

沙漠研究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

目 次

口 絵

安部征雄: オーストラリアの半乾燥地域における農用地の劣化

展望論文

金鳳鶴・山口達明: 中国カルチン沙漠における塩集積土壤改良技術の現状 1-6

原周作: 乾燥地への淡水供給のための海中送水管と海上人工湖 7-19

原著論文

真木太一・潘伯榮・鮫島良次・杜明遠: 中国新疆の乾燥地トルファンにおける防風林による農作物生育環境の微気象改良 21-32

井伊博行・大塚義之・小川哲夫・安部征雄・山口智治: 3種類の陰イオンをトレーサとして用いた時の砂層とペーパーコア中の蒸発過程での塩分移動現象について(英文) 33-42

安部征雄・鶴井純・山口智治・大塚義之・井伊博行: 塩類補集スティックの蒸発効果とその土壤溶液および溶質の挙動に及ぼす影響(英文) 43-54

南里章二: 非アラブ系土着民族によるサハラ長距離交易活動——ガラマンテスとイバード派ベルベル人 55-69

周建中・大槻恭一・神近牧男: 中国内蒙自治区における牧畜業の変遷 71-84

書評 85-86

オーストラリアの半乾燥地域における農用地の劣化
Agricultural Land Degradation in Australian Semi-arid Regions



写真 1. ユーカリ林の伐採により造成した丘部の小麦畠と蒸散量の減少による地下水位の上昇により塩害が生じた低地部。(西オーストラリア州ワンガンヒルズ, 1992年11月)

Photo 1. A wheat field on a hill created by deforestation and salinization of the lowland caused by the rising of the groundwater table because of a decrease in transpiration. (Western Australia, Wongan Hills, Nov. 1992)



写真 2. 真っ白に集積した結晶塩が一面に広がる荒廃地。(西オーストラリア州タミン, 1994年12月)

Photo 2. Degradated farm land where white accumulated salt stretches as far as the eye can see. (Western Australia, Tammin, Dec. 1994)



写真 3. 地下水位の制御やウォーターロギング対策のための大規模な排水溝の試行。(西オーストラリア州メレディン, 1994年12月)

Photo 3. Test trial of large scale drainage canal for control of groundwater table and countermeasures against waterlogging. (Western Australia, Merredin, Dec. 1994)



写真 4. 小麦収穫後の裸地では、破碎され、乾燥した土が風ですぐに舞い上がり、風食が進行する。（南オーストラリア州ロクストン、1992年11月）

Photo 4. Following the wheat harvest, newly bared ground is progressively eroded by the wind which blows away dry soil. (South Australia, Loxton, Nov. 1992)



写真 5. 放牧地における深く、広範囲に発達したガリー。（南オーストラリア州レンマーク、1991年8月）

Photo 5. Deeply developed wide gully on grazing land. (South Australia, Renmark, Aug. 1991)



写真 6. 等高線に沿って畝を立て、ブッシュの種子を蒔いて侵食防止工としたりハビリテーションの実験的試み。（南オーストラリア州チョウイイラ、1991年8月）

Photo 6. An experimental trial of water erosion protection measures which "rehabilitate" by making ridges along contour lines and then seeding with bush plants. (South Australia, Chowilla, Aug. 1991)

(安部征雄, Yukuo ABE)

中国カルチン沙漠における塩集積土壌改良技術の現状

金 鳳鶴^{*}・山口達明^{*}

1. はじめに

カルチン（科爾沁）沙漠は中国北東部（E118°30'~E123°30' と N42°20'~N44°20'）に位置している。内モンゴル自治区の東部及び吉林省の西部と遼寧省北部の一部を含め、総面積は 43,000km² である。年平均降水量は 340mm、年平均蒸発量は 2,200mm で、乾燥度指数は 1.51 で、温帯半乾燥気候に属する。かつては有名な自然の牧畜地帯であったが、長期間にわたる自然条件の変化及び人為的な破壊などの影響で、塩集積土壌が広がり、地力が低下して、牧畜業・社会経済の発展、住民の生活などに大きな影響を与えていた。

1975 年から中国科学院林業土壤研究所（現、応用生態研究所）は、国家科学委員会・内モンゴル自治区科学委員会・国家林業部などの関連部門と協力して、塩集積土壌の改良利用を目的とした一連の実験研究を行なって来た。とくに、1980 年から実験場を沙漠内に設け、関連専門家で組織された研究チームによる総合的研究を行ない優れた研究結果をあげている。同チームによる多年にわたる実験研究の結果をまとめて以下に紹介する。

2. カルチン沙漠における塩集積土壌の特徴

塩集積土壌とは、作物生育に悪影響を及ぼすほどの可溶性塩類を含有する土壌である。一般に、塩集積土壌は土壌の水飽和溶液の電気伝導度（EC, dS/m）、土壌の交換性ナトリウムの占める割合（アルカリ化度（ESP）、 $ESP = (ex \cdot Na^+ / CEC) \times 100$ ）および土壌の pH から、

塩性土壌（saline soil, EC > 4, ESP < 15, pH < 8.5）、アルカリ土壌（alkali soil, EC < 4, ESP > 15, pH > 8.5）とアルカリ-塩性土壌（saline-alkalisoil, EC > 4, ESP > 15, pH > 8.5）に分類される（日本土壤肥料学会、1991）。

筆者等の測定結果と文献調査によると、カルチン沙漠の塩集積土壌は、低い EC (0.3dS/m) と高い ESP (> 75%) および高い pH (> 9.5) の特徴を持っているため、アルカリ土壌に分類される。

カルチン沙漠の塩集積土壌は以下の特徴を持っている。

1) 低い塩分含有量と高い pH 値

土壌の塩分含有量および組成は地下水の化学組成（表 1）の強い影響を受けている（王 春裕ほか、1984）。カルチン沙漠において、アルカリ土壌の塩分含有量は 0.46% で比較的低い。塩分含有量の低い主な原因是、土壌の土質が主に砂壠や砂質であるため、可溶性塩分を容易に流すからである。

そのため、カルチン沙漠のアルカリ土壌は一般的のアル

表 1. 地下水可溶性塩分分析結果^{*}

採水深度 (cm)	総塩量 (mg/l)	可溶性塩分含有量 (mg/l)					
		Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
80	6.68	0.70	1.29	0.74	2.40	0.05	0.27
84	7.78	1.67	1.44	0.78	3.47	0.21	0.23
88	15.92	5.78	1.37	0.82	7.48	0.20	0.27
94	13.33	2.53	2.65	1.48	5.93	0.15	0.59
平均	10.93	2.67	1.69	0.96	4.82	0.15	0.34

* 孫・王 (1990)

表 2. 土壌の可溶性塩分および交換性塩基 (me/100g土)^{*}

土層深度 (cm)	総塩量 (%)	pH	可溶性塩分量 (me/100g土)						ESP(%)	交換性塩基組成 (me/100g土)					
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		
0-5	0.31	10.45	3.29	0.32	0.60	0.23	0.21	0.19	4.04	71.08	1.14	1.61	8.42	0.67	11.85
5-20	0.39	10.45	4.10	0.22	1.05	0.28	0.71	0.34	4.61	78.33	0.95	0.71	6.63	0.18	8.47
20-38	0.66	10.49	6.19	2.03	0.97	0.37	0.26	0.12	9.18	81.23	1.01	1.10	9.93	0.18	12.22
38-58	0.55	10.59	3.78	1.03	1.52	0.38	1.03	0.35	5.37	84.52	0.99	1.03	12.24	0.22	14.48
58-77	0.37	9.79	0.55	1.50	2.68	0.24	0.78	0.20	3.99	68.68	2.83	1.58	10.11	0.20	14.72
平均値	0.46	10.35	3.58	1.02	1.36	0.30	0.60	0.24	5.44	76.68	1.38	1.21	9.47	0.29	12.35

* 孫・王 (1990)

表 3. 土壌の物理的性質^a.

土層深度 (cm)	含水比 (%)	湿润密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)
0-5	5.67	1.69	35.00
5-20	6.42	1.69	35.00
20-38	8.06	1.88	29.62
38-58	14.01	1.67	35.77
58-77	6.20	1.80	30.77

・孫・王 (1990)

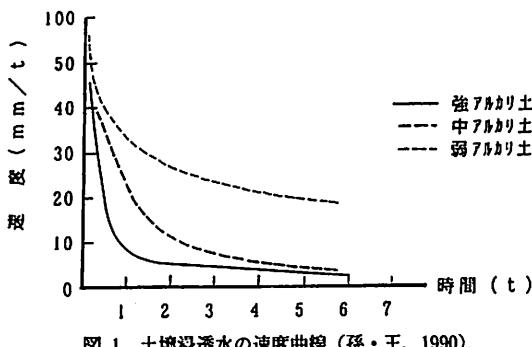


図 1. 土壌浸透水の速度曲線 (孫・王, 1990).

カリ土壌より塩分量が更に低いことが特徴である。土壤塩分の主な組成は Na_2CO_3 と NaHCO_3 で、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ と Na^+ はそれぞれ陰・陽イオンの大部分を占める。 pH は 9.8~10.6 で強いアルカリ性を示す (表 2)。

2) 低い交換性塩基含有量と高い ESP 値

カルチン沙漠のアルカリ土壌は、主に粘性的弱い沙質で有機質含有量が低い (約 1%) ため、交換性塩基の含有量も比較的に低い (平均 12.35 me/100g 土)。主な交換性塩基は Na^+ で (平均 9.47 me/100g 土)、平均 ESP は 76.68% で高いアルカリ化度を示す (表 2)。

低い交換性塩基含有量と高い ESP は、カルチン沙漠のアルカリ土壌の重要な特徴である。

3) 悪い物理的性質

カルチン沙漠においては、アルカリ土壌の湿润密度が高く ($1.69 \sim 1.88 \text{ g/cm}^3$)、間隙率が小さく (29.62~35.0%)、含水比が低い (5.67~14.01%) (表 3) ため、土壤の導水性が悪い (図 1) などの物理的性質を持っている。

土壤の物理的性質が悪くなつた主な原因は、大量の交換性 Na^+ の存在によるもので、土壤の細粒が分散・膨張して土壤の毛細管が塞まれ小さな間隙が増加したため、湿润密度が高く、間隙率が小さくなり、水の土壤中の流動抵抗力が増加して浸透水の流動速度が低下した

からである (万, 1985)。

3. 塩集積土壌の改良利用技術

塩集積土壌の改良利用問題は、古くて新しい課題である。とくにアルカリ土壌は塩性土壌より難改良土壌であつて、種々の改良利用技術が検討されている。

アルカリ土壌の改良利用技術にはそれぞれ特徴があり適用範囲が異なる。水利工事法および化学改良法は一定の技術手段と資金の投入が必要である。農業生物法は、農業利用しながら改良することで、資金の投入は少ないが長期間を要する。そのうち稲栽培法は、水源の充分な地域で広く利用されている方法である (陳, 1984; 俞, 1984)。

カルチン沙漠においては、上記の諸改良実験を行なつて良い結果を得ている。以下それぞれを順次説明する。

1) 洪水灌溉法による改良技術

洪水灌溉法は中国で 2,000 年の歴史を持っている水利工事法による土壌改良法の一つである。この方法は、洪水の時に田畠を灌漑し、砂や泥の堆積によって土壌を改良する方法で、大面积の土壌改良に広く利用されている。

洪水灌溉法はアルカリ土壌の改良に良い効果があることは言うまでもないが、土壌の二次的塩集積化を招く恐れがあるため、排水・灌漑施設の完備した適当な灌漑を行なうことが前提となっている。

カルチン沙漠において短期間 (2 年間) にわたる実験の結果、アルカリ性が低減され、交換性塩基が増加し、土壌の物理的性質が改善され、土壌栄養分が増加するなどの良い効果を得た。

(1) 土壌塩分・pH および交換性塩基の変化

灌漑前の土壌表層 (0~15cm) の塩分含有量は 0.2~0.3% で、主な組成は Na_2CO_3 と NaHCO_3 、pH は 9.1~10.1 で、強いアルカリ性を示す。灌漑後土壌表層の Na_2CO_3 と NaHCO_3 は大幅に下がり、塩分含有量は 0.09% まで、pH は 8.5~9.6 まで下がった。土壌全断面の変化からも改良効果が見られる (表 4)。

土壌の交換性塩基の変化も著しい。灌漑前・後の表層 (0~15cm) の Na^+ は 7.98 me/100g 土から 1.43 me/100g 土まで下がり、 Ca^{++} は 7.73 me/100g 土から 14.72 me/100g 土まで上がった。ESP は 42.49% から 7.68% まで下がった (表 4)。

(2) 土壌物理的性質の変化

灌漑前の土壌表層 (0~15cm) の土壌機械組成は主に砂性粒子 ($>0.01 \text{ mm}$) で、粘性粒子 ($<0.01 \text{ mm}$) は 10.4% しかなかったが、灌漑後、粘性粒子は 69.4~90.4%

表 4. 洪水灌漑による土壤の可溶性塩分及び交換性塩基の変化^a

処理	土層深度 (cm)	含塩量 (%)	pH	可溶性塩分(me/100g土)						ESP (%)	交換性塩基組成(me/100g土)					
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		
灌漑前	0-3	0.208	9.1	0.05	0.75	0.22	1.92	0.24	0.15	2.53	30.67	9.80	1.82	5.74	1.36	18.72
	3-15	0.333	10.1	0.84	2.24	0.97	0.65	0.20	0.09	4.41	51.86	5.66	2.03	10.22	0.92	18.83
	0-15平均	—	9.6	0.44	1.50	0.60	1.28	0.22	0.12	3.47	42.49	7.73	1.92	7.98	1.14	18.78
	15-65	0.145	10.1	0.28	1.23	0.20	0.27	0.11	0.15	1.71	37.02	1.72	2.23	2.61	0.40	6.96
	65-83	0.083	10.0	0.14	0.65	0.10	0.27	0.11	0.11	0.94	25.85	1.72	1.82	1.30	0.21	5.05
	平均値	—	9.8	0.32	1.22	0.38	0.78	0.16	0.12	2.40	40.11	4.72	1.98	4.97	0.72	12.39
灌漑後	0-3	0.085	8.5	-	0.75	0.09	0.32	0.53	0.24	0.39	4.01	24.96	3.12	1.21	0.86	30.15
	3-15	0.090	9.6	0.40	0.78	0.09	痕跡	0.11	0.08	1.09	23.37	4.47	0.73	1.65	0.21	7.06
	0-15平均	—	9.0	0.20	0.76	0.09	0.16	0.32	0.16	0.74	7.68	14.72	1.92	1.43	0.54	18.61
	15-65	0.226	10.2	1.21	1.88	0.12	痕跡	0.26	0.08	2.87	46.84	2.39	0.52	2.67	0.12	5.70
	65-83	0.060	9.6	0.12	0.61	0.06	0.05	0.26	0.16	0.41	12.30	3.12	1.77	0.70	0.10	5.69
	平均値	—	9.4	0.46	1.00	0.09	0.09	0.29	0.14	1.19	12.84	8.73	1.54	1.56	0.32	12.15

^a 王汝樹ほか (1990)表 5. 洪水灌漑による土壤の物理的性質の変化^a

堆積厚さ (cm)	土層深度 (cm)	含水比 (%)	湿润密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)	粘性粒子 (<0.01mm, %)
灌漑前	0-15	11.8	1.60	26.00	10.40
	15-30	17.2	1.77	31.92	19.40
10	0-15	39.6	1.33	48.85	69.40
	15-30	18.7	1.85	28.85	12.40
17	0-15	40.7	1.22	53.08	82.80
	15-30	16.4	1.74	33.08	19.40
33	0-15	38.7	1.35	48.08	90.40
	15-30	41.5	1.34	48.46	12.40

^a 王汝樹ほか (1990)

まで上がった。土壤粒子の変化によって土壤の湿润密度は 1.6g/cm³ から 1.22~1.35g/cm³ まで下がり、間隙率は 26% から 48.08~53.08% まで上がり、含水比は 11.8% から 38.7~40.7% まで上がった (表 5)。

(3) 土壤栄養分の変化

洪水中に一定量の栄養分が含有されているため、灌漑後土壤の栄養分も高くなった。灌漑前・後の腐植酸含有量は 0.28~0.41% から 2.29~3.52% まで増加し、T-N は 0.032~0.045% から 0.180~0.267% まで増加、T-P は 0.019~0.021% から 0.099~0.119% まで増加した (表 6)。

2) 化学改良剤の混入による改良技術

アルカリ土壌においては、Na⁺ が Ca⁺⁺・Mg⁺⁺ と交換して徐々に堆積すると交換性 Na⁺ の水解によって土壤の物理・化学的性質が悪化する。また、灌漑水・地下水や肥料から補充された Ca⁺⁺ は、CO₃²⁻ と HCO₃⁻ によって CaCO₃ として沈殿し、カルシウム不足となり、植物の生長に大きな影響を与える。さらに、土壤の有機質含

表 6. 洪水灌漑による土壤の有機質・栄養分の変化^a

堆積厚さ (cm)	土層深度 (cm)	腐植質 (%)	T-N (%)	T-P (%)
灌漑前	0-10	0.28	0.032	0.019
	10-20	0.41	0.045	0.021
20	0-10	3.52	0.267	0.119
	10-20	2.29	0.180	0.099

^a 王汝樹ほか (1990)

有量・有効性窒素含有量は pH の増加によって減少する。ESP は土壤中の窒素の硝化・アンモニア化作用に大きな影響を与える (劉, 1978)。

このようなアルカリ土壌に石膏 (CaSO₄)・硫安 ((NH₄)₂SO₄) などの化学改良剤を混入することによって、アルカリ土壌の物理・化学的性質を改善し、植物生長に必要なカルシウム・窒素を供給することができる。

カルチン沙漠での実験で、石膏の混入量は 750~3,000 kg/ha、硫安の混入量は 225kg/ha である。栽培植物は牧草である。1982年~1984年の短期間の実験結果、土壤の塩分量・交換性塩基・土壤物理性質などが改善され、牧草の生産高も大幅に高められた。

(1) 土壌塩分および pH の変化

改良前・後の土壤全断面の塩分含有量は 0.10% であまり変わらなかったが、pH は 9.5 から 9.2 まで下がり、CO₃²⁻ は 0.89me/100g 土から 0.29me/100g 土まで下がった (表 7)。

(2) 交換性塩基の変化

土壤全断面の陽イオン交換容量は改良前の 6.45me/100g 土から 8.49me/100g 土まで上がり、交換性Na⁺ は改良前の 2.34me/100g 土から 0.29me/100g 土まで下がり、Ca⁺⁺ は 1.79me/100g 土から 3.06me/100g 土まで上がった (表 7)。

表 7. 化学改良剤による土壤の可溶性塩分および交換性塩基の変化^a.

処理	土層深度 (cm)	含塩量 (%)	pH	可溶性塩分 (me/100g土)						ESP (%)	交換性塩基組成 (me/100g土)					
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	総塩量	
混入前	0-5	0.05	9.0	-	0.1	0.12	0.14	0.26	0.18	0.05	7.20	3.53	1.51	0.43	0.50	5.97
	5-26	0.17	10.4	0.93	1.31	0.20	0.08	0.15	0.16	0.17	50.14	1.51	1.71	3.39	1.15	7.76
	26-55	0.14	10.3	0.85	1.01	0.12	0.07	0.15	0.08	0.14	54.44	1.51	2.82	4.78	0.17	9.28
	55-100	0.03	8.6	-	0.19	0.16	0.08	0.02	0.02	0.03	27.95	0.60	1.41	0.78	-	2.79
混入後	平均値	0.10	9.6	0.89	0.65	0.15	0.09	0.14	0.11	0.10	36.30	1.79	1.86	2.34	0.45	6.45
	0-5	0.05	9.1	0.03	0.49	0.06	0.10	0.31	0.21	0.05	5.80	7.28	1.04	0.54	0.44	9.30
	5-26	0.12	9.9	0.30	1.06	0.06	0.23	0.18	0.07	0.12	17.58	2.08	1.85	0.35	10.52	17.58
	26-55	0.22	10.1	0.80	1.61	0.09	0.55	0.18	0.07	0.22	31.11	2.08	3.04	0.18	9.86	31.11
	55-100	0.01	7.9	0.03	1.14	0.09	痕跡	0.05	0.05	0.01	25.40	0.83	1.09	0.19	4.29	25.40
混入後	平均値	0.10	9.2	0.29	1.08	0.08	0.29	0.18	0.10	0.10	19.20	3.06	1.63	0.29	8.49	19.20

^a 王 春裕ほか (1990a)表 8. 化学改良剤 (石膏・硫安) による土壤の物理的性質の変化^a.

処理	土層深度 (cm)	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)
混入前	0-15	10.37	1.73	34.0
	15-30	9.38	1.76	33.0
	平均	9.87	1.74	33.0
混入後	0-15	12.18	1.55	41.0
	15-30	18.20	1.69	35.0
	平均	10.34	1.62	38.0

^a 王春裕ほか (1990)

(3) 土壌物理的性質の変化

改良前の土壤の湿潤密度は 1.74g/cm³、間隙率は 33%、含水比 9.87% であったが、改良後の土壤の湿潤密度は 1.62g/cm³ まで下がり、間隙率は 38%、含水比は 10.34% まで上がった (表 8)。

上記の土壤改良効果で牧草の生産高も大幅に高まった。

石膏の添加による生産高は改良前の 6,450kg/ha から 24,975kg/ha まで約 3 倍増加し、硫安を添加した場合の生産高は改良前の 3,000kg/ha から 15,405kg/ha まで約 4 倍増加した。

3) 稲栽培と有機質の混入による改良技術

水利的な改良法によって、土壤塩分の低下・地下水位の調整などができる。しかし、単純な水利方法では土壤の物理化学的性質を改善する最終目的に達成することは困難である。そこで考えられた方法の一つは、有機肥料を混入して稲を栽培し、農業利用しながらアルカリ土壤を改良する方法である (鐵・謝、1985; 新疆巴州試験場土壤組、1979)。

稲栽培によって土壤が長期間 (約 4 カ月/年) に大量の水に浸透されるため、一定の深さ (有効深度は 0.5m) まで塩洗いができる、脱塩と ESP 低下の目的を達成することができる (薛ほか、1988)。

カルチン沙漠の稲栽培実験は、1955年から1978年まで

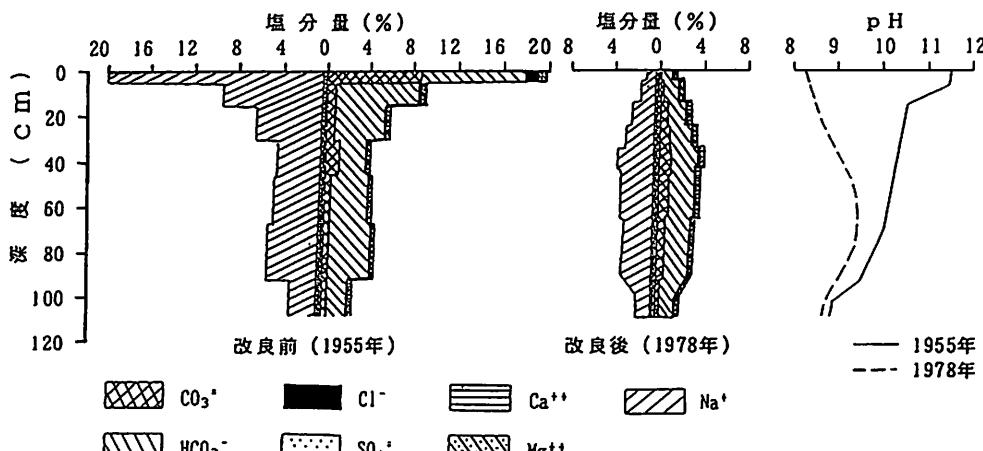


図 2. 長期間稲栽培と有機質混入による土壤塩分変化 (王 春裕・王 汝樞, 1990b).

表9. 稲栽培前・後の土壤の交換性塩基の変化^a.

処理	土層深度 (cm)	交換性塩基組成 (me/100g土)				ESP (%)
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	
栽培前	0~5	0.20	1.01	20.86	0.56	92.15
	5~15	0.20	1.21	24.07	0.35	93.08
	0~15平均	0.20	1.11	22.46	0.46	92.70
	15~30	0.20	1.61	20.86	0.32	90.70
	30~45	0.20	1.01	16.73	0.28	91.80
	45~65	0.20	3.03	17.82	0.35	83.24
	65~90	0.60	4.34	16.30	0.32	75.59
	平均値	0.27	2.04	19.44	0.36	87.92
	0~5	7.80	9.06	1.73	1.15	8.80
	5~15	4.09	10.33	3.90	1.05	20.12
栽培後	0~15平均	5.94	9.70	2.82	1.10	14.42
	15~30	4.09	10.33	8.04	0.99	34.27
	30~45	1.75	8.87	11.44	0.80	49.80
	45~65	1.56	9.45	18.04	0.70	60.61
	65~90	4.02	9.84	9.34	0.32	39.71
平均値		3.88	9.65	8.75	0.84	37.85

^a 王 春裕ほか (1990b)

23年にわたって行なった。混入した有機肥料は家畜(豚・牛)糞尿で、2年ごとに1回混入し、毎回の混入量は15,000~22,500kg/haである。

(1) 土壌塩分およびpHの変化

土壌表層(0~30cm)の塩分含有量は改良前の0.70%から改良後の0.18%まで下がった。とくに表層0~5cmの塩分含有量は1.34%から0.10%まで大幅に低下した。

改良前の塩分の組成は主にCO₃²⁻とHCO₃⁻で、その含有量は8.76me/100g土であったが、改良後は2.16me/100g土までに下がった。Na⁺は9.15me/100g土から2.18me/100g土までに下がり、Ca⁺⁺+Mg⁺⁺は1.11me/100g土から1.15me/100g土まで上がった。pHは10.5から8.8まで低下した(図2)。

(2) 交換性塩基の変化

土壌表層(0~15cm)の交換性Na⁺の含有量は22.46me/100g土から2.82me/100g土まで下がり、交換性Ca⁺⁺とMg⁺⁺の含有量はそれぞれ0.20, 1.11me/100g土から5.94, 9.70me/100g土まで上がった。ESPは92.70%から14.42%まで大幅に下がった(表9)。

(3) 土壌の物理的性質の変化

長期間にわたる改良利用によって土壌の团粒構造が改善され、湿润密度・間隙率・含水比等も一定な変化があった。0~15cmの土壌の湿润密度は1.54g/cm³から1.39g/cm³まで下がり、間隙率は40.6%から46.5%まで上がった。含水比も17.44%から20.1%まで上がった(表10)。

4) 牧草人工栽培による改良技術

カルチン沙漠においてアルカリ土壌改良の利用の主な

表10. 稲栽培による土壌の物理的性質の変化^a.

処理	土層深度 (cm)	含水比 (%)	湿润密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)
栽培前	0~15	17.44	1.54	40.60
	15~30	17.22	1.52	41.40
栽培後	0~15	20.10	1.39	46.50
	15~30	16.92	1.51	42.00

^a 王 春裕ほか (1990b)表11. 牧草人工栽培による土壌改良の効果^a.

処理	総塩量 (%)	pH	ESP (%)	牧草生産 (kg/ha)
栽培前	0.11	10.2	30.04	1,050
栽培後	0.08	8.9	22.30	3,450

^a 王 春裕ほか (1990c)

目的は、牧場の回復による牧畜業の発展である。そこで、現有牧場の回復のための優良牧草の栽培による土壌改良法が1990年頃より試みられた。

この方法については、まだ多くのデータが集められていないが、実験の結果、土壌の塩分含有量は改良前の0.11%から0.08%まで、pHは10.2から8.9まで下がり、ESPは30.04%から22.30%まで下がった。牧草の生産高も1,050kg/haから3,450kg/haまで約2倍増加した(表11)と報告されている。今後当地域においては有望な技術と考えられ、一層発展するものと思われる。

4. まとめ

中国カルチン沙漠における塩集積土壌改良利用実験研究の結果から、以下のことが明らかとなった。

1) カルチン沙漠の塩集積土壌は、その特徴によってアルカリ土壌に分類され、低い塩分含有量(0.46%)と高いpH値(>9.5)、低い交換性塩基含有量(12.35me/100g土)と高いESP(>75%)および悪い物理的性質などの特徴を持っている。

2) カルチン沙漠のアルカリ土壌の特徴に対して、長期間にわたる様々な改良利用実験が行なわれた。主な方法は、水利工事法(洪水灌漑)、化学改良法(石膏・硫安の混入)、農業生物法(稻栽培法)などである。これらの改良技術の利用は、土壌塩分量の低下、陽イオン交換量の増加、pH・ESPの低減および物理的性質の改善などの良い効果が得られた。

以上の改良技術以外に新しい改良方法が試みられているが、その一例としては、保水性・肥効性が強く、天然腐植酸を多く含む草炭・風化煤・褐炭などの未利用資源を土壌改良剤として活用する改良方法である。この研究

については順次報告していく予定である。

引用文献

- 日本土壤肥料学会編 (1991):『塩集積土壤と農業』博友社。
- 孫 奕龍・王 春裕 (1990):カルチン沙地のアルカリ土壌のアルカリ性特徴及び分級。「内モンゴル東部風沙乾燥総合管理研究」2: 270-284.
- 万 洪富 (1985):アルカリ土壌中の交換性ナトリウム及び有害影響。「土壤学進展」1985-6: 10-17.
- 王 春裕・王 汝楠・張 素君・張 岬嵐・田 鶴傑ほか (1984):鳥蘭敖都地域における土壤類型および形成過程。「内モンゴル東部風沙乾燥総合管理研究」1: 45-59.
- 陳 恩鳳 (1977):アルカリ土壌改良の実践と認識。「土壤」1977-4: 181-186.
- 俞 仁培 (1984):土壤のアルカリ化および防止。「土壤」1984-5: 163-170.
- 王 汝楠・王 春裕・張 素君・張 岌嵐・田 鶴傑 (1990):白音他拉草原での洪水灌漑による強アルカリ性牧場の改良実験。「内モンゴル東部風沙乾燥総合管理研究」2: 144-156.
- 劉 寄陵 (1978):土壤の塩分と作物生長。「土壤」1978-4: 147-153.
- 王 春裕・王 汝楠・張 素君・張 岌嵐・田 鶴傑 (1990a):鳥蘭敖都地域におけるソーダアルカリ化牧草の改良。「内モンゴル東部風沙乾燥総合管理研究」2: 193-205.
- 戚 慧峻・謝 承陶 (1985):有機質のアルカリ土の改良機構。「土壤肥料」1985-5: 19-21.
- 新疆巴州試験場土壤組 (1979):稻栽培によるアルカリ土壌の改良効果。「土壤」1979-1: 28-30.
- 薛 駒雲・尹 希第・罗 時鈴 (1988):アルカリ土壌の稻栽培による土壤塩分の変化。「土壤肥料」1988-3: 21-26.
- 王 春裕・王 汝楠・張 素君・張 岌嵐・田 鶴傑 (1990b):稻栽培と有機質のソーダ塩土の性質に与える影響(畑実験)。「内モンゴル東部風沙乾燥総合管理研究」2: 163-176.
- 王 春裕・王 汝楠・張 素君・張 岌嵐・田 鶴傑 (1990c):カルチン沙地の牧場のソーダアルカリ土壌及び改良。「内モンゴル東部風沙乾燥総合管理研究」2: 263-269.
- (引用文献は本文での引用順に並べた)

The Present Situation of the Technical Amelioration of Saline Soil in Keerqin Desert, China

Fenghe JIN* and Tatsuaki YAMAGUCHI*

The Keerqin desert is located in the western part of North East China. This area has a semi-arid climate and wide distributions of alkaline soils of different extents. In order to ameliorate the alkaline soils, such practical treatment as floodwater treatment, rice planting and organic fertilizer application etc., were tried in this area from 1975.

Owing to these amelioration treatments, the contents of water-soluble salts, especially exchangeable sodium in the soils, were remarkably decreased accompanying by pH value depression. Moreover, their physical properties were also improved. As the results, the products of agricultural crops were obtained more than 3-4 times than that of the untreated soil.

Key Words: Saline, Alkaline soils, Amelioration, Keerqin desert.

* Department of Industrial Chemistry, Chiba Institute of Technology (Received July 10, 1995; Accepted September 19, 1995)

乾燥地への淡水供給のための海中送水管と海上人工湖

原 周 作*

1. はじめに

我々人類は、テレビやビデオなどのハイテク技術と世界中に展開するレポーターの貢献によって、遠隔地であってもそのままの姿を居ながらにして見ることができるようになり、また宇宙船や人工衛星によって地球を一つの惑星として離れた空間からその全容を観察することができるようになった（篠田、1993；竹内、1994；「濃い緑におおわれた緑のオアシス」Newton, 13-3 (1994): 14）。

そしてそれらの画像は、そこが低緯度にあって太陽光線と温度が十分にあるにもかかわらず、著しく植生を欠く広大な沙漠が分布していることも今更ながら現実として眺めることができて、感慨を新たにせずにはいられない。

しかしこれらの地帯の沙漠化の進行をくい止めて植生の回復を計り、更には沙漠そのものを緑化しようとする試みには、如何なる方法にせよ大量の淡水の供給が必要であることを痛感する。

そしてこれら高温乾燥地帯の灌漑農業にほとんど常に付随して発生しながら確実に拡大し、やがては絶望的な様相を呈するに至る塩類集積の問題に対しては排水システムの併用が最善と言われるが、その土中塩類を溶解して流し去るためにも、十分な淡水の供給は欠かすことはできない。小島（1991）はこのことについて、沙漠化防止に必要なのは水の確保であると明言している。

現在の工業技術では、イオン交換法、膜分離法、加温蒸発や冷凍法など、各種のハイテク技術が開発されて海水から真水を直接取り出すことができるようになった（石橋ほか、1983）が、その装置や稼働するためのエネルギーなどのコスト高のために、飲用を中心とする人間社会の必要最低生活の基礎をかろうじて支える量しか賄うことができないのが現状である。

大地を広範囲に潤し、森林や牧野を育て、農業を大規模に展開するためには、海水淡水化装置による真水の生産量はコスト高のためあまりにも少なすぎる。

通常自然界で淡水が供給されるのは河川からであり、陸水としての重要な役割を果たしている。河川の形成には水源を含めて陸の地形やその地域の気候が大きく影響

するが、それは今でも自然任せであり、また季節変化により乾期と雨期に分かれたりするためその水量については時期的に不安定さがつきまと。

しかしここで、海洋が持つ広大なスペースと、液体としての海水が有する均一性、水平性、浮力を与える性質などをうまく利用すると、海水で満ちた海洋に淡水を流して給水することができる人工の大運河を作ることが可能であるばかりか、広い海面には巨大な淡水の貯留湖を設けることができる。これにより、沙漠地帯と沙漠化が著しい早さで進行する地域への淡水の大量供給をする途が開けることになる。

そしてこれらのシステムを構築するために必要な工業力や技術水準については、今や我々人類は実現可能な水準にまで達していると考えられる。遠藤（1991）は、現在の工学が貢献し得る可能性について、広範囲にわたって紹介を試みている。

2. 陸上送水に対する海中送水の特徴

陸地での水の輸送は、自然に流下する河川を除くと、人工的には開渠と言われる導水路法式と、管によるパイプライン法式とが挙げられる。

開渠の場合は土地を掘削して水路を作るが、底も側壁も鉄筋コンクリートで一体成型した大型のU字溝状の水路とすることが普通である。

このような開渠水路において流れを利用して送水する場合には、何よりも水源（取水場所）と水需要地間に一定の落差があって、全長にわたって高度を漸減できる水勾配が取れるような流れのルートを地形の中に設定確保しなければならない。そのため地形によっては大変な迂回を余儀なくされることもある。谷があれば水道橋やサイフォンを、山があればトンネルを作らねばならず、地形やコストの関係で時には実現不可能となる場面も生ずる。

また、開渠の中で通常運河と言われるのは平坦地の開水路であり、その水は沿岸農地への灌漑にも用いられる。しかし運河の今一つの大きな効用は、荷を満載した舟の通路として利用されることである。

一方、管による送水方法は、鉄筋コンクリート管によ

* 技術士（施設園芸コンサルタント）〒590-01 大阪府堺市三原台4丁2-7

（受付：1995年8月10日、受理：1995年10月23日）

る場合と、金属管やプラスチック管による場合がある。

プラスチック管は硬質塩化ビニールやポリエチレンが用いられ、すぐれた耐食性を生かしてかなり大口径のものも用いられるようになり、錆の問題で苦労した一昔前の鉄管に代わることとなった。

しかし地域から地域への長距離の水道や排水の大幹線などでは、内外から受ける水圧や土圧に耐え、錆による表面からの腐食が起らぬいため、鉄筋入りコンクリート管が用いられる。その代表格は、遠心成形によって作られるヒューム管であり、またコンクリートで円弧状に成形されたセグメントを円形トンネルとして組み立てながら掘進するシールド工法などがある。いずれもこれら巨大なコンクリート管使用の場合は、膨大な土量の掘削作業から開始し、水漏れを防ぐ高度で大規模な工事が要求される。そしてまた、現場への大重量で大容量の管体の輸送費と共に相当な費用と工事年数を要する。

ここに述べる海中送水管に関しては、それに対比すべき事例として、海峡や海湾を横断して敷設されている海底パイプラインについても述べておく必要がある。

高田（1983）によると、今まで海底パイプラインは主に炭素鋼管が用いられていて、船の航行や走投錨に支障がないように、ほとんどの場合は海底を掘削して埋設されている。しかし海水（特に塩素イオン）によって鋼管が受ける腐食への耐久性、施工時や加圧される流体に対する強度の関係から肉厚13mm以上の鋼管とし、外面には耐食性を向上させるためのライニングとして厚さ30～60mmのコンクリートコーティングがほどこされるため、重量的にとても重いものとなる。通常鋼管直径は既往のものとしては口径40～60cm程度が海底パイプラインの標準的な上限とされているようである。

ちなみに、高田（1983）によると、地中海ではモロッコ-シシリ-島-イタリア本土への天然ガスパイプラインの管径は20インチ（50cm）のものの3本であり、千葉県袖ヶ浦-東京荒川河口第14号埋立地を結ぶ我が国最長（25km）の東京湾横断海底パイプラインは、鋼管直径60cmでコーティング厚62cmのものが使用されているといふことである。すなわち本格的な海底パイプラインはかなりの費用高となることから、淡水のような安価でなければならない物を大量に運ぶには不向きと言うことになり、その技術や資材をそのまま援用するわけには行かないものである。

ここに述べる海中送水管とは、世界中に開けた均等水位の海面を基準として、給水源となる河口と淡水が利用される沙漠近くの海面に設けられる貯水池とを、海中の一定深度の中層に設けた超大口径の送水管によってつなぐものである。

この管は発泡体で包囲された浮力を有する構造のため、どんなに大口径となっても海中ではほとんど無重量に近い状態で支えられる。また海水中では送水管が深くなったり浅くなったり、或いは上下左右に屈曲しても、内外の水圧差はどこでもほとんど同じとなるので、管としてはそれ自体の形状を保ちながら、わずかの内水圧に耐えることさえできれば（後述）、どんな肉薄管としても可能である。このことにより、材料単価としては普通の炭素鋼より割高となるが、海水に対する耐食性のすぐれたステンレス鋼を管材として用いても、十分に送水採算に合う低コストで製造して実用することができる。

3. 海中送水管の工作と定位置への運搬

海中送水管は、海水によって腐食されにくいステンレスの肉薄鋼板を準備することから始まるが、海水に対する耐食性ステンレス鋼の開発こそがこの計画を夢から現実へと推進させることを可能とする。

現在我々の身の周りには多種多様のステンレス製品が満ちてそれぞれに役目を果たしているが、大山ほか（1990）によると本格的に実用品として使用されるようになった歴史はたかだか80年ほどでしかないと言われ、普通の生活環境内では、低炭素鋼にクロム（Cr）やニッケル（Ni）の加用によって普通の錆の発生をほとんど抑えることができて沢山の日用品に進出するようになった。しかしこのようなステンレスにおいても、海水のような塩素イオンの存在には発錆について未解決の問題が残っていた。ところがごく最近になって、上記の配合に更にモリブデン（Mo）や窒素（N）を微量に加えることによって海水に対して著しく耐食性を向上させることができる、オーステナイト・フェライト系と称する2層組織のSUS 3219 JIや、SUS 329 J 2 Lなどのすばらしいステンレスが開発されたと言う。これらは普通の炭素鋼よりも高価のようであるが、ここで述べるような海中送水管としてなら十分に活用が期待される。

図1は、このようなステンレス薄鋼板を筒状に丸めて溶接し、開口側の縁につけ加工などして大口径の管体を作り、その外周を管に浮力を与えるための硬質プラスチックの発泡体で覆い、この発泡体を保護するために更にその外周を極薄ステンレス鋼板で被覆して単体管を完成させる工程を示す。

浮力のための発泡プラスチックの量は、管を海面へ放出した際に管の一部がほんのわずか海面上へ露出する程度に調節されたものとする。

このような構造の海中送水管を作る鋼材は、図2のように加工工場の設備をもつ大型の工作輸送船により、生

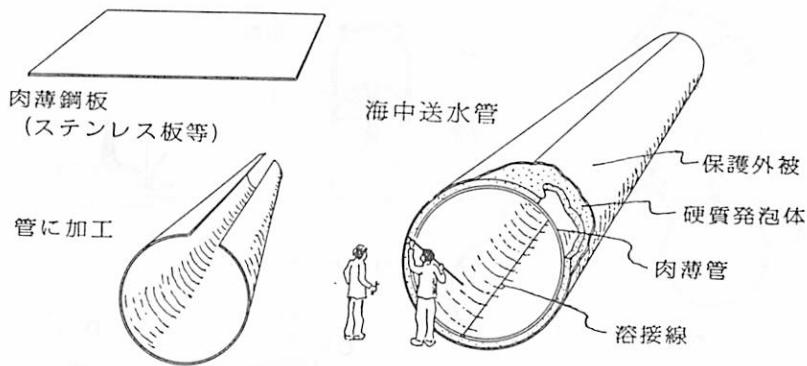


図 1. 海中送水管の製造と構造.

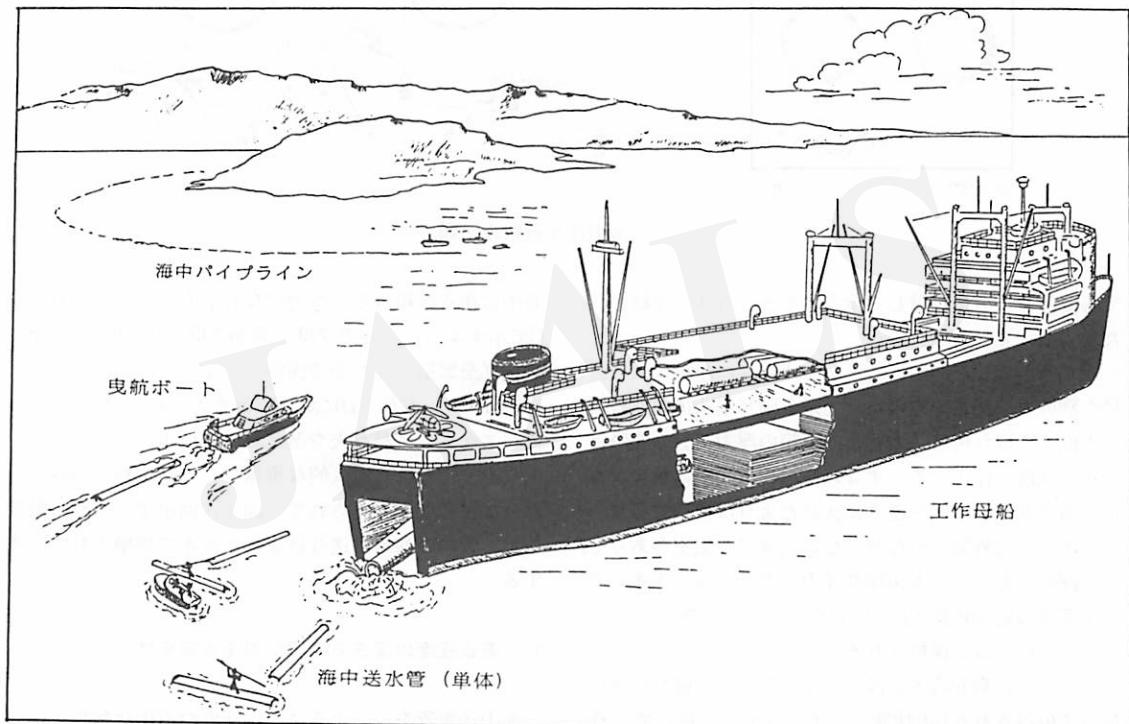


図 2. 現地派遣した送水管敷設母船.

産国の港から板状またはコイル状のまま船内に積み重ね、発泡プラスチックも同様に原体と発泡液として別々の貯溜タンクなどに原材料として収納して、現地沿海に運びこむ。そこで船内の加工ラインを経由して次々と製造された海中送水管は、ジョイントなどを付加してから海上へと送り出される。

これら管が多数放出された海上では、管体はその一部をわずかに海面に突出して浮遊するので、これにワイヤーロープを掛けて小形モーターボートなどで敷設現場へと曳航し、海洋測量であらかじめ計画された敷設予定の海

面で次々と連結させて、まず海面上の定位位置に仮設のパイプラインを構築する。

4. 海中パイプラインの敷設

図3は、それ以後に管を定位位置の一定深度の海中に送水管として敷設する作業工程を示したものである。

まず海面上に連結して浮き並べたAの状態の各管に、バケットを両方に振り分け状に取り付けたワイヤーロープを覆い掛け、このバケットの中へ石や岩片を重りとし

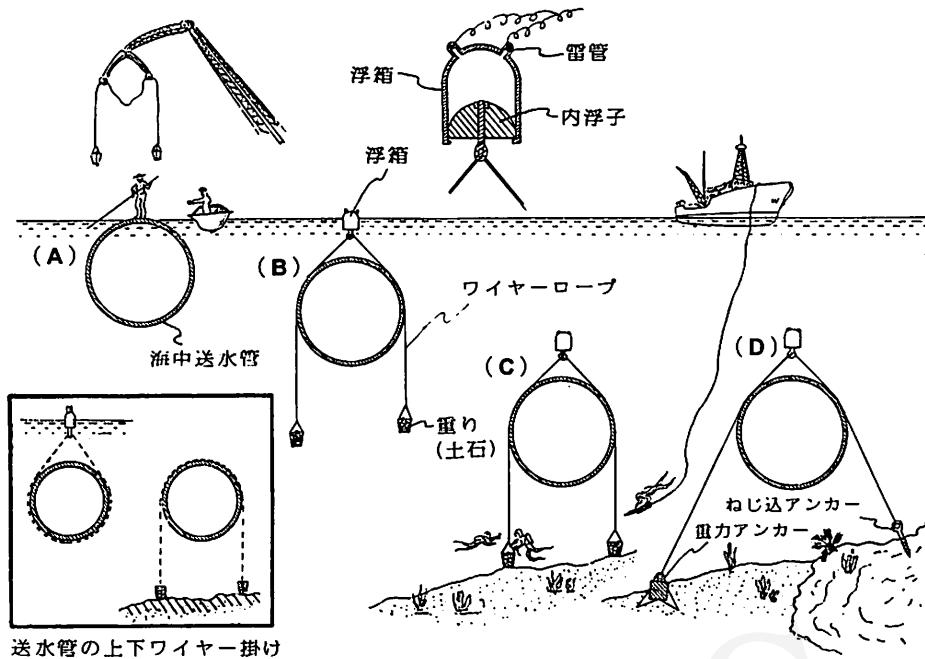


図 3. 海中送水管敷設手順.

て必要量を正確に計量して投入すると、管体は連結されたままゆっくりと沈む。

ところがこの作業前にあらかじめ両端に浮箱に取り付けた別のロープ系を先のロープ系と同じ場所に今度は管の下面より取り付けておくと、浮箱の浮力で管の沈降は一定の深度で停止する。すなわち浮箱は図中に示すように、海面にカップを逆さまに伏せたような構造であり、その内部には外気とつながらない大きな空気室があって、その浮箱における最大可能な浮力の働きで海面下すぐの一定深度の海中にBのように管を吊るした状態で、パイプラインの全長が保持される。

このように海面直下の浅い一定の深度の正確な位置に揃って仮設されたBの状態のパイプラインに対して、作業船上より各浮箱の雷管に同時に通電し、一斉に爆破して角状突起の先端を吹き飛ばすと、空気室は外界の大気に通じることとなりその分の浮力が無くなる。すると大口径の長大なパイプラインは全長にわたって変形することなく均等にゆっくり海底へ向かって沈降する。その場合、重りを付けたワイヤーロープはあらかじめ海底測量に基づいた海底地形の起伏に合わせて長さを調節してるので、すべての重りがほぼ同時に海底に着地することとなり、海中送水管は海面下のやや深い一定の深度の定位置に一直線状に敷設される。

浮箱の内浮子（ピストン状部）は強固ではあるが、それ自体も浮力を有する材質のもので作られているため、

海中に在る浮箱はその浮力でなお上方へと立ち上がり、Cで示すように一定の深度の海中で重りとの間にワイヤーロープを緊張させた姿で係留される。

最後には、CからDにかけて示すように、重りの入ったバスケットは潜水夫や潜航艇などによってコンクリートなどで作られた恒久的な重量アンカーやねじ込みアンカーなどに取り替えられて、図4に例示するように敷設され、管内の海水は送り込まれる淡水で置換されて完成する。

5. ある程度の深さでの波に対する安全性

海中送水管をこのように一定深度の海中に敷設するには、海面を航行する船舶に交通障害を招かず、また海底地形の起伏に無関係に一定水深を直線状に大口径管を敷設させるために必要であるが、何と言っても波浪による管の動搖がもたらす肉薄大口径管の破損を防止する意義が大きい。

淵ほか（1976：3-4）によると、波による海水の動搖は図5に示すように水の分子の動きとして見ることができる。すなわち各分子はそれぞれ円運動として動き、波は前進しても水そのものは同一場所に止まっている。そして水深が増すにつれてその描く円の大きさは小さく漸減し、少し水深が増すと問題とならない程に減衰する。

海中送水管の敷設深度は、この現象を踏まえてそれぞ

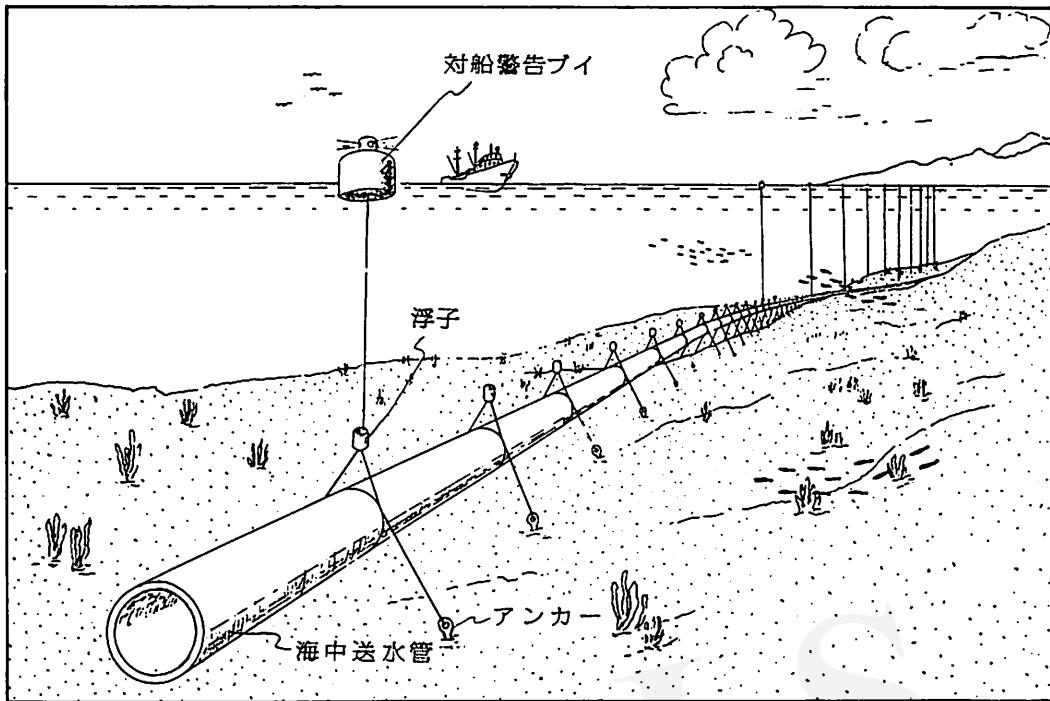
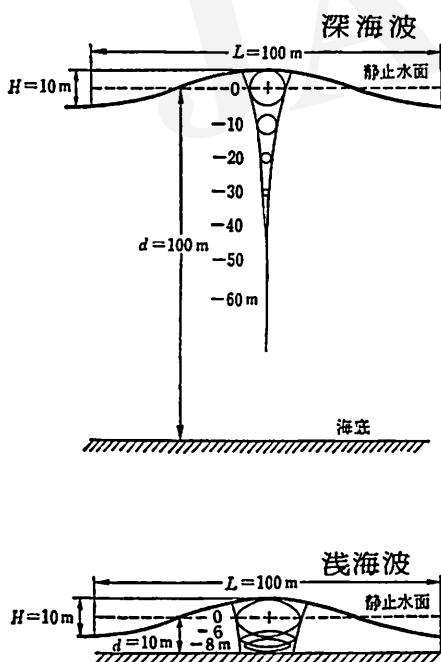


図 4. 海中送水管の敷設状況.

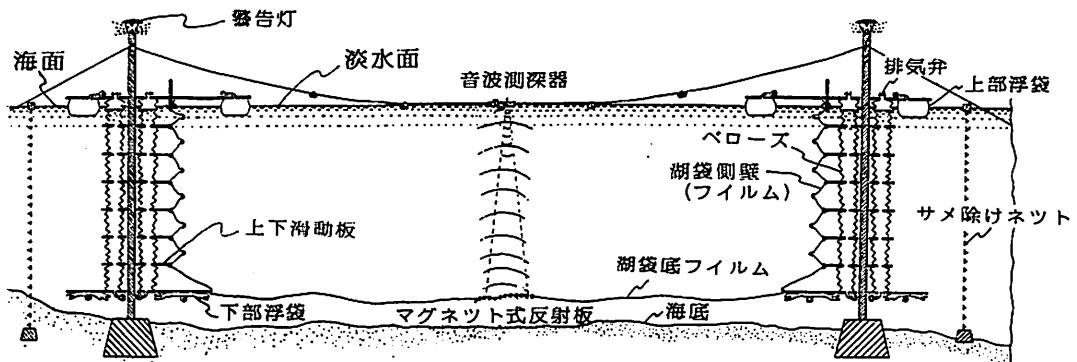
図 5. 水深による水粒子の動き.
(淵ほか, 1976より)

れの地域での地形や周年の気象や海象条件によって決められることになるが、嵐来襲の可能性の有無や、付近を航行する船舶の大きさ、および構築や保守管理の容易性などにより、おおむね20~50mあたりの水深に設けられることとなろう。特に図5で明らかなように、岸近くの浅海波は破壊力が強大であるので、岸より一定の沖合の海中を通るパイプラインが考えられる。

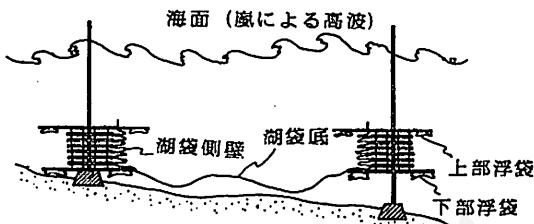
6. 海上貯水の必要性と実現の可能性

このようにして海中に淡水用運河として建設されたパイプラインを介して、大河川の河口近くで取水されて沙漠地帯の沿海に送られてきた淡水は、陸上の水需要の変動に対応していくでも安定的に大量供給ができるようではなくてはならない。すなわち、周年にわたって毎年淡水が安定的に供給されるためには、常に消費予定以上の十分な余裕水頭を確保しておけるような大きな貯水施設を必要とする。

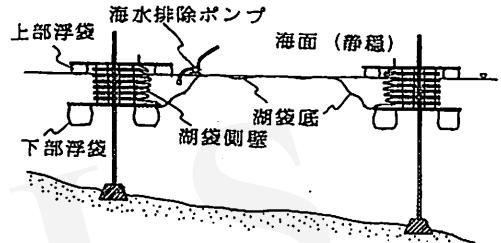
ところが従来の陸上での貯水池建設には、大規模掘削と共に水漏れ（特に砂漠では多い）の防止や周囲に止めのための護岸工事などに多大の費用を要し、また貯水池施工に適する平坦地は同時に水利用に際する開発適地としても競合することにもなる。



(A) 人工淡水湖の平常貯水時（構造も示す）



(B) 嵐時の人工淡水湖の海底退避



(C) 嵐去後に人工淡水湖の浮上と貯水開始

図 6. 人工淡水湖の構造と嵐における海底退避状況（断面）。

ところが海面と言う広大なスペースを活用し、海水の物性を巧みに利用すれば、海上に浮遊式とする巨大な人工淡水貯溜装置を比較的容易かつ安価に構築することができる。そしてその場合の決め手はプラスチックの有効利用である。このような資材は元々自然界には存在しなかった物であるが、今や膨大な種類が開発され、特殊なものを除いて大部分は海水に対する耐食性があり、金属のように錆の問題は無い。

またプラスチックの大部分は熱可塑性であり、工業的にはフィルム状やシート状を含めてどんな形状にも成型加工することができる。

そしてこれらプラスチックは同時にまた、一方的（縦方向）には無限の長さで製造することができるし、他方向（横方向）には接着ないしは溶着によってこれもまた何段階にも拡大させることができる。この特性を利用して広い海面に巨大なプラスチック製の袋を作つて浮かべれば、この中に海水から完全に隔離した状態で淡水を人工的な湖状として容易かつ安価に貯溜する施設として設けることができるるのである。

7. 海上に浮遊する人工淡水湖の構造と実現方法

海上浮遊式人工淡水湖の概念は、図 6-A の人工淡水湖の平常時の断面によって示されるとおりである。すなわちプラスチックフィルムを接着加工して底と側壁が作られた無蓋の巨大袋を海上に浮かべ、この中にあふれない程度に比重の軽い淡水を注ぎ込んでやれば、海面上に浮遊状に淡水が貯溜される。

しかし海洋と言う大自然では、潮流、海流、気流による風、そして波浪と言う様々な自然力が複雑にからみ合って襲ってくる。人工淡水湖の本体は海水と言うこのような変動し易い液体の上に身をゆだねることとなるが、全体の大きさから見ることこの袋は極めて薄いものであり、ここに様々な工夫と特別な取り扱い方法が必要となる。

すなわち、淡水の貯水量は需給の関係で常に変動することとなる。そしてそのたびに湖袋（以下貯水袋をこのように呼ぶ）の底は上下する。その場合湖袋の側壁を蛇腹構造にしておけば貯水量に応じて伸縮し、湖袋の局部に無理な力が加えられて破損をまねくことを避けること

ができるし、蛇腹構造はまた側壁の上縁が常に海面上に一定の高さを保って立ち上がり、海水の侵入に対する障壁としての役目も果たすことができる。

しかし海水は潮流や海面風の影響を受けて常に流動的であるから、湖袋は一定の場所の海面に固定されなければならない。

そこでこの概念を踏まえて図6-Aによって実現可能と考えられる構造および製作方法について以下具体的に説明する。

まず湖袋の製作に先立って、岸より適当に離れた沖合で適当な深度を有する海底に、コンクリート基礎などによって固定されおり、かつその上端が海面上に少し出て立ち上がる程度の長さとした支柱を定間隔に、方形に囲むように沢山配置して立て並べる。その各支柱には、滑車を介して上下に滑動できるようにした上下滑動板を多數層状に重ねて取り付けておくが、この上下滑動板の柱列内側となる一端に、図に示すように蛇腹構造となっている側壁で外側へ突出してひだ状になった部分にクリップ式の取付具で挟んで次々と湖袋側壁を取り付け、湖袋を海面の定位位置に浮遊した状態で係留させる。

このような構成の湖袋に海中送水管によって運ばれてきた淡水を注ぎ込んでやると、その時の淡水の量に応じて袋の底が上下し、側壁も上下に伸縮して対応することができて、海上浮遊式の淡水貯水装置としての役割を果たすことができる。

8. 人工淡水湖の海底退避機能

しかし海は、いつも平穏であるとは限らない。風波の強い時もあり、時には嵐となることもあって、このような薄膜構造で作られた湖袋は、強大なエネルギーを持った波浪をまともに受けるとひとたまりもなく破損してしまう。

そこで嵐の時には、波の破壊力がおよばない海底へとフィルム構造の部分だけを退避させる工夫が必要となる。

図6-A, Bはこのような対応ができる構成と取り扱い方法を示したものである。

通常、台風 Typhoon などの熱帯性低気圧によってもたらされる嵐 (CyclonとかHurricanとも言う) は、現在の発達した気象観測技術によって事前に高精度で予測することができるようになった(『世界海洋アトラス』ALASTAIRほか, 1983: 56)。そのため、嵐来襲の確度が高まった時点で貯溜した淡水を海へ放棄して、風波に弱い巨大なフィルム構造体を速やかに海底へ避難させるのである。

すなわち、陸上の管理棟より遠隔操作によって上部浮

袋の空気を排気して浮力を奪い、同時に上下滑動板の各間に取り付けたベローズ内の水を陸上より給排水管を介して吸引すると共にベローズ上端の排気弁を閉じると、湖袋側壁はその自重とベローズ内のマイナス吸引圧によって急速に海底へと沈降して、風浪抵抗の少ない支柱列だけを海面に残したまま、貯水装置の大部分は湖袋底と同じか或いはそれ以上の深さの海底近くへ退避させることができる。

その場合の海上への淡水の投棄は、側壁だけを沈降させ、貯溜していた大量の淡水を海上に置き去りにして、海水に自然混和して投棄された姿を作り出すものであり、この間の作業は巨大な貯水袋であったとしても、20~30分間もあれば目的を達し退避を完了させることができよう。

やがて嵐が去り海面が静穏となれば、給排気管を使った遠隔操作によって上部浮袋に加えて下部浮袋にも空気を圧入して膨らませると、上下滑動板間のベローズをマイナス圧で圧縮したままの状態で湖袋全体が海面近くにゆっくりと浮上てくる。しかし最も浮上した状態でも湖袋内には海水が残溜するので、側壁上縁の防波障壁の全周が海面上に露出した後で、管理用艇などに搭載した海水排除ポンプを駆動して排水に努める。やがて図6-Cのように湖袋底は海面の高さまで押し上げられて露出する。最後に海水は湖袋内周囲に環状となって残る。このような状態となった後、環状の海水溜りの一ヵ所に簡易な堰を設けて、その堰のどちらか一方の海水をポンプを駆動して排水し、同時に堰の反対側から海中送水管で送られ続いている淡水を注入し、水溜りの海水を淡水で置換しながら、それに対応してベローズ内にも注水していくと、海面に元の人工淡水湖を復元させることができる。

9. 人工淡水湖の湖袋の作り方とその大きさ

湖袋はプラスチックで作るが、プラスチックの最大の弱点である劣化は、太陽の紫外線の照射を受けてもたらされる。

しかし湖袋本体は常にその大部分が海中に浸るため、このこと(耐候性)はそれほど問題とはならずにクリアーすることができるだろう。

またプラスチックは非常に種類が多いが、その中から物性やコストを考え総合すると、現在市販のものとしてはポリカーボネート樹脂が最適のように思われる所以、ここではこの樹脂を用いた場合について述べる。永井(1954)によると、この樹脂は耐衝撃、耐クリープ、耐候性などに優れ、応力に対するヒズミ曲線での降伏値が大であり、好ましいことにはフィルムの相互接着で高い

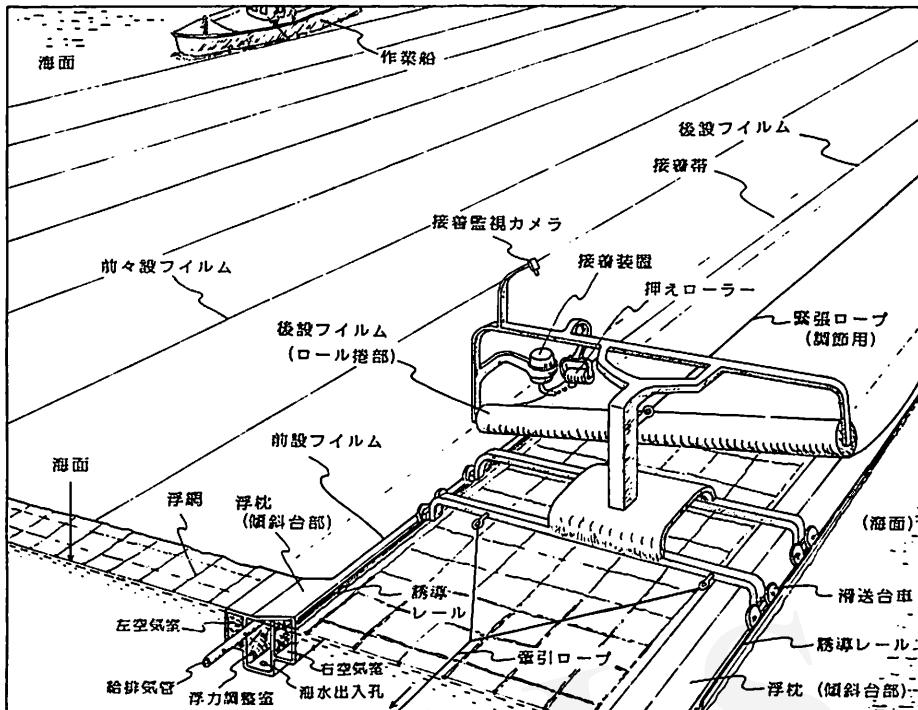


図 7. 海面における湖袋底フィルムの接着方法.

適応性が挙げられる。接着方法はポリカーボネート樹脂の溶剤でもある二塩化メチレンが接着に使用することができ、粘度の低いこの溶剤は重ねたフィルムの間隙によく浸透して、相互のフィルム面を溶かしながら一体化させ、短時間に極めて強い接着力を確保することができる強みがある。

またポリカーボネートは硬質樹脂であるが、フィルムやシート状などになると、海水から淡水を隔てながら海波の絶え間なき動揺に耐えるしなやかさを発揮させることができる。その厚さは0.5~3mmの範囲が適当と考えられるが、実用には更なるテストが必要であろう。

次にポリカーボネートフィルムによって作られる湖袋の大きさ(容量)についてであるが、製作や使用上最も標準的な姿となる正方形の場合では、フィルム状製品としてロール捲きされた1ロールの長さが湖袋の一辺長となる。それは作業上や輸送上の取り扱い性と密接に関連しており、人手での取り扱いは勿論のこと機械力を使うとしてもその大きさ(長さと重量)に限界がある。

通常ポリカーボネートフィルムはロール捲とされているが、幅は4mを超えることも可能であり、伸展した長さも一捲が200mを超えるロール捲も可能となるかも知れない。しかし幅に関しては製造工場の機械の方に限度があり、長さについても後述の折り曲げることのできない

い装備や部品が必要なために、船で曳航するとしても輸送上で長さに限界が生ずる。具体的に言えば、フィルムとしての幅は4~6m、長さは200~500mが限界と考えられ、湖袋の大きさとしては一辺長についても200~500m程度となることであろう。あとは水深をどこまで深く利用するかによって貯水容量の増加を計ることとなる。

ここまででは、ポリカーボネートフィルムの縦方向での利用で、主にフィルムロールの捲長について述べてきた。

しかし製造する機械側の都合で幅はそれほど広くはとれないでの、どうしても接着して横幅を縦幅(長さ)と同等程度となるように加工して作り出さなければならぬ。

ポリカーボネートの比重は1.2で水より重いので、図7に示すようにフィルムを海面に展張して接着作業を実行する場合、展張面の直下の海面に発泡プラスチック製の紐を縦横に溶着して作られた比重の軽い浮網などをあらかじめ浮設し、その上に湖袋底となるフィルムを展張する。

フィルムの接着には、第1番目のフィルムを展張する時に、次のフィルムを重ねて接着することとなる接着帶(糊しろ)となる直下に、上面が傾斜した台部を備えた浮枕を挿入しておく。

この傾斜部は、フィルム面の長縁端が水濡れとなるの

を防ぎながら接着剤を二枚のフィルムの重なる接着帶に注入してから接着をより確実にするための押さえローラーがその上を通過して圧着させる時の受け台となり、フィルムに波打が起こって接着不良をもたらさないようにする役目をも有する。また浮枕は次の接着ラインの下に設けた浮枕との間に、レールを介して接着作業装置や展張のための捲ロールを搭載した滑走台車を走行させる。

このようにして次々とフィルムが横方向へと接着され湖袋底が形成される。

そして次なる工程としては、海面に展開して浮かぶ湖袋底に対して、側壁とそのコーナー部を同様の接着技法によって取り付けることとなる。側壁部は先述したように伸縮できる蛇腹状であり、その断面形状はジグザグ折り（つづら折とも言う）とする必要がある。

この形状を得るには、製造工場で熱可塑的に最初からその姿に成形されたものでなければならない。

そしてこの折目は、長さ 100m 以上のフィルムの縦方向に折る必要があり、縦折りであるからプラスチック押し出し成形機で十分に対応できるが、でき上がった側壁部はもはやロール捲きとすることはできない。そこで現地での使用に際して下面の隙間からずるずると引き出せるようにした直辺長尺カセットに収納した荷姿となるが、このことは先述した湖袋の一辺長、すなわちフィルムの捲ロールの長さに正に一致することとなり、湖袋の大きさが決まる第二の要因となる。

このようにロール1捲長に対応する浮枕とカセットは同長でかつ細長いという類似形状となることから、これら長尺物はひとまとめに荷造して曳航することができて好都合である。

しかし 100m かその何倍かにもなる長大なこのような荷を、混雑する工業国の大港から如何にして無事に外洋へと引き出して、長い航海の末に現地の沿海にうまく届けられるかということは、操船できるかどうかの技術は勿論のこと航法（国際的な法規制）などの海運上の問題が係わり、もし海運上でこのような規制があるとすれば湖袋の大きさが決まる第三の要因となり得る。

さて、このようにして湖袋の製作には新しい工夫と各種の未知障壁の克服を必要とするが、最後に残る難関は湖袋の側壁に対するコーナー部の取り付けである。側壁断面がジグザグ状で伸縮できるようにする場合、コーナー部も同様に伸縮できる構造でなければならない。

側壁コーナーは直角に相対する面の角部という難しい問題に直面することになるが、図 8 に示すように昔から使用されている線出式カメラの蛇腹部に巧妙な姿として採用されており、ポリカーボネートフィルムによってこのように成形することは困難ではない。すなわち L 字

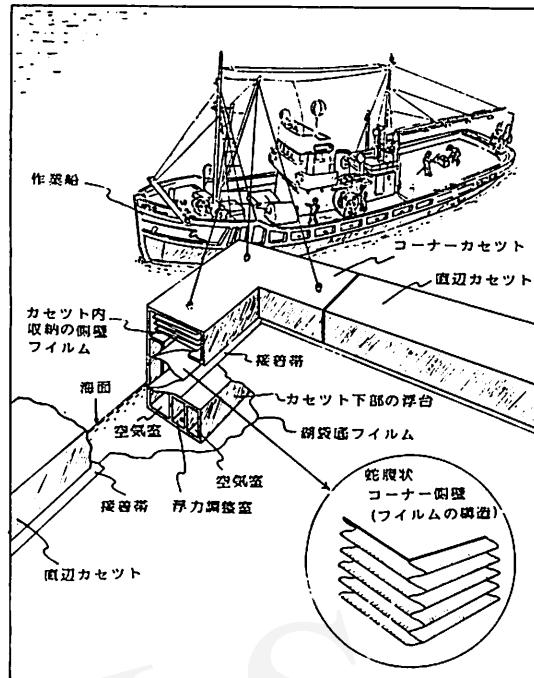


図 8. 海面における湖袋側壁の取付方法.

状形となる蛇腹構造の部分は工場で成形してカセットに装填しても長さでは問題とはならないから、こちらは船上搭載して容易に輸送することができる。

10. 淡水送水貯溜システムの運営と環境への調和

図 9-A は、淡水を取水する大河の河口と海中を運河として送水された淡水が、海面に浮遊する人工淡水湖へと注入される状況を、水位断面として示した模式図である。

河口における取水は、水底に侵入する海水が混入しないように表層水のみをすくい取るバーチカルポンプ等を用いた慎重な設計に基づいて行なわれなければならない。

ところで海中送水管による送水は、零水位から零水位への送水となるため、このままでは水に流れをもたらす力（位置のエネルギー）は全く無い。そのため取水口と給水端との間に流水圧を作つてやる必要があり、取水口では図のように少々工事をして水位差が生ずるようにする必要がある。

水位差は大きいほど早く流れ、流量は多くなるけれども、それは海中送水管に対し肉厚（耐水圧）を要求することとなるため、このことは費用との兼ね合いであり、計算によってかなり正確に知ることができよう。

これは肉薄ステンレス鋼管によって地球の気候帯を超

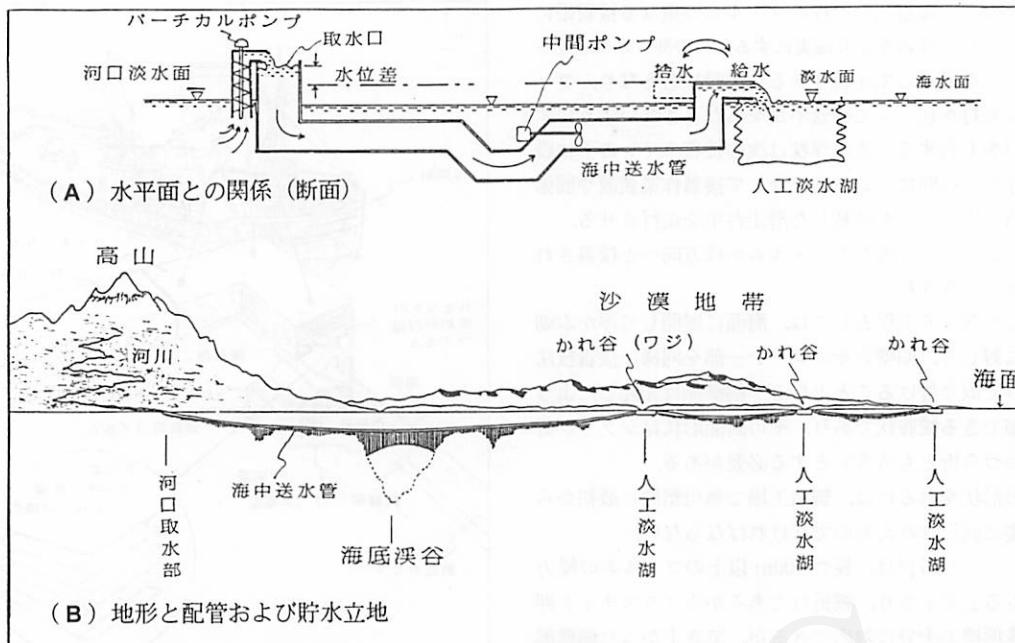


図 9. 海中送水および貯水システムと海洋との関係.

えるような長距離間を、容易にかつ比較的安価に大量の淡水を送水しようとするものであるから、ゆっくり悠然と確実に安定して流すことを目指すものである。そのため送水管は肉薄であっても超大口径管を用いることが有利であり、それこそ大陸から大陸への運河の流れである。

一方、自然環境保全の面からもこの水利用方式は大変効果的である。すなわち海洋を利用するこのような取水、送水、貯水のシステムは、その出発点が大河の河口付近から始まると言うことであり、従来の水利用として大河の中流や上流を堰止めて大規模灌漑用などとして取水してしまう通常の水利用とは基本的に相異する。

すなわち河川は十分な水量での流れにより自己浄化すると言われ、水の流动攪拌作用は溶存酸素を増加して良好な水質を確保し、豊富な水量は流域生物に住場所と命を保つ水を与える。このシステムによる河口での取水は、河川におけるこれら賦活作用が完了した後での取水であって、自然環境に対する悪影響はほとんど起こすことが無い。

図 9-Aにおいて今一つ述べておきたいことは、海中送水管内の淡水はゆっくりした流れであるが、流路は超大口径であり、また取水口と人工淡水湖のある給水口とは何十、何百kmと離れた長距離となることが想定される。その膨大な水量（質量）が有する流れとしてのエネルギーは、流速は小さくとも巨大である。もし何かで流路のどこかが急に閉ざされるような事態が生ずると、管

内の水はとてつもない大きなウォーターハンマーとなって管壁を打ち、肉薄でデリケートな構成である海中送水管は瞬時に破損してしまう。そのため、受水側が満水となってそれ以上淡水の供給が不要となれば、図示したように淡水湖へ向けられていた給水口を水平に回転させて海側へと投棄する構成と操作が必要であり、管内の水は常に流し続けた状態を保持しなければならない。

一般に淡水の中へ海水が混入すると水利用上いろいろと不都合が生ずるが、海に淡水が注がれてもまず比重の差によって淡水は海面上に薄膜状に拡がって、やがては大量の海水に混和してしまい、海洋生物の生存をおびやかすおそれはほとんど無い。このことはまた、仮りに海中送水管に不備があつて淡水が海中へと漏れ出しても、淡水の送水損失とはなるものの海洋汚染には至らないし、そしてまた、嵐来襲時での海底避難に際する淡水の大量投棄も、広大な海洋の海水量から見ると微々たるものであり、自然の河川水の流出の場合と基本的に変わるものではないと言える。

ところが海上に液体を貯溜するための技術開発は特許公報などでも見られるように今までかなりの量に達するが、いずれも石油類などの貯溜のために考え出されたものであり、有蓋密閉を原則とする。

これに対して人工淡水湖は無蓋であり、雨の降り込みや淡水面からの蒸発も自然状態のままであり、海鳥が着水しても安全で、海洋環境にとっては何事も起こること

はない。

11. 乾燥した陸上への給水と水利用の姿

図9-Bは、このような送水と貯水との関係を地形モデルに照らして描いたイラストである。

河川水は標高の高い山脈を源として生まれて海へと注ぐ。そしてその河口付近で取水された淡水は海中送水管によって一定の深度の海中を、海底の地形に影響されることなく一直線状に沙漠地域の沿海に達する。

ところで人工淡水湖を設ける場合の立地であるが、沙漠には太古の昔に存在した河川跡といわれる所があり、侵食された流路跡地形がかけ谷（ワジ）として残っている。このような水路遺跡地形が海へと注がれる姿として残っている場所こそ、淡水の大量貯水に好適である。

すなわち河床跡の海への出口はほとんど海面と一致し、またその流路跡の低い地形は沙漠内陸へと少しづつ高度を増しながら枝のように幾条にも分岐しながら伸びているからである。

陸上での淡水利用の第一段階は、まず人工淡水湖の零水位のところからポンプで汲み上げることから始まる。そして奥へと進んで次第に高度が上昇するにつれ何台ものポンプを連携してリレー送水しなければならないので、河床跡の地形は大変好都合である。

淡水の大量安定送水は、人々の住む村や町を作り、いろいろな産業発展に基盤条件として貢献するが、中でも農業の興隆と発展には大いに期待がこめられる。

しかし熱帯や亜熱帯の乾燥地域農業で最も困難とされる問題点は大地の塩類集積であり、かなりの灌漑が施されても、高温乾燥の影響をもろに受けた大地には塩類集積が進行し、やがては不毛の大地となり果てる。この問題を解決できる効果的な方法として、佐藤（1985）は除塩処理（リーチング）を掲げており、大量灌漑とその水量に見合った排水設備の完備が期待される。それは十分な水量で行なわれた大量灌漑によってその水に溶解させた塩類が一時的に地下へ浸透した時に暗渠排水管に集められ、この高濃度水が排水系を通じて耕地の外へと速やかに排水されなければならない。

河床跡は正にこの排水系統が自然流下経路として海へと通ずる絶好の地形としても利用される。すなわち、給水系と排水系はこの地形を利用した表裏一体となる水利用体系として開発計画されねばならないからであり、北村（1993）は灌漑と排水はセットとして考える必要があると言う。このことを踏まえて海上淡水湖の立地決定は大変重要なこととなる。

農業は沙漠地における基幹産業であり、その成否は人

口の涵養と共にその後他産業の発展にも大きく影響を及ぼすことになる。

このような水利体系の確立によって沙漠地帯に突然現われることとなる人工のオアシスで支えられた土地で、先ずなすべき農業の姿は、現在人類が保有する最高の技術水準のものでなくてはならない。

ここに述べてきた完全な給排水系統もその一つであるが、植物への給水となる灌漑方法についても、昔より各地の乾燥地帯で行なわれてきたような粗耕された圃場の一端から直接水を流し込むうね間灌漑や全面流下式灌漑などは、水のロスが多く生産力を向上しない。実際に行なうならば、北米大陸やリビア沙漠の一部で実現しているスプリンクラー灌漑、なかんずくセンターピボット灌漑など大規模高能率農法を排水設備を完備した上で穀物栽培に採用すべきであり、図10はそのような姿の全容をイメージとして描いたものである。

そしてまた、塩類集積のメカニズムを念頭に置いて慎重に水管理するならば、この水の一部を効率的に活用して、節水形農法と言われるマルチ栽培や点滴灌水栽培、更には養液栽培に至るまでの様々な巧妙な栽培も可能となって、核となる大量散水灌漑農地の周囲にこれら節水農地を広く展開して総合生産力をあげながら、将来の規模拡大への足掛かりとさせることができる。

このように、水さえ届けられれば各種の研究や開発は推進され、未来への夢が更にまた新しい夢を呼ぶ。

熱帯や亜熱帯の温度と陽光が十分すぎるほどあるこれら沙漠地帯では、例えば簡単な柱で支えられた適度な日除け（半遮光）により、高い付加価値を持った農産物の生産が容易に得られるため、野菜や果物、時には花きや集約養畜生産に至るまでを簡易な施設農業として展開することができるので、地域の経済力を高め、自活農業からすぐに輸出産品を加えた農業へと短日月で転換し発展することに貢献することができよう。

沙漠地帯はまたエネルギーとしての太陽光や適度の風は豊富である。これらのエネルギーを有効に利用すれば、リレー送水のためのポンプの駆動や、センターピボットに必要な散水圧もかなりの程度は賄え、また施設栽培に必要とあれば、換気、冷房、養液の循環とその冷却など自然エネルギー活用の場面は少なくなくて、地域の発展はそれによって一段と加速されよう。

12. む す び

沙漠地への大量の淡水供給方法として、これまでにいくつかの大膽な提案が示されたことがある。

例えば、木下（1994）の紹介記事による膜構造として

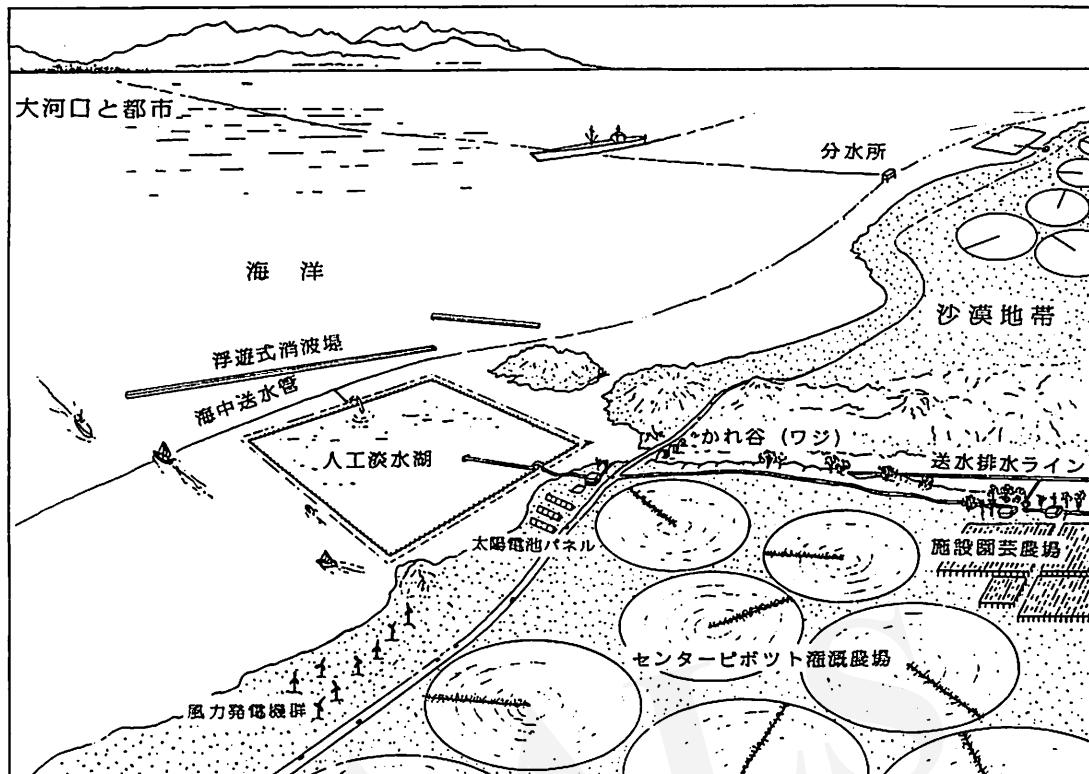


図10. 海洋を利用した給水貯水システムの展開を全望する鳥瞰図。

建造される巨大な人工山脈や、国分（1994）が紹介している南極氷山（淡水塊）をペルシャ湾などへ曳航することなど、理論としては可能かと思われる方法もある。しかしこれら提案の実現には障害が多く、確かな経済効果が認められずにそのままとなっている。

いずれにしても、投資に見合う大量の淡水を毎年年間を通じて安定して確実に供給できなければ、沙漠地での本格的な各種の開発事業は成立されにくいし、これらの突飛な案でも真剣に考慮の対象となると言うことは、熱帯および亜熱帯沙漠地域が如何に淡水不足に悩んでいるかの象徴でもある。

ここに述べた内容は、今まであまり考慮の対象にはならなかった海洋の利用であって、沙漠地へ直接大量の淡水を供給できるかも知れない一つの可能性について述べたものである。実際の推進があるとすればこれからであり、多くの専門家によるその道での創意工夫がこらされ、沙漠を擁する国もそうでない国も一致協力して対応して行かねばならない。

地球は生物の共通の故郷であり、共有の財産である。

人類は長い間、自然に頼り、自然を開拓し、そして征服や収奪さえしてきた。その結果高度な科学技術や強大

な工業力を身につけて今日の繁栄をもたらしてきたが、人類は地球を利用して培ったその力を、今度は恩返しとして母なる大地に捧げる時が来たように思える。

地球上ではぐくまれて成功した生物の代表者としての我々には、地球環境を少しでも改善できる能力を持った今こそ、その力の行使には責任と義務が感じられる。

尚本稿は、1992年5月、日本沙漠学会第3回学術大会に於いて、口頭により要旨を発表したものである。

引用文献

- 遠藤 熊（1991）：沙漠工学の提唱。「沙漠研究」1: 68-72.
- 淵 秀隆・松本次男・斎藤 晃（1976）：『海の波－防災と経済運航』地人書館。
- 石橋多聞ほか編集企画（1983）：『造水技術－水処理のすべて』（財）造水促進センター。
- 木下幹夫（1994）：沙漠の気候をかえる。沙漠におけるマクロエンジニアリング。安部征雄・小島紀徳・遠山征雄編著：『沙漠物語』森北出版: 13-14; 15-17.
- 真木太一・中井 信・高畠 滋・北村義信・遠山征雄（1993）：『沙漠緑化の最前線－調査・研究・技術』新日本出版社。
- 国分 裕（1994）：南極の氷山を沙漠に。安部征雄・小島紀徳・遠山征雄編著：『沙漠物語』森北出版: 18-20.

- 小島紀徳 (1991): 沙漠にもっと水を. 「沙漠研究」1: 73-76.
- 永井 進 (1954): プラスチックの力学的性質. ポリカーボネート. 大阪市立工業研究所, プラスチック技術協会編: 「プラスチック読本」22-30: 152-155.
- 大山 正・森田 滋・吉武進也 (1990): 「ステンレスのおはなし」日本規格協会.
- 佐藤一郎 (1985): 「地球沙漠化の現状—乾燥地農業と緑化対策を中心として」消文社.
- 篠田雅人 (1993): 広がりつづける不毛の大地—急速に進む沙漠化最新レポート. 「Newton」(教育社) 13-10: 102-109.
- スプリンター, E.W. 著, 鈴木重義訳 (1976): センタービポット農法. 「サイエンス」6-8: 108-119.
- 高橋克巳 (1983): 海底パイプライン「海洋土木辞典」(産業調査会): 785-812.
- 竹内 均 (1994): 沙漠—不毛と極乾の過酷な世界. 「Newton」(教育社) 14-3: 118-131.
- ニュートン (1993): 濁い緑におおわれた宇宙のオアシス. 「Newton」13-3: 56-57.
- ALASTAIR, D.C. ほか総編集, 奈須紀幸ほか訳 (1983): 「世界海洋アトラス56」タイムズ/講談社.

Water Pipes within the Sea and Man-made Fresh Water Lakes upon the Sea Can Provide Fresh Water to Dry Areas

Shusaku HARA*

In order to assist greening and agricultural production in desert areas, it is essential to provide fresh water. Salt accumulation which occurs in dry areas can only be reduced by dissolution with large quantities of water, irrigation and drainage.

I wish to propose a system which takes advantage of the basic characteristics of the sea such as its great width and openness, uniformity, constant horizontal position and buoyancy.

I propose that thin stainless steel boards be made into pipes at the actual reservoir site. Pipelines would be made of cheap wide diameter water pipes wrapped in plastic foam to provide buoyancy and fixed with wires to the sea floor to make underwater canals.

Fresh water would be taken from the abundant water supply of rivers and estuaries and sent to the coast of arid zones. Fresh water sent to the arid zone would necessarily have to be stored temporarily at the sea zone where there is a demand for water.

Such fresh water would be preserved in strong sack made of plastic films bonded together on the sea surface at the actual storage site. From these "man-made lakes" fresh water could be supplied to dry farming areas or for irrigation tasks upon demand.

These "canals in the sea" water pipes and many man-made fresh water lake networks would provide moisture to the land as well as create a moderate climate enabling the area to become suitable for agriculture and industry.

To revitalize the earth is our duty to our land as human beings. In the past we have destroyed Mother Nature, it is our responsibility now to nurture and preserve her with our technology.

Key Words: Water Pipes in the Sea, Lakes on the sea, Fresh water supply system, Taking advantage of sea characteristics, Greening the desert.

* Consulting Engineer (Horticulture Under Structure Consultant). 12-7, 4cho Miharadai, Sakai, Osaka, 590-01 Japan.

(Received August 10, 1995; Accepted October 23, 1995)

中国新疆の乾燥地トルファンにおける防風林による農作物生育環境の微気象改良

真木太一^{**}・潘 伯榮^{***}・鮫島良次^{***}・杜 明遠^{***}

1. はじめに

乾燥・半乾燥地は地球上の全陸地の1/3に相当する。そこでは緑化、オアシス化が進む一方で、人口増加による過開発、過放牧、過伐採による人為的な砂漠化が進行している。世界の砂漠面積に対する中国のその割合は最も高く、その中国の砂漠面積は130.8万km²で、全国土総面積の13.6%に達し、乾燥・半乾燥地は総面積の52.5%を占める。なお、1991年中国統計年鑑によると、砂漠化面積も含めた全砂漠面積は153.3万km²で、全国土総面積の15.9%に達する。

中国の乾燥地域における防風林に関する研究には、①減風による蒸発散量の20%減少と作物収量増加（新疆農業科学研究院、1976）、②減風効果（新疆生物土壤沙漠研究所、1978）、③乾燥条件下の気温の夜間0.7~3.4°Cの低温化と湿度の13%増（治沙造林学編委会、1984）、④ZHU *et al.* (1986)、⑤風速減少、蒸発量減少、土壤含水率増加とトウモロコシ・ダイズ・コウリヤン・アワの増収（張ほか、1990）、⑥圃場内の風速減少、土壤水分増加、穀物収量増加、穀物の千粒重増加（SONG and WEI, 1990）、⑦風速41%の減少、最高気温1.4°Cの増加、最低・平均気温3.3°C、0.3°Cの減少、最高・平均地表温1.6°C、1.1°Cの上昇、最低地表温3.5°Cの低下、5cm深の地温上昇、10~20cm深の地温低下、相対湿度9.5%の増加、日蒸発量9.9mmの減少（TULUFAN WORK STATION of FORESTRY in XINJIANG, 1990）、⑧夏季の気温2.4~3.6°C低下、生育初期の昼間地温0.3~0.5°C上昇、夜間地温1.1~2.5°C上昇、土壤水分1~4%の増加（XIAO, 1990）、⑨ゴビ沙漠で5列の防風林による減風率70.3%，1列の場合より27.2%増加、蒸発量31.6%減少、夏季の気温0.1~0.4°C低下、湿度2.0~9.7%増加、発芽率33.6%増加、2日の発芽と4日の開花促進、1Hでの収量17.7%減に対して3~10Hでの50.3%増、全体で20.7%増（ZHAO, 1990）、⑩灌木林、すなわち植生被覆度の増加についての減風、気温・地温低下、相対湿度

上昇、蒸発量減少の気象改良効果（黄ほか、1993）、⑪ボプラ・白榆・沙棗防風林による減風、気温・地温低下の効果（潘ほか、1993）などがある。

しかし、防風林による減風以外の気温、地表温、湿度などに関する詳しい報告は、著者ら（真木ほか、1992、1993、1994a, b；黄ほか、1993；潘ほか、1993）を除いて少なく、特に砂漠からオアシスへの気象改良変化の定量的評価は少ない。

著者らは砂漠化防止と緑化を最終目的として研究を実施しているが、ここでは農業限界地域、すなわち中国新疆吐魯番（トルファン）の砂漠とオアシスの境界地域において防風林による気象改良・気候緩和効果と作物生育促進効果を評価するため、砂漠の最前線用（タマリスク）の防風林樹種ではなく、砂漠と農地の境界（前線）用の樹種である沙棗、白榆、胡楊の3種、3列の防風林を利用して実施した。

なお、農林水産省国際農林水産業研究センター（1993年10月以前の熱帶農業研究センター）は、中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所（烏魯木齊）と1990年3月～1993年3月に「環境資源」について第1期の日中共同研究「乾燥地における水動態・土壤特性の解明」を実施したことにより引き続き、1993年4月～1998年3月に「環境保全」について第2期の日中共同研究を実施中である。本研究は「乾燥農業限界地域の環境改善による持続的農業技術の確立」の課題の一環として実施したもの的一部分である。

2. 観測方法

(1) 観測時期：気象観測日時は1994年6月15日14時、17時、20時、6月16日5時半、11時、16時、20時、17日16時である。乾燥地トルファンでは最高気温の出現は夏至を挟んだ6月中旬～7月中旬に多い。その最高気温発生時期である6月中旬に調査を実施した。

(2) 観測場所：図1に示すように、中国トルファン（北緯42°51'、東経89°11'、海拔-80m）の新疆生物土

* 農林水産省農業環境技術研究所環境資源部

** 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所吐魯番沙漠研究站

*** 農林水産省国際農林水産業研究センター環境資源部

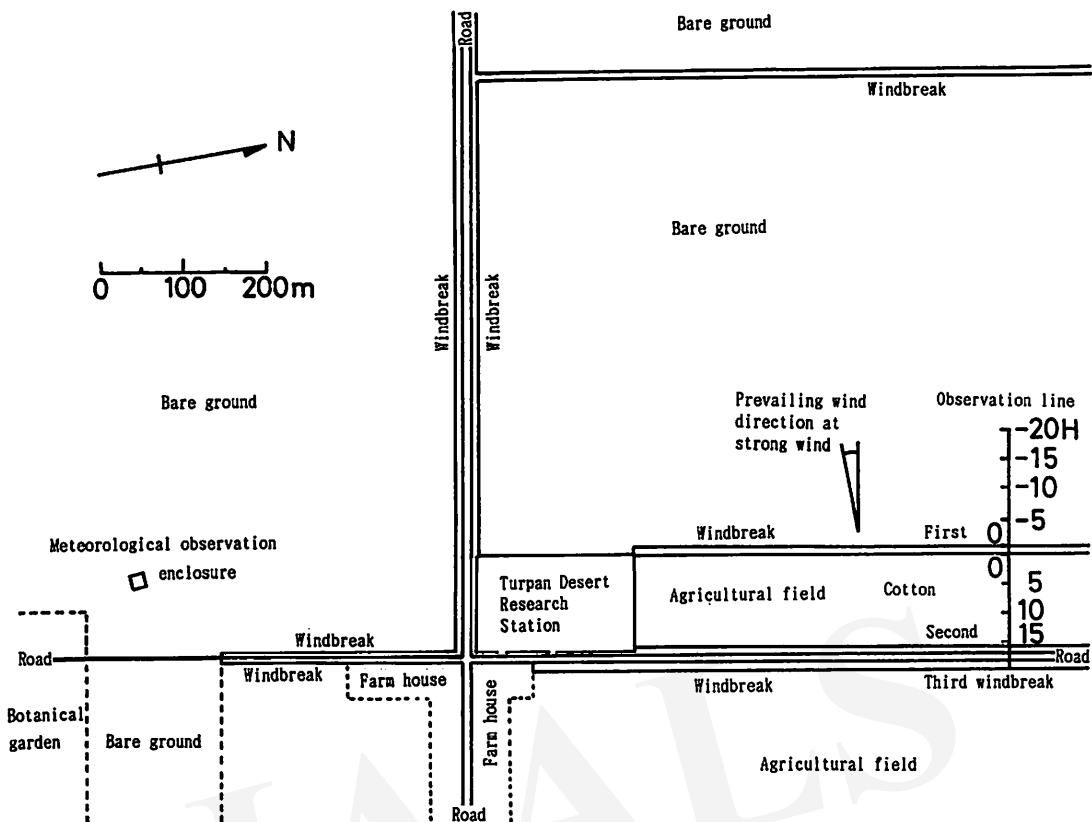


Fig. 1. Map of multiple windbreaks and observation line around marginal land of desert and agricultural field.

境沙漠研究所吐魯番沙漠研究站付近の防風林と農地である。防風林の方向は北・南方向より約10°東・西にずれており、N-SとNNE-SSWのほぼ中央を通る線上にある。

(3) 観測位置: 防風林の高さ、平均高度(H)の倍数で表わした距離、高倍距離で、風上側は-、風下側は+で表わした(後述の図4~7で使用)。

(4) 観測項目: 風速(測定高度1.5m)、地表温(地表面)、気温、湿度(測定高度1.0m)、ワタ草丈(図2-A)である。また、付近に設定してある定常気象観測装置では10気象要素(真木ほか、1994b)を連続的に観測している。

(5) 観測器・方法: 風速計はアネモマスター(日本科学工業社、6061)、気温・湿度計はデジタル温湿度計(チノー、HN-K)、赤外線放射温度計(地表温)はスポットサーモメータ(ミノルタ、TR-0510)である。地上1.5mの風速、1.0mの気温・湿度および地上30cmより非接触で地表温を測定した。

(6) 防風林: 第1林(1列目)防風林(図2-B)は沙棗(*Elaeagnus angustifolia* L., oleaster, グミ属、スナ

ナツメ), 白榆(*Ulmus pumila* L., elm, ニレ属、シロニレ), 胡楊(*Populus euphratica* Oliv., poplar, aspen, ヤマナラシ属, コヨウ)の防風林の長さは1km程度あり、その複合防風林の高さ(H)は7m、幅は11.5m、密閉度は70%(上層70、中層80、下層60%)である。

なお、密閉度(率)とは、防風林のない場合を0%、隙間のない場合を100%として、地面から鉛直方向に防風林の平均樹高までの風に対する面積における樹木の枝葉の占める割合、百分率(%)を指し、間隙率(度)は100%から密閉度を引いた値である。

また、2列目防風林(第2林)は幅6mで、高さ6mの沙棗と高さ8mの銀白楊・新疆楊(*Populus alba* L., poplar, ヤマナラシ属、新疆ボプラ)がある。幅11.5mの道路を隔てて3列目(第3林)は幅6mで高さ8mのボプラと高さ6mの沙棗、さらに高さ1mの枸杞(*Lycium barbarum* L., ナス科クコ属、クコ)がある。密閉度はどれも約70%である。

3. 防風林観測期間の気象特性

防風林による微気象の変化特性と比較するために、まず乾燥裸地に設定してある露場の気象変化特性を示す。1994年6月15日6時～17日18時の気象変化として、①高さ1.6mの気温と相対湿度、深さ0.5cm、10.0cmの地温の変化を図3-Aに、②高さ1.6mの風速、日射量、日照時間の変化を図3-Bに示す。

1) 気温の変化

1.6m高の気温は日中には40°C前後であり、15, 16, 17日の最高気温と最低気温はそれぞれ40.8, 39.8, 40.6°Cと27.3, 27.9, 22.9°Cであった。気温の日々の変化形態は15日と16日は類似しているが、17日はかなり異なる。最高気温は3日間とも類似しているが、最低気温は、15, 16日では雲量が多いために乾燥地としては高く、気温の日較差も小さい特徴を示した。

2) 相対湿度の変化

1.6m高の相対湿度は昼間に低く、夜間に高いが、湿度変動は昼間よりも夜間に大きい。最高・最低湿度は15日53.2%, 26.8%, 16日53.1%, 36.6%, 17日57.9%, 23.7%であった。15～16日の夜間では大きく変動しながらも長時間、40～50%程度であった。一方、16日の夜半では比較的低く40%前後であるが、17日になって短時間ではあるが急激に高まり、4時30分には57.9%の最高を、日中には23.7%の最低を示した。なお16日の昼間には相対的にかなり高い状態であるなどの特性を示した。また15日21時には小雨がぱらついたが、湿度は40%前後であり高くならず、18日の早朝においても40～55%であった。

3) 地温の変化

深さ0.5cmの地表面に極近い地温（地表温）の変化が大きく、昼間の最高地温、夜間（早朝）の最低地温はそれぞれ15日に56.3°C, 26.3°C, 16日に49.9°C, 27.7°C, 17日に63.1°C, 22.7°Cを示し、気温とほぼ同じであった。また地表温は昼間には気温よりはるかに高く、夜間は気温の逆転が発生するため概して気温より低い。なお深さ10cmでは地温の変化は小さいが、早朝から午前中の短時間を除いて午後から夜間には気温より高い。

4) 風速・風向の変化

1.6m高の風速は15日15～23時では4m/s以上で大きく、16日11時～17日1時でも大きい。最大は16日

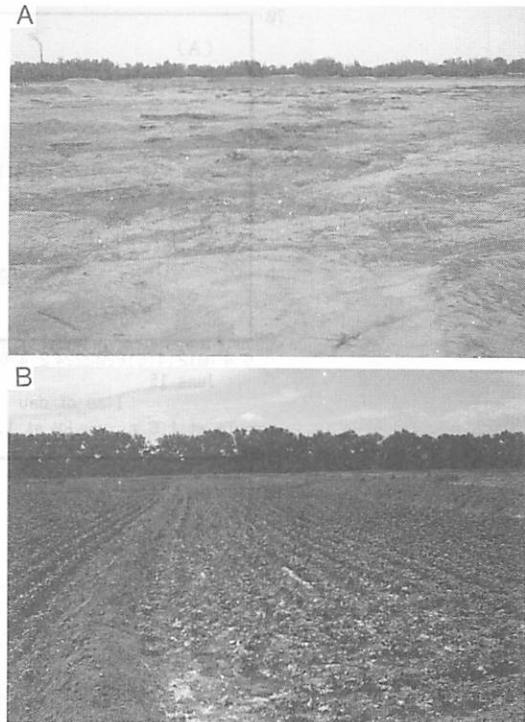


Fig. 2. Pictures of (A) the second windbreak and cotton protected by the first windbreak, and (B) surface of the desert in the windward of the first windbreak.

13時の10.2m/sで、12時30分に10分間平均風速11.5m/s、最大瞬間風速15.5m/sであった。一般に午後から夜半にかけて強風となり、夜半から午前中は弱風であった。15日と比較して16日には強風の発生時間は早く、強い。また17日には18時以降少し強くなり、17日22時～18日3時では強かった。

一般に風速が地上高さ6mで7m/s程度から砂塵、風食が発生するが、その強風は15日午後には5時間程度、16日には13時間程度あった。

最多風向は15～16日にSW、17日にNNEであった。時間平均風速5m/s以上の強風時の最多風向はSSW～WSWであり、4m/s以下の弱風時にはNNE～NWであった。

5) 日射量・日照時間の変化

15, 16日の日射量は午前中は雲が多いため比較的少なく、17日にはかなり多かった。日照時間は15日は少なく、16日にはやや多く、17日には日の出から16時までは大部分日照があった。

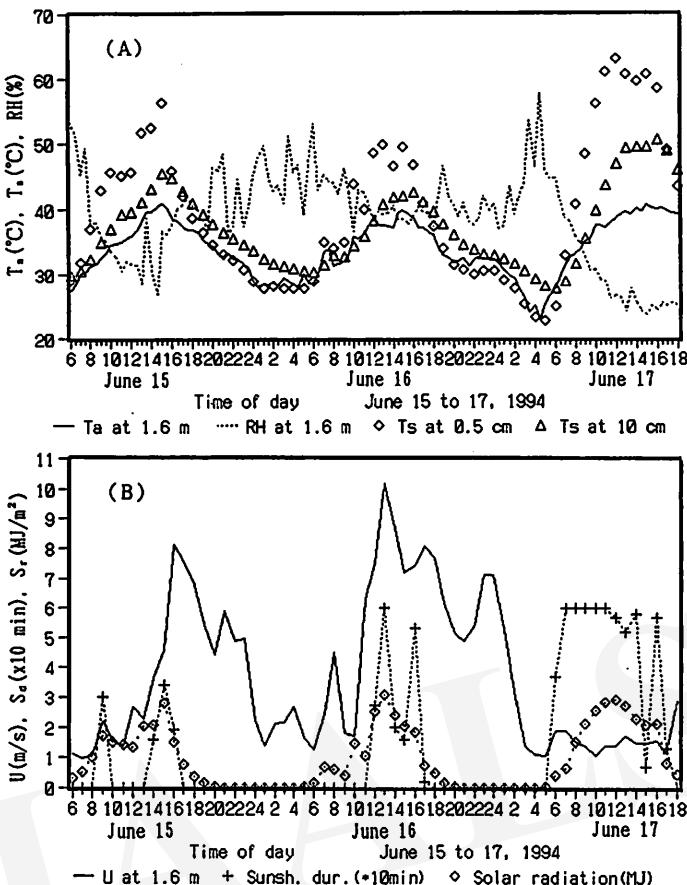


Fig. 3. Variations of (A) air temperature (T_a , °C) and relative humidity (RH, %) at 1.6m height and soil temperatures (T_s , °C) at 0.5 and 10.0cm depths, and of (B) wind speed (U , m/s) at 1.6m height, solar radiation (S_r , MJ/m²) and sunshine duration (S_d , ×10 min) at the arid land of Turpan, China from June 15 to 17, 1994.

4. 沙棗・白榆・胡楊防風林による微気象特性

夏季、高温・乾燥条件下での沙棗・白榆・胡楊防風林による風速・地表温・湿度・気温の気象改良効果およびワタ作物の生育促進効果を調査した。

1) 防風林による微気象の変化

(1) 昼間(15日14時、図4-A)：相対風速(基準点、-15H、高さ1.5mの風速に対する相対値、 U_r 、%)は強風時の主風向に対して第1列目防風林、すなわち第1防風林(第1林)の風上側-5Hより減少し、第1林の-2H付近で80%近くまで減少するが、第1林の中央部では94%まで回復する。この強風化は防風林下層の枝が少ないため、風の収斂に起因する。通過後は1Hで急激に30%まで減少し、第1林の風下約13H(第2林の風上-2H)で88%まで回復し、第1林の影響が残

る状態に加えて、加算的に第2、3林で減少して非常に弱くなる。第2林の前方での風速の回復が大きいことは、風向がかなり斜め(約45°)から吹くことによる回復の早さのためである。

地表温(T_s , °C)は第1林の風上側で少し高く、林内では日陰のため約20°C低くなった後、急激に回復して7Hで最高の62°Cを示し、再び第2林内で低下するが、道路中央部では高温であり、第3林内では最も低温である。

相対湿度(RH, %)は第1林の風下で防風林内および作物圃場からの蒸発散による加湿によって4~5%高い。これが防風林と圃場による、まさに気象改良効果である。なお第2、3林間付近では道路面、特に地表温の影響が大きく、相対湿度は少し低くなっている。

最高気温が出現する時間帯における気温(T_a , °C)は第1林の直前と林内では少し低く、通過後は少し高い。第2林の前方でやや低く、直前でやや高く、第3林の風

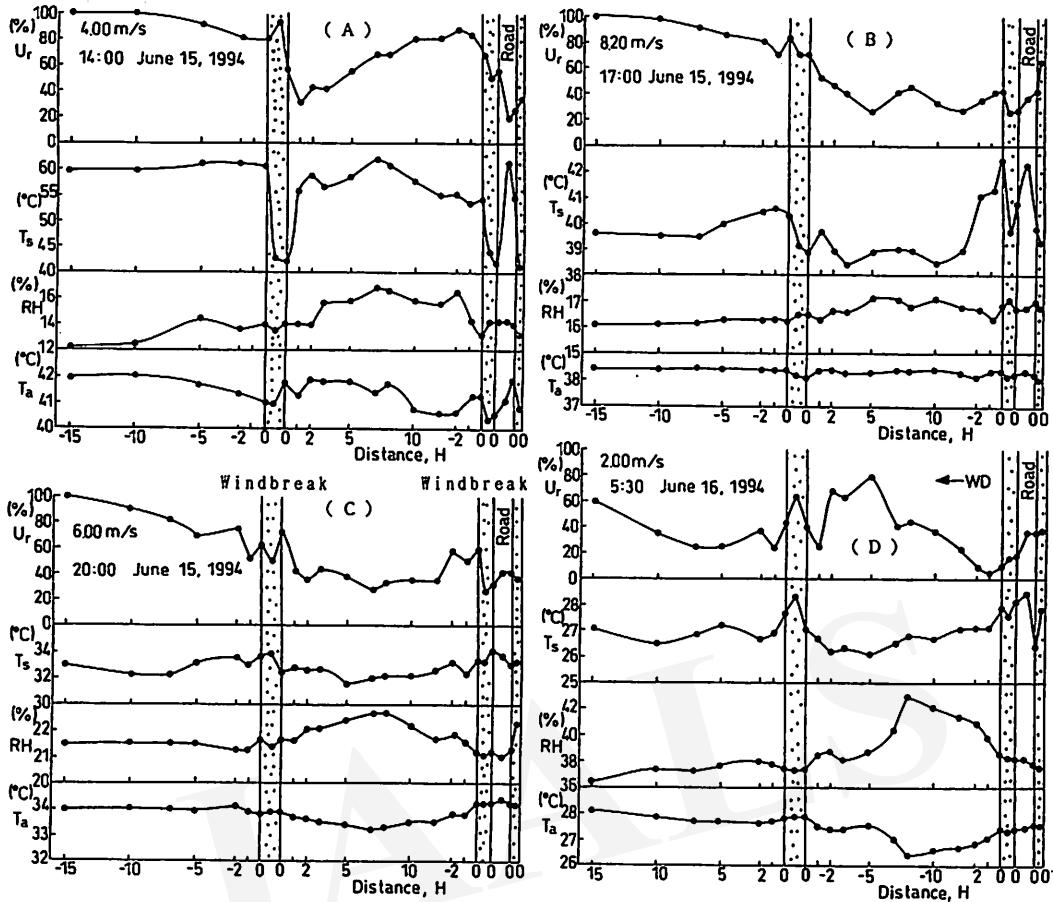


Fig. 4. Horizontal variations of wind direction (WD), relative wind speed (U_r , %), surface soil temperature (T_s , °C), relative humidity (RH, %) and air temperature (T_a , °C) caused by three row windbreaks made of main three kind trees at the cultivated land of Turpan. Dotted areas are the windbreaks.
 (A) 14: 00 June 15, (B) 17: 00 June 15, (C) 20: 00 June 15 and (D) 5: 30 June 16, 1994.

上直前では道路の地表温の上昇によって高い。第2林の前方でやや低いのは、相対風速の増加による潜熱消費に起因する気象改良効果であると評価できる。

(2) 夕方 (15日17時、図4-B)：基準風速が8.2m/sで相当強く、砂塵を巻き上げる状態であり、減風効果が顕著に出ている。相対風速は第1林によって5Hでは26%まで減少し、その後少し回復するが、再び第2林で減少する。ただし第3林では防風林下層を通過する風のためかなり強い。これは防風林下層には枸杞の防風垣があって防風林中層と防風垣上層間の風の収斂で相対的に強風となるためである。

地表温は第1林直前で昇温し、通過後は2°C程度低下するが、第2林の風上側直下と道路上では42°Cを超えて高い。林内ではどこも日陰のため基準値より1~2°C低い。相対湿度は第1林通過後に1%上昇し、それが作物からの蒸散も加算されてほぼ平衡的に推移し、第2林

直前で少し低くなるが、再び第2、3林で増加している。気温は林内でわずかに低下するが、そもそも強風であるため、林内外の差は小さい。

(3) 夜間 (15日20時、図4-C)：基準風速は6.0m/sであり、かなりの強風である。減風効果は17時の場合と類似しているが、第1林内での下層を通過する風は比較的弱く、むしろ通過直後から強くなっている。また第2林の直前でもかなり強い。強風にもかかわらず夜間であるため、地表温、気温、湿度の変化は小さい。

地表温では第1林と第2林の前後でやや高い。これは林内における乱流輸送の減少による保温作用である。相対湿度は第1林通過後の5~10Hでは、圃場からの蒸発散によって1%余り高く、逆に第2林付近から道路間では低く、第2林内での保温作用が影響している。相対湿度と気温の変化はほぼ逆の関係を示している。気温の変化は小さいが、それでも防風林通過後は湿度の上昇とは

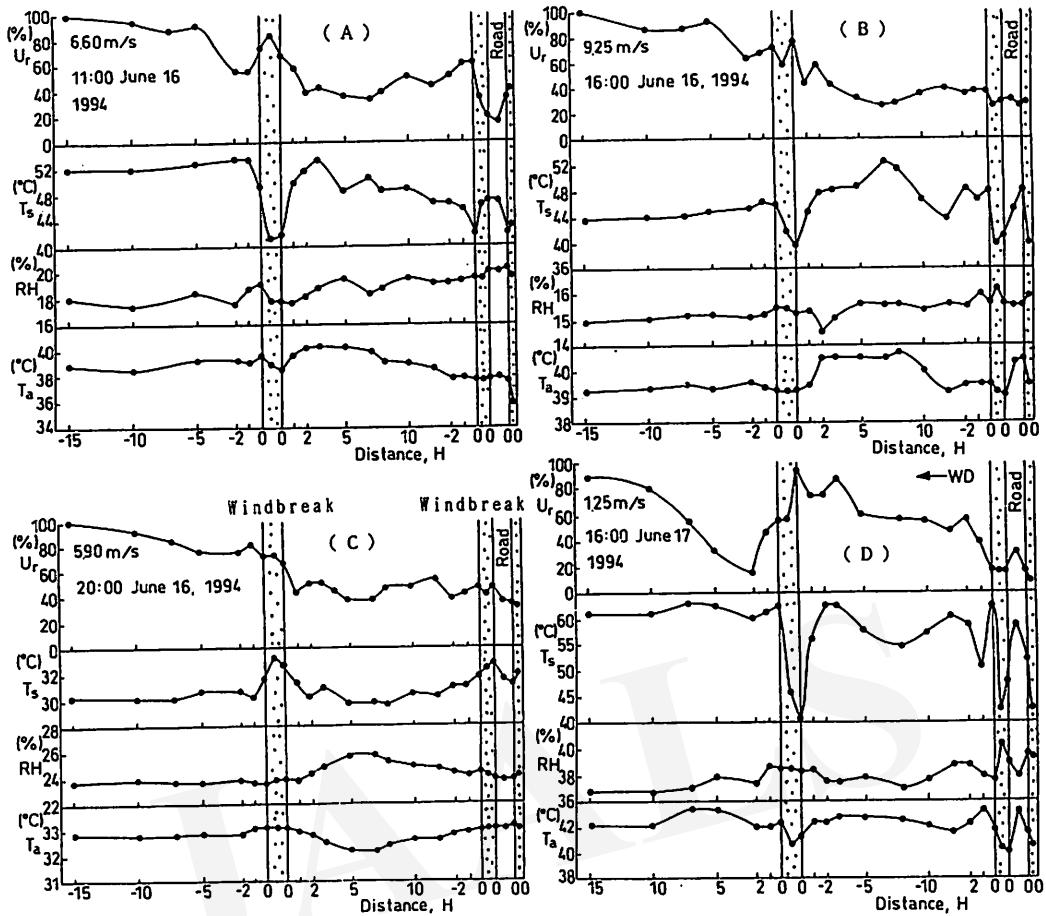


Fig. 5. Same as shown in Fig. 4.
 (A) 11:00 June 16, (B) 16:00 June 16, (C) 20:00 June 16 and (D) 16:00 June 17, 1994.

対照的に、 1°C 近く低下しており、第2、3林でまた上昇している。気象改良効果としては、防風林と作物による加湿効果が認められ、防風林の風下側では湿度上昇による気温降下が認められる。

(4) 早朝(16日5時半、図4-D)：風向は逆向きで、風速は 2.0m/s と比較的弱く、また小雨がパラつく気象条件である。相対風速は第3防風林(ここでは風上林)で減少し、さらに第2林で減少しているが、第1林の -5H で 80% まで回復している。これは防風林の枝張り、すなわち主風向に対して風下側により多く枝が伸張することと関連する。逆に林内で相対的に強いのは、防風林下層の枝葉が比較的少ないために起因する。通過後、 10H 付近までかなり弱風であることは $5\sim10\text{H}$ 付近が防風林のある場所より約 1m 低地であることが関連する。

なお、逆風向時の基準風速は風下 20H での値としてあるが、実際の風上側では測定できなかったため、次のように対応した。風上の場合には -15H で防風林の影

響がないが、風下 15H では防風林の影響があるため、少しでも影響を少なくする目的で、より遠方の 20H の値とした。

地表温は道路上で高く、第2林通過後の林間では主として放射冷却で低い。また第1林内でも保温作用が大きいため高く、風下では低い。相対湿度は第3、2防風林と灌漑作物による湿度上昇が大きく、 7H 付近では 6% 程度高いが、第1林の風上側から風下側で低いのは乾燥地(砂漠)の乾燥が影響しているためと考えられる。気温は第3、2林防風林通過後、第2・1林間では蒸発散による潜熱消費と放射冷却によって気温低下が顕著に出ており、気温は湿度と明らかに逆の変化を示しており、特に第1林の風下側での高温化と湿度の低下は、観測期間中の弱風化および砂漠地表面の影響による保温、乾燥化が発生するためと考えられる。

(5) 日中(16日11時、図5-A)：風速は 6.6m/s でかなり強い。第1林内でやや強いのは、前述したとおり、

枝下が少なく風が比較的通過しやすいことを意味する。また第2林直前で少し強くなり、第2林で減少し、道路上でも弱いが、第3林内では前述の防風垣が影響して比較的強い。

地表温は林内で10°C以上低下しており、3Hで高く、林間のワタ圃場の風下側で低く、さらに林内で低い。相対湿度は第1、2、3林で2~3%上昇しており、気象緩和効果がある。また、気温は防風林通過後やや高くなっている。第2、3林に近づくと低下する。これは気温と湿度が対称な変化を示していることから、加湿で凝結しやすくなり、潜熱が消費されることによる気温の低下、すなわち気象改良と考えられる。

(6) 夕方(16日16時、図5-B)：9.3m/sの強風であり、防風林のない所では砂塵がかなり上がっている状態である。第1林によって減少し、20~30%になり、第2林の風上側で少し回復するが、比較的減風したまま、さらに第2、3林で減少しており、効果が顕著である。

地表温は林内で日陰のため低く、林間では日射による昇温で、減風による乱流輸送の減少に起因して風上側よりも高い。また第2、3林内では低下している。相対湿度は強風ということもあり、林内でわずかに高いが、防風林による加湿効果は防風林通過後、気温と地表温の昇温によって、ほとんどみられず、特に2Hでは気温の昇温が作用して逆に乾燥化している。気温変化は地表温と比較的類似しており、2~8Hで高いが、第2林の前方で減少している。

(7) 夜間(16日20時、図5-C)：減風は一般的な変化傾向を示し、防風林の増加につれて比較的単調に減少している。地表温は夜間のため変化が小さいが、林間では放射冷却があるのに対して、林内では放射冷却が弱く保溫されている。相対湿度は第1林の後方で2%余り加湿し、その逆に、気温は林間で低下している。なお、防風林付近では少し高く保溫されている。前日の同時間の変化傾向(図4-C)とよく類似している。

(8) 夕方(17日16時、図5-D)：風向は逆で、非常に弱風である。第3、2林で非常に減風した状態から次第に増加して第1林の風上側でほぼ回復した後、第1林で急激に減少している。なお基準値は20Hの値である。前述のとおり、逆風で弱風のため、前日の変化傾向(図5-D)とは減風およびその他の気象要素も含めて大きく異なる。

地表温は林内で低く、林間では62~63°Cで高い。特に林内では日陰のため20°C以上も低下している。相対湿度は第3、2林で高く、林間ではあまり高くない。逆に第1林の風下ではむしろ低い。これは本来、風上側の砂漠としての影響が関与するためと考えられる。

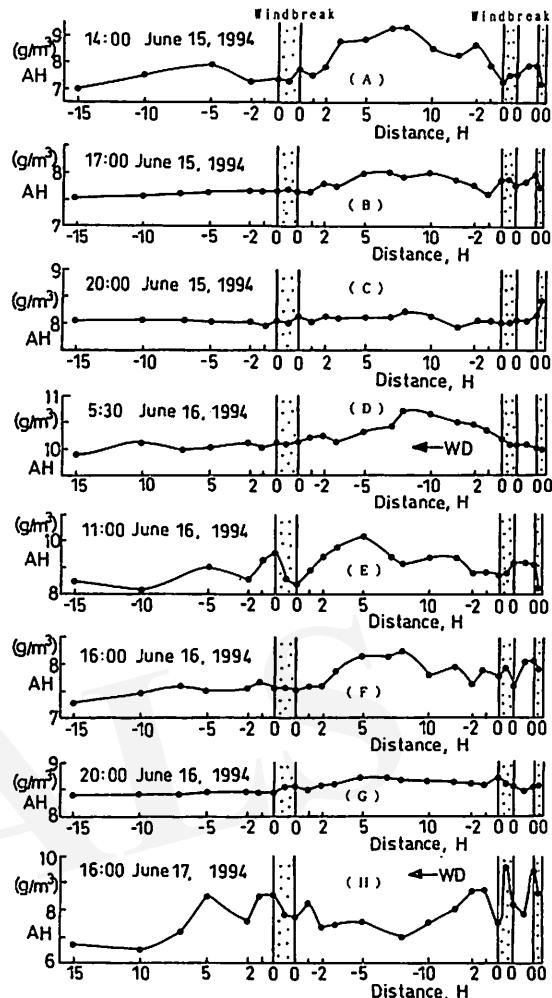


Fig. 6. Horizontal variations of absolute humidity (AH, g/m^3) caused by three row windbreaks made of main three kind trees at the cultivated land of Turpan.

(A) 14:00 June 15, (B) 17:00 June 15, (C) 20:00 June 15, (D) 5:30 June 16, (E) 11:00 June 16, (F) 16:00 June 16, (G) 20:00 June 16 and (H) 16:00 June 17, 1994.

また気温は林内では日陰のため低く、林間でやや高い。第3~1林の風下側直後ではそれぞれ少し高い。乾燥地では、気温が43°Cを超える夏季、日中の高温条件下での、さらなる昇温は作物の生育適温を超えており、作物栽培には不利である。ただし第1林の風下側の砂漠地域では、さらに1°C程度昇温しているのに対して第2、1林の林間、すなわち圃場内での気温上昇は、加湿による潜熱消費が作用して比較的小さい。このように逆風時の気象変化をみると防風林による夏季の気象緩和効果が評価できる。

(9) 前項までの特徴について、風向が防風林に直交する場合には、この防風林や類似した防風林の観測結果お

より真木ほか（1994a）の観測結果をも加えて要約するところとなる。

①風速：第1林での最低相対風速は25～35%（平均30%）程度で2～7H（平均4～5H）付近に発生する。そして次第に回復して第2林の直前（-1～-2H）で60～80%（平均70%）程度となり、第2林で急減して20%程度になる。この弱風値には道路を挟んだ2列の防風林と第1林の減風が影響する。

②地表温：昼間には地表温の変化が非常に大きい。防風林の直下では日陰によって低温となり、通過後は防風林による昇温作用によって基準値より高くなった後、次第に減少するが、道路上では高い。ただし、夕方には西日の影響で第2林の直前では高くなるが、これは西北西-西向きの防風林の場合の特徴である。なお、地温は日射による昇温の影響が大きく作用する。

③湿度：夜間には加湿降下が大きい。昼間には一般に加湿が認められるが、防風林の昇温作用による乾燥化によって相対湿度の上昇程度は小さくなる。ただし後述のように、絶対湿度では常に上昇する。

④気温：防風林内では日陰のため低温になる。通過後は防風林による昇温作用によって基準値より高くなり、次第に降下するが、道路上では高い。夜間、風下側では地表面からの放射冷却と防風林と作物からの蒸散によって低下する。防風林付近では防風林による保温作用のため少し高い。なお、気温は蒸散による降温の影響が大きく作用する。

2) 防風林による絶対湿度の変化

防風林によって絶対湿度は増加し、一般に第1・2林間で高く、逆風の場合の6月17日16時（図6-H）には第1林の風下にも影響が出て高い。当然のことではあるが、6月15日14時、16日11時、16時、17日16時（図6-A, E, F, H）のように、気温が高く相対湿度が高い場合には絶対湿度はいっそう高い。

一方、相対湿度が高く出ている6月15日20時、16日5時半、20時（図6-C, D, G）では、夜間または早朝の事例であり放射冷却によって気温が低下しているため、絶対湿度は低い。また、6月15日17時（図6-B）では夕方でもあり気温の変化が小さいため、絶対湿度への影響は小さいなどの事例があるが、いずれも防風林、ワタおよび圃場の地表面からの蒸散によって加湿している状況がよくわかる。

日中では防風林によって気温が上昇するため、相対湿度の上昇程度が小さい場合には基準値よりわずかではあるが低下して、乾燥化することがある。しかし全般に絶対湿度は増加しており、乾燥地での気象改良効果が明らか

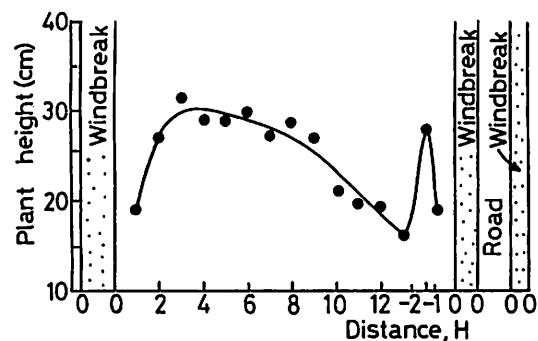


Fig. 7. Variation of plant height of cotton caused by three row windbreaks made of main three kind trees at the cultivated land of Turpan on June 15, 1994.

かに認められる。

3) 防風林による草丈の変化

ワタの草丈（各個体の最高の高さ）は防風林の高さ7mの倍数地点毎に、計15点で測定し、各10個体を平均化した。また基準点にはワタはないため、付近の圃場で防風林のない場合の草丈を求めた結果、15～25cmで、平均20cmと判断された。

草丈の変化（図7）は風下直後では低く、2～10Hで高く、3Hでは最高であった。11～13H（第2林の風上-5～-2H）付近では防風林による減風効果の低減と灌溉水の減少で草丈は低い。また第2林の-5Hでかなり高く、-1Hでは養・水分の競合、日影などの影響によって低かった。

5. 結果の考察

1) 気象変化の特徴

最高気温・地温はこの期間としては特異ではないが、最低気温は豪雨天が多かったため比較的高い。相対湿度は夜間に比較的高く、特に17日早朝には気温の急激な低下に伴って高かった。

6月15～17日の風は、午後～夜半に強く、夜半から午前中は弱い。強風の吹走時間を細かくみると、15日は平均的な時間帯に、また16日はかなり早くからやや遅くまで、17日にはやや遅くから吹くなど、日によって少し異なるが、毎日のように風速10m/s程度以上の風が吹いている。

15日14時には1.6m高的風速が3.7m/sでやや強くなり、その直後の14時半には相対湿度が急減して26.8%まで下がり、16時には時間平均風速で8.1m/sとなり、瞬間風速では11.9m/sの強風となっている。この強風

時間は23時まで続くが、相対湿度の方は23時半までは最高48%である。その後、風速が弱まると相対湿度が増加して16日9時付近まで高い。また16日の強風時には相対湿度が低く、17日の早朝に弱風になると湿度が急上昇している。これについては次節で述べる。なお17日の昼間には弱風で乾燥し、気温も高くなり、15~16日の気象状況とは異なる。

風向では、年間の強風時の最多風向はWNW~Wであるが、6月15日6時~17日18時の午後から夜間の5m高で5m/s以上の強風時には、前述と同様にSWがやや多かった。一方、夜間~午前中の5m高で4m/s以下の弱風時には一般にNEの風が吹くが、この期間には一般にNNEが多いといえ、弱風のため、および午前中に雲量が多く日射量が少ないとによる気象の不安定さも関与して風向がかなり変動した。

2) フーン風の特徴

ここで、16日1~24時と15日16時~17日6時の高さ1.6mにおける時間平均風速($U_{1.6}$, m/s)と時間平均気温($T_{1.6}$, °C)との相関関係を求めた。サンプル数はそれぞれ24, 39個で、相関係数(r)はそれぞれ、0.819, 0.858であり、1%水準で有意であった。その関係式を求めるとき、

$$T_{1.6} = 1.08U_{1.6} + 27.8, \quad T_{1.6} = 1.34U_{1.6} + 26.3$$

であり、図8-Aに示すとおりである。

次に、16日1~24時と15日16時~17日6時の高さ1.6mにおける時間平均風速($U_{1.6}$, m/s)と時間平均相対湿度($RH_{1.6}$, %)との相関関係(図8-B)を求めた。相関係数(r)はそれぞれ、0.693, 0.662(1%水準で有意)であった。その関係式を求めるとき、次のとおりである。

$$RH_{1.6} = -0.866U_{1.6} + 46.3, \quad RH_{1.6} = -0.980U_{1.6} + 46.7$$

なお、防風林での風速の移動観測高度は1.5mであるため、それに近い1.6mの風速との関係式を求めたが、高さ1.0mにおける風速と相対湿度との相関係数は、それぞれ0.850, 0.828で、いっそう高かった。

また、気温と相対湿度には同様な相関関係があり、同様に時間平均気温($T_{1.6}$, °C)と時間平均相対湿度($RH_{1.6}$, %)との相関関係(図8-C)を求めた。相関係数はそれぞれ、0.725, 0.716(1%水準で有意)であった。その関係式は次のとおりである。

$$RH_{1.6} = -0.686T_{1.6} + 64.8, \quad RH_{1.6} = -0.676T_{1.6} + 64.2$$

以上のように、風が強くなれば気温は高く、湿度は低

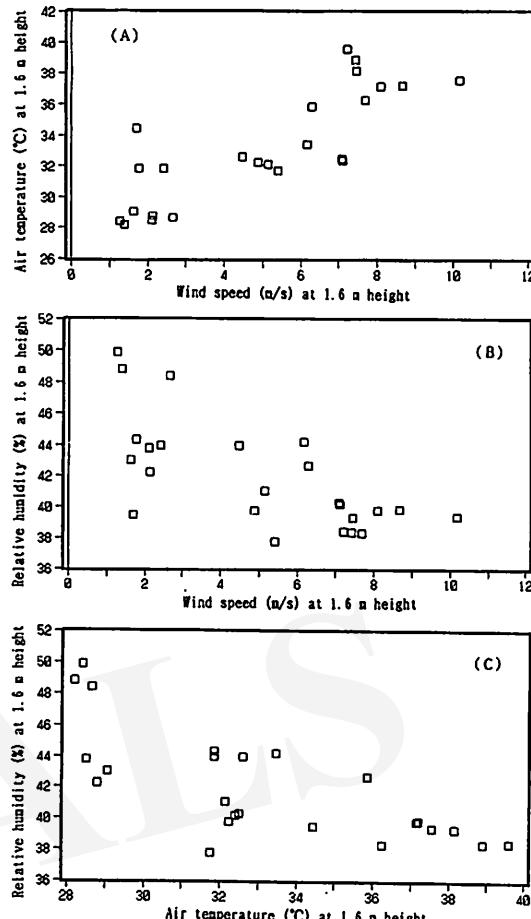


Fig. 8. Relations between (A) wind speed ($U_{1.6}$, m/s) and air temperature ($T_{1.6}$, °C), (B) wind speed (m/s) and relative humidity ($RH_{1.6}$, %), and (C) air temperature (°C) and relative humidity (%) at the height of 1.6m.

くなる特徴がよく表われている。このため、この強風は乾熱風、フーン風であると判断できる。

なお、フーン風については真木ほか(1994b)で述べたとおりであり、トルファンでは高温、低湿となる。トルファンでの強風は、ほとんどが西~西北西の風向であり、天山山脈を越えた風、山越え気流であって、強風が吹き始めるとそれ直前の気温よりも昇温するため、フーン風とされる。このような風は真木ほか(1994b)にもあるが、今回の6月の観測では73~77% (22~23日間)観測された。

また、前述の関係式の相関係数は風速と気温は高いが、風速と相対湿度ではそれ程高くない。これは風速が強くなると乾燥が進むが、むしろ乾燥と昇温との関係がより密接に作用することを表わしている。これは、一般的な気象変化でも、夜間は低温で加湿し、日中は高温で乾燥

する特性が加算されるためと考えられる。

強風は山越時の地形、高度、気圧差などにかなり影響されるためと考えられる。なお、日中の強風は平地（盆地）の方が昇温が早いため、山から盆地内に風が吹き、夜間は遅い時間帯より逆風となる、いわゆる山谷風が吹くことが多い。なお日中では山越え気流を強化する風となる。

なお、15~16日と17日の気象差については局地気象よりも、むしろマクロ気象の関与に起因すると考えられる。

3) 防風林による風速の減少

防風林の樹木の下層部では、主として枝払いと家畜の食害によって枝葉が少なくなっているため、下層部に風が収斂して、相対的に強風となることが多かった。また乾燥した強風によって主風向の風上側の新葉、新枝が風害を受けてあまり伸張せず、風下側に伸張しやすいため、風下側の農地上に進入しており、例えば大型の防風林の場合では枝が風上側に2mしか伸張しないのに対して、風下側には8mも伸張している。

防風林の間隔が100mで、樹高が7mの場合には高倍距離が14~15H程度であり、真木ほか（1992, 1994a）および今回の観測から、主風向に対して風上側最前線（第1列目）の場合にはやや広過ぎると考えられる。乾燥地では気候が厳しいため、真木ほか（1994a）などを考慮すると、作物を栽培する場合には樹高を8~10m程度にして、間隔を10~12H以下にする必要がある。減風効果とその他の気象改良効果は10~20Hで加算されるため、2列目以降であれば、風上側の1列目の影響が2列目に作用する。したがって、間隔は15~20Hでもよいと考えられる。これを考慮してか、付近の防風林では第1列目は100m、第2列目以降は200mなどにする事例がある。また防風林の樹高がまだ十分生育していない場合には、保護範囲が狭く、この例のように効果が不十分なことも多い。

4) 気温・地表温の上昇・下降

気温・地表温は、防風林の前後で日中は昇温し、夜間は降温することが多いが、乾燥地では夏季の日中の昇温はマイナスの効果となる。防風林と圃場からの蒸発散で、潜熱を消費して多少降温するが、加湿が小さい場合には昇温する。したがって、灌漑量が多いと樹木と農作物からの蒸散と地表からの蒸発量が増加し、すなわち加湿するため有効である。風速が減少すると地表温が日射によって上昇するので、夏季においてはマイナスの効果となる。したがって、灌漑を行なうことによって気温・地温の過

剰昇温が軽減できる。

5) 相対・絶対湿度の上昇・下降

乾燥地域では、防風林による加湿効果は非常に重要な気象改良・緩和効果であるが、防風林による相対湿度の下降が、特に日中、防風林の前後で発生する。前述のとおり、これは気温が上昇することに起因する場合が多く、気象緩和効果からするとマイナスの効果である。しかし、相対湿度は数値的に減少しても絶対湿度では加湿しており、効果は明らかに認められる。

1列目の防風林で樹木葉からの蒸散および林帶内部の地表面からの蒸発が作用して空気中の湿度が増加することが分かったが、一般に1列目よりも2列目の方が加湿は多くなる。また、乾燥地域の夏季の高温時には、防風林の蒸散による加湿よりも圃場内のワタ作物の蒸散、および特に灌漑した場合には地表面からの蒸発による加湿の方が大きいと考えられる。これらの加湿は防風林に対して直角な風向で、しかもあまり強風でない場合に大きくなり、オアシスとしての気象改良効果として評価できる。

6) 堆砂状況への影響

観測では防風林の下層の枝葉が少ないため、砂が溜まるようなことは少ないが、砂漠に面した防風林の一部で、下層部が密である所では堆砂効果が認められた。あまり飛砂が多くては作物の栽培ができなくなるので、そもそも耕地防風林では堆砂は少ないが、それでも砂漠、荒地に風上側で接する所では防砂効果は評価できる。

なお、防風林・ネットによる距離別の堆砂の変化については、すでに真木ほか（1992, 1994a）の報告がある。これらを考慮すると密閉度が40%程度より高い場合は砂の多くは防風林内に堆積し、低い場合には通過する。

7) 作物への効果

防風林による気象改良効果によって作物の生育は促進される。これは生育初期の気温の上昇と強制蒸散の軽減による作物体内養分（エネルギー）の消耗量減少に起因する生育促進であり、最終的には減風、加湿、蒸発散減、生育初期の加温による収量増と品質向上である。

ここでは、ワタの初期生育促進について述べたが、ワタ、トウモロコシ、コウリヤンの生育末期の草丈増加とワタの収量増については、すでに1992~1993年に同じトルファンで調査し、増収結果（真木ほか、1994a）を報告している。

8) 乾燥地の防風林樹種

砂漠を緑化するためには、防風林が不可欠であり、防風林がなければ緑化ではないといつても過言ではない。このように緑化による気象改良・緩和効果によって高品質の作物を多収穫するためには、防風林が基本であるとのデータを示した。

中国北西部の乾燥地域における防風林は、水が多くあればボプラが、少なければ胡楊、白欅、沙棗が、非常に少なければ紅柳（タマリスク）、沙拐棗が多く利用されている。タマリスクは耐風、耐干、耐寒、耐暑、耐砂、耐塩性などが最も大きい樹種の一つである（真木ほか、1992）が、ここでは、砂漠の最前線用（タマリスク）ではなく、砂漠と農地の境界（前線）用の防風林樹種である胡楊、白欅、沙棗の3種の防風林を利用して実施した結果、これらの防風林樹種は乾燥地の耕地防風林として適することを明らかにした。

6. まとめ

1994年6月中旬に乾燥地トルファンの新疆生物土壤沙漠研究所吐魯番沙漠研究站で数種・数列の防風林による気象改良、防砂、作物生育促進の各効果について調査を行なった。得られた主な結果は次のとおりである。

(1) トルファンでは、風速の増加につれて気温は上昇し、相対湿度は低下する気象特性をもったフェーン風の吹走日が夏季、6月には3/4程度あった。

(2) 風速は、強風時の主風向に対する1列目防風林（第1林）で急激に減少する。最低相対風速は4~5Hで30%程度となり、第2林付近では70%程度に回復して、再び2・3列目防風林（第2・3林）で20%程度に減少する。

(3) 乾燥地の農地、作物を保護するには1列・2列目防風林の間隔は10~12H以下にすることが望ましい。減風効果とその他の気象緩和効果も、間隔が10~20Hの場合に加算されるため、2列目以降では15~20Hでよいと考えられる。

(4) 乾燥地の夏季、昼間には防風林付近の気温・地温は基準値以上に上昇し、作物には適温以上でマイナスの効果となる。一方、夜になると林内では保温されるが、林間での放射冷却による降温は作物にとって有効である。

(5) 地面からの蒸発に、さらに防風林と耕地内作物からの蒸散が作用して加湿する。特に夜間、弱風時には気流の停滞のため顕著である。絶対湿度は常に増加するが、昼間には防風林による昇温作用で相対湿度は低下することがある。

(6) 砂漠の境界付近では防風林による防砂・堆砂効果

は大きい。密閉度が40%程度より高いと、砂の多くは防風林内に溜まり、低いと防風林を透過する。

(7) 防風林は減風による昇温と強制蒸散による作物の消耗を軽減するため、生育初期の作物は生育が促進され、最終的に高品質で多収穫へと有効に作用する。

(8) 乾燥地トルファンでは沙棗・白欅・胡楊防風林が乾燥地の耕地防風林に適する。複数列の混交防風林を造成すれば緑化、オアシス化に好適である。

引用文献

- 治沙造林学編委会（1984）：『治沙造林学』中国林業出版社：323p.
 黄 丕振・潘 伯榮・周 智斌・真木太一（1993）：吐魯番沙地人工灌草植被對小気候的改良効果。「日中共同研究成果発表報告会論文集」：35-41。
 真木太一・潘 伯榮・黄 丕振・間 国榮（1992）：中国トルファンの乾燥地におけるタマリスク防風林による微気象改良。「農業気象」48-2：157-164。
 真木太一・潘 伯榮・杜 明遠・上村賛治（1993）：中国トルファンの乾燥地における防風ネットによる微気象改良と飛砂防止。「農業気象」49-3：159-167。
 真木太一・潘 伯榮・杜 明遠・上村賛治（1994a）：中国トルファンの乾燥地における2列の防風林による微気象、堆沙、作物への影響。「農業気象」49-4：247-255。
 真木太一・潘 伯榮・杜 明遠・上村賛治（1994b）：中国北西部の乾燥地トルファンにおける砂漠・オアシス気候と蒸発散特性。「農業気象」50-3/4：185-195。
 潘 伯榮・黄 丕振・劉 志俊・真木太一（1993）：吐魯番防護林の気象効応。「日中共同研究成果発表報告会論文集」23-30。
 新疆農業科学研究院（1976）：吐魯番県林網系統防風効能的研究。「沙漠の治理」科学出版社：81-87。
 新疆生物土壤沙漠研究所（1978）：『新疆沙漠和改造利用』新疆人民出版社：124p.
 張 廉良・徐 文錦・林 長清（1990）：乾安県農田林網生態経済効益的研究、「防護林研究」1：296-305。
 BRANDLE, J.R., HINTZ, D.L. and STURROCK, J.W. (1988): *Wind-break Technology*. Elsevier, Amsterdam: 598p.
 SONG, Z. and WEI, L. (1990): The relation between micro-climatic factors in shelterbelt networks and crop yield. *Protective Plantation Technology, Northeast Forestry University*: 211-217.
 TULUFAN WORK STATION OF FORESTRY in XINJIANG (1990): The ecological effect of sand-fixing shrubbery in Tulufan area, Xinjiang. *Protective Plantation Technology, Northeast Forestry University*: 272-275.
 XIAO, L. (1990): Shelterbelt benefits and planting technique in the mixed zone between farmland and pasture land in Houshan, Inner Mongolia. *Protective Plantation Technology, Northeast Forestry University*: 301-304.
 ZHAO, H. (1990): Evaluation of effects of farmland shelterbelts in the Gobi Desert area. *Protective Plantation Technology, Northeast Forestry University*: 209-210.
 ZHU, Z., LIU, S., WU, Z. and DI, X. (1986): *Deserts in China*. Inst. Desert Research, Lanzhou: 132p.

**Micro-meteorological Improvement for Crop Growth
Environment of Cultivated Fields by Windbreaks in the
Arid Land of Turpan in Xinjiang, China**

Taichi MAKI*, Borong PAN**, Ryoji SAMESHIMA*** and Mingyuan DU***

The effects of windbreaks on the meteorological improvement or alleviation, protection of sand and growth promotion of crops were investigated near the Turpan Desert Research Station in the arid land of Turpan, Xinjiang, China in the second ten days of June, 1994. The obtained results are mainly as follows:

(1) Foehn wind blows on the 3/4 days of June in summer at Turpan. The wind is characterized by relative humidity decreases with the increases of wind speed and air temperature.

(2) Wind decreases significantly by the first windbreak of the windward. Relative wind speed is about 30% as a minimum at 4 to 5 H of the leeward, about 70% near the second windbreak, and about 20% in the second and third.

(3) It is useful for protection of crops in arid lands that the interval of the first and second windbreaks is under 10 to 12 H (multiple distance of plant height, windward and leeward sides have -, negative and +, positive signs). As the effects of decreasing wind and of the other climatic alleviation are accumulated mainly in the cases from 10 to 20 H distances, the interval of 15 to 20 H is considered to be enough after the second windbreak.

(4) In the daytime in summer, excessive increases of air and soil temperatures have a negative effect on crops because of the value over a suitable temperature in arid lands. It is useful for crops that the temperature decrease between two rows of windbreaks by radiation cooling in the night time, however, the temperatures keep being high inside the windbreak.

(5) The humidity in the air increases by the evaporation from the soil surface and the transpiration from windbreak trees and crops, in particularly in the case of weak wind because of air current stagnation at night. The absolute humidity increases, however, relative humidity seems to decrease based on the increasing temperature by windbreaks in the daytime.

(6) The effects of sand protection and accumulation are large at the border of desert and oasis. The sand is mainly accumulated near the windbreak over about 40% of windbreak density, but passed through the windbreak below the value.

(7) Windbreaks increase growth promotion at the young growth stage of crops, because of temperature increasing and of decrease of energy consumption in the crop based on decreasing wind. Consequently, crops with the high quality and high production are obtained.

(8) Windbreaks made of *Elaeagnus a.*, *Ulmus p.* and *Populus e.* are suitable for an agricultural field in the arid land of Turpan, and windbreaks made of multiple rows with mixed trees are most suitable for making oasis.

Key Words: Arid land, Climatic alleviation, Meteorological improvement, Windbreak, Wind speed, Temperature

* Division of Agrometeorology, Department of Natural Resources, National Institute of Agro-Environmental Sciences.
3-1-1, Kannodai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

** Turpan Desert Research Station, Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Chinese Academy of Sciences. 40, Beijing South Road, Urumqi, China.

*** Environmental Resources Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. 1-2, Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

(Received, January 25, 1995; Accepted, September 13, 1995)

Tracing the Movement during Evaporation of Salt Water Through a Sand Layer and Solid Paper Core Using Three Different Anions as Tracers

Hiroyuki II*, Yoshiyuki OHTSUKA*, Tetsuo OGAWA**,
Yukuo ABE**, and Tomoharu YAMAGUCHI**

Abstract

The movement during evaporation of sand salts through both sand and a paper core was studied using three kinds of anions as tracers. From concentrations of these tracers salt movement within a pure sand and mixed sand was measured. In the pure sand test, salt water moved mainly from the mid and lower depth sands to the upper section of the paper core through the mid and lower sections of the paper core. Some salt water moved from the lower sand to the surface sand but salt water did not move from the surface sand to the paper core. In the mixed sand test, salt water moved mainly from the lower sand to the surface sand. There was a small amount of movement toward the paper core buried in the sand from the surrounding sand. Only at the beginning of evaporation, was there a movement toward the upper section of the paper core. Therefore, it seems salt movement depends on the properties of the sand itself.

Key Words: Paper core, Evaporation, Movement, Tracer, Desert, Salt

1. Introduction

Salt accumulation in soil is a serious problem for agricultural areas in arid and semi-arid lands. Although leaching soil by saturating with water is an effective method to rid soil of excess salts, leaching requires a lot of water and the drainage produced by leaching must be dealt with (FAO/UNESCO, 1967; USA NATIONAL ACADEMY SCIENCES, 1974). ABE *et al.* (1992) and Li *et al.* (1993) studied new methods of accumulating salt by inserting a paper core into salt laden sand. These methods used only a small amount of water which was needed to saturate the sand with. After the sand was saturated with water, the salt which was in the sand during evaporation accumulated in the paper core. During a previous study of salt movement however, salt movement from the sand to the paper core was not clear. Therefore, in order to clearly define this movement, three

kinds of anion were used as tracers and injected into different positions in the sand and salt movement within the sand was studied in detail.

2. Experimental Method

1) Paper core

Paper was used to make a core because a paper core is porous and absorbs a lot of water. The paper (wiper-s-200 marketed in Japan by Jyuzyo Kinpari Industries Co., LTD., 12.0 × 20.6 cm) was coiled around a metal wire. Its length was 12 cm and diameter was 1 cm.

2) Sand

Two sand samples were used. One was pure sand (Flattery quartz-sand from Australia). The hydraulic conductivity of pure sand with a 1.5 g cm^{-3} dry density was $3.4 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$. The other sand was a mixture of 99 % sand and 1 % bentonite (Kunigel bentonite marketed in

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

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

Japan by Kunimine Industries Co., LTD.) Bentonite was composed of approximately 60 % montmorillonite, 30 % quartz, and 5 % feldspar. This sand is termed mixed sand. The hydraulic conductivity of mixed sand with a 1.6 g cm^{-3} dry density in the experiment was $1 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$.

3) Test apparatus

Figure 1 shows a test apparatus with an inner diameter of 5 cm and a height of 10 cm.

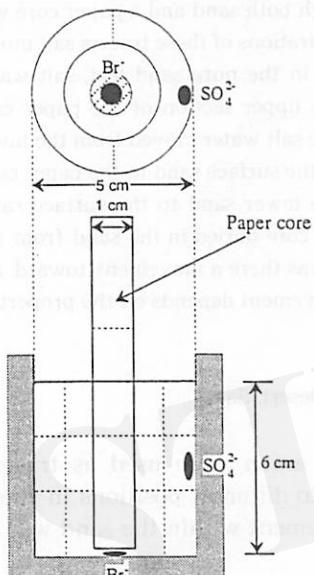


Fig. 1. Test apparatus.

This apparatus is made up of an acrylic resin cylinder. This cylinder was filled with 200 grams of pure sand or mixed sand. 48 cm^3 NaCl solution whose concentration was 0.04 % was simultaneously poured into the sand and mixed homogeneously. The entire mixture was saturated with water. A paper core saturated with 4 cm^3 of distilled water was inserted into the center of the sand. A 0.5 cm^3 NaBr solution whose concentration was 5 % was injected into the center of the sand at the bottom of the cylinder in order to investigate mainly movement in the lower depth sand. A 0.5 cm^3 Na_2SO_4 solution whose concentration was 2.5% was injected into the boundary of the sand and cylinder 3 cm in depth in order to investigate mainly movement in the middle depth sand and outside the paper core.

4) Method

The test apparatuses were dried in the room whose temperature was fixed at 35°C . Under this condition, the evaporation rate from water in a pan with a 62.7 mm diameter was 3,800 mm per year. During the experiment, the weights of the test apparatuses were measured. At each degree of saturation, the test apparatuses were dismantled and separated as shown in Fig. 1. Distributions of water content were determined by weights of the separated samples. Cl^- , Br^- and SO_4^{2-} concentrations were deter-

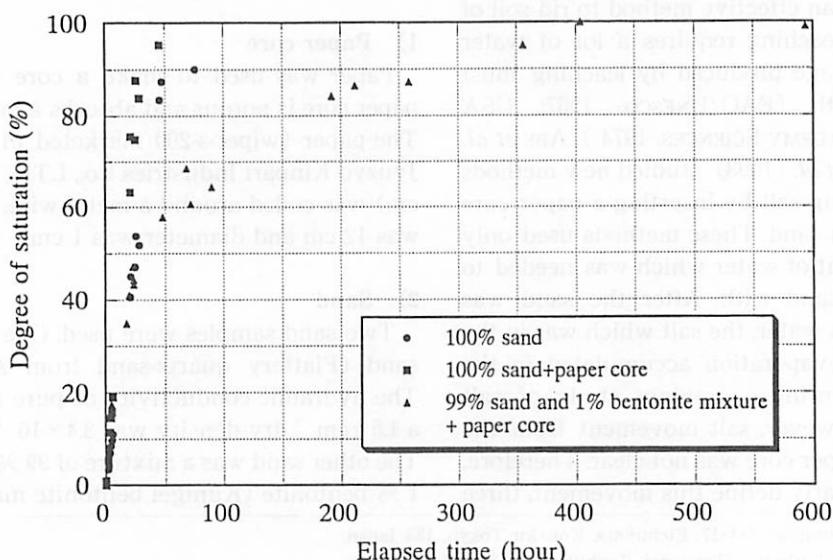


Fig. 2. Changes in degree of saturation for test apparatuses.

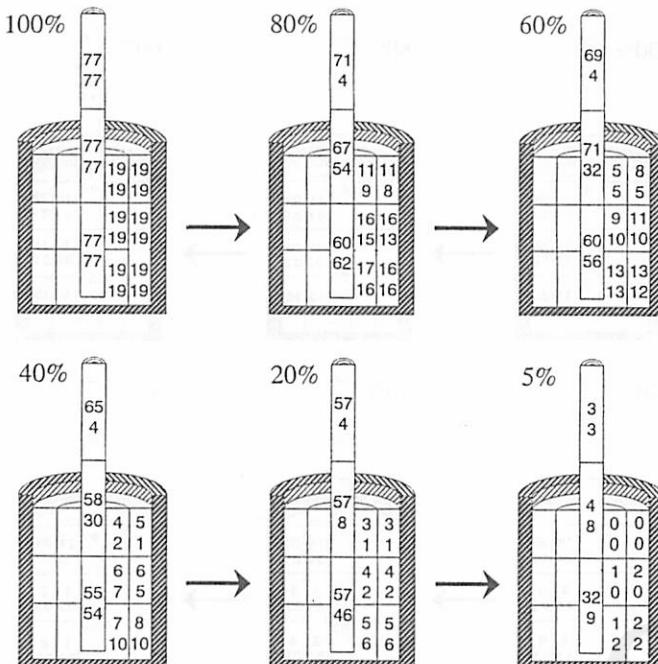


Fig. 3. Changes in water content distributions (%) for test apparatus of pure sand and mixed sand.
upper number: pure sand, lower number: mixed sand

mined by ion exchange chromatography for the paper core and sand. There were 9 pure sand and 6 mixed sand apparatuses.

3. Experimental Results and Discussion

Figure 2 shows the changes in the degree of saturation for the test apparatus. There were three separate test apparatuses, pure sand, pure sand with a paper core and mixed sand with a paper core respectively. From the start of evaporation, the decrease of water content for pure sand with a paper core was larger than that for pure sand. From the 80 to 100 % degree of saturation, the changes in pure sand with a paper core and mixed sand with a paper core were the same. However after the 80 % degree of saturation, the decrease of water content for pure sand with a paper core was larger than that for mixed sand with a paper core. Therefore, the existence of a paper core increased the evaporation rate of sands and the presence of bentonite decreased the evaporation rate of sands.

1) Pure sand with a paper core

Figure 3 shows the change in water content distributions for test apparatuses of pure sand with a paper core. The water content in sand decreased from the beginning of evaporation. As the water content in the surface was smaller than that in the lower depth sands, there was a water content gradient in the sand. However the water content in the paper core was maintained (at more than 55 %) and uniform from the 20 to 100 % degree of saturation.

Figures 4, 5 and 6 show the changes in Cl^- , Br^- and SO_4^{2-} distributions in soil respectively which were normalized by the total of each Cl^- , Br^- and SO_4^{2-} concentration distributions in solution ($\text{g}/100\text{g}$, $\text{g}/1,000\text{g}$) in the test apparatuses of pure sand with a paper core. The Cl^- in the upper section of the paper core increased markedly. However the Cl^- in the mid and low sections of the paper core was unchanged from 1 % between the 5 and 80 % degree of saturation. The Cl^- in the surface sand increased gradually. The Cl^- in the mid and lower depth sands decreased. The Cl^- solution concentration in the sand was $0.2\text{g}/100\text{g}$ at the beginning of evaporation. The Cl^-

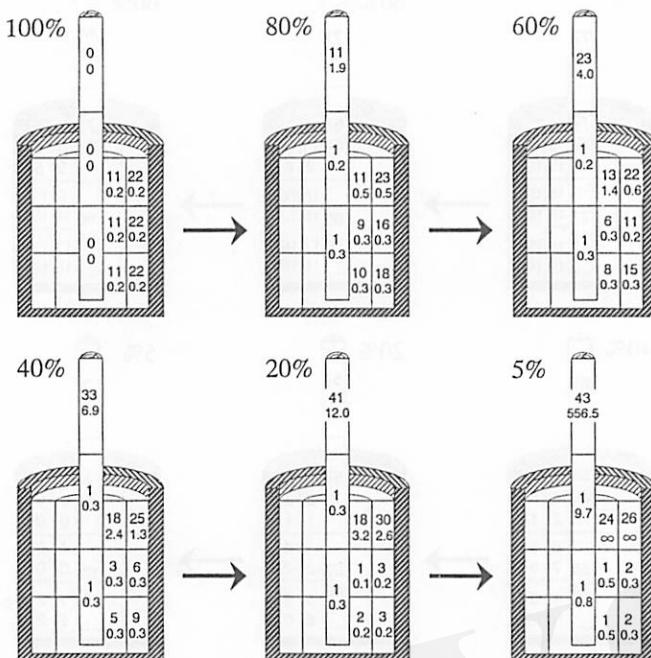


Fig. 4. Changes in Cl^- distributions in soil (%) and Cl^- solution concentration distributions (g/100g) for test apparatus of pure sand.
 upper number : Cl^- distributions in soil (%)
 lower number : Cl^- solution concentration distributions (g/100g)

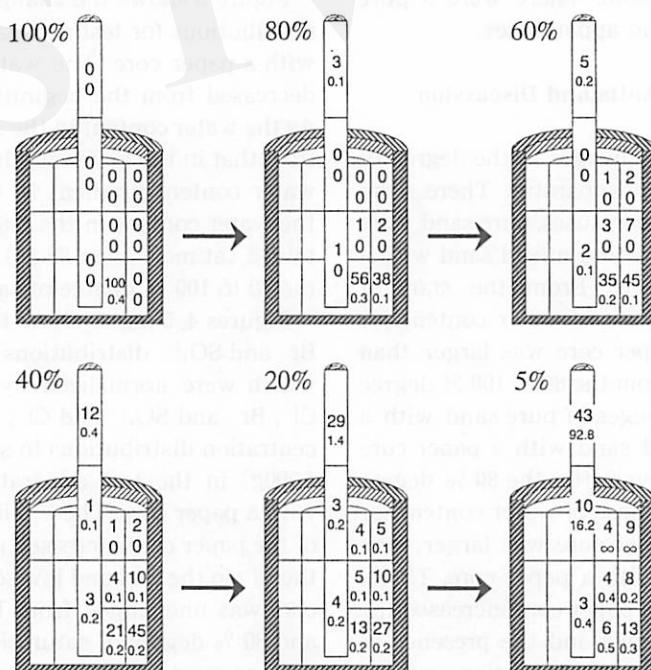


Fig. 5. Changes in Br^- distributions in soil (%) and Br^- solution concentration distributions (g/100g) for test apparatus of pure sand.
 upper number : Br^- distributions in soil (%)
 lower number : Br^- solution concentration distributions (g/100g)

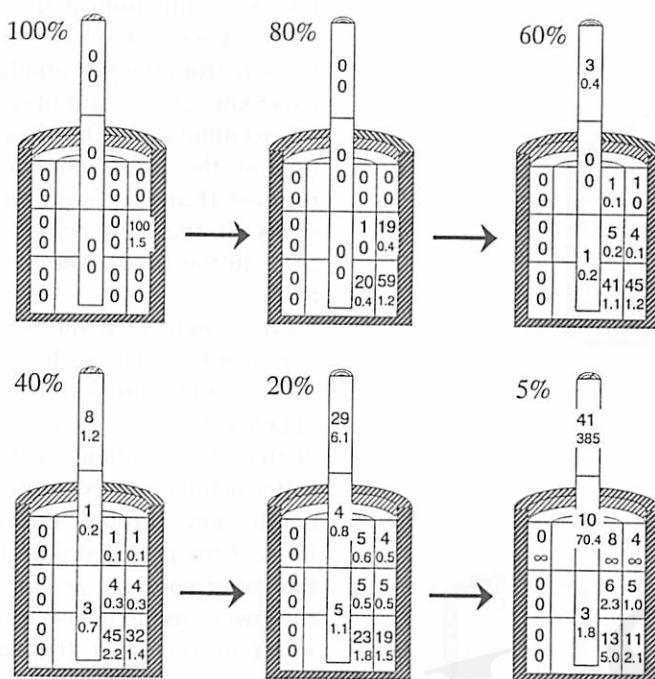


Fig. 6. Changes in SO_4^{2-} distributions in soil (%) and SO_4^{2-} solution concentration distributions (g/1,000g) for test apparatus of pure sand.

upper number: SO_4^{2-} distributions in soil (%)

lower number: SO_4^{2-} solution concentration distributions (g/1,000g)

solution concentrations both in the upper section of the paper core and in the surface sand increased because of evaporation and exceeded the solubility of Cl^- at the 5 % degree of saturation because the saturated solution of NaCl contains 16g/100g for Cl^- at 35°C. However the Cl^- solution concentrations both in the mid and lower sections of the paper core and in the mid and lower depth sands were unchanged from 0.2~0.3 g/100 g between the 20 and 80 % degree of saturation. If the Cl^- solution moves from the surface sand to the mid section of the paper core, the Cl^- solution concentration in the mid section of the paper core will increase from 0.2g/100g. Therefore, Cl^- moved from the mid and lower depth sands through the mid and lower sections of the paper core to the upper section of the paper core. As a result of salt water movement, at the 5 % degree of saturation, the accumulated Cl^- in the upper section of the paper core and the surface sands reached 43 and 50 % of the total Cl^- respectively. The Cl^- in the sand and paper core except the upper section of the paper core and the

surface sand were less than 2 % of the total Cl^- respectively.

The Br^- in the injected sand decreased but the Br^- found in the sand surrounding the injected sand increased. Therefore Br^- moved horizontally at the beginning of evaporation because of diffusion. The Br^- and the Br^- solution concentration in the upper section of the paper core increased from the beginning of evaporation. From the 5 to 40 % degree of saturation, the Br^- solution concentrations both in the mid and lower sections of the paper core and in the mid and lower depth sands were the same and different from that in the surface sand. If the Br^- solution moves from the surface sand to the mid section of the paper core, the Br^- solution concentration in the mid section of the paper core will be different from that in the lower section of the paper core and the mid and lower depth sand. Therefore, the moved Br^- in the upper sections of the paper core seemed to come from the mid and lower sections of the paper core. As a result of salt water movement, the accumulated Br^- in the

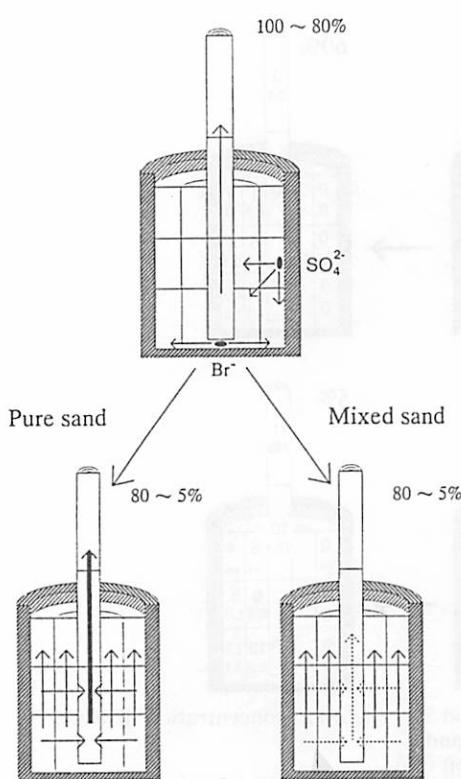


Fig. 7. Schematics of migration.

upper section of the paper core and the paper core reached 43 and 56 % of the total Br^- at the 5 % degree of saturation. The Br^- in the sands were 4~13 % of the total Br^- respectively. Br^- accumulated effectively in the paper core compared with Cl^- because the Br^- solution was injected into the sand below the paper core.

The SO_4^{2-} in the injected sand decreased to 4 % but the SO_4^{2-} found in the sand below the injected sand increased to 86 % from the 60 to 100 % degree of saturation. Therefore, the SO_4^{2-} moved in a downward direction from the beginning of evaporation. The SO_4^{2-} and Br^- distributions between the 5 and 60 % degree of saturation were very similar. The SO_4^{2-} and the SO_4^{2-} solution concentration in the upper section of the paper core increased from the 5 to 80 % degree of saturation. From the 5 to 40 % degree of saturation, the SO_4^{2-} solution concentrations both in the mid and lower sections of the paper core and in the mid and lower depth sands were the same and different from that in the surface sand. The SO_4^{2-} results as well as

the Br^- results indicated that the moved SO_4^{2-} in the upper sections of the paper core seemed to come from the mid and lower sections of the paper core. As a result of salt water movement, the accumulated SO_4^{2-} in both the upper section of the paper core and the paper core reached 41 and 54 % of the total SO_4^{2-} respectively at the 5 % degree of saturation. The SO_4^{2-} in the sands were 4~13 % of the total SO_4^{2-} .

Consequently, at the beginning of evaporation, point sources such as Br^- and SO_4^{2-} were diffused and there was a movement toward the upper section of the paper core. After the 80 % degree of saturation, as shown in Fig. 7, salt water mainly moved from the mid and lower depth sands through the mid and lower sections of the paper core to the upper section of the paper core. Some salt water moved from the lower sand to the surface sand but little salt water moved from the surface sand to the paper core.

2) Mixed sand with a paper core

Figure 3 shows the change in water content distributions for test apparatuses of mixed sand with a paper core. The water content in sand for the mixed sand decreased from the beginning of evaporation as well as for the pure sand. However the changes of water content in the paper core between the pure sand and the mixed sand were different. The upper section of the paper core for the mixed sand dried up at the 80 % degree of saturation. However, the water content in the lower section of the paper core was maintained till the 20 % degree of saturation. On the other hand, the water content in the upper section of the paper core for the pure sand was maintained and uniform till the 20 % degree of saturation. Therefore, the water content for the mixed sand decreased from the surface of the sand and the upper core. As the water content in the surface sand was smaller than that in the lower depth sands, there was a water content gradient in the sand and paper core.

Figures 8, 9 and 10 show the changes in each Cl^- , Br^- and SO_4^{2-} distributions which were normalized by the total of each Cl^- , Br^- and SO_4^{2-} and Cl^- , Br^- and SO_4^{2-} concentration

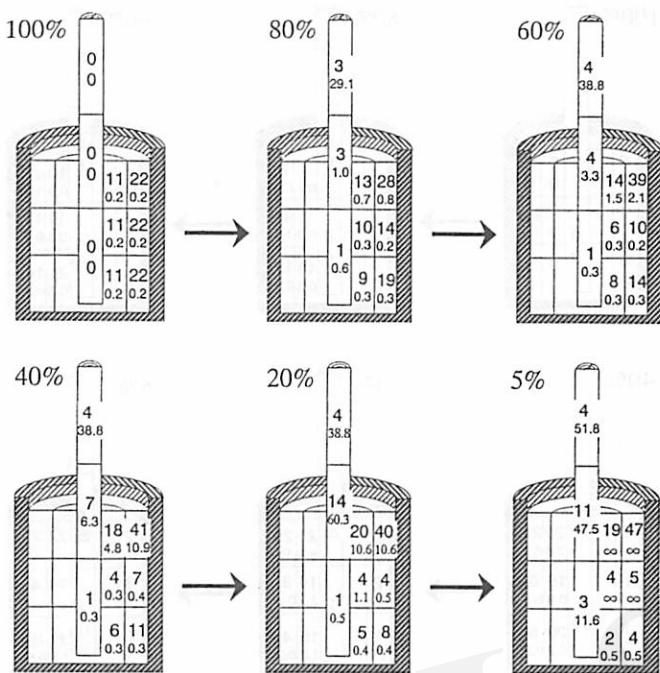


Fig. 8. Changes in Cl⁻ distributions in soil (%) and Cl⁻ solution concentration distributions (g/100g) for test apparatus of mixed sand.
 upper number : Cl⁻ distributions in soil (%)
 lower number : Cl⁻ solution concentration distributions (g/100g)

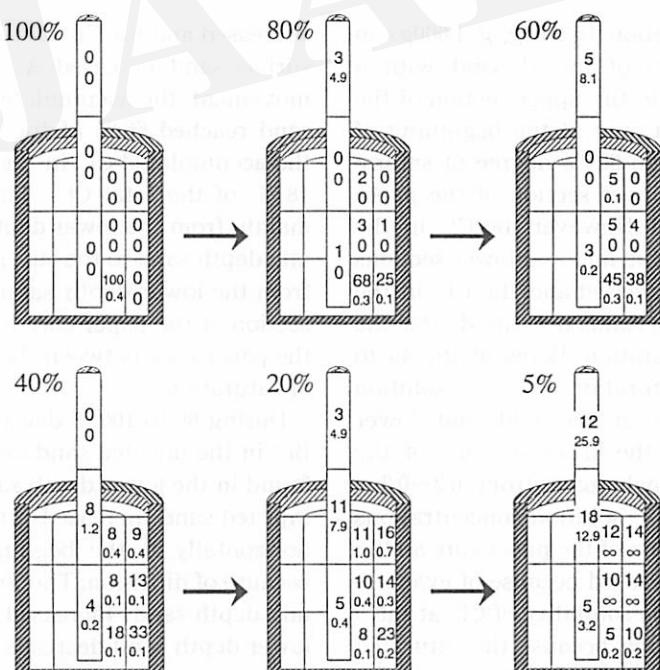


Fig. 9. Changes in Br⁻ distributions in soil (%) and Br⁻ solution concentration distributions (g/100g) for test apparatus of mixed sand.
 upper number : Br⁻ distributions in soil (%)
 lower number : Br⁻ solution concentration distributions (g/100g)

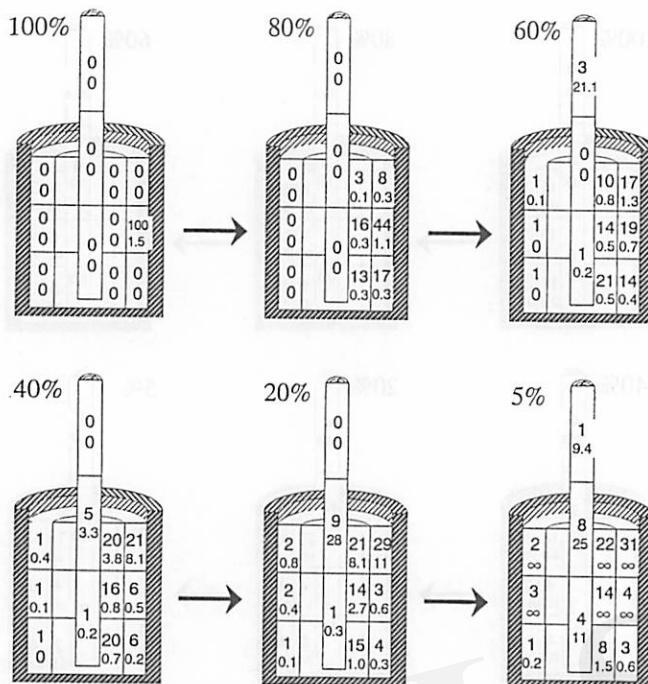


Fig. 10. Changes in SO_4^{2-} distributions in soil (%) and SO_4^{2-} solution concentration distributions (g/1,000g) for test apparatus of mixed sand.

upper number : SO_4^{2-} distributions in soil (%)

lower number : SO_4^{2-} solution concentration distributions (g/1,000g)

distributions in solution (g/100g, g/1,000g) in the test apparatuses of mixed sand with a paper core. The Cl^- in the upper section of the paper core increased only at the beginning of evaporation. After the 80 % degree of saturation, the Cl^- in the upper section of the paper core was unchanged. However the Cl^- in the surface sand and in the mid and lower sections of the paper core increased and the Cl^- in the mid and lower depth sands decreased after the 80 % degree of saturation. Between the 40 to 100 % degree of saturation, the Cl^- solution concentrations both in the mid and lower depth sands and in the lower sections of the paper core were unchanged from 0.2~0.3g/100g. However, the Cl^- solution concentrations both in the mid section of the paper core and in the surface sand increased because of evaporation and exceeded the solubility of Cl^- at the 5 % degree of saturation because the saturated solution of NaCl contains 16g/100g for Cl^- at 35°C. After the 40 % degree of saturation, the Cl^- in the mid depth sand was unchanged. However the Cl^- in the lower depth sand

decreased and the Cl^- in the paper core and the surface sand increased. As a result of salt water movement, the accumulated Cl^- in the surface sand reached 66 % of the total Cl^- . However, the accumulated Cl^- in the paper core reached 18 % of the total Cl^- . Therefore, Cl^- moved mainly from the lower depth sand through the mid depth sand to the surface sand and slightly from the lower depth sand through the lower section of the paper core to the mid section of the paper core between the 5 and 100 % degree of saturation.

During 80 to 100 % degree of saturation, the Br^- in the injected sand decreased but the Br^- found in the lower depth sand surrounding the injected sand increased. Therefore Br^- moved horizontally at the beginning of evaporation because of diffusion. The Br^- in the surface and mid depth sands increased and the Br^- in the lower depth sand decreased after the 80 % degree of saturation. The Br^- in the paper core increased marginally after the 80 % degree of saturation. However, after the 40 % degree of saturation, the Br^- in the mid depth sand was

unchanged. The Br^- solutions in the mid section of the paper core and the surface sand increased after the 60 % degree of saturation because of evaporation. As a result of salt water movement, the accumulated Br^- in the paper core reached 35 % of the total Br^- at the 5 % degree of saturation. The accumulated Br^- in the surface sand were 26 % of the total Br^- . Therefore, Br^- moved from the lower depth sand to the paper core and the surface sand after the 80 % degree of saturation.

Between the 80 and 100 % degree of saturation, the SO_4^{2-} in the injected sand decreased but the SO_4^{2-} found in the sand surrounding the injected sand increased. Therefore, SO_4^{2-} diffused at the beginning of evaporation. After the 80 % degree of saturation, the SO_4^{2-} in the surface sand and in the paper core increased. However the SO_4^{2-} in the mid and lower depth sands decreased after the 80 % degree of saturation. After the 40 % degree of saturation, the SO_4^{2-} in the mid depth sand was unchanged. The SO_4^{2-} did not accumulate in the upper section of the paper core. The SO_4^{2-} solutions in the mid section of the paper core and the surface sand increased after the 60 % degree of saturation. As a result of salt water movement, the accumulated SO_4^{2-} in the paper core reached 13 % of the total SO_4^{2-} at the 5 % degree of saturation. The accumulated SO_4^{2-} in the surface sand reached 53 % of the total SO_4^{2-} at the 5 % degree of saturation. Therefore, SO_4^{2-} moved mainly from the lower depth sands to the paper core and the surface sand after the 80 % degree of saturation.

Consequently, only at the beginning of evaporation, was there a movement toward the upper section of the paper core and point sources such as Br^- and SO_4^{2-} were diffused in the sands. After the 80 % degree of saturation, as shown in Fig. 7, salt water moved mainly from the lower sand to the surface sand. There was a little movement toward the paper core buried in the sand from the surrounding sand.

4. Discussion

As grain size becomes larger, velocity of capillary water movement increases (FELITSIANT, 1966). Therefore, velocity of capillary water

movement through the pure sand seems to be greater than that through the mixed sand. As the paper core in the pure sand maintained a high water content (until 20 % degree of saturation), water lost through evaporation in the upper section of the paper core seems to have been supplied by capillaries from the sand through the paper core. Therefore, a lot of salt in the upper section of the paper core seems to have been accumulated from the sand. As evaporation occurred in the surface sand of the pure sand, water was supplied by capillaries from the lower depth sand to the surface sand. The amount of accumulated salt in the paper core was larger than that in the surface sand. Therefore, capillary water movement in the paper core was larger than that in the surface sand.

In the mixed sand as the surface of sand and the paper core were completely dry at the beginning of evaporation, the evaporation rate of water from sand seems to be larger than the velocity of capillary water movement. Therefore, only at the beginning of evaporation, was there a movement toward the upper section of the paper core. From the 80 % degree of saturation, there was not a movement toward the upper section of the paper core. Therefore in the mixed sand, salt water moved mainly from the lower depth sand to the surface sand. There was marginal movement toward the paper core buried in the sand from the surrounding sand. Therefore, accumulated salt in the paper core in the pure sand was greater than that in the mixed sand.

5. Conclusion

We performed tracer tests through sand layer and solid paper core during evaporation using three different anions as tracers. Three tracers were injected into different positions of the soil. In the pure sand test, at the beginning of evaporation, point sources were diffused. After the 80 % degree of saturation, salt water moved mainly from the mid and lower depth sands through the mid and lower sections of the paper core to the upper section of the paper core. Some salt water moved from the lower sand to the surface sand but little salt water

moved from the surface sand to the paper core.

In the mixed sand test, only at the beginning of evaporation, was there a movement toward the upper section of the paper core. Point sources such as Br^- and SO_4^{2-} were diffused in the sands. After the 80 % degree of saturation, salt water moved mainly from the lower sand to the surface sand. There was little movement toward the paper core buried in the sand from the surrounding sand.

FAO/UNESCO (1967): *International Source-book on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity*: 563-627.

Ii, H., OHTSUKA, Y., OGAWA, T., ABE, Y. and YAMAGUCHI, T. (1993) : Experimental study on salt capture method using a paper roll. *J. Arid Land Studies*, 3 : 1-7. (in Japanese)

USA NATIONAL ACADEMY SCIENCES (1974) : *More water for arid lands*: 73-137.

References

- ABE, Y., YAMAGUCHI, T., YOKOTA, S., OHTSUKA, Y. and Ii, H. (1992): The capture methods of salt accumulated on the surface of soil. *J. Arid Land Studies*, 2 : 19-27. (in Japanese)

3種類の陰イオンをトレーサとして用いた時の砂層とペーパーコア中の蒸発過程での塩分移動現象について

井伊博行・大塚義之・小川哲夫…・安部征雄…・山口智治…

3種類の陰イオンをトレーサとして用い、トレーサの濃度分布変化から蒸発過程での砂とペーパーコアの中の塩分の移動状況を調べた。2種類の砂が実験に用いられた。砂のみの場合、塩分は主に表層を除く砂層部からペーパーコアの土中部に集まり、その後、ペーパーコアの上部に移動している。また、砂層下部から上部への塩分移動も見られる。しかしながら、砂層の表層部からペーパーコアへの移動はほとんど見られない。砂と粘土を混ぜたものでは、塩分は主に砂層下部から上部へ移動している。砂層部からペーパーコアの土中部への移動は小さく、ペーパーコア上部への塩分移動は蒸発初期にのみ見られる。このように、砂の特性によって水の動きは大きく変化する。

Evaporation Effect of a Salt Capturing Stick and Its Influence on Movement of Solution and Solute in Soil

Yukuo ABE*, Jun TSURUI*, Tomoharu YAMAGUCHI*,
Yoshiyuki OHTSUKA ** and Hiroyuki II **

Abstract

The salt absorption effect of a salt capturing stick, a new method of soil salt removal, was experimentally studied using a column scale. The lower section of a salt capturing stick was inserted into a soil sample, and the upper section remained above the soil surface. Two evaporation surfaces were created; the surface of the stick and the surface of the soil. Data showing changes in water evaporation, distribution of soil solution and solute was obtained. The effect the salt capturing stick had upon the soil salt was examined.

The results were as follows:

- 1) The stick displayed great evaporation intensity. Although the cross sectional surface area of the stick at the soil surface line was very small compared to the total soil surface area, the salt absorption effect of the stick was significant.
- 2) The water content of the soil surrounding the stick to a distance of 1.0cm away from the stick, was high compared with the outer soil. The effect of the stick upon soil solution movement was strongly evident.
- 3) The solute content of the soil surrounding the stick to a distance of 1.0cm away from the stick was lower than the solute content of outer soil areas. Solute did not concentrate near the stick in the surface layer, rather solute concentrated in a ring-like fashion slightly away from the stick.
- 4) The percentage of NaCl captured by the stick in the sample was one-third to one-fifth of the total accumulated salt.

Key Words: Salt accumulation, Salt capturing stick, Evaporation, Soil improvement

1. Introduction

The removal of accumulated soil salts which result from evaporation and drying of soil solutions is one of the most serious problems faced when combating desertification related with irrigated agricultural land, or desertification related to rainfed crop land in arid and semi-arid regions of the world. Furthermore, in Japan, the same kind of soil degradation related problems occur in commercial greenhouses because they also exist under dry environmental conditions.

In order to secure a more stable world food supply, the soil-salt accumulation problem in highly productive agricultural land must be immediately addressed.

Many methods to prevent and reduce salt accumulation in the surface layer have already been proposed but a complete realistic method has yet to be found. Every method proposed thus far has inherent problems concerning technology, economic cost and sustainable effect. Therefore in order to stop the endless circulation of salt accompanied with solution movement in soil, new methods of capturing and removing salt from the soil surface have

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

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

(Received, May 29, 1995; Accepted, September 13, 1995)

Table 1. Physical properties of two kinds of the specimens.

kind of soil	mass of Standard Sand (g)	mass of Kibushi Clay (g)	soil texture			bulk density (g/cm ³)	porosity (%)	specific surface area (m ² /g)	density of soil particle (g/cm ³)	mass of saturated solution (g)	degree of saturation (%)	volumet- ric water content (%)
			sand (%)	silt (%)	clay (%)							
TS	963.2	0	100.0	0.0	0.0	1.52	42.1	0.296	2.63	253.5	95.4	40.1
CS	830.6	92.3	91.3	1.9	6.8	1.46	44.3	2.45	2.62	222.0	79.4	35.1

Table 2. Numbers of drying stage and their drying records.

[TS]

	No. of drying stage (symbol in Figures)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
water evaporation percentage (%)	9.6	21.9	32.1	38.9	50.0	61.7	75.4	79.5	83.8
drying time (h)	4.6	9.8	14.5	18.0	23.3	28.5	38.5	47.2	55.4

[CS]

	No. of drying stage (symbol in figures)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
water evaporation percentage (%)	10.0	19.1	29.2	39.9	47.4	59.7	71.6	79.9	84.0
drying time (h)	3.3	6.3	10.3	15.5	16.8	24.2	34.0	40.3	63.8

been studied using simple materials such as sheets or sticks. The captured salt is removed from the closed soil system and disposed of outside the system.

In our previous experimental studies, it has become obvious that this capture method was fully effective in removing salt from soil (ABE *et al.*, 1992) and a part of the basic mechanism of salt accumulation in the salt capturing stick was confirmed (II *et al.*, 1993). However in order to consider large scale and economic applications of this salt capturing stick, more detailed information about its effect and its influence on the movement and distribution of solution and solute in soil is necessary. Therefore these aspects were studied using a column scale.

2. Materials and Methods

1) Specimens and salt capturing stick

The soil samples employed were Toyoura Standard Sand and a sand mixed with 10% Kibushi Clay by weight. They were designated as TS and CS respectively. A measured amount of soil was placed in an acrylic column

with an inner diameter of 9.0cm and a height of 10.0cm. In order to make a uniform distribution of salt with a fixed quantity of salt in the specimen, the soil pores were saturated with a 0.45% NaCl solution. A salt capturing stick, 1.0cm in diameter and 10.0cm in height was made by rolling a thin wire within 4 sheets of gauze (10.0cm × 20.0cm). Gauze was used because of its high absorptivity, permeability, water retention capacity as well as low cost.

After a hole 5.0cm in depth with a diameter of 1.0cm was drilled at the center of the soil surface, the lower half of the stick was vertically inserted into the hole. Therefore the upper half of the stick had a water evaporation surface area of 16.5cm².

The soil surface part of the specimen had a water evaporation surface area of 62.8cm² (excluding the part occupied by the stick). Nine specimens were prepared for each soil sample.

The physical properties of two kinds of specimens are shown in Table 1.

2) Experiments to capture salt

After the sticks were inserted into the specimens, they were placed in a closed chamber

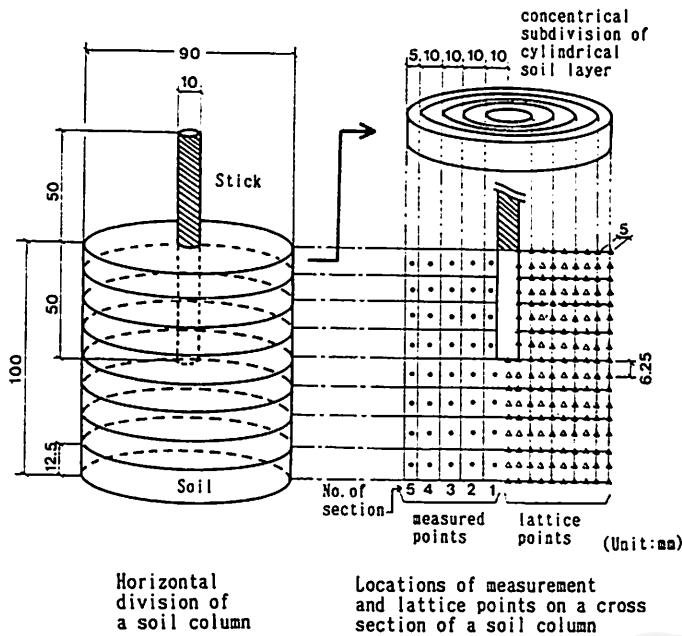


Fig. 1. Schematic representation of treatment for the soil column and lattice points for a distribution chart.

and kept at a temperature of 40°C and relative humidity of 50%. 9 separate stages during the drying process were examined. Each consecutive stage differed in respect that 10% more water had evaporated than the previous stage. Table 2 lists the number of drying stages (these numbers are used as symbols representing drying stages in later figures), water evaporation percentage and drying time for TS and CS specimens. Water Evaporation Percentage is defined as the amount of water evaporation divided by the amount of initial solution.

As shown in Fig. 1, first the soil column was divided into 8 layers 1.25cm in thickness. Furthermore, each thin cylindrical soil layer was concentrically subdivided into 5 sections. The subdivided sections were weighed for their mass in a wet condition and the same amounts of pure water were added to the soil sample to obtain soil suspensions. The electric conductivities of these suspensions were measured and these values were converted into a NaCl solution concentration value by using the calibration curve's regression equations.

After the suspensions were perfectly dried, the soil's dry mass was weighed and then the

amounts of soil solution, water content, mass of NaCl per unit volume of soil and concentration of soil solutions were calculated.

The salt capturing stick was divided into 8 parts, each 1.25cm long, and the salt quantity of each part was measured and calculated using the same treatment for the soil.

3) Making lattices for distribution charts

By subdividing the soil column into 8 layers and 5 sections, 40 measured points are represented as points on the left hand side of the soil cross section in Fig. 1. Of course these points are symmetrically plotted on the right hand side of the cross section as well. In order to draw a distribution chart of soil conditions, such as water content and NaCl mass, lattice points were decided as shown on the right hand side of the cross section.

The lattice distances are 5.0mm horizontally and 6.25mm vertically. Values of these points were calculated from the means of their left and right values and of their upper and lower values or from proportional estimation. After the symmetrical points were plotted on the left hand side of the cross section, a distribution chart for volumetric water content, mass of

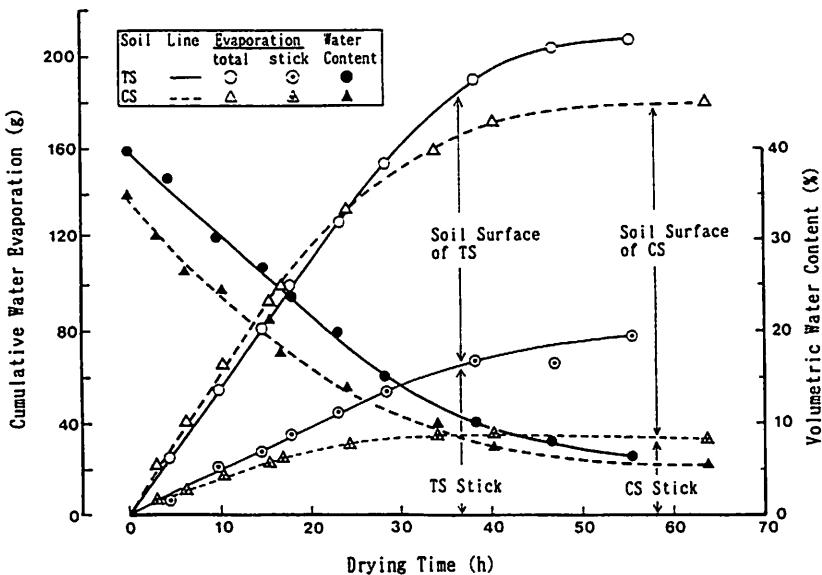


Fig. 2. Change of water evaporation and water content of specimens over the course of the drying period.

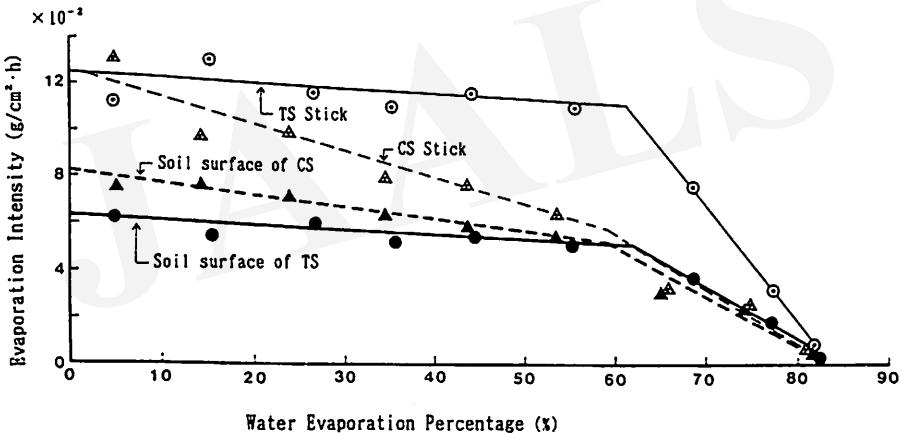


Fig. 3. Relation between evaporation intensity of sticks and soil surfaces and water evaporation percentage.

NaCl per unit volume soil and concentration of solution were drawn.

3. Results and Discussion

1) Water evaporation from the soil surface and the stick

The specimen which was used in this experiment had two water evaporation surfaces. One being the exposed stick surface and the other being the soil surface. Figure 2 shows the differences in cumulative water evaporation for the 2 specimens (CS and TS) in terms

of evaporation from both evaporation surfaces and evaporation from just the stick surface over the course of the drying period. Figure 3 shows differences in evaporation intensity between the two specimens for their respective evaporation surfaces as drying progressed.

Total evaporation from the specimen was directly obtained by subtracting the mass of the specimen at each consecutive drying stage from the mass of the saturated specimen (initial condition). However, the amount of evaporation directly attributable to the stick or soil surface could not be measured

directly. Thus, evaporation from the stick was calculated on the basis of an assumption that soil solution passed through the stick with an initial concentration of 0.45%. This value was calculated by dividing the mass of accumulated NaCl in the upper half of the stick above the ground surface from the initial concentration of solution. The evaporation which occurred from the soil was obtained by subtracting the stick evaporation value from the total evaporation value.

In Fig. 2, the cumulative water evaporation values for both soil and stick evaporation surfaces and the stick alone for the TS and CS specimens linearly increase as the length of the drying time increases. The TS specimen increased linearly until the 30 hour mark, and the CS specimen increased until the 20 hour mark. This period is generally referred to as the period of "constant rate drying" for the soil containing pure water. However, as will be described later, this "constant rate" period is not exactly constant. After reaching their peak linear values, the drying process changes to the "falling rate" period during which evaporation rapidly decreases.

Concerning the "constant rate" period, differences between TS and CS values for both the total evaporation and the stick evaporation are small. However, during the "falling rate" period, the evaporation from the TS specimen exceeded the evaporation from the CS specimen as the degree of the TS specimen's decrease was less than that of the CS specimen. Concerning the amount of evaporation from both surfaces, the TS specimen exhibited approximately 10% more evaporation than the CS specimen. As for evaporation from the stick, the TS specimen exhibited twice as much evaporation as the CS specimen.

Evaporation which occurred only from the soil during the drying process is represented in the diagram as the vertical distance between both curves of the total sample and stick. Comparing evaporation from the soil to evaporation from the stick, the TS sample exhibited 3 times as much evaporation and the CS sample 4 times as much evaporation. The reason is that the evaporation surface of the soil (62.8 cm^2) is 4 times larger than the stick's (16.5 cm^2)

in the experimental condition.

Water evaporation of soil solution containing salt decreases with the increase of salt concentration and crystallization of solute near the soil surface layer. In fact, the lines for the early drying period in Fig. 2 curve slightly and furthermore it is guessed that line curvatures during the "falling rate" period become larger than those line curvatures in the soil samples containing pure water. Figure 3, which plots evaporation intensity for the soil and stick surfaces against water evaporation percentages shows this state correctly. The change points of the curves in Fig. 2 correspond to a water evaporation percentage of 60% in Fig. 3. Before this percentage value is reached, evaporation intensity gradually decreases as drying progresses. After the maximum percentage mark is surpassed, the degree of evaporation intensity rapidly decreases.

As mentioned, although the amount of evaporation from the soil is much greater than that of the stick, the stick's evaporation intensity, which represents the ability of materials to evaporate, is reversely larger than the soil's. This result must be especially emphasized as a meritable function of the stick. The soil surface area displaced by inserting the stick is only 0.79 cm^2 corresponding to 1.23% of the whole soil surface area. The reasons are the expansion of the evaporation surface by the upper half of the stick and the function of absorption of soil solution by the lower half of the stick.

Therefore it is apparent that the salt capturing stick is an effective method of controlling salt in soil. If this capture method by the stick were to more effectively function with respect to water evaporation from the stick surface, solution transportation through the stick and absorption of soil solution into the stick, this method as a technique for causing upward drainage of soil water would be developable. This is anticipated as one method for improving areas of high water content, water logging and even high ground water level. This is because the stick functions most effectively under conditions in which soil pores contain a lot of free water.

Concerning the differences in evaporation

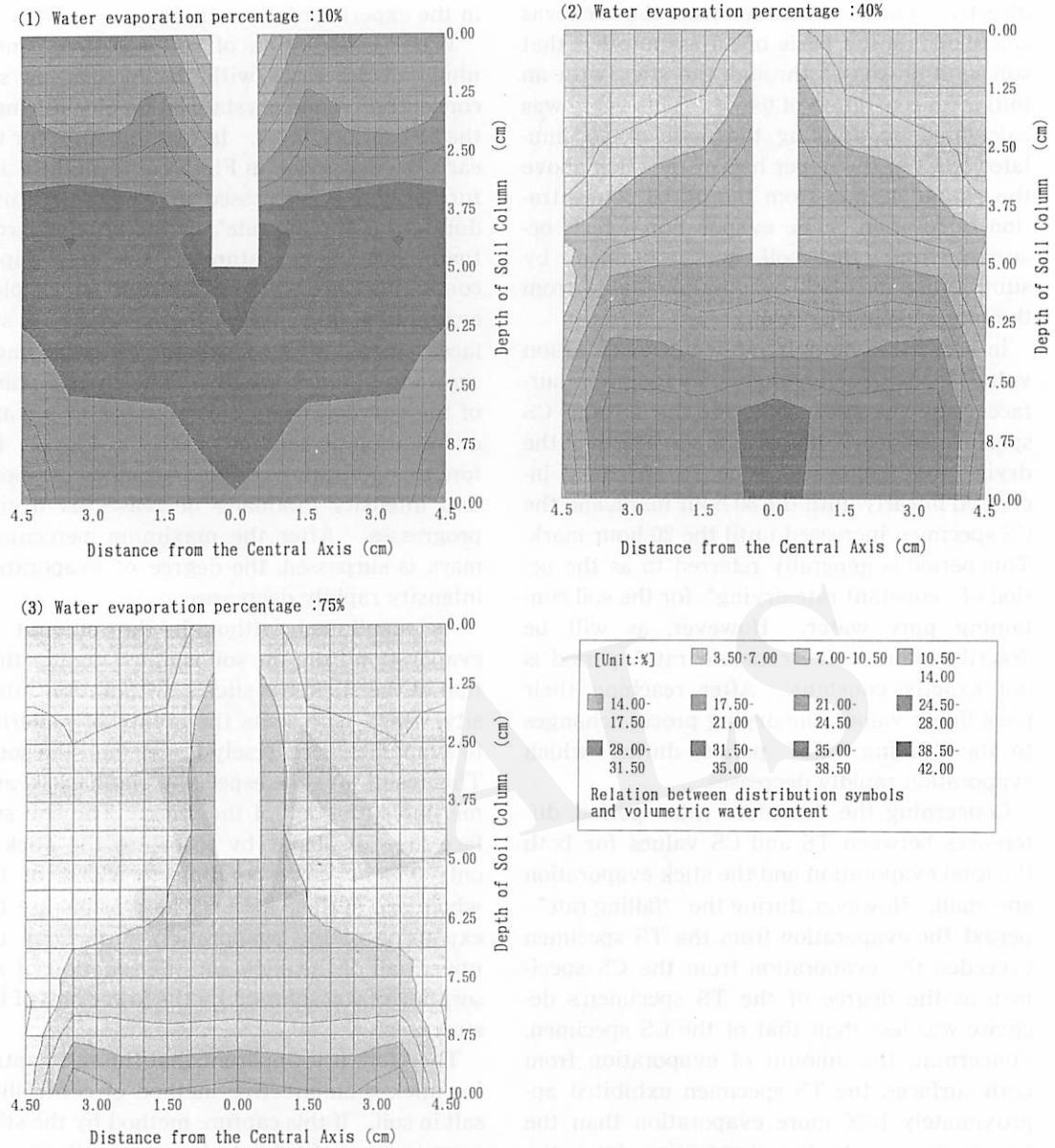


Fig. 4. Distributions of volumetric water content at three drying stages for TS.

intensity between the two kinds of soils, the intensity difference of the soil surfaces is not large, but the intensity of the TS stick surface is greater than that of the CS stick surface. This shows the effect of the mobility of the soil solution supply from the soil into the stick. During the final drying stage, which corresponds to the secondary falling rate, differences in intensity do not exist.

2) Distributions of soil solutions and their changes

Figure 4 (1), (2) and (3) are distribution charts of volumetric water content which express an alternative to the amount of soil solution during early, middle and late drying stages for the TS sample. The water evaporation percentages are 10%, 40% and 75% in turn.

The darker the shading becomes the greater the water content. The distribution division of water content was divided into 11 separate

grades. Distribution patterns for the CS sample are basically the same throughout the drying period except during the very early stage. They did not display the complicated water content distribution pattern as was seen in the soil surrounding the stick as in Fig. 4 (1).

Figure 5 (1) and (2) show typical results of vertical distribution of water content with evaporation. The numbers 1-8 correspond roughly with the 10-80% water evaporation percentage (see table 2). Section 1 is strongly affected by the presence of the stick while section 3 is hardly affected by it. These sections are located 0.5 (or 0.0 for deeper soil) -1.0cm and 2.0-3.0cm apart from the central axis of the stick respectively.

If a stick is not inserted in the center of a specimen, water content equally distributes on a horizontal line and a water content gradient is formed only on a vertical line. However in this experiment the inserted stick directly affected the shape of the distribution and its change during the drying process.

The shape of water content distribution in Fig. 4 is briefly summarized as follows; The deeper the layer becomes, the higher the water content becomes. Soil within approximately 1.0cm distance of the stick in the upper half of the soil column is strongly affected, thus water content decreases as distance from the stick increases. There is also a tendency for water content of a certain range to contain much solution just under the cross section of the stick.

The water content situation of each representative drying stage will now be explained. Although the area containing maximum solution exists near the tip of the inserted stick in Fig. 4 (1), it should be thought that the initial situation was kept from tip to lower layer as shown in Fig. 5 (1). During the drying period from initial stage to this stage, soil solution for evaporation was rapidly supplied from the upper part to the tip within a range of about 1.0cm distance of soil surrounding the stick. The amount of this supply was tentatively expressed as the area surrounding the lateral axis, the line of initial water content and the line designated 1 on the left hand side in Fig. 5 (1). It should be considered that almost this entire amount of solution was absorbed into

the stick. On the other hand, on the right hand side in Fig. 5 (1) the same area indicates evaporation which occurred only from the soil. This amount of evaporation is less than the amount absorbed by the stick. Thus, as a result of the strong absorption force of the stick accompanied by evaporation from its surface, the soil area had a clear water content gradient because the supply of soil solution from areas distant from the stick to areas nearer the stick was insufficient.

For the drying stage shown in Fig. 4 (2), the trend of evaporation from both the stick and the soil surface is almost the same as with Fig. 4 (1) as shown in Fig. 2 and Fig. 3. However the distributions of water are entirely different. As a result of observing the whole drying period for TS and CS, these distribution patterns are concluded to be general rather than that pattern displayed in the early stage of TS. The supply percentage of solution for the total evaporation becomes larger with increasing depth of soil layers. The soil solution for the stick evaporation is predominantly supplied from the deeper soil layers below the tip of the stick as shown in Fig. 5 (1). Around the upper part of the inserted stick in the soil, solution absorption decreases, most solution in this part is assumed to evaporate from the soil surface.

For the late drying stage of Fig. 4 (3), the pattern characteristics are maintained though the whole water content decreases gradually and the drying condition changes to the fallingrate period.

Figure 5 (1) shows the trend of a relatively large difference between the upper layers and the lower layers except for the late drying stage. However Fig. 5 (2) for the CS sample has rather flat distributions for each drying stage at both section 1 and section 3, and shows that the distribution of section 1 located on the right hand side contains less water content than section 3 for each drying stage. This result is based on the difference between soil solution supply and water evaporation from the soil surface and the stick.

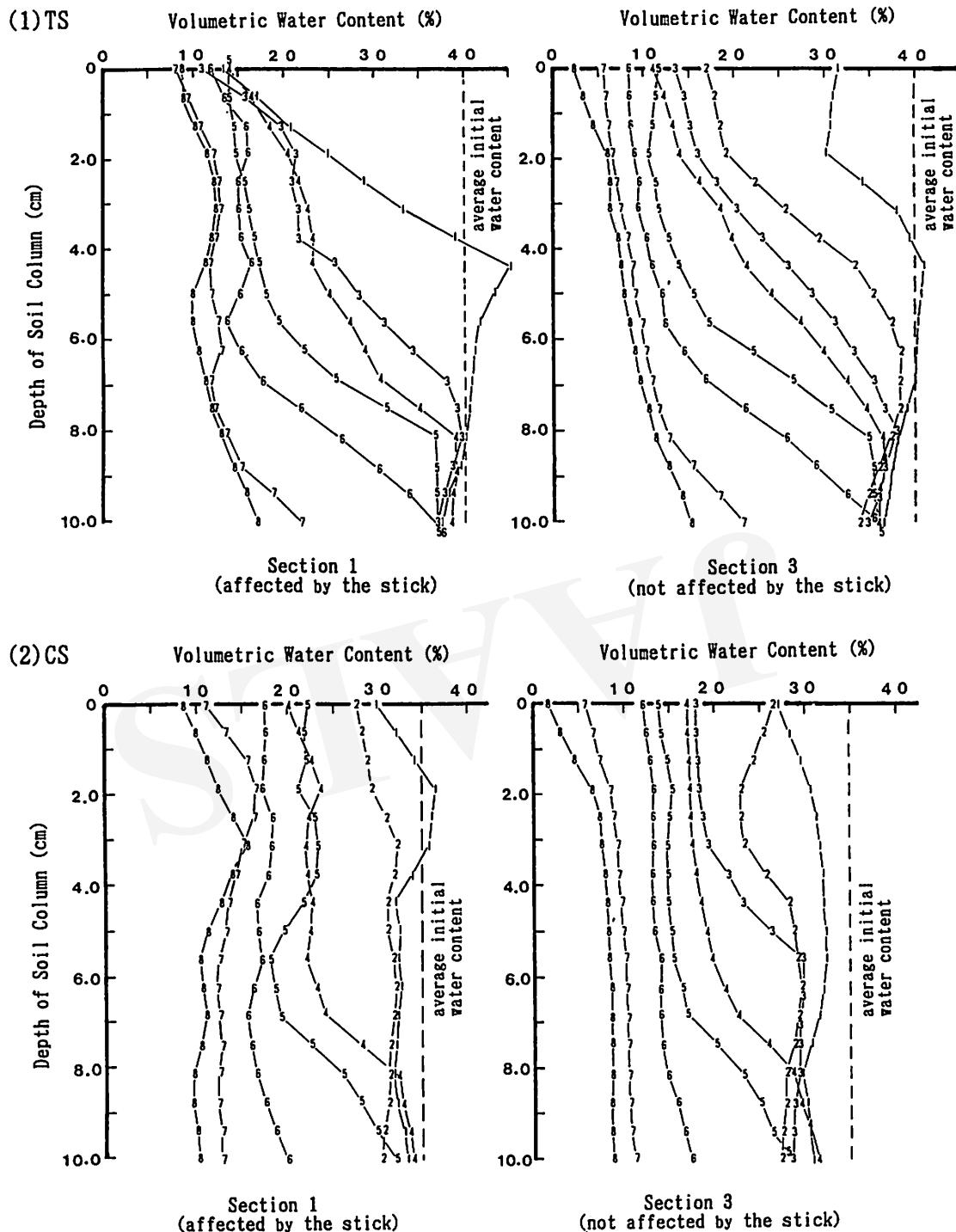


Fig. 5. Vertical distributions of volumetric water content at section 1 and section 3 of each drying stage for TS and CS.

The numbers as symbols in figures correspond each drying stage shown in Table 2.

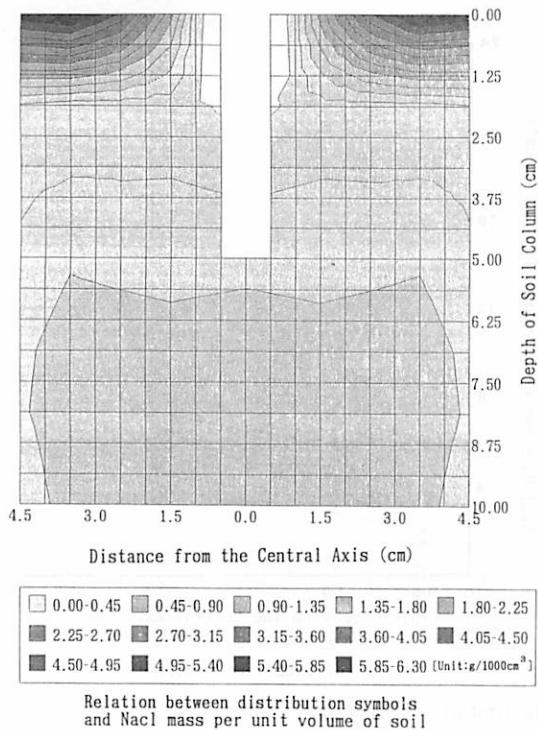


Fig. 6. Distribution of NaCl mass at water evaporation percentage of 30% for TS.

3) Distributions of solute and salt accumulation in the surface layer

In order to express distributions of solute and its movement, NaCl mass per unit volume of soil and NaCl concentration of soil were calculated. The concentration of soil solution and NaCl mass closely correlated with each other. The higher the concentration becomes, the larger the NaCl mass becomes. Thus, the distribution characteristics, their changes and salt accumulation in the surface layer can be explained by using NaCl mass.

Figure 6 shows the distribution of NaCl mass per unit volume of soil at a water evaporation percentage of 30% for the TS sample. This should be considered representative for all the total evaporation charts. The darker the shading becomes, the greater the NaCl mass becomes. The distribution division of NaCl mass was separated into 14 grades. The general shape of the distribution was summarized as follows; soil within approximately 1.0cm surrounding the stick surface never has much solute. The low NaCl mass volume widened

toward the tip of the stick. In the subdivided section 1, which is the closest measured part from the stick, the vertical distribution gradient of NaCl mass was very flat and their values were at the lower level with no salt accumulation phenomenon. This means that soil solution concentration, except in the upper salt accumulated layer, does not increase during the whole drying period and the difference of NaCl mass among these layers is based on the difference of solution quantity. This result was the basis upon which the NaCl mass captured in the upper half of the stick in the previous treatment was calculated.

A salt accumulation layer was formed to a soil layer depth of about 2.0cm and its NaCl mass distribution was very steep. In the subdivided section 3 which is not a part affected by the stick, the vertical distribution gradient in the accumulated area became 10 times as steep as the initial state. Then the gradient gradually develops as the drying process progresses, and finally it becomes about 20 times as large.

Though the difference of the depth of the accumulated layer between TS and CS was not observed, according to ABE (1983) the depth depends on the kind of soil. About this result, it is thought that the thickness of the divided layer was too thick to express the difference.

The center of maximum concentration is located at the corner of the outer side on the soil surface. Figure 7 (1) and (2) shows the horizontal distribution of NaCl mass of the first upper layer at several drying stages for TS and CS. The layer is about 1.25cm thick and most of the salt accumulated in the soil surface was contained in this layer. Therefore these figures are useful for discussing the effect of the stick and about the shape of the distribution curve in each drying stage. The value for the inner side of section 1 was lowest and the outer side of section 5 was highest. The middle part between these two sections becomes comparatively flat though the mass increased slightly with the increase of distance from the central axis.

The NaCl mass of each part gradually increased as drying progressed except for section 1 (0.5cm). This distribution of NaCl is

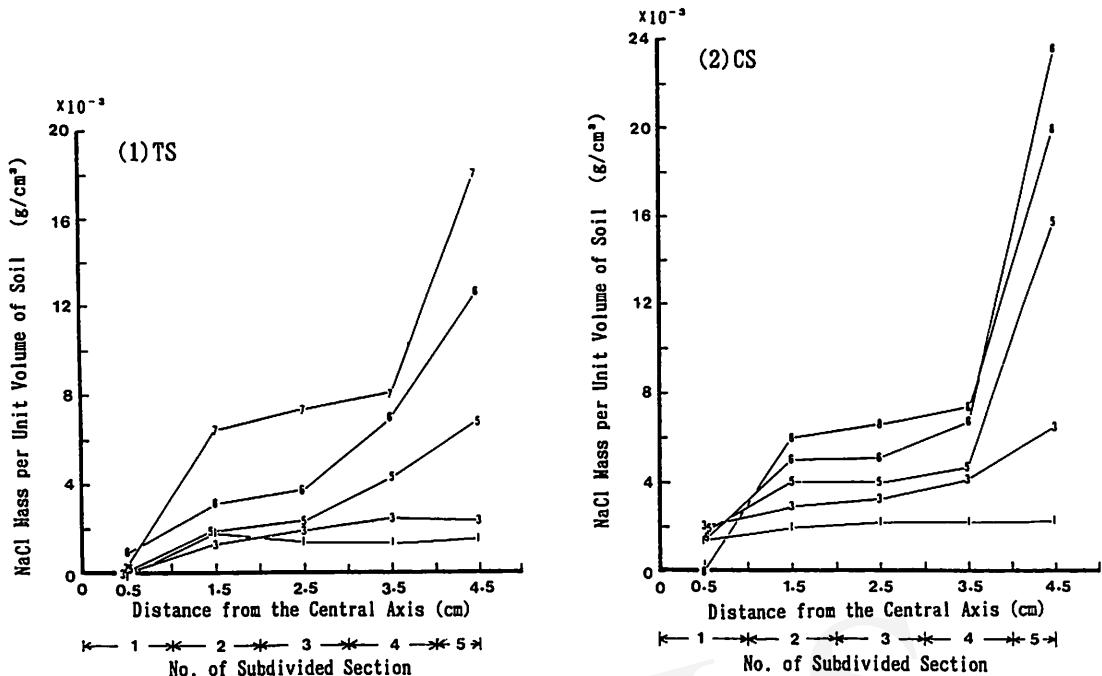


Fig. 7. Horizontal distributions of NaCl mass at the first upper layer at several drying stages for TS and CS.

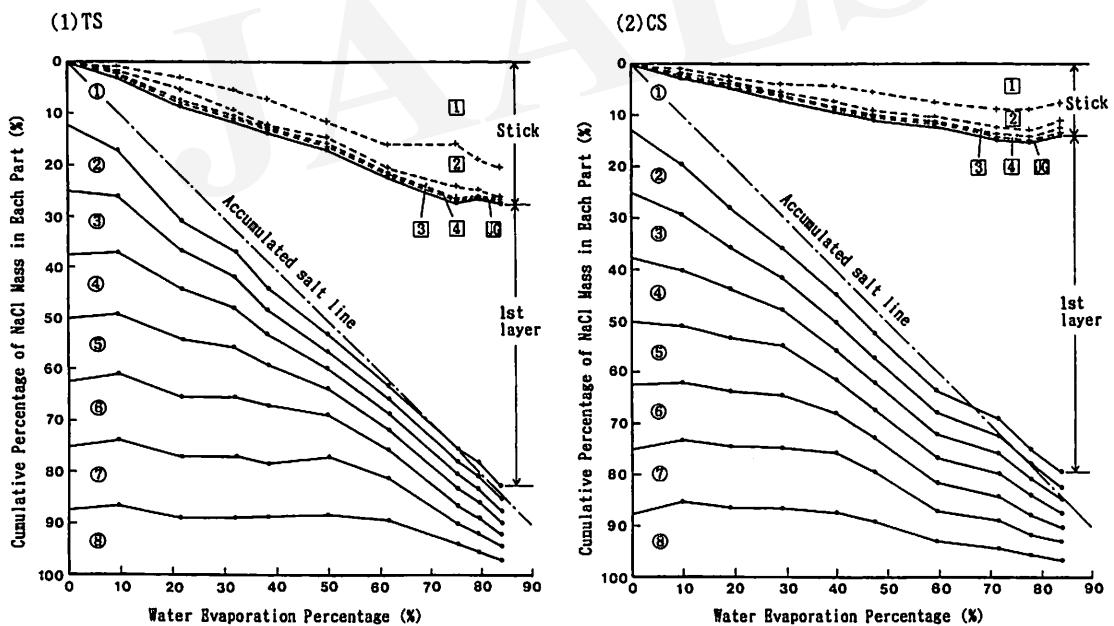


Fig. 8. Distribution change of NaCl mass in each part of a specimen for the whole drying period.

①-⑧: No. of soil layer, ①-④: No. of divided stick, UG: stick in soil.

basically similar for each drying stage and even for both different kinds of soils although the concentration gradient became larger as drying progressed.

4) Effect of the salt capturing stick

In order to evaluate the effect of the stick, Fig. 8 (1) and (2) show the distribution of NaCl mass in each layer of the specimen accompanied by the progression of the whole drying process. The vertical axis of these figures represents the cumulative percentage of NaCl mass of each layer of the specimen. ①–⑧ are numbers of the divided soil layers downward and ①–④ are numbers of the divided stick. **UG** means the part of the stick which is buried. Accumulated salt line expresses the border of NaCl mass concerned with salt accumulation accompanied with water evaporation of soil solution and the NaCl mass which remained without relation to evaporation in soil during the whole drying period. Therefore the percentage of NaCl mass less than the line means that it must be captured with the stick if total removal of salt from the soil surface is to be realized.

As for changes which occurred as drying progressed, the amounts of NaCl in the soil layers, except for the first layer, gradually decreases accompanied with a decrease in soil solution for both TS and CS. On the other hand, NaCl in the stick and the first layer proportionally increase with the progress of evaporation. NaCl concerned with salt accumulation was almost entirely contained in the upper half of the stick on the ground and the first layer. Though the area of the first layer's evaporation surface was 4 times greater than that of the stick's, the percentage of NaCl captured by the stick was half as much as the soil surface for TS and was one third or one fourth for CS.

Therefore it can be judged that the effect of the stick was obviously better than only the soil surface alone. However since much salt accumulated at the boundary between the air and soil surface and the effect of the stick in this area was rather small, a device which can more effectively absorb soil solution into the stick will be necessary.

4. Conclusion

A salt capturing stick method, a new method of reducing and preventing salt accumulation in the surface layer of soil, was experimentally examined using a column scale. The following was concluded:

The evaporation effects of a salt capturing stick were recognizable as being great evaporation intensity and great amount of evaporation in spite of the cross sectional surface area of the stick being very small.

As for its influence on the movement of solution and solute in soils, the salt capturing stick has the role of absorbing solution from soil, accumulating salt on the upper half of the stick and strongly affecting the soil surrounding the stick to a distance of 1.0cm away from the stick.

References

- ABE, Y., YAMAGUCHI, T., YOKOTA, S., OHTSUKA, Y. and Ii, H. (1992): The capture methods of salt accumulated on the surface of soil. *J. Arid Land Studies*, 2: 19–27. (in Japanese)
- ABE, Y. (1983): Salt accumulation patterns in drying process of soil specimens saturated with NaCl solution. *Trans. JSIDRE*, 106: 61–71. (in Japanese)
- Ii, H., OHTSUKA, Y., OGAWA, T., ABE, Y. and YAMAGUCHI, T. (1993): Experimental study on salt capture method using a paper roll. *J. Arid Land Studies*, 3: 1–7. (in Japanese)

塩類補集スティックの蒸発効果とその土壤溶液および 溶質の挙動に及ぼす影響

安部征雄・鶴井 純・山口智治・大塚義之・井伊博行^{..}

土壤内の塩類を除去するための新しい方法である塩類補集スティックの効果がカラム規模で実験的に検討された。スティックの下半分は土壤内に埋設され、上半分は土壤表面より上にある。したがって、供試体はスティックと土壤表面の2種類の蒸発面を持つ。水分蒸発特性、土壤溶液や溶質の分布の変化を示すデータが得られたので、それらに対するスティックの影響を調べた。主な結果は以下の通りである。

- 1) 埋設されたスティックは大きな蒸発強度を示した。その埋設土壤表面積は全土壤表面積と比較して小さいけれど、スティックによる補集効果は顕著であった。
- 2) 土壤水分含量はスティック表面から1cm以内が周辺土壤より高く、土壤溶液の挙動に対するスティックの影響が強いことが認められた。
- 3) スティック表面から1cm以内の土壤の溶質量は周辺部より少なかった。土壤表面ではスティックからわずかに離れてリング状に集積した。
- 4) スティックによって補集されるNaClの割合は最終的には全集積塩類の3分の1から5分の1程度であった。

非アラブ系土着民族によるサハラ長距離交易活動 ——ガラマンテスとイバード派ベルベル人——

南里章二*

1. 序

本稿の目的は、北アフリカ・サハラへのアラブ人到来以前、北アフリカ・サハラの土着民である非アラブ系の住民によるサハラ沙漠を舞台とした交易活動、および7世紀のアラブ人到来以後、ムラービト朝が成立する11世紀半ばに至るまでの期間におけるサハラ長距離交易について考察することにある。

1) イバード派ベルベル人の町ガルダイア

サハラ沙漠中央部に位置するアルジェリア南部の町タマンラセッタを発った大型バスは、1,430kmの距離を3日間北上し続けて、地中海とサハラ沙漠を隔てるサハラ・アトラス山脈の南に位置するガルダイアに向かっていた。

若き日の冒険心からサハラ沙漠縦断を試みて、1975年の7月末、西アフリカの大西洋ギニア湾岸に位置するラゴスを発ち、カノ、ジンダーと北上してサハラ沙漠に入り、アガデス、タマンラセッタ、インサー、エルゴレアを経て、ちょうど一ヶ月後の8月末のことであった。

夜も明けはじめた頃、石油基地ハシメサウドに向かう何台もの大型トラックとすれ違いざま、バスの窓越しにベニ・イスゲンの町が姿を現わしはじめた（図1）。白色、ベージュ色の壁から成る家並が異様に明るく、まぶしく感じる。サハラ南部から中央部にかけては、赤っぽい泥土の家ばかりだった。

ここムサブ渓谷に位置するガルダイアは巨大なオアシスで、この聖都ベニ・イスゲンをはじめとして、ガルダイア、メリカ、ベンスー、エル・アテフの五つのオアシス都市から成っている。

ナシメヤシの緑に囲まれたガルダイアの町は、丘の頂きにそびえ立つモスクのミナレットを頂点として、平べったい円錐状に、白壁の家並が取り囲む同じようなつくりで、このベニ・イスゲンの傍らにその姿を見せてきた。

ガルダイアのバス・ターミナルから西へ向かい、右に折れると石畳の大きな広場がある。有名なガルダイアのスクダ（図2）。衣類や装身具を石畳の上に敷いた布の

上に並べて売る商人。二、三頭のラクダやロバを引き連れ取り引きしようとする人々。ガルダイア産の絨毯も商品として石畳の上に広げられている。この広場から狭い路地に入ると、土にまみれた、ひっこねいたばかりのようなニンジンをはじめとする新鮮な野菜が売られている。今まで通過してきたサハラのオアシスでは乾燥野菜しか売られていなかったことと比べるとこのガルダイアがいかにも潤いに満ちたオアシスのように思われた。

スクダから北東の方向には、メディナが広がっている。しかし、アルジェやカサブランカなどのメディナではおなじみの、あの鼻をつく悪臭は殆どなく、掃除がよく行き届いた清潔感が漂っているのが感じられる。

明るさと潤い、そして清潔感。この町を初めて訪れた筆者にとってはこれらが「イスラム世界のユダヤ人」と称せられ、サハラ交易において重要な役割を果たしてきたといわれるイバード派ベルベル系のムサブ人とよばれる人々の町ガルダイアに対して筆者が抱いた初印象であった。ムサブ人たちはイスラム異端のハワーリジュ派（Khawārij）の一派イバード派（Ibādi）の信仰を守る人たちとして知られている。

わずかな期間ずつ滞在しながら通過してきたサハラの町々では、サハラ沙漠を舞台とした交易活動の活発さに目を見張られた。

ニジェールとアルジェリアの国境を越えるアガデス-タマンラセッタ間で乗せてもらったトラックは、ナイジェリアのカノを出発してトリポリに向かう4台の大型トラックからなるリビア人のキャラバン・コンボイであった。

筆者がサハラ長距離交易の歴史に目を向けるようになったのは、この旅がきっかけであった。

サハラ長距離交易史は、アラブ・イスラム勢力とガーナ・マリ・ソンガイなどの西スーザンの黒人帝国との間にに行なわれた交易活動という視点を基調として論じられることが多い。しかしサハラ長距離交易に積極的に関わりつつ、後にガルダイアのような豊かなオアシスの町をつくりあげた、非アラブ系民族であるベルベル人たちの果たした役割をも忘れてはならないことも、この旅が教えてくれたことの一つであった。



図1. ムサブ人の聖都ベニ・イスゲン。



図2. ガルダイアのスク.



図3. ジェルマの遺跡群。

2) ガラマンテスの町をたずねて

さて、その後1990年夏、しばらくそれまで入国の難しかったリビアを旅することができた。トリポリ空港に降り立ち、翌日フェザン地方の中心都市セブハに飛んだ。そこから沙漠の中につけられたアスファルトの道路をバスで約3時間、西のガート方面へ190kmの地点にジェルマという小さなオアシスがある。古代ローマ時代には、ガラマンテスとよばれる人々が、このオアシスを首都と

して、ローマ帝国との間に友好同盟を結んだり、時には敵対しながら、交易活動を行なっていたとされている。ジェルマには小さな博物館があり、この近郊で発掘されたという紀元後2世紀頃のローマ風のランプや陶器、その破片などが陳列されていた。ここから東に1kmほどのところには、旧市街とよばれる多くの住居跡や墓石群が見られる(図3)。1968年にフェザン地方で民族調査を行なった石毛直道は、この付近で125個のガラマンテスの王族の墓がリビアの考古学者アイユーブ博士によると発見によって発見されたことを報告している(石毛、1973)。

さらに、墓の副葬品や、近くのガラマンテスの王宮跡からは、エジプト、ローマ、カルタゴとアフリカ中央部との交易の存在を示す交易品が発見されたという。

このガラマンテスの首都であったとされるジェルマのロケーションも、アラブ人到来以前のサハラ交易の存在の可能性を物語るのに充分である。

ここから西へ360km、現在のガートの町から西へ、現アルジェリアとの国境を越えると、タッシリ・ナジール山地があり、そこから南下すれば700km弱で、現ニジェールのカワール方面へ到達する。タッシリ・ナジールからまっすぐ西へ向かえば、現在のタマンラセットなどがあるホガール(Hoggar)山地のオアシス群へ、そこからさらに沙漠を南下すれば、800kmあまりでアイール山塊周辺の現在のアガデスなどのニジェール国内のオアシス群へ到達する。それぞれかなりの日数はかかるが、現在ほど乾燥化が進んでいなかったことも考え合わせると、馬や荷車を使って、また紀元後にはサハラに登場したラクダを使って移動すれば、決して到達不能の距離ではない。ガートに向かうバスの中で、かつて訪れたこれらの地を思い浮かべ、地図を見ながら、そんなことを考えてみた。

3) わが国におけるサハラ交易の研究史

サハラ長距離交易史の研究は、わが国においては、殆ど手がつけられていないが、いくつかの先駆的研究がある。

小堀(1962)による、わが国では草分け的なサハラ研究は、地理的研究が中心であるが、サハラ長距離交易への言及もある。

また1967年から1968年にかけて、京都大学による大サハラ学術探検が行なわれ、サハラ世界を対象とした総合的な研究成果が公刊された(山下、1969)。その中で、木村(先史壁画)、大橋(民族と言語)、西村(美術と遺跡)らが各自のテーマの中で、サハラ交易に触れている。さらに、その直後にフェザンからチャドまでティベスティ

越えのルートでサハラを踏査した、先述の石毛（1973）による報告。また後に「戦車の岩絵」ルートを実際に踏査するという「実験考古学的手法」でサハラ研究にアプローチした西村（1982）などの中に、サハラ長距離交易についての貴重な記述がある。

歴史学からのアプローチとしては、前嶋（1979）による、アラブ到来後のサハラ長距離交易史に関する短い論文がある。

またブルキナ・ファソを中心に黒アフリカ世界の文化人類学的研究を続けてきた川田（1981）も、西アフリカ文化史の観点から、サハラ交易史にアプローチしている。

さらに西アフリカにおけるイスラム化に関して、鳩田義仁（1988, 1991）と竹沢（1988, 1990）の間にTRIMINGHAMの諸説の解釈をめぐる論争があり、イスラム化に関連してサハラ長距離交易の問題が取りあげられている。

しかし、サハラ長距離交易を真正面から取りあげた研究は、筆者の試行的な試み（南里, 1990a, b, 1991）を除いて、まだない。

本稿では、こうした筆者自身の試みを踏まえて、サハラ長距離交易史初期におけるベルベル系の人々を中心とした、非アラブ系民族の人々の果たした役割と意義について考察しようとするものである。

4) ベルベル人とは

ベルベル人については（宮治, 1978）、アル・シャーヒー（1979）、マーレイ（1985）などに詳しいが、ベルベル人とは、7世紀後半におけるアラブ人の北アフリカ到来以前に、北アフリカ・サハラの地域に居住していた先住土着民である。

ベルベルという呼称の語源については、ギリシャ語起源が有力である。古代ギリシャ人は自らをヘラスの人々とよび、異民族をやや蛮族風なイメージでバルバロスと称し、それが古代ローマに伝えられた。やがてそれが北アフリカ全般に住む人々を示す言葉となり、ベルベル人という名称がつくりあげられたといわれている。

グリーンバーグによる現在のアフリカ言語の分類によれば、ベルベル語はアフロ・アジア語族（ハム・セム語族）に属し、北アフリカからサハラ沙漠にかけて広く分布している（図4）。

この分布図を見ると、ベルベル語分布地がアラビア語分布地の中に、飛び地状に北アフリカ各地に分散していることがわかる。

まず西から見ると、現在の西サハラの国境線付近のモーリタニアの北部、モロッコのアトラス山中、アルジェリアのカビリー山地とサハラ・アトラス山脈の南部、それ

にサハラ中央部に広大な分布圏が広がっている。またチュニジアの南部と首都チュニスの西、およびリビア沙漠の北端などにも分散している。

7世紀以来のアラブ人との混血同化の進行、および19世紀から20世紀にかけてのフランスの植民地支配などによりアラビア語、フランス語を喋るベルベル人も多数存在するため、ベルベル語分布地と現在のベルベル人居住地域は必ずしも一致するわけではない。しかし、飛び地状の上記の地を中心にベルベル人は現在も定住農民として、または都市住民として、或いはトゥアレグ族のように遊牧民として生活を営んでいる。この飛び地状の居住地域がつくり出された要因を知るためにには、過去のベルベルとアラブの対立融合、それに伴うベルベル人の移住の歴史をさかのばらねばならない。

2. アラブ・イスラム勢力到来以前のサハラ長距離交易

1) 「戦車の岩絵」ルートをめぐって—紀元前13世紀頃の交易

紀元7世紀の北アフリカへのアラブ・イスラム勢力到来以前、ビザンチン、古代ローマ、さらに紀元前の世界において、サハラ沙漠を南北に縦断する交易活動は果たして行なわれていたのだろうか。

これらの時期におけるサハラ長距離交易史についての、全般的な文献資料はごく限られている。ただ、ガラマンテスについて、ヘロドトス、プリニウス、ストラボン、トレマイオス、タキトゥスなど古代ギリシャ・ローマ時代の著作（ヘロドトス, 1967; プリニウス, 1980; ストラボン（JONES, 1961); トレマイオス, 1986; タキトゥス, 1981）の中から断片的に拾い集めることができる。

しかし、サハラ沙漠のほぼ中央部に位置するタッシリ・ナジールを行き交う商人たちによって古くから知られたサハラの岩絵は、上記の問いかけに対する答えの鍵となる物質的証拠を提示している。

サハラの岩絵の中で交易活動と関連づけて考えられるものは、沙漠を縦断するかたちでほぼ等間隔に切れ目なく続く、二頭ないし四頭の馬に引かれた二輪の「戦車の岩絵」である（図5）。これらを結ぶ線に沿って、長距離交易のルートが存在するという仮説は、すでに半世紀前からGAUTIER（1935）らによって提示されていた（南里, 1990a: 20）。

タッシリ・ナジールの岩絵の中に計8点の「戦車の岩絵」を写しついたLHOTE（1951: 305-306）は、地中海側のトリポリからニジェール川湾曲部のガオに至るサハラ中央部のルートを鮮明にした（図6）。またMAUNYによれば、「戦車の岩絵」を結ぶもう一本のルートが西

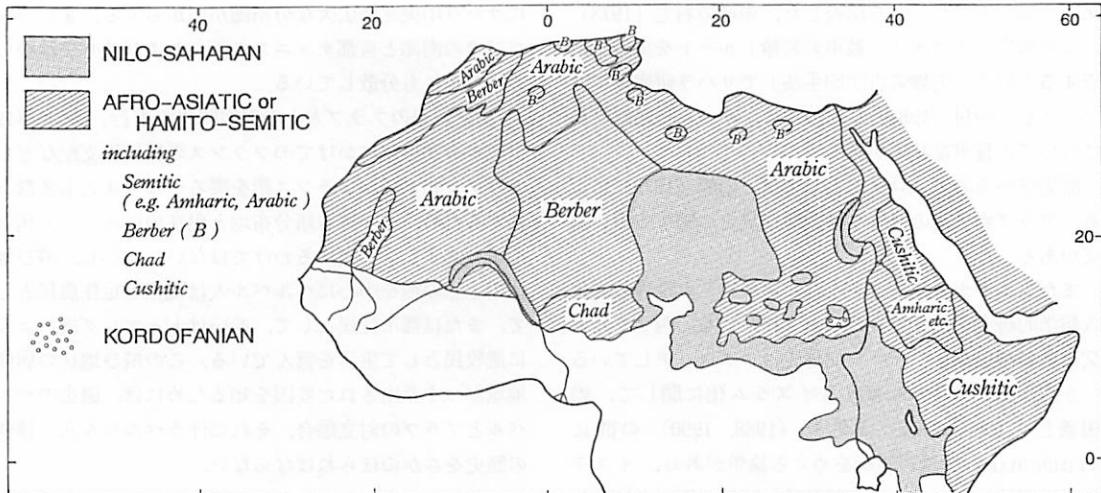


図4. グリンバーグによるアフリカ語族の分類。
ベルベル語はアフローアジア語族に属する。
(*An Atlas of African History, Second Edition*, 1966より作成)

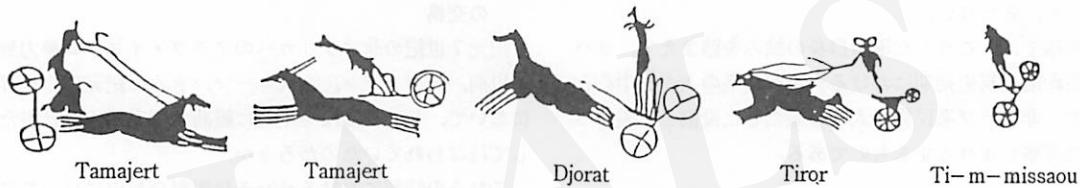


図5. 戦車の岩絵（原色は黄土色）と発見地（図6参照）。（LHOTE, 1951より）

サハラを走っているという (MAUNY, 1947)。現在のモロッコ、アルジェリアの国境付近のフィギィグからワラタを通過し、ニジェール川に近いグンダムに達するものである。

この岩絵を描いた人々、時代について、発見当初にはヘロドトスの「四頭立て馬車で穴居エチオピア人狩りをする」ガラマンテス (ヘロドトス, 1967: 卷四-183節) という記述に多くの人々がその解答を見出そうとした。

LHOTE (1960: 138-153) は、この「戦車の岩絵」はフェニキア人とつながる「海の民」に起源をもつ人々によって、紀元前1200年以後に描かれたものと推測しているが、SPRUYTTE (1968) はそれよりもさらに遡る時代に、地中海、オリエント文明とは結びつかない、文化的に進んだ人々によって描かれたものと考えている。

この「戦車の岩絵」のルートは、これが直ちに交易に結びつくものではないとしても、紀元前の世界において、サハラ沙漠を往来していた人々が存在したことを示している。

そして、北アフリカの地中海側とサハラ沙漠の南端ニジェール川付近を結ぶ交易活動の存在の可否については、

ヘロドトスやプリニウスがあげた地名の解釈などをも巻き込んで複雑な様相を呈することになる。

先述のヘロドトスの記述の前後には、リビア内陸部の地勢、住民、種族の分布についての情報が見られる。ガラマンテスによる交易活動を積極的に評価しようとしたLAW (1967) によれば、このヘロドトスがあげた地名と現在の地名には次のような対応関係が考えられるという (〔 〕内が現在の地名)。

エジプトのテーベ-アンモン人の土地 [Siwa]-アウギラ [Awila]-ガラマンテスの住む地 [Germa]-アタランタスの住む地 [Tassili Najjer]-アトラス山 [Hogger]¹⁴。

また、ヘロドトスの他の一節 (1967, 卷二: 32節) には、ナサモン人 (シルテ湾岸の遊牧部族) の記述に、ワニの姿が見える西から東へ向かって流れる大河の話が出てくる。LAW はこれを、ニジェール湾曲部から沙漠に向かって流れ出していたが、現在はすでに蒸発して消えてしまったニジェール川の支流の可能性があると見る (LAW, 1967: 184-185)。

ここに交易の話は出てこないが、LAW はこれらを結ぶことによって、地中海沿岸からニジェール川に至るルー

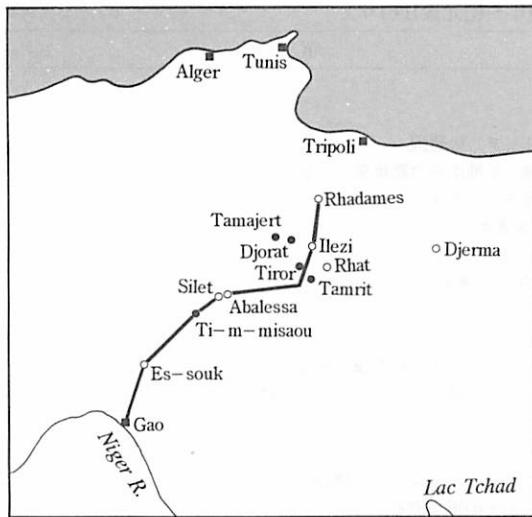


図6. 「戦車の岩絵」を結ぶルートおよびC. BALBUSの遠征ルート。

●:「戦車の岩絵」の発見地(図5参照), ○:ト
リポリーガオ間にある主要地名。実線はC. BALBUS
の遠征ルート。(LHOTE, 1951, 1954より作成)

トは「戦車の岩絵」を結ぶルートにほぼ重なり合うとい
う(LAW, 1967: 186)。

さらに後述することにもなるが、紀元後19年、ローマ
の地方総督C. BALLBUSが北アフリカの治安維持のため、
沙漠の部族との戦いを続けながら南方へ遠征する。

ブリニウスが『博物誌』(1980, 卷五: 36-37節)の中で、この遠征路について記した地名のいくつかを、
Lhote (1954: 66-67)が現在の地名への置き換えを試み
ているが、その主なものは次のとおりである([]内が
現在の地名)。

キダムス [Rhadames-Ghadames]

ガラマ [Djerma-Germa]

アクシトゥ [Ilezi]

ガルサ [Abalessa]

そしてロートは、ブリニウスが記すダジバリ河
(Flumen Dasibari)をニジェール川と見立てるこ
とによって、古代ローマ人たちが、ニジェール川付近まで南
下していたことを論証しようとした。

LAW (1967: 190)は、このロートによる地名解説の
いくつかを単なる推定の域を出ないと批判して
いるが、ロートの仮説に従えば、C. BALBUSの率いる
ローマ軍はガダメスからサハラを真っ直ぐに南下し、イ
レジを通過し、ここからタッシリ・ナジールの岩の台地
を縦断し、さらにホガールの台地を北東から南西に
斜断し、タネブルフトとアドラール・デ・イフォラ
(Adrar des Iforas)のエス・スク(Es-souq) (タデ

メッカ)を経てニジェール川に達していたことになる
(図6)。

このルートもまた、先述のサハラ中央部の「戦車の岩
絵」ルートと、ヘロドトスによるリビア内陸部につ
いての記述を読み換えて結ぶルートに一致する。そしてこれ
らは、数多い現在の沙漠縦断ルートの一部にも、ほぼ一
致することになる。

2) ガラマンテスとフェニキア(紀元前5世紀から紀元 前2世紀まで)

さて、これまでの論議の中にもたびたび登場してきた、
ガラマンテスとよばれる人々が、フェニキア人が活躍し
た時代から古代ローマ時代を通じて交易活動に関わって
きたことに焦点を合わせて、サハラ長距離交易史上にお
いて彼らが演じてきた役割を描き出してみよう。

ガラマンテスについての初出文献は、先述のように、
紀元前5世紀半ば頃に書かれたヘロドトスの『歴史』
である。それによれば、リビア沙漠を南下したところにあ
るアウギラ(現在のAwila)のオアシスから10日行程の
ところに塩の丘があり、その住民がガラマンテスとよ
ばれていた。彼らは多数の人口を有し、塩の上に土を運
んで種子を播いていたという(ヘロドトス, 1967, 卷四:
183節)。

また古代ローマ時代にもガラマンテスへの言及がある。
77年頃に書かれた先述のブリニウスの『博物誌』である。
それによれば、キダムス(Ghadames)から東西に伸び
た黒々とした山脈を越えたところの沙漠の中にガラマン
テスの町テルガエ・デプリスと、ガラマンテスの首都ガ
ラマ(Germa)があった(ブリニウス, 1980, 卷五: 36
節)。

そして先述のようにC. BALBUSが率いるローマ軍が、
このルートに沿って遠征し、ガラマを征服したとい
(ブリニウス, 1980, 卷五: 36節)。これらの記述をもと
にLAW (1967)やLe COEUR (1985)らは、ガラマンテ
スが居住していたのは現在のリビアのフェザンから、南
西方向のアルジェリア方面にまで広がった地域であった
としている)。

フェニキア人の時代から古代ローマ時代にかけて、サ
ハラ方面への交易活動の存在を仮定すれば、その取り引
き相手、もしくはさらに南方の世界との仲介の役割を果
たした最も有力な民族として考えられるのは、何といっ
てもこのガラマンテスであろう。

商才にたけたフェニキア人たちが、ガラマンテスを仲
介として、サハラ沙漠を越えた西アフリカ方面と交易関
係を結んでいたことは充分に考えられよう。フィリップ
ソン(1987: 206)によれば、サハラ沙漠を越えて南へ

表1. 歴史年表（紀元前814年～紀元後1061年）。

西暦	項目
前814	フェニキア人、植民都市カルタゴを建設。
前5世紀	ヘロドトス、『歴史』を著す。
前3世紀	ベルベル王国（ヌミディア、マウレタニア、リビア）の建国。
前146	第三次ポエニ戦争終了、ローマ、カルタゴを破って地中海の霸権確立。属州アフリカ設立。
後19	C. パルブス、北アフリカより南方へ遠征、ガラマンテスとの戦い。
後1世紀	ストラボン『地理学』、プリニウス『博物誌』を著す。
96～180	五賢帝時代、ローマ帝国最盛期を迎える。
2世紀	タキトゥス『年代記』、ブトレマイオス『地理学』を著す。
4世紀	ベルベル人の反乱が始まる。
429	ヴァンダル族、スペインから北アフリカに侵入。
435	ヴァンダル族、ローマよりマウレタニアとヌミディアを正式に割譲される。
533～534	ビザンチン軍の将軍ペルサリオス、ヴァンダル王国を滅ぼし、北アフリカに領土拡大。
543～558	ベルベル族、ビザンチン軍に対して反乱を起こす。
642	アラブ・イスラム軍、北アフリカ侵攻開始。
670	アラブ・イスラム軍の将軍オクバ・ベン・ナフィー、カイロワンを建設。
701	アラブ・イスラム軍、ベルベル人女予言者カーヒナの軍を破る。
776	イブン・ルスタム、西アルジェリアにルステミド朝（～909）を興す。
800	アグラブ朝、イフリキアを支配（～909）。
909	ファーティマ朝、アグラブ朝とルステミド朝を滅ぼす。
972	ファーティマ朝、カイロを建設、本拠地をエジプトへ移す。
1007	遷都に際し、イフリキアをジリッド朝（～1171）に委ねる。
1042	モロッコでイブン・ヤーシン、ベルベル人のラムトゥーナ族の間でムラービト運動を始める。
1052	アラブ遊牧民（ヒラール族、スライム族）のマグレブ侵入。
1061	モロッコでムラービト朝（～1106）が興る。

『世界史大年表』1992、山川出版社より抜粋。『アフリカ現代史』1978、宮治一雄、山川出版社も参照。ただし、本文と一致させるためにいくつかの字句修正を行なっている（カイラワーンーカイロワン、ルスタム朝ルーステミド朝など）。

もたらされた商品は、土器、ガラス器、金属製品を含むフェニキアの手工業製品であり、逆に塩、象牙、獸皮、奴隸などが南から北へもたらされたという。そして「フェニキアの植民都市は、チュニジアの平野の穀物農耕に支えられつつ、この交易による利益で繁栄した」（フィリップソン、1987：206）という。また BOVILL（1958：22）もフェニキアの富の存在自体が、この時代のサハラ交易の存在を証明していると論じている。

サハラへのラクダの導入は、紀元前後にすぎない（デビッドソン、1975：21）。サハラの乾燥化が進行しつつあったとはいえ現在ほどの状態でなかったことを考え合わせると、馬やロバと荷車を使用すれば、ガラマンテスによるサハラの南への、いわゆるサハラ長距離交易の存在も充分に可能性があると考えられよう。

しかし、フィリップソンも認めるように、これを「決定的に証明する考古資料は現在までのところまだ明らかになっていない」（フィリップソン、1987：207）のである。

アラブ・イスラム勢力到来後のサハラ長距離交易においては、その目玉商品は金である。

ヘロドトスは、フェニキア人の植民都市のカルタゴの

人間が「ヘラクレスの柱」の外で、おそらくモロッコの北西海岸に沿って航海し、その沿岸の住民と商品と金を交換するいわゆる「沈黙交易」を行なっていたことを記している（ヘロドトス、1967、卷四：196節）。LAW（1967：188-189）もまた、紀元前420年頃といわれるハンノの航海が金を求めたものであった可能性を示唆し、後のローマ時代にも金交易が海上ルートによって行なわれていたのではないかと推測している。

古代ローマ時代におけるサハラ交易活動の存在の可能性について否定的な見解を示す SWANTON（1975）は、カルタゴは紀元前5世紀から4世紀にかけてスペインを開拓し、そこから産出する金の方が利益を上げることができたので、仮に西スーサン方面との金の交易があったとしても、紀元前3世紀の終わりには停止されていたのではないかと論じている。

サハラの西のルートの方面では金交易の存在の可否は以上のように論じられているが、サハラの中央ルート方面では、LAW（1967）は「戦車の岩絵」ルートに沿って、いくつかの地点でローマのコインが発見されていることから、ガラマンテスによる金交易の可能性についてを示唆している。

しかし、後のローマ時代をも含めて、アラブ・イスラム勢力到来以前の金交易については、現段階でその結論を出すことは極めて難しいように思われる。

3) ガラマンテスと古代ローマ（紀元前2世紀から紀元後5世紀まで）

さて、紀元前3世紀頃のカルタゴを拠点としたフェニキア人による華々しい商業活動の前に、紀元前2世紀頃からイタリア半島の統一を終えたローマが立ちはだかる。地中海における商業活動の覇権をかけてローマとカルタゴの間にポエニ戦争が起り、紀元前146年にカルタゴを滅ぼしたローマは北アフリカへ進出することになる。ローマは北アフリカにおける支配権確立のため、ガラマンテスをはじめとする沙漠の部族に対する一連の戦いを続けねばならなかった。その中で最も大きなものは、アウグストゥス帝時代（B.C. 27～A.D. 14）の地方総督であった、先述の C. BALLBUS の遠征（A.D. 19）であった。

この少し後、ティベリウス帝からネロ帝の治世の『年代記』を著わしたタキトゥスが、当時のローマとガラマンテスの関係をやや詳しく記録している。それによれば、ヌミディア族のタクファリナスが、アフリカの奥地で彼らの居住地を求めてローマに対して反乱を起こした。ガラマンテスは、このタクファリナスを助けてレプティス・マグナへの掠奪行に参加する。しかし圧倒的なローマ軍の攻勢にタクファリナスは敗死する。恐怖心を覚えたガラマンテスの王はローマに使節を遣わし、和平を求めたという（タキトゥス、1981、巻三：73, 74節、巻四：23節）。

2世紀半ば頃に書かれたブトレマイオスの『地理学』によれば、その後再び両者の関係は険悪化し、交戦状態となる。ヴェスパシアス帝時代（69～74）の70年には、地方総督セプティマス・フラックスがガラマンテスに支援されていたナサモン（シルテ湾岸に住む遊牧民）の反乱の鎮圧のため、サハラ中央部へ遠征した。またドミティアヌス帝時代（81～96）の86年には、ジュリアス・マテルナスがガラマから南へガラマンテスの王を伴ってエチオピアに達し、ここで犀を捕らえたという（ブトレマイオス、1986、巻一：8-4）。後者からは、ローマとガラマンテスの間に、ローマ支配下での友好関係が再度つくり出されていてることが推定されよう。この当時、ラクダの導入により行動半径を広げることのできたガラマンテスの側から見れば、交易関係を強化するためにローマとの友好関係を築いた方が得策とする打算もあったかもしれない（Le COEUR, 1985 : 11）。

しかし3世紀初めには、アフリカ生まれの皇帝セプティミス・セウルス（193～211）がトリポリを脅かす好戦的な

部族（ガラマンテスを含む）に対して出征し、常に南方を監視し、恒久的な防備体制を整えるために Ghadames, Gheria el-Garbir, Bu Njem の3カ所に砦を構築した（GOODCHILD, 1954）。この砦は、平和時には南へ向かうキャラバンの安全を守る拠点になった。従って、ガラマンテスはローマに対しては従属的な友好関係を結ばねばならなかつたと推察される（LAW, 1967）。

4) 交易を軸とした両者の関係について

LHOTE (1951 : 302) によれば、ローマ時代に、トリポリを出発点としてガラマンテスの首都ジェルマに至る、以下のような3本のキャラバン・ルートがあったという。

- ① Sabratha—Ghadames—Hammada el-Homra—Djerma
- ② Oea (Tripoli) — Mizda — Gheria el-Garbia — Djerma
- ③ Oea (Tripoli) — Bu Njem — Djebel es-soda — Djerma

これらはそれぞれ前記の3カ所の砦（下線部）を通過し、ガラマンテスの首都ジェルマ（Djerma）で合流して、さらにガートに至る。途中の井戸のある地点を結ぶと、これらはその後のキャラバン・ルートに一致するという（図7）。

LAW (1967) によれば、1世紀後半から4世紀にかけて多くのローマ人技術者、商人たちがガラマンテスの居住地に移住し、ガラス、陶器、ランプなどの商品をもたらしたという。

フェザンからガートにかけて点在する数多い墓地からこれらの物品が大量に発掘されている（LHOTE, 1951）ので、ガラマンテスは先述のローマとの政治関係の変遷に沿いつつ、これらの商品を輸入していたことは確実であろう（南里、1990a）。

これらの交易活動は1世紀後半に始まり、3世紀半ばにローマからの定期的な輸入は最盛期を迎える。4世紀以降衰退したという（LAW, 1967）。当然ながら、これはローマの北アフリカ支配の時代的変遷に対応している。紀元前2世紀にカルタゴを滅ぼしたローマが領土的統合を達成し、北アフリカ進出の足固めを終えたのが紀元後1世紀後半とされる。2世紀、五賢帝時代にはローマ全体が最盛期に入り、3世紀初めには北アフリカ支配も最盛期を迎える。しかし3世紀後半、ローマが軍人皇帝時代の混乱期に入ると、当然北アフリカ支配にも動搖が伝播しはじめる。3世紀末には、アウレリアヌス、ディオクレティアヌスらの強力な軍人皇帝の統治の下に北アフリカ支配は再度安定化するが、4世紀以降はベルベル人の反乱が始まり、ローマによる北アフリカ支配は決定的

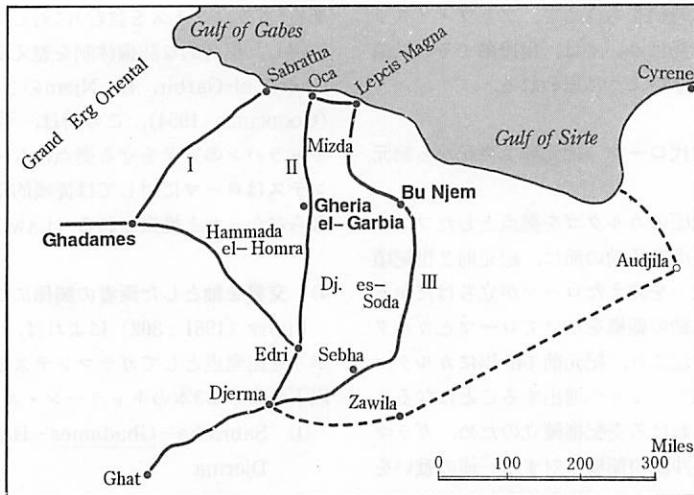


図 7.3 世紀初め頃の交易ルート。

実線：主要交易ルート、破線：交易ルート。太字は砦を表わす。

(LAW, 1967より作成)

な打撃を受ける。

ガラマンテスは、このベルベル人という母集団の中の一民族として位置づけることも決して不可能ではないようと思われる（フィリップソン, 1987: 204; MAUNY, 1961: 456）。

ガラマンテスの側からいえば、ローマの支配力が強まると攻撃の矛先をおさめて恭順の意を表し、交易活動に力を入れ、友好関係の維持に努めるが、ローマの支配力が弱まると一転して攻撃的姿勢を取り戻す。従って交易活動は下降線をたどることになる。ローマ帝国時代、北アフリカの辺境に居住せざるを得なかったガラマンテスは、ローマの支配の下に自らの交易活動をコントロールし、その極めていたたかな姿勢を維持し続けた人々であったといえよう。

5) 交易ルートと商品について

ガラマンテスを仲介とした、古代ローマ時代における西アフリカへのサハラ長距離交易のルートについて、LAW のあげるルートとしては、先述したようにサハラ中央部のフェザンからタッシリナジール、ホガール、Tim-Missaoからアドラー・デ・イフォラのエス・スクを結ぶものがある。これは先述の「戦車の岩絵」ルートその他にほぼ重なり合う。またこのルートとは別に、ストラボン(B.C. 64~A.D. 21)が記した、やはりベルベル系と思われる Pharasii とよばれる人々が往来していたとされる西サハラのルートがある。これは Figuig から Djebel-Bani, アドラー(Adrar), ワラタ(Oualata), ゲンダム(Goundam)を結ぶルートとされている (LAW,

1967; MAUNY, 1947)。

これらを通じて、サハラ中央部、或いは西アフリカ方面からローマ支配下の北アフリカへもたらされた商品としては、フェニキアの時代と同じく象牙、獣皮、奴隸などが考えられる。象牙について LAW (1967) は、ガラマンテスとの象牙の取り引きについての古代の記録はないしながらも、象牙はローマ時代には重要な商品であったとしているが、SWANTON (1975: 590-592) は、プリニウス (1980, 卷11: 7節) が記すように象牙はその大部分がインド、マウレタニア (現在のモロッコ)、ヌミディアからもたらされたので、わざわざサハラの南に求める必要はなかったとしている。

獣皮については、LAW (1967: 196) は同じくその記録がなかったことを記し、SWANTON (1975: 591) は北アフリカ自体がまだ多大な動物資源の宝庫であり、やはりサハラの南に求める必要はなかったとしている。

また奴隸については、LAW (1967: 196) は北アフリカにはわずかながら黒人奴隸がいたこと、そしてガラマンテスから黒人奴隸の輸入が可能であったとしているが、SWANTON (1975: 592) は古代ローマ時代の人種分布自体が不明であり、黒人奴隸がいたとしても、それがサハラの南からもたらされたとは限らないとしている。

ただ一つ、カルタゴのフェニキア人や古代ローマ人たちがガラマンテスを仲介として輸入していた商品として確かなものは、カルブンクリ (Carbunculi) とよばれる紅玉の宝石である。これに関しては、ストラボンとプリニウスの両者によって記されているので、その真実性はかなり高いと見なされよう。その点については LAW も

SWANTON も肯定的見解を記している。しかし、カルブンクリの原産地について、ストラボン (JONES, 1961) はガラマンテスの土地、ブリニウス (1980, 卷五 : 37節) はギュリ (ゴリアノ山) としているが、これらがどの場所にあたるのかは明らかではない。

さて、先述のように、4世紀後半より北アフリカでのローマ支配はベルベル人の反乱により衰退する。やがて、このベルベル人はジブルタル海峡を渡って北アフリカに侵入してきたゲルマン系のヴァンダル族と同盟を結び、ローマの支配をくつがえしていく (ギボン, 1987 : V章)。

北アフリカは6世紀初めにビザンチンの支配下に入り、ユスティアヌス帝時代 (A.D. 527~565), 名将ベリシリウスが再度ベルベルと同盟を結びヴァンダル族の支配を一掃する。しかし、ベルベル族はビザンチン軍に対しても反乱を起こし (A.D. 543~558), 鎮圧される。初期のビザンチンの陶器がフェザンの墓の中から発見されていること (LAW, 1967) から、ガラマンテスとビザンチンの間に交易関係が存在したこと、ガラマンテスがビザンチンによって一時的にキリスト教化したこと (CUOQ, 1984 : 23; Le COEUR, 1985 : 32)などを考えあわせると、ガラマンテスはビザンチンに対してもローマに対すると同じく、辺境の地でしたたかに振るまい続けたのではないだろうか。しかし、この後、ガラマンテスという人々の名称は歴史上の記録からは消えてしまう。

この後、ビザンチンの北アフリカ支配は、634年ダーシンとアジュナダインの戦いでアラブ軍に敗れて崩壊する。さらに、アラブ人は666年ワダンやジェルマなどフェザンの町々、および南のカワールに侵攻する (LEVZION and HOPKINS, 1981 : 11) ことになる。

3. イスラム時代初期におけるイバード派ベルベル人

1) アラブ人の北アフリカ侵入²⁾

ウマイア朝 (661~750) の武将オクバ・ベン・ナフィ (Uqba ben Nafi) が、北アフリカ征服の根拠地として、現在のカイロワーンの町を建設したのは670年のことであった。ウマイア朝の五代目カリフ・アブドル・マリク (在位685~715) は、このカイロワーンを拠点に北アフリカ全土の征服を完成する。

経済史、貨幣論的な観点から「中世」における「ムスリムの金」について論じた LOMBALD (1947 : 151) によれば、このアブドル・マリクの名と肖像が刻まれたマンクスとよばれたムスリムの金貨の鋳造は、その統治下の694年にはじまり、ヨーロッパにまで流通していたという。

9世紀のアラブ人歴史家 Ibn Abd al-Hakam は、743年頃にオクバの孫にあたる Ubayd Allah がカイロワーンの南 Sus に派遣した Habib b. Abi Ubayda al-Fihri が、そこでかなりの量の金を手にしたことを記している (LEVZION and HOPKINS, 1981 : 13)。

スペイン系アラブ人でコルドバの地誌家アル・ベクリは、745年にシジルマサに3ヵ所の井戸が掘られ、サハラ継続遠征の出発拠点としての基盤がつくられていたことを記している (LEVZION and HOPKINS, 1981 : 65)。

以上の記述より、このアラブ・イスラム勢力による北アフリカ支配の初期にサハラの南に大量の金が存在することが知られ、すでに北アフリカに出回っていたことを考えれば、アラブ・イスラム勢力到来以前においても金交易が行なわれていた可能性があることも否定できない。また大量の金を獲得するためのサハラ長距離交易の拠点づくりとルートの整備が、本格的に進められていったことも間違いない。

ベルベル人はアラブ・イスラム軍に激しく抵抗しながらも、アラブ人がもたらしたイスラム教を受け入れていった。しかし、しばらくしてベルベル人の間に広まったのは、当時のウマイア朝がもたらした正統派イスラム (逊ニ) ではなく、正統カリフ時代 (632~661) の四代目カリフ、アリーを予言者ムハンマドの正統な後継者として奉ずるシーア派からさらに分派した、ハワーリジュ派の教えであった。ハワーリジュ派は、コーランを厳格に解釈し、それをそのまま政治に反映させようという非妥協的な立場を守ろうとする。ハワーリジュ派は、後により過激なアズラク派と穏健なイバード派に分かれるが、8世紀の初め頃、北アフリカのベルベル人たちが受け入れたのが後者のイバード派であった (鷗田斐平, 1977; 鷗田斐平ほか, 1982)。

8世紀から9世紀にかけてのイバード派ベルベル人の交易活動について詳細な研究を残している LEWICKI (1962) によれば、その後北アフリカを席巻したアッバース朝 (749~1055) の軍隊は、761年から762年にかけてトリポリタニアや現チュニジアのベルベル人たちに南へ後退するよう強制したという。

カイロワーンの統治者であったイバード派のイマーム、Abd ar-Rahman ibn Rustem は、アッバースの軍を避けて現在のアルジェリアの西部に逃れ、イバード派の国家ルステミド朝をたてる (LEWICKI, 1962 : 514)。その結果、761年頃中央マグレブに、先述のシジルマサとつながるターヘルト (Tahert, 現在の Tiaret) とよばれる新しい町が登場し、(LEVZION and HOPKINS, 1981 : 24) イバード派の政治・宗教の中心地となる。

2) イバード派ペルペル人によるサハラ長距離交易（8世紀から9世紀まで）

以下、このイバード派ペルペル人が、これ以後本格的にサハラ長距離交易に関わっていく様子を辿ってみるとしよう。

まず、このイバード派ペルペル人のおかれた状況が、先述のローマ帝国に対するガラマンテスの立場に極めて類似していることを指摘したい。すなわちイバード派ペルペル人はアラブ・イスラム勢力のアッバース朝、後にはシーア派のイスラム国家ファーティマ朝によって辺境の地に追い立てられるが、政治的経済的力関係を微妙にコントロールしつつ、そのアイデンティティを維持し続けた非アラブ系民族として、ガラマンテスと同じようにサハラ長距離交易史に名を残したと考えることも可能であろう。

さて、ターヘルトに拠点を築いたイバード派ペルペル人は、カイロワンのアッバースの支配に対して独立、もしくは半独立の立場を維持しながら、ルステミド朝のイマームの統治下で交易活動を促進する（LEWICKI, 1962）。

この時代に、シジルマサ、およびワルグラを経由してサハラ中央部を南下する2つの交易ルートがターヘルトから西スー丹方面に伸びていった。

ターヘルトの町には、ペルペル人だけではなく、カイロワン、バスラ、クーファなどからのアラブ・ムスリム商人、ビザンチンの流れをくむキリスト教徒たちも、その商業的繁栄に魅せられて集まってきた（LEWICKI, 1962: 528）。

このターヘルトを統治したルステミド朝とシジルマサのスフリト派（8世紀半ばに成立したハワーリジュ派の分派であるが、イバード派とは対立）の首長は、その主義の違いにもかかわらず、関係は友好的であった。

この二つの王朝は、8世紀末から9世紀初めまで婚姻を媒介とした同盟を締結し、友好関係は少なくともターヘルトの初代イマームの統治期間中は維持された（LEWICKI, 1962）。それ故ターヘルトとシジルマサは商人たちの往来の活発な町として、この時代北アフリカと西スー丹を結ぶ商業に大きな役割を演じたことは疑いない（南里, 1991）。

記録資料が少なく、その交易の相手を確定し難いガラマンテスとは異なり、イバード派ペルペル人が目指した取り引き相手の国は明白である。いうまでもなくこの頃政治的統合を進めつつあったガーナ帝国であった。

8世紀のアラブの地理学者Al-Fazariは「ガーナという黄国の國」について記している（LEVZION and HOPKINS, 1981: 32）。Ibn al-Saghirも、780年頃のガーナ王国へ向かうサハラ長距離交易の出版点がターヘルト

であったことを記している（LEVZION and HOPKINS, 1981: 25）。

また、イバード派ペルペル人はニジェール川湾曲部のガオとも交流していたようである。

Al-Fazariから100年ほど後の、Al-Yaqubiは西スー丹の領域が多くの国家に分割され、ガーナに隣接した大きな国家として、カウカウの名を上げている（LEVZION and HOPKINS, 1981: 21）。

これは1353年にこの地を訪れたイブン・バトゥタ（バトゥタ, 1977）が記したガウガウと同一のものであり、後のソンガイ帝国のガオとも同一視して差し支えないだろう。このカウカウ（ガオ）はガーナ帝国と密接なつながりをもった王国であり、この頃ガオにイバード派ペルペル人の共同体が存在していたことをCuoqも指摘している（CUOQ, 1984: 10）。LEWICKI（1962: 525）はMAQUART（1913）に依りながら、9世紀後半、ガオの王が西スー丹とマグレブ、エジプトを結ぶサハラ縦断の主要ルートを掌握していたとしている。

イバード派の著名な人物130人の伝記を記したAd-Darginiも、ターヘルトの三代目のイマーム Aflah ibn Abd As-Wahhabの王子が動機は不明であるが9世紀の初めにガオへの旅を計画し、その下見にターヘルトの商人を遣わしたと記している（LEWICKI, 1962: 522）。シジルマサ-アウダゴーストの交易ルートをコントロールしていたのは、ゼナータとよばれていたイバード派ペルペル人であるが（CUOQ, 1984: 10-11）、サハラ南部ではゼナータよりサンハジャの力が強く、イブン・ハウカルも、アウダゴーストのサンハジャの王が、この時代ガーナ、ガオの王と関係を結ぶ交易ルートの発展に大きく寄与したことを記している（LEVZION and HOPKINS, 1981: 49-50）。

先述のように、イスラム時代初期のサハラ長距離交易の主要ルートは二つあった。その一つはターヘルトからシジルマサを経てサハラ西部、現在のモーリタニアを通じてアウダゴーストへ、そしてガーナ、ガオを結ぶルートであり、もう一つはビスクラ、ワルグラからサハラ中央部を南下し、タデメッカ、ガオへ向かうルートであった（図8）。後者のルート上でも、このイバード派ペルペル人の商人の活動が展開された（LEWICKI, 1962: 532）。ルステミド朝が909年、ファーティマ朝の軍隊に征服された時、最後のイマーム Yqub ibn Aflahが亡命したのが、このワルグラであった（LEWICKI, 1962）。

このことは、この町が当時ルステミド朝のイマームの権威の影響下にあったことを物語る。1068年にこのルートに沿って、サハラを歩いて越えたアル・ベクリ（LEVZION and HOPKINS, 1981: 85）はAdrar des

iforas 山地にあるタデメッカから、このワルグラまで 50 日間を要したという。

ワルグラの近郊に、現在 Sedrata という遺跡があるが、ファーティマ朝の軍到来時にはこの町もターヘルトからの難民を受け入れていたという (MAMMERI, 1973)。LEWICKI (1962) はこの町の繁栄を、やはりターヘルト-ガオ間の交易によるものとし、このオアシスの基盤もルステミドのイマームの統治下に築かれたと考えている。また 9 世紀のワルグラは南イフリキアの Tozeur からシジルマサを結ぶ東西の交易ルートの途上の宿营地としても発展したという (LEWICKI, 1962)。

3) ファーティマ朝支配下のイバード派ベルベル人（10 世紀から 11 世紀まで）

サハラ沙漠の北側では、10世紀に入ると、支配力の衰えたアッバース朝にかわって、イフリキア（現チュニジア）を中心にファーティマ朝が大きな勢力を示しはじめる。この新王朝ファーティマは、シア派の分派イスマイリを奉ずる Ubayd-Allah がイフリキアで形成し、909 年にはカイロワンのアグラブ朝を倒すに到る。さらに 972 年、ファーティマ朝はエジプトに本拠地を移したため、イフリキアではその統治権がベルベル人の一派サンハジャから出たジリッド家に譲渡される。

エジプト支配に重点をおいたファーティマ朝がイフリキアの統治に対する関心が薄れるのに伴って、ジリッド家はイフリキアの首長としての立場を主張しはじめる。ジリッド朝は 1007 年、西方に同じサンハジャ系ベルベルから出たハマニデス朝（1007～1163）が創立されて西方領土を失ったものの、東部のカイロワンは、イフリキアの商工業の中心地としての機能を維持する。そしてイフリキアを中心にサハラ沙漠の交易ルートに目を光らせ続け、ガーナ王国との交易の主導権を握りはじめる。

とくに二代目のカリフ Al-MANSOUR BÂDIS はその交易のネット・ワークをよく把握し、キャラバンに対して税を課し、その利益を吸収しようとした (PONCET, 1967)。

ジリッド朝は 10 世紀末には宮殿建設に着手し、ファーティマ朝のカリフに対しても、毎年金貨 800,000 ディナールの寄進を続け、スーダンよりもたらされた奴隸を主体とした軍の編成も手がけた (PONCET, 1967)。

この裕福な財政状態は、サハラ沙漠を越えてもたらされる交易による利益をぬきにしては考えられない。しかしその後内紛状態になったジリッド朝は、1052 年にヒラールとよばれるエジプト方面からのアラブ・ベドゥイン遊牧民の来襲を受け、カイロワンの周辺が占領される。このヒラールの来襲により、カイロワンへつながるサハラ長距離交易ルートはしばらく断絶することになる。

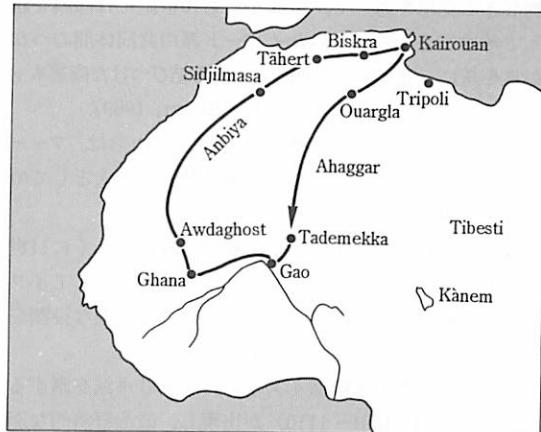


図 8. 9 世紀頃ターヘルトとガーナ、ガオを結んでいたサハラ長距離交易ルート。(LEWICKI, 1962 より作成)

(LOMBARD, 1947 : 150)。このヒラールの侵略およびカイロワンの没落後、サハラ長距離交易の北の出口は中央マグレブの Bougie に移り変わり、その活動は継続された。BRETT (1969 : 363) は、結局のところ、ヒラールの侵略は交易を妨げるものではなかったとしている。

さて、この時代背景においてイバード派ベルベル人たちどのような動きを示したのだろうか。

BRETT によれば、10世紀前半、イフリキアに出現したファーティマ朝によって、イバード派ベルベル人は、またもや中央マグレブから追い立てられることになる。しかし彼らはイフリキアの南ジェリッド (Djerid : 現在の Jeridi) を拠点として、東はシャベル ナフサ (Jabel Nafusa : 現在のトリボリの南) やザウィラ (Zawila : 現在のフェザンの Zuwaylah)，南はワルグラ (Ouargla) などに重要な交易センターを築きあげていった。これらのオアシス都市は、輸出用のデーツやピスタチオの生産に力を入れ、シャベル ナフサの毛織物なども含めて、イバード派ベルベル人々はタデメッカ経由でニジェール湾曲部へ向かって、独占的にその輸送に携わった (BRETT, 1969)。

当時イバード派ベルベル人々がサハラ方面に向かったルートとして、BRETT (1969) は他にも二つのルートを指摘している。ザウィラのイバード派ベルベル人々はカワール経由で中央スー丹方面に至り、またイバード派の中心地ではないにもかかわらず、西のシジルマサからアウダゴースト (Awdaghust) 経由で西アフリカに至るルートがあった (図 9)。

また彼らは奴隸の輸送も請け負い、北はジリッド朝支配下のカイロワンにまで、その交易ルートを伸ばしていく。同時に彼らは金や奴隸ばかりでなく、デーツや毛織

物などの交易を通して、少なくとも10世紀には沙漠を越えて各地につくられていたイバード派の共同体間のつながりを基に、非イバード派の人々をも結びつけた商業ネット・ワークをつくり出していた（BRETT, 1969）。

同時に、このイバード派ペルペルの商人たちは、ファティマ朝の援助の下に、その商業活動の代理人としての役割をも果たした。

彼らは交易ルートを開拓し、植民を続け、とくに11世紀前半においては、先述のジェリッドを中心としてイフリキアの経済とサハラの交易を結びつける重要な役割を担っていた（BRETT, 1969 : 359）。

しかし、やがて正統派イスラム、マーリキ派を奉ずるムラービト朝（1061～1110）が出現し、政治経済的な面でのイフリキアの優越性は消失していくことになる（BRETT, 1969 : 364）。

4) その後のイバード派ペルペル人

16世紀の半ば以降、北アフリカの世界は、現在のアルジェリア、チュニジアの地域がオスマン朝トルコの支配下に組み込まれる。しかし、オスマン朝支配下においてもイバード派ペルペル系のムサブ人たちによる交易活動は非常に活発であったことが HOLSINGER (1980) らの研究によって知られている。彼らは信者共同体を結成しつつ、北サハラ各地への植民活動を続けていたらしい。そしてその地で数多くの井戸を掘り、データの生産などに積極的に携わり、周辺の遊牧民たちとの間に、羊毛や肉の供給に対して、その貯蔵、交換のための市場を提供するという相互依存のネットワークをつくりあげていく。

このムサブ人たちが活躍した都市、とくにガルダイアは北サハラにおける重要な市場へと成長していくことになる。

M. ウェーバー（1975）はプロテスタントの誠実、勤勉という論理が資本主義の精神と合致し、西ヨーロッパでの資本主義的発展の基礎となったことを論じたが、HOLSINGER もムサブ人の経済的成功に同じ理由を求めている。すなわち、ムサブ人の間で永らく維持されてきたイバード派の質素、勤勉、誠実、節制という宗教理念に不可分な習慣的行為が共同体の共働と連帯の価値を維持してきたことに、その経済的成功の要因を見出そうとしているのである。

冒頭で記したガルダイアで筆者が受けたあの鮮烈な印象、明るさと潤いと清潔感、一言でいえばガルダイアの豊かさは、以上のようなイバード派ペルペル人たちによってつくり出されたものであった。イバード派ペルペル人たちが、その後も強大な勢力による支配下で交易活動を軸として共同体的結束を失うことなく、その独自の生活

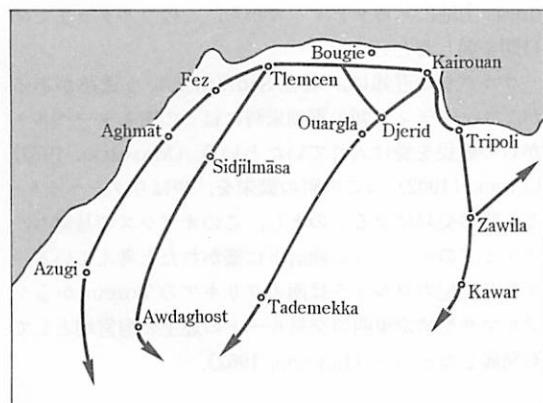


図9. 10～12世紀のサハラ長距離交易主要ルート。12世紀には Azugi-Aghmat-Fez-Tlemcen のルートは Awdaghost-Sidjilmasa-Tkencen の主要ルートに移行する。（Brett, 1969より作成）。

様式を築き上げていこうとする姿勢が維持されてきたことをこの町の印象が示唆している。

以上のように古代においては資料は決して充分とはいえないが、辺境の地に居住しながら、ローマ帝国やビザンチンに対して、屈することのない姿勢を維持し続けたガラマンテスによる交易活動、およびイスラム時代初期においては、アラブ・イスラム勢力のアッバース朝、シーア派国家のファティマ朝などによって辺境の地に追いやられたイバード派ペルペル人たちによるサハラ長距離交易活動には、強大な勢力に対してもたかに対応した非アラブ系民族集団のサハラ長距離交易という点において、極めて類似した性格が読みとれよう。

謝 辞

本論文の執筆にあたり、筆者の草稿を何度も詳細に検討され、適切な助言をお与え下さった静岡大学の嶋田義仁先生に心より謝意を表します。筆者が阪神大震災に遭遇した直後、先生による叱咤激励がなければ、とうてい完筆に到らなかったことと思います。

注

- 1) BUNBURY, E.H. : *A History of Ancient Geography*. 1879, Vol. I, pp.262-317. 織田武雄『古代地理学の研究—ギリシャ時代—』柳原書店, 1959, pp.143-163. これらの二つの著書をはじめとして、多くの学者は、アンモン人の土地からアタランテスの住む地までを東西に伸びる線に沿って点在するオアシスととらえている。
- 2) アラブ・イスラム勢力到来後の時代のサハラ長距離交易について、その資料として有益なものは8世紀から16世紀にかけてのアラブ人の地誌家、歴史家、旅行家による著作であろう。現在これらは Cuoq (1975) による仏訳の資料集と、これをや

や簡略化したHOPKINS and LEVTZON (1981)による英訳の資料集に収録されている。

MAUNY (1961)はこうした資料を実地調査に基づいて「中世」のサハラ交易の全容を記した。その著作の壮大な試みと綿密さは、すでに古典的な評価を受けている。同じ頃に公刊された、1920年代北ナッシュリヤの英植民地管理者であったBOVILL, E.W. (1958), イギリスで研究したガーナの歴史家BOAHEN, A.A. (1964)の著作も「中世」以降のサハラ長距離交易についての「古典」として位置づけられよう。またこの時代のサハラ長距離交易史について書かれた邦訳のあるものとして一般的なものは、ジャーナリストのデビッドソン, B. (1975)によるものがある。

引用文献

- アル・シャーヒー編、杉村 棟監修 (1979) :『世界の民族 アラブ世界 17』平凡社。
- デビッドソン, B.著、貫名美隆・宮本正興訳 (1975) :『アフリカ文明史』理論社。
- ギボン, E.著、朱牟田夏雄訳 (1987) :『ローマ帝国衰亡史 第V巻』筑摩書房。
- ヘロドトス著、松平千秋訳 (1967) :『歴史』筑摩書房。
- イブン・バトゥタ著、前嶋信次訳 (1977) :『三大陸周遊記』河出書房新社。
- 石毛直道 (1973) :『リビア砂漠探検記』講談社。
- 川田順造 (1981) :『サバンナの手帖』新潮選書、新潮社。
- 木村重信 (1969) :サハラにおける先史岩壁画。山下孝介編『大サハラ』講談社 : 32-47。
- 小堀 巍 (1962) :『サハラ沙漠』中央公論社。
- ロート, H.著、水戸多岐喜雄訳 (1960) :『タッシリ遺跡—サハラ砂漠の秘境』朝日新聞社。
- 前嶋信次(1979) :サハラの塩金貿易とアザライ(隊商)。内陸アジア史学会編:『内陸アジア史論集 2』図書刊行会: 211-214。
- マーレイ, J.著、日野舜也監訳(1985) :『アフリカ』図説世界文化地理大百科、朝倉書店。
- 宮治一雄 (1978) :『アフリカ現代史 V』山川出版社。
- 南里章二 (1990a) :サハラ砂漠のキャラバン・ルート—その歴史的展望—(古代)。「兵庫史学」35 : 20-31。
- 南里章二 (1990b) :サハラ砂漠のキャラバン・ルート—その歴史的展望—(近代)。「兵庫地理」36 : 2-26。
- 南里章二 (1991) :サハラ砂漠のキャラバン・ルート—その歴史的展望—(中世)。「兵庫地理」36 : 1-21。
- 西村滋人 (1969) :ニグロの美術遺跡。山下孝介編『大サハラ』講談社 : 116-131。
- 西村滋人 (1982) :『永遠のサハラ』立風書房。
- 大橋保夫 (1969) :サハラ砂漠の民族と言語。山下孝介編『大サハラ』講談社 : 48-80。
- ブリニウス著、中野定雄訳 (1980) :『ブリニウスの博物誌』一巻~三巻。雄山閣出版。
- ブトレマイオス著、織田武雄訳(1986) :『ブトレマイオスの地理学』東海大学出版会。
- 鶴田慶平(1977) :『イスラムの国家と社会』世界歴史叢書、岩波書店。
- 鶴田慶平・板垣雄三・佐藤次高監修 (1982) :『イスラム辞典』平凡社。
- 鶴田義仁 (1988) :西アフリカ・イスラム化パターンの三種型と「フルベ族の聖戦」—S. Triminghamの西アフリカ・イスラム史論をめぐって—。「アフリカ研究」33 : 1-18。
- 鶴田義仁 (1991) :西アフリカのイスラム化と交易—Trimingham脱再論—。「アフリカ研究」38 : 75-85。
- フィリップソン, D.W.著、河合和訳(1987) :『アフリカ考古学』学生社。
- タキトゥス著、國原吉之介訳 (1981) :『年代記』岩波文庫。
- 竹沢尚一郎 (1988) :西アフリカのイスラム化にかんする—考察—歴史主義批判—。「アフリカ研究」32 : 19-43。
- 竹沢尚一郎 (1990) :ジハード史観を脱却すべきではないか—鶴田氏の批判に答える—。「アフリカ研究」36 : 31-43。
- ウェーバー, M.著、大塚久雄・梶山 力訳 (1975) :『プロティスタンティズムの論理と資本主義の精神』中央公論社。
- 山下孝介編 (1969) :『大サハラ』講談社。
- BOAHEN, A.A. (1964) : *Britain, the Sahara and the Western Sudan*. Oxford Univ. Press.
- BOVILL, E.W. (1958) : *The Golden Trade of Moor*. Oxford Univ. Press.
- BRETT, M. (1969) : Ifriqiya as a market for Saharan trade from the 10th to 12th century A.D. *J. African History*, 10 -3 : 343-364.
- CUOQ, J. (1975) : *Recueil des sources arabes concernant l'Afrique occidentale du XIII^e au XVI^e siècle*. CNRS, Paris.
- CUOQ, J. (1984) : *Histoire de l'islamization de l'Afrique de l'Ouest des origines à la fin du XVI^e siècle*. Geuthener, Paris.
- GAUTIER, E.F. (1935) : Anciennes voies de commerce trans-saharien. *Stockholm Geogr. Ann.*, Vol. Sven Hedin : 550-561.
- GOODCHILD, R.G. (1954) : Oasis fort of Legio III Augusta on the routes to the Fezan. *Paper of the British School at Rome* : 56-68.
- HOLSINGER, D.C. (1980) : Migration, Commerce and Community. The mizabis in 18th and 19th century Algeria. *J. African History*, 21 : 61-74.
- JONES, H.L. (1961) : *The Geography of STRBO*. The Loeb Classical Library VIII-17, 3-19, William Heinemann Ltd., London.
- LAW, R.C.C. (1967) : The garamantes and trans-saharan enterprise in classical times. *J. African History*, 8-2 : 181-200.
- Le Coeur, M. (1985) : *Les Oasis du Kawar Une route, un pays. Tome 1 : Passé pré-colonial*, Niamey.
- LEWICKI, T. (1962) : L'état nord-africain de Tàhert et ses relations avec le Soudan occidental à la fin du XII^e et au XI^e siècle. *Cahiers d'Etudes Africaines*, N° 8 : 513-535.
- LIHOTE, H. (1951) : Route antique du Sahara central. *L'Encyclopédie mensuelle D'outre Mer*, XI : 300-305.
- LIHOTE, H. (1954) : L'expedition de Cornelius Balbus au Sahara en 19 av. J. C. d'après le texte de Pline. *Revue Africaine*, Alger txc VIII : 41-83.
- LOMBARD, M. (1947) : L'or musulman du VII^e au XI^e siècle. *Annals. E.S.C.*, II-2 : 143-160.
- MAMMERI, M. (1973) : Le Gourara Elements d'Etude Anthropologique. *LIBYCA*, Tom XXI Alger : 240-292.
- MARQRT, J. (1913) : *Die Benin-Sammelung des Reichsmuseum für Völkerkunde in Leiden, beschrieben und mitausführlichen prolegomena zur Geschichte der Handelswege und Völkerbewegung in Nordafrika*. Leiden : Brill ; Veröffentli-

- chungen des Reichsmuseums für Völkerkunde in Leiden, Leyde.
- MAUNY, R. (1947) : Un route préhistorique à travers le Sahara Occidental. *Bull. I.F.A.N.*, 9 : 341-357.
- MAUNY, R. (1961) : Tableau géographique de l'Ouest africain au moyenâge. *Mém. I.F.A.N.*, 61, Dakar.
- MIEGE, J.L. (1975) : La Libye et le commerce transsaharien au XIX^e siècle. *Revue de l'occident Musulman et de la Méditerranée*, 1^{er} semestre : 135-168.
- PONCET, J. (1967) : Le mythe de la catastrophe Hilalienne. *Ann. E.S.C.*, XXII Sep.-Oct. : 1099-1120.
- SPRUYTTE, J. (1968) : Le cheval de l'Afrique ancienne. *Le Saharien*, N° 48 1^{er} trimestre : 32-42.
- SWANTON, J.T. (1975) : The myth of transsaharan trade during the Roman age. *Intern. J. African History*, 8 : 582-600.

The Saharan Long-Distance Trade by the Non-Arab Ethnic Group—Garamantes and Ibadis Berbers

Shoji NANRI*

This paper considers the trading activities which Non-Arab groups engaged in during the first stage in the history of the Saharan long-distance trade.

When we consider comprehensively "Les Chars Rupestres", a route dotted in the Sahara Desert with the names of the places in the desert, such as the ones described by Herodotus and the ones along the expedition route of C. Balbus described by Pliny, we cannot deny the fact that many people had crossed the Sahara Desert before Christ.

Especially through the age of the Phoenician and the Ancient Roman, people so-called Garamantes, were engaged in the activity of trading in the Sahara Desert. We can consider that Garamantes were concerned in the activity of trading as one of the ethnic group of Berbers, although a rebellion by Berbers rose against the Roman Empire.

After the Arabic invasion in to the North Africa, Berbers, who had accepted a doctrine of Ibadis-Islamic, began to take part in the activity of the Saharan long-distance trade. Ibadis Berbers played a role of an intermediary by trading with the Ghana Empire, while keeping their northern trade center at Tähert (Tiaret), even though they were deported to the frontier by the Abbasides Dynasty.

Ibadis Berbers were deported by the Fatimids Dynasty from the center of Magreb in the first half of the tenth century, but they established their communities with a network of trading throughout the Sahara Desert and developed the long-distance trade.

Key Words : Saharan Long-Distance Trade, Les Chars Rupestres, Garamantes, Ibadis-Berbers

* Konan Boys High School, 31-3 Yamate-cho Ashiya, Hyogo, 659 Japan.

(Received, October 31, 1994; Accepted, July 10, 1995)

中国内モンゴル自治区における牧畜業の変遷

周 建中*・大槻恭一*・神近牧男*

1. はじめに

世界の乾燥・半乾燥地の草原¹⁾は耕地の約3.65倍の面積を占め(真木ほか, 1993), 人類に貴重な牧畜産品を提供し, 世界経済に重要な役割を果している。しかし, この地域の気候は厳しく, 農牧畜業の生産は非常に不安定であり, 近年過放牧などによって沙漠化が急速に進行している。UNEPによれば, 放牧草地の2/3, 降雨依存農地の1/2, 灌溉農地の1/5で沙漠化が発生している(真木ほか, 1993)。

中国の北部・西部は乾燥地・半乾燥地に属し, 草原の大半がこれらの地域に存在する。その中でも, 特に内モンゴル自治区に占める草原の割合は大きく, 牧畜業は内モンゴルの主要産業として地域経済の中で重要な割合を果たしている。内モンゴルでは, 古代より長い遊牧の歴史があったが, 人口増加や商品経済化の進展などを背景とした過放牧などによって草地劣化が深刻化しており, 牧畜業の改革が緊急の課題となっている。このような時代背景の中で, 内モンゴルの牧畜は, 伝統的な遊牧²⁾から定住定牧へと変容しつつある。本研究では内モンゴル自治区を対象に, 牧畜が遊牧から定住定牧へ移行する経緯とその理由について検討を行なった。

2. 内蒙古自治区の概要

1) 内蒙古の地理

内モンゴル自治区は中国北部の内陸に位置し(北緯37~53度, 東經97~126度), 東西2,400km, 南北1,700kmの地域に北東から南西へ円弧状に広がっている。国境線は4,200km, 面積は118.3万km²で, 国土の約12.3%を占めている。海岸線からの距離は, 東部で約500km, 西部で約1,500kmである(図1)。

内モンゴルの地形は全体的に東低西高で, 北東から南西の方向にかけて大興安嶺山脈・陰山山脈・賀蘭山山脈が連なっている。山脈の北側には, 自治区面積の約60%を占める内モンゴル高原が広がっている。山脈の南側には, 東部に西遼河平原・嫩江平原, 西部に河套平原・土默特平原・鄂爾多斯高原がある。西部を中心にゴビ沙漠に連なる面

積33.5万km²の沙漠があり, 北東端は森林地域となっている。

1993年の資料によれば(内モンゴル統計局, 1994), 内モンゴルの草原の面積は78.6万km²で自治区面積の約66%を占め(全国草原面積の約22%), 全国で最も広い。図2に示すように, 内モンゴルの大半は牧畜業地域で占められている。なお, 牧畜業地域は大きく陰山山脈北側の内モンゴル高原と陰山山脈南側の鄂爾多斯高原と二分される。

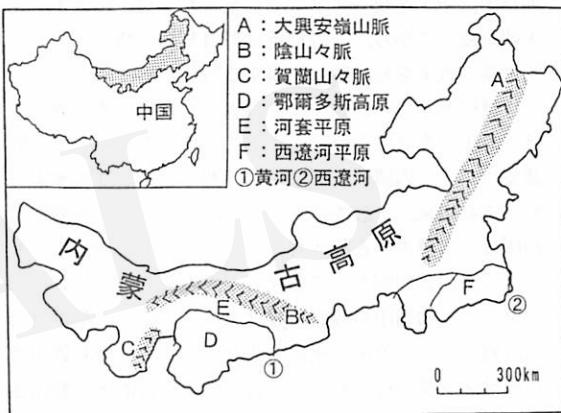


図1. 内蒙古自治区略図。



図2. 内蒙古の農・牧・林業別土地利用区分図。

(内モンゴル農業地理編集委員会, 1982; 湖ほか, 1984により作成)

*鳥取大学乾燥地研究センター

(受付: 1995年9月13日, 受理: 1995年10月23日)

2) 内蒙古の歴史

内蒙古では、牧畜は新石器時代から始まっており（額爾敦ほか, 1987），古来から最も重要な産業であった。牧畜民にとって、草地は生産の基盤、家畜は財産である。したがって、古代の遊牧民族は水と豊かな草地を求めて遊牧を行なうとともに、草地・家畜・奴隸をめぐっては他民族との戦争を繰り返した。

B.C.8世紀（春秋時代）様々な遊牧民族の政治活動が目立つようになり、匈奴がB.C.3世紀初頭に大草原地域を支配し、初めての牧民国家をつくった。その後、3世紀～6世紀前半（三国・晋・南北朝）までは東胡系統の鮮卑・烏恒・柔然、6世紀後半～9世紀（隋・唐）には突厥、ウイグルの支配時代があった。10世紀～13世紀前半（五代・宋）の時代には契丹・女真・蒙古などの遊牧民族が相次いでこの地域を支配し、13世紀後半には元王朝が中国全土を統一するまでに至った。14世紀後半、元王朝が滅んでから、この地域は群雄割拠の時代に突入し、明王朝と戦争をし、時に従属する時代があった。

17世紀前半に再び興った女真族（のち満州族と改名）は、清王朝を立てる前に、まずこの地域を征服して「外藩蒙古」と「内属蒙古」に分け、盟と旗の制度を確定した。それ以来、一般的に大ゴビ沙漠の北側は「外蒙古」、南側は「内蒙古」と称されてきた。外蒙古は1924年にモンゴル人民共和国として独立した。内蒙古では1947年、中華人民共和国中央政府の成立より2年前に内蒙古自治区政府が今の自治区の東部で成立した。その後も数回の行政区調整が行なわれ、今日の内蒙古自治区が形成された（烏ほか, 1987；文史知識編集部, 1993）。

3) 内蒙古の人口と民族構成

1993年末の内蒙古の人口は約2,232万で、中国全人口の約2%（内蒙古統計局, 1994）である。人口の大半は農業地域と、都市・鉄道沿線地域に集中している。しかし、人口密度は最も密度が高い地域でも200人/km²程度で、平均18.9人/km²であり、一般に希薄である。

自治区には44の民族が存在するが、人口の大半は漢民族で占められ（81%）、蒙古民族がこれに次いでいる（16%）（内蒙古統計局, 1994）。1992年に対する1993年の人口増加率は1.2%であり（内蒙古統計局, 1994）、漢民族のみ一人っ子政策がとられている。蒙古民族は牧畜地域と東部の半農半牧地域に集中している。特に牧畜業地域では、90%以上が蒙古民族で占められている。

4) 内蒙古の牧畜業経済

1993年の内蒙古の牧畜業生産額が農業総生産額に占める割合は30.7%（内蒙古統計局, 1994）である。

1993年の一人当たり GNP は2,176元であった。年間の一人当たりの純収入^③は、都市住民の1,712.06元、農民の777.95元、牧民は1,164.07元である。1981～1993年ににおける純収入の年増加率は農民11.9%，牧民12.1%であった（内蒙古統計局, 1994）。

1993年の家畜の年末総数は4,232万頭で、草食家畜が84%を占めている。特に羊が多く、家畜総数の68%を占めている。草食獣家畜頭数、ヒツジ・ウマ・ラクダ各々の飼育頭数、ウール生産量、カシミヤ生産量は全国1位であった。

内蒙古は、草原面積も草食家畜頭数も全国1位で、中国で最も重要な牧畜地帯となっている。しかし、蒙古人などの地元の民族は生活方式として昔からの牧畜様式に従ってきており、内蒙古の牧畜業の生産性はまだ低い。1984年のウシの胴体重で見れば、世界平均の197kg/頭と全国平均の90.7kg/頭に対して、内蒙古では88.2kg/頭であった（章ほか, 1990）。ヒツジの胴体重で見れば、世界平均の15kg/頭と全国平均の12kg/頭に対して、内蒙古では11.1kg/頭であった（章ほか, 1990）。また、内蒙古における単位面積あたり畜産品の生産性を先進国と単純に比較してみれば、アメリカの3.7%とニュージーランドの1.22%に過ぎない（額爾敦ほか, 1987；章ほか, 1990）。こうしたことから、内蒙古の牧畜業の生産性向上の可能性は大きいと考えられる。

5) 内蒙古の気候

内蒙古は大陸性の半乾燥気候および乾燥気候に属している。夏季モンスーンの影響は弱く、西部奥部にはほとんど届かない。図3は、内蒙古の147地点における1951～1980年の気候資料に基づいて作図した気温・降水量の分布を示したものである。全般的に北東部は寒冷湿潤で、南西部は冷涼乾燥の傾向を有している。年平均気温は-5～9℃（平均3.8℃）で、冬季は全域において非常に寒冷である。年降水量は50～500mm（平均322mm）と少ない。また、降水量の変動は大きく、平均して3年に一度干ばつが発生している。年日照時間は2,600～3,400hr（平均3,004hr）で、日照には恵まれている。年計器蒸発量は932～4,212mm（平均2,098mm）で、降水量を大きく上回っている。

内蒙古の乾湿気候を次式に示す中国科学院の乾燥度Kで分類すると図4のようになる。

$$K = 0.16 \sum t/r \quad (1)$$

ここに、tは気温10℃以上の期間の積算温度（℃）、rは同期間の降水量（mm）である。

図5は内蒙古における主な気象要素の季節変化を乾燥度K別地域に示したものである。内蒙古の雨期は6～9

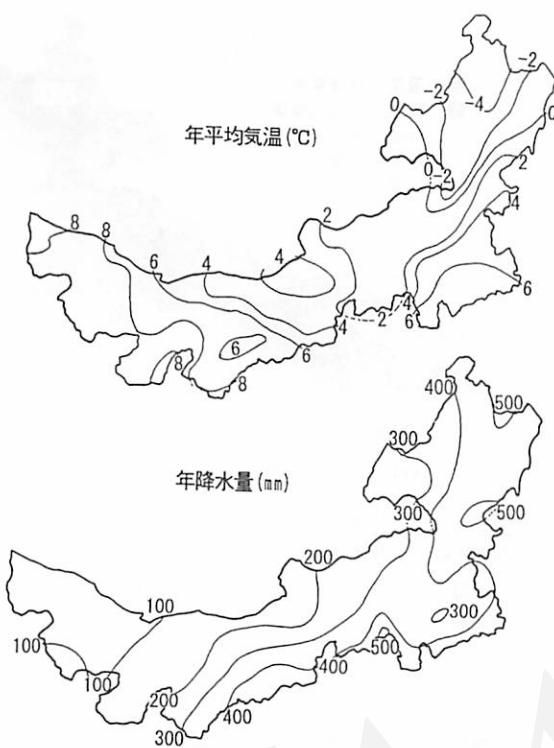


図3. 内蒙古における気候要素の年分布。
(内蒙古自治区気象台, 1983の資料より作成)

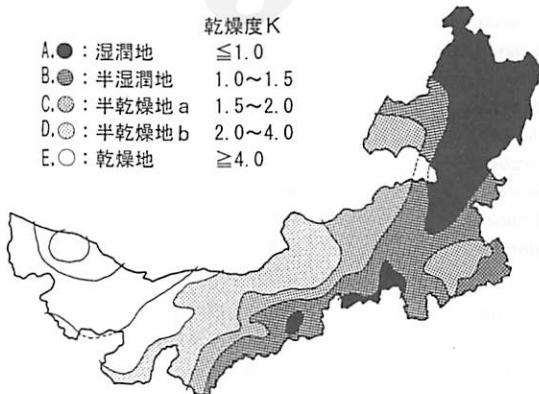


図4. 内蒙古における乾湿気候区分。

月であり、特に7～8月の雨量が多い。雨熱同季と呼ばれているが、温暖期は雨期とほぼ一致しており、10℃を超える期間は乾燥区で4～9月、湿潤区で5～8月となっている。最多降雨月と最暖月は共に7～8月である。日射量および計器蒸発量のピークは5～6月であり、降雨・

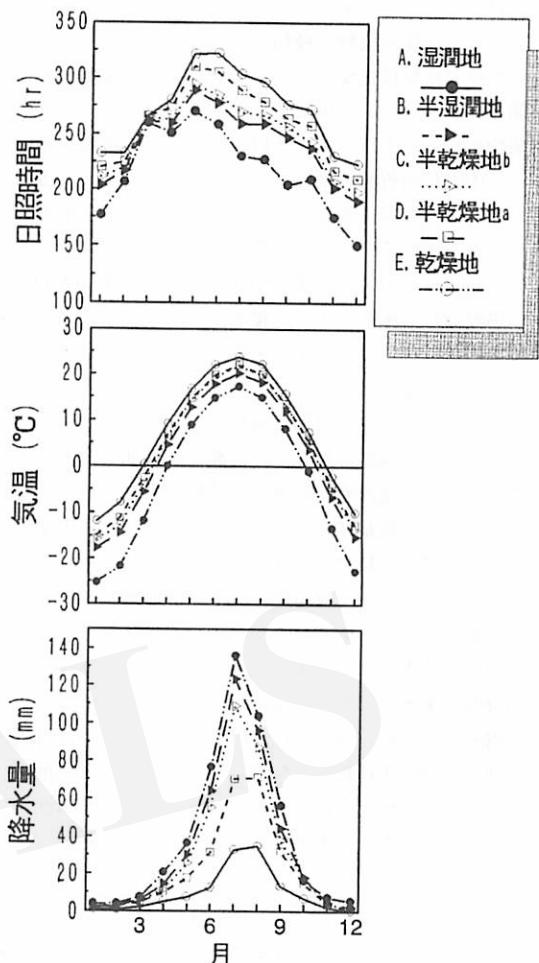


図5. 内蒙古における気候要素の年変化。

気温のピークより約2カ月早い。

雨期、温暖期、多照期が同時期にあるため、気候学的には内蒙古は植物生産に適した条件下にある。ただし、降水量が少なく年変動が大きいのに加え、春季の乾燥が厳しいため、河川近傍の灌漑農業地域を除けば安定した農業を開拓することは難しい。

このような理由から、内蒙古では必然的に草原を中心とした牧畜業が発展してきた。

6) 内蒙古の牧草と草原

内蒙古の牧草は草本植物の他に、家畜の採食できる木本の枝葉なども含まれている。1988年までの調査によれば(章ほか, 1990), 内蒙古の牧草は、52科272属の789種の種子植物と4種のシダ類植物からなっており、大半は乾生植物である。このうち主要な牧草は、イネ科・キク科・マメ科・アカザ科・バラ科・カヤツリグサ科・タ

デ科・アブラナ科・ユリ科・ヤナギ科などの206種であり、家畜の採食植物全種類の79%を占めている。

牧草の種類は乾燥度によって異なり、乾燥度の高い西部ほど数が少ない。東部と比べると西部では、イネ科の植物が著しく少なく、キク科とアカザ科の植物が多い。

「中国草地資源評価原則及び標準」(章ほか、1990)によれば、牧草は栄養分・家畜への嗜好性・利用率等から、優等・良等・中等・低等・劣等の5段階に分類されているが、内蒙には優等牧草が18種、良等牧草が44種・中等牧草が57種存在する。優等・良等の牧草は主に中・東部の典型草原地帯、中等・低等・劣等の牧草は主として西部の乾燥地域に分布している(表1)。

内蒙の草原を地帯別に分類すると、図6に示すように、東部から西部にかけて、湿潤草原、典型草原、半沙漠草原、草原化沙漠、沙漠の5種類に分類される。なお、表2にその分類基準を示す。図に示すように、内蒙の草原の地帯別分類は乾燥度(図4参照)とよく対応していることがわかる。牧草生産力も草原の地帯別分類とほぼ対応しており、東部ほど生産力は高い。なお、牧草生産力は、草本では地上部分、亜低木および低木では可食部分を対象として乾燥重量で求めたものである。

内蒙の草原を地形的に分類すると、平坦地・山間地・低地・沼地の4種類に分類され、その中でも平坦地が最も多く、山間地・低地・沼地は、主として東・南部に分布し、比較的降水に恵まれているため牧草生産力は高い。

表1. 内蒙の主要優、良牧草一覧表。

科名	種・属名	学名	主な植生地
イネ科	氷草(カモジグサ属)	<i>Agropyron cristatum</i>	典型草原
	沙生氷草	<i>Agropyron desertorum</i>	半沙漠草原
	小穢草(コヌカグサ)	<i>Agrostis alba</i>	典型草原
	芒穢股穎(コヌカグサ属)	<i>Agrostis coarctata</i>	湿潤草原
	羊草(カモジグサ属)	<i>Leymus chinensis</i>	典型・湿潤草原
	頬草	<i>Leymus secalinus</i>	典型・半沙漠草原
	無芒雀麦	<i>Bromus inermis</i>	湿潤草原
	披碱草(エゾムギ属)・	<i>Elymus dahuricus</i>	湿潤草原
	老芒麦(エゾムギ)・	<i>Elymus sibiricus</i>	湿潤草原
	針茅属・	<i>Stipa</i>	各類草原
マメ科	黄花苜蓿(ウマゴヤシ属)	<i>Medicago falcata</i>	典型・湿潤草原
	草木犀(シナガワハギ)	<i>Melilotus suaveolens</i>	典型・半沙漠草原
	野火球	<i>Trifolium lupinaster</i>	湿潤草原
	山野豌豆	<i>Vicia amoena</i>	典型・湿潤草原
	広布野豌豆	<i>Vicia cracca</i>	典型・湿潤草原
	沙打旺*	<i>Astragalus adsurgens</i>	草原化沙漠
	細枝岩黄耆(イワオウギ属)・	<i>Hedysarum scoparium</i>	半沙漠・沙漠草原
	蒙古岩黄耆(イワオウギ属)・	<i>Hedysarum mongolicum</i>	典型・半沙漠草原
	樟条錦鸡儿*	<i>Caragana korshinskii</i>	半沙漠・沙漠草原
キク科	冷蒿*	<i>Artemisia frigida</i>	典型・半沙漠草原

著者が額爾敦ほか(1987)、章ほか(1990)に基づいて整理したものであり、日本語名は徳岡・金(1989)による。

*は良等牧草。

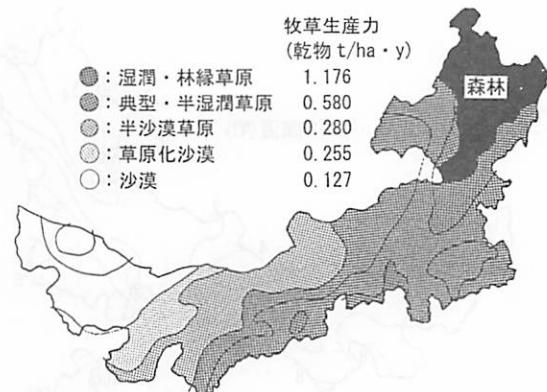


図6. 内蒙古の草原と牧草生産力分布。

(章ほか、1990の牧草生産力資料により作成)

表2. 内蒙古の草原の地帯別分類基準。

草原種類	年降水量mm	年≥10°C積算温度	乾燥度K
湿潤	350~500	1,700~2,600	≤1.0
典型	320~450	1,800~3,200	1.0~1.5
半沙漠	150~250	2,200~3,000	1.5~2.0
草原化沙漠	100~200	2,600~3,400	2.0~4.0
沙漠	<100	3,050~3,700	≥4.0

章ほか(1990)に基づいて作成。

乾燥度Kは著者がもとの湿潤度を近似的に換算したものである。

牧草生産力は山間地は1.8t/ha・低平地1.3t/ha・沼地1.0t/haである(章ほか, 1990)。

7) 内蒙古の家畜

内蒙古の草食家畜は、1993年現在3,547万頭(年末数)である。そのうちヒツジが2,860万頭、大型家畜(ウマ・ウシ・ロバ・ラバ・ラクダ)が686万頭を占めている。

家畜の種類別分布は、草原種類の分布とほぼ一致している。良質の牧草を必要とするウシ・ウマ・ヒツジは東部に多く、低木でも好んで採食するヤギ・ラクダは西部に多い。地域別に見れば、東部の錫林郭勒盟草原にヒツジ・ウシ・ウマの分布が最も多く、1985年にはそれぞれ内蒙古全体の23%, 21%, 24%を占める。

草食家畜の46%は牧畜業地域に存在するが、これを上回る54%が半農半牧地域および農業地域に存在する(額爾敦ほか, 1987)。これは、近年、半農半牧地域および農業地域において飼料として、人工牧草と農作物の藁等の利用が増加していることに起因するといわれている。ラバとロバは役畜として主に半農半牧地域および農業地域に集中している。

8) 内蒙古の牧養力

国際的には、牧養力を表わすのに牛単位が使われているのに対して、中国では羊単位(HT)を使用している。羊単位とは、羊一頭当たりの年間牧草採食量(生重)であり、羊一頭当たり日牧草採食量(生重NSR)に年間日数を乗じて求められる。

$$IHT = NSR \times 365 \quad (2)$$

ここに、IHTは一羊単位(kg/頭・年)、NSRは羊一頭当たりの日牧草採食量(kg/頭・日)である。

日牧草採食量(HSR)は地帯別草原によって異なり、東部の湿潤草原・典型草原では5kg/頭、中部の半沙漠草原・草原化沙漠では4kg/頭、西部の沙漠草原では3kg/頭である(額爾敦ほか, 1987)。各種家畜の羊単

表3. 内蒙古各種草原の牧養力

草原種類	B(羊単位/ha・y)	全自治区%
湿潤	1.22	20.6
典型	0.60	33.1
半沙漠	0.31	5.6
草原化沙漠	0.30	3.3
沙漠	0.16	3.3
山間	1.93	5.7
低平地	1.48	25.8
沼地	1.38	2.6

章ほか(1990)に基づいて作成。

位への換算比は、ラクダ1/7、ウシ・ウマ・ラバ1/5、ロバは1/3である(額爾敦ほか, 1987; 章ほか, 1990)。

牧養力(B)は羊単位(IHT)を用いて次式より算定される。

$$B = NBSR/IHT \quad (3)$$

ここに、Bは牧養力(頭/ha・y)、NBSRは年牧草生産力(kg/ha・y)である。地帯別および、地形別草原の牧養力を示したのが表3である。

表3より、牧養力は東部が多く、西部へいくほど少ない傾向がわかる。自治区の全牧養力に占める割合は典型草原・湿润草原が多く、また、低平地草原も多い。これらの草原が内蒙古にとって重要な草原であることがわかる。

3. 牧畜業経済体制の変遷

中国農村の社会主義的集団経済体制から社会主義的市場経済体制へ移行していく中で、牧畜においても1981年に経済体制の大幅な改革が行なわれた。特に、所有制度・経営制度・流通制度が見直された。また、牧畜を振興する基盤整備も積極的に促進され始めた。一方で、環境問題も念頭に置かれ、過放牧などの過剰な開発を規制する法律も制定された。

1) 家畜・草地の所有制度と経営制度の変遷

内蒙古牧畜業の所有制度と経営制度は、額爾敦ほか(1987)、章ほか(1990)の文献を参照すれば、自治区成立前の「旧社会」の時代、自治区成立直後の「民主的改革」時代、その後の「社会主義的改造」時代、「人民公社」時代、および1981年の「経済体制改革」後の5つの時代に分類できる。ここでは、それぞれの時代における牧畜業の所有制度と経営制度の変遷について検討する。

(1) 旧社会

自治区成立前の「旧社会」においては、牧畜業地域の経済制度は極めて不平等であった。草地・家畜・井戸の大半は、王公、貴族、上層僧侶、寺院、旗庁、牧場主の所有であった。牧民の多くは自由のない奴隸で、生活は極めて過酷なものであった。この経済制度は「旧蘇魯克」と称される。

(2) 民主的改革

自治区成立の1947年から1952年までの間に、経済制度の「民主的改革」が行なわれた。農業地域では地主から強制的に没収した土地を貧しい農民に無償で分配する「土地改革」が行なわれたのに対し、牧畜業地域では「新蘇魯克」と称される生産関係改革が行なわれた。これは少数民族に対する特別政策であり、牧主と牧民の両

者にとって有利な政策である。すなわち、牧主所有の草地は公有化され、一般に解放されたが、牧主の家畜は没収されなかった。牧民は強制労働から解放され、牧主との間に賃金契約あるいは畜産品の配当割合の契約を結んだ。

(3) 社会主義的改造

続く1953～1958年に牧畜業経済の「社会主義的改造」が行なわれた。この時期、政府は牧畜業初級合作社と公私合営牧場を徐々に設立し、若干の国営牧場も創設した。牧民に対しては、主として初級合作社への加入を進めた。

初級合作社は後の人民公社へ転換する過渡的段階の集団生産經營組織である。初級合作社では家畜そのものは牧民の個人所有であり、牧民は家畜と労働を出資して収入を配当された。

牧主に対しては初級合作社あるいは公私合営牧場への加入を進めた。公私合営牧場は、政府が役員を派遣して牧主と共同經營する企業であるが、經營は国の管理下に置かれたため、実質上は国営企業である。初級合作社と公私合営牧場のいずれにおいても、牧主に対しては役職を与え、固定的利息を支払うなど、経済発達地域の企業資本家に対する政策より温和な家畜の買い取りと、牧主を自分の力で生活する公民に改造する政策が取られた。

国営牧場は、家畜の品種改良や優良品種の導入など近代的科学技術の普及の先導的役割を果たすことを目的とし、設立された。

1958年末までに、2,295の合作社と122の公私合営牧場が設立され、牧畜業の合作化と牧主に対する「社会主義的改造」が実現した（額爾敦ほか、1987）。

(4) 人民公社

1958年、全国的に農村の「一大二公」（一に大規模化、二に生産手段のより一層の社会主義的集団公有化）と「政社合一」（行政と經濟活動を共に行なう）を行なう「人民公社」化運動が急速に推進された。農業地域では初級合作社から高級合作社を経て人民公社化されたのに対し、牧畜業地域では高級合作社の段階を抜きに、1959年にわずか3カ月間で初級合作社のほとんどが152の人民公社に改組された（額爾敦ほか、1987）。人民公社は生産小隊からなる複数の生産大隊で構成される。牧民の収入は、主として生産大隊の収支決算による配当であるが、その他の換金植物と狩猟による副収入、受け持つ家畜の増産分の約2～3%の収入があった。この時期までは草原牧養力の余裕もあったために、牧畜生産は全体的に上昇した。

1966～1976年は、全国的な「文化大革命」によって政治がかなり混乱した時代であった。この時期には、「人民公社」の平等主義の徹底により農牧民の労働生産意欲

が低下し、経済制度上の弊害が顕在化した。牧畜区では牧畜が軽視され、農業優先の政策が実施された。また、単なる家畜増の追求と草原の無計画利用による過放牧が進んだことにより、牧畜生産は1980年代半ばまで停滞が続いた。

なお、公私合営牧場に関する資料は無いが、1966年9月、全国的に公私合営企業における固定的利息の支払いが停止され、完全国有化政策が実施されたことから、この時期に正式的に国営牧場になったと思われる。

(5) 経済体制改革

1978年末の中国共产党11期3中総会以降、「人民公社」の弊害を除去して生産を立て直すために、全国の農村において「農村経済体制改革」が行なわれた。この改革の骨格をなすのが「家庭聯產承包責任制」と呼ばれる世帯単位の生産請負責任制で、土地は公有だが、農家は土地の生産經營を長期的に請負するという制度である。人民公社は1982年に「政社分離」の原則に従って解体され、1984年に正式に郷^①に移管された。また、生産大隊は村^②に転換された。

内モンゴルの牧畜業地域では、1981年から次第に「家族的經營牧場」と「家畜と草地の二重請負制度」という経済制度が導入された。具体的には、生産大隊所有の家畜を、定期分割払いの形で牧民に払い下げ私有を許した。これと同時に牧民に一定面積の草地を請負の形式で配当し、長期的に草地を使用・相続する権利を与えた。村は牧民に生産目標を提示し、牧民は集団福祉事業に振り向ける公益金、郷・村の拡大再生産にあてる公共累積金と税金を払うとともに、草地を管理する義務を課せられた。1985年までに、95%の家畜が牧民に配当され、大半の草原の所有権と使用権が確定された。1985年10月、これらの制度は「中華人民共和国草原法」（以後、草原法と称す）によって正式に定められた。現在、内モンゴルの牧民一世帯の草地は約333～2,000ha、家畜は数百～1,000頭といわれている（額爾敦ほか、1987；章ほか、1990）。

国営牧場も、「経済体制改革」前は管理体制の不備、「平均主義」による労働意欲の低下などによって、多くは經營不振であった。「経済体制改革」後、国営牧場も職員の家族的請負の經營牧場に移行し、1985年現在その数は53,560となった（額爾敦ほか、1987；章ほか、1990）。近年では、さらに牧畜・工業・商業を一体化經營する連合企業も多く出現している。

所有制度の変化によって、内モンゴル草原牧畜業の經營体制は多様化した。これを大別すると、次の四つの形式に分類される。

家族的經營：一世帯の家族による牧畜經營であり、内モンゴルにおける主要な經營方式である。最初はほとんどが

混牧だったが、次第に効率を追求する単一種類家畜を経営する専業戸と牧草栽培を経営する専業戸が多く現われてきている。

生産協力体経営：複数の家族的牧場による経営協力体であり、所有権は各家族に帰属するものである。

国営牧場：1985年現在、各盟・市（自治区と県・旗の間に位する行政単位）の管理下にある単一種類牧場は57あり、214の牧業隊に分けられ（額 翁敦ほか、1987）、その下に職員の家族的請負経営牧場がある。なお、自治区政府部門の管理下にある草食家畜良種畜場は67ある（額 翁敦ほか、1987）。

集団所有経営：郷あるいは村単位の牧畜経営である。ただし、この種の形式は非常に少ない。

2) 流通制度の変遷

流通分野における国家統一管理制度は、社会主義的改造が始まった1953年から実施された。しかし、経済発展を妨げる流通制度の弊害が次第に深刻化したため、1980年代に改めて改革が行なわれた。

経済体制改革前は、農産物と同様に畜産物は、価格決定から購入・加工・販売に至るまで、ほとんどが国家に統制されていた。この流通制度は国家計画による指令的な制度で、「統購」と「派購」からなり、「統派購制度」と呼ばれていた。国民経済にとって重要な畜産品は、羊毛と皮革等の食用以外の第1種類と、肉類の第2種類に区分された。「統購」は第1種類の製品を対象とした国家の独占的統一買付販売制度である。「派購」は第2種類の製品を対象とした生産単位留保分が自由処分できる割当買付販売制度である（藤田、1993）。

「統派購制度」の下で、「供銷合作社」が人民公社からの畜産物の買付を担当した。供銷合作社は集団所有制の購販協同組合であるが、事実上は国の経営管理であった。統派購された畜産品の加工と配給販売は国営土産公司と食品公司が担当した。

しかし、こうした流通制度の下では、役人経営による単一販売ルートのために生産と市場の連携が断ち切られ、品質向上とコストダウンにつながる技術革新が停滞した。また、買付価格が固定化されたため牧民の生産意欲が低下して、需要と供給のバランスも大きく崩れた。

政府は牧民の生産意欲を高めるために1979年に畜産品の買付価格を大幅に引き上げたが、国家財政の負担が大きくなってしまった。そのため1985年に政府は「統派購制度」を廃止し、政府指導下の「協議販売制度」を導入した。協議販売制度では、大半の畜産品の販売価格が市場価格と連動することを認められている。張（1986）によれば、1985年の買上価格は1970年代初期に比べ10～15倍になっ

ている。これと同時に、政府は流通体制を単一の国営から、国・集団・個人などによる多種経済形式並存体制に改革した。また、生産から販売までの一体化経営も進めてきた。政府はこの様に流通体制の整備を通して、「社会主義的市場経済」メカニズムの形成と牧畜業の活性化を目指している。しかし、まだ試行錯誤の段階の域を出でていない。

3) 牧畜業生産基盤整備の変遷

中国では、牧畜業生産技術のサービスと普及は政府畜牧局の所属部門が行なっている。所有・経営・流通等の制度に市場経済メカニズムが導入されたのに伴って、牧畜業生産技術のサービスと普及システムも改善された。

経済体制改革前の牧畜業生産のサービス部門は、畜牧局が実施していた獣医、家畜品種改良繁殖、草地改良、経営管理の四部門に分けられ、それぞれの部門において技術的な指導が行なわれていた。このサービス部門は、行政レベルによって、自治区、盟・市、旗・県、人民公社の四級に分けられ、全て無償であった。しかし、このサービス部門も政府の単一管理運営で、積極性の欠如などの問題があった。

経済体制改革後の牧畜業生産基盤整備のサービス部門は、技術だけでなく資材も投入する有償サービスとなり、サービスの請負責任制が導入された。1986年から1990年までに自治区政府は20の旗・県に実験的に牧畜業サービスセンターを創設した。1987年、「蘇木・郷⁴」における牧畜業総合サービスステーション管理（試行）法」を打ち出して、蘇木・郷における前述四部門を合併させ、総合技術サービスステーションに改造した。1992年現在、この様なサービスステーションは、1,088（中国農業年鑑編集委員会、1993）ある。また、嘎查（村）に牧民の科学技術模範戸を建てた。

大学や研究所なども有償サービスや技術普及に参加するようになった。これらの研究機関では、畜疫の予防、ウシとヒツジの胚胎凍結移植による品種改良、人工草地の建設などの研究に力を入れている。

このように、新たな技術普及サービスネットワークが形成されたが、サービスの向上、規準の確立まではまだ時間がかかる様である。

4) 草原保護管理に関する法的制度の確立

中国政府は、牧畜業に関する経済制度、生産基盤整備などを改革する一方で、沙漠化等の環境問題を念頭において草原の乱開発を防止する法律も制定した。

自治区成立前には草地を管理する制度は存在しなかった。自治区成立後の初期に、政府は草地を牧主の所有か

ら一般牧民も利用できる様に「自由放牧」に解放したが、草地の管理制度は制定しなかった。その後、1956, 1963, 1978, 1979, 1982, 1983, 1984年に中央政府が発布した農村政策の規定や条例などの中では、草原の保護・改良・合理的利用などが提言されていたが、具体的な政策は立てられなかった（章ほか、1990）。経済体制改革前の集団公有経済制度と生産經營体制のもとでは、むしろその様な法律制度の成り立つべき主義はなかったといえる。

しかし、その後、過放牧・牧畜生産の停滞・草地劣化・沙漠化などの諸問題が次第に顕在化した。また、経済体制改革後に牧民の生産意欲が向上するにしたがって過放牧が拡大する恐れがあった。加えて、先進国では草地保護管理の法律制度が整備されており、数十年～数百年間も草地の生産力が落ちることなく維持されてきたことが認識されるようになった。これらのこととは、1970年代末から草地保護などの問題が頻繁に言及されてきたことからも読み取れる。

そのために、数年の準備段階を経て1985年全国人民大会で採択された「草原法」においては、生産者に牧草地所有権・使用権・継承権を与えると共に、牧草地の保護・育成責任、草地使用費を納める義務について明確に定められた。その中で、草原における農地開墾の禁止、希少種類植物・動物および、牧草地保護に有益な鳥（タカ類）・獣（キツネ・イタチ）の採取と狩猟の禁止、薬用など換金植物の無断採取の禁止、過放牧に対する規制と懲罰、囲い牧草地・牧草地改良と人工草地の地方経済発展計画への編入、牧草地火災の防止などについての規則が定められた。また、国が牧草地を徴用する場合、部分的に牧草地の帰属を調整する場合でも、法律に基づいて許可を取らなければならなくなったり、「草原法」の発効とともに、自治区政府もこれを補充する地方的「草原管理条例」法令を打ち出した。

牧草地有償使用制度が全国的に実施されたのは1987年である。有償使用制度とは、牧草生産量の測定と牧養力の査定により、草地を4等級に分類し、それぞれの等級により使用費を徴収する制度である。徴収額は地域によって異なるが、概ね牧草生産量の1～3%か牧畜収入の3～5%になる。同時に過放牧に対する罰則もある。つまり、牧養力の6～15%を超えた場合は超過した数の2倍の使用費を徴収する。16%を超えた場合は超過した牧畜の値打ちで徴収する。これによって、草地の牧養力と放牧量のバランスをコントロールし、品種改良と生産方式の変革を促進する狙いがあると考えられる。

徴収した使用費は草地育成に回される。内蒙の場合は、この制度によって徴収された使用費は毎年およそ2,000～3,000万元に達し、26～33万haの草地を育成できる。

これだけで、ここ数年来の国・地方政府などによる草原建設投資の総和に相当すると見積られている（中国農業年鑑編集委員会、1993）。

4. 牧畜業の生産管理方式と生産力の変遷

牧畜の所有制度・経営制度の改革に伴って、牧畜の生産管理方式・生産力も変化した。図7は1947年から1993年までの内蒙草食家畜頭数の推移を示したものである。1947年から「民主改革」の時期を経て、「人民公社」前期の1960年代半ばまで家畜頭数は増加の傾向にある。しかし、その後1980年代前半までは家畜頭数は伸び悩み、1990年代に再び上昇の傾向が見られた。この点を踏まえ上で、経済体制改革の前後の牧畜業の生産管理方式と草原生産力の状況の変化について検討する。

1) 経済体制改革前の生産管理方式と生産力

経済体制改革前の生産管理方式は、水と牧草を求めて家畜の群れを連れて転々と移動する遊牧であった。季節ごとに一定の地域で遊牧する拠点である營地を換えて大きく移動するが、特に秋には、冬の備えのため遠距離に移動する。

1群当たりの遊牧の家畜構成は、東部ではウシ100～200頭、ウマ300～500頭、ヒツジ800～1,000頭、中部ではウシ50～100頭、ウマ100～200頭、ヒツジ300～500頭、西部ではヒツジ100～200頭、ラクダ數頭である（章ほか、1990）。なお、家畜の繁殖期は秋から春までであり、家畜頭数は夏に最も多い。一方、10～11月頃には売却・自家消費と越冬できない病弱家畜の処分をするため、家畜頭数は冬に最も少ない。

遊牧は天然牧草だけが頼りである。したがって、牧畜は夏には比較的豊富な牧草を採食できるが、冬には地上に残された枯れ草しか採食できない。長く厳しい冬に牧草が不足している上に畜舎もないため、越冬した家畜の体重は25%程度減少し、乾燥した春には平均して7%が死亡していた。更に、雪害、干ばつ等の自然災害が発生した年には、家畜は大量に死亡していた。遊牧家畜は「夏に肥え、冬に痩せ、春に死ぬ」というパターンの繰り返しで、家畜数は気候条件に大きく左右されていた。

一方、この時代においても、半農半牧地域および農業地域における牧畜業は比較的安定していた。半農半牧地域における生産方式は、定牧と舍飼いで、比較的良好な畜舎や囲いがある。夏と秋に草原に放牧し、冬と春には貯蔵した牧草や農作物の葉を与えるので自然災害に強く、生産は比較的安定していた。農業地域の場合は舍飼いが主要で、主に農作物の葉と副産品が与えられ、生産性は

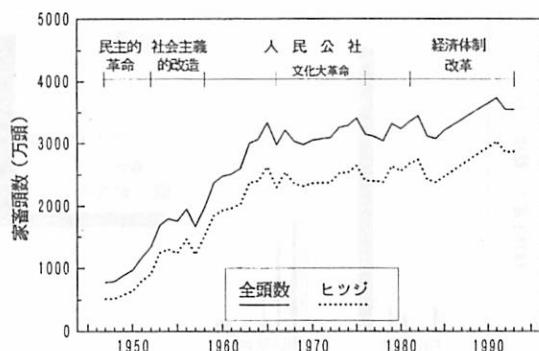


図 7. 1947～1993年の内蒙草地家畜生産の推移。
(額爾敦ほか, 1987; 章ほか, 1990; 内蒙古統計局, 1994の資料により作成)

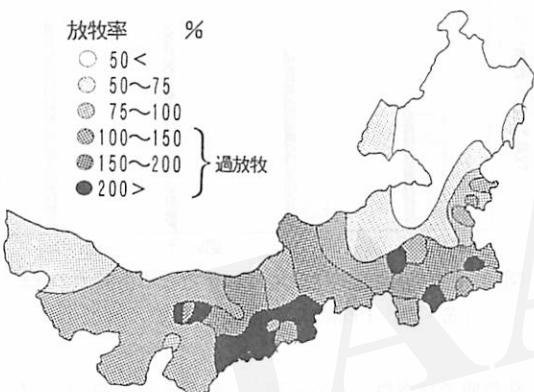


図 8. 内蒙古草原の放牧状態。
(章ほか, 1990の資料により作成)

高かった。

図8は1985年6月30日現在の内蒙草地の放牧の状態を示したものである。ここで放牧率(P)は放牧の程度を表わす指数で、次式で求められる。

$$P = GHR/B \times 100 / B \times 100 \quad (4)$$

ここに、Pは放牧率(%)、Bは牧養力(羊単位/ha・y)、GHRは放牧量(羊単位/ha・y)である。

放牧率が100%以下の場合は草原の牧養力に余裕があることを、100%以上の場合は過放牧を示す。図より、内蒙草地の東部と西部の一部では牧養力に余裕があるが、中部地域の過放牧が深刻であることがわかる。これはこの地域の人口密度が高く、土地利用度も大きいことに起因すると考えられる。実際、局地的に見ると、河川沿い、井戸、家畜群の宿営地の近辺、および平坦地において、過放牧による草原の劣化が深刻である。

過放牧により、家畜の好む優良牧草の草高・植被率・

再生能力・生産量は低下し、その品種も減少する。また、劣等牧草・有害植物・野鼠・病虫害が増加し、更に地面が裸出し、風害・土壤流失などの諸問題が生じる。また、大量の家畜で表土が踏み込まれ、毛細管の働きが強化され、地表に塩分が集積する。この様にして草原は劣化し、最終的に沙漠化する(章ほか, 1990)。

内蒙第三回草地資源調査結果(1980～1986年)(章ほか, 1990)によれば、劣化した草原の面積は全利用可能草原面積の39%を占める。自治区12盟・市のうち、農業と半農半牧地域を中心に、7つの盟・市では草原劣化率が50～60%を超えており、また、全草原面積は1964年に調査した時より9%も減少し、単位面積における牧草生産力は20～34%減少した。家畜平均草原占有面積は1947年の11.2ha/頭から1985年の2.5ha/頭まで減少し、家畜密度は34.6倍も増加した。1985年に草原の牧養力に余裕があり、牧草と作物藁が家畜の需要を満たした地域は東部の3つの盟と西部のわずかの地域に過ぎない。

1960年代前半までは、人口と家畜は少なく、相対的に利用可能な草原面積が広かったために、遊牧方式でも生産はどうにか維持できる状態にあった。しかし近年、特に1980年代までの約20年間には、人口の急激な増加と商品経済の発展を背景に過放牧が進行すると共に、燃料の伐採や無秩序な開墾などの略奪的生産によって、草原の劣化がもたらされた。

2) 経済体制改革後の生産管理方式と生産力

経済体制改革後、政府は「林業と牧畜業を中心に、多角経営を営む」方針を打ち出し、草原の科学的利用と、閉鎖保護草地・人工草地建設などを主とする近代集約的生産管理方式の普及を進めてきた。

(1) 基本的な生産管理方式の変化

経済体制改革後、一世帯の請け負う草原の範囲と使用権が決められたので、遊牧方式は過去のものとなり、ほとんどが定住放牧か定住定牧方式になった⁵⁾。東部では「夏」「秋」「冬～春」の3回、中西部では「夏～秋」と「冬～春」の2回放牧地を移動するので、草地を季節的に分けて利用している。牧畜の管理は一世帯か数世帯で構成した「ホト」という協力体で行なっている。

家族的経営の初期段階には、大半が異なる種類の家畜を同じ群れで管理する混牧だった。しかし商品化経営の必要から、單一種類の牧畜を飼育する「専業戸」が次第に増えている。

草原の科学的利用と生産性向上のために、政府から次の内容の改善策が提言され、実施が進められている。

適切な牧畜生産管理：優良品種の導入、牧養力に見合った適正な家畜頭数、オス畜中心の肥育出荷、メス畜の割

合増、適正な越冬家畜頭数、干ばつ年の家畜増出荷。

その結果、家畜の年出荷率は、1957年～1982年の平均15.8%から1985年には25.7%，1994年には約30%まで増加した（額爾敦ほか、1987；人民日報社、1995（人民日報・海外版））。また、年商品率は、1957年～1982年の平均8.2%から1985年には16.1%まで増加した（額ほか、1987）。これと同時に畜産による収入も大幅に増えてきた。

牧草備蓄：越冬用牧草の備蓄、寡雨年に備えた牧草の備蓄、またそのための採草地の確保。

計画的輪牧：草原に休養回復の時間を与えるための放牧地および採草地の計画的輪牧利用。

退耕還林還牧：環境保全のために不適農地の対策をとってきた。たとえば、1980年代後半、主に半農半牧地域で40万haの不適農業地が草地や林地に戻されている。

(2) 囲い草地

囲い草地とは、草原を囲い、草原の牧草生産力を回復させる方法である。囲い草地は、西部の伊克昭盟において「草庫倫」という名で誕生し、1960年代初頭に普及し始めた。しかし、当時の囲い草地は大面積を追求する形式的なものであり、維持管理も悪く、実際的な効果はほとんどなかった。しかし1980年代頃から囲い草地の見直しが図られ、対象面積が小型化し、効率が改善された。その結果、内蒙ゴの囲い草地は1985年には176万ha（草原面積の2.3%）、45,553カ所、1993年には401万ha（全草原面積の約5.0%）となった。なお、その大半は伊克昭盟に集中している（章ほか、1990；内蒙ゴ統計局、1994）。

草原を囲む材質には、土・石・干しレンガの垣、有糸鉄線、ネット、電気ネット、低木・高木柵などがある。これらのうち、有刺鉄線、ネットの材料を使う囲い草地の設置は急速に発展し、1985年現在、全囲い草地のうち、それぞれ45.6%と32.8%を占めている。

用途から見れば囲い草地には、貯蔵用草地、冬放牧用草地、貯蔵・冬放牧兼用草地、禁牧更新用草地、総合型草地がある。1985年現在、貯蔵用草地と冬放牧用草地は全囲い草地のうち、それぞれ37.8%と39.4%を占めている（章ほか、1990）。貯蔵用草地は主に乾燥する西部に多く、冬放牧用草地は中・東部に多い。総合型草地には水利施設があり、主に食糧・飼料・優良牧草・野菜・果樹などの栽培と植林が行われている。総合型草地の面積はまだ少ないが、人工草地として今後の草地建設の主流になるといわれている。

図9は西部にある伊克昭盟における囲い草地と過放牧による劣化草原の牧草生産力の比較例であるが、囲い草地の牧草生産力は劣化草原の約4.7倍である。また、劣

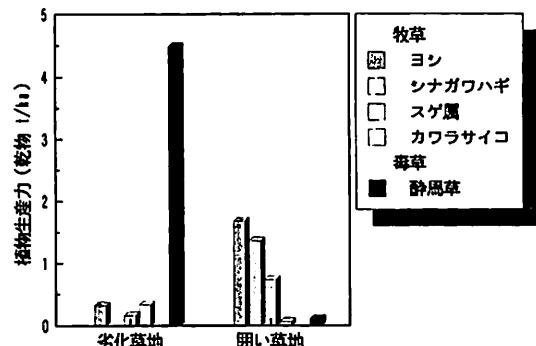


図9. 囲い草地と劣化草地における牧草生産力の比較。
(章ほか、1990の資料により作成)

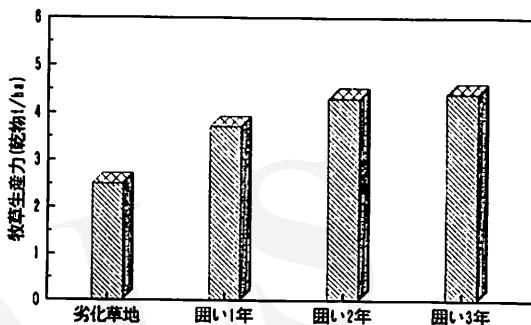


図10. 囲い草地と劣化草地における牧草生産力の比較。
(黄・苗、1993の資料により作成)

化草原では毒草の占める割合が84.7%と非常に多いが、囲い草地ではわずか3%程度である（データは章ほか、1990による）。図10は中東部の哲里木盟における調査例であるが、図より2年間保護した草地でも対照地より牧草生産量が約7割増えたことがわかる（データは黄・苗、1993による）。これらの例から、劣化草地を囲い保護しただけで牧草の生産力は大幅に回復できることがわかる。

(3) 人工草地

人工草地とは、整地、耕起、灌溉、施肥などの農業的管理を行ない、牧草やオオムギ・エンバク・トウモロコシ・ニンジン・テンサイ等の飼料作物を栽培する基地である。近年では、飛行機播種による草地建設も行なわれている。なお、囲い草地において植生のない裸出地面に牧草の播種、浅耕起、灌漑、施肥などの改良措置を取り入れたものを半人工草地という。

内蒙ゴの人工草地建設の歴史は1950年代に遡る。人工草地は、当時は国営等により優良種畜を導入するために造られていた。その後、人工草地は1960年代前半までに58.7万haの規模に達したが、1966～1976年の間にほとんど放棄された。しかし、人工草地は1980年代から再び

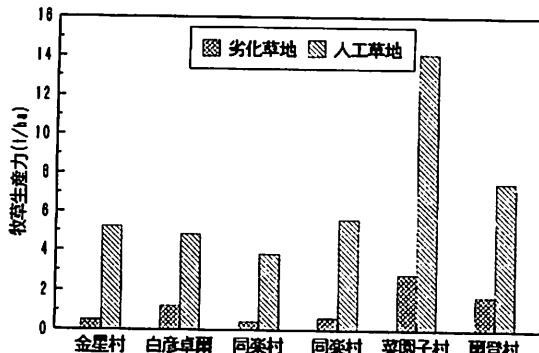


図11. 人工草地と劣化草地における牧草生産力の比較。
(章ほか, 1990の資料により作成)

脚光を浴び、1985年には66万haまで回復した。1993年には158.8万haに達し、自治区全草原面積の約2%を占める。人工草地への投資は当初政府主導で進められていたが、現在では個人や民間の投資が主流となっている(章ほか, 1990; 内蒙古統計局, 1994)。

人工草地は主として自治区中部に集中している。これは、中部地域では過放牧が深刻で、人工草地によって牧草不足を緩和しなければならないためである。西部に人工草地が少ないのは、乾燥が厳しく、人工草地の建設適地が少ないとによる。東部に人工草地が少ないのは、比較的湿潤であり、牧養力の余裕があることによる。

内蒙古の人工草地の牧草生産力は、1985年の統計では、中部で3~3.75t/ha、西部で2.25~3t/ha、条件の良いところで7.5t/haである(章ほか, 1990)。

図11は中部の烏蘭察布盟における人工草地と劣化草地の牧草生産力を比較したものである。図に示されるように、人工草地の方が対照地の劣化草原より牧草生産量が4.4~11.0倍も多いことがわかる。しかし、大半の人工草地は穀物生産に適しない退耕還牧地で、灌漑施設が整備されておらず、機械化作業のレベルが低く、無施肥など、耕作と管理技術がまだ粗放的で、生産性がまだ低いのが現状である(章ほか, 1990)。

1970年代、先進国の人工草地が全草原面積の約6~60%を占めるのに対して、中国では人工草地と半人工草地合わせても草原全体に占める割合は1985年2.3% (章ほか, 1990), 1992年2.8% (中国国家統計局農村社会経済統計司, 1993; 中国農業年鑑編集委員会, 1993に基づいて著者試算), 1994年3.3% (人民日報社, 1995 (人民日報・海外版) に基づいて著者試算) しかなく、その差はまだ大きい。内蒙古では政府が投資して、2年前から草原牧畜業総合開発プロジェクトを実施している。プロジェクト実施区域内の模範牧場3,000世帯の一人当たりの純

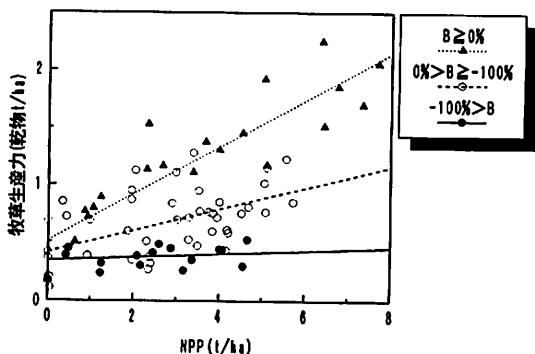


図12. 内蒙古におけるNPPと草原牧草生産力の比較。
(内蒙自治区気象台等, 1983; 内蒙古草原観察設計院, 1987の資料により作成)

収入は2,000元に達し、プロジェクト実施前の2.2倍である(人民日報社, 1995 (人民日報・海外版))。

(5) 気候資源の有効利用

ここでは、気候学的な純一次生産力NPP (Net Primary Productivity of Natural Vegetation) の観点から、牧草生産力と牧草生産管理方式について検討する。

NPPの推定には、UCHIJIMA and SEINO (1985) の筑後モデルを採用した。筑後モデルは次式で表わされ、世界の広い範囲においてバイオマス量を高い精度で推定しうることが明らかにされている。

$$NPP = 0.29 [\exp(-0.216(RDI)^3)] (Rn/41.8605) \quad (5)$$

ここに、NPPは純一次生産力(乾物 t/ha·y), RDI は放射乾燥度, Rn は年間純放射量 (MJ/m²) である。

放射乾燥度 RDI の算定には BUDYKO (1956) の式 (UCHIJIMA and SEINO, 1985) を用いた。

$$RDI = 10^3 \frac{\sum Rn}{1 \sum r} \quad (6)$$

純放射量 Rn の算定には CHANG (1970) の式 (UCHIJIMA and SEINO, 1985) を用いた。

$$Rn = (1 - \alpha) S_i - 0.00006 \sigma T_a^4 [286.18 + 202.60 \\ (S_i/S_o) - (45.24 + 10.92(S_i/S_o)) \sqrt{e_a}] \quad (7)$$

ここに、r は月降水暈 (mm), l は水の蒸発潜熱 (J/g), α はアルベド, S_i は月平均全天日射量 (MJ/m²), σ はステファン・ボルツマン定数 ($5.67042 \times 108 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$), T_a は月平均気温 (K), S_o は月平均大気外日射量 (MJ/m²), e_a は月平均水蒸気圧 (hPa) である。

日射量は日照時間による回帰式を用いて推定した。回帰式の算定には、毛烏素沙地開発整治研究センターで観測された1986年9月から1987年9月のデータ(内蒙古沙漠開発研究会, 1989)を用いた。

$$S_i/S_o = 0.23 + 0.47(n/N) \quad (8)$$

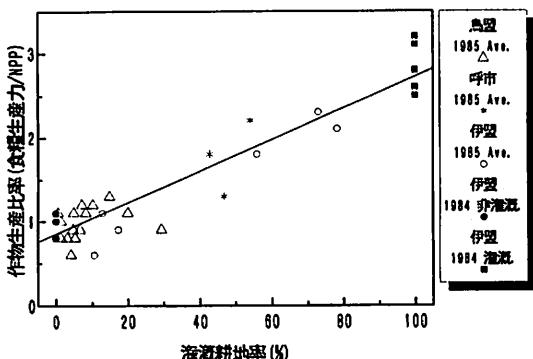


図13. 内蒙古における作物生産力と灌漑耕地率比較。
(周ほか, 1995)

ここに, n は日照時間 (hr), N は可照時間 (hr) である。

図12は内蒙古草原勘察設計院 (1987) が測定した牧草生産力と NPP を比較したものである。牧養力に余裕のある地域 ($B \geq 0$) では、牧草生産力と NPP の間には次式に示すような線形関係が成立し、相関も高い。

$$NGP = 0.204 * NPP + 0.509 \quad (r=0.897) \quad (9)$$

ここに、NGP は牧草生産力 (乾物 t/ha・y) である。この関係式は、次に示す王ほか (1990) の牧草生産力と NPP の関係式 (周ほか, 1995) のほぼ1/2に相当する。

$$NGP = 0.566 * NPP + 0.437 \quad (r=0.978) \quad (10)$$

ここに、NGP は牧草生産力 (生 t/ha・y) である。内蒙古では、牧草の生重から乾燥重への換算係数は42~58%といわれているが、この関係は (9) 式と (10) 式の間にも成立している。すなわち、内蒙古では過放牧されていない天然の草原では、牧草生産力はほぼ気候学的な NPP に対応することがわかる。

一方、過放牧が進めば牧草生産力は低下している。牧草生産力と NPP は、牧養力が100~200%の範囲ではわずかに対応しているが、牧養力が200%を上回ると牧草生産力は NPP に依存せず、気候に関係なく約0.3t/ha・y の最低値をとっている。

すなわち、草原といえども放牧の影響を受けている。これに対し、囲い草地を建設し、輪牧などによって草地をより自然に近い状態に維持管理することによって、気候学的な NPP に対応した牧草生産力を確保することができる。すなわち、囲い草地は気候資源を有効に利用した方法であり、牧畜業の持続可能な開発を可能にする最も基本的な方法であると評価できる。

図13は内蒙古における作物生産力 (乾物) と NPP の関係を灌漑耕地率で整理したものである (周ほか, 1995)。図に示されるように、灌漑を施し、人為的に乏しい降雨

資源を補充することによって、作物生産力は増大する。人工草地においても、灌漑や施肥などの農業的な生産方式を取り込むことによって、牧草生産力が飛躍的に増加することが見込まれる。ただし、人工草地には、灌漑や施肥の失敗による塩類集積・土壤劣化などによって沙漠化を引き起こす危険性が内在されている。特に乾燥地・半乾燥地の植物生育環境は脆弱であり、わずかな環境インパクトで取り返しつかない環境異変を生じる可能性が高い。したがって、人工草地は内蒙古牧畜業の今後の主要な方式となることが予測されるが、環境保全を十分に考慮しておく必要がある。

5. おわりに

内蒙古草原牧畜業の変遷から、牧畜業の発展にとって、社会の安定と合理的な経済体制・政策が最も重要な要素であることも指摘しておきたい。たとえば、草食家畜が1936年の937万頭から1946年に751万頭まで下ったのは、戦乱と当時の古い経済制度などが主な要因だったと考えられる。その後、1947年～1960年代前半の期間に家畜頭数が飛躍的増加を見せたのは、当時の社会が安定しており、新しい経済政策が生産促進の基盤となり得たとともに、家畜頭数に対する草原の牧養力に余裕があったことによる。その後1980年代前半まで家畜頭数が停滞したのは、この時期の政治の不安、人口増加、経済体制・政策の欠陥、およびこれら体制下にある生産方式の矛盾が原因だと考えられる。近年、牧畜生産が増大し、家畜商品率と牧民収入が増加したのは、家畜・草地の所有制度を中心とする経済体制改革によって、牧畜・草地の生産管理が直接牧民の利益と関わり、生産意欲が高まってきたことに起因すると考えられる。

このような流れの中で、内蒙古において悠久の歴史を誇っていた遊牧型草原牧畜業は、囲い草地や人工草地を取り入れた定住定牧型牧畜業に変容しつつある。限られた牧養力の中で、増え続ける人口を扶養し、市場経済のニーズに応え、過放牧などに起因する沙漠化を防止するためには、この牧畜業生産管理方式の変化は避けることはできない。

1980年代後半から、需要の拡大に伴ってウールやカシミヤが大きな収入源となり、すでに紡績業界による数度の買い占めが発生している。市場経済の導入によって、このような新たな過放牧の誘因も発生しつつある。現在、中国の経済体制と関連制度はまだ整備中であり、今後も軌道修正を図っていく必要がある。近年の牧畜業生産管理方式の変化が、どのような形で経済にフィードバックし、環境にインパクトを与えるかを見るためには、少な

くとも10年の月日を要するが、農牧畜業の開発にあたっては、まずは気候学的な純一次生産力を十分に考慮し、持続可能な開発を心がけていくことが不可欠である。

注

- 1) 草原は主に草本植物で占められている広い土地で、牧草地は草原のうち牧草栽培、採草、放牧に利用されている土地を指す（大久保ほか、1990）。
- 2) 遊牧は天然牧草を無計画に利用するだけで、そこの牧草を食い尽くしたら、人畜とともに別のところへ移動する方式である。これに対して、定住定牧は限られた範囲に定住して草地を計画的に利用し、改良育成する方式である。
- 3) 総収入から必要諸経費を差し引いた残りの部分。ある世帯の一人当たり純収入は次式（内蒙統計局、1994）により求められる。

$$\text{一人あたり純収入} = (\text{年総収入} - \text{家庭経営費用支出} - \text{税金} - \text{生産性固定資産減価償却費} - \text{集団の請負任務} - \text{調査手当}) / \text{常住家族人数}$$
- 4) 鄉は県・旗の下に位する行政単位。牧畜業地区では蘇木ともいう。村は郷の下に位する行政単位。牧畜業地区では嘎查ともいう。
- 5) 牧草地の広く、計画的に輪牧する余地が大きい東・中部では「定住放牧」といい、牧草地の狭い鄂爾多斯地方では「定住定牧」という（章ほか、1990）。

引用文献

- 文史知識編集部編（1993）：『中国古代民族誌』中華書局。
 中国国家統計局農村社会経済統計司（1993）：『中国農村統計年鑑1993』中国統計出版社。
 中国農業年鑑編集委員会編（1993）：『中国農業年鑑』農業出版社。
 藤田 泉（1993）：『中国畜産の展開と課題』筑波書房。
 額爾敦主編（1987）：『内蒙國土資源』内蒙人民出版社。

- 湖 春・王 長根・烏 學智・孫 培基・張 林・張 傳道・郭 正徳（1984）：『内蒙古自治区農牧林業氣候資源』内蒙人民出版社。
 黄 齐木・苗 復春主編（1993）：『減災農業』中国科學技術出版社。
 真木太一・中井 信・高畠 澄・北村義信・遠山征雄（1993）：『沙漠綠化の最前線一調査・研究・技術』新日本出版社。
 大久保忠旦・広田秀憲・高崎康夫・上野昌彦・雜賀 優・安宅一夫・小林裕志・鴨田 徹・村山三郎・菊地正武・中西五十（1990）：『草地学』文栄堂。
 王 文卿・王 長根・汪 厚基・袁 建新・溫 宝元（1990）：『内蒙古氣候』内蒙人民出版社。
 周 建中・大槻恭一・神近牧男（1995）：筑後モデルを用いた農業生産力の気候学的評価—中國内蒙古を事例として—。「農業気象」51-1 : 21-26。
 章 祖同主編（1990）：『内蒙古草地資源』内蒙人民出版社。
 人民日報社（1994）：『人民日報・海外版』1994. 11/16。
 人民日報社（1995）：『人民日報・海外版』1995. 2/4, 2/11, 2/18, 2/25, 3/16, 3/27, 4/7, 7/18。
 張 承志著、梅村 坦編訳（1986）：『モンゴル大草原遊牧誌—内蒙古自治区で暮らした四年』朝日新聞社。
 德岡正三・金 常元（1989）：中國内蒙古の毛烏素沙地開発整治研究センター東試験地における植物目録。京都府立大学農学部「演習林報告」33 : 31-43。
 内蒙古農業地理編集委員会（1982）：『内蒙古農業地理』内蒙人民出版社。
 内蒙古自治区気象台等（1983）：『内蒙古自治区各盟・市等地面気候資料』
 内蒙古草原勘査設計院（1987）：『内蒙古草地資源統計資料』
 内蒙古統計局（1994）：『内蒙古統計年鑑』中国統計出版社。
 烏 恩・壱 志友・王 槆宵・黃 三修・黃 薇・才 湘（1987）：『内蒙古風情』人民日報出版社。
 UCHIJIIMA, Z. and SEINO, H. (1985) : Agroclimatic evaluation of net primary production of natural vegetation. (1) Chikugo model for evaluating net primary productivity. *J. Agric. Meteorol.*, 40 : 343-352.

Changes of Livestock Farming in the Inner Mongolia of China

Jian-zhong ZHOU*, Kyoichi OTSUKI* and Makio KAMICHika*

This study investigates changes of livestock farming in the Inner Mongolia of China. It is concluded that stability of society and rationality of economic system have been the most important factors for development of livestock farming. The reasons for the changes of livestock farming in the Inner Mongolia are summarized as follows: (1) The main reasons for twenty percent decrease in number of the livestock, from 1936 through 1946, were disturbances of war and antiquated economic system. (2) The remarkable increase in number of livestock during the period from 1947 to early 1960's was due to stability of the society, new policies promoting production and surplus of land capacity for livestock. (3) Stagnation of number of livestock until early 1980's was caused by insecurity of politics, large population pressure and defects of economic system and policy. (4) Recent increase in livestock production is ascribed to farmers' incentive of production resulted from new economic reforms of the ownership in favor of farmers' profits. The latest reforms of socioeconomic policies and structure have lead to an evolutional change in the livestock farming system from nomadic to sedentary.

In view of the above mentioned changes, this paper explains necessities of introducing enclosure grass land method and artificial grassland method in the new sedentary livestock farming system to sustain the increasing population and prevent desertification by over grazing. Actual grass productivity is compared with Net Primary Productivity (NPP) which is climatologically estimated by Chikugo model. The enclosure grassland method is assesed the most basic and rational measure to keep climatological potential productivity in the present stage. The artificial grassland method is regarded as the prospective method, which gives high productivity, but requires firm environmental care.

Key Words: Artificial grassland, Economic system, Enclosure grassland, Inner Mongolia, Livestock farming, Net primary productivity, Nomadic livestock farming, Sedentary livestock farming

* Arid Land Research Center, Tottori University, 1390, Hamasaka, Tottori, 680 Japan.

(Received September 13, 1995; Accepted October 23, 1995)

鷲田義仁：『異次元交換の政治人類学——人類学的思考とはなにか』勁草書房、1993年、343p.、4,120円。

この本は、著者が沙漠の国で暮らしたことから生まれたきわめて刺激的で野心的な本である。

また同時に、沙漠化といった問題に代表される環境と人間との関係、あるいは環境と文明との関係を日頃考える人間にとって示唆に富む本である。とりわけ、沙漠緑化などの個別技術を通してそれを行なっている研究者、技術者と本書の著者との間で討論が成り立つなら、両者にとって、そしてゆくゆくは沙漠とその周辺に暮らす人々が新しい発展を遂げるのに貢献する可能性がでてくるのではないか、とわたしは思う。

現代から未来にかけてあまりにも多くの場面において救済が必要であるが故に、主体－環境系における両者の関係を正確に認識することは決定的に重要なことであろう。そのような背景のもとで、著者は、「状況論的方法」を提唱する。それは、著者によると「人間の思想をその生活の中に位置づけ、さらにその生活を、その生活が営まれる環境世界のなかに位置づけて理解する」というような方法である。評者の用語に置き換えると、人類とか国家とか生活とかを救済するという実践的課題を前にして、研究主体である人間は、そのおかれられた状況を徹底的に科学的に検討して本質をつかまえろ、ということになろうか。評者は、現代のようにシステムや歴史の流れとそれを支える価値観が、国家、特に大国によって、また巨大メディアによって操作され易い時代においてはとりわけ重要な指摘だと思う。

著者は、「社会を部分部分に切り刻むのではなく、動的な総体性においてとらえる、総体性の人類学」を、「フランス人類学の巨頭」ジョルジュ・バランディエにならって政治人類学と呼ぶ。この政治人類学において、「貧困からの脱出であれ、魂の救済であれ、人類のおかれられた状況が具体的に提起する問題を無視するのでなく、正面から受けとめ実践的に解決して行く」ために状況論的方法を展開することを説き、訴えるのであるが、それにあたって、「鍵となる概念として『異次元交換』という概念を提出する。」異次元交換とは、著者によれば「モノはモノ、人は人、観念は観念の、独立的な世界を構成するのではなく、モノと人、観念、さらには言葉や、感情も相互に交換しあうことによって一つの世界を構成する」という考え方である。」

ここまでみたことからも明らかのように、沙漠化をはじめとする環境問題のように、複雑きわまる現象を伴い、

救済を要する問題に対するにあたって、この本は有効な接近方法を提起しているのではないか、という期待を抱かせる。その根拠は、本書を読んでいただくことによってもっとも明確にることができるのであるが、ひとつだけいえることは、著者の批判的精神と実証的精神が本書を貫いていることから来る説得力である。ルース・ベネディクト「菊と刀」、レヴィ・ストロース「野生の思考」他、柳田国男と折口信夫、メルロ・ポンティ、デカルト、パスカル、マルセル・モース、マリノフスキイ、そしてジョルジュ・バランディエなどの赫々たる成果を、柔軟な思考と、事実をもって突き合わせる実証精神によって解剖し、時には、打ち立てられた権威をも覆しつつ、自分の世界を築き上げようとするのであるが、その努力は、著者の現在までの学究生活の主要な一面であつたろうと想像される。それに加えて、評者が特に指摘したいのは、そのような研究室における研究態度だけでなく、カムルーンのレイ・ブーバ王国、トンブクトゥなどニジェール川流域等々のアフリカにおける生活・調査を通じて展開される冷静で総合的な実証的研究態度である。本書は、誰にも読み易い内容では決してないと思われるが、それを評者のような自然科学分野の、いわば素人にも読み継がせたのは、実証的な態度を強く写しだした記述にある。読んでいて、いちいち納得させられることが多いのである。

ここで、「多い」と書いたのは、いうまでもなく、注文があることの謂である。その第1は、異次元交換の次元に時間が含まれているのかどうか定かでないことがある。一般論として、そこに時間が含まれるということは論理的で疑う余地はない。しかし、著者は本書第8章において、政治権力、さらに言えば集団生活は異次元交換に基づきおいでいる、とするのであるが、それを検証しているこの章で時間の次元の位置づけは不明である。勿論、評者は、そこに時間の次元をいれて歴史的分析をすることが、異次元交換の概念の有効性をいっそう明瞭になると期待しているのである。

次に、本書は、著者の仕事の一里塚であり、具体的なフィールドワークが続くはずであるので、現時点ではないモノねだりで、今後に向けての課題ということになるが、異次元交換の諸相を計量的な検討によって明らかにする方向は、きっとおもしろいと思う。著者も、そのような扱いの可能性を示唆していると思われるのであるが、たとえば、「非物質的な諸価値の支配の体系は、物質的経済的諸関係の関数として理解される」であろう、とか、「人は、異次元交換のもつ本質的な不等価性にも拘らず、異次元交換をさしたる抵抗もなく、時には喜んで受け入れてしまう」などという異次元交換の世界の

構造方程式をあきらかにすることである。その際、物質、エネルギー、人口といった計量が比較的容易な側面と、権力、環境、人権といった計量が比較的困難な側面を、共通の土俵でどのようにきりむすぶか、という大きな課題が立ちはだかる。これは、環境の経済的価値の解明と同じようにきわめて現代的課題であって、誰かが具体的に明かさなければならない課題である。もっとも、「沙漠研究」誌に掲載された著者の論文（Vol. 2, 1-17,

1992）をみると、すでに著者は、その方向での仕事を始めているようである。

学際的集団である日本沙漠学会の会員諸氏が、沙漠にいたる長い旅程で本書をひもとき、機上のヴァーチャル・リアリティーの世界で、そして地上で著者をmajieて討論していただくなれば、知的興奮を経験すること、請け合いである。

（袴田共之）

日本沙漠学会誌「沙漠研究」投稿規定

(1995年5月12日改訂、10月23日一部追加)

1. 日本沙漠学会誌「沙漠研究」は、沙漠ならびに乾燥・半乾燥地に関する広範な分野の研究成果を掲載し、内外の研究交流を図ることを目的とする。
2. 投稿の資格 投稿原稿の著者（連名の場合は1名以上）は日本沙漠学会の正会員でなければならない。ただし編集委員会が認めた場合はその限りではない。
3. 原稿の種類と長さ 原稿の種類と標準となる長さ（図表を含めた刷り上がりページ数）は次のとおりとする。なお標準を上回る長さの原稿の掲載が認められた場合、超過ページ分の経費は著者の負担とする。邦文原稿を原則とするが、原著論文・論説、短報については英文原稿も認める。
 - (1) 原著論文・論説 (Original Article) : 著者のオリジナルな研究の成果で、他の著書、学術雑誌に未発表のもの。10ページ以内。
 - (2) 短報 (Research Note) : 速報的・中間報告的、あるいは補遺的ではあるが、オリジナルな研究の成果で他誌に未発表なもの。4ページ以内。
 - (3) 総説・展望 : 特定の問題について、従来の研究結果・資料に基づき総合的に論じ、あるいは将来への展望を述べたもの。10ページ以内。
 - (4) 資料 : 研究あるいは実用面で価値が高い事項について関連する資料をまとめたもの。4ページ以内。
 - (5) 講座・解説 : すでに学問体系が確立された事項について客観的に取りまとめ、専門外の会員にも理解できるよう平易に記述したもの。10ページ以内。

ジ以内。

- (6) 抄録・書評 : すでに出版されている書籍などの内容を紹介したもの。1ページ以内。
- (7) その他 : 編集委員会が必要と認めたもの。
4. 原稿の書き方 別に定める執筆要領および *Instructions to Contributors* による。
5. 原稿の採否 原稿は編集委員会で審査し、採否を決定する。編集委員会は査読結果より原稿の一部変更を求めることがある。
6. 原稿の送付先 オリジナル1部、コピー2部を日本沙漠学会編集委員会宛に簡易書留で送付する。
7. 原稿の返却 受理された原稿は返却しない。ただし、図・表・写真については希望があれば返却する。
8. 校正 著者校正は初校のみとし、以降の校正是原則として編集委員会が著者の初校に従って行うが、初校ミスは著者の責任とする。著者校正は誤植によるもののみとし、新たな加除訂正は認めない。
9. 別刷 著者の負担とし、負担額は別に定める。
10. 著作権 すべて日本沙漠学会に属する。
11. 投稿料 3. で定めた標準の長さ以内のものは無料。ただし、カラー印刷を含む場合は著者の実費負担。

※原稿送付先：日本沙漠学会編集委員会 宛

〒113 文京区本駒込2-28-8

理化学研究所駒込分所内

電話：03-3947-7708

FAX：03-3947-8389

(投稿規定内規)

別刷り印刷代価格表（1995年5月現在）

	50部迄	100部迄	150部迄	200部迄	250部迄	300部迄
8 頁迄 同表紙付	6,200円 8,700	8,900円 11,400	11,400円 13,950	13,600円 16,200	15,750円 18,250	17,400円 19,800
12 頁迄 同表紙付	8,100 10,600	10,600 13,100	12,900 15,450	15,000 17,600	17,000 19,500	18,600円 21,600

※別刷り発送代として1点につき1,500円。国外の場合は実費。

※この表に該当しない場合は印刷所に問い合わせて下さい。

※カラー印刷を含む場合は実費負担

※印刷所：(有)英和出版印刷社 〒114 北区中里2-7-7

電話：03-5394-4856 FAX：03-5394-4741

日本沙漠学会誌「沙漠研究」執筆要領

(1995年10月23日改訂)

1. 用紙・様式 原稿は、邦文・英文原稿（英文要旨を含む）とともに、A4サイズの用紙を用い、天地・左右のマージンを十分にとって、ワードプロセッサーにより次の要領で書くのを原則とする。
 - a) 邦文原稿は、1ページあたり25字×30行（750字）のフォーマットで書く。
 - b) 英文原稿は、12ポイントの字体を用いて、ダブルスペースで書く。
 - c) 使用ソフトは特定しないが、完成した原稿はMS-DOSテキスト文（ASCII-file）に変換して3.5インチフロッピーディスクに保存する。
 - d) フロッピーディスクは、原稿が受理となった後に、その表面に使用機種・ソフトを明記して提出する。
 2. 英文原稿は、本執筆要領とともに別に定める *Instructions to Contributors* の規定に従って書き、著者の責任でネイティブ・スピーカーなど、しかるべき人の校閲を予め受けるものとする。編集委員会が校閲を必要と判断し、校閲者を斡旋した場合には、校閲に要する経費は著者の負担とする。
 3. 邦文原稿は次の順に整える。英文原稿の場合は邦文原稿に準じて整えるが、(2)に相当する邦文要旨は編集委員会の了承の上で省略することができる。
 - (1) 表 紙：原稿の種類、題名（抄録・書評の場合は書名等）、著者氏名（会員資格）、所属機関名および所在地、連絡先住所・電話番号・FAX番号を書く。題名、著者氏名、所属機関名・所在地には英訳を併記する。英文原稿の場合は、それぞれに邦文を併記する。
 - (2) 英文要旨：原著論文・論説、総説・展望には500語内外、短報・資料には100語内外の英文要旨を記載し、5語以内のキーワードを添える。英文要旨から図一覧表までをとおしてページを付ける。
 - (3) 本文
 - (4) 引用文献
 - (5) 表
 - (6) 図一覧：図番号、タイトル（必要に応じて凡例、説明文を付ける）をまとめる。
 - (7) 図：図番号と著者名を、鉛筆にて右下に記載する。
4. 図 表 表は別紙に書き、縦野は用いない。図は14×19cm以内にそのまま縮小印刷されることを考慮して書き、A4版サイズの用紙上にまとめる。写真も図扱いとし、図とともに一連番号を付ける。図表の挿入位置は本文原稿の右端に明示する。図表中およびタイ

トルで用いる言語は邦文、英文のいずれかとし、一つの論文中で統一する。原図は、原稿が受理となった後に提出する。

5. 本文

(1) 抄録・書評は次例の見出しから書き始め、文の末尾に筆者の氏名を記す。

小川 亨：「サヘルに暮らす－西アフリカ・フルベ民族誌」NHK ブックス540、日本放送出版協会、1987、222p., B6版。

ROGNON, Pierre: *Biographie d'un Désert: Le Sahara.* L' Harmattan, Paris, 1994, 347p., A5版。

(2) 他の原稿種類については、本文形式を特に限定しないが、論旨を明確に簡潔に記載する。

(3) 脚注は使用しない。注が必要な場合には本文末尾にまとめる。

(4) 単位はSI (The System Internationale) を用い、略記・略号の使用はスタンダードなものに限る。

6. 引用文献 本文中では市川（1988）、小川（1987）、ROGNON（1994）、または、……である（TUCKER et al., 1981, 1985; GROVE, 1986 a,b; LEAN and WARRILOW, 1989; 天谷ほか, 1984; 田中・長, 1987）。のように書く。成書などからページを指定して引用するときは、小堀（1972: 15-17）のように、年号の後ろにページを記載する。本文の後ろに引用文献をまとめる。邦文の文献について歐文の文献を、それぞれ著者名のアルファベット順に並べる。雑誌の場合、巻（号）：ページを記載するが、通しページの場合は号は省略してもよい。そのほか詳細は下記の例および慣例に従う。

天谷孝夫・長堀金造・三野 徹（1984）：当面する物質移動の課題。「土壤の物理性」49 : 3-8。

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

小堀 巍（1972）：『沙漠』日本放送出版協会。

小川 了（1987）：『サヘルに暮らす－西アフリカ・フルベ民族誌－』NHK ブックス540、日本放送出版協会。

田中 明・長 智男（1987）：土壤の保水性及び透水性と作物根への水分供給力。「九大農芸誌」41-1/2 : 6 3-70。

GROVE, A. T. (1986 a): The scale factor in relation to the processes involved in "desertification" in Europe. In FANTECHI, R. and MARGARIS, N. S. eds.,

- Desertification in Europe*, D. Reidel, Dordrecht, 9–14.
- GROVE, A. T. (1986 b): The state of Africa in the 1980s. *Geogr. J.*, 152: 193–203.
- LEAN, J. and WARRILOW, D. A. (1989): Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature*, 342: 411–413.
- ROGNON, P. (1994): *Biographie d'un Désert: Le Sahara*. L' Harmattan, Paris.
- TUCKER, C. J., HOLBEN, B. N., ELGIN, J. H and MC MORTREY, J. E. (1981): Remote sensing of total drymatter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11: 171–189.
- TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G. and GOFF, T. E. (1985): African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227: 369–375.
- YOUNG, J. A. and YOUNG, C. G. (1992): *Seeds of Woody Plants in North America*. Dioscorides Press, Portland.
7. 最終原稿の提出 原稿が審査を経て受理となった後、編集委員会からの指示にしたがって最終原稿と原図をフロッピーディスクとともに提出する。論文の最終的な調整とレイアウトは編集委員会の責任で行なう。

Instructions to Contributors

Journal of Arid Land Studies is a broad-based archival journal for the publication of significant research results in all areas concerning deserts, arid and semi-arid lands.

Papers will be published only when they are judged by the Editor to be characterized by some general significant conclusions or by experimental and field data having probable lasting value. It is understood that a paper submitted to this Journal has not been previously published, accepted for publication or submitted for review elsewhere.

One original and two copies of manuscripts in English should be submitted to (hold original figures and a diskette until acceptance.):

The Editorial Office, The Japanese Association for Arid Land Studies
c/o RIKEN, 2-28-8 Honkomagome, Bunkyo-ku,
Tokyo 113, Japan
Phone +81-(0)3-3947-7708, Fax +81 (0)3-3947-8389

Submitted manuscripts will not be returned whether they are published or not. Original figures, tables and photos may be returned if authors desired.

Paper Categories

- 1. Full-length Original Articles** – Formal presentation of significant and completed research projects. Enough originality is required. Standard length is ten printed pages (about 7000 words).
- 2. Research Notes** – Brief reports with originality. Supplemental or intermediate reports. Reports which require prompt publication is also submitted. Standard length is three to four printed pages (about 2800 words).
- 3. Others.**

Proofs and Charges

The authors are requested to correct only first proofs carefully. Publication and reprint charges may be imposed within actual cost. Color photos may be reproduced at an extra expense to the author's.

Copyright Transfer

Upon acceptance of an article by the Journal, the copyright of the article is transferred to The Japanese Association for Arid Land Studies.

Manuscript Preparation

All manuscript should be prepared on A4 (or 8.5 by 11 in.) paper in the order. The text has to be prepared on a diskette, using Word, WordPerfect or similarly well known word processing system, in double-spacing with 12 point or similar size typeface.

- A) Title Page** with the following items in this order.
 - a) Category of paper.
 - b) A descriptive and concise title of the paper.
 - c) Authors' names, affiliation(s), and address(es) : first names, middle initials, if any, and surnames followed by their affiliation(s) and address(es). The author to whom correspondence should be addressed is to be identified using superscript,* with phone and fax numbers.
 - d) Five or less Key words.
- B) Abstract** is to be clear and concise. The length is around 400 words for full-length Original Articles and 200 words for Research Notes.
- C) Main Body** should be prepared clearly and concisely. The precise arrangement of the text are left to the authors' discretion. (Each author may choose the format best suited to the paper.) Figures and Tables should not be included but be cited in the body. The placement of the Tables and Figures appearing first should be clearly identified by noting their numbers in the right hand margin. Footnote may not be used. Notes should appear at the end of the body, if necessary. SI (The system internationale) unit should be used wherever possible. Standard abbreviation may be used.

Literature is to be cited in the text as ROGNON (1989), or (TUCKER *et al.*, 1981, 1985; GROVE, 1986 a,b; LEAN and WARRILOW, 1989). The words "et al." should be used for three or more authors. Lower-

case letters following year may be used if necessary to identify. Cited pages from books should be identified as YOUNG and YOUNG (1992: 15–17).

D) Literature cited should appear at the end of each text in an alphabetical order. Give complete information as in following examples:

GROVE, A. T. (1986 a): The scale factor in relation to the processes involved in "desertification" in Europe. In FANTENCI, R. and MARGARIS, N. S. eds., *Desertification in Europe*, D. Reidel, Dordrecht, 9–14.

GROVE, A. T. (1986 b): The state of Africa in the 1980s. *Geogr. J.*, 152: 193–203.

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

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

TUCKER, C. J., HOLBEN, B. N., ELGIN, J. H. and MC MORTREY, J. E. (1981): Remote sensing of total drymatter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11: 171–189.

TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G. and GOFF, T. E. (1985): African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227: 369–375.

YOUNG, J. A. and YOUNG, C. G. (1992): *Seeds of Woody Plants in North America*. Dioscorides Press, Oregon.

E) Tables should be typed on separate sheets and be prepared in order.

F) Figure captions should be typed on a separate sheet.

G) Figures should be drawn in black ink on a white background. The size of the lettering should be proportional to that of the drawing; it must be a minimum of 3 mm high when the illustration is reduced to 67 mm wide or 140 mm wide. First author's name and figure number should be written in pencil on the right corner of the sheet. Photos may be included as Figures. Three printed photos, or one original and two high quality reproductions, pasted on A4 paper should be submitted for reviewing process.

H) After the manuscript has been reviewed and accepted for publication, the author carries out any corrections that are requested. The final version of the text is then submitted to the Editorial Board together with original figures, and a diskette following the special instructions to be sent to the author. The diskette should include an additional text converted into an MS-DOS text file (ASCII file). The Editorial Board is responsible for the final arrangement and layout of the articles.

For domestic contributors

One or more of the author(s) should belong to The Japanese Association for Arid Land Studies. The authors are requested to prepare Japanese translations of the following items on a separate page; A-a) title, c) Author(s)' name(s), affiliation(s) and address(es), in the title page, and B) abstract.

編集委員 門村 浩(委員長:東京都立大学) 安部征雄(筑波大学) 遠藤邦彦(日本大学) 勝俣 誠(明治学院大学)
小島紀徳(成蹊大学) 嶋田義仁(静岡大学) 長島秀樹(東京水産大学) 椎田共之(農業環境技術研究所)
堀 信行(東京都立大学) 山川修治(農業環境技術研究所) 書記:黒瀬匡子
日本沙漠学会編集委員会/〒113 文京区本駒込2-28-8 理化学研究所駒込分所内

TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389

Editorial Board Hiroshi KADOMURA (Chief Editor), Yukuo ABE, Kunihiko ENDO, Makoto KATSUMATA
Toshinori KOJIMA, Yoshihito SHIMADA, Hideki NAGASHIMA, Tomoyuki HAKAMATA
Nobuyuki HORI, Shuji YAMAKAWA Editorial Secretary: Kyoko KUROSE

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

TEL: 03-3947-7708/FAX: 03-3947-8389

本誌の刊行にあたっては文部省科学研究費補助金(研究成果公開促進費)の援助をうけた。

編集発行: 日本沙漠学会/〒113 東京都文京区本駒込2-28-8 理化学研究所駒込分所内

© The Japanese Association for Arid Land Studies TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389

TEL 03 (3595) 9689/FAX 03 (3595) 9450

定価 1,500 円(本体 1,457 円)

発行日 1995年11月25日

印刷:(有)英和出版印刷社

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

CONTENTS

Frontispiece

Yukuo ABE: Agricultural Land Degradation in Australian Semi-arid Regions

Review Articles

- Fenghe JIN and Tatsuaki YAMAGUCHI: The Present Situation of the Technical
Amelioration of Saline Soil in Keerqin Desert, China 1- 6
Shusaku HARA: Water Pipes within the Sea and Man-made Fresh Water Lakes
upon the Sea Can Provide Fresh Water to Dry Areas 7-19

Original Articles

- Taichi MAKI, Borong PAN, Ryoji SAMESHIMA and Mingyuan DU: Micro-meteorological Improvement for Crop Growth Environment of Cultivated Fields
by Windbreaks in the Arid Land of Turpan in Xinjiang, China 21-32
Hiroyuki II, Yoshiyuki OHTSUKA, Tetsuo OGAWA, Yukuo ABE and Tomoharu
YAMAGUCHI: Tracing the Movement during Evaporation of Salt Water
through a Sand Layer and Solid Paper Core Using Three Different Anions
as Tracers 33-42
Yukuo ABE, Jun TSURUI, Tomoharu YAMAGUCHI, Yoshiyuki OHTSUKA and
Hiroyuki II: Evaporation Effect of a Salt Capturing Stick and Its Influence
on Movement of Solution and Solute in Soil 43-54
Shoji NANRI: The Saharan Long Distance Trade by the Non-Arab Ethnic
Group-Garamantes and Ibadis Berbers 55-69
Jian-zhong ZHOU, Kyoichi OTSUKI and Makio KAMICHIIKA: Changes of Livestock
Farming in the Inner Mongolia of China 71-84
Book Review 85-96