/宇宙開発事業団所有のJERS-1 データを使用した。

#### 引 用 文 献

- 堀 直(1983) : トゥルファンのカーレーズ小考. 路雅夫編『内陸アジア・西アジアの社会と文化』山川出版社, 459-480.
- 堀 直(1997) : 文献資料からみたトルファン付近. 「沙漠研究」6: 203-207.
- 松田聰男(1970) : 『古代天山の歴史地理學的研究』早稲田大学出版部.
- 櫻井清彦(1996) : トルファン付近の遺跡—ヤルホト古墳群を中心の一. 「第5回日本沙漠学会秋季シンポジウム予稿集」23-26.
- 鷗崎 昌(1977) : 『隋唐時代の東トルキスタン研究』東京大学出版社.
- 相馬秀廣(1996) : タクリマカン沙漠における沙漠化—塩類集積、砂の被覆、風食一. 「沙漠研究」5: 117-129.
- 吉野正敏・劉 永誌(1997) : トルファン盆地の気候. 「沙漠研究」6: 193-202.
- 中国科学院地理研究所(1980) : 『陸地衛星仮影色影像図』科学出版社.
- 中国地質科学院地質力学研究所(1984) : 『中華人民共和国及其比領海区構造体系図』地図出版社.
- 李 江風・夏 刑成(1987) : 罗布泊地区氣候特性. 中国科学院新疆罗布泊総合科学考察隊「罗布泊科学考察与研究」118-131.
- HUNTINGTON, E. (1907) : *The Pulse of Asia.* Boston and New York.
- STEIN, A. (1933) : Notes on a map of the Turfan Basin. *Geogr. J.*, 82: 236-246.

## Turpan Basin from the Satellite Images

Hidehiro SOHMA<sup>\*</sup>, Toshibumi SAKATA<sup>\*\*</sup>, Yoshio, TANAKA<sup>\*\*</sup>, Ryoji NAKANO<sup>\*\*</sup> and Makoto MORII<sup>\*\*</sup>

Terrestrial conditions of the present oases and the historical ruins in the Turpan Basin were investigated based on the satellite images and the map interpretations. Main results obtained can be summarized as follows:

1) Terrestrial conditions of the present oases were classified into four groups, the southern piedmont of the Tienshan Mountains, the northern piedmont of the anticlinal ridge called Fire Mountains, the gorges in the antecedent rivers of the Fire Mountains and the southern piedmont of the Fire Mountains. Using Kreze system and groundwater, oases at the southern piedmont of the Fire Mountains expanded to the salt desert surrounding the Idin Lake.

2) Among the five cities established by the Tang Empire in the Turpan Basin, Pichan (Shan-shan) and Yarhoto were situated on the river terraces at the upstream-side piedmont of the Fire Mountains, and Qojo and Lukchong were on the alluvial fans at the downstream-side piedmont of the Fire Mountains. Conditions for water-utilization are different from each other, and the latter two, being convenient for agricultural land, have the same terrestrial conditions as present large oases and the main ruins in the Tarim Basin.

3) However different in the age in establishment, both Pichan at the eastern margin of the Fire Mountains and Yarhoto close to its western margin are considered to having close relationships to the mounted nomads.

Yarhoto is the oldest city in the Turpan Basin on the historical records. Why Yarhoto having been formed not on the alluvial fan at the down-stream side piedmont of the Fire Mountains but on the river terraces at the upstream-side piedmont of it must be considered through further investigations.

**Key Words :** Turpan Basin, Satellite Images, Fire Mountains, Yarhoto, Piedmont oases

\* Faculty of Letters Nara Women's University, Kita-uoya-nishimachi, Nara 630, Japan.

\*\* Tokai University Research and Information Center, 2-28-4, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo 151, Japan.

(Received December 28, 1996; Accepted January 17, 1997)

## 日本沙漠学会誌「沙漠研究」投稿規定

(1995年5月12日改訂、10月23日一部追加)

1. 日本沙漠学会誌「沙漠研究」は、沙漠ならびに乾燥・半乾燥地に関する広範な分野の研究成果を掲載し、内外の研究交流を図ることを目的とする。
2. 投稿の資格 投稿原稿の著者（連名の場合は1名以上）は日本沙漠学会の正会員でなければならない。ただし編集委員会が認めた場合はその限りではない。
3. 原稿の種類と長さ 原稿の種類と標準となる長さ（図表を含めた刷り上がりページ数）は次のとおりとする。なお標準を上回る長さの原稿の掲載が認められた場合、超過ページ分の経費は著者の負担とする。邦文原稿を原則とするが、原著論文・論説、短報については英文原稿も認める。
  - (1) 原著論文・論説 (Original Article) : 著者のオリジナルな研究の成果で、他の著書、学術雑誌に未発表のもの。10ページ以内。
  - (2) 短報 (Research Note) : 速報的・中間報告的、あるいは補遺的ではあるが、オリジナルな研究の成果で他誌に未発表なもの。4ページ以内。
  - (3) 総説・展望 : 特定の問題について、従来の研究結果・資料に基づき総合的に論じ、あるいは将来への展望を述べたもの。10ページ以内。
  - (4) 資料 : 研究あるいは実用面で価値が高い事項について関連する資料をまとめたもの。4ページ以内。
  - (5) 講座・解説 : すでに学問体系が確立された事項について客観的に取りまとめ、専門外の会員にも理解できるよう平易に記述したもの。10ページ以内。

### （投稿規定内規）

別刷り印刷代価格表（1995年5月現在）

	50部迄	100部迄	150部迄	200部迄	250部迄	300部迄
8 頁迄 同表紙付	6,200円 8,700	8,900円 11,400	11,400円 13,950	13,600円 16,200	15,750円 18,250	17,400円 19,800
12 頁迄 同表紙付	8,100 10,600	10,600 13,100	12,900 15,450	15,000 17,600	17,000 19,500	18,600円 21,600

※別刷り発送代として1点につき1,500円。国外の場合は実費。

※この表に該当しない場合は印刷所に問い合わせて下さい。

※カラー印刷を含む場合は実費負担

ジ以内。

- (6) 抄録・書評：すでに出版されている書籍などの内容を紹介したもの。1ページ以内。
- (7) その他：編集委員会が必要と認めたもの。
4. 原稿の書き方 別に定める執筆要領および *Instructions to Contributors* による。
5. 原稿の採否 原稿は編集委員会で審査し、採否を決定する。編集委員会は査読結果より原稿の一部変更を求めることがある。
6. 原稿の送付先 オリジナル1部、コピー2部を日本沙漠学会編集委員会宛に簡易書留で送付する。
7. 原稿の返却 受理された原稿は返却しない。ただし、図・表・写真については希望があれば返却する。
8. 校正 著者校正は初校のみとし、以降の校正は原則として編集委員会が著者の初校に従って行うが、初校ミスは著者の責任とする。著者校正は誤植によるもののみとし、新たな加除訂正は認めない。
9. 別刷 著者の負担とし、負担額は別に定める。
10. 著作権 すべて日本沙漠学会に属する。
11. 投稿料 3. で定めた標準の長さ以内のものは無料。ただし、カラー印刷を含む場合は著者の実費負担。

※原稿送付先：日本沙漠学会編集委員会 宛

〒113 文京区本駒込2-28-8

理化学研究所駒込分所内

電話：03-3947-7708

FAX：03-3947-8389

※印刷所：（有）英和出版印刷社 〒114 北区中里2-7-7

電話：03-5394-4856 FAX：03-5394-4741

## 日本沙漠学会誌「沙漠研究」執筆要領

(1995年10月23日改訂)

1. 用紙・様式 原稿は、邦文・英文原稿（英文要旨を含む）とともに、A4サイズの用紙を用い、天地・左右のマージンを十分にとって、ワードプロセッサーにより次の要領で書くのを原則とする。
    - a) 邦文原稿は、1ページあたり25字×30行（750字）のフォーマットで書く。
    - b) 英文原稿は、12ポイントの字体を用いて、ダブルスベースで書く。
    - c) 使用ソフトは特定しないが、完成した原稿はMS-DOSテキスト文（ASCII-file）に変換して3.5インチフロッピーディスクに保存する。
    - d) フロッピーディスクは、原稿が受理となった後に、その表面に使用機種・ソフトを明記して提出する。
  2. 英文原稿は、本執筆要領とともに別に定める *Instructions to Contributors* の規定に従って書き、著者の責任でネイティブ・スピーカーなど、しかるべき人の校閲を予め受けるものとする。編集委員会が校閲を必要と判断し、校閲者を斡旋した場合には、校閲に要する経費は著者の負担とする。
  3. 邦文原稿は次の順に整える。英文原稿の場合は邦文原稿に準じて整えるが、(2)に相当する邦文要旨は編集委員会の了承の上で省略することができる。
    - (1) 表 紙：原稿の種類、題名（抄録・書評の場合は書名等）、著者氏名（会員資格）、所属機関名および所在地、連絡先住所・電話番号・FAX番号を書く。題名、著者氏名、所属機関名・所在地には英訳を併記する。英文原稿の場合は、それぞれに邦文を併記する。
    - (2) 英文要旨：原著論文・論説、総説・展望には500語内外、短報・資料には100語内外の英文要旨を記載し、5語以内のキーワードを添える。英文要旨から図一覧表までをとおしてページを付ける。
    - (3) 本文
    - (4) 引用文献
    - (5) 表
  - (6) 図一覧：図番号、タイトル（必要に応じて凡例、説明文を付ける）をまとめる。
  - (7) 図：図番号と著者名を、鉛筆にて右下に記載する。
4. 図 表 表は別紙に書き、縦野は用いない。図は14×19cm以内にそのまま縮小印刷されることを考慮して書き、A4版サイズの用紙上にまとめる。写真も図扱いとし、図とともに一連番号を付ける。図表の挿入位置は本文原稿の右端に明示する。図表中およびタイ

トルで用いる言語は邦文、英文のいずれかとし、一つの論文中で統一する。原図は、原稿が受理となった後に提出する。

### 5. 本文

- (1) 抄録・書評は次例の見出しから書き始め、文の末尾に筆者の氏名を記す。

小川 亨：『サヘルに暮らす－西アフリカ・フルベ民族誌』NHK ブックス540、日本放送出版協会、1987、222p. B6版。
  - (2) 他の原稿種類については、本文形式を特に限定しないが、論旨を明確に簡潔に記載する。
  - (3) 脚注は使用しない。注が必要な場合には本文末尾にまとめる。
  - (4) 単位はSI (The System Internationale) を用い、略記・略号の使用はスタンダードなものに限る。
6. 引用文献 本文中では市川（1988）、小川（1987）、ROGNON（1994）、または、……である（TUCKER et al., 1981, 1985; GROVE, 1986 a,b; LEAN and WARRILLOW, 1989; 天谷ほか, 1984; 田中・長, 1987）。のように書く。成書などからページを指定して引用するときは、小堀（1972: 15-17）のように、年号の後ろにページを記載する。本文の後ろに引用文献をまとめる。邦文の文献について欧文の文献を、それぞれ著者名のアルファベット順に並べる。雑誌の場合、巻（号）：ページを記載するが、通しページの場合は号は省略してもよい。そのほか詳細は下記の例および慣例に従う。
  - 天谷孝夫・長堀金造・三野 徹（1984）：当面する物質移動の課題。「土壤の物理性」49: 3-8。
  - 市川正巳（1988）：世界における砂漠化とその研究の現状。「地理学評論」61A: 89-103。
  - 小堀 巍（1972）：『沙漠』日本放送出版協会。
  - 小川 了（1987）：『サヘルに暮らす－西アフリカ・フルベ民族誌－』NHK ブックス540、日本放送出版協会。
  - 田中 明・長 智男（1987）：土壤の保水性及び透水性と作物根への水分供給力。「九大農学芸誌」41-1/2: 6 3-70.
  - GROVE, A. T. (1986 a): The scale factor in relation to the processes involved in "desertification" in Europe. In FANTECHI, R. and MARGARIS, N. S. eds.,

- Desertification in Europe*, D. Reidel, Dordrecht, 9–14.
- GROVE, A. T. (1986 b): The state of Africa in the 1980s. *Geogr. J.*, 152: 193–203.
- LEAN, J. and WARRILLOW, D. A. (1989): Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature*, 342: 411–413.
- ROGNON, P. (1994): *Biographie d'un Désert: Le Sahara*. L' Harmattan, Paris.
- TUCKER, C. J., HOLBEN, B. N., ELGIN, J. H and Mc MORTREY, J. E. (1981): Remote sensing of total drymatter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11: 171–189.
- TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G. and GOFF, T. E. (1985): African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227: 369–375.
- YOUNG, J. A. and YOUNG, C. G. (1992): *Seeds of Woody Plants in North America*. Dioscorides Press, Portland.
7. 最終原稿の提出 原稿が審査を経て受理となった後、編集委員会からの指示にしたがって最終原稿と原図をフロッピーディスクとともに提出する。論文の最終的な調整とレイアウトは編集委員会の責任で行なう。

## ***Instructions to Contributors***

**Journal of Arid Land Studies** is a broad-based archival journal for the publication of significant research results in all areas concerning deserts, arid and semi-arid lands.

Papers will be published only when they are judged by the Editor to be characterized by some general significant conclusions or by experimental and field data having probable lasting value. It is understood that a paper submitted to this Journal has not been previously published, accepted for publication or submitted for review elsewhere.

**One original and two copies of manuscripts in English** should be submitted to (hold original figures and a diskette until acceptance.):

The Editorial Office, The Japanese Association for Arid Land Studies  
c/o RIKEN, 2-28-8 Honkomagome, Bunkyo-ku,  
Tokyo 113, Japan  
Phone +81-(0)3-3947-7708, Fax +81 (0)3-3947-8389

Submitted manuscripts will not be returned whether they are published or not. Original figures, tables and photos may be returned if authors desired.

### ***Paper Categories***

- 1. Full-length Original Articles** – Formal presentation of significant and completed research projects. Enough originality is required. Standard length is ten printed pages (about 7000 words).
- 2. Research Notes** – Brief reports with originality. Supplemental or intermediate reports. Reports which require prompt publication is also submitted. Standard length is three to four printed pages (about 2800 words).
- 3. Others.**

### ***Proofs and Charges***

The authors are requested to correct only first proofs carefully. Publication and reprint charges may be imposed within actual cost. Color photos may be reproduced at an extra expense to the author's.

### ***Copyright Transfer***

Upon acceptance of an article by the Journal, the copyright of the article is transferred to The Japanese Association for Arid Land Studies.

### ***Manuscript Preparation***

All manuscript should be prepared on A4 (or 8.5 by 11 in.) paper in the order. The text has to be prepared on a diskette, using Word, WordPerfect or similarly well known word processing system, in double-spacing with 12 point or similar size typeface.

- A) Title Page** with the following items in this order.
  - a) **Category** of paper.
  - b) A descriptive and concise title of the paper.
  - c) **Authors' names, affiliation(s), and address(es)** : first names, middle initials, if any, and surnames followed by their affiliation(s) and address(es). The author to whom **correspondence** should be addressed is to be identified using superscript, \* with **phone** and **fax numbers**.
  - d) Five or less **Key words**.
- B) Abstract** is to be clear and concise. The **length** is around 400 words for full-length Original Articles and 200 words for Research Notes.
- C) Main Body** should be prepared clearly and concisely. The precise arrangement of the text are left to the authors' discretion. (Each author may choose the format best suited to the paper.) **Figures** and **Tables** should not be included but be cited in the body. The **placement** of the Tables and Figures appearing first should be clearly identified by noting their numbers in the right hand margin. **Footnote** may not be used. Notes should appear at the end of the body, if necessary. SI (The system internationale) unit should be used wherever possible. Standard abbreviation may be used.

**Literature** is to be cited in the text as ROGNON (1989), or (TUCKER *et al.*, 1981, 1985; GROVE, 1986 a,b; LEAN and WARRILOW, 1989). The words "*et al.*" should be used for three or more authors. Lower-

case letters following year may be used if necessary to identify. Cited pages from books should be identified as YOUNG and YOUNG (1992: 15–17).

D) Literature cited should appear at the end of each text in an alphabetical order. Give complete information as in following examples:

GROVE, A. T. (1986 a): The scale factor in relation to the processes involved in “desertification” in Europe. In FANTENCI, R. and MARGARIS, N. S. eds., *Desertification in Europe*, D. Reidel, Dordrecht, 9–14.

GROVE, A. T. (1986 b): The state of Africa in the 1980s. *Geogr. J.*, 152: 193–203.

LEAN, J. and WARRILOW, D. A. (1989): Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature*, 342: 411–413.

ROGNON, P. (1989): *Biographie d'un désert*. Plon, Paris.

TUCKER, C. J., HOLBEN, B. N., ELGIN, J. H. and MC

MORTREY, J. E. (1981): Remote sensing of total drymatter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11: 171–189.

TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G. and GORF, T. E. (1985): African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227: 369–375.

YOUNG, J. A. and YOUNG, C. G. (1992): *Seeds of Woody Plants in North America*. Dioscorides Press, Oregon.

E) Tables should be typed on separate sheets and be prepared in order.

F) Figure captions should be typed on a separate sheet.

G) Figures should be drawn in black ink on a white background. The size of the lettering should be proportional to that of the drawing; it must be a minimum of 3 mm high when the illustration is reduced to 67 mm wide or 140 mm wide. First author's name and figure number should be written in pencil on the right corner of the sheet. Photos may be included as Figures. Three printed photos, or one original and two high quality reproductions, pasted on A4 paper should be submitted for reviewing process.

H) After the manuscript has been reviewed and accepted for publication, the author carries out any corrections that are requested. The final version of the text is then submitted to the Editorial Board together with original figures, and a diskette following the special instructions to be sent to the author. The diskette should include an additional text converted into an MS-DOS text file (ASCII file). The Editorial Board is responsible for the final arrangement and layout of the articles.

---

#### **For domestic contributors**

One or more of the author(s) should belong to The Japanese Association for Arid Land Studies. The authors are requested to prepare Japanese translations of the following items on a separate page; A-a title, c) Author(s)' name(s), affiliation(s) and address(es), in the title page, and B) abstract.

小特集 I: 「乾燥地農業—現代との相剋」編集委員会  
松本 聰 (主査), 中田禮嘉

Editorial Board of Special Reports I on  
“Traditional Agriculture in Arid Lands and Its Conflict with  
Current Agriculture”  
Satoshi MATSUMOTO (Chief), Reika NAKATA

小特集 II: 「衛星データ・考古学・文献からみた沙漠の遺跡と環境」編集委員会  
相馬秀廣 (主査), 梅村 坦, 林 俊雄, 門村 浩

Editorial Board of Special Reports II on  
“Archaeological Sites and Environment in the Deserts Viewed from Satellite Images,  
Archaeology and Historical Documents: Turpan Basin and Khorezm Area”  
Hidehiro SOHMA (Chief), Hiroshi UMEMURA, Toshio HAYASHI, Hiroshi KADOMURA

---

編集委員 門村 浩(委員長:立正大学) 安部征雄(筑波大学) 小島紀徳(成蹊大学) 斎藤享治(埼玉大学)  
嶋田義仁(静岡大学) 谷山一郎(農業環境技術研究所) 長島秀樹(東京水産大学)  
山川修治(農業環境技術研究所) 書記:黒瀬匡子  
日本沙漠学会編集委員会/〒113 文京区本駒込2-28-8 理化学研究所駒込分所内  
TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389

Editorial Board Hiroshi KADOMURA (Chief Editor), Yukuo ABE, Toshinori KOJIMA, Kyoji SAITO, Yoshihito SHIMADA, Ichiro TANIYAMA, Hideki NAGASHIMA, Shuji YAMAKAWA

Editorial Secretary : Kyoko KUROSE

Editorial Office The Japanese Association for Arid Land Studies  
c/o The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)  
2-28-8 Honkomagome, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

TEL: 03-3947-7708/FAX: 03-3947-8389

本誌の刊行にあたっては文部省科学研究費補助金(研究成果公開促進費)の援助をうけた。

編集発行: 日本沙漠学会/〒113 東京都文京区本駒込2-28-8 理化学研究所駒込分所内

© The Japanese Association for Arid Land Studies TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389  
定価 1,500 円 (本体 1,457 円) 発行日 1997年2月25日

印刷: (有)英和出版印刷社

# JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

## CONTENTS

### Frontispiece

- Toshibumi SAKATA : Satellite Images of the Khorezm Area and Turpan Basin along Silk Road

### Review Articles

- Roy A. STACY and Serge SNRECH : Desertification Control and Risk Management in a Changing Agriculture: The Case of the Sahel ..... 87-103  
 Masato SHINODA : Effect of Desertification on Climate: A Review ..... 105-114

### Original Articles

- Yoshiyuki OHTSUKA, Hiroyuki II and Shin SAKAKIBARA : Salt Accumulation Analysis for Column Experiment Results during Evaporation ..... 115-120  
 Muhtar QONG and Hiroki TAKAMURA : The Formative Process of *Tamarix* cones in the Southern Part of the Taklimakan Desert, China ..... 121-130

### Special Reports I

- "Traditional Agriculture in Arid Lands and Its Conflict with Current Agriculture"**  
 Satoshi MATSUMOTO : Introduction ..... 131-132  
 Satoshi MATSUMOTO : The Thought of Dry Farming from the Viewpoint of Soils and Current Agriculture ..... 133-139  
 Makoto KATSUMATA : Anti-Desertification Actions in the Sahelian Region and Rural Development: A Methodological Essay on "Sahelity" ..... 141-147  
 Takeru AKAZAWA : Transition from Hunting-Fishing-Gathering to Agriculture in West Asia ..... 149-157

### Special Reports II

- "Archaeological Sites and Environment in the Deserts Viewed form Satellite Images, Archaeology and Historical Documents: Turpan Basin and Khorezm Area"**  
 Hidehiro SOHMA: Introduction ..... 159-161  
 Norio ISHIDA, Yoshiko KAWABATA, Shigeo TSUJIMURA and Hiroyuki NAKAHARA : Environmental Problems Caused by Large Scale Irrigation in the Aral Sea Basin ..... 163-169  
 Toshio HAYASHI: Archaeological Sites in Khorezm ..... 171-181  
 Toshibumi SAKATA : Satellite Image Map of the Central Asia - Uzbekistan Khorezm Area and Aral Sea ..... 183-186  
 Jun LEE : The Ancient Ruins of the Tarim Basin ..... 187-192  
 Masatoshi YOSHINO and Yongzhi LIU : Climate of the Turpan Basin: Past and Present ..... 193-202  
 Sunao HORI : The Turpan Basin : From the Historical Point of View ..... 203-207  
 Hidehiro SOHMA, Toshibumi SAKATA, Yoshio TANAKA, Ryoji NAKANO and Makoto MORII : Turpan Basin from the Satellite Images ..... 209-217