

沙漠研究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

目 次

口 紋

嶋田 義仁：ニジェール川湾曲部の稻作

原著論文

- 嶋田 義仁：人間の生産活動から見たサハラ南縁地帯の乾燥化——マリ国の事例—— 1-17
- 安部征雄・山口智治・横田誠司・大塚義之・井伊博行：土壤表層に集積する塩類の捕集法 19-27
- 岡田昭彦・矢吹貞代・劉叢強・黄子蔚：中国、新疆、吐魯番盆地およびジンガル盆地の沙漠土壤中の塩類構成元素の分布(英文) 29-37
- 石山 隆・杉原滋彦・土屋 清・劉培君・呂戈非：砂の分光反射率と水分含有量(英文) 39-43
- 劉叢強・岡田昭彦・矢吹貞代・張勁・増田彰正：中国北部の黄土と沙漠砂に関する希土類元素の地球化学的研究(英文) 45-54
- 木浦卓治・波多野隆介・袴田共之：パソコンコンピュータを用いた水資源管理のためのタンクモデル構築システム(英文) 55-63

展望

- 牛木久雄・後藤 健：リビア短訪：日本との学術協力を探る 65-73
- 第3回学術大会一般発表記録 75-81
- 書評 82-83

日本沙漠学会役員名簿
(1992~1993年度)

会長 小堀 巍

副会長 吉野正敏

理事 庶務担当: 桃田共之, 遠藤 炳

編集担当: 門村 浩, 赤澤 威

経理担当: 千代延恵正

涉外担当: 遠藤 炳, 松本 聰

学会担当: 松本 聰, 小西正捷

企画担当: 片倉もとこ, 遠藤 炳

監事 牟田口義郎, 土屋 清

評議員 赤澤 威, 石 弘之, 板垣雄三, 市川正巳, 牛木久雄, 梅棹忠夫, 江上波夫, 遠藤 炳, 遠藤邦彦, 大森博雄, 小川克郎, 片倉もとこ, 加藤泰丸, 勝俣 誠, 門村 浩, 川床睦夫, 久馬一剛, 向後元彦, 小島紀徳, 小西正捷, 小堀 巍, 櫻井清彦, 佐田登志夫, 田中二郎, 千代延恵正, 土屋 清, 都留信也, 遠山正瑛, 遠山征雄, 長濱 直, 並河萬里, 沼田 真, 桃田共之, 日野舜也, 増田彰正, 松本 聰, 牟田口 義郎, 矢野友久, 吉野正敏, 吉村作治

The Japanese Association for Arid Land Studies

President Iwao KOBORI

Vice-President Masatoshi YOSHINO

Executive Committee Members

General Affairs Tomoyuki HAKAMATA, Isao ENDO

Editorials Hiroshi KADOMURA, Takeru AKAZAWA

Treasury Yoshimasa CHIYONOBU

Liaisons Isao ENDO, Satoshi MATSUMOTO

Meeting Affairs Satoshi MATSUMOTO, Masatoshi KONISHI

Plannings Motoko KATAKURA, Isao ENDO

Auditors Yoshiro MUTAGUCHI, Kiyoshi TSUCHIYA

Councilors Takeru AKAZAWA, Hiroyuki ISHI, Yuzo ITAGAKI, Masami ICHIKAWA, Hisao WUSHIKI, Namio EGAMI, Isao ENDO, Kunihiko ENDO, Hiroo OHMORI, Katsuro OGAWA, Motoko KATAKURA, Yasumaru KATO, Makoto KATSUMATA, Hiroshi KADOMURA, Mutsuo KAWATOKO, Kazutake KYUMA, Motohiko KOGO, Toshinori KOJIMA, Masatoshi KONISHI, Iwao KOBORI, Kiyohiko SAKURAI, Toshio SATA, Jiro TANAKA, Yoshimasa CHIYONOBU, Kiyoshi TSUCHIYA, Shinya TSURU, Seiei TOYAMA, Masao TOYAMA, Tadashi NAGAHAMA, Banri NAMIKAWA, Makoto NUMATA, Tomoyuki HAKAMATA, Shun-ya HINO, Akimasa MASUDA, Satoshi MATSUMOTO, Yoshiro MUTAGUCHI, Tomohisa YANO, Masatoshi YOSHINO, Sakuji YOSHIMURA

ニジェール川湾曲部の稻作
Rice Cultivation in the Niger Bend



写真1. 空から見たニジェール川湾曲部の水田（1990年9月）。
Photo 1. Rice field in the Niger Bend viewed from airplane (September 1990).



写真2. 船から見たニジェール川湾曲部の水田（1986年12月）。
Photo 2. Rice field in the Niger Bend viewed from ship (December 1986).

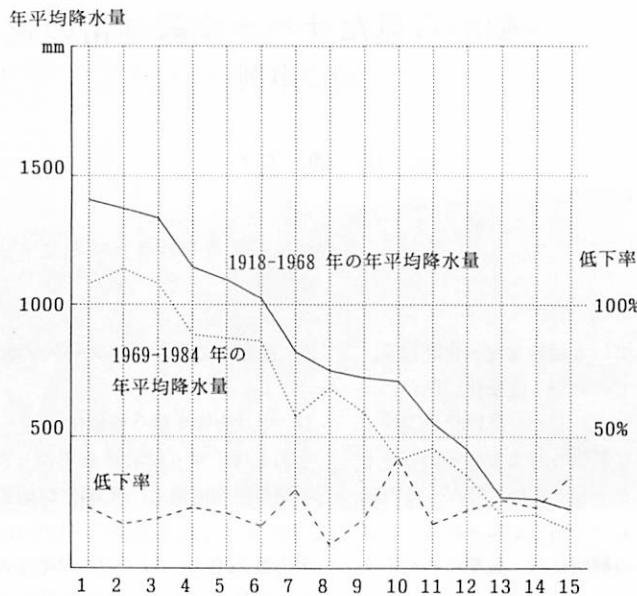
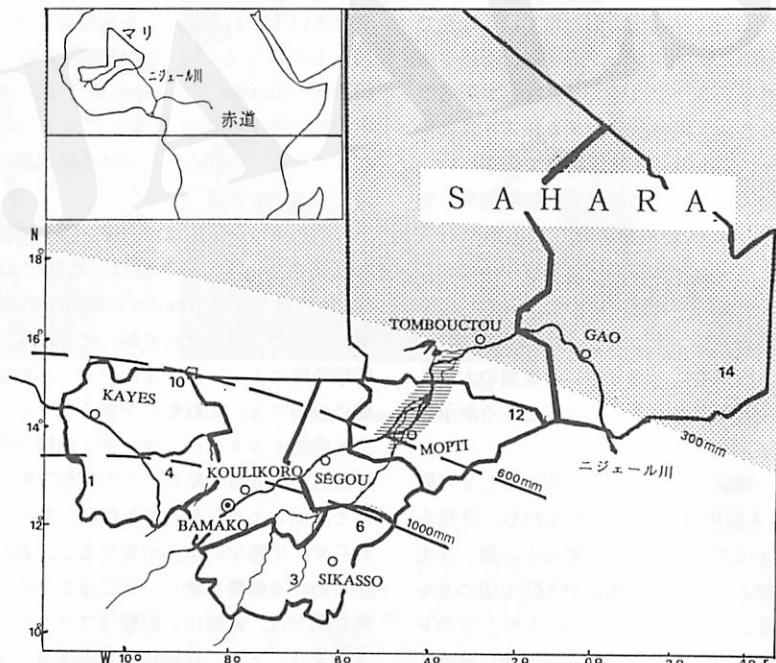


図1. マリの乾燥化。

1. Kénieba, 2. Sikasso, 3. Bougouni, 4. Kita, 5. Bamako, 6. Koulikoro, 7. Kayes, 8. Sans, 9. Ségou, 10. Nioro, 11. Mopti, 12. Honborig, 13. Gao, 14. Meneka, 15. Tombouctou
1918-1968年の降水量平均と1969-1984年の降水量平均の比較（資料：DNE, 1989）。

図2. マリ国の州区分とその気候的位置。
数字は図1の都市名に対応。○は州都。降水量は1984年までの50年間の平均。

域（図3-1）と、スーダンの地域（図3-2）にわけて行なった。

サヘル地域の州の穀物生産は、Tombouctou を除

いて、はっきりした減少傾向を示す。しかしスーダン地域の諸州の場合、減少傾向は明白でない。それどころか、Sikasso と Koulikoro 両州では、穀物生産が明らかに上

昇し、10年間ではほぼ生産量を倍増させている。とくに Sikasso の伸びは著しく、1975年の三位から、1984年には第一位の穀物生産州になっている。両州とも、マリ南部の最湿潤地帯に位置する。

つまり、マリの穀物生産は、北部サー・ヘルの乾燥地帯において急激に減少し、中部 (Ségou, Kayes 州) においてやや減少、南部において上昇という経過をたどっているのである。しかも、南部湿潤帯における農業生産の実際の伸びは、この表が示すよりはるかに大きい。という

表 1. 1968 年以降の降雨量減少率。(1918-1968 年の 50 年間の平均降雨量基準)

50 年間の平均降雨量 1,000 mm 以上の地点	20%
50 年間の平均降雨量 500 mm 以上 1,000 mm 未満の地点	23%
50 年間の平均降雨量 500 mm 未満の地点	26%
全体平均	22%

のは、この地域はマリの綿花地帯であり、綿花生産の伸びも大きいのであるが、その統計は含まれていないからである³⁾。

農業生産をめぐって、サー・ヘル地域とスーザン地域のあいだにこうした対照的な変化が生じたのは、ソルガム栽培を中心とするアフリカのサヴァンナ農業の適地が、年雨量 600 mm から 1,000 mm の乾燥型スーザン気候の地域だからである。雨量がそれ以下のサー・ヘル地域も、それ以上の湿潤型スーザン地域も、畑作による穀物耕作の限界地域である。それゆえ、乾燥化がすすむと、元来限界地域にあったサー・ヘル地域は穀物耕作の限界の外に突き落とされ、穀物耕作適地であった乾燥型スーザン地域は限界のサー・ヘル型気候下に入る。しかし、それまで年雨量が 1,300 mm もあって、穀物耕作には多湿すぎた湿潤型スーザンの気候の地域はむしろ、穀物の最適耕作地域に移行するのである。

ただし内陸デルタに位置する Mopti 州の場合は、後

表 2. マリ国諸州の生態学的分類。

生態学類型	州名	生態学的特徴
サー・ヘル地域		
サハラ型	Tombouctou Gao	乾燥度が著しく、畑作農業はほとんど不可能なサハラ・サー・ヘル気候 年雨量 300 mm 以下
内陸デルタ型	Mopti	ニジェール川内陸デルタを利用しての灌漑農業や牧畜が盛んな地域 年雨量 600-300 mm
スーザン地域		
乾燥型	Kayes Ségou	乾燥したスーザン性気候の地域 年雨量 600-1,000 mm
湿潤型	Koulikoro Sikasso	湿潤スーザン性気候 年雨量 1,000 mm 以上

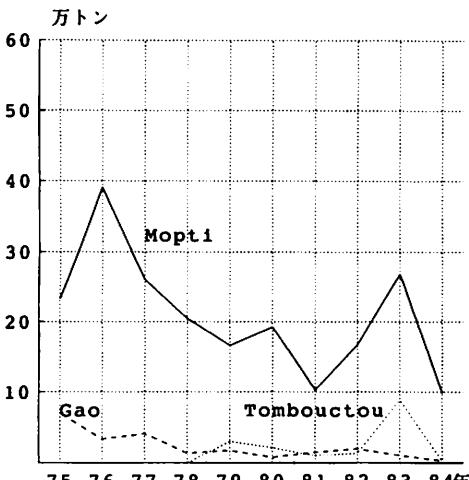


図 3-1. サー・ヘル地域各州の穀物生産変化。
(資料: DNE, 1989)

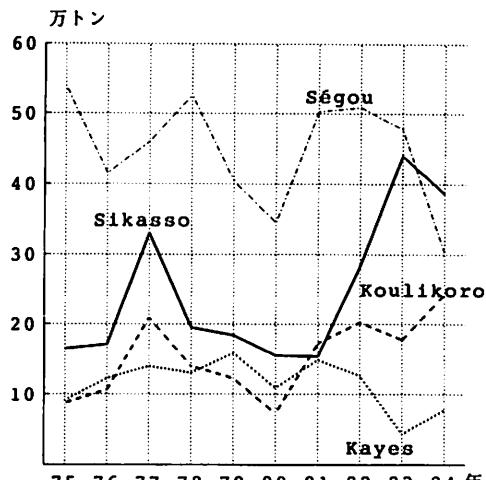


図 3-2. スーザン地域各州の穀物生産変化。
(資料: DNE, 1989)

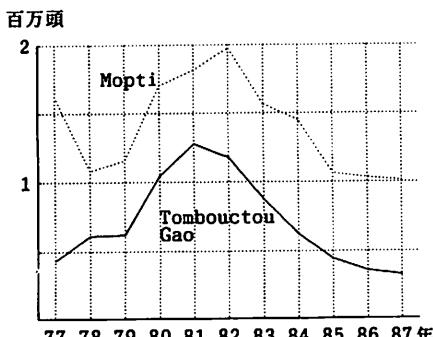


図 4-1. サーヘル地域各州のウシ頭数変化。
(資料: DNE, 1989)

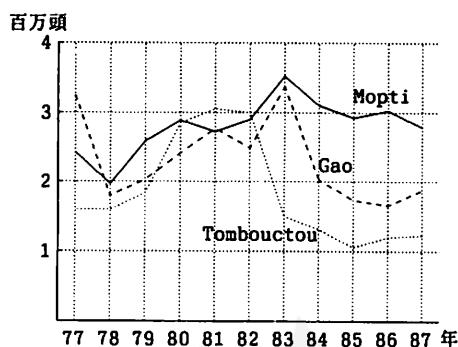


図 5-1. サーヘル地域各州の小家畜頭数変化。
(資料: DNE, 1989)

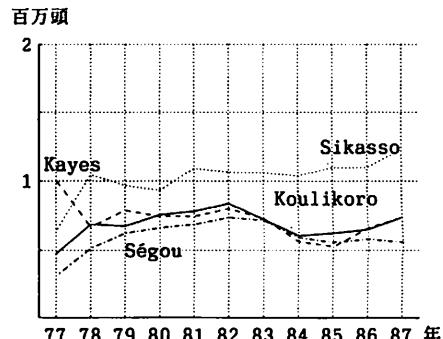


図 4-2. スーダン地域各州のウシ頭数変化。
(資料: DNE, 1989)

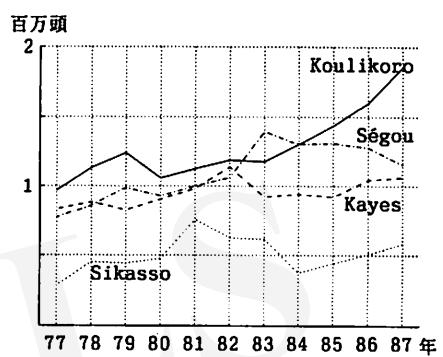


図 5-2. スーダン地域各州の小家畜頭数変化。
(資料: DNE, 1989)

に詳しく検討するように、デルタでの灌漑農業が問題になる。この地域で穀物生産が減少しているということは、灌漑農業も大打撃を受けているのである。また、Tombouctou 州における一時的な生産量の増大であるが、これも、乾燥化対策の一つとしてこの州のニジェール川沿いで大規模な灌漑工事が行なわれ人工水田の大規模造成が行なわれたためである⁴⁾。しかしこれがまた減少に転じていることは、やはり、大規模灌漑工事による乾燥化対策も失敗に終わった、ということを意味する。

3) 家畜頭数の州別比較

家畜頭数の州別比較はどうか。まず、ウシ頭数を比較しよう。ここでも、北部サーヘル地帯に属す Gao, Tombouctou, Mopti の 3 州は、同じ減少傾向を示す(図 4-1)。1981, 82 年頃に頭数を増やすが、その後は著しい減少傾向にある。

スーダン地域の諸州の場合(図 4-2)，最南部の Sikasso 州が、やはりはっきりとした増加傾向を示し、1985 年からは、Sikasso 州がマリ最大のウシ頭数地域になってしまっている。Koulikoro 州もやはり、増加傾向にある。乾燥型のスーダン地域の州(Ségou, Kayes

州)は、やや減少傾向を示しているが、穀物生産の場合ほど強くない。

ウシは乾燥に弱いが、湿润にも弱い。とくにこの地域の專業牧畜民フルベ族が飼育する大型で比較的乳の生産量が多いゼブ・ウシにとっては、ツェツエバエの分布が始まる年雨量 600 mm ラインが、危険ラインであった。年雨量 1,300 mm もあった Sikasso 地区などは、ゼブ・ウシの飼育はほとんど不可能であった。しかし、乾燥化により、この地域での牧畜はかえって容易になり、この地域は、乾燥化を逃れてサーヘル地域から移動してきた牧畜民の避難地になり、それゆえの農民と牧畜民の緊張関係さえ生じているのが現状である⁵⁾。しかしこの緊張関係は、乾燥化とともに湿润スーダン地域の生産力が向上しているために生じている。これは、乾燥化によって生産力が低下したサーヘル地域で生じている緊張関係とは、本質を異にする問題であることには注意を要する。Kayes や Ségou など、かつての乾燥型のスーダン気候地域も、サーヘル気候の上限近くに止まっている限り、ウシ牧畜にはそれほど悪影響はでない。

山羊や羊の小型家畜の場合、乾燥化の影響はさらに北部に限られる。サーヘル地域の Gao, Tombouctou 両州

表3. 乾燥化の農牧への影響の地域差。

生態学類型	州名	小型家畜	ウシ頭数	穀物生産
サーヘル型				
サハラ型	Gao Tombouctou	×	×	—
内陸デルタ型	Mopti	○	×	×
スーダン型				
乾燥型	Kayes Segou	○ ○	△ —	×
湿潤型	Koulikoro Sikasso	◎ ○	○ ○	◎ ○

×: 減少, △: 微減, ○: 微増, ◎: 増大, —: 判断不能

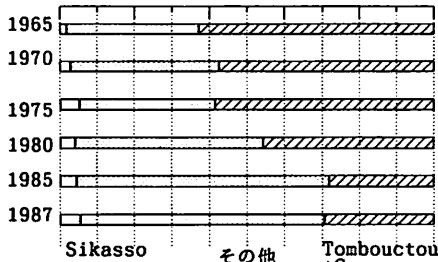


図6-1. 小家畜頭数の州別割合変化。
(資料: DNE, 1989)

は、ウシの場合の北部3州と同じ型のグラフを描く。しかしこのタイプにMopti州はもはや入らない(図5-1)。Mopti州の場合、むしろ漸増型に属す。小型家畜は、比較的乾燥に強いため、Mopti州では、乾燥化などで大型家畜のウシを失った人々がその財を立て直すための手段となっている。しかし、もともと乾燥地であるGao、Tombouctou州では、小型家畜は、それ以上の乾燥化に耐えられず減少していくのである。南部諸州はあいかわらず上昇タイプである(図5-2)。小型家畜の場合、上昇はKoulikoro州において最も顕著であるが、それは、首都バマコを含むKoulikoro州では、手取り早い現金収入の手段として小型家畜飼育が農民の間で盛んになっているからである。

4) 乾燥化の人間生活への影響の構造分析

以上の分析を表3のように総合して図式化してみると、乾燥化の構造的理解が可能になる。この表より、乾燥化対策は、地域ごとの特殊性を考慮して行なわなければならないことが了解され得るだろう。

しかし注意を要するのは、この表では、各地域の各項目の生産の絶対量が考慮されていない点である。例え

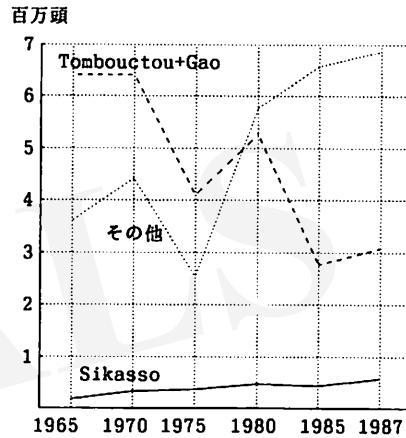


図6-2. 小家畜数変化の Tombouctou+Gao と Sikasso の比較。(資料: DNE, 1989)

ば、サーヘルのサハラ型の地域では、全項目にわたってマイナス生産になっているが、穀物生産はこの地域ではもともと絶対量が少ない。この場合、その生産が減少しても実はそれほど大きな問題にはならない。しかし家畜生産は、その絶対量が大きく、この地域どころか、マリ全体にとって基幹となっていた産業である。それゆえ、その減少によって引き起こされる打撃にはばかりしないものがある。とくに小型家畜はかつて1965年には、TombouctouとGao地区だけでマリ全体の60%以上を占めていたのが、1987年には30%を占めるにすぎない頭数に減少しているのである(図6-1, 図6-2)。ウシの頭数もかつては、TombouctouとGao地区だけでマリ全体の40%近くを占めていたのが、現在では、わずか7%。絶対数でもかつてマリ全体の8%ほどのウシを有するにすぎなかったSikassoに越され、Tombouctou・Gao地区とSikassoとの関係が完全に逆転してしまっている(図7-1, 図7-2)。マリ全体でも、牧畜生

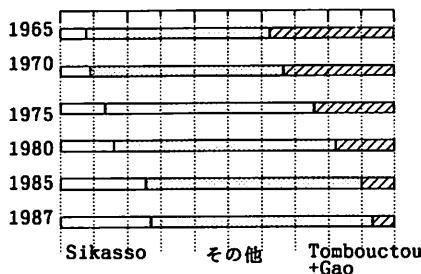


図 7-1. ウシ頭数のTombouctou+GaoとSikassoの割合比較. (資料: DNE, 1989)

産はマリの国民総生産に占める割合が、1969年の26%から、1977年の20%，1987年の16.8%へと低下を続けている(DNE, 1989; SNED, 1981)。

ところで、生産の絶対量の問題を考慮したとき、内陸デルタを占めるMopti州が受けている被害も、極めて大きい。というのは、Mopti州において減少著しいウシ頭数と穀物生産は、その絶対量がもともと大きく、その減少はMopti州の産業基盤の崩壊といってよいほどの意味を持つからである。このMopti州が位置するニジェール川内陸デルタにおける乾燥化の具体相を次に詳しく検討してみる。

2. ニジェール川内陸デルタの乾燥化

1) ニジェール川内陸デルタの自然と生業

ニジェール川内陸デルタは、ギニア高原に発して東北に流れる西アフリカの大河ニジェール川とその支流バニ川がサハラに向かって形成する、面積約3万km²の内陸デルタである。その南端において年雨量は現在では600mmすれすれ、北部のTombouctou辺りでは、100mm台の降雨量しかない。

傾斜はほとんどなく、内陸デルタ南縁に位置するDjennéの近くを流れるバニ川の高度が269m、直線で300km以上離れたTombouctou近くのニジェール川が高度261m、その差8mにすぎない。傾斜のほとんどない内陸デルタは、水上交通が早くから発達した土地である。これにより活発な商業活動も促され、内陸デルタの北端と南端には、Tombouctou, Djennéという世界的にも名を知られた商都が古くから栄えた(鷲田, 1988, 1990a)。

他方、ニジェール川・バニ川の水量は、季節により著しく変化し、増水期にはかつて、内陸デルタの大半2万km²近くまでが水に浸かったが、乾季には、一部の湖沼・湿地を残して、内陸デルタの大半は干上がる。こうした水量の激しい季節変動ゆえに、内陸デルタは、自然

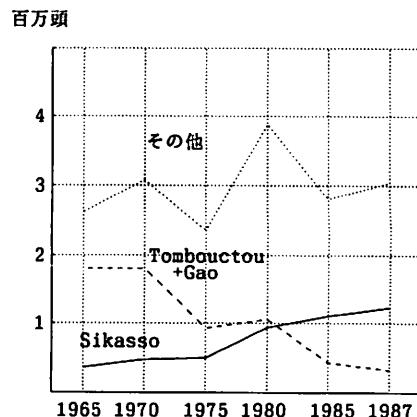


図 7-2. ウシ頭数のTombouctou+GalとSikassoの比較. (資料: DNE, 1989)

灌漑を利用した特徴的な農業生産がひろく行なわれてきた土地である。とくに、アフリカ稻の栽培と、減水したあとの氾濫原を利用して行なわれるソルガムの移植栽培が行なわれてきた。稻栽培はニジェール川内陸デルタ全域、さらには、Gao, Niameyに至るまでのニジェール川流域に広く行なわれ、ソルガムの移植栽培は、内陸デルタ下流部のニジェール川湾曲部で盛んである⁶⁾。

最乾期にも牧草や水が豊富な内陸デルタは、西アフリカ最大の牧畜適地でもあり、中南部にはフルベ族、北部ではタマシェック(トワレグ)、モールといった牧畜民が分布している。これらの牧畜民の家畜が多量に入出する内陸デルタの河川や湖沼は、自ずと富栄養となり、魚の宝庫でもある。それゆえ、内陸デルタには、ボゾヤソコと呼ばれる専業漁民さえ存在している。

内陸デルタは、このように様々な生業が複合的に存在し、それゆえの豊かさに恵まれた土地であった。例えば、内陸デルタの大半を占めるMopti州の面積は、マリの7%にすぎないが、1981年度統計で、人口はマリの20%，牧畜生産はマリの40%をも占める(SNED, 1981)。穀物生産も、21%に達する。こうした豊かさに支えられて、また、これらの生業と、各生業に多かれ少なかれ専業化した諸部族・諸社会集団を有機的に統一するためには高度の政治的配慮を必要としたこともあって、この地域は、マリ帝国、ソンガイ帝国、あるいは19世紀のマッシナ帝国のような国家社会の興亡が繰り返された地域もある。とくに19世紀の初期に成立したマッシナ帝国の場合は、牧畜民の定着化、家畜の移動ルート、移動時期などの決定を国家政策として行ない、内陸デルタの土地利用の合理化を図ったことが知られ、その取り決めは現在においてもまだ残っている(GALLAIS, 1967; CISSÉ, 1986; 鷲田, 1988)。

2) 縮小する内陸デルタ氾濫原

この内陸デルタが、1960年代の後半より激しい「乾燥化」に見舞われることになった。そのもっとも生々しい証言は、J. GALLAIS (1984) にみられる。GALLAIS (1967) は、「乾燥化」が始まる以前の1956年から1960年にかけて内陸デルタの地理学調査を行ない、1967年に、2巻610頁よりなる、内陸デルタの記念碑的な地理学研究 *Le Delta interieur du Niger* を公刊している。しかしその直後に「乾燥化」が始まると、したがって GALLAIS (1967) に盛られたデータや観察の多くは、数年ならずして、内陸デルタが湿润であった時代の「歴史的」記録と観察になってしまったのである。GALLAIS (1977, 1978, 1982) は、その後この「乾燥化」問題に研究を傾斜させていく。そのうえで書かれた新たな内陸デルタ論が、GALLAIS (1984) である。

では、その内陸デルタの「乾燥化」問題の本質は何か。それは、なによりも、ニジェール川、バニ川の水位の低下による、氾濫原の縮小の問題である (DNE, 1989) (図8、表4)。北流するニジェール川とバニ川は、南方、多雨地域に降った雨を集めてサハラに運ぶ巨大な自然の運河と考えてよい。それゆえ Tombouctou のような沙漠気

候の地域にも、川や湖沼群ができあがり、その利用を通じて、かなりの人口がこの地で養われてきた。しかし「乾燥化」とともに、沙漠中を流れるニジェール川の氾濫原は縮小し、サハラ沙漠中に存在したファギビンヌ湖のような湖沼群も干上がった” (KRINGS, 1986)。

しかしここで重要なことは、内陸デルタの「乾燥化」とは水位低下と氾濫原縮小の問題であるがゆえに、「乾燥化」は内陸デルタ全域に及ぶ問題だ、ということである。しかもその影響は、サハラ側よりも、湿潤度は増すが、デルタの南縁部上流部にあたる地帯のほうがかえって大きいという面さえある。これはサー・ヘル乾燥化問題においてほとんど認識されていない。

これはしかし、内陸デルタを、砂丘列によって塞き止められた巨大な底の浅いダム湖のイメージで考えたら理解しやすくなるだろう。ダム湖は水深の浅い上流部のほうが、縮小拡大が激しい。それゆえ内陸デルタ上流部には、増水期には浅く水没する広い氾濫原ができるやすい。そのうえ、このダム湖は、季節的な水位変化が著しい。これは内陸デルタの上流部は自然灌漑の最適地だということであり、実際、アフリカ稲の大耕作地になってきたのがこの地帯である (GALLAIS, 1967: 199-254, 1984:

表4. ニジェール川水量の減少率。(1952-87年平均に対して) (%)

測定地	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Douna (Bani川)	47.1	65.1	36.1	16	15.3	32.6	26.5	18.6
Mopti	64.6	79.4	61.2	48	38.5	56.4	47.5	44.8

(BALLO, 1989: 260 を簡略化)

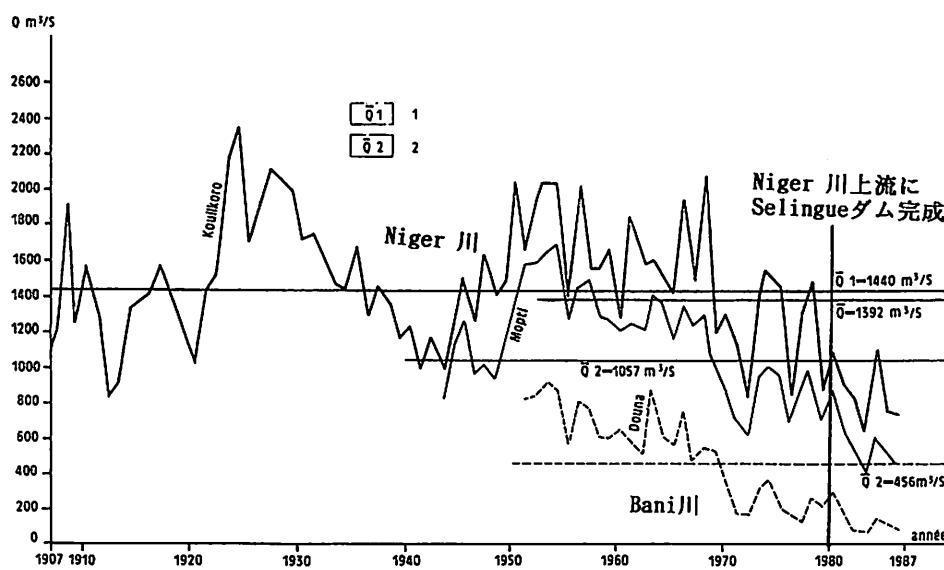


図8. ニジェール川・バニ川の最大流量変化。(BALLO, 1989)

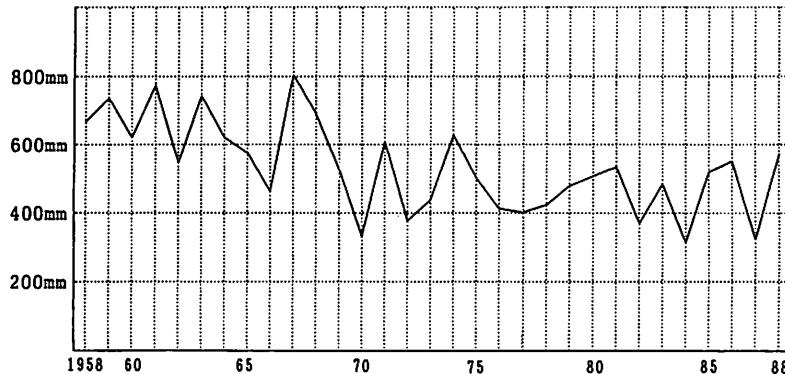


図9-1. Djennéの降水量変化 1958-1988. (資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ).

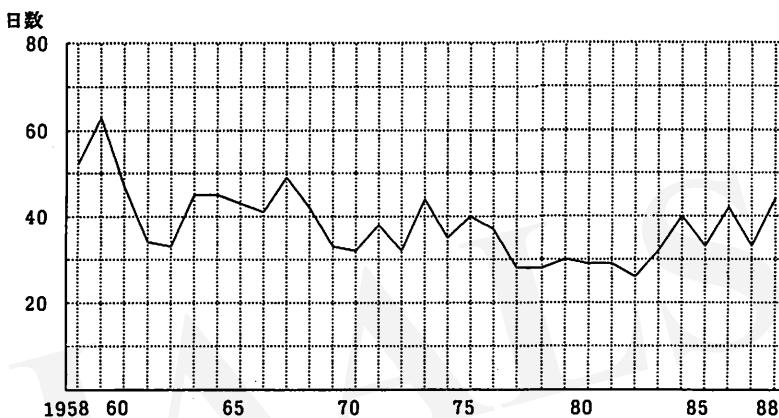


図9-2. Djennéの年間降水日数変化 1985-1988 (資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ).

95-112). しかしこれはそれだけ、この地域が、「乾燥化」の影響を真っ先に受けやすい場所ということでもある。増水期水位のごくわずかな低下によっても、これまで自然灌漑可能であった水田に、水がこなくなるということがあり得るからである。このため Djenné 地域は現在、北方の Tombouctou 地域に優るとも劣らない苦境の中にある。

3) 内陸デルタ南部上流部における乾燥化

Djenné における 1958 年以来の年間降雨量と降雨日数の変化を図9-1 と図9-2 に示した。サハラ南縁地帯の乾燥化は、1969 年に始まったといわれるが、Djennéにおいても、1969 年を境にしての降雨量・降雨日数の減少はグラフで明らかである。ちなみに、1968 年以前の年降雨量の平均は 657.6 mm, それ以後の平均は 463.3 mm, それ以前に比べて 71% の降雨量しかない。年降雨日数の平均も、44.9 日から 34.3 日へと、やはり 76% 台に下落している。

ところが、ニジェール川・バニ川の流水量の減少率

表 5. 1969 年後の降雨量変化. (Djenné)

	降雨量	降雨日数
1969-79 年の平均	465.6 mm	34.3 日
1980-88 年の平均	462.8 mm	34.2 日

(資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ)

は、これより遙かに大きいのである(表 4)。さらに降雨量・降雨日数は、1968 年以降ほぼ横ばいであるが(表 5)、ニジェール川およびその大支流バニ川の最大増水期における流水量は、1980 年を境におも大きく減少している。1980 年は、ニジェール川の上流部の支流に Selingué ダムが完成した年である。それゆえ、ダム建設がニジェール川水量の低下に影響を与えていることは確かである。ただしバニ川上流にダムはないが、バニ川の水量もやはり著しく低下している。それゆえ、80 年以後の水量の減少は、ダムの建設によってだけでは説明しきれない要要素を含んでいることにも注意されたい^⑨。

いずれにせよ上の比較から、内陸デルタ氾濫原の著し

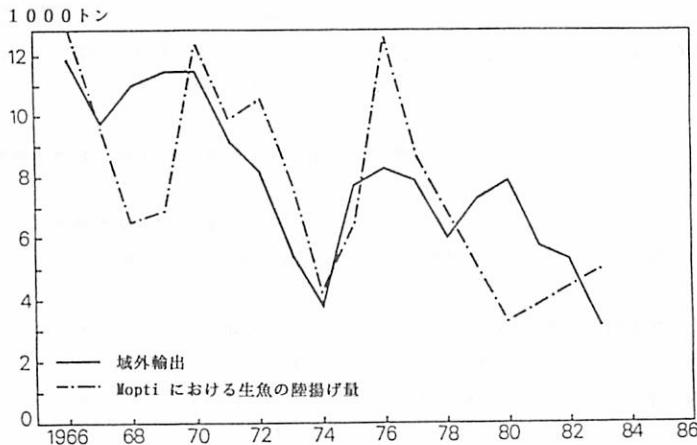


図10. Mopti における生魚の陸揚げ量と域外輸出量. (DE JONG AND HARTS-BROEKHUIS, 1985)



図11. 濡潤時代の Djenné
(1982年1月3日: マリ国土地理院)



図12. 干上がった水田を前に杵つく女たち.
(Pondori)

い縮小が生じており、これがために氾濫原を利用する漁業、稻作、牧畜が壊滅的な打撃を受けていることは想像がつくであろう。まだ示していない漁業の資料を紹介するなら、乾燥化が始まるまでは、内陸デルタでとれる魚は、国内消費されるばかりでなく、コート・ジボアール、ガーナ方面に、1万トンレベルの輸出が行なわれていたが、1970年以降、輸出は千トンレベルに下落してしまっている(MAHARAUX, 1982)。そしてこの下落は、内陸デルタの中心都市 Mopti に陸揚げされる漁獲量の下落とほとんど対応している(図10)。

Djenné というのはそもそも氾濫原に浮かぶ小さな島に立地した都市である。周囲は、ニジェール川・バニ川の分流に囲まれ、全周が港としての機能を果たし得た。1828年の3月、つまりもっとも乾燥した季節に Djenné を訪れたフランスの探検家ルネ・カイエは、3月23日に Djenné から船で Tombouctou に出発している。

さすがそれは12~15トン積み程度の小船であったが、荷物を満載してなおかつ20人以上の人間が乗っていた。そして本流バニ川の広さは、パリのポン・ヌフあたりのセーヌ川の広さの3倍は広かったと記している(CAILLÉ, 1979: 162-164)。ところが、私が調査を行なった1986~1987年には、12月頃すでに Djenné周囲の川の大半は干上がり、普通自動車でも川を渡ることができるほどであった。そして私は、運動場のような砂地の地面が広がる Djenné の周囲を、かつては水田が広がる地域であったという説明を聞きながら、普通乗用車でかなり自由に動き回ることができた。その説明を私は半信半疑できいたのであるが、これは、1952年に撮られた Djenné の航空写真を見ると明らかであった(図11)。この写真では Djenné のまわりには水田跡が歴然と広がっているが、1986年には、それは、自動車で自由に走り回

れる砂原に変わっていたのである（図12）。そしてこの砂原化した氾濫原に散在する、かつては漁民と稻作民が住んでいたという村々のほとんどはゴースト・タウン化していた。

こうしたニジェール・バニ川の水位低下による氾濫原の縮小によって引き起こされる稻作への壊滅的打撃は、伝統的な稻作に限らない。1970年頃から、内陸デルタ上流部、とくに、Mopti周辺には、多数の大規模人工水田が多大の資本を投下されて造成された。ところがこれらの水田はもともと、自然灌漑では水の得られにくい内陸デルタ周縁部に造成されたものであるだけに、そのほとんどが、1980年以降、水が得られなくて、稻作不能に陥っているのである（図13）。

したがって、Djenné地域の農業生産は著しく減少が予想し得る。しかし不思議なことに、私がDjennéで得たDjenné地域農業生産の統計は図14に示したような推移をたどる。もろこし類の生産は、乾燥化の影響をほとんど受けず、それどころか、むしろ上昇傾向にある。

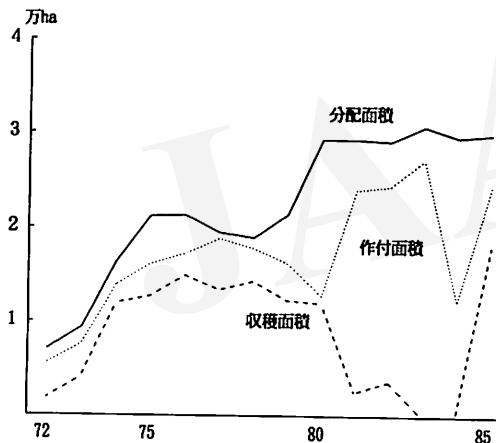


図13. 内陸デルタ人工造成水田の分配面積と作付面積、収穫面積。（資料：DE JONG et al., 1989）

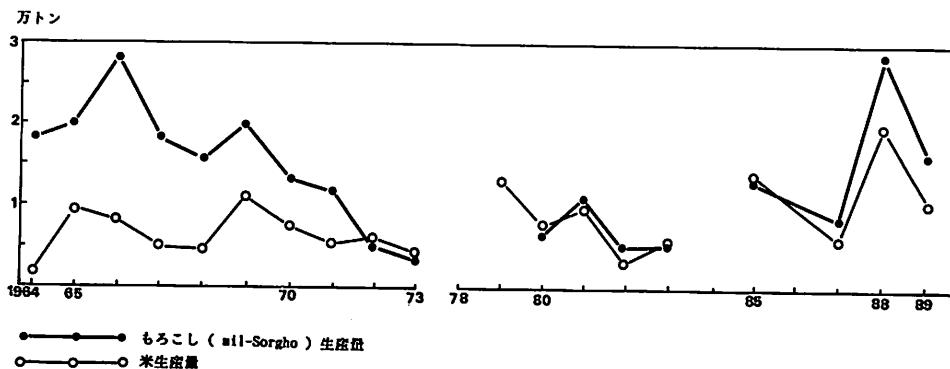


図14. Djenné郡 (cercle) におけるもろこし生産と米生産。（資料：SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ）

米生産も一度は落ち込むが、最近ではまた増大している。この意外な動きを理解するためには、Djenné地域の土地利用をめぐるミクロな分析が必要となる。

3. ジエンヌ・デルタにおける乾燥化問題の諸侧面

1) ジエンヌ・デルタの特性

Djenné地域の土地利用の特殊性を理解するためには、ダム湖モデルでとらえた内陸デルタの自然構造を、もう少し細かく図15のようにモデル化して考える必要がある。

すなわち、内陸デルタの地形はつきの3カテゴリーにわけられる。

- (1) 増水期にも水没しない微高地：デルタ周辺の台地や、デルタ内部の自然堤防、古砂丘など
- (2) 増水期には水没し、渴水期には干上がる氾濫原
- (3) デルタ内の最低地にあたり、増水期には深く水没し、渴水期にも水が残る湿原・湖沼地帯 (Bourgou)

(1)の高地には、村が置かれ、広いところでは畑作、また雨季の間の放牧地にも使われる。(2)の氾濫原は、稻作と、稻作終了後の放牧地として利用される。(3)の Bourgou は、増水期には水深深く水没するがゆえに稻作には不適であるが、乾燥のもっとも厳しい渴水期にも牧草 (*Echinochloa stagnina*) と水が残る地帯である。それゆえに、最乾季牧畜民が多数の家畜を連れて集まる、牧畜民にとっては生命線となる土地であり、牧畜民の所有となっている。またここでは、漁撈活動も盛んである。

そして重要なのは、このBourgou地帯の分布が限られていることであり、それは大きく2地域に限られる。一つは、ニジェール川から、デルタの入り口で分岐したチャカ川が、再びニジェール川と合流するデボ湖の南側周辺地帯である。これは事実上デボ湖の一部である。増水期には、デボ湖が南に向かって拡大し、渴水期には

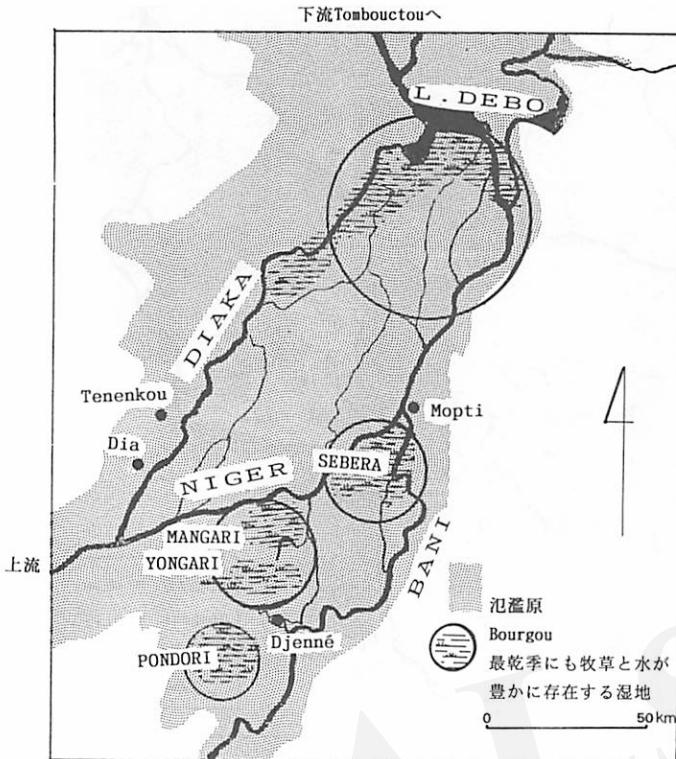


図 15. ニジェール川内陸デルタ地形の模式図。

ゆっくり縮小する。それゆえ、デボ湖南側には大湿地帯が広がる。もう一つのBourgou地帯は、意外と上流、ニジェール川とその支流バニ川の合流部、両河川に挟まれた地域である。しかしこの地帯のBourgouは、デボ湖南部のように一つの巨大なBourgou地帯を形成しているのではなく、いくつかの小さなBourgouにわかれてきた。それは大きくは、Sébera, Mangari (200 km^2), Yonagari (600 km^2), Pondori (700 km^2)、にわかれる。

つまり、内陸デルタは、デボ湖の北で塞き止められた一つの単一なダム湖と考えるのでなく、その内部にもう一つ、バニ・ニジェール川の合流部、つまり内陸デルタ東側に盛り上がるドゴン山地から伸びる台地で塞き止められた小さなダム湖を抱えた複合的なダム湖、と考えた方がよい。Bourgouが分布するのはその各々のダム近くである。

Djenné地域が位置するのは、この後者のダム湖地域である。傾斜がまったくないため、ニジェール川、バニ川の分流がいりみだれて流れる地域である。これをここではジェンヌ・デルタと呼ぶことにする。この地帯は内陸デルタの最上流部にあたっているので、地形的に極めて複雑である。デルタ外縁の台地がすぐ近くに迫り、デルタ内にも、デルタに流れ込むバニ川によって自然堤防

が形成されている。古砂丘も、島状の微高地として残っている。ジェンヌ・デルタではそれゆえ、こうした地形の多様性に応じた多様な土地利用が行なわれてきた（図16）。

したがってこの地域の民族構成も極めて複雑である。台地での畠作を好むバンバラ、氾濫原での畠作を好むマルカ、ならびに、フルベ族の隸属民リーマイベ、牧畜民のフルベ族、漁民のボゾ族、さらには、商都Djennéで商業活動や工芸に従事してきたソンガイ系住民などがある。

2) ジェンヌ・デルタにおける乾燥化

ジェンヌ・デルタにおける「乾燥化」はしたがって、少なくとも、上にみたような3種類の基本的な地形的特性、およびこれに結びついた土地利用とに応じて、異なる現われ方をする。これを整理すると次のようになる。

(1) まず先に示唆したように、氾濫原の畠作が壊滅的な打撃を受ける。氾濫原が氾濫しないために、畠作が不可能となるのである。しかも不思議なことに、水が来ない氾濫原には、雑草さえ生えない。これはなぜかわからないが、水がやってこない氾濫原は、ただ裸地の砂地が

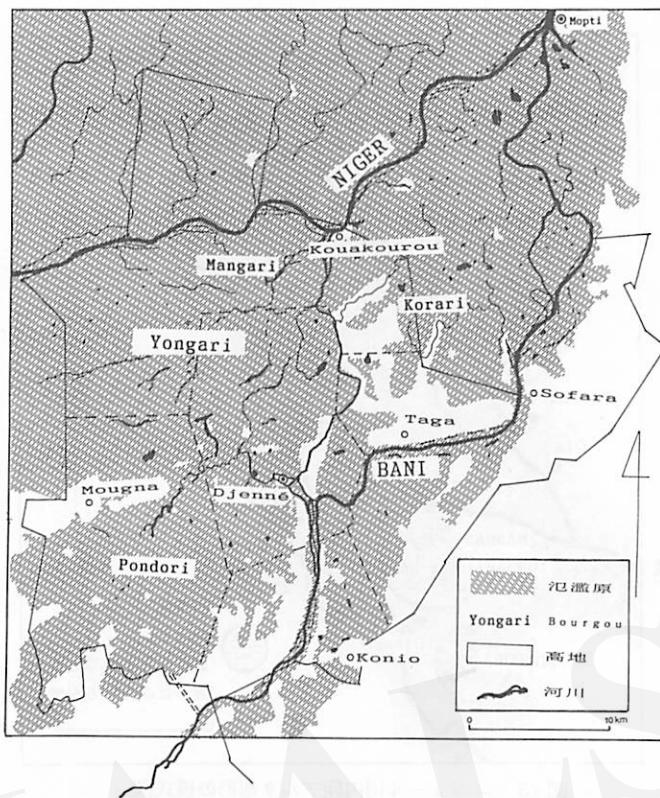


図 16. ジェンヌ・デルタの地形と Djenné 郡の行政区分。

広がるだけである。収穫後の稻田の切り株を目当てに行なわれていた家畜の放牧も、当然大打撃を受ける。氾濫原での漁業も不可能になる。ただしこの元氾濫原は、裸地化していても、堆積土壤であるため栄養分は高く、地下水も高い。年雨量も 400 mm 台あるので、ソルガム、あるいはトウジンビエの耕作が可能である。

(2) 濕原・湖沼地帯 (Bourgou) への影響は、その縮小・消失となって現われるが、それが人間の生業活動に及ぼす影響は、その規模によって大きく異なる。

全体が内陸デルタ上流部に位置するジェンヌ・デルタの Bourgou はもともと水深が浅くそれ程大きくない。それゆえ、ほとんどが大きく縮小し、とくに、最上流部に位置する Pondori は消失し、氾濫原ですらなくなったといってよい。Bourgou は乾季の牧畜の生命線であるがゆえに、消失する場合は、牧畜にとっては壊滅的打撃となる。漁業も当然不可能である。ただしジェンヌ・デルタの他の Bourgou, Yongari, Mangari, Sébéra などは、はなはだしく縮小したが、まだ小規模に残っている。このような場合、最乾燥期には、牧畜民がいっそう集中することになり、過放牧の状態になる。

しかし巨大な Bourgou の場合、縮小によって、Bou-

rgou はむしろ適性規模になることもある。デボ湖の南の大 Bourgou がその例である。ここは、湿潤時代には、むしろデボ湖の一部といつてもよいほど水深深く氾濫する Bourgou であった。それゆえその稲作地、牧地としての利用は困難であった。それが今は、乾燥化により生業活動にはむしろ適性規模に縮小し、他の Bourgou や、氾濫原を逃れてきた牧畜民、漁民、稲作民の一大集中地帯となっている。

(3) 最後に、氾濫原周辺、氾濫原の中にのびた自然堤防、氾濫原に散在する古砂丘などの、氾濫の及ばない台地・微高地における「乾燥化」の影響はどうか。これは、ジェンヌ・デルタ地域の場合かなり弱い。

かつて Djenné 周辺では綿花が相当栽培され、その綿花をつむいで織られる綿布は、北アフリカにまで輸出されるほどであったが（嶋田, 1990b: 459-460），現在綿花栽培は不可能になった。しかし、この地域は元来スーザン性気候とサーヘル気候の境に辺り、畑では主に、ソルガムではなく、トウジンビエ (petit mil 仏) が耕作されていた。年平均降雨量が 400 mm 台に落ち込んだため、少々耕作されていたソルガム栽培は困難になつたが、主作物のトウジンビエ栽培を不可能にさせるには

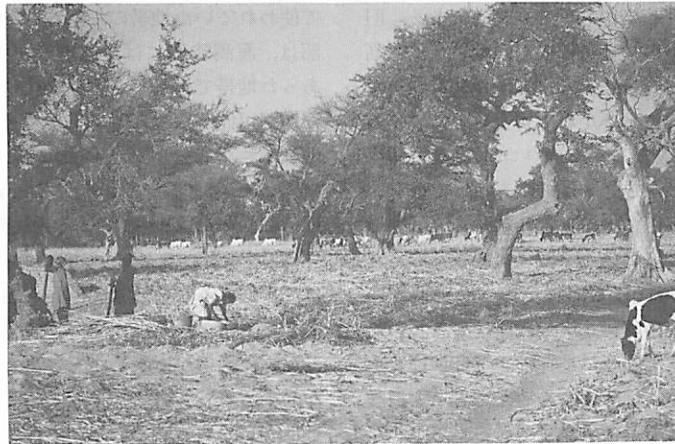
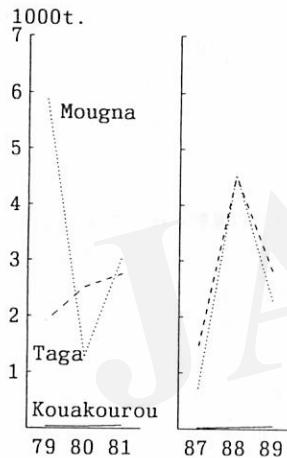
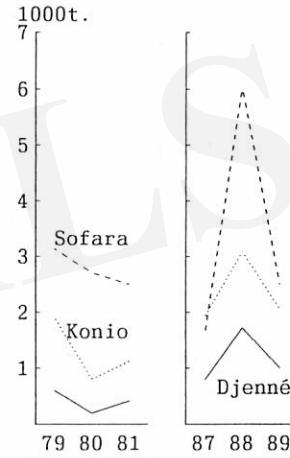


図 17. アカシア・アルビダが鬱蒼と茂る畑。

図 18-1. Djenné 郡内のモロコシ類生産停滞地域。
(資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ)図 18-2. Djenné 郡内のモロコシ類生産増大地域。
(資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ)

至っていないのである。

さらにこの地域では、アフリカの他の地域には見られないような集約的な農耕技術が発達している。それはなによりも、この地域の畑は鬱蒼と茂るアカシア・アルビダの林に象徴される。乾季のこの地域の畑は実にすばらしい。アカシア・アルビダは鬱蒼と緑の葉を茂らせ、畑には一面ウシの糞がバラ撒かれているからである(図17)。マメ科の樹であるアカシア・アルビダは空中窒素を固定して土壤を豊かにするうえに、雨季、栽培植物の成長期に葉を落とし、乾季、取り入れが終わり、ほかの植物が枯れるころ逆に葉を茂らすという特性をもった植物である。それゆえ、畑作物の収穫後には、家畜を畑に放し、トウジンビエの茎などとともに、アカシア・アルビダの葉を食べさせ、家畜の糞で、土壤を肥沃化させる

という農牧複合技術が、アカシア・アルビダとともに確立するのである。それゆえ、この地域では、焼き畑による移動耕作は行なわれていない。畑は常畑であり、しかも連作が可能である。少々の乾燥ではゆるがない農耕技術が確立されている、といってよい。

3) ジェンヌ・デルタにおける乾燥化への対応運動

上に見たのはしかし、それぞれの地域で、従来の土地利用を行なっている場合の、「乾燥化」の影響である。土地利用を変えるならば、乾燥化に対して有効な対応ができる。実際にはこれを試み、それが図14の不思議な生産量の推移となっているのだが、これを整理すると次のようになる。

(1) かつて稲作を行なっていた旧氾濫原の、畑作地へ

の転用。これはソルガム栽培がもっとも有効である。旧氾濫原であるため、土中の栄養分は多く、地下水位も高く、ソルガム栽培が十分可能である。Djenné 郡のモロコシ類の生産量が乾燥化にもかかわらず上昇しているのは、このためである。もちろん、モロコシ類の生産は Djenné 郡全地域にわたって上昇しているわけではない（図 18-1）。モロコシ類生産が大きく上昇している地域（図 18-2）は、旧稻作地帯をひろく抱えた地域である。

著しい乾燥は、湿润時代にも内陸デルタを定期的に襲っている。それゆえ、内陸デルタの人達は、著しい乾燥年があったからといって即座に稻作地を畑作地に変えることはしない。氾濫原に畑作作物を植えても、大氾濫があつたら作物が全滅してしまうからである。しかし乾燥が続くと、人々は少しづつ畑作を始める。それが Djenné 郡におけるモロコシ類生産の時間をかけての上昇となっている。これには、行政の指導もあるが、1991 年に Djenné を訪れて、氾濫原地帯を歩き回った際、もっとも印象的であったのは、ソルガム栽培が急速に広がっていることであった。

Djenné 南方の大 Bourgou である Pondori を含む Mougna 地区のモロコシ類生産が上昇していない。その最大の理由は、乾燥化により、Pondori 地域の稻作・漁業は壊滅し、ために、住民のほとんどがこの地域を去ってしまったからである。また、この Pondori は低地であるため、ニジェール・バニ川の増水、ちょっとした降雨量の増大によって、氾濫原化する可能性が強い。それゆえ、畑作への転換には危険が伴う。また、Pondori の農民は稻作専業民であったため、畑作への抵抗も強い。こうした複合的理由が作用している。

（2）旧 Bourgou、とくに、周縁部のかつて牧草地とし

て使われていた地帯の、稻田への転用。Bourgou の周縁部は、湿润時代には、湿地度が強くて稻作には不適であった地帯であったが、乾燥化によって、この地帯でも稻作が可能となった。ジェンヌ・デルタの場合、この適地は、ニジェール川と Djenné の間に広がる、Yongari, Mangari である。Yongari, Mangari を含む、Djenné, Kouakourou 地区における米生産の急増に注目されたい（図 19-2）。ただし、Djenné の人々が、ここまで出かけて耕作するためには、何日も泊まりがけの耕作を必要とする。また、バニ川沿い氾濫原にも水位低下により新たな稻作適地が出現し、そのため、Konio 地区の米生産がやや上昇している。

Pondori を含む Mougna 地区の米生産が上昇していないのは（図 19-2），かつて 700 km^2 の規模を有した Pondori の Bourgou が稻作にも転用できないほど干上がってしまっているからである。

（3）Bourgou 内中央部や、水深が深く、乾季でも沼や湖であった地帯の牧草地化。これはジェンヌ・デルタでは小規模にしか生じていない。ジェンヌ・デルタの Bourgou はみな小規模で浅く、ほとんどが干上がりかけているからである。

4) 乾燥化への適応運動に伴って生ずる諸問題

このように、ジェンヌ・デルタでは、その地形の特殊性に応じた乾燥化問題があり、またその特殊性に応じた特殊な対応が行なわれてきた。人間生活の観点から見たとき、「乾燥化」問題が尖鋭化するのはこのレベルである。これを整理すると次のようになる。

（1）稻作から畑作へのシフトは、生産量のレベルでは稻作の代替の役割を果たすが、経済的には代替しな

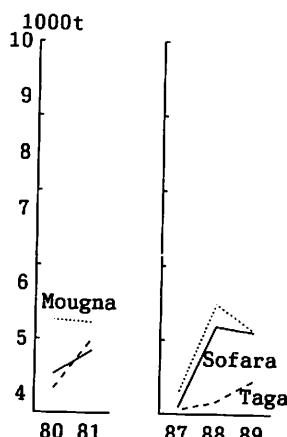


図 19-1. Djenné 郡内の米生産停滞地域。
(資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ)

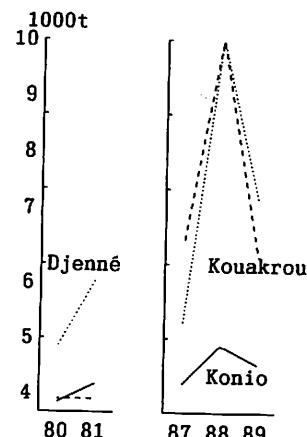


図 19-2. Djenné 郡内の米生産増大地域。
(資料: SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ)

い。なぜならまず、畑作の単位あたり収量は、稻作に比べて著しく低いからである。この辺りでは、稻作は水さえあれば、1 haあたり1トン以上2トン近くの収穫も可能であるのに対して、畑作の場合、ソルガムは600～700 kg、トウジンビエは300～400 kg程度の収穫量しかないといわれている。そのうえ、ソルガム類は内陸デルタ以外でも広く栽培されている作物であり、希少価値がなく、単位あたりの価格も、米の80%程度にとどまる。それゆえ、現金収入の手段としては、稻作のほうはるかに有利であり、実際、米はこの地域の伝統的な交易品目の一つであった（鳴田、1990a）。また、稻作を一斉に畑作に転換すると、ソルガムの供給過剰、値崩れが生ずる。

(2) 農耕に不適であったBourgouは、先述マーシナ帝国の時代以来、牧畜民に使用権・所有権が与えられてきた土地である。これを他の農民が使用するとなると、牧畜民の伝統的権益の侵害になる。政府は、事態の緊急性に鑑み、牧畜民の伝統的権益を縮小する政策をとっているが、牧地の稻田への転用をめぐっては、牧畜民と稻作民の緊張が高まり、訴訟沙汰が絶えなくなっている。しかもこの問題への行政側の介入には、とくに前政権末期には、贈賄その他の不明朗な問題がたえない。1989年度に行なわれたマリ・ヴィエンナーレと称する演劇祭の地区予選の出し物にも、こうした訴訟を巡る腐敗を題材にした演劇がDjennéの若者たちによって上演されて、観衆のヤンヤの喝采をあびるほどであった。

(3) 牧地の稻作地への転用が問題なく行なわれた場合、上のような政治的問題は生じない。特に牧畜民自身が稻作を始める場合、政治的問題は生じない。このケースは実際多いのであるが、この場合も、経済的に果たして有利な土地利用かという問題は生ずる。牧畜生産のほうが稻作よりもはるかに経済的に有利であり、牧畜民にとって稻作は隸属民であるリーマイベが行なう生業にすぎなかつたからである。またマリにとっても家畜、とくにウシは、主要な輸出品目であり、家畜輸出は全輸出額の40%内外を占めてきたのである。

(4) さらに、全体的に見て、牧畜、漁業の犠牲のうえに成り立つこうした乾燥化への対応は、デルタ地域に存在していた牧畜・漁業・稻作・畑作の複合的な相互依存関係を破壊している。多数の家畜がデルタ地域にくることによって、畑作も稻作も漁業も、豊かな生産力を誇ることができた。家畜の提供する糞は、栽培植物にとっても魚にとっても貴重な栄養源となってきたからである。家畜が来ないデルタでは、農業生産も、漁業生産もその高い生産力を長く保持できない。また新たな土地利用が行なわれているため、土地使用を巡って諸民族間、ある

いは同一民族でもその内部集団の間で取り決められてきた諸慣行、相互承認されていた諸権利が危機に瀕し、土地利用は法的に無秩序状態に近くなっている。

つまり農産物の生産高で見る限り一見成功したかに見える乾燥化への対応も、経済的次元、政治的次元で重大な問題を引き起こし、また、持続力も含めた総合的な生産力において歴然たる打撃を逃れられないである。

4. おわりに

マリの国の具体的な事例によりながらも、サハラ南縁地域の乾燥化問題の多面性を、人間生活の観点から、かなりモデル化する形で理解することを試みた。乾燥化・沙漠化というと、雨が降らなくなり地表面の植生がはぎとられ裸地化する、文字どおりの「沙漠化」がイメージされやすい。しかしこのこと自体が人間生活にとって直接のダメージとなることは意外と少ないのである。

乾燥化が直接受け人間生活にマイナスとなるのは、年雨量600～400 mm以下のサーヘル地域である。このラインより南では、乾燥化はむしろプラスの要因として人間生活に作用している。

サーヘル地域の人々にとっても、文字どおりの「沙漠化」というよりは、サーヘル地域を流れる河川の水位の低下とそれに伴う氾濫原の縮小が真の問題である。サーヘル地帯には意外と大河が存在し、人々の生活は河川とその氾濫原の利用によって基礎を支えてきたからである。サーヘル地域では人工灌漑はほとんど発達していない。しかし、季節変動が激しいサーヘル地域の河川は広大な氾濫原、つまりは自然灌漑地を形成しやすく、その多角的利用が人々の生活を支えてきた。その氾濫原が、乾燥化により、それもおそらくはサーヘル地域というよりも、その南方水源地帯の乾燥化により大きく縮小してしまっているのである。近年これらの河川の上流部に建設されたダムも、増水期の水量を押さえる作用があり、氾濫原の縮小に大きな影響を与えているようである。

サーヘル地域の乾燥化対策のポイントはしたがって、サーヘル地域に流れ込む河川の水量の確保、それも、増水期にはむしろできるだけ増水させて、できるだけ広い氾濫原を形成できるような流量の確保にある。サハラにむけて、地中海やコンゴ川から水をひく大運河計画が語られたりする。しかしサハラ南縁地帯にはすでに、いくつもの自然の大運河が存在している。その水源涵養を含めてこの自然の大運河を有効活用し、氾濫原の再活性化をはかるこそが、乾燥化対策に限らず、サハラ南縁地帯開発のもっとも有効で経済的な手段になろう。

注

- 1) いずれも、文部省科学研究費補助金海外学術研究による。
1986-87: ニジェール川大湾曲部諸文化の生態学的基盤および共生関係の文化人類学的研究(代表: 川田順造東京外国語大学教授)。1989, 1990: アフリカ・イスラームにおける都市-農村関係の動態比較(代表: 米山俊直京都大学教授)。1991: 西アフリカ、英・仏語圏における言語政策による文化変容に関する民族学的研究(代表: 江口一久国立民族学博物館助教授)。
- 2) 例えば、マリの元人文科学研究所(ISSH)所長のシセ先生は、幼少年期を Sikasso で過ごされた方であるが、むかし遊んだ川や泉が現在ではまったく涸れ果てていることに驚いているという。
- 3) Sikasso 州では、綿花の栽培面積は、1960 年の 20,700 ha から、1975 年にはその 2.5 倍以上の 54,590 ha に増え、1980 年にはさらにその 50% 増となっている(DIALLO, 1983: 71, 80)。
- 4) 1984 年までに合計 15,168 ha の造成が行なわれている(RÉGION DE TOMBOUTOU, COMITÉ RÉGIONALE DE DÉVELOPPEMENT, 1985: 6)。
- 5) 筆者のマリにおける研究協力者 Samba DJALLO (1983) の学位論文は、こうした南部湿润地域における牧畜問題をめぐつての重要な研究である。
- 6) ソルガムの移植栽培は、氾濫後の氾濫原で耕作するため、播種。移植した後水が来なかったり、雨が降らなかったりといふ理由で、収穫不能になるということはない。それゆえ、この地域では、ソルガムの移植栽培が急速に増えている。例えば、1980 年度の統計では、Tombouctou 州におけるソルガムの生産量は、稻生産量の 2 倍にも達している。しかし前年の統計では、ソルガム生産量は稻生産量の 4 分の 1 しかない(RÉGION DE TOMBOUTOU, COMITÉ RÉGIONALE DE DÉVELOPPEMENT, 1985: 23-24)。
- 7) この干上がったファギンヌ湖で植林活動を行なっているサヘルの会(1990)の活動報告に、この辺りの事情が詳しく述べられている。
- 8) 図 8 は実は、ダムの完成は、内陸デルタの乾燥化に関係ないことを論証しようとした論文からの引用である。その論拠として、BALLO (1989) は、ダムが建設されていないバニ川の流水量も減少していることを挙げているのであるが、私はこの説には全面的に賛成できない。というのは、これはすでにルネ・カイエも指摘していることであるが、ニジェール川はバニ川に対してダムの役割を果たす。それゆえ Djenné のところでバニ川から分岐しているスマン・バニ川は、ニジェール川が十分増水した時代には、むしろニジェール川の分流となつた。したがって、バニ川の流水量減少は、ニジェール川の流水量減少とも連動しているはずである。
- 9) 鳩田(1988) 参照 しかし同じように複雑な民族構成は内陸デルタの多くの地域でみられる。例えば、DIAKITÉ (1986) を見よ。

引用文献

- BALLO, A. (1989): Influence du barrage de Sélingué dans la cuvette du Niger. *Cahiers d'Outre-Mer*, 42-167: 257-270.
- CAILLÉ, R. (1979): *Voyage à Tombouctou II*. Flammarion, Paris.
- CISSE, S. (1986): Le Delta intérieur du Niger: organisation spatiale. In Mahdi ADAMU and KIRK-GREENE, A. H. M. eds.,

Pastoralists of the West African Savanna, Manchester University press, Manchester: 283-297.

- DE JONG, A. A. AND HARTS-BROEKHUIS, E. J. A. (1985): Étude approfondies du milieu rural. *Investigation socio-économique de la ville de Djenné et ses environs*, rapport, 7. Université d'Utrecht.
- DE JONG, A., HARTS-BROEKHUIS, A. AND VAN BOMMEL, R. (1989): Petit périmètres irrigués, une alternative ou un complément aux rizières submersibles? *Cahiers d'Outre-Mer*, 42-167: 27-1292.
- DIAKITÉ, D. (1986): Mise au point sur le delta intérieur du Niger. Les fondements historiques du peuplement du Delta. *Cahiers d'Outre-Mer*, 39-156: 425-435.
- DIALLO, S. (1983): *L'élevage bovin paysan dans le sud du Mali*. Thèse de ce cycle, Université de Rouen Haute Normandie.
- DNE (Direction Nationale de l'Elevage, Ministère des Ressources naturelles et de l'Elevage) (1989): *Analyses des Effectifs de la sécheresse sur l'Elevage au Mali*. Bamako.
- GALLAIS, J. (1967): *Le Delta intérieur du Niger*. 2 tomes, I. F. A. N., Dakar.
- GALLAIS, J. (1977): Stratégie sahariennes et avenir du Sahel. In GALLAIS, J. ed: *Trav. et Doc. Geogr. Trop., CEGET/CNRS-Bordeaux*, N° 30: 261-281.
- GALLAIS, J. (1978): *Étude des anomalies de la crue du Niger*. O. R. S. T. O. M., Paris.
- GALLAIS, J. (1982): Déficit vivrier du Mali et nouvelle riziculture du Delta intérieur du Niger. *Cahiers géographiques de Rouen*, No. 17: 29-38.
- GALLAIS, J. (1984): *Hommes du Sahel*. Flammarion, Paris.
- 門村 浩(1991a): 過去 2 万年間の環境変動。門村 浩・武内和彦・大森博雄・田村俊和『環境変動と地球沙漠化』朝倉書店, 54-63.
- 門村 浩(1991b): サハラ南縁地帯における歴史時代の干ばつと沙漠化。門村 浩・武内和彦・大森博雄・田村俊和『環境変動と地球沙漠化』朝倉書店, 64-80.
- KRINGS, T. (1986): Les migrations sahariennes du Mail entre 1981 et 1985 et leur installation spontanée à Mopti. *Cahiers géographiques de Rouen*, N° spécial, études sahariennes: 43-54. Rouen.
- MAHARAUX, A. (1982): La Coopérative des pêcheurs de Mopti (Mali) et la commercialisation du poisson. *Cahiers d'Outre-Mer*, 35-139: 271-291.
- RÉGION DE TOMBOUTOU, COMITÉ RÉGIONALE DE DÉVELOPPEMENT (1985): *Diagnostic de la Région de Tombouctou*.
- サヘルの会(1990): 「マリ共和国における活動の記録(1989 年 1 月-12 月)」——(上) ファギンヌ水系】
- SERVICE AGRICOLE DE DJENNÉ (1979-1990): *Rapports annuels. Cercle de Djenné*.
- SERVICE VÉTÉRINAIRE DE DJENNÉ (1987-1989): *Rapports annuels. Secteur Djenné O. D. E. M.*
- 鳩田義仁(1988): マーシナ帝国物語。「季刊民族学」46。
- 鳩田義仁(1990a): トンブクトゥーサハラ南端の交易。イスラム都市。「地理」35-7: 38-45.
- 鳩田義仁(1990b): 棚族文化から衣服文化へ——西アフリカ内陸社会における「イスラム・衣服文化複合」の形成。「国立民族学博物館研究報告」12: 447-530; 28-38.
- 鳩田義仁(1992): サヘルの「内陸化」と「後進化」。門村 浩・勝俣 誠編『サハラのほとり』TOTO 出版: 93-109
- SNED (1981): *Projet du Seuil de Djenné — Étude de pré-tactilité*—. Rapport final, Bamako.

Drought and Human Productive Activities in Sub-Saharan Zone —Case study in Mali—

Yoshihito SHIMADA*

Drought causes highly diversifield effects on human life according to regions and kinds of production. Taking the case of Mali, where same degree of drought has prevailed since 1969 all over the country, I tried to make clear some controversial human aspects of drought.

1) The effects of drought on the cereal and animal poductions in Mali are contrasted between Sahel and Sudan. Negative effects are limited to the former part, while the wetter Sudanian regions, formerly too wet to develop agro-pastoral production, have augmented their production in the same period.

The effect on each kind of production is variable. Cereals are the most sensitive and get nagative effects even in the drier zone of Sudan, while cattle production scarcely goes down there. Sheeps and goats are the most resistive and diminish, though drastically, only in the Saharan Sahel zone.

2) The serious problem for the people in Sahel comes from the diminution of flood plains in which Sahel *abounds*. Particularly, the Inner Delta of the Niger has provided vast privileged terrains for natural irrigation farming (rice and sorghum), pastoralism and fishing. But now these plains are reduced and all the fringes of the Delta are suffering from drought.

This drought is no less violent in the southern fringe of the Delta than in the northern part, for slightly flooded plains easy to exploit are widely extending in the upper Delta. This part is therefore the most populated and developed part of the Delta, in the heart of which Djenné, famous Islamic trading city, is situated. This is also the reason for which this part is the most fragile to drought. Even Pondori, vast zone of marshy flood plains (Bourgou) extending south to Djenné and rich in paturages and fishing as well as in rice production, is now dried up. In a word, Djenné is dried up.

3) Cereal production increases however in the Djenné Cercle, since people began to cultivate sorghum-millet in the ex-rice fields and rice in the ex-paturages, but at the sacrifice of pastoralism and fishing. The complex relationship established between different kinds of production, pastoralism, fishing, flood plains farming, dry farming, crafts and commerce is now in crisis. Animal manure being no more furnished, the ex-flood plains are weakening in their productive capacity. People lose as well their capacity in money economy, because cereal production can not gain so much cash as cattle husbandry and fishing. Finally, this is a highly political crisis, for all the customs and rights concerning the uses of the natural resources which have been admitted among the peoples concerned now come into question.

Key Words: Drought, Sub-Saharan, The Inner Delta of the Niger, Pastoralism, Flood plains farming

*The faculty of Social and Human Sciences, Shizuoka University, 836 Ohya, Shizuoka, 422 Japan.

(Received Aug. 3, 1992; Accepted Sept. 14, 1992)

い。なぜならまず、畑作の単位あたり収量は、稻作に比べて著しく低いからである。この辺りでは、稻作は水さえあれば、1 haあたり1トン以上2トン近くの収穫も可能であるのに対して、畑作の場合、ソルガムは600～700 kg、トウジンビエは300～400 kg程度の収穫量しかないとされている。そのうえ、ソルガム類は内陸デルタ以外でも広く栽培されている作物であり、希少価値がなく、単位あたりの価格も、米の80%程度にとどまる。それゆえ、現金収入の手段としては、稻作のほうはるかに有利であり、実際、米はこの地域の伝統的な交易品目の一つかつであった（鳴田、1990a）。また、稻作を一斉に畑作に転換すると、ソルガムの供給過剰、値崩れが生ずる。

(2) 農耕に不適であった Bourgou は、先述マーシナ帝国の時代以来、牧畜民に使用権・所有権が与えられてきた土地である。これを他の農民が使用するとなると、牧畜民の伝統的権益の侵害になる。政府は、事態の緊急性に鑑み、牧畜民の伝統的権益を縮小する政策をとっているが、牧地の稻田への転用をめぐっては、牧畜民と稻作民の緊張が高まり、訴訟沙汰が絶えなくなっている。しかもこの問題への行政側の介入には、とくに前政権末期には、贈賄その他の不明朗な問題がたえない。1989年度に行なわれたマリ・ヴィエンナーレと称する演劇祭の地区予選の出し物にも、こうした訴訟を巡る腐敗を題材にした演劇が Djenné の若者たちによって上演されて、観衆のヤンヤの喝采をあびるほどであった。

(3) 牧地の稻作地への転用が問題なく行なわれた場合、上のような政治的問題は生じない。特に牧畜民自身が稻作を始める場合、政治的問題は生じない。このケースは実際多いのであるが、この場合も、経済的に果たして有利な土地利用かという問題は生ずる。牧畜生産のほうが稻作よりもはるかに経済的に有利であり、牧畜民にとって稻作は隸属民であるリーマイベが行なう生業にすぎなかつたからである。またマリにとっても家畜、とくにウシは、主要な輸出品目であり、家畜輸出は全輸出額の40%内外を占めてきたのである。

(4) さらに、全体的に見て、牧畜、漁業の犠牲のうえに成り立つこうした乾燥化への対応は、デルタ地域に存在していた牧畜・漁業・稻作・畑作の複合的な相互依存関係を破壊している。多数の家畜がデルタ地域にくることによって、畑作も稻作も漁業も、豊かな生産力を誇ることができた。家畜の提供する糞は、栽培植物にとっても魚にとっても貴重な栄養源となってきたからである。家畜が来ないデルタでは、農業生産も、漁業生産もその高い生産力を長く保持できない。また新たな土地利用が行なわれているため、土地使用を巡って諸民族間、ある

いは同一民族でもその内部集団の間で取り決められてきた諸慣習、相互承認されていた諸権利が危機に瀕し、土地利用は法的に無秩序状態に近くなっている。

つまり農産物の生産高で見る限り一見成功したかに見える乾燥化への対応も、経済的次元、政治的次元で重大な問題を引き起こし、また、持続力も含めた総合的な生産力において歴然たる打撃を逃れられないのである。

4. おわりに

マリの国の具体的な事例によりながらも、サハラ南縁地域の乾燥化問題の多面性を、人間生活の観点から、かなりモデル化する形で理解することを試みた。乾燥化・沙漠化というと、雨が降らなくなり地表面の植生がはぎとられ裸地化する、文字どおりの「沙漠化」がイメージされやすい。しかしこのこと自体が人間生活にとって直接のダメージとなることは意外と少ないのである。

乾燥化が直接人間生活にマイナスとなるのは、年雨量600～400 mm以下のサーヘル地域である。このラインより南では、乾燥化はむしろプラスの要因として人間生活に作用している。

サーヘル地域の人々にとっても、文字どおりの「沙漠化」というよりは、サーヘル地域を流れる河川の水位の低下とそれに伴う氾濫原の縮小が真の問題である。サーヘル地帯には意外と大河が存在し、人々の生活は河川とその氾濫原の利用によって基礎を支えられてきたからである。サーヘル地域では人工灌漑はほとんど発達していない。しかし、季節変動が激しいサーヘル地域の河川は広大な氾濫原、つまりは自然灌漑地を形成しやすく、その多角的利用が人々の生活を支えてきた。その氾濫原が、乾燥化により、それもおそらくはサーヘル地域というよりも、その南方水源地帯の乾燥化により大きく縮小してしまっているのである。近年これらの河川の上流部に建設されたダムも、増水期の水量を押さえる作用があり、氾濫原の縮小に大きな影響を与えているようである。

サーヘル地域の乾燥化対策のポイントはしたがって、サーヘル地域に流れ込む河川の水量の確保、それも、増水期にはむしろできるだけ増水させて、できるだけ広い氾濫原を形成できるような流量の確保にある。サハラにむけて、地中海やコンゴ川から水をひく大運河計画が語られたりする。しかしサハラ南縁地帯にはすでに、いくつもの自然の大運河が存在している。その水源涵養を含めてこの自然の大運河を有効活用し、氾濫原の再活性化をはかるこそが、乾燥化対策に限らず、サハラ南縁地帯開発のもっとも有効で経済的な手段になろう。

土壤表層に集積する塩類の捕集法

安部征雄*・山口智治*・横田誠司*・大塚義之**・井伊博行**

1. はじめに

土壤溶液中の塩類は土壤表面からの水分の蒸発に伴って表層に運ばれ、地表にごく近い層に集積する。その塩類は濃度が高まるにしたがって地表直下の土中へと拡散していく、塩類集積層を拡大させていく（中野、1991）。

このような機構を持つ土壤内の塩類集積現象は、世界的には乾燥地・半乾燥地を中心に進行する沙漠化の人為的原因の一つとして（UNITED NATIONS, 1977；門村、1989），わが国にあってはハウス利用の施設集約栽培条件下（位田、1975；嶋田、1979）などで大きく取り上げられている問題である。また、塩類集積は灌漑農業との関連でその程度や規模が規定されるケースが多く（ECKHOLM, 1976；JAMES *et al.*, 1982；松本、1988），高生産性の農用地を保全し、食料供給基盤を確保する観点からも対応がますます重要となっている。

土壤表層に集積する塩類の防止法として、土壤表面からの水分蒸発の抑制法、作土層への塩類を含む土壤溶液の上昇阻止法、灌漑用水の水質改良法、灌漑用水の使用量の節減法などが提示されている（FAO/UNESCO, 1967；USA NATIONAL ACADEMY SCIENCES, 1974；農業土木学会乾燥地農業開発基礎調査委員会、1977）。また、塩類が集積した土壤への対策としては、塩類集積層と下層土との反転混入、他所の健全な土との換土、水による塩類のリーチングなどが行なわれている（鈴木、1978）。特にリーチングは、排水の確保を前提とするならば、効率的かつ半永続的な方法として推奨され、広く利用されている（SHAINBERG and SHALTHEVET, 1984）。しかし、これらの方法は、多大な土工や資材・設備が必要であったり、事後に別の問題を生じさせる面を持っていたりし、解決策として安心できる水準ではなく、より確実で、持続可能な完成度の高い技術の提案が緊急に望まれている。

そこで本研究では、土壤表面からの水分の蒸発に伴って土壤表層に集積する塩類を新たに開発導入する「塩類捕集シート」に積極的に集積させ、捕集し、さらにその塩類を土壤内での塩類循環系外に持ち出すことによって、塩類集積の予防または緩和を図る方法を確立することを

主課題とした。この発想は塩類の表層集積機構を利用して、工学的手法を用いて新たな問題解決策を提案することの必要性と有益性から発せられた。

塩類捕集シートにより土中への塩類の拡散が抑制されれば、土壤の塩類濃度が作物栽培に支障のないレベル以下にある場合などは、土壤環境を作物栽培が可能な状態に長期間維持することが可能となり、持続性のある塩類集積対策として期待できる。また、施設園芸ハウスなどの集約栽培条件下では、捕集シート上に捕えられた塩類の処理を適切に行なうことにより、捕集塩類の有効成分の再利用または他用途への利用も考えられる。このような観点からの塩類集積対策に関する詳細な検討例はみられない。

本報では、農業上の利用を想定し、この塩類捕集シートの発想が有効となる実証的情報を得るために、捕集シート素材の質と種類、表面積をパラメータとした形状と構造などによる土壤溶液の伝達性能や塩類の捕集収容量について測定実験を実施し、土壤溶液や集積・捕集塩類の土壤および捕集シート内における挙動に関する基本的特性についての検討を行なった。

2. 実験方法

1) 塩類捕集シート

水分の蒸発に伴って土壤表面に集積する塩類を捕集するために供試体の土壤表面上にセットする構成材を、「塩類捕集シート」と総称することとする。塩類捕集シートは表1に示すようにシート型、スティック型および蒸発抑制型の3種類とした。それぞれはさらに構成素材の数、大きさ、形状などにより細分類した。今回用いた捕集シートの構成素材は医薬用ガーゼ（イワツキ KK: 10 m × 30 cm, タイプI）、化学実験用濾紙（TOYO: 5.5CM2）、農業用ビニル（三菱モンサント化成: 0.05 mm厚、透明）などで、将来的な実用化を考慮して安価・再利用可能・入手容易なもので、さらに実験再現性の観点から規格化された製品を用いた。

シート型は、対象土壤表面全面をシート状の素材で被覆し、水分蒸発面を土壤表面からシート表面に移し、集積・捕集後の塩類の土層への移動を防止する効果をね

* 筑波大学農林工学系

** 清水建設技術研究所

らったタイプである。

スティック型は、細い木製棒状芯材にガーゼを巻きつけてスティック状塩類捕集材とし、それを土壤表面に直立させ、下層から表層に上昇してきた溶液が突起部に移動しやすい性質を利用してスティックに集積塩類の一部を捕集させようとするタイプである。

蒸発抑制型は、シート型とスティック型とにさらにビニルシートを組み合わせ、土壤表面からの水分蒸発を抑制して土壤の乾燥化を防ぐとともに、土壤表層付近に集積する塩類のすべてをスティック状捕集材に捕集しようとするタイプである。

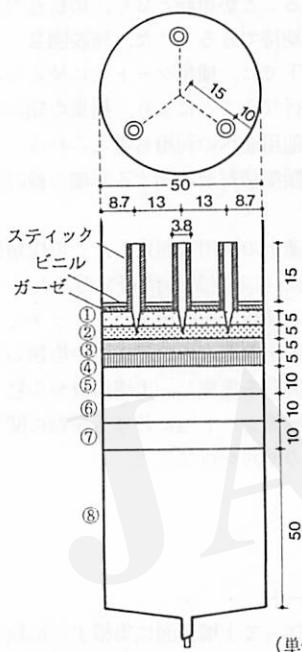


図1. 塩類捕集実験の供試体 (VS3タイプの例)。

2) 供試体

試料土として既存の塩類を洗浄除去した豊浦標準砂を用いた。本標準砂の粒度組成は粒径100~420μmの砂分がほぼ100%で、その真比重は2.63である。

供試体は、内径5cm、高さ14cmのガラス製カラムに、最疎充填と最密充填との平均値に相当する305.4gの絶乾試料を土柱体積が200cm³となるよう充填して作成した。土柱体積は、カラムに試料を静かに流し込んだ後、カラム外周を均等に軽くたたきながら調節した。このときの土柱高さは約10cm、乾燥密度は1.53g/cm³、間隙体積は83.9cm³となった。

供試体はマリオットを用いて0.5%NaCl溶液で土壤間隙を飽和させた。試料土を溶液になじませるため土壤表面に湛水させた状態で約1日間静置し、その後、湛水のNaCl溶液を除き飽和供試体とした。

3) 塩類捕集実験

塩類捕集シートを図1に例示するように飽和供試体の土壤表面にセットした後、土層表層部と捕集シートに塩類を集積させるため、各実験条件ごとに10個の供試体を温度40°C、相対湿度50%に設定した恒温恒湿槽に入れた。槽内の風速分布は0.8~2.0m/sの範囲で均一ではないので、10本の供試体が同一円周上を自動的に回転する装置を用い、供試体の水分蒸発部の風速条件の均一化を図った。

図2に上記実験条件下における純水と0.5%NaCl溶液を土壤溶液とし、捕集シートを用いない場合の乾燥特性曲線を示した。純水の場合、全体的には一般的にいわれる乾燥特性を示している。それに対して、0.5%NaCl溶液の場合は乾燥の進行にしたがって乾燥速度は途中に変化点を持ち、徐々に減少する。これは乾燥が進むにつれて

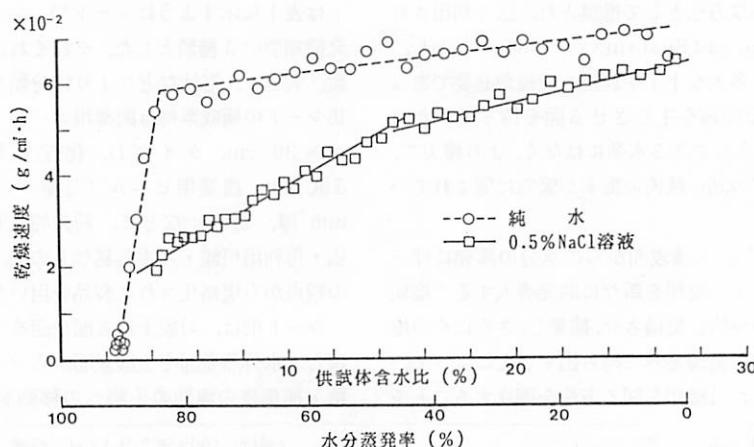


図2. 捕集シートを用いない場合の乾燥特性曲線。

表 1. 塩類捕集シートの分類とシート構成素材。

型 名	タイプの記号	シート構成素材				
		ビニル (枚)	ガーゼ (枚)	スティック		その他
				数(本)	巻ガーゼ寸法 (たて×横 mm)	
シート	G2	—	2	—	—	R: ろ紙
	G5	—	5	—	—	
	GR	—	2	—	—	
スティック	S3	—	—	3	20×100	R: ろ紙
	GS3	—	2	3	20×100, 20×200	
	GM	—	2	1	20×200, 上部袋状	
蒸発抑制	VS1	1	2	1	20×50, 20×100, 40×50	R: ろ紙
	VS3	1	2	3	20×50, 20×100, 40×50	
	VS5	1	2	5	20×50, 20×100, 40×50	

がって土壤表層に塩類が集積して、水分の蒸発が阻害される状況が起きるためである。

飽和状態を出発点として、水分蒸発量の増加すなわち乾燥の進行に伴う供試体の捕集シートおよび土層別の塩類分布ならびに水分保持の変化経緯を把握するため、所定の乾燥段階ごとの供試体に対して以下の処理を行なった。

まず、恒温恒湿槽から取り出した供試体の最上部の塩類捕集シートは、集積塩類を落とさないように土壤表層から脱離させビーカに入れる。これに純水 20 cm³ を加えて十分に攪拌し、その電気伝導度(EC)を測定した。また、G5 や GR などの多層型捕集シートについては、シート層内部の塩類分布状態を把握するために、それぞれのシート層を 1 枚ずつ別々にビーカに入れ、純水 20 cm³ を加えて EC を測定した。

捕集シート部を取り除いた供試体は、図 1 に示した分割土層厚にしたがって、土柱深さ 2.0 cm までは 0.5 cm ごとに 4 分割、2.0~5.0 cm は 1.0 cm ごとに 3 分割し、5.0~10.0 cm はひとまとめとし、計 8 層の分割試料土をビーカに採取した。表層に近い部分は塩類集積勾配が急になるので細分割した。それぞれの湿土質量と同量の純水を加え攪拌して土壤懸濁溶液を作成し、EC を測定した。測定温度は 20°C とした。次に土壤懸濁溶液を炉乾燥し、分割試料の乾燥質量を求め、土壤溶液量と含水比を算出した。

これらとは別に、捕集シートを用いない場合の乾燥に伴う土壤内の塩類集積と水分状態把握のための実験を行なった。捕集シート部の扱いを除けば、他の実験条件・方法は同一である。

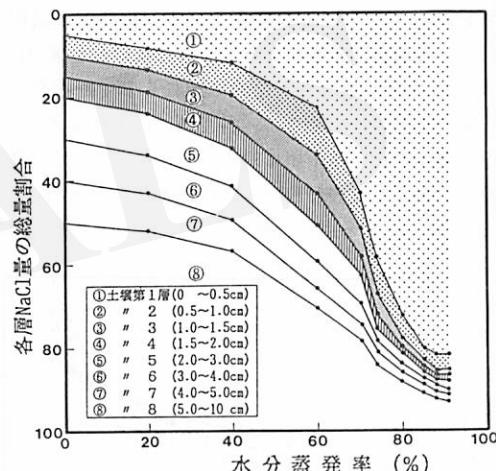


図 3. 水分蒸発率と各層 NaCl 量の総量割合
(捕集シートなし)。

4) 実験データの処理

測定した電気伝導度は、あらかじめ使用電気伝導度計セルの NaCl 溶液濃度に対してキャリブレートされた変換式によって NaCl 質量濃度に変換した。

一方、土層分割時の湿土質量と炉乾燥後の乾土質量から分割試料の溶液質量を求め、これと懸濁溶液作成時に加えた純水質量の和を EC 測定時の溶液質量とした。この溶液質量と NaCl 質量濃度との積の 1/100 を各層の含有 NaCl 質量とした。次に、土層分割が各層厚さごとに正確に行なわれたとした場合の NaCl 質量の補正を、土層分割炉乾燥試料と正分割時の炉乾燥試料との質量差を求める、それに含まれる NaCl 量を比例配分により増減

させて行なった（安部，1983）。

捕集シート部分は一律に溶液量を20gとして、濃度を乗じてNaCl質量を求めた。また重層シートの場合はシート部各層についてNaCl質量を求めた。捕集シート部および各土層部のNaCl質量を合計し、その合計に対する捕集シート部および各土層部のNaCl割合を求めた。

3. 実験結果および考察

1) 捕集シートを用いない場合の塩類集積

土壤表面に塩類捕集シートをセットしない場合の乾燥の進行に伴う土層別の塩類および含水比の変化経緯をそれぞれ図3,4に示した。

両図の横軸の水分蒸発率は、飽和土壤溶液量に対する供試体の土壤表面からの水分蒸発量の百分率と定義し、乾燥程度を表わす指標として用いた。この指標は、飽和を初期状態として風乾程度までの1行程の乾燥過程の検討をする場合、蒸発により失われた水分と土壤中に残存する溶液量の割合を対比的に知れるので好都合である。図3の縦軸の目盛りは、各土層に含まれるNaCl量の全土層中の総NaCl量に対する割合を上層部から順に積算した量として表わした。次節以降の図5から図9までの捕集シートを用いた場合の図では、最上部に捕集

シートに捕えられる割合が示され、その下に土層部の割合が図3と同様に示される。

塩類の集積および捕集実験開始時、すなわち水分蒸発率が0%の段階では、0.5%NaCl溶液による間隙飽和は土柱全体にわたって均一とみなせるので、各層のNaCl割合の比は層厚の比に一致する。乾燥が開始されると、第1層では、NaCl割合が乾燥初期には緩慢に、そして水分蒸発率60%付近から急激に増加し、乾燥終盤において一定に落ちく変化傾向を示す。第2層から第4層までのNaCl割合は、水分蒸発率40%程度まではほぼ一定で、その後、蒸発率60%程度までは増加気味に、さらにその後には漸減する型を示す。第5層から第7層までのNaCl割合は漸減する。最下層の第8層では集積は認められない。

NaCl割合が増加する過程は明らかにその層に塩類が集積していく状況を示すものと理解できるが、NaCl割合が一定で推移する過程について以下のように考えられる。図4に水分蒸発率と各分割土層の含水比の関係を示した。この変化パターンは土壤表面に様々な種類の塩類捕集シートをセットした場合でも大きな違いはなかった。これによれば表層部の含水比は水分蒸発率が低い段階において急激に低下するため、各層に含まれる溶液量も急激に減少することになる。それにも関わらずNaCl量が一定に保たれるのは、その溶液量減少分を溶液濃度の上昇で補っていることによる。この2層から4層までの濃度上昇に関与する塩類は第1層の表面において集積され、下層に拡散してきた塩類である。高乾燥段階に達すると、表層からの塩類の拡散が減少し（安部、1983）、これらの層への集積は少なくなる。

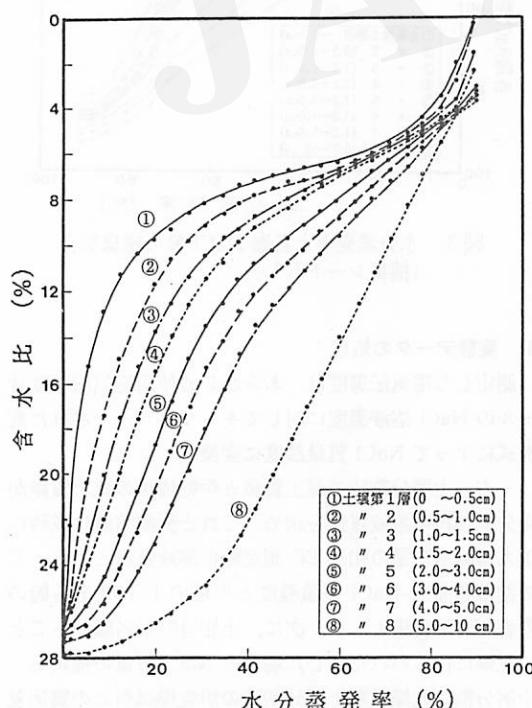


図4. 各土層の含水比の変化。

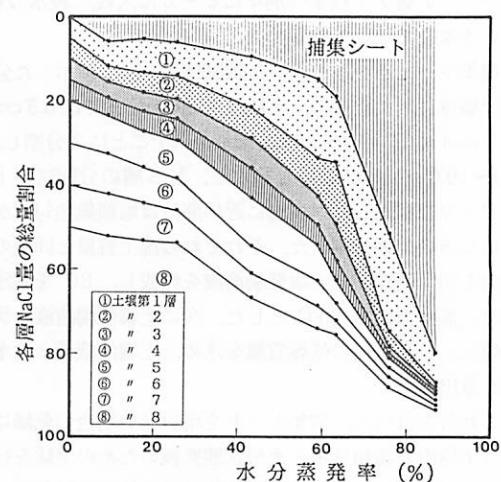


図5. 水分蒸発率と各層NaCl量の総量割合 (G2: ガーゼ2枚)。

裸地状態の場合において、以上のような特徴を持って土壌表層付近に集積する塩類を、土壌表面にセットする塩類捕集シートによっていかに効率良く捕え、土層部への移動を抑制して土壌中の塩類濃度の上昇を防止するかが最も重要な課題となる。

2) 「シート型」による塩類の捕集

土壌表面が平坦で凹凸が少なければ、表層付近に集積する塩類は面的に均一な分布を持つ。これを捕集しようとする場合、対象とする土壌表面全体を被覆するシート型の捕集シートが効果的と考えられる。また、捕集シートの別の重要な狙いは塩類の土壌内のエンドレスな循環をシートで断ち切り、土壌への無用な塩類の移動を抑制することと、さらにシートで捕集した塩類を回収・分離して再利用を試みることである。これらの目的のためにもシート型が効率的である。

シート型の性状や形状として、シート表面上で濃縮されたり結晶化された塩類をシート内にとどめる能力に関する材質、シート表面で濃縮された塩類が下方向へ移動する深さに関するシート厚、土壌溶液の捕集シートへの伝達性に関する土壌表面でのシートの接触状態などについて検討した。

まず、ガーゼ素材の効果を見るため、ガーゼ2枚を重ねて0.2 mm厚さの捕集シートとしたG2の場合の結果を図5に示した。

G2捕集シートへのNaClの集積は、シートなしの場合の最上層の第1層とよく似た傾向を示した。水分蒸発率60%付近で変化点が形成され、それ以前ではNaCl量の増加割合は小さく、その後急激に増加した。しかし、乾燥段階前半ではG2のシートのみで捕集した塩類は

シートなしの0.5 cmの厚さの第1層に集積した塩類より量的に少なく、効率よく捕集できたとはいえない。乾燥段階後半は捕集シートの捕集効果はよくなった。

捕集シートと接する第1層では、NaCl割合はシートなしの場合の第2層の約2倍の割合で増加し、水分蒸発率60%以降の減少程度は小さかった。乾燥前半は捕集シートに捕えきれない塩類が土層まで拡散しているためで、完全に拡散を防止するにはシートの厚さが薄いことを示している。また、後半はガーゼ表面に集積した塩類からの移動は減少するが、全体的に乾燥してくるとガーゼ厚さが薄いことから第1層の上部が大気との界面として機能し、そこが一部の溶液の水分蒸発面を形成して塩類の集積が起きるためと考えられる。第2層以深のNaCl割合はシートなしの場合の第3層以深の傾向と類似している。なお、ガーゼは乾燥段階全般にわたって土壌との密着性も良好で、溶液の伝達性も優れていた。

ガーゼの枚数を5枚にしてシート厚を0.5 mmに増して土壌への塩類の再移動を抑制できるか否かを検討した。その結果を図6に示した。

捕集シート全体に集積する塩類は、前述の変化点を持つパターンとは異なり、全乾燥過程にわたって水分蒸発量に見合うNaCl量を完全に捕集しながら、一定割合で増加する。土層第1層のNaCl割合はほとんど変化せず推移するので、土壌溶液濃度としては上昇していることになるが、その影響はG2の場合の第1層はもちろん、第2層から第4層までの影響より小さい。また、第2層以深のNaCl割合は漸減しており、塩類の表層からの拡散はほとんど認められない。したがって、ガーゼ5枚の厚さで完全な捕集が可能なことが確認された。

5枚のガーゼの層ごとに捕集された塩類の分布をみると

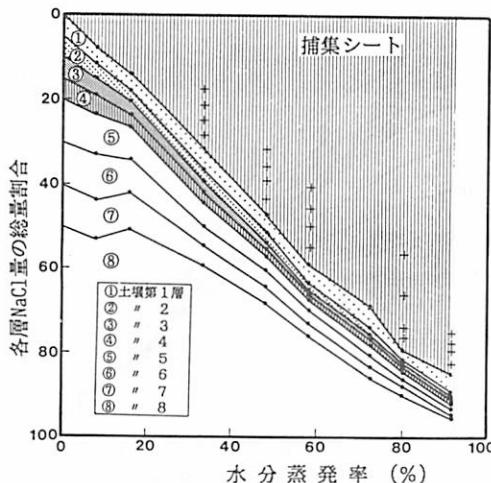


図6. 水分蒸発率と各層NaCl量の総量割合
(G5: ガーゼ5枚)。

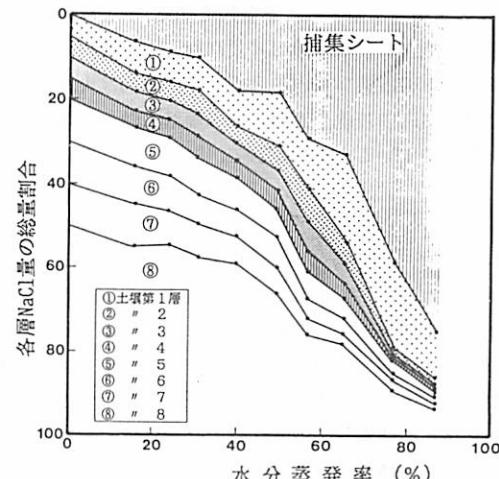


図7. 水分蒸発率と各層NaCl量の総量割合
(S3: スティック3本)。

ため、図6の捕集シートのNaCl割合の中に各ガーゼに集積した割合を上から順に区分する「+」記号で示した。これによると最上部のガーゼに捕集塩類の50%から70%程度が捕集されており、2枚目以下のガーゼには残りのNaCl割合を4等分する分布となっている。上から2枚目までのガーゼに捕集される量はG2捕集シートの場合より全乾燥過程において多く、ガーゼの枚数の増加によるシート厚さの影響だけではなく、シート素材の溶液に対する性質やシートと土壤との接触状態および溶液の移動性なども影響していると考えられる。

紙質素材の効果を見るため、化学実験用の濾紙を用いた例を試みた。濾紙は湿った状態では捕集材として機能したが、表面が乾燥してくるとより乾燥した側を内側にして反り返るので、単独では捕集シートとして利用できなかった。そこで、濾紙と土壤表面との間に両者の接触をよくし、溶液のシートへの移動性を確保するため、2枚のガーゼを間に挟んでGRタイプの捕集シートとした。結果は幾分効率は落ちるが、G5とほとんど同様となった。最表層の濾紙にはG5のガーゼ第1層の捕集量と同程度の塩類が捕集されており、土壤からの溶液の供給をガーゼなど導水性の良い素材によって確保すれば紙質の素材でも効率を高められることが確認された。

シート型は対象面積が広くなると資材経費の問題が生じるが、乾燥地域における集約栽培としてのハウスやトunnel栽培などでは有効に機能すると考えられる。また、全面を被覆するということに、土壤や作物体の保温、太陽熱や熱風などの遮蔽、土壤水分の蒸発抑制による乾燥防止などの機能を併用させれば、多目的な資材として付加価値は上がり、普及の可能性はあると予想される。

3) 「スティック型」による塩類の捕集

広域農地における塩類の捕集に対して、資材の節減や捕集シートの取扱いなどを考慮して、適当な大きさ・形状で農作業時の着脱や素材からの集積塩類の分離・回収が実施しやすいことを想定して、スティック型シートを検討した。

まず、もっとも基本形である捕集用スティックのみを3本セットした場合の結果を図7に示した。高さ20mm、直径3.8mmの外表面ガーゼの3本のスティック型捕集シートにおけるシート全体のNaCl割合は、G2と比較すると水分蒸発率が約60%までは高い率で増加し、その後の急激な増加過程はむしろ小さくなる傾向を示し、捕集効率の変化点の存在は認められた。したがって、全体的にはS3の方が全面被覆のG2より効率が良い結果となった。

土壤表面にスティックを直立させると、供試体の下層

から土壤表面に向かって上昇した溶液は、スティックに向かいその棒状のガーゼの表面で水分を蒸発させ塩類を集積させるものと、土壤の表面でその現象を生じさせるものとに分かれる。スティックに集積する量は、変化点までは蒸発水分に含まれていたNaCl量の30~40%で、その後約4倍の増加割合を示し、90%の水分蒸発率では80%となる。観察によれば、スティックへの集積の特性として、より上部に集積する傾向がみられるので、一度スティック表面で集積した塩類の土層部への移動は少ないか、ほとんどないと考えられる。一方、土層第1層への集積は、NaCl割合が徐々に増加しながら全乾燥過程を経過することから、土壤表面での蒸発によって進行していることがわかる。この第1層への集積に関与する溶液は全水分蒸発量からスティック部からの蒸発量を差し引いた量となるので、そこで集積量は減少する。その結果、塩類の拡散も減少し、第2層から2、3層分への集積がG2やシートなしの相当層より少なくなることになる。第1層の溶液量の多少が、変化点の形成と同様に、集積塩類の下層への拡散特性に影響を及ぼす現象として注目される。

また、土壤表面における集積量は、スティックを直立させた位置を中心同心円状に距離に応じて増加する分布を持つことが予想される。今回の実験条件では土壤表面の蒸発面積が比較的小さかったのでこの検討できなかったが、スティック間の距離やセット密度を決定するには必要な情報であり、再考察をする課題である。

スティック型はスティックへの土壤溶液の集中を促進することで集積および捕集効果を高めることができるの、スティック(S3)に全面被覆のガーゼ(G2)とを組み

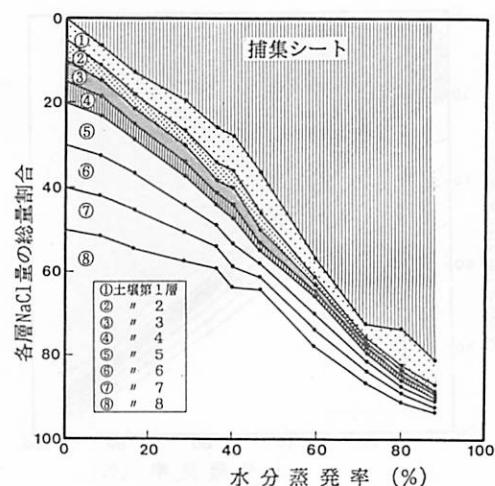


図8. 水分蒸発率と各層NaCl量の総量割合
(GS3: ガーゼ2枚、スティック3本)。

合わせた GS3 のケースを検討した。その結果を図 8 に示した。捕集シート全体での NaCl 割合は、完全な捕集ができた図 6 の G5 よりは幾分効率が落ちる傾向で增加了。土壤表面上のガーゼから土層部の第 1 層への塩類の拡散量は、S3 と対比すると各乾燥段階での 2 分の 1 から 3 分の 1 であり、ガーゼ併用の効果が認められた。

S3 と G2 の捕集シートへの集積量を単純に加算した場合より GS3 の方の効率が良いのは、ガーゼのセットによりスティックへの溶液の移動が促進され、土壤面での蒸発量が減少したためと考えられる。また、全面被覆の前述の問題点を除くために、溶液の移動性の確保という観点から紐状や網状の親水性の素材の代用などが考えられる。

GS3 のスティックのガーゼ巻数を増やし外表面積を約 50% 増したり (GS3-20×200)，その上にさらにスティックの最上部の形を茸類の頭のように袋状 (GM) にして蒸発表面積を増やす工夫をすると、捕集効率は G5 のようにほぼ完全な形に改良された。

4) 「蒸発抑制型」による塩類の捕集

乾燥地においては、普通、土壤からの激しい蒸発を抑えてできる限り土壤中の水分を保持し、植物が成長するのに利用できる量を確保することが必要となる。そのことはまた、土壤表層への塩類の集積を抑制する方法にもつながる。そこで蒸発を抑制しながら、集積する塩類はスティックに捕集する方法を試みた。捕集シートの構造は、図 1 に示すように、GS3 のシートの表面に蒸発防止用のビニルをもう一つのエレメントとして加えたものである。また、表 1 に示すような数値で、3 本のスティック

は高さやガーゼの巻数を変え、蒸発表面積を変化させてその効果をみた。さらに、大気との界面を形成するスティックの本数で蒸発量をコントロールするための情報を得るために、本数が 1 本と 5 本の場合も加えて検討した。

VS3 のスティックの寸法が 20×50 の結果が図 9 である。捕集シート全体の NaCl 割合は、蒸発が進行した分だけのすべての塩類を完全にシートに集積させながら增加了。スティック部分と、面的に土壤と接しているビニールの下のガーゼ部との塩類の量を分離して「+」記号で示したが、ガーゼ部にはほんの 2,3 パーセントしか集積しておらず、集積塩類のほとんどがスティックに捕集されていることがわかる。土壤部分の集積は第 1 層においてもほとんど認められず、極めて効率のよい方法であることが確認された。

蒸発抑制型の他のスティックのサイズについての結果は図 8 とほとんど同様となった。したがって、ビニールでスティック部以外の土壤表面を完全に被覆することによって、上昇してきた溶液はすべてスティックに導かれ、その表面において塩類は集積するといえる。

この型の捕集シートは本実験の中でもっとも複雑な構成となり、現場適用に当たってより多くの問題が発生することが予想されるが、集約栽培が可能な条件が整えば利用価値は高まるので、塩類の捕集技術の可能性の模索という観点から必要であると考えられる。また、乾燥地域により適合した灌漑技術が開発され、作物栽培の条件が改良されるならば効率の良い方法としてその導入が期待される。

5) 捕集シートの乾燥時間差

室温 40°C、相対湿度 50%、NaCl 溶液濃度 0.5% の環境下における各種捕集シートの乾燥過程の水分蒸発率と乾燥時間との関係を図 10 に示した。各曲線は乾燥の進行に伴って始め直線的に経過するが、後半 2 次的な関係となる。捕集シートを用いない場合の関係曲線を基準に比較すると、G2 をはじめとしてシート型の G5、GR は類似した曲線となり、土壤表面が捕集シートが被覆されていても水分の蒸発は影響を受けなかった。そのほか、スティック型の S3 と GS3 の 20×100 サイズもほぼ同様であった。

それに対して、スティック型 GS3 の 20×200 と GM は、スティックの表面積が増えた影響が現われ、乾燥の進行が早い例となった。また、蒸発抑制型については、スティックの本数の違いで同一水分蒸発率に達するまでの乾燥時間の明確な相違が観察された。したがって、ビニールによる蒸発抑制効果が認められるとともに、地上部

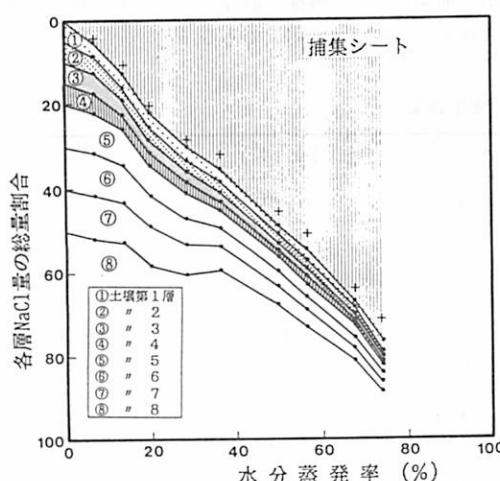


図 9. 水分蒸発率と各層 NaCl 量の総量割合
(VS3: ビニル 1 枚、ガーゼ 2 枚、
スティック 3 本、巻きガーゼ 20×50)。

のスティックの本数などによって水分蒸発量をコントロールできることが確認された。図10では、スティックサイズ 20×50 の場合を図示したが、同一スティック本数におけるサイズ間の乾燥時間の相違は明確ではなかった。

4. おわりに

土壤表層に集積する塩類対策の一つとして、新たに開発導入した塩類捕集シートについて検討した。本報では、シート型、スティック型、蒸発抑制型の3型式 16 タイプの捕集シートについて、シート素材、形状、構造な

どによる土壤溶液の伝達性能および塩類の捕集容量について測定を行ない、塩類捕集シートの基本的特性を明らかにした。結果を総括的にまとめて表2に示し、以下に要約する。なお、捕集効率は各水分蒸発率において地表に運ばれた塩類に対する捕集シートに捕集された塩類の割合とした。また、蒸発抑制型の3タイプはほぼ完全な捕集効率を示したので、平均として 100% と表示した。

1) 土壌表面全体を被覆するシート型の材質として、医薬用ガーゼは乾燥全段階にわたって土壌との密着性が良好で、土壤溶液の伝達性にも優れたものであった。G2 の乾燥前半の塩類捕集効率は悪いが、G5 になると全乾燥過程にわたって水分蒸発量に見合う量の塩類を完全に捕集できた。濾紙を用いた GR も良好であった。

2) 木製棒状芯材にガーゼを巻きつけたスティック型では、S3 は乾燥前半で半分ほどしか塩類を捕集できず、効率が悪い。スティックへの土壤溶液の集中を全面被覆のガーゼにより促進すると (GS3)，捕集効率は改善された。さらにスティックの表面積を増やすと、ほとんど完全に近い効率が得られた。

3) ビニルを用いて表面蒸発を抑制する蒸発抑制型では、土壤部分の塩類集積はほとんど認められず、下層から上昇する溶液はすべてスティックに導かれてその表面に集積する極めて捕集効率の良い方法であった。スティックの本数による蒸発特性の差はコントロールできたが、捕集効率の差は認められなかった。

4) 各型式の塩類捕集シートにおいて捕集効率を完全に近くする方法は確認された。これによって比較的小規模な対象に対しては適用可能と考えられる。しかし、実用化に当たっては、土壌・大気の環境条件、土壤溶液の成分、捕集シートの機構と取扱いなどにより現場に適合した状況での検討が不可欠である。

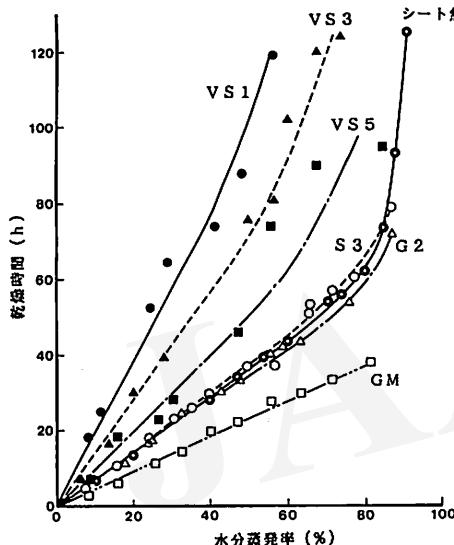


図10. 各捕集シートにおける水分蒸発率と乾燥時間。

表2. 塩類捕集シートの捕集効率(%)

型 名	タイプの記号	水 分 蒸 発 率 (%)			
		20	40	60	80
無シート (第1層)		40	30	38	91
シート	G2	30	23	27	78
	G5	95	98	100	99
	GR	90	85	95	93
スティック	S3	40	45	52	79
	GS3 (20×100)	75	70	95	93
	GS3 (20×200)	90	93	95	96
	GM	100	90	97	99
蒸発抑制	VS1, 3, 5	100	100	100	100

謝 辞

本研究は、平成4年度筑波大学学内プロジェクト研究（助成研究B）「土壤塩類捕集シートの開発に関する研究」の一環として行なわれた。ここに関係各位に深謝申し上げます。

引 用 文 献

- 安部征雄(1983): 飽和供試体の乾燥過程における塩類集積形態。「農業土木学会論文集」106: 71-77.
- 位田藤久太郎(1975): 「施設園芸の環境と土壤」誠文堂新光社.
- 門村 浩(1989): 世界の砂漠化「環境情報科学」18-3: 35-39.
- 畠田永生(1979): 「野菜の栄養生理と土壤」農文協.
- 鈴木 清(1978): 「乾燥地域の水利と開発戦略」日本イリゲーションクラブ.
- 中野政詩(1991): 「土の物質移動学」東京大学出版会. 66-69.
- 農業土木学会乾燥地農業開発基礎調査委員会(1977): 「乾燥地農

- 業開発に関する基礎調査（第2次）報告書」農業土木学会.
- 松本 智(1988): 砂漠化の実態。「科学」58: 618-623.
- ECKHOLM, E. P. (1976): *Losing Ground*. Worldwatch Institute.
- ECKHOLM, E. P. 著, 石 弘之・水野憲一訳(1978): 「失われゆく大地」蒼樹書房. 143-161.
- FAO/UNESCO (1967): *International source-book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity*. 563-627.
- JAMES, D. W., HANKS, R. J. AND JURINAK, J. J. (1982): *Modern irrigated Soils*. A Wiley-Interscience Publication, 136-167.
- SHAINBERG, I. and SHALTHEVET, J. (1984): *Soil salinity under irrigation*. Springer, 175-218.
- UNITED NATIONS (1977): *Desertification*. Pergamon Press, 2-61.
- USA NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1974): *More Water for Arid Lands*. 73-137.

The Capture Methods of Salt Accumulated on the Surface of Soil

Yukuo ABE*, Tomoharu YAMAGUCHI*, Seiji YOKOTA*,
Yoshiyuki OHTSUKA** and Hiroyuki Ii**

Salt accumulation in soils is one of the serious problems on agricultural production in the arid and semi-arid regions of the world. As a countermeasure to such soil salinization, we have developed a new method to capture the salt accumulated on the surface of soil, with using "salt-capture-sheet" attached on the soil surface. The capture-sheet is composed of a medical gauze, a filter paper, and/or a vinyl sheet. Some basic characteristics for salt solute transport, and the amount of salts captured on the sheet, are experimentally examined with three different types of the capture sheet, i.e., a flat-sheet, a stick-gauze, and a restricted evaporation type.

Results are as follows:

- 1) Among the three kinds of flat-sheets wholly covering soil surface, a five-layered gauzes sheet could capture the salt completely.
- 2) Furthermore, the complex of three stick-gauzes and flat-sheets type, and the restricted evaporation type using a thin vinyl sheet, could effectively transfer the solute onto the stick and capture the salt of soil.

Key Words: Soil salt, Accumulation, Capture sheet

* University of Tsukuba. Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

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

Distribution of Salt-Constituting Chemical Species in the Desert Soils of the Turpan Basin and Junggar Basin, Xinjiang, China

Akihiko OKADA*, Sadayo YABUKI*, Cong-Qiang LIU* and Zi-Wei HUANG**

Abstract

The distribution of water-soluble salt species in the sandy soils of the deserted lands in Xinjiang was investigated. The sampling sites are the deserted lands locating at the southern foot of the Huoyanshan Mountains in Turpan Basin and at Liuhudi and Mosuowan areas in Junggar Basin. The salt-constituting ionic species, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} , generally concentrate at the surface soil, 0–10 cm in depth. The surface soil near the Huoyanshan Mountains is enriched in Na^+ and SO_4^{2-} , and that at Mosuowan and Lihudi is rich in Na^+ , Cl^- and SO_4^{2-} . It is noticed that the Mosuowan surface soil enriches significant amount of NO_3^- , about 2.2 mg/g of soil. The salt minerals found in the soils are thenardite (Na_2SO_4), gлаuberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) and eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). In the soil profile of the sandy soil near the Huoyanshan Mountains, the distribution of salt mineral species from the underground at the depth of 1 m toward the surface of the ground appears to reflect the crystallization from the saturated aqueous salt solution by the gradual loss of water during the evaporation.

Key Words: Desert, Desert soil, Salt, Evaporite, Gypsum, Bassanite, Thenardite, Gлаuberite, Eugsterite, Xinjiang, Turpan Basin, Junggar Basin

1. Introduction

In the arid environment, so-called saline soil is formed by the gradual accumulation of water-soluble salt species during the evaporation of natural water. The increase of soil salinity causes the decrease of biological productivity in the area, and consequently brings about the degradation of lands. From the geochemical viewpoints, it is considered that the salinization is caused by the migration and redistribution of chemical elements in the soil environment. In 1987, we had a field survey in the Turpan Basin and the southern area of the Junggar Basin, and collected the soil samples at three locations in the arid, deserted lands. In this work, geochemical and mineralogical studies of these soil samples were performed for the purpose to investigate the geochemical behavior of water-soluble chemical species in soils of arid lands.

2. Samples and Sampling Sites

Soil samples were collected at three locations in the deserted lands of Xinjiang, i.e., the deserted land adjacent to the drifting sand dune area located at the southern foot of Huoyanshan Mountains in Turpan Basin (abbr., Huoyanshan soil), the sandy land adjacent to the sand dune area at Mosuowan in Junggar Basin (abbr., Mosuowan soil) and the deserted land at Liuhudi in Junggar Basin (abbr., Liuhudi soil). Fig. 1 shows the locations of sampling sites. Samples were taken at every 5 to 10 cm depth from the surface of the ground to the bottom of the soil profile, about 1 m in depth. The sampling site of the Huoyanshan soil locates at about 30 km ESE of Turpan City. The soil samples were collected at the interdune ground lying between linear-shaped sand dunes. The surface of the ground is covered with hard soil crust, 1–2 cm thick, composed mainly of a mixture of clay and fine sand.

* RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research), Hirosawa 2-1, Wako-shi, Saitama, 351-01 Japan.

** Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Academia Sinica, Urumuqi, Xinjiang, People's Republic of China.

(Received July 13, 1992; Accepted Sept. 24, 1992)

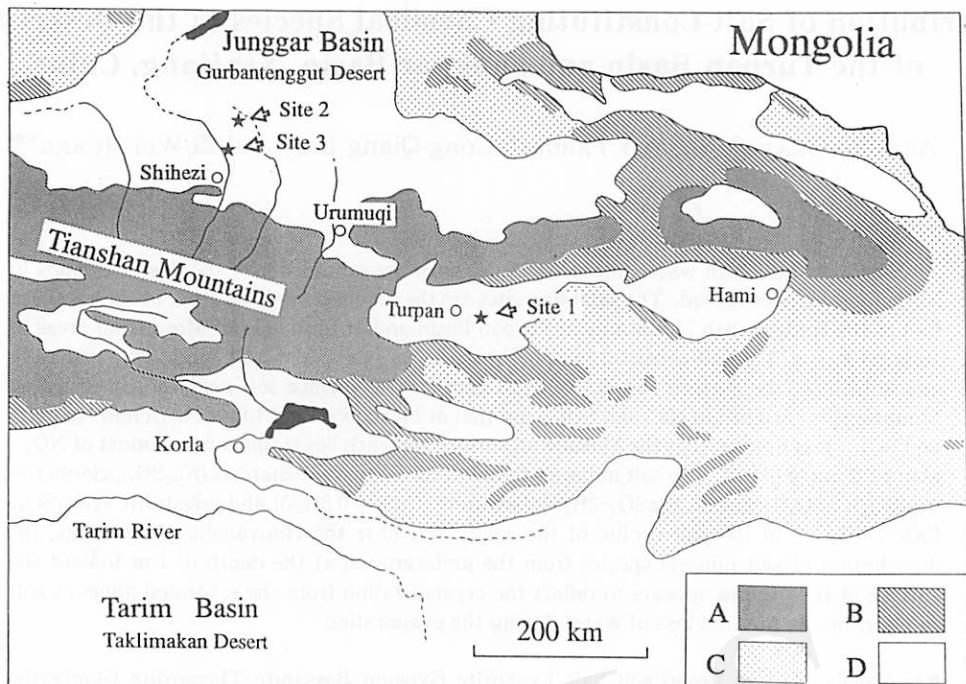


Fig. 1. Location of soil-sampling sites.

Site 1: deserted land near Huoyanshan Mountains in Turpan Basin. Site 2: Mosuowan area in Junggar Basin. Site 3: Liuhudi area in Junggar Basin.

A: mountain belt of higher elevation. B: mountain belt of lower elevation. C: plateau. D: plain or basin.

Mosuowan area situated at about 120 km north of Shihezi City is an oasis located at the southern periphery of the Gurbantenggut Desert in Junggar Basin. The sampling site is a deserted land close to the sand dune area. Dunes are mostly 10–20 m high. The soil is sandy, and the ground water level is below 3 m in depth. Liuhudi is also an oasis situated at about 50 km north of Shihezi City. It is located on the alluvial fan developed from the lower mountain areas in front of northern side of Tianshan Mountains. The soil is sandy silt, and the development of farm fields is progressing in this area. The ground water level is more than 4 m below the surface.

The climatic condition controls the formation of evaporative salt minerals in the arid and semiarid environment and the concentration of salts in the soil. Annual precipitation at Turpan is 10–30 mm (18 mm on average), and that in the southern part of Junggar Basin is 70–150 mm. Annual evaporation at Turpan is

nearly 3,000 mm.

3. Experimental Method

1) Chemical Analysis

About 50 ml of distilled water was added to each 5 g of soil sample, and then after 12 hours' shaking, water-portion was filtrated for chemical analysis. The quantitative analysis of ionic species, Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- in the water-extracts was carried out by using an ion chromatography, Dionex 200 i/SP. Ca and Mg contents in water-extracts were analyzed by using an atomic absorption spectrometer.

2) Mineralogical Analysis

Salt grains, generally 0.5–2 mm in size, in the soil samples were separated by hand-picking under the stereomicroscope at the magnification of $\times 10$ to $\times 80$. The identification of salt mineral species was carried out by the analysis of X-ray powder pattern obtained by the Debye

method was applied for the data correction. The mineral grain was fixed on the top of a thin glass rod, about 0.1 mm in diameter, using a plastic glue, and was irradiated by a fine beam of Ni-filtered CuK_α line. Polycrystalline X-ray diffraction pattern of the mineral sample was taken on the X-ray film which was set inside a Ganzdolly camera, 114.6 or 57.3 mm in diameter. The occurrence of minerals in the soil grain was observed using a scanning electron microscope, JEOL JSM-840A, and their chemical compositions were determined by an equipped LINK 10000 energy dispersive X-ray detection system. Accelerating voltage was 15 kV. Quantitative chemical analysis was made of the surface soil area significantly high contents of soil, water-extractable Na⁺ and SO₄²⁻ contents of the surface soil are significantly high compared with other water-soluble components, based on Tables 1, 2 and 3. In the Huyoanshan ionic species of three soil samples plotted in the 2, 3 and 4 show the vertical distribution of ions of the water-extracts of the Huyoanshan soil. Mousouwan soil and Luhudu soil, Figs. 1) Distribution of Salt-constituting Chemi- cal Species in Soil
2) Distribution of Salt-constituting Chemi- cal Species in Soil
3) Distribution of Salt-constituting Chemi- cal Species in Soil
4. Results and Discussion
method was applied for the data correction. The mineral grain was fixed on the top of a thin glass rod, about 0.1 mm in diameter, using a plastic glue, and was irradiated by a fine beam of Ni-filtered CuK_α line. Polycrys- talline X-ray diffraction pattern of the mineral sample was taken on the X-ray film which was set inside a Ganzdolly camera, 114.6 or 57.3 mm in diameter. The occurrence of minerals in the soil grain was observed using a scanning electron microscope, JEOL JSM-840A, and their chemical compositions were determined by an equipped LINK 10000 energy dispersive X-ray detection system. Accelerating voltage was 15 kV. Quantitative chemical analysis was made of the surface soil area significantly high contents of soil, water-extractable Na⁺ and SO₄²⁻ contents of the surface soil are significantly high compared with other water-soluble components, based on Tables 1, 2 and 3. In the Huyoanshan ionic species of three soil samples plotted in the 2, 3 and 4 show the vertical distribution of ions of the water-extracts of the Huyoanshan soil. Mousouwan soil and Luhudu soil, Figs. 1) Distribution of Salt-constituting Chemi- cal Species in Soil
2) Distribution of Salt-constituting Chemi- cal Species in Soil
3) Distribution of Salt-constituting Chemi- cal Species in Soil
4. Results and Discussion
method was applied for the data correction. The mineral grain was fixed on the top of a thin glass rod, about 0.1 mm in diameter, using a plastic glue, and was irradiated by a fine beam of Ni-filtered CuK_α line. Polycrys-

Distribution of Salt-Constituting Chemi-

Results and Discussion

method was applied for the data correction.

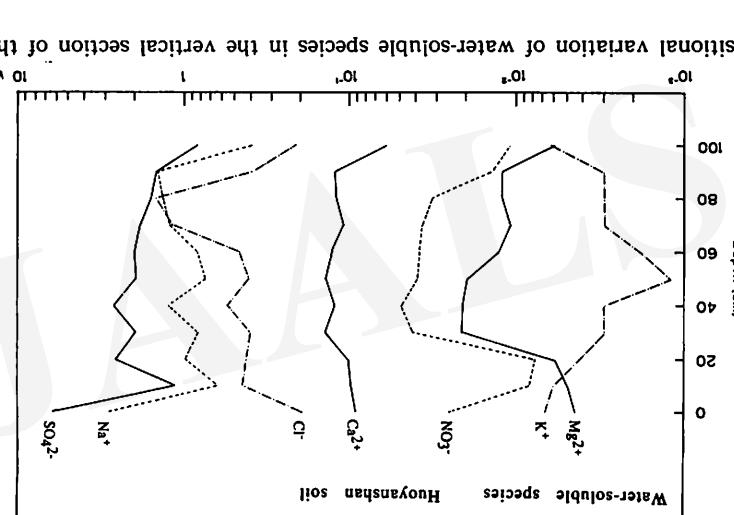


Fig. 2. Compositional variation of water-soluble species in the vertical section of the Huoyanshan soil (wt. %).

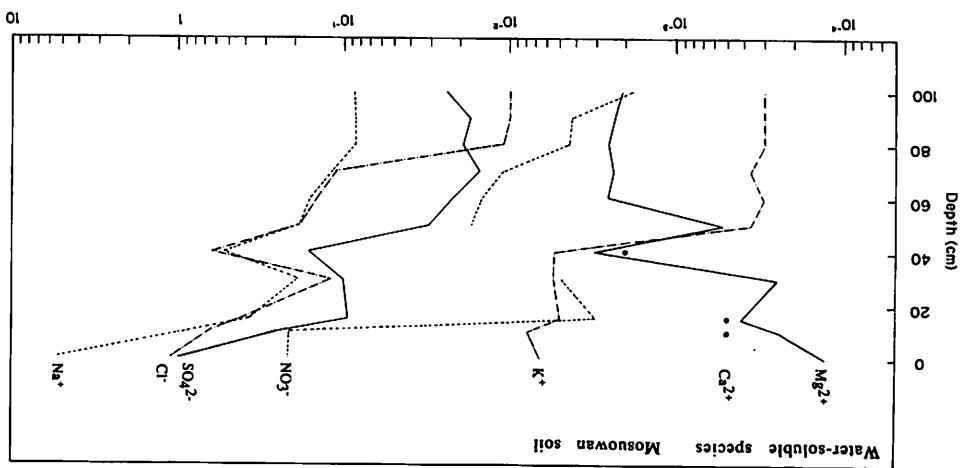


Fig. 3. Compositional variation of water-soluble species in the vertical section of the Miosuwan soil (wt.%).

Table 1. Composition of water extracted species from the Huoyanshan soil (wt. %).

Depth (cm)	Na	K	Mg	Ca	NO ₃	Cl	SO ₄
0	2.77	0.0067	0.0044	0.092	0.0250	0.190	6.09
10	0.63	0.0060	0.0049	0.097	0.0084	0.450	1.14
20	0.98	0.0042	0.0058	0.102	0.0078	0.077	2.56
30	0.73	0.0030	0.0220	0.142	0.0420	0.400	1.96
40	1.24	0.0030	0.0210	0.123	0.0490	0.550	2.64
50	0.74	0.0012	0.0200	0.141	0.0390	0.410	1.94
60	0.84	0.0018	0.0130	0.129	0.0380	0.470	1.98
70	1.23	0.0030	0.0110	0.137	0.0370	1.180	1.83
80	1.36	0.0030	0.0120	0.132	0.0320	1.480	1.56
90	1.44	0.0030	0.0043	0.123	0.0140	0.390	1.46
100	0.39	0.0006	0.0033	0.060	0.0110	0.210	0.83

Table 2. Composition of water extracted species from the Mosuowan soil (wt. %).

Depth (cm)	Na	K	Mg	Ca	NO ₃	Cl	SO ₄
0	1.520	0.0065	0.0001	—	0.2160	1.1000	0.9800
10	0.870	0.0077	0.0002	0.0005	0.2130	0.5600	0.2600
20	0.370	0.0049	0.0004	—	—	0.0030	0.4100
30	0.190	0.0054	0.0003	—	—	0.0048	0.1200
40	0.530	0.0054	0.0030	0.0020	—	0.6300	0.1600
50	0.190	0.0004	0.0005	—	0.0170	0.1800	0.0310
60	0.160	0.0003	0.0025	—	0.0150	0.1500	0.0220
70	0.120	0.0004	0.0024	—	0.0110	0.1100	0.0150
80	0.085	0.0003	0.0025	—	0.0043	0.0110	0.0190
90	0.085	0.0003	0.0023	—	0.0042	0.0099	0.0170
100	0.087	0.0003	0.0020	—	0.0018	0.0097	0.0240

Table 3. Composition of water extracted species from the Liuhudi soil (wt. %).

Depth (cm)	Na	K	Mg	Ca	NO ₃	Cl	SO ₄
0	0.190	0.0027	0.0016	0.0100	0.0036	0.230	0.050
10	0.570	0.0013	0.0360	0.3070	0.0058	0.720	1.140
20	0.160	0.0016	0.0036	0.0950	0.0004	0.190	0.520
30	0.130	0.0017	0.0030	0.0890	—	0.130	0.520
40	0.140	0.0020	0.0033	0.0570	—	0.130	0.330
50	0.110	0.0008	0.0016	0.0410	—	0.096	0.260
60	0.085	0.0008	0.0004	0.0045	—	0.071	0.061
70	0.130	0.0033	0.0012	0.0140	—	0.110	0.140
80	0.097	0.0024	0.0017	0.0240	—	0.081	0.150
90	0.400	0.0032	0.0021	0.0230	—	0.400	0.230
100	0.071	0.0028	0.0018	0.0220	—	0.052	0.130

Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Cl⁻ and NO₃⁻. In the Mosuowan soil, Na⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻ contents of the surface soil are rather high. However, Ca content is much lower than that of Huoyanshan and Liuhudi soils. Mosuowan soil is character-

istic of higher content of water-extractable NO₃⁻, about 2.2 mg/g of soil, than the soil samples of the other two sampling sites. It has been known that locally nitrate-rich soil areas, ranging from 0.44 to 1 wt.%, distribute in Xin-

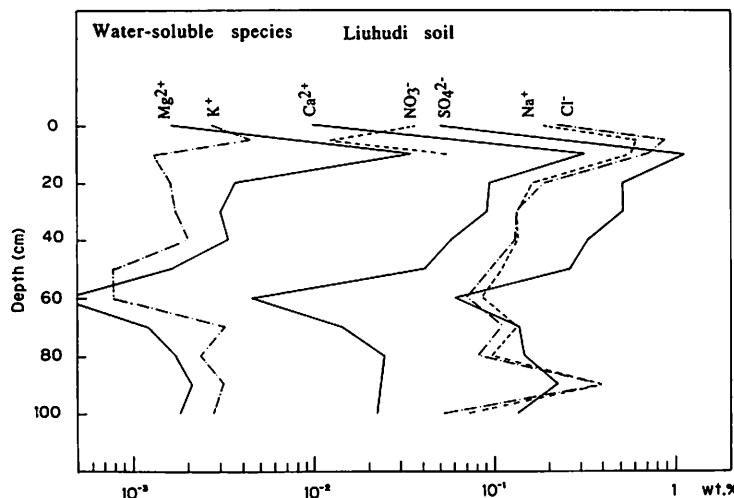


Fig. 4. Compositional variation of water-soluble species in the vertical section of the Liuhudi soil (wt. %).

Table 4. R-mode varimax factor matrix of chemical data for the water-extracts of the Huoyanshan soil.

Variable	Factor				Communality
	1	2	3	4	
Na	0.065	0.949	0.153	-0.192	0.965
K	0.215	0.501	-0.044	-0.817	0.966
Mg	-0.960	-0.123	-0.026	0.157	0.963
Ca	-0.844	-0.090	0.379	-0.141	0.884
NO_3^-	-0.898	0.197	0.186	0.286	0.961
Cl	-0.226	-0.048	0.960	0.042	0.976
SO_4^{2-}	-0.066	0.941	-0.254	-0.170	0.982
Eigenvalue	3.067	2.223	0.953	0.453	
% of variance	43.8	31.8	13.6	6.5	
Cumulative % of variance	43.8	75.6	89.2	95.7	

jiang Province (WEN, 1965).

In order to examine the geochemical behavior and the relationship of the water-extractable ionic species, R-mode factor analysis was carried out based on the chemical composition data. Tables 4, 5 and 6 show the result of R-mode factor analysis for the Huoyanshan soil, Mosuowan soil and Liuhudi soil samples, respectively.

In the Huoyanshan soil in Table 4, 95.7% of the variance is accounted for by 4 factors.

Factor 1: Almost 44% of the variance among the ions is explained by Factor 1, which is represented by $Mg-Ca-NO_3^-$. This factor may indicate the chemical form of nitrates in the soil. Generally, Mg, Ca and NO_3^- are minor

chemical constituents in soils compared with major silica and alumina, and besides mineral species of soil nitrates have not yet been understood well so far. Further studies are necessary for the understanding of chemistry and mineralogy of nitrate materials in soils.

Factor 2: Factor 2 occupies about one third of the variance, and clearly shows the strong correlation between Na and of SO_4^{2-} . This factor is explained by the common occurrence of thenardite (Na_2SO_4) in the Huoyanshan soil.

Factor 3: This is a Cl factor with nearly 14% of the variance. Usually, Cl follows Na, forming halite ($NaCl$), but no conspicuous correlation is noticed between Na and Cl. It is interesting if another kind of soil chloride is

Table 5. R-mode varimax factor matrix of chemical data for the water-extracts of the Mosuowan soil.

Variable	Factor			Communality
	1	2	3	
Na	0.881	-0.219	-0.418	0.998
K	0.377	-0.346	-0.851	0.986
Mg	-0.240	0.934	0.240	0.987
NO ₃	0.822	-0.382	-0.223	0.871
Cl	0.791	-0.118	-0.571	0.965
SO ₄	0.915	-0.204	-0.237	0.935
Eigenvalue	4.64	0.707	0.395	
% of variance	77.3	11.8	6.6	
Cumulative % of variance	77.3	89.1	95.7	

Table 6. R-mode varimax factor matrix of chemical data for the water-extracts of the Liuhudi soil.

Variable	Factor			Communality
	1	2	3	
Na	0.410	0.068	0.906	0.994
K	-0.198	0.979	0.041	1.000
Mg	0.758	-0.154	0.591	0.947
Ca	0.854	-0.227	0.467	0.999
Cl	0.483	0.016	0.874	0.997
SO ₄	0.863	-0.230	0.415	0.976
Eigenvalue	4.508	1.136	0.264	
% of variance	75.1	18.9	4.4	
Cumulative % of variance	75.1	94.1	98.5	

present in the Huoyanshan soil except halite (NaCl). Further examination is necessary to ascertain the chemical species of chloride materials.

Factor 4: This factor, about 6.5% of the variance, is represented by the presence of K. According to REEDER *et al.* (1972), potassium-boron factor in the R-mode factor analysis of the composition of river waters is related to the presence of clay mineral, *e.g.*, illite. In this work, B was not analyzed, but K-bearing silicate minerals, *e.g.*, K-feldspar, illite and mica, are commonly present in soil samples. This factor is not strongly related to salt minerals, because no correlation is noticed with anionic species such as Cl and SO₄.

In the Mosuowan soil in Table 5, 95.7% of the variance is explained by 3 factors.

Factor 1: About 77% of the variance is attributed to factor 1, which is represented by Na-

NO₃-Cl-SO₄. The sulfate, chloride and nitrate of Na is most easily soluble salts in water. Therefore this combination is explained by the chemical form of Na salts in the residual matter which was produced from aqueous salt solution by the gradual evaporation.

Factor 2: Factor 2 is a Mg factor with almost 12% of the variance. Mg is independent from other variables in Table 5. This factor could be explained by the local geological condition, which is attributed to the chemical weathering of mafic or ultramafic rocks or to the occurrence of Mg-rich silicate minerals.

Factor 3: This is a K factor, as is described in the factor 4 of the Huoyanshan soil. However, this factor shows a weak loading of Na and Cl. This might indicate that a part of K behaves in collaboration with NaCl.

In the Liuhudi soil in Table 6, 98.5% of the variance is explained by 3 factors.

Factor 1: This is a Mg–Ca–SO₄ factor with a low loading of Na and Cl, and occupy 75% of the variance. This factor is interpreted by the dominant presence of water-soluble salts, especially Ca sulfates such as gypsum (CaSO₄·2H₂O) and bassanite (CaSO₄·0.5H₂O). Mg could be present in the Ca site exchanging a part of Ca atoms in the crystal lattice.

Factor 2: This is a K factor which is possibly common to the factor 4 of the Huoyanshan soil and the factor 3 of the Mosuowan soil. The chemical behavior of K appears to be independent from other ionic species.

Factor 3: Factor 3 is an Na–Cl factor with a weak loading of Mg, Ca and SO₄. This might indicate the presence of water-soluble halite (NaCl) and minor sulfate species.

2) Distribution of Evaporative Salt Minerals in Soils

Table 7 and Fig. 5 show the salt minerals found in the soil samples. Calcium sulfate hydrate minerals, *i.e.*, gypsum (CaSO₄·2H₂O) and bassanite (CaSO₄·0.5H₂O), are commonly found in the soil samples from three sampling sites. This is probably because sedimentary calcium sulfate layers (mostly composed of gypsum) of Cretaceous and Tertiary origins are present in the Tianshan Mountains, Kunlun Mountains and Huoyanshan Mountains in Xinjiang Province (MA and WEN, 1991; ZHU, 1986; Geological Map of Turpan). In the Huoyanshan soil, a variety of salt mineral species are noticed. Their distribution apparently varies depending on the depth, *i.e.*, gypsum, 20–100 cm in depth; bassanite, 5–90 cm; glauberite, 0–40 cm. And thenardite grains occur just near the surface. Because of the high solubility in the aqueous solution, the nardite (Na₂SO₄) crystallizes at the later stage during the evaporation, and thus distributes near the surface of the ground (HARDIE, 1968). Fig. 5 shows the occur-

rence of salt minerals observed by a scanning electron microscope. Bassanite is usually a metastable phase under the ordinary earth surface environment. Under the experimental condition of the system CaSO₄–H₂O at 1 atm, bassanite forms at about 90°C or more (OSTROFF, 1964). However, it has been known that natural bassanite forms from gypsum in the playa sediment of Death Valley, U.S.A., by partial dehydration in the absence of water (MOIOLA and GLOVER, 1965). Besides, bassanite crystallizes naturally during the process of precipitation from the salt solution in the continental sabkha environment in Kuwait, that is, dissolution of primary gypsum in the wet season and crystallization of submicroscopic bassanite in the dry season are repeated (GUNATILAKA *et al.*, 1985). These crystals of bassanite show hexagonal morphology under the high magnification.

However, bassanite in Xinjiang could be rather an alteration product, namely a pseudomorph formed by partial dehydration of primary gypsum, because bassanite grains in Fig. 5(a) possess pits and cracks on the surface probably due to shrinkage by dehydration, and their external appearance is quite resembling to that of gypsum. Another metastable salt mineral found in Turpan Basin is eugsterite (2Na₂SO₄·CaSO₄·2H₂O). As seen in Fig. 5(d), it occurs as an aggregate of thin needle crystals, 0.5–10 µm wide and 50–200 µm long at high magnification. In the Huoyanshan soil sample, eugsterite is macroscopically present as fine, white, silky lustered fiber with thenardite. This was first found in Chalbi Desert and along the shore of Lake Victoria, Kenya, and in the Konya Basin, Turkey (VERGOUWEN, 1981). In Xinjiang, China, eugsterite is commonly found in the Turpan Basin. Although this mineral is considered to be metastable, it has been reported that this phase is synthesized from an aque-

Table 7. Salt mineral species found.

Locality	Minerals
Huoenshan soil	Thenardite (Na ₂ SO ₄), Glauberite (Na ₂ SO ₄ ·CaSO ₄), Gypsum (CaSO ₄ ·2H ₂ O), Bassanite (CaSO ₄ ·0.5H ₂ O), Eugsterite (2Na ₂ SO ₄ ·CaSO ₄ ·2H ₂ O)
Mosuowan soil	Gypsum (CaSO ₄ ·2H ₂ O), Bassanite (CaSO ₄ ·0.5H ₂ O)
Liuhsudi soil	Gypsum (CaSO ₄ ·2H ₂ O), Bassanite (CaSO ₄ ·0.5H ₂ O)

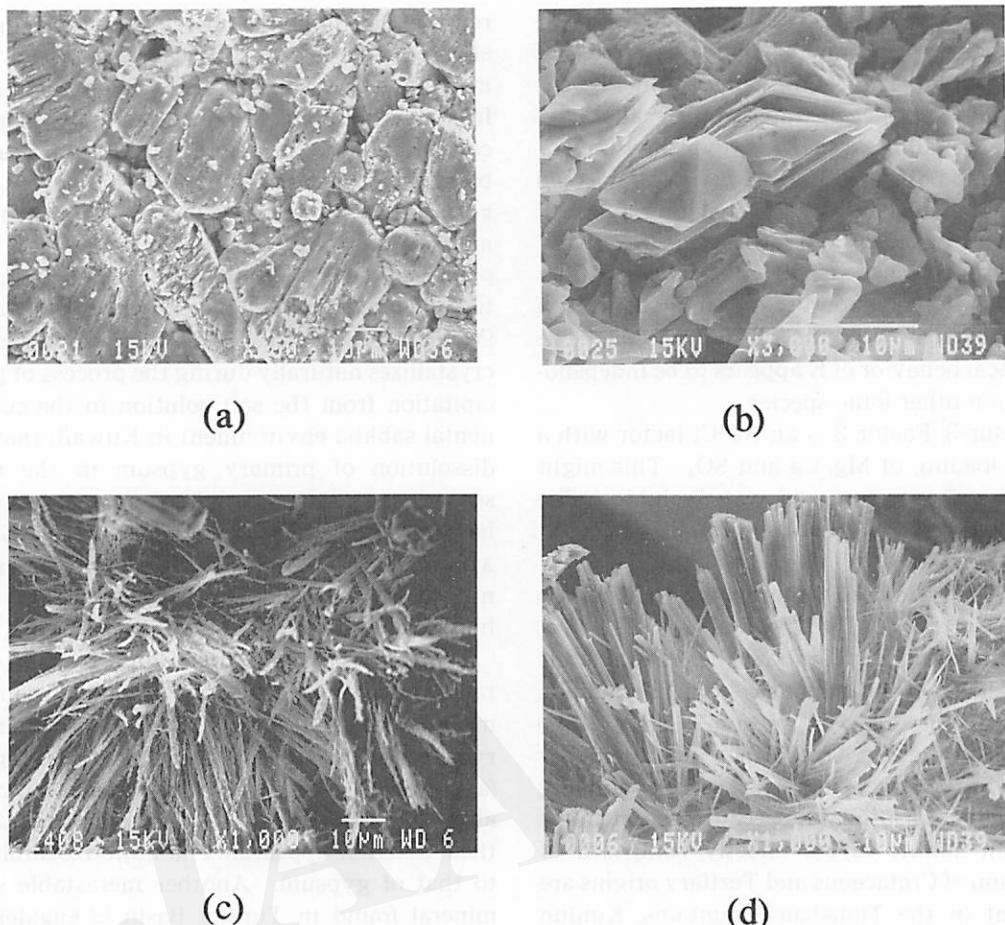


Fig. 5. Salt minerals found in the sample of the Huoyanshan soil in Turpan Basin.
 (a) Bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) formed secondarily from gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Pits and cracks distribute extensively on the whole surface. Horizontal length of photo: 105 μm . (b) Euhedral crystals of thenardite (Na_2SO_4). Horizontal length of photo: 35 μm . (c) Needle-shaped crystals of glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$). Horizontal length of photo: 105 μm . (d) Finely thin crystalline aggregate of eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Horizontal length of photo: 105 μm .

ous saline solution even at 25°C (BLOCK and WATERS, JR., 1968).

5. Summary

Compositional variation of water-extractable chemical species in the soil of deserted lands in Xinjiang, China, *i.e.*, the deserted lands at the southern foot of Huoyanshan Mountains in Turpan Basin, and Mosuowan and Liuhudi areas in Junggar Basin, was investigated. Water-extracted ionic species, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4 and NO_3 , are generally concentrated in the surface soil as usually seen in the soils in the arid

zone. Factor analysis of the chemical composition data showed that the $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{NO}_3$ and $\text{Na}-\text{SO}_4$ factors in the Huoyanshan soil, and the $\text{Na}-\text{NO}_3-\text{Cl}-\text{SO}_4$ factor in the Mosuowan soil and the $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{SO}_4$ factor in the Liuhudi soil have larger contribution to the variance in each soil sample. These factors would be closely related to the chemical forms of salt species distributing in soils.

Salt minerals observed in the soil samples are thenardite (Na_2SO_4), glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) and eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Of these, bassanite formed sec-

ondarily by partial dehydration of gypsum under the dry environment. Eugsterite which has been reported in Kenya and Turkey are also found in the arid area in Xinjiang, China.

Acknowledgements

The soil and salt samples studied in this work were taken during the field survey in Turpan Basin, and southern part of Junggar Basin in 1987. We are grateful to Prof. XIA, Xun-Cheng*, Mr. NI, Ping-Rong, and Mr. PAN, Bo-Rong, of the Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Academia Sinica, Urumuqi, and Mr. QIU, Hua-Sheng, of the International Cooperation Office of Academia Sinica, Beijing, for their cooperation. We are thankful to Dr. Motoaki KISHINO and Ms. Keiko SUZUKI of the Institute of Physical and Chemical Research for factor analysis and ion chromatography analysis, respectively.

This work was partly supported by Special Coordination Funds of the Science and Technology Agency of the Japanese Government.

*Present address: Lanzhou Institute of Desert Research, Academia Sinica, Lanzhou.

References

- BLOCK, J. AND WATERS, JR., O. B. (1968): The CaSO_4 - Na_2SO_4 - NaCl - H_2O system at 25° to 100°C. *J. Chem. Eng. Data*, 13: 336-344.
- GUNATILAKA, A., AL-TEMEEMI, A., SALEH, A. AND NASSAR, N. (1985): A new occurrence of bassanite in recent evaporitic environments, Kuwait, Arabian Gulf. *J. Univ. Kuwait (Sci.)*, 12: 157-167.
- HARDIE, L. A. (1968): The origin of the recent non-marine evaporite deposits of Saline Valley, Inyo County, California. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 32: 1279-1301.
- MA, Bao-Lin AND WEN, Chang-Qing eds. (1991): *Formation and evolution of sedimentary rocks and petroleum gas in Tarim*. Tarim Petroleum Geology, No. 5. Science Publ., Beijing, 195 p.
- MOIOLA, L. M. AND GLOVER, S. I. (1965): Recent anhydrite from Clayton Playa, Nevada. *Amer. Mineral.*, 50: 2063-2069.
- OSTROFF, A. G. (1964): Conversion of gypsum to anhydrite in aqueous solution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1363-1372.
- REEDER, S. W., HITCHON, B. AND LEVINSON, A. A. (1972): Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainag basin, Canada—I. Factors controlling inorganic composition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36: 825-865.
- VERGOUWEN, L. (1981): Eugsterite, a new salt mineral. *Amer. Mineral.*, 66: 632-636.
- WEN, Zhen-Wang ed. (1965): *Xinjiang Soil Geography*. Science Publ., Beijing, 471 p.
- ZHU, Sheng-Tang ed. (1986): *Evolution of Mountain Mass of the Tianshan*. Science Publ., Beijing, 188 p.

中国、新疆、吐魯番盆地およびジュンガル盆地の沙漠土壤中の塩類構成元素の分布

岡田昭彦*・矢吹貞代*・劉 錄強*・黃 子蔚**

中国、新疆ウイグル自治区の3地点、①吐魯番盆地の火焰山前沙地、②ジュンガル盆地の莫索弯、③同じく、六戸地の沙漠土壤中の水溶性塩類化学種の分布および鉱物種について調べた。土壤試料の水抽出液を分析した結果、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} などのイオン種は土壤断面の表面から0~10 cmの深さの部分に著しく濃集していた。火焰山前沙地の表層土壤では、 Na^+ および SO_4^{2-} が濃集し、莫索弯および六戸地では、 Na^+ 、 Cl^- および SO_4^{2-} の濃集が顕著である。また、莫索弯の表層土壤には著量の NO_3^- (2.2 mg/g)が存在する。土壤中の塩類鉱物はthenardite(Na_2SO_4)、glauberite($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$)、gypsum($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、bassanite($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)およびeugsterite($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)が見いだされた。火焰山前沙地の土壤断面試料中の塩類鉱物の分布は塩類飽和水溶液から水の蒸発によって析出する塩類分布に類似している。

* 理化研究所

** 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所

(受付: 1992年7月13日、受理: 1992年9月24日)

Variation of Sand Relectance with Moisture Content

Takashi ISHIYAMA*, Shigehiko SUGIHARA**, Kiyoshi TSUCHIYA***,
P. J. Liu**** and G. F. Lu****

Abstract

To obtain background data to predict spatial distribution of soil moisture content in Taklimakan Desert from remote sensing data, reflectance vs soil moisture content relationship is studied based on the measurements of reflectance of samples collected around Hotan and Aksu in the southern and northern edges, respectively, of the desert. The results indicate an inverse relationship between reflectance and soil moisture content throughout spectral range of 400 nm to 2,500 nm. Taking into account both absorption coefficient of water and refractive index, numerical analysis is performed. The analysis indicates that refractive index plays more important part than absorption coefficient in case of the samples collected in the Taklimakan Desert.

Key Words: Sand reflectance, Soil moisture content, Refractive index, Remote sensing, Taklimakan Desert

1. Introduction

Soil moisture content, its spatial distribution and temporal variation in wide arid and semi-arid zones are significant parameters for studies of a desert itself and desertification mechanism. To obtain these parameters for a wide area such as Taklimakan Desert is not so easy due to its large size and severe natural environments. With a capability of observing a wide area nearly simultaneously and repetitive manner with the same sensor, a satellite observation offers a powerful tool for this purpose. Since the data obtained from a satellite are either reflected solar radiation or radiation emitted from the surface of the earth, it is necessary to establish dependable relationship between satellite observed radiance and soil moisture content for various kinds of sands and soil of different moisture content.

To obtain reliable background data on the relationship between soil moisture content and reflectance of the sand surface in Taklimakan

Desert, the various kinds of sands and soils were sampled in the southern and northern parts of the desert in the neighborhood of Hotan and Aksu, respectively. Then spectral reflectance in the range between 400 nm and 2,500 nm was measured under different soil moisture content.

Thus, spectral reflectance data of various kinds of sands and soils as a parameter of moisture content has been derived. Further, *in situ* surface temperature of the ground and meteorological parameters near the ground were measured during the process of sampling of sands and soils. In this paper, however, only two data sets for the spectral reflectance obtained from the laboratory measurements are used in order to explain the decrease in the reflectance of wet sands. More detailed description and discussion by using any other data will be given elsewhere.

* Remote Sensing and Image Research Center, Chiba University. Yayoi-cho 1-33, Inage, Chiba, 263 Japan.

** RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research). Hirosawa 2-1, Wako-shi, Saitama, 351-01 Japan.
Remote Sensing and Image Research Center, Chiba University. Yayoi-cho 1-33, Inage, Chiba, 263 Japan.

*** School of Science and Engineering, Teikyo University. Toyosato 1-1, Utsunomiya, Tochigi, 321 Japan.

**** Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Academia Sinica.
South Beijing Road 40, Urumqi, Xinjiang, People's Republic of China.

2. Reflectance vs Soil Moisture Content Relationship

The sampled sands were placed in a 200°C oven for 10 hours and dried. After cooling them in a desiccator, the spectral reflectance was measured with a spectro-radiometer, GER IRIS MARK IV in the spectra ranging from 400 nm to 2,500 nm under different soil moisture content. Soil moisture content was controlled through spraying distilled water on the samples in a vinyl pouch and mixed well by shaking. Usually, the sample volume of 100 cm³ is required in the measurements. Thus measurements were made first under a completely dry condition then under the condition of gradual increment of soil moisture content.

Two examples of measurements are shown in Figs. 1 and 2 which indicate a very sensitive response of the reflectance to the moisture content throughout the spectral range of 400 nm to 2,500 nm with inverse relationship.

The decrease of reflectance can be explained as resulting from internal total reflection in the water film covering the sand surface (ANGSTRÖM, 1925). On the other hand, Musick and PELLETIER (1986) pointed out that the air-water and water-sand interfaces will tend to be parallel when water films are thin relative to sand particle dimensions, and internal total reflectance will not occur. Accordingly, at low moisture content level, the internal reflection can not explain the low reflectance of wet sand.

In geometrical optics, reflectance of substances is explained as the results of both

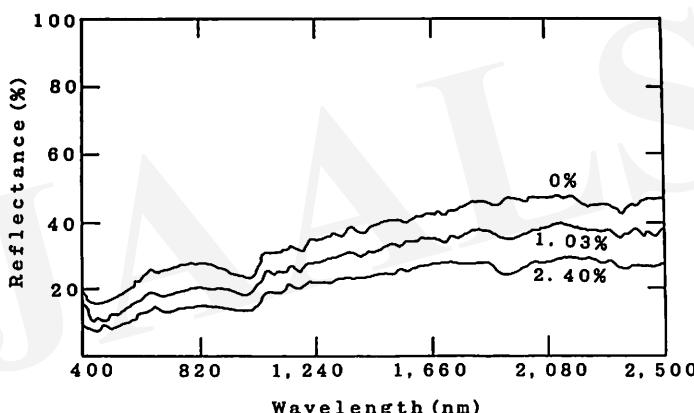


Fig. 1. Spectral reflectance of sands sampled in Hotan with water contents of 0%, 1.03% and 2.40% in weight.

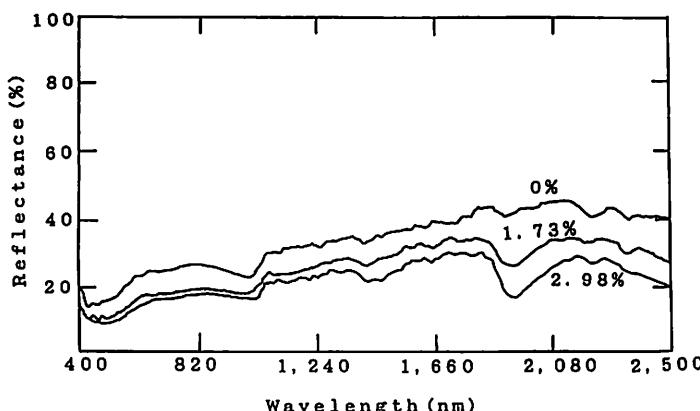


Fig. 2. Spectral reflectance of sands sampled in Aksu with water contents of 0%, 1.73% and 2.98% in weight.

reflection at the boundary between two media of different refractive indices and absorption by the substances. In the following sections, effect of both absorption and refractive index on the reflectance is discussed on the basis of the computational results from the simple equations relating the reflectance with absorption coefficient or refractive index.

3. Effect of Water Absorption

First, effect of absorption of water upon the reflectance is discussed. If $k \text{ cm}^3$ water is added to the $V \text{ cm}^3$ sands and the water is distributed homogeneously in the sands, then the ratio of the water volume to sand plus water volume is $k/(V+k)$. It follows that a continuous water layer with the thickness of $k/(V+k) \text{ cm}$ hypothetically lies along 1 cm layer of wet sands. If the radiation penetrates into the sands of the upper $d \text{ cm}$ depth and is reflected, the radiation emerging from the sand surface travels $2d \text{ cm}$. In this case, the decrease in the radiation due to absorption (t) by water alone at the wavelength λ , is expressed by,

$$t(\lambda) = \exp[-2 \cdot k/(V+k) \cdot d \cdot a(\lambda)] \quad (1)$$

where a is absorption coefficient of the water per cm. In the measurements, the sand volume was, in general, about 100 cm^3 . If 1 cm^3 water is added to the sand, then $k/(V+k)$ in Eq. (1) is $1/101$. Under such conditions, $t(\lambda)$ was computed in various d . The results obtained at 500 nm, 600 nm, 1,000 nm, 1,500 nm, 1,956 nm and 2,000 nm are given in Table 1. In this computation, the values of $a(\lambda)$ are taken from ASCHKINASS (1885) and SMITH AND BAKER (1981) for the wavelengths above 600 nm and below 1,000

nm, respectively. Below 1,000 nm, the decreasing rate is negligibly small even for $d=1.0 \text{ cm}$. As described below, actual penetration depth d is very small since the sand absorption, which is not taken into consideration above, is very large.

We have not found the sand absorption data in the literatures although it is likely to have been reported. BURNS (1970) observed some spectral absorption of the silicates. The results show that the absorption coefficients for *cummingtonite* and *grunerite* are larger than $40/\text{cm}$ in the wavelength below 1,300 nm. If equal absorption coefficient of sand to that of the silicates, and also the penetration depth of 0.01 cm are assumed, then the radiation emerging from the sand decreases down to about 50% of the incident intensity of radiation. Therefore, if the sand absorption is taken into consideration, the penetration depth must becomes very small. Since the penetration depth is very small, the effect of absorption by water on the reflectance must be negligibly small below 1,300 nm.

Thus, the conspicuous decreasing rate in the reflectance for the visible light with increasing moisture content, is not directly related to the water absorption itself. In the near and middle infrared regions, however, water absorption may also be important factor decreasing the reflectane since the water absorption is very strong.

4. Effect of Refractive Index

When the sand surface is covered by the thin layer of the water, some fraction of the light

Table 1. Variation of reflectance for the various values of d when the water absorption alone is taken into consideration.

Wavelength (nm)	Absorption coefficient (/cm)	Reflectance			
		$d=1.0 \text{ cm}$	$d=0.5 \text{ cm}$	$d=0.1 \text{ cm}$	$d=0.01 \text{ cm}$
400	0.000171	≈ 1.000	≈ 1.000	≈ 1.000	≈ 1.000
500	0.000257	≈ 1.000	≈ 1.000	≈ 1.000	≈ 1.000
600	0.00244	≈ 1.000	≈ 1.000	≈ 1.000	≈ 1.000
1,000	0.416	0.992	0.996	0.999	≈ 1.000
1,500	38.4	0.467	0.684	0.927	0.992
1,956	123.2	0.087	0.295	0.784	0.976
2,000	88.0	0.175	0.418	0.840	0.983

incident on the water surface is reflected and the remains penetrate into the water. After the fraction of radiation which penetrates into the water is absorbed, a certain part of the fraction reaches the sand surface and is reflected again by the sand surface. Reflectance, R is defined by the ratio of the sum of these reflected components of radiation to the incident radiation. The reflectance at a boundary between two media of different refractive indices of n_1 and n_2 , is given by the Fresnel's equation. In order to investigate the behaviour of variation of reflectance with the refractive index, radiation with normal incidence is assumed below. For normal incidence, it takes a simple form expressed by,

$$R(n_1, n_2) = (n_2/n_1 - 1)^2 / (n_2/n_1 + 1)^2. \quad (2)$$

If the ratio of sand surface area covered by the water film to total sand surface area is ϵ , then the resultant reflectance is expressed by,

$$R_{\text{tot}} = \epsilon [R(n_0, n_w) + R(n_w, n_s)] + (1 - \epsilon)R(n_0, n_s). \quad (3)$$

where n_0 , n_w and n_s are the refractive indices of air, water and sand, respectively. The relation between R_{tot} and ϵ when $n_0 = 1.0$, $n_w = 1.333$ and $n_s = 1.50$, are shown in Fig. 3. Decrease in reflectance is remarkable in response to increasing surface area covered by the water film, the reflectance decrease down to 73% when only 30% of the sand surface is covered by the water film. Accordingly, the decrease in the reflectance with the moisture contents can be explained by changes of the relative refractive index. In near to middle infrared region, however, the water absorption may also affect the

reflectance of wet sand.

Thus, low reflectance of sand at low moisture content can be explained by the changes of the relative refractive index of sand. At higher moisture content level, however, the effect of internal total reflectance as well as the absorption of water even for the visible light should be taken into consideration.

For further quantitative investigation of variation of sand reflectance with moisture content, the size distribution of sands must be known since the present results suggest that the surface area of sands covered by the water to total sand surface is a very important factor influencing the reflectance of wet sand. The comparison of the reflectance observed in the laboratory with that computed from the size distribution will contribute to developing the algorithm for estimating the moisture content in the desert sands from the remote sensing data.

Acknowledgements

This work was entrusted to Chiba University and the Institute of Physical and Chemical Research by the Science and Technology Agency using the Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology.

References

- ÅNGSTRÖM, A. (1925): The albedo of various surface of ground. *Geografiska Annaler*, 7: 323-342.
- ASCHKINASS, E. (1885): Ueber das Absorptionsspectrum des flüssigen Wassers und über die Durchläss-

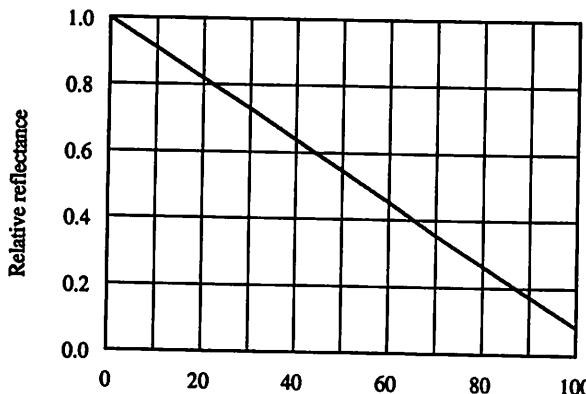


Fig. 3. Decrease of reflectance with the ratio (%) of surface area covered by water film to total sand surface area. Reflectance are normalized at 0%.

- sigkeit der Augenmedien für rothe und ultrarothe Strahlen. *Annalen der Physik und Chemie*, 55: 401–431.
- BURNS, R. G. (1970): *Mineralogical applications of crystal field theory*. Cambridge University Press, London, 224 p.
- MUSICK, H. B. AND PELLETIER, R. E. (1986): Response of some Thematic Mapper band ratios to variation in soil water content. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 52: 1661–1668.
- SMITH, R. C. AND BAKER, K. S. (1981): Optical properties of the clearest natural waters (200–800 nm). *Appl. Opt.*, 20: 177–184.

砂の分光反射率と水分含有量

石山 隆*・杉原滋彦**・土屋 清***・刈 培君****・呂 戈非****

航空機や人工衛星で取得した遠隔計測資料から、土砂の水分含有量を推定するには、水分含有量に対する土砂の分光反射率の変動を、前もって明確にしておくことが必要不可欠である。そこで、中国新疆維吾尔自治区の塔克拉瑪干沙漠の北と南に位置する阿克蘇と和田付近で採集した土砂を用いて、種々の水分含有量に対する分光反射率を、実験室で測定した。

水分含有量が非常に大きくなると、分光反射率は、水の強い吸収帯においてなお減少を示すが、それ以外の波長域では、もはや減少を示さなくなる。この分光反射率が飽和を示す水分含有量以下では、分光反射率は水分含有量と共に減少する。特に注目すべき事は、僅かな水分含有量（重量比 1% 以下）に対しても、分光反射率は、急激な減少を示すことである。この急激な減少は、水の吸収の影響ではなく、水が土砂の表面に付着することにより、土砂の相対屈折率が減少するためであることを明確にした。

* 千葉大学映像隔測研究センター

** 理化学研究所地球科学研究室、千葉大学映像隔測研究センター

*** 帝京大学理工学部

**** 中華人民共和国中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所

(受付: 1992年6月13日, 受理: 1992年8月30日)

Rare Earth Element Geochemistry of Loess and Desert Sand in Northern China

Cong-Qiang LIU*, Akihiko OKADA*, Sadayo YABUKI*,
Jing ZHANG** and Akimasa MASUDA***

Abstract

Rare earth element (REE) compositions were measured for the desert sand, loess, loess-like deposits, river and saline lacustrine deposits collected mostly from the southern margin of Taklimakan Desert, the largest of China. These samples were found to have comparatively large variation of both relative and absolute REE contents. Because the source materials of these Quaternary deposits have relatively uniform REE compositions similar to that of the average upper continental crust (UCC), variations of REE compositions reflect the intensity of chemical weathering and the fractionation of mineral constituents during the transportation by wind and water. The M-type tetrad effect of REE compositions found mainly in the river deposits probably resulted from a water-particle reaction. Y/Ho ratios are totally higher than those of Chondrite and the UCC. These high Y/Ho ratios may be primarily attributed to the enrichment of carbonate minerals in these deposits and also to the different chemical behavior of these two elements.

Key Words: Loess, Desert, Crust weathering, REE geochemistry

1. Introduction

Loess, deserts and gobiis cover a very large area in China (see Fig. 1). Systematic geochemical studies of desert sand, loess and the associated Quaternary deopsits around desert areas are expected to offer the knowledge of weathering processes of the continental crust. This is because the chemical compositions of mudstones and silty deposits known as loess could be the good representatives of the upper continental crust (UCC) exposed to weathering and erosion (TAYLOR AND MCLENNAN, 1985) and thus provide significant information on the provenance compositions (ERIKSSON *et al.*, 1992). Therefore, we have started a geochemical study of desert sand, river deposits, lacustrine deposits and loess mainly distributed around the Taklimakan Desert of China. This paper reports REE concentrations for 21 samples and discusses the REE geochemistry of

crustal materials during the weathering, transportation and deposition processes.

2. Deserts and Loess Deposits in China

Deserts and desertified lands are mainly distributed in northern China. Taklimakan Desert in the south of Xinjiang is the largest sand desert, and its total area is 337,000 km², a half of the total area of sand deserts in China. The geographical location of the Tarim Basin far from the sea and the presence of Qinghai-Tibet Plateau are primarily responsible for the formation of a arid climate that is necessary for the formation of desert. The Quaternary alluvial-diluvial deposits serve as the material sources of the sand desert (ZHU *et al.*, 1986).

The interior of Tarim Basin is a broad alluvial plain, which is composed of deposits of ancient dry delta caused by the rivers at the northern foot of Kunlun Mountain Ranges. The slope plain at the foot of North Kunlun

* RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research). Hirosawa 2-1, Wako-shi, Saitama, 351-01 Japan.

** Working for a MS degree in RIKEN as a Postgraduate Student of the Department of Chemistry. The University of Tokyo, Tokyo, 113 Japan.

*** Present address, Department of Chemistry, The University of Electronic Communications. 1-5-1, Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182 Japan.

(Received July 4, 1992; Accepted Aug. 30, 1992)

Mountain Ranges is formed of many alluvial-diluvial fans produced by ten big rivers from Kunlun Mountain Ranges. Generally, the upper alluvial-diluvial fan consists of gravels, 500–600 m thick. The gypsum layers found in the alluvial fans at the north foot of Kunlun Mountain Ranges are the mark of arid climate in the Quaternary Period. On the other hand, the distribution of alluvial-diluvial fans at the south foot of Tianshan Mountain Ranges is relatively small in scale, because the region in front of the south part of Tianshan Mountain Ranges constantly subsided in the Quaternary Period, resulting in the sharp eastward turn of the rivers after flowing out of the mountain paths (ZHU *et al.*, 1986). Moreover, the vegetation on the south slope of Tianshan Mountain Ranges grows better than that on the northern

slope of Kunlun Mountain Ranges in the Quaternary Period, so that the rivers carried a little amount of sand. These huge, thick and loose sand deposits of alluvial-diluvial fans, dry deltas and alluvial plains of rivers in and around the Tarim basin provided sufficient sand sources for the Taklimakan Desert (ZHU *et al.*, 1986).

Loess in China is widespread (Fig. 1). The valley of the Huanghe River from Longyang Gorge to Sanmen Gorge belongs to its middle reaches, and it is the center of loess deposition in China. Loess of central plateau sums up to 80% of Chinese loess, and has a great thickness. It covers the Tertiary or other old strata, forming different kinds of loess landforms. The distribution of loess is closely related to the distribution of deserts in China (LIU and

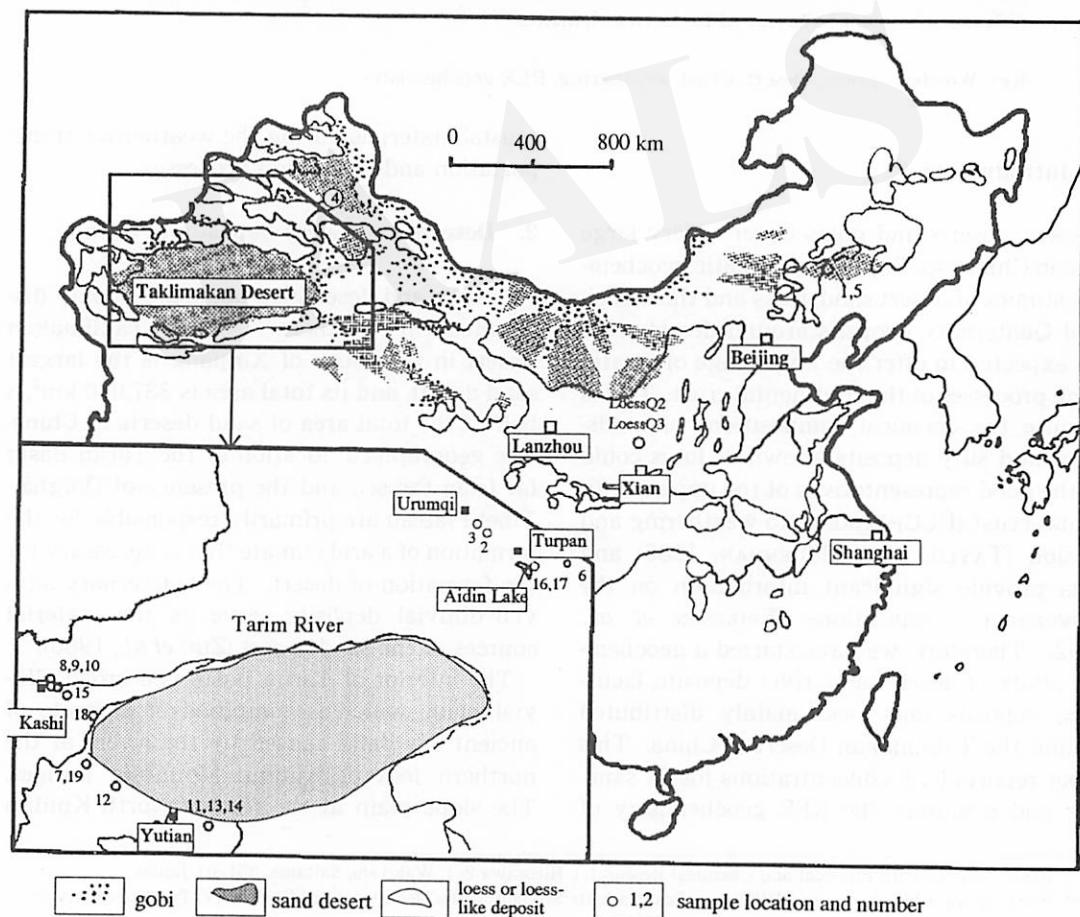


Fig. 1. The distributions of desert and loess areas in China, modified from ZHENG (1985) and ZHU *et al.* (1986).

Table 1. Sample descriptions.

1. Typical loess (Loess Q2 and Loess Q3)
These two typical loess samples were collected from the Luochuan profile of the central loess plateau. Q2 and Q3 stand for their deposition ages.
2. Saline lacustrine deposits (DN2, 3, 16, 17)
They are clay-sized, white grey, containing evaporates (mainly halite, thenardite, gypsum).
3. River deposits (DN5, 7, 8, 9, 14, 15, 18)
According to the grain size of these samples, they are classified into two subtypes, silty deposits (DN5, 7, 8, 9, 14) and sandy deposits (DN15, 18). The sample DN18 is coarser than DN15 and contains a relatively large amount of black minerals.
4. Loess or loess-like deposits and soil (DN4, 10, 11, 12, 13)
Most of them are silt-sized. The sample DN4 is relatively rich in clay-sized fraction and termed as clay loess, whereas the sample DN13 rich in fine-grained sand fraction and termed as sandy loess.
5. Desert sands (DN1, 19)
The sand sample DN1 was collected from an old accumulation of desert sands in the Northeastern China, composed mainly of relatively rounding quartz and feldspar sands. The desert sand (DN19) was taken from a active sand dune.
6. Muddy or silty sandstone (DN6)
This sample was collected from a weathering crust of a muddy or silty sandstone, clastic, and is considered to have experienced mainly a physical rather than chemical weathering process.

CHANG, 1962). The Cenozoic and Mesozoic detrital sediments form the deserts and gobis in the northwest of the loess area (ZHU *et al.*, 1986), and it is therefore suggested by many workers (*e.g.*, LU, 1985) that the source materials of the loess accumulation in China may be the desert sand.

3. Samples and Analytical Methods

Sample locations are shown in Fig. 1. The samples employed in this study are as follows; typical loess collected from the central loess plateau, loess-like deposits, saline lacustrine deposits, river sediments and desert sand mostly collected from the southeastern margin of the Taklimakan Desert. The detailed descriptions of these samples are listed in Table 1.

REE concentrations were measured by using a matrix matching analysis on ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Sepctrometer), which was in detail described by HIRATA *et al.* (1988). Quantitative ICP-MS analyses were performed by following the procedure described by SHABANI AND MASUDA (1991). Uncertainties of this analysis were estimated under 5%. The REE concentrations of two loess samples from Luochuan profile in the central loess plateau were also determined by means of isotope dilution method (IDM). The uncertainties of the isotope dilution analysis for REE determinations were less than 2%. Two sets of REE data

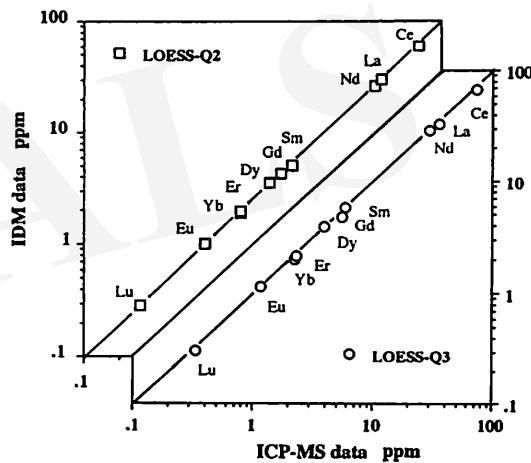


Fig. 2. Comparison of two sets of REE concentration data determined respectively by IDM and ICP-MS methods.

determined respectively by IDM and ICP-MS for these two loess samples confirm a very good agreement between the data obtained by these two different analytical methods (Fig. 2 and Table 2). The discrepancies of absolute REE abundances between these two sets of data are essentially attributed to different water contents, because the loess samples used only for the ICP-MS analyses were dried at 70°C for 10 hours before decomposition.

Table 2. Rare earth element and yttrium concentrations (ppm) in the Quaternary deposits of northern China.

Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
<Typical loess>															
Loess Q2	31.5	63.9	6.81	28.0	5.55	1.04	4.53	0.72	3.67	0.73	2.08	0.37	2.06	0.30	22.4
Loess Q3	35.5	72.8	7.49	30.1	5.98	1.16	5.48	0.75	3.99	0.78	2.30	0.34	2.26	0.34	26.1
Loess Q2*	29.2	58.8		25.9	5.09	1.01	4.32		3.49		1.95		1.87	0.282	
Loess Q3*	32.8	66.6		28.8	5.68	1.13	4.77		3.85		2.14		2.02	0.302	
<Saline lacustrine deposits>															
DN2	7.47	14.2	1.68	6.87	1.49	0.31	1.39	0.23	1.33	0.29	0.83	0.14	0.83	0.13	8.68
DN3	17.1	33.5	3.87	15.6	3.44	0.74	3.01	0.52	2.88	0.59	1.73	0.30	1.66	0.25	17.8
DN16	7.52	16.0	1.82	7.27	1.66	0.35	1.49	0.23	1.42	0.29	0.86	0.13	0.84	0.14	8.80
DN17	11.1	23.3	2.57	11.0	2.47	0.53	2.12	0.37	2.06	0.40	1.25	0.20	1.27	0.17	13.1
<River deposits>															
DN5	14.2	29.7	3.11	12.7	2.54	0.52	2.09	0.38	1.92	0.33	1.01	0.17	1.18	0.15	12.0
DN7	30.3	60.4	6.01	24.1	4.93	0.86	4.08	0.70	3.61	0.58	1.80	0.28	1.18	0.23	21.0
DN8	25.4	51.0	5.18	21.7	4.53	0.86	3.96	0.71	3.54	0.59	1.81	0.29	1.90	0.24	20.7
DN9	26.4	54.5	5.60	24.1	4.70	1.04	4.45	0.62	3.67	0.79	1.88	0.33	1.84	0.30	24.3
DN14	33.4	67.7	6.93	27.9	5.49	0.99	4.89	0.80	3.99	0.74	2.45	0.37	2.22	0.28	27.6
DN15	22.8	45.7	4.86	19.6	4.09	0.83	3.43	0.54	2.49	0.47	1.43	0.25	1.49	0.18	18.6
DN18	42.1	76.0	8.70	30.4	5.53	0.90	5.21	0.68	3.84	0.76	1.86	0.31	1.64	0.21	26.2
<Loess and loess-like deposits and soil>															
DN4	12.8	28.6	3.03	12.8	2.89	0.61	2.69	0.51	2.85	0.50	1.58	0.26	1.79	0.22	15.8
DN10	29.0	61.3	6.07	26.6	5.08	1.08	4.50	0.67	3.44	0.77	2.04	0.34	1.95	0.31	23.3
DN11	25.6	53.9	5.32	21.6	4.41	0.90	4.01	0.61	3.21	0.68	1.79	0.30	1.62	0.27	21.9
DN12	29.1	66.0	6.06	26.8	5.06	0.98	4.61	0.65	3.34	0.75	1.99	0.31	1.68	0.29	22.4
DN13	34.8	71.0	7.22	27.4	5.33	1.01	4.78	0.74	3.47	0.65	2.06	0.30	1.86	0.24	24.1
<Desert sand>															
DN1	8.64	15.1	1.98	7.59	1.47	0.38	1.18	0.19	1.02	0.22	0.66	0.12	0.65	0.10	6.56
DN19	24.3	43.8	5.14	18.8	3.48	0.72	3.51	0.50	2.63	0.61	1.46	0.27	1.35	0.20	19.2
<Muddy or silty sandstone>															
DN6	19.4	44.2	4.58	19.1	4.20	0.88	3.88	0.76	4.35	0.76	2.39	0.38	2.71	0.34	24.6

* Data by isotope dilution method.

4. Results and Discussions

1) REE Content Variation and Fractionation

Table 2 lists the REE abundances. The total REE contents are variable in these samples. La concentrations, for example, very within 5 factors of magnitude, ranging from 8 to 44 ppm. As shown in Fig. 3, the saline lacustrine deposits as a whole contain relatively low La concentration, which may be due to the dilution by saline minerals and carbonates that are poor in REE concentration. The sand sample (DN1) collected from the old accumulation of desert sand is composed mostly of a large pro-

portion of quartz and a small amount of feldspar, and hence its La concentration is much lower than that of the other collected from the sand dune in the Taklimakan Desert. The two typical loess, several river deposit, loess or loess-like deposit samples show quite similar La concentrations to that of the UCC. One river sandy deposit (DN18) has the highest La concentration, which is probably related to its enrichment of dark and heavy minerals, such as amphibole, biotite, epidote that are frequently observable in desert sand (ZHU *et al.*, 1986).

In addition, La/Lu ratios in these samples generally increase with increasing La concentration (Fig. 3), suggesting the REE fractiona-

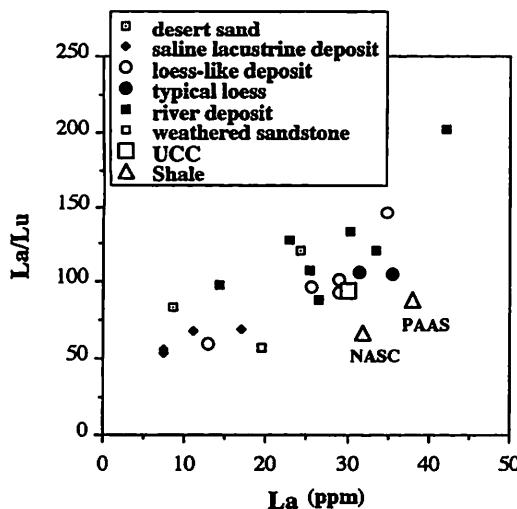


Fig. 3. Variation of La/Lu with La in the Quaternary deposits of northern China. Also shown are the average continental crust (UCC) (TAYLOR AND MCLENNAN, 1985) and the two average shales (NASC and PAAS, 1976; NANCE AND TAYLOR, 1976; HASKIN *et al.*, 1968) for a comparison.

tion. Thus, only the simple dilution due to REE-poor minerals can not account for both REE content variation and fractionation. The dominant heavy minerals are almost the same in loess and paleosol, and mostly composed of opaque minerals (30–40%), epidote (15–25%) and hornblende (10–15%) (WEI, 1985). In desert sand substances, hornblende, mica and epidote are also the majority of heavy minerals. The heavy mineral allanite is few but often observable (ZHU *et al.*, 1986). These heavy minerals, such as epidote and allanite, are very rich in total REE and in light REE over heavy REE (GROMET AND SILVER, 1983; SCHNETZLER AND PHILPOTTS, 1970), and hence, their contents make a big influence on the absolute and relative REE abundances in these samples.

The samples that have both low La contents and low La/Lu ratios are mostly the saline lacustrine deposits, generally rich in clay-sized fraction. The clay minerals accumulated in these samples formed probably by weathering of the crustal minerals, and were later transported and deposited in the lacustrine or other environments. Thus, their relative abundances

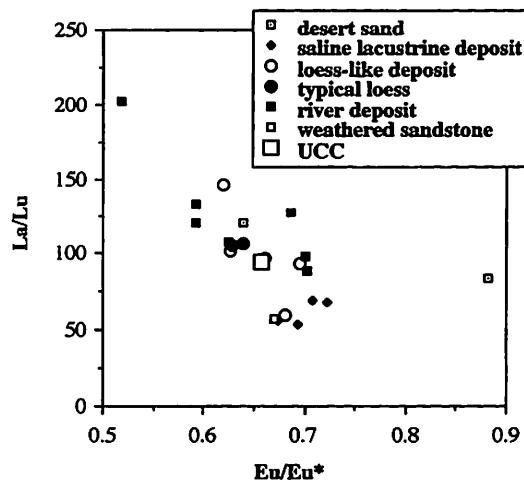


Fig. 4. Variation of La/Lu with Eu/Eu* in the Quaternary deposits in northern China.

in the samples could be regarded as an measurement of the intensity of crustal weathering. Our observation that the samples rich in clay-sized fraction show both low La and La/Lu is consistent with the finding of CULLERS *et al.* (1975) that the more intense weathering could have produced the lower absolute REE content and the lower light REE/heavy REE ratio than those caused by the less intense weathering for the weathering residue. Because the lacustrine deposits contain many precipitates of lacustrine water, their REE compositions might have influenced by the chemistry of the saline water. The aqueous inorganic and organic complexes of the heavy REE are more stable relative to the light REE (RONOV *et al.*, 1967), especially under a high pH condition (GOLDSTEIN AND JACOBSEN, 1988), so that the heavy REE are transported easier than light REE. Consequently, the low La contents and La/Lu ratios of the saline lacustrine deposits could be partly the results of the differences in chemical behavior of heavy and light REE.

2) Eu Anomalies

All samples have negative Eu anomalies, exclusive of the sample DN1 that has no decisive Eu depletion. In Fig. 4, the Eu anomaly is plotted against La/Lu ratio. With only one sample (DN1) exceptional, a general negative correlation is observable between the lacus-

trine deposit samples and one river sandy deposit samples (DN18). The Eu anomaly varies from 0.57 to 0.73, with a mean value nearly identical to that of the UCC. The Eu anomaly found in sedimentary rocks was inherited ultimately from source rocks in which the Eu anomaly had been originally produced by igneous processes (e.g., CULLERS *et al.*, 1975; TALYOR AND McLENNAN, 1985). The sand sample (DN1) collected from northeastern China, which comprises mostly quartz and partly feldspar grains, shows no Eu depletion. The positive Eu anomaly of feldspar can offset the Eu depletion to some extent, so that the relative enrichment of feldspar is accountable for the absence of Eu depletion in this sample. Alternatively, it is also possible that the DN-1 sample is the first cycle volcanogenic sediment, because of its

nearly normal Eu distribution. However, the first possibility is preferred here, since the first cycle volcanogenic origin can be hardly envisaged for such a sand sample.

The small negative Eu anomalies of the lacustrine deposit samples would be attributed to their relative enrichment of clay minerals, because the clay minerals are most likely derived from the weathering of Eu-rich, low-REE feldspar, especially the plagioclase. The river sandy deposit sample (DN18) shows both the highest La/Lu and biggest negative Eu anomaly, which need the enrichment of such minerals that have both high La/Lu and big negative Eu anomaly. The variation of La/Lu with Eu/Eu*, together with the La versus La/Lu correlation, could be best interpreted as a result of the mixing of two end members. One end

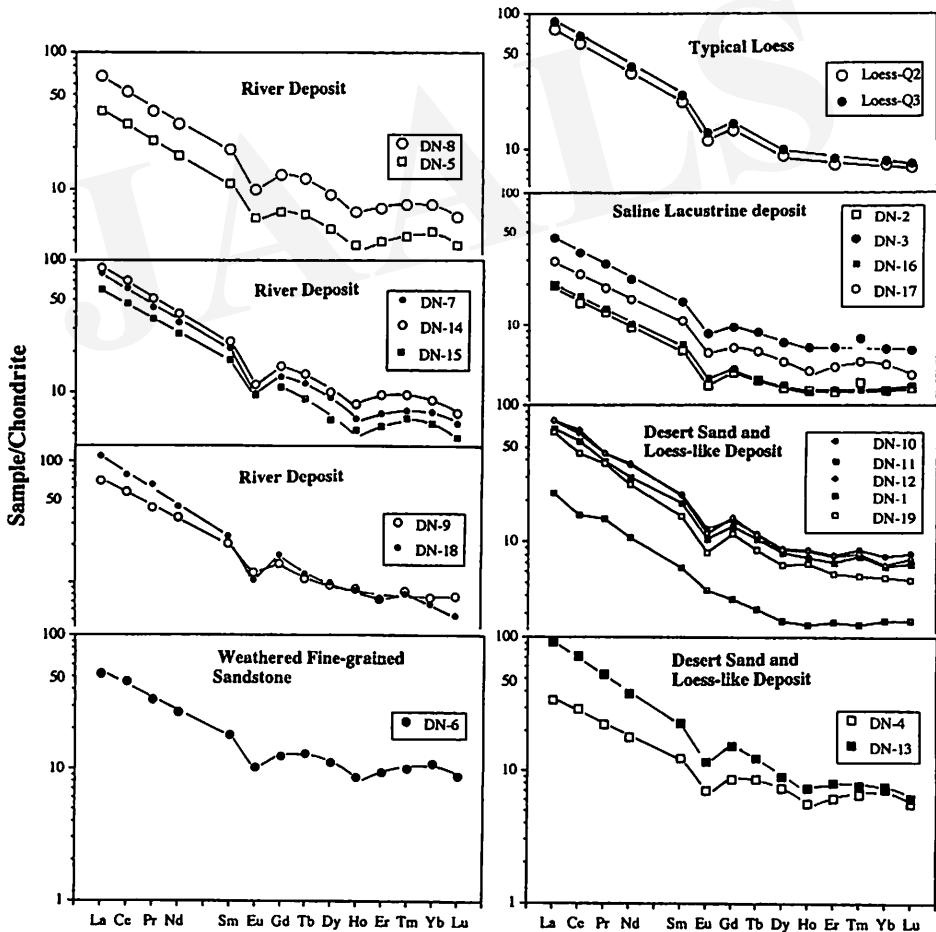


Fig. 5. Chondrite (Leedey)-normalized REE abundances of the Quaternary deposits in China.

member should be enriched in clay minerals, and the other is enriched in weathering resistant materials and relatively depleted in feldspar component.

3) Tetrad Effect

The chondrite-normalized REE patterns shown in Fig. 5 could be grouped under two main types; one type similar to that of typical shales (PAAS AND NASC, 1976; NANCE AND TAYLOR, 1976; HASKIN, 1968) and the other with a clear structure made up of two smooth convex curves in the heavy REE span. According to MASUDA *et al.* (1987), the REE patterns with two convex curves in heavy REE section could be due to the tetrad effect, because other two smooth convex curves are probably obscured by the relatively high contents of light REE and the down-to-right slope of light, and also possibly by the presence of Ce and Eu anomalies.

The tetrad effect was proposed originally by PEPPARD *et al.* (1969, 1970) based on their studies on solvent extraction of trivalent lanthanides and actinides. About a decade later, MASUDA AND IKEUCHI (1979) firstly recognized the lanthanide tetrad effect in nature, which has later been confirmed by a series of researches on seawaters, marine phosphates, limestones, fresh ground waters, leucogranites (KAMIOKA AND MASUDA, 1986; MASUDA *et al.*, 1987; MASUDA AND AKAGI, 1989; KAWABE *et al.*, 1991). Two complementary types of tetrad effects in natural samples have been defined by MASUDA *et al.* (1987). One, called the W-type, is often observable in natural water and the related materials, and the other called M-type, is frequently found in solid substances. The fluid-solid reaction has been invoked to explain the origin of these two complementary types of tetrad effects discovered in nature (MASUDA *et al.*, 1987). The tetrad effect found here corresponds to the M-type one. Although there are some exceptions, the REE patterns with this kind of tetrad effect are mostly found in the samples of river deposits. One weathered muddy or silty sandstone, one saline lacustrine deposit and one loess-like deposit sample also show the M-type tetrad effect. Probably, the water-particle reaction is the leading mecha-

nism to produce the tetrad effect in most river deposit samples, whereas a long-term ground or underground-water leaching process could be responsible for the origin of the tetrad effect of non-river-deposit samples.

4) Non-chondritic Y/Ho Ratios

KAWABE *et al.* (1991) noted that the Y/Ho ratios in some limestones, seawaters, and marine phosphorites are clearly higher than that of chondrite, and that the higher Y/Ho ratio relative to the corresponding chondritic value is coupled to the W-type tetrad effect. Y/Ho ratios in these samples studied here change from 28 to 40, significantly higher than those of chondrite and the upper continental crust (Fig. 6). Moreover, the Y/Ho ratios of the river deposit samples that often show a M-type tetrad effect are generally higher than those of other samples with no tetrad effect. As a result, the positive deviation of Y/Ho from the chondritic ratio could be a feature of not only W-type tetrad effect but also M-type tetrad effect, since Y is not a pseudo-lanthanide that behaves like Ho in natural conditions (KAWABE *et al.*, 1991). If the M-type tetrad effect is originated from the water-solid reaction that results in the removal of Ho from a solid to a liquid phase, Y is probably less soluble in water and favorably hosted in or adsorbed on a solid phase in comparison with Ho. Alternatively, the high Y/Ho ratios of most samples were inherited from their source materials. The data distribution in Fig. 6 approximately displays two mixing trends (A and B in this figure) consisting of three components. One mixing component is characterized by chondritic or crust-like Er/Ho and Y/Ho ratios. The second must have had moderately high Er/Ho and very high Y/Ho ratios. The best candidate for this component might be the limestone or the river water, because some limestone and seawaters often show very high Y/Ho and slightly high Er/Ho ratios (KAWABE *et al.*, 1991). The calculated result using a simple two endmember (UCC and limestone) mixing model for the mixing trend A in the Fig. 6 shows that about 40% of limestone is needed to account for the highest Y/Ho ratio in these samples, given that the limestone used as one of the two

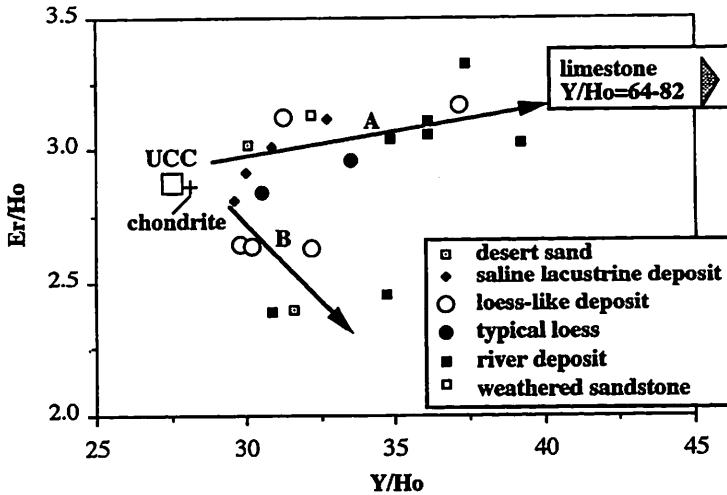


Fig. 6. Er/Ho vs. Y/Ho plot of the Quaternary deposits in northern China. Two average limestone values are from KAWABE *et al.* (1991). The chondritic values are from HERRMANN and JUNG (1970).

endmembers has Y/Ho ratio of 80, Er/Ho ratio of 3.3 and 0.06 ppm Ho. However, the carbonate minerals in desert sand and loess do not sum up to more than 20% (WEN, 1989; ZHU *et al.*, 1986), and so, a kind of limestone that has both much higher Ho concentration and Y/Ho ratio is required to serve as this mixing endmember. In fact, we now do not have any knowledge about the corresponding chemical compositions of the carbonate minerals in these deposits. It is hence still unknown whether the mixing of the average continental rocks with limestone can best explain the distribution of Y/Ho ratios in these samples. Another possibility that could be considered here is that some kind of heavy mineral that is expected to have very high Y/Ho ratio and Ho concentration acts as the high-Y/Ho endmember, but it is more unclear than the former explanation. The final mixing component for the mixing trend B in Fig. 6 is of low Er/Ho and slightly high Y/Ho ratio, and the origin of this kind of material remains unknown.

5. Conclusions

Some sediments are relatively rich in clay mineral and some deposits are rich in weathering-resistant and/or transportation-resistant

mineral and detrital components, such as quartz and some heavy minerals, owing to the weathering of feldspar and other aluminium silicate minerals into clay minerals, the removal of the clay minerals by wind or water and their deposition in a lacustrine or other environments. As a consequence, these geological processes yield various kinds of crustal materials that have different chemical compositions.

REE concentrations in these samples are variable mainly because of the differences in mineral compositions and weathering intensities, which are mutually related. La/Lu ratios change within a range from 50 to 200, and this ratio generally increases with increasing La content. Moreover, the La/Lu ratio is also correlated to the Eu depletion, and decreases with increasing Eu/Eu*. These two correlations are best interpreted as the mixing of two end members that can be considered complementary as the differentiated products of crustal matters. The smallest negative Eu anomaly is generally coupled with the lowest La/Lu ratio and La content in these samples. The enrichment of clay minerals is favorably accountable for the low-La, low-La/Lu and high-Eu/Eu* signatures for this mixing component. The high-La, high-La/Lu and low-Eu/Eu* deposit is expected to contain a relatively large amount of heavy minerals that have high La

and La/Lu, and large Eu depletion.

Chondrite-normalized REE patterns, as a whole, tend to be fairly similar to those of most shales, but the heavy REE differs a great deal in the Quaternary deposits studied here. The M-type (or solid type) tetrad effect of REE compositions found mainly in the river deposits probably resulted from a water-particle interaction. Y/Ho ratios in these samples are totally higher than that of Chondrite and the UCC. These high Y/Ho ratios may be primarily attributed to enrichment of carbonate minerals, and possibly also to the different chemical behaviors of these two elements during water-solid reaction processes.

Acknowledgements

The authors greatly appreciate the donation of two typical loess samples by Dr. A. GENG and two desert sand samples by Dr. K. TAKAHASHI, and the valuable comments of an anonymous reviewer. We thank Dr. M. B. SHABANI for his help in ICP-MS analyses. The author C.-Q. LIU is specially grateful to Misters Q. CHANG and C. TIAN for their assistance in collecting samples. This research was supported by the Science and Technology Agency of Japan, using mostly the Special Researcher's Basic Science Program and partly the Special Coordination Funds for Promoting the Science and Technology.

References

- CULLERS, R. L., CHAUDHURI, S., ARNOLD, B., LEE, M. AND WOLF, JR. C. W. (1975): Rare earth distributions in clay minerals and in the clay-sized fraction of the Lower Permian Havensville and Eskridge shales of Kansas and Oklahoma. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**: 1691-1703.
- ERIKSSON, K. A., TAYLOR, S. R. AND KORSCH, R. J. (1992): Geochemistry of 1.8-1.67 Ga mudstones from the Mount Isa Inlier, Queensland, Australia: Provenance and tectonic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**: 899-909.
- GOLDSTEIN, S. J. AND JACOBSEN, S. B. (1988): Rare earth elements in river waters. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **89**: 35-47.
- GROMET, L. P. AND SILVER, L. T. (1983): Rare earth element distribution among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 925-939.
- HASKIN, L. A. *et al.* (1968): An accurate procedure for the determination of rare earths by neutron activation. *J. Radioanal. Chem.*, **1**: 337-348.
- HERRMANN, A. G. AND JUNG, D. (1970): Die Verteilung der Lanthaniden im Tholeyt von Tholey (Saar) und in Platteniten, Pseudo-Pegmatiten und Apliten des permischen Vulkanismus in Saar-Nahe-Pfälzgebiet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **29**: 33-42.
- HIRATA, T., SHIMIZU, H., AKAGI, T., SAWATARI, H. AND MASUDA, A. (1988): Precise determination of rare earth elements in geological standard rocks by inductively coupled plasma source mass spectrometry. *Anal. Sci.*, **4**: 637-643.
- KAMIOKA, H. AND MASUDA, A. (1986): Rare earth elements in Precambrian limestones. *1986 Ann. Meeting Geochem. Soc. Japan Abstr.*, **33**.
- KAWABE, I., KITAHARA, Y. AND NAITO, K. (1991): Non-chondritic yttrium/holmium ratio and lanthanide tetrad effect observed in pre-Cenozoic limestones. *Geochem. J.*, **25**: 31-44.
- LIU, T. AND CHANG, T. (1962): The Huangtu (loess) of China. *Acta Geologica Sinica*, **42**: 1-14. (in Chinese with English abstract)
- LU, Y. (1985): A brief history of loess studies in China. In Liu, T. eds., *Loess and The Environment*, China Ocean Press, Beijing, 1-7.
- MASUDA, A. AND AKAGI, T. (1989): Lanthanide tetrad effect observed in leucogranites from China. *Geochim. J.*, **23**: 245-254.
- MASUDA, A. AND IKEUCHI, Y. (1979): Lanthanide tetrad effect observed in marine environment. *Geochim. J.*, **13**: 19-22.
- MASUDA, A., KAWAKAMI, O., DOHMOTO, Y. AND TAKENAKA, T. (1987): Lanthanide tetrad effects in nature: two mutually opposite types, W and M. *Geochim. J.*, **21**: 119-124.
- NANCE, W. B. AND TAYLOR, S. R. (1976): Rare earth element patterns and crustal evolution—I. Australian post-Archean sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**: 1539-1551.
- PEPPARD, D. F., BLOOMQUIST, C. A. A., HORWITZ, E. P., LEWEY, S. AND MASON, G. W. (1970): Analogous actinide (III) and lanthanide (III) tetrad effects. *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **32**: 343-344.
- PEPPARD, D. F., MASON, G. W. AND LEWEY, S. (1969): A tetrad effect in the liquid-liquid extraction ordering of lanthanides (III). *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **31**: 2271-2272.
- RONOV, A. B., BALASHOV, Y. A. AND MIGDISOV, A. A. (1967): Geochemistry of rare earths in the sedimentary cycle. *Geochim. Int.*, **4**, 1-17.
- SCHNETZLER, C. C. AND PHILPOTTS, J. A. (1970): Partition coefficients of rare-earth elements between igneous matrix material and rock-forming mineral phenocrysts—II. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **34**: 331-340.
- SHABANI, M. B. AND MASUDA, A. (1991): Sample introduction by on-line two-stage solvent extraction and back-extraction to eliminate matrix interference. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**: 331-340.

- ence and to enhance sensitivity in the determination of rare earth elements with Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Anal. Chem.*, 63: 2099–2105.
- TAYLOR, S. R. AND McLENNAN, S. M. (1985): *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publication, 9–52.
- WEI, L. (1985): Heavy minerals in loess. In LIU, T. eds., *Loess and The Environment*, China Ocean Press Beijing, 99–111.
- WEN, Q. (1989): Geological environment of loess in China. In WEN, Q. eds., *The Geochemistry of Chinese Loesses*, Science Press, 1–12. (in Chinese)
- ZHENG, H. (1985): Regional distribution of the aeolian products (loess). In LIU, T. eds., *Loess and The Environment*, China Ocean Press Beijing, 11–20.
- ZHU, Z., LIU, S., WU, Z. AND DI, X. (1986): *Deserts in China*. Institute of Desert Research, Academia Sinica Lanzhou, 1–66.

中国北部の黄土と砂漠砂に関する希土類元素の地球化学的研究

劉 犀強*・岡田昭彦*・矢吹貞代*・張 勲**・増田彰正***

中国のタクラマカン砂漠の南縁地域で採取した砂漠砂、黄土、黄土様堆積物、河川堆積物および塩湖堆積物の希土類元素組成を分析した。これらの試料は希土類元素組成相対量および絶対量とも比較的大きな変動を示すことがわかった。これらの第四紀堆積物の母源物質の希土類元素組成は比較的均一で、大陸地殻上部の希土類元素組成に類似するから、希土類元素組成の変動は風や水による輸送の過程で受けた化学風化の程度や構成鉱物の分別の結果を反映している。希土類元素組成のM型テドラド効果は主に河川堆積物に認められる。Y/Ho比はコンドライト値および大陸地殻上部の値に比べて高い。これは堆積物中に炭酸塩鉱物が濃集している点およびYとHoの化学的挙動が異っている点に原因がある。

* 理化学研究所

** 東京大学海洋研究所

*** 電気通信大学

(受付: 1992年6月4日, 受理: 1992年8月30日)

A Personal Computer System for Construction of a Tank Model for Water Resource Management

Takuji KIURA*, Ryusuke HATANO** and Tomoyuki HAKAMATA***

Abstract

The tank model has several advantages for the outflow analysis in hydrology. To analyze water budget in a local region we developed a personal computer application program (TANK.EXE) for construction of a tank model. The outline of the TANK.EXE is introduced and an example of hydrograph simulation by TANK.EXE is shown.

TANK.EXE has the advantages of the flexible design of a tank model, the easy operation, the interactive model construction, etc. The simulation of hydrograph for lysimeter study reveals that TANK.EXE has several problems to be improved. The problems are the existence of the tank models which can not be constructed, the lack of the automatic parameter estimation function, and the processing speed. Their desirable answers are also described.

Key Words: Tank model, Water resource management, Personal computer

1. Introduction

In the arid and semi-arid areas, it is important to analyze water budget on a spatio-temporal scale to optimize water resource management. For example, it is indispensable to analyze how water, which is supplied to the soil surface by precipitation and/or from the ground water, moves in the soil layers and flows out. It is also important to understand how hydrographical condition of river, fountain, "qanat", etc. vary when the amount of water due to rainfall, snowfall or glaciers in high mountains changes in a region. The tank model (SUGAWARA, 1972) offers great advantages for such purposes.

Advanced technology including computers is increasingly used for research in recent years. Scientists and engineers may easily optimize water resource management by using such a personal computer and software for the data analysis in a local area with local managers, administrators, and inhabitants.

We developed a program named TANK.EXE running in a personal computer which helps us

to build tank model structures. In this report, we show an application of TANK.EXE analyzing the data gathered from our experiment and outline the functions and usage of our system.

2. Methods

1) The Personal Computer System

The personal computer system was supported by the following hardware and software:

Personal computer: NEC PC-9801RX21
Operating system: NEC MS-DOS ver.
3.30
Devices: 40 MB hard disk drive, and bus mouse

We developed this system using Lattice C ver. 3.1 (LIFEBOAT, 1986 a). We also used C-TOOL/98 (LIFEBOAT, 1986b), C-ISAM (LATTICE, INC., 1984), and Windy (HASHIO, 1988) for improvement of system operation and program development.

2) The Case Study

Two lysimeters ($4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ depth) filled with River sand (RS) or volcanic ash soil (humic andosol; HA) were used for the case

* Research Information Division, Tropical Agriculture Research Center. Ohwashi 1-2, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan.

** Department of Agriculture, Hokkaido University. Kitakujuyo-nishi 9, Kita-ku, Sapporo-shi, Hokkaido, 060 Japan.

*** National Institute of Agro-Environmental Sciences. Kaunohdai 3-1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan.

(Received July 4, 1992; Accepted Nov. 20, 1992)

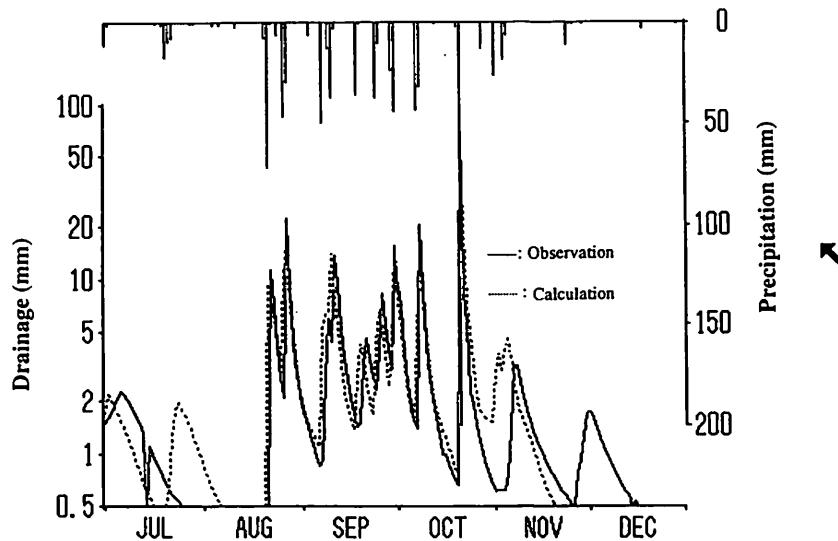


Fig. 1. Observed precipitation and comparison between calculated outflow and observed one in RS.

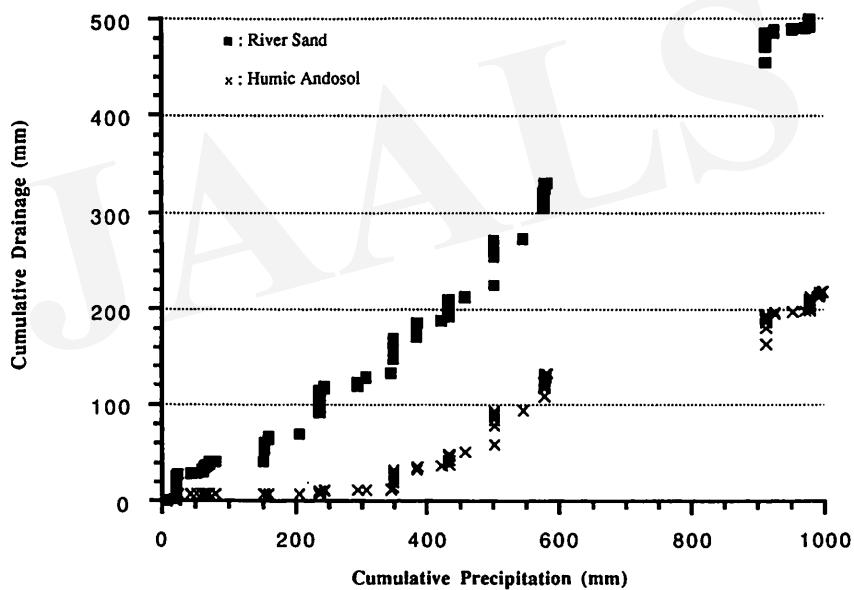


Fig. 2. Relationship between cumulative precipitation and cumulative drainage.

study of water budget and put under the field conditions of the National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan (HATANO *et al.*, 1986). We measured the daily rainfall and effluent at the depth of 1.2 m of the lysimeters from August to December, 1981; as well as the soil water suction at the depths of 5, 40, 100 cm in the lysimeters were measured by tensiometer from September 12 to October 6 in 1984.

3. Results

1) Analyses of Water Budget in Soil Layers

We analyzed the precipitation pattern during the observation period (Fig. 1). The cumulative precipitation in July was low (62.7 mm), and it did not rain during the latter half of the month. The soils were considerably dry in the first ten days of August. Rainfall in-

creased from the middle of August to October, and decreased again in November and December.

Figure 2 shows the relationships between cumulative precipitation (Pr) and cumulative drainage (D) during the observation period. Total drainage was 458 mm in height for humic andsol (HA) and 222 mm for river sand (RS), respectively. This difference was attributed to the following two factors.

(1) We determined the initial loss of rainfall, that is, the rainfall that did not cause an outflow, analyzing the data during the dry period of the beginning of August. $Pr(D \leq 5 \text{ mm})$ calculated from the regression analysis was 15 mm for RS and 180 mm for HA. The drainage remained low in HA during this period.

(2) The dependence of D on Pr was represented by straight line during the days with continuous rainfall. The slope of the regression line represents the drainage per unit precipitation (drainage rate). Since this rate was 0.56 for RS and 0.36 for HA, the drainage was little in the latter.

The drainage in soil layers is controlled by the water holding capacity and water evaporation capacity of the soils. The total pore space was 74.7% in HA, and 41.8% in RS, respective-

ly. The water holding capacity was higher in HA than RS because there were more capillaries in the former low suction pressure (pF) conditions.

It can be pointed out that the crude pore space was wider in RS because the drainage rate was higher than for HA. Figure 3 shows the diurnal variation of the suction pressure in soil layers at the depths of 5, 40 and 100 cm. The effect of rainfall or drought can be detected with the data detected at the depth of 5 cm and 40 cm in HA. The diurnal variation of the suction pressure in RS was small and no dependence on the depth was observed. The pF value in RS remained always low, presumably due to the sand mulching effect (IZUKA *et al.*, 1982). These results indicate that the evaporation capacity of HA is much greater than that of RS. The mechanism of soil moisture loss was found to be different between the both soils. That is, in the sandy soil (RS) the soil moisture decreased by drainage, while in the fine particle soil (HA) it decreased by evaporation.

We examined the diurnal variation of drainage immediately after rainfall in RS. The curve of the diurnal variation was expressed by the sum of two exponential functions. Drainage (D) which is a function of the number of days (t)

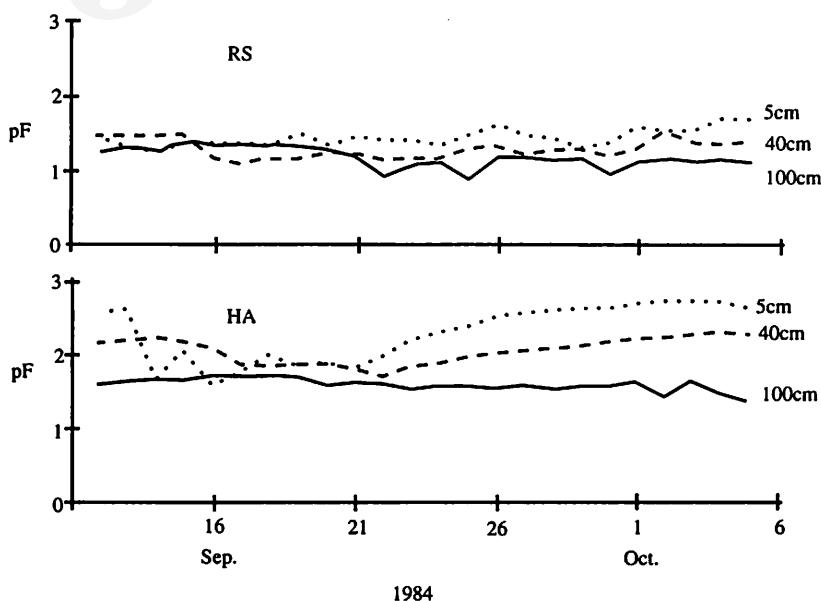


Fig. 3. Daily change of soil water suction from 12 September to 6 October 1984.

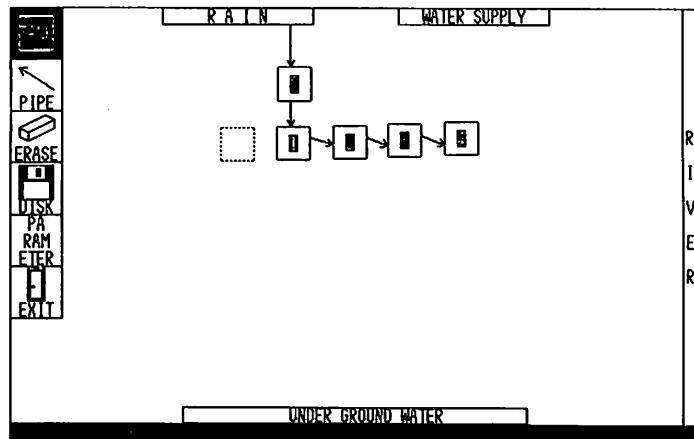


Fig. 4. Construction of a tank model.

after rainfall can be expressed by the following equations.

$$D = D_1 + D_2 \quad (1)$$

$$D_1 = a_1 e^{-r_1 t} \quad (2)$$

$$D_2 = a_2 e^{-r_2 t} \quad (3)$$

where a_1 , a_2 , r_1 and r_2 are constants. Equations (2) and (3) are the same as those of river outflow analysis by the storage type of tank models. Therefore, the equation (1) shows that the two tanks are arranged in parallel. Let X denote the quantity of water in the tank, X_0 denote the initial value of X . Then D is expressed by the equation $D = -dX/dt$. With the equation $D = a \cdot e^{-rt}$, we obtain $r = D/X$, $a = r \cdot X_0$. These equations say that the constants r_1 and r_2 are the velocity coefficients of drainage and the constants a_1 and a_2 are the initial drainage amounts.

2) Functions of the System

We show the functions of the system by constructing a tank model based on the results of the analysis described above.

(1) Preparation of data file

The files include the data of discharge/river flow, precipitation, irrigation, evapotranspiration as for input information, and the estimated quantity of discharge/river flow for output information. Since the data of irrigation and evapotranspiration are not indispensable, they are not used in this study. The application program requires the dBASE III data files. We inputted the data of discharge

and precipitation obtained by the observation into the Lotus 1-2-3 files and converted to dBASE III file format.

(2) Construction of model

The editing screen of the tank model is displayed, when TANK.EXE is executed. Icons are displayed on the left side of the display screen. You can operate various processes by moving a mouse cursor to an icon and clicking the left button of the mouse. When you move the mouse cursor to the icon of "TANK" and click the left button, the icon is reversed and the mouse cursor changes to a square represented a by dotted line (Fig. 4). Move the square to the position where you want to put the tank, and click the left button. Then the system supplies a new tank there and gives a particular number to the tank. If you click the right button, you can return to the original screen. You can define up to 20 tanks in the present version.

When you click the left button on the icon of "PIPE," you can connect a tank to another tank by a pipe. Five pipes can be derived from one tank. You can arrange two tanks in parallel. However you must not make any loop in the network of tanks.

Figure 5 shows the model structure constructed in this study by using this application. The top row refers to the rainfall tank and the second to the fourth rows show the water preserving function of soil layears. Outflow from the bottom of each tank shows the flow to

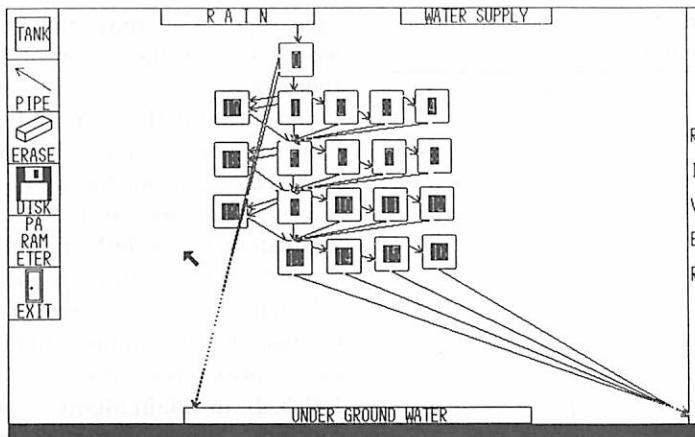


Fig. 5. Structure of the tank model used in this study.

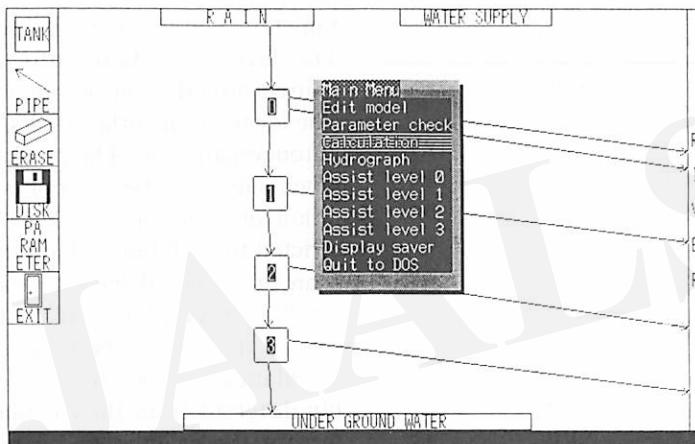


Fig. 6. The main menu.

another tank, infiltration, or drainage. The outflow from the lateral part of a tank indicates evapotranspiration, water flow to a storage tank, or redistribution. The outflow starts when the water level in a tank is higher than the position of the lateral outlet. However, backward flow must not occur.

You can erase a tank or a pipe by clicking the icon of "ERASE" by the left button of the mouse. When a tank is deleted, pipes connected with the tank will be also deleted. If you want to delete a pipe alone, you must click near the starting point of the pipe arrow.

(3) Parameter estimation

It is necessary to initialize parameters, that is coefficients or constants of a model, before proceeding to calculations. Select the icon of "PARAMETER" and specify the object that you

want to initialize by clicking the left button. It is very difficult to solve nonlinear simultaneous equations of the model which has many parameters. As the pattern matching of observed hydrograph and calculated one is difficult, the coefficients or constants should be determined by trial and error.

There are several coefficients and constants that affect considerably the results of the calculation. For instance, the distribution of precipitation to a soil tank can be adjusted from the view point of water budget. A delay in the drainage peak appearing after rainfall can be adjusted by reallocating tanks (right three columns of tanks shown in Fig. 5). Moreover, the initial loss of rainfall at dry period can be adjusted by storage tanks, the left column of tanks shown in Fig. 5. Initial values can be

Table 1. Parameters of pipes of the first row of soil tanks in River Sand.

	Velocity Coefficient	Height
Tank 1 → Tank 2	1	11.5
Tank 1 → Tank 17 (upper)	0	0
Tank 1 → Tank 17 (lower)	0	0
Tank 1 → Tank 5	0.035	0
Tank 2 → Tank 3	1	3.8
Tank 2 → Tank 5	0.35	0
Tank 3 → Tank 4	1	8.8
Tank 3 → Tank 5	0.75	0
Tank 4 → Tank 5	1	0
Tank 5 → Tank 5	0	0

Table 2. Parameters of pipes of the first row of soil tanks in Humic Andosol.

	Velocity Coefficient	Height
Tank 1 → Tank 2	1	12.1
Tank 1 → Tank 17 (upper)	0.095	11.4
Tank 1 → Tank 17 (lower)	0.006	5.0
Tank 1 → Tank 5	0.005	0
Tank 2 → Tank 3	1	3.0
Tank 2 → Tank 5	0.42	0
Tank 3 → Tank 4	1	4.5
Tank 3 → Tank 5	0.69	0
Tank 4 → Tank 5	0.97	0
Tank 5 → Tank 5	0.5	3.8

obtained based on such judgments or experiences.

All the parameters for an entire model can be given by specifying "RAIN" or "WATER SUPPLY" located on the top of the display. The parameters consist of the area size of a watershed, name of the watershed, and the names of files such as rainfall, water supply, and evaporation file. When you click the left button on the file name, a dialog box is opened to select the data file.

Other procedures are carried out from the "Main Menu" (Fig. 6). We can open the "Main Menu" by clicking the right button when there is no reversed icon.

To identify un-initialized structures, you may select "Parameter check" from the "Main Menu", then you can see the numbers of tanks and pipes which are not initialized on the mes-

sage line. You may check the loops in the model after initialization of all parameters. If there is a loop, you can see the numbers of tanks forming the loop and the length of the loop. If you estimate the coefficients and/or make caluculations for the model while you do not initialize any parameter or leave any loop, you can calculate but can not expect to obtain correct results from the system.

You must initialize some prameters correctly because the system uses them to determine the caluculation order of tanks. "Assist level i ($i=1, 2, 3, 4$)" in "Main Menu" contains the support routines for parameter estimation. The number of the assist level shows the level of tanks for calculation. When you initialize parameters, you must specify the levels of tanks. The level of a tank into which rainfall is poured directly can be automatically set to 0. The levels of the other tanks, however, are not automatically set. The program uses the level when it decides the order of tanks for the calculation of evaporation. The calculation is restricted to such tanks that have a smaller level than or an equal level to the assist level. A small hydrograph is displayed on the left-lower side of the screen showing the process of the calculation. If the observed data is considerably different from the calculation, you can interrupt the calculation by pushing down the ESC key.

We applied the tank model shown in Figure 5 to simulate the observed data at the lysimeters. Tables 1 and 2 show the parameters selected. The velocity coefficient from the rainfall tank to the soil tank in RS, which exhibited a large runoff coefficient, was larger than that in HA. The velocity coefficient related to a water storage tank was small in RS which experienced a low initial loss of rainfall.

(4) Calculation

When you select "Calculation" in the "Main Menu" the program analyzes the structure of the model, determines the order of calculation of each tank automatically, calculates the outflow of each tank and preserves the results in a work-file named \$TANK.DBF. A small hydrograph is displayed on the left-lower side of the screen. You can interrupt by pushing the ESC key whenever you want.

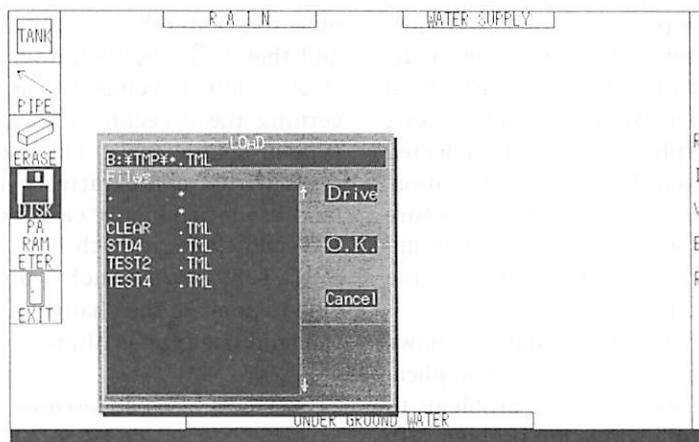


Fig. 7. The submenu of "Disk".

When the calculation ends normally, a dialog box is opened to store the results to a permanent file. The data remain in a temporary work-file even if you select "Cancel" and finish without storing the data as a permanent file. You can use the data and display the hydrograph, unless you execute another calculation.

(5) Display of Hydrograph

When you choose "Hydrograph," the input dialog box showing the names of the data files appears. You can see the last result on the screen by specifying the work file. You can choose a logarithmic scale or a normal scale for the left vertical axis and set the range of each axis arbitrarily.

Figure 1 shows the comparison between the calculated results by our tank model and the observed one in the case of RS. The actual drainage rate under the dry conditions decreased faster than the estimated ones. The position of peaks and the pattern of decrease coincided comparatively well under the wet conditions. It may be necessary to introduce other tanks for better matching. The tank model, however, should be used mainly to simulate and estimate the outflow of water from the watershed. If it is important to obtain a strict agreement between the estimated values and the observed ones, more detailed observations in scale and time should be performed.

(6) Storage of Model

To store the model, click the icon of "DISK"

by the left button of the mouse. "DISK" is reversed and the menu pops up. If you want to store the model as a new file, you must reverse "save As" and click the left button (Fig. 7). If you want to overwrite a file, input the file name by using the keyboard or clicking the left button on a file name in the list. The asterisk in a file name indicates that it is a directory and you can change a directory by clicking the left button. The file name should be written in less than 28 characters in total in the present version. By clicking on arrows on the right side of a file name list, you can scroll the list. The current drive can be changed by clicking the left button on "Drive." You can store the model structure by clicking the left button on "O.K."

4. Discussion

The characteristics of this application program are as follows:

- 1) the structure of a tank model, *i.e.*, the number of tanks and the connecting structures among tanks to analyse various conditions of watersheds can be defined.
 - 2) a graphical and interactive user interface offers an easy operation of the program.
 - 3) a hydrograph can be shown on the screen during the calculation.
 - 4) a compatibility of the data with widely used software is guaranteed by the adoption of the dBASE III format as a data file.
- We have developed this application to be a

user friendly one in paying so that beginners can use it easily. Users can improve the structure of a model by operating a mouse in all steps by on the screen. An abnormal point of a calculated hydrograph can be easily detected because it is displayed during the calculation. If users find any discrepancy in the structure and coefficients of the model, they can terminate the calculation without waiting for the end of the calculation.

Computer software is not allround but shows advantages and disadvantages. Our application developed here also has some problems to be improved. The followings are problems (P) that should be solved for further advantage, and their desirable answers (A).

P: Only one kind of a tank and one kind of a pipe are prepared. Consequently, the tank model described by OHTA AND SHINOGI (1990), where evaporation was handled as another kind of pipe related to water potential, can not be constructed.

A: The function of tanks and pipes should be freely defined by users. This is the most important point for revision. The object oriented programming can realize it.

P: The system does not have any effective indices for the determination of coefficients. Users have to determine them based on their own experience.

A: The indices should be developed for the determination of the coefficients or we should employ the artificial intelligence for pattern matching.

P: Drawing speed of a hydrograph may be slow.

A: It is recommended to use a floating processing unit and/or a highspeed machine.

This application program is characterized by a flexible construction of a tank model structure for the analysis of the water resource management not only in arid and/or semi-arid areas but also in other areas. However, this system is not applicable for either a compound type of tank model (MARUYAMA *et al.*, 1979) or a distribution type of tank model (HAYASE AND HORIKAWA, 1990) used in a wide area where land use types and other conditions are combined. An another application program is required to combine tank models according to each land use type. It is necessary to divide the

objective watershed into sevral land use forms and then combine them together. KRYSANOV A *et al.* (1989) developed a useful concept concerning the division of an area into land use type or spatial scale. Our model in this paper deals with a comparatively small scale of the land use type. In any case we must determine the coefficients in each land use type (TAKASE *et al.*, 1989). With such a program we will be able to analyze the change of the outflow after the land use type is altered.

References

- HASHIO, M. (1988): Windy: the window manager for small business, Part 1&2. *ASCII*, 12-2: 261-267 and 12-3: 245-251. (in Japanese)
- HATANO, R., HAKAMATA, T. AND FUJII, K. (1986): Studies on the mechanism of drainage and dissolved ions leaching from lysimeters—Comparison of four soil types treated with sewage sludge and chemical fertilizers—. *Res. Rep. National Inst. Environ. Stud.*, 94: 127-144. (in Japanese)
- HAYASE, Y. AND HORIKAWA, N. (1990): Bunsangata-tanku-moderu ni yoru Tonegawa-ryūiki no ryūsui-kōzō on kentō (Network of out flow in Tone River area using the distribution type tank model). *Nōgyō-doboku-gakkai Taikai Kōen Yōshi*: 376-377. (in Japanese)
- IIZUKA, F., SAKUMA, T. AND OKAJIMA, H. (1982): Moisture loss by evaporation from soil surface. *Japanese J. Soil Science and Plant Nutrition*, 53: 442-448. (in Japanese)
- KRYSANOV A, V., MEINER, A., ROOSAARE, J. AND VASIL'YEV, A. (1989): Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed. *Eco-logical Modelling*, 49: 7-29.
- LATTICE, INC. (1984): *Lattice dBC Library (dBASE III Option) Functional Description Manual*. Lattice, Inc., Illinois.
- LIFEBOAT (1986 a): *Lattice C Ver. 3.1 Reference Manual*. LIFEBOAT, Tokyo. (in Japanese)
- LIFEBOAT (1986 b): *C-TOOL/98 User's Manual*. LIFEBOAT, Tokyo: 163 p. (in Japanese)
- MARUYAMA, T., TOMITA, M. AND KOBAYASHI, S. (1979): Fukugō-tanku-moderu ni yoru kōiki-mizu-shū-kaiseki— 1. fukugō-tanku-moderu no tokuchō to sono kösei (Outflow analysis for large area using the complex tank model. 1. Characteristics of the complex tank model). *J. Japanese Soc. Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*, 47-2: 97-102. (in Japanese)
- OHTA, K. AND SHINOGI, Y. (1990): Soil moisture balance analysis of upland field by the tank model method.

- J. Japanese Soc. Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, 58-7: 5-9. (in Japanese)
- SUGAWARA, M. (1972): *Mizu-shūsi-kaiseki (Outflow analysis)*. Kyoritsu Shuppan, Tokyo, 257 p. (in Japanese)
- TAKASE, K., SATOU, K., KAMEYAMA, N. AND WAKAMATSU, H. (1989): Chiiki-shigen-keisei-inshi no teiryō-hyōka ni kansuru kentō (sono 1)—Kōzui chōsetsu kinō ni tsuite—(Quantitative methods for estimating the factors of local resources. 1. Flood control capacity). *Nōgyō-kōgakka Chūshikoku-shibū Shūhō*: 23-25. (in Japanese)

パソコン用いて水資源管理のためのタンクモデル構築システム

木浦卓治*・波多野隆介**・袴田共之***

タンクモデルは流水解析に適している。水資源管理のためのタンクモデル構築システム (TANK.EXE) を、パソコン用いて開発した。本システムの概要とそれを用いた解析例を示した。

TANK.EXE の特徴は、タンク間の接続を自由に定義できる、操作が簡単である、対話的にモデルを構築できるなどである。ライシメータ試験のデータを解析した例から、TANK.EXE が持っているいくつかの問題点、すなわち、記述できないタイプのタンクモデルがあること、自動的なパラメータの推定手法を持たないこと、処理速度が遅いことなどを抽出した。これらの問題点は、解決可能であり、それら解決法を示した。

* 热帯農業研究センター調査情報部

** 北海道大学農学部

*** 農業環境技術研究所環境管理部

(受付: 1992年7月4日, 受理: 1992年11月20日)

リビア短訪：日本との学術協力を探る

牛木久雄*・後藤 健**

1. はじめに

地中海側に面した北アフリカの一角に、面積 170 万 km²、人口 400 万人のリビアがある。日本では、この国の派手な政治的話題などには、その考古学遺跡を含む豊かな文化遺産や特異な自然環境については、知られていない。

最近数年来の世界的な政治体制の大変革は、中東に対しても少なからぬ影響を及ぼしている。中でもパレスチナ問題の解決に向けた新たな交渉の開始は、この地域の平和と安定の確立に関心を持つ人々にとって明るいニュースであった。しかしながら一方では、世界に敵対するもっとも危険な国家とされてきたリビアをめぐって、危機的状況が展開する危険が存在する。リビアを敵対視するこうした政治的態度は、これまで直接の関係が長いアメリカやヨーロッパの西側諸国に顕著である。リビアの問題は、スコットランド上空で起こったパンナム機の爆破テロの犯人引渡しをめぐって今年（1992年）になって再び粉糾し始めた。アラビアからもっとも遠い位置にある日本からながめると、西欧諸国とリビアの関係は、もはや相互の譲歩によって和解に至るような解決は不可能のように見える。

このような状況下で、リビアと何らかの交流を模索するというのは、一般の常識からいえばいさか奇異な活動と映るかもしれない。

以上のような背景の中で、日本リビア友好協会は著者ら 2 名を昨年（1991 年）9 月に約 2 週間リビアに派遣して、今後の両国間の文化的・学術的交流の可能性を探らることにした。この計画では、歴史的文化財に関する分野を後藤が受け持ち、自然科学的分野、特に沙漠の自然に関わる地球科学の分野を牛木が担当した。

以下に述べるのは、今回の短期の調査の報告である。

なお付記した欧文地名はアラビア語綴りを慣用アルファベット表記法で表したもののが含まれている。

2. 調査の経路

調査日程の概略は、下段のような具合である。旅行経路は図 1 に示した。

9月 10 日	成田発
11	トリボリ着
12-14	サブラー、レプティス・マグナ観察
15	セブハー Sebha 着
16	ブラーク Brāk 観察、ジェルマ Jerma 着
17	ワディ・ミトハンドゥーシュ Wādi Mit-Khandūsh 踏査
18	ガダーミス Ghadames 着
19	アイン・ドゥバーン 'Ain Dhubān 踏査、トリボリ着
20	アルベイダ Al-Baida 着、アポッローニア 観察
21	キュレーネ観察 ベンガーズィー移動、トリボリ着
22	トリボリ滞在
23	トリボリ発
24	成田着

3. 歴史的文化財

リビアの自然環境は、沿地中海地方と内陸地方という対照的な 2 つの地域に分けられる。それはまた歴史的にも文化的にもいえることであり、前者が古代においてフェニキア、ギリシア、ローマといった地中海的世界の一部を構成していたのに対して、後者ではサハラ沙漠の一部であるリビア沙漠を中心とする北アフリカ内陸部的世界が展開していたという違いに表われている。ところが古典時代以来、ほとんどの記録は地中海ヨーロッパ世界で書かれていたために、内陸部の歴史、文化についての我々の知識は極めて乏しく、リビア全体の歴史、文化財を考えるうえで大きな不均衡が生じている。

最初の人類がアフリカ大陸内部で出現したことは誰でも知っている。この大陸はいわば人種摇籃の地なのであ

* 理化学研究所地球科学研究所

** 東京国立博物館東洋課

(受付: 1992 年 7 月 30 日、受理: 1992 年 8 月 21 日)

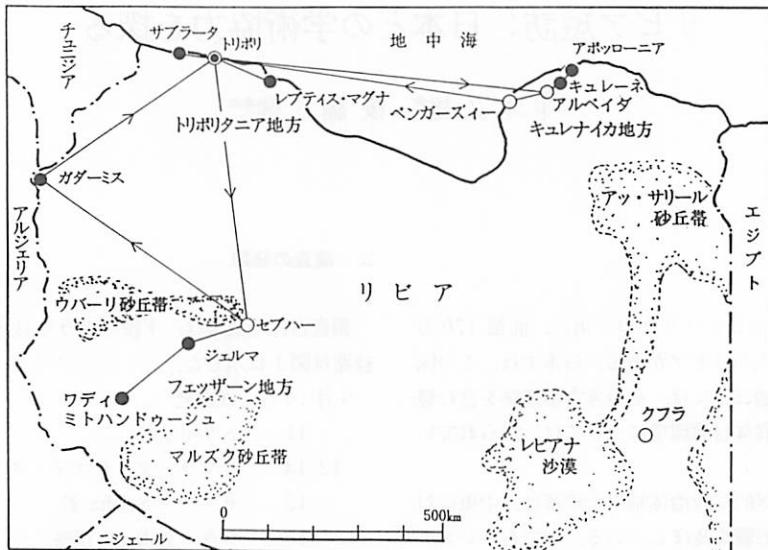


図1. 旅行経路。

る。事実、リビア内陸部だけをとりあげても、現在人の居住にまったく適さない砂丘地帯の随所に、化石人類が残したに違いない旧石器時代の人工遺物が散見されるることは、かつてそれもかなり長い期間にわたってこの地が人類の居住に適した条件を備えていた紛れもない事実を物語っている。それは洪積世のみならず沖積世段階に至ってもいえることで、内陸沙漠に散在するオアシス群には、今なお、不詳の古代、中世の文化財が多数見られる。

我々の今回の踏査の目的の1つは、そうした知的不均衡ないしは主としてヨーロッパによる文化的偏見の存在を認めたうえで、大アフリカ大陸の一部をなすリビアの海岸部と内陸部の文化財を等しく対象として捉えようというものであった。

1) 地中海沿岸の諸遺跡

リビアの海沿いの地方は海洋民の世界である。青い海と太陽に象徴される地中海世界は、古代の神々の故郷であった。フェニキアもギリシアもローマも、この海を舞台として、「古典」の世界を作りあげていった。沿岸部には、今でも古典時代の都市遺跡が多数残されている。あるものはフェニキア起源であり、またあるものはギリシア起源であるが、相当数のものはローマ時代まで引き継がれ、発展する。さらにいくつかはビザンツの時代にも… というように、時の流れを見てきた。

「古典」の世界ではリビアはアフリカと同義語である。リビアはまた、ギリシアの太陽神アポッローンの恋した女性の名でもある。首都トリポリを中心とするトリポリ

タニアでは、次に述べる2つの古代都市遺跡を訪問した。レプティス・マグナ、オエア Oea (現トリポリ市)、サブラータの3都市を、古代のギリシア人はトリポリス Tripolis と呼んだ。レプティス・マグナは前6世紀にフェニキア人が建設し、ローマが引き継いだが、後にコロニア Colonia (植民都市) の名誉を受けることになる。ローマ皇帝セプテミウス・セウェルス Septemius Severus (在位: 193~211年) はこの町の出身で、その時代レプティスは最盛期を迎えた。フェニキア起源とはいえ、当初の遺構はほとんど知られていない。いくつかの墓がローマ時代の劇場の下から発見されているだけで、都市そのものはローマ時代の建築物の下に眠っている。ローマ時代の都市はローマ式の都市プランによるもので、カルド Cardo 大路とデクマヌス Decumanus 大路と呼ばれる交差する2つのメイン・ストリートに



図2. レプティス・マグナの凱旋門。



図3. サブラータの劇場。

よって4ブロックに分けられている。セウェルス帝の時代には、バシリカをはじめとする巨大な建物が多数作られたが、一層目を引くのは、2つの大路の交差点に建てられた凱旋門（四柱門）である（図2）。セウェルス帝は198年にテシフォン Ktesiphon（イラク）でパルティア軍を破っているが、それを記念するために建てられたものである。ローマ世界から見て、はるか東方での事件が直接反映しているのは興味深い事実といえる。ほかに劇場、浴場、フォーラム、貴族の館などの修復が進んでいる。近くに博物館があり、石彫などを展示しているが、手狭なため新館を建設中であった。

トリポリの西にあるサブラータは、やはりフェニキア起源の都市遺跡で、後にローマに引き継がれたこともレプティスと同様である。象牙をはじめとするアフリカ大陸からの物資の輸出港として名高い。この遺跡もかなり修復が進んでおり、特に3世紀に作られた劇場は、アフリカ大陸最大の規模をなしている（図3）。出土品を展示する博物館があり、ローマ時代の石彫が目を引くほか、モザイク、フレスコ画など優品中の優品といってよいものが展示されている。

リビアの東部沿海地方は、歴史的にキュレナイカと呼ばれており、現在中心的な都市はベンガズィー市である。キュレナイカでは「緑の山」（ジャバル・アフダル Al-Jabal Al-Akhdar）にあるハウア・フテア Haua Futea 洞窟、ハグフェト・エッ・ダッバ Hagfet ad-Dabba 遺跡など、北アフリカを代表する旧石器時代から中石器時代の遺跡も知られるが、地中海をめぐる古典古代の都市遺跡の宝庫でもある。ここで我々は、北アフリカ最大のギリシア植民市であるキュレーネ（現シャッハート Shahhat）を訪問した。キュレーネは「緑の山」の北側斜面に前7世紀に建設され、アテネに次ぐ大都会となった。アポッローンをはじめとする神々の神殿、劇場、アゴラなどが立ち並び、海岸平野を一望するリゾー



図4. キュレーネの神殿地区。

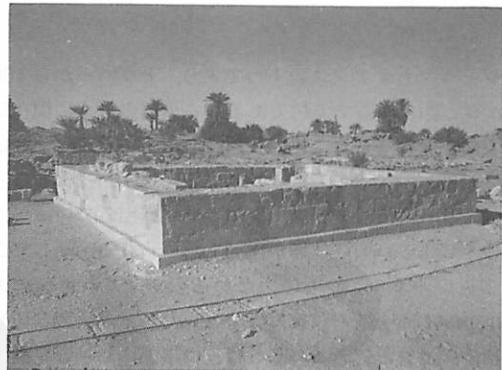


図5. ジェルマの古代遺跡、方形の建物跡。

ト都市の風情である（図4）。近くにシャッハート地方考古局があり、局長のファデル・アリ・モハメド Fadel Ali Mohamed 博士のもとで、発掘・修復を続けているが、出土した大理石の彫像類が毎日大量に運び込まれるため、倉庫も事務所も、その保管場所には苦慮している。

山を下って海岸部に出れば、キュレナイカの外港アポッローニア（現スーサ Sūsah）に至る。ギリシア起源だが、ローマ時代にも引き継がれる。3つの教会、劇場などを備えており、クレタ島、ペロポンネソス半島は、目と鼻の先にある。調査・修復はかなり進んでいるが沿岸遺跡の例に漏れず、海が静かに侵略を続いている。

2) 内陸部の古代遺跡

リビアのもつもう1つの顔、それが沙漠である。とはいっても、面積にしてみれば、この顔の方がはるかに大きい。我々は内陸の文化財を見るために、まずフェッザーン Fezzān 地方のオアシス都市セブハーを訪れる。セブハー地方考古局長モハメド・イブラヒーム・アルマシャーイ Mohamed Ibrahim Al-Mashai の支援のもとに、西方のジェルマ、さらにワディ・ミトハンドゥーシュに足をのばした。



図6. ワディ・ミトハンドゥーシュの岩壁画、鰐の親子。

ジェルマもオアシスの1つであり、セブハーから160 kmほど西に位置する村である。この村の近くに現在はすでに廃墟となった中世の集落跡がある(図5)。それは約20 haに及ぶもので、一部は周辺より10~20 mほども高くなっている。表面に廃屋の壁が露出しているが、その下により古い居住層が何層も認められる。そしてこの中世の「テル」の下に横たわるのが、ガラマンテス Garamantes 王国の首都ガラマといわれる、巨大な切り石積みの遺構群である。それは丘の端部における発掘によって露出した部分からの推定であるが、発掘調査そのものは中断して久しいようであった。出土品の詳細は不明だが、前4世紀のものがもっとも古いとされている。

「歴史の父」と呼ばれる前5世紀のギリシア人史家ヘロドトスの著書『歴史』(松平千秋訳)によると、ガラマンテス人は「きわめて多数の人口を有する種族で、塩の上に土を運んで種子を蒔いている」、また彼らは「四頭立馬車で穴居エチオピア人狩」をするのだという。彼らの子孫が、非アラブ住民の1つ、誇り高き沙漠の民トゥアレグ族だともいわれているが、それはともかく、海岸地方で「古典古代」と呼ばれる地中海文化が花開いていた頃、内陸には別種の文化が、それもこの大陸起源の政治パワーが跋扈していたのではないかと思われる。ジェルマの周辺にはガラマとほぼ同時期とされる墳墓群、前9~後1世紀とされるズィンカクラ山 Jabal Zinkakra の集落跡などが知られており、いずれもガラマンテス人の遺跡と考えられている。

リビア西南部の地盆エデハーン・マルズク Edehan Murzuq には、周辺から無数のワディ(涸れ谷)が入り込んでいる。ワディ・ミトハンドゥーシュもその1つで、ジェルマの村の西南西約160 kmの地点にある。ここに至る道路はなく、砂丘と砾原をいくつも越えねばならない。ここでは高さ十数mの切り立った砂岩の崖に



図7. ワディ・ミトハンドゥーシュのティフィナグ文字などの刻文。

牛、キリンの群れ、鰐、象、駝鳥などの動物のほかに、まれにではあるが人物、意味不明の丸いシンボルなどが線刻で表現されている(図6)。これらの多くは自然の岩肌と同じ鼠色に変化しているが、それと重複して、岩の新しい割れ口同様の乾いた橙色のものもある。後者は線刻ではなくベッキングによるもので、動物、人物、サハラの古代文字=ティフィナグ Tifinag 文字や、さらにアラビア文字の短文も含まれる(図7)。これが延々15 km続くのだといわれている。

ミトハンドゥーシュの岩壁画、特に前者の線刻グループの年代を推定することは非常に難しい。かなりの年代幅で、あるいは複数の時代に描かれた可能性もある。ただ現在はこの地域は無人の地であり、ワディ底のわずかな草と灌木を除けば、植生も極めて乏しい。また描かれている動物、特に鰐のような湿地性の動物など、絶対に生息しない。このことから、これらの絵が、ここが沙漠化する前の、草木が繁茂し、動物が徘徊し、住民がそれを追いかけていた時代に描かれたことは確かである。リビアにおけるこの種の岩壁画の類例として、東南部のジェベル・ウウェイナート Jabal Al-Uwaināt、アルジェリアおよびニジェールとの国境に近いジェベル・アカーチース Jabal Akākūs のものが知られている。

3) ガダーミス

歴史的文化財と民俗文化、そして多民族・多人種国家リビアの現在を考えるのもっとも相応しいところが、ガダーミスである。この町はチュニジア、アルジェリアとの国境近くにあり、「近代的」な新集落と、その住民が数年前まで住んでいた旧集落がある。旧集落は全体が文化財として保存対象になり、住民は皆新築の近代住宅に移ってしまっている。旧集落は7部族に属す数十軒以上の民家により構成され、家と家の間の曲がりくねった通

路は屋根で覆われているので、全体が1つの巨大な複合建築物といえなくもない。この旧ガーミスは中世以来の交易センターであり、物資や奴隸の取り引き場も設けられているほか、寺院や学校もあり、家々には菜園や棗椰子園も付属している。

ガーミス博物館によると、7部族にはヒジュラ暦800年（西暦15世紀）以前にこの地に定住したグループ（マハラト・ワリート *Mahlat Walit*）と、それ以降に到来したグループ（マハラト・ワーズィート *Mahlat Wazit*）があり、前者はティスコー *Tiskō*、マーズィーグ *Māzīgh*、ダラール *Darār* の諸部族、後者はティンキズィーン *Tinqizin*、ティファルファラ *Tifarfarah*、ジャルサーン *Jarsān*、ウラード・ビレイル *Ulād Bilail* の諸部族から成っているとのことであった。

ガーミス周辺は、非アラブ系住民の1つ、トゥアレグ族の多くが居住する地域でもある。トゥアレグ族は中世以来の沙漠の交易の担い手であり、地中海地域と内陸、西アフリカ方面との物資の輸送、商業活動に従事していた。住民の同化政策と文化財保存という、2つの相矛盾する政策が、将来どのような結果を生むかはわからないが、こうした変わりつつある文化的現象はほかにも例は多いはずであり、言語、信仰、口承、物質文化の各面での、「今」の時点での対応としての研究が急がれている。

4. 沙漠地域の自然史

リビアはその内陸側に広大なサハラ沙漠が展開する亜熱帯高圧帯の乾燥地の国である。このような自然環境のもとで広く地球科学の研究者の興味をひきつけてきた対象がいくつかある。その第1はもちろん巨大な砂漠での砂丘の現象である。今回は時間の関係でこの第1の対象ははずさざるを得なかった。そのほかのいくつかの問題の中で今回出発前に特に選んだ対象は、次の2つである。

- a. リビア沙漠ガラス *Libyan Desert glass.*
- b. 内陸の古湖沼地形

リビア沙漠ガラスというのは、リビア東部から国境をはさんでエジプト西部の沙漠地帯に分布する不思議な天然ガラスで、その起源は地球外からの小天体とも、その小天体の衝突の産物とも、いわれていた物体である。

内陸の古湖沼地形というのは、現在はリビア南部の巨大な砂漠の一角を成しているが、地形や残された堆積物が過去のある時期の大きな湖の存在を明らかに示している地形である。

これらの興味ある話題を糸口として、直接リビア側の

研究者と意見の交換を試み、その上でさらに現在現地でとりあげられているほかの興味ある研究対象も模索するというのが我々の戦術であった。

このような方針で、首都トリポリで会見することできた研究者は次の3人である。

- a. ムスタファ・ジュマア・サーレム博士
Dr. Mostafa Juma Salem
アルファタ大学地質学科
- b. アリ・モハメド・スペータ博士
Dr. Ali Mohamed Sbeta
アルファタ大学地質学科
- c. サーレム・ハッジャージ教授
Prof. Salem Hajjaji
アルファタ大学地理学科

これらの研究者を通して得た情報によれば、我々が念頭においていたリビア沙漠ガラスや古湖沼地形のほかに、北部海岸地帯や沿海地方内陸のサブハ（塩湿地）に第三紀から第四紀にかけての化石出土地帯があること、また南部内陸には古火山の地形がいくつか知られていることなどが分かった。さらに今回の現地旅行で期せずして訪れることになった古代の岩壁画遺跡や沙漠の小湖は、サハラの古気候や湖沼の生態学を研究するための格好の対象になるものと思われる。

次に、このようにして得られたいいくつかの話題についてその詳細を述べる。

1) リビア沙漠ガラス

大隕石落下によって、地表には隕石本体のほかにテクタイトやインパクトガラスと呼ばれる物体が残されることが知られている。リビア沙漠ガラスはそのような物体の一つとして有名であり、1930年代にリビア国境に近いエジプト領のリビア沙漠で発見された。そのときの採取試料は英国とエジプトに保管されているが (CLAYTON *et al.*, 1934), その生成年代は2,800万年前であるとされている (STOERZER AND WAGNER, 1971)。1960年代後半から本格化した宇宙開発計画によって、宇宙空間から多くの隕石孔が地表に発見された。リビア東部の沙漠にも宇宙飛行士によっていくつかの隕石孔と思われる地形が報告され、リビア沙漠ガラスとの関連が推定された。1970年と1971年にはアルファタ大学を中心とする地質学者が現地を踏査し、宇宙から発見された地形を地表で確認するとともに、リビア沙漠ガラスの試料を新たに採取した (BARNES AND UNDERWOOD, 1976; UNDERWOOD AND FISK, 1980)。スペータ博士は1971年の踏査に参加した人物である。スペータ博士から聞いたリビア沙漠ガラスの話は、以下のようなものである。

「集められた 26 個の試料は、そのうち 10 個がアメリカのテキサス大学に運ばれ研究されたが、リビアに残された分は盗難に遭い、現在所在不明である。採取された試料は大小まちまちであったが、さし渡し 10 cm 位のものもあり、色は黄色から黄緑色で半透明であった。現場の状況はアルファタ大学に写真が残っているかも知れない。1971 年以降の現地調査はない。分布はエジプト領内の方が多いようだ。」

大隕石の落下は、恐竜絶滅の原因の 1 つとして挙げられているように、地球環境に大きな影響を与えたかもしれない事件である。1970 年代と違って現在は人工衛星による簡便かつ正確な沙漠での位置測定ができるから、この物体を再度調査して実態を明らかにし、大きな成果を挙げることは可能である。

2) リビア南部沙漠の古湖沼地形と堆積物

フェッザーン地方のセブハーの北どなりの町ブラーク周辺には、古湖沼地形が発達しており、かつての渚の貝殻を多量に含む堆積物コキナ coquina の露頭もあることが知られている。この湖沼跡はアメリカ国防省の百万分の 1 作戦航法地図 ONC H-3 によると、エデハーン・ウバーリ Edehan Ubārī 沙漠の東半分をなすラムラト・ザッラーフ Ramlat Zallāf の周縁部に東西 150 km 南北 35 km を占める広大なもので、更新世に何度か北アフリカに卓越した湿潤期の産物であるとされている (PETIT-MAIRE *et al.*, 1980)。

今回セブハーを訪れた際に、セブハー考古局の協力を得てブラークからアル・マハルーカ Al-Mahrūqah への国道沿いに小調査を試みた。幸いアル・マハルーカの手前 3 km 程の道路脇には開析された段丘があり、その露頭面の観察と堆積物の中の貝殻試料の採取を行なうことができた (図 8)。

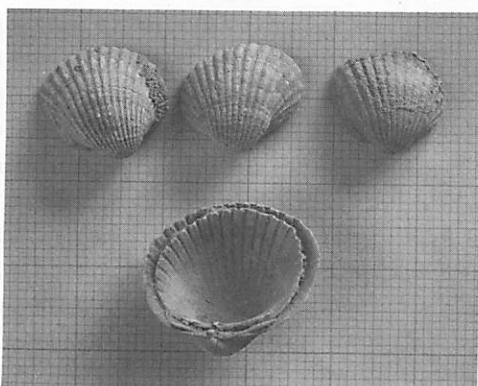


図 8. 古湖沼堆積物コキナ中のザルガイ Cardium 科の貝殻、セブハー地方 (方眼: 1 mm)。

PETIT-MAIRE *et al.* (1980) によれば、堆積物中の貝殻の年代は 26,500 y BP, 90,000 y BP, 160,000~125,000 y BP の 3 期に分かれるとされている。これらはリビア・サハラの古環境変遷の大まかな目安となると考えられ、さらに詳しい研究が期待される。

3) サブハ sabkha (塩湿地) の哺乳類化石

ベンガーズィーの南約 200 km にあるカスル・アルサハービー Qasr Al-Sahābi 付近には、アルクンナイシ・サブハ Sabkhat Al-Qunnayyin があるが、その西縁一帯の第三系鮮新統露頭からは当時の沿海地方に棲息した生物の化石が出る。1930 年以来数次にわたってイタリアが行なった調査では、鯨やジュゴン、古代象などの哺乳類化石が見つかっている。1970 年代には、英、独、リビアの合同調査があった。リビア側からはベンガーズィーのカール・ユニス大学のアリ・アルナウティ Ali Arnauti 博士らが参加した。

またトリポリ側、ミスラータ Misurata の南に広がるターワルガ・サブハ Sabkhat Tāwargha についてはアルファタ大学のナスルアルディン (ナスレッディン) ・アルシェイフ Nasr Al-Din Al-Shaikh 博士の研究がある。

4) ワウ・アルナムース Wāw Al-Namūs の古火山

リビア南部のサハラを東西に分けるように、第三紀後期から第四紀初頭にわたる火山活動帯が広がっている。多くの溶岩流や古い噴火口が知られているが、この噴出帯の中央をなすジャバル・アルサウダー Jabal Al-Sawdā の南には、ワウ・アルナムースという見事なクレータがあるが、アルファタ大学のブスレウィル Busre-wil 博士による研究がある。



図 9. ガダーミス近郊、AIN・ドゥバーン塩湖。

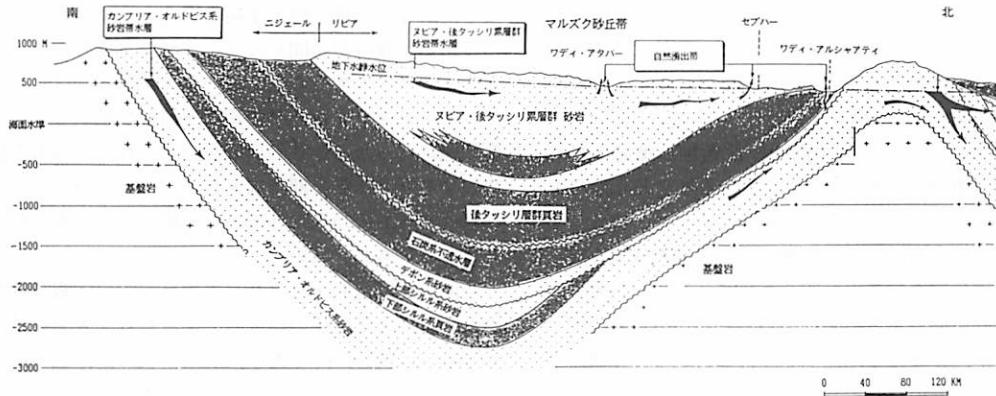


図 10. リビア南部の地下水の流れと水理地質断面（原図：PALLAS, 1980）。

5) リビア西部、ガダーミス近郊の湧泉地の湖水

ガダーミスの東方 40 km にはワディ・アワール Wādi Awāl という構造性の谷が南北方向に走っている。この谷には 4 カ所の湧泉が一群の湖面を形成している。

我々が踏査できたAIN・ドゥバーン 'Ain Dhubān のほかに、この泉の北 1.5 km のAIN・マジザン 'Ain Majzan、東 7 km の泉、北東 15 km の泉がある。このうち、AIN・マジザンはガダーミスからトリボリへ向う機上から見ることができたが、直径 1 km 近い大きな湖であった。

AIN・ドゥバーン（図 9）は、湧水からの析出塩分によって自らの湖岸を形成しながら湖面を上昇させてきたものと思われ、現在は周辺の平地よりも湖面は約 7 m 高くなっている。析出塩分は湖岸を観察したところでは石膏（硫酸カルシウム）ではないかと思われる。

このような成因のため、この湧泉の遠景は小さな台地状である。台地の直径は約 300 m で中央にヒョウタン形の湖を抱え、湖のまわりは、高さ約 3 m の丘が連なるクレータ状の地形をなしている。

現在の水質は電気伝導度で 2 万 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上であるが、小魚や小さな巻貝、タガメ様の水棲昆虫、水草などが生育しているところから考えると、海水に近い濃度の塩水であろう。

きびしい沙漠環境の中に忽然と登場するこれらの湖水は、特異なミクロコスモスを形成しているものと考えられる。

6) 沙漠の地下水

リビアの沙漠の地下には膨大な地下水が存在するといいうのは、余りにも有名話である。我々の訪問に先立って、この地下水を水資源の不足で苦しむ地中海岸に送る大ア

ロジェクトの進展を祝う祝典が挙行された。大人工河川計画 Great Man-made River Project と呼ばれるこの計画は、直径 4 m のパイプラインを数千 km にわたって敷設し、年間数十億 ton の送水を行なおうというものである。今回の旅行の途上、各地の地下水の水質を簡易水質計で測定したが、首都トリボリの水はいわば海水を薄めたような高塩濃度であるのに反し、内陸のエデハーン・マルズクでは電気伝導度で 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の日本の水道水に匹敵するほど良質の水が揚水されていた。内陸の地下水は、図 10 に示すようにさらに内陸の山岳地帯で浸透し、地下の深部を通って湧出していると考えられている。およそ数万年の年齢を数える古いものがあるためにときには化石地下水と呼ばれることもある。

7) ワディ・ミトハンドゥーシュ

このワディはセブハーの南西約 300 km にあって、リビアの南部国境に接するエデハーン・マルズク砂丘帯の北西縁を東西に走っている。文化財の項でも触れたように、このワディ沿いの岩壁には数多くの線刻画が残されている。線刻画は河道に沿って露頭している砂岩の岩壁に、延長 15 km にわたって刻まれているといわれるが、描かれた動物の中には鰐などのように水辺に棲息するものも含まれているので、現在よりはずっと湿潤な時代に制作されたものであることが推定できる。セブハーの周辺に残されている古湖沼地形とともに、先史時代の気候や環境を示す重要な遺跡である。

5. 2 国間協力の展望

リビアと日本との学術協力を考える際には、本来であれば両国の制度上の問題から検討しなければならないのであるが、今回のようにごく短期の訪問ではとてもその

ような余裕はないし、我々の不得手の分野もある。したがってここではかなり一方的、かつ一面的に、両国の考古学と地学における研究協力の可能性について検討してみる。

トリポリに着いて、地中海沿岸部各地の遺跡を見たり、様々な都市を訪問したりしていると、どうしてもヨーロッパ側からリビアを見る視点に立ってしまう。実際リビアの地中海沿岸の発掘地や、その発掘成果を展示している博物館を見ると、明らかにヨーロッパ世界を中心とした歴史観でまとめられていることが分かる。

ところが、ひとたび内陸部を旅行し各地の文化遺跡や住民、その人々の暮しぶりを目のあたりにすると、実はアフリカ側からリビアを見るもう1つの視点があることに気がつく、すなわち南から北に向かう人や文明の動きである。

リビアにおける日本の学術活動は、事実上、アフリカにおける研究成果の延長上に設定されていた。ムアムマル・カッダーフィによる、1969年の革命の前年には、京都大学のグループがセブラー地方に滞在して文化人類学的調査を試みている。このグループは食文化の研究で著名な石毛直道氏とオアシス農村社会の研究を目指す谷秦氏、さらに文化人類学の指導的人物、梅棹忠夫氏の強力な3人から成り、セブラーの近くの小村に数ヵ月住み込んで現地調査を行なうという徹底したものだった。この調査を終えると、石毛氏は長距離大型トラックに便乗して、リビアからチャドへのサハラの南北縦断に挑戦するという冒険を決行している（石毛、1973）。

将来の両国の学術交流を考える際には、すでに日本には、こうした固有の研究の系譜ができるということを、大いに多とすべきである。ヨーロッパとの強い関係を前提としたリビア研究ではなく、すでに京都大学グループによって試みられた、アフリカ独自の文化的展開の中でリビアを考える研究手法をとるべきである。

このような取り組み方をするなら、特に内陸の考古学調査や人類学調査に未だに多くの可能性が残されているのではないか。そのうえリビアでは戦略的な理由もあって、近年内陸の開発が急速に進んでいる。そのため以前は野外調査の実施が、補給や交通、通信の関係でとてもできなかったようなところでも、現在は道路網が整備されていくつかの地方都市の発達も目覚ましく、調査の実現が十分可能になっていることが多い。この好条件は地学調査にももちろん当てはまる。

考古学関係についていえば、この分野は以前は政府の教育部門に属していたのが、最近新たに設置された観光公団の所轄となったとの説明を受けた。これによってリビアの考古学関係の機関は、業務のうえでも財政のうえ

でも、かなりの独立性と余裕を得るようになったとのことである。我々が訪問したフェッザーン地方のセブラーとキュレナイカ地方のシャッハートの考古局はどちらもトヨタ・ランドクルーザの新車を何台か動かしていて、新組織になったばかりの活気が感じられた。日本の協力に対するリビア側の期待は大きく、リビア側としてはこの新スタートの時期に外国との関係でも新計画を打ち出したいのかもしれない。

今回の訪問はちょうどリビアでは大学の休暇時期だったために、大学関係の研究者に会ったり、大学を訪問したりするには不利であった。こうした中で、ムスタファ・サーレム博士とアリ・スペータ博士に会えたことは好運であった。ムスタファ・サーレムは1992年開催予定のリビア地質国際シンポジウムの事務局長を務める人物で、興味あることに、アリ・スペータとともにリビアのボイスカウト運動にも従事している。もっともリビアのボイスカウト運動というのは、政府の青少年関係機関に属する官製の運動のようである。ともかく活動的なリビア人地学者2人が、どちらもボイスカウト運動をしているというのは印象的であった。このような研究者がいるということは、将来フィールド・サイエンスで両国の共同研究を計画する際によい効果があるのではないだろうか。

6. おわりに

最初に述べたように、リビアと日本の学術文化面での交流は、欧米を中心とした現在の国際環境のもとではおそらくあまり発展を期待することはできないだろう。しかしながら、すでに1960年代のおわりに梅棹忠夫氏らの京都大学グループがユニークな学術研究の先駆をつけていることを忘れてはならない。またほかのアラブ世界と同様に、リビアでも日本は歴史に汚点を残すような過去がないため、学術文化の交流を深めるには非常によい2国間の関係にあるといえる。リビアが歴史的文化財の宝庫であることは衆知の事実であるが、リビアには沙漠をはじめとした地球環境に関わる地学的研究対象も豊富である。困難な状況は事実としても、今後長期にわたる2国間学術文化交流の展望を持って、リビアとの関係を考えて行くことが必要であろう。

今回の現地調査の実現に当たっては、リビア側ならびに日本側双方で多くの関係者の努力がはられた。この一文をしめくくるに当たって、在日リビア大使館とリビア日本友好協会、および在リビア日本大使館と日本リビア友好協会に心から感謝したい。

引用・参考文献

- 江口朴郎・板垣雄三編(1990):『交感するリビア——中東と日本を結ぶ』藤原書店。
- 石毛直道(1973):『リビア沙漠探検記』講談社。
- ヘロドトス著、松平千秋訳:『歴史』岩波文庫33-405、岩波書店。
- BARNES, V. E. AND UNDERWOOD, J. R., Jr. (1976): New investigations of the strewn field of Libyan Desert glass and its petrography. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 30: 117-122.
- CLAYTON, P. A. AND SPENCER, L. J. (1934): Silica-glass from the Libyan Desert. *Mineral. Mag.*, 23: 501.

- DEPARTMENT OF ANTIQUITIES, LIBYA ed. (1988): *The Jamahiriya's Museum*.
- PALLAS, P. (1980): Water resources of the People's Libyan Arab Jamahiriya. *The Geology of Libya*, 2: 539-594.
- PETIT-MAIRE, N., CASTA, L., DELIBRIAS, G., GAVEN, Ch., with an appendix by TESTUD, A.-M. (1980): Preliminary data on Quaternary palaeolacustrine deposits in the Wadi ash Shati' Area, Libya. *The Geology of Libya*, 3: 797-788.
- STOERZER and WAGNER (1971): Fission-track ages of North American tektites. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 10: 435-440.
- UNDERWOOD, J. R., Jr. and FISK, E. P. (1980): Meteorite impact structures, Southeast Libya. *The Geology of Libya*, 3: 893-900.

A Short Visit to Libya: Searching for Academic Co-operations

Hisao WUSHIKI* and Takeshi GOTOH**

As a mission sent by the Japan-Libya Friendship Association, the authors visited Libya for two weeks in September last year (1991).

The task of the mission was to seek for the possible scheme of academic co-operations in the field of archaeology and earth sciences in the prevailing hostile mood in the West.

The mission visited major archaeological sites in Tripolitania, Cyrenaica and Fezzan. The particular site names are as follows,

Leptis Magna and Sabratha in Tripolitania; Cyrène and Apollonia in Cyrenaica; Jerma in Fezzan.

In addition, Libyan host arranged visits to Wādī Mit-Khandūsh in Fezzan and Ghadame near Algerian-Tunisian border.

The authors were impressed by the magnificent scale of the Phoenician and Greco-Roman remains on the Mediterranean coast, but at the same time their attention was directed to the uniqueness of the endemic or, seemingly, Afro-genic development of the ancient culture in the desertic area inland.

Under the strong political tension, the Libyan government has been investing the wealth to develop the remote part of the country. Local cities looked to have developed greatly with the surprisingly well-constructed infrastructure. This positive aspect seems to facilitate a greater range of field activity in the previously inaccessible places for the research workers.

Several sites of earth scientific worth were visited and current topics were discussed with the Libyan earth scientists. 'Ain Dhubān, a mid-desert lake near Ghadames, palaeo-lake geomorphology in Sebha district and Wādī Mit-Khandūsh, palaeoclimatological site in Edehan Murzuq, both in Fezzan, seem to be related to the global environmental changes.

Finally, the authors were reminded of a fact that a pioneering work had been achieved in Fezzan by the cultural anthropologists of Kyoto in 1968 at the edge of the final stage of the Libyan royal regime. The three-member team, headed by Prof. T. Umesao, carried out field work as a consequence of the preceding massive work of African studies and set up various research fields. The initiation of Japanese activity, however, has been frozen till now unfortunately. The defrosting is strongly waited for.

Key Words: Libya, Archaeology, Earth Sciences

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

** Tokyo National Museum. Ueno Park 13-9, Taito-ku, Tokyo, 110 Japan.

(Received July 30, 1992; Accepted Aug. 21, 1992)

第3回学術大会一般発表記録

第3回学術大会の一般発表は、5月16日（土）は午前中の10時から12時まで、翌17日（日）は、午前10時から17時まで、2日間にわたって行なわれた。研究発表の数は、16日が5編、17日が17編、合計22編にものぼった。それぞれの発表に対して熱心な質疑応答が行なわれた。発表の内容は、質疑の内容も含めて質の高いものが多く、また応用的分野や境界領域にむけて、演者たちの意欲的な取り組みがうかがえるものもいくつかあり、今後の研究の進展が期待される。以下は、当日の発表の内容を要約したものである。（堀 信行）

南米太平洋岸砂漠の季節草原ロマスの研究 1. ロマス植生の分布と特性

小野幹雄・岡 秀一（都立大・理）、増沢武弘（静岡大・理）、大賀宣彦（千葉大・理）

本研究は、文部省の海外学術研究として1981年以来進められてきたものである。ロマス植生は、南米のチリー中部から中北部にかけての太平洋岸の砂漠地帯で、春の一時期に流入する海霧(garua)の結露による水分によって養われる季節的な植生である。このためこの群落の成立する場所や規模は、年変化が著しい。研究のおもな内容は、ロマス植生の類型とその成立機構、群落の植物学的特性および本群落を支える埋土種子集団の消長についてである。1991年の調査では、ロマス植生にみられる5タイプのうち、草原ロマスと低木ロマスが認められ、「花咲く砂漠」の様相を呈した。この現象が起きるきっかけは、6月の降雨であった。霧のみに依存するとされるロマス植生の成立に疑問が残った。また、ロマス植生の分布の非対称性は、海岸線の方向が関係していることが示唆された。ロマスの構成種は、ペルーとチリーとで異なり、南下するにしたがい降雨の影響が定常的となり他の植生へと移行する。

発表では、ロマス植生が南米太平洋岸の乾燥地域を特徴づける植生であり、きわめて地理的な場所の環境条件と植物学的な特性を考慮した説明が必要であることが印象づけられた。

南米太平洋岸砂漠の季節草原ロマスの研究 2. ロマス植生の成立に関わる気候条件

岡 秀一・小野幹雄（都立大・理）、増沢武弘（静岡大・理）、大賀宣彦（千葉大・理）

本研究は、ロマス植生の成立に関わる気候条件、とりわけ水分条件について、層雲のふるまいと関連させながら

ら、降水量分布を用いて南米太平洋岸の乾燥地域を広域的に検討を加えている。大陸西岸は、太平洋高気圧に伴う貿易風逆転が地形的ブロッキング作用とあいまって顕著である。それに加えて寒流の湧昇流によって空気が冷却され、安定した大気が海岸砂漠を形成することになる。南米太平洋沿岸の海岸砂漠では、貿易風逆転の下限を上限とする層雲の発達が著しい。層雲は、逆転層の強度が強く、冷水域も拡大する寒候季に発達が顕著で、garuaと呼ばれる霧雨を伴うこともある。この様なときに層雲は陸上まで達し、海岸付近の丘陵や谷を覆うことになる。

研究発表では、まずロマス植生の分布域が南緯5度から30度の間の沿岸の乾燥地域に限られることを気候学的に指摘され、続いて層雲から霧水をトラップした水分量の分布が、ロマス植生の分布の有無、群落組成との関係が深いことを具体的に指摘された。

南米太平洋岸砂漠の季節草原ロマスの研究 3. ロマス群落の構造と水条件

増沢武弘（静岡大・理）、岡 秀一・小野幹雄（都立大・理）、大賀宣彦（千葉大・理）

本研究は、チリ中北部南緯26度から29度に分布する草原ロマスを対象に、群落の構造と水条件についての調査結果の報告と、さらにペルーに成立しているロマス群落との比較検討を行なっている。

調査地は、コピアボの北約50kmのロマス群落の成立している南東斜面とその下方に続く平地に設定された。この群落内に微気象観測装置を設置し、約20日間の観測を行なった。この結果、地表面温度は、日中40～45°Cに達し、夜間の気温低下とともに、群落の分布地域では結露することが判明した。斜面から平地にかけて5つのタイプの群落が成立し、これらの現存量は低生産力の草原とほぼ同じ値を示した。このうち*Fortunatia*群落では、この植物が鱗茎を持つために地下部の現存量は著しく多かった。水条件については、日中の気温の上昇とともに水ボテンシャルを低下させるタイプと、気温の上昇に関係なく一定の値を維持したタイプがあることが判明した。観測値に基づき、それぞれの群落の構造やそれを成立させる水条件が具体的に示された。

南米太平洋岸砂漠の季節草原ロマスの研究 4. 埋土種子集団の消長

大賀宣彦（千葉大・理）、増沢武弘（静岡大・理）、小

野幹雄・岡 秀一（都立大・理）

草原ロマスは、乾燥期を避けて生育する植物 (drought evader) からなる群落である。種子発芽→成長→開花→結実という群落の形成過程は、早春から初夏にかけての約4ヵ月間に霧から供給される水によってのみ維持されている。草原ロマスは、沿岸地域の標高300m以上の南から南西斜面に成立するが、必ずしも定期的には形成されず、ときには数年間以上も形成されないことがある。このことは、霧から地表面に供給される水分の量とその持続時間が、草本ロマスの種組成や構造の決定にきわめて重要な要因となることを示している。ペルーのアンコン台地の縁に形成された群落を例にすれば、数年間周期で群落が形成され、ときに3,000個/m²以上の種子供給が保障されれば、この地点での草本ロマスは現状を維持することが可能である。草本ロマス群落の盛衰と形成される群落の種構成の予測のためには、乾燥条件のもとで地中の種子の寿命の長さと、各個体が生活環を完結するまで、あるいは生殖成長期に入るまでに必要な水分量を知る必要がある。今後はこの点を明らかにしたい。

発表後に質疑で、霧から供給される水分の浸透する深度は、2~3cm位だが、十数cm下まで根が達している場所もあることが指摘された。

砂漠化から地球を救う、海中運河と海上人工淡水湖

原 周作（施設園芸コンサルタント）

砂漠の緑化と農業生産には、何よりも淡水の供給が必要である。ここに提言する方法は、海洋の広大なスペースと海水の持つ均一性、水平性、および浮力を与える性質を利用したものである。まず、ステンレスの薄板などを現地で管状に加工する。次に浮力を付加させるために発泡体で包囲された送水管を海中にパイプラインとして構築する。続いて送水管にそう要所に強靭なプラスティックフィルムを巨大な袋状に加工し、流出しないように固定して海中に浮かべる。これに河川から海中送水管で送られてきた淡水をそぎ込んで海上浮遊式の人工淡水貯水湖を構成する。こうして、海中送水管と多くの人工淡水湖を連ねる淡水供給ネットワークを砂漠化した陸地の縁辺に構築すれば、安定して淡水供給ができる。これにより、スプリンクラー散水灌漑やセンターピボットによる大規模灌漑農業を成立させ、一方で集約度の高い養液栽培も可能となる。以上のような構成は、過去に例がない。嵐に対する退避機能や船舶の航行に対する対策など克服すべき点は多いが、現実のものとなりうる。

発表後、淡水の入手方法について再度質問があり、ヨーロッパも含む遠隔地の河川から送水することになら

うとの意見交換がなされた。

ペルシャ湾表面海水の D/H の周年変動

牛木久雄（理化学研究所）

ペルシャ湾内のアラビア半島岸で、表面海水の周年採取を行ない、その重水素の同位体比 D/H (δD) を測定した。採取地点は2地点で、一つはペルシャ湾奥に位置するクウェートのサルミア（クウェート科学研究所エビ養殖試験場構内）である。もう一つは、湾口に近いが湾口から反時計周りに入る潮流の最下流部に位置するアラブ首長国連邦のアブダビ（アブダビ石油の沖合油井）である。採取海水の δD と塩分濃度の周年変化の結果は、湾奥のクウェートでは規則的な年変動が認められたが、湾口のアブダビでの変動は不規則であった。クウェートにおいては、海水温上昇期の4~10月に δD も塩分濃度も増大する。これは、湾内の表水層水温の正列成層期における海面からの蒸発の効果が表われていると解釈される。海風や水温の日変動による混合深度を湾内の温度躍層の深度である30mと仮定すると、4~10月の半年で2,100mmとなった。これは大気観測から解釈された年間水蒸気垂直輸送量の3,000mm以上にオーダーとしてよく対応している。

質疑では、アブダビの δD 値の低下は、アラビア半島側からの地下水の流出による可能性が指摘された。

マルムーク朝時代のシナイ半島の遊牧民——セント・カトリーヌ文書の事例から——

松田俊道（東洋文庫）

エジプトのシナイ半島にあるセント・カトリーヌ修道院には、建設以来の長い年月に作成された文書や写本が保存されている。これらの文書や写本は、19世紀末からヨーロッパの研究者によって学問的な研究の対象になってきた。とくにアラビア語やトルコ語で書かれた文書や写本は歴史研究の対象となる。発表では、写本番号688の第38葉の事例を取り上げた。この写本の内容は、修道院とシナイ半島に拠点をおく遊牧民との間で結ばれた協約文書である。シナイ半島に住む遊牧民の集団は、アラブの移動と民族移動の波にのってアラビア半島やシリアから移動してきた。移動してきた遊牧民の中には、都市や農村に定着したものもいたが、定着せず半農半牧の生活を続けたウルバーンと呼ばれたものもいた。協約書は、このウルバーンの諸集団と交わされた。武装し機動力のある彼らは、一般に修道院のガフィール（警護人、見回り役）を務め、農地、果樹園、農耕用の動物、家屋、農民の安全を保証し、修道院から一定の報酬を得た。一方、ウルバーンは、放牧を自由に許されていた。また、

ウルバーンは、公共の秩序の維持、村落や耕地の安全、隊商の保護などに本来国家に属するヒマーヤ（保護権）を使っていた。この写本は、シナイ半島の遊牧民の様子が生き生きと描かれている。

中国黄土高原の土壤の透水による無機イオン動態と河川水質——ライシメーターによる解析と河川水質調査から

松本 聰（東京大・農）

中国黄土高原の緑化を進めるための基礎研究として、土壤中の無機イオンの動態を知ることは重要なことである。そのために、当地に排水収支型のライシメーターを設置し、作物の生育が旺盛になる5月下旬から6月中旬まで5回の灌水をすることによってみられる無機イオンの動態を把握した。同時に、土壤から溶脱した物質の流出経路である河川において、水質調査をし、黄土高原における物質溶脱の実態を明らかにすることを試みた。浸透排水中のイオン濃度の経時変化をみると、 Na^+ および K^+ は、もっとも早い時期から高濃度で排出している。これについて、 Ca^{2+} および Mg^{2+} が高濃度で排出され、かつ前者より長期にわたり、排出様式はプロードなパターンとなった。 Cl^- の浸透流出波形は Na^+ ときわめて類似し、 NaCl という形で土層から溶脱しやすいことを示した。これに対して、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} および HCO_3^- は、 Cl^- に遅れて高濃度排出する。これらのうち PO_4^{3-} の土壤による吸着が弱い事実は、黄土高原の土壤が炭酸カルシウムに富む弱アルカリ性のため、鉄やアルミニウムとの結合に対する活性が低く抑制されているためと考えられる。また、降雨による河川水量の増大で栄養塩類が希釈される事実は認められず、土壤からの溶脱の大きさが指摘される。

発表後、動物による土中の穴に起因する侵食や地表面にみられる soil crust formation を破壊して水の浸透を促進することなどにも話題がひろがった。

土壤表層に集積する塩類の捕集法について

安部征雄・山口智治・横田誠司（筑波大・農林工学系）、大塚義之・井伊博行（清水建設技術研）

砂漠化の原因の一つは、土壤の塩類集積問題である。この問題に対応するために土壤表層附近に集積する塩類を土壤表面に設置した捕集シートによって捕らえ、土壤自体への塩類の集積を抑制する方法を検討した。試料土は豊浦標準砂を用い、ガラス製カラムに乾燥密度が 1.53 g/m^3 になるよう充填した。供試体は 0.5% の NaCl 溶液で飽和させ、土壤表面にガーゼ、ビニル、スティックなどを用いて作成した各種捕集シートをセットした。実

験結果は、乾燥の進行に伴って表層への塩類の集積が増大するが、水分蒸発率が 60% 以降になるとその傾向に変化が認められた。土壤表面をガーゼ2枚で被覆した場合は、 NaCl のシートへの集積効果は認められるが、土層第1層への集積も認められ捕集効率は悪い。棒状のスティックを3本のみ用いた場合も同様であった。ガーゼ、ビニル、スティックを組み合わせた場合は、表層に集積するほとんどの塩類が捕集シートに捕らえられ、捕集効率はよい。本研究の基本的アイデアは、蒸発によって塩類が土壤表面にあがってくるのを捕らえることである。

これに対して、発表後、地下水面を考慮してさらなる工夫を期待する発言があった。

蒸発による水分移動を用いた塩分除去方法

井伊博行・大塚義之（清水建設技術研）、安部征雄・山口智治・横田誠司（筑波大・農林工学系）

乾燥地域において、塩害は重要な問題である。本報告では、蒸発による水分の上方移動を利用して、効率よく土壤の塩分を集める方法について考察する。とくにここでは、土壤よりも蒸発量の大きい材料を土壤に挿入することで、塩分を選択的に蒸発量の大きい材料の先端に集める方法について考察する。まずははじめに、土壤の材質の違いによる、塩分移動の違いについて実験を行なった。土壤の材質は、砂と砂とベントナイトの混合土（98:2, 95:5）の3種類の材質について塩水で飽和した状態から 35°C で乾燥させた。その結果、いずれの場合も表面に厚さ $1\sim2 \text{ mm}$ のクラストが形成され、塩濃度はその下部よりも著しく高い。ベントナイト含有量が増加するにつれて、クラスト中の塩濃度は小さくなる。次に、紙ロールを挿入した場合の塩分の移動についての実験を行なった。その結果は、表面にクラストが形成され、その濃度分布も前回と同じであるが、紙ロールを挿入した場合の方が各深さの塩濃度が低い。また、この傾向は、ベントナイトが少ない方によくみられる。紙ロールの塩濃度は、砂のみの場合は紙の上端に塩が濃集し、ベントナイトを含む場合は地表面付近が高い。ベントナイトが少なくなるほど紙に蓄積された塩の量が多い。このように土の特性により塩分の移動量および蒸発材に濃集する位置が変わる。

発表後、一本の紙ロールに関わる範囲は未検討であること、風の影響については現段階では難しいといった質疑があった。

ランドサットデータによる中国新疆阜康地区の土壤図の作成

今川俊明・福原道一（農業環境技術研究所），程 心俊（中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所）

砂漠化が進行している地域において、適正で持続的な土地利用を行なうためには、土壤図の迅速な作成が期待される。この点においてランドサットデータの活用が有効である。本研究では、中国新疆阜康地区を対象に土壤図の作成を試みた。対象地域は、シムガル盆地南縁の天山山麓で、全面の砂丘との間に挟まれた扇状地性の緩斜面上に位置するために、地形的には比較的単調であり、年降雨量は、150 mm程度の乾燥地域で植被は貧弱であるため、ランドサットデータ使用の土壤図作成には好条件を備えている。なお、新疆生物土壤沙漠研究所によって1987年に現地調査と赤外線カラー空中写真を使って土壤図が作成されている。今回は、この土壤図とランドサットデータ（1976年10月12日のMSSデータと1989年8月24日のTMデータ）による土壤図との比較検討を行なった。MSSデータの4, 5, 7バンドを用いて最尤法分類を行なった結果、灌溉草甸土、灌溉荒漠化草甸土、塩類集積化灌漑草甸土などの灌漑耕作土壤は高い判別率を示した。一方、塩類集積化沙漠土と風積沙土、強塩化石灰質亀裂状沙漠土の判別率が低く区分が困難であった。そこで、より解像度の高く、バンド数が多いTMデータを用いて土壤図を作成した。

中国、新疆の塩類化地域における塩類物質の産状と分布

岡田昭彦・矢吹貞代・劉 豊強・張 勲（理化学研究所）、樊 自立・田 長彦・常 背（中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所）

中国、新疆ウイグル自治区のタリム盆地および吐魯番盆地では、極度に乾燥した気候を反映して土壤中に塩類物質が濃集している塩類化土壤地域が各所に分布している。科学技術庁の科学技術振興調整費による「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」の一環として現地調査を行ない、採集した土壤および塩類物質について光学観察、X線回折測定、EDX-SEMによる高倍率下での産状観察と化学組成の分析を行なった。表層付近の水可溶性成分中には、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムなどの陽イオン種や硫酸イオンなどの陰イオン種が一般に高い濃度で検出され、主として水可溶性の塩類として土壤中に集積している。塩類集積の著しい地域では地表がクラスト状の塩類で被覆されている。発表後、各種鉱物の由来する場所についての質疑がかわされた。

中国タクラマカン沙漠ケリヤ河流域の地形変化

遠藤邦彦（日本大）、相馬秀広（奈良女子大）、渡辺満久（東洋大）、印牧もとこ（日本大）、藤川格司（パスコ）、浜田誠一（日本大）

タクラマカン沙漠が位置するタリム盆地における碎屑物循環システムをふまえて、ケリヤ河流域を主とするタクラマカン沙漠の地形変化を検討した。

融雪・融氷水によって涵養されるケリヤ河は崑崙山地から大量の碎屑物をタリム盆地内に運搬し、洪水時に主に扇状地や沖積平野を発達させ、盆地中央部で消滅する。一方、北西および北東の卓越風は、盆地内の堆積物を侵食して、砂丘を南東や南西に移動させ、ダストを広域に散布する。レスは主に盆地の周辺部から山間部の段丘上に厚く堆積している。河川流路進出した砂丘は洪水時に侵食され、碎屑物として下流側に戻っていくが、トータルには河川による土砂供給を風食作用が上回っていると考えられ、盆地内の侵食基準面はほぼ平衡状態をつくりつつ若干低下の傾向を示している。このため、ケリヤ河に沿っては上流から下流部に至るまで段丘が形成されている。盆地周辺部においてはさらに地殻変動が加わっている。最終氷期の河床高度は全流域で現在よりも高い位置にあり、完新世に下刻が進行したことを示す。また、最終氷期には、ケリヤ河は沙漠を横断してタリム川に届いていたと推定される。

タ克拉マカン沙漠の砂丘は、年代的に最終氷期のものと完新世のものとに分けることができ、後者の形成期はさらに細分される。上記の循環システムの中で、砂丘は卓越風による侵食・運搬、河川洪水による碎屑物供給および地下水水面の高度などに支配される。盆地内が乾燥し、卓越風が強ければ砂丘形成は促進される。タ克拉マカンにおいては2,000年間の砂丘形成が活発であったと考えられる。その要因として、ケリヤ河の流量が減少し、タリム川に届かず、盆地中央部で消滅することになったこと、その結果、盆地中央部をはじめとして風食による基準面低下をもたらすと共に下刻を生じ、盆地を全体的に乾燥化させたことが考えられる。

中国タ克拉マカン沙漠北東部ボストン湖における後氷期の湖水位変動と気候変遷（予報）

小杉正人・遠藤邦彦・印牧もとこ・江口誠一（日本大）

本研究は、科学技術振興調整費総合研「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」の一環をなすものである。発表者らは、1990年より中国タ克拉マカン沙漠北東部、天山山脈南東麓に位置する氷河涵養湖、ボストン湖において湖底および湖岸段丘の堆積物の地形学的・地

質的検討を行ない、後氷期の湖水位変動史の復元を試みた。これと並行して天山山脈において氷河地形に記録された古気候の変遷史についても調査し、ボストン湖の水位変動との関連性を検討した。

湖の北側には、天山山脈から流出した砂礫からなる扇状地と、湖岸付近の離水湖棚とそれをおおう砂丘がみられる。また、北岸の沖には、沈水砂丘と推定される地形が認められる。湖の西側には、レス大地、その前面の沖積平野、離水湖棚がみられる。湖の南側には、バルハンをもつ大規模な砂丘帯（旧砂丘、新砂丘が複合）が形成されている。現在、こうしたさまざまな地形面をつくる堆積物を路頭断面およびボーリングにより採取し、この年代測定と微化石分析を進めているが、各地形は過去の湖水変動や気候変動に対応して形成された産物であると推定される。

一つ前の発表と気候のフェイズがずれているように見えるが、これは地域的な違いによるのかどうか今後の検討が期待される。

砂丘の形成と移動に関する数値実験

長島秀樹・山田 豊（理化学研究所）、李 崇舜・趙景峯（新疆生物土壤沙漠研究所）、夏 訓誠（蘭州沙漠研究所）

タクラマカン沙漠南西部策勒地区では砂の移動による被害が深刻であり、たとえば道路が押し寄せる砂丘で埋まってしまうことがある。そのような砂の被害を最小限にとどめるためには、砂丘の移動に関する科学的知識を十分蓄積したうえで適当な対策を講じなければならない。1990年10月以来、現地における自動気象観測および砂面変動の測定を行ない、その特性を把握することに努めてきた。

これらの知見をより有效地に生かすためには、高精度な数値シミュレーションモデルを開発することが必要である。それにより砂丘の移動に関する将来予測が可能となり、移動沙漠地帯の環境評価に必須な基礎資料がえられることとなる。しかしながら現在、このような要求を満たす数値モデルは開発されていない。

砂丘の移動の数値モデルは、通常(1)凹凸のある砂面の上を吹く風のシミュレーション、(2)風が砂面に作用する応力の計算、(3)それによって運ばれる砂の量の推定、(4)砂輸送の集束発散の結果として生じる砂面形状の変化の計算からなるが、(4)における安息角の取扱いに難しい点があるし、また膨大な計算時間を要する。

そこで本研究では、(1)および(4)において簡略化したモデルを用い、バルハン砂丘の移動に関する数値実験を行なった。このモデルの特徴はとくに(4)において風向

に沿う断面形状を triangle で近似することであり、これにより計算スキームの簡素化および計算時間の節約が期待できる。

このモデルはまだ検討すべき点が残っているが、現地観測資料と比較し今後改良していく所存である。

発表後、このモデルによる研究の主旨、将来の応用の見通しについて質疑があった。

ケニア、ソマリ族の遊牧について——降雨・ラクダ遊牧・略奪——

池谷和信（北海道大）

ソマリ族は、東アフリカのソマリア、ジブチ、エチオピア東部、ケニア北東部を中心に分布するクシ系の民族であり、ブッシュの中でラクダやウシを中心に遊牧生活を営むほかに、家畜商や運搬業に従事する人も多い。また近年のソマリア国内の内戦によって、シフターやレフジーが数多く生まれている。

本研究は、ケニア国北東州ガリサ地区に調査地を設けて、ソマリのクランの一つである Abdall のキャンプに住み込んだ。ここでは、乾燥地域に広くみられる干ばつによって、隣接する民族のテリトリーに家畜群を移動させざるを得なくなったソマリが、民族間の紛争を起こしている現状を報告する。

まず、水利用のタイプと季節性については、年中水の得られるタナ川、かれ川や岩盤を掘ってつくられた井戸、人工的プール、降水たまりの4タイプの水源がみられた。そして長期間にわたる乾季には、川や井戸の水が使われていた。

キャンプの移動と経済生活については、対象にした3世帯は、約10年前に建設された学校やクリニックのある定住集落の周辺部を移動するもの、ガリサタウンからプラ集落までの約80kmの範囲の中で移動を繰り返すものに二分される。

家畜の構成は、1世帯あたりラクダ40~60頭、ウシ0~20頭、ヤギ、ヒツジ200~300頭を示す。ソマリは青年や子供などの牧夫をつかって各々の家畜群を放牧することで、各家畜の食性に応じた植生を垂直的に利用している。

1991年の小雨季には降雨が少なく、放牧地を求めて多くのソマリがタナ川を越えてオルマ族のテリトリーへ侵入していった。その結果、両者の間で家畜の奪いあいや殺しあいが生じている。ソマリの中にはもとの場所へ引き返す場合と銃をつかって防衛してとどまる場合とがみられた。

発表では別に資料も配布され、生々しい現状が報告された。

サーヘル乾燥化の忘れられた二側面

嶋田義仁（静岡大）

ここでは、現地において長期にわたって調査してみないとわかりにくい、サーヘル乾燥化の二側面を指摘する。

まず、ニジェール川内陸デルタ上流部の「乾燥化」については、乾燥度のはげしいサーヘル地帯では、農業も100%天水に頼るということはない。なんらかの灌漑を利用している。この意味で、西アフリカの長大河川ニジェール川が巨大な内陸デルタをつくるマリの中東部地帯は、恵まれたとさえいえる地域である。逆にいえば、このニジェール川の水量の増減が、この地域の死命を制してきた。これは、この地域の「乾燥化」問題は、この地域に降った降水量の問題というよりは、ニジェール川およびその諸支流の水源地帯における降水量、あるいは水源地の貯水機能その他の水源機能の問題であることを意味する。

次に、スーダン・ギニア・サバンナ地帯の「乾燥化」について述べる。サーヘルの「乾燥化」は、その南のスーダン・ギニア地帯の乾燥化も引き起こしている。しかし、「乾燥化」が人間生活に与える影響は、サーヘルとスーダン・ギニア地帯ではまったく異なり、後者では、むしろプラスに作用している。植生が濃密となり、疎林がはじまり、川辺には森も形成されてくるスーダン・ギニア地帯は、人間生活にとって必ずしも好ましい地域ではなかった。

ニジェール川の水量減少の問題は、上流部におけるダム建設なども関与しており、多角的な角度から考察する必要がある。しかしいずれにせよ、サーヘルの「乾燥化」を単に「沙漠」の拡大という視点からのみ考えることは問題の理解として不十分であり、よりグローバルな視点、とくに、サーヘルに流入する河川の水源地の後背の問題、つまり南方湿润地帯のサバンナ化、ステップ化の問題としてもとらえる必要があることは、確かであろう。

多くの写真・資料とともに生々しい実態が報告された。

NOAA 植物指標からみた西アフリカの植生変動について

柴田健一・瀬戸島政博（国際航業（株））、丸山和彦・村山忠一（農用地整備公団）

サハラ砂漠南縁のサヘル地帯は、東西5,000km、南北1,000kmにおよび沙漠化が進行しているといわれている。人工衛星 NOAA 植物指標データは、大陸規模で起こる植生の状況をとらえるのに適している。

ここでは、NOAA 植物市場と降雨量データをもちいて、植物一次生産量を介し、西アフリカにおける植生変動を解析した。解析に用いた NOAA 植物指標は、1982～1988年までの週間データで、主として1月および10月分などである。さらに、11カ所の月別降雨量から NOAA 観測前12カ月降雨量を算出し、植物一次生産量を求め、植物一次生産量と NOAA 植物指標との関係から、1982年から1988年までの植生変動を把握した。

解析の結果、1982年から1988年までの西アフリカにおける植生変動は、おおむね次のようにまとめられた。(1) 1982年から1985年にかけての4年間は、降雨量の減少に応じて、植生の活性域と非活性域の境界線が南に移動しており、とくに1984年は干ばつにより農業生産量が急激に低下し、食料危機に見舞われた。(2) 1985年から1988年にかけて、降雨量が回復するにつれて、境界線が再び北上し、1988年には1982年よりも北に位置している。1986年以降この地域では、降雨量に恵まれ農業生産量が回復した。(3) 1985年から1988年にかけて、境界線が北上するにつれて、植生が回復しない部分がみられるようである。(4) 1988年の時点で、ニジェール河沿いのマリのブーレムからガオにかけての東部地域にて植生の非活性域がみられるが、この地域は砂丘の移動が激しい地域である。

サヘル5カ国における食システムの養分収支のマクロ解析

袴田共之（農業環境技術研究所）

サヘル諸国などの開発途上国の多くにおいては、食料問題と環境の危機とがからみあって進行し、持続的・永続的な開発が焦眉の課題となっている。それらに対処するにあたって、それぞれの国における食システムの養分収支を把握することは、食料生産基盤である土壌の肥沃度管理、養分循環管理を通じて開発と環境保全が並進する社会を確立するための第一歩であると考えられる。そこで、主として FAO の1991年版主要国食料需給表と科学技術庁資源調査会の食品標準成分表のデータをもとに、セネガル、マリ、ブルキファソ、ニジェール、スー丹の5カ国における窒素、リン、カリウムの収支を推定し、国ごとの特徴と問題点を指摘した。3要素の供給と需要の内容について、セネガルとスー丹においては需要に占める食料消費の割合が相対的に低く、製造用に向けられる割合が比較的多い特徴がみられた。供給と需要のバランスは、セネガル、マリ、ブルキファソ、スー丹の4カ国はおおむねとれていたが、ニジェールは3要素とも供給が不足していた。スー丹の窒素を除いて、生産量に対する化学肥料の消費量は各国ともきわめて

て少なく、土壤肥沃度の低下が懸念される状況とかんがえられる。化学肥料が耕地にのみ施用されると仮定した耕地あたりの平均施肥量は、マリ以外はきわめて低水準であるが、食料消費に伴い生鮮される養分、すなわち尿養分を全量耕地に還元することを想定した施肥量を求めるとき、塞内でセネガルの約 8 kg からマリの約 22 kg、リンでスーザン、ニジェールの約 1 kg からマリの約 6 kg、カリウムでスーザンの約 3 kg からマリの約 11 kg となった。以上のこととは土壤肥沃度管理の必要性とその方向を考える材料を提供する。

サヘル住民のエロージョン対策（—牧畜との共存—）

並里次雄（国際連合）

サヘル地域の農業は約十年周期で襲来する大干ばつと頻発する降雨異変により土壤被覆植生が衰退または崩壊して裸地化が進むにつれて飛砂、耕作土の飛散、砂丘の移動などの風食や雨水による土壤流亡が目だつ。

サヘル農業の特徴は牧畜と降雨量 400–500 mm 地帯の大陸上での輪作による粟栽培、あるいは水資源に恵まれた特定地域での定着農業である。近年の天水農業の傾向として、環境との不均衡による土地の肥沃再生力の低下、不規則な気候からくる反収の減退耕作地面積の拡大となり、土地利用上牧畜民と農耕民との緊張を高めている。以上の状況を踏まえて、現実的にかつ短期的に生産性を高めていくための即戦的な技術指針は水資源と土地の有効利用を盛り込んだ営農システムの転換であろう。

サヘル全体からすれば、水資源に恵まれた集約農業可能地は局地的に点在するのみであり、既存の営農体系を

そっくり変換できる程の面積は存在しない。しかしながら積極的な集約農業の振興は他力回復効果、生産性向上、生産の多様化、生産の安定、農家収益の向上をもたらし、天水農業への依存度を軽減することにより土壤被覆植生の保全やエロージョン防止を含めた自然環境保全にも役だっている。ただし、集約農耕地での持続的生産維持には生産環境の総合整備と十分な肥培管理が必要である。その一環としてより安価でなおかつ地域住民参加可能な生産環境向上事業として植林による土壤保全、生産維持計画試験を継続中である。

サハラを考える—Ghardaia 会議の報告—

小堀 巍（明治大）

1992 年の 5 月 2 日～10 日まで、アルジェリアの独立 30 周年を記念して第 8 回のユーロアラブ移動大学のシンポジウムが開催された。参加者は約 100 人（半数は外国人で、日本からは 2 人）であった。会議の感想は、研究者以外にも政策決定の人が参加していて、総合討論会といった風情であった。主な内容は、伝統と近代との相克といったものであった。例えば、水利用についてみると、伝統的なフォガラは、オアシスの人口増、掘るために労働力を維持するのが困難といった面がある。一方で、化石水を利用して灌漑をしている Pirot irrigation と如何に今後調和を保っていくかが問題である。また、「サハラを見ずして沙漠を語るな」という問題もある。沙漠は広い。沙漠の全体像の認識が欠けているのも問題である。日本との関わりでは、コマーシャル以外の援助は ODA の対象にならず、抑えられる傾向にある。日本からの関わりを考え直す時期にきているという印象を受けた。

書評

今井 勝・天田高白・安部征雄・山口智治
 (編)：地球環境時代に生きる農林業 筑波書房,
 286 ページ, 2200 円。

「バイオコスモスの世界を求めて」
 この本を読んで、ふたつのことを考えた。

ひとつは、砂漠化など地球環境問題に対する時は専門的に深い議見と広範な視野の両方を要求されるということ。言うに易く行なうに難いことは、評者も理解しているつもりであるが、ここ数年、少なくとも研究者の間ではそのことが実現に向けて徐々にではあるが確実に進んでいるように見受けられる。この本のように全般的な扱いをした本で、特に多くの著者による本では、以前は、深い専門性を実現できても広範な視野が希薄な印象を与えるものが目についたが、本書では印象が少々違っていた。おおくの著者が、両者を兼ね備えよう、または兼ね備える必要があるとする意識のもとで執筆しているためと想像できる。

本書では、人と環境、炭素や水の循環、エネルギー、遺伝資源、自然保護など、現代の環境問題におけるおもな問題はほとんど取り上げられており、全体としては 150 億年前の大宇宙から現代の食卓まで、時間・空間的に広範な内容をコンパクトに取り込んでいる。それでいておおくの章節が可能な限りの最新情報を解説してくれている。たとえば、ほとんど偶然の経験であるが、評者は宇宙物理を学んだ経験が無いので、ハッブルの法則などというのは名前を聞いたことはあっても中身は知らなかった。ところがこの本の簡潔な記述に接していたおかげで、ハッブル定数を超新星の明るさから決めるという「科学」誌(岩波書店)の記事をおもしろく読むことができた。もちろん本書を細かに見れば個別分野の専門用語が説明もなく出てきたりして戸惑う場合がないではないが、それは枝葉末節に属すことであり現代の環境問題をトータルとして理解することの妨げにはならない。

とくに注目したいのは、環境倫理に関する一節をおいたことである。その節を読んでみて、現代の人間がことをなすにあたってグローバルな観点とエコロジカルな観点が最も大切であり、人間と自然の有限性を認識することが求められていること、そしてわれわれが自然や環境に対するにあたって人間が自然の一部分であってその征服者では決して有り得ないことを認識し、ついでそれを行動で示すことが、かけがえのない環境を守り、われわれの子孫により環境を引き継ぐ唯一の道であると改めて

感じた。日本の科学者・技術者または科学技術を指して、知識一流、倫理三流とか技術一流、哲学三流とかいわれることに苦々しい思いをしていた者としてこの節を興味深く読むとともに、環境倫理に関する研究の一層の発展を期待したいと思った。発展途上国などへの技術移転や研究協力が頻繁に行なわれるわが学会の対象領域においては環境倫理の必要性と重要性が他人事でなく感じられるのである。

本書は、筑波大学の学生に向けた講義がもととなっているというが、このような講義に積極的に参加し、それをバネに世界にはばたく青年のなかから「現代のレオナルド・ダ・ヴィンチ」や「現代のゲーテ」が誕生し、深い専門性と広い視野とを備えて 21 世紀の新時代を担ってくれることを期待したい。

考えたことのふたつ目は、21 世紀の新時代が農林業の時代にならねばならない、ということである。私は常日頃、環境が本当に守られる社会においては農業・林業・水産業といったいわゆる第1次産業が大切にされるはずであると考えている。それは、食料などの産物が人間生活にとって基本的に重要であって、爆発する人口を養うために不可欠であるからでも、ましてや食料が戦略物資として重要であるからではなく、すべての産業のなかで第1次産業だけが環境とともに成り立ってきた歴史を持ち、環境との共生を体质として備えているからである。言い方をかえれば、第1番目に考えたことでふれたこと、つまり本書の題材とされている人と環境、炭素や水の循環、エネルギー、遺伝資源、自然保護など、現代の環境問題におけるおもな問題がすべて第1次産業の要素としてかかわっているからである。どのようにそうであるかは本書を読んでみれば至るところで教えられるであろう。

ところで、現代の環境問題は、人間の欲望や人口の増加に根元があると言う論理は世に多くあって、本書においても基本的にはその考え方方に立つ著者が多いくらいに読み取れる。しかし評者の現時点の関心事のひとつはそれが間違いではないか、というところにある。つまり、沙漠化や酸性雨、地球温暖化などの環境問題からソマリアの飢餓や発展途上国における貧困などまで、どれをとっても人間の欲望や人口の増加に責任をかぶせてしまうほど単純ではないと思うからである。

人間社会の機能は、人間の認識と制御能力を越えてしまってあたかも地球規模の生命体として行動しているかのようであさえある。そのようなもとでの困難をわれわれ

は何によって克服すべきであろうか。ひとつは、科学的認識方法を人類がひろく身につけることと、それに基づく新たな人間行動制御装置（地球レベルでいえば、国連などの最適化であろうか）の構築であろう。これは、もちろん一朝一夕には実現できないし、それだけでは言い尽くせない多くの他事を伴うものであろう。しかし評者は、今のところはっきりした根拠はないが、農林業の場において最も典型的にこのことが実現するのではないか、というおぼろげな期待を抱いている。本書の中でも今後の農林業の姿として持続的農業という考え方を提起している。これは、国連のブルントラント委員会が強力に打ち出した持続的発展の概念の農業版といえるが、現状は具体的な実践の姿を現わしているというよりも概念が提起されている段階である。したがって、そのことを口にする多くの研究者や実践家は、おぼろげな期待をそれに込めているにすぎない。しかしながら持続的発展が農業の場において真っ先に具体的な実践を目指して動き出したことには、それなりの理由がある。それは、上述

したおりすべての産業のなかで第1次産業だけが環境とともに成り立ってきた歴史を持ち、環境との共生を体質として備えていて、持続的発展の考え方をすんなりと受け入れ易い素地をもっているからである。そのようなわけで本書の主張のいくつかを評者は支持するものである。そして、21世紀を「緑産業」の時代と特徴づける本書の名前を「あすの地球をつくる農林業」としても決して大げさではないと思う。

最後に、本書の内容と力点の在処を簡潔にかつ正確に示している各章の名前を掲げておこう。

第1章 地球の環境が人類の力によって変わる

第2章 炭素の循環とその制御

第3章 水の循環とその制御

第4章 自然の一構成要素——人類

第5章 農林生態系の変化と維持

そして最後の第6章が、象徴的に、バイオコスモスの世界を求めて、となっている。

（袴田共之：農業環境技術研究所）

日本沙漠学会会則

第 1 条 本学会は日本沙漠学会 (The Japanese Association for Arid Land Studies) と称する。

第 2 条 本学会は、沙漠に関する研究の発展と理解の深化に寄与するとともに、会員相互間の交流、ならびに国内外を問わず、関係機関・団体との研究上の連絡、交流をはかることを目的とする。

第 3 条 本学会は前条の目的を達成するため、次の事業を行う。

- (1) 年会、分科会および講演会の開催。
- (2) 沙漠研究に関する情報の収集と交換。
- (3) 学会誌、会報などの刊行。
- (4) その他必要な諸事業。

第 4 条 本学会の会員は次の通りとする。

- (1) 正会員：沙漠に関心を持つ個人で、所定の会費を納める者。
- (2) 賛助会員：本学会の目的および事業に賛同し、所定の会費を納める個人または団体。
- (3) 本学会に入会を希望する個人または団体は、その年の会費を添えて入会申込書を学会に提出し、理事会の承認を得なければならない。

第 5 条 本学会の会員は、本学会のすべての事業に参加することができる。

第 6 条 本学会に次の役員をおく。

- (1) 会長 1名（副会長 2名以内）
- (2) 評議員 30名以上 40名以内
- (3) 理事 若干名
- (4) 監事 2名
- (5) 顧問 若干名

第 7 条 会長は本学会を代表し、会務を総括する。評議員は会長の諮問に応じる。理事は本学会の事業の運営に当たる。監事は会計を監査する。なお会務逐行のために委員若干名をおくことができる。顧問は重要な会務について諮問に応じる。

第 8 条 (1) 会長は理事の中から、互選によって定める。

- (2) 副会長は、会長が必要と認めたときは評議員の中から指名することができ、その場合は評議員会において定める。
- (3) 評議員は正会員の中から、正会員の投票により 30 名を選任する。この他に会長は、正会員の中から 10 名を限度に、総会の承認を経て指名することができる。
- (4) 理事は評議員の中から互選によって定める。
- (5) 監事は理事会からの推薦を経て、総会において選任する。
- (6) 顧問は理事会の推薦を経て、総会において選任する。

第 9 条 役員の任期は 2 年とする。但し、再任をさまたげない。

第 10 条 本学会の運営に関し、必要な諸項は細則において定める。

第 11 条 本会則の改廃は、総会の決議をうるものとする。

付 則

- (1) 本会則は平成 2 年 5 月より発効する。
- (2) 発足初年度に限り、発起人会において各役員を選任する。

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。

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サイズの用紙を用い、天地・左右のマージンを十分とって、1ページ当たり25字×30行（750字）のフォーマットでワードプロセッサー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ーを用いて書く。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

- ジ。
- (5) 講座・解説: すでに学問的体系が確立された事項について客観的に取りまとめ、専門外の会員にも理解できるよう平易に記述したもの。10ページ以内。
- (6) 抄録・書評: 既に出版されている書籍等の内容を紹介したもの。1ページ以内。
- (7) その他: 編集委員会が必要と認めたもの。
4. 原稿の採否 原稿は編集委員会で審査し、採否を決定する。編集委員会は査読結果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 著者校正は初校のみとし、以後の校正は原則として編集委員会が著者の初校に従って行うが、初校ミスは著者の責任とする。著者校正は誤植によるもののみとし、新たな加除訂正は認めない。
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。

- 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・書評の場合には書名等）、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, 縦野は用いない。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, 卷(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。「土壤の物理性」49: 3-8。

市川正巳(1988): 世界における砂漠化とその研究の現状。「地理学評論」61A: 89-103。

小堀巖(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。「九大農学芸誌」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. J.*, 152: 193-203.

LEAN, J. AND WARRILOW, D. A. (1989): Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature*, 342: 411-413.

ROGNON, P. (1989): *Biographie d'un désert*. Plon, Paris.

TUCKER, C. J., HOLBEN, B. N., ELGIN, J. H. AND McMORTRAY, 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 1991 年 12 月 25 日

印刷: (株)国際文献印刷社

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

CONTENTS

Frontispiece

Yoshihito SHIMADA: Rice Cultivation in the Niger Bend

Original Articles

- Yoshihito SHIMADA: Drought and Human Productive Activities
in Sub-Saharan Zone—Case study in Mali— 1-17
- Yukuo ABE, Tomoharu YAMAGUCHI, Seiji YOKOTA, Yoshiyuki OHTSUKA
and Hiroyuki Ii: The Capture Methods of Salt Accumulated on the
Surface of Soil 19-27
- Akihiko OKADA, Sadayo YABUKI, Cong-Qiang LIU and Zi-Wei HUANG:
Distribution of Salt-Constituting Chemical Species in the Desert
Soils of the Turpan Basin and Junggar Basin, Xinjiang, China 29-37
- Takashi ISHIYAMA, Shigehiko SUGIHARA, Kiyoshi TSUCHIYA, P. J. LIU
and G. F. LU: Variation of Sand Reflectance with Moisture
Content 39-43
- Cong-Qiang LIU, Akihiko OKADA, Sadayo YABUKI, Jing ZHANG and
Akimasa MASUDA: Rare Earth Element Geochemistry of Loess and
Desert Sand in Northern China 45-54
- Takuji KIURA, Ryusuke HATANO and Tomoyuki HAKAMATA: A Personal
Computer System for Construction of a Tank Model for Water
Resource Management 55-63

Review Article

- Hisao WUSHIKI and Takeshi GOTOH: A Short Visit to Libya: Searching
for Academic Co-operations 65-73

Abstracts of Papers Presented at the Annual Meeting, May 1992 75-81

Book Review 82-83