

沙 漠 研 究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

目 次

口 絵

吉野正敏: タクラマカン沙漠南縁の和田・策勒における沙漠化と人間活動

展望論文

平賀義彦・松本 聰: 来世紀をどう生きるか——21世紀の食糧生産と人口問題から考える—— 83-99

原著論文

高橋和也・張 勁・黄子蔚・熊建民・村山治太・韓春雨・増田彰正・牛木久雄: 中国タクラマカン沙漠の陸水、降水の同位体的、化学的特性 101-111
池谷和信: 商品経済化にともなうソマリのラクダ遊牧と紛争 113-123
吉野正敏・藤田佳久・有蘭正一郎・杜明遠: タクラマカン沙漠南縁の和田・策勒におけるウィグル族農民の農業生産活動 125-135

小特集: つくばシンポジウム

袴田共之: 特集: つくば発, 沙漠へ「つくばシンポジウム」に寄せて 137
山川修治: つくばにおける沙漠・沙漠化研究の動向 138-142
杜明遠: 中国の沙漠の気候と生活 143-147
根本正之: 植生からみた中国における沙漠化の現状 149-156

小特集: 第3回沙漠工学講演会

概要 157
I. 安部征雄: 「日本でなぜ沙漠か」と沙漠工学の役割 158-162
II. 井伊博行: 地下水脈の水の流れ 163-168
III. 加藤茂: 耐塩性・耐旱性植物による沙漠緑化への挑戦 169-175
IV. 牛山泉: 沙漠の風力エネルギーと風車 177-181
V. 総合討論 182-183

沙漠シリーズ(2)

岡 秀一: 南太平洋岸沙漠の気候的特徴——ペルーアタカマ沙漠の知見から 185-191

書 評 193-194

タクラマカン沙漠南縁の和田・策勒における沙漠化と人間活動
Desertification and Human Activities at Hotan and Qira on the
Southern Part of Taklimakan Desert



写真1. 速いスピードでオアシスへ進行する大砂丘。(策勒県策勒西端にて. 1993年9月1日, 杜撮影)
Photo 1. Big sand dunes invading to the oasis with high velocity. (Taken at the western edge of Qira by Du on Sept. 1, 1993)



写真2. 冬の飼料を用意するため、草(駱駝刺)を刈って沙漠から帰る人。(和田県にて. 1993年8月31日, 杜撮影)
Photo 2. An Uygur farmer coming back from the desert, carrying breeding grass, *Alhagi pseudalhagi*, for winter. (Taken at the northern part of Hotan by Du on Aug. 31, 1993)



写真3. オアシスと沙漠の限界地での放牧。羊は駱駝刺(*Alhagi pseudalhagi*)を好む。(策勒県にて. 1993年9月1日, 杜撮影)
Photo 3. Grazing on the border of the oasis. Sheep likes to eat the grass, *Alhagi pseudalhagi* (Taken by Du at Qira on Sept. 1, 1993)



写真4. 沙漠から集めてきた薪。一部は売る。(策勒県策勒郷にて。1993年9月2日, 吉野撮影)

Photo 4. Woods for fuel collected from the desert. Some of them are sold at the market. (Taken at Qira by YOSHINO on Sept. 2, 1993)



写真5. オアシスの中の灌漑水路。(策勒県巴希吾之買にて。1993年9月3日, 吉野撮影)

Photo 5. Irrigation canal in the oasis at Qira. (Taken by YOSHINO on Sept. 3, 1993)



写真6. オアシス最前線の家。策勒県策勒郷治沙站の農家入口。壁材はタマリックス。(1993年9月1日, 吉野撮影)

Photo 6. Entrance of a farmer's house on the front of oasis of Qira. Wall is made of Tamarix. (Taken by YOSHINO on Sept. 3, 1993)

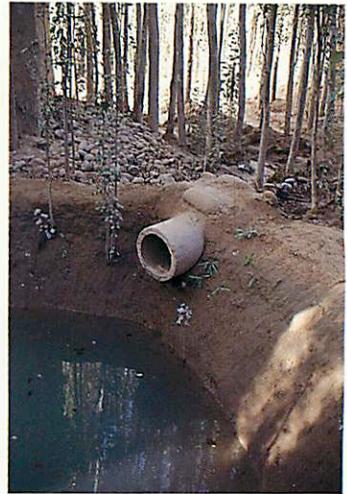


写真7. 中学校教員の家の庭にある溜池。生活用水のため。(策勒県巴希吾之買にて。1993年9月3日, 吉野撮影)

Photo 7. Pond for living water at a corner of garden of a teacher's house at Qira. (Taken by YOSHINO on Sept. 3, 1993)



写真8. 写真6と同じ家の家畜小屋の部分。壁はタマリックス、屋根は麦ワラ。背後はポプラの防護林。(1993年9月1日, 吉野撮影)

Photo 8. Roof of the part for live-stocks of the farmer's house shown in Photo. 6. Wall made by Tamarix, roof by wheat straw and shelter belt of poplar on the back are shown. (Taken by YOSHINO on Sept. 1, 1993)

(吉野正敏, Masatoshi YOSHINO)

来世紀をどう生きるか ——21世紀の食糧生産と人口問題から考える——

平賀義彦*・松本 聰**

1. はじめに

近年、地球環境問題がクローズアップされるようになってから、様々な調査研究報告が発表されている。地球の温暖化、オゾン層の破壊、土壌や水質の汚染、動植物種の減少などの環境破壊が異常な速さで進んでいる、ということは今日誰もが知っていることである。しかし、このまま環境破壊を放置しておくたとえば20年後にどのような社会現象が起こることになるのか、果たして人類はその環境破壊を克服することができるのか、ということになると、どの報告書も具体的なイメージを提供してはいない。

地球の沙漠化問題も同様であって、毎年600万ヘクタールの勢いで沙漠化が進行中であるといわれているが、それがどれほどの影響を我々に与えるものなのか把握しにくい。600万ヘクタールという面積は、通常九州と四国を合わせた面積と例えられるが、同時に日本の農地面積500万ヘクタールを上回る面積でもある。日本の農地が1年で沙漠化するということはどのように理解すれば良いのだろうか。ただ大変な勢いだといっているだけでなく、農業生産にどれくらいの影響が出ており、それに対してどのような手段を講じなければならないか、どこかで考えられているのだろうか。

沙漠化の原因について解説した資料は多いが、その影響に関する資料は少なく、ある限定された地域についての報告であったり、特に沙漠化とは関連付けない農業生産動向であったりする。沙漠化問題を農業生産と関連付けて理解するための資料としてまとめたのが本稿である。

本稿は農学というものが総合的な実学であることに照らし、乾燥地の農業開発に携わるものにとっての基本的な理解のために、農業土木技術者として取り組んだものである。

2. 食糧生産の現状と人口増加予測

1) 地球規模の食糧問題の構図

まず、沙漠化の進行はどのような問題なのか整理しておこう。

国連人口計画局が長期人口予測を発表している。それによると、シナリオによって程度の差はあるにしても全てのシナリオで急激な人口増加を予測している。

また、国連食糧農業機関 (FAO) の発表している農業生産年報によると、農地面積も農業生産指数も伸びている。その一方で、国連環境計画 (UNEP) と国際土壌評価情報センター (ISRIC) によってまとめられた世界土壌劣化評価 (GLASOD) では世界的な広がり度で土壌が劣化し、土地の生産性が失われつつある。

増え続ける人口を養うためには、食糧も増産しなければならないが、沙漠化が進行することによって、農地が生産力を失ってしまえば、食糧増産という目的が達成できなくなってしまう。つまり、沙漠化という問題は、土壌劣化の一部であって人口増加と食糧生産のバランスを崩し、将来の食糧不足を引き起こす要因と考えられる。

これらの人口と食糧のバランスを検討するために必要な要素を簡単なモデルに表わしてみると図1のようになる。

食糧消費は、消費する人口と一人当たりの消費性の積で表わせる。

この中で、人口は公式にデータが発表されており、貧困や低い教育水準、医療技術の進歩を背景に急激な増加を示している。次の消費性については、特にデータは公表されていないが、一般には生活水準の向上に伴って増加するものと考えられている。

一方の農業生産は、農地面積と土地生産性の積で表わせる。いま環境問題として取り上げられている土壌劣化は土地生産性の一つの要素であるが、ここでは技術改良によって生産性を向上させる要素と対比させ、農業生産を制限する要素として扱うことにする。

農業生産を表わす式の中で、農地面積は公表されてい

* (株)クボタ、プロジェクト推進室かんがい緑化プロジェクトチーム (受付: 1993年10月16日, 受理: 1993年11月22日)

** 東京大学農学部農芸化学科

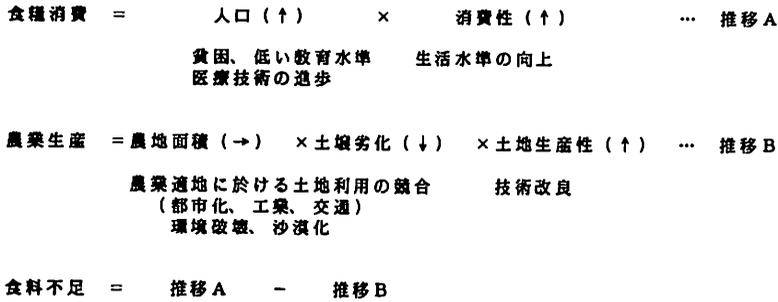


図1. 食糧問題の構図.

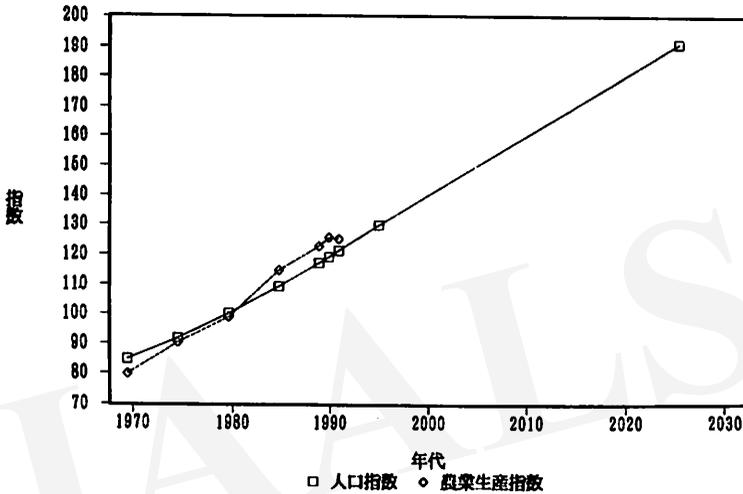


図2. 人口と農業生産.

るデータがあり、少しずつ拡大していることを示している。ただ、面積だけで判断できないのは、都市、工業、道路や鉄道によって、本来農業に適した土地が農業以外の分野に使用されていることである。更に、沙漠化を含む土壌劣化によって、農業生産の環境が破壊されつつある。第3項の技術改良による土地生産性は公表データは示されていないが、上昇傾向にあることは疑いない。したがって、この推移 A と推移 B を比較することによって将来の食料不足を想定してみる。

FAO の農業生産年報に、推移 B の左辺に当たる農業生産が指数の形で発表されている。一方の食糧消費を押し上げる基本的な要素は、急激に進んでいる人口の増加であり、消費性の伸びという要素は従属的なものと考えることにして、とりあえず人口増加を食糧生産と対比させることにする。人口予測は、国連人口計画局が発表した2025年に世界の人口が約85億人になるという資料に基づいている。これを1980年の人口を100とした指数で表わすことによって、1980年の食糧の需給バランスを1と考えた場合の現在または将来の需給バランス

がどの程度過剰または不足しているか、絶対量ではない方法で理解することができる。

このような考え方で上記のモデルをグラフに表わすと図2のようなものになる。

<農業生産指数>には、各国原産の全ての農作物および畜産物が含まれている。この農業生産指数は、一国の農業部門の可処分生産量(飼料・種子用を除いた後の量)を1979~1981年を基準として示している。まず当該期間における、ある商品の平均可処分生産量を重量または体積で求める。この数に1979~1981年のその商品1単位の平均全国生産者価格を掛ける。この積が、その期間の当該商品の価値総額を1979~1981年を基準にして表わしたものとなる。全ての農産物および畜産物の価値を合計すると、農業生産の価値の総計が1979~1981年の価格で示される(FAO, 1992)。

2) 長期人口予測

図2のグラフに描かれた曲線の背景について少し考えてみよう。

表1. 世界の人口予測.

レベル	出生率 (シナリオ)	人口 (年代)
高レベル:	2.5 人	280 億人 (2150)
中の上 :	2.17 人	210 億人 (2150)
(中レベルの 5% アップ)		
中レベル:	2.06 人	85 億人 (2025), 100 億人 (2050), 112 億人 (2100) 115 億人 (2150), 116 億人 (2200)
中の下 :	1.96 人	78 億人 (2050, ピーク), 56 億人 (2150)
(中レベルの 5% ダウン)		
低レベル:	1.7 人	78 億人 (2050, ピーク), 43 億人 (2150)

(1993 年 4 月現在 55 億人を突破)

(世界資源研究所, 国連環境計画・国連開発計画協力, 1992)

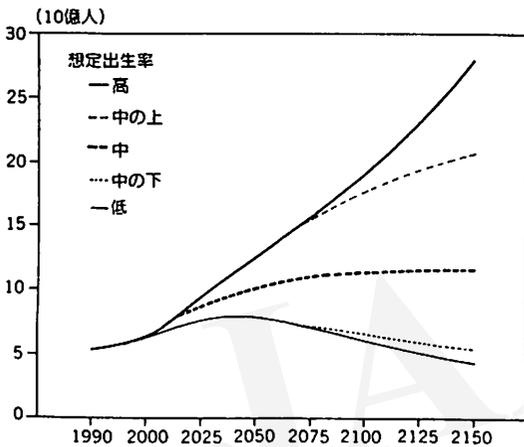


図3. 世界の人口予測, 1990~2150年.

まず, 人口指数であるが, 国連の長期人口予測では, 最終的な世界人口を推定するためには, 出生率が重要な要因であると考えている。男女それぞれの平均寿命を男は82.5歳, 女は87.5歳とした上で, 出生率が人口維持水準である2.06人に最終的に落ち着くと仮定している。これを中レベルのシナリオ(2025年に人口約85億人)とし, その上下に高レベルから低レベルまでいくつかのシナリオを設定している。それぞれのシナリオにおける出生率と推定人口は表1および図3の通りである。

3) 一人当たりの消費性動向

次に, 図1における食糧消費を表わす式の第2項「消費性」が生活水準の向上に伴ってどの程度上昇するか検討してみよう。

これは, 各国の国民一人当たりの国民総生産を生活水準を表わす指標と考え, 一人1日当たりのカロリー供給量を食糧消費レベルを表わす指標と考えることによってその関係をグラフに表わすことができる。

世銀が様々な統計資料を発表する際に引用している低所得国16カ国, 中所得国25カ国, 高所得国23カ国を表2に示す。

これらの国について, GNPと食糧供給量の関係をグラフ上にプロットし, 低所得国, 中所得国, 高所得国それぞれの区分の中で回帰線を描いた結果を図4に示す。

高所得国では, 十分な食糧供給が確保され所得も高いので, 必要なだけの食糧を購入することができる。しかし, 低所得国は購買力が不足して食糧消費も低いレベルである。所得が5,000ドルを超すあたりから食糧需要は伸びない傾向が見られるが, 中所得国や低所得国でも中国やインドネシアなど工業力もあって人口が多い地域では, 所得の伸びに応じて食糧需要も伸び, 食糧の需給バランスに少なからず影響を与えることが予想される。

一人当たりの食糧需要(消費性)は, 単に生活水準の向上によるものではなく, 戦争などによって引き起こされている栄養不良状態を改善することなどによっても上昇すると思われる。しかし, これらの要因を評価する適当な方法が今回の作業の中では見つかっておらず, 消費性を上昇させる要因が残されていることだけを記しておくことにする。

4) 農地の拡大

次に, 農業生産の推移を構成している要因についてその背景を検討してみよう。

農地面積の変化はFAOの資料に世界の土地利用として示されている。

<耕地>: 一時的あるいは恒常的に作物を作っている土地, 一時的な牧草地, 市場用および家庭用の菜園, 一時的な休耕地を含む。

<永年作物>: ココア, コーヒー, ゴム, 果樹, ブドウのように, 収穫ののち再び植え付けをする必要のない作物のこと。

表 2. 統計分析に使用した代表国 (世銀ほか)

	一人当 GNP		食糧供給量
	1989 (US \$)	1991 (US \$)	1988-90 (cal/h*d)
低所得国			
バングラデシュ	180	220	2,037
エチオピア	120	120	1,667
ミャンマー	—	less 500	2,454
アフガニスタン	—	less 500	
ザイール	260	—	2,130
ウガンダ	250	160	2,178
インド	350	330	2,229
中国	360	370	2,641
スリランカ	430	500	2,246
パキスタン	370	400	2,280
モザンビーク	80	70	1,805
ケニア	380	340	2,064
リベリア	450		2,259
インドネシア	490	610	2,605
ナイジェリア	250	290	2,200
エジプト	630	620	3,310
以上 16 カ国			
中所得国			
ボリビア	600	650	2,013
タイ	1,170	1,580	2,280
フィリピン	700	740	2,341
コロンビア	1,190	1,280	2,453
トルコ	1,360	1,820	3,196
ヨルダン	1,730	1,120	2,634
韓国	4400	6,340	2,826
イラン	1,800	2,320	3,181
イラク	1,940	1,500-3,499	2,887
マレーシア	2,130	2,490	2,671
アルジェリア	2,170	2,020	2,944
ブラジル	2,550	2,920	2,730
メキシコ	1,990	2,870	3,062
ポルトガル	4,260	5,620	3,342
アルゼンチン	2,160	2,780	3,068
チリ	1,770	2,160	2,484
南アフリカ	2,460	—	3,133

表 2. (続 き)

	一人当 GNP		食糧供給量
	1989 (US \$)	1991 (US \$)	1988-90 (cal/h*d)
中所得国			
ユーゴスラビア	2,490	—	3,545
ベネズエラ	2,450	2,610	2,443
ギリシャ	5,340	6,230	3,775
ハンガリー	2,560	2,690	3,608
ルーマニア	3,445	1,340	3,081
ポーランド	1,760	1,830	3,426
リビア	5,410	3,500-5,999	3,293
サウジアラビア	6,230	—	2,929
以上 25 カ国			
高所得国			
香港		13,200	2,860
イスラエル	9,750	11,330	3,220
シンガポール	10,450	12,890	3,121
クウェート	16,380	more 6,000	3,043
アイルランド	8,500	10,780	3,952
スペイン	9,150	12,460	3,472
イタリア	15,150	18,580	3,498
ニュージーランド	11,800	12,140	3,461
英国	14,570	16,750	3,270
日本	23,730	26,920	2,921
オーストリア	17,360	20,380	3,486
フィンランド	22,060	24,400	3,066
オーストラリア	14,440	16,590	3,302
カナダ	19,020	21,260	3,242
オランダ	19,010	18,560	3,078
ベルギー	16,390	19,300	3,925
フランス	17,830	20,600	3,593
米国	21,100	22,560	3,642
デンマーク	20,510	23,660	3,639
旧西ドイツ	20,750	23,650	3,472
ノルウェー	21,850	24,160	3,221
スウェーデン	21,710	25,490	2,978
スイス	30,270	33,510	3,508
以上 23 カ国			

<永年草地>: 5年以上飼草のために使われている土地である。このカテゴリーの調査は難しい。なぜなら、これには放牧のための原生地も含まれるし、永年草地のデータを定期的に報告している国はほとんどないからである。

<森林地帯>: 自然林と人工林ならびに伐採されているが近い将来植林される土地をさす。

<その他の土地>: 未耕作の土地、放牧に使われてい

ない草地、なんらかの建造物が建てられている土地、湿地、廃棄場、道路用地をさす (FAO, 1992)。

耕地面積は確かに増加しているが、15年間にわずか3.3%の伸びしか示しておらず、更に、後述する土壤劣化を含めて考慮すると、実質的な耕地面積はむしろ減少していることになる。この期間の年平均人口変動率が+1.73~1.74%、つまり15年間で約30%の増加であることと比べてみると、一人当たりの耕地面積は確実に減少

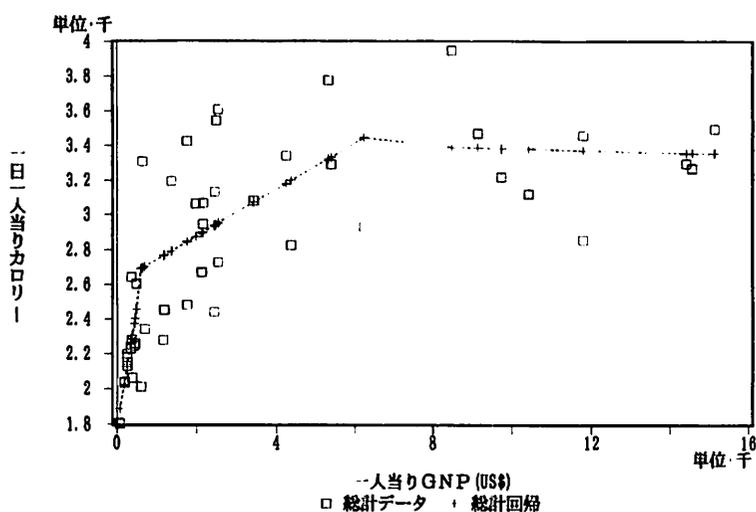


図4. GNPと食糧供給量.

表3. 世界の土地利用。(単位: 1万 km²)

年度	土地面積	耕地面積 (灌漑農地)	永年作物	永年草地	森、林	その他
1975	13,076	= 1,307 (189)	+ 87	+ 3,310	+ 4,168	+ 4,204
1980	13,079	= 1,326 (211)	+ 91	+ 3,333	+ 4,100	+ 4,229
1985	13,079	= 1,340 (225)	+ 92	+ 3,366	+ 4,060	+ 4,221
1990	13,079	= 1,350 (237)	+ 94	+ 3,402	+ 4,028	+ 4,205
		増加	増加	増加	増加	減少 減少傾向

(FAO, 1991 ほか)

していることになる。このことから、耕地面積の拡大は農業生産の伸びに関してあまり寄与していないことがわかる。

5) 1970～1980年代における食糧増産傾向

このように耕地面積がわずかしか増加していない（実質的には減少）にもかかわらず、1970～1980年代においては、人口指数の伸びを上回る勢いで農業生産指数が伸びている。これは、農地拡大ではなく単位面積当たりの収量増加によって達せられてきた、といわれている。このことは後で確かめることにするが、その理由として灌漑面積の増加、化学肥料使用量の増加、高収量品種の開発導入などが相乗的に効果を発揮したからと考えられている。

6) 1990年代に入って食糧増産が減速した要因

しかし、前述の世界土壌劣化評価によって、1945年以降1,200万平方キロの土地が劣化していることが判明した。雨や風によって表土が浸食されたり、土地の養

分が失われ、機械力や畜力によって土地が踏み固められ、更に化学物質による土壌や水質の汚染が広がっている。中にはその土地が元々もっていた生物学的機能の全てを失ってしまうほどの深刻な被害を受けている土地が300万平方キロあるという。この数値は、年間約600万ヘクタールの勢いで進行している沙漠化と一致する。

UNEPでは、GLASODの土壌劣化調査を人口や気候学、植生の消失に関するデータと組み合わせ、世界沙漠化地図を作成する計画をもっている。沙漠化には、土壌劣化とそれに関連する乾燥地および半乾燥地域の植生変化が含まれることになる（世界資源研究所、国連環境計画・国連開発計画協力、1992）。

土地の生産性低下を補って農業生産を増加させるためには、今まで以上に化学肥料や灌漑をはじめとする機械力などのエネルギー投入を増やさなければならない。しかし現実には、農産物の価格低迷などによって経済性が下がり、灌漑面積の拡大や化学肥料の投入など必要な投資に対する農民の意欲が失われている。また、化学物質は農民自身をはじめ周辺に及ぼす悪影響が懸念されてい

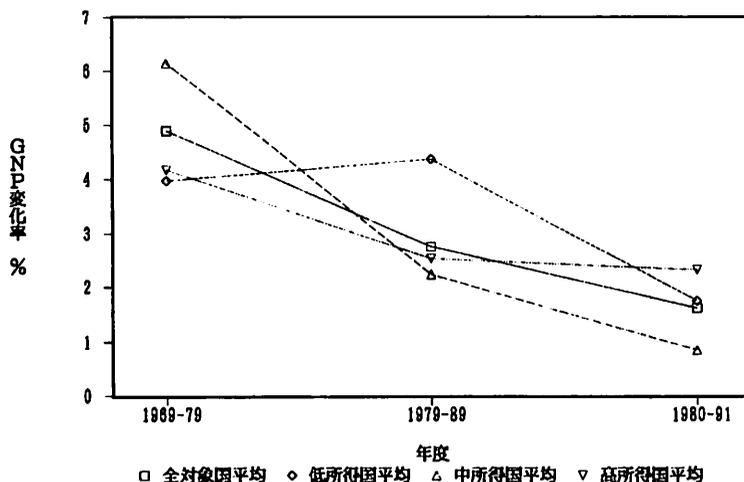


図5. 実質 GNP 年平均変化率.

る。さらに、元をただせば、急激な工業化や灌漑農地の不適切な水管理など環境を無視した人間の行為によって、農業生産の環境悪化が引き起こされてきたといえるのであって、今までと同じ方法で増産を図るには問題がある。

7) GNP 成長の低迷

今までは収量拡大に寄与してきた灌漑その他の機械力や化学肥料であるが、今後も同じようにこれらのエネルギーを投入していくだけの力はあるのだろうか。世界の GNP 変化率を前述の 64 カ国について調べた結果を図 5 に示す。

GNP 変化率は対象国全体で 70 年代の 5% から、80 年代の 3%、更にこれをわずかに 2 年スライドさせた 10 年間では 2% へと急激に落ち込んでいる。これは高所得国の景気低迷が原因であるが、低成長の中でも、高所得国は他に比べて変化が少なく、安定した力を示している。しかし中所得国では、低成長化の傾向がはっきり出ているし、低所得国はその不安定さを表わしている。この図から、70 年代には、農業の近代化に必要なエネルギーを投入する余力があったが、80 年代以降その余力というものが失われつつあることが読み取れるのではないだろうか。このことは、農業生産指数の伸びが減速傾向を示す変曲点とも符合している。今後、収量拡大に加えて環境改善も同時に進めなければならない時期を迎えて、それを成し遂げる力が残されているのかどうか、基本的なところにも問題があると思われる。したがって今後は、投入資材や投入エネルギーを節減する農業生産というものが基本的な検討課題になるだろう。

8) 土壌劣化の影響

続いて、土壌劣化地域を図 6 に示す。この問題を少し詳しく検討してみよう。

土壌劣化の原因として、自然的要因と人為的な要因の二つが考えられる。自然的要因としては、その地域の気候が乾燥に向かっているというようなことや降雨による土壌浸食、強風による土壌浸食などがあげられる。一方の人為的要因には、耕作地を作るためや薪炭材を収集するために森林が伐採されて土地の被覆が少なくなること、過放牧によって更に裸地化が進むこと、過耕作によって地力が低下することなどがあげられる。例えば、人口増加に伴って薪炭材の収集量が増え、また耕作面積を増やすために森林の伐採が広がる。更に乾燥化する気候に追われるように遊牧民が粗林化した土地に家畜を連れ込む。このようにして土地の耐候性が低くなってくると、風、砂、降雨による浸食によって土地の生産力が失われる、という土壌劣化のシナリオが考えられる。何が最初のきっかけになるのかハッキリしていないが、このような様々な要因が相互に影響しあって土壌劣化が起ると推定されている。

土壌劣化の進み方も地域によって異なっている。先ほどの土壌劣化地図でいくつかの地域を拾ってみると、例えば重要な農業生産地帯であるアメリカのグレートプレーンズ、旧ソ連のウクライナ地方、中国の穀倉地帯などで深刻な土壌劣化が起っている。例えばアメリカでは、機械化灌漑技術が進んだことによって安定的に収穫量を増加させてきたが、地下水の取水量が増えすぎたために地下水位の低下が問題になっている。また、大規模農場では大型の機械を効率よく使用するために農地の区画を大きくし、防風林が取り払われたために風食の被害

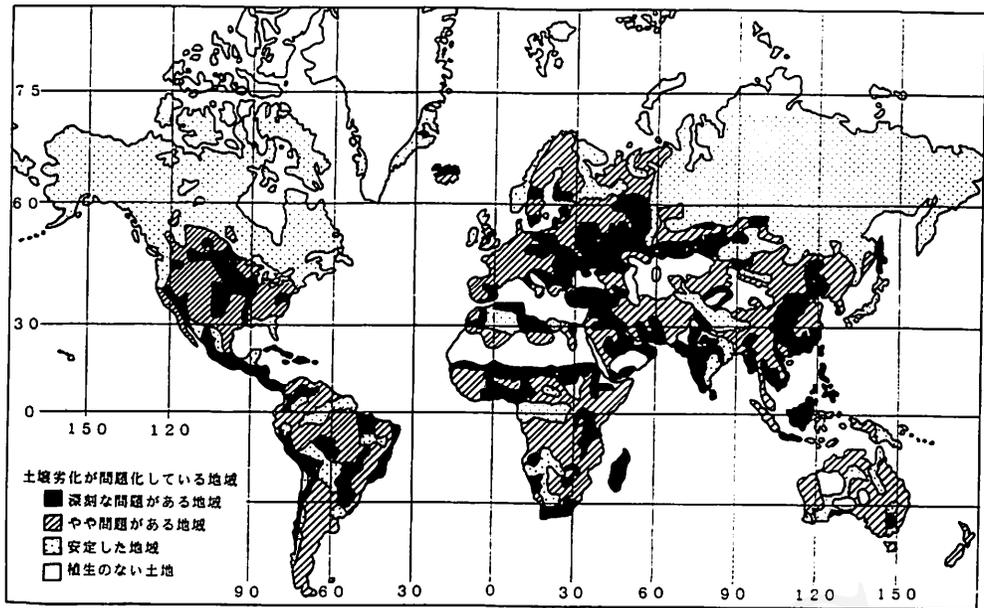


図6. 世界の土壤劣化地域。

を受けやすい形状になっている。またこの地域は半乾燥気候に属し、不安定な降水量と蒸発量が大きいことが特徴とされている。したがって、この地域の農地が受ける被害は風食だけではなく、降雨による浸食や塩害による土壤の荒廃も含まれる。

旧ソ連では、アラル海周辺の問題が大きく取り上げられている。不適切な水管理によって、アラル海の縮小や大規模な塩害、さらには周辺住民の健康被害が起こっているとされているが、土壤劣化地図では、このアラル海の北側に広がる旧ソ連の穀倉地帯で深刻な劣化が起こっていることが示されている。この地域も半乾燥地帯における大規模農場ということでアメリカの例と類似していることが予想される。

中国では、黄河中流域に黄土と呼ばれる砂が数十～数百メートルも厚く堆積した地域がある。この黄土高原では降雨による浸食が進み、耕地の減少だけでなく下流域の洪水などの原因にもなっている。これも、人口増加に伴う過耕作や過放牧が要因といわれている。また、サハラ沙漠南縁に広がるサヘル地域は沙漠化問題でよく取り上げられるところであるが、こども深刻な劣化が起こっていることが示されている。

一方で、例えばボルネオ島の土壤劣化は森林の伐採を表わしており、それが輸出用木材の林業伐採であったり、焼畑を行なうための伐採であったりする。林道や生産力が低下した焼畑農地は裸地化しており、降雨による浸食をまともに受ける。同じような森林の減少に関する

劣化は、インドシナ南部や中国南部およびブラジルで見受けられる。

世界土壤劣化評価 (GLASOD) では、過去 45 年にわたる土壤劣化の様子を劣化面積、土壤劣化の程度、土壤劣化の原因などに分類して示している。これらのデータを元に、実質的な農地面積を数値で評価できれば、これと農業生産によって単位面積当たりの収量評価ができるはずである。

単位面積当たりの収量 = 農業生産 / 実質農地面積

単位面積当たり収量 (土地生産性) を評価するために作成したものが表 4 であり、1988 年の状態と年変化を示している。

表 4 の上段、土地面積から未開発地までの項目は FAO の農業生産年報 (FAO, 1992) より 1978～1988 年までの 10 年間の土地利用データを引用した。続く非劣化面積から劣化程度・極度までの項目は世界土壤劣化評価 (GLASOD) から、人的要因による土壤劣化、1945～1980 年代後半などのデータを引用した。土壤劣化に関する項目は次のように定義されている。

<恒久的農地および安定地域>: 恒久的農業下で劣化していない土地と植林やテラス化、ガリー化防止対策、その他の保全法を通じて安定している土地から構成される。

<自然地域>: 人間の活動がほとんどない土地で、低温、急斜面、水捌けの悪さ、低劣な土壤といった理由、あるいは遠隔地であるという理由のために農業に適さ

表 4. 生産予測 (全世界) (面積単位: 1 万 km²)

		年代 1988	年変化
土地面積	耕地～他迄 (南極外)	13,128.8	0
耕地面積		1,477.9	3.18
恒常牧草地		3,322.9	
森林地帯		4,095.3	-7.37
その他土地		4,232.7	4.19
	放牧外草地	2,659.2	
	草地以外	1,573.5	
未開発地		3,486.1	

非劣化面積恒久的農地安定的地域		6,092.0	
	自然地域	3,486.0	
	非植生地	1,469.0	
劣化全面積		1,964.4	43.65
原因別	植生除去	森林減	579.0 12.87
	乱獲	森林減	133.0 2.96
	過放牧	森 50 耕 50	679.0 15.09
	農業活動	耕地劣化	552.0 12.27
	工業産業	土壤汚染	23.0 0.51
劣化程度軽度	生産性 85%	749.0	16.64
	中程度	生産性 50%	910.5 20.23
	強度	生産性 15%	295.7 6.57
	極度	生産性 0%	9.3 0.21
劣化農地面実面積		914.5	20.32
劣化農地面補正值		529.0	
非劣化農地		3,886.3	
農地面積 補正值		4,415.3	

地力指数		91.97	
単収向上指数		132.65	2.81
農業生産指数		122.00	

(FAO, 1992 などにより作成)

ない土地を意味する。

<非植生地>: 活性の砂丘, 岩石露出地帯, 沙漠, 氷原, 乾地性山岳地帯からなる。

<植生除去>: 農業開拓, 伐採, 開発により植物で覆われていた部分が取り除かれることを意味する。

<乱獲>: 薪炭や囲い用木材などの乱獲のために土壤の被覆が減少することを意味する。

<過放牧>: 植物による被覆を減少させ, 土壤の硬盤化につながる。

<農業活動>: 堆肥や肥料のやりすぎもしくは不足, 適当な浸食防止措置を講じないで傾斜地や乾燥した土地を耕作すること, 適切でない灌漑, 土壤構造が安定さを欠いている土地で重い機械を使うことなどが含まれる。

<工業活動と産業活動>: たとえば廃棄物の排出, 農

薬や肥料の乱用などにより, 土壤が汚染物質で汚染されることを意味する。

<軽度劣化>: 農業生産性が僅かだけ低下しており, 生物機能はほとんど本来の状態に保たれ, 土地利用の方法を変えれば土壤を完全に回復できる土地で起きている。

<中程度劣化>: 一帯で農業を続けることは可能であるが, その生産性は大幅に落ちる。生物機能は部分的に破壊されているだけである。土地利用法の大規模な変更によって回復可能である。

<強度劣化>: 地方的な土地利用管理では農地としての利用がもはやできず, 生物機能はほとんど破壊されてしまっている。回復は可能だが, 高いコストを伴う。

<極度劣化>: 一帯は農地に適さなくなっている。回復は不能で, 生物機能も完全に破壊されている (世界資源研究所, 国連環境計画・国連開発計画協力, 1992)。

上記の定義をもとに, 過放牧による土壤劣化の 50% と農業活動による劣化を農地劣化面積として扱うことにする。農地劣化面積における劣化程度の割合は土壤劣化全体と同じプロポーシオンと仮定し, それぞれの程度における生産性を軽度劣化 85%, 中程度 50%, 強度 15%, 極度 0% として評価する。このようにして, 農地劣化面積に作物生産性の重み付けを行なって 100% の生産性をもつ土地の面積に置き換えたものを「劣化農地面積補正值」と呼ぶことにする。土地利用区分の中の耕地面積と恒常牧草地の面積の和から農地劣化面積を差し引いたものを非劣化農地とする。劣化農地面積補正值と非劣化農地の合計を農地面積補正值とし, これが実際の農地面積に対して何パーセントに当たるかを計算したものを「地力指数」と呼ぶことにする。

農地の劣化が進めば進むほどこの地力指数は小さい値となる。この地力指数の減少を補うものとして単位面積当たりの収量増加があると考えられるので, 農業生産指数を地力指数で除した商で表わしたものを「単収向上指数」と名付けることにする。この単収向上指数は, 農業基盤の整備や栽培技術, 品種改良などの技術力の進歩を総合的に表わすものと考えられる。

単収向上指数 = 農業生産指数 / 地力指数

以上の計算を 1978~1988 年までのそれぞれについて行なうことによって, 単収向上指数がどのように変化してきたか調べることにした。その結果, 単収向上指数は年平均 2.81 ポイント上昇していることになった。

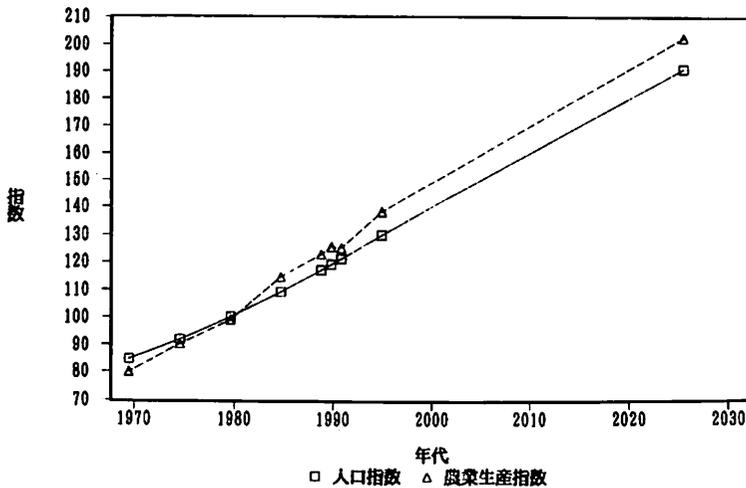


図7. 人口と農業生産（ケース1）.

表5. 地域別地力指数, 単収向上指数, 農業生産指数

地 域	88年の地力指数	単収向上指数	農業生産指数
世 界	91. 97	132. 65	122
北・中央アメリカ	91. 14	113. 01	103
南アメリカ	93. 90	132. 05	124
アフリカ	89. 42	138. 67	124
オセアニア	98. 17	115. 10	113

3. 将来予測

1) 楽観的シナリオによる将来予測（達成率 105%）と必要条件

将来予測の最初のケースとして、過去10年間の土地利用の変化、土壌劣化の進行、単収向上指数が今後も変わらない、というシナリオを想定してみよう。

将来予測を行なう場合は、設定された条件のもとでまず地力指数と単収向上指数の計算を行なう。この二つの指数から農業生産指数を計算することにする。

農業生産指数 = 地力指数 × 単収向上指数

こうして計算された農業生産指数を前述の人口と食糧生産のグラフに書き加えて、将来の食糧事情が1980年のレベルに比べてどのように変化していくのか検討する。

このケースでは、2025年の農業生産指数は203となり、人口指数が191であるので、達成率106%となる。しかし、このシナリオが達成されるためには、土壌劣化が今までと同じような速さで、しかも軽度から極度に至るプロポーシオンも変わらない状態で進行し、この農業

生産を阻害する要因に勝る勢いで灌漑や化学肥料の投入および高収量品種の導入を進めなければならない。これは、前述の現状分析の中で検討したように、投入力の面でも環境保全の立場からも多くの問題を含んでいる。

また、この予測は過去10年間の食糧生産の平均的な増加を延長したことと同じであり、最近の食糧増産の減速は一時的なものと考えたことになる。更に、土壌劣化や化学肥料による水質の汚染などもそのまま継続させることを容認することにもなる。

つまり、このシナリオはかなり楽観的または非現実的なものと考えられる。

2) 現実的シナリオによる将来予測（達成率 70%）と前提条件

農業生産指数や土壌劣化評価は地域別に数値が示されている。地域毎の数値を比べてみると表5のようになる。

農業生産指数は、ヨーロッパ、アジア、旧ソ連の三つの地域をそれぞれ区分して表わしているが、一方の世界土壌劣化評価では、旧ソ連がウラル山脈を境に東はアジア、西はヨーロッパに含められている。本来、人口と食

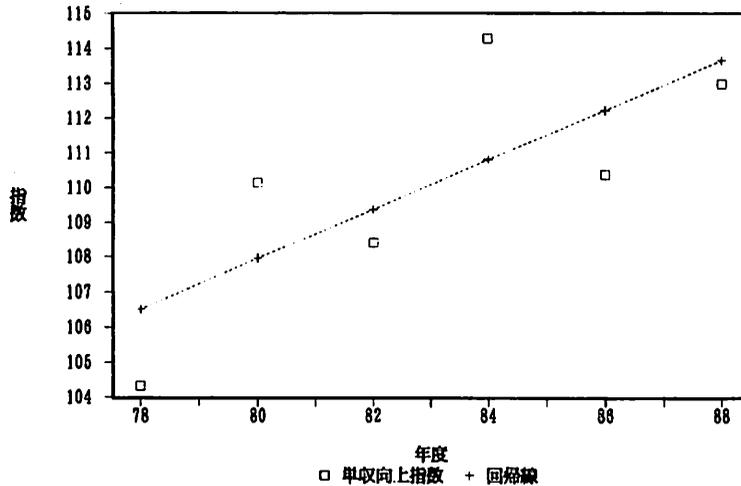


図8. 北中米の単収向上指数.

糧供給のバランスは、それぞれ特徴ある地域別に行なった分析の合計として、世界の将来予測とすべきであり、その意味ではヨーロッパ、アジア、旧ソ連の三つの地域の地力指数や単収向上指数を検討してみたかったが、本論では限られた資料に基づいているために世界をひとつの物差しで評価してしまっている。

上記の表の中で、世界の三大食糧生産国の一つであるアメリカを含む北中米のデータに注目してみたい。土壤劣化地図（図6）を見ると比較的土壤劣化が進んでいる地域であるが、数値的（表5）にはアフリカほど劣化が進んでいるわけではない。しかし、農業生産指数は表中の四つの地域の中で最も伸び悩んでいることを示している。これは、北中米が灌漑や化学肥料、高収量品種の導入など、農業の近代化に早くから取り組んできた結果、既存技術の範囲では行き着くところまで来てしまったものと考えられる。FAOの農業生産年報によると、旧ソ連の農業生産指数が119、ヨーロッパも109と北中米と同様に世界平均を下回っており、中ソ共にアメリカ以上に深刻な土壤劣化問題を抱えているといわれている。これからの世界の農業に与える影響の大きさと共に、北中米のデータがその他の地域の将来の姿を一步先んじて示していると考えられるので、ケース2ではこの地域の単収向上指数を参考にする。

世界土壤劣化評価の報告書は、中程度に劣化した910万平方キロの土地の回復がすぐにでも図られない場合、「少なくともその一部は、近い将来更に重度の劣化レベルに陥る恐れがある」と結論付けている。中程度に劣化した農地の生産性低下は、施肥量を増やすことである程度補うことができる。しかしながら化学物質の使用量を増やすだけでは劣化のプロセスを逆転させることはでき

ないだろうし、地表水や地下水の汚染といった環境への深刻な影響を引き起こすことになる（世界資源研究所、国連環境計画・国連開発計画協力、1992）。

したがって、先程よりは現実的な予測をするためにケース2では次のようなシナリオを設定する。

（シナリオ2）

- ①土地利用は過去と同じベースで推移する。
- ②土壤劣化面積は過去と同じベースで推移するが、5年ごとに10%ずつ軽度劣化は中程度に、同様に強度、極度へと劣化の程度が加速される。
- ③単収向上指数は【北中米】並みのベース（年に0.7ポイント）でしか伸びない。

このケースでは、2025年の農業生産指数は131となり、人口指数が191であるので、達成率69%となる。これは、1980年当時の状態に比べて、世界中の人々が約2/3の食糧で生活しなければならない、または約2/3の人だけが1980年当時と同じレベルの食糧をえることができる、と読むことができる。

このケースのように食糧供給と人口のバランスが急激に崩れた場合、地域紛争が更に拡大し、食糧生産や食糧の分配が一層不平等になっていくことが懸念される。

3) 希望的シナリオによる将来予測（達成率85%）と必要条件

我々日本沙漠学会の立場で考えねばならないことは、このような急激なアンバランスを起こさないために食糧供給を増加させることである。しかし、今までと同じように機械力や化学物質を投入して土壤劣化を進行させることはできない。土壤劣化も改善されなければならないし、同時に食糧増産に向かって単収も向上させなければ

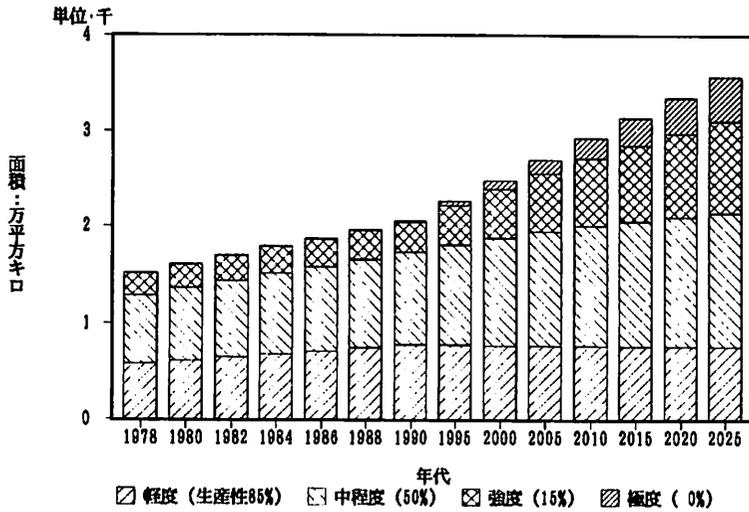


図 9. 土壌劣化 (劣化程度進行の場合).

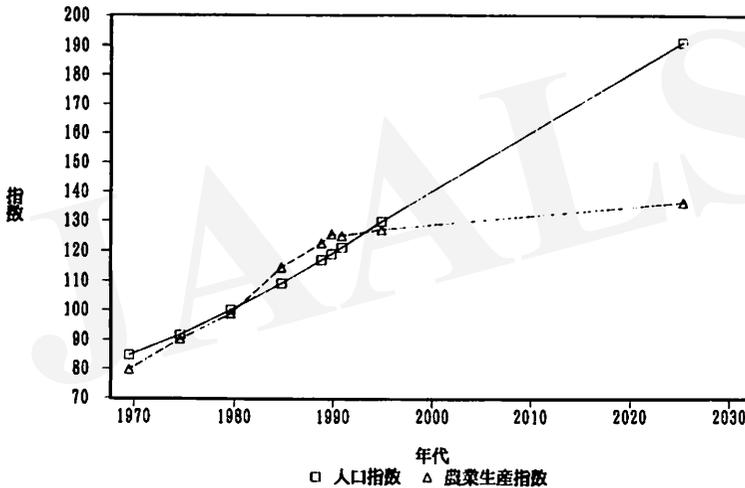


図 10. 人口と農業生産 (ケース 2).

ならない。

このような希望を表わすものとして次のようなシナリオを設定する。

(シナリオ 3)

- ①土地利用は過去と同じペースで推移する。
- ②土壌劣化面積は過去と同じペースで推移するが、2000年頃から5年毎に強度劣化の10%が中程度に、同じように中程度が軽度に、劣化の程度が回復される。
- ③当面単収向上指数は〔北中米〕並みに推移するが、2000年頃から単収向上指数がその2倍程度(年に1.5ポイント)の増加を示す。

このケースでは2025年の農業生産指数は164となり、人口指数が191であるので、達成率86%となる。

この数値が十分なものかどうかはわからないが、環境を維持しながらある程度の単収向上が期待できることが証明され、食糧不足も急激なものではなく、緩やかにやってくる状態であれば、精神的にも時間的にも余裕が生まれて食糧消費の効率化(節約)と食糧の公平な分配を期待することができるだろう。また、食糧不足が緩やかではあるが構造的な問題であることが広く認識できれば、人類の理性が働いて人口増加を抑制する動機付けができるかもしれない。

ケース3では、5年間で世界の平均単収が約5%ずつ伸びていることを示している。我々に与えられた課題は、土壌劣化を克服しながら、更に天候不順という条件も含めてこれだけの数字をあげる技術を形作ることである。このように生産性を上げながら行なわれる持続的農

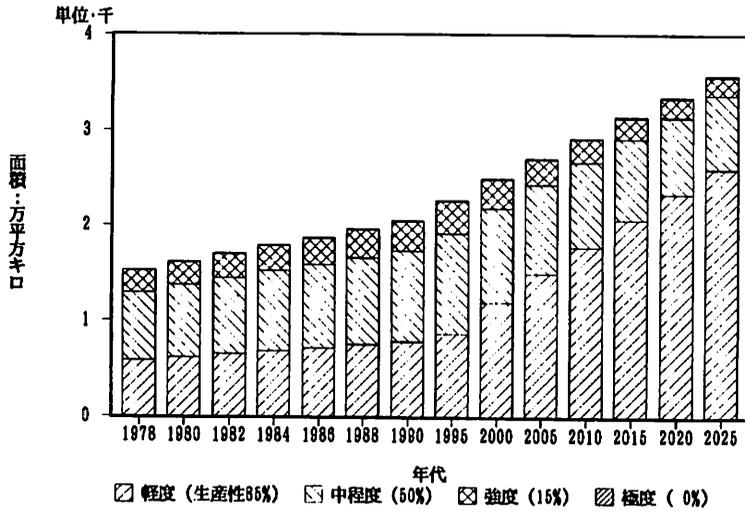


図 11. 土壌劣化 (劣化程度回復の場合).

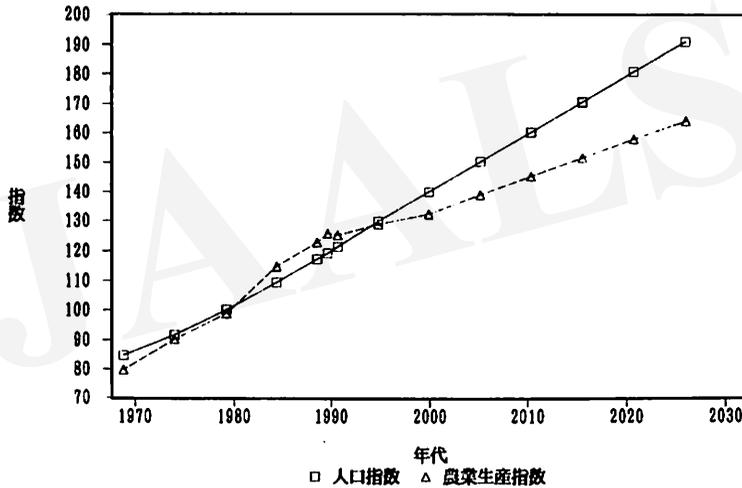


図 12. 人口と農業生産 (ケース 3).

業とはどんなものか、手遅れにならないうちに取りまとめ、それを普及し、世界中で実施に移さなければならない。既にそのための作業を始めなければならない時期にきているのではないだろうか。

4. 食糧増産の課題と技術

貧困が解消され教育レベルが上昇するに従って人口の増加率は低くなるといわれるが、国連などの努力によって世界的に医療が充実するようになったこともあって、前述 (図 3) のように、人口は今後数十年の間急激に増加すると予想されている。人口増加によって食糧の需要は安定的に増えていくが、その一方で、農業生産には天

候不順や自然災害などの短期的なリスクが多いばかりでなく、沙漠化を含めた土壌劣化という長期的な抑制圧力がかかっている。

これからの農業は、持続的農業であることが求められているが、単に生産環境を保全するだけでなく、需要の伸びに追い付くように生産量を伸ばしていく、という二つの使命を同時に達成していくものでなければならない (岩田, 1991)。

このような持続的農業とはどんなものなのか、特に沙漠開発においてどのような課題があるのか、土地開発、土地改良、生産技術、投入エネルギーのそれぞれの側面から整理してみよう。

1) 土地開発

世界の土地利用(表3, 4)を見ると, 耕地面積(その他の地域, 都市・道路・草地など)は増加しているが, それに見合うだけの森林面積が減少し, 逆に人口増加の影響で一人当たりの耕地面積は全ての地域で減少している。

つまり, 近年の食糧増産の大部分は, 耕地面積の拡大ではなく, 単位面積当り収穫量(単収)の向上によって達せられてきたことがわかる。しかし, 単収向上の勢いに陰りが見られる現在, 耕地面積の拡大も重要な課題となる。

沙漠は, 広大な面積があり, しかも太陽エネルギーに恵まれた土地で, 森林伐採を伴わずに耕地拡大ができる土地として期待されている。しかし, 一般に沙漠は地力が極めて低いか, 降雨量が不十分である。但し, その中でも, 地力または水資源の面で有利な条件を備えている地域を選定し, 土壌を改良することによって開発は可能になるだろう。

我々がエジプトで開発したカッタープロジェクトも, ナイルデルタから補給された地下水が地下20メートル前後にあるという, 水資源の面で有利な条件を備えていた例である。ここに防風林を作り, 節水灌漑を導入し, 緑肥や堆肥を投入しながら土作りに取り組んできたもので, 現在でも様々な作物が順調に栽培されている。

また, 沙漠では, 湿潤地に比べて太陽, 風力, 温度差などのエネルギーが豊富である。これらの未利用エネルギーを太陽電池, 風力発電, 風力による揚水システム, 温度差を利用した集水システムなどに積極的に利用することも土地開発に必要な技術である。

2) 土地改良

農業に適した土壌とは, 保水性や排水性, 保肥力が高く, 通気性がある多様な微生物が存在する土壌である。このような土壌を作るために, 客土や灌漑排水設備を備える, また pH 値を調整するなどの機械的, 化学的処理を施すことを土地改良という。

農業は, 作物という形で土壌の養分を持ち出している。継続して農業を行なうためには失われた養分を補給しなければならない。例えば焼畑は, 自然の力で土壌が回復するまで耕作を行なわないことが基本であるが, そのためには10~20年位の休耕期間をおかなければならないといわれる。短期間で養分の補給を行なうために, 現在の農法では化学肥料が使用されている。更に, 養分の補給にとどまらず, 品質向上や収穫量の増加, また連作による収量低下を抑えることを目的に, 大量に使用される傾向にある。

農薬の大量使用が土壌中の微生物を死滅させることは, 残留農薬の安全性など健康被害の問題からも類推しやすいが, 化学肥料の大量使用も土壌環境を変化させる要因と考えられる。偏った成分, 例えばカリウムが残留することによってカルシウムやマグネシウム, ホウ素の欠乏症が発生したり, PH 値や微生物の構成が変化して土壌の風化が促進されるともいわれている。

乾燥地では, 蒸発量が卓越するため蒸発する水に溶け込んだナトリウム, カリウム, カルシウム, マグネシウムなどの塩基類が地表近くの浅いところに集積しやすい。これが一定濃度以上になるといわゆる塩害と呼ばれる現象を起こし作物の生育に障害となる。集積した塩類は, リーチング(塩の洗脱)によって除去されるのが一般的な方法であるが, 中でもナトリウムが多く集積すると土壌の透水性が低下して排水不良を起こし, その結果リーチングの効果も低下する。

前述のエジプトの事例では, まず心土破碎を行なって土壌の排水性を向上させ, 灌漑設備を使用してリーチングを行ない, 次いで緑肥や堆肥を投入して微生物相を増加させることにした。

また, 土地改良技術を一連の栽培管理の中に取り入れた方法もある。例えば素焼きの壺を土中に埋設し, 壺の中に水を入れておくだけで, 周囲に植え付けられた作物の根圏土壌の水分が自動的に保たれる。この方法は中近東に数百年の歴史をもつクーゼと呼ばれる灌漑方法であるが, この節水灌漑方法とヒッジ, ヤギ, 野鳩などの糞といった有機肥料によって農地を永続的に保全する努力が払われている(久馬ほか, 1991)。18世紀のイギリスではそれまでの三圃式の輪作を発展させたノーフォーク式輪作が完成した。これは秋蒔きコムギと春蒔きオオムギの作付けの間にマメ科の植物を植えて土壌中の窒素を増加させ, また根の深いカブを植えて作土層を深くしながら家畜の飼料を得るというものである(前田・松尾, 1974)。

気象や土壌, また作物や栽培方法によって土壌劣化の原因は異なるであろう。したがって, 土地改良として取るべき方法も地域差があって当然だが, どのように改良するかを検討する基礎として, 世界的に共通する土壌評価基準を定め, 継続的にモニターすることが当面の課題と思われる。

3) 生産技術

現代の農法は, 化学肥料や農薬の投入, 機械化によって単収を増加させてきたが, このような技術によって, 逆に持続可能な農業環境が損なわれていることが指摘されている。それは, 化学肥料による土壌劣化や機械化作

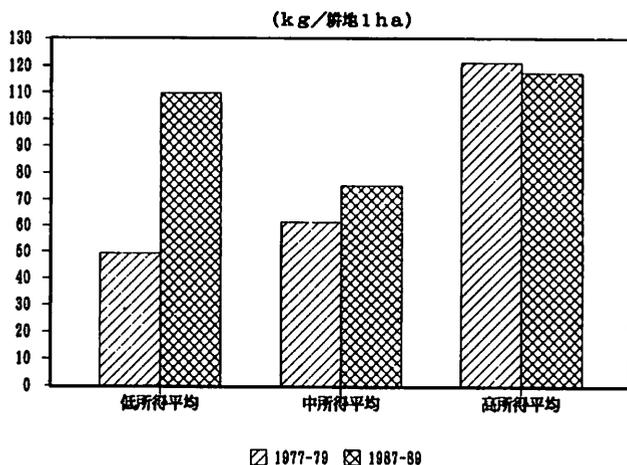


図 13. 肥料の年間使用量.

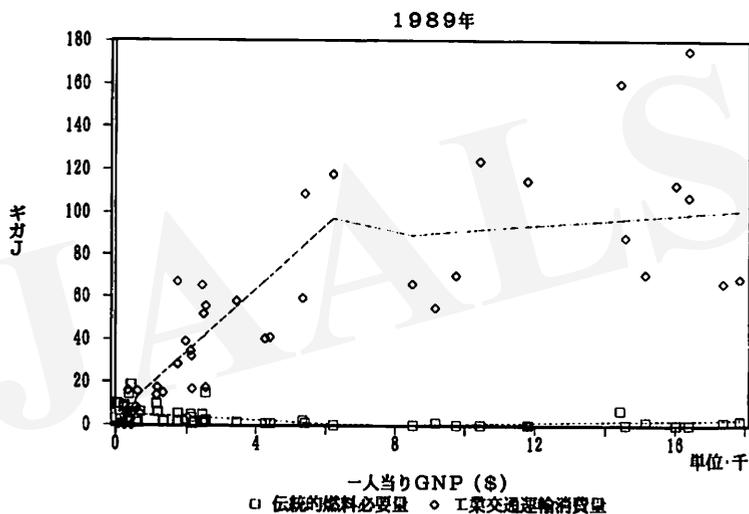


図 14. 一人当たりエネルギー使用量.

業に向けた大規模農地の表土流失だけではない。例えば、途上国では農業使用量が顕著に増加しており、化学肥料と共に水質汚染の主要な原因とされている。また、欧米でも補給量をはるかに超えた水量を灌漑に使用し、水源の枯渇を引き起こしている。

これからは、土壌が持続的に使用できるように保全する農法を選ばなければならない。このような農法とは、速効性が期待できる化学肥料や灌漑の使用量を必要最小限に抑え、その代わりに、長期的に再生産が可能な土壌微生物の力を最大限に利用するものであろう。このような農法を実現するために、農地のエコシステムを徹底的に理解することがこれからの最重要な課題になろう。

農地の生産力に見合った輪作体系を構築し、土壌・水・エネルギー・生物資源を管理、保全するためには、

畜産や林業との複合経営も必要であろう。経済的には、例えば農業や化学肥料の施用もきめ細かく行なうことが必要になるし、労働コストはむしろ増大することが予想される。その反面、農業・肥料・機械といった生産資材のコストが軽減され、現代農法に起因する環境損失コストが数量化されれば、経済的・環境的にすぐれた農法が実現する可能性がある。

このような持続的農法を一気に汎用的な技術として確立することは困難であろう。その前に、現実の農地でひとつずつ実証を積み重ねていかなければならないと思われる。乾燥地農業においても、いきなり何も無いような沙漠の真ん中で持続的農法を試みるのではなく、水資源や生物資源、更には農民といった人的資源において少しでも有利な条件を備えたところから進めるべきではない

表 6. 技術の体系化.

1) 劣化土壌の回復技術			
排水組織	: 塩害防止	: 強度>中程度>軽度	: 農業活動
保水剤	: 節水, 省エネ, 土壌改良	: 強度>中程度>軽度	: 農業活動, 過放牧
耐乾燥性作物	: 節水, 飛砂防止	: 強度>中程度	: 過放牧, 乱獲
耐塩性作物	: 飛砂防止, 土壌改良	: 強度>中程度	: 過放牧, 乱獲
ポリマー不透水層	: 塩害防止, 節水	: 強度>中程度>軽度	: 工業産業, 農業活動
ベッド栽培	: 塩害防止, 省エネ	: 強度>中程度>軽度	: 工業産業, 農業活動
海水淡水化	: 資源利用	: 強度>中程度>軽度	: 農業活動
2) 土壌劣化の防止技術			
マルチ栽培	: 節水, 省エネ	: 軽度>中程度	: 農業活動
排水の再利用	: 節水, 省エネ	: 軽度>中程度	: 農業活動
ウォーターハーベス ティング	: 資源利用	: 軽度>中程度	: 農業活動, 過放牧
植栽種の選定	: 資源利用, 持続性	: 軽度>中程度>強度	: 農業活動, 過放牧
地下水探査	: 資源利用	: 軽度=中程度=強度	: 農業活動, 過放牧, 乱獲
地下ダム	: 資源利用	: 軽度>中程度	: 過放牧, 乱獲
3) 単位面積収量の向上技術			
節水灌漑	: 省エネ	: 軽度>中程度>(強度)	: 農業活動
低燃費農業機械	: 省エネ	: 軽度>中程度	: 農業活動
高収量作物	: 食料増産	: 軽度>中程度	: 農業活動
土壌改良剤	: 食料増産	: 軽度>中程度	: 農業活動
4) 持続的農業技術			
作付体型	: 持続性向上	: 軽度>中程度	: 農業活動
栽培技術	: 持続性向上	: 軽度>中程度>強度	: 農業活動, 過放牧
菌バクテリアの活用	: 持続性向上	: 軽度>中程度	: 農業活動, 過放牧
促成堆肥	: 持続性向上	: 軽度>中程度	: 農業活動
アグロフォレストリー	: 持続性向上	: 軽度>中程度	: 農業活動, 過放牧
未利用エネルギー (太陽, 地熱, バイオマス)	: 資源利用	: 軽度>中程度>強度	: 農業活動, 過放牧
モニタリング	: 持続性向上	: 軽度=中程度=強度	: 全ての原因
啓蒙, 普及	: 持続性向上	: 軽度=中程度=強度	: 全ての原因

だろうか。

4) 投入エネルギー

農業生産に投入するエネルギーを節減することがこれからの基本的な検討課題になると思われるが、国連統計局と世銀による資料では、1979年から1989年までの10年間に商用エネルギー（石油、天然ガス、石炭、原子力、水力）の消費量は世界全体で18%増加した。一方では確かに省エネ努力も進められており、先進工業国では国全体としての商用エネルギーの消費を抑えることに成功している所もあって、多くの地域で省エネが進むことが期待される。

また、部門別商用エネルギー使用量を見ると、ほとんどの国で農業部門は0~10%未満である。逆に、工業お

よび運輸交通部門での使用量は約70%を占め、この部門で省エネ技術が進歩し、その30%程度でも省エネが実現すれば、工業や運輸交通部門での効果が大きいだけでなく、農業部門においてもその波及効果で省エネが進み、土壌劣化の防止にも役立つだろう。また、現在総エネルギー消費量の約6%を占めている伝統的燃料（薪、家畜フン）を商用エネルギーに転換させることによって、薪炭材を採集するために引き起こされている森林破壊の一部を抑制することも可能だろう。

未利用資源の利用や、省エネ技術によって、今までのような商用エネルギー・伝統的燃料の使用を抑えることが持続的農業を確立するためには重要になってくる。

表 7. 持続的農業を実現するための環境整備。

・自然の生態系をより深く理解して利用する	知識 → 技術 → 産業界
・持続的農業、開発によってのみ人類が生存	理解 → 教育 → 教育機関
・短期間では投資超過になるが生存のために必要な投資	経済力 → 政治 → 行政機関

5. 技術の体系化

持続的農業を実現し、安定した食糧生産を目指すためには多面的なアプローチが必要である。しかも、これらは全て日本沙漠学会や乾燥地農学分会で取り組もうとしている分野と一致している。沙漠もなく、土壌劣化も少ない日本ではあるが、日本沙漠学会その他で発表される研究開発を見ていると実用化に近付いている技術や世界的にも注目される研究が数多く見られるようになってきている。しかし、まだ個別技術の開発であったり、限られた地域を対象にした研究であったりするのが現状ではないだろうか。

今後、日本沙漠学会を中心に何か具体的な提案を行なうためには、どこかでモデル地区を選定し、どの程度環境改善と食糧増産が達成できるか定量的に実証する研究を行なうことが必要ではないかと考えられる。

このような行動を起こすためには複数の個別技術や研究成果を組み合わせる必要があるだろう。どのような技術や研究を結びつけばよいか、また、目的を達成するためにどのような分野が弱点になっているか、ということを考える作業の第一段階として、個々の技術を体系化することを提案したい。

乾燥地農学で話題になる技術が持続的農業の中でどのような機能を持ち、土壌劣化の程度および原因とどのように関わっているかを区分した上で、劣化土壌の回復技術、土壌劣化の防止技術、単位収量の向上技術、持続的農業技術の四つのカテゴリーに分類した例を表6に示す。

上記の表は、いくつかの例を示したものにすぎないが、ある程度時間をかけて技術の内容を吟味することによって、それぞれの技術や研究相互の関わりがわかりやすく表現できると思われる。

前項では人口と食糧供給のバランスを表わすグラフを示した。今度は、個別技術またはそれらの組み合わせ技術が持続的農業にどの程度寄与するか、これらの技術がどれくらいの価値をもっているのか、何か定量的に評価する方法を検討してみたいものである。

6. ま と め

ここまでの検討で、人口増加と食糧増産がどのようなバランスを示すのか、それに対して今後は持続的な農業技術が必要になること、そのために今まで個別に進められてきた研究をまとめることによって具体的な成果を上げる時期にきていることを述べてきた。

しかし、持続的農業も今までの農業と同じように技術開発だけで進歩できるものではなく、次に示すような周辺環境が整わなければ成果につながらないであろう。

様々な立場の人々に参加を呼び掛け、幅広いセクターを包含して議論を進め、統一性のある目標をかかげ、効率的に具体的な成果に結び付ける。このような場を提供することが、日本沙漠学会や乾燥地農学分会の役割ではないだろうか。

なお、本論では環境コストについて言及しなかった。本文でも述べたように、近代農業では機械力や化学肥料といった工業的技術で土地生産性を飛躍的に向上させてきた。その結果引き起こされた土壌劣化は資源の損失であり、明らかに長期的な費用損失である。例えば、輪作体系を導入して地力の維持を図るために一時的に経済性の低い作物を栽培するとか、地力回復を図るために経済性を求めない防風林を作ることは、この費用損失を補うものとして経済的に評価しなければならないのではないだろうか。

謝 辞

本稿に対し、国際協力センターの高瀬国雄先生から、下記のコメントをいただいた。筆者らもまったく同感であり、ここでその内容を紹介させて頂くと共に深謝する次第である。

1) GNP が伸びれば消費カロリーが増えるという関係がある一方で、米国では'50年代に3,500カロリーだったものが'70年代には3,000カロリー、'90年には2,700カロリーへと減る傾向が見られる。また、アジアではカロリーではなくタンパク質やビタミンが不足しているといわれており、絶対量を食することが必ずしもいいことではない、ということ認識させる努力も必要だろう。

2) FAO や世銀のデータを使うとどうしても悲観的な予測になりがちであるが、大変だというのがFAOの仕事でもある。食糧の生産量としては2%程度の余裕があるというデータもある。欧米に偏在しているということが問題で、欧米は余った食糧を安い価格で途上国に送る、その安さのために途上国の農民が生産意欲をなくすことにつながる。ウルグアイラウンドなどを通

じて、欧米ではヤミクモに作り過ぎず、途上国も援助に慣れ過ぎないようにして自分たちでも作るような方法を考えなければならない。このような視点も含めて、悲観的な予測ばかりに偏らない考え方が我々には必要だ。

3) 人口予測にしても、先程の 85 億という数字が喧伝されるが、'60 年から '85 年の間の途上国の人口増加が 3~4% の予測に対して、実際は 2.5% 程度だったという報告もある。それに対しても、先程の人口予測シナリオの最低レベル位には増えそうだが、世界で行なわれている様々な努力も評価しなければならぬ。悲観論に偏ることなく、楽観論もうまく評価して、結論で言われたようなインテグレートされた研究を進めなければならない。

参考文献

岩田進午 (1991): 『土のはたらき』家の光協会。

久馬一剛ほか (1991): 『塩集積土壌と農業』博友社。
前田正男・松尾嘉郎 (1974): 『土壌の基礎知識』農山漁村文化協会。

世界資源研究所, 国連環境計画・国連開発計画協力 (1992): 『世界の資源と環境, 1992-1993』日本語版, ダイアモンド社。
ワールドウォッチ研究所, レスター・R・ブラウン (1990): 『地球白書 '90-'91』日本語版, ダイアモンド社。
FAO (国連食糧農業機関) (1992): 『FAO 農業生産年報, 1991 年』

UNITED NATIONS POPULATION DIVISION, LONG-RANGE WORLD POPULATION PROJECTIONS: *Two centuries of population growth, 1950-2150*. United Nations, New York, forthcoming. Executive Summary.

Perspectives to Survive in the Next Century — Food production and population change in the 21th century —

Yoshihiko HIRAGA* and Satoshi MATSUMOTO**

The desertification is one of the global environmental problems.

It is said that total desertified area is being expanded six million hectares a year. In this article, we tried to figure out how much the desertification would affect world food sufficiency in near future.

The desertification is a part of soil degradation, which is considered as a major function of decreasing productivity of agricultural land. On the other hand, the food production is being increased by improvement of productivity by the application of new cultivation technology. Food production change would be determined by estimating balance of positive and negative influence.

The world population is steadily increased, and this means food demand will be steadily increased. The future food sufficiency would be estimated by seeing demand and supply change. Through this process, quantitative relation between desertification and food sufficiency would be evident.

In order to visually indicate these correlation, optimistic model (105% food sufficiency at year of 2025), pessimistic model (70% sufficiency), and desirable model (85% sufficiency) are prepared. And possibility or necessity of conditions which would achieve to realize these models are considered.

Based on above consideration, a suggestion to the Japanese Association for Arid Land Studies related to subjects to be urgently studied is added.

Key Words: Desertification, Food sufficiency, Population change, Productivity, Soil degradation, Sustainable agriculture

* Water & Irrigation Project Team, Project Promotion Office, KUBOTA Corporation. 3-1-3 Muromachi, Nihonbashi, Chiyodou-ku, Tokyo, 103 Japan.

** Department of Agricultural Chemistry, The University of Tokyo. Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan.

中国タクラマカン砂漠の陸水、降水の同位体的、化学的特性

高橋和也*・張 勁**・黄 子蔚***・熊 建民***・村山治太****・
韓 春雨*****・増田彰正*****・牛木久雄*

1. まえがき

水分子を構成する酸素と水素の同位体比は、天然水の置かれた自然環境にしたがって特徴のある値をとったり、変化をしたりすることが知られている。したがって、ある地域の天然水の同位体比の特性を明らかにすることができれば、逆にその地域の自然環境の特性を化学的な側面から解析することが可能である。現在地球環境の急激な変化の中で最も敏感に環境変化が起こっているといわれる乾燥地において、このような立場からその現状と変動の側面を明らかにしていくことがこの研究の目的である。

科学技術庁「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」における同位体水文学的調査では、中国新疆ウイグル自治区タクラマカン砂漠を対象とした研究に取り組んでいるが、この研究計画が開始された時点では次に述べるような問題点や、いくつかの既存の成果が知られているに過ぎなかった。

国連の国際原子力機関 (IAEA) では世界気象機関 (WMO) と協力して、1960年代から全地球的な降水中の安定同位体比の測定を実施してきた。IAEA の同位体水文学の出版物 (IAEA, 1981) によると、インド亜大陸北側に広がる中央アジアの大部分と旧ソ連邦のアジアの大部分がデータの空白部となっていた。この空白は東西の冷戦による国際協力の欠落と、発展途上国地域にみられる地域の科学技術レベルの差から生じており、中国新疆ウイグル自治区はまさにその典型的な空白部に相当していることがわかる。ソ連邦と東ヨーロッパの政治的变化によってこの様な状況は急速に改善されつつあるが、同位体的水文環境に対する全地球的な観測網は未だ完全ではない。中国新疆ウイグル自治区でも中国自身による測定成果や外国との協力による測定の報告が近年みられるようになったが (中国科学院蘭州冰川凍土研究所, 1988; 林ほか, 1987; FUSHIMI, *et al.*, 1989; 杉本, 1988),

何れもデータとしては地理的にも時間的にも断片的な段階にとどまっている。したがって我々の研究は、タクラマカン砂漠に関する研究だけでなく、上記に述べてきた全地球的な環境観測網整備の一環と言う意義をも有する。

一方、砂漠においては水は物質の移動にも深く関わっており、特に河川においては塩類の堆積に深く関与している。即ち、山岳部から平野部に至る間に、河川水 (および地下水) は地表あるいは地表近くの物質と相互作用を起こしつつ最後に砂漠内へ消えていく。その間に、溶解、沈殿等様々な化学作用、物理作用を受けつつ河川はその水質を変えながら、溶存物質を運んでいく。したがって河川水の溶存物質を解析することにより、集水域の地球化学的環境や塩類化土壌の堆積環境を解析したり、あるいは逆に、集水域の推測や水の移動状況を解析したりするのに役立つものと考えられる。

以上のように、本研究では、降水や地表水等の同位体組成 (酸素、水素の同位体組成) および溶存成分の化学的、同位体的解析を併せて行ない、水文環境の解析を行なうことを目的としている。本報告においては、平成2年度および3年度に行なった現地調査で採取された試料の同位体、化学分析および測定結果の解析結果について述べる。

2. 研究方法

1) 現地調査

平成2年および平成3年の10月に約3週間にわたり、中国新疆ウイグル自治区のタクラマカン砂漠において中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所と共同で現地調査を行なった。調査地点はタクラマカン砂漠中央部の南縁に位置する和田地区 (策勒周辺を含む)、タクラマカン砂漠西部の喀什周辺 (蓋孜河流域等)、和田と喀什の間地域 (莎車、皮山等)、およびタクラマカン北部の阿克蘇周辺域である。一方、策勒周辺域の平地部と山間部にお

* 理化学研究所地球科学研究室

** 東京大学理学部化学教室

*** 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所

**** 横浜国立大学教育学部化学教室

***** 中国科学探検協会

***** 電気通信大学一般教育化学

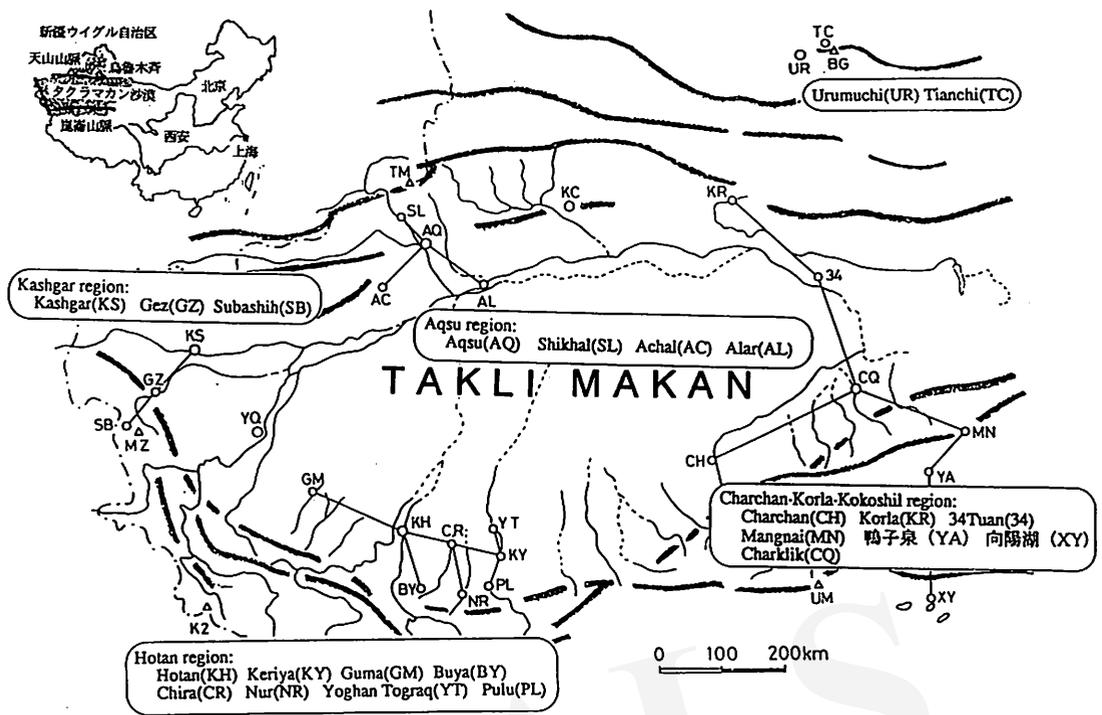


Fig. 1. Sampling localities around Taklimakan Desert in 1990 and 1991.

る降水試料の採取も依頼した。河川水試料採取時には、可能なかぎり水温、pH や電気伝導度などを測定した。

採取した試料については、その同位体的および化学的解析を順次行なっているが、本報告では平成2年度現地調査における採取試料全部と平成3年度採取分の一部について述べる。現地調査による試料の採取地点の概略を Fig. 1 に、試料のリストおよび測定した pH や電気伝導度を Table 1 および Table 2 に示す。また、後述する、軽元素（酸素、水素）同位体組成の測定においては、平成2年の「日中共同カガシリ科学探検プロジェクト」において採取された試料についても解析を行なった。

2) 同位体組成, 化学分析

持ち返った水試料は2つに分け、1つは酸素および水素同位体組成の分析を行ない、残る1つを孔径 0.2 μm のメンブランフィルターで濾過し細粒分を除去した後、化学分析 (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻) に供した。また、Sr の同位体比を測定した。酸素と水素の同位体分析については、岡山大学地球内部研究センターおよび、三菱マテリアル中央研究所で便宜を計っていただいた。一方、Sr の同位体比は理化学研究所の SECTOR-54 にて測定した。また、化学分析は、ICP 発光分光分析計およびイオンクロマトグラフィーを使用して行なった。

得られた結果の解析について以下述べていく。

3. 結果および考察

1) 軽元素（酸素、水素）同位体組成

天然水の酸素と水素の同位体比は、IAEA の標準平均海水 (Vienna-SMOW) に対する千分偏差値 δ¹⁸O、δD として示すが、それはそれぞれ次の式で表わされる。

$$\delta^{18}O = \left\{ \frac{(^{18}O/^{16}O)_{\text{Sample}}}{(^{18}O/^{16}O)_{\text{SMOW}}} - 1 \right\} \times 1000 (\text{‰})$$

$$\delta D = \left\{ \frac{(D/H)_{\text{Sample}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} - 1 \right\} \times 1000 (\text{‰})$$

天然水の同位体比では、採取した試料を水循環の視点から区分してそれぞれの δ¹⁸O と δD の値の分布の関係を見ると次のような分布式に従うことが知られている。

$$\delta D = Sc \times \delta^{18}O + d$$

(DANSGAARD, 1964)

この式の中で、Sc は天然水がおかれている環境における乾燥度によって決定され、d は天然水の水蒸気としての起源を示すと見なされている。ちなみに、ほぼ同位体交換平衡下で降った天然水の Sc は 8 であり、d の世界的平均は 10 である (CRAIG, 1961)。一方乾燥地域においては、Sc は 5 まで減少し、また、冬の地中海や日本海

Table 1. The list of samples taken in 1991 in Tarim Basin.

Sample code	Date	Time	T (°C)	pH	Conductivity (mS/cm)	Latitude (North)	Longitude (East)
A-6	911009	1445	20.9	7.0	2.18	37° 02' 37"	80° 35' 24"
A-8	911009	1610	21.0	7.4	6.85	37° 01' 39"	80° 34' 23"
C-4	911010	1313	16.0	8.7	9.11	36° 59' 15"	80° 39' 25"
C-5-1	911010	1452	15.4	7.5	5.77	36° 58' 47"	80° 38' 55"
C-5-2	911010	1520	19.4	8.5	6.75	36° 58' 47"	80° 38' 55"
C-10	911010	1840	16.3	7.4	1.06	37° 00' 12"	80° 44' 11"
E-1	911011	1240	13.4	6.7	0.98	36° 57' 25"	81° 13' 05"
E-2	911011	1430	17.9	7.4	26.40	36° 58' 00"	81° 11' 24"
E-3	911011	1520	18.4	7.4	5.49	36° 58' 12"	81° 11' 33"
E-7	911011	1730	15.3	7.0	0.70	36° 50' 35"	81° 15' 23"
G-1	911012	1320	16.5	7.0	17.60	37° 01' 20"	80° 52' 51"
G-2	911012	1540	13.8	7.6	1.19	36° 59' 04"	81° 05' 07"
G-3	911012	1620	13.1	7.7	0.49	36° 54' 31"	81° 05' 12"
G-4	911012	1650	13.9	6.8	0.54	36° 59' 11"	81° 04' 35"
G-5	911012	1950	10.6	7.1	1.07	36° 56' 23"	80° 47' 48"
I-2	911013	1120	11.5	6.7	0.76	37° 15' 14"	79° 45' 35"
I-8	911013	1420	16.3	7.4	1.26	37° 32' 51"	79° 57' 12"
I-10	911013	1620	18.9	7.1	1.76	37° 39' 20"	80° 05' 40"
K-1	911014	1615	14.8	7.0	0.95	37° 33' 44"	78° 14' 08"
K-2	911014	1720	13.1	6.8	0.98	37° 51' 18"	77° 32' 34"
K-3	911014	1830	16.3	7.0	0.76	38° 02' 16"	77° 19' 27"
K-4	911014	1910	15.2	7.5	0.43	38° 24' 55"	77° 14' 22"
M-1	911015	1015	4.8	7.5	5.17	38° 29' 38"	76° 47' 11"
M-2	911015	1135	6.3	7.2	0.65	38° 43' 17"	76° 19' 57"
M-3	911015	1220	12.8	7.1	1.34	38° 53' 13"	76° 12' 23"
M-4	911015	1345	11.0	6.8	1.63	38° 58' 36"	76° 11' 56"
O-1-1	911016	1430	2.5	7.0	0.14	38° 22' 55"	75° 00' 48"
O-1-2	911016	1455	9.6	7.0	0.20	38° 26' 17"	75° 02' 34"
O-2	911016	1540	6.1	7.0	0.15	38° 39' 16"	74° 58' 25"
O-3	911016	1620	7.5	7.0	0.25	38° 39' 35"	74° 55' 36"
O-4	911016	1745	5.8	7.0	0.31	38° 46' 26"	75° 18' 56"
O-5	911016	1855	10.4	7.1	0.36	38° 58' 42"	75° 31' 31"
O-6	911016	1955	14.4	7.0	0.44	39° 18' 00"	75° 32' 13"
O-7	911016	2030	14.4	7.1	0.56	39° 17' 13"	75° 46' 58"
O-8	911016	1315				38° 16' 23"	74° 54' 54"
Q-1	911017	1120	9.6	6.8	0.71	39° 25' 55"	75° 55' 01"
Q-2	911017	1220	9.6	7.5	0.94	39° 35' 18"	75° 58' 50"
Q-3	911017	1310	11.3	7.4	1.28	39° 42' 54"	76° 08' 23"
Q-4	911017	1405	13.6	7.1	2.89	39° 47' 56"	76° 23' 52"
Q-5	911017	1445	15.5	7.1	4.19	39° 51' 43"	76° 43' 42"
Q-6	911017	1830	17.3	7.0	0.61	39° 14' 15"	76° 09' 59"

を起源とする水蒸気からの降水は、 d が 20 以上となる
ことが知られている。

〈河川水〉

平成 3 年度における酸素、水素同位体分析結果が求
められたのは次の 4 地区である。

a. カシュガル (喀什) 地区

Table 2. The list of samples recovered in the 1990's field investigation.

Sample Code	Date	Time	T (°C)	pH	Conductivity (mS/cm)	Sampling Location
TK-1	901013	900				Urumqi guest hous
TK-2	901015	900				Hetian Hotel
TK-3	901015	1925	21.0	6.5	0.72	Pisan
TK-4	901016	1550	12.5	7.0	1.13	Chira
TK-5	901017	1135	11.2	8.80	0.31	Yurungqashi River
TK-6	901018	1230	12.9		1.04	Ing Ba 'gh/Asanateni
TK-7	901018	1650	16.1	7.50	1.93	Yo 'ghan To 'gheaq
TK-8	901018	1900	15.7	7.0	0.87	Keriya
TK-9	901019	1305	3.4	7.0	0.51	Be 'ghatSulaq
TK-10	901019	1640	7.6	7.0	0.56	Langar Su Ambre
TK-11	901020	2130	4(?)	7.0	0.49	Nur
TK-12	901021	1230	9.7	7.0	1.06	An ereq
TK-13	901021	1440	18.0	7.5	0.70	Damku
TK-14	901021	1615	12.5	8.0	1.25	Qarqi Ustang
TK-15	901021	1655	13.8	8.0	0.70	?(=TK-13?)
TK-16	901021	1710	19.3	8.0	2.92	Pakhtalaq Ustang
TK-17	901022	1600	14.5	7.5	0.88	Qarqashi River
TK-18	901023	1135	6.4	8.3	0.48	Tong Ghuzlaq
TK-19	901023	1440				Yurungqashi River
TK-20	901023	1440				Yurungqashi River
TK-21	901023	1440				Buya River
TK-22	901023	1645	11.0	8.0	6.65	Buya River
TK-23	901023	1705	9.6		6.48	Buya River
TK-24	901023	1725	6.2	7.5	1.99	Buya River
TK-25	901023	1800				Buya River
TK-26	901024	1345	8.9	8.0	0.81	Sanju Dariya
TK-27	901024	1550	12.4	7.5	2.81	Qarakul
TK-28	901024	1630	10.7	6.8	2.71	Qarakul
TK-29	901024	1740	9.7	7.5	0.82	Muji
TK-30	901024	1815	10.7	7.3	1.55	Duwa
TK-31	901024	1930	21*	7.5	36.40	Qumuch
TK-32	901026	1215				Ya (?); Kucha Malla
TK-33	901026	1700				Gucan Bag Yol
TK-34	901028	835				Akusu Hotel
TK-35	901028	1750	11.0	7.5	2.40	Alar
TK-36	901028	1930	11.0	7.8	0.50	Akusu River
TK-37	901029	1615	6.4	6.8	0.22	QumAreq, Shikhal
TK-38	901029	1745	10.7	8.0	0.53	Shikhal
TK-39	901029	1840	8.3	6.5	0.24	Shikhal
TK-40	901030	1115	8.1	7.0	0.30	Akusu River
TK-41	901030	1245	8.9	7.5	0.44	Senli-River waterway
TK-42	901030	1610	10.8	8.0	3.83	Achal
TK-43	901030	1810	11.4	7.5	0.36	QumAreq, Shikhal

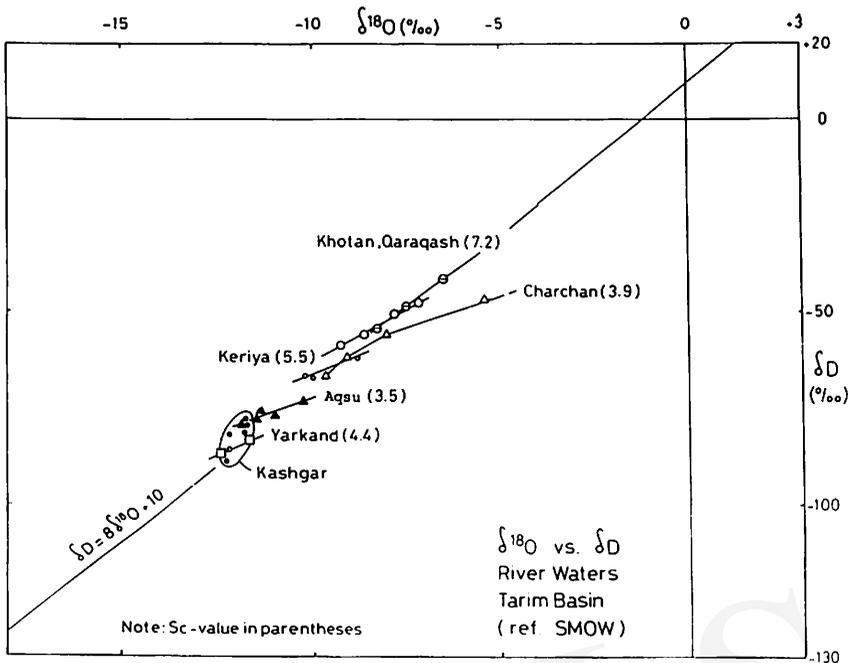


Fig. 2. $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD plots for the river water samples from the Tarim Basin.

- b. ホータン (和田) 地区
- c. アクス (阿克蘇) 地区
- d. チェルチェン (且末) 地区

これら4地区の測定結果を $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD 図にまとめると Fig. 2 のようになる。

全体の同位体比分布の上では、ホータンとチェルチェンの2地区が最も高く、アクス地区がこれに次ぎ、カシュガル地区が最も低い。一般に降水の同位体比は大陸の内陸側ほど低くなる傾向があるから、同位体比の希釈化の面でいえば、カシュガルが最も内陸的であるということになる。

ホータン地区では内陸深くに集水域をもつカラカシ河がそれに合流するヨロンカシ (玉龍喀什) 河よりも同位体比が高く、ケリヤ河はカラカシ河と同じレベルの同位体比である。またホータン地区の小水系の河川は高い同位体比をもつ傾向がある。

4地区の河川試料のうち水系内での同位体比の動きが明確な4水系について、その $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD 式における Sc を直線回帰で求めた。その結果は Table 3 にまとめた。

4水系のうち Sc が低いのは、チェルチェン河下流 (Sc=3.9) とアクス河 (Sc=4.0) である。一方、タリム河 (Sc=4.6) とケリヤ河 (Sc=5.5) は Sc が高く、チェルチェン河の上流部ではほぼ8に等しい。

Sc の値から言えば、チェルチェン河下流部とアクス河では、他の水系にくらべて地表水の蒸発が激しい環境

Table 3. The list of Sc values and δD for the rivers in Tarim Basin

River	Sc value	δD
Kashgar region		
Gez River	—	-88.3~-78.3
Hotan region		
Keriya River	5.5	-58.7~-47.5
Aqsu Region		
Aqsu River	4.0	-79.1~-72.7
Charchan region		
Charchan River		
upper reaches	8.0	-66.2~-61.4
lower reaches	3.9	-55.6~-46.4
Tarim River	4.6	-66.8~-50.3

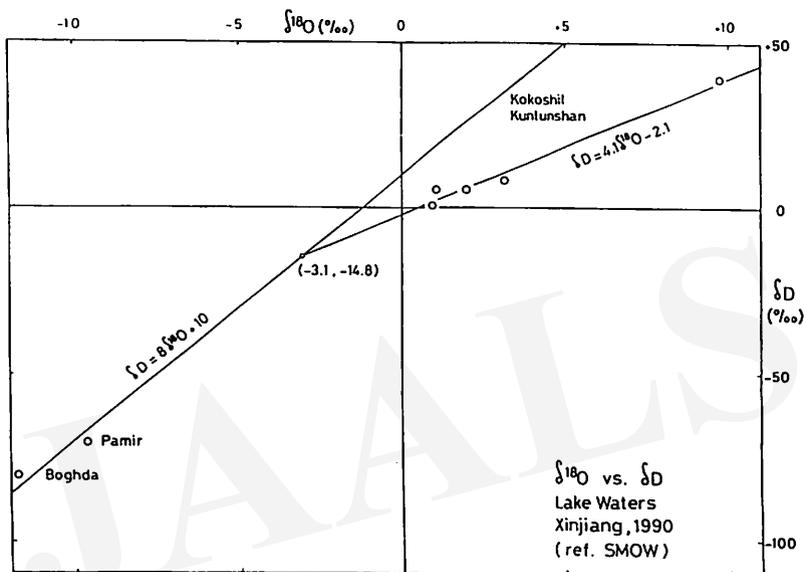
にあることが推定される。これはこの水系がおかれた環境がより乾燥的であることを意味している。

チェルチェン河の上流部はアルトゥン (阿爾金) 山脈の山間部で標高も高く、したがって気温も低い。試料の採取された時期は夏であるが、予想以上に降水の頻度が高かったと報告されている。チェルチェン河上流部の Sc が8に近いのは、こうした湿潤環境を示唆しているものと考えられる。

カシュガル地区の河川水の測定値はまだ数が少ないために環境条件について意味のあることはいえないが、測

Table 4. The variation of Oxygen and Hydrogen isotopic compositions during one week in Yurungqashi River

Sampling date and locality	$\delta^{18}\text{O}$	δD	d
17 October 1990, 玉龍喀什大橋	-10.5	-67.9	15.9
23 October 1990, Tong Ghuzlaq A junction (Buya river) The upper side from the junction	-9.7 -9.5 -9.7	-57.8 -52.3 -58.5	19.5 23.8 19.0

Fig. 3. $d^{18}\text{O}$ vs. dD plots for the lake water samples from Xinjiang.

定値の分布が比較的不規則に見えるのは、この地域の流系が本来網状であることや人工の水路が錯綜していることに関係しているものと思われる。

1990年の調査では、ヨロンカシ河の試料採取が偶然1週間にわたってしまった。測定の結果、先に採取した下流側の試料の同位体比が、後で採取した上流側の試料にくらべてかなり高い値をしめしていることがわかった (Table 4)。同位体比の変化は δD で10近くあるばかりでなく、 d の増加も16から20と著しいことがわかるが、この2試料の採取時期のずれの間にヨロンカシ河の水源地に著しい変化が起こったと推定される。一般に河川水の同位体比は年間を通じて動きが少ない場合が多いが、タクラマカン砂漠の周辺では、大きな変動を示す河川があるのかも知れない。河川の水試料の採取に当たっては今後この点に留意する必要がある。

〈湖沼水〉

湖沼水の採取はタクラマカン砂漠周辺の高地からのも

のである。試料数はまだ十分ではないが、カシュガル地区のパミール高原から1件、ウルムチ東部のボゴダ山系から1件、さらにアルトゥン山脈を越えたチベット高原地帯にあるココシル (可可西里) 山脈地域から7件の試料を得ることができた。

測定値の $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD 図を見ると湖沼水の同位体比は地域毎に大きな差があることがわかる (Fig. 3)。

ココシル山脈の湖沼水の同位体比分布は明らかに地域的气候特性を示しており、その分布の直線回帰は次の式となった。

$$\delta D = 4.1 \times \delta^{18}\text{O} - 2.1$$

この地域の湖沼の水源地がチェルチェン河の夏の河水を涵養している降水と同一であるとして、チェルチェン河の上流部の夏の河水の同位体比分布線と組み合わせると、その水源地の同位体比を求めると、

$$\delta^{18}\text{O} = -3.1, \delta D = -14.8 (\text{‰})$$

という値となった。但しチェルチェン河上流部の夏の降

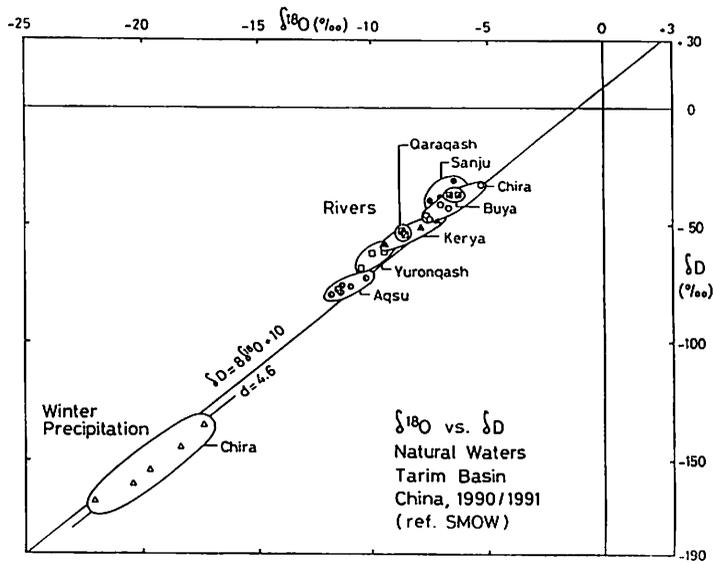


Fig. 4. $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD plots for the natural water samples from the Tarim Basin.

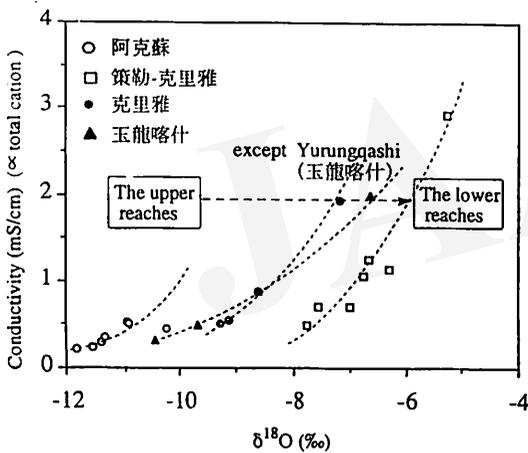


Fig. 5. Plot of conductivity against $\delta^{18}\text{O}$ for the surface water samples from the Tarim Basin.

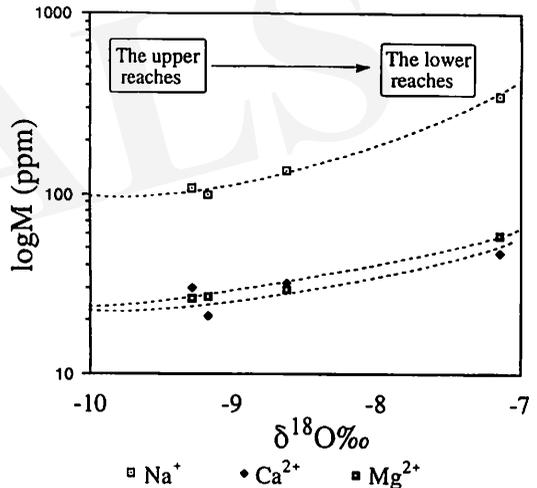


Fig. 6. Plot of cation abundances against $\delta^{18}\text{O}$ for Keriya river samples.

水の同位体比分布線はチュルチン河の河水の同位体比の分布線と同一として、次の式を用いた。

$$\delta D = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$$

ここで求めたココシル山脈地域の湖沼の水源の推定同位体比は、タクラマカン西部の河川水の同位体比に比べるとかなり高く地域的特殊性を示すものと考えられる。

〈降水〉

1990年の現地調査の際にホータン地区とアクス地区で降水の採取依頼をした。このうちホータン地区の冬の降水の試料8件が集まった。

タクラマカン砂漠周辺では、この地域の西部に広がる

高山地帯では主な降水の季節が冬であるため、同様に冬が重要な降水時期である可能性が考えられた。そのため冬の降水の同位体比が他の天然水の同位体比に比べてどの様なレベルで現われるのかを確認する必要があった。測定結果をみると、ホータン地区の冬の降水の同位体比はタクラマカン砂漠各地の河川水のものとは大きく異なるレベルに現われることがわかった (Fig. 4)。採取した降水試料の同位体比は地表水より、 δD で 50‰ も低く、同位体比分布の直線回帰で得られた d も 4.6 という小さい値であった。この結果から、タクラマカン砂漠地域における冬の降水のこの地域の地表水に対する寄与は大き

くないことがわかる。また WUSHIKI (1981), によると、チベット高原を中心としたアジア中央高地の縁辺部では、氷河の水の d 値が、それを涵養している降水の起源によって、いくつかのゾーンに分かれていることが報告されている。ヒマラヤから時計まわりに、カラコラム、ヒンズークシ、パミール、天山とたどって行くと、各氷河地帯の d 値は、氷河を涵養する降水の水蒸気の流入経路や季節にしたがっていくが、アフガニスタンのヒンズークシからパミールにかけての冬の降水域の氷河地帯で最も小さな値 ($d=7\sim 13$) を取るのが注目される。 d 値が低下する傾向と、冬の降水が優勢であるという特徴は、ホータンの冬の降水の同位体特性に一致している。

一方、杉本 (1988) によれば、ホータン地区の河川の源頭である西崑崙山脈では、夏の降水の同位体比が δD で -50% 高い値を取ることが報告されている。これらの事実から、ホータン地区の河川の涵養は主として夏の山間部における降水によるものと推定される。

2) 河川水の化学組成の解析

主として調査対象としたのは、ヨロンカシ河、アクス河、ケリヤ (克里雅) 河である。

〈全体の概要〉

各河川の全体的傾向としては、日本の河川と比べて溶存物質が多く、特に Na^+ , Cl^- の割合が多く、相対的に Mg^{2+} , Ca^{2+} の方が少ないことが挙げられる。これは一つには、元素の移動能を反映しているものと考えられる。即ち、この地域では蒸発が著しく、アルカリ土類金属元素 (Ca, Mg etc.) は硫酸イオンとの溶解度積が著しく小さいため塩として沈殿しやすいのに対して、アルカリ金属元素 (Na, K etc.) は相対的に溶解度が大きく、遠距離まで運ばれ易いためであると考えられる。また Fig. 5 にその一例が示されるように、上流から下流に向けての同位体濃縮に伴う溶存成分の濃度上昇 (しかもそれは

リニアでない) が観察される。これは上流から下流へ向けての蒸発の効果がまず考えられる。また、濃度上昇がリニアでないことについては、下流側に行くほど顕著になると推測される。表層堆積物との相互作用の影響が加味された結果と考えられる。しかし詳細に見ると、各流域は互いに異なった化学的特徴を有することがわかる。

〈各流域の化学的特徴〉

ケリヤ河に於いては、前節に述べたように下流側に向けての元素濃縮と同位体濃縮の傾向が、きれいに観測される。これはこの水系が、他の河川と比較してやや単純で、あまり複雑な合流、分流がないためであると考えられる (Fig. 6)。

一方、アクス河では上記の一般的傾向が観察されるが、各元素ごとの下流域へ向けての濃縮の度合いが異なる (Fig. 7)。特に Na^+ の変化が非常に大きく、陰イオンの Cl^- もそれに追随している。これは一つには、ケリヤ下流域で合流する台蘭河が、塩類を堆積した地域を通過して来ているため、大量の Na^+ や Cl^- を溶かしこんでいることが挙げられる。あるいは、アクス周辺はかなり大規模なオアシス地域で、人間活動が盛んであるため、その人間活動の影響を受けている可能性もある。

ヨロンカシ河においてはこれまで述べたのと異なる元素濃度分布が認められ、上流から下流へ向けての濃度変化が (同位体変動も) 不規則である (Fig. 8)。これは、前項で同位体について述べたと同様な試料採取時期のずれによる集水域の変動によるものと思われる。即ち、下流側で試料を採取した時期は、まだ崑崙山脈のかなり奥域の広い地域を集水域としていたのに対し、後で (約1週間後) 上流側の試料を採取した際は山間部は冬季にはいりかけており、水源に著しい変化をきたした、つまりより平野部に近い場所に水源が移動したものと推測される。和田周辺の地質図によると、ヨロンカシ河の流域の

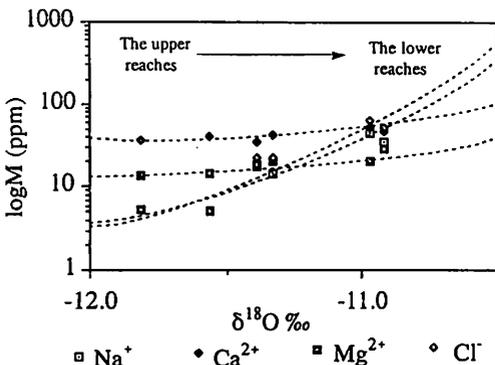


Fig. 7. Plot of cation and Cl^- abundances against $d^{18}\text{O}$ for Aqsu river samples.

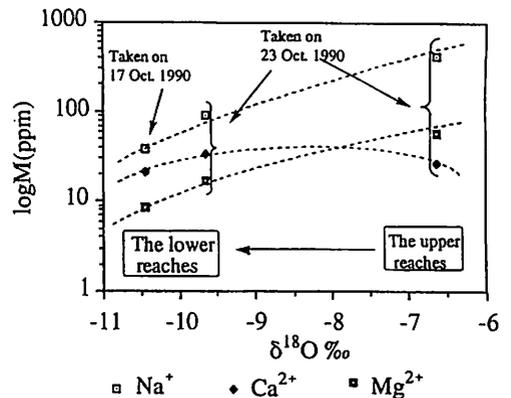


Fig. 8. Plot of cation abundances against $d^{18}\text{O}$ for Yurungqashi river samples.

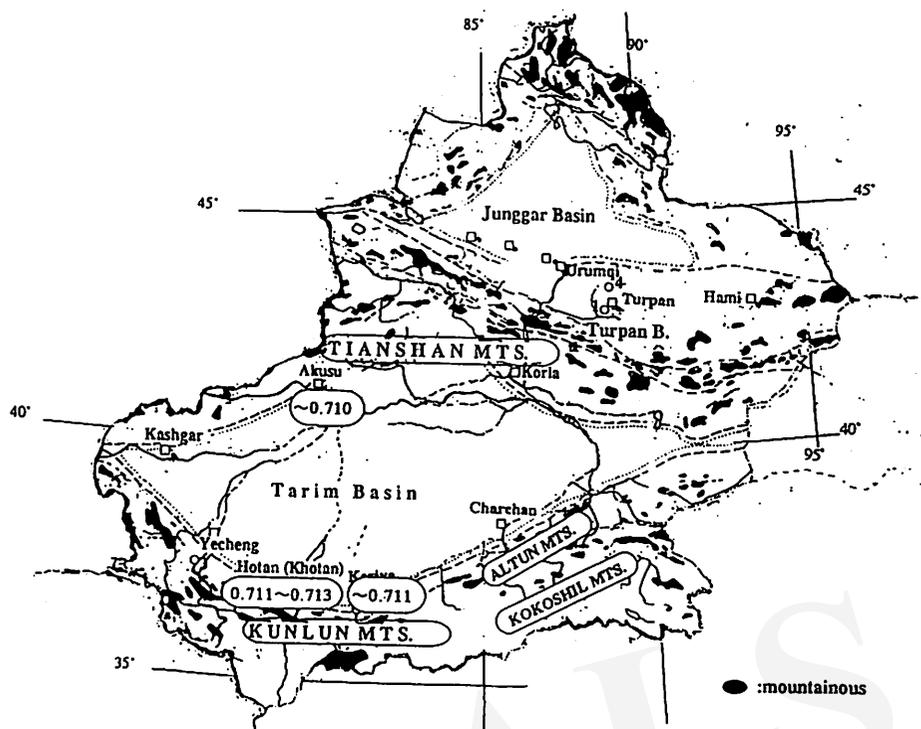


Fig. 9. The distribution of Sr isotopic composition in river water samples in the Tarim Basin.

一部にかなり広い石灰岩帯があり、水源の変動によりこの地域の物質（石灰岩）との相互作用の影響が相対的に強くなった結果、特に Ca^{2+} の濃度に変動をきたしたと考えることができる。このように、化学組成と、前述の同位体組成の結果は非常に調和的であるといえる。また、このヨロンカン河は、やはり上流域の地質、地球化学的環境を反映して季節により水質を変動させている可能性が強い。

〈河川水の溶存 Sr 同位体組成〉

各河川の流域の地質、地球化学的環境の影響は、Fig. 9 に示される各河川水の溶存 Sr 同位体組成にも顕著に現われている。一般に惑星物質の Sr 同位体組成 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) はその物質の形成年代、化学組成（特に ^{87}Sr の親核種となる Rb の相対存在度）、起源物質（地殻物質を起源とするか、あるいはマントル深部よりの物質を起源とするかなど）により変動する。したがって、どのような物質と相互作用したかに応じて河川水中の溶存 Sr 同位体組成が変動する。源流域にかなり古い花崗岩、変成岩帯を有するヨロンカン河の溶存 Sr 同位体組成はかなり高く、反対に相対的に若い時代の堆積層あるいは火山岩を有する地域より流れてくるアクス河のそれは低い。このように、各河川中の溶存 Sr 同位体組成がそれぞれの集水域の地球化学的環境を反映するという事実は予想さ

れたこととは言え、水、あるいは、堆積する塩、土壌の起源を追及するうえで有用な手法となることが期待される。

4. ま と め

過去 2 年間の調査から、タクラマカン砂漠地域における天然水の同位体比は、河川水、湖沼水、降水ともに、かなりよく自然環境に呼応した振舞いを行なっていることがわかった。

それらの変動の幅は、時間的にも空間的にも十分大きなものであることが認められ、今後の環境変動の追跡に有効であることがわかった。

この地域は確かに内陸度の高い大陸的な環境下にあるけれども、チベット高原という地球規模で大気現象を支配している地域に隣接している。タクラマカン砂漠地域の水文環境に、このような地球規模の現象がどの様に現われているかを、水循環の視点から明らかにすることが今後の課題として考えられる。

天然水の同位体比は水循環における水のそれぞれのステージを示すものであるから、タクラマカン砂漠地域の同位体水文学を進めていくことによって地域的な環境に対する理解を深めていくだけでなく、地球的な環境に対

する理解も得られるものと思われる。

また、地表水の溶存化学成分および溶存成分の同位体比は、各河川の集水域や流域の地球化学的環境を顕著に反映していることが判明した。すなわち、地表水の溶存成分の解析により、その地域の環境の理解だけでなく、前記の酸素、水素の同位体組成と組み合わせることにより、さらに詳しく対象域の水文環境を把握し、あわせて様々な物質（水、土壌、塩）の循環に関する情報をあたえうるものと考えられる。

謝 辞

本研究は、平成2年度および3年度科学技術庁振興調整費「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」の一環として行なわれたものである。また同位体の分析に当たっては、岡山大学附属地球内部研究センターの目下部 実氏と三菱マテリアル中央研究所の上田 晃氏の協力を得ることができた。ここに感謝する次第である。

引用文献

- 中国科学院蘭州冰川凍土研究所(1988):『中国冰川概論』中国地理学専著書, 科学出版社, 北京.
- 林 端芬・衛 克勤・王 志祥・周 秀雲・李 宋健・汪 文先(1987): 新疆羅布泊地区天然水的同位素組成研究. 羅布泊科学考察与研究, 科学出版社, 北京, 211-217.
- 杉本敦子(1988): チベット高原, 西コンロン地域における水蒸気と降水の安定同位体組成の研究. 岡山大学附属地球内部研究センター共同利用研究成果報告.
- CRAIG, H. (1961): Isotopic variation in meteoric waters. *Science*, **133**: 1702-1703.
- DANSGAARD, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, **16**: 436-468.
- FUSHIMI, H., KAMIYAMA, K., AOKI, Y., ZHENG, B., JIAO, K. and LI, Sh. (1989): Preliminary study on water quality of lakes and river son the Xizang (Tibet) Plateau. *Bull. Glacier Res.*, **7**: 129-137.
- IAEA (1981): *Stable isotope hydrology: Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle*. Tech. Rep. Ser., No. 210, IAEA, Vienna.
- WUSHIKI, H. (1981): Some characteristics of stable isotope content in the Himalayan waters. Geological and ecological studies of Qinghai-Xizang plateau, II. *Proc. Symp. on Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (Beijing, China)*: 1671-1676.

Isotopic and Chemical Characteristics of the Water Samples from the Taklimakan Desert

Kazuya TAKAHASHI*, Jing ZHANG**, Zi Wei HUANG***, Jiang Min XIONG***,
Haruta MURAYAMA****, Chun Yu HAN*****, Akimasa MASUDA*****
and Hisao WUSHIKI*

The studies of isotopes in ground water, underground water and meteoric water using $^2\text{H}(D)$ and ^{18}O should provide us significant insight into the origin and the circulation of water in the arid area. The main purpose of this study is to research the hydrologic environment in the Xinjiang province, especially Tarim Basin area. During the two field work seasons; in 1990 and 1991, water samples were collected for the isotope analyses and chemical analyses. Three occurrence forms of water were categorized; river water, lake water and precipitational water. Analytical results were discussed accordingly. a) River water: Regional distribution range of the isotopic ratios was found at the highest level in Khotan and Charchan regions, spanning $-66.8\sim-46.7\%$ in δD . Aksu region fell on the second and Kashgar region on the lowest level, $-79.1\sim-72.7\%$ and $-88.7\sim-78.3\%$, respectively. $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD diagram indicated higher desiccation condition along Charchan River and Akusu River than the other river courses concerned in this report. b) Lake water: Lake water samples were collected in the peripheral high altitude areas of the Tarim Basin. They depicted large

* Laboratory, The Institute of Physical and Chemical Research. Hirosawa 2-1, Wako-shi, Saitama, 351-01 Japan.

** Department of Chemistry, Faculty of Science, The University of Tokyo. Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan.

*** Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Academia Sinica. Urumuqi, China.

**** Department of Chemistry, Faculty of Education, Yokohama National University. Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa, 240 Japan.

***** China Association for Scientific Expeditions. Beijing, China.

***** University of Electro-Communications. Chofu, 182 Japan.

(Received July 13, 1992; Accepted October 16, 1993)

diversity of isotopic ratio characterising the localities. In the Kokoshil Mountain region, the head of Charchan River, the isotopic ratios of the original precipitation on the lake was estimated to be -3.1‰ for $\delta^{18}\text{O}$ and -14.8‰ for δD . c) Rain water: In the winter seasons of 1990 and 1991, 8 samples were collected at Chira in Khotan region. Winter precipitations appeared at the greatly different isotopic level from the local river waters. They indicated a strong affiliation to the western atmospheric circulation which provides most of the annual precipitation in winter in the western neighbour regions of the Basin. On the contrary, the major source of the river water was suggested to be the summer precipitations up on the mountain area.

On the other hand, we also performed a geochemical isotopical (Sr isotopes) studies for river water samples from the Taklimakan Desert to understand the resources and transportaion of water around the Tarim Basin. The water samples studied here were collected chiefly from three rivers, those are Keriya, Yurungqashi and Aqsu Rivers. Generally speaking, the rivers in the Taklimakan Desert area are richer in soluble ions, especially in Na^+ and Cl^- than the rivers in Japan, while the abundances of Mg^{2+} and Ca^{2+} are lower than those of K^+ and Na^+ . Moreover, alkaline earths (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+}), alkalis (K^+ , Na^+) and the anios (Cl^- , SR_4^-) show wide variety in concentration for these rivers, and their concentrations in an individual river increase as it flows from the upper to the lower reaches. The differences of chemical compositions among these rivers should reflect the geochemical environments, (compositions of soil and rocks along the water ways), around each river. The strontium isotopic compostions of the river water samples also distribute in wide range in the southern and northern parts of the Tarim Basin. Generally, the river water in the southern regions of the Tarim Basin show higher $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ than those in the northern areas. These results seem to come from the different geological settings between southern (Kulun Mt. Range) and northern terrains (Tianshan Mt. Range), lying around the upper reaches of those rivers. These observations suggest that the chemical characteristics of water samples will give us important information concerning not only the transportation of water in desert area, but also surrounding surfical material and the geochemical (and ecological) environments of the watershed.

Key words: Isotope, Hydrology, Water movement, Geochemistry

商品経済化にともなうソマリのラクダ遊牧と紛争

池谷 和信*

1. はじめに

東アフリカの牧畜社会の特徴として、①食生活を畜産物に依存する割合がきわめて高いこと、②家畜は市場で売却されるよりも、社会的交換財としてみなされていること、③家畜には供犠獣や情緒的自己同一化の対象物として文化的価値の付与がなされていることが挙げられている(佐藤, 1984)。しかし、近年のケニア国内では商品経済の急速な浸透にともない、牧畜社会の人々も農産物を主体とした食生活に変化した事例も多く、またウシ、ヤギ・ヒツジが周辺地域からナイロビの家畜市場に運搬されるようになったため、辺境の牧畜地域も、もはや国民経済の一部として組み込まれているのが現状である(池谷, 1993b)。

一方、東アフリカの牧畜社会の研究では、とりわけ他民族社会との紛争の事例が報告されてきた(EVANS-PRITCHARD, 1940; TORNAY, 1979; 福井, 1984; 松田, 1991)。しかし、どのような世帯がいかなるプロセスをへて紛争を起こすのか、さらにはその要因は何かに関しては、詳しい分析はなされていない。

本研究では、ケニア北東部に住むソマリとオルマとの間に紛争が生まれた過程を動態的にとらえ、その要因を分析することを目的とする。その際に、ガリッサ(Garissa)におけるラクダの乳の需要が増大し、ナイロビ市場に向けてウシ、ヤギ・ヒツジが搬出されるという商品経済化にともなう牧畜経済の変化が、民族間の紛争の要因につながっているのではないかという視点を導入する。

ソマリ(Somali)は、「アフリカの角」と呼ばれる東アフリカのソマリア、ジブチ、エチオピア東部、ケニア北東部などの半乾燥地帯に住み、東クシ系のソマリ語を使用する。近年、ソマリア国内は内戦によって無政府状態となり、ケニア国内にてシフター(武装した盗賊団)やレフュジーになる人が数多く生まれている。

ソマリの人口総数は約数百万人を示し、その大部分はイスラーム教徒である。彼らはラクダやウシを中心に飼養する牧畜を営むほかに、家畜の売買あるいは家畜や物資の運搬業に従事する人も多い。また東クシ系の人々のあいだでは、家畜の法的所有権は家長にあり、厳格な長子相続制度やクラン体系が守られているが(佐藤,

1984)、ソマリは例外で、分節リネージ体系が発達している。

ソマリ社会は、北部ソマリアをフィールドにしたI.M. LEWIS(1961)の社会人類学的研究によって、分節リネージ体系を持つ父系出自集団を基礎として組織化された社会を持ち、年齢体系がみられない社会構造でよく知られている。その後の研究としては、ソマリア国内でのラクダ牧畜が商品経済に組み込まれていく1950年代を中心にとらえた社会経済史的研究(SWIFT, 1979)、ラクダの管理方法の研究(HUSSEIN, 1990)、あるいは現在のラクダ生産を中心とする牧畜経済と流通の研究(SAMANTAR and MOHAMUD, 1988; HERREN, 1990; SAMANTAR, 1991; ELMI, 1991)などで指摘されるような国の基幹産業である牧畜を対象にした経済学者の一連の報告がみられる。

一方、ケニアの北東州におけるソマリを対象としたものは、N. H. MERRYMAN(1984)が旱魃の影響を受けてガリッサタウンに移住したソマリの女性の行商や世帯内の労働分業を取り上げ、J. L. MERRYMAN(1987)が内戦や干魃による経済的影響などを扱う研究を行なっている。また、DALLEO(1975)は、1892年から1948年までのソマリの交易を中心とする経済的変遷を報告している。しかし、以上の成果からは、この地域のソマリの移動形態や家畜管理の方法などについてはまだ充分に知ることはできない。

筆者は、ケニア共和国北東州ガリッサ地区に調査地を設けて(図1)、1991年5月、10月、1992年1月、2月、3月と通算5回、のべ1カ月にわたりソマリ族のリネージの一つであるアブダラー(Abdalla)のキャンプに住み込み、人と家畜との関係の観察と聞き取りを行なった。また、乾燥地域に広くみられる旱魃によって、隣接民族であるオルマに帰属すると認知されているテリトリーにソマリが家畜群を移動させざるを得なくなり、その結果、民族間の紛争が起きている状況を事件の直後に聞きとることができた。本稿では、まず移動牧畜の実態を記載した後に、それによってもたらされる民族間の紛争状況を把握する。

2. 調査地の概観

ソマリが飼養しているヒトコブラクダ(dromedary

* 北海道大学文学部北方文化研究施設

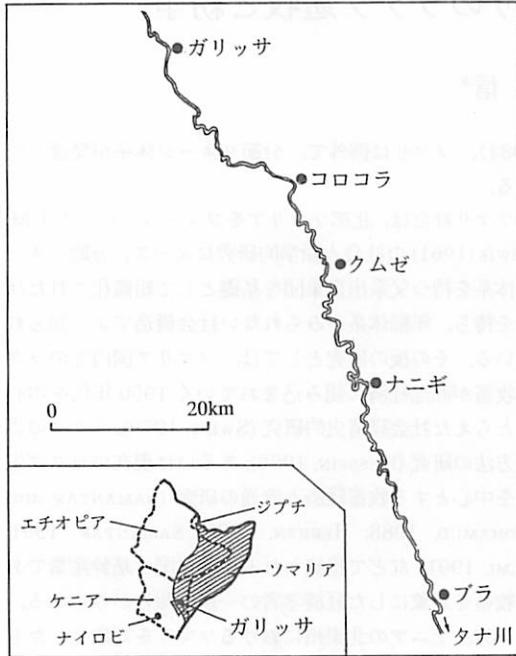


図1. 調査地の位置。
斜線はソマリの分布域を示す。

camel) は、アフガニスタンやアラビア半島の諸国から北アフリカや西アフリカのサヘル・サハラ地方、東アフリカの乾燥・半乾燥地域に主として分布する (HJORT and DAHL, 1984)。本稿の調査は、その分布の南端に当たるケニア国内の北東部で実施している (図1)。ソマリは、アラブのベドウィンやサハラのトゥアレグなどとは異なり、他のクシ系の牧畜民ベジャやレンディーレなどとは同様に、乗用としてはラクダを利用しない。ラクダはむしろ駄用と乳用を中心として、時には食肉用として利用される。

1) 地理的背景

ケニアの北東州は平坦地がつづき、高さ数メートルから2メートルの灌木に広く覆われている。州の西端のタナ川沿いのみには、幅4~5 kmにわたって樹高10~15 mの河辺林が発達しており、そこにはキリン、シマウマ、ダチョウなどの野生動物が生息している。キリンとラクダがアカシアの葉を食用にして共存する地域としては、世界的にも珍しい所である。

乾燥地域の降雨は、年変動が大きい点が特性として挙げられる。1983年から1987年までのガリッサタウンでの年降水量は、117.1 mm, 618.3 mm, 151.0 mm, 226.9 mm, 177.7 mm と、年による変動が大きい (REPUBLIC OF KENYA, 1988, p. 1)。そして1991年の年降水

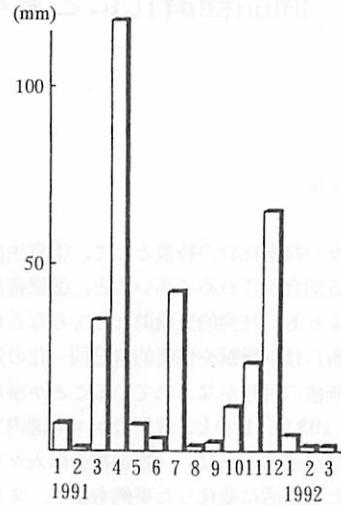


図2. ガリッサにおける月別降水量。
(ケニア気象庁の観測データより)

量は、311.4mmを示す。また各月別の降水量 (図2) では、4月が最大で12月が次につづき、1991年では3月、7月も多い。1991年の最高気温は2月に39.3°C、最低気温は6月に20.3°Cとなっている

2) 歴史と分布形態

北東州の住民の大部分を占めるソマリは、エチオピア東部のオガデン地域からソマリア南部を通過してケニア北東部に移住してきた人々である (MERRYMAN, J. L., 1987)。彼らは1900年前後にメネリク二世によるエチオピア帝国の成立の際に、オガデン地域において家畜を奪われたり戦争捕虜になったりして大きな打撃を受けている。北東州内には、デゴディア (Degodia)、アウリハン (Aulihan)、アブドワク (Abdwak)、アブダラー (Abdalah) などのソマリの各リネージがおおよそ住み分けによって分布し、さらに、宗教心の強いといわれるアシュラフ (Ashraf) が各リネージの中に点在する。

北東州のソマリは、北から南にかけて、ガレー (Gurreh)、ボラン (Boran)、オルマ (Orma) などの、同じクシ系のウシを中心に飼養する牧畜民の居住域に接して分布している。

北東州ガリッサ地区の西側と海岸州タナリバー地区との境界を流れるタナ川沿いには (図1)、従来ガリッサタウンやブラ (Bura) 村の他には商品用のバナナを生産するバンツー系のポコモ (Pokomo) の農村を例外として、定住集落は存在しなかった。1980年頃になるとケニア政府による定住化政策が浸透して、小学校や診療所が10年前にコロコラ (Korokora) 村とナニギ (Nanigi) 村、

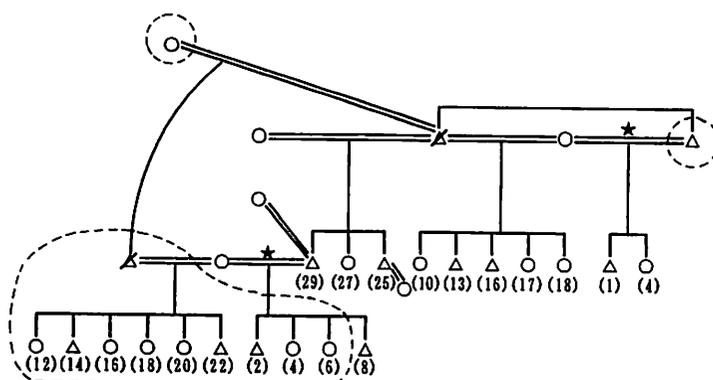


図3. Aden Hiloué キャンプを構成する人々の家系図。

() 内は調査時における年齢を示す。★は前夫の死後の婚姻を示す。破線内は他のキャンプに別住する。

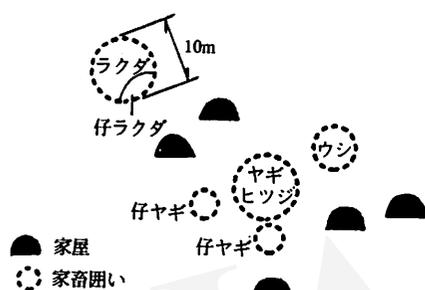


図4. Aden Hiloué キャンプ、図5中D地点でのキャンプの模式図。

3年前にクムゼ (Kamuthe) 村の3村落に建設された。現在これらの村は、遊動生活をしていたソマリの一部が道路の両側に家を建設して定住した結果、集村の景観を呈するようになった。その一方でタナ川の右岸にあたる土地は、ソマリの地域認識では、オルマのテリトリーとなっている。

1979年のセンサスによると、北東州ガリッサ地区には12万8千人の人々が4万4千km²のエリアに生活しており、人口密度は約3人/km²である (REPUBLIC OF KENYA, 1990)。その後1988年の人口総数は約22万人、人口密度約5人/km²となるなど、およそ10年の間に大幅に増加している (REPUBLIC OF KENYA, 1988)。このうち牧畜民は約8万人を占め、全就業者の81%が移動牧畜に従事している。

ガリッサ地区内での地域的差異をみると、南部はアブダラーのウシ飼養、北部はアウリハンのラクダ飼養、タウンの近郊の中央部ではアブドゥワクのウシとラクダの混合飼養が卓越するといわれている (MERRYMAN, N. H., 1984; MERRYMAN, J. L., 1987)。しかし筆者が主なる対象にしたアブダラーは、当地域の中央部にラクダの飼養が

中心で生活する。これは、MERRYMAN 夫妻によって指摘された中央部の地域特性に適合しないので、近年の諸変化によって分布状況に変化が生じたのか否かの検討が必要とされる。

3. ソマリの遊牧生活

1) 家族構成とキャンプの空間構成

ソマリが遊動するときの単位となるキャンプ集団は、一夫多妻の夫婦とその子供たちから成り立っている (図3)。子供の年齢をみると2歳違いの子供の数が多く、1年おきに子供を出産する彼らの伝統的な家族計画が反映しているように思われる。また、放牧労働のために雇われる男性が外部からキャンプに移り住むことがあり、兄の死後に、弟が兄の妻と結婚する事例がしばしばみられる。

図4は、1992年1月に図5中のD地点にすべての構成員と家畜がかれ川の近くに集まった時の、キャンプの空間構成を示す。タナ川沿いに自生するヤシの葉と草でおおわれているドーム型の5軒の家屋の他に、木の柵でできたラクダ、ウシ、ヤギ・ヒツジの家畜囲いが一カ所ずつみられる。ラクダの場合は、ラクダ囲いの中に仔ラクダが入れられる一画があり、ヤギの場合は、所有別に二つに分けられた仔ヤギの囲いが、ヤギ・ヒツジの成獣の混群の囲いとは別に設けられている。

ソマリの居住様式は、家族が住みヤギ・ヒツジが管理される集落と、ラクダ放牧の為のキャンプ、という二分した居住形態が従来指摘されてきた (佐藤, 1984)。しかし、家畜キャンプの中にはウシのキャンプをつけ加える必要があり、ヤギ・ヒツジの混群やラクダ群が、キャンプと集落とに分散して置かれることもある。

表1. 各キャンプの家畜頭数.

リネージ名	キャンプ名	アブダラー			アブドゥワク
		Dubou	Aden Hiloue	Aden Ali	Lathan
家畜の種類	ラクダ	42 (2)	約 60 (4)	40 (4)	約 30 (?)
	ウシ	2	20	0	約 200
	ヤギ・ヒツジ	約 350	約 250	約 250	約 300
	ロバ	0	0	1	?

() は、駄用ラクダの頭数を示す.

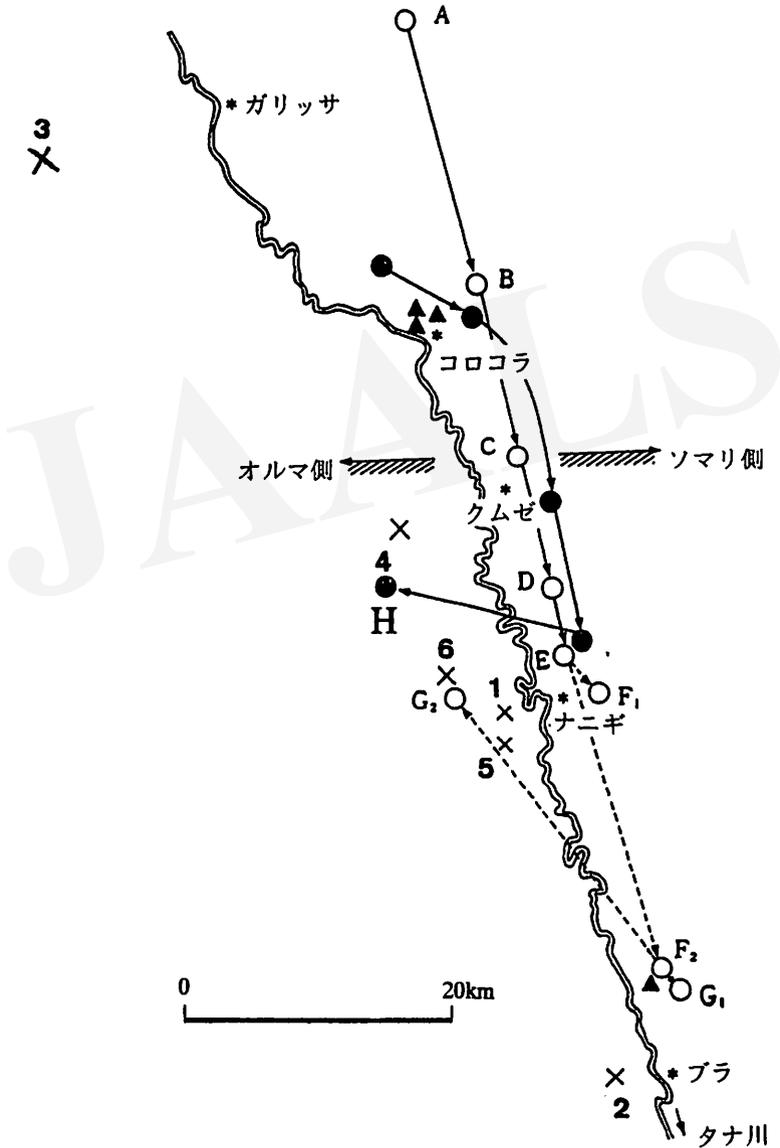


図5. 遊牧ソマリの移動パターンと紛争の発生地点 (1991年5月~1992年3月).
 ○: Aden Hiloue キャンプ, ●: Aden Ali キャンプ, ▲: Dubou キャンプ, *: 町や村落,
 ×: 紛争事件の発生地点. 1~6 は本文中の①~⑥の事例に対応する.

2) 家畜群の構成と混合牧畜の管理技術

N. H. MERRYMAN (1984) は、ガリッサ地区の中心部において、アブドゥワクが9割、アウリハンが1割からなる57世帯の牧民のサンプル調査から、駄用ラクダを除くラクダを持たない世帯が20例あると報告している。筆者が家畜群の構成を調べた牧民の4世帯は、アブダラーが3でアブドゥワクが1からなり、すべての世帯が駄用・泌乳ラクダを所有していた。

家畜の構成は、一世帯当たりラクダ30~60頭、ウシ0~200頭、ヤギ・ヒツジ250~350頭、ロバ0~1頭を示す(表1)。DubouやAden Hiloueはラクダ、ヤギ・ヒツジを古くから飼養していたが、近年ウシを導入したのに対して、Lathanは伝統的に、ウシを中心に飼養してきた。この二つの違いは、ガリッサ地区の場合では前者がラクダ飼養が中心的なアブダラーに、後者がウシ飼養が中心的なアブドゥワクにはほぼ対応しているように、リネージュの違いが反映している。

北東州のソマリのラクダは、背中の高さが約2mを超

え、レンディーレやガブラのラクダ、また北部ソマリアやジブチのもの比べて大型である。また、ラクダの性成熟は3歳であるが、一般には4歳になって繁殖供用を開始し、繁殖寿命は20歳以上にも及び、ヒトコブラクダでは妊娠期間は11カ月を費やす(畜産大事典編集委員会, 1978, p. 1338)。

ラクダ群の性および年齢別構成をみると(図6)、オスラクダは駄用に使われる10歳、11歳と種オスの11歳に数例みられ、6~9歳のオスはまったく存在せず、5歳以下のオスでは3歳が多いのがわかる。メスラクダは2歳以上11歳迄のすべての年齢にみられるが、7歳のものが7頭と多い。また、1991年10月に1頭当たり約500 Ksh (1991年現在、1 Kshは約4.5円に相当)する7頭のヤギを販売することで、1頭当たり3,500~4,000 Kshの4歳のメスラクダを購入している。これは、4歳のメスラクダが1頭しかいないために、彼が将来のラクダ群の構成を考えて繁殖用のメスラクダを補充しているものと思われる。

表2はラクダやウシの所有者と入手方法を示す。ラクダの所有者はDubouとその家族からなり、ウシはすべてDubouの所有である。入手方法では、2頭のウシは2年前と4年前に、駄用ラクダは7~8年前にラクダが3歳のときに、ガリッサタウンの家畜市で購入されている。大部分のラクダは父からの相続や贈与によって、家族の成員に別々に所有されている。

ソマリはラクダやウシに対しては、青年や子供などの男性の牧夫をそれぞれ使い、ヤギ・ヒツジの混群に対しては女性も動員する。

同じラクダでも泌乳ラクダ(Milking Camel)、種オスラクダ、仔ラクダは男性によって管理され、駄用ラクダは女性によって管理される。

駄用ラクダは、夜中じゅう両足をロープで木にしばりつけられていて、キャンプ内におかれるが、人工溜池や

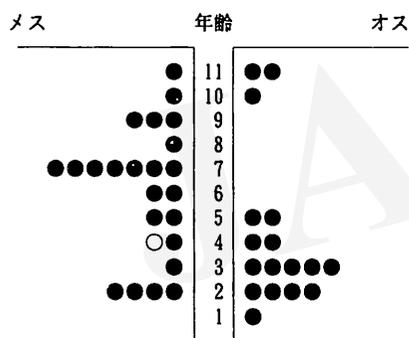


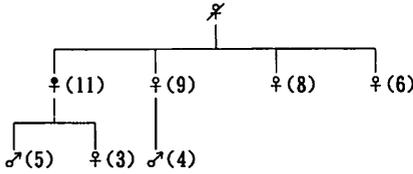
図6. Dubou キャンプのラクダ群の性・年齢別構成。

● = 1頭, ○ = 1991年10月に新規購入 (42頭のラクダの中で1頭のみ年齢不詳)

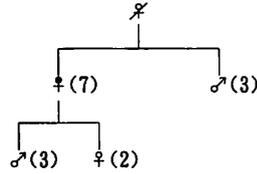
表2. Dubou キャンプのラクダ、ウシの所有者と入手方法。

家畜の呼称	所有者	入手方法	
ラクダ	Hamar	Dubou	父親から相続
	Borey	Siyad	父親から贈与
	Garafa	Farah	父親から相続
	Elai	Bilai	義父から贈与
	Afjir	Yussuf	父親から贈与
	Daarey	Hussein, Osman	?
	Gaff	Dubou	?
	Filey	Bilai	?
ウシ	Abai	Dubou	1989年に、ガリッサの市で購入
	Waras	Dubou	1987年に、ガリッサの市で購入

(1) Hamar



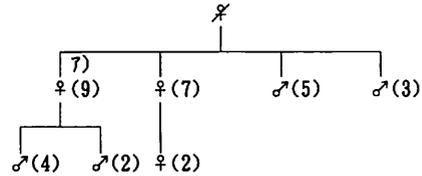
(5) Afjir



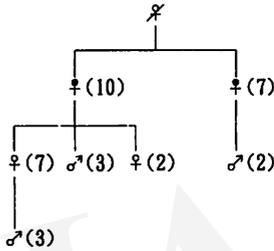
(2) Borey



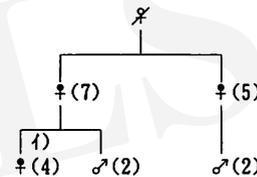
(6) Daarey



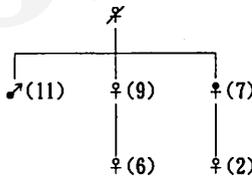
(3) Garafa



(7) Gaff



(4) Elai



(8) Filey

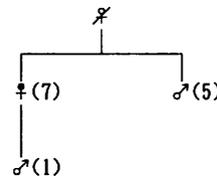


図7. Dubou キャンプのラクダの血縁関係。

() 内は調査時における年齢を示す。ラクダ群は(1)~(6), (7)~(8) からなる二つに分離される。♀: 泌乳ラクダ, ♂: 種オスラクダ (4) の中のみ, /: 死亡, ア) 2歳の仔ラクダの体が弱いので搾乳されない, イ) 死亡した仔ラクダの毛皮が搾乳の際に使われている。

タナ川などへの1~2日おきの水くみの際には、荷役用に使われる。日中はキャンプの近くで牧夫の付随なしに採食する。

ウシヤヤギ・ヒツジは、一般的には午前7時より午後6時まで放牧される一方で、ラクダの日帰り放牧は8歳から16歳にかけての若者の男性が、午前8時から午後9時まで実施する。放牧に出発する前には、四つのうち二つの乳首にロープがしばりつけられる。これによって、仔ラクダが放牧中に母ラクダの乳を飲み尽くさないようにする。放牧の途中でも、牧夫が乳を利用できるわ

けである(池谷, 1993c)。ラクダは樹高2mまでの灌木の葉を採食するので、タナ川より6~7km離れた灌木地帯が放牧地となっている。1~2頭のラクダの首に木製の鈴がつり下がっているため、離れた所からでも牧夫はラクダの存在を確認できる。同じクシ系のレンディーレはラクダに10~15日に1回の割合で給水するといわれるが(佐藤, 1984)、ガリッサのソマリはタナ川を利用する場合に、2日に1回の割合でラクダに水をやっている。

放牧が終わると、仔ラクダは親ラクダから引き離すた

めに、ラクダ囲いの一角に集められる。翌朝、6時から7時までの間に仔ラクダが1頭ずつ外へ出された後に、親ラクダの搾乳がなされる。二人の男性が同時に1個の容器を使って1頭のラクダから約500mlのミルクをしぼり、11頭のラクダからのべ約6lのミルクを集める。

3) キャンプの移動形態と集団の分裂・融合

筆者が移動形態を調査した三世帯は、約10年前に政府によって建設された学校や診療所のあるコロコラ村の周辺部を短距離移動するDubouキャンプ、ガリッサタウンからブラ村までの約80kmの範囲の中で長距離移動をするAden Hiloueキャンプ、そして約30kmほどの中距離移動をしたAden Aliキャンプとに分かれる(図5)。

移動ルートでは、キャンプの位置がタナ川より離れることはなく、ガリッサやナニギヤブラに乳を供給する集乳圏内におさまっていることが明らかになった。図5のAでは人工溜池、Bではタナ川の支流となるワジの川底を数メートルにわたって掘る井戸、C~Fではタナ川の水というように、各時期で異なる水源が利用されていたが、移動のルートは水源の位置とともにミルクの販売先となる村や町に近接している必要性にも規定されていたと考えられる。またAden Aliキャンプの事例のように、すべての人々が家畜とともにタナ川の対岸へ移動するものと、Aden Hiloueキャンプの事例のようにウシキャンプと一部の青年のみが対岸へ移動するもの、Dubouキャンプのようにタナ川の右岸へ移動しないものの三つのタイプがみられる(図5)。

短距離移動するDubouキャンプは、年長者が足を痛めているので移動がしにくいこと、コロコラ村にて女性がミルクの仲買に従事するために集落の近くにいる必要があることによって、定住村落の周辺部を移動していた。長距離移動をするAden Hiloueキャンプでは、A地点からB地点への移動は(図5)、水源としていた人工溜池の水の枯渇によっていた。DからEそしてF₁へはラクダの放牧地を求めて移動している。しかし、F₂からG₁への数十mの距離の移動要因は明らかではない。Aden Aliキャンプでは、3月初めにラクダの放牧地がなくなりタナ川の右岸へ移動している。

移動の際に、人間集団とラクダ、ウシ、ヤギ・ヒツジの三つの家畜キャンプとの組み合わせが、時に分離したりあるいは集合したりする状況が常にみられる。例えばAからBへは、数頭の泌乳ラクダと駄用ラクダ以外のすべてのラクダを独立したキャンプに移動させておいた後に、人々は合流する。その後、BからEまでは人と家畜が合流していたが、1992年1月にウシキャンプのみが

別れる。そして同年2月にEからF₁、EからF₂へとキャンプの成員を二つの集団に分け、家畜群もラクダキャンプとウシ、ヤギ・ヒツジキャンプとに分離して移動する。さらに、同年3月F₂においてウシキャンプのみが再び分裂するが(図5)、次章で述べる紛争の被害を受けそこねてG₁へひきかえす。

一方、Dubouキャンプでは、販売用のミルクをとる泌乳ラクダを村の近くの集落(コロコラ村)におく一方で、ラクダ群の放牧地となるブラ村落の近くにラクダ・ヤギキャンプをつくった。その際には、ラクダ群内の血縁関係が考慮されている(図7)。すなわち、2頭の駄用ラクダを含む10頭のラクダ(図7の家系(7)と(8))は集落で飼養され、その他の32頭のラクダ(家系(1)~(6))はラクダ・ヤギキャンプにおかれた。

8組のラクダの血縁関係をみると(図7)、各々の組の成員は、祖先に当たるメスラクダの名前で呼ばれている。またBorey, Daareyの組を除いて、各組には必ず1~3頭の泌乳ラクダを含んでいる。種オスは、Elaiの組のなかに1頭のみみられる。ソマリは、キャンプの移動の際にラクダの血縁関係を考慮して、二つの群に泌乳ラクダが含まれるようにしてラクダの群れを分裂させている。

4) 牧畜以外の生業

かつて、槍を使ってキリンが捕獲されたこともあるが、ケニア政府は野生動物の狩猟を全面的に禁止している。農業は実施されていない。牧畜以外の生業としては、近くの集落に向けてのミルクの販売がもっとも重要である。1ボトル(500ml)当たりのミルクの売り値は、集落地となるガリッサタウンでは12Ksh(1Ksh=4.5円)、集乳圏内のコロコラ村では6Ksh、クムゼ村では5Kshと、町からの距離が大きくなるにつれて減減している。そして、ガリッサまで運ばれることはないナニギ村やブラ村では、1ボトル当たり5Kshで売られている。

ソマリの女性は毎日、もっとも近くの村や町でミルクを販売する。1回で8~9ボトルのミルクが入った容器を運搬することができ、クムゼ村やナニギ村の場合、1回のミルク販売で40~45Kshの現金を獲得しているのが観察された。

各村には10人以上のミルクを購入する女性の仲買人がいて、ブッシュの中から運ばれたミルクは村内の各々の仲買人の小屋で煮沸される。その後、毎日ガリッサタウンからコロコラ、クムゼ村までやってくる車の運送人が器の大きさによって異なる運送料をとり、ガリッサまで運ぶ。

こうして得られる現金は、食生活の大部分を占めるト

ウモロコシの粉 (2 kg の袋=16 Ksh=72 円) や毎日 2~3 回は飲まれる紅茶、砂糖などの購入に当てられる。トウモロコシの粉は、煮込んだ後にラクダやヤギの乳と混ぜて食べられる。ウシやヤギ・ヒツジの販売は頻繁には実施されていないが、町や村に住むソマリの家畜仲介人を通してナイロビ市場に向けられていることが多い。ガリッサタウンにおいて、ウシ市は毎週水曜日に行なわれる。

要するに彼らの経済生活は、毎日のミルク販売で支えられているといえる。

4. 民族間の紛争の状況とその要因

1) 紛争の状況

ソマリとオルマとの相互の間にみられる紛争は、開始時期を明らかにできないが、ソマリ側のオルマ側への一方的な侵犯によって生じているため、すべての事件はオルマサイドで発生している (図 5)。紛争の事例を、以下に時系列にそって簡単に略述する。

①1991 年 6 月にナニギ村の対岸において、オルマが 3 人のソマリの少年を殺害した。ウシ放牧のためにソマリがタナ川を越えてきたことが、その理由になっている。

②1991 年 9 月にブラ村落の対岸において、ソマリが 300 頭のオルマのウシを連れだし、6 人のオルマを殺した。

③1992 年 1 月 16 日にバンガリ (Bangali) において、一人のソマリがオルマに槍で殺される。その後 1 月 21 日には、海岸州タナリバー地区バンガリに移住していた多くのソマリが、北西州ガリッサ地区にもどる。

④1992 年 1 月下旬に Aden Ali の子供 Abudi がタナ川を越えてラクダキャンプ (図 5, H 地点) を訪れようとした途中、木の下にすわっているナイフを持ったおよそ 30 人のオルマに会った。彼は 7 km にわたってオルマに追われたが、逃げおおせた。

⑤1992 年 3 月中旬、ナニギ村の対岸において、150 頭のソマリのウシをオルマが盗んでいった。しかしその後を追って行ったソマリが、オルマからウシを取り返した。

⑥1992 年 3 月 23 日午後 6 時半頃、ナニギ村の対岸において、オルマによって一人のソマリが銃で殺され、300 頭のウシが盗まれた。そのすぐ近くにウシキャンプをつくっていた Aden Hilou は槍とナイフしか武器を持たない自分の身の危険を察し、ウシを連れて引き返した。

このキャンプからウシキャンプのみが別れたのは事件

発生から 2 週間前のことで、タナ川の対岸では長期間にわたる放牧はしていなかった。しかもウシは、ここ数年來飼養している新しい家畜であって、十分な水はあるが草の確保には困っていたのである。かれらが、ウシ放牧民のオルマが放牧している地域へ侵入するも草が枯渇する乾季の終わりであって、いたしかたないことであつたようにも思える (池谷, 1993c)。

筆者は⑥の事件の直後に、事件現場から数 km 北側ではあるがタナ川を渡り、オルマ側の Aden Ali キャンプ (図 5, H 地点) の状況をかきまみる機会があった。対岸のソマリの女性は、毎日タナ川を渡り、ガリッサ地区のクムゼ村にミルクの販売に来ていたが、オルマ側を歩くときには、オルマの襲撃を恐れて必ず銃を肩にかついだ 3 人のソマリの男性が警備することになっていた。また、同一リーネージ内のある範囲の親族関係を持つ人々が、近接してキャンプ地を設けていた。ソマリが、オルマ側ではオルマの襲撃を恐れているのがうかがえた。またこのあたりは 1 カ月前まで、オルマの人々がウシをつれて生活していた場所であったという。しかし、この地区にいたオルマは槍しかもっておらず、銃を手にしたソマリを恐れて、他の場所へ移動していったのである。ソマリは、武力を使って放牧地を確保しているのがうかがえる。

なお 1992 年 3 月 13 日、ブラより 70 km 南のマサラニ (Masalani) の対岸において、放牧のためにオルマランドに侵入したソマリとオルマの間に紛争が生じてたぐさんのオルマが殺され、200 頭のウシが盗まれた。この際、二人のソマリも死亡した。

以上の事例から、二つの民族間での相互の紛争は、槍や銃による殺人の形をとり、多くが 200~300 頭のウシの泥棒の形をきっかけにして生じていることが理解される。しかし盗まれたウシが、放牧群に入れられているのかウシ市で売られているのかなどの処理の方法は明らかになっていない。

より詳しくみると、①の事例では、降雨の少ない 1991 年 6 月にソマリの牛群が放牧のためにタナ川を越え、オルマが自分たちのテリトリーと認識している地域に侵入したことによって、オルマによるソマリの殺人が生じたのである。この後、ソマリとオルマとの間に長期にわたる闘争がつづくことになる。

一方、②の事例では、オルマのウシをつれだしてオルマを殺したソマリは、オルマ側で放牧していたわけではない。これは①の事例とは異なり、オルマのウシを盗むことが目的となっている。

なお④~⑥の事例が示すように、1992 年 3 月には降雨が少なく、良質の放牧地を求めて多くのソマリがタナ

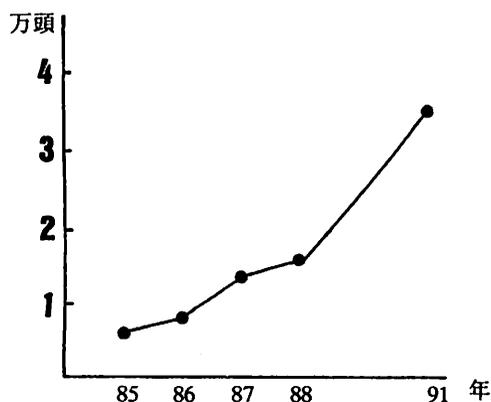


図8. ガリッサのウシ市での年間の取引頭数の変化。(1985～1988年の頭数は REPUBLIC OF KENYA (1988), 1991年のそれは DISTRICT LIVESTOCK PRODUCTION OFFICER (1991) による)

川を越えてオルマ族のテリトリーへと侵入していった。その数は、Dubou キャンプの Farah 氏からの聞きとりによると、2月下旬には50世帯以上といわれる。その結果、両者の間で家畜の奪い合いや殺し合いが生じている。ソマリの中には Aden Hiloue のように元の場所へ引き返す場合と、Aden Ali を典型例とするように、銃を使って自らの家族を防衛してまでも、その場所にとどまる場合とがみられた。

以上の事例から、どのような世帯がタナ川を越えて略奪の被害にあっているのかをまとめてみよう。第1には、Aden Hiloue キャンプのように、集落はソマリ領内に位置するが、ウシの採食地が不足して牛群と牧夫から構成されるウシキャンプのみがオルマ領内に移動した場合が挙げられる。第2には、Aden Ali キャンプのように、最初はラクダ群と牧夫のみがオルマ領内に移住していたが、その後にはその他の家畜や構成員がそこで合流する場合がある(図5)。本稿では社会的ネットワークに関する十分な分析ができなかったが、ある範囲の親族関係がきいて、何世帯かがまとまって移動している。

第3に、上記の事例にみられない Dubou キャンプはタナ川をまったく越えていない。これはウシの頭数がわずかに2頭で、ウシの放牧が行なわれていないこと、ラクダ群をコロコラ村とブラ村の近くとに分散飼育していることが関与していると考えられる。

2) 紛争の要因分析

図8は、ガリッサのウシ市における年間の取引頭数の変化を示している。取引頭数は1985年から1988年までは増加し、その後の3年間に2倍以上に急上昇してい

る。これは、主としてナイロビに運ばれていることから、ナイロビのウシ市場の拡大と大きく結びついていることがわかる(池谷, 1993b)。

こうしてソマリの中には、ナイロビ市場へ運搬されるため家畜市で高価なウシの飼養を始めているものがある。このように、ラクダ中心のソマリがウシを飼養するようになったことも、略奪の被害にあう一因となっているのであろう。Aden Hiloue キャンプで飼養される20頭のウシの入手時期は過去10年ぐらいの最近というが、具体的な年時は明らかではない。しかし、Dubou が所有する2頭のウシは、第3章-2) で述べたように、それぞれ1987年と1989年にガリッサの市で購入されている(表2)。さらに、ウシの餌となる草はソマリ側には多くはないので、Aden Ali キャンプの事例のように20頭のウシを放牧するためには、乾季の終わりの3月に降雨が少ないことも影響して、オルマ側の放牧地へ行かざるを得ないのである。その結果、オルマとの間に紛争が生ずることにもなる。

また1981年頃にコロコラ村とナニギ村、1988年頃にクムゼ村が建設された。このように、ガリッサを中心としてミルク流通のネットワークが形成されたのは1981年以降のことである。そのためキャンプやラクダ群がタナ川沿いから離れることができず、ガリッサタウンの集乳圏内に集まっていることが、(植生調査によって実証しているわけではないが)えさの枯渇の状況を生み出すことにつながっているのではないと思われる。ラクダやウシの乳が商品となっているために、定住村の付近では、常にラクダやウシが飼養されているのである。このような理由でソマリはタナ川を渡り、オルマ側の放牧地へ移動した後も、乳の販売を実施している。

以上のことから、ソマリとオルマの紛争は、事例②のように計画的に実施された略奪例もあるが、ソマリ側のオルマ側への移動がきっかけとした放牧地をめぐる競合が要因となって生じていることが多いことがわかる。つまり、ミルクの販売の増加と牛飼養の増加という商品経済の浸透にともなう牧畜経済の変化によって、彼らはラクダやウシを生存させるためにオルマ側へ侵入せざるを得ない状況におかれ、殺人までも生じ民族間の紛争をひきおこすようになったと結論づけられよう。

5. 結 論

本稿では、乾燥地域に広くみられる降雨特性の中でのソマリ遊牧の実態と、ソマリとオルマ間における紛争の状況の把握とその要因を解明することを目的とした。その結果、以下の3点が明らかになった。

(1) 本地域のソマリは、約 10 年前に建設された学校や診療所のある定住村落の周辺部を移動するソマリと、ガリッサタウンからブラ村までの約 80 km の範囲の中で移動をくり返すソマリとに二分される。移動ルートは、キャンプの位置が水源となるタナ川やミルクの販売先となる町や村から離れることは少なく、放牧地を求めて、本拠地と家畜キャンプが分離したり集合している。

家畜の構成は、1 世帯当たりラクダ 30~60 頭、ウシ 0~200 頭、ヤギ・ヒツジ 250~350 頭となっている。ソマリは青年や子供などの牧夫を使って、それぞれの家畜群を放牧することで、各家畜の食性に応じた植生が垂直的に利用されている。

牧畜以外の生業としては、近くの村落における乳の販売が挙げられる。そこで得られる現金は、食生活の大部分を占める穀物や紅茶、砂糖などの購入に当てられる。ウシやヤギ・ヒツジの販売はひんばんには実施されていないが、ソマリの家畜商人を通してナイロビ市場に向けている。

(2) ソマリのオルマ側への侵入は、20 頭のウシでキャンプをつくるとき、ラクダ飼育のみに特化するときにみられ、半定住 (semi-nomadic) のキャンプではラクダ群を分散、飼育することで、ソマリ側にとどまっている。そのプロセスはラクダキャンプのみが移動した後に家族が合流する手順か、ウシキャンプのみが移動する場合がある。この場合の移動は、殺人や家畜の盗みが目的ではない。しかし、その結果、両者の間で家畜の奪い合いや人間の殺し合いが生じている。ソマリの中には元の場所へ引き返す場合と、銃を使って防衛して居残る場合とがみられた。

(3) 降雨がないことによるラクダの餌となる灌木の葉の不足や、ラクダの乳が商品となるために町や村からラクダ群を引き離せないことによって、ソマリはオルマ側のオルマランドへ行かざるを得ないのである。また、ラクダよりウシの方が商品としての価値が高いために、ウシを飼養し始めるソマリが多い。しかし、ソマリの土地にはウシの餌となる草が不足しがちであり、オルマが利用している放牧地への侵入により、両者の間に放牧地をめぐる闘争が起きて、紛争が生じる原因となっている。つまり、近年のミルクの販売の増加とウシ飼養の増加やウシの商品化にみられる商品経済の浸透が、ソマリ側でのラクダの過放牧とウシの家畜数の増加をもたらした。民族間の紛争を生み出す原因の一つになっている。

ソマリとオルマとの間の紛争は、ウシを奪うことを目的とする計画的な略奪と、家畜の盗みが目的ではなく、全面的に家畜との共存生活をする遊牧民が放牧地を求めてオルマ側へ行かざるを得ない状況に追い込まれること

で生じているものと二分されるといわざるをえない。

なお過去 100 年余りの間にわたってソマリが自らの生活域を拡大してきたプロセスには、ウシよりも早魃に強いラクダを中心に飼養してきた彼らの論理が反映していると考えられる。早魃が発生するたびにウシ牧畜民が移動していった後の土地に、ソマリはラクダを核にして積極的に適応していった。そしてオルマ側に居残るソマリがみられる本稿のような事例は、ソマリの生活域の拡大の一断面をみているものと推察される。筆者は、ソマリ遊牧の生態的適応構造と民族間の紛争のプロセスを通して、過去 100 年余りにわたるソマリの民族移住の過程を把握することを今後の課題としたい。

謝 辞

本稿の調査は、1991 年 4 月より 1 年間にわたる日本学術振興会ナイロビ研究連絡センターへの派遣によって可能になった。調査許可の取得にあたっては、ケニア共和国大統領府の C. A. MWANGO 女史、ナイロビ大学アフリカ研究所 (INSTITUTE OF AFRICAN STUDIES) の S. WANDIBBA 所長などに御協力をしていただいた。調査をすすめるにあたっては、北東州ガリッサ地区やナイロビ市内に居住するソマリの人々に大変御世話になった。以上の方々に対して厚く御礼申し上げる次第である。

引用文献

- DALLEO, P. T. (1975): *Trade and Pastoralism: Economic factors in the history of the Somali of northeastern Kenya, 1892-1948*. Ph. D. thesis, Syracuse Univ.
- DISTRICT LIVESTOCK PRODUCTION OFFICER (1991): *Annual report for the year 1991 (Garissa District)*. Ministry of Livestock Development.
- ELIMI, A. A. (1991): Livestock production in Somalia with special emphasis on camels. *Nomadic Peoples*, 29: 87-103.
- EVANS-PRITCHARD, E. E. (1940): *The Nuer*. Oxford University Press, Oxford. 向井元子訳 (1978): 『ヌア族』岩波書店.
- HERREN, V. J. (1990): The commercial sale of camel milk from pastoral herds in the Mogadishu Hinterland, Somalia. *Pastoral Development Network*, 1: 23.
- HJORT, A. and DAHL, G. (1984): Significance and prospects of camel pastoralism. In HUSSEN, M. A. ed.: *Camel pastoralism in Somalia. Camel Forum Working Paper*, 7: 11-35.
- HUSSEIN, M. A. (1990): Management of camels and emigration of labour. *Camel Forum Working Paper*, 36: 1-9.
- LEWIS, I. M. (1961): *A pastoral democracy—A study of pastoralism and politics among the northern Somali of the Horn of Africa*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- MERRYMAN, J. L. (1987): The economic impact of war and drought on the Kenya Somali. *Research in Economic Anthropology*, 8: 249-275.
- MERRYMAN, N. H. (1984): *Economy and ecological stress: House hold strategies of traditional Somali pastoralists in northern Kenya*. Ph. D. thesis, Northwestern Univ.
- SAMANTAR, M. S. (1991): Camel milk output: Evidence from Somalia. In BAXTER, P. T. W. ed.: *When the grass is gone*. The Scandinavian Institute of African Studies, Uppsala: 162-176.
- SAMANTAR, M. S. and MOHAMUD, A. D. (1988): The channels of

- distribution in a Somali camel marketing system. *Camel Forum Working Paper*, 27: 1-16.
- SWIFT, J. (1979): The development of livestock trading in a Nomad pastoral economy: The Somali case. In *Pastoral production and society*. Proceedings of the International Meeting on Nomadic Pastoralism, Paris, 1-3 December 1979: 447-465.
- TORNAY, S. (1979): Armed conflict in the lower Omo Valley, 1970-1976: An analysis from within Nyangatom society. In FUKUI, K. and TURTON, D. eds.: *Warfare among East African herders*. The National Museum of Ethnology, Osaka.
- REPUBLIC OF KENYA (1988): *Garissa district development plan (1989-1993)*. Ministry of Planning and National Development.
- REPUBLIC OF KENYA (1990): *Statistical abstract*. Ministry of Planning and National Development.
- 畜産大事典編集委員会 (1978):『畜産大事典』發賢堂.
- 福井勝義 (1984): 戦いからみた部族関係——東アフリカにおけるウシ牧畜民 Bodi を中心に——.『民族学研究』48: 471-480.
- 池谷和信(1993a):ラクダ遊牧民ソマリ族の生活.『学術月報』46-1: 50-55.
- 池谷和信 (1993b): 都市の中での牧畜民——ナイロビのマサイとソマリ.『アフリカレポート』16: 23-27.
- 池谷和信(1993c):ラクダ遊牧民ソマリ.『季刊民族学』17-2: 52-57.
- 松田 凡 (1991): 民族集団の併合と同化——エチオピア西南部 KOEGU をめぐる民族間関係——.『アフリカ研究』38: 17-32.
- 佐藤 俊 (1984): 東アフリカ牧畜民の生態と社会.『アフリカ研究』24: 54-79.

Camel Pastoralism and Conflicts under the Influence of the Development of Commercial Economy: A case study of the Somali in East Africa

Kazunobu IKEYA*

Purpose of this paper is to describe the camel management systems and the migration patterns practiced by the Somali, also to explain the details of and motivation behind the conflicts often carried out on each other by the Somali and Orma. The author conducted interviews, and observed the behaviour of the native people in the Garissa District of North Eastern Kenya for about one month between May 1991 and March 1992.

The results can be summarized as follows:

(1) Livestock composition per household is normally within the range of 30-60 camels, 0-200 cattle and 250-300 goats and sheep. The livestock are herded according to the available vegetation for their food requirements. Camels are kept in the bush from 8 am to 9 pm and are watered once every two days.

(2) There are two types of migration patterns. One involves short distance migration near a sedentary village, while the other involves long distance migration, about 80 kilometers, from the town of Garissa to the village of Bula. The migration route is limited by several factors, such as the location of water sources, or the distance from the camp to a town or village where the women can sell milk to earn cash.

(3) Many Somali pastoralists crossed the Tana river and intruded into the Orma cattle grazing area. This resulted in several incidents of conflicts between June 1991 and March 1992 in which people were killed and livestock stolen. The author considers that the river crossing was motivated by shortage of food for the livestock caused by lack of rain, overgrazing near the settlement, and the recent increase in the number of cattle raised specifically for sale.

Key Words: Camel pastoralism, Conflict, Somali, Orma, Commercial Economy

* Institute of North Eurasian Cultures, Faculty of Literature, University of Hokkaido. Sapporo, 060 Japan.

(Received October 26, 1992; Accepted October, 16 1993)

タクラマカン沙漠南縁の^{ホータン}和田・^{チーラ}策勒における ウィグル族農民の農業生産活動

吉野正敏*・藤田佳久*・有蘭正一郎*・杜明遠*

1. まえがき

沙漠化の過程における人間活動の果たす役割が重大なことは、いまさら指摘するまでもない。これまで、多数の研究や報告が刊行されている。また、開発と利用についての総合報告もある(夏ほか, 1978)。しかし、その定量的な分析は必ずしも十分とはいえず、また農業的土地利用と沙漠化との関連を農家経済の面から考察した研究はない。今回、日本の科学技術庁振興調整費による「沙漠化機構の解明に関する」日中共同研究の一環として、筆者らはこの問題の解明に参画した。その最初のアプローチとして、二つのオアシス和田・策勒(図1)を例として取り上げ、まずウィグル族農民の農業生産活動に関する資料の収集と聞きとりを行なったので、ここにその結果をまとめた。この地区を取り上げた理由は、(1) ウルムチからのアクセスが比較的容易である。(2) すでにこの共同研究として既存資料や文献の収集がかなり行なわれている。(3) 策勒には中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所の研究站があって、調査に便利が与えられる。(4) この地域はタクラマカン沙漠の中でも非常に乾燥しており沙漠化がはげしいとこれまでの研究で指摘されている、などである。まだ予察的な研究段階であるが、ここに発表して今後の研究展開のために、種々お教えを乞う次第である。

2. 研究地域と方法

タクラマカン沙漠の面積は中国の中で最大で、327,400 km²であり、その縁辺には、古くからシルクロードの一部として経済的に重要な位置を占めるオアシスがあった。その歴史時代における立地位置の変遷、興亡の変遷は、気候の変動やそれともなう沙漠環境の変化に関係している。タクラマカン沙漠南縁における歴史時代の古いオアシスは今日の位置と比較すると北に20~250 km, 平均して北に150 kmの位置にある。南縁地区で沙漠化が進んだのは漢晋, 唐末, 宋元の時代という

(周, 1983)。オアシスにおける農民の農業生産活動も、それともなう変化した。特に人口増加ははなはだしく、例えば和田県¹⁾における最近の人口は1950年の2~3倍、漢朝の時代の22倍といわれる。さらに近年、特に1980年代における変化は急激である(吉野, 1994)。1980年と1988年を比較すると、人口の急激な増加の一方で、沙漠化と都市化のため、耕地面積は減少している。例えば、墨玉県では7万ム²⁾、策勒県では6万ム¹⁾、于田県では7万ム¹⁾減少した。技術の発展、例えば、機械耕作面積の急増などともなう食糧の総生産量は約7割増加している。総合してみると、タクラマカン沙漠南縁の諸県・諸市の農業総生産値は1980年代後半において30~40%増加しており、注目に値しよう。

天然の胡楊(*Populus euphratica*, *Populus diversifolia*)の林は、1950年代には和田河・クリヤ河一帯ではまだ793万ム¹⁾あった。これが1970年代には300万ム¹⁾になった。これについては、詳しくあとで述べるが、最近の最もはなはだしい例ではオアシスから約200 kmも沙漠の中へ川に沿って薪用材の伐採に行く。

砂丘の移動速度は皮山県では8 m/年でかなり速い。1960年代皮山県ではアンズとモモの生産が盛んであった。最高の年には84万元の生産高があった。しかし、周縁の沙漠からの砂丘の侵入が急速なことから、文化大革命時代、果樹園の手入れが十分にできなかったことなどの理由と、さらに1978年5月に8級³⁾の大風があり、大きな被害を受けたので、1979年には最高時の生産高の3分の1になってしまった。

1951~1990年の和田における気温の変化をみると、冬の気温は約2℃上昇傾向にあるが、夏の気温は約1℃下降傾向にある。降水量は、冬は約2~3 mm減少、夏は約5~6 mmの増加傾向にある。年の平均気温は約0.5℃の上昇傾向があり、年降水量にはほとんど変化の傾向が認められない(杜, 1993)。

現地における今回のわれわれの聞きとりは、1993年8月末から9月初にかけて、和田で6戸の農家(図2)、策勒で4戸の農家と1戸の公務員宅(図3)で行なった。あらかじめ聞きとり項目は次のようにきめておいた。す

* 愛知大学文学部地理学教室

(受付: 1993年11月1日, 受理: 1993年12月30日)

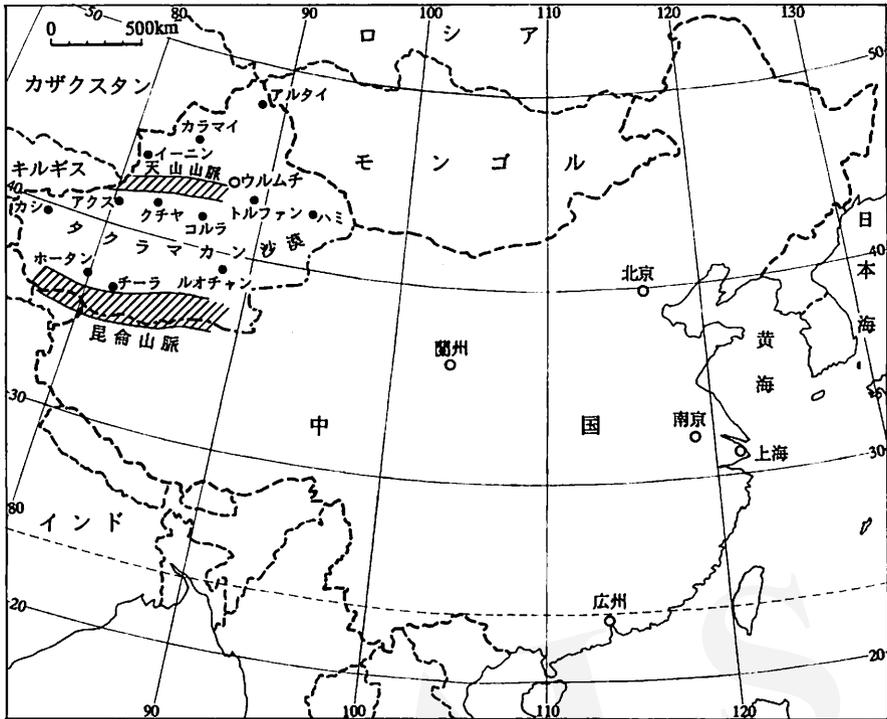


図1. 研究地域、和田（ホータン）と策勒（チーラ）の位置。

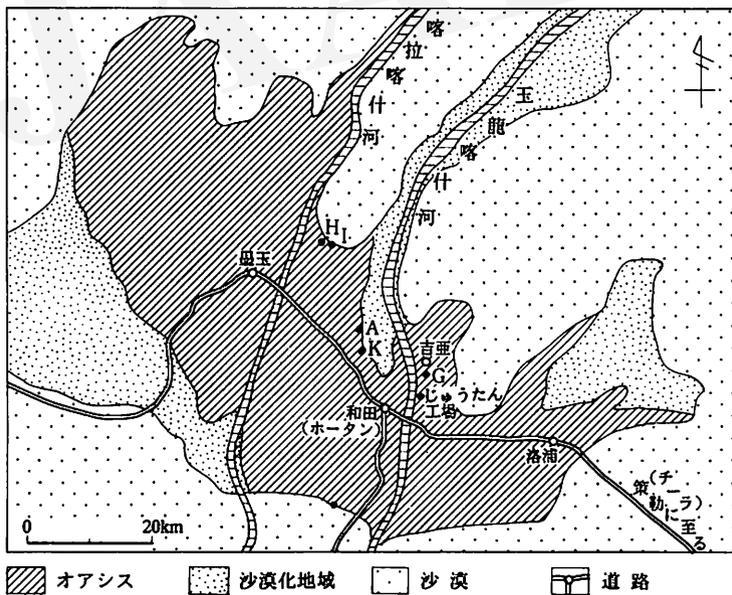


図2. 聞きとりを行なった農家の和田オアシスにおける分布。

なわち、家族構成・居住・農業生産・防護林と風害・燃料・灌漑・住居の間どり・副業・災害などである。これらの聞きとり記録は別にまとめた（吉野ほか、1993）。

資料は、ウルムチの中国科学院新疆生物・土壌・沙漠

研究所および中国科学院新疆地理研究所の図書室および、北京の中国科学院地理研究所とその他で収集したものである。

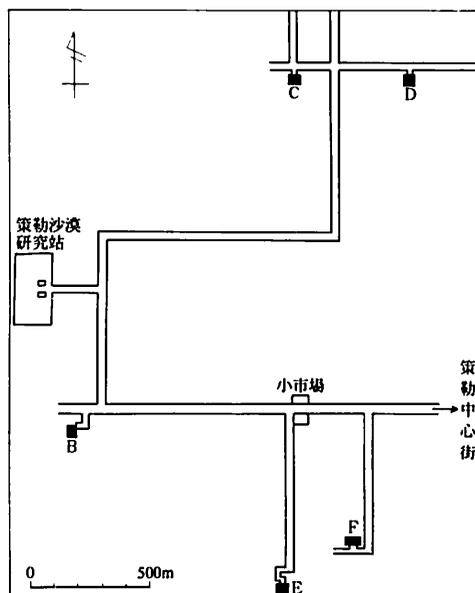


図3. 聞きとりを行なった農家の策勒オアシスにおける分布。

3. 結果のまとめ

(1) タクラマカン南縁のオアシスの最近の農業生産

1988年の統計を表1に示す。和田県・墨玉県の郷村人口は多い。策勒県は人口に対し、耕地面積の割合が大である。これに対し、墨玉県では機械耕地面積・有効灌漑面積が大で、化学肥料使用量も大である。したがって、1988年の値で農村の総生産は2億5千万円、農業総生産値も2億2千万円で、それぞれこの地域では最大になっている。

しかし、このような値を単位面積当たり、単位人口当たりなどの値と比較すると必ずしも墨玉県が高いとはいえない。いま、表1から、単位面積当たり、単位人口当たりの数値を求めてみると、表2の通りである。この表から次のことがわかる。

(i) 郷村人口当たりの食糧総生産は和田市が最低、次は喀什市である。これは両市が食糧生産ではなく、商業活動などいわゆる都市的な活動や社会農副産品として分類される加工工業や小規模の生産工業などに活動がむいていることを意味しよう。喀什市は特にこれがいちじる

表1. タクラマカン沙漠南縁の諸県・諸市における農村経済の統計* (1988年)。

	和田県	和田市	墨玉県	策勒県	喀什市**	阿克蘇市***
郷村人口 (万人)	18	6	30	10	4	11
耕地面積 (万ムー)	31	7	49	30	5	45
農作物総播種面積 (万ムー)	46	10	73	31	7	56
その中食糧 (万ムー)	35	7	53	20	5	41
ワタ	4	1	10	4	0	9
油料	1	0	1	1	0	3
食糧総生産量 (トン)	91,994	20,513	123,412	52,434	14,609	93,374
ワタ (トン)	1,976	389	4,923	1,922	223	4,699
油料 (トン)	1,304	322	1,457	1,272	163	2,397
年豚牛羊肉の総生産量 (トン)	2,779	860	2,771	2,278	560	2,012
農業機械の総動力 (万ワット)	4,026	1,435	4,609	2,046	1,125	3,403
機械耕作面積 (万ムー)	5	3	18	16	2	17
有効灌漑面積 (万ムー)	31	7	49	30	5	45
化学肥料使用量 (トン)	3,719	526	4,130	1,129	214	2,638
農村の電気使用量 (万 kWh)	251	90	207	67	1,545	134
農村の総生産 (万元)	14,380	4,346	24,985	8,405	5,466	11,635
農業総生産値 (現価) (万元)	12,489	1,471	22,940	7,839	3,375	9,704
農業総正味生産値 (現価) (万元)	8,559	2,014	16,463	5,489	2,376	7,360
農業総生産値 (万元) (1980年に換算した価)	8,612	1,895	10,480	4,667	1,610	7,638
社会農副産品の買収価額 (万元)	2,011	766	4,089	1,552	7,400	4,292

* 国家統計局農村社会経済統計司編 (1989): 『中国分県農村経済統計概要, 1980-1987』中国統計出版社。による。タクラマカン沙漠の中で自然条件・社会条件が異なる地域との比較のために **西部の喀什市と, ***北縁の阿克蘇市の例をあげた。

表 2. タクラマカン沙漠南縁における県別・市別の人口当たり、または、播種面積当たりの食糧生産量・農村総生産・農業総生産値など (1988 年)。

	和田県	和田市	墨玉県	策勒県	喀什市*	阿克蘇市**
食糧総生産量 (トン)	5,111	3,419	4,114	5,243	3,652	8,489
郷村人口 (万人)						
食糧総生産量 (トン)	2,000	2,051	1,690	1,691	2,087	1,667
播種面積 (万ムー)						
農村の総生産 (元)	799	724	833	841	1,367	1,058
郷村人口 (人)						
播種面積 (ムー)	1.28	1.17	1.63	3.00	1.25	4.09
郷村人口 (人)						
副産品買上価額 (元)	0.16	0.52	0.18	0.20	2.19	0.44
農業総生産値 (元)						

表 1 と同じ理由で、比較のために *西部の喀什市と、**北縁の阿克蘇市をの例あげた。

表 3. 聞きとりを行なった農家の家族構成。

農家記号	家族構成	備 考	所 在 地
A	6人=夫婦+子供4人	—	和田県拉期查郷
B	11人=両親2+世帯主夫婦2+子供5人+娘1+孫1	世帯主は60歳。男の子は公安局、建築、運転手など、1972年以来ここに住む。	策勒県策勒郷托盤艾熱克
C	4人=世帯主夫婦+子供2人	主人30歳、妻27歳。戸籍は田舎。1989年入植。	策勒県策勒郷治沙站
D	11人=両親2+世帯主夫婦+子供4人+妹3人	世帯主30歳、妻25歳。ここに住んで5代目、約100年経過。	策勒県策勒郷
E	7人=両親+世帯主夫婦+息子夫婦+孫	父親85歳、母親77歳。世帯主60歳、妻50歳。1967年来ここに住む。	策勒県策勒郷「阿納尔力克托伯」
F*	7人=主人+妻+子供5人	世帯主は郷の中学校教師。戸籍は都市。	策勒県巴希吾之買
G	7人=世帯主夫婦+息子夫婦+子供3人	世帯主45歳、妻40歳。約20年前にここへ来た。	和田市吉牙郷
H	1人	36歳。1990年に離婚してここに住む。	和田県罕艾力克郷
I	4人=世帯主夫婦+娘2人	主人50歳、妻35歳。1980年来ここに住む。	和田県罕艾力克郷
J	1人	48歳。2度離婚。	和田市紅旗公社
K	7人=世帯主夫婦+子供5人	子供は男3人と女4人、計7人のうち5人。1987年以来ここに住む。	和田県

* F家は農家ではなく、公務員宅。

しい。

(ii) 郷村人口当たりの農村総生産は今回研究した南縁地域では1人当たり720~840円で西縁の喀什市の1人当たり1,300元、北縁の阿克蘇市の1人当たり1,000元に比較するとかなり小さい。これだけ貧困といえよう。

(iii) 播種面積当たりの食糧総生産量に関しては、こ

の表から特に傾向はうかがえない。

(2) 家族構成

和田・策勒地区はウィグル族が98%、漢民族が2%である。農民はウィグル族が100%と考えてよい。今回、聞きとりを行なった11戸の家族構成は表3に示す通りである。この表からわかるように子供6人が最高で、5人が3戸、4人が2戸、2人が2戸、1人が1戸で

表4. 聞きとりを行なった農家の耕作面積・作期・収量

農家記号	耕作面積	作 期	収 量
A	コメ 8 ムー トウモロコシ 2 ムー ワタ 1 ムー ブドウ少し	6月初に直播 — — —	— — — —
B	(耕地面積 15 ムー+建物・庭 5 ムー) トウモロコシ 6 ムー コムギ 5 ムー ワタ (1993 年) 2.2 ムー 牧草 4 ムー	5/10~6/10, コムギの条間にまき, 10 月 中旬~11 月上旬に収穫 冬コムギ 9/10~10/10, 春コムギ (少) 2/20~3/10 にまき, 7 月に収穫 4/1~4/5 にまき, 9 月上旬~10 月下旬に 収穫 年 4 回刈	700~800 斤 / ムー — — 3~4 年目生産量は多 い
C	(庭 3 ムー) コムギ 3 ムー 果樹園 19 ムー (アズ, モモ, ナツメなど)	— —	— 合計 1,000 斤 (500 kg)
D	(耕地 9 ムー, 建物・庭 2 ムー) ワタ 5 ムー コムギ・トウモロコシ 4 ムー	— —	— —
E	(耕地 9 ムー, 建物・庭を含む) トウモロコシ 2.6 ムー コムギ 1.9 ムー ワタ 4.5 ムー アズ少し クワ少し	— — — — —	3,000 斤 / 年 — — — —
F*	(庭 2 ムー)	—	—
G	ワタ コムギ トウモロコシ	4/1~4/5 にまき, 9 月初~11 月初に収穫 9 月下旬~11 月にまき, 7 月に収穫 コムギを刈ったとき, 10~20 cm にのびて いる	500 斤 / ムー 800~1,000 斤 / ムー 1,000 斤 / ムー
H	(耕地 4.2 ムー, 建物・庭 1 ムー) コメ 3.5 ムー トウモロコシ 0.3 ムー ワタ 0.4 ムー	— — —	— — —
I	(耕地 3 ムー, 建物・庭 2 ムー) コメ 1 ムー トウモロコシ 2 ムー ワタ (1993 年は 0) ブドウ少し	5~6 月にまき, 10 月初に収穫 6 月にまき, 9/20~10 月初に収穫 3~5 月にまき, 9 月に収穫 幹は 12 月に埋めて, 3 月初にだす	— — — —
J	—	—	—
K	(耕地 15 ムー, 建物・庭 0.6 ムー) トウモロコシ 6 ムー ワタ 4 ムー 果樹園 5 ムー	6 月にまき, 9 月末に収穫 4 月初にまき, 9 月末~10 月初に収穫 ブドウ 11 月初に埋め, 4 月中旬にだす	500 kg / ムー 200 kg / ムー —

* F 家は農家ではなく, 公務員宅.

表5. 聞きとりを行なった農家の水・燃料・災害など。

農家記号	灌漑用水と生活用水	燃 料	災 害	そ の 他
A	ダムを公社が1980年代に建設。水不足はないが、3、4月は限界に近い。生活用水は井戸水、甘い。	—	4月に強風。被害少ない。	—
B	灌漑計画は郷政府がきめる。春に毎年使う水量を耕地面積と収穫の良否により分配する。地下水で不足分を補う。ポンプ場4カ所ある。60m深さの地下水を汲みあげる。生活用水は井戸水、夏は灌漑水も使う。	ポプラとタマリックスを沙漠(策勒県の中)に行き取ってくる。現在30km以上。1週間1回、冬が夏より多い。夜2時に出発して夕方6時にもどる。石炭は高く使えない。	コムギが春の大風で収穫できなかったことあり。1977年、1982年、1984年風により大被害。ワタは1984年も大被害。	人口増のため水が不足し、枯れる木が多い。ポプラは建材、タマリックスの枝は壁材にする。耕地で、塩類化したところはこの郷にはない。隣の郷にはあり。
C	春に水不足し、地下水を使う。水の費用は、コムギ22元/ムー、トウモロコシ6元/ムー、ワタ5.8元/ムーである。灌漑は春に2~3回、3ムーの庭に対し20元/時間/回(水+電気代)である。この20元のうち、電気代0.1元/kWの補助がでる。	植林の枝を使う。林を管理しているため。沙漠へは不足分をとりに行く。	1992年春は水不足のためコムギ不作。1989年以来、風で屋根を飛ばされたことあり。風のため3kmの小学校に行かれないことあり。雨で壁が壊されたこともある。	風が強く、地力がない。
D	水の値段はコムギは22元/ムー/年、ワタ12元/ムー/年。山の水は最近少なくなり、地下水を使う。それでも不足きみ。	石炭は少し使う。あとは庭の木。沙漠には行かない。沙漠にとりに行かない農家はこの大隊の5~10%。小隊は108軒あり、そのうちの10軒は石炭のみ。石炭の値は130~150元/トン(配達付)。粉炭は80元/トン。一冬に2トン使う。	—	—
E	30軒で共同井戸。40~45m深。灌漑用水は9ムーに対し、川水だけでは不足。	沙漠に薪をとりに行く。	砂あらしのため「砂眼」が多い。	平均寿命が長い。
F	庭(2ムー)に金を支払って灌漑する。川の水を使い、地下水は使わない。生活用水は庭の一隅にある川水を溜めた池から。不足するときは1~2km先の井戸へ親戚のロバ車で行く。	冬は石炭を使う。135~140元/トンで、1~2トン/冬使う。夏は伐採した木材を買う。薪木はロバ車1台(300~400kg)で20~30元。	—	—
G	灌漑時間は小隊単位できめる。川水は5月のコムギとワタ栽培に不足することあり。地下水は使わない。生活用水は井戸水。	冬には石炭を使う。近くの樹とトウモロコシの藁ですませる。沙漠に薪をとりに行かない。この小隊の70%の人は沙漠に行かない。	—	30~35年前に沙漠へ薪をとりに行った。
H	—	冬に薪を使う。市場で買う。	春には西風か、北風で強い。	—
I	春にも水は十分。1987年、畑では水は充分だったが庭では不足した。	冬は石炭を使う。夏は果樹園からの薪だけ。沙漠には行かない。石炭は150元/トン。一冬に1トンで十分。	春には大風あり。ポプラの枝が毎年折れる。1993年8月の大雨で屋根に被害があった。	—
J	—	冬は石炭。夏は果樹園からの薪。沙漠には行かない。	—	4年前に沙漠に行った。午前5時に出発し、数日してもどる。ロバ車で7~8人が一団になって行った。秋、冬のみ1回くらい行って1ロバ車で150kgとった。
K	春の水は十分。	1年中石炭を使う。木は全く使わない。	1993年5月、6月風によるワタ・樹の被害あり。8月の大雨では屋根が壊れた。	10年前、主人の父親は片道5日、135km行った。秋と冬に1回、500kg/1ロバ車、8~10家族1団で行った。

あった。平均して3.6人となる。11戸のうち2戸は離婚して世帯主が1人で住んでいた。そのうち1人は2回離婚したという。やはりイスラムの高い離婚率を反映している。

世帯主の両親と共に住んでいるのは3戸、両親とは別に住んでいるのが6戸である。この地区は比較的高齢者の多いところで、100歳以上もめずらしくない。

(3) 耕地面積・作期・収量

耕地面積を、聞きとりした範囲で、すなわち6戸で平均値を求めると8.7ムーとなる。これは庭などの部分を除いた値で、建物・庭の面積の平均は2.2ムーとなる。そこで(耕地面積+建物・庭面積)/(全家族人数)を求めると1人当たり1.44ムーとなる。表2に示すように、県平均、市平均で1人当たり1.2~3.0ムーであるから、ほぼ平均的な農家からの聞きとりを行なったと考えてよからう。

栽培作物は表4に示す通り、トウモロコシ+冬コムギが多い。その栽培面積は最高では1戸で6ムー、平均1戸当たり3.3ムーである。次いでワタを栽培している農家が多く、1戸で最高5ムー、平均で1戸当たり2.9ムーである。コメを作る農家は少ないが、1戸当たり1~3.5ムーで、平均2.3ムーであった。この他は牧草、ブドウ、果樹(アンズ、モモ、ナツメ、イチジクなど、多種)だが、量は少ない。クワも養蚕が盛んになるにつれて多くなっているようであるが、庭や垣根状に作るので栽培面積は把握しにくい。

作期は労働配分ばかりでなく、オアシスでは用水量の配分計画において極めて重要である。聞きとりした結果では次の通りであった。すなわち、トウモロコシを5月中旬~6月上旬にコムギの条間に播く。コムギを刈るときには10~20cmに成長している。9月下旬~11月上旬に収穫する。冬はコムギは9月下旬~11月上旬に播く。春コムギは少ないが、2月下旬~3月上旬に播く。いずれも7月に収穫する。コメは6月に直播する。ワタは4月初に播き、9月上旬~11月上旬に収穫する。種を播く適期が他の作物より短いことは、水利用の面からは厳しい条件となる。

トウモロコシの収量は条件の悪いところで350~400kg/ムー、普通は500kg/ムーである。コムギは400~500kg/ムー、ワタは200~250kg/ムーである。

(4) 灌漑用水と生活用水

表5に灌漑用水と生活用水について聞きとりの結果をまとめた。これからわかることは、山からの灌漑用水は現在、春の3・4月には限界か不足がみである。他の月はほぼ十分である。水不足の場合には約40~45mの深さの共同井戸の地下水で補う。灌漑計画は(副)郷長

がきめる。水の値段は例えば、コムギが年に22元/ムー、トウモロコシが年に6元/ムー、ワタが年に12元/ムーである。この値段は郷によって差があるようである。

生活用水は自家用の井戸からの水を使う。夏には灌漑用水を使うこともある。また、庭の隅にある溜め池に水を貯水して使うこともある。井戸水は甘い(塩分を含まない)。

策勒県総合発展規画委員会(1988)による県全体の作物別の灌漑期と用水量計画のうち、主要な作物をあげると表6の通りである。

1985年全県の要水量計画の合計は、農作物用11,754万m³、林業用2,408万m³、生活用82万m³である。これによっても農作物用の灌漑水量が82%を占めており、いかに重要な部分であるかがわかる。しかも、沙漠化の進展にともない、より多量の灌漑水量が必要となるので、新しい問題が発生する。さらに、人口増加による農作物生産量の増加が必要で、このために要水量の増加は避けられないので、問題はかなり深刻である。

(5) 燃料

聞きとりを行なった農家の範囲では、(i)1年間に使用する燃料の全部を沙漠からの薪のみでまかなう場合、(ii)一部(冬)は石炭を使い、一部(夏)は薪でまかなう場合、(iii)1年の全部を石炭でまかなう場合の3形態がある。沙漠からポプラ(胡楊, *Populus* spp.)とタマリックス(怪柳, *Tamarix* spp.)を伐採してくるか、またはこれらの根を掘ってくる。あるいは、自家の庭(果樹園)からの樹や枝、トウモロコシのわらなどでまかなう。

石炭を使わない理由は「値段が高くて購入できない」である。値段は130~150元/トン、粉炭は80元/トンである。家族の人数にもよるが、10月から3月ころまでの冬半年の間に1~2トン使用する。現在、石炭だけで燃料をまかなっている農家数は全体の10%以下と推定される。燃料または建材としてのタマリックスの採取は一般的にはオアシスから1950年代にはロバ車で1日かけた。これが1960年代には2日となり、1970年代には3~4日となり、1980年代には4~6日になったと言われている(劉・張, 1987)。今日、沙漠における薪の伐採は沙漠化につながることを農民もよく知っており、ある小隊では70%の人は沙漠へ採取には行かないという。しかし、詳細な数字は不明である。ロバ車で沙漠へ行く場合、オアシスから30kmまでの範囲へは日帰り可能であり、1週間に1回、夜2時に出発して18時頃帰る。1980年代前半、片道に数日をかけて、オアシスから約135kmの地点まで行って伐採していた例をわれわれは聞いた。秋と冬に1回、8~10家族が一団となって10

表6. 策勒県における主要作物の計画用水量と灌漑季節（1985年）

作物	灌漑回数	年要水量 (万 m ³)	灌漑月
冬コムギ	7	3,640	3~6月, 9~12月
春コムギ	4	1,692	5~8月, 11~12月
トウモロコシ	5	3,679	5~9月
第二作トウモロコシ	3	570	7~9月
ワタ	3	550	12~2月, 6月, 8月
アルファルファ	3	789	12~2月, 6~7月

表7. じゅうたんに関する聞きとり結果

農家記号	織る季節	働き手	織る速度	織る量	値段
D	10月から3月まで	世帯主+妻+妹3人	2 m ² /1人/月	1カ月に5人で5 m ² のもの2枚	100~140元/m ²
G	1年中(夏は外で, 冬は室内)	息子+嫁	(1.5 m×2.2 m)/2人/15日	—	1枚が(1.5 m×2.2 m)のもの6枚1組で1,230元
じゅうたん工場	1年中	工場労働者(主として農村出身). 月給200元, 最高300元.	4 m ² /人/12日, 最低は3 m ² /人/12日	10,000 m ² /年(余力あり)	工場が農家へ支払う手数料, 30~33元/m ² . 最高は100元/m ²
K	冬を中心に, 9カ月	娘2人	3.6 m×1.68 m/2人/月	18枚/年	450元/枚

バ車に150~500 kg (平均して230 kgと推定される) 積んで帰った。周(1983)は、燃料の採取を1980年代の初期、通常はオアシスから40 kmまでの範囲で行なったが、極端な例として125 kmまで行く例があると記載している。われわれの聞きとりの結果もこれとほぼ同じ距離であった。周(1983)によれば、和田河兩岸の薪の伐採は2.6万トン/年と推定されている。町の戸籍の人、すなわち公務員、停年後ここに住み着いた人で、沙漠に薪を伐採に行かない場合は、付近の市場で薪を買う。1ロバ車(300~400 kg)の1台分が20~30円で、家族7人で1カ月もつ。

(6) 災害その他

春に強風が吹き、コムギが被害を受けることがある。例えば、1978年5月、1982年、1984年に大風が吹き大被害があった。1978年5月、策勒県では大風のため3万ムーの冬コムギ・春コムギの畑と4.3万ムーのワタ畑に被害があった。

策勒県の托伯村はかつて南疆の中でも特に有名な“ざくろの郷”であった。1966年には、全村で500本のざくろの樹があり、収入は16,000元/年に及んだ。しかし、文化大革命の影響で十分な管理ができなくなり、そのため1967年に沙漠化が始まり、村のすぐ西側まで砂丘が押しよせてきた。しかし、今日、ざくろの果樹園は

もどりつつある。

大風で家屋の屋根が飛ばされることがある。また、強い風のために小学生が登下校できなくなることがある。砂あらしでロバと人が離れてしまうことがある。人は帰宅してもロバが帰宅できない場合がある。60歳の人の経験では村で2~3年に1回はこのような被害が起こる。

砂あらしによる目の病、いわゆる“砂眼”が多い。赤目、かゆいなどで大した病気にはならない。呼吸器疾患、じん肺の率は他の地域より多い。

大雨では泥壁や屋根が壊れることがよくある。しかし、普通は大きな被害には至らない。

(7) 収入

国へ納める分はコムギでは1ムー当たり6.5 kg、トウモロコシは家族1人当たり175 kgの残りを国へ納める。例えば、農家Dの場合、国との契約は450 kg/ムーで、このうち個人消費は1人当たり175 kg/ムーで、275 kg/ムーが国へ納める分である。ワタは全部売る。

人民公社のころは1人当たり30 kg/年のコムギ粉だけが配分された主食用の食料であったが、最近ではコムギを作り、自家用にもすることができ、コメもときどき買える。

すでに表2に示したように、農村の総生産は1988年

の状態では1人当たり和田市では724元、和田県では799元、墨玉県では833元、策勒県では841元である。これは総生産額を郷村人口で割った値なので、これに家族数をかけた値が1農家の総生産となろう。これに対し、地域全体の平均でみると、策勒県を例にとると、農民1人当たりの収入は284元で、1985年には年収120元以下の農家と農民はそれぞれ6,043戸と24,570人であるという。全国のうちでも有数の貧困県である。これらの背景の下に、聞きとりの値を根拠にしてより量的な考察が必要であろう。

養蚕は、まだ開始して2~3年の農家が多い。蚕の種類を買って、1993年の状態で1農家当たりマユ約25kgを生産の予定という。その他、次項に記すように、じゅうたん織の副業による収入がある。

(8) じゅうたん、その他

じゅうたん織は農家の副業としてこの地域では特色あるものである。表7に示すように、織る季節は冬を中心にした6~9カ月である。主婦・娘などの場合は、1年中織る場合もある。男（主人または息子）の場合、農作業が忙しくないときはいつでもという人もある。

織る速度・量は1カ月に1人で2~4m²であるが、経験はもちろん、模様や質によって非常に異なる。じゅうたん工場では最低でも12日間に1人で3m²、通常は4m²というから、農家の副業の場合は工場の労働者よりは速度（量）は小である。

D農家の場合、6カ月じゅうたんを織り、1カ月に家族5人で5m²のもの2枚、すなわち10m²織る。値段は100~140元/m²だから、単純計算をすれば、6,000~8,400元の現金が入る。

G農家の場合、高級な6枚1組（1,230元）のものを織っている。1枚は1.5m×2.2mで、1人で1カ月かかる。家族2人で織っているのだから、年に24枚すなわち4組で4,920元となる。

K農家の場合は、娘2人で年に18枚織るので、1枚が450元だから、8,100元となる。以上3農家をまとめると織り手1人当たり1,200~4,000元の副業による生産額である。したがって、じゅうたんを織る働き手が居る場合は、材料費・その他経費を引いた純益収入は農家収入に比較してかなり高い比率を占める結果となる。

これらの値は、農村総生産額が1人当たり約800元であるこの地方では、1農家の家族数が10人としても8,000元であるから、重要な現金収入を占めることを示している。

じゅうたんを織るには、技術、デザインなどに対する感覚が要求される。もし、この水準まで達しない場合は、工場の下請け、あるいは、材料を市場から購入して羊毛

を糸につむぐだけの仕事も副業として意味を持つ。

すでに燃料の項で記述したように、じゅうたんを織っている農家は薪を使わず石炭を使っている。じゅうたんによる収入によって、石炭を買う経済的な力を持っているのである。

4. 結論とあとがき

今回、ウィグル族の農家10戸と教員1戸から聞きとりを行なった。その結果をまとめた。聞き取りした範囲内において、次のことが指摘されよう。

(1) タクラマカン沙漠の南縁のオアシス和田・策勒の農村総生産は1人当たり720~840元で、北縁や西縁のオアシスの60~80%である。貧困の実態がわかる。

(2) 家族構成をみると、高齢な両親と数人の子供を持つ者が多い。

(3) 耕地と建物・庭の面積を全家族数で割った値は1人当たり1.44ムである。聞きとりを行なった農家の平均では1戸当たり8.7ムである。

(4) トウモロコシ・コムギ・ワタが主要な作物である。他にブドウ、果樹（アンズ、モモ、ナツメ、イチヂク、ザクロなど）がある。

(5) 灌漑用水は春には不足ぎみである。地下水を使って補う場合が多い。自家用の水は井戸水が多く、用水の一部は河川水を使う。

(6) 人口増加が農作物生産量の増加を必要とし、耕地面積の拡大を必要とする。そしてこれがさらに用水量の増加につながる。この場合、地下水を利用せざるをえなくなる。

(7) 燃料は、a: 沙漠からの薪のみを使用する農家、b: 1年のうちの一部（冬）の期間は石炭で、他の期間（夏）には薪または庭（果樹園）からの樹や枝を使用する農家、c: 石炭のみを使用する農家の3型態がある。石炭を利用しない理由は高価なためで、石炭を使用している農家はじゅうたん織りなどの副収入がある場合である。

(8) 沙漠へ伐採に行くには、オアシスから、現在125~135km、片道数日をかけて行く例がある。ロバ車1台は150~500kgを積んで帰る。8~10家族が一団で行く。

(9) 春には大風によるコムギの被害が顕著である。砂あらしによるこの地域では目や呼吸器などの疾患がある。

(10) じゅうたん織りで、1年に織り手1人当たり1,200~4,000元の生産をあげられる。じゅうたんを織る働き手が家族の中にある場合、材料費その他の諸経費を引いた純益は副収入として重要である。

あとがきとして、以上の諸点に基づき、指摘したい問題は次の通りである。

人口増加によって食糧需要が増し、これが耕地面積の拡大をもたらす。これは水需要の増加につながり、川の水の不足を地下水で補わねばならない。しかし、過度の地下水利用は沙漠化につながるため、長期的な対策の見通しが必要である。

沙漠の植生に依存して、燃料や建材の需要をみとすのは限界にきている。人口増加にともなってさらにこの需要が増加するのをどう解決するのか。例えば、じゅうたん織りなどの副収入によって石炭を買う経済力を高めることは短期的には解決策のひとつであろう。しかし、長期的にもこれでよいのか。

謝 辞

中国科学院蘭州沙漠研究所夏 訓誠所長をはじめ、烏魯木齊の中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所および同じく新疆地理研究所の各位には非常にお世話になった。特に、中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所の策勒研究站の張 鶴年と安尼瓦尔买买提の両氏には現地における聞きとりに関して多大の協力をされた。ここに深謝する次第である。

注

- 1) 和田地区は和田市、和田県、策勒県、墨玉県、皮山県、洛浦県、于田県、民豊県からなる。
- 2) 1 ムーは 6.667a で、1 斤は 0.5 kg である。
- 3) 地表上 10 m 高度で平均風速 17.2 m/sec 以上の風。

引用文献

- 劉 名延・張 鷗雲(1987): 新疆柽柳属植物資源及其合理利用。劉 名延編:「柽柳属研究鑑定成果文集」中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所, 烏魯木齊: 26-52。
- 策勒県総合発展規画委員会(1988):『新疆维吾尔自治区策勒県国民経済・社会総合発展規画, 1986~2000』。
- 杜 明遠(1993): 中国気温・降水変化図表。
- 周 興佳(1983): 和田地区沙漠化的現状及其防治。「新疆環境保護」1983-3: 7-8。
- 吉野正敏(1994): タクラマカン沙漠南縁のオアシス和田・策勒の環境と人間活動。「愛大史学」3: 1-27
- 吉野正敏・藤田佳久・有園正一郎・杜 明遠(1993):『タクラマカン沙漠南縁の和田・策勒におけるウィグル族農民からの聞きとり記録(1993年8月~9月)』愛知大学文学部地理学教室。
- 夏 訓誠ほか著、邱 華盛訳(1991):『沙漠の開発と利用』新疆科技衛生出版社。
- YOSHINO, M. (1992): Wind and rain in the desert region of Xinjiang, Northwest China. *Erdkunde*, 46: 203-216.

Agricultural Activities of Uygur Farmers in Hotan and Qira in the Southern Part of the Taklimakan Desert

Masatoshi YOSHINO*, Yoshihisa FUJITA*, Shoichiro ARIZONO* and Mingyuan Du*

In order to make clear human impacts on the desertification processes in the Taklimakan Desert, which is the biggest desert in China, a case study was carried out in the Hotan and Qira Oases. These oases are located in the southern part, the driest part, of the Taklimakan Desert. We interviewed Uygur people at ten farmers' families and one middle school teacher's family in August and September, 1993. The results obtained are as follows: (1) Agricultural gross production in the oases of this area is 125-145 US dollar per head per year, in contrast to 170-220 US dollar per head per year in Kashi in the western part, or Aksu in the northern part of the desert. (2) High age peoples, older than 100 years' old, are not seldom. 5-6 children are frequent. Average is 3.6 children per family. There were two cases of divorce among eleven families visited. (3) Average total area of cultivation land, building ground and garden is 9.5 a per head in these oases. Average of the total area of the families visited is 58 a per household. (4) Main crops are corn, wheat and cotton. The fruits are grapes, apricots, peaches, jujubes, figs, pomegranates and so on. (5) Shortage of irrigation water trends to occur in spring. In such cases, it is supplemented by ground water. For the sake of living, well water is used generally. (6) Due to the population increase, demand of water has been increasing according to increasing of the cultivation area. In the coming near future, ground water must be utilized more. (7) There are three types of fuel utilization: a) fire woods from the desert only, b) coal in winter and fire wood in summer and c) coal only. The number of households for type c) is about 10% in the better villages. The most farmers can not buy coal

* Institute of Geograpy, Aichi university. 1-1 Machihata-cho, Toyohashi, 441 Japan.

because of price. (8) To collect fire woods, they are going into the desert 125–135 km from the oases in the case of maximum distance today. It takes ten days to two weeks with 8–10 families in a group by donkey barrows, which carry 150–500 kg. (9) Strong winds cause wind damage on wheat and cotton in spring and broken the trunks and branches of shelter belts. Heavy rain sometimes damage roofs and walls of the houses. (10) Carpet production is very important as a side job of the farmers' families. If there is a worker for it in a family, mainly wife, daughters, or sons, they produce carpets with 200–680 US dollar per worker per year. This is high amount of production as compared with the agricultural gross production.

As a conclusion, the followings can be summarized: The utilization of ground water for irrigation shall be increased in near future, caused by increasing cultivation area due to the increasing population. Over pumping-up of ground water, however, will be connected to desertification directly. It is indicated that, from the viewpoint of Oasis agriculture, productivity of market crops such as cotton or fruits should be increased. Collecting fuel, building materials, and grasses in the desert, and over-grazing around the oases are coming to a limit to utilize. They are of course connected to desertification. Instead of the woods for fuel, coal can be used more by increasing farmer's income from side job such as carpet production.

Key Words: Desertification, Uygur farmer, Taklimakan Desert, Oasis agriculture, Carpet production

J A A L S

特集：つくば発，沙漠へ 「つくばシンポジウム」に寄せて

袴田 共之*

かつて外国へ行った折「“つくば”サイエンス・シティーを知っていますか?」と外国人に聞くと、「知らない」と答えが返ってきたものである。しかし、最近、「スクーバ (scuba のように聞こえる) ネ、知ってるヨ」と返るようになってきた。筑波研究学園都市の起工式が1969年に行なわれて20数年、工事着工 (1972年) から約20年、主要な機関が出そろった1988年から数年、ようやくその存在と研究の成果が世界に認識され始めたようである。つくばの地では、沙漠学会の会員も少なからず研究をすすめており、会員外の研究者も沙漠化防止や乾燥・半乾燥地に関する研究を行なっている。そのようなつくばの地と各大学・研究所、およびそこにおける沙漠研究の様子を紹介してほしいという要望に答えるかたちで、「つくばシンポジウム」を開催することとなった。その「つくばシンポジウム」は、「つくば発，沙漠へ」をうたい文句にして、通商産業省工業技術院地質調査所の共催、熱帯農学会の後援を得て、1992年12月10日 (木) から11日 (金) にかけて、つくば市にある通商産業省工業技術院共用講堂の大講堂を中心会場に行なわれた。シンポジウムでは下記の6題の講演が行なわれた。なお、演者は、中国から参加頂いた王 炳華氏以外、現在までつくばの地で生活し研究を展開してこられた方々である。

・一般公開講演：山本正三 (筑波大学名誉教授，獨協

大学教授)

「ブラジル北東部の半乾燥地域における土地利用の変化」

・シンポジウム：

- 1) 運営委員会 (山川修治：農業環境技術研究所)
「つくばにおける沙漠・沙漠化研究の動向」
- 2) 松久幸敬 (地質調査所)
「石英粒子からみた沙漠の形成」
- 3) 杜 明遠 (中国科学院自然資源総合考察委員会・熱帯農業研究センター)
「中国の沙漠の気候と社会」
- 4) 根本正之 (農業環境技術研究所)
「植生から見た中国における沙漠化の現状」
- 5) 古藤田一雄 (筑波大学地球科学系)
「中国乾燥地域の水文環境」
- 6) 王 炳華 (中国新疆文物考古研究所)
「シルクロードの考古学」

いずれもそれぞれの演者の研究に根ざした、内容の濃い、示唆に富む講演であり、本学会の研究の進展ぶりを改めて認識させる有意義なものであった。本特集は、このシンポジウムにおける講演の中からご寄稿を頂いた3編を収録したものである。

お忙しい中にもかかわらず、ご講演を頂き、この特集のためにご寄稿を頂いた著者の皆様に深謝いたします。

Special Report: Tsukuba Symposium on Arid Land Studies—Introduction

Tomoyuki HAKAMATA*

The Japanese Association for Arid Land Studies organized the Tsukuba Symposium on Arid Land Studies on 10 and 11 December, 1992. The objectives were to introduce outlines of studies on arid and/or semiarid area in Tsukuba Science City and for participants to discuss about the studies.

The lectures given by the invited speakers were collected here as a Special Report.

* 「つくばシンポジウム」運営委員会事務局長，農業環境技術研究所

* Secretary General of Tsukuba Symposium on Arid Land Studies, National Institute of Agro-Environmental Sciences

つくばにおける沙漠・沙漠化研究の動向†

山川 修 治*

Trends in Research on Deserts and Desertification conducted in Tsukuba

Shuji YAMAKAWA*

1. はじめに

つくばシンポジウム「つくば発沙漠へ」の開催にあたり、当該諸プロジェクトの連携を深める契機とすべく、標記の企画が立案された。関係各位のご協力をえ、一応のとりまとめができたので報告したい。ここでは、研究代表者または分担者が筑波研究学園都市に基盤を置いている場合に限定する。なお本稿では、用語の記載を統一して、「沙漠」「沙漠化」を使用し、参考文献のみ原文に準ずるものとする。

2. 研究プロジェクト一覧

各研究プロジェクトについて、タイトル、担当機関、研究代表者、対象地域などを挙げる。内容については概要のみごく簡単に紹介する。項目が多岐にわたるもの、および内容の不詳のものは、概要の記載を割愛した。

凡 例

【 】: 主催省庁・団体, []: メインテーマ番号, < >: 実施年度および開催年月日, (): 担当機関・担当者または委託先, ◎: 研究代表者, *: 概要, ※: シンポジウム・研究会等, { }: 当該地域研究機関, (#: 中国科学院, 1: 新疆生物土壤沙漠研, 2: 蘭州沙漠研, 3: 蘭州冰川凍土研, 4: 新疆ウイグル自治区気象科学研, 5: 気象科学研究院)

1) 国レベル

[A. 文部省]

◆[A-1] 地球圏-生物圏国際協同研究計画 (IGBP)

※International Symposium on Global Change (IGBP) <1992. 3. 27~29> ※シンポジウム「日本のIGBP研究の現状と将来」<1993. 2. 8~9> /*特に(第7領域)「地球環境に係わる人間活動の影響評価」, その中の「土地利

用小委員会」〔愛知大文学部: ◎吉野正敏, 京都大農学部: 北村貞太郎〕Human Activity and Global Environment (HAGE) が沙漠化研究に関係深い。※地球環境回復・保全における農林業の積極的役割 (Part 1) <1992. 10. 7-8>

◆[A-2] 日中合同黒河流域地空相互作用研究計画 (HEIFE) <1989~93>〔文部省国際共同研究事業, 測地学審議会 WCRP 特別委員会, 京都大理学部: ◎光田寧〕(中国気候研究委員会) *中国甘粛省黒河流域を対象とし, 下記の各項目からなる。

(1) 大規模現象 ①GCMにおける境界層モデルの改良〔気象研気候研究部: 時岡達志・山崎孝治・鬼頭昭雄〕*得られた資料を用い大気大循環モデルを検討する。②水収支・熱収支に関する地表面状態の衛星観測〔筑波大地球科学系: 安成哲三ほか〕*NOAA 衛星の AVHRR センサーのデータを半径約 1,000 km について処理したアルベド・輝度温度・植生指数の画像を解析する。③衛星画像データによる蒸発散量の算出〔筑波大電子情報工学系: 星 仰〕*LANDSAT-TMを用い四季の蒸発散量を解析する。

(2) 水循環 ①乾燥地域内での地下水・蒸発に関する研究〔筑波大地球科学系: 古藤田一郎ほか〕*沙漠・オアシス地域において, 土壌水分, 吸引圧, 地温, 土壌水・地下水の水質などを測定し, 土壌水分蒸発散, 地下水函養量の機構を解明する。②半乾燥地域における熱収支と乱流輸送に関する研究〔筑波大地球科学系: 甲斐憲次ほか〕*半乾燥地域における地表面熱収支と乱流輸送の季節変化を明らかにする。③沙漠あるいは半乾燥地からの各種物理量の乱流輸送の観測〔国立環境研: 光本茂記ほか〕*沙漠・半乾燥地の地面から運動量・熱・水蒸気・CO₂などの乱流輸送量を係留気球で測定する。

(3) 黄砂および飛砂の①ライダーによる黄砂の空間分布と大気境界層の構造に関する研究〔筑波大地球科学系: 甲斐憲次ほか, 都立大工学部: 阿部 真・長沢親生〕

* 農業環境技術研究所 地球環境研究チーム (日本沙漠学会「つくばシンポジウム」運営委員会委員)

* Division of Changing Earth and Agro-Environment, National Institute of Agro-Environmental Sciences

† 本稿は 1992 年 12 月 10 日に行なわれた「つくばシンポジウム」での講演資料を書き改めたものである。

*黄砂の有力な発生地と考えられるゴビ沙漠でライダー観測を行い、黄砂の舞い上がり機構を解明する。②中国大陸沙漠における大気エアロゾル濃度と粒径分布〔気象研物理気象部：牧野行雄・池上三和子，財前祐二〕*中国沙漠地帯におけるエアロゾル濃度・粒径分布と季節変化を解明する。③中国大陸・日本上空に浮遊する個々の黄砂粒子の物質組成に関する研究〔気象研応用気象部：岡田菊夫，物理気象部：池上三和子〕*電子顕微鏡を用い長距離輸送中の黄砂粒子の変質過程を解明する。

◆[A-3] ブラジル北東部における土地利用・水利用の変化に伴う生態系の地域的变化〔科研費海外学術調査〕〔元 筑波大地球科学系（現 東京聖徳大）：◎西沢利栄〕※国際シンポジウム The Fragile Tropics of Latin America (1990. 5. 29～30)

◆[A-4] 都市化に伴う水循環の変化に関する研究〔科研費一般研究 B〕〔筑波大地球科学系：樞根 勇〕

◆[A-5] 植物群落の動態に関する研究——世界の半乾燥地域における植生回復に関する研究〔筑波大生物科学系：林 一六〕

◆[A-6] 土壌内塩類の除去法に関する研究〔筑波大農林工学系：◎安部征雄・山口智治，清水建設〕*土壌面蒸発によって表層に集積する塩類を土壌塩類誘導シートにより防止する方法の開発研究を行う。

◆[A-7] アジア・太平洋地域のマングローブ生態系の生物過程と制御機構〔科研費海外学術調査〕(1988～90)〔愛媛大農学部：◎萩野和彦；筑波大農林学系：増田美砂〕*タイ・インドネシア・オーストラリア・南太平洋を対象に、マングローブ資源の利用パターンを類型化し、資源消失プロセスを明らかにした。

◆[A-8] シリアにおける農耕文化の展開〔科研費国際学術研究〕/ 西アジアにおける農耕文化の展開〔筑波大学内プロジェクト助成研究 A〕(1990～93)〔筑波大歴史人類学系：◎岩崎卓也・西野 元・常木 晃・滝沢誠；筑波大農林学系：中村 徹；信州大理学部：赤羽貞幸；古代オリエント博：脇田重雄；早大文学部：浅野一郎〕*乾燥地帯における農耕の出現から国家形成に至る人類の足跡を自然科学者の協力を得ながらたどり、国家形成のモデルを創る。イランにおける調査(1971～75)に続き、シリアにて初期農耕遺跡、青銅器時代遺跡を調査した。※月例研究会「西アジアにおける文明と環境」

◆[A-9] 乾燥地農業における基幹農機具の適正設計に関する総合調査研究〔科研費総合研究 B〕(1991～)〔筑波大農林工学系：◎小池正之，三重大生物資源学部：伊藤信孝，鳥取大乾燥地研：神近牧男・山本太平；岡山大農学部：黒田俊郎；千葉大園芸学部：小林達明；JICA 筑波国際農業研：辻本寿之〕*①中国・華北および内蒙

古自治区における各種在来農機具（特にプラウと耕うん用機具）の設計規制因子の解明とプラウ曲面の設計パラメータの抽出。②中国農書に現れる在来農機具とそれに含まれた設計規制因子のデータベース化。

◆[A-10] 共乾施設の計画・運営・管理のための支援システムの開発〔科研費総合研究 C〕(1990～92)〔筑波大農林工学系：◎瀬能誠之・小中俊雄〕

◆[A-11] 土壌水分と植物生育に関する研究〔筑波実験植物園育成研：◎矢野義治〕*土壌水分環境の違いが植物生育の速度にどのような影響を及ぼすか、移植した樹木と天然に育ったものについて比較研究する。

[B. 農林水産省]

農林関係、なかでも熱帯農研関係の研究は数多く蓄積されている。ここに紹介する研究以外については、本稿末尾に掲げる報告書『熱研資料』を参考されたい。なお、熱帯農業研究センター（熱帯農研）は、1993年に10月1日より国際農林水産業研究センターに改組した。

◆[B-1] 乾燥地の水利用・土壌特性の解明に関する研究〔1988～89〕〔熱帯農研〕*中国・エジプトを対象として農業立地の立場から現地調査・研究が推進された。

◆[B-2] アフリカ乾燥・半乾燥地帯における草地の資源変動の解明と保全技術の開発に関する研究〔1989～93〕〔熱帯農研，農総研，草地試，国際乾燥地農業研究センター（ICARDA）〕*①植物被覆の解析〔熱帯農研：◎高畑 滋・蘭 道生〕/②土地情報の解析〔熱帯農研：◎藤田晴啓〕/③牧畜生産システムにおける資源利用に関する経済的諸問題の解明〔農総研：◎水野正己〕

◆[B-3] アフリカの水文環境と灌漑開発〔農工研（元熱帯農研）：北村義信〕*アフリカの水資源・水収支，ナイル河流域の水資源・灌漑開発，西アフリカ地域の農業環境・灌漑開発について海外調査を基にとりまとめた。

◆[B-4] 西アフリカにおける農林業の特性解明調査〔熱帯農研：◎浜村邦夫・北村義信・沢田治雄〕*ニジェール・マリ・コートジボアールにおいて水資源と灌漑開発，森林問題の検討，農業関係研究機関との交流を行った。

◆[B-5] 沙漠化環境の実態解明と生態系保全技術開発に関する調査研究〔1989～〕※熱帯農業専門分野別研究会（第14回）「地球の沙漠化・塩類化を考える」(1992. 1. 24)

◆[B-6] 半乾燥・乾燥地域における主要畑作物の天水利用型栽培技術の開発/熱帯半乾燥地における土壌管理およびマメ類栽培法の開発〔熱帯農研：◎日高輝展〕

◆[B-7] 中国トルファンにおける夏季の気候の特徴/乾燥地における夏季高温期の蒸発散量の計測/乾燥地

における土壌水分の変動〈1988～92〉〔熱帯農研：◎真木太一・中井 信・八田珠郎〕（#，1）

◆[B-8] 浸食防止と気候緩和——中国トルファンにおける2種の防風ネットによる風食防止と気象改良効果/中国トルファンの防風林による冬季の気候改良効果と作物への影響/乾燥地域の気象・蒸発散特性の解明の防風施設による風食防止の在外研究〈1988～92〉〔熱帯農研：◎真木太一・杜 明遠〕（#，1）

◆[B-9] 小型ウェィングライシメータを用いた乾燥地域における蒸発特性の把握〈1991〉〔四国農試：◎林陽生，熱帯農研：真木太一〕（#，1）

◆[B-10] 風食地と砂丘固定地の土壌特性の比較検討〈1988～92〉〔熱帯農研：◎中井 信〕（#，1）

◆[B-11] 乾燥地の水動態，土壌特性の解明〈1991～〉〔熱帯農研：◎真木太一・中井 信・片山勝之〕 *乾燥地において農業の成立を可能にするために，気象特性・水特性・土壌特性および植物定着特性の研究を実施する。

◆[B-12] 半乾燥での生態維持機構および回復機構の解明——土壌生成と植生被覆の相互関係〈1989～92〉〔熱帯農研：◎八田珠郎・中井 信・真木太一〕（1）

◆[B-13] 荒廃した農耕地の復元過程における植生の変化の解析〈1989～91〉〔農環研植生生態研：◎根本正之〕 *北上山地，与那国島，および内蒙古東部における過耕作・過放牧に伴う荒廃地について，植生の変化過程を定量的に捉え，対策を検討した。

◆[B-14] 土地荒廃問題研究会〈1991～〉〔農環研地球チーム：◎福原道一〕 *第1回シンポジウム「地球環境と土地荒廃」〈1991. 3. 25〉/ 第2回「土地荒廃のプロセスと農林業活動」〈1992. 10. 26〉/ 第3回「農林地における土地荒廃の防止対策」〈1992. 12. 18〉

◆[B-15] 熱帯林・乾燥疎林に関する技術情報の収集・分析・加工/地球環境の保全に関する森林・林業情報の収集・分析・加工〔森林総研海外林業調査科：◎樋口國雄・杉本定夫〕 *熱帯林業，地球環境（沙漠緑化・酸性雨など）に関する情報を各国から収集し，分類カードを作製するとともに，必要に応じ資料を提供する。

◆[B-16] 森林資源及び森林環境の解析・モニタリング手法の開発〔森林総研林業経営部資源計画科遠隔探査研ほか〕 *森林資源の減少・低質化の著しい地域に適した資源解析のため，地上調査技術の改善，リモートセンシング技術の活用を図る。

【C. 通商産業省】

◆沙漠地域の気象環境の研究〔公害資源研立地環境部：◎北林興二ほか〕 *沙漠地域の大規模開発に伴う沙漠環

境変化の評価手法の基礎的な研究を行う。水循環・大気地表面相互作用に関する数値モデルを開発する。

【D. 運輸省】

◆[D-1] 気候モデルの開発〔気象研気候研究部〕 *気候系における様々な物理過程の役割を解明し，気候モデルを開発する。

◆[D-2] 地表面条件を考慮した大気・地表面相互作用の研究〔気象研応用気象研究部〕 *種々の地表面条件（森林・草地・水田・裸地など）における乱流輸送過程などを観測を中心に解明し，環境変化予測などを行う。

【E. 建設省】

◆[E-1] 沙漠化防止技術開発に関する調査〈1990～94〉〔土木研〕

◆[E-2] 巨大プロジェクト新技術開発調査 沙漠地域環境改善調査〈1991～93〉〔土木研：◎吉野文雄；国際建設技術協会〕 *沙漠地域における環境改善に関する巨大プロジェクト（アフリカ中央湖構想，サヘル地下ダム計画，デザートアクアネット構想，カッタラ低地開発等）推進のために必要な技術開発に関する調査およびプロジェクトが環境に与えるインパクトに関する調査を行う。

◆[E-3] 地球温暖化に伴う水文循環の変化に関する研究〔土木研河川部水文研〕 *温暖化影響のモニタリングとしてレーダ・衛星・マイクロ波散乱計を用いた雨雪の観測方法の開発，温暖化が水文循環に与える影響予測手法の研究を行う。

【F. 科学技術庁】

◆[F-1] 沙漠化機構の解明に関する国際共同研究〈1988～〉 *日中沙漠化機構解明研究シンポジウム〈1993. 3. 2～4〉 *中国タラマカン沙漠を主体とした乾燥地域を対象とし下記の項目を研究する。

(1) 沙漠形成史の解明 ①沙漠域，湖沼等堆積物の解析〔日本大〕{1}/②周辺水河の解析〔防災科学研〕{3}

(2) 沙漠化の状況・変動メカニズムの解明

1) 近年における地表状態の把握と短期変動の解明

①地表状態の調査〔理化学研〕{1, 2}/②土地利用形態の調査〔理化学研〕{1, 2}

2) 砂漠における地質形成機構の解明 ①沙漠の地質資料の鉱物学的，化学的解析〔地質調査所〕{1, 2}/②沙漠の塩類の析出・集積機構の解明〔理化学研〕{1, 2}

3) 砂，泥等の輸送機構の解明 ①大気中の砂塵粒子分布の測定〔通信総合研〕{2}/②砂輸送量，砂位変化，砂の粒度分布の測定〔理化学研；鳥取大〕{1, 2}

4) 沙漠における水文状態の解明 ①水文状態, 水収支の調査〔防災科学研〕{1}/②同位体比による水の起源の調査〔理化学研〕{1}/③土壌水分と土壌水の動態調査〔気象研〕{1, 2}

(3) 沙漠と気候変化の相互作用の解明〔筑波大〕{4, 5} ①既観測・蓄積データの収集・解析〔通信総合研〕/②大気・地表面間のエネルギー輸送過程の観測的研究, パラメータ化と局所的数値モデルの開発〔気象研〕{1, 2}/③大気大循環モデルの高度化とシミュレーション〔気象研〕{1, 2}

(4) 半乾燥地での生態系維持機構及び回復機構の解明 ①植物群落の調査, 類型化, 環境との関係の解析〔森林総研〕{1}/②植物群落での微気象および植物生理・生態機能に関する実験および調査〔農環研〕{2}/③土壌生成と植生被覆との相互関係の解明〔熱帯農研〕{1}/④人工環境下での植物の環境耐性反応および生理生態機能の実験的解明〔国立環境研〕{1, 2}

(5) 沙漠化機構および沙漠化防止のためのシミュレーション ①沙漠地形変動の数値モデルの研究〔理化学研〕/②植物群落帯での微気象, 環境のパラメータ化〔国立環境研〕/③沙漠化進行に伴う水文状態のパラメータ化〔防災科学研〕/④気候変動に伴う生態系の変化, 水循環の変化等に関連づけるシミュレーションモデルの検討〔気象研〕

G. 環境庁

◆[G-1] 乾燥地・半乾燥地の沙漠化に伴う環境影響予測に関する予備的研究〈1990～91〉〔国立環境研: ◎古川昭雄・宮崎忠国・大坪國順・恒川篤史; 農環研; 日本野生生物研〕*平成4年度からの本格的な沙漠化研究のための予備的研究で, 対象地域および共同研究機関の選定等について討論を行った。

◆[G-2] 沙漠化と人間活動の相互影響評価に関する研究〈1992～〉(1) 乾燥・半乾燥地域における沙漠化に及ぼす人間活動の影響評価に関する研究〔国立環境研: ◎宮崎忠国; 日本野生生物研〕*インド西部タール沙漠ジョドプール周辺を対象し, 非保護区(耕地・放牧地)と保護区(家畜進入禁止域)に試験地を設定し下記各項目を行う。①各地域の植生の種組成, 現存量・変化量の測定による植生回復手法の解明。②水循環の流域水収支法とエネルギー収支法による推定, 水資源の適正利用可能量の推定。③リモートセンシングを用いた沙漠化進行状況の面的把握。④社会経済的な条件(人口・農業形態・放牧圧など)の調査による沙漠化の人為的要因の解明。(2) 半乾燥・半湿潤地域における沙漠化に及ぼす人間活動の影響評価に関する研究 *中国東部を対象とし

て, 自然条件および社会的条件から人間活動のインパクトによる沙漠化過程を解明し, 人間活動の影響を評価する。①人間活動が土地資源に及ぼす影響評価に関する研究〔農環研: ◎福原道一・今川俊明〕*耕作・放牧・定住地域を対象に, 植生の破壊, 土壌侵食・劣化, 砂の集積等の沙漠化進行程度を植生の種類・現存量や土壌特性の変化を指標として解明し, 土地被覆変化と沙漠化進行状況をリモートセンシング解析でとらえ, 人間活動の沙漠化への影響を評価する。②沙漠化を引き起こす社会経済的要因に関する研究〔農総研: ◎白石和良〕*人間活動が沙漠化の進行に及ぼす影響を社会構造, 生産経営形態, 政策の変化に着目して評価する。これまで沙漠化進行地域に対して施された政策の社会経済的効果も評価する。(3) 沙漠化と人間活動の相互影響評価に関する国際比較研究〔国立環境研; 都立大理学部: ◎門村 浩; 東京大農学部: 竹内和彦; 京都大農学部: 小崎 隆〕*東アジア・東南アジア・アフリカの乾燥・半乾燥・半湿潤地域における代表的沙漠化地域を対象として, 沙漠化と人間活動の相互影響評価に関する国際比較研究を行う。

2) 学会・財団など

【日本沙漠学会】

◆日本沙漠学会沙漠工学プロジェクト〈1991～〉※第1回沙漠工学講演会〈1991.9.27〉*世界の沙漠地域を対象とし, 沙漠化防止および沙漠の気候・地形等の活用による産業技術の開発研究と実用化を推進する。①自然エネルギーの活用〔理化学研: ◎遠藤 勲〕/②水資源確保〔成漢大: ◎小島紀徳〕/③有用物質生産〔電力中研: ◎新田義孝〕/④快適居住環境の創造〔気象研: ◎吉川友章〕/⑤日本に沙漠研究施設を〔清水建設: ◎大野義大〕

【住友財団環境研究助成】

◆沙漠緑化のための太陽熱造水と水の効率的供給・塩類化防止に関する化学工学的研究〈1992～94〉〔成漢大工学部: ◎小島紀徳・上宮成之; 筑波大農林工学系: ◎安部征雄・山口智治〕*乾燥地域全般について, 次の各項目を行う。①造水水分等の物質移動現象, 保水剤に関する文献調査。②太陽熱利用簡易造水システムの評価・実験。③塩害化地域の塩分・水分移動シミュレーション実験とモデル化。④適切な塩水上昇防止法, リーモング法, 塩分捕集法, 給水法の提案。⑤エネルギー生産・灌水・植林・給水除塩システムの具体案の提出・評価。

3. おわりに

広範にわたる当該研究について全体を網羅することは至難の技で、本稿には不備な箇所が少なからず残されていると思われる。それらを今後補っていくために、記載もれの関連研究についてご教示いただければ幸いである。

ともあれ上述のように、沙漠と沙漠化に関する学際的・国際的研究が地道に推進されつつある。本資料が縦割り行政にとらわれないプロジェクトの連携・発展のために何らかのかたちで役立つことを願ってむすびとする。

謝 辞

本稿の執筆にあたりご協力を賜った関係各位に深く御礼申し上げます。また、報告の機会を与えてくださった農業環境技術研究所環境管理部資源環境動態研究室の袴田共之室長（当シンポジウム幹事）に感謝いたします。

参 考 文 献

- 浜村邦夫・北村義信・沢田治雄(1992):『西アフリカにおける農林業の特性解明調査報告書——ニジェール・マリ・コートジボアール』熱研資料, 88: 57 p.
- 今泉英太郎・及川棟雄(1991):『北アフリカにおける農業及び農業研究の実態調査——エジプト・チュニジア・モロッコ・イギリス』熱研資料, 82: 110 p.
- 岩田文男・笹野伸治・長野間宏(1986):『乾燥地農業の研究事情調査報告書——シリア・パキスタン・インド』熱研資料, 68: 63 p.
- 海外学術調査に関する総合調査研究班(1985):『海外学術調査コロキウム『乾燥・半乾燥地帯の農業——その伝統と変容』: 227 p.
- 科学技術庁研究開発局(1992):『沙漠化機構の解明に関する国際共同研究 平成3年度 成果報告書』: 414 p.
- 環境庁企画調整局地球環境部環境保全対策課研究調査室(1992):『平成3年度地球環境研究総合推進費研究成果報告書(II)』: 251-254.
- 環境庁国立環境研(1991):『第2回地球環境研究者交流会議報告書』: 90 p.
- 北村義信(1992):『アフリカの水文環境と灌漑開発』熱研資料, 89: 88 p.
- 御宇栄晴夫(1989):『ラテンアメリカにおける自然条件と農業類型の関連——コロンビア・ボリビア調査報告書』熱研資料, 77: 86 p.
- 御宇栄晴夫・内山康孝(1992):『アフリカ緊急調査報告書——セネガル・ブルキナファソ・コートジボアール・ニジェール・マリ』熱研資料, 87: 97 p.
- 熱帯農業研究センター調査情報部(1991):『熱帯農業地域における重要研究問題とその背景』熱研資料, 86: 58 p.
- 農林水産省熱帯農業センター(1986):『乾燥地農業研究事情調査報告——オランダ・エジプト・ケニア・シリア・エチオピア』熱研資料, 69: 58 p.
- 農林水産省熱帯農業センター(1987):『乾燥地農業研究事情調査報告——オーストラリア』熱研資料, 72: 46 p.
- 農林水産省熱帯農業センター(1990):『熱帯農研集報, 68, 創立20周年記念特集号』: 161 p.
- 野崎倫夫(1990):『東アフリカの農業および農業研究調査——ザンビア・マダガスカル』熱研資料, 80: 55 p.
- 笹野伸治・谷山一郎(1987):『乾燥地農業の研究事情調査報告書——エジプト・イスラエル』熱研資料, 71: 56 p.
- 笹野伸治(1991):『西アフリカ水田地帯における灌漑排水技術の実態調査——カメルーン・コートジボアール・リベリア』熱研資料, 81: 39 p.
- 筑波研究学園都市研究機関等連絡協議会(1989, 1991):『筑波研究学園都市研究便覧』平成元年版; 3年度版: 877 p.; 1091 p.
- 筑波大学企画調査室(1992):『筑波大学年次報告書(平成3年度版)』: 324 p.
- 土屋晴男・今泉英太郎(1989):『東アフリカの農業及び農業研究調査——イタリア・エチオピア・スーダン・フランス』熱研資料, 76: 65 p.
- 米谷恒春(1992):『沙漠化機構の解明に関する国際共同研究について』気候影響・利用研究会会報, 8: 44-49.

中国の沙漠の気候と生活†

杜 明 遠*

Climate and Living of Chinese Deserts

Mingyuan Du*

1. ま え が き

著者は中国の沙漠地域の青蔵(チベット)高原の北部にある柴達木盆地で育ってきた。中国の沙漠は砂沙漠と礫沙漠(戈壁)が大部分をしめている。大きな特徴は、西部の沙漠は盆地であり、東部のは高原である。両者の間に河西回廊が位置している。それも標高1,000 m以上である。盆地の分布は北から南へ准噶爾盆地、吐魯番盆地、塔里木盆地、柴達木盆地が位置している。地形に対して中国の沙漠の気候も盆地と高原の特徴を持っている。本稿は中国沙漠の気候と生活を概観して紹介する。

2. 中国の沙漠の気候

1) 降水量・水不足量の分布

中国の沙漠における年平均降水量の分布(耿, 1986)は、北西方での年降水量が50 mm, 全般に100 mm以下のところが広い。200 mmを越す地域は天山山脈と阿爾泰山脈だけである。そのなかで500 mmを越す地点がある。盆地の年降水量は北の准噶爾盆地を除いてほとんどの地域で50 mm以下である。なかでも吐魯番盆地は極端に降水量が少なく、吐魯番では16.6 mmである。しかし、盆地の中心部における降水量はほとんど推定のものである。タクラマカン沙漠のなかの40°06' N, 83°06' E, 987 mの地点(北縁に近いところ)で1988年に観測した結果、50 mmを越して周辺より多かった(李, 1990)。中国の沙漠の大部分の地域では雨は夏に集中し、暖候季(6月-9月)の降水量の分布は全般的に年降水量の分布とほぼ一致している。

中国の水不足量(降水量と最大可能蒸発量の差)の分布と区分について、気候・水資源および農業への影響の立場から調べた(候・杜ほか, 1987)。中国の北西方での年の水不足量が800 mm, 全般に1,200 mmに達する

ところが広い。盆地の年の水不足量はほとんどの地域で1,200 mmに達する。特に北の准噶爾盆地では降水量がほかの盆地より多いが、夏の水不足量は大きいため、年の水不足量はほかの盆地と一致している。水不足の季節変化はほとんどの地域で春から夏にかけてであり、水不足量は600 mmに達する。

2) 各地の気温・降水量・蒸発量

中国の沙漠地域の6地点(准噶爾盆地の阿勒泰, 吐魯番盆地の吐魯番, 塔里木盆地の和田, 柴達木盆地の格爾木, 河西回廊の張掖, 東部高原の朱日和)の月平均気温(平均, 最高, 最低), 降水量と蒸発量を図1に示す。各地の気温・降水量・蒸発量は以下の特徴がある。

(1) 気温

盆地と高原に位置し、しかも沙漠としては高緯度である中国の沙漠の気候的特徴は冬の気温が低く、年較差が大きいことと日較差も大きいことである。准噶爾盆地の阿勒泰では冬の3カ月(12月, 1月, 2月)ほど平均最低気温が-20°C以下になり、夏(6月, 7月, 8月)の平均最高気温が26°Cを越している。6地点の年較差は格爾木で小さく、28.5°Cであり、ほかの5地点全部は30°Cを越している。吐魯番は最も大きい42.2°Cである。年平均日較差は6地点とも12°Cを越している。高原盆地の格爾木と河西回廊の張掖で最も大きく、15.7°Cに達する。

塔里木盆地から吐魯番盆地にかけては、中国乾燥地域としては気温が最も高く、年平均気温が北の准噶爾盆地の阿勒泰で4.0°C, 南の柴達木盆地の格爾木で4.2°C, 内蒙古の朱日和で4.4°Cと間の河西回廊の張掖で7.0°Cであるのに対し、この地域では和田で12.2°C, 吐魯番で13.9°Cである。特に標高の低い吐魯番で7月の平均気温は32.7°Cであり、平均最高気温は39.9°Cである。1992年6月26日-7月2日の1週間の平均最高気温では、46.3°Cを記録した。砂丘の斜面で赤外線放射温度計

* 農林水産省熱帯農業研究センター。現、愛知大学客員研究員

* Tropical Agriculture Research Center. Now a Guest Resercher of Aichi University.

† 本稿は1992年12月10日に行なわれた「つくばシンポジウム」での講演資料を書き改めたものである。

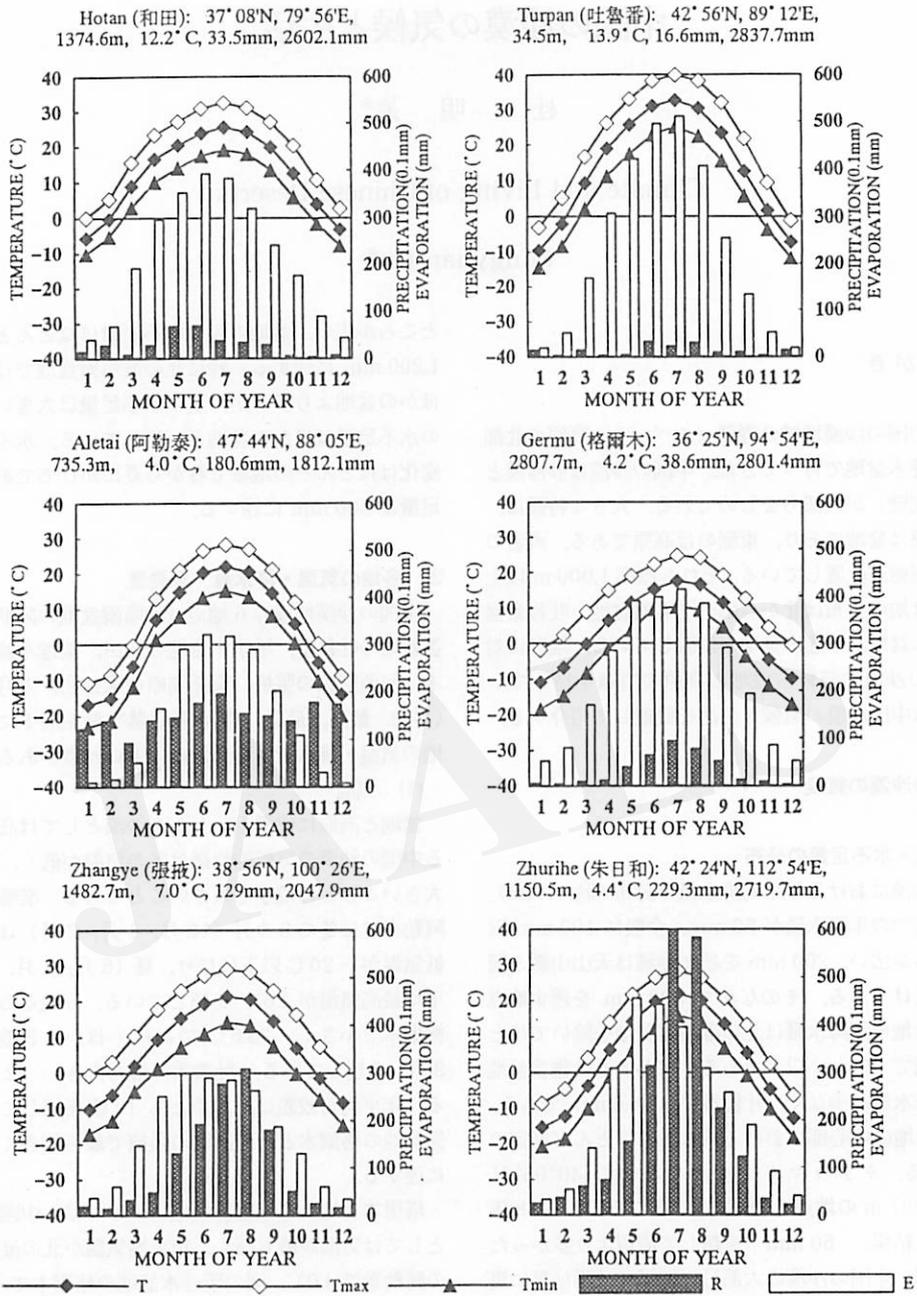


図1. 中国の沙漠の代表的地点の気温、降水量と蒸発量。

で測定した地表面温度は 84.7°C を記録した。それに対し、標高が 2,800 m 高い柴達木盆地の格爾木では7月の平均気温は 17.6°C, 平均最高気温は 24.9°C である。

(2) 降水

内陸に位置している中国の沙漠の特徴は、先ほど述べたように降水量は非常に少ないことと降水が夏に集中することである。しかし北西部が開いている准噶爾盆地

は、この方向からの風がもたらす降水もあるため、ほかの盆地ほど夏季に片寄っておらず降水量は多い。河西回廊と東の高原では降水量は西の盆地より多い。冬の降水量がほとんどない。最も降水の少ない吐魯番では2月の降水量を見ると10年に1回くらいしか降らない。しかし、吐魯番では今までの最大積雪は 17 cm であり、降水量が少ないことを考えると非常に大きい値である。

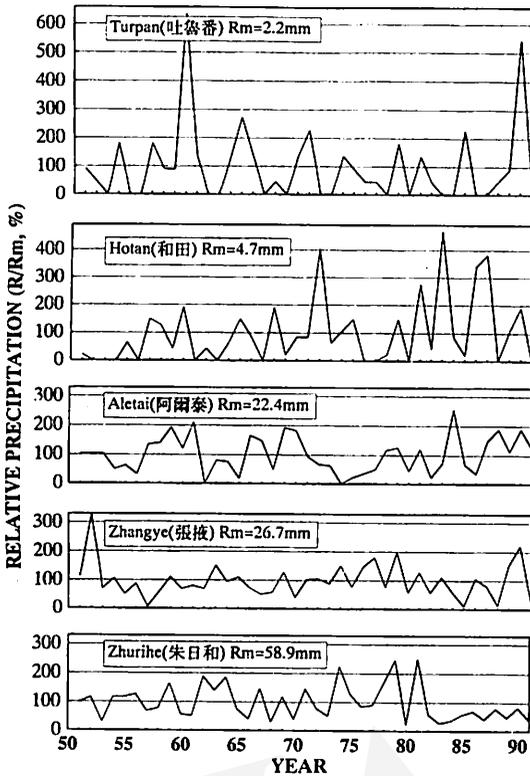


図2. 中国の沙漠の7月降水量の経年変化 (1951-1991年).
Rm は7月の40年平均降水量.

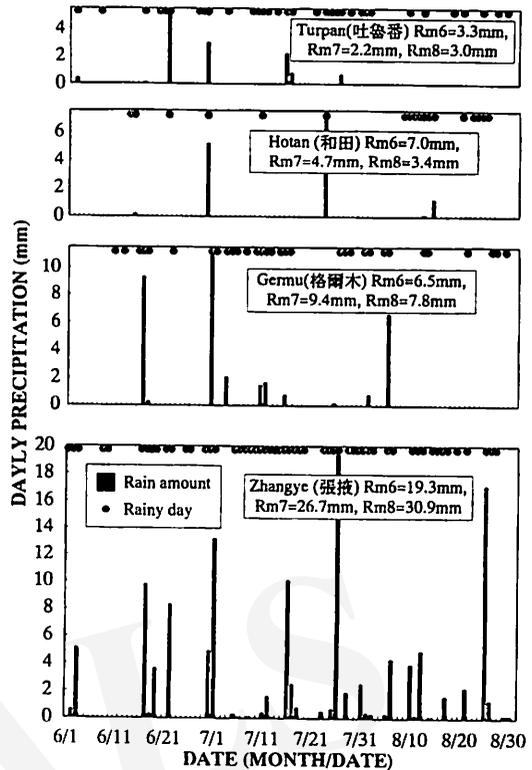


図3. 中国の沙漠の夏の降水量の時間変化 (1979年).
Rm6, Rm7, Rm8 は6, 7, 8月の40年平均降水量.

(3) 蒸発

小型蒸発計で測った結果、中国沙漠地域の蒸発量は1,800 mm/年から2,800 mm/年であり、降水量の10倍から150倍になっている。特に、夏に張掖を除いて月の蒸発量は300 mmに達する。吐魯番では1日の蒸発量は30 mmを超す場合もある。東部の朱日和と張掖の蒸発量は、西部の4つの盆地で7月が一番多いのに対し、5月に一番多い。

3) 降水の特徴

沙漠地域に生活すると降水が少ないというより、洪水が多いと感じるかもしれない。中国の沙漠の日最大降水量は年平均降水量とほぼ同じ値か、年平均降水量より大きい。沙漠では雨は少ないが、洪水はたまに降る雨が少し多めに降るたびに発生する。7月の降水量の経年変化(図2)と1979年夏(6月、7月、8月)の日降水量の時系列(図3)を出してみると、中国沙漠の降水は以下の特徴がある。

1. 降水量は少なくなるほど、降水の変動率は大きく

なる。

2. 各地の降水量の経年変化は一致せず、局地の特徴を持つ。
3. 月降水量は少なくなるほど、日降水量の割合は大きくなる。
4. 雨が降りそうな日(降水量はないが、雨が確かに降った日)は相当多い、大気中の水蒸気は少ない。

4) オアシスの気候

中国沙漠地域における気象観測所はほとんどオアシスの中か周辺にあるため、以上述べた気候特徴はオアシスの影響が多少ある。孫(1990)と凌(1990)は、大量水の灌漑によるオアシスでは温度が低く、湿度が高いと降水日数と降水量も多いと報告した。また、中国の沙漠地域におけるオアシスの農業を行なうには、必ず防風施設が必要である。防風施設がないと農業ができないと言われている。杜ほかの研究(Du and MAKI, 1993; MAKI and Du, 1993)によると、オアシス内の風速は約50%弱くなり、夏と日中の気温と地温は低くなり、冬と夜の気温

と地温は高くなり、日変化と季節変化は小さくなる。防風林は気象要素および作物の成長に大きく影響を及ぼす。

3. 中国の沙漠の生活

1) 農業・オアシス

気候の部分で述べなかったが、中国の沙漠地域の日射量と日照時間は非常に大きな値を示し、温度条件、太陽放射の面からは極めて恵まれている。水さえあれば作物等にはよい環境である。従って、中国の沙漠地域のオアシスの開発は古い歴史を持っている。中華人民共和国の成立後、中国の沙漠地域では重要な食糧生産基地として数十個所の農場や牧場を開発した。オアシスの農業はほとんど灌漑農業であり、農産物の単位面積の生産量が高く品質も良い。例えば、標高2,800 mの柴達木盆地の香日徳農場では、1976年に単位面積の春小麦の収穫高が15,195 kg/haにも達した。その他に、中国沙漠地域の果物（メロン・西瓜・葡萄）や、綿など有名である。

しかし、オアシスの開発後、自然環境の変化や人為による沙漠化などにより、移動砂丘の下になったり、塩類の集積がすすみ放棄された耕地も多くみられた。例えば、中華人民共和国の成立後、塔里木盆地のタリム川に沿い、塩分を含む湿地とタマリスクのはえている砂丘が開発の対象となり、1970年代末までに12万ha以上の農地が開発された。開発がすすむとともに、河川水に含まれる塩分が2~3倍に増加した。また、6~8mあった地下水位が2m前後まで上昇しているところが広くみられ、耕地の悪化に対する対策が求められている。

2) 牧業・遊牧

中国の沙漠地域での主な人間生活は、農耕が不可能なほど乾燥したところ、または寒冷なところの遊牧である。家畜は羊が多く、ラクダ、牛、馬などである。遊牧のルートは季節によってほぼ決まっており、山地地帯では冬季を山麓で過ごし、夏には高所へ移動する。また、秋に収穫後約1カ月間オアシスで放牧することもある。冬季の放牧場には比較的人口が集中し、買物や人間交流が多く、オアシスの農民と物の交換も行なう。例えば、家畜の糞と麦などの藁の交換がよくみられる。遊牧民の生活必需品はほとんど畜産品である。主要食料は乳と乳製品であり、肉もよく食べる。穀物の消費は農民の三分の一以下である。着るものも毛皮が多い。農民と比べて生活が豊かである。しかし、過放牧による沙漠化の問題が強まっている。

3) 日常生活

気候に対して中国の沙漠の生活は大きな特徴がある。中国語の一言で言えば、“早穿綿襖、中穿紗；抱着火炉，吃西瓜。”である。意味は、朝は（寒いから）綿入れの着物を着ているのに、昼は（暑過ぎるから）綿糸の単物だけでいい；ストーブを付けてから西瓜を食べる（秋の直後に真冬になるため、秋の西瓜を食べきれない内に冬になるから、または貯蔵し易いから冬に食べる）。日常生活は、人間が少ないと経済が発達のため、非常に単純である。特に水と燃料不足のため、生活は苦しいところが多い。例えば、著者が育った柴達木盆地では、冬に川が凍結し水の流れが止まるので、池を造り、凍る前に水を一杯溜めて、冬に凍った水を飲用水に利用するところがある。水（氷）の制限があるため、氷から解けた水は直接飲用、或は飲飯するほか、余り使用しない。野菜と米などを洗う時使った水は、沈殿させてから食器を洗う。そして最後に家畜の食に使う。また、燃料を用意するのも一苦勞の日常生活内容である。遠いところで、僅かな少ない木を伐採したり、灌木と草の根と家畜の糞を使ったりするのがほとんどである。しかし、これは沙漠化の問題になっている。

4) 沙漠の開発

先に述べたように中華人民共和国の成立後、中国の沙漠地域では重要な食糧生産基地として数十個所の農場や牧場を開発したが最近の十数年間、特に最近の5年間、石油の開発が行なわれている。沙漠のなかに石油があると言えるくらい、油田が次々と発見された。1992年に准噶爾盆地と塔里木盆地と吐魯番盆地の3つの盆地での原油の生産量は877万トンであり、天然ガスの生産量は7億立方メートルであった。油田の開発に伴ういろいろな施設も建設しはじめた。例えば、塔里木盆地のタクラマカン沙漠の真ん中の石油の開発のため、タクラマカン沙漠の南北縦断の道路を造り始めている。石油の開発に野菜等を提供するため、タクラマカン沙漠の真ん中でオアシスを作ろうとも呼びかけている。しかし、道路やオアシスが砂に埋まる可能性が高いので、どのように保護するかは問題がある。

また、沙漠を観光資源として、シルクロードを含めて観光施設の整備などが流行っている。観光客も毎年増えている。

4. あとがき

著者は沙漠地域で育ってきたが、沙漠に真の関心を持ち始めたのは、日本科学技術庁特別奨学金をうけた

1991年である。1991年12月と1992年8月の2回、中国の沙漠に調査に行った。読者の皆様に御参考になれば、また御批判をいただければ幸いである。

引用文献

耿 寛宏 (1986): 「中国沙区的気候」中国科学出版社。

候 光良・杜 明遠ほか (1988): 中国における水収支量の区分, 「中国農業気象」9: 157-164.

孫 様淋 (1990): タリム盆地の気候特徴. 李 江風主編: 『中国乾燥地域における気候, 環境及び地域開発研究』中国気象出版社: 131-135.

李 江風 (1990): タクラマカン沙漠の水熱資源. 李 江風主編: 『中国乾燥地域における気候, 環境及び地域開発研究』中国気象出版社: 122-125.

凌 正州 (1990): タリム川アラ爾地区における気候変化の比較分析. 李 江風主編『中国乾燥地域における気候, 環境及び地域開発研究』中国気象出版社: 136-139.

Du, M. and MAKI, T. (1993): Climatic differences between an oasis and its marginal area in Turpan, Xinjiang, China. In *Proc. of the Japan-China Joint Research Conference on Environmental Resources*. TARC: 110-117.

MAKI, T. and Du, M. (1993): The effect of windbreaks on meteorological improvement and the prevention of wind erosion. *J. Agr. Met.*, 48: 683-686.

J A A L S

植生からみた中国における沙漠化の現状[†]

根本正之*

Recent Situation of Desertification in China from the Viewpoint of Vegetation Changes

Masayuki NEMOTO*

1. はじめに

アフリカ・サヘル地域の大旱魃を契機として、1977年ケニアのナイロビで国連砂漠化防止会議が開催され、「沙漠化」は世界の重大関心事となった。しかしながらそれ以降も沙漠化は世界の各地で進行し続け、いまや地球規模の環境問題となるに至った。隣国の中国でもその全土にわたって沙漠化現象が発生し、深刻化している。

ところで「沙漠化」とは何であろうか。世界各地で発生していると言われる沙漠化現象は多岐にわたっていたためか、1977年のナイロビでの沙漠化の定義は“土地の持つ生物生産力の減退ないし破壊であり、終局的には沙漠のような状態をもたらす”という非常に曖昧なものであった。これを反映して、現在では100以上もの異なる沙漠化の定義があるという(BARROW, 1991)。このような混乱を避けるため、1991年国連環境計画(UNEP)は沙漠化/土地荒廃(Desertification/Land Degradation)を“不適切な人間活動による乾燥・半乾燥ならびに乾性半湿潤地域における土地の荒廃現象”と定義した(根本ほか, 1992)。また中国においては蘭州沙漠研究所の朱震達によって“脆弱な生態的狀況下における人間活動と、資源の利用と環境との不均衡によってもたらされる環境退化の過程”が沙漠化であると定義された(NEMOTO and Lu, 1992)。

本論文の主題である植生からみた場合、沙漠化をどのようにとらえるのが適切なのであろうか。生態学では“植物が自然景観の中心とならない群系”を広義の沙漠と定義しているから(伊藤, 1976)、乾燥から乾性半湿潤地域までの範囲で、人間活動によって植生がなくなる過程が沙漠化で、植生がなくなってしまった場所を沙漠化土地とすれば上述の定義と矛盾しないだろう。タクラマカン沙漠等、気候的な沙漠は人間が関与して形成されたものではないから沙漠化土地ではない。そこでまず、

沙漠化する前の中国各地に本来あるべきはずの植生の概略から述べていきたい。

2. 中国の植生

中国の植生は概略、図1に示すとおり、次の1)から8)までの植生帯に分類することができる(林, 1990)。すなわち、

- 1) 亜寒帯針葉樹林帯
- 2) 温帯針広混交林帯
- 3) 冷温帯夏緑広葉樹林帯
- 4) 暖温帯常緑広葉樹林帯
- 5) 亜熱帯季節林帯
- 6) 温帯草原地帯
- 7) 温帯半沙漠(荒漠)地帯
- 8) チベット高原寒冷地植生帯

中国東部地域の潜在自然植生は北から南まで樹林帯に属している。しかしながら文明発祥の地であり、人口密度の極めて高いこの地域の低地にはほとんど自然林はない。特に1950年代の大躍進運動、1960~1970年代の文化大革命で森林は著しく破壊された(日経新聞, 1990. 12. 28)。

1) は *Larix* 属が優占する落葉性の針葉樹と *Picea* 属からなる常緑針葉樹林帯であるが、ここが中国で唯一、沙漠化の影響を受けていない植生帯である。

2) は針葉樹と広葉樹が混じる森林地帯で朝鮮半島北部まで広がっている。この地帯の東部地域には多くの自然林が残存しているが、西部地域は春播き小麦を主体とする畑作地帯で、森林はほとんどが植林地か防護林である。沙漠化土地も分布している。

3) はミズナラの仲間(*Quercus* 属)が優占し、それに *Acer* (カエデ)、*Tilia* (シナノキ)、*Ulmus* (ニレ) などを含む樹林である。この地帯にはほとんど自然林は存在せず、冬播き小麦を主体とする耕作地が広く分布してい

* 農業環境技術研究所、環境生物部保全植生研究室

* Vegetation Conservation Laboratory, National Institute of Agro-Environmental Sciences

[†] 本稿は1992年12月10日に行なわれた「つくばシンポジウム」での講演資料を書き改めたものである。

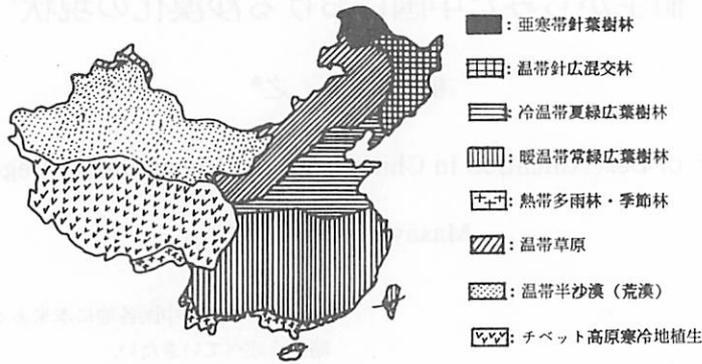


図1. 中国の植生分布の概要. (林, 1990 を一部改変)

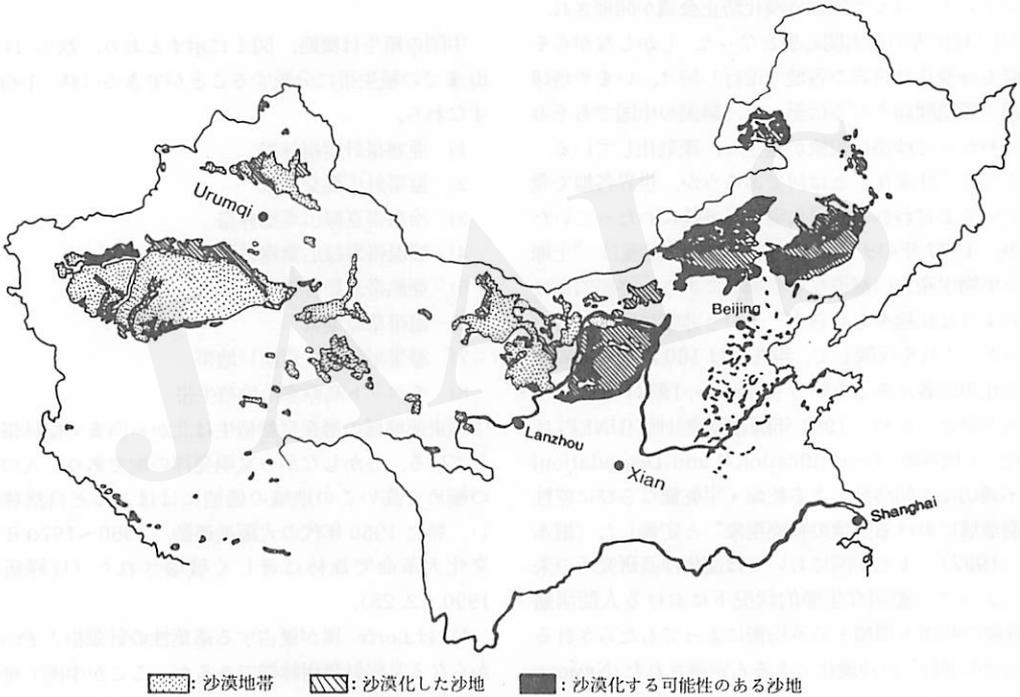


図2. 中国北部の沙漠および沙漠化土地の分布. (UNEP, 1992 を一部改変)

る。黄土高原東部地域や黄河の旧河川敷等は沙漠化の危険性が極めて高い。

4) の暖温帯常緑広葉樹林帯は中国全土の1/4を占め、シイ、カシ、クスノキの仲間が多い。山岳地帯には自然林も残存しているが、平野部は水田地帯となっている。乱伐の結果、著しい水土流失を引き起こし、沙漠化した山岳地帯が斑点状に分布している。

5) は雲南省、広西壮族自治区の南部をかすめ、海南省に分布する。僅かではあるが水土流失による沙漠化土地が分布する。

中国西部地域の6)~8)の地帯では降水量が少なく森

林は成立しない。そのため草原を利用した牧畜が農業の主体となっている。6)の温帯草原は乾燥が原因で樹木が成育できない半乾燥地である。草原地帯の東部域はBetula属の木の散生するAneurolepidiumやStipa等のイネ科草原となっている。一方、南部域ではStipa属とヨモギ属が多くなっている。中国ではこの地帯における沙漠化が最も深刻である。

7)の地帯は天山山脈を除けば、ほとんどが年間降水量200mm以下で、タクラマカン、パダインジャラン、グルバンチュンギョト等の沙漠が分布している。沙漠以外の場所は矮半灌木荒漠や灌木荒漠になっている。また沙

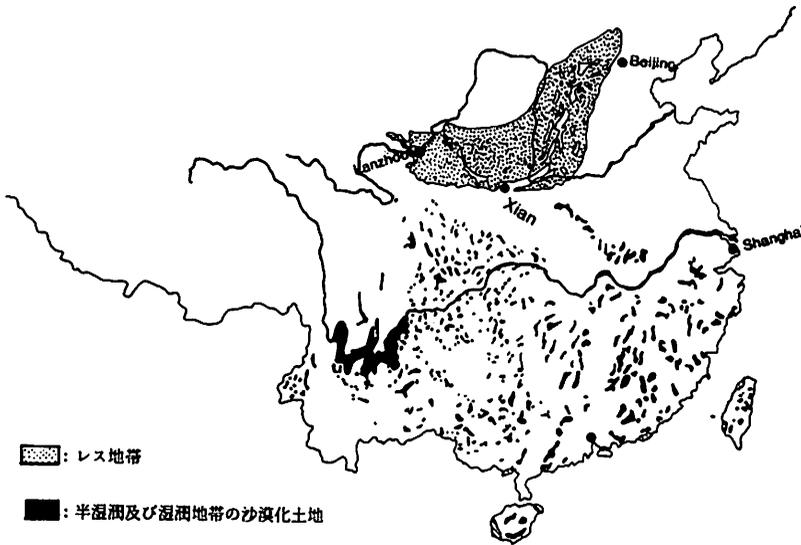


図3. 中国南部の主として水食に起因する沙漠化土地の分布。(UNEP, 1992 を一部改変)

漠の周辺部分には沙漠化土地も分布している。

8) は東から針葉樹林帯, 低木草原地帯, 高地寒冷草原および温暖性半沙漠の4つに区分できる。チベット高原は人口密度が低く, さほど沙漠化は進行していない。

3. 中国の沙漠化土地

中国の沙漠化した土地とその危険性をはらむ地域は, 沙漠化をもたらす自然的要因である風食あるいは水食のいずれが大きく関与しているかで2つの地帯に分けることができる (ZHU and WANG, 1993)。沙漠化が主に風食によって進行しているのは北部の温帯草原と温帯半沙漠地帯である。そこには約17万 km²の沙漠化土地が分布し, また潜在的沙漠化土地も16万 km²あり, 併せて33万 km²が沙漠化と係わりを持っている (図2)。

一方, 黄土高原と湿潤な南部の山岳地帯では主に水食によって沙漠化した地域が多い。前者では43万 km²が沙漠化したと言われている。後者は水土流失の結果, 表土が失われ植生の回復が困難となった土地を指すが, どこまでを沙漠化土地とするのか意見の分かれるところである (図3)。

1) 風食による沙漠化

東経105°以西の温帯半沙漠地帯では, 沙漠化した砂地が主として①上流域域での灌漑で干上がってしまった内陸川の下流域と, ②植生の破壊が, 固定していた砂丘の再活動を誘発したオアシスの周辺部に分布している。東経105°以东の草原地帯には中国北部で沙漠化した面

積の2/3が集中的に分布し, それらは景観的に次の3つのタイプに分けることができる。すなわち①砂地草原での過耕作に基づく沙漠化土地。このタイプの事例として内蒙古奈曼旗の沙漠化について後述する。②礫地と砂地での過放牧による沙漠化土地, および③固定していた第四紀砂丘地帯での過耕作, 過放牧および乱伐に伴う砂丘の再活動地帯である。

また風食によって沙漠化する危険性があると言われている土地は, 半乾燥地と半湿潤地域で畜産が広く行なわれている場所である。すなわち①半乾燥地の過放牧が懸念される牧区の井戸の周辺や, ②半湿潤地域の砂が吹きだまった場所, 例えば長江の中流域や海岸平原などである。

2) 水食による沙漠化

水食による沙漠化は図3に示したとおり, 主として黄土地域にある黄河の中流域, 中国北東部の丘陵地域および中国南西部の山岳地域である。これらの地域は景観的に4つのタイプに分けることができる。すなわち, ①半乾燥および半湿潤黄土高原における水食によって形成された尾根部と荒漠地, ②湿潤地の花崗岩とラテライトを母材とする場所で水土流失の結果できた荒漠景観, ③石灰岩地帯の山地帯で水食の結果生じた岩沙漠状景観, および④湿潤地で山地帯より流出してきた岩石の砕片が谷床に堆積した礫沙漠状景観である。

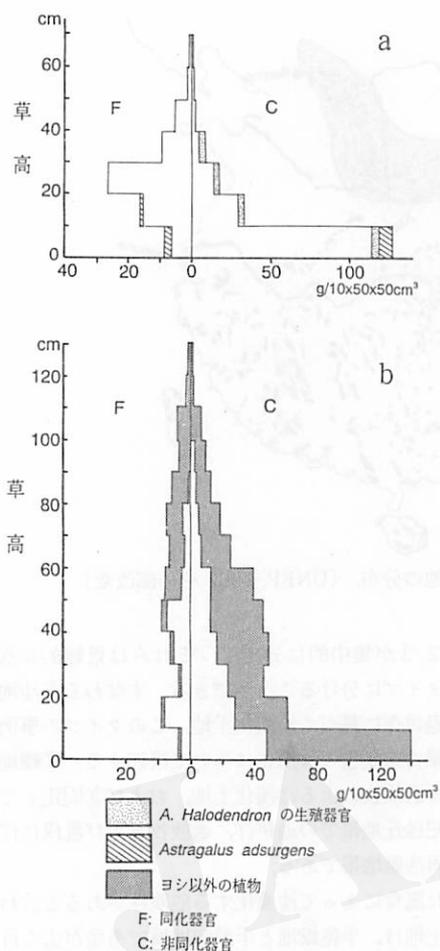


図4. 過放牧によって流動化しつつある砂丘の *Artemisia halodendron* (白ヌキの部分) を優占種とする群落 (a) および丘間低地のヨシ (白ヌキの部分) 群落 (b) の生産構造.

4. 沙漠化の現状, その事例

第3章では中国における沙漠化の概況についてその自然的要因別に述べてきた. 次に本章では, その現状について私達が, 科学技術庁の国際共同研究である「沙漠化機構の解明に関する研究」の一環として, 内蒙古自治区奈曼旗と浙江省常山でこれまで行なってきた調査・研究の結果をふまえて, もう少し具体的に述べてみたい.

1) 過放牧による沙漠化

内蒙古の奈曼旗には砂丘地帯と平坦な沙地草原が分布するが, 両者で沙漠化した土地が拡大している. 特に砂丘地帯が沙漠化すると特徴的な景観を示す (根本ほか, 1992).

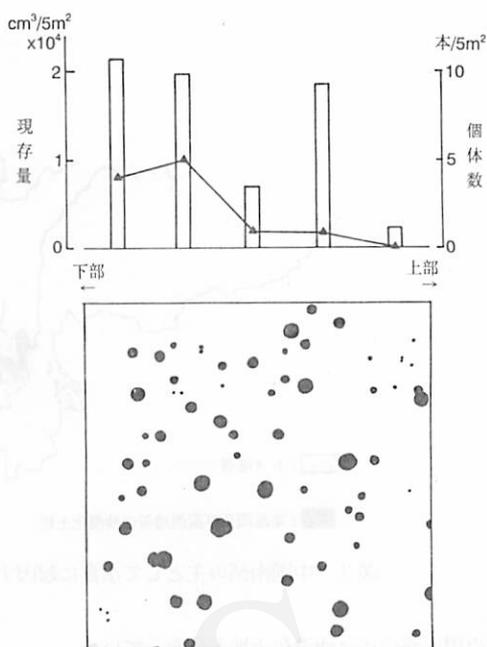


図5. 流動化しつつある砂丘の中間部分にみられた *Artemisia halodendron* バッチ内個体の分散図 (下図) と, そこに生育していた *Astragalus adsurgens* の現存量 (棒グラフ) および生殖器官を付けた個体数の推移 (上図). 上図の値は下図の各地点に対応する. 一辺の長さ 5 m の正方形ワク内の分散を示す.

奈曼旗は平均年降水量が 370 mm の半乾燥地帯で (原藪, 1992), 6月から8月に集中的に降雨がみられることと, 夏季は砂丘地の地下水位が高いため, 丘間低地には季節的な沼ができる. そこに分布する植生は, 家畜の影響がない場所でも砂丘の上と下では著しく異なっている. 上部は耐乾性のある多年生の *Artemisia halodendron* が優占, 中間部分にはイネ科の *Calamagrostis* や固定砂丘の指標植物である *Artemisia frigida* が優占, 下部の沼周辺部にはスゲ類が, 沼の中にはヨシやガマが優占している. しかし降水量の年変動が非常に大きいため (原藪, 1992), ヨシやガマの生育地点は必ずしも毎年滞水しているわけではない. ヨシは純群落を形成せず, トクサ類, ヤナギ類, *Setalia viridis* 等が混在している (図4, bのアミの部分).

上述した砂丘植生は, 家畜の放牧圧が高まると上部から次第に裸地化してくる. しかし下部は, 相当過放牧になっても家畜が喫食しないスゲ類やオオバコ類が残存する. 中間部分は図5に示すとおり, *A. halodendron* の株が散生するようになる. *A. halodendron* の葉は独特の臭気があるので家畜は喫食せず, この種が選択的に食い残

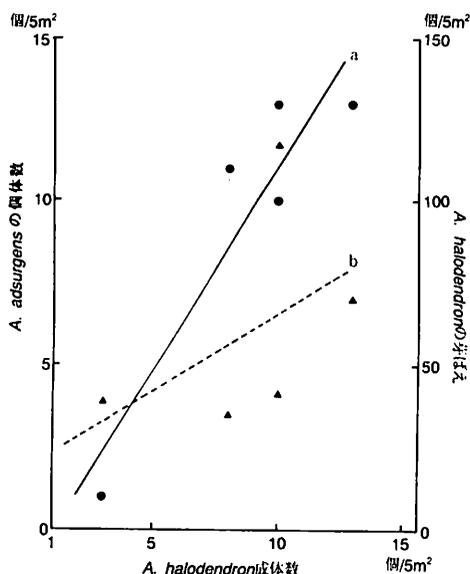


図6. *A. halodendron* の成体数と *A. adsurgens* の個体数 (a) および *A. halodendron* の芽ばえの数 (b) との関係

(a): $y = -0.12 + 1.13x$, $r = 0.92$

(b): $y = 23.56 + 4.19x$, $r = 0.45$

されるためである。もっとも冬季になると臭気がぬけるので、飼草がない場合はヤギやメン羊が喫食する。*A. halodendron* のパッチ状群落内では、上部が食われて矮小化したマメ科の *Astragalus adsurgens* がみられる。*A. adsurgens* の草高は通例 1 m 近くまで伸びるが、パッチ内では 20 cm 以下であった。*A. halodendron* の成体が多い地点ほど *A. adsurgens* の個体が多いが、*A. halodendron* の成体とその芽ばえの分布には必ずしも相関は認められなかった (図6)。群落内の *A. adsurgens* の現存量の推移を図5の上を示したが、*A. adsurgens* は土壌の水分条件がよくないと生育できないので、砂丘の上部に向かうほど開花するような大きな個体は減少する。

砂丘上部の裸地には、時に短命植物の沙米 (*Agriophyllum squarrosum*) が群落を形成する。沙米は根を地下深くまで伸ばすが、極めて細く、*T/R* 比が非常に大きい (Nemoto and Lu, 1992)。

奈曼旗では砂丘が裸地化し、流動砂丘となった場合でも沙米が群落を形成する場合がある。しかし、このような場所では、沙米の固砂能力が小さいために禁牧しても、植生の回復は困難であろう。一方、*A. halodendron* の株が散在していれば、その周辺部からの植生回復は可能であり、現地の農民は流動化した砂丘に積極的に *A. halodendron* を植栽している。

一方、砂地草原でも放牧圧が高まれば砂丘地同様、沙漠化が進展する。私達は日中共同の研究課題として、1992年5月より過放牧による沙漠化過程を定量的に把握するため、メン羊を供試した放牧試験を奈曼旗の砂地草原で開始した。1.5 ha 当たりのメン羊頭数をそれぞれ 0 頭 (対照区)、5 頭 (軽放牧区)、7 頭 (中放牧区)、10 頭 (重放牧区) とし、放牧頭数の違いが植生に及ぼす影響を解析している。約 3 カ月経過した 8 月下旬に調査を行なったが、この時点で重放牧区にはかなりの裸地が出現し、野草の草高と現存量が著しく減少した。草高はメン羊による喫食と、その踏みつけによって低くなる。また露出した砂の表面は踏みつけによって凹凸が目立ってくる。一方、メン羊の影響を排除した対照区の植生は回復に向かっていているが、本試験では一切、施肥管理を行っていないため、予想した程は回復していない。試験中の牧区で優占する草はイネ科の多年草である *Pennisetum* sp. や *Aristida* sp. と一年生草本の *Digitaria* sp. や *Setaria* sp. であった。イネ科草本はおしなべてメン羊の嗜好性がよいが、なかでも一年生イネ科草本を好んで喫食した。

砂丘地や砂地草原で放牧家畜の頭数が増加してくると、イネ科を主体とする飼草の再生が追いつかなくなり、上述したとおり、その植被率と現存量が低下してくる。一方、家畜の嗜好性に劣る *Artemisia* や *Allium* 属植物あるいは毒草である *Potentilla* sp. が増加してくる。さらに頭数が増加すれば嗜好性の悪い草種も消滅し、裸地化が促進される。このようにして、ほとんど裸地化した砂地は流動化しやすく、植生の回復が極めて困難な沙漠化土地となる。

2) 過耕作がもたらす沙漠化

奈曼旗を含むホルチン砂地では、誤った耕作によっても沙漠化土地が拡大している。しかし植生からみた詳しい調査はほとんどなされていない。そこで 1992 年度の日中共同研究の課題として、蘭州沙漠研究所奈曼沙漠化研究 station の近くにある漢族の集村である東北戸と堯勒甸子において、過耕作に係わる沙漠化の実体を明らかにするためのアンケート調査と植生調査を行なった。奈曼旗には清時代に遼東招民開墾令が出された頃より漢族が移民してきたという。

各村の耕作地は行政的に口糧田と責任田に分かれている。前者は農民各自が生きていくための食糧を生産するのに必要な耕作地である。中国の農民は自分の食いぶちは自ら生産しなければならないからである。後者の責任田は口糧田を確保してもなお土地に余裕のある場合、村が農民達に貸与する目的で作った耕作地であり、いくつ

かの等級に分かれている。

上述の2つの村では責任田を5階級に分け、1級地は80~100元/畝(ムー)/年で貸与している。1畝は約6.7aに相当する面積である。階級が低いほど借地料は安くなり、例えば5級地は30~50元/畝/年である。沙地草原は草原法によって開発が禁止されているはずだが、ここでは沙地草原を等外地として僅か10元/畝/年で貸与している。何年間も充分な施肥を行わず耕作して、等級の下がった責任田や初めから生産力の著しく低い沙地草原での耕作が、沙漠化の引き金になっているように思える。

私達はまず耕作地を1) 灌漑畑、2) 天水畑、3) 放棄直前の天水畑および4) 畑放棄地に分け、そこでの作物と雑草の生育状態を調査した。

土壌条件のよい場所は灌漑し、化成肥料と有機物を施用、除草を行なってトウモロコシを栽培し、比較的高収量を得ている。このような耕作地は集落の比較的近くに分布している。例えば堯勒甸子の灌漑畑では1畝当たり25kgの尿素と1,000kgの緑肥を施用、トウモロコシを4,000株/畝の密植で植栽し、5月上旬、6月上旬および8月下旬の3回の灌漑と年3回の除草で約500kg/畝の子実収量を得ている。灌漑畑ではトウモロコシのみならず春播小麦も作付する。この場合は麦を収穫後、ソバを栽培するのが通例である。

一方、土壌条件の悪い沙地草原などでは防風林を植栽することもなく、灌漑もせず、簡単に耕起して僅かばかりの化成肥料を施用し、コーリャン、キビ、ソバ、緑豆等を栽培、3~4年で放棄してしまう。例えば、5級地におけるキビと緑豆の収量はそれぞれ40kg/畝、25kg/畝と極めて少ない。このような畑でも通常除草するが、沙漠化防止の観点からはむしろ好ましくない。雑草は畑から持ち去ることなく、除草剤で枯死させ、作物も刈株を残すような農法にすれば、畑放棄後も地表面が露出にくいので表土の流亡はだいぶ防げるだろう。しかし現実には畝間をブラウによって除草している。そのため放棄畑の畝跡と畝間に発生した雑草量は、前者の平均が468g/m²であったのに対し、後者は僅か68g/m²に過ぎなかった。

耕作地における雑草発生量は同様に年3回除草した場合でも灌漑畑が多く、そこでトウモロコシを栽培した場合、侵入雑草の平均植被率は28.3%であった。一方生産力の低い天水畑のそれは水分条件が悪く、肥えていないためか、僅か5.7%であった。

放棄畑で土壌表面に何も生えていないと、過放牧地と同様、風食によって表土が飛散し、下層部の硬い層が露出してくる場合がある。1992年に放棄したばかりの場

所での雑草の平均植被率は38.1%であったが、表土が失われていない1990年に放棄した畑の平均植被率は79%まで回復していた。それに対し、硬い層が露出してしまった場合は僅か13.8%であった。畑放棄後時間がたつにつれ、マメ科の多年生草 *Lespedeza bicolor* や家畜の喫食しない *Xanthium mongolium* 等が優占してくる。一方、硬い層の場所ではハマビシなど生育型が障地拡大型の雑草が目立つようになる。

耕作とは直接関係ないが、甘草など薬草となる植物の掘り取りをしばしばみかける。これも植生破壊に寄与していると思われる。

3) 水土流出の結果としての沙漠化

上述した中国北東部の内蒙古自治区奈曼旗は半乾燥地であり、沙漠化土地拡大の主な自然的要因は春季の強風によるものである。一方、中国南部の湿潤地域に位置する浙江省常山県での沙漠化土地拡大は主として水土流失に起因するものである。1958年以降、大躍進運動のため製鉄用の燃料として松を盛んに伐採、また1966年に始まった文化大革命当時の乱伐、さらには農民による家庭用燃料としてのマキの取り過ぎと丘陵地の肥えた表土を採掘あるいは山野草を刈り取って自らの畑に投入したことなどが丘陵地の斜面における表土流失を加速し、沙漠化に拍車をかけたようである。

浙江省水利庁、特に浙江省常山県水土保持科学試験場の協力によって常山県を始め、浙江省で最も沙漠化の著しいと言われている金衢盆地、山岳地帯の天台および寧波において調査を行なうことができた。

常山の気候の特徴は大陸的で冬と夏が長く、春と秋は短い。年平均気温は17.4℃であるが、最高気温は40.5℃にもなり、逆に最低気温はマイナス9.2℃まで低下する。年平均降水量は1,725mmで、3月から7月の間にその62%を占める雨が降る。原植生は暖温帯常緑広葉樹林帯に属している。1992年現在、常山県の47%の土地が沙漠化となんらかの係わりを持っていると言われる。

沙漠化は一般的に農家近郊の裏山とも言うべき丘陵地帯で著しいが、現在そこでは積極的に緑化が行なわれている。マツ類や油茶(ツバキの仲間)の植林、カンキツ類、特にブタンなど雑カン、あるいはビワ等の果樹栽培が盛んである。奈曼旗と比較して農民の教育レベルは高く、沙漠化防止のためのモデル農村(生態村と称している)もある。常山県象湖村のモデル集落ではブタやカイコの糞を利用した家庭燃料用メタンガス発生装置を開発することで、マキの取り過ぎを防止している。また水土保持科学試験場においても、牧草や薬草あるいは野菜

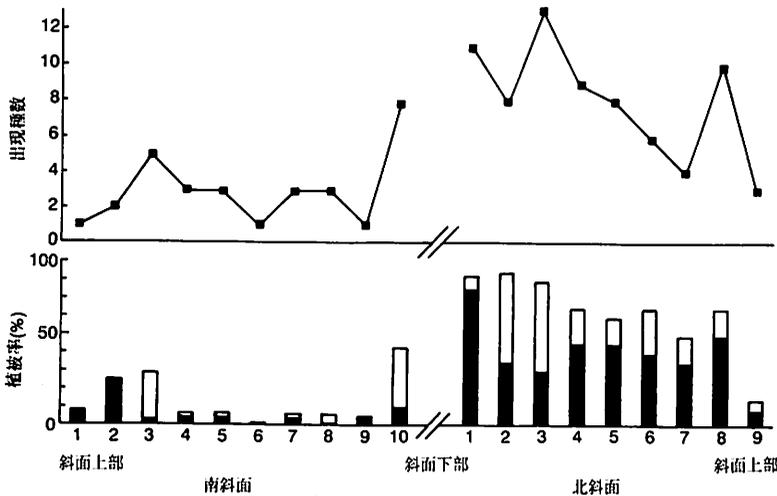


図7. 向かいあった南北両斜面に侵入した植物の植被率および出現種数の推移。
 南斜面の上部より5m間隔で1m²のコドラートを設定し、そこに出現した草種について調査した。棒グラフの黒部分は多年性イネ科草。

表1. 沙漠化をもたらす要因の地域的特徴。

	気 候	地質、地形、植生	人為とその程度	事 例
乾燥地帯 (西部地域)	年降水量100mm以下 風食	砂、礫、岩石 沙漠 耐乾性植物、 耐塩性植物	放牧>耕作(伐採)	タクラマカン沙漠周辺地域 (新疆ウイグル自治区)
半乾燥地帯 (東部地域)	年降水量350mm 風食	砂 沙地草原 中性~湿性植物 (耐塩性植物)	放牧=耕作>伐採	シリントロおよび奈曼旗 (内蒙古自治区)
半湿潤地帯 (東部地域)	年降水量600mm 風食、水食	砂 河川敷、旧河川敷 中性~湿性植物	耕作(伐採、放牧)	永定河の河川敷(北京近郊) 黄河の旧河川敷(禹城、夏津、山東省)
湿潤地帯 (東部地域)	年降水量1500mm 水食、集中豪雨	砂、礫、岩石 山地帯、紅色沙漠 中性植物	伐採>耕作	贛江の河川敷(南昌、江西省) 金衢盆地(浙江省)

を利用した草生栽培によるブントンの栽培に力を入れている。ここでは河川のドロを有機物として与えている。ブントンの缶ヅメ工場まででき、農家の現金収入の向上が試みられている。しかし時に相当の低温にみまわれ、1992年にはマイナス11℃になった日があった。当地では、耐寒性のあるカンキツ類を導入することによって生産の安定化を計る必要がある。

常山市近郊の常山江に面した試験場の周辺一帯は、1930年代まで原生林であったが、1950年代から沙漠化が進行したと言う。それでも現在は上述のような努力によって再び緑が回復してきた。しかしながら県レベルでみた場合は、沙漠化が防止されたととても言えない状態である。同じ様な方法で緑化したとしても、土壌母材や斜面の方位、傾斜角度によって植生回復の程度は著し

く異なるし、交通の不便な奥地ではまだ緑化事業がそれほど進んでいない。次に具体的な事例として、常山県獅子口郷における向かい合った南北斜面で行なった植生調査の結果について述べたい。

調査地は片石砂土を母材とする南斜面と北斜面で、傾斜角度はいずれも約35°である。1970年に油茶を植栽したが、特に南面での植生回復は困難を極めていた(図7)。南面、北面とも上部では油茶の生育が極めて悪かった。北面に侵入した雑草類の平均植被率は69%で比較的回復が認められたが、向かい側の南面は僅かに10.3%に過ぎなかった。侵入・定着した植物はほとんどが多年生であった。両面とも下部で侵入植物の種数と植被率が增大する傾向がうかがえた。斜面の全面にわたって、多年生のイネ科草(図7の黒棒で示した)が優占したが、

南面上部は僅かにこのイネ科草が生えるのみであった。北面や斜面下部は水分条件がよいためか、シダ植物の侵入も認められた。同じ獅子口郷でも母材が片石砂土ではない場所は土壤表面の動きが少なく、例えば一度植生の破壊された傾斜角度 50° の東北斜面の平均植被率は 90% 近くまで回復していた。

農村地帯とは異なり、文化大革命当時に森林の乱伐をまぬがれた天童寺や国清寺などの大寺院周辺には自然林がまだ残存している。この地域は今後、常山や天台などの植生回復の程度を判定するための対照区として、学術的にも極めて重要な森林である。

5. おわりに

筆者がこれまで中国で調査や研究を行ってきた沙漠化土地の気候や地質等の自然的背景と、沙漠化を加速している人為的要因の程度を表 1 にまとめてみた。広大な国土を有する中国では、沙漠化をもたらす要因が地域ごとに非常に異なっていることがわかる。

乾燥・半乾燥下では降水量が少ないから森林は成立せず、イネ科やキク科の乾性植物が優占する草原が多い。このような場所は放牧利用による長い歴史を持っているが、近年の人口増加は放牧家畜頭数の著しい増加をもたらした。その結果、過放牧になって沙地草原など脆弱な生態系から沙漠化が進行しつつある。また耕作に伴う灌漑水の誤った利用や草原法で禁止されているはずの草原での耕作などを契機とする沙漠化も見逃す訳にはいかない。乾燥・半乾燥地は、もともと植生の現存量が少ない場所だから、一度植生が壊され、風食などの影響を受け沙漠化してしまうと、植生回復は非常に困難である。

半湿潤・湿潤気候下では丘陵地や山地などの傾斜地における乱伐や誤った耕作が沙漠化の引き金となってい

る。ここでは裸地化が進むと水食に伴う土壌流失の結果、不毛の荒漠地(沙漠化土地)が出現する。また黄河や贛江など大河川やその旧河川敷には広大な範囲で砂が堆積しており、ここでの土地利用を誤ると沙漠同様の景観になってしまう。しかし湿潤気候下では、例えば片石砂土地帯のように、たえず表面が崩壊している場所を除けば、人為による緑化も比較的容易であると考えられる。

中国における沙漠化を防止するためには、さらに合理的な緑化技術を確立すると同時に、それを誘発し、加速することが懸念される現在の土地制度を改革することが(姜ほか, 1992)、人口抑制や農民の環境教育の質的向上と並び重要な社会的課題であると考えられる。

引用文献

- 原蘭芳信(1992): 中国の乾燥地の節水農業に見る微気象改良技術。「農業気象学会耕地気象改善研究部会講演文集」5: 1-12.
- 林一六(1990): 『植生学—自然地理学講座5』大明堂.
- 伊藤秀三(1976): 『生態の事典』沼田真編, 東京堂.
- 姜銘・武内和彦・根本正之(1993): 封建主義の土地制度と中国の沙漠化。「地理」38-1: 95-104.
- 根本正之(1991): 地球環境問題としての沙漠化。「高校通信・東書・生物」317: 1-5.
- 根本正之・魯曉雲・李勝功・姜銘・劉新民(1992): 内蒙古東部半乾燥地の砂丘植生におよぼす放牧の影響。「日草誌」38-1: 44-52.
- BARROW, C. J. (1991): *Land degradation*. Cambridge Univ. Press.
- NEMOTO, M. and LU, X. (1992): Ecological characteristics of *Agriophyllum squarrosum*, a pioneer annual on sand dunes in eastern Inner Mongolia, China. *Ecological Res.*, 7: 183-186.
- UNEP (1992): *World atlas of desertification*, Edward Arnold.
- ZHU, Z. and WANG, T. (1993): Trends of desertification and its rehabilitation in China. *Desertification Bull. UNEP*, 22: 27-30.

特集 第3回沙漠工学講演会講演要旨集

日本沙漠学会沙漠工学研究分科会*

概 要

本稿は、日本沙漠学会沙漠工学研究分科会主催で行われた第3回講演会の講演内容を、プログラム、質疑応答とともにまとめたものである。エネルギー、水、バイオ、気象の4つの研究グループを形成し、実質的活動を始めてからはや2年を経過した。年に1度の公の活動の場として行われる講演会であるが、今回についても第1回(1991, 沙漠研究 Vol. 1 に収録)、第2回(1992, 沙漠研究 Vol. 3 (1) に一部収録)に引続き、多くの方のご参加と活発なご議論をいただいたことに感謝申し上げます。本分科会コーディネーターである遠藤が中心となって行われた Engineering Foundation Conference on Desert Technology II (ハワイ, 1993. 12. 5~10)、バイオグループによる研究レポートおよびマングローブ体験ツアー、水グループを中心とした啓蒙書「沙漠物語」の刊行など、活動は広がりつつある。今後も益々活発な活動を展開する所存である。さらなるご支援をお願いしたい。(小島紀徳)

プログラム

1993年11月9日(火)、於理化学研究所(埼玉, 和光)
13:30~開会挨拶:(兼総合司会及総合討論司会)

沙漠工学研究分科会サブコーディネーター、

成蹊大学工学部 小島紀徳
(以下敬称略)

13:35~講演 I. 「日本でなぜ沙漠か」と沙漠工学の役割

筑波大学農林工学系 安部征雄
(司会: 日揮(株) 柴田節夫)

14:15~講演 II. 地下水脈の水の流れ
清水建設(株)技術研究所 井伊博行
(司会: (株)ウィジン 森 忠保)

14:55~沙漠工学研究分科会活動報告
沙漠工学研究分科会コーディネーター、

理化学研究所 遠藤 勲
15:15~講演 III. 耐塩性・耐旱性植物による沙漠緑化への挑戦

東京農業大学総合研究所 加藤 茂
(司会: 清水建設(株) 大塚義之)

15:55~講演 IV. 沙漠における風力エネルギーと風車
足利工業大学工学部 牛山 泉
(司会: (株)荏原製作所 結城邦之)

16:35~総合討論 全 員

Special Report

Proceedings of Third Symposium on Arid Land Technology

THE JAPANESE RESEARCH GROUP FOR ARID LAND TECHNOLOGY* (REAL Tech)

This symposium, held at The Institute of Physical and Chemical Research, Wako, Saitama, on November 9, 1993, was the third symposium of The Japanese Research Group for Arid Land Technology.

The first lecture was a general topic given by Prof. ABE on behalf of our group, concerning the driving force of our research on the desert technology. The second lecture was given by Mr. Ii representing the water research division of our group, on the estimation techniques of ground water flow using a water soluble isotope tracer. The third lecture was given by Prof. KATO representing the biological research division, on the afforestation with mangrove plants from sea shore. The last lecture was given by Prof. USHIYAMA, a guest of the energy and wind research divisions. The present article consists of the proceedings of the symposium including the questions, answers and discussions.

* 〒113 東京都文京区本駒込 2-28-8 理化学研究所駒込分所 日本沙漠学会内 Tel. 03-3947-7708

* c/o The Japanese Association for Arid Land Studies. The Institute of Physical and Chemical Research, 2-28-8 Honkomagome, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan.

I. 「日本でなぜ沙漠か」と沙漠工学の役割

安部 征雄*

I. "Why Desert in Japan"—Role of Desert Technology

Yukuo ABE*

1. はじめに——日本でなぜ沙漠か

日本に沙漠はない。本来の意味での沙漠化地域もない。

そんな日本で沙漠やその関連の問題に興味を持った人、実質的に係わりをしようとすると、直接関係ない問題に「なぜわざわざ」という素朴な問いが寄せられる。この問いの「なぜ」には否定的なニュアンスも強いようである。日本人の昔からの沙漠に対する情緒的な好感にもかかわらず、国内における不十分な諸課題への対応が優先されるべきではないかという牽制である。時代が大きな変革期を迎え、同時に国際化が急速に進展する中、沙漠とて永遠の命題のようにことさら「日本にない」を意識する対象ではなくなりつつあるのだからである。

沙漠問題を少しずつ理解するに従って、問題の幅広さ、深さ、複雑さ、困難さ、重要さを知ることになり、これらを解決していくために更により多くの人々の理解と参加と協力が不可欠であることが解る。そのための「日本でなぜ沙漠か」の納得できる解り易い論拠は必要である。一般への沙漠問題関与の必要性の普及によってより広範な世論が形成され、それが社会的、政治的な面にも影響力が及ぶように関心の輪を拡大していかなければならない。

日本沙漠学会は発足4年の若い学会である。沙漠工学も新しい研究分野である。したがって、長年沙漠を舞台に活躍されてきた幾多の先達に混じって、学会発足時に従来の専門分野の知見を携えて沙漠を対象として新たな活動の場を求めて入会してきた多くの人々もいる。その人々の個々の動機は沙漠へのロマンや夢、学術的な興味、平和的な国際貢献、環境問題としての沙漠緑化・沙漠化防止、技術力を生かした沙漠開発、純粋な経済的可能性などであるが、より広範な視点で沙漠工学としての沙漠問題関与の意義を検討し、整理しておくことは、一

般社会への普及の役割を持つ会員にとっても役立つことと考えられる。沙漠開発や沙漠化防止に対して最も実質的に働きかけをする沙漠工学分野より具体的な案を示し、普及を実践するのは適役である。本拙論はその検討を始めるに当たっての一助とするための私案である。

さらに、沙漠問題にこれから取り組もうとしている後継者のためにも、検討結果は有用となる。沙漠関連の研究や問題解決の実務には、資金の他に長期の時間と多数の人材が必要となる。現代の若者達に対して様々な評価があるが、環境関連の沙漠問題に対しては一般的には意識の高い若者が多いと感じられる。しかし、この拙論で沙漠工学の見解を整理しようと試みていようと同時に、彼らもこの問題の往く末を判断しかね、己の関与の是非を決断しかねているようである。沙漠問題の検討結果と問題解決のシナリオが彼らに影響を及ぼし得るならば、多くの優秀な若者達が夢をもって続いてくれると確信できる。

2. 沙漠と沙漠開発

「沙漠」と「沙漠化」という言葉の定義や表す意味、状況およびこれらへの人々の興味や問題点等は異なる。むしろこの二つは両極をなす事柄の方が多い。しかし、一般的には似たようなものと感じられ、区別されずに用いられていることもあるため、沙漠問題の本質的な理解と対応に誤解や混乱が見られるようである。

沙漠の多くは、赤道付近の熱帯多雨地帯を挟んだ南北二つの回帰線を中心とした中緯度高圧帯と呼ばれる乾燥地帯にベルト状に分布している。この乾燥地帯は、地球が自転し、太陽から受けたエネルギーが循環するために自然にこの緯度に形成されるものである。したがって、沙漠は地球上の一つの土地の存在形態として、有るべき所に有るべき姿であるといえる。その沙漠は極乾燥の世界であるので、植生はないか、有っても極めて少ない。

* 筑波大学農林工学系、〒305 茨城県つくば市天王台 Tel. 0298-53-4647

* Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan.

また、そこに住む人間もいないか少ない、人間が沙漠の自然の存在形態を知り、沙漠への無関心な関与を求めなければ、沙漠は人間にとって脅威となるべきものではない。

一方、不毛の沙漠に高度に管理された技術を駆使し、都市を建設し、工業を興し、農用地を拓くことは、現代技術の魔力を目の当たりに見、人類の可能性や進化した未来などを想像でき、ロマンを感じ、夢を膨らませられる大事業である。また、厳しい乾燥環境下における研究上の可能性や適合性の調査、実験、試験等も近未来に向けての実用化の期待が見られるので、夢の対象になれる。一般的な沙漠への好感はこの開発に向けられることが多いようである。特に、開発には技術の貢献が不可欠であるので、日本の様々な沙漠工学分野の知見や技術力やノウハウが発揮できる絶好の場として、克服すべき厳しい環境条件さえ含めて魅力に感じられるのかもしれない。

3. 沙漠化と沙漠化防止

沙漠化は、1977年、国連砂漠化防止会議で「土地の持つ生物生産力の減退ないし破壊であり、最終的には沙漠のような状態をもたらす」ものと定義された（UNITED NATIONS, 1977, 1-5）。沙漠でない所が沙漠になってしまうことが問題となる。まさに化けるほどの状況の変化が生じる。この定義はその後意味が曖昧で混乱を招いてきたとして、1990年には「沙漠化/土地荒廃とは、乾燥、半乾燥及び乾性半湿潤地域における不適当な人間活動に基づく荒廃現象」と定義直された（UNEP, 1991, 4-21）。人為的に作り出される現象との意味づけが明確にされた。

沙漠化の第一の問題点は現象の進行速度である。沙漠の成因が千年、万年以上の時間スケールの話であるのに対し、十年オーダまたはそれ以下の比較的短時間で状況が激変し、人為的インパクトが生態的な許容量を大きく超えていることを証明している。第二の問題点は、乾燥、半乾燥及び乾性半湿潤地域において起きる現象であるということ。それらの地域の生物生産性が喪失することである。これはまたその生産性に依存する世界人口の五分の一から六分の一の多くの人間の食料が奪われるという第三の問題点につながる。したがって、この問題には飢餓とかそれによる人間の生死も係わってくるので、状況の悪化を放置できない。

農用地における沙漠化防止と沙漠化後の復旧は様々な悪条件が重なる困難な仕事である。年6万平方キロメートルの割合で拡大する広大な対象に対して、比較的安価に

ならざるを得ない単価の技術で対応していかなければならない。既存の技術でも十分有用であり、緊急を要する状況であるので、可能なところから徐々に実行していくことが肝要である。もちろん技術革新による効果の飛躍的な成果は常に期待されるが、現状を考慮すると、その期待はむしろ沙漠化防止または普及の進展に対してマイナスに作用する面がある。長い年月を要し、巨費を投じて沙漠化を防止し、以前の生態的に安定した状況に復旧したとしても、その土地の役割は一般的には上がった訳ではない。あくまでもそれは回復であって、そのままでは生態的生産量以上のものを生み出せない。したがって、掛けられた巨額な経費はいわば持ち出しである。沙漠化対策がこれほど必要性が指摘されてもほとんど進行しない最も大きな理由がここにある。

4. 永続的な食料の確保

食料は人類が存続し、国家や民族が繁栄していくために最も基本的な必需品である。その重要さは世界の人口と食料生産量の増加関係の歴史的経緯が証明している。しかし、現在、世界の人口が幾何級数的に増加し続ける予測がなされ、一方、食料生産技術の向上が追いついていけない状況が憂慮されている。したがって、まず、人口増加に見合った生産量を確保するためには、飛躍的な技術革新か、従来の生産方式に対する発想の転換が必要であると考えられる。

乾燥地も乾性半湿潤地も降雨量によってほぼ決まる生物生産量は湿潤地と比較すると、一般的には低い。そこから限界以上の生産量を得るためには生物生産能力を高めるための人為が必要である。その人為の一つとして灌漑農業が挙げられる。世界の灌漑農業の割合は世界の農用地面積の5.3%に当たり、そこから世界の穀物生産量の三分の一を生産しており、土地生産性の高い技術である（ブラウン、1990）。乾燥地域の灌漑率は2.4%程度でまだ極めて低い。生産性の低い牧草地を中心とする乾燥地域の農用地を自然的利用体系から人為的に管理された利用体系へと変換していく方策が取られれば、食料増産の基盤は整備されていくことになる。経済的にも政策的にもさらに技術的にも克服すべき多くの問題を含むが、近未来の世界の食料の必需性といかに折り合わせるのか熟慮を要する問題である。

日本の立場から考えると、本来的には高い農業生産性を確保できる自然環境なり能力を持っているから、自国における生産量を上げ、食料自給率を引き上げるべきである。世界的な食料不足が国際関係の主要課題となる時代にあって、経済力の強さで世界の食料を買い集めると

という構図は永久に継続できるとは思えない。

しかし、様々な状況から現在のように、日本の必要食料の約半分は諸外国から輸入に頼るとしたら、少なくともそれらの生産農地は日本の農用地を守るくらいの決意で積極的に開拓、保全、改良等に協力すべきである。現在では、一般に生産条件の良好な近隣の湿潤地域諸国からの輸入割合が多いが、将来的に考えると、食料事情が悪化すればするほど、生産増の環境条件を整備するのがより困難な乾燥地域の方が条件面で有利になると予想される。ただし、それは日本が将来の食料の安定的確保のために、生産基盤を日本の資金、技術援助によって作り上げる投資を行なうという前提が必要であろう。それなりの犠牲を払い、相手諸国との緊密な信頼関係を確保し、ともどもに栄える戦略を共有してこそ道は開けるものと考えられる。

5. 国際貢献の形

多様化した価値観をもって激動する国際関係の中で、今、日本に求められている最も切羽詰まった課題は国際貢献策であろう。硬直した経済観念を超え、世界の中の日本人となる哲学をもって回答を用意しなければならない。世界の中の日本は最強の経済力を持つ国に仕立て上げられてしまった。多くの日本人がそのご利益を受けていようがなかろうが、世界は日本をそのように位置づけ、戦略として機能させようとしている節がある。この面ではわが国はもはや日本流のやり方だけで処することはできなくなった。経済支援という形の国際貢献は逃れられない。しからばそれは平和的な国際貢献の形で実行することが大多数の国民の望むところである。

国際貢献の場を、高度に進化した広範な技術体系を用い、学問的知識と人材を生かし、さらに経済力を支えとし、沙漠や沙漠化地域に求めるのは日本の特技と特質を生かした最も賢明な選択だと考えられる。特に、沙漠化問題においては、現文明の近代化が一つの終局的結果を露呈しようとしていると考えられるような今日において、多くの場所で原始文明の生活よりも悲惨な状況、人間の尊厳を傷つけるような状況が人為的活動によって作り出されていることに多くを感じなければならない。まさに今、この瞬間にも慢性的な飢餓、栄養失調による貴いはずの人命の喪失が、食料の強奪に端を発する部族間抗争や国際紛争が沙漠化地域の多くで頻発していることを愁えねばならない。それに対して、人類が新しい世紀を迎えるに当たって、何らかの問題解決の方向性を可能性を予測できるくらいにはなっておきたいものである。

肯定的な「日本でなぜ沙漠か」を問いかけたい相手は、

絶対多数の普通の日本人である。サイレント・マジョリティーと呼ばれ、意志を表現しない、主張しない大衆と見られていた日本のマジョリティーは、三、四十年ほどの世界や日本の様々な出来事を見、聞き、考え、そして在るべき姿を基準とした判定能力を持つようになった。そしてその判定は相対的な「まともさ＝ノーマルさ」を示すことが多いように感じられる。マジョリティーはサイレントからノーマルへと変貌した。日本のノーマル・マジョリティーは、日本がなぜ沙漠問題に取り組まなければならないかがデータをもって、論理的根拠に基づいて説明され、その実現のためのシナリオを形在るものとして示されれば、賛同し得る潜在能力を持ち合わせるようになっており、沙漠問題解決の最大の推進勢力になると期待される。

6. 経済効果の評価方法

仕事が経済的になり立ち得るか否かということは自由主義経済体制のもとでは最も基本的な要件で、沙漠問題に係わる企業などにとっては現実的に気になる問題である。しかし、経済性のみで全てを判断する硬直さは考え直さなければ、世界の中での自由な経済活動が認められない状況になった。経済活動の発想を転換してより将来性のある形を模索していくのに好機かも知れない。特に、沙漠問題は経済効率のみでは事業として成立しにくい。

まず、対応する問題の位置づけと問題解決のプロセス及び結果がもたらす影響を総合的に判定して最終的な経済効果として評価されなければならない。そのための手法もシステムもまだできていない。ここでは一般にいわれる乾燥地域の沙漠化を念頭において論を進めているが、沙漠化/土地荒廃は極めて明確な形で地球上に具現化する最終結末の姿である。したがって、この結末は熱帯雨林の崩壊、酸性雨による森林、湖、土地の死滅、オゾン層の破壊、地球温暖化の結果等、ほとんどの地球環境問題の結末に通じるのである。乾燥地域の沙漠化防止のみのためではない。

また、問題解決の過程及び結果において、沙漠開発や沙漠化防止事業は経済的な効果のみをもたらすものではない。それらが目的に沿って順調に進行すれば、政治の安定、他産業の発展、社会生活の充実とそれらより派生して考え、イメージ、感情などの抽象の世界へも多大な影響を及ぼすものである。したがって、それらの効果を幅広く深く並列的に加味し、経済効果に上乗せして総合的に評価すべきである。日本の現在の経済的優位性など歴史も底も浅いものである。つい10年ほど前までは

経済力が世界の上位といわれても、国民の多くはその実態を実感できなかったし、今も身につけてはいない。だが、世界の政治・経済戦略にはこの位置づけが好都合のようである。戦略であれば、必ずしも真実ではないという注意は必要である。そうすると経済力だけを振り回していつまでも浮かれている訳にはいかない。しばらくの後に訪れる総合評価の時代に備えて、自ら進んで在るべきものを目指すことが賢明であろう。

沙漠問題などの環境関連プロジェクトに対する経済性の収支は、目先の利潤を見越した投資という普通基準ではなく、特別に息の長い発想が必要である。少なくとも10年、普通には四半世紀、生態系の安定を考えると半世紀や百年のオーダーが必要であろう。事業を企画、実施した者がその結果を確認できないままにその生を終えるというケースも生じる。われわれの生きている間の世界ことではなしに、われわれの二代、三代後の子孫の時代を想定した発想ができればならない。

生きるに精一杯の国々ではそのような発想は実行に移す余裕はない。豊かさを必要以上に享受しすぎ、その状況を守ることが生き甲斐になっている先進的先進諸国は自国のために益々大変になって途上国のことなど本気にはなれないようである。国土の壊滅を経験し、飢えの感覚を記憶し、民主主義や自由主義経済下での復興と繁栄を實踐し、そして国際化の実態を目の当たりにしている日本人がまだ多く生存し、日本社会を主導的に動かしている間に、日本が先頭切ることが最も適役であると考えられる。

7. 灌漑技術の役割

沙漠工学において扱う最も重要な物質は水である。乾燥地域で水をいかに確保し、効率よく利用しきることが究極のテーマとなる。いくら節水しようとしても植物は必要最少限度の水がなければ、植物としての体をなせない。農業は成り立たない。沙漠都市が建設され、産業用の工場が大規模に作られても、そこに水がなければ、人が住み動植物が共存し都市や工場が機能するようにはならない。

灌漑技術は世界の食料生産に欠かせないものである。乾燥地にあっては、生産量の増産と安定化を図り、将来的にも人間の生活圏としての存在を継続させるために、灌漑技術は最も現実的で有効なものである。しかし、一方で不適切な灌漑がもたらす塩類集積や湿害にともなう沙漠化の進行の事例が報告されている。確かに現在の灌漑技術がそのシステムの巨大さ、複雑さ、対象地域の広さゆえの不完全さまたは乾燥地型に最適化されてな

い面を克服できていないことは事実である。しかし、だからといって、環境保全に対峙させて安直な論理によって灌漑農業そのものを否定するような風潮は明らかに的外れであり、問題である。

乾燥地域に灌漑水を導いてその周辺で農業を営むこと自体、生態的になんら問題となる方法ではないし、環境保全を楯に問題視されるべきものではない。乾燥地域を悠然と流れる外来河川とその沿岸やそれを起点とした水路を用いた乾燥地灌漑農業の例は今もして古代文明の時代からも至るところで見られる。その技術を食料確保の手段として乾燥地域の人々は生きてきた。今後においても、灌漑技術を用い沙漠開発や沙漠化防止及び復旧を進める事例は増えていかなざるを得ない。もし生態的に問題のある技術であるとするならば、問題のない技術にまで完成させることが沙漠工学に課せられた課題と考えねばならない。

さらに、肝に銘じなければならないことは、灌漑技術の使い方を誤ってはならないということである。そして既存の技術にしても新規に開発される技術にしても欠点は細心の注意を払って克服していかなければならないということである。灌漑技術は人類が存続していく限り持続可能な技術として長く役立たねばならない。大きな長所も極めて小さな短所の積み重ねで打ち消されてしまいかねないことを心すべきである。

8. おわりに——問題解決のシナリオを求めて

ここ数年、日本において地球環境問題への関心の急速な高まりの中で沙漠化防止問題がクローズアップされ、様々な対応がなされた。また、沙漠化の解決策の未来形として、経済的好調を背景とした華やかな沙漠開発計画が提案された。沙漠問題の存在が多くの人々の知るところとなり、その解決に対して日本が貢献できそうであるというそれなりの理解は得られたと考えられる。しかし、その間、沙漠を取り巻く社会的、政治的、経済的、国際的諸環境はかつてなかったスケールで変化しており、沙漠問題の本質に影響を及ぼす局面も生じている。問題の本格的な解決に向けての機運が状況の変化でそがれないように留意しなければならない。

このような情勢の中、本問題の解決における沙漠工学の欠くことのできない役割を再確認し、個々の分野の技術的、研究的成果を結集して沙漠開発と沙漠化防止の実現に向けてのシナリオを提示することは意義のある活動である。その影響は技術的、工学的面のみでなく、沙漠問題全般の解決を促進する形で及ぶものと考えられる。

引用文献

レスター・ブラウン (1990): 『地球白書 '90-'91』 ダイアモンド

社: 64-77.

UNEP (1990): *Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification.*

UNITED NATIONS (1977): *Desertification: Its causes and sequences.* Pergamon Press.

Key Words: Desert technology, Desert, Desertification, International cooperation, Irrigation

J A A L S

II. 地下水脈の水の流れ

井伊博行*

II. Ground Water Flow of Aquifer

Hiroyuki Ir*

1. はじめに

沙漠地帯の地下水開発としては、安易に地下水が利用されることが多い。それは河川の少ない沙漠地帯で唯一利用できる水は地下水だからである。しかし、過剰な地下水の汲み上げは周辺の地下水位を下げ、今まで利用されてきたオアシスや井戸の水涸れを生じさせる。また、海岸近くでは、海水の地下水への侵入が起こり、地下水の塩水化などの問題が発生することになる。そこで、適性な地下水利用量を把握するために、地下水の水の流れ（流量、速度、方向、年齢）を知る必要がある。様々な地下水の流れを調べる方法があるが、ここでは地下水の水質から地下水の流れを推定する方法について著者自身が携わったことを中心に紹介する。

地下水の水質から流れを推定する場合に様々な技術が応用されるが、ここでは①もともと地下水に溶けている成分やその同位体比から推定する方法（天然トレーサ試験）、②人工的に地下水に地下水の流れの目印となるトレーサを注入する方法（人工トレーサ試験）、③、①や②によって得られた水質の違いやトレーサの広がりを解析する方法（地下水流動解析技術）の3つについて紹介する。

2. 天然トレーサ試験

天然トレーサ試験は地下水や周辺の水を採水し、その中に溶けている成分を調べることで、地下水の流れを推定するものである。その特徴はトレーサが移動してきた時間が長いから、広範囲の情報が得られることである。

1) 溶存成分

地下水の溶存成分は地下水の起源や地下水と接している

岩石に影響される。そのため、溶存成分を調べることでより地下水が通ってきた過去の履歴を知ることができる。また、正確な履歴がわからなくても成分によって分類することで、同一起源の地下水かどうかを判定することができる。一般には陽イオン (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} など)、陰イオン (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- など) が利用される。採水と共に現地において、水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位 (ORP) などが測定される。

2) 同位体元素

(1) 地下水の起源の推定

地下水に溶けている同位体元素を用いる方法は地下水の起源、年代を測定するのに有用である。まず、最もよく利用されるのが水素と酸素の同位体である。水素の多くは陽子1つと電子1つからなっており、原子量は1と

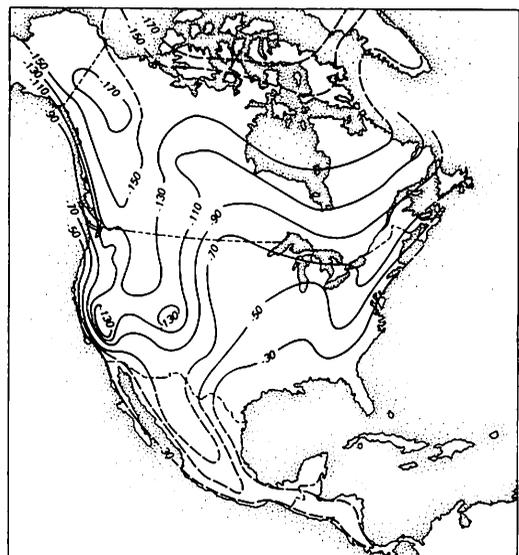


図2-1. 北アメリカの降水中の年平均水素同位体比 (δD)。

* 清水建設株式会社 技術研究所, 〒135 東京都江東区越中島 3-4-17 Tel. 03-3643-4311

* Research Institute, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-Ku, Tokyo, 135 Japan.

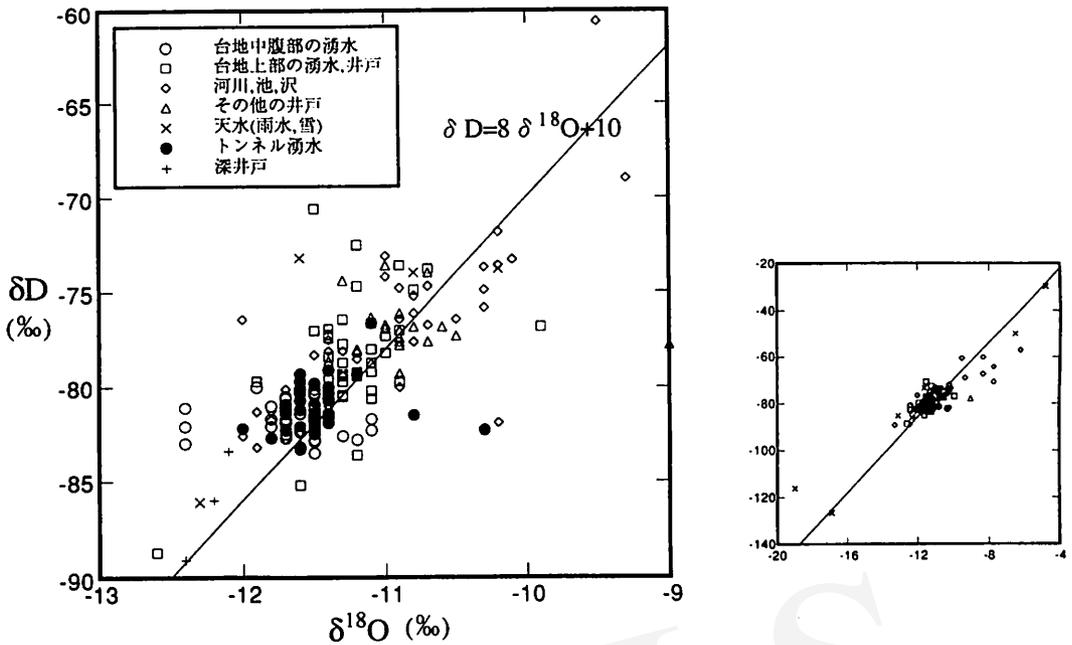


図2-2. 台地のδDとδ¹⁸Oの関係.

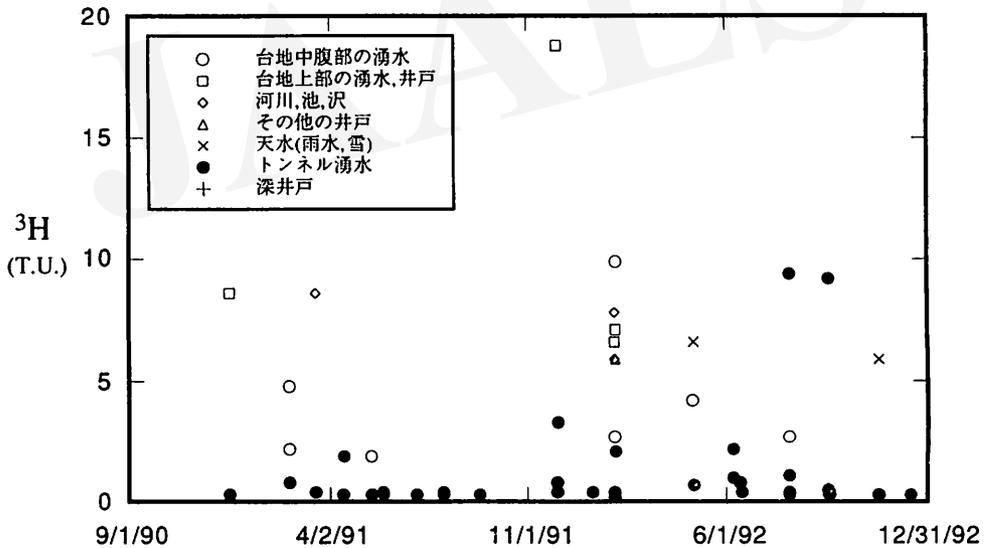


図2-3. 台地のトリチウム濃度変化.

なる。しかし、ごく僅かであるが、中性子を1つまたは2つ含む水素があり、原子量は2または3である。つまり、通常の水素(H)の重さの2倍または3倍のものもあり、それぞれ、重水素(²H, D)または3重水素(³H: トリチウム)と呼ばれている。同じように、酸素にも重さの異なる同位体元素である¹⁶Oと¹⁸Oが存在する。これらの重さが異なるが同じ元素であるものは同位体元素と呼ばれている。一般に重い方が蒸発しにくく、また、凝結

しやすいので、海水から水が蒸発して雲が形成される時に、海水には相対的に重い水素や酸素が集まり、雲の方には軽い水素や酸素が集まることになる。また、雲の中の水も重いものから雨水になりやすいので、地球的規模では、高緯度ほど軽い水が雨水や雪として降ることになる。これは経験的に降水時の温度と関係があるとされている。このように場所によって降る雨水の重さが異なることを利用して、地下水の起源が降水である場合、その

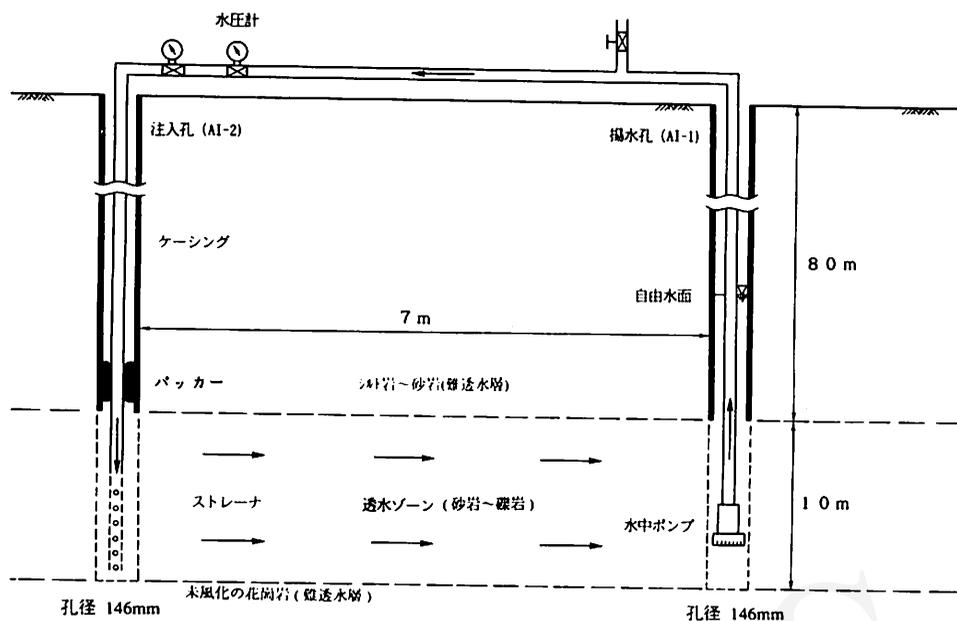


図 2-4. トレーサ試験概略図.

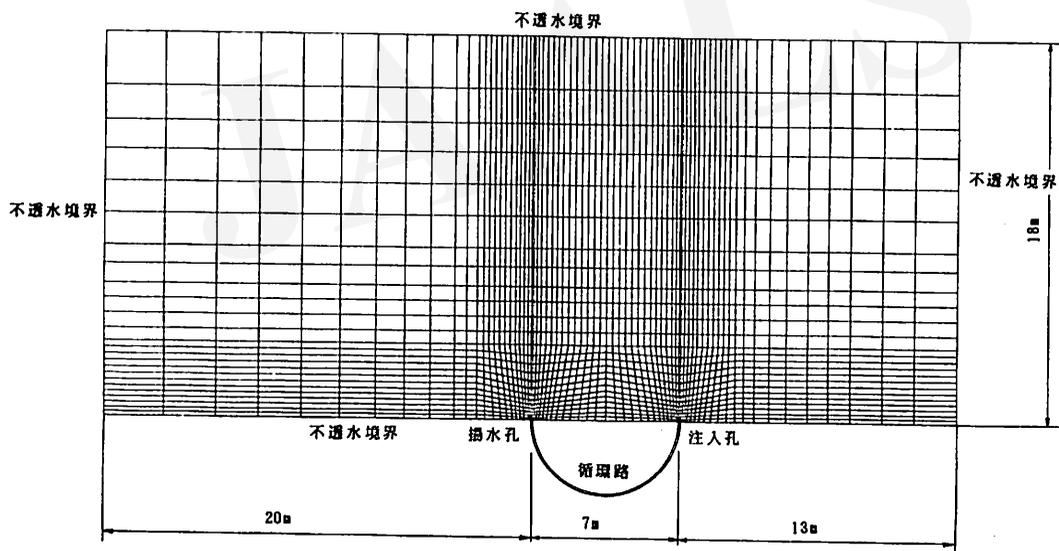


図 2-5. 解析モデル (平面図).

供給源となる地域の推定を行うことができる。図 2-1 は降水の年平均の水素の同位体比 δD (2H と H の比) の地域差を表わしたもので、数字が小さくなるほど軽い水であることを示している。この図から高緯度になるほどまたは、標高が高くなる (アメリカの西部の山脈地帯) ほど δ^2H は小さくなることがわかる (FRITZ and FONTES, 1983).

(2) 地下水の年齢

地下水が降水起源の場合、降ってからどの位の時間が

経ったかを知る方法がある。それは地下水に含まれるトリチウムや炭素 14 (^{14}C) の量を測定する方法である。トリチウムや炭素 14 は放射性元素で、その量はそれぞれ 12.43 年、5,730 年で最初の量の半分に減っていく。トリチウムや炭素 14 は一般に、大気中で宇宙線によって生じるため、地下では生成されない。そこで、降った当時の降水のトリチウムや炭素 14 (炭酸イオンとして存在する) の量と地下水のトリチウムや炭素 14 の量がわかれば、その変化量から降ってからの時間を計算するこ

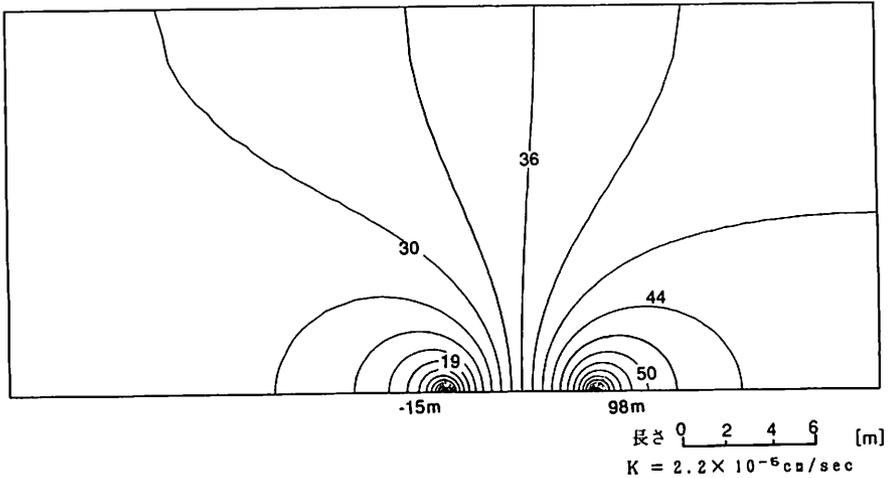


図2-6. 地下水位分布 (平面図).

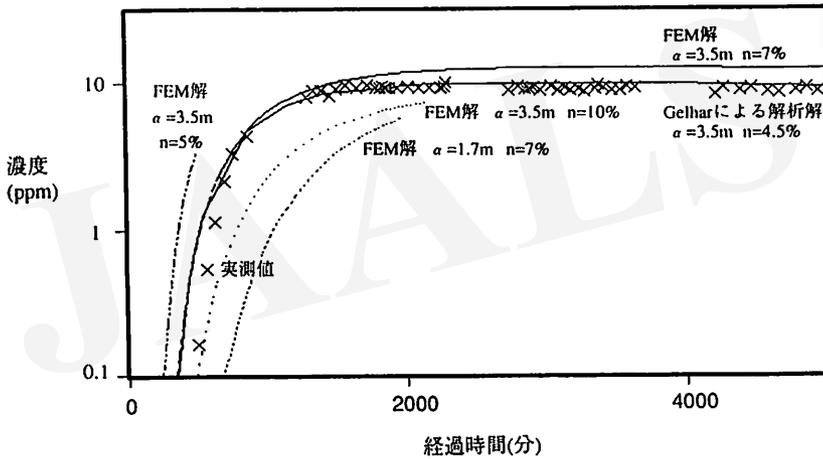


図2-7. 揚水孔の濃度変化と解析結果.

とができる。このようにして得られた地下水の年代としては、サウジアラビアの地下 382~1,214 m の水が 20,000~33,000 年という値が得られている。一方、日本のように降水量が多く、山から海までの距離が短い所では、地下水の移動速度は速く、黒部川扇状地の深層地下水で 2 年前後、南関東の深層地下水で 20 年前後という結果が得られている (権根, 1973)。

(3) 調査例

国内の台地地下水の水の流れについて紹介する。図2-2に δD と $\delta^{18}O$ の関係を示す。この地域の水はほぼ天水起源の水の δD と $\delta^{18}O$ の関係式 (IAEA, 1983) である $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$ の直線上にある。天水の δD は夏の降水の -30 から冬の雪の -120 (‰) まで変動し、この地域の水はその平均の -73~-83 (‰) 付近に集中している。これらのことから、採水した水はこの地域の降水起

源と考えられる。台地内部から採取したトンネル湧水は δD が -79~-83 (‰)、 $\delta^{18}O$ が -11.4~-11.7 (‰) の狭い範囲にある。この分布は台地中腹部にある湧水と一致する。台地上部にある湧水はトンネル湧水に比べて分布範囲が広いものの、 δD が -76~-80 (‰)、 $\delta^{18}O$ が -11.0~-11.4 (‰) に集中し、トンネル湧水よりも全体的に大きい。河川・池の水などの地表水もトンネル湧水に比べて、 δD と $\delta^{18}O$ は大きい。深井戸の水はトンネル湧水に比べて δD が -83~-89 (‰) と $\delta^{18}O$ が -12.0~-12.5 (‰) と小さい。このように地表水、台地上部にある湧水、台地中腹部にある湧水、トンネル湧水、深井戸へと地下深くなるほど δD と $\delta^{18}O$ が小さくなっている。

図2-3にこの台地のトリチウムの濃度を示す。トリチウムの量が多いほど地下水の年齢が若いので、トンネル

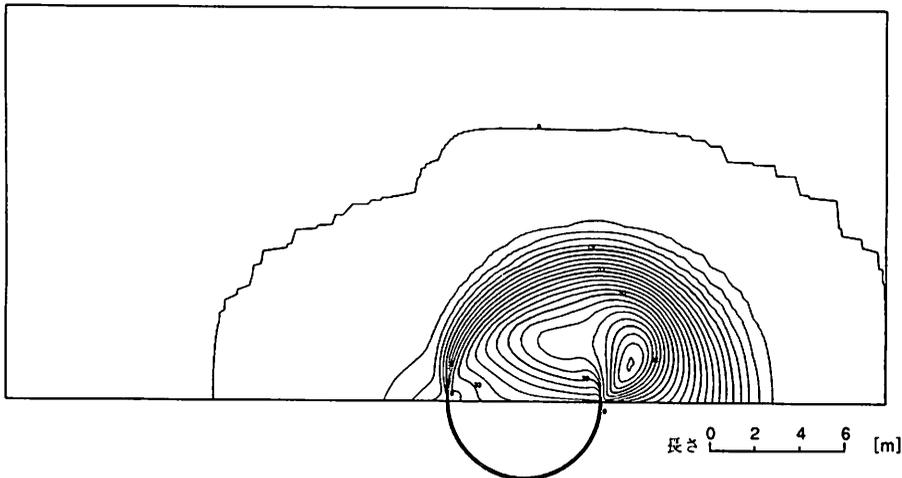


図 2-8. トレーサ注入後 100 時間後の濃度分布 (平面図).

表 2-1. 浸透流解析の条件

層 厚	10 m
透水係数	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ cm/sec
境界条件	不透水境界 (注入孔, 揚水孔を除く)
注入孔	流量境界: $3,900 \text{ cm}^3/\text{min}$ (1/2 の領域)
揚水孔	水頭境界: -15 m (自然水位と比較して)

注: 循環路は解析領域に含まれない.

湧水や深井戸ほど地下水の年齢が古いことになる. このように, 古い水ほど水素や酸素の同位体比は小さく (δD と $\delta^{18}O$ が小さくなっている) なることから, 現在よりも降水時の気温は低かったと推定される (井伊ほか, 1994).

3. 人工トレーサ試験及び解析

1) 人工トレーサ試験

人工トレーサ試験はもともと地下水に溶けていない物質を地下水に注入し, その広がり (濃度分布) から, 地下水の流れを推定する方法である. 地下水に注入したトレーサは希釈され, 流れがおそいので, トレーサの検出限界, 測定期間によって試験範囲が制限され, 一般に広範囲の試験は困難である. この試験は自然の流れそのものを調べると共に次の第 2) 節の解析によって地盤の定数を決めるのに使われる. 地盤の定数がわかれば, 様々な条件 (地形, 降水量, 構造物の形などを変えた場合) で地下水の流れを解析することができる. また, 地下水が塩類で汚染した時の移動を予測したりすることが可能である. トレーサとしては染料, イオン, 同位体元素

表 2-2. 物質移動解析の条件

初期濃度 (注入孔)	1,700 ppm (112.8 分間)
透水係数	2.2×10^{-5} cm/sec
流速分布	浸透流解析結果を利用
有効間隙率	最大 30%
分散長	0.014~7.0 m
層 厚	10 m
境界条件	不透水境界

注: 循環路は解析領域に含まれる. 循環路 (幅 10 cm) の流速は, $3,900 \text{ cm}^3/\text{min} \div (10 \text{ cm} \times 1,000 \text{ cm}) = 0.39 \text{ cm}/\text{min} = 0.0065 \text{ cm}/\text{sec}$

などが用いられる.

2) 解析

1) の試験による解析や将来の予測を行なうのに有用である. 解析上で重要なことは正確な地盤のデータを得ることである. この値を変えれば, 出力される結果も変わる. 様々な結果が出てくる可能性がある. それゆえ, 1) の結果を用いて正確な地盤の定数を得ることが必要である. 解析から得られた結果が他の試験結果と整合性がとれていることが重要である. ここでは, 地下水流れ (浸透流解析) と地下水中に溶けている物質の流れ (物質移動) の解析を解析例で紹介する. 浸透流解析は地下水が水位 (水圧) の高い所から低い所に流れる現象 (移流) をあらわしている. 物質移動の解析は, 移流の他に地下水に溶けている物質が分散 (流れと共に広がる) していく現象も加味されている. また, 場合によってはその物質が沈殿したり, 吸着したり, 放射性元素であれ

ば崩壊して消滅する現象もあらわすことができる。数学的に解く場合には、理論解法と数値解析法があり(地下水入門編集委員会, 1983), 解析例では複雑な条件に対応できる数値解析法の1種である有限要素法による浸透流と物質移動の解析結果を示す。

3) 人工トレーサ試験と有限要素法による解析例

国内における人工トレーサ試験による堆積岩の有効間隙率, 分散係数, 透水係数の解析例を示す。この試験は図2-4に示すように2本のボーリング孔を用い, 地下80~90 mの透水層の定数を求めるために行なわれた。上下の地層は対象となる地層に比べて透水性が低い。この透水層に対して吸着の少ない Br^- がトレーサとして選ばれ, その溶液を一方のボーリング孔(注入孔)から注入し, それをもう一方のボーリング孔(揚水孔)で採水し, トレーサの濃度変化から地盤の定数を解析した。解析試験期間中の流れを一定にするためと観測期間を短くするために水中ポンプで一定の流量の水を汲み上げて, それをもう一方のボーリング孔に注入し, 循環する流れを作った。ボーリング孔の水位が一定になった時にトレーサ溶液を注入し, 揚水側で採水を開始し, トレーサ濃度を測定した。

Key Words: Groundwater, Migration, Isotope, Chemical composition, Seepage

ここでは2次元の有限要素法による浸透流と物質移動解析の結果を示す。その時の解析モデルを図2-5に示す。また, 表2-1に示す条件から浸透流解析により図2-6の地下水位分布が求められる。さらに, 図2-7に示すトレーサ試験によって得られた揚水孔の濃度変化と合うような地盤の定数を解析によって求めた。次にその値を用いて, トレーサ注入後100時間後の濃度分布を図2-8に示した(井伊ほか, 1993)。このように解析によって地盤の定数を求め, それを用いて予測することができる。

参考文献

- 井伊博行・三沢伸也(1993): 松本トンネルの湧水とその周辺地下水の水質について。「地下水学会誌」36-1(印刷中)。
井伊博行・石川 泰・杉原弘造・壺田吉造(1993): 野外トレーサ試験による堆積岩の分散係数と有効間隙率の測定。「地下水学会誌」35-1: 23-36。
権根 勇(1973): 「水の循環」共立出版: 230p。
地下水入門編集委員会(1983): 『地下水入門』土質工学会: 210p。
FRITZ, P. and FONTES, J.Ch (1986): *Handbook of environmental isotope geo-chemistry*, 2. Elsevier.
IAEA (1983): *Isotope techniques in the hydrogeological assessment of potential sites for the disposal of high-level radioactive wastes*. Technical Reports Series, 228, IAEA, Vienna.

III. 耐塩性・耐旱性植物による沙漠緑化への挑戦

加藤 茂*

III. Challenge for Desert Rehabilitation through Sustained Halophytes and Drought Resistant Plants

Shigeru KATO*

1. まえがき

現在、地球上には通常の生物が棲息出来ないとされてきた様々な極限環境（高温、低温、乾燥、高圧、高温、強アルカリ、強酸、低酸素など）がある。また、一方では人為的にこれらの環境条件には至らないが、徐々にではあるが現在の環境に対して負のインパクトを確実に増加させている地域もある。例えば、大工業地域からの生産活動による熱、炭酸ガス、多量の工場廃水の排出、あるいは人口増加に伴う食糧生産の場での一方的な土壌からの土壌養分の収奪による土壌の肥沃度の低下や地下水の過剰利用による土壌の塩性化である。このようなバランスを失った環境の修復には、多大なエネルギーと資金を必要とするが、以前の完全な状態へと戻すことは不可能と考えられる。しかし、地球上のあらゆる極限環境下においてもその環境に適合した生物連鎖系が形成され様々な生物の活動が行なわれており、今まででは考えられない特異な機能を有する多様な生物の棲息が確認され、それら生物の持つ特性について研究が始められている。

それらの中で内陸部においても地表面に塩（特にNaCl）の分布する、あるいは地中から塩分が上昇し農耕に不適な塩類土壌地域に、また海岸線や湖沼（ラグーン：海水、汽水、淡水域を有す）に分布し生育する耐塩性植物の植物群（Halophytes）がある。これらの地域は、海水の定期的な侵入や汽水の停滞などにより農作物生産の場としての利用は極めて少なく放置されており、その開発と利用には多くの問題が潜在している。また、年間降雨量が極めて少ない乾燥地域（沙漠）においても強い乾燥にも耐え、灌漑によらないでも生態系を構築する耐旱性植物（Drought resistance plants）が分布生育している。

このような不毛地域にもかかわらず生育している植物の高塩濃度環境や強乾燥環境条件に適応するメカニズム

の特性を明らかにすることは、新たにこれらの未利用地域を食糧およびエネルギー生産の場として利用できる重要な示唆を得ることが可能である。そしてこれらの耐塩性植物や耐旱性植物の多くは、重要な遺伝資源であるが一部の植物を除いて殆ど利用されていないのが現状である。実際に農林業の分野における活用は現在のところマングローブ植物と僅かの限られた植物のみである。

2. 植物の塩害

塩害とは、主に作土中に存在する過剰な塩類に起因する作物の生育障害を指しているが、台風などにより塩分を含んだ雨によって海に近い農地では一時的に作物の葉面に被害を及ぼす場合がある。塩害の程度は、塩類の濃度のほかに塩の種類および作物の種類により異なる。この塩害発生については、いろいろな環境要因が重なって生じていることから多数の要因が示されているが主要なものとしては以下のようにまとめられる。それは、①土壌溶液中の塩類の浸透圧による植物の給水障害（Osmotic stress, 浸透圧ストレス）、②塩を構成しているイオン種の特異的な生理作用による過剰障害（Ion stress, イオンストレス）の2つに分けられる（高橋, 1991）。

①塩類の浸透圧ストレス：土壌の乾燥による水ストレスと似ていて、水ポテンシャルの低下の度合いでストレスの強さを表わすことができる。水ポテンシャルの低下は吸水を困難にし、細胞の膨圧を失わせることにより、気孔開度の低下、葉のしおれ、光合成産物の転流障害などを誘発する。枯死に至らない場合もあるが、その程度に応じて作物の生育を大きく低下させることになる。塩類の浸透圧ストレスは、根の周りの土壌空隙中の水分の毛管張力の増大に起因する水ストレスとは異なり、葉身の外でも塩類の濃縮が起こるために、葉身の受ける影響は

* 東京農業大学総合研究所, 〒156 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 Tel. 03-5477-2534

* NODAI Research Institute, Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo, 156 Japan.

表 3-1. 純マングローブ構成植物種.

科学分類名	科学分類名
Avicenniaceae (Verbeneaceae: クマツヅラ科)	<i>A. rotundifolia</i> Roubourgh
<i>Avicennia officinalis</i> L.	Rhizophoraceae (ヒルギ科)
<i>Av. marina</i> (Forsk.) Vierh.	<i>Rhizophora apiculata</i> BL.
<i>Av. alba</i> Blume	<i>R. mucronata</i> Lamk.
<i>Av. lanata</i> Ridley	<i>R. stylosa</i> Griff.
<i>Av. eucalyptifolia</i> Moldenke	<i>R. samoensis</i> (Hochr.) Salvoza
<i>Av. balanophora</i> Stapf and Leechman ex Moldenke	<i>R. lamarckii</i> Montr.
<i>Av. germinans</i> (L.) Stearn	<i>R. selala</i> (salvoza) Tomlinson
<i>Av. africana</i> Palisot de Beauvois	<i>R. mangle</i> L.
<i>Av. bicolor</i> Standley	<i>R. harrisonii</i> Leechman
<i>Av. schaueriana</i> Stapf and Leechman ex Moldenke	<i>R. racemosa</i> Mayer
Combretaceae (シクンシ科)	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.) Lamk.
<i>Laguncularia recemosa</i> (L.) Gaertn. f.	<i>B. sexangula</i> (Lour.) Poir.
<i>Lumnitzera littorea</i> (Jack) Voigt.	<i>B. exaristata</i> Ding Hou
<i>L. racemosa</i> Willd	<i>B. parviflora</i> Wight and Arnold ex Griffith
<i>L. rosea</i> (Gaud.) Presl.	<i>B. cylindrica</i> (L.) Bl.
<i>Terminalia catapa</i> L.	<i>B. hainessi</i> C. G. Rogers
<i>Conocarpus erectus</i> L.	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C. B. Robinson
Meliaceae (センダン科)	<i>C. decandra</i> (Griff.) Ding Hou
<i>Xylocarpus granatum</i> Konig.	<i>Kandelia candel</i> (L.) Druce
<i>X. mekongensis</i> Pierre	Rubiaceae (アカネ科)
<i>X. moluccensis</i> (Lamk.) Roem.	<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i> Gaertn. f.
Myrsinaceae (ヤブコウジ科)	<i>Rustia occidentalis</i> (Benth.) Hemsl.
<i>Aegiceras corniculatum</i> (L.) Blanco	Sonneratiaceae (ハマザクロ科)
<i>A. floridum</i> Roemer and Schultes	<i>Sonneratia caeolaris</i> (L.) Engler
<i>Ardisia elliptica</i> Thunberg	<i>S. alba</i> J. Smith
<i>Myrsine umbellulata</i> A. DC.	<i>S. apetala</i> Buch.-Ham.
Plumbaginaceae (イソマツ科)	<i>S. griffithii</i> Kurz
<i>Aegialitis annulata</i> R. Brown	<i>S. obata</i> Backer

合計: 50 種類

大きくなる。これには葉面からの蒸散量に影響する大気中の湿度、気温が関係している。

②塩類のイオンストレス: イオン固有の生理作用によるもので、塩類土壌に存在するカチオンで特に問題にされるのはナトリウム、マグネシウムである。特定のイオン濃度が高いと、他のイオンの吸収を抑える拮抗関係はイオン間で一般的に認められている。塩類土壌地域で問題となる高ナトリウムは、カリウム、マグネシウム、カルシウムの吸収を抑制低下させ、マグネシウムはカリウムとカルシウムの吸収を抑制低下させる。このために植物体内におけるイオンの均衡が崩れることにより生育障害が発現することになる。一般的に塩類土壌ではナトリウムのほかにマグネシウム、カルシウム濃度が高いことか

ら、イオン欠乏の問題にされるのはカリウムである。カリウムの選択吸収能の高い作物やカリ肥料の施用により、実際の圃場で作物に対して耐塩性を高める効果の存在が報告されている。細胞質中のイオン濃度がある範囲を超えると代謝の異常が生じるが、その濃度限界がどれ位かまた、植物の種類や耐塩性能力の相違によって異なるかは現在まだ十分に明らかにはされていない。

3. 植物の耐塩性機構

河口域の塩性沼沢地、塩沙漠、海水の侵入する低湿地のような塩類濃度の高い環境に自生している植物の種類は、限られている。これらいわゆる塩生植物は、一般植物にはない強い耐塩性を備えている。アリゾナ大学の

JAMES ARONSON は、117 科の塩生植物をデータベース化している (ARONSON, 1989)。典型的な塩生植物としては、熱帯・亜熱帯の感潮河川或に分布しているヒルギ科やクマツヅラ科を代表とするマングローブが、塩田跡地に生育しているアッケシソウ (サンゴ草) が、また沙漠の塩生植物としてその代表にアカザ科の植物がある。

このような塩生植物の耐塩性機構を明らかにすることは、未利用土地や塩害による放棄農耕地の再利用の道を開くものと考えられる。しかし、植物の示す耐塩性の機構は複雑である。植物の塩に対する対応には、大きく分けると①生態的なもの、②形態的なもの、③生理的なものの3つのことが考えられている。

1) 生態的な対応機構

塩に対する植物の感受性の程度は、生育期により大きく異なる。一般には、発芽期が最も塩類ストレスに対して敏感であるとされている。それらの中で、熱帯や亜熱帯の海水の出入りする海岸や河口域の潮間帯に分布するマングローブ植物は、生育している環境条件にうまく適応している。ヒルギ科に属する種類の多くは、樹上で種実を成熟 (胎生種子) させた上で更に担根体 (Rhizophore) といわれる根を十分に成長させた後に母樹から離れ落下しその地に発根をして活着する。あるいは散布体として海流に乗り、他の場所に移動してその地に根付きマングローブ林域の拡張と世代交代を行なっている。マングローブ植物は、アメリカではマングローブ植物が陸からだんだんと海に向かい進むことから“歩く木 Walking Plant”と称されている。純マングローブ種について、表 3-1 に示す (加藤ほか, 1993)。

2) 形態的な対応機構

植物体内へ多量の塩分 (NaCl など) が取り込まれた場合、塩類を隔離したり排出する植物がある。耐塩性植物であるハマアカザ類では、葉の表面には塩毛 (Salt hair) と呼ばれる毛が密生していてここに塩分を貯蔵する。そしてこの塩毛は、風などにより物理的に取りだされ植物体に取り込まれた過剰の塩分は植物体から分離される。塩毛は、このように落下と新生を繰り返している (内山, 1990)。また、マングローブ植物の一種であるヒルギダマシ (*Avicennia marina*) は、葉表面に塩類腺 (Salt gland) を備えている。このヒルギダマシ種子を各種塩 (NaCl) 濃度を設定し栽培を行ない、一定時間内に排出される塩について検討した結果、栽培液中の塩濃度の上昇と共に一定時間内に排出する塩は増加した。このヒルギダマシは、吸収した他のイオン類の排出は殆ど認められないことから過剰吸収した塩 (NaCl) を積極的に

は塩類腺から排出している (加藤, 1987)。

植物体は葉身、柄、茎、根から構成されているが、塩類のストレスを最も受け易い器官は光合成を行なう葉身である。植物の種類にもよるが、過剰に塩類を取り込んでも比較的生育に影響の少ない部位に移行蓄積するものが多い。葉柄や根や茎で塩分蓄積濃度が比較的高くなるが、葉身の塩分濃度を低く抑えている植物や、光合成に関与していない部分に塩分の分布割合を高くする植物ほど塩に対する耐性は高い傾向が認められている。植物には高塩濃度環境下で生育すると、乾燥環境下で生育した場合と同じように、葉の小形化、葉数や単位葉面積あたりの気孔数の減少、葉が肥厚するなど蒸散量を低下させることにより塩類の吸収を抑制する対応をしている。

3) 生理的な対応機構

植物が高塩環境下で生育するためには、過剰の塩分の排除を植物体のどこかで行なうこと、外界の塩分による高浸透圧に対して細胞の膨圧を維持するために細胞内部に高浸透圧を作り出す必要がある。

〈塩分の排除〉

植物が高塩濃度 (ナトリウム) の存在下で生育する時には、細胞質のナトリウム濃度が上昇しないような機構が必要である。そのために植物が持っている機構には、現在のところ次の3つが考えられている。

- ㊶根の部分でナトリウムの吸収を抑制する。
- ㊷根が吸収したナトリウムを再び根から排出するか、地上部の特定の組織 (塩類腺など) から排出する。
- ㊸根が吸収したナトリウムを細胞の液胞中に隔離貯蔵する。

〈浸透圧の作出〉

外液の高い浸透圧に対して細胞の膨圧を維持するには、これよりも高い浸透圧を細胞内の細胞質と液胞中に作出しなければ細胞は生きることができない。植物種によりその浸透圧作出物質は異なる。ナトリウムの排除をする広塩性植物であるヨシは、細胞質中ではカリウムとショ糖により、液胞中ではカリウム塩を利用していると推定されている。

ナトリウム集積型のホソバノハマカザ類やその他の耐塩性植物は、取り込んだナトリウムの大部分を細胞体積の90%以上を占める液胞中に集中蓄積し、塩素や有機酸類と共に浸透圧を作り出している。また、細胞質内では、ペタインがこの役割を果たしている。ナトリウム集積型のホソバノハマカザ類のひとつには、植物体内に吸収されたナトリウムは液胞膜にあるナトリウムポンプで汲み入れ、液胞内に封じ込めると共に高い浸透圧を作り出すのに利用している。250 ミリモルの塩化ナトリウム

表 3-2. 中東地域の代表的な耐旱性植物.

Scientific name		
Highly tolerant	Moderately tolerant	Some tolerant
<i>Acacia faenesiana</i>	<i>Albizia lebbek</i>	<i>Ceiba pentanda</i>
<i>A. melifera</i>	<i>A. procera</i>	<i>Combretum aculeatum</i>
<i>A. nilotica</i>	<i>Cassia auriculata</i>	<i>Dendocalamus stricus</i>
<i>A. senegal</i>	<i>C. siamea</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
<i>Conocarpus lancifolius</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>E. gomphocephala</i>
	<i>Dalbergia sissco</i>	<i>E. microcorys</i>
	<i>Dicrostachys microtheca</i>	<i>E. tereticornis</i>
	<i>Eucalyptus. E. Tereticornis</i> (hybrid)	<i>Khaya senegalensis</i>
		<i>Leucaena glauca</i>
		<i>Pongamia pinnata</i>
		<i>Populus euramericana</i>
		<i>Stereospermum kunthianum</i>

を含む培養液で生育させたホソバノハマアカザの葉から調整したプロトプラストと、その中から抽出した液胞の溶質組成を分析すると、プロトプラスト中には外液の2倍以上のナトリウムを含んでいるが、ナトリウムの殆どが液胞内に存在していることが明らかである。この液胞内のナトリウムイオンに対する陰イオンとしては、塩素イオンとシュウ酸イオンである。一方、細胞質中の溶質の濃度について正確には把握されていないが、シュウ酸の存在は現在までのところ確認はされていない。また、ナトリウムの分布も細胞質中では低濃度あるいは無いものと推察されている。また、ショ糖とベタインについては液胞内に見出されないことから、細胞質中に分布しているものと考えられている。

耐塩性植物においても細胞質内に高濃度のナトリウムが存在することは一般の植物と同じように様々な点で植物体にとって負のインパクトであることから、細胞質中では高濃度に存在しても代謝障害を起こさない有機質で浸透圧を作出し、一方、液胞ではナトリウムと塩素とシュウ酸イオンにより浸透圧を作出する2ステップで対応している。このような機構は、多くの耐塩性植物に共通なものとされていることから、植物の耐塩性のしくみは、次のように要約できる。

- ①根にナトリウムの流入を抑制するシステムがある。
- ②流入したナトリウムを根、茎、葉柄の部分に蓄積し葉身への移送を抑制する。
- ③地上部へ移動したナトリウムを根へ再転流し、排出する。
- ④葉身に送られてきたナトリウムを表皮細胞から分化した塩毛に貯蔵し、十分に蓄積後塩毛組織の崩壊により植物体から捨て去り、新しく分化してきた塩毛

内にナトリウムの収納・蓄積・廃棄を繰り返す。

- ⑤葉面に塩類腺という特殊な組織を分化発達させ、光合成のエネルギーを用いて根から移送されてきたナトリウムを植物体外へ分泌・排出する。
- ⑥葉肉細胞の巨大な液胞の中にナトリウムを貯蔵し、重要な生理作用を営む細胞質から隔離するとともに細胞の膨圧を作出するのに利用する(葉は厚くなる)。
- ⑦細胞質には、生理作用に対して障害とならないカリウム、ショ糖、アミノ酸類の濃度を上昇させて浸透圧を作出する。

また、植物の多くは、高塩類濃度の環境下において生育すると乾燥環境下での生育と同じように葉数や葉面積の減少が見られる。更には、単位面積あたりの気孔数の減少や葉の多肉化(葉厚の増大)などの形態的变化も伴う場合が多く見られる。これらの結果、葉面からの蒸散量は大きく減少して根からの塩類の吸収を抑制することになる。

4. 植物の耐旱性と旱害

陸上植物は一般に多量の水を消費しているが、自然環境は恒常的に植物の生育に必要な量の水を供給するとは限らない。陸上植物は、それぞれ水不足に対応するための機構を備えているが植物種によりその能力は大きく異なる。乾燥・半乾燥地域に分布する植物は、長い時間をかけてその過酷な環境に適応する種のみが選抜淘汰され生存を続けてきた植物群である。沙漠および乾燥地域に分布する植物および作物についての重要性については、すでに詳しく報告されている(KANEKO, 1992)。その一

部について表 3-2 に示す。沙漠地域のような過小な降水量、土壌の保水性の不良、過剰な蒸散を引き起こす高温などにより植物は水不足すなわち水ストレスの危険に曝されている。植物の受ける水ストレスには、水分張力ストレスと浸透圧ストレス（塩害）の 2 つがある。このうち水分張力ストレスは、植物の旱害の問題を引き起こす。

1) 植物の耐旱性の機構

植物が水不足に対応する方法として、1 つは植物体内に致命的な水分ストレスをもたらさないようにする方法（見かけの耐旱性）と他の 1 つは植物体内に生じてしまった水ストレスに耐える方法（真の耐旱性）の 2 つである。

①見かけの耐旱性

植物の対応の仕方には、①根からの給水能を高める、②地上部の保水能を高くする、③生長をとめ、乾燥期間を過ごす、の 3 つが考えられている。

①根からの給水能：排水の良い土壌では、降水後 1 日くらいで重力水は排除され、圃場含水量の状態になる。この時点で土壌孔隙中の水のフィルムは互いに連絡して毛管水になっているが、孔隙中の水が根により吸収されるとその部分の水分張力が高くなり、それに引かれて周囲の毛管水は根に向かい移動し次々に吸収される。しかし、萎凋点に近づくにつれて孔隙中の毛管水の張力が高くなり根に徐々に吸収されにくくなるにつれ、孔隙中に毛管水が孤立するようになり根から離れた孔隙中にある水は吸収されなくなる。このようなことから土壌中の根の分布の良否が植物の耐旱性の決め手となるが、作物の種類や品種あるいは栽培管理により耐旱性の差異となり発現される。

②地上部の保水能：植物体の地上部の蒸散を少なくすることも耐旱性にとり重要である。地上部の葉身は、炭酸同化と共に蒸散も活発に行なう機関であることから、蒸散量を少なくするために植物は葉身を小さくしたり、葉表面をロウ質でおおったり、気孔の開閉を敏感にする (BLACK *et al.*, 1976)。沙漠や高原地域に分布している代表的なサボテン（乾性植物）は、葉表面は厚いロウ質で覆われ、葉は針のような形態をして蒸散による植物体内水の損失を最小限にしている。水不足の環境下で生育している多肉食物は、昼間は気孔を閉じ、夜間気孔を開いて炭酸ガスを取り込み呼吸基質を消費してカルビン・ベンソン経路を経て糖まで合成するが、乾物生産の効率は低い。植物ホルモンの一種であるアブシジン酸は気孔を閉じる作用があり、耐旱性のすぐれている植物はこのアブシジン酸の分布濃度が高い傾向があるといわれてい

る。また、耐旱性に関係する化学物質としては、水ストレスを受けた植物体内には集積しても無害で浸透圧を高める作用のあるプロリンが集積することが報告されている。そして同じ種でも耐旱性のすぐれている品種はそのプロリンの分布濃度が高いことが知られている。

③生長をとめ、乾燥期の回避能：植物は少量の水を最大限に利用するために、乾季には地上部を枯らして種子、球根、根茎などで回避する。降雨とともに生長を初め、もとの乾燥期に戻るまでの短い期間に開花から結実までを終え、また次の雨期を待つ生育リズムを繰り返す。

②植物の持つ真の耐旱性

植物の細胞の原形質が脱水の条件に耐えて細胞の持つ機能を保持する場合である。多くの高等植物では、種子、花粉、地下茎などにより特定の生育時期や特定の期間には脱水の条件に耐える機能を備えている。

2) 水分張力ストレスの植物の生育に及ぼす影響

水分張力ストレスの植物への程度を測定する方法としては、根圏土壌の水分張力を測定する方法と植物の葉内水分ポテンシャルを計測する方法がある。土壌水分張力の計測は、生育環境の水分状態の変化と植物の生育との関係を観測するには好適であるが植物体内の水分状態を示していない。このことから植物体内に生じた水ストレスと生理的変化の直接的な関係を把握するには、葉内水分ポテンシャルの計測が必要となる。

①生育に及ぼす影響：水ストレスの植物に対する影響は、植物の表面組織と深い関係が見られる。組織表面にワックスに富むネギ類や表皮がクチクラ層で覆われているアロエ類では、他の植物に比較して水ストレスの影響は余り顕著には現われない。耐旱性の強い植物は生長が遅く、水ストレスの下では生長を停止し、代謝を極力低下させて対応していることが推察される。

②窒素代謝に及ぼす影響：水ストレスにより窒素含有率が増加する。土壌水分を植物の萎凋点に近付けると作物中の硝酸態窒素濃度が高まるが、灌水するとこの硝酸態窒素濃度は減少する。水ストレスによる飼料作物における硝酸態窒素の蓄積は、家畜に硝酸中毒を誘引する危険性があり、飼料生産量の低下ばかりでなく品質の安全性からも問題となる。水ストレスによる窒素代謝によりプロリンの集積が見られるが、この集積が作物の環境に対する適応的あるいは崩壊的か議論が分かれる点であるが適応的であれば耐旱性に関連するが、後者ならば旱害である。

5. 耐塩性・耐旱性植物の農業利用

従来から栽培されている主要作物に対して耐塩性・耐旱性を付与すること、耐塩性・耐旱性を既に備えている塩生植物および耐旱性植物の活用あるいは改良を重ねて作物化を図ることである。

作物種によりその塩に対する耐塩性・耐旱性には、強弱の差が大きい。作物種にもよるが、その程度の差は約10倍くらいあるとされる。土壌の塩類化や土壌水分張力の低下があまり進んでいない場合には、比較的耐塩性・耐旱性の強い作物種を選択することによって栽培が可能である。同種の作物においても品種間で耐塩性・耐旱性の違いが見られることから、耐塩性・耐旱性の強い品種を選択し栽培を行なう。実際の塩類土壌はいろいろなタイプがあり、塩類濃度 (NaCl) が高いだけでなく他の元素の過剰あるいは逆に欠乏している土壌、高い pH、酸性硫酸塩土壌の場合には、鉄、アルミニウムの過剰やリン酸の欠乏など様々な要因により作物栽培には多くの制約を受けている。実際に耐塩性・耐旱性の強い品種の育種を目的に研究された例について、次に示す (加藤ほか, 1993)。

(研究例 1) フィリピンの国際稲研究所 (IRRI) での耐塩性イネの選抜育種

東南アジアには、塩類土壌地域が広く分布しており何百年も前から一部の農民により耐塩性を持ったイネの栽培が続けられてきた。これらの品種は、倒伏しやすい性質や病害虫に弱いために収量が低く 1 ton/ha (日本の米の収量の 1/5 以下) であった。IRRI では、中性の粘土質土壌に 0.5% NaCl を加えて水田を作り、これに発芽後 2 週間のイネ幼苗を植えつけ栽培し選抜を進めた。約 10 年間で 6 万種の種子が供試され、約 1 万の品種に耐塩性が確認された。強い耐塩性が認められたのは、在来品種が数種と IRRI が育成した IR 系統の品種が十数種選抜された。これらの耐塩性は塩分を含んだ圃場で栽培され、約 4 ton/ha の収量で非耐塩性品種の約 2 倍以上の収量を示している。耐塩性品種の特長は、高ナトリウム環境下でカリウムを地上部へ集積する能力が強く、地上部のナトリウム濃度が低い傾向であることからカリウム、ナトリウムの選択性が高いことを示している。また、地上部のプロリン濃度が高いことも耐塩性品種の特長である。しかし、病害虫に対して弱いことから更に最新のバイオテクノロジーを用いた品種改良の取組が望まれる。

(研究例 2) トマトの耐塩性品種の作出

トマトは一般的に耐塩性の低い作物であるが、耐塩性植物の資源調査を進めているおり、ガラパゴス諸島の海浜に自生している野生種のトマトの種類に耐塩性の強い個体が見出された。在来のトマトでは栽培土壌の塩類濃度が低い間は地上部のナトリウム濃度は低く抑えられているが、塩分濃度上昇と共に根での塩の吸収抑制機構が障害を受け地上部へナトリウムが急速に蓄積され枯死する。一方、ガラパゴス諸島の海浜に自生している野生種のトマト (果実は小さく、商品としての価値はない) では、外界の塩分濃度上昇と共に地上部へのナトリウム移送が進み濃度上昇が見られるが、海水塩分濃度の 80% 相当でも生育し開花結実をした。この野生種のトマトと在来品種との交配を進めた結果、果実の大きさがミニトマトほどの新種が育成された。この新種には、野生種と在来種の間程度の耐塩性を備えていたことが報告されている。この研究から知られるように、高塩性環境下で生育している植物は耐塩性植物を見出す遺伝資源の宝庫と考えられる。

様々な環境下で生育している植物は、環境に対して発揮される遺伝的特性はまことに多様である。塩類や乾燥によりもたらされるストレスに対する植物の適応についての一部を紹介したが、まだ把握できていない部分が多く残されているものと思われるが今後の研究の進展に期待されるところが大である。

最後に、本報告にあたり詳細な議論討論に参加して下さいました日本沙漠学会沙漠工学研究分科会バイオグループの池部宗隆、池田 豊、小橋一民、小林登史夫、清水 優、高木史人、辻 博和、遠山征雄、長濱 直、新田義孝の各氏に感謝申し上げます。

引用文献

- 加藤 茂 (1993): 『マングローブによる沙漠緑化への挑戦』日本沙漠学会沙漠工学研究分科会バイオグループ編。
 加藤 茂・矢口行雄・杉 二郎 (1987): マングローブ植物、ヒルギダマシの塩類排出に関する研究。『日本海水学会誌』40: 196-204。
 高橋英一 (1991): 『塩集積土壌と農業』日本土壌肥科学会編、博友社: 123-154。
 内山泰孝 (1990): アトリプレックスの耐塩性『熱帯農研集報』59: 15-24。
 ARONSON, J. (1989): *A data base of salt tolerant plants of the world*. HALOPH, The University of Arizona, Tucson, Arizona.
 BLACK, C. C., GOLGSTEIN, L. D., RAY, T. B., KESTLER, D. P. and MAYNE, B. C. (1976): *CO₂ metabolism and plant production*. University Park Press, Baltimore.
 KANEKO, S. (1992): Possible plant species for greening of arid

zones. *Symposium on the Greening of the G. C. C. Countries*, Tokyo: 143-147.

Key Words: Halophytes, Drought resistant plant, Sea shore Mangrove, Salt

J A A L S

IV. 沙漠の風力エネルギーと風車

牛山 泉*

IV. Wind Energy in the Arid Lands and Wind Turbines

Izumi USHIYAMA*

1. はじめに

近年、地球の温暖化、酸性雨、熱帯雨林の激減、沙漠化、オゾン層の破壊など地球環境問題が国の内外で大きく取り上げられるようになった。ところが、われわれの生活圏である陸地の約 1/3 が沙漠であり、毎年 600 万 ha の土地が沙漠化しているという事実があるにもかかわらず、自国内に沙漠がないこともあって、わが国においては沙漠問題についての情報も少なく、これまでのところ沙漠環境はわれわれにとって馴染みのうすいものであった。

沙漠化の原因は多岐にわたり複雑であるが、すべてに共通していえることは、人為的なもの、つまり政治、経済、文化の諸活動によるものであることは歴史が証明している。われわれは、まだ間に合ううちに英知を結集して子孫のために住み良い陸地環境を保全する義務があるといえよう。

ここでは、沙漠の強い風を利用した風力エネルギーシステムとこれを利用した沙漠化の防止、緑化の可能性などについて考えることにする。

2. 沙漠の風況

一般に沙漠では風が強いことが知られている。沙漠の地表の砂や土の温度は直射日光によりかなり高くなり、夏の沙漠では摂氏 80 度にもなることがあるという。この熱で温められた空気が膨張し、軽くなって勢よく上空へ上っていく。すると、そこへ横から温度の低い空気が吹き込んでくる。このため、沙漠ではほとんど例外なく横風が強いのである。これにより砂あらしが発生し、砂丘移動の原因ともなる。沙漠における風況の例としてタクラマカン沙漠を取り上げてみよう。中国新疆省西南部に位置するタクラマカン沙漠は約 33.8 万 km² の広さ

を持つ中国最大の沙漠で、周辺のオアシス地帯は沙漠から風によって運ばれる砂の被害をしばしば被っている。新疆省の風の特徴については吉野 (1991) が気候学的な見地から既存の資料をまとめているが、ここでは長島ほか (1992) による現地観測の結果から引用する。この研究は沙漠化気候解明のため現地に即した砂輸送量公式を確立することを目的として、タクラマカン沙漠策勒地区において気象要素、砂輸送量、砂面変化の自動観測を 1991 年から継続して行なったものである。

図 4-1 は 1991 年 3 月 13 日より 9 月 26 日までの測定結果のうち、平均風速、最大風速、風向について示している。ここで平均風速はサンプリング間隔 (1 時間) 内の算術平均値を、最大風速は同時間内に 2 秒以上続いた風速の最大値を表わす。最大風速は 20 m/s に達する場合もあるが、平均風速は 5 m/s から 10 m/s 程度の範囲が継続して多く、風力利用の立場からは好都合といえる。

海岸沙漠か内陸沙漠かによって風の吹きかたも違うが、カリフォルニアの半沙漠地帯で 19,000 台もの風車により発電が行なわれていることから分かるように、沙漠は風が強く地表粗度も小さいため風力利用の適地が多いようである。

3. 沙漠における風力利用

沙漠は風況に恵まれていることが分かったが、この風のエネルギーを何に利用するかが重要な検討課題である。基本は沙漠化の防止と緑化であろう。そこで沙漠に適した風車システムや風車の利用法を考えてみよう。これについては、真木ほか (1993) の報告がひとつのヒントを与えてくれる。

真木らは中国北西部のトルファンにおいて、1990 年から 1992 年にかけて延べ 9 回、307 日にわたって、防風施設として防風林と防風ネットを用いて気象改良効果

* 足利工業大学機械工学科、〒326 栃木県足利市大前町 268 Tel. 0284-62-0605

* Mechanical Engineering, Ashikaga Institute of Technology, 268 Omae-cyo, Ashikaga-shi, Tochigi, 326 Japan.

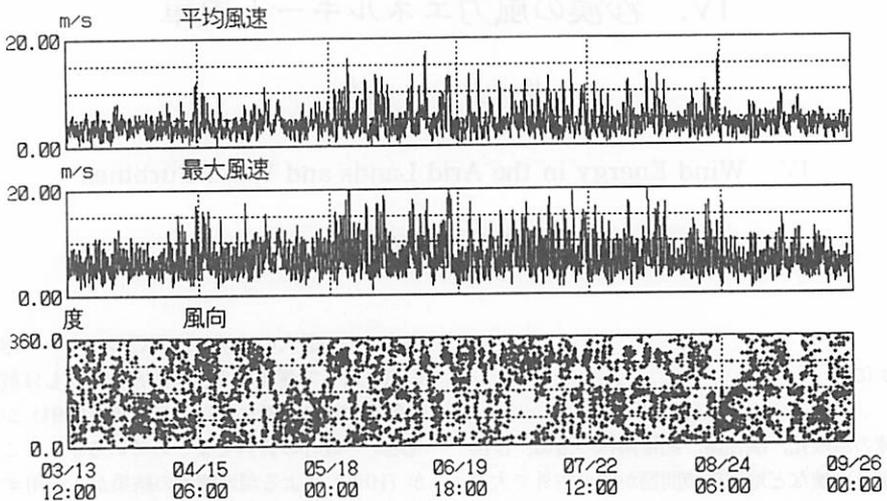


図4-1. タクラマカン沙漠チーラ地区の風況(長嶋ほか, 1992 による)

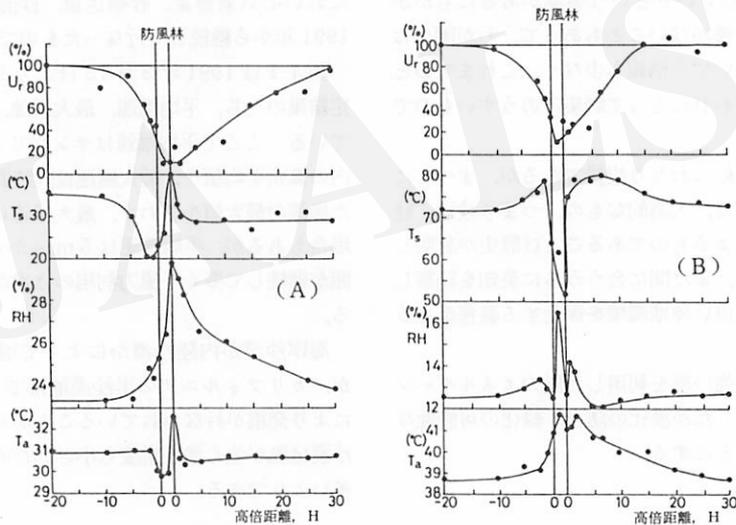


図4-2. トルファンにおける1列のタマリスク防風林による気象変化(真木, 1991)
 A: 1990年7月2日6時, B: 1990年7月2日12時
 U: 風速, T_s: 地表温, RH: 相対湿度, T_a: 気温

を観測している。図4-2はトルファンにおける夏季の極高温・乾燥期(1990年7月1~2日)の、タマリスク防風林(高さ4.6m, 密閉度85%)による減風・気象変化を示している。この図から最低相対風速は基準風速の10%程度になり、減風範囲は風上-10H(高倍距離)~風下30H, 主として-5H~20Hであり、減風効果は大きい。なお、ここで高倍距離とは防風施設の高さで表した距離であり、風上側をマイナス、風下側はプラスで表わしている。

防風林の効果・影響を要約すると、気象改良効果が大

きい。防風林による減風、春・秋季の昇温や夏季、夜間の降温は好適である。タマリスク防風林は密閉度が高いため減風効果が大きく、しかも細い枝葉による整流作用のため減風効果範囲が広い。また葉からの蒸散によって加湿効果が大きく、乾燥地では有効である。また、複数列の防風林(50m間隔)では風上側の防風林の影響を受け、とくに湿度の場合にその効果が大きい、などの結論を得ている。

一方、防風ネットは高さ1.9m, 長さ30mのポリエチレンラッセル網(密閉度45%)で、春季、高温・乾燥

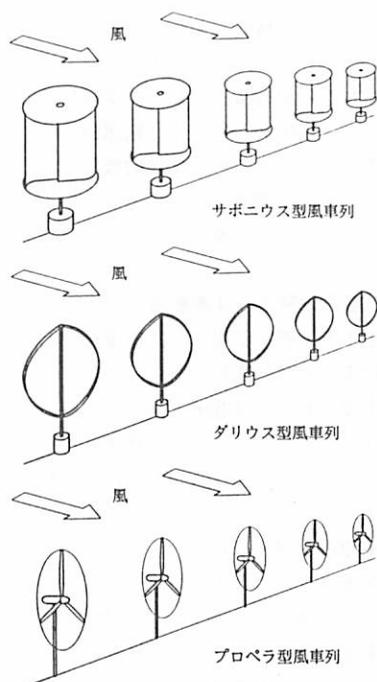


図 4-3. 防風効果を持つ各種風車列

期（1992年4月22～23日）の1列防風ネットによる気象変化も調べている。この場合にも、防風林と同じような効果が得られ、加湿効果は小さいが、減風に伴う風食防止、飛砂防止効果は期待できる。また、防風林の生育には長年月かかるが、防風ネットは短期間に効果を発揮でき、防風林自体の生育保護用にも利用できる、などの結論を得ている。

そこで筆者の提案するのは、図4-3に示すような風車列を沙漠の防風林や防風ネット代わりに設置することである。風車は種類によりソリディティ比（受風面積に対する風車翼面積の比）が異なり、サボニウス型風車のようにソリディティ比が1に近いものから、ダリウス型風車やプロペラ型風車のように0.1～0.2程度のもまで各種あるが、これは防風林の密閉度に対応することになる。したがって、ソリディティ比の大きな風車を近接させて設置すると防風効果が大きくなり、必要に応じて2列、3列と複数列に設置することも可能である。そして、この風車により得られる電力を沙漠化防止や緑化のためのエネルギー源として使用するわけである。沙漠におけるエネルギー利用としては、海水の淡水化による飲用水や灌漑水の確保、海岸沙漠などにおける除湿機駆動（空中水分の捕捉）、ポンプ駆動用動力、点滴灌漑用の動力、など種々のものが考えられる。

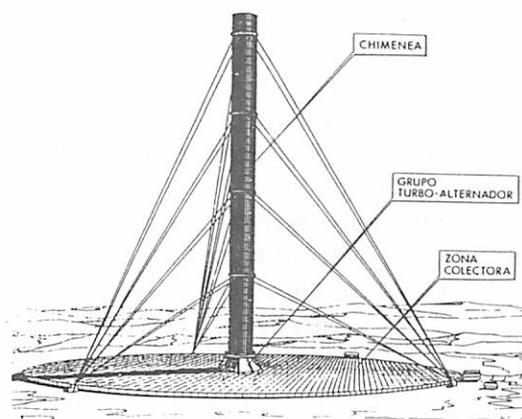


図 4-4. 沙漠に適したソーラーチムニー

4. 沙漠用の風車

1) 沙漠に適した風車システム

ここで既存のものあるいは研究段階のものから沙漠用に適した風車システムの例を調べてみよう。

1. ソーラーチムニー発電システム：これは図4-4に示すように中央に煙突状の構造物（チムニー）を建て、その周囲に広い透明カバーを敷き詰め、沙漠の豊富な太陽光で加熱され膨張したカバー下の空気が、チムニー内部を上昇する力で、チムニー下部に設けた空気タービンを駆動し発電するシステムで、構造が簡単で建築費が安く、ある程度の蓄熱機能により夜間でも発電可能などの特徴がある。このシステムはドイツのJ.シュライヒにより発案され、1982年にドイツとスペインの電力会社の共同プロジェクトとして出力100kWのパイロットプラントがスペイン中部のマンザナレスに建設され試験運転が行なわれた。チムニーの高さは200m、直径10.3m、プラスチックカバーで覆われた集熱フィールドは直径250mであった。（藤原・作田、1983）この集熱フィールドは一種の温室であり、沙漠においてはこの中で野菜の栽培など、いわゆるパビリオン農業も可能である。

2. ダクト方式風車：プロペラ型風車のように揚力を利用するタイプも、サボニウス型風車やクロスフロー型風車のような抗力を利用するタイプもいずれもディフューザやコンセントレータのような付加的な出力増強装置を装着することにより性能向上を期待できる。とくに沙漠においては強風と共に土や砂の粒子が吹き付けるため、風車のロータ部分を上記のような出力増強を兼ねたダクトによって覆うことにより風車性能の向上と

共にロータの保護も可能となる。図4-5はプロペラ型風車にディフューザを装着したものの外観を示し、(IGRA and SCHLUGASSER, 1978) 図4-6は筆者の研究室で行なったサボニウス型風車にディフューザとコンセントレータを装着したシステムの出力増強効果の一例を示している(牛山ほか, 1992)。

3. EFD発電: 通常の風力発電においては風車を用いて風のエネルギーを機械的な動力に変換するが、風という空気の運動から直接変換により電力を得ることも原理的には可能である。これはEFD(エレクトロ・フルイドダイナミックス)発電またはEHD(エレクトロ・ハイドロダイナミックス)発電などと呼ばれている(MINARDI et al., 1979)。図4-7はその原理図で、これは静電界を利用したエネルギー変換である。流体の流れの中に電極を置いてコロナを発生させ、流体粒子に荷電する。電気力は流れを妨げる方向に働くので、これに逆らって流体が

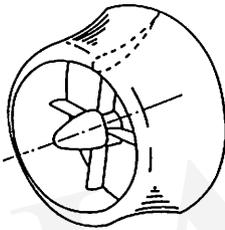


図4-5. ディフューザによる出力増強法

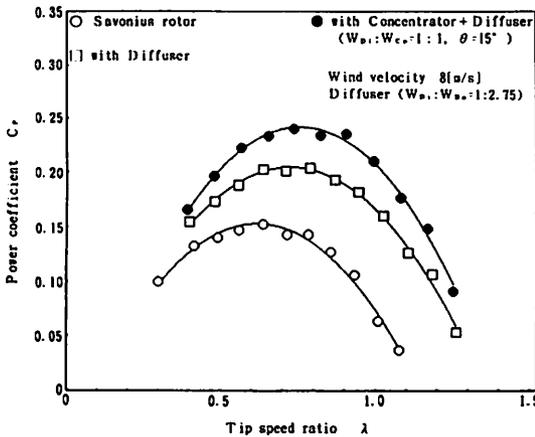
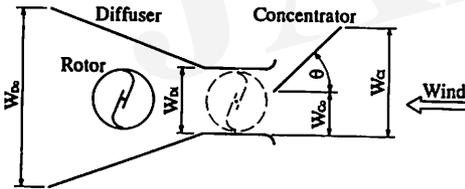


図4-6. ディフューザによるサボニウス風車の出力増強法

流れ込むと、その機械的な力が電気エネルギーに変換されることになる。この方式は風車の回転力を經由せずに電気が得られるのが特徴であり、沙漠地帯のように砂や土の吹き付ける場所においては回転部分がないことは有利といえる。なお、この形式は静電機器の常として電磁形に比べて高電圧小電流向きの発電器であるから、利用のためには適当な電力変換装置が必要となる。

2) 沙漠の風車に関する注意事項

沙漠に風車を設置する場合の注意事項としては、主として砂塵対策と耐熱耐寒対策があげられよう。とくに、砂沙漠や土漠においては強風と共に土や砂の粒子が風車に吹き付けるため、ブレードなど露出した回転部分の保護やベアリングへの土や砂の侵入を防止する必要がある。例えば、フランスのアエロワット風車はサハラ沙漠の通信用電源にも用いられているが、アルミ合金製のブレードを保護するためネオプレン・ゴムを表面に巻いている。また、内陸部の沙漠では夏と冬で気温の差が60度にも達するところがあり、この様な場所においてはブレードの材質の選択や潤滑油についても配慮が必要である。

5. 環境問題の解決に寄与する風力利用

風力発電をエコロジカルな視点から評価すると、例えば、現在カリフォルニアの沙漠地帯などでウィンドファーム形式で運転されている200kW級の風力発電装置1基を年平均風速5.5m/sの地点に設置したとき、年間発電量は約40万kWhであり、これを火力発電により行なった場合と比較して、硫黄酸化物2.0~3.2トン、窒素酸化物1.2~2.4トン、二酸化炭素300~500トン程度が相殺できることになる。カルフォルニア州では1988年に風力発電により年間18億kWhの発電量を記録したが、これは石油換算で2,832千バレルに相当し、年間220万トンの二酸化炭素の排出防止に寄与したことになる。

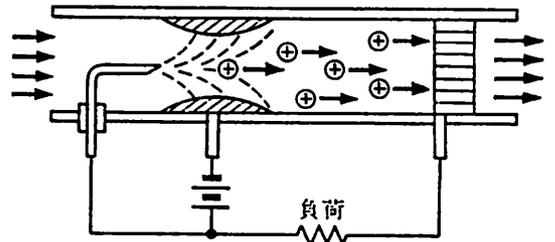


図4-7. EHD発電の原理

このように、風力は化石燃料のように二酸化炭素や硫酸化物、そして煤煙などを発生せず、原子力のように放射性廃棄物の心配もない。つまり、風力発電はこのような隠れた「環境コスト」を削減できるのである。

したがって、沙漠化の防止や緑化のためには環境を汚染しない風力や太陽エネルギーを活用すべきであり、特に風車の設置は防風効果もあり一石二鳥といえよう。

6. おわりに

沙漠は不毛の地であると漠然と考えられているが、農業の立場からも（遠山，1993）、エネルギー資源の立場からも豊饒の地であるといえる。太陽エネルギー利用の立場からは「ジェネシス計画」のような壮大な提案がなされ、世界の沙漠の4%に太陽電池を設置すれば世界の電力を賄うことができるという（桑野，1992）。一方、沙漠は風力資源にも恵まれており、風と太陽光は相互補完関係にあるから、風力発電と太陽電池とを組み合わせることによって、より安定したより多くのクリーンエネルギーが得られることになる。この豊富なエネルギー源を

活用して沙漠化の防止と緑化が強力に推進されることを期待したい。

参考文献

- 藤原・作田(1983): ソーラーチムニー発電システム. 「太陽エネルギー」9-1.
 桑野幸徳(1992): 「太陽電池を使いこなす」講談社ブルーバックス: 217-226.
 真木ほか(1993): 「沙漠緑化の最前線」新日本出版社.
 長島ほか(1992): 「沙漠化機構の解明に関する国際共同研究, 平成3年度成果報告書」科学技術庁研究開発局.
 遠山征雄(1993): 「沙漠を緑に」岩波新書.
 牛山ほか(1992): 垂直軸抗力型風車の出力増強法に関する研究. 第14回風力エネルギー利用シンポジウム, 日本風力エネルギー協会.
 吉野正敏(1991): 新彊の沙漠地帯の風と雨. 「沙漠研究」1: 1-15.
 IGRA and SCHULUGASSER(1978): Design and construction of a pilot plant for a shorouded wind turbine. *Proc. of 2nd Int. Symp. of Wind Energy Systems*. BHRA: F1-1-12.
 MINARDI *et al.*(1979): Electofluid (EFD) wind driven generator. *Proc. of Wind Energy Innovative Systems Conference*. U. S. D. O. E.: 89-100.

Key Words: Wind, Wind powered generation, Desert afforestation, Wind turbine, Wind turbine breaks

V. 総合討論

V. Discussions

- Q1:** (国土館大・藤井) 人文科学・考古学の立場から質問する。①沙漠工学や農学の研究を日本でやった方がよいと言うのはどういう意味があるのか。日本に沙漠がないことから沙漠の研究者は海外で苦勞をしているのだが。私は、メソポタミアで二十数年調査をしてきたが沙漠は面積が広い。灌漑と配水があれば農業は可能である。粘土鉱物も豊富だ。しかし、日本が技術援助を与えられるかが疑問である。②日本で農業が自給できないのは国の政治と国民性から、農業立国から工業立国に変わってきたためであろうが、アジアの乾燥地域や半乾燥地域で灌漑をして、日本のためにするのはむしが良すぎる。
- A:** (筑波大・安部) ①確かに日本には沙漠がないが、乾燥地を模擬し日本で研究できることもあるから、それらを基に実質的な問題解決ができるように取り組みたい。②現在の日本の置かれている環境からすると、農業生産はその自給率を上げるべきであって、自給できないから生産を乾燥地や半乾燥地に求めるべきでないと思う。世界的食料生産から考え、乾燥地や半乾燥地で水の利用技術、灌漑技術を研究し、農業生産を上げられるよう研究しておくべきである。
- Q2:** (伊藤) ①地下水が貯るような地下構造、地質はどのようなものか。②岩石そのものの放射性元素はないのか。
- A:** (清水建設・井伊) ①調査地域の地質としては、第三紀堆積岩で、多孔質な岩石である。岩質としては、火山性の堆積岩、安山岩などがある。②岩石中からの放射性元素の供給は一般的にないものとして地下水の年齢を研究している。
- Q3:** (国土館大・藤井) ①水素の同位体元素で水質の年代を何年前まで推定できるか。②地下水の量は現在の降水量に関係あるものと、無いものがあると思うが、化石水は汲めば無くなるのか。
- A:** (清水建設・井伊) ①年代の話としてトリチウムの話をしたが、その放射性物質の半減期によって測定範囲が決まる。トリチウムでは、半減期が約12年なので100年以上の古い水の測定はトリチウムの濃度が小さくて難しい。トリチウムの他にトリチウムよりも半減期の長い、半減期が約6,000年の¹⁴Cや数万年以上の³⁶Clを使っても測定できる。②化石水は10万年、1万年といった長い時間をかけて流れてきたもので、短時間に汲み上げればすぐなくなる。現在の降水量とは関係無い。
- Q4:** (近畿大・筒井) 耐塩性植物としての麦、トウモロコシ、他はあと何年でできるのか。
- A:** (東京農大・加藤) 10~20年内の単位では難しいと思う。西暦2,000年代に入ってから課題であろう。
- Q5:** (JICA・牛木) 乾燥地の内陸部にマングローブを植え、海水で灌漑する灌漑方法はどうか。
- A:** (東京農大・加藤) 難しいと思う。一時期は根づくが長続きはしない。マングローブは海岸の潮の干満のリズムが大切である。乾燥地の海岸線をマングローブの緑で回復させてから、内陸部へ植林を進めるべきである。CO₂の増加を防ぎCO₂の固定ができる。
- Q6:** (気象研・吉川) 内陸部に海水を送り、大きな池を作りその周りにマングローブを植えられるか。
- A:** (東京農大・加藤) 琵琶湖ほどの湖であれば潮汐が発生するかも知れないが、難しいと思う。また人為的にすることは、うまく行くとはいえない。オオバヒルギ、オヒルギは、海水が進入している地域で潮汐のリズムが作用する所により。
- Q7:** (国土館大・藤井) ベンシャル湾にはマングローブが分布していない。これに見合うものとしてナツメヤシがある。ナツメヤシは周りが塩っぽい土壤に群生している。ナツメヤシは、実、幹、枝と有効な植物である。ナツメヤシは内陸部で群生しているが、マングローブはどうして内陸部で群生しないのか。
- A:** (東京農大・加藤) ベンシャル湾の奥の方は、潮汐がほとんど無いので今の状態になったのではない。ヒルギダマシ等のマングローブは昔から少ない。これは塩分濃度が高いのではない。向後の実験でヤエヤマヒルギの実証をしているが、タコ足になるようなものが有効となり、ヒルギダマシがよいと言われている。海水塩分濃度は4~5%は駄目で、3%なら生育するかも知れない。
- Q8:** (理研・遠藤) ①200 kW程度の風力発電設備の耐用年数はどうか。②また、経済比較は。
- A:** (足利工大・牛山) ①耐用年数は設備の箇所によって異なるが、羽根が10年くらいである。他のものは20から30年である。②M社のものは250 kWの風車が7,000万円、系統連携まで含めて1億円である。発電コストの詳細比較ができていないが将来的には十

円以下になるであろう。

Q9: (清水建設・白石) 風車を防風林, 防風ネット代わりにした場合, その後流の流れはどうなるか。

A: (足利工大・牛山) 防風ネットは整流効果があるが, 風車の後流は乱れる。もとの流れにもどるのは, 風車直径の10倍程度の距離である。風洞実験では, その乱れは防風林と同じ様な状態まで戻る。

Q10: (理研・遠藤) ①風のエネルギーに対して全ての風車が60%がロスになるのか, ②風切り音が発生すると思うがオアシスでの騒音は。

A: (足利工大・牛山) ①プロペラ形, ダリウス形の効率の良いもので50~60%がロスで, オランダ形風車では75%がロスとなる。②風車には騒音と電波障害がある。プロペラ形が多く使われているが羽根の多い3枚の方が静かである。騒音はある程度やむを得ないが, それほど高いとは思わない。主風向を考えて建設すれば問題にならないのでは, オランダでは, 200m離れたところで40dBにするように決めにかかっている。

Q11: (気象研・吉川) エネルギーの保存方法として, 圧搾空気貯蔵や揚水貯蔵の方法があるが, 保存方法の検討はしているか。

A: (足利工大・牛山) 圧搾空気は建設条件, 方法によると思うが経済的でないと思う。揚水の方法はアメリカで実施されている。小さければ蓄電池がある。発電のネットワークと連系することで大きな貯蔵と同じ役割を果たすことができると思う。

Q12: (筑波大・山口) ダリウス形は風向に関係なく出力は一定だが, プロペラ形は風向によって出力が変わるのか。

A: (足利工大・牛山) プロペラ形は風の主方向に向くような構造になっている。

Q13: (成蹊大・小島) 現在の化石燃料による電気エネルギーに対し, 風力エネルギーのコストはどうか。

A: (足利工大・牛山) 単体と公害対策の機器まで入れて計算するかによって発電コストは変わるが, 総合的にみれば同じ程度となろう。

今年の8月にNEDOが発表したものによると, 日本全体の風力エネルギー量は100万kW 原子力発電20基分と言われている。また全世界では200基分である。デンマークでは国の電力量の3%が現在風車で賄われており, 西暦2,000年には10%を賄うとしている。ユトランド半島では40%も風車で発電されている地区がある。

以上(敬称略)

文 責

結城邦之: (株)荏原製作所・環境事業本部

Kuniyuki YUUKI: Environmental Engineering Division, Ebara Corporation

木下幹夫: (株)リコー・中央研究所

Mikio KINOSHITA: Research and Development Center, Ricoh Company Ltd.

——沙漠シリーズ(2)——

南米太平洋岸沙漠の気候的特徴

ペルー・アタカマ沙漠の知見から

岡 秀 一*

—Seminar on World Deserts (2)—

Climatic Characteristics of the Desert on the Pacific Coast of South America: From Some Observations in the Peruvian-Atacama Desert

Shuichi OKA*

1. はじめに

海岸付近に発達する沙漠は、MEIGS (1966) によって 14 の地域で確かめられている。それらはメキシコ北西部、ペルー太平洋岸、チリ太平洋岸北部、アルゼンチン南部、オーストラリア西海岸、オーストラリア南海岸、北アラビア海沿岸、ベルシャ湾、サウジアラビア南岸、ソマリ海岸、紅海、アフリカ地中海沿岸、アフリカ北西部、アフリカ南西部である。これらは海岸に位置しているという点では共通しているが、必ずしもその成因を同じくしているわけではない。たとえばペルーやチリの太平洋岸に発達するペルー沙漠・アタカマ沙漠は亜熱帯高気圧の勢力に加えて寒冷な海水がその成因として寄与しているのに対し、アルゼンチン南部のバタゴニア沙漠は西風に対するアンデス山脈の雨陰の効果によって成立しており、陸地が狭いためにそれが海岸にまで達しているものである。ここではこういったさまざまな顔を持つ沙漠のうち、南米太平洋岸に発達する海岸沙漠に焦点を当て、その気候的特徴について解説を試みる。

2. 南米太平洋岸沙漠の成因

南米太平洋岸での乾燥はいくつかの要因の複合の結果である。南太平洋には亜熱帯高気圧が定常的に発現する。この高気圧の東側では特に下降流が卓越し、断熱昇温によって貿易風逆転が形成される。高気圧の東側はアンデス山脈によってブロックされているので、その定常

性はひととき強くなる。この気温の逆転は地表からやや離れたところに形成されるので、高層逆転とも呼ばれる。これだけでも大気は十分に安定するが、その安定性は地表面の方からさらに強められる。大陸の西岸には寒流が流れるが、それはここではペルー（フンボルト）海流と呼ばれる。この海流は沿岸を北上するに従い、コリオリの力によって左に反らされ、離岸する。そのような場所では、それを補償するように深層から湧昇流が発達する。寒流それ自体も冷たいのであるが、この湧昇流は深海起源なので一層低温である。これによって沿岸の下層大気は冷やされ、逆転がさらに強化される。その結果、大気の大気対流活動は逆転層下限を上限にして抑制され、降雨がほとんどもたらされずに乾燥することになるのである。アンデス山脈のブロック効果は東からの湿った風に対しても発揮され、この地域の乾燥に寄与している。

図1に南米大陸の気候を規制する要因を模式化した。南米太平洋岸に沙漠が形成される原理を示した。南米大陸は南太平洋高気圧と南大西洋高気圧の間に挟まれ、内陸に低圧部が形成されている。その低緯度側はITC（熱帯収束）、高緯度側はポーラーフロント（寒帯前線）によって特徴づけられる（鈴木, 1973）。熱帯収束や寒帯前線は降水の原因となり、亜熱帯高気圧は乾燥の原因となるが、これらが南米の気候を規制する基本的な要因である。これらはいずれも季節に従って南北にシフトし、各地で季節による温度変化や乾季雨季の変化をつくり出すことになる。しかし、太平洋に発達する亜熱帯高気圧は

* 東京都立大学理学部地理学教室

* Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

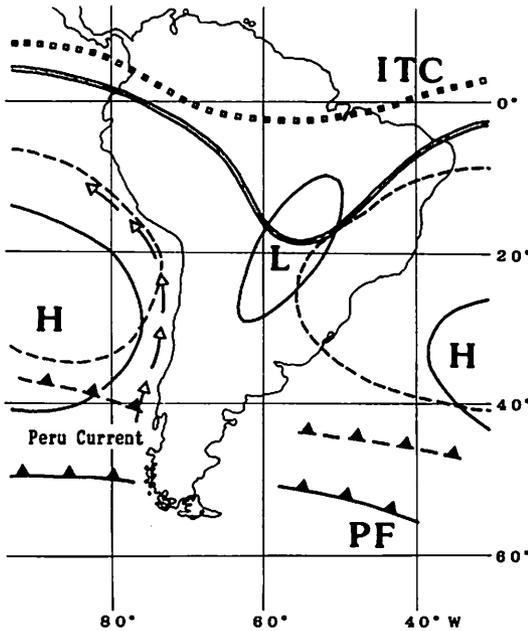


図1. 南米大陸の気候を規制する要因。
ITC は熱帯収束, PF は寒帯前線, H は亜熱帯高気圧, L は低圧部を示す。実線は1月, 破線は7月の状態 (WEISCHET, 1970, SCHWERDTFEGER, 1976 および野上, 1992 をもとに作成)

長大なアンデス山脈にブロックされ、季節による変化はさほど大きくない。このため、太平洋側では1月になってもそれに遮られて熱帯収束は南下できない。その限界はエクアドルとペルーの国境付近で南緯3度ほど (矢沢, 1961) である。熱帯収束が容易に南下し得るアンデス東側では1月は雨期となる。一方、低気圧を伴う寒帯前線は東進してアンデスにぶつかり、その風上側に雨を降らせる。7月にはそれでもやや北偏する亜熱帯高気圧の隙を狙うかのように北にシフトして低緯度側にも雨をもたらすが、その限界は南緯31度付近である (MILLER, 1976)。かくしてその間に挟まれた地域は雨の降らない乾燥した領域となる。この乾燥の度合を一層確固としたものになっているのが寒流、湧昇流の役割である。

この南米太平洋岸の一連のペルー・アタカマ沙漠のひろがり、北限を熱帯収束の南下限界、南限を寒帯前線の北上限界で判断すれば、おおむね南緯5~6度から南緯30度までと見なせる (TREWARTHA, 1981)。ただし北限はかなりはっきりと識別できるが、時折、寒帯前線による雨が27度付近にまで達することがあるので南限はやや漸移的である (LYDOLPH, 1973)。内陸側へは大気が安定した逆転層の高度がどこまで達しているかで決まる。それは南緯7度付近で約1,000 m, 12度付近

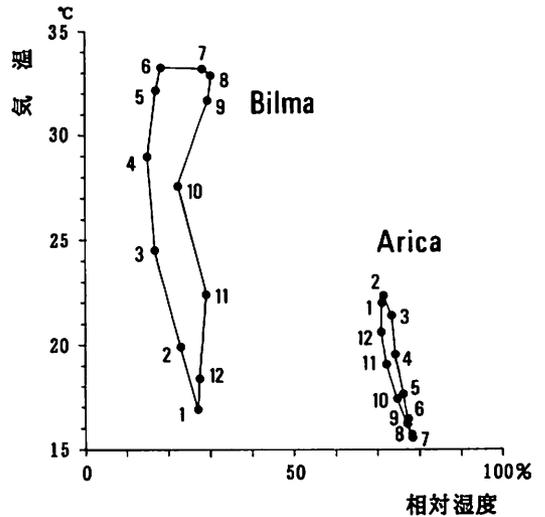


図2. Bilma (18°41'N, 12°55'E, 357 m, ニジェール) と Arica (18°21'S, 70°20'W, 55 m, チリ) のクライモグラフ。数字は月を示す (データは国立天文台, 1993 から)

で1,600 m, 15度付近で2,200 m, チリ北部で3,000~3,200 m, 沙漠地域最南部で1,000 m ほどである (PETROV, 1976)。

3. 南米太平洋岸沙漠の気候

チリ北部の Arica における降水量は、1961~1990年の平均でも1.1 mm に過ぎず、年によっては無降水となる場合もあって、アタカマ沙漠が世界でも最も乾燥しているといわれる由縁となっている。しかし、前述のように、この沙漠は海洋に面していること、冷涼であることが特徴的であった。従って、逆転層下の海洋大気へは海面から水蒸気が供給され、一方で冷却される結果、相対湿度は高くなる。特に太陽高度の低くなる南半球の冬には地上気温はやや低く、また海水温も低くなるため、逆転層の下限を上限にして層雲が形成されやすく、それが沿岸地域を覆う。南米の太平洋岸沙漠の沿岸部は雨は降らないけれども、空気は大変湿っている。

図2はサハラ沙漠の一角を占めるニジェールの Bilma とアタカマ沙漠の Arica のクライモグラフである。これら2地点は Köppen の気候区分ではいずれも沙漠気候 BW に位置づけられる。しかし、毎月の気温と湿度で評価してみるとその様相が全く異なることが分かる。すなわち、Bilma では暖候季は33°C 以上、寒候季は17°C 以下となって気温の年較差が大きく、年間を通じて湿度はほぼ30% 未満であるのに対し、Arica では気温は暖候季に22°C、寒候季に15°C をそれぞれようやく

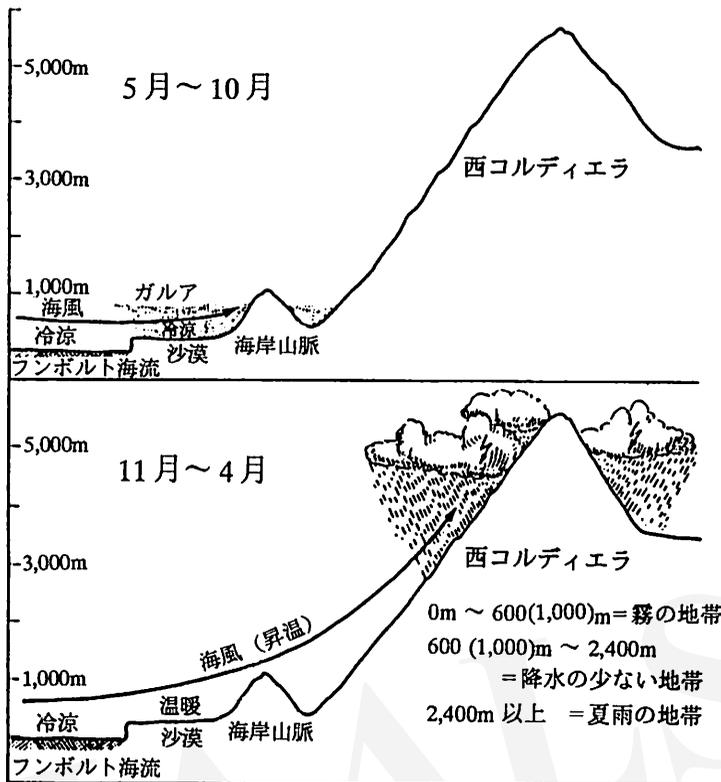


図3. ペルー中部および南部における降水の季節変化 (RAUH, 1958).

上回る程度で年較差は小さく、湿度は年間を通じて70~80%を保っている。

Aricaの気候について、日変化の側面からもう少し見てみよう。日最高気温、日最低気温の月平均の差は2月に6.8℃となって最大、8月には4.0℃となって最小を示す。時刻別の相対湿度の月平均を見ると20時には寒候季でやや高くなるが通年ほぼ70~80%を示す。日中の14時でも通年50%を下らないが、寒候季にはそれはひととき高くなり、65%前後となる。このように、気温や相対湿度の日変化は1年を通して比較的小さいが、寒候季にはそれが一層小さくなり、空気は1日中かなり湿っていることが分かる。

ペルー・アタカマ沙漠の気候に特有な湿潤な大気は、寒候季には明瞭な層雲の形成という形で現われる。これが地表付近に接するように発生すると霧として認識される。これはペルーではネブリーナ neblina と呼ばれ、チリではカマンチャカ camanchaca と呼ばれる。これらは後述するようにいずれも水資源として重要な意味を持つ。この層雲の発生は大気中の水蒸気量に制約されながら、その発達程度は大気の安定性に委ねられている。すなわち、大気下層は低温ながらも递减していて不安定であること、その上部には逆転層があって安定している

ことが層雲発達条件となる。これらの条件は季節変化をするだけでなく、日変化も示す。寒候季には1日中湿気が多くなるが、それでも層雲は特に夜半から朝方にかけて低く垂れ込めることが多い。図3はRAUH(1958)によって描かれたペルー中・南部における降水の季節変化を示す模式である。これによれば、冬(5月~10月)には霧を伴った冷たく湿った風が太平洋から吹き込み、沿岸地域を覆っている。その際、海岸山脈にぶつかるようなところでは霧が地表を濡らし、ガルーア garúa と呼ばれる霧雨が降ることもしばしばである。しかし、内陸に入ると昇温し、たちまち霧は消え、沿岸部とは異なった気候的性格となる。一方、夏(11月~4月)には太平洋から吹走する風は比較的暖かい海岸部を吹抜け、そのままアンデスの斜面を上昇する。そのため層雲の発生頻度は少ない。この風は高山地域に降雨をもたらす、さらにこの地域にはこの時期南下した熱帯収束に伴う東からの降雨が及んで、雨季となるのである。

沙漠地域における湿潤な大気環境形成の原因となっているペルー海流は、南米太平洋沿岸を南緯40度から南緯5度にわたって流れている。しかし、それはこの沿岸地帯にどこでも一様な気候をもたらしているわけではない。海水温を規制する湧昇流の強弱や卓越する南-南西

表1. 1971年8月のペルー沿岸地域の降水.

地点		降水量 (mm)	降水日数 (0.1 mm 以上の日数)
Paramonga	10° 40' S 60 m	2.1	10
Lomas de Lachay	11° 21' S 250 m	34.7	29
Campo de Marte	12° 04' S 30 m	6.4	17
Pisco	13° 44' S 6 m	0	0
Atiquipa	15° 47' S 255 m	71.8	4
Camana	16° 35' S 40 m	10.6	5
Mollendo	17° 02' S 30 m	23.6	4

表2. 1991年のチリ北部沿岸地域における降水.

地点		降水量 (mm)	降水日数 (0.1 mm 以上の日数)
Arica	18° 28' S 100 m	0.4	1
Iquique	20° 13' S 9 m	0	0
Antofagasta	23° 26' S 119 m	14.5	2
Copiapó	27° 21' S 370 m	59.1	8

風のふるまいによって地域差が現れ、気塊の特性は陸上の地形条件によっても変化を受ける。従って、層雲の発達程度にも地域差が生じる。ところで、層雲の上限は逆転層下限が規制する。これらの高さはペルー中部(Lima, 12°00' S)で600~800 m (PROHASKA, 1973), チリ北部(Antofagasta, 23°26' S)で900 m, チリ中部(Quintero, 32°47' S)で500 m (Miller, 1976)となっている。ペルーで降水量分布を加味して検討した結果 (OKA and OGAWA, 1984)を見ると、中部でやや低く(500 m 前後)、南部で高くなっている(1,000 m 前後)。これらから判断すると、雲の上限はペルー南部、チリ北部を中心に高く、その両側に低くなる。一方、雲の下限はチリ北部では500~800 m, ペルー中部やチリ中部では400~500 m より低い (MILLER, 1976)。

沙漠といえども雨が皆無というわけではない。しかしその降り方は独特である。海洋からの継続的な移流で逆転層下に集中した水蒸気は夜間には飽和状態となり、あわせて雲の上面から外に向かったの長波放射の結果、強い冷却が生じるため、逆転層下の大気下層では不安定度が増し、ガリアが降り出すことがある。この夜間から朝にかけての特徴的な現象はペルー沿岸では南緯8度以南で寒候季には普通に見られる。ペルーのリマ空港では、1967年の冬(5月~9月)にはガリアが877時間(全体の27%)観測されたが、その総降水量は6.1 mmに過ぎなかった (JOHNSON, 1976)。いかに強度の小さい雨が降っているかが分かる。1971年8月を例にして、ペルー沿岸地域における雨の降り方を表1に示す (岡・小

川, 1982)。明らかに南緯13ないし14度付近を境にして降水形態に差があるように見える。すなわち、その北側では降水量に対して降水日数が多く、南では逆に降水強度が大きくなる。これは南部で逆転層の下限が高くなり、層雲の厚さが増す傾向にあることと関係するのかも知れない。1991年の降水量でチリ沿岸地域についても同様に調べてみると、表2のようになる。北部の少雨に比べ、Copiapóでは明らかに状況が異なっており、ここには南方からの雨の影響が及んでいることを窺わせる¹⁾。

ところでペルーとエクアドルの境界付近の沿岸には毎年12月の頃から暖かい海水が流れ込む。これはエルニーニョ海流と呼ばれ、暖水性の魚や熱帯性の果実などを運び込むので沿岸漁民に歓迎される。しかし、時として暖水塊は異常に発達し、より南方へ達する。1925年3月、このためにLima近郊のCallao港沖合の水温は平年で19°Cのところ25°Cにまで上昇した (JOHNSON, 1976)。エルニーニョ現象である。この暖かい海水は大気を暖め、水蒸気量を増大させ、大気の安定層を破壊する。活発になった対流活動は雨の降り方を一変させ、沙漠に豪雨をもたらすことになる。この一連の現象は熱帯収束の突然の南下に対応する。この年、Chicama (7°43' S)で年降水量は394 mm (平年4 mm), Limaで1,524 mm (平年46 mm²⁾を記録した (グーディー・ウィルキンソン, 1987)。また、Trujillo (8°05' S)ではそれ以前の7年間の平均が35 mmであるのに対し、1925年には3月だけで395 mmを記録した (JOHNSON, 1976)。

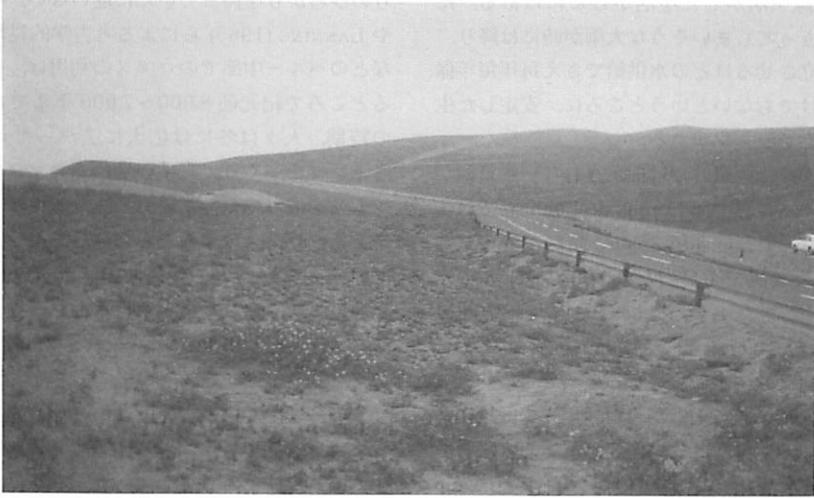


写真1 ベルー中部の Ancón (11°45' S) 付近のロマス (1980. 10. 14)

最近では1983年に顕著なエルニーニョ現象がみられた。ペルー北部 Piura (5°12' S) 付近では、年降水量の平均値が数10 mm 程度にもかかわらず、1982年12月～1983年6月の7カ月間で5,000 mm を超すような降雨がもたらされたところもあったという (TAGAMI, 1987)。この期間で、降水量500 mm 以上に達した月ごとの降水域に注目すると、12月にはエクアドル中部アンデス山麓部に中心があったが、4月には降水域を広げながら中心はペルー北部まで南下し、5月以降は中心が再び北上し、分布域も縮小した (TAGAMI, 1987)。この雨は夜に集中し、降水範囲はペルー北部以北で海岸からアンデス中腹までに限られるという特性を示した (野上, 1984) という。

近年にエルニーニョ現象が生じた年をあげてみると1925, 1932, 1939, 1951, 1953, 1957, 1965, 1969, 1972～73, 1977, 1983, 1986～87, 1991, 1993 などということになる。最近ではこのような海水温の上昇をもたらす現象はペルーやエクアドル沿岸に限られたものではなく、広く赤道太平洋にまで及んでいる大規模な現象であることが分かってきており、それから波及するさまざまな現象も含めてより広域的な説明がなされている (RAS-MUSSON and CARPENTER, 1982)。

4. 南米太平洋岸沙漠の生活

アンデス山脈からの豊かな流れは沙漠を刻み、その沿岸にはオアシスができる。沙漠地域における人々の生活はここを中心に営まれる。しかし、海岸沙漠特有の気候は、それ以外にいくつかの特徴ある生活をつくりだしている。

太平洋岸沙漠の気候を特徴づける沿岸の冷水塊にはプランクトンが豊富に含まれる。これは魚の餌として提供され、アンチョビなどが集まって沿岸海域は豊かな漁場となる。それを狙って海鳥たちも集まり、太平洋岸沙漠の沿岸は海鳥たちの格好の棲息地となる。かくして海鳥たちがすみついた島や岬には彼らの糞が大量に堆積する。それは乾燥した気候下では雨に流されることもなく、しっかりと固まり、時には数10 m の厚さのグアノとなって磷酸肥料の原料として活用され、沙漠の土を潤すことになる。海岸沙漠ならではの物質循環である。

太平洋岸沙漠を覆う霧は、時として濃く低く垂れ込め、ガルアとして落下して地表面を湿らせる。このようなことが頻繁に起こる季節になると砂の中で休眠していた植物の種子が発芽し、草原が発達する。これはロマス Lomas と呼ばれる (写真1)。ロマスは冬の間の水供給によって発芽の機会を窺い、春から初夏にかけて発芽し、開花する。草原ができ、花が咲くと昆虫たちが集まり、トカゲやサソリが這廻り始める。さらには鳥が飛び、キツネなども活動を始める。喰うものと喰われるものの序列の中で、沙漠の砂の上にはさまざまな動物たちの足跡がにぎやかに刻み込まれる。人間たちも例外ではない。どこからかロマスができたという情報が伝わると人々はヒツジやヤギをつれて集まってくる。時にはアンデス高地からはるばるやってくることもある。沙漠は放牧地へと一変する。アンデス高地からやってきた人々はロマスで放牧をする傍ら、海岸へ出て海藻 (コチャユヨ) の採集をする (MASUDA, 1985)。採集された海藻は乾燥させてアンデス高地に持ち帰り、商品にするのだという。ロマスは交易にも重要な役割を果たしている。

自然環境の資源を活かした生活がここにはある。ただ、大地を流しきってしまいそうな大雨が時には降り、一方ロマスを成立させるほどの水供給でさえ毎年毎年保証されているわけでもないというところに、安定した生産を支えきれないジレンマがある。

だが、この沙漠には雨量計では捉えきれない水資源が秘められている。ペルー中部 Lomas de Lachay ではユネスコの援助で作られた底面積 25 m²、高さ 4 m のピラミッド型の霧捕捉装置で 1日当たり 100 リットルの水を集めることができたという。同じくペルー中部の Ancón 付近では幅 10 cm、高さ 100 cm のネットでさえ 1日当たり 600 cc の水を集めることができた (OKA, 1986)。これを計画的に集約し、かんがい用や家庭用に活用しようという試みがなされるのも当然である。現在、チリではこの霧水活用の是非が検討され (SCHEMENAUER *et al.*, 1988)、その水質さえ吟味されている (SCHEMENAUER and CERECEDA, 1992)。

5. 南米太平洋岸の気候変化

ペルー北部海岸地域には、現在は枯れ川となっている谷筋にも、広い扇状地や大礫や巨礫を含む河成段丘の発達した著しい谷が見られる (KIKUCHI and HIRAKAWA, 1987)。これは過去にこの地域で著しい多雨の時期があった証拠である。野上 (1972) は南緯 15~20 度付近で最終氷期の雪線低下量が大いことから、当時はこの付近までの熱帯収束の突然の南下、すなわちエルニーニョ現象が頻繁であったに違いないと考えた。しかし、一方で鈴木 (1973) はいくつかの地形的特徴や気候資料から判断すれば熱帯収束、寒帯前線とも北偏していたと主張する。いずれの考えが妥当であるにせよ、最終氷期にはペルー沙漠の北限が南偏していたか、アタカマ沙漠の南限が北偏していたことになり、沙漠の領域は現在と相当異なっていた可能性がある。

KIKUCHI and HIRAKAWA (1987) によれば、ペルー北部でいくつかの礫層中に含まれる木片の¹⁴C年代を調べた結果、約 1,200 年前と約 1,700 年前に集中したという。このことは、その時期に土石流を発生させるような豪雨があったことを示しているが、その当時は温暖期に相当する。逆に小氷期といわれる時期には土石流の発生は確認できないばかりでなく、低地の泥質堆積物は風成営力の増大、すなわち乾燥化を暗示しているという。KIKUCHI and HIRAKAWA (1987) は後氷期におけるこの地域の気候変化について、温暖期に湿潤であったという推定をしつつ、この地域は氷期に必ずしも寒冷化しておらず、従って湿潤であったという可能性を論じている。

湿潤な時期には沙漠を季節的に緑で覆うロマスカな

りのひろがりを持っていたに違いない。COHEN (1977) や LANNING (1965) らによる考古学的見地から、Ancón などのペルー中部でのロマスの利用は、はっきりしているところで紀元前 8,000~7,000 年までさかのぼる。この時期、人々は冬には広大に広がったロマスに降りてキャンプをつくり、野生の植物やロマスに棲息するカタツムリを取って食べていた。またトカゲやアナクロウを捉え、ロマスの草をはみに来るシカやグアナコを捉えて暮らしていたともいう。紀元前 5,000 年ほどになると、カボチャの栽培なども行なわれ、農業の芽生えも見られた。しかし、それは次第に生産力の衰え始めたロマスでの食糧資源の補充という意味合いが強かったらしい。従って、その後紀元前 4,500 年くらいになると人々はロマスを捨て、冷水塊に由来する豊かな海産物を利用すべく、海岸に降りてしまったという。これらの変化は世界がヒブシサーマルと呼ばれる温暖期から寒冷化に向い始める頃に起こっているように見える。この時期、少なくともアンデス山脈東側では同時に乾燥化も進行している (鈴木, 1990)。

かつて、現在のロマスの規模からは想像できない豊かな姿がそこにはあった。このロマスの衰退について COHEN (1977) は人口圧を主たる原因としてあげる。一方、LANNING (1965) は乾燥化という気候変化の影響をあげた。いずれにせよ、現在の沙漠化問題を念頭にするとき、いかにも象徴的ではある。ロマスの劇的な衰退は、やはり寒冷化/乾燥化という気候変化の過程での資源の過剰利用がきっかけをつくったのではなからうか。小野 (1993) は 1950 年代にはまだかなりのロマスが発達していたことをよりどころに、その衰退はコロンブス以降の 500 年間で見たとき、同じペースで進んだのではなく、今世紀の半ば以降に急速な変化があった可能性を示している。例えば、Lima の降水量を見ると近年減少傾向にあり (OKA and OGAWA)、乾燥化の進行が窺えるが、これに加えて人々の加速度的な入植がロマスの衰退に結びついているのではないかというわけである。南米太平洋岸も世界の乾燥地域で進行する沙漠化の例外とはなり得ないのである。

注

- 1) 1991 年 6 月 17 日、南方起源と思われる雨が Copiapó で 31.7 mm 降った。さらにこの雨は Antofagasta まで達して 14.1 mm を記録し、死者約 50 名を出す災害を引き起こした。
- 2) 1961~1990 年の平均値 (理科年表) では 1.1 mm である。

引用文献

- グーディー, A.・ウイルキンソン, J., 日比野雅俊訳 (1987): 『沙漠の環境科学』 古今書院. Goudie, A. and Wilkinson, J. (1977): *The warm desert environment*. Cambridge Univ. Press.
- 国立天文台編 (1993): 『理科年表, 平成 6 年』 丸善: 362-363.
- 野上道男 (1972): アンデス山脈における現在および氷期の雪線高度の分布からみた氷期の気候. 『第四紀研究』 11: 71-80.
- 野上道男 (1984): ペルーの「エルニーニョ現象」. 『地理』 29-11: 70-78.
- 野上道男 (1992): 氷期のアメリカ大陸. 赤澤 威・阪口 豊・富田幸光・山本紀夫編: 『アメリカ大陸の自然誌, 2. 最初のアメリカ人』 岩波書店: 38-55.
- 岡 秀一・小川 肇 (1982): ペルー海岸砂漠におけるロマス植生の分布. 小野幹雄編: 『南米太平洋岸砂漠に成立する季節草原ロマスの生態と種分化に関する研究 (予報)』 牧野標本館: 19-35.
- 小野幹雄 (1993): 森林の改变. 赤澤 威・阪口 豊・富田幸光・山本紀夫編: 『アメリカ大陸の自然誌, 3. 新大陸文明の盛衰』 岩波書店: 193-234.
- 鈴木秀夫 (1973): 南アメリカとくに西岸の気候とその変化. 『地理学評論』 46: 1-29.
- 鈴木秀夫 (1990): 『気候の変化が言葉をかえた』 NHK ブックス 607, 日本放送出版協会.
- 矢沢大二 (1961): アンデスにおける気候学的観察ならびにそれにもとづく若干の考察. 東京大学アンデス地帯学術調査団編: 『アンデス』 美術出版社: 17-42.
- COHEN, M. N. (1977): Population pressure and the origins of agriculture: An archaeological example from the coast of Peru. REED, C. A. ed.: *Origins of agriculture*. Mouton Publ.: 137-177.
- JOHNSON, A. M. (1976): The climate of Peru, Bolivia and Ecuador. SCHWERDTFEGER, W. ed.: *Climates of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam: 147-218.
- KIKUCHI, T. and HIRAKAWA, K. (1987): "El Niño" phenomena and climatic change in the past from the quaternary geology and geomorphology of coastal region of northern Peru. NOGAMI, M. ed.: *Rain and river discharge during 1983 El Niño event and geomorphological significance of the past El Niño phenomena in the northern Peru*. Dep. Geogr., Fac. Sci., Tokyo Metropol. Univ.: 9-25.
- LANNING, E. P. (1965): Early man in Peru. *Scientific American*, 213: 68-76.
- LYDOLPH, P. E. (1973): Causes of aridity along a selected group of coasts. AMIRAN, D.H.K. and WILSON, A. W. eds.: *Coastal deserts: Their natural and human environments*. Univ. Arizona Press, Tucson: 91-107.
- MASUDA, S. (1985): Algae collectors and Lomas. MASUDA, S., SHIMADA, I. and MORRIS, C. eds.: *Andean ecology and civilization*. Univ. Tokyo Press: 233-250.
- MEIGS, P. (1966): *Geography of coastal deserts*. UNESCO, 140p.
- MILLER, A. (1976): The climate of Chile. SCHWERDTFEGER, W. ed.: *Climates of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam: 113-145.
- OKA, S. (1986): On a trial measurement of the moisture in fog on Loma Ancon - In relation to an investigation into the conditions required for development of lomas communities - . ONO, M. ed.: *Taxonomic and ecological studies on the lomas vegetation in the Pacific Coast of Peru*. Makino Herbarium, Tokyo Metropol. Univ.: 41-51.
- OKA, S. and OGAWA, H. (1984): The distribution of lomas vegetation and its climatic environments along the Pacific coast of Peru. *Geogr. Repts. Tokyo Metropol. Univ.*, 19: 113-125.
- PETROV, M. P. (1976): *Deserts of the World*. John Wiley & Sons, New York.
- PROHASKA, F. J. (1973): New evidence on the climatic controls along the Peruvian coast. AMIRAN, D.H.K. and WILSON, A. W. eds.: *Coastal deserts: Their natural and human environments*. Univ. Arizona Press, Tucson: 91-107.
- RASMUSSEN, E. M. and CARPENTER, T. H. (1982): Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110: 354-384.
- RAUH, W. (1958): *Beitrag zur Kenntnis der peruanischen Kakte- envegetation*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- SCHWERDTFEGER, W. (1976): Introduction. SCHWERDTFEGER, W. ed.: *Climates of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam: 1-12.
- SCEMENAUER, R. S. and CBERECEDA, P. (1992): The quality of fog water collected for domestic and agricultural use in Chile. *J. Appl. Meteor.*, 31: 275-290.
- SCEMENAUER, R. S. FUENZALIDA, H. and CERECEDA, P. (1988): A neglected water resource: The camanchaca of South America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 69: 138-147.
- TAGAMI, Y. (1987): Precipitation in northern Peru during El Niño. NOGAMI, M. ed.: *Rain and river discharge during 1983 El Niño event and geomorphological significance of the past El Niño phenomena in the northern Peru*. Dep. Geogr., Fac. Sci., Tokyo Metropol. Univ.: 29-43.
- TREWARTHA, G. T. (1981): *The earth's problem climates*. Univ. Wisconsin Press, Madison.
- WEISCHET, W. (1970): *Chile - Seine landerkundliche Individualität und Struktur*. Wiss. Länderkunden, 2/3.

書評

真木太一・中井 信・高畑 滋・北村義信・遠山 枉雄 (著): 砂漠緑化の最前線 調査・研究・技術 新日本出版社, 214 ページ, 2,800 円.

本書に敬意を表わし、以下では砂漠という字を使わせていただく、日本砂漠学会の書評ではあるが、

まずはまえがき、いまさら述べるまでもない、砂漠化は地球環境問題の重要なひとつである。多分最も多くの人類の命を奪う間接、直接の原因となっている。食糧問題、そして内紛、地球環境問題という、オゾン層破壊、地球温暖化、酸性雨をまず頭に浮かべる。しかし「まだ」このために亡くなったという人は、思い浮かばない。なのに日本では砂漠化にまで思い至らない。日本に砂漠が無いからだろうか？ 鳥取砂丘はあっても。

評者は、むしろ砂漠よりむしろエネルギー / 地球温暖化問題を専門とする、また分野としても工学に籍をおく人間である。そのような人間が、本書の著者をほぼどこかでおみかけしているのである。親しくおつきあひさせていただいている方すらいる。(いわしづくし、ごちそうさまでした。) 著者は全員日本砂漠学会員である。

本書の目的は、「類型」と「体験」であると拝見した。その「体験」をお持ちの方が何人日本におられるのか。それも、私のような「にわか」砂漠学会員ではなく、私のようにほんの数カ所しか知らず、それも駆け足で見てきたような人間ではなく、じっくり腰を据え、砂漠で「暮らして」きた方が、もちろん他にもおられようが、本書の目的から考え、「必然」ともいえる執筆者である。

本書の構成は—I. 最近の世界の砂漠化と緑化(真木, 以下敬称略)に続き、各論にはいる。

II. 中国の砂漠化と緑化(真木): 氏は前書「砂漠の中のシルクロード—悠久の歴史」(真木太一, 真木みどり著, 新日本出版社)のあとがきにもあるように、1986年に初めて中国を訪れ、1990年からの熱帯農業研究センターと新疆生物土壤沙漠研究所との「乾燥地域における環境資源についての共同研究」にも参画する。氏の中国に関する体験の豊富さと、データに裏打ちされた記述、特に風などの気象に関する記述には感心させられる。気象データ観測点が、砂漠の代表ではなく、砂漠の中の特殊気候であるオアシスでの測定となりやすいこと、あるいは、体感風速は最大値であり、普通平均値で記述される風速との食い違い等々。

III. 中国の乾燥地土壌と塩類化対策(中井): IIでは主として気象からのアプローチであるのに対し、IIIは土

壌からのアプローチである。自然条件が少し変われば土壌も変わる。土壌の緩衝能の低さ。しかし、その一方で、人為的活動の、よい意味での影響の大きさが印象的である。沈睡千万年の草も生えない土壌を、様々な努力により次第にブドウの生産に適した土壌に変えてきた歴史。塩類の洗脱。水の重要性和、遅々としていながらも、しかし確実な歩みの重要性が示唆されている。

IV. アジア牧畜地帯の過放牧と砂漠化(高畑): ここでの対象は草地である。シリア、パキスタン、モンゴル。農耕民族の我々には理解できない世界でもある。過放牧は、遊牧社会の外からの力ではなく、自らの自覚と将来展望による変革を、と力説している。地域レベルに端を発する「地球環境問題」に対する私達の任務は、助言と援助であるとの立場である。

V. アフリカの砂漠化と開発・緑化(北村): 人道的見地からも危ぶまれる地域。人口問題。そしてアフリカの水文環境が、他の陸地に比べ非常に過酷であるためである。世界地図を見ると、雨の降りにくい、大気循環の沈降域にこの大陸のほとんどが属している。この本の他のカ所にみられる様々な問題のいずれもがこの大陸にもみられる。ここでも、農民と牧民との共生関係が鍵としてあげられている。

VI. アメリカの砂漠化と緑化(遠山): アフリカと対照的に私達には豊かな国というイメージである。サハラ砂漠のような大砂漠があるわけでもない。しかし、それでも、ここで取り上げられている、カリフォルニア、メキシコ、ペルーをはじめ、塩類化のような様々な問題が生じている。最後に述べられているように、灌漑などの人為的影響が大きい。しかし点滴灌漑、保水剤活用のような、近代的節水農業の場合にはむしろ砂地のような毛管がつかない土壌の方が望ましいとも述べている。

さて、一般論はどうなのだろう。アメリカでの近代的節水農業の手法は、アフリカに使えるのか？ 牧畜地帯はどうなのだろう。

技術論としては、「類型」から「典型」へ進むことが望まれる。IIの最後に記されているように「人進沙退」のための自然科学者、社会科学者の共同。そして評者としてはこれに技術者も加えてほしい。砂漠技術から複合学としての砂漠学、砂漠学への進化と体系化。その意味で本書は日本砂漠学会にとっても最も重要な「礎」となる一冊であろう。日本砂漠学会も、ちょうど1993年に日本学術会議に認められたばかりである。

(小島紀徳: 成蹊大学)

小島紀徳（編著）：緑がつくる地球の環境 オーム社、149 ページ、2,200 円。

本書は地球環境セミナー（全7巻）の第5巻として出版された。「みどり」に主眼を置いた地球環境のわかりやすい解説書は、あまり多くないので、存在価値は大きい。5名の分担執筆よりなり、テーマに若干のだぶりもみられるが、各著者の筆致からはそれぞれの特徴がにじみでている。それだけに、編著者だけで、各著者の紹介がないのは惜しまれる。もし紹介があったならば、文献とともに、本書をきっかけとして多様なテーマに関心を深めていこうという際にも役だったのでは…。

「人間活動とエコシステム」のなかでは「生態系に対するマイナスのインパクトは最終的には危害を人間にフィードバックさせる」と警鐘する。そして、水田こそ日本が誇るべき資源であると力説する。水田は深層地下水の水源として、洪水を防ぐ働きがあり、傾斜地での棚田などを含めて、およそ85億tもの貯水能力をもち、全国320のダムによる総貯水量20億tの4倍以上にあたることが紹介される。この例が示すように、農業生態系の奥深さ、巧妙さについて多角的にふれ、われわれはもっと日本特有の農業システムに自信をもち、大切に維持していくべきことを教えてくれる。

「破壊が進む熱帯雨林」では、農地植生や森林がエントロピーの劣化阻止の役割も果たすこと、森林の効果が多機能で豊かな生態系を形成していることが、雲霧林などの具体例をもとにわかりやすく解き明かされる。森林の種類別にみた機能・価値も図解され、造林に際し参考になりそうだ。ただ、二酸化炭素の吸収源を原生の熱帯雨林に求めることは無理だという。一般「常識」からは理解しにくい点であるので、さらに詳しい解説がほしいところではあった。

いま各方面で論議を呼んでいる、二酸化炭素のミッシングシンクの問題では、フィックの法則に触れて、慣用的に引用されることの多い炭素の流れ概念図の矛盾点を鋭くついている。植物プランクトンの発生・死滅が二酸化炭素の消長に深くかかわっていることも示唆される。海洋に関する研究には、まだ解明すべき未知の世界が広いことを痛感させられた。

さて、「進行する砂漠化」では実地調査に基づいた豊富な知見と、今後の研究発展の基盤が徐々に築かれてきた過程が紹介される。ただし、「砂漠化と周期的に繰り返される干ばつとの間には区別がない」については異論がある。乾季（筆者は乾期を用いているが、dry seasonであり、一季節を画している）なのであるから、季を使用するの

が適切、と評者は考える）は周期的にやってくるが、干ばつの発生頻度に明確な周期があるという報告はない。したがって、周期性という用語を使うと誤解を招く恐れがある。また確かに、干ばつは砂漠化を助長する。しかし、干ばつは砂漠化の要因の一つに過ぎないのであり、両者はメカニズムも時間スケールも異なっているのではないかと疑問も浮かんでくる。

砂漠緑化へのひたむきな姿勢には頭が下がる。「もともと砂漠であるところを緑化する場合には熱、物質の両面から厳密な収支計算を行い……調節しておかないと、逆に破壊につながりかねない」ということは、砂漠地域のみならず、緑化に携わる際には銘記すべき教訓であろう。近い将来、人口増加に伴う食糧不足が国際問題となることは不可避であり、これまで繰り返されてきた〔森林開墾→土地荒廃→水害発生〕という悪しき図式を考慮しても、砂漠の緑化を試み、農業の確立を目指すことには、大きな意義がある。

また、酸性雨・酸性霧が森林を（恐らく農作物をも）むしばみつつあることは周知の事実であり、軽視できない関心の高いテーマである。にもかかわらず、記載が4頁弱とは少なすぎる。「全地球の問題ではない」とあるが、バックグラウンド汚染が生態系に及ぼす影響という視点も加える必要があったかもしれない。

人間は3～4億年に及ぶ樹木の深遠な歴史のなかで自然が蓄積してきた化石エネルギーを、わずか数百年間で使い果たそうとしている。本書はこのことに反省を促し、光合成のエネルギー源、太陽エネルギーの有効活用の重要性を再認識させ、その長期的ストックが将来の実用化への鍵を握っていることなど、工学・農学の革新されつつある技術の一端を提示している。

過去をふりかえれば、長大な灌漑施設カナート、素焼の壺を使ったクーゼ灌漑、ペルーアマゾンで採用された列状植栽など、伝統的な方策にも時代を先取りした先人の知恵がひしひしと感じられる。これらを生かした新システムの創造こそ現代人に課せられた使命ではないか。とくに、アグロフォレストリーのあり方は、地球環境時代を生き抜くための英知の結集であり、循環系を重視した合理的なシステムの構築が今後ますます推進されていくにちがいない。

フィトンチットに満ちた森林のなかで、さわやかさを感じ、じっくり緑の大切さ、人類の未来を考える。そのような機会を提供してくれる図書である。広範な読者層の自然をいとおしむ心呼び起こしてくれることだろう。

（山川修治：農業環境技術研究所 地球環境研究チーム）

日本沙漠学会誌「沙漠研究」投稿規定

(1991年3月9日制定)

1. 日本沙漠学会誌「沙漠研究」は、沙漠ならびに乾燥・半乾燥地域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 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、編集委員会の判断により超過ページ分の経費を著者の負担とすることがある。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ページ内外。
 - (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。3~4ページ。
 - (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ページ内外。
 - (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。3~4ページ。
4. 原稿の採否 原稿は編集委員会が審査し、採否を決定する。編集委員会は査読結果により原稿の一部変更を求めることがある。
5. 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あてに簡易書留で送付する。
6. 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。
7. 校正 著者校正是初校のみとし、以後の校正是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。著者校正是誤植によるもののみとし、新たな加除訂正は認めない。
8. 別刷 実費の範囲で著者に負担を求めることがある。負担額は別に定める。
9. 著作権 すべて日本沙漠学会に属する。

日本沙漠学会誌「沙漠研究」執筆要領

(1991年3月9日制定)

1. 原稿の用紙・様式 邦文原稿はA4サイズの内紙を用い、天地・左右のマージンを十分とって、1ページ当り25字×30行(750字)のフォーマットでワードプロセッサにより書くことを原則とする。原稿用紙使用の場合は、A4サイズ横書き400字詰めのものを用いる。英文原稿(英文要旨を含む)はA4サイズ(または国際版)用紙にタイプライターあるいはワードプロセッサを用いて書く。英文原稿は、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。
2. 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語以内の英語のキーワードを添える。英文要旨から図一覧表までを通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.

3. 図表 表は別紙に書き, 縦罫は用いない. 図は 14 × 19 cm 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, 一つの論文の中で統一する.

4. 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 了:『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, 222 p., B6 版, 750 円.

Rognon, Pierre: *Biographie d'un désert*. Plon, Paris, 1989, 347 p., A5 版, 160 フラン.

(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.

5. 引用文献 本文中では市川(1988), 小川(1987), Rognon (1989), または……である (Tucker *et al.*, 1981, 1985; Grove, 1986a, b; Lean and Warrilow, 1989; 天谷ほか, 1984; 田中・長, 1987). のように書く. 成書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, 年号の後にページ数を記載する. 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. そのほか詳細は以下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. 「土壌の物理性」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 巖(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): 土壌の保水性及び透水性と作物根への水分供給力. 「九大農芸誌」41-1/2: 63-70.

Grove, A. T. (1986a): 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. (1986b): The state of Africa in the 1980s. *Geogr. Jour.*, 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 McMortrey, J. E. (1981): Remote sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11: 171-189.

Tucker, C. J., Townshend, J. R. and Goff, T. E. (1985): African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227: 369-375.

編集委員 門村 浩(委員長: 東京都立大学) 赤澤 威(東京大学) 遠藤邦彦(日本大学) 甲斐憲次(筑波大学)
勝俣 誠(明治学院大学) 小島紀徳(成蹊大学) 小西正捷(立教大学) 長島秀樹(理化学研究所)
袴田共之(農業環境技術研究所) 堀 信行(東京都立大学) 書記: 黒瀬匡子
日本沙漠学会編集委員会/〒192-03 八王子市南大沢 1-1 東京都立大学理学部地理学教室内
TEL 0426 (77) 2605/FAX 0426 (77) 2589

Editorial Board Hiroshi KADOMURA (Chief Editor) Takeru AKAZAWA Kunihiko ENDO Kenji KAI
Makoto KATSUMATA Toshinori KOJIMA Masatoshi KONISHI Hideki NAGASHIMA
Tomoyuki HAKAMATA Nobuyuki HORI Editorial Secretary: Kyoko KUROSE

Editorial Office The Japanese Association for Arid Land Studies
Department of Geography, Tokyo Metropolitan University
Minai-Ohsawa 1-1, Hachioji, Tokyo, 192-03 Japan.

TEL: 0426-77-2605/FAX: 0426-77-2589

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
発売所: TOTO 出版/〒105 東京都港区虎ノ門 1-1-28 TEL 03 (3595) 9689/FAX 03 (3595) 9450
定価 1,500 円 (本体 1,457 円) 発行日 1993 年 12 月 25 日

印刷: (株)国際文献印刷社

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

CONTENTS

Frontispiece

- Masatoshi YOSHINO: Desertification and Human Activities at Hotan and Qira on the Southern Part of Taklimakan Desert

Review Article

- Yoshihiko HIRAGA and Satoshi MATSUMOTO: Perspectives to Survive in the Next Century—Food production and population change in the 21th century— 83- 99

Original Articles

- Kazuya TAKAHASHI, Jing ZHANG, Zi Wei HUANG, Jiang Min XIONG, Haruta MURAYAMA, Chun Yu HAN, Akimasa MASUDA and Hisao WUSHIKI: Isotopic and Chemical Characteristics of the Water Samples from the Taklimakan Desert 101-111
- Kazunobu IKEYA: Camel Pastoralism and Conflicts under the Influence of the Development of Commercial Economy: A case study of the Somali in East Africa 113-123
- Masatoshi YOSHINO, Yoshihisa FUJITA, Shoichiro ARIZONO and Mingyuan Du: Agricultural Activities of Uygur Farmers in Hotan and Qira in the Southern Part of the Taklimakan Desert 125-135

Special Reports

"Tsukuba Symposium on Arid Land Studies"

- Tomoyuki HAKAMATA: Introduction 137
- Shuji YAMAKAWA: Trends in Research on Deserts and Desertification conducted in Tsukuba 138-142
- Mingyuan Du: Climate and Living of Chinese Deserts 143-147
- Masayuki NEMOTO: Recent Situation of Desertification in China from the Viewpoint of Vegetation Changes 149-156

"Proceedings of the Third Symposium on Arid Land Technology"

- Summary 157
- I. Yukuo ABE: "Why Desert in Japan"—Role of Desert Technology 158-162
- II. Hiroyuki Ii: Ground Water Flow of Aquifer 163-168
- III. Shigeru KATO: Challenge for Desert Rehabilitation through Sustained Halophytes and Drought Resistant Plants 169-175
- IV. Izumi USHIYAMA: Wind Energy in the Arid Lands and Wind Turbines 177-181
- V. Discussions 182-183

Seminar on World Deserts (2)

- Shuichi OKA: Climatic Characteristics of the Desert on the Pacific Coast of South America: From Some Observations in the Peruvian-Atacama Desert 185-191

- Book Review 193-194