

沙 漠 研 究

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

目 次

口 絵

宮崎忠国：タール沙漠の衛星画像と人間活動による沙漠化／土壤荒廃

原 著 論 文

ラオ, A. S.・宮崎忠国：インド乾燥地のオシアン（ジョドプール州）における
砂漠化に影響をおよぼす気候変化とその他の要因（英文）1-11

劉 永誌・吉野正敏：中国新疆タクラマカン砂漠のオアシスにおける経済発展
と土地荒廃13-22

矢沢勇樹・篠田 裕・矢崎文彦・山口達明：フミン酸アンモニウムによる砂質
土壤の透水性および塩類成分の制御（英文）23-33

山口達明・西崎 泰・早川豊彦・リヤド, M.・イブラヒム, M.・ファノス,
N.・バンバロフ, N.・サカロフ, G.：天然有機物による乾燥地の改良
ーエジプト西沙漠におけるキャベツおよび小麦の栽培に対する泥炭・
腐泥質よりの土壤改良材の効果ー（英文）35-45

西上泰子：沙漠開発の視点からみた世界の沙漠面積47-52

岡田昭彦・矢吹貞代・劉 叢強・上田 晃・樊 自立・常 青：中国, 新疆の
塩類化土地の蒸発残留塩類物質（英文）53-67

小特集：第7回沙漠工学講演会講演要旨集

概 要69-70

高橋 悟：ジブチにおける砂漠緑化ーWater harvesting による実践ー71-76

安部征雄・小島紀徳・山田興一：二酸化炭素対策としての乾燥地域における
大規模植林77-81

書 評83

タール沙漠の衛星画像と人間活動による沙漠化／土壤荒廃

Satellite Image of Thar Desert and Desertification/Land Degradation by the Human Activities

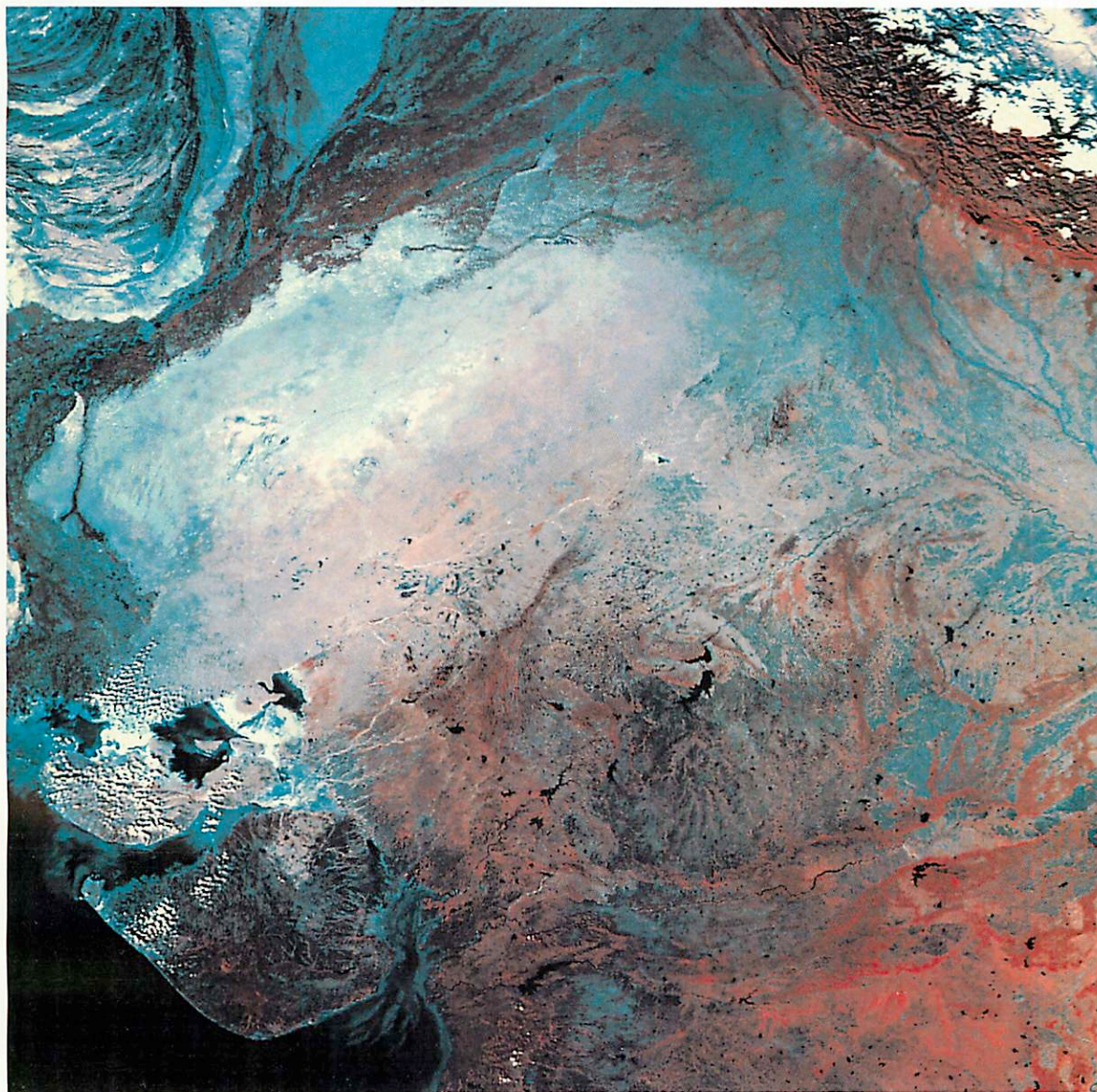


写真1. NOAA 衛星によるタール沙漠のフォールスカラー画像 (1992年2月4日).

Photo 1. NOAA/AVHRR false color image of Thar Desert, February 4, 1992.



写真2. タール沙漠オシアン地域の移動砂丘。
Photo 2. Moving sand dune of Osian area in Thar Desert.



写真3. タール沙漠カブラカラン地域の放牧地。
Photo 3. Open pasture land of Khabrakalan area in Thar Desert.



写真4. ラジャスタン乾燥地で燃料として用いられる牛の糞。
Photo 4. Dung cakes used as fuel in arid area of Rajasthan.

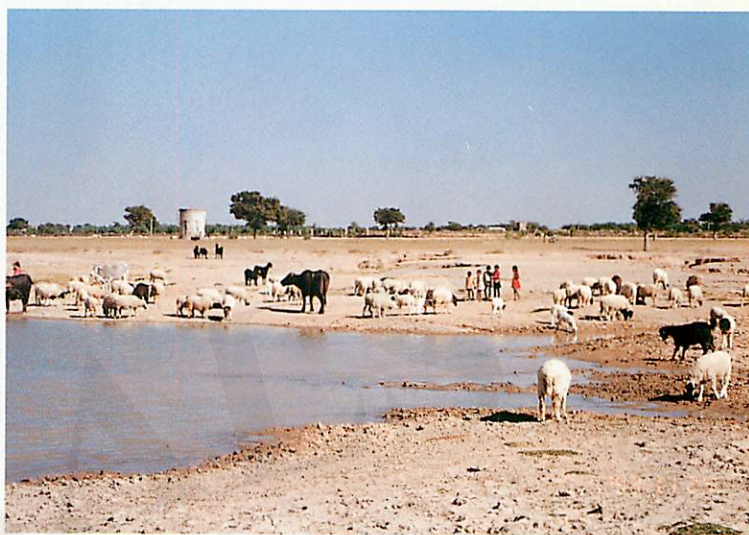


写真5. 家庭および家畜用の伝統的な雨水池、ナディ。
Photo 5. Nadi (water tank): A traditional rainwater harvesting system for domestic use and livestock consumption.

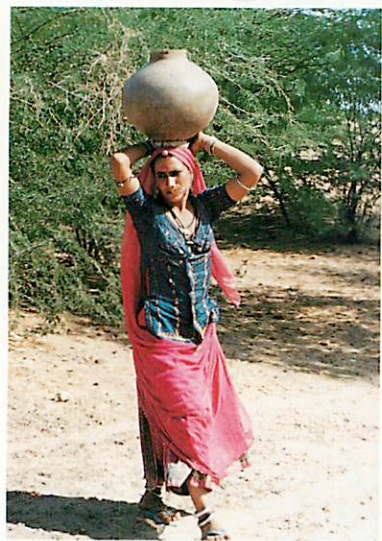


写真6. ジョドプール近郊の乾燥地における飲料水の長距離輸送。
Photo 6. Fetching drinking water for long distance in arid area near Jodhpur.

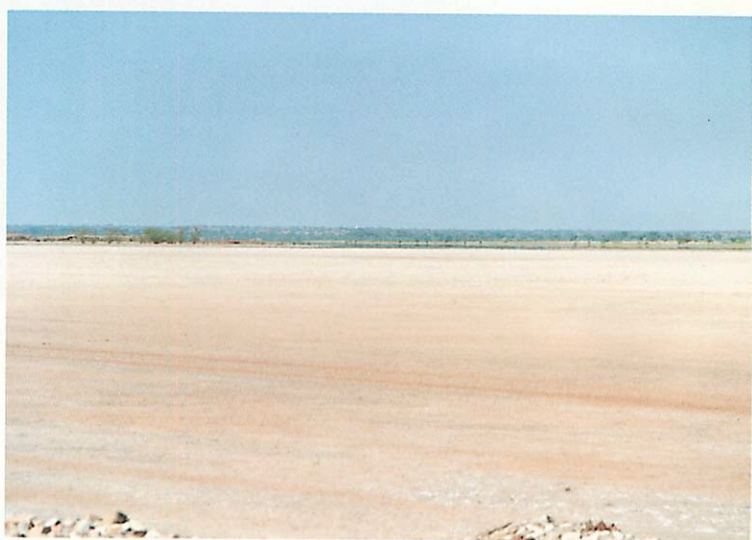


写真7. ジャイサルメールの塩性化土壌。
Photo 7. Saline soil land in Jaisalmer.

(宮崎忠国 Tadakuni MIYAZAKI)

Climatic Changes and Other Causative Factors Influencing Desertification in Osian (Jodhpur) Region of the Indian Arid Zone

A.S. RAO* and T. MIYAZAKI**

An analysis on the secular changes in annual rainfall, frequency of droughts, population and livestock growth rates in Osian (Jodhpur) region was made in order to reveal the causative factors for desertification in the Indian arid region. The Osian region experienced an arid climate with the mean annual rainfall of 286 mm and the Thornthwaite's moisture index of -84.5 . The historical weather data at Jodhpur showed that although, arid climate was persistent in the region, it shifted to semi-arid climate in 10 years and to dry sub-humid climate in 1 year from 1901 to 1994. There was an increase in the long-term annual rainfall of Osian by 64.2 mm from 1957 to 1994 and of Jodhpur by 55.0 mm from 1901 to 1994, showing rainfall is not a causative factor influencing desertification in the region. However, periodic cycles in the annual rainfall with reversing trends were observed with a lag of 5 to 12 cycles.

Osian region experienced droughts of moderate intensity in 7 years and of severe intensity in 5 years during the study period. Pearl millet yield varied from 480 kg/ha in a drought-free year (1992) to 11 kg/ha in a severe drought year (1981). Overall pearl millet production has established a decreasing trend due to consecutive droughts from 1985 to 1988. Besides climatic constraints, the pressure of human population which increased by 401% from 1901 to 1991 and livestock by 127% from 1956 to 1992 are found as the major factors for desertification in the region.

Key Words: Climatic changes, Indian arid region, Desertification

1. Introduction

The hot arid zone in northwest India extends with an area of 0.32 million km². Annual rainfall in the Indian arid region of Rajasthan varies from 150 mm to 600 mm with a decrease in rainfall or an increase in aridity from eastern part to western part of the region. Besides lower amount of rainfall, the high inter-annual variability in annual rainfall considerably influences the food and fodder production of the region. At Jodhpur, drought conditions of moderate intensity occurred in 18 years, whereas severe drought conditions in 9 years during 1901-1994

(RAO, 1996 a). sometimes they occur in clusters during the consecutive years, with large cumulative impacts on land resources. Extreme air temperature as high as 48°C prevail in months of April and May with the annual mean air temperature of 26.7°C. Evidences in support of climatic amelioration in northwest India were reported. Since 1939 A.D., most of the stabilized dunes in the eastern part of Jodhpur district have been eroded and reduced in height by 3 to 5 m (GOSH *et al.*, 1977). About 971.50 km² or 46.12% of the Thar Desert region is vulnerable at an intensity of high to medium rates and 53.88% of the area with medium to slight vulnerability of desertification due to enlargement of the areas

* Division of Resource Management, Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur 342 003, India.

** Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies.

Present Address: Division of Regional Environmental Research, Yamanashi Institute of Environmental Sciences.
5597-1 Kenmarubi, Kamiyoshida, Fujiyoshida, Yamanashi 403, Japan.

(Received, February 20, 1996; Accepted, June 6, 1997)

of salt-affected soils, sand dunes, sandy cover, shifting sand and hummocks (SHANKARNARAYAN, 1981).

The paleoclimatic studies of Thar Desert showed that the region never remained in the arid phase as it is presently experiencing (SINGH, 1971; RAO, 1992). Most of the deserts and semi-deserts have shifted in latitude and varied in extent during the recent geological history (HARE and KENNETH, 1983). In these deserts, the modern phase of climate began in about 10,000 B.P., but aridity in the Sahara and the Indus Valley took place from 3,000 to 5,000 B.P. (HARE, 1983). According to PANT and MALIEKAL (1987), the arid phase of northwest India has a history of about 3,000 years. SINGH (1977) reported from his stratigraphical and palynological studies that the desertification in Rajasthan might have started around 4,000 B.P. WINSTANLEY (1973 a, b) reported that the rainfall at Bikaner and Jaisalmer in the Indian arid region was favorable from 1700 to 1930 and has been unfavorable since 1970. PANT and HINGANE (1988) concluded that the northwest India covering the climatological subdivisions of Punjab, Haryana, western Rajasthan and western Madhya Pradesh experienced an increasing trend in the mean annual rainfall (141.3 mm/100 years) and southwest monsoon seasonal rainfall and a decreasing trend in air temperature ($-52^{\circ}\text{C}/100$ years) contradicting the earlier studies made by WINSTANLEY (1973 a, b). RAO (1996 b) also observed an increase in the

secular variation in annual rainfall at Gangaganagar in the region, which is exposed to canal irrigation during the last six decades. The present paper investigates the climatic changes, drought aspects, population and livestock trends which influence desertification in Osian (Jodhpur) region of the Indian arid region.

2. Materials and Methodology

A research programme at Osian in Jodhpur district (Latitudes 25.85°N - 27.62°N and Longitudes 71.78°E - 73.86°E) in the Indian arid region (Fig. 1) on the "Evaluation of Interaction between Biotic Activities and Desertification in Arid and Semi-Arid Areas of the Thar Desert of Rajasthan, India" was taken up cooperatively by the CENTRAL ARID ZONE RESEARCH INSTITUTE, Jodhpur (India) and the NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES TSUKUBA (Japan). The rainfall records of Osian from 1957 to 1994 and of Jodhpur from 1901 to 1994 were collected for studies on climatic changes, rainfall characteristics and drought aspects of the region. Long-term changes in annual rainfall have been studied by estimating linear trends using simple regression analysis with time as the independent variable. The moisture index was defined by the following formula;

Moisture Index =

$$\frac{\text{Annual rainfall} - \text{Potential evapotranspiration}}{\text{Potential evapotranspiration}} \times 100$$

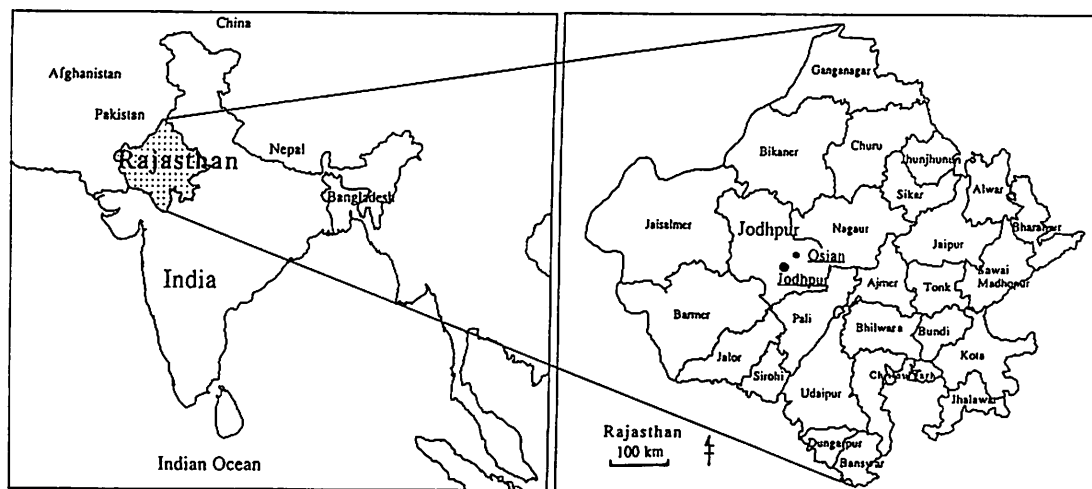


Fig. 1. Location of Jodhpur and Osian.

and was computed using THORNTWHAITE and MATHER (1955) method. The shifts in climate were worked out based on Moisture Index value from 0 to -33.3 dry sub-humid, from -33.4 to -66.5 semi-arid and less than -66.6 arid climate. Droughts were quantified using the annual departure of aridity index (Percentage ratio of annual water deficiency to potential evapotranspiration) from its normal (SUBRAHMANYAM and SUBRAMANIAM, 1964). According to the above classification, a drought of moderate intensity occurs when the departure value was between $-0.5 \times \text{Standard deviation}$ to $-1.0 \times \text{Standard deviation}$ and a drought of severe intensity, if the departure value was less than $-1.0 \times \text{Standard deviation}$.

The population and livestock data were collected from the published reports of Census (GOVERNMENT OF INDIA, 1991) and INDIAN STATISTICAL ABSTRACTS (1950-1992) and yield data of pearl millet from Bureau of Economics and Statistics, Rajasthan state, Jaipur.

3. Results and Discussion

1) Climate and rainfall characteristics

The Osian region experienced an arid to extreme arid climatic conditions with a mean annual rainfall of 286 mm ranging between 88 mm and 615 mm. The average number of rainy days (rainfall > 2.5 mm/day) were 15 days in a year. The southwest monsoon rainfall commences around 25 th June and continues for a period of 10 weeks. The historic rainfall records showed that the commencement of sowing rains (rainfall > 25 mm/week) in the region occurred early (between 4 June and 1 July) in 40% of the years, at normal dates (between 2 July and 29 July) in 53% of the years, whereas late rains (30 July or later) in 16% of the years. The coefficient of variation of annual rainfall was 39.3% indicating large year-to-year variation in annual rainfall in the region. Frequency analysis of annual rainfall at the stations showed that the annual rainfall was mostly confined between 250 and 350 mm with a probability of occurring every alternate year. The annual rainfall, at the stations expected once in 5, 10, 25, 50 and 100 years of return period were 383, 459, 555, 626 and 697 mm, respectively. The recorded 1-day highest precipi-

tation at Osian was 123.5 mm on 28 th July, 1988, whereas the estimated probable 1-day maximum precipitation was 136.0 mm. The rainfall and its distribution play a key role in wind erosion/dust phenomena in the region. The average frequency of duststorms at Jodhpur was 8-10 days/year, depending upon the previous year's rainfall. But in recent years after 1989, the rainfall was high and the dust activity was considerably reduced. The Jodhpur station near Osian receives a mean daily solar radiation of 19.8 MJm^{-2} . The mean air temperature varied from 22.4 to 41.6°C in summer and from 9.5 to 26.7°C in winter. The recorded extreme air temperatures were -3.3 and 48.9°C . The area also experiences low humidity (25-81%) and strong winds (8.8-25.6 kmph) favoring evapotranspiration as high as 1,842 mm/year.

2) Trends in annual rainfall

An analysis on secular changes in the annual rainfall of Osian showed an increasing trend in the rainfall by 64.2 mm/38 years during 1957-1994 (Fig. 2). But, there was quite considerable inter-annual variability in rainfall with periodic trends reversing with a lag of 5-12 years. There was a sharp fall in annual rainfall by 124.7 mm/7 years during 1957-1963, whereas a gradual increase by 115.3 mm/12 years during 1964-1975. The trend was then shifted sharply to a lower side by a decline in rainfall by 184.9 mm/12 years during 1976-1987 and then again a sharp increase by 201.5 mm/7 years during 1988-1994. These trends clearly indicate that the rainfall of the region highly fluctuated and any increase or decrease in annual rainfall pertained to only short periods of few years and then the trend reversed, the overall trend being marginally rising during the period. It is very important to note that the decrease in annual rainfall during consecutive years in certain periods leads to severe land degradation. An increasing trend in annual rainfall at Jodhpur location was also observed (Fig. 3) at a rate of 55.0 mm/94 years during 1901-1994. The location received an annual rainfall of 1,152.3 mm in 1917, but next year 1918, there was only 37.9 mm of rainfall. This exemplifies an extreme variability in annual rainfall of the Indian arid region.

The annual mean moisture index for the area was -84.5 and varied between -32.0 and -98.0 .

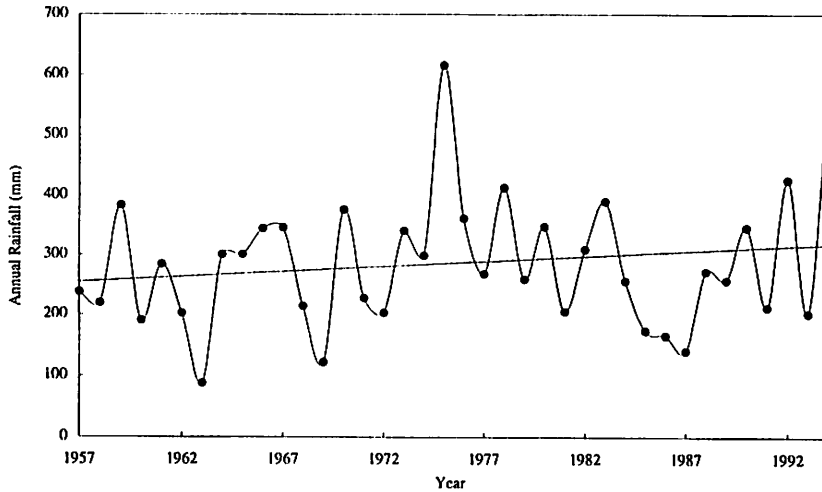


Fig. 2. Annual rainfall trend (1957-1994) at Osian.

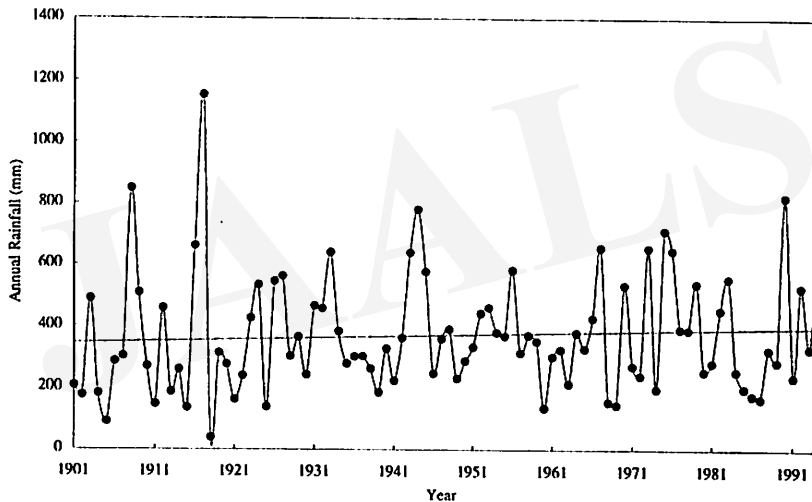


Fig. 3. Annual rainfall variability (1901-1994) at Jodhpur.

Using the annual moisture index values, the study on shifts in climate over Osian showed that the area remained mostly in arid phase from 1957 to 1994, except in 1975 and 1994 with semi-arid climatic conditions. Similarly, at Jodhpur, the area experienced mostly arid climate from 1901 to 1994 except in 10 years (1908, 1916, 1927, 1967, 1973, 1975, 1976, 1979, 1990 and 1994) with semi-arid climatic conditions and in one exceptional year (1917) with dry sub-humid climate.

3) Trends in human/livestock population

Though the overall rainfall of Osian region is

in an increasing trend, the increase in human population and livestock builds up pressure on sharing of land resources. The human population of Jodhpur district has increased from 0.42 million in 1961 to 2.13 million in 1991 (Table 1 and Fig. 4). As shown in Table 2, the population increase during 1901-1991 in the region was by 401%. The decadal change in population showed that the growth was increased up to 45% per decade till 1971-1981, but during the recent decade of 1981-1991, it was low (28%). The population trends remained the same for the entire Rajasthan state, but at a lower rate (+326%) dur-

Table 1. Change in human population ($\times 1,000$) of Thar Desert.

Period	Jodhpur district				Rajasthan state			
	Rural	Urban	Total	Increase (%)	Rural	Urban	Total	Increase (%)
1901	311	114	425	0	8,743	1,551	10,294	0
1911	320	114	434	2	9,508	1,476	10,984	7
1921	279	104	383	-10	8,817	1,475	10,292	0
1931	313	130	443	4	10,019	1,729	11,748	14
1941	390	168	558	31	11,747	2,117	13,864	35
1951	449	223	672	58	13,015	2,955	15,970	55
1961	619	265	884	108	16,874	3,281	20,155	96
1971	783	368	1,151	171	21,222	4,544	25,766	150
1981	1,088	580	1,668	292	27,051	7,210	34,261	233
1991	1,381	747	2,128	401	33,840	10,040	43,880	326

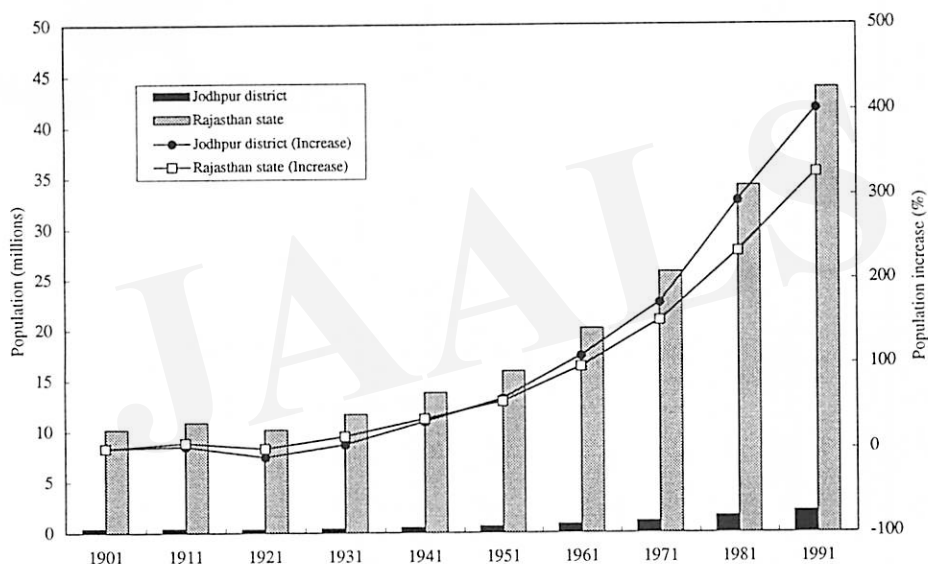


Fig. 4. Population trends of Jodhpur District and Rajasthan State, India.

Table 2. The percentage of decadal variation of population from 1901 to 1991.

Period	Jodhpur district			Rajasthan state		
	Rural	Urban	Total	Rural	Urban	Total
1901-1991	+345	+556	+401	+287	+548	+326
1981-1991	+27	+29	+28	+25	+39	+28
1971-1981	+39	+58	+45	+28	+59	+33
1961-1971	+26	+38	+30	+26	+39	+28
1951-1961	+38	+19	+32	+30	+11	+26
1941-1951	+15	+33	+20	+11	+35	+15
1931-1941	+24	+29	+26	+17	+22	+18
1921-1931	+13	+25	+16	+14	+17	+14
1911-1921	-13	-9	-12	-7	0	-6
1901-1911	+3	+1	+3	+9	5	+7

ing 1901–1991. This showed that the population in arid regions has increased at a higher rate than in other climatic regions. With a result, the per unit availability of rainfall is reduced leading to overexploitation of ground water reservoirs, an important causative factor for initiating desertification and land degradation in the region.

A total of 131 plant species with fuel and fodder economic utility have been found in the region (DAYANA, 1992). Among the most predominant trees, *Prosopis cineraria* (Fig. 5) and *Zizyphus nummularia* are the best top feed species for cattle, sheep and camels. The trees also lopped/cut for fuelwood consumption and used as the main sources of energy for cooking in villages.

The livestock census of Jodhpur district (Table 3) Showed that the population increased from 1.43 million to 3.26 million with an overall increase of 127% during 1956–1992 in Jodhpur district while in Rajasthan state, it increased from 32.05 million to 39.72 million during 1956–1988 (Table 4).

The grassland productivity of Thar Desert region can sustain 13–30 adult cattle units (ACUs)/

100 ha, depending upon the condition of range (BHIMAYA and AHUJA, 1969), while on an average there are 316 ACUs/100 ha as per the Census of 1992. The severe drought occurred in 1987 and

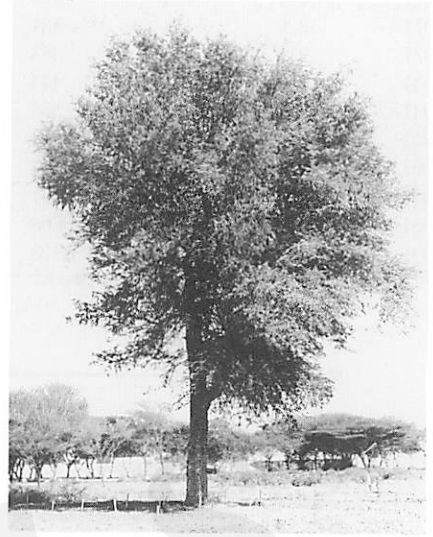


Fig. 5. *Prosopis cineraria* is a common tree in the Indian arid region used for fuel and fodder and pods as a vegetable. It also protects soil from wind erosion.

Table 3. Livestock ($\times 1,000$) census of jodhpur District.

Period	Cattle	Buffaloes	Sheep	Goats	Camels	Total	Increase (%)
1950	467	56	578	307	26	1,434	0
1961	532	58	485	338	39	1,452	1
1966	607	57	663	375	45	1,747	22
1972	426	48	683	673	56	1,886	32
1977	531	75	1,015	752	60	2,433	70
1983	527	99	1,148	834	50	2,658	85
1988	343	73	769	585	41	1,811	26
1992	627	490	1,139	954	50	3,260	127

Table 4. Livestock ($\times 1,000$) census of Rajasthan State.

Period	Cattle	Buffaloes	Sheep	Goats	Camels	Total	Increase (%)
1950	12,073	3,440	7,373	8,730	436	32,052	0
1961	13,136	4,019	7,359	8,052	570	33,126	3
1966	13,123	4,222	8,806	10,323	654	37,128	16
1972	12,470	4,592	8,556	12,162	745	38,525	20
1977	12,896	5,072	9,938	12,306	752	40,964	28
1983	13,466	6,035	13,386	15,609	753	49,249	54
1988	10,916	5,575	9,913	12,593	721	39,718	24

poor rainfall in previous and subsequent years caused declining of livestock population, particularly sheep and goat by 59% in the Jodhpur district and 30% in the Rajasthan state. Overgrazing of the pasture lands has deleterious effects as the successive triggers on the vegetation, resulting in less inferior and palatable species. But, after 1988, most significantly, the sheep and goat population has increased again by 98% and 71%, respectively. Sheep and goat are considered to be the vegetation devastators due to their inherent grazing habits of low level vegetation (Fig. 6) responsible for desertification. The degraded lands were found to have higher albedo which may have impacts on the rainfall processes of the region. Albedo values in the Indian arid region were 20-22% over grasslands of *Lasiurus*

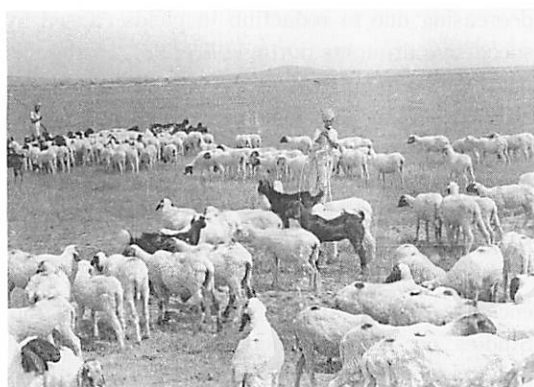


Fig. 6. Overgrazing the surface vegetation by animals like goat is a major factor in land degradation in the Indian arid region.



Fig. 7. Shifting sand dunes invade fertile cultivated lands. Pearl millet is sown on these sand dune lands during rainy season.

sindicus, *Cenchrus ciliaris* and *Cenchrus setigerus*, 23-25% over degraded bare loamy sands and 25-30% over sand dune areas of Thar Desert (Fig. 7). Similar high albedo conditions over the central and northern Sahara, eastern Saudi Arabia and southern Iraq resulted in a negative radiation balance at the top of the atmosphere on hot summer days (CHARNEY, 1975).

4) Impact of droughts on crop production

The root cause of droughts in the Indian arid region is due to failure of monsoon currents arriving in northwesterly direction from the Bay of Bengal and in northeasterly direction from the Arabian Sea. Recent studies on interactions between global circulations and drought showed that the El Nino phase of the Southern Oscillation (ENSO) has most impact on India through drought. While ENSO events cause summer drought with a reduction in food grain during monsoon period, the winter rainfall was usually enhanced consequently with an increase in the winter crop production (SHINHA, 1987; W.M.O., 1994).

Food and fodder production in the Indian arid region is considerably influenced by frequent droughts. For example, in high rainfall years like 1983, the grain yield of pearl millet in Jodhpur district was 336 kg/ha, whereas in low rainfall years like 1981, the yield was only 11 kg/ha

Table 5. Area and production of pearl millet in Jodhpur District.

Period	Area ($\times 1,000$ ha)	Production ($\times 1,000$ ha)	Productivity (kg/ha)
1978	642	109,192	170
1979	556	31,712	57
1980	625	39,978	64
1981	626	6,890	11
1982	542	36,885	68
1983	571	192,351	336
1984	546	98,247	179
1985	625	14,388	22
1986	643	30,888	48
1987	460	8,961	19
1988	710	100,098	141
1989	627	132,061	210
1990	656	253,615	387
1991	574	83,190	144
1992	685	328,736	480

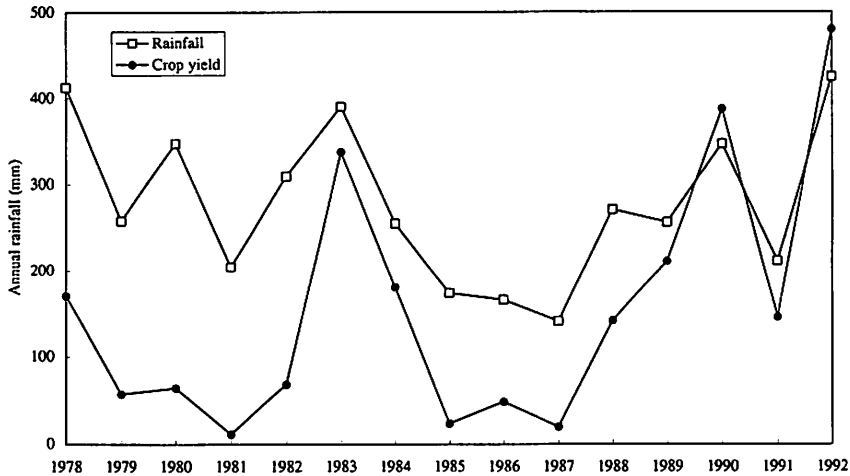


Fig. 8. Influence of rainfall on pearl millet production in Jodhpur District.

(Table 5 and Fig. 8). In Rajasthan State, the productivity of pearl millet varied from 578 kg/ha in 1992 and to 89 kg/ha in 1979 (Table 6) showing that there was less impact of drought in other semi-arid region compared to the arid region of Jodhpur. Osian area experienced moderate drought in 1958, 1960, 1962, 1972, 1981, 1991 and 1993 and severe drought in 1963, 1969, 1985, 1986 and 1987. The above analysis on drought at Osian showed that the region experienced moderate drought once in every 7 years, whereas severe drought once in 5 years. The productivity

trend of pearl millet (Fig. 8) during 1978-1987 is decreasing due to reduction in yields caused by successive droughts during 1985-1987. Although, pearl millet requires 300-500 mm of rainfall increased demand for food production has forced this crop to cultivate in the areas under the low rainfall conditions. This has inevitably lead to land degradation/soil erosion from the ploughed fields, particularly in drought periods.

The fodder production also considerably influenced by the vagaries of rainfall in the region. Studies on fodder production under different drought conditions in relation to livestock requirements of arid Rajasthan showed that the fodder production was adequate to feed their 23.3 million cattle only during the years with high rainfall, whereas it meets 44% of the requirement during the normal rainfall years (SHANKARNARAYAN *et al.*, 1985). During periods of severe drought like in 1987, fodder was brought from distant places to feed animals kept in various drought relief campus.

4. Conclusions

The causative factors for desertification in the Thar Desert in India were identified as climatic variability resulting in droughts, and increase in human and livestock population.

There was no significant change in the long-term annual rainfall in the Indian arid region during 1901-1994, rather a small increase in the

Table 6. Area and production of pearl millet in Rajasthan State

Period	Area ($\times 1,000$ ha)	Production ($\times 1,000$ kg)	Productivity (kg/ha)
1978	4,533	1,147,292	253
1979	4,266	380,734	89
1980	5,032	1,135,162	226
1981	4,945	803,890	163
1982	4,808	1,389,580	289
1983	4,996	2,450,812	490
1984	4,367	1,598,698	366
1985	4,769	731,329	153
1986	5,281	1,015,113	192
1987	3,571	462,794	130
1988	5,708	2,694,244	472
1989	4,928	1,829,771	371
1990	4,855	2,491,864	513
1991	4,597	1,071,674	233
1992	5,002	2,893,480	578

annual rainfall trend by 64.2 mm in 38 years at Osian and 55.0 mm in 94 years at Jodhpur were observed. Periodic changes in the trends of the annual rainfall with trends reversing with a lag of 6 to 11 years were observed. Droughts occur in the Indian arid region with an average frequency of once in three years influencing considerably food and fodder production.

The human population of the region increased by four times (+401%) during 1901-1991 which resulted in overexploitation of groundwater, cultivation of marginal and dune areas, accelerating the desertification. The food production and population increase were quite imbalance.

The livestock population also multiplied by 127% during 1956-1992, particularly that of sheep and goat which triggers desertification due to overgrazing and lopping/cutting trees for fodder purpose, more so in drought years.

In this area, arable farming is not economical due to frequent droughts, but even in such low rainfall years, fodder production was favorable. The pressure of population, however, has obliged continued growing of food crops in preference to fodder grasses. This has resulted in, during drought years, scarcity of both food and fodder. It should be noted that, rainfall in this region is sufficient for adequate fodder production even in drought years. Optimization of livestock production and use of marginal lands for increased fodder production rather than for cultivation of food crops have been suggested.

Acknowledgements

The authors are thankful to Dr. A.S. FARODA, Director, Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur and to Dr. Tsuguyoshi SUZUKI, Director General, National Institute for Environmental Studies, Japan for providing facilities.

References

- BHIMAYA, C.P. and AHUJA, L.D. (1969): Criteria for determining condition class of rangelands in western Rajasthan. *Ann. Arid Zone*, 8-1: 73-79.
- CHARNEY, J. (1975): Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101: 193-202.
- DAYANA, O.P. (1992): Fuel and fodder plant resources of Rajasthan. In SHARMA, H.S. and SHARMA, M.L. eds., *Geographical Facets of Rajasthan*, Kuledeep Pub., Jodhpur, 76-81.
- GOSHI B., SINGH, S. and KAR, A. (1977): Desertification around the Thar—A geomorphological interpretation. *Ann. Arid Zone*, 16: 290-301.
- GOVERNMENT OF INDIA (1991): *Population India-1991*. Series, Final Population data. Govt. of India, New Delhi, 1-20.
- HARE, F.K. (1983): *Climate and desertification—A Revised Analysis*. World Climate Programme, WCP-44, World Meteorological Organization, Geneva, 149 pp.
- INDIAN STATISTICAL ABSTRACTS (1950-1992): *Central Statistical Organization*. Dept. of Statistics, Ministry of Planning, Government of India, New Delhi.
- PANT, G.B. and HINGANE, L.S. (1988): Climatic changes in and around the Rajasthan desert during the 20th Century. *J. Climate*, 8: 391-401.
- PANT, G.B. and MALIEKAL, J.A. (1987): Holocene climatic changes over north-west India: An appraisal. *Climatic Change*, 10: 183-194.
- RAO, A.S. (1992): Climate, Climatic changes and paleo-climatic aspects of Rajasthan. In SHARMA, H.S. and SHARMA, M.L. eds., *Geographical facets of Rajasthan*, Kuldeep Pub., Ajmer, 38-44.
- RAO, A.S. (1996 a): Impact of droughts on Indian arid ecosystem. In SINGH, S. and KAR, A. eds., *Desertification Control in Indian Arid Ecosystems for Sustainable Development*. Agrobotanica Publishers, Bikaner, 1-14.
- RAO, A.S. (1996 b): Climatic changes in the irrigated tracts of IGNP canal region of western Rajasthan. *Ann. Arid Zone*, 35-2: 17-22.
- SHANKARNARAYAN, K.A. (1981): Monitoring desertification. *Development Policy and Administration-Review*, Vol. VII-2, 93-109.
- SHANKARNARAYAN, K.A., RAO, G.G.S.N. and RAMANA RAO, B.V. (1985): Grassland production and its associated climatic characteristics in western Rajasthan. *Tropical Ecology*, 26: 157-163.
- SINGH, G. (1971): The Indus valley culture seen in the context of post-glacial climatic and ecological studies in northwest India. *Archaeology and Physical Anthropology in Oceania*, 6: 177-189.
- SINGH, G. (1977): Stratigraphical and palynological evidence in the great Indian desert. *Ann. Arid. Zone*, 16-3 (Special Issue on Desertification): 310-320.
- SHINHA, H. (1987): The 1982-83 drought in India—Magnitude and impact. In GLANTZ, M., KATZ, R.

- and KRENZ, M. eds., *Climatic Crises : The Societal Impacts Associated with the 1982-83 Worldwide Climatic Anomalies*, UNEP, 37-42.
- SUBRAHMANYAM, V.P. and SUBRAMANIAM, A.R. (1964) : Application of water balance concepts for a climatic study of droughts in south India. *Indian J. Meteor. and Geophys.*, 15 : 393-402.
- THORNTHWAITE, C.W. and MATHER, J.R. (1955) : The water balance. Pub. in Climatology, Drewel Inst. Tech, New Jersey, 8-1 : 104.
- WINSTANLEY, D. (1973 a) : Recent rainfall trends in Africa, the Middle East and India. *Nature*, 243 : 464-465.
- WINSTANLEY, D. (1973 b) : Rainfall patterns and general atmospheric circulation. *Nature*, 245 : 190-194.
- W.M.O. (1994) : *Climatic Variability, Agriculture and Forestry. Technical Note, No. 196*. World Meteorological Organization, Geneva, 77 pp.

J A A L S

インド乾燥地のオシアン（ジョドプール州）における 砂漠化に影響をおよぼす気候変化とその他の要因

ラオ, A. S.*・宮崎忠国**

インド乾燥地の砂漠化進行要因を究明するためにジョドプール州のオシアンにて長期的な年降水量、干ばつの頻度、人口および家畜の増加率の解析をおこなった。オシアン地域は年平均降雨量 286 mm、THORNTHWAITE の湿润指数 - 84.5 を示す乾燥気候帯に属する。ジョドプールにおける長期的なデータは、その地域で乾燥気候が続いているとはいえ、1901 年から 1994 年の間に 10 年間半乾燥気候を、また 1 年間乾燥半湿润気候を経験した。

1957～1994 年の期間、オシアンでは 64.2 mm の雨量の増加があり、また 1901～1994 年の間にジョドプールでは 55.0 mm の増加があった。この間、オシアンでは中程度の干ばつを 7 回、激しい干ばつを 5 回経験している。この地域のパールミレットの収穫は干ばつのない年（1992 年）は 480 kg/ha で、強度の干ばつの年（1981 年）は 11 kg/ha であった。パールミレットの生産は 1985 年から 1988 年の連続的な乾燥気候により減少の傾向を示した。気象的な要因のほかに、1901～1991 年に 401% になった人口増加や、1956～1992 年に 127% となった家畜の増加は、この地域の主要な砂漠化要因となっている。降雨量の少ない年には経済的に効率の悪い伝統的農法によるパールミレットの生産は激減するが、家畜の飼料となる草の生産はある程度可能であることが判明した。そのため、この地域では砂漠化進行に対処する方法として農業活動を行なうより、むしろ畜産を行なう方が有効である。

* インド中央乾燥地研究所資源管理部、ジョドプール。

** 国立環境研究所地球環境研究センター（現所属：山梨県環境科学研究所、地域環境政策研究部）

（受付：1996 年 2 月 20 日，受理 1997 年 6 月 6 日）

中国新疆タクラマカン砂漠のオアシスにおける 経済発展と土地荒廃

劉 永 誌*・吉 野 正 敏**

1. はじめに

中国北西部の新疆ウイグル自治区に位置するタクラマカン砂漠は、近年、石油と天然ガスが発見され、“死の海”から“希望の海”に変わりつつあるといわれる。新疆ウイグル自治区は北疆と南疆に分けられ、タクラマカン砂漠が位置する南疆の人口及び社会経済活動はタクラマカン砂漠周辺に分布するオアシスに集中している。これらのオアシスに住む人びと、特に農民の生活や地域経済の発展は近年目ざましい。しかし、急激な人口増加によって、農耕地の不足、水不足、自然災害の多発、砂漠化と土壤塩類化などが著しくなり、経済発展は様々な問題をかかえるに至っている（吉野ほか、1994、1995；吉野、1995、1997）。

本稿は、タクラマカン砂漠のオアシスにおける近年の農村の経済状況、農・林・牧畜・漁業の発展状況及び耕地の造成・転換・荒廃の実態を明らかにする中で、この地域がかかえる問題を明らかにし、その解決すべき対策などを論じるものである。

2. 研究地域・資料

1) 研究地域の概観

「新疆総合自然区画」(楊、1987)によると、新疆は天山山脈を境界として、北疆と南疆とに区別される。天山山脈と崑崙山脈に挟まれているタリム盆地は南疆に属し、タクラマカン砂漠はタリム盆地にある。タリム盆地の面積は約53万 km²で、その中央部に位置する長円形のタクラマカン砂漠の面積は約33.8万 km²である。

気候は大陸性で、非常に乾燥しており、長年平均の年降水量は25-100mmである。しかし、これとほぼ同じくらいの降水量が、まれではあるが24時間で降ることがある（吉野、1992）。地域内の河川はすべてタクラマカン砂漠が位置するタリム盆地を囲む山岳地帯の氷河と積雪

の融けた水で涵養されている。流出量の年による変化は小さく、比較的安定している。しかし、季節による差は非常に大きい。流出量は主に夏に集中している。春の流出量は年流出量の5-12%しかない。夏には、洪水による災害がある。春には強い風や、砂嵐が吹き災害をもたらすことがある（吉野、1995、1997；劉、1996）。

本論文では、タクラマカン砂漠のオアシスを北部、南西部、南部、南東部に分けて、近年の農業生産の動向について分析を行うことにする。北部オアシスは阿克蘇(阿克苏)地区の9県・市と巴音郭楞(バインゴル)蒙古自治州の北部の7県・市に相当し、南西部オアシスは喀什(カシガル)地区の12県・市と克孜勒蘇(ギズルス)柯尔克孜自治州の4県・市、南部オアシスは和田(ホータン)地区の7県・市、南東部オアシスは巴音郭楞蒙古自治州の南部の若羌県と且末県に相当する(図1)。

2) 研究資料

資料は、国家統計局農村社会経済統計司編「中国分県農村経済統計概要」(1985-1991)、新疆統計年鑑編纂委員会編による「新疆統計年鑑(1993)」(1989-1994)と国家民族事務委員会経済司編(1993)「中国民族統計1992」から得た。これらを使って、タクラマカン砂漠のオアシスにおける近年の年別、県別・市別の農村経済、農・林・牧畜・漁業及び耕地面積・播種面積の分析を行った。

本稿において用いる価格データは、すべて当年価格(当年価格は政府に報告する期間の実際の価格、当年の社会経済の効果と利益を考察するためのものである。価格で表現された物量指標或いは労働総量指標である)。すなわち、現価(現価は現行価格ともいい、「当年価格」と同じである)に基づいて計算し求めたものである。

ただし本研究の基礎資料には新疆生産建設兵団に関する資料が含まれていない。

新疆生産建設兵団とは、中国では「開墾兵団」とも呼ばれ、新中国成立に際して導入された人民解放軍を母体として設立された(梅村、1996)日本の「屯田兵」に類

* 愛知大学大学院

** 愛知大学地理学研究室

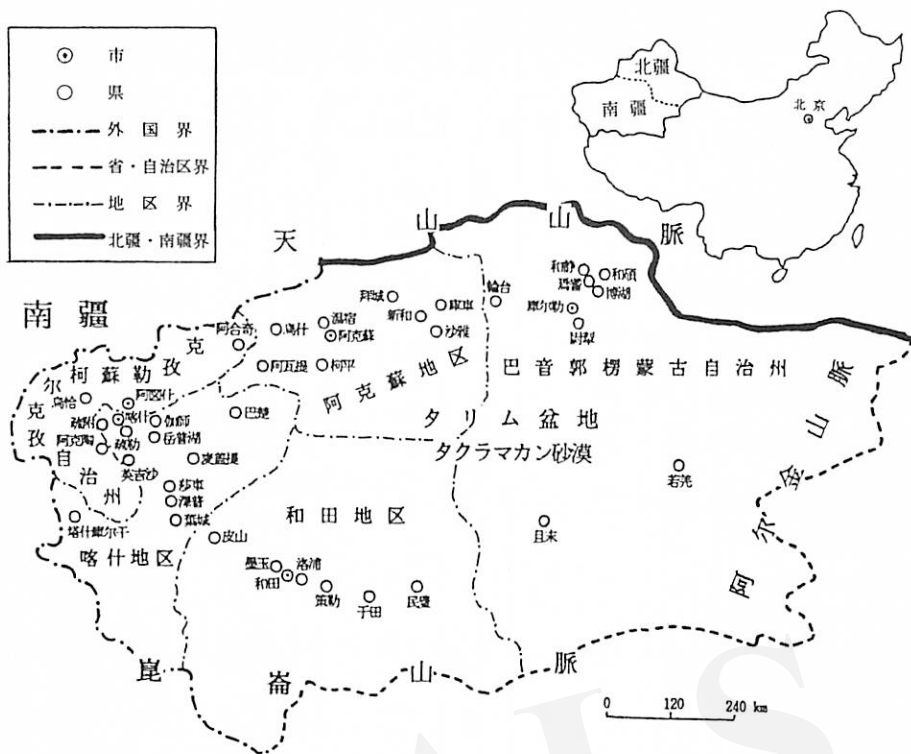


図1. 新疆ウイグル自治区における南疆の行政区画。

似した兵団制度である。この兵団制度の下、1952年-1961年の間に何百万人もが新疆に移住し、新疆の開発活動に従事した。1992年に新疆に定着している生産建設兵団の総人口は194万である（若林，1994）。その中で、南疆に定着した生産建設兵団の人口は45万以上である。

新疆生産建設兵団是全国最大の開墾企業であり、経済的には独立経営・独立会計の特殊団体である（新疆統計年鑑編纂委員会，1989）。

現在、利用可能な資料には新疆生産建設兵団に関する経済データは含まれていないので、新疆生産建設兵団の農業生産については、本稿では扱わない。本稿では、ウイグル族が大きな割合を占めている地域と、一部が蒙古族または漢族による農業生産活動が行われているオアシスにおける近年の変化を扱う。

3. 農・林・牧畜・漁業の発展状況

1) オアシスの農・林・牧畜・漁業の発展状況

近年、タクラマカン砂漠地域におけるオアシスでは第1次産業（農・林・牧畜・漁業）は大きく発展した。図2に示すように、1989年から1993年までの間に農・林・牧畜・漁業の総生産高は年々増加した。1989年の総生産

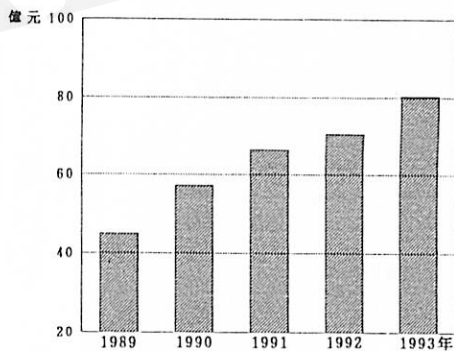


図2. タクラマカン砂漠のオアシスにおける農・林・牧畜・漁業の総生産高の増大。

（資料：新疆統計年鑑，1990-1994）

高は44億元であったが、1993年には80億元に達し、1989年の2倍近くになった。

第1次産業では農業が中心で、次に林業と牧畜業が重要であり、漁業は最も弱い。総生産高に占めるそれぞれの構成割合を、1989年から1993年までの統計資料から見ると（図3）、農・林・牧畜・漁業が総生産高に占める構成割合はあまり変化していない。これは、農・林・牧畜・漁業の発展速度はほぼ同じであることを意味する。

ただ、1993年には洪水、干ばつなどの自然災害が発生し、その影響で農業はかなり減産となった。そのため、1993年の農業の全生産高に占める割合はやや小さくなり、1989年の割合とはほぼ同じであった。

2) 県別・市別の農・林・牧畜・漁業の発展状況

農・林・牧畜・漁業の総生産高を県別・市別でみると、特に北部、南西部の大部分と南部の西側では大きい。南東部と南西部の喀什市では低い(図4)。しかしながら、いずれの地域でも年々増えている。たとえば、北部の阿克蘇市の第1次産業の総生産高は1988年に比べ1993年に5.6倍になった。庫尔勒市では同じ期間に5.3倍

になった。第1次産業の総生産高が比較的に小さい南西部の喀什市でも3.4倍になっている。南東部の若羌県でも3.9倍の増大である。

喀什市と若羌県は第1次産業の総生産高が比較的に小さいが、第2次産業と第3次産業の発展が著しく、国民総生産額ではそれぞれ90%、73%を占める。農業を主とするタクラマカン砂漠のオアシスの中では、このような喀什市と若羌県の状況は例外的である。これは、後でふれるように、喀什市の対外貿易や、若羌県の鉱山資源(石棉、芒硝など)による経済条件がかかわっている。

3) 食糧作物総生産と綿花生産

(1) 食糧作物総生産

新疆の食糧作物(食糧作物は、コメ、ムギ、トウモロコシ、高粱などの穀物及び豆類、いも類を含む)は小麦とトウモロコシを主とし、他は水稻、大麦、豆などである。食糧作物総生産量(年度内に生産した食糧作物の総生産量で、単位は重量)は年々増加するが、小麦、トウモロコシ及び他の食糧作物の生産量の総生産量に対する割合は近年あまり変わっていない(表1、図5)。小麦はほぼ総生産量の50%以上、トウモロコシは総生産量のほぼ40%以上、その他の食糧作物はほぼ7%以下を占める。

図5に示すように、近年、食糧作物総生産量は大きく伸びた。1988年の食糧作物総生産量は257億トンであったが、1990年には1988年より23億トン増加し、1992年には1990年よりさらに21億トン増加し、1993年には1992年より7億トン増加した。新疆の食糧は長年来、つねに自

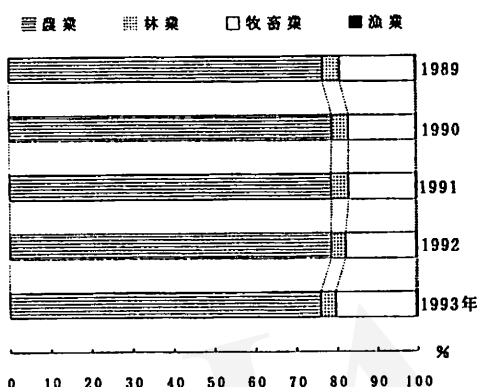


図3. タクラマカン砂漠のオアシスにおける農・林・牧畜・漁業の総生産高の構成(%)。

(資料: 新疆統計年鑑, 1990-1994)

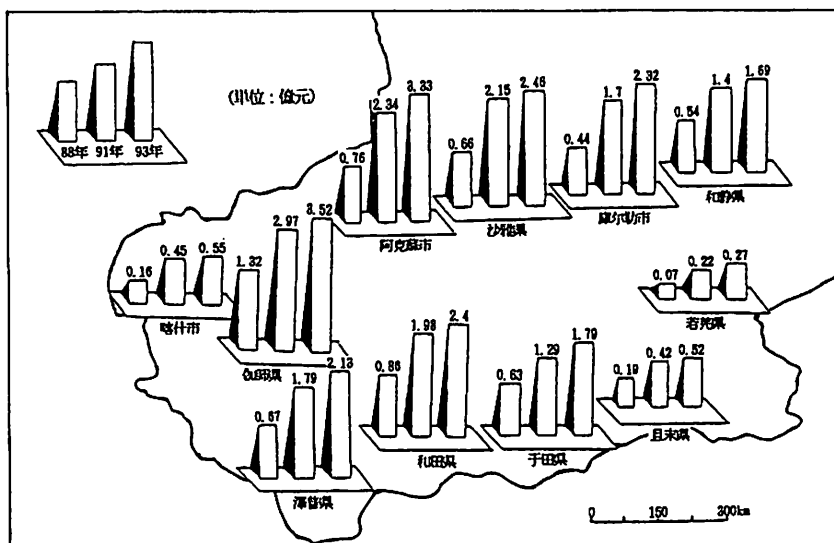


図4. タクラマカン砂漠のオアシスにおける県別・市別の近年の農・林・牧畜・漁業の総生産高。

(資料: 新疆統計年鑑, 1990-1994)

表1. タクラマカン砂漠のオアシスにおける近年の食糧総生産量および小麦、トウモロコシ、その他の食糧作物の生産量

	1988年	1990年	1992年	1993年
総生産量 (億トン)	257	280	301	308
小麦 (総生産量に対する%)	136 (53)	147 (52)	160 (53)	166 (54)
トウモロコシ (総生産量に対する%)	104 (40)	114 (41)	122 (41)	123 (40)
その他 (総生産量に対する%)	17 (7)	19 (7)	19 (6)	19 (6)

(資料：新疆統計年鑑，1989-1994)

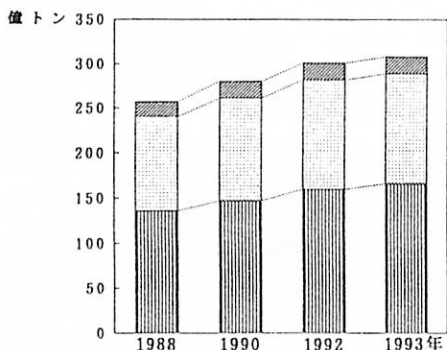


図5. タクラマカン砂漠のオアシスにおける食糧作物総生産量。
(資料：新疆統計年鑑，1989-1994)

給できなかった。しかし、最近、新疆は長期的食糧不足が解消する方向に向かい、食糧の自給が可能となりつつある(新疆维吾尔自治区地方誌編集委員会，1993)。タクラマカン砂漠においてもこのように増加の傾向であるが、問題は、増加の率が次第に小さくなっている点である。

(2) 綿花生産

タクラマカン砂漠地域では、食糧作物以外の農業生産の伸びも大きい。たとえば、綿花の生産はその例である。新疆は最近では短い繊維の商品綿の中国最大の生産地であり、また長い繊維の綿の中国唯一の生産地である(李，1996)。タクラマカン砂漠におけるほとんどのオアシスで綿花は栽培されている。綿花の総生産量も大幅に

増加した。1988年には14万トンであった総生産量は、1990、1991、1992、1993年にそれぞれ22万、32万、35万、31万トンとなった(表2)。1993年に減産しているのは、きびしい自然災害が生じたためである。

最近の報道によると、国家綿糸紡績工業の「西移」という国の政策が実施され、新疆の綿糸紡績工業が強力に発展している。南疆における綿花生産及び綿糸紡績工業も一層発展するであろう。

4) 副産物の生産

1985年と1991年のタクラマカン砂漠のオアシスにおける県別・市別の第1次産業総生産値¹⁾に対する副産物²⁾買上価額、すなわち〔副産物買上価額(元)÷第1次産業総生産値(元)〕で求めた値は、1991年には1985年に比較して、北部の西側、南西部、南部で大幅に増加した。北部の東側では減少した。南東部では、1985年に且末県と全く同じであった若羌県が1991年に且末県の約3倍増加した。特に、1985年に一番低かった南西部にある喀什市と南部にある和田市は、1991年にはそれぞれ530倍と40倍になった。これは、隣接したパキスタン、アフガニスタンなどの西アジア諸国、及び日本、アメリカなどに輸出する量が増加したことが大きな理由である。

古くから、新疆はアジアとヨーロッパの間の重要な貿易路の要点に位置していた。喀什市、和田市、トルファン市などはすべてシルクロードの要地であった。その上、この地域は資源に恵まれている。たとえば、綿・蚕

表2. タクラマカン砂漠のオアシスにおける近年の綿花の総生産量・単位面積当たりの生産量・1人当たりの生産量。

	1988年	1990年	1991年	1992年	1993年
総生産量 (万トン)	14	22	32	35	31
単位面積当たりの生産量 (kg/ha)	795	1,035	1,230	1,065	1,005
1人当たりの生産量 (kg/人)	21	31	44	48	42

(資料：新疆統計年鑑，1989-1994)

などの経済資源、甘草・麻黄などの薬用の植物資源、玉石・黄金などの鉱物資源である。歴史的にみて、新疆の経済の発展は対外貿易の発展に大きく依存している（劉ほか、1987）。こうした新疆の地理的歴史的な背景から、政府がこの地域の対外開放政策を試み始めたことが、喀什市と和田市の副産物の拡大に影響を与えた。すなわち、喀什市は1984年に政府から対外開放都市の許可を受けたが、この効果が1991年の統計結果に現われたとみてよからう。

たとえば、喀什市で生産されるウイグル族の伝統的な服飾品である「小花帽」は新疆の風俗習慣に近い西アジア諸国に深く愛好されており、重要な輸出品となっている。このほか、紡績品、生糸などが喀什市の重要な輸出品となっている。喀什市の副産物買上価額は、1985年の17万6千円から、1988年には約7千4百万元、1991年には約1億9千万元に上昇した。

和田市も1989年に政府から対外開放都市として許可された。外国への主な輸出品は絨毯、絹織物及び玉石である。和田付近は古来「蠶桑の郷」として有名で、また、玉石の産地としても有名であった。現在、玉石の生産量は年に10-30トンである。和田の絨毯は2000年余りの長い歴史がある。現在、和田の絨毯は新疆の輸出品として国際的に知られるようになっていて、1990年に和田市では、対外貿易の額は約158万元であった。

4. 経済発展の要因

1) 1人当たりの食糧作物総生産量

新疆は中国の少数民族地区として人口の増加が激しい。特にタクラマカン砂漠のオアシスにおける人口の年増加率は大きく、約11%である。わずか11年間に140万人増加した。食糧作物の生産への努力によって、タクラマカン砂漠地域では、人口の増加にもかかわらず、1人当たりの食糧作物総生産量は増加している。たとえば、県別・市別の1人当たりの食糧作物総生産量を1985年と1991年で比較すると（図6）、すべてのオアシスで1人当たりの食糧総生産量が増加した。特に北部での増加が著しい。その中でも、北部の東側にある和碩県での増加率はタクラマカン砂漠のオアシスの中では最大である。その理由について、次に考察したい。

前にも述べたように、第1次産業（農・林・牧畜・漁業）の総生産高は、特に北部のオアシスでは大きい。これは、北部のオアシスにおける恵まれた水資源、土壌、日照などの自然条件と便利な交通などのよい条件にかかわると考えられる。

タクラマカン砂漠の北部のオアシスは天山山脈の南に位置しており、天山山脈の南麓、山間盆地と沖積平原を含む。ここは、年日照時間は2,500-3,500時間にのぼ

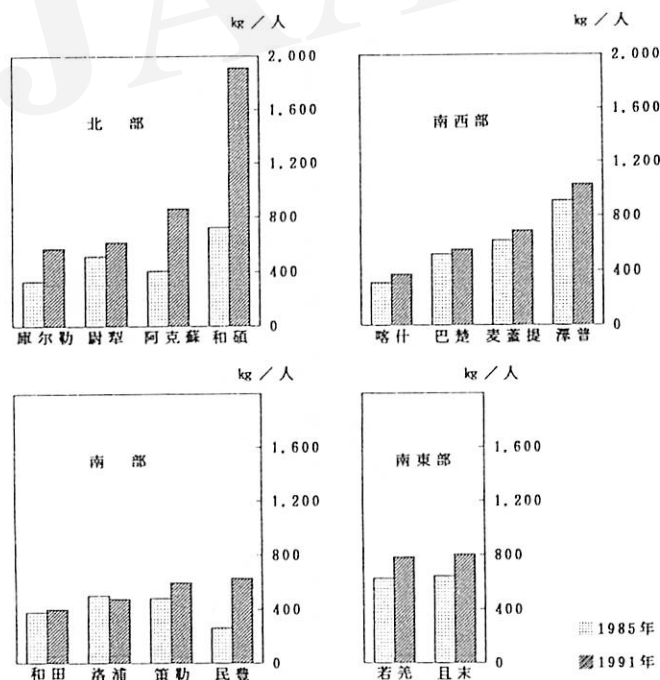


図6. タクラマカン砂漠のオアシスにおける1985年と1991年の県別・市別の1人当たりの食糧作物総生産量。
(資料：中国分県農村経済統計概要、1985-1991)

る。平原地区では熱量は十分であり、無霜期間が200日を超える。このような自然条件によって、小麦、トウモロコシ、水稻などの食糧作物のほかに、長い繊維の綿、及びイチジクなどの高温を好む作物を栽培している。河川はごく一部を除きタリム盆地の水系に属し、年流出量は180億 m^3 である。降水量は北疆よりはるかに少ないが、利用できる水資源は南疆のほかの地区より多い。さらに、北部のオアシスにおける農業は2,000年の古い歴史を持っているが、最近の灌漑水利施設の建設によって農業生産がさらに発展した。

後でまたふれるように、タクラマカン砂漠の北部以外のオアシスにおける自然条件はきびしい。また風砂の被害が大きい。南部では、少雨のため、河川網は薄く、崑崙山脈の氷河から流れ出る水量は少ない。砂嵐は農業、住民の生活、交通などに被害をもたらす。南東部の平原と山間地帯はアジア大陸の中では最も乾燥した地域であり、地球上の同緯度で同じくらの海拔高度の地域の中で、年降水量が最も少ない。生物生態は非常に脆くて弱い（楊、1987）。

2) 播種面積当たりの食糧作物総生産量

図7は、1985年と1991年のタクラマカン砂漠のオアシスにおける県別・市別の播種面積当たりの食糧総生産量を比較したものである。1991年には1985年に比較してす

べてのオアシスで、播種面積当たりの食糧総生産量が増加した。南西部と南部の増加が極めて著しい。これは南西部と南部のオアシスにおける土地生産性が非常に高くなったことを意味する。その理由は1980年代末に北部より遅れていた南西部と南部で急激に農業生産が発展したためと思われる。

タクラマカン砂漠のオアシスでは、農業技術の総合的な運用、すなわち、農業機械の導入、化学肥料の投入、新しい品種の育成、合理的作期計画などによって単位面積当たりの食糧生産量が高まった。たとえば、単位面積当たりの食糧生産量は1988、1990、1993年に、和田地区では3,555、4,005、4,800 kg/ha 、喀什地区では3,405、3,705、4,395 kg/ha 、阿克苏地区では3,090、3,225、3,765 kg/ha である。

また、単位面積当たりの棉花の生産量も1988年の795 kg/ha から、最高年の1991年の1,230 kg/ha に上昇した（表2）。1992年、特に1993年に自然災害の影響で棉花の総生産量は減産となった。しかし、1人当たりの生産量は1988年の21 kg から1992年には48 kg に増加した。深刻な被害に見舞われた1993年でも42 kg であった。綿は農民の唯一の換金作物になっている（李、1996）。

3) 播種面積

タクラマカン砂漠のオアシスにおける1人当たりの播

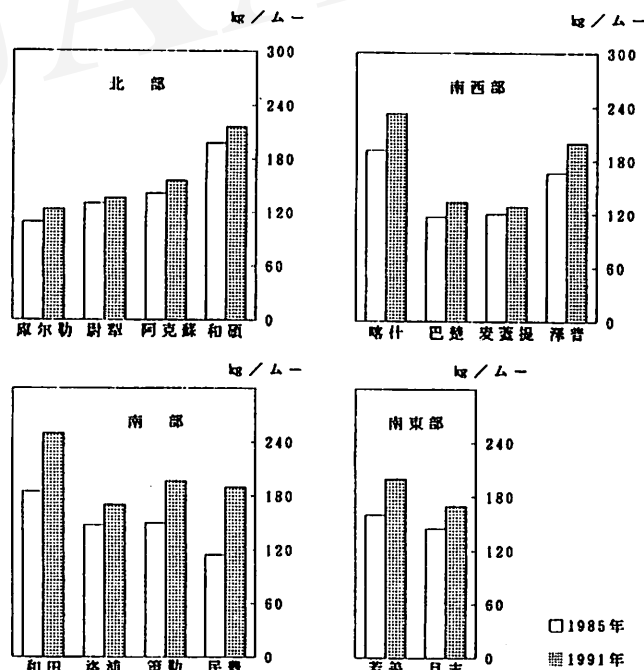


図7. タクラマカン砂漠のオアシスにおける1985年と1991年の県別・市別の播種面積当たりの食糧作物総生産量。
(資料：中国分県農村経済統計概要、1985-1991)

種面積の変化は、地区によって大きな違いがある。1991年には1985年に比較して北部の東側オアシスと西側オアシスなどでは倍増したが、全体的にみると大きな増加をしていない。南西部と南部の全体では、1985年より減少した。

つまり南西部と南部のオアシスでは、播種面積当たりの食糧総生産量はきわだって多いが、1人当たりの食糧総生産量はやや増加したにすぎない。その理由は、人口が増加したにもかかわらず、耕地面積・播種面積の増加が追いつかないからである。和田市、喀什市のように耕地面積・播種面積が減少した例さえある(吉野, 1994)。

また、南西部のオアシスでは風砂の被害が大きく、喀什市には8級以上の大風が年に25日ある(楊, 1987; 李, 1991; 吉野, 1992)。砂丘の移動の速度も速く、年に8メートルも移動する地域もある(Xia *et al.*, 1993)。こうした砂漠化の進行もあって、南西部オアシスでは耕地面積の拡大と播種面積の増加は人口増加に追いつくことができない(吉野, 1994, 1997)。ここに大きな今後の課題がある。

5. 耕地面積増大の限界と土地荒廃

1) 新耕地造成の増加状況

図8に示すように、タクラマカン砂漠のオアシスにおける新耕地造成の増加の程度は年によって違うが、近年、次第に増加の面積が小さくなってきている。

新しく耕地化された土地の大半は開墾された荒地であり、造成された面積の70-90%を占める。1988年-1993年の6年間に造成された新耕地の面積の合計は約12.9万haで、荒地の開墾はその中の82%を占め、約10.6万haである。すなわち、1年間に約1.8万haの割合で荒地が開墾された。この速度で進むならば問題はないが、図

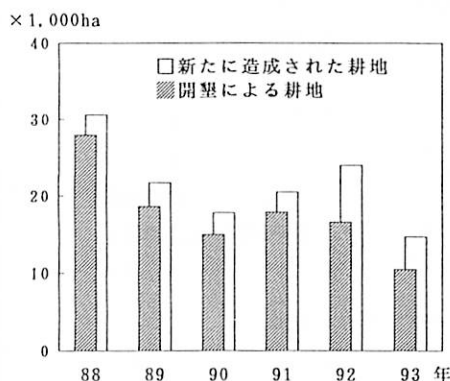


図8. タクラマカン砂漠のオアシスにおいて新たに造成された耕地の面積。(資料: 新疆統計年鑑, 1989-1994)

8の傾向を外挿すれば、数年ないし十数年後には、新たに造成される耕地面積はほとんど0になるという推測も可能である。

一般的に考えて、荒地の開墾には限度がある。開墾した荒地が、水不足で放棄せざるを得ないことも多い。耕地率がある限界に至ると耕地灌漑率は急激にさがり、小さい値になることはすでに明らかにされた(吉野ほか, 1996; 吉野, 1997)通りである。ただし、その限界耕地率はタクラマカン砂漠の中の地域によって差があり、北縁のオアシスでは南縁のオアシスの約2倍である。これは上記のように利用できる水量などの諸条件にかかわっている。また開墾によって、オアシス周縁の生態系が破壊され、砂漠化をさらに深刻化するようになる例もある(楊, 1987)。

人口増加によって食糧の需要量が増すことは確実である。これには栽培技術の進歩や耕地面積の拡大が必要であることはすでに指摘した通りである。しかし、上述のような限界があるので、この点について今後の研究が重要で、政策に反映させる計画の策定が必要である。

2) 耕地廃棄や転換の状況

廃棄されたり他の利用に転換される耕地も、近年、減少の傾向がみられるが、それでもその面積は新たに造成される耕地の面積と同じレベルにある。

図9に示すように、1988年-1993年の6年間に廃棄・転換された耕地面積は合計で約11.5万haである。その大部分は林地化・牧野化による(1990年79%, 1992年65%)。一部分は公共用地化・宅地化により(1990年12%, 1992年8%)。一部は砂漠化などにより(1990年9%, 1992年27%)、廃棄・転換された。ここで注目すべきは、砂漠化などによる耕地の荒廃が1990年の9%から、1992年の27%へと大きく増大していることである。

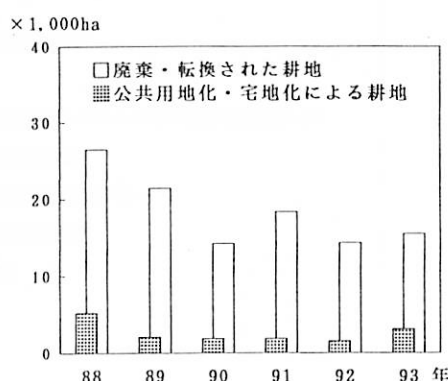


図9. タクラマカン砂漠のオアシスにおいて廃棄・転換された耕地の面積。(資料: 新疆統計年鑑, 1989-1994)

しかし、1992年の耕地の廃棄・転換の状況を見ると、その原因は地域によって大きな違いがある（図10）。林地化・牧野化が主な原因である地域（阿克蘇100%，庫爾勒97%，于田85%）が多く、砂漠化が卓越している地域（洛浦51%，葉城50%）や、公共用地化・宅地化が主な原因である地域（喀什100%，和静73%）もある。

林地化・牧野化は、林業や牧畜業を發展させると同時に生態環境を保全し、砂漠化の進行をも防止する。林業や牧畜業を一層發展させることは、政府から地元住民までが生態環境問題を重視していることを意味する。しかし、公共用地化・宅地化などによって廃棄された耕地の面積は比較的狭いが、累加すれば大きな値になる。図9に示す通り、公共用地化・宅地化によって廃棄された耕地は、1988年-1993年の6年間に約1.4万haである。実際には、社会経済が急速に發展し都市化が一層進み、農民の生活の水準が向上するのに従って、公共用地と宅地はさらに拡大する。生態系にとっては、公共用地化・宅地化によるいわゆる都市化の影響は、林地化・牧野化によって生じる影響とは正反対である。一方では、食糧需要の増加によって荒地を開墾しなければならない。そこで、オアシスの生態環境問題は、オアシスにおける農村の土地利用問題に深くかかわっているといえるであろう。

人口の急激な増加は、上述のように砂漠化と都市化にかかわる。耕地面積は北部では増加が当面可能であるが、南西部と南部ではすでにむずかしい。食糧生産のために今後かなりの面積の荒地を開墾しなければならないが、これは結局は土地の砂漠化につながる。

3) 土地の土壤塩類化と砂漠化

タクラマカン砂漠は、多種の自然災害が同時に多発す

る地区である。人口の増加と集中、及び経済の拡大によって、洪水、干ばつ、大風などの災害のほかに、人間活動による土壤塩類化と砂漠化の災害の危険は非常に深刻化している。土壤塩類化と砂漠化は緩やかにではあるが、地域の社会と経済の發展に大きな影響と危険をもたらす（新疆減災四十年編委会、1993）。

北部と南西部のオアシスにおいて生じている耕地荒廃の重要な要因は灌漑による耕地の土壤塩類化である。灌漑水の十分な利用は数年間に水分の蒸発によって土壌は塩類化する。畑は1-2年間の水田化によって塩分は減少するが、さらに下流に問題が生じる。生態環境を保護するために、タリム川流域の農場は保護林をつくるほかに、桑の木、果樹などの經濟林を多く造成することが必要である（吉野、1995；劉、1996）。

また、南西部のオアシスでは風砂の被害が大きく、喀什市では8級以上の大風が年に25日ある。植生が貧弱であるので、弱い風でも砂は移動する。今後の農業の發展で注意すべきことは、林業の發展及び水力資源の開発によって生態環境を改善し、砂漠化を防止することである（朱ほか、1989）。

南部と南東部のオアシスでは、気候の変動や人為的な要因によって植生が疎らで薄く、植生の破壊が進んでいる。すなわち、地表面の被覆率が非常に低く、砂漠化が深刻化している。今後、農業の發展と生態環境の改善を並行して進めなければならない。そのため、林業の發展、自然資源の合理的な開発・利用及び水利工事の建設などをさらに強化しなければならない（楊、1987）。

6. ま と め

以上を要約すると次の通りである。

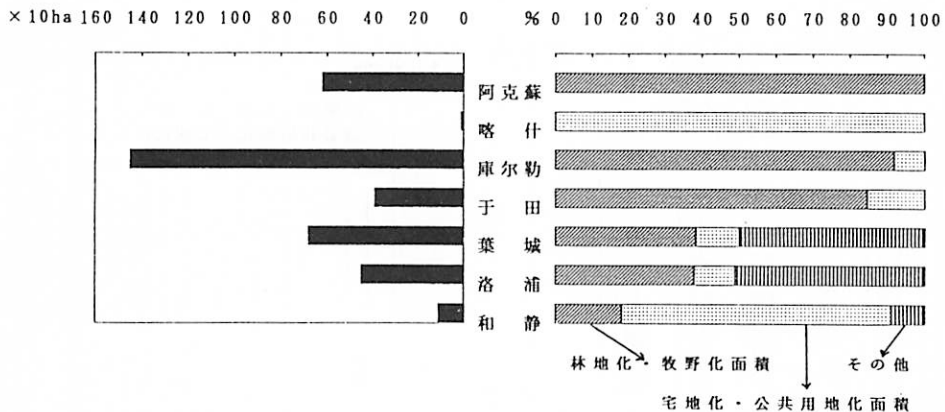


図10. タクラマカン砂漠のオアシスにおける県別・市別の耕地の廃棄・転換の状況（1992）。

（資料：新疆統計年鑑、1993）

(1) 近年タクラマカン砂漠のオアシスでは、農・林・牧畜・漁業の総生産高は増加した。特に、北部のオアシスでは食糧作物総生産量は大幅に増加した。南西部と南部のオアシスでは食糧作物総生産量は依然として少ないが、単位面積当たりの食糧作物総生産高は高い。タクラマカン砂漠のオアシスではすでに長期的な食糧不足が解消し、食糧自給が可能となりつつある。しかし、南西部と南部のオアシスでは、1人当たりの食糧総生産量は、近年、やや増加したにすぎない。その原因は、人口の急激な増加にもかかわらず耕地面積・播種面積の増加が追いつかず、場合によって減少しているためである。

また、食糧作物以外の農業生産の伸びも大きい。たとえば、綿の総生産量・単位面積当たりの生産量・1人当たりの生産量は、いずれも大きい。

(2) 耕地面積は毎年増減の変動がある。すなわち、耕地は毎年荒地を開墾するので新たに造成されていると同時に、一方では、牧野化・公共用地化・宅地化、さらに砂漠化などのために廃棄・転換されている。しかし、耕地は人口増加に応じて相当する面積を造成させなければ食糧の自給ができない。そこで、オアシスの生態環境問題はオアシスにおける農村の土地利用問題に深くかかわっているといえるであろう。不適当な荒地の開墾は、結局砂漠化につながるので、長期的な見通しに基づく計画が必要である。

謝 辞

本稿は「中国新疆における近年のオアシス経済」という研究の一部として考察したものである。資料の収集にあたり、愛知大学豊橋校舎の図書館の各位及び豊橋技術科学大学大学院生の周 国臻氏には非常にお世話になった。記して感謝したい。また、種々の貴重なご意見を賜った静岡大学の嶋田義仁教授に深謝する。

注

- 1) 第1次産業総生産値は、中国では農業総生産値ともいい、貨幣で表現された農・林・牧畜・副・漁業の全部の生産品の総量である。それは、一定の時期の農業生産の総規模と総成果を反映している。単位は「元」である。
- 2) 副産物は、中国では副産品ともいい、副業による生産品を指す。副業は、野生植物の採集、野生動物の狩猟、及び農民の家庭が兼業する産業である。たとえば、山で採集し

た甘草、麻黄などの薬用植物や、農民の家庭が織った絨毯はその副産物の例である。

参 考 文 献

- 李 江風(1991):『新疆気候』気象出版社, 146-205.
 李 文娟(1996):『中国棉花産需平衡研究』中国紡績出版社, 143-159.
 劉 群ほか(1987):『新疆対外貿易概論』新疆人民出版社, 221-235.
 劉 永誌(1996):中国新疆タクラマカン砂漠のオアシスにおける自然災害. 愛知大学大学院, 愛知論叢, 61: 169-194.
 梅村 坦(1996):ユルドゥス草原とタリムのオアシス,『沙漠研究』5: 91-106.
 若林敬子(1994):『中国人口超大国のゆくえ』岩波書店, 221p.
 新疆減災四十年編委會編(1993):『新疆減災四十年』地震出版社, 147-180.
 新疆統計年鑑編纂委員會編(1989-1994):『新疆統計年鑑』1989・1990・1991・1992・1993・1994各年度版, 中国統計出版社.
 新疆维吾尔自治区地方誌編纂委員會編(1993):『新疆年鑑1993』新疆人民出版社, 49-337.
 楊 利普(1987):『新疆维吾尔自治区地理』新疆人民出版社, 365p.
 吉野正敏(1992):新疆の砂漠地域の雨と風,『沙漠研究』1: 1-15.
 吉野正敏(1994):タクラマカン砂漠南縁のオアシス和田・策勒の環境と人間活動,『愛大史学』3: 1-27.
 吉野正敏(1995):タクラマカン砂漠南縁のオアシスにおける気候変遷・砂漠化と人間活動(2)-人口変化・気象災害-,『愛知大学文学論叢』110: 66-88.
 吉野正敏(1997):『中国の砂漠化』愛知大学文学会叢書I, 大明堂, 300pp.
 吉野正敏・藤田佳久・有蘭正一郎・杜 明遠(1994):タクラマカン砂漠南縁の和田・策勒におけるウイグル族農民の農業生産活動,『沙漠研究』3: 125-135.
 吉野正敏・藤田佳久・有蘭正一郎・杜 明遠・雷 加強(1995):タクラマカン砂漠南縁のオアシスにおける気候変遷・砂漠化と人間活動(1)-農業的土地利用と農家経済-,『愛知大学文学論叢』110: 90-106.
 吉野正敏・藤田佳久・有蘭正一郎・杜 明遠・雷 加強(1996):タクラマカン砂漠における砂漠化に及ぼす農業的土地利用の影響,『沙漠研究』5: 107-115.
 朱 震達ほか(1989):『中国的砂漠化及其治理』科学出版社, 126p.
 国家統計局農村社会経済統計司編(1985-1991):『中国分県農村経済統計概要』1985~1991年度版, 中国統計出版社.
 国家民族事務委員会経済司編(1993):『中国民族統計1992』中国統計出版社.
 XIA, X., LI, Ch., ZHOU, X., ZHANG, H., HUANG, P. and PAN, B. (1993): *Desertification and Control of Blown Sand Disasters in Xinjiang*. Sci. Press, Beijing, China, 298pp.

The Economic Development and Land Degradation of Oases in the Taklimakan Desert in Xinjiang, China

Yongzhi LIU* and Masatoshi YOSHINO**

In the oases of the Taklimakan desert, the northwest part of China, the agricultural production plays a decisive role in the social and economic development. In order to clarify the change of the agricultural production in the oases, the agricultural land use, grain yield, change of population and desertification were analyzed. The main results obtained are summarized as follows:

(1) Recently, the gross productions of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery have been increasing greatly. Especially in the northern part of the Taklimakan Desert, the gross yield of agriculture raised markedly between 1988 and 1993.

In the oases of the southwestern and southern parts of the Taklimakan Desert, increases of cultivated and sown areas are relatively less than increase of population. So, in spite of increases of the grain yield per unit area and total areas of cultivated and sown lands, increase of grain yield per capita is only a little. Total amount of the other agricultural production increased greatly. For example, the gross production and per capita yield of cotton are the largest in China.

(2) The cultivated areas have been increased by reclaiming wasteland. But, on the other hand, the cultivated areas are decreasing by desertification and by changing land use for forestry, animal husbandry, housing and so on. It is clear that the cultivated areas should have to increase in accordance with increasing rate of population. Ecological and environmental problems in the oases, which are deeply related to this discrepancy, are different in the northern, southwestern, southern and southeastern parts of the Taklimakan desert, respectively.

Key Words : Economic development, Land degradation, Taklimakan desert, Oasis, Arid land agriculture

* Graduate School of Aichi University. 1-1 Machihata-cho, Toyohashi, 441 Japan.

** Institute of Geography, Aichi University. 1-1 Machihata-cho, Toyohashi, 441 Japan.

(Received, October 29, 1996 ; Accepted, June 6, 1997)

Controlling Permeability and Salinity in Sandy Soils with Ammonium Humate

Yuuki YAZAWA*, Yutaka SHINODA**, Fumihiko YAZAKI*
and Tatsuaki YAMAGUCHI*

It is well known that inappropriate irrigation in the field of arid land may often causes salinity hazard through the accumulation of salts in soil by rising ground water levels. For the purpose of improvement of such saline soil the main demand is to leach water-soluble salts. Moreover, in order to prevent from further accumulation of salts, the control of water movement in soil is necessary for conservation of crop field.

Typical features of saline soils are also the shortage of humified organic matters and the low biological activities. Supplement of natural organic materials to the soil is considered as effective way for sustainable cultivations improving the above-mentioned problems. Tropical peat, which is originated from rain forest trees and widely distributed in the tropical zones especially Southeast Asia, is an attractive choice of the natural organic material for this purpose because of its high content of humic acid and high water holding capacity. However, this high water holding ability of raw tropical peat affords simultaneously a disadvantage for transportation to an arid region from economical point of view. In order to reduce the transportation mass, humic acid, the main soil component, was extracted from raw tropical peat (Kalimantan, Indonesia) in the form of ammonium salt in this work. Thus, ammonium humate was examined for the possibility as an organic ameliorant for saline sandy soil.

At first, a model saline soil column was prepared in a lysimeter with beach sand (Kujyukuri) as the reference for the real saline sandy soils. Through the evaporation test, the distribution of moisture content and ionic concentration of Na^+ and Ca^{2+} in the column were measured. A dilute solution of ammonium humate was fed to the top of the lysimeter with modelled sand column. By this treatment, the increasing permeability of the column by the complex formation between humate and Ca^{2+} was observed by the surface analyses, ESCA and SEM. This means the fixation of soluble Ca^{2+} as well as the fixation of humate, namely the supplement of organic substance on sandy particles. Furthermore, the leaching out of considerable amount (90%) of Na^+ in the form of water-soluble sodium humate was found in the effluent, from the bottom of the lysimeter, remaining some part ($2 \text{ mM} \cdot \text{kg}^{-1}$) of NH_4^+ in the sandy soil to be expected a nutrient for plants.

Key Words : Ammonium humate, Cation exchange, Permeability, Leaching, Sandy soil

1. Introduction

It is well known that inappropriate irrigation may often cause salinity hazard through an accumulation of salts at the soil surface by rising ground water levels. Various methods for con-

trolling the movement of water and leaching of water-soluble salts in the desert soil have been studied in many branches of science and technology (MATSUMOTO, 1994). Among them, the use of such organic materials containing humic acid as peat and weathered coal for improving the water-retention of deserts has become more no-

* Department of Industrial Chemistry, Chiba Institute of Technology. 2-17-1, Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275, Japan.

** Department of Civil Engineering, Chiba Institute of Technology. 2-17-1, Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275, Japan.

(Received, February 28, 1997 ; Accepted, July 28, 1997)

ticeable recently (YAMAGUCHI *et al.*, 1993, 1994).

Tropical peat was introduced as an organic material for the above-mentioned purpose in this work, since it has higher humic acid content than other peats (YAMAGUCHI *et al.*, 1997). Tropical peat is an organic deposit formed from the decomposition of rain forest trees (RADJAGUKGUK, 1991; YAMAGUCHI, 1992), and most of the tropical peat is distributed in the coastal lowlands of Southeast Asia, principally in Indonesia, where 4 million ha have undergone some form of development.

On actual application of tropical peat to an arid land, reducing the transportation mass was necessary from the economical point of view. In order to reduce the transportation mass to an arid land, it was tried in this study to extract neat humic acid from the raw tropical peat. Although humic acids are usually extracted by using an aqueous NaOH solution, humic acids in tropical peat was directly extracted as ammonium humates by using aqueous NH_4OH solution to prevent from further soda-alkaline hazard of the applied arid land. The powdered ammonium humate differs from humic acid in being freely soluble in water, therefore it might be useful in terms of transportation costs and construction costs as an ameliorant (YAZAWA *et al.*, 1996 a; YAMAGUCHI *et al.*, 1997).

In this paper, the effect of water-soluble ammonium humate on permeability, water retentiv-

ity, leaching, and fertility in sandy soils was examined with a lysimeter (YAZAWA *et al.*, 1996 a, b).

2. Experimental

1) Extraction and characterization of ammonium humate

The untreated tropical peat excavated in South Kalimantan, Indonesia was selected in this examination. The raw material was firstly treated with 1 M-HCl aqueous solution, and then extracted with an aqueous 0.1 M- NH_4OH solution. After centrifugation, the supernatants were carefully separated and concentrated by a rotary evaporator. Ammonium humate was finally freeze-dried and reduced to a powder for storage. The extraction scheme of ammonium humate is shown in Fig. 1 (YAMAGUCHI *et al.*, 1997; WATANABE *et al.*, 1994) and its main characteristics are shown in Table 1. The extraction yields of humic acid were calculated from the weight ratio of the extract to the dried raw material. The total acidity and cation exchange capacity were measured using the barium acetate method (HARADA and INOKO, 1980), the content of carboxyl groups by using the calcium acetate method (YONEBAYASHI, 1988), and the content of phenolic hydroxyl groups by using the colorimetry with Folin-Ciocalteu's reagent (TSUTSUKI and KUWATSUKA, 1978). The elemental carbon, hydrogen, and nitrogen were analyzed with a YANACO

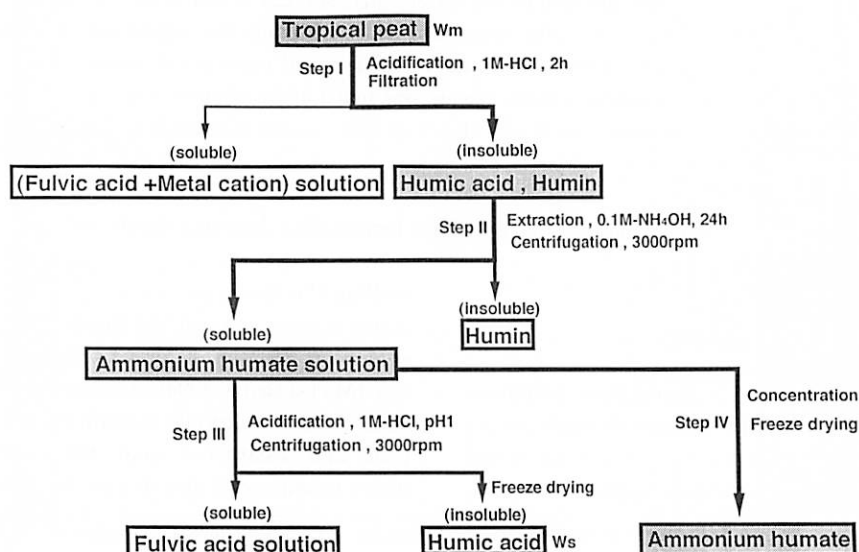


Fig. 1. Preparation of humic acid and ammonium humate.

Table 1. Characteristics of humic acids and ammonium humates extracted from tropical peat.
(moisture and ash-free basis)

Raw material	Tropical peat (South Kalimantan)				
Sample ¹⁾	RT	HA			AH
Extractant ²⁾	—	Na	NaP	NH ₄	NH ₄
Extract [wt%]	—	58.2	56.4	51.6	—
Ash content [wt%]	6.4	3.8	2.7	1.3	0.9
Functional group content [cmol·kg ⁻¹]					
COOH	191.3	303.0	311.0	291.0	N.D. ⁵⁾
Phenolic OH	3.8	5.8	5.7	5.6	N.D. ⁵⁾
Elemental analysis [wt%]					
C	53.3	54.7	55.6	55.9	52.6
H	3.8	4.7	4.7	4.8	5.2
N	0.8	1.2	1.0	1.6	6.2
N-NH ₄	0.1	0.0	0.0	0.5	4.2
O ³⁾	35.7	35.6	36.0	36.4	35.1
Of ⁴⁾	6.2	9.8	10.0	9.4	—
Atomic ratio [mol%]					
H/C	84.9	102.4	100.7	102.3	117.8
N/C	1.3	1.9	1.5	2.5	10.1
O/C	50.3	48.9	48.6	48.9	50.1
Of/O	17.4	27.5	27.8	25.8	—
Degree of humification [—]					
log K	—	0.64	0.64	0.60	—
RF	—	32.5	34.8	33.4	—
Molecular weight [—]	—	39,000	33,300	32,000	44,100

¹⁾ RT: Raw tropical peat, HA: Humic acid, AH: Ammonium humate

²⁾ Na: NaOH, NH₄: NH₄OH, NaP: NaOH/Na₄P₂O₇

³⁾ O: {Total-(C+H+N+ASH)}

⁴⁾ Of: O of functional group (COOH + Phenolic OH)

⁵⁾ N.D.: Not detected

MT-5 CHN analyzer, and the oxygen weight percentage was calculated from the difference (HARADA and INOKO, 1980). Ammonium nitrogen was measured with ion chromatography (Shimadzu LC-10 AD) (HATANO, 1986 a, b). The molecular weight distribution (number average molecular weight) was performed using gel permeation chromatography by HPLC (Millipore Co. Waters 600, Column: TOH50H TSKgel G 2000 SW_{XL}+G 3000 SW_{XL}) (YONEBAYASHI, 1989).

2) Test method

(1) Modeling of salt-accumulated sandy soil

Since it is difficult to get enough soils from the local desert, the sandy soil of Kujyukuri Beach (Japan) with a comparatively similar particle size distribution was used as a model. After solar drying and sieving (<2 mm), the soils were saturated with a saline solution.

The pH and EC values of soils were measured

in the suspension (soil: water=2:5 for pH, 1:5 for EC) (TAKIJIMA, 1987; UWASAWA, 1994). Water soluble ions of soils were measured by ion chromatography (HATANO, 1986 a, b) in the suspension (1:5). The test method for particle size distribution of soil was performed using a JSF T 131 as classified by the international method to give the following particle sizes: clay (grain size: ~0.002 mm), silt (0.002~0.02 mm), fine sand (0.02~0.2 mm), coarse sand (0.2~2.0 mm), and gravel (2.0~mm).

The characteristics of typical sandy soils from deserts or crop field are also listed in Table 2 as the reference.

(2) Experimental system with lysimeter

As shown in Fig. 2, an unidimensional experiment of soil was performed by a lysimeter with a cylindrical plastics column. The lysimeter was fitted with a constant head permeable column (ϕ 5.0×33.0 cm). Column I was used for leveling the

Table 2. Basic properties of sandy soil samples.

(1) Chemical properties

Sample	pH ¹⁾	EC ²⁾ [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	Cation Concentration [$\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$] ³⁾				TDC ⁴⁾ [$\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Anion Concentration [$\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$] ³⁾				TDC ⁵⁾ [$\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$]
			Na	K	Mg	Ca		Cl	HCO ₃	NO ₃	SO ₄	
Desert												
Khafji in Saudi-Arabia (inland)	9.03	86	0.04	0.02	0.02	0.10	0.18	0.01	0.21	0.00	0.02	0.24
Khafji in Saudi-Arabia (near beach)	8.07	1,777	0.36	0.14	0.18	4.65	5.33	0.28	0.55	0.02	5.09	5.95
Riyadh in Saudi-Arabia (case 1)	8.27	53	0.04	0.01	0.02	0.07	0.14	0.02	0.17	0.00	0.02	0.22
Riyadh in Saudi-Arabia (case 2)	8.60	131	0.08	0.03	0.05	0.14	0.30	0.09	0.19	0.06	0.05	0.39
Wadi el Natrun in Egypt	8.40	479	0.32	0.11	0.06	0.93	1.42	0.25	0.34	0.00	1.08	1.67
Sakhara in Egypt	8.83	532	1.25	0.11	0.06	0.35	1.77	0.97	0.05	0.11	0.31	1.44
Keerqin in China	9.80	321	0.47	0.09	0.02	0.03	0.61	0.07	0.75	0.00	0.06	0.89
Field												
Fukang China	8.47	5,340	25.07	0.29	1.33	3.90	34.67	6.61	3.71	1.14	15.93	27.45
Kangping in China	8.73	1,061	5.62	0.03	0.18	0.29	6.12	1.22	0.19	0.68	0.94	3.03
Beach												
Kujyukuri Beach in Japan	6.45	57.5	0.12	0.08	0.01	0.03	0.24	0.09	0.02	0.04	0.02	0.17

¹⁾ suspension (2 : 5), ²⁾ suspension (1 : 5), ³⁾ Ion chromatography, ⁴⁾ Total dissolved cation (= Na + K + Mg + Ca),⁵⁾ Total dissolved cation (= Cl + HCO₃ + NO₃ + SO₄)

(2) Physical properties

Sample	ρ_s [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] ⁶⁾	Particle size distribution [%] ⁷⁾					k_{15} [$10^{-3}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] ⁹⁾
		Clay	Silt	Fine sand	Coarse sand	Gravel ⁸⁾	
Desert							
Khafji in Saudi-Arabia (inland)	2.55	8.81	1.73	13.59	73.55	2.32	—
Khafji in Saudi-Arabia (near beach)	2.69	14.13	2.62	7.01	76.24	0.00	—
Riyadh in Saudi-Arabia (case 1)	2.61	10.46	0.58	6.84	82.12	0.00	—
Riyadh in Saudi-Arabia (case 2)	2.60	11.04	3.01	22.31	63.64	0.00	—
Wadi el Natrun in Egypt	2.67	4.89	1.27	4.46	80.33	9.05	5.53
Sakhara in Egypt	2.67	5.56	0.99	9.92	83.53	0.00	4.41
Keerqin in China	2.56	10.35	2.03	34.80	52.82	0.00	—
Field							
Fukang China	2.55	22.27	21.63	51.75	4.35	0.00	0.21
Kangping in China	2.59	10.73	7.10	34.69	47.48	0.00	—
Beach							
Kujyukuri Beach in Japan	2.74	4.87	0.80	5.45	88.88	0.00	10.40

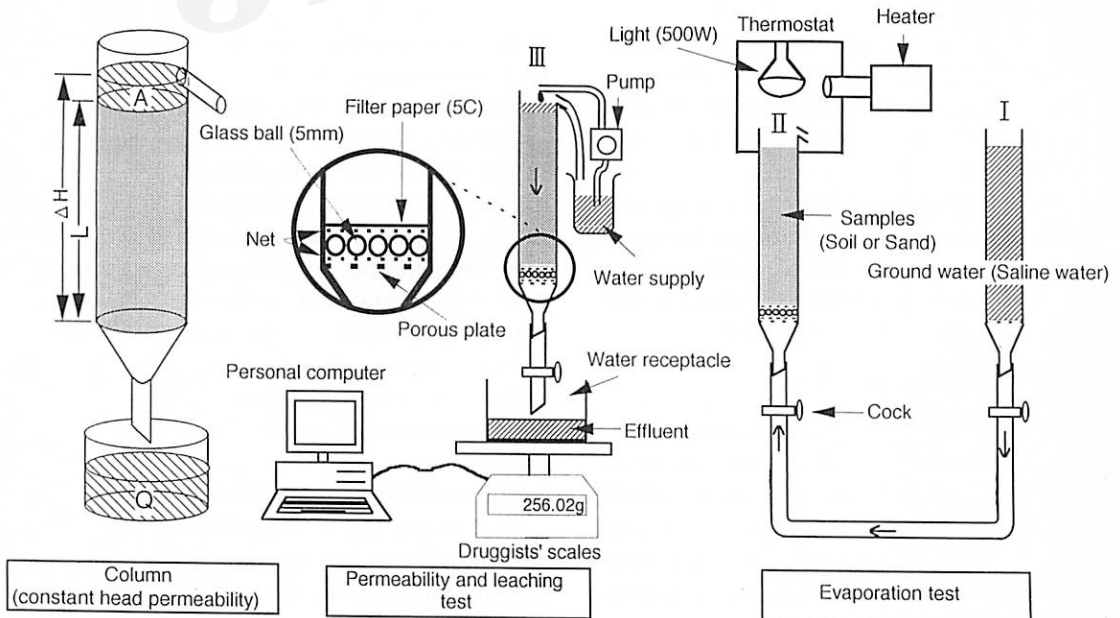
⁶⁾ JSF T 111-1990, ⁷⁾ JSF T 131-1990, ⁸⁾ International method (Clay : ~ 0.002 mm, Silt : $0.002\sim 0.02$, Fine sand : $0.02\sim 0.2$, Coarse sand : $0.2\sim 2.0$, Gravel : $2.0\sim$), ⁹⁾ JSF T 311-1990 (15°C)

Fig. 2. Illustration of lysimeter test.

water head, column II was used for an evaporation test or preparing salt accumulated soil, and column III was used for the permeable test, the leaching test and the fertility measurement. In order to minimize the movement of soil, a porous plate was fitted on the bottom of the column and it was covered with two filter papers (5 C, ϕ 5.0) with glass balls, (ϕ 0.5) between the filter papers (Li *et al.*, 1994 ; BRONSWILK, 1991).

(3) Evaporation test

The sand column's surface was heated for 24 hrs at 85°C and 15% RH by both a light and heater (temperature of outside was 25°C). The moisture content and the salt concentration of twelve samples collected from infinite depth (intervals of 2.5 cm) were measured to observe their change with the soil depth. After these measurements, ion exchanged water (50 ml) was added to these dried samples (10 g), then they were agitated. The dissolved ions were analyzed by ion chromatography and the salt concentration was calculated.

(4) Permeability test

In consideration of the result of the evaporation experiment, sandy soil was placed in a permeable column so as to have a similar salt concentration distribution. The permeability of soil was measured in accordance with JSF T 311 (Fig. 2). The ammonium humate solution of predetermined concentration was poured onto the top of the column so that it might become a constant water head. From the time change of the water flux quantity, the coefficient of permeability k ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) of soil was calculated by the following equation :

$$k = \frac{L \cdot Q}{\Delta H \cdot A \cdot t} \quad (1)$$

where L , Q , ΔH , A and t denote the length of sand column (cm), the quantity of water flux (cm^3), the difference of water head (cm), the sectional area of sand column (cm^2), and the time duration (s), respectively.

(5) Leaching test and fertility measurement

Ammonium humate solution was poured into the sand column that was regulated to have the predetermined salt concentration distribution, and the concentration change of the ingredient (ion and organic substances) in the effluent was measured. Water soluble salts in the outflux so-

lution were measured by the ion chromatograph, and the concentration of humate was measured simultaneously by using the spectrophotometer. The salt concentrations, the quantity of ammonium ion and organic matter remaining in the soil after flooding with an aqueous ammonium humate solution ($1 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 1,000 ml) were also analyzed. The organic matter content of soil was analyzed by the JSF T 231 method.

3) Surface analysis of the sand particle

After the permeable and leaching test, the sand particle surface was analyzed by SEM (T 220 A) and ESCA (JPS-90 SX).

3. Results and Discussion

1) Distribution change of moisture content and the salt ingredient in sandy soil column by evaporation test

The distribution figure of moisture content and the salt ingredient concentration after the evaporation examination is shown in Fig. 3. The moisture content was constant below -15 cm, but above -15 cm it decreased. The reason was considered to be that the vapor phase and the liquid phase of soil water were in equilibrium, and the boundary side (=evaporating side) between a capillary action and a gravity action was generated in the fixed depth. That is, the water flux density in the soil indicated the degree of dryness. The water flux density is correlated with the water potential gradient and the hydraulic conductivity, and is calculated by the law of Darcy formula.

The water potential gradient is affected by gravitational potential, capillary potential and osmotic potential. It was because clear that this action influenced also the movement of a water-soluble salt ; therefore, the salt concentration on the surface of sandy soil was notably high.

The sodium ion concentration was slightly higher than calcium ion in all layers of the sand column. Moreover, it could be understood that the salt distribution in sandy soil also influenced the salt concentration of ground water. This is because the salt of monovalent cation is highly soluble into water. These dissolved substances are left in the evaporation process of water, and accumulated on the evaporating zone.

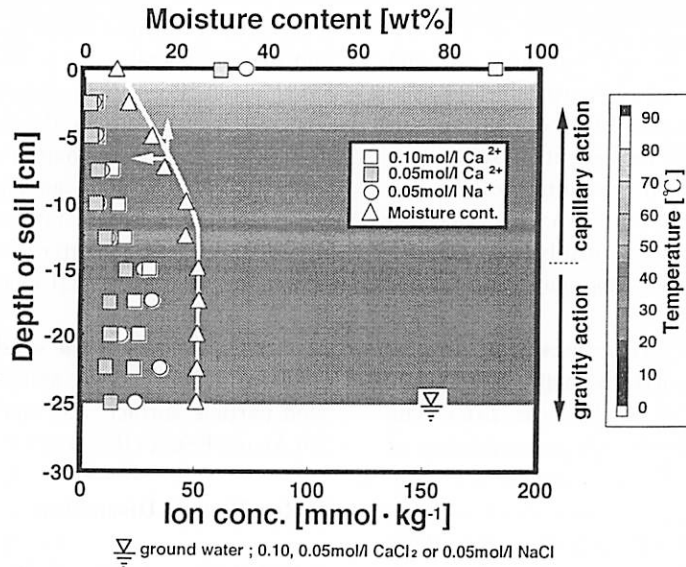


Fig. 3. Effect of evaporation on moisture content and ion concentration in the lysimeter.
drying time : 24 h, heat : 85°C, humidity : 15%

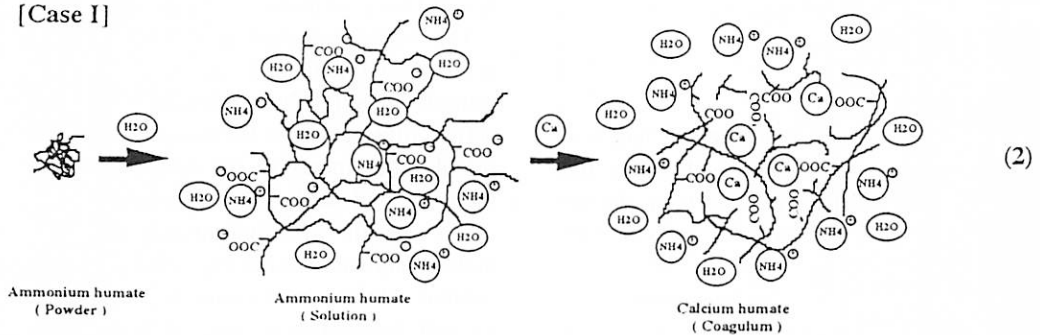
2) Controlling permeability by ammonium humate

The permeability of various soils is shown in Table 1. The water permeability of soil closely correlates with the particle-size composition. For example, the sandy soil sample from Fukang (China), which has a high content of clay-like substances, shows a low water permeability. In the case of this soil, easy accumulation of salts can be suggested.

The calcium ion concentration distribution in the sand (Kujyukuri Beach) column was investigated as a model for the result of Fig. 3. The

change of the permeability coefficient with the calcium ion and ammonium humate concentration is shown in Table 3. The permeability coefficient decreased sharply in relation to the increase in calcium chloride content in sandy soil and ammonium humate concentration. This is because ammonium humate reacts with calcium ion in the sandy soil to give insoluble calcium humate. And ammonium humate becomes hydrophobicity (Case I) and polymerizes (Case II) by reaction with divalent metallic cations. By these reactions, metal humate forms a thin layer between sandy particles.

[Case I]



[Case II]

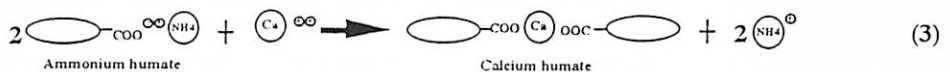
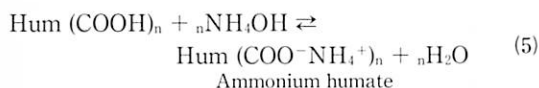


Table 3. Permeability coefficient of the modelled saline sand (Kujyukuri) through salt solutions.

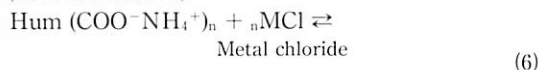
		CaCl ₂ [mol·kg ⁻¹]		
		0.0	0.1	0.2
AH [g·l ⁻¹]	0.0	10.40	10.25	10.00
	0.5	8.50	6.28	5.83
	1.0	6.60	4.42	2.97
0.2 mol·kg ⁻¹ chlorides/1.0 g·l ⁻¹ AH				
		Na	K	Mg
		6.19	6.52	5.46
		Ca		2.97

AH: Ammonium humate (10⁻³ cm·s⁻¹, 15°C)

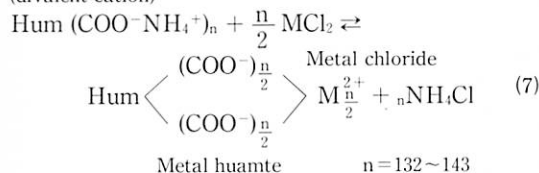
Moreover, in comparison, the divalent cations had a lower permeability in soil than the monovalent ones. This effect originated from the cation exchange reactivity of ammonium humate; therefore, divalent metal humates of a low solubility, were generated in connection with the increase in the cation exchange capacity (Fig. 4). In consideration of the characteristics of humic acids, the cation exchange ratio of humates was related to the amount of carboxyl or carboxylate group and the molecular weight. A series of cation exchange reaction formula is estimated as follows.



(monovalent cation)



(divalent cation)



The addition of ammonium humate to a real desert soil (Wadi el Natrun, Table 2) gave it a very low permeability coefficient compared with the sand of Kujyukuri Beach. This was because

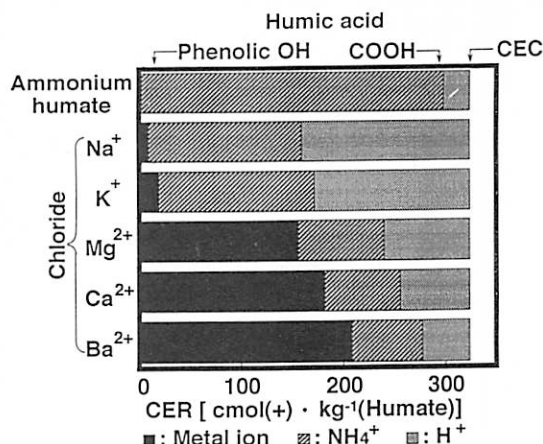


Fig. 4. Comparison of cation exchange ability of ammonium humate with some metal ions.

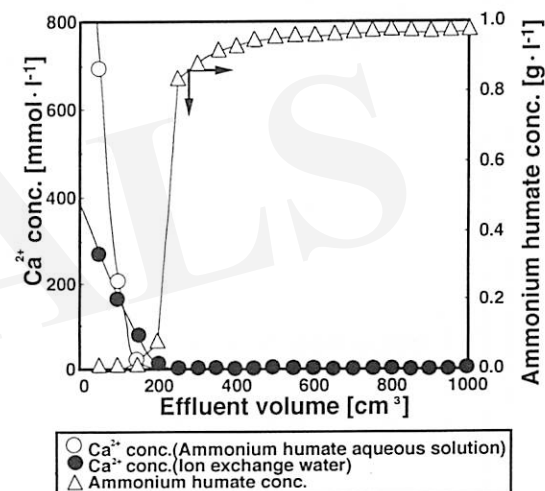


Fig. 5. Comparison of leaching effect with ammonium humate aqueous solution and ion exchange water.

there are much calcium, clay and silt contained in the desert soil which can form various insoluble metal humates.

3) Leaching effect by ammonium humate

The concentration change of the water-soluble ingredient in effluent solution from the lysimeter is shown in Fig. 5. As compared with ion exchanged water, ammonium humate solution had a high leaching effect. Inasmuch as the permeability of soil became lower, that is, osmosis speed declined, salt in sandy soil was certainly dissolved (or removed). Moreover, in connection

with the removal of water-soluble salts, the concentration of humate increased from the ingredient in the effluent. Then, the amount of required ammonium humate could be calculated by measuring the effluent.

The leaching effect by ammonium humate, and the concentration distributions of salt ingredients were checked. The rate of removal was decreased in the order of $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ for the cations and in the order of $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ for the anions. Furthermore, the rate for cation removal was lower than that for anion removal in saline sandy soil. Concentration of ammonium humate and ammonium ion in elution increased with the removal of salts in sandy soil. These tendencies were based on such adsorption characteristics that the ions in the soil water were adsorbed to a particle by the electric charge. The adsorption is correlated with Hofmeister's elution permutation, the pore character and diffusion of the particle based on the Einstein-Stokes formula (Ooi and IWATA, 1988). However, since its diffusion through a capillary tube, a pore in the soil, it becomes rate determining, the diffusion coefficient falls off.

4) Organic substance supply by ammonium humate

A distribution of ammonium ions and the organic-matter content of sandy soil is shown in Fig. 6. The concentration distribution of ammonium ion and organic matter correlated with the initial calcium ion concentration distribution. This is because water-soluble humate reacted with calcium ion in sandy soil, and insoluble calcium humate was immobilized onto soil particles. From this result, it was understood that the low permeability and leaching effect of sandy soil was influenced by formation of calcium humate. Simultaneously, it was also expected to have a manure-like effect.

In the desert soil, humate might be accumulated on the surface affording a low water-permeability effect. Since the moisture content was highly correlate to the organic-matter content, a low permeable layer and water retentive layer might be formed.

5) Surface analysis of sand particle

In order to analyze the above-mentioned

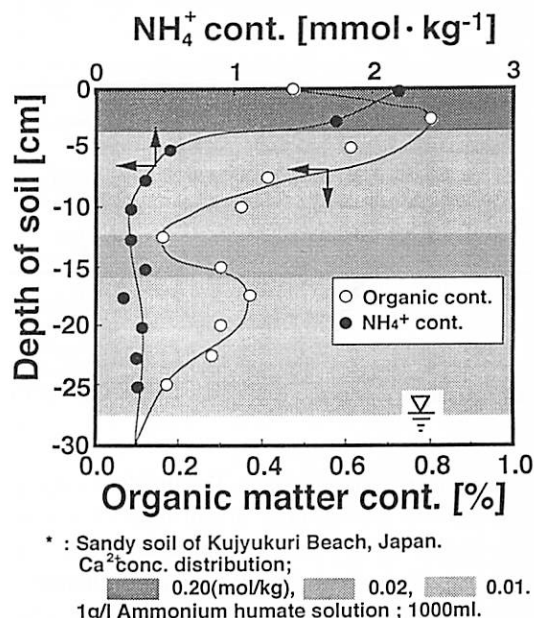


Fig. 6. Effect of addition of ammonium humate and Ca^{2+} on organic matter and NH_4^+ content in the lysimeter*.

changes in character of sandy soil, surface analysis of the sand particle (Kujyukuri Beach) was performed by the observations of SEM and ESCA. The SEM photographs of the sand particle are shown in Fig. 7. The salt-free sand particle (a) has sharp grain form, and their pores are large. The salt accumulated soil (b) has rounder sand particles, and the pores are smaller than these of the washed sand. The sand particles that were treated with ammonium humate (c) formed a film between particles, although the grain form was slightly different from the saline soil's one.

According to ESCA, there was almost no difference in the chemical composition of the washed sandy soil. A very small quantity of salt had adhered to the unwashed sandy soil SiO_2 surface. Treatment of saline sandy soil with ammonium humate formed a thin humate layer on the sand particle surface. It was understood that calcium humate had adhered to the SiO_2 sand surface. By carrying out ammonium humate processing on saline sandy soil, it could be concluded that the ammonium humate adhered firmly to the salt, and the void between sand particles were narrowed by this reason, affording a lower water permeability.

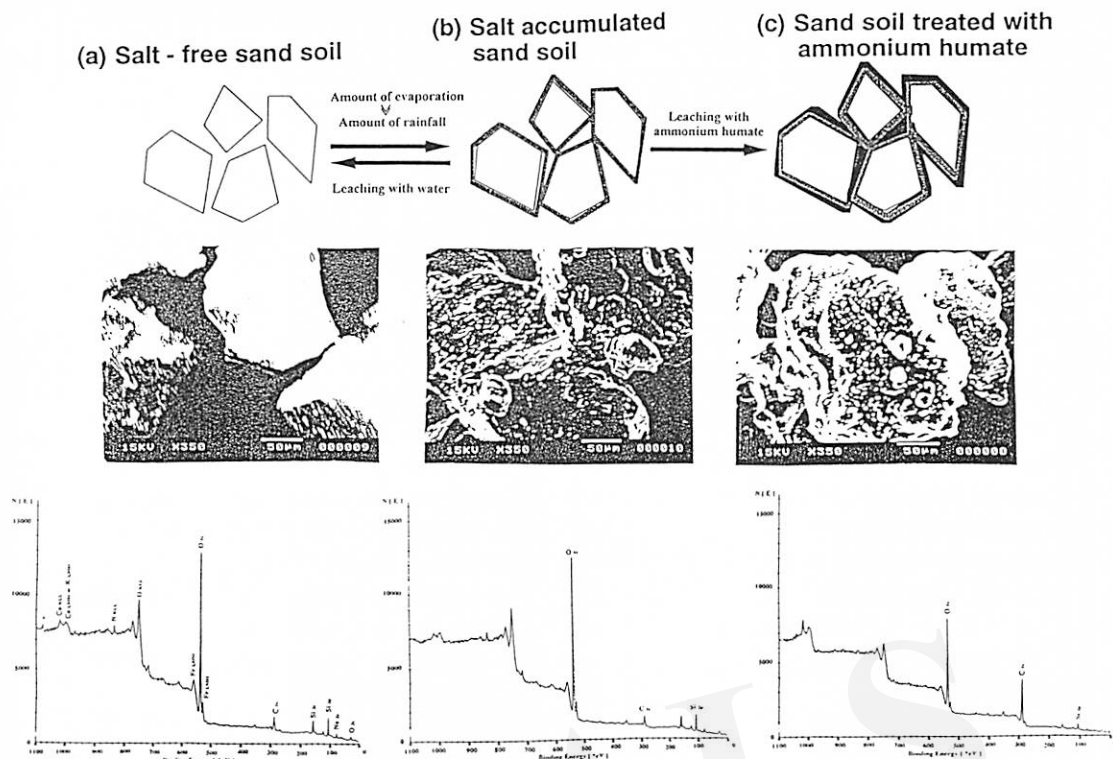


Fig. 7. SEM and ESCA of sandy soil particle.

4. Conclusion

By adding ammonium humate solution into the salt accumulated sandy soil, soluble salts in the soil were removed by forming as insoluble complex (Ca^{2+}) or by leaching as soluble one (Na^{+}). Simultaneously, organic matter and ammoniac nitrogen can be provided to the soil. Consequently, the mobility of water can be inhibited to the maximum extent by formation of a low water permeable layer in the sandy soil.

References

- BRONSWJK, J.J.B. (1991): Drying, Cracking, and subsidence of a clay soil in a lysimeter. *Soil Sci.*, **152**: 2: 92-99.
- HARADA, Y. and INOKO, A. (1980): The measurement of the cation-exchange capacity of composts for estimation of the degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **26**: 127-134.
- HATANO, R. (1986 a): The theory and actual condition of a ion chromatography (1)—The basic theory—. *Japan. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **57**: 421-424.
- HATANO, R. (1986 b): The theory and actual condition of a ion chromatography (2)—The application on a soil and plant—. *Japan. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **57**: 518-520.
- LI, P., YAMAMOTO, T., NAGAI, T. and FUJIYAMA, H. (1994): Column experiment using Tottori Sand Dune soil—Dynamics of water and salt in soil under an arid condition and its effect on element absorption by crops (I)—. *Trans. JSIDRE*, **171**: 83-88.
- MATSUMOTO, S. (1994): Salt accumulation in soil and desertification. *Soil and Basis*, **42**-1 (432): 19-24.
- Ooi, S. and IWATA, S. (1988): Substance movement in soil. *J. JSIDRE*, **56**: 1115-1121.
- RADJAGUGUK, B. (1991): Utilization and management of peatlands in Indonesia for agriculture and forestry—Tropical Peat—. *Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatland, Kuching, Sarawak, Malaysia*: 21-27.
- TAKIJIMA, T. (1987): Measuring manual of saline soil. *Japan. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **58**: 101-110.
- TSUTSUKI, K. and KUWATSUKA, S. (1978): Chemical studies on soil humic acid. Nitrogen distribution in humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **24**: 547-560.

- UWASAWA, M. (1994): Research work on soil diagnosis to arable land, Basal indexes and development of methods. 2. Diagnosis of soil chemical property. *Japan. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **65**: 449-455.
- WATANABE, A., ITOH, K., ARAI, S. and KUWATSUKA, S. (1994): Comparison of the composition of humic and fulvic acids prepared by the IHSS method and NAGOYA method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **40**: 601-608.
- YAMAGUCHI, T. (1992): The present situation of a tropical peat on Indonesia. *Report of Japan Peat Society*, **6**: 5-7.
- YAMAGUCHI, T., SATO, Y., NISHIZAKI, Y. and SHI-BING, J. (1993): Improvement of the water-retention and the salinity of desert by humic acids complexes. *Abstracts of Int. Sci. Conference in Taklimakan Desert, Urumqi*, 323-324.
- YAMAGUCHI, T., SHINODA, Y. and SATO, Y. (1994): The basic study on the amendment of saline desert soil by humic acid. *Abstracts of the 1994 Meeting — The Japanese Association for Arid Land Studies*, 10-11.
- YAMAGUCHI, T., YAZAWA, Y., YAZAKI, F. and ONOE, K. (1997): Characteristics of humic acid extracted from weathered coal and tropical peat with ammonium aqueous solution. *J. the Japan Institute of Energy*, **76**: 491-499.
- YAZAWA, Y., SHINODA, Y., YAZAKI, F. and YAMAGUCHI, T. (1996 a): Leaching of water-soluble salts in sandy soils with ammonium humate. *Abstracts of the 1996 Meeting — The Japanese Association for Arid Land Studies*, 27-28.
- YAZAWA, Y., SHINODA, Y., YAZAKI, F. and YAMAGUCHI, T. (1996 b): Effect of cation exchange polymer (ammonium humate) on permeability in sandy soils. *Abstracts of the 70 th Annual Meeting CSJ.*, 219.
- YONEBAYASHI, K. (1988): Research methods on humic substances (I). *Pedologist*, **32-2**: 138-150.
- YONEBAYASHI, K. (1989): Research methods on humic substances (III). *Pedologist*, **33-2**: 129-142.

フミン酸アンモニウムによる砂質土壌の 透水性および塩類成分の制御

矢沢勇樹*・篠田 裕**・矢崎文彦*・山口達明*

乾燥地における過剰な農耕が、沙漠化現象の中でも特に修復が難しい塩類集積土をもたらしていることは周知である。この塩類土壌を改良し、塩類化の対策をすることが沙漠化防止として最も肝要であり、その方策として考えられるのが土壌中の水の動きをコントロールし、易溶性塩類を除去することにある。

我々は土壌有機物の主成分であるフミン酸を多量に含む草炭を利用して乾燥地における砂質土壌の改良について検討し、その有効性を報告してきたが、新たにトロピカルビートについても検討を加えることにした。トロピカルビートは熱帯においてマングローブなどの樹木を母植物とする有機質堆植物であるが、インドネシアを中心に世界的に3,000万haも賦存していることが知られている。トロピカルビートにはフミン酸が多量に含まれていることが知られているが、それを資源として活用する方策がほとんどなされていない現状にある。採掘直後のトロピカルビートは通常約90%の水分を含んでおり、これをそのまま沙漠地へ運ぶことは輸送コストの観点から非現実的なことである。そこで、トロピカルビートからフミン酸を抽出し乾燥粉体として運搬することを想定し、検討を行った。実際の沙漠に施用した際に、Na害などの二次的災害を防止し、N付与の効果を高めることを目的とし、アンモニア水によってフミン酸アンモニウムの形で抽出し、以下の検討に供した。

本報では、水溶性フミン酸アンモニウムを砂質土壌に加えた場合、土壌の透水性・保水性さらには除塩に対してどのような影響を及ぼすか比較検討を行った。また土壌の物理的現象について化学的側面から考察した。

フミン酸アンモニウムの水溶液を塩類集積砂土に添加することにより、以下のことが明らかとなった。

- 1) 土壌の透水速度は低下し、それはフミン酸塩の種類、濃度または砂土壌中の塩類成分、濃度に依存する。
- 2) 土壌中の易溶性塩類は、フミン酸アンモニウムを添加することにより除去（難溶性塩の形成あるいは溶脱）することができる。
- 3) 有機質およびN-NH₄を砂に付加することができ、また砂粒子間に保持されていることから、水分の蒸発を抑制できる。よって地下水の上昇が最小限に止められるので、塩害の防止策として期待される。

* 千葉工業大学工業化学科

(受付：1997年2月28日、受理：1997年7月28日)

** 千葉工業大学土木工学科

Arid Land Reclamation with Natural Organic Materials

—Effect of Peat-Sapropel Based Ameliorant on Green Cabbage and Wheat Cultivation in the Egyptian Western Desert—

Tatsuaki YAMAGUCHI*, Yasushi NISHIZAKI*, Toyohiko HAYAKAWA*,
Mamdouh RIAD**, Michael IBRAHIM***, Nabil FANOUS***,
Nikolai BAMBALOV****, Guennadi SOKOLOV****

The application on sandy soils of high efficient polyfunctional organic and organo-mineral materials or ameliorants which are based on natural raw materials, may be considered as eco-friendly method really and essentially improving the complex soil properties and resulting in increase of agricultural crop yields.

In order to follow and compare the impacts and efficiency of different natural organic materials on desert sandy soil never cultivated before under arid conditions in Egyptian Western Desert, peat moss, compost and peat-sapropel (lacustrine deposit) based ameliorant were applied at the same dosage, 1 wt% of dry matter content to the soil. Then, green cabbage and wheat were cultivated there under the limited water supply (75% and 50% to the local standard) by dripping and sprinkling, respectively.

The superiority for improvement of soil conditions, resulted in the best plant growth and development, was given by the peat-sapropel treatments. The positive stimulation effect was elucidated for the peat-sapropel on plants rooting and root system development processes, namely, high rate and strong development of surface part of plants by rational water consumption and efficient accumulation of biomass by plants and efficient transpiration process. It should be noted that the additional mineral fertilizer was not necessary on the peat-sapropel plots of wheat cultivation. This means balanced nutrients are also supplied from the peat-sapropel.

As a result of soil reclamation, the yield of green cabbage head and wheat grain for the peat-sapropel treatments reached up to $3.7 \times 10^4 \text{ kg/ha}$ (15 ton/acre) and $0.74 \times 10^4 \text{ kg/ha}$ (3 ton/acre), respectively. These are satisfactory levels to their local productions in the Delta Area, Egypt.

Key Words: Egyptian desert, Sandy soils, Field experiment, Green cabbage, Wheat, Natural organic materials

1. Introduction

The question what are the rational ways and effective means to transform the moving sands into stable fertile lands is under the discussions and investigations of many scientists and practitioners around the world now. The reclamation of sandy soils is of great actuality not only for the

countries with vast desert territories, but also for such European countries as Belarus, Poland, Ukraine and others that have no deserts, but are of vast territories covered with sands and sandy loams in temperate humid zone. Solving the problem of soil erosion and sand removing has rather long history and some of satisfactorily outcomes (experiences of China, Ukraine, Middle East countries, *etc.*).

* Chiba Institute of Technology, 2-17-1, Narashino, Chiba 275, Japan.

** Undersecretariat for Afforestation, Ministry of Agriculture, Cairo, Egypt.

*** Soil, Water and Environment Research Institute, Agriculture Research Center, Giza, Egypt.

**** Institute for Problems of Natural Resources and Ecology, Minsk, Belarus.

(Received, March 7, 1997 ; Accepted, July 28, 1997)

As quite effective means for that are considered the tree plantation or afforestation, and there are some divisions for afforestation which functioning successfully under the Ministries of Agriculture in different countries, for instance in Egypt. Some Japanese technologies succeeded in several deserts and countries bringing good results and experience into the deal of deflation processes removal (TOYAMA, S. and TOYAMA, M., 1995). There were obtained significant positive results in the improvement of water-sorption properties of sandy soil, when applying super absorbent polymers (TAHARA *et al.*, 1994; HORIUCHI *et al.*, 1995; TOYAMA, S. and TOYAMA, M., 1995).

However, essentially positive improvement effects of natural and natural based organic compounds noted by CARY (1990), GOROVAYA (1993) and others. And the positive data were also obtained in tests with brown coal as ameliorant application on salt-marshes (ALEKSANDROV *et al.*, 1993). Furthermore, the superiority of peat was shown due to its longer period of time action and higher resistance to salt affect (YAMAGUCHI *et al.*, 1993; YAMAGUCHI and TSUKAKOSHI, 1993; UOMORI *et al.*, 1995 a).

The utilization of natural organic and inorganic raw materials creating the new sorts of polyfunctional soil-improvers or ameliorants on their base, might be expected as eco-friendly and considered as general and effective way for desert sandy land reclamation. The properties of different kinds and varieties of liptobioliths (*i.e.* coal, peat, sapropel *etc.*) studied thoroughly. Fundamental descriptions of the properties of liptobiolith-based ameliorants were done by LISHTVAN and KOROL (1975), LISHTVAN *et al.* (1989) and LOPOTKO *et al.* (1992). The long-term investigations and practices of the ameliorant application as organic fertilizer and soil conditioner during several decades allowed to accumulate numerous data for different soil-climatic zones. Belarussian ameliorants represent of technologically treated liptobioliths products with conditioning and balancing additives. One of those materials has been selected as an organic ameliorant for field tests conducting in Egypt. That material had been worked out by Academy of Sciences of Belarus and manufactured in that country. The experience of several decades

sandy and sandy loam soil cultivating in Belarus and test results obtained on newly cultivated desert soils in UAE (BAMBALOV and SOKOLOV, 1993), where had been tried: peat, sapropel, glauconite, zeolite, phosphogypsum, *etc.* being accounted in developing different kinds of soil ameliorants. The main principles and basic technological requirements to produce high efficient organo-mineral fertilizers and ameliorants on the base of peat-sapropel and their impacts on soil regime and properties discussed at International Symposium in Minsk (SOKOLOV *et al.*, 1995; SZAJDAK and SOKOLOV, 1995). General informations for sapropel (lacustrine deposits), their classification, properties and efficiency of agricultural utilization were presented by LOPOTKO and EVDOKIMOVA (1986), KURZO and BOGDANOV (1989) and UOMORI *et al.* (1995 b).

2. Materials and Methods

1) Natural organic materials

For this test, 12 tons of peat-sapropel based ameliorant, produced by BEL Industrial & Building Association, Minsk, from raw materials excavated from Chervonoye Lake, were transported from Belarus to Cairo by shipping.

In another course of our study, the peat application to a sandy soil was found to improve essentially its water-air, ion-exchange, biological and nutritive regimes, and enrich the soil with valuable organic compounds (JIN and YAMAGUCHI, 1996). This prompted us to select peat moss as one of comparative variants. Thus, peat moss (Shamrock, Bord na Mona Co., excavated and packed in Ireland) widely introduced into the domestic market was applied in the test on green cabbage. Furthermore, the compost from the municipal waste of Cairo City was introduced from the standpoint of the utilization of the locally produced organic resources.

2) Field tests

On the basis of the prescribed results, the field tests have been conducted on sandy never cultivated before lands in the Western Desert of Arab Republic of Egypt, at Egyptian-Japanese Friendship Forest in Wadi el Natrun, Behaira Governorate, where is *ca.* 120 km to the north-west from Cairo City (Fig. 1). The field tests

were realized in frame of the international project "Desert Land Reclamation by Belarussian Peat/Sapropel" with the participation of the Ministry of Agriculture and Land Reclamation, Egypt and Chiba Institute of Technology, Japan. The specialists for peat, sapropel properties and soil ecology from Belarussian Academy of Sciences took part in planning and fulfillment of experiments, too.

The experimental land (60 m × 130 m) had been leveled according to its natural declining before the tests works started. The land was never cul-

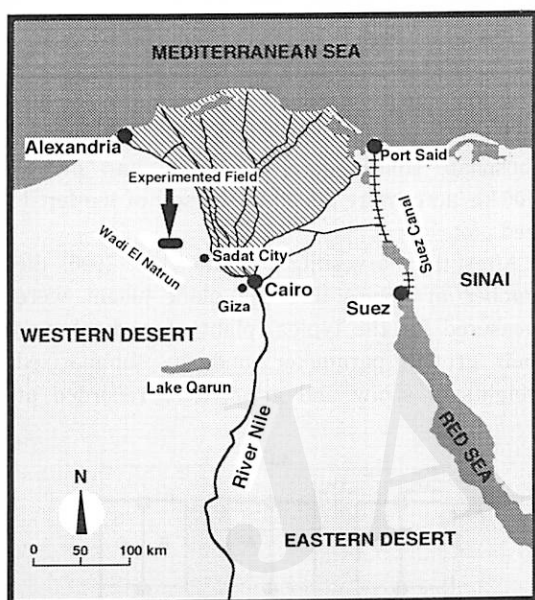


Fig. 1. Location of experimental field (Wadi el Natrun).

tivated observing no plant activity and by a sort of coarse sand characterized as presented in Table 1 and Fig. 4.

The irrigation water was obtained from the ground water under 100 m by pumping. The chemical characteristics of the irrigation water are shown in Table 2. It shows rather high values of pH and EC.

(a) Green cabbage

Total area was 19 m by 40.5 m and divided into 9 plots. One plot size was 77 m². Three variants of organic materials such as ; A: Irish peat moss; B: Egyptian compost; C: Belarussian peat-sapropel were applied in the repetition as illustrated in Fig. 2. The dosage of every organic materials added into the soil was equiva-

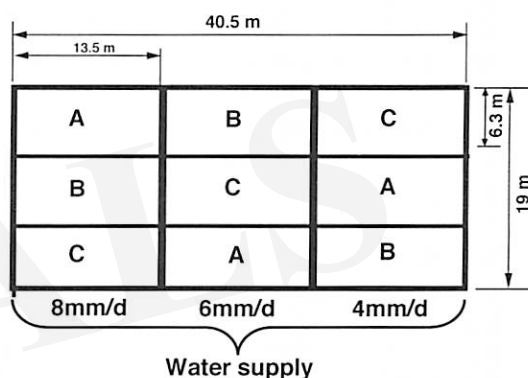


Fig. 2. Arrangement of experimental plots (green cabbage).

A: Peat moss, B: Egyptian compost, C: Peat-sapropel
Dripping system, No. of drippers and plants :
154/plot

Table 1. Characteristics of the sandy soil.

pH (KCl)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ion concentration (cmol/Kg)								Cation exchange capacity (cmol/Kg)	Density (g/cm ³)	Maximum water holding capacity (%)	Permeability coefficient (10 ⁻³ cm/s)
		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻				
8.44	479	0.32	0.11	0.06	0.93	0.25	0.34	0.00	1.08	2.0	2.67	22	5.53

Table 2. Characteristics of the irrigation water.

pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T.S.S ^{a)} (ppm)	SAR ^{b)} (cmol/l) ^{1/2}	Ion concentration (cmol/l)							
				Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
8.39	969	405.0	2.0	0.40	0.02	0.07	0.14	0.31	0.07	0.00	0.25

^{a)} Total soluble salts ^{b)} Sodium adsorption ratio = $\text{Na} + / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}$

lent to 1 wt% of its dry matter content to the weight of 0–20 cm soil layer.

Drip irrigation system was used with the spacing between plastic pipes of 1 m and between drippers of 50 cm. Three levels of water supply were realized for every culture as follows: 100%, 75% and 50% to the standard plants water requirements. The standard water requirement for green cabbage was equal to 8 mm a day, which determined from the local climate parameter (EL-GIBALI and BADAWI, 1978). Thus the irrigation was carried out in the change of its level, namely the watering for 1 hour a day using the dripper of 4 L/h as the standard 100% level (8 mm/d); 75% level by 45 minutes watering (6 mm/d) and 50% level by 30 minutes watering (4 mm/d).

The local variety of green cabbage used was "Batta". Its seeding time was on December 3 rd, 1995, and the harvesting on February 10 th, 1996, namely the duration of 70 days. In accordance with the local technology 4 seedlings were planted around of each dripper. The superfluous plants were picked out on the last decade of December, thus one cabbage plant was left per dripper. The total plants number per each one plot area was equal and consisted of 154 plants. On January 17 th at 45 days after the planting, the height of plant and the size of leaf were measured at the site, and the dry weights of root and head were measured after drying in a oven at the Soil, and Water Environment Research Institute. After harvesting on February 10 th, in addition to the yield of green cabbage head, such plant—average parameters as number, length and width of leaves, length and diameter of stems, length and weight of roots were measured finally.

Super Porometer LI 1600 (LI Cor. Ltd.) was used for the estimation of plant transpiration intensities. Diffusive resistance, transpiration velocity and leaf temperature were measured on January 24 th, 1996, 18 days before the harvesting.

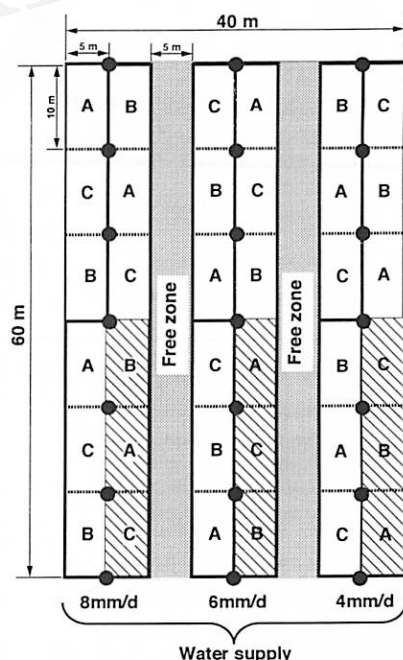
(b) Wheat

Area of 40 m by 60 m was divided to three sections according to the level of the water supply, 100%, 75% and 50% to the standard water requirement calculated from the local parameters (EL-GIBALI and BADAWI, 1978). The

standard water requirement for wheat was equal to 8 mm/day. The irrigation was performed by sprinkler system (Dan Sprayer). Seven sprinkler heads (4×2 mm) per section was set at the center in a line on the height of 1.5 m from the ground. Thus, each section was further divided into 12 plots (5 m×10 m) as shown in Fig. 3, in accordance with three variations; A: control, B: Egyptian compost, C: Belarusian peat-sapropel, consisting of with and without the additional artificial NPK fertilizers. The dosage of organic materials was similar to the green cabbage cultivation.

The local variety of wheat, "Hybrid Giza 52", was seeded by manually scattering on December 5 th, 1995. After one week, mixtures of NPK fertilizers; ammonium nitrate (140 kg/acre), superphosphate (100 kg/acre) and potassium sulfate (100 kg/acre) were added to the soil of the fertilized plot.

After the harvesting on May 1 st, 1996, the number of leaves and the plant height were measured for the typical plant of each plot as their growth parameter, and the summarized weights of straw and grain were recorded at



A : Control, B : Egyptian compost, C: Peat-sapropel
● : Sprinkler, □ : NPK fertilizer added

Fig. 3. Arrangement of experimental plots (wheat).

least three data from each plot. And a statistical test of significance for the yields was performed by student's t-test based on the data from the control plot.

3) Characterization methods of sandy soil and organic materials

The granulometric distribution of the initial soil was measured by the method of JSF (The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) T 131-1990. The composition of small particle size was submitted to the mineralogical analysis with a X-ray diffractometer (RINT-2000). The three-phase distributions of the original soil and treated one were checked by the method of JSIDRE (Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering). The filtration coefficient of the sandy soil was measured by the method of JSF T 311-1990 with constant water head.

The maximum water holding capacity of the sandy soil was measured by the standard method of Japan Soil Association (Nihon Dojo Kyokai, 1990).

The cation exchange capacity of the sandy soil was measured by using barium acetate method (HARADA and INOKO, 1980). The ionic contents of the water (50 ml) extract from the soil (1 g) were performed by ion chromatography (Shimadzu LC-10 AD). The pH and EC values are measured in a suspension of the soil in desalinified water of 1 to 2.5, and 1 to 5, respectively, in weight.

Characteristics of the organic materials were determined by the method of JSF T 211-1990 (pH), JSF T 231-1990 (organic matter content), and JSF T 232-1990 (humus-like substance content). Nutrient contents, *i.e.* total N, total P_2O_5 and total K_2O , are measured by Kjeldal method, molybdenum reagent and atomic absorption, respectively. Trace metal contents of organic materials and yielded wheat grain were determined by atomic absorption measurement (Hitachi AA 180-50) of the HF solution of their combustion ashes.

3. Results and Discussions

1) Characteristics of sandy soil of the experimental field

In general, the reasons of low fertility and possibility of desert sand being transferred by wind are features of the granulometric composition. The sandy soil of the experimental field also has very low fraction of colloidal particles under 0.01 mm size (Fig. 4). The mineralogical analysis by X-ray diffraction showed actually no clay mineral other than quartz was presented even in the small size fraction under 0.002 mm. Such granulometric and mineralogical composition does not allow sandy soils to organize soil aggregates and form agronomically valid deflation-stable structure, and affords very low cation exchange capacity of sand upmost 2.0 cmol/kg. Lower maximum water holding capacity (22%) and higher filtration coefficient (5.53×10^{-3} cm/s) of the sandy soil are also matter of utmost concern. The laboratory test of three-phase distributions of the sandy soil after 24 h of the water penetration through the sand column are illustrated in Fig. 5. The neat sandy soils may hold in fixed condition not more than around 2% of moisture. Due to these factors, a contrasting water regime is done in sandy soils, when a wetted soil loses moisture, resulting in the change of soil medium concentration and pH value. By addition of 1 wt% (dry base) of peat moss or peat-sapropel to the sandy soil, their water holdings were improved greatly up to around 8% and 12%, respectively, of moisture (liquid) content.

2) Characteristics of the organic materials

Main properties of the organic materials are listed in Table 3.

The special features of the peat moss are low pH value and low nutrient contents. The botanical composition of the Irish peat moss by 90% is represented of sphagnum mosses (*Fuscum*, *Magellanicum*, and *Angustifolium*). The degree of organic matter decomposition through an optical

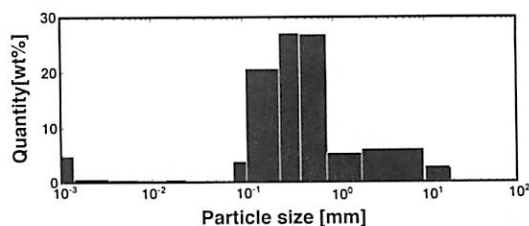


Fig. 4. Particle size distribution of the sandy soil (JSF T 131).

microscopic measurement was around 20% (Methods of Determination of Botanical Composition and Degree of Decomposition, GOST 28245-89, State Standard, Moscow (1994)). This means it has rather high content of fibric component, keeping higher water holding capacity even toward a saline solution (YAMAGUCHI and TSUKAKOSHI, 1993).

The local compost as one of the most popular fertilizing and soil improving materials in that

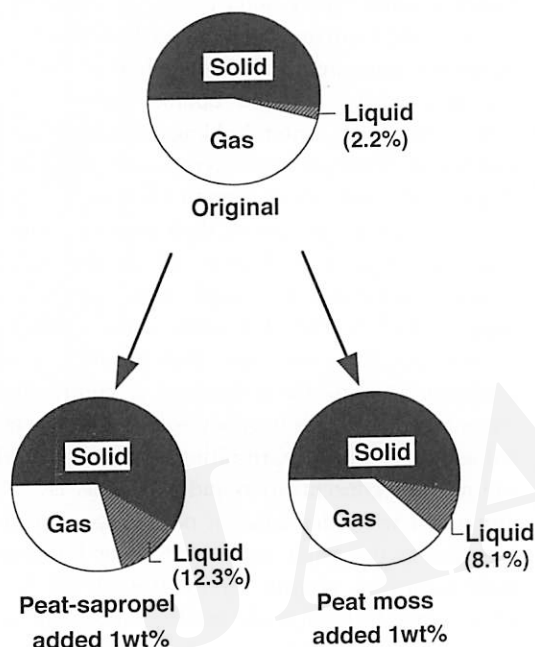


Fig. 5. Three phase distribution after 24 h of water penetration (JSIDRE method).

country was introduced by the Ministry of Agriculture, Egypt and applied also to the soil. The origin of the compost is from treated city wastes. The utilization of similar composts, as it is said, enriches soil with organic matter and nutrients, but it may be unsafety in fact, from ecological and hygienian points of view. Although humus-like substances are not found in the compost, it contains other nutrient components (Table 3). Harmful heavy metals are contaminated in it also. Actually, undesirable heavy metals, Pb (79 ppm), Cd (<10 ppm) and Cr (45 ppm) were detected by the atomic absorption spectrometry. As another starting items of the compost attracting to tests conducting was following its term-action effect in soil, as far as some data show (STOAT and MARTIN, 1990) that decomposition and synthesis processes of comparatively "young" and, in opposite, "old" organic substances peat moss in different ways. The lack of humus-like substance in the compost used in the test means that it is rather "young" in the composting process. Substantially, non-endurable bad smell had generated from it at the initial stage.

The peat-sapropel contains balanced NPK nutrients with trace elements, which are basically originated from lacustrine deposite, and is expectable to act effectively as mentioned above.

3) The effect of the organic materials on the growth of green cabbage

The differences in plant growth and develop-

Table 3. Basic characteristics of organic materials applied in the experiments.

Characteristics	Peat Moss (Ireland)	Compost (Egypt)	Peat · sapropel (Belarus)
Moisture content, %	60	25	50
pH (KCl)	3.7	6.5	6.5
Organic matter content, % to dry matter	97.5	54.0	75.0
Humus-like substances content, % to dry matter	59.2	ND*	43.0
Nutrients content, % to dry matter :			
Total N	1.3	2.3	3.0
Total P ₂ O ₅	0.01	1.40	1.00
Total K ₂ O	0.03	2.00	1.30
Trace elements	ND	Fe,Zn,Mn,Cu,B, Pb**,Cr**,Cd**	Fe,Mn,Cu,Zn, Mo, B

* ND: not detected

** Undesirable elements

ment between tested organic materials were observed very soon after seeding, *i.e.* after one week. There were more strong plants with harmoniously developing and normal leaf color on the peat-sapropel plots within all irrigation levels. Differences between the organic materials were increasing following the plant vegetation. The data measured at 45 days after the planting (Table 4) illustrate the developing state in plants and show that the root system as well as the surface part of plants on the peat-sapropel plots is several times stronger than those on the compost plots, and especially, on the peat moss plots. Cabbage head forming started much earlier in the peat-sapropel plot, too. The similar regularities were observed for all water supply treatments. An example at 75% irrigation level (6 mm/d) is shown in the photo (Fig. 6).

To estimate the water transpiration process the porometry measurements were done on January, 24th 1996, *i.e.* 52 days after the planting. As shown in Table 5, the leaf diffusive resistance decreased from the plots of the peat moss application (2.47 s/cm²) to that of the compost (2.26 s/cm²) and to that of the peat-sapropel (2.22 s/cm²). The speed of transpiration, on the contrary, increased essentially from the lowest (5.97 µg/cm²/s) on the peat moss plots to the highest (7.27 µg/cm²/s) on the peat-sapropel plots. At the same time the state of plants (dimensions, common view, leaf color, etc.) was excellent. The temperature of leaf was just the same as it was in

other variants. Thus the highest intensity of water transpiration process was observed on the plots where the peat-sapropel had been applied. The plants consumed water rationally for necessary physiological processes realizing and accumulated their biomass effectively.

Green cabbage yields and average plant parameters data (Table 6) show that all advantages in plant growing conditions which have been stimulated by the peat-sapropel application summed up in final results, where the increase of yield reached 438% to the reference (peat moss treatment) yield on 8 mm/d of water supply, 460% on 6 mm/d, and 516% on 4 mm/d. Those for the compost treatment constituted of: 336%, 285% and 271%, respectively. Following reduc-



Fig. 6. Green cabbage growth after 45 days.

I: Peat moss, E: Egyptian compost,
B: Peat-sapropel

Table 4. Green cabbage plants parameters^{a)} after 45 days (Jan. 17, 1996).

Organic material	Height of plant (cm)	Length of leaf (cm)	Width of leaf (cm)	Dry weight (g)	
				Roots	Head part
Peat moss	14.4	9.0	7.1	0.17	1.32
Egyptian compost	22.8	15.0	13.3	0.45	2.41
Peat-sapropel	35.6	20.4	20.6	2.09	18.56

^{a)} Typical 15 plants by each organic material have been measured and averaged for all variations of water supply.

Table 5. Porometry measurement data of green cabbage^{a)} (Jan. 24, 1996).

Organic material	Diffusive resistance (s/cm ²)	Transpiration velocity (µg/cm ² /s)	Leaf temperature (°C)
Peat moss	2.47	5.97	25.0
Egyptian compost	2.26	6.96	24.1
Peat-sapropel	2.22	7.27	24.5

^{a)} Typical 5 plants by each organic material were measured and averaged.

Table 6. Yield^{a)} and morphological measurement^{b)} of green cabbage (Feb. 10, 1996).

Organic material	Water supply (mm/day)	Numer of leafs	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem length (cm)	Stem diameter (cm)	Root length (cm)	Plant weight (g)	Plant weight (g)	Yield (10 ⁴ kg/ha)	Yield (%) /Peat ^{c)}
Peat moss	4	30.2	22.0	15.0	6.2	1.24	31.8	48.0	362 ± 33	6.18 ± 0.74	100
	6	36.5	23.8	16.8	4.9	1.08	32.0	23.4	378 ± 16	7.41 ± 0.25	100
	8	39.6	20.6	16.6	3.9	1.02	31.4	23.1	432 ± 54	8.65 ± 0.99	100
Compost	4	49.6	29.9	22.1	6.5	1.44	32.4	59.0	1,050 ± 92	20.76 ± 1.73	336
	6	54.8	31.0	22.4	6.6	1.46	36.8	72.0	1,078 ± 66	21.25 ± 1.24	285
	8	58.2	33.6	23.4	7.1	1.48	36.0	128.0	1,172 ± 68	23.23 ± 1.24	271
Peat-sapropel	4	66.8	29.6	28.8	7.7	2.11	41.6	97.2	1,610 ± 126	31.88 ± 2.97	516
	6	60.2	33.6	31.0	8.0	2.02	44.8	126.0	1,740 ± 228	34.35 ± 4.45	460
	8	77.6	39.4	32.8	8.2	2.48	51.4	178.0	1,890 ± 105	37.31 ± 3.46	438

^{a)} Yield of cabbage and average plant weight were calculated on the basis of weight and number of plant, and expressed by the mean ± S.E.

^{b)} Typical 15 plants were taken from each plot for morphological measurements.

^{c)} Percentage against the yield of peat moss plot in each water supply level.

Table 7. Variation analysis of green cabbage yield (Latin square design).

Factor	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F ₀
A : Organic material	110,295	2	55,147	1,250**
B : Water supply	1,756	2	878	20*
C : Position	228	2	114	3
Error	88	2	44	—
Total	112,367	8	—	—

$$F_2^{(0.05)} = \frac{19.0}{99.0}$$

ing the irrigation levels there were observed decrease of the yield for all the variants, but that took place on the peat-sapropel treatment essentially less than in each other, *i.e.* the compost and peat moss treatments. It should be noted that even under 4 mm/d of watering the level of yield for plots improved by the peat-sapropel was 3.7 time higher of that for 8 mm/d of watering on the peat moss treatment, and 1.4 time higher of that on 8 mm/d irrigated plots with the compost application.

All plants measurements and their growth monitoring allowed to conclude that any kind of suffering due to water deficit could not be observed even on minimal (4 mm/d level) irrigation treatment in this experiment. This could also become clear from the variation analysis by Latin square design (Table 7) showing a very large contribution of the factor of organic materials, but far less contribution of water supply within the prescribed levels of this experiment.

4) The effect of the organic materials on the growth of wheat

After harvesting on May 1 st, 1966, the plant height and the number of branch of typical wheat plant were measured as parameters of the plant growth, and the threshed plant was submitted to measure the weight of straws and grains as parameters for yield. The results are summarized in Table 8. The applications of organic materials, the compost and the peat-sapropel, showed significant differences ($p < 0.05$) in the every parameters, however there observed no significant positional deviation between the plots of the same condition.

A satisfactory amount of grain yield of around 0.7×10^4 kg/ha (=3 ton/acre) was obtained as to the peat-sapropel application with 8 mm/d irrigation level. This amount is comparable yield to the local production of the same variety in the Delta Area. The differences between the peat-sapropel plots with and without the addition of

Table 8. Yield^{a)} and morphological measurement of wheat^{b)} (May 1, 1996).

Organic material	Water supply (mm/day)	Number of branches		Plant height (cm)		Straw yield (10 ⁴ kg/ha)		Grain yield (10 ⁴ kg/ha)	
		Fertilized	Non fertilized	Fertilized	Non fertilized	Fertilized	Non fertilized	Fertilized	Non fertilized
Control	4	2.75	1.25	68.8	17.3	0.52±0.06	0.04±0.01	0.31±0.03	0.04±0.01
	6	4.00	1.75	67.0	46.3	0.61±0.05	0.07±0.03	0.38±0.12	0.07±0.01
	8	4.00	2.00	69.5	50.8	0.81±0.05	0.09±0.02	0.50±0.01	0.10±0.01
Compost	4	5.00	4.75	85.0	63.3	1.17±0.08	0.67±0.11	0.64±0.02	0.40±0.12
	6	5.25	5.25	85.5	65.5	1.25±0.08	0.84±0.07	0.70±0.03	0.47±0.03
	8	5.70	6.00	83.8	69.8	1.17±0.10	0.75±0.05	0.72±0.03	0.47±0.09
Peat-sapropel	4	7.50	7.50	93.0	81.5	1.21±0.02	0.81±0.05	0.69±0.03	0.49±0.05
	6	8.67	8.25	91.5	93.0	1.32±0.03	1.30±0.09	0.73±0.05	0.66±0.04
	8	9.25	10.50	105.6	93.5	1.41±0.04	1.31±0.08	0.77±0.04	0.75±0.04

^{a)} The values of yields are the mean ±S.E. of at least 3 data from a plot.

^{b)} Significantly different from the value for the control at $p < 0.05$.

NPK fertilizers are not so much as compared to the compost plots or the control plots. This might be because enough nutrients, especially total nitrogen, have been originally presented in the peat-sapropel.

Dramatically poor yields were given by the control plots without fertilizer. The yields were less than 15% to that of the peat-sapropel plots. However, as for the control plots with fertilizers and 8 mm/d irrigation level were obtained two third of the grain yields to the peat-sapropel plots with the same conditions.

Different from the peat-sapropel plot, there showed great effect of fertilizers for the grain yields from the compost plot. This might be attributable to the low degree of composting of the compost used in the experiment, offering low level of effective nutrients to the plant. The elucidations of the term effect on the compost are continuing at the same site. No harmful heavy metal was detected from the yielded grain from the compost plot.

The effect of water supply was not so drastic for the organic materials treated plots between 100% (8 mm/d) and 50% (4 mm/d) to the water requirement. As a matter of fact, the reduction of water supply is of the greatest interest in this area, the midst of desert. The trials for further reduction are also in progress.

4. Conclusion

Green cabbage cultivated on plots reclaimed by the peat-sapropel application of 1 wt% of dry matter content to the sand grew up and developed much more intensively than those in reference treatments with the same level dosage. It was observed by the peat-sapropel treatments that the rational water consumption by growing green cabbage plants with comparatively not high transpiration intensity and most intensive accumulation of dry matter by plants even under unfavorable water supply (50%) to the local water requirement. Excellent effect of the natural organic materials were also observed for the wheat cultivation. From the control plots (without organic materials application) obtained not more than 15% of grain yield to that from the peat-sapropel treated plots. There was no principal necessity also in additional mineral fertilizer droppings on the peat-sapropel plots during the wheat plants vegetation period.

Mentioned priorities are the result of essential improvement of the properties and soil regimes optimizing by peat-sapropel based ameliorant introduced into the soil, giving a comparative level of yields to those from the Delta Area of that country.

Acknowledgement

This work has been done by the financial support from Chiba Institute of Technology, Japan.

References

- ALEKSANDROV, I.V., KOSOV, I.I. and BURKOV, P.A. (1993): Humic substance of brown coals as salt-marshes soils ameliorants. *Humic Substances in Biosphere*, Nauka, Moscow, 174-177. (in Russian)
- BAMBALOV, N.N. and SOKOLOV, G.A. (1993): Test results of peat and sapropel ameliorants used in the primary agricultural development of the desert sandy soils in the UAE. *Report at Japan Peat Society 4th Symposium, 1993, Nov. 15, Waseda Univ., Tokyo*.
- CARY, T.C. (1990): Roles of organic matter, minerals, and moisture in sorption of non ionic compounds and pesticides by soil. In MCCARTHY, P., CLAPP, C. E. and MALKOLM, R.L. eds., *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 111-160.
- EL-GIBALI, A.A. and BADAWI, A.Y. (1978): Estimation of irrigation needs in Egypt. *Egypt. J. Soil Sci.*, 18: 159-179.
- GOROVAYA, A.I. (1993): Role of physiological active humic substances in plants adaptation to ionizing radiation and pesticides effect. *Humic Substances in Biosphere*, Nauka, Moscow, 144-150. (in Russian)
- HARADA, Y. and INOKO, A. (1980): The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26: 127-134.
- HORIUCHI, K., INOUE, M., TAHARA, K., MORI, T. and KOJIMA, T. (1995): Effect of super absorbent polymer on water movement in soil. *J. Arid Land Studies*, 4: 207-213.
- JIN, F. and YAMAGUCHI, T. (1996): The present situation of the technical amelioration of saline soil in Keerqin Desert. *J. Arid Land Studies*, 5: 1-6.
- KURZO, B.V. and BOGDANOV, S.V. (1989): *Genesis and resources of sapropels of Belarus*. Nauka and Tehnika, Minsk, 176 pp.
- LISHTVAN, I.I. and KOROL, N.T. (1975): *Basic peat properties and methods of their determination*. Nauka and Tehnika, Minsk, 320 pp. (in Russian)
- LISHTVAN, I.I., BAZIN, E.T., GAMAYOUNOV, N.I. and TERYTYEV, A.A. (1989): *Physics and Chemistry of Peat*. Nedra, Moscow, 340 pp. (in Russian)
- LOPOTKO, M.Z. and EVDOKIMOVA, G.A. (1986): *Sapropels and products on their bases*: Nauka and Tehnika, Minsk, 190 pp. (in Russian)
- LOPOTKO, M.Z., EVDOKIMOVA, G.A. and KUZUMITSKI, P.L. (1992): *Sapropel*. Nauka and Tehnica, Minsk, 94-139. (in Russian)
- SOKOLOV, G.A., TISHKOVICH, A.V. and SHATIKHINA, T.A. (1995): Physico-chemical and bio-chemical transformation of kaustobioliths as a basis for efficient fertilizers production. *Proceedings of International Symposium Peat Organic Matter, Minsk*, 101-102.
- STOAT, D.E. and MARTIN, T.P. (1990): Synthesis and degradation of natural and synthetic humic materials in soil. In MCCARTHY, P., CLAPP, C.E. and MALKOLM, R.L. eds., *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 37-64.
- SZAJDAK, L. and SOKOLOV, G.A. (1995): Impact of different fertilizers on the amino acids bound content in soils. *Proceedings of International Symposium of Peat Organic Matter, Minsk*, 60.
- TAHARA, K., HORIUCHI, K., UEMIYA, S., KOJIMA, T. and MORI, T. (1994): Effect of SAP addition on movement behavior of water and salt in glass beads bed simulating desert soil. *J. Arid Land Studies*, 4: 15-19.
- TOYAMA, S. and TOYAMA, M. (1995): *Greening the Desert*. KOSEI Publishing Co., Tokyo.
- UOMORI, M., YAMAGUCHI, T. and MURAI, S. (1995 a): The comparison between peats and absorbent polymers on the water absorption ability in saline solutions. *Proceedings of International Symposium of Peat Organic Matter, Minsk*, 28-29.
- UOMORI, M., YAZAKI, F. and YAMAGUCHI, T. (1995 b): The study of lacustrine deposit (sapropel) in Belarus—The chemical composition and properties. *J. Japan Society on Water Environment*, 18: 745-754.
- YAMAGUCHI, T. and TSUKAKOSHI, S. (1993): The comparison between peats and super absorbant polymers on the water absorption ability in saline solutions. *Chemistry Express*, 7: 165-168.
- YAMAGUCHI, T., NISHIZAKI, Y., SHIBING, J. and SATO, Y. (1993): Improvement of the water-retention and the salinity of desert by humic acids complexes. *Abstracts of Int. Sci. Conference on the Taklimakan Desert, Urumqi*, 323-324.

天然有機物による乾燥地の改良 —エジプト西沙漠におけるキャベツおよび小麦の 栽培に対する泥炭・腐泥質よりの土壌改良材の効果—

山口達明*・西崎 泰*・早川豊彦*・リヤド, M.**・イブラヒム, M.***・
ファノス, N.***・バンバロフ, N.****・サカロフ, G.****

砂質土壌に対して天然有機資源から調製した資材を供給することは、本質的に土壌を改良し農作物収穫量の向上が期待でき生態系に適合した方策であると考えられる。

本研究では、異なった天然有機資材の効果を明らかにするため、エジプトアラブ共和国の乾燥地域において未耕の砂質沙漠土にペラルーシの泥炭・腐泥質より製造した土壌改良材を1 wt%混入し、地下水を用いる灌漑水量を現地標準量の75%, 50%に制限しながらキャベツ及び小麦の栽培を行った。比較のため、アイルランド産ビートモス、エジプト産都市ゴミコンポストについても同一条件で試験した。

その結果、泥炭・腐泥質より調製した改良材がいずれの場合にも最も優れた改良効果を示し、給水の効率も高く作物の生育状況も良好であることが確認された。この改良材の場合、NPK 肥料を改めて加えなくとも、もともと腐泥に含まれている栄養素によってキャベツと小麦粒の収穫量は好結果が得られ、1 ha 当たりそれぞれ $3.7 \text{ kg} \times 10^4$ (15 トン/エーカー), $0.74 \text{ kg} \times 10^4$ (3 トン/エーカー) であった。この量は同国のデルタ地帯での収穫量に匹敵する値であった。

* 千葉工業大学

** エジプト農業省 (エジプト・カイロ)

*** 農業研究センター土壌研究所 (エジプト・カイロ)

**** 天然資源の利用と生態学研究所 (ペラルーシ・ミンスク)

(受付: 1997 年 3 月 7 日; 受理: 1997 年 7 月 28 日)

沙漠開発の視点からみた世界の沙漠面積

西 上 泰 子*

1. はじめに

沙漠やその周辺の乾燥地は地球の全陸地面積の1/4～1/3を占めており、急激な人口増加による過放牧や過耕作がもたらす、沙漠周辺部における「沙漠化」の進行の問題が近年クローズアップされている。一方で、沙漠の太陽光や広大な未利用の土地を資源として考えて積極的に利用していこうとする沙漠開発が提案されてきている。例えば、化石燃料消費からの二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減という地球温暖化問題解決のための対応策、及び化石燃料の将来的な枯渇への対応策という2つの観点から、沙漠の膨大な太陽エネルギーが注目されている(佐野ほか, 1994)。また大気中 CO₂濃度を下げするために、沙漠に大規模な植林をすることが提案されている(小島, 1994; 松田, 1997)。緑化による日陰効果で、農耕に適する土地が生み出されるという副次的効果も期待できる。

沙漠が注目されてきているが、沙漠の明確な定義とその面積は未だに確定していない(赤木, 1994; 国立天文台, 1995)。特に将来の利用開発を考慮した沙漠の分類

と対象面積については調査例がない。世界最大のサハラ沙漠はアフリカ北部の複数の国に広がって分布するが、国毎にその存在する地域は違っているので呼び名が異なっている。沙漠境界は国境のようにはっきりしていないし、また沙漠と半沙漠をどのように区別するかも問題となる。米国とオーストラリアを除いて、広大な沙漠を所有する先進国は少ない。世界各国はさまざまな地図を作成してはいるものの、10万分の1程度の地形図でさえ全陸地の50%以下でしか作成されていない(本多ほか, 1993)。アフリカ、南米、アジアなどの開発途上国に限れば、その割合はさらに低下する。

沙漠の定義として、降水量が少ないこと、乾燥していること及びそれらの結果として植生が少ないことの3つが考えられる。ゴダード宇宙研究所のMATTHEWS (1983) は約100の既存の地図と人工衛星 LANDSAT の画像を基に、緯度経度1度四方のメッシュ毎に優占植生タイプを決定している。筆者ら(NISHIGAMI *et al.*, 1995) はすでに、MATTHEWSの植生図の中で優占植生種がなく「Desert」と定義されている陸地のみを取り出して、メッシュデータとして世界の沙漠の分布を明らかにしている(図1)。世界全体では15.1億 ha の沙漠が存在し

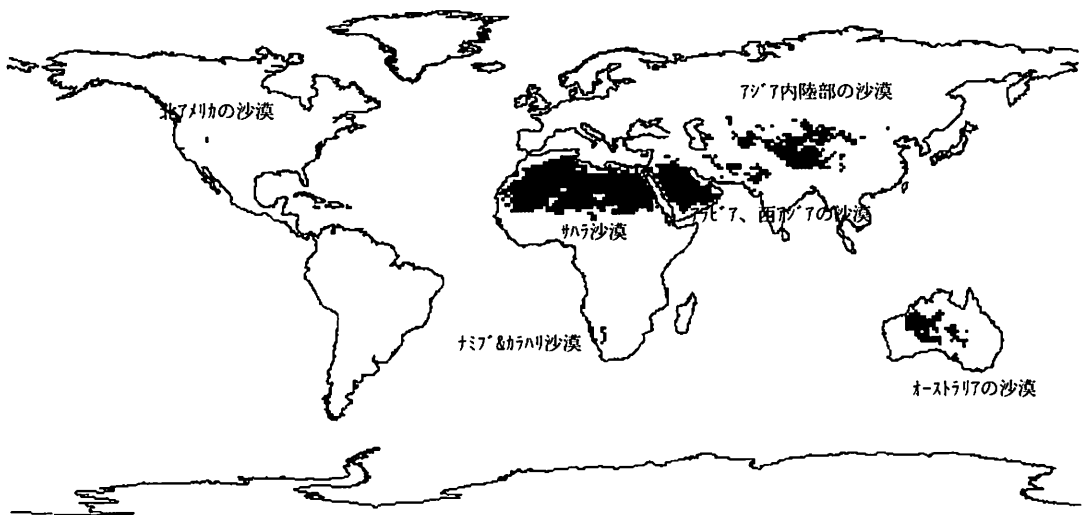


図1. 沙漠分布図.

た。そこに降り注ぐ年間の太陽エネルギーは、世界の一次エネルギー消費量の350倍に相当するということが判明した。さらに砂丘 (dunes) として定義されるメッシュを除いて、砂漠ではない沙漠の分布図も併せて作成した。その総面積は11.5億 ha となり、沙漠全体の76.2%であった。一般的に砂漠ではない沙漠は全体の約80% (遠山, 1989; 堀, 1993) と言われているが、それに近い数値を得ることができた。

しかしながら植生を基準としたこれらの沙漠分布図では、一般的に沙漠と認識されている北米や南米の多くの地域が沙漠と定義されない。理科年表 (国立天文台, 1995) によると、北米には132Mha ($1\text{M}=10^6$), 南米には81Mhaの沙漠が存在する。一方 MATTHEWS 植生図においては北米ではグレートソルトレイク沙漠の1.8Mha のみが Desert と分類されていて、南米では Desert そのものがない。

本研究においては世界の降水量データから降水量の少ない地域を取り出し、降水量の違いからその乾燥地域を4つの沙漠に分類し、緯度経度0.5度四方のメッシュデータとして沙漠の分布を明らかにした。さらにそれぞれの沙漠面積を海岸からの距離によって評価した。エネルギー生産地の沙漠と世界のエネルギー需要地は一般的に離れているので、電解水素を用いて液体燃料を合成しそれをタンカー輸送する等の、エネルギー輸送形態の選択が行われる。水素製造及び産業立地のためには海岸に近くかつ日射量の豊富な沙漠から開発利用されていくものと思われる。さらに沙漠の日射条件によっては、太陽光発電や太陽熱発電等の利用形態の適性がある (佐野, 1995)。沙漠緑化の場合には、水供給の手段として海水の淡水化が一つの選択肢になる。

今回の降水量データを用いた計算では、北米の沙漠は59Mha、南米の沙漠は91Mha、世界全体の沙漠は23.1億 ha (1億 ha=100Mha) となった。日射量の一番豊富な極沙漠は、海岸から900kmの距離までは海岸から離れるほどその面積が増大することが判明した。また降水量が少しは期待できる半沙漠は、全体の約半分が海岸から500km以内に存する。本研究で明らかにした緯度経度のメッシュ情報としての沙漠の分布は、将来の世界の沙漠開発を考える際の一助の資料となり得る。

2. データと解析方法

乾燥地域では降水量が少ないほど日射量が期待できると仮定して、降水量の違いによって世界の沙漠を分類した。降水量データについてはアメリカ海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration,

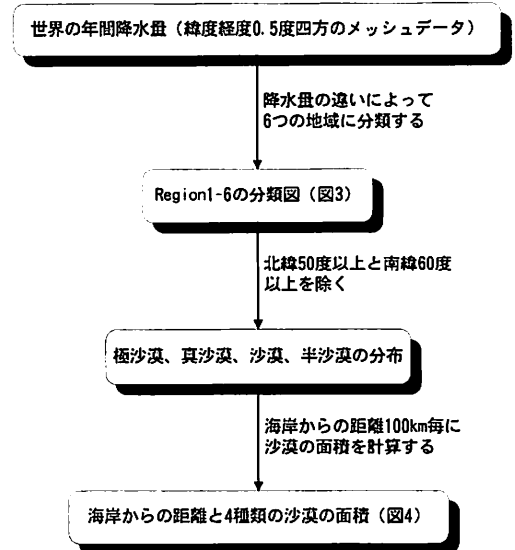


図2. 解析のプロセスフロー図。

NOAA) のアメリカ地球物理データセンターの Global Ecosystems Database (KINEMAN and OHRENSCHALL, 1992) に収録されている、年間積算降水量データ (LEGATES and WILLMOTT, 1990) を利用した。これは、全世界26,858地点の1920年から1980年にかけて60年間の年間積算観測値の平均値を球面補間法により補間して、全地球表面上を緯度経度0.5度四方のメッシュでカバーしたデータである。降水量の違いによって全陸域を6つの地域に分類した。さらに高緯度地域を除いて、降水量の少ない4つの地域を沙漠と特定し、海岸からの距離によるそれらの分布の違いを明らかにした。図2に解析のプロセスフロー図を示す。

データを統計解析し、画像処理するにあたっては、地理情報システム (GIS) の一つである IDRISI ソフトウェア (EASTMAN, 1995) を用いた。IDRISI ソフトウェアはアメリカのクラーク大学において開発された、コンピュータによる地理的解析ツールである。

3. 結果

1) 沙漠の分布

年間降水量の違いによって、地球の全陸域を Region 1 (年間降水量: 25mm 未満), Region 2 (年間降水量: 25mm 以上50mm 未満), Region 3 (年間降水量: 50mm 以上100mm 未満), Region 4 (年間降水量: 100mm 以上250mm 未満), Region 5 (年間降水量: 250mm 以上500mm 未満) 及び Region 6 (年間降水量: 500mm 以

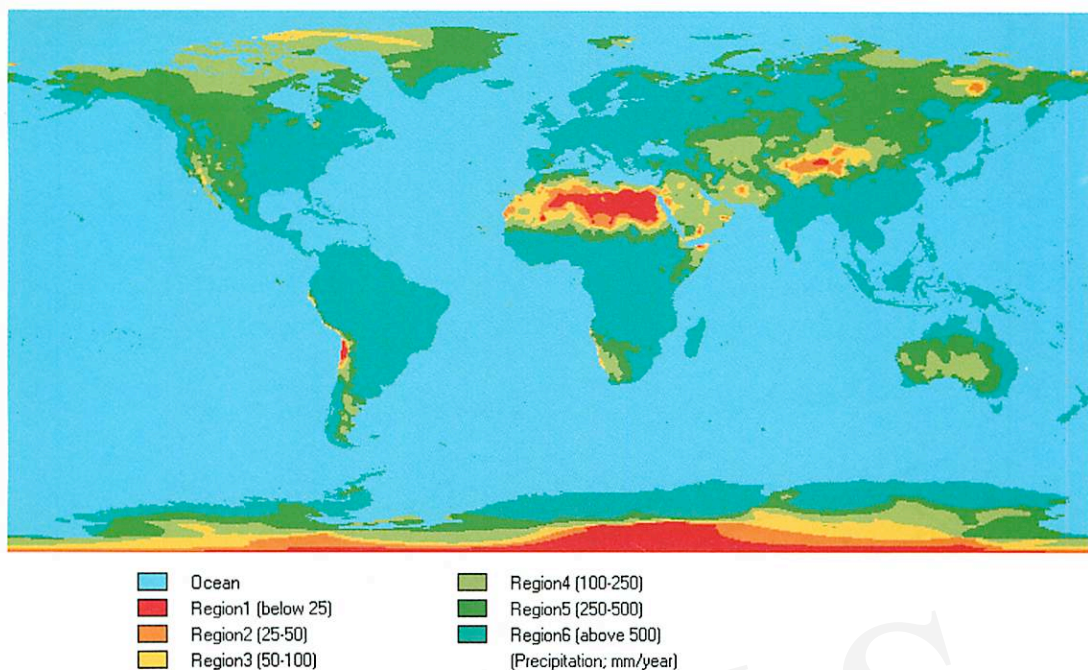


図3. 年間降水量による陸域分類図.

上)の6つの地域に分類した(図3)。

この分類図は降水量データと同じく、緯度経度0.5度四方のメッシュデータとして得ることができる。分類図からわかるように、非常に雨の少ないRegion1を取り囲むようにして、Region2、Region3が存在する。降水量の少ない地域では奥地に入り込むほど、降水量のより少ない、言い換えれば日射量のより豊富な地域が存在している。

高緯度地方は、たとえ雨が降らなくても通年での太陽高度が低く、日射量は期待できない。シベリア地方やグリーンランドを含む北緯50度以上と南極大陸を含む南緯60度以上の地域を除いて、Region1を極沙漠、Region2を真沙漠、Region3を沙漠、Region4を半沙漠と定義した。面積はそれぞれ、極沙漠で287.4Mha、真沙漠で266.7Mha、沙漠で442.6Mha、半沙漠で1,318.1Mhaとなり、沙漠全体の総面積は23.1億haとなった。

2) 海岸からの距離と沙漠の面積

極沙漠、真沙漠、沙漠、半沙漠の位置関係によって、沙漠の周辺部から奥地へ入り込むほど日射量が期待できることがわかったが、地球規模でみた場合、海岸からの距離毎にそれらの沙漠がどのように分布するかを計算した。

図4に示されるように、沙漠、半沙漠は海岸から離れるほどその面積は減少していく。海岸から500kmまで

に、半沙漠は全体の半分以上の50.7%、沙漠は全体の40.7%が存在する。海岸からの距離が1,500km前後でそれぞれ小さいピークがみられるのは、ユーラシア大陸の中央アジアの沙漠を反映しているものと思われる。一方、最も日射量の期待できる極沙漠は、海岸から500kmまでに34.7%が存在して、海岸から900kmの距離までは海岸から離れるほどにその面積は増加する。海岸から2,600km以上離れたところに沙漠は存在しない。

沙漠開発の視点からみれば、工業プラント立地のための港湾と水資源の確保は重要である。海岸に近い沙漠から開発が進むと思われるが、設備利用率を上げるために太陽光発電プラントは日射量のより豊富な沙漠に設置する必要がある。太陽エネルギーの獲得に有利な極沙漠は、利用のしやすい海岸から離れるほどその存在量が増えることが図4から明らかになった。日射量の豊富さと利用のしやすさの得失が将来の沙漠開発の焦点になってくることが示唆された。沙漠の大規模植林に必要な水供給を考えると、海水の淡水化は一つの選択肢である。海岸近くに、年間降水量が100mm以上の半沙漠が多く存在する。

4. 考 察

沙漠の太陽エネルギーの利用を第一義に考えるのであれば、日射量データによって沙漠の分類を行うべきであ

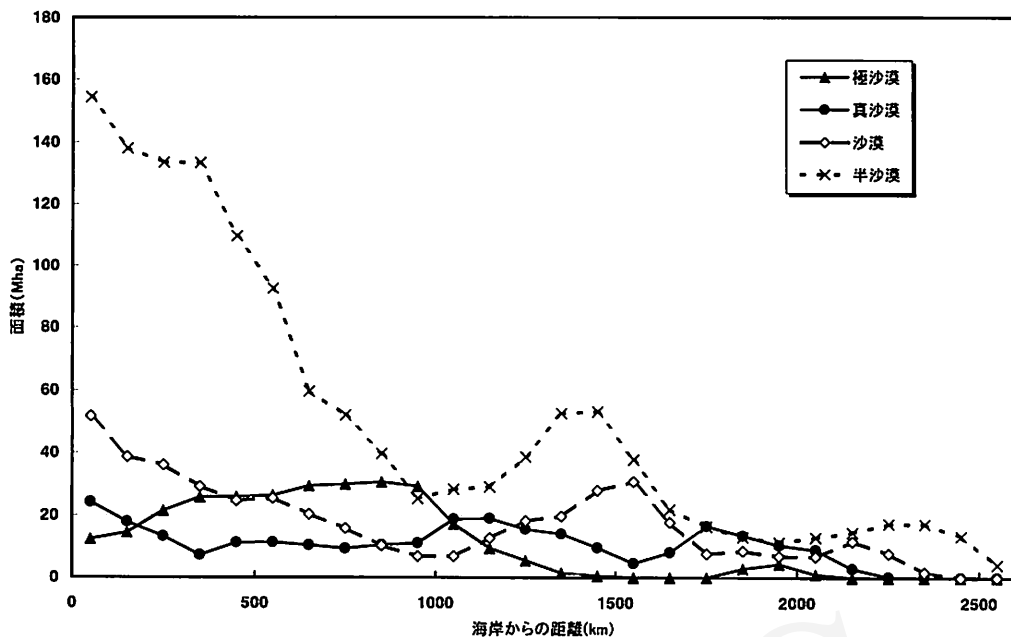


図 4. 海岸からの距離と沙漠の面積。

表 1. 世界の沙漠面積の比較 (Mha).

	ケース 1 年間降水量: 0-250mm	ケース 2 年間降水量: 0-100mm	Matthews 植生図	理科年表
サハラ	928	684	800	860
ナミブ&カラハリ	61	7	22	40
アラビア, 西アジア	474	91	298	310
アジア内陸部	528	177	270	222
オーストラリア	173	0	123	120
北米	59	5	2	132
南米	91	32	0	81
合計	2,314	997	1,514	1,765

るが、現在のところ日射量を観測している観測地点は世界全体では少ない。日本気象協会 (1992) がまとめた『太陽光発電利用システムの研究開発、利用システムに関する調査研究』は世界の1,601地点の日射量データを取録しているが、地球規模で地表面をカバーするものではない。世界では降水量、気温及び相対湿度の3つの気象データが1万点以上の地上観測点で毎日観測されている。本研究では、雨が降らない地域ほど日射量が期待できると仮定し、日射量より観測地点がはるかに多い降水量データを用いて沙漠の分類を行った。

年間降水量の分類の刻みに今回用いた25mmや100mm等の数値は、沙漠に関する文献から引用した。一般的には年間降水量が100mm以下、もしくは10インチ(254mm)以下の地域が沙漠として定義される(赤木, 1994)。

年間降水量が25mm以下の沙漠は極沙漠と定義されていて、年間降水量が500mmあれば小麦などの乾燥に強い作物の栽培が可能になる(遠山, 1989)。

今回降水量データから求めた沙漠面積と MATTHEWS 植生図による沙漠面積とを、世界の7つの地域毎に理科年表(国立天文台, 1995)に記載の沙漠面積と比較した(表1)。世界の7地域とは、サハラ(アフリカ北部)、ナミブ&カラハリ(アフリカ南部)、アラビアと西アジア、アジア内陸部、オーストラリア、北米及び南米である。沙漠面積は、年間降水量が0mm以上250mm未満の地域(ケース1: 極沙漠から半沙漠まで)と年間降水量が0mm以上100mm未満の地域(ケース2: 極沙漠から沙漠まで)の2つのケースで計算した。

MATTHEWS 植生図に基づく沙漠は、総面積(15.1億

ha)は理科年表の沙漠総面積(17.7億ha)に近い値となったが、局所的にみれば北米及び南米において沙漠と定義される地域が非常に少ない。ケース2の沙漠総面積は理科年表の約半分(56%)の9.97億haである。またオーストラリアは全土年間降水量が100mm以上であるため沙漠と定義される地域がない。同じ理由で北米でも沙漠と定義される面積が少なく、理科年表の4%の5.1Mhaである。ケース1の沙漠総面積は23.1億haで理科年表の沙漠総面積の約1.3倍になる。アジア内陸部で沙漠面積が約2.4倍、北米で約0.4倍になるが、他の5つの地域では沙漠面積はそれぞれ1.1倍から1.5倍の間に増加し、特定の地域において沙漠が定義されないということはない。

実際の乾燥度は降水量だけでなく気温にも左右されるので、地図上で一般的に認識されている沙漠と今回の降水量データのみに基づく沙漠とは完全に一致しない。しかしながら植生情報等の地上データの積み上げによる地図では観測日時の統一性は保たれておらず、また国土に関する調査が整備されていない国もあって、地球規模で沙漠を緯度経度毎に特定するのは難しい。降水量データは地球規模での広域性と均質性を有していて、本研究の計算では降水量という一つの統一された尺度で地球表面上を分類している。降水量データとともに気温データも併せ用いて乾燥度を明らかにし、地球規模での乾燥地域分布図を作成すれば、その面積は現在沙漠と認識される面積にさらに近づくものと思われる。

5. 結 語

地球温暖化問題の解決に向けて、化石燃料の代替エネルギーとして沙漠に降り注ぐ膨大な太陽エネルギーを利用することや沙漠に大規模な植林をすることが提案されており、沙漠の存在が注目されてきている。しかし一般的には、沙漠は農耕に適さない不毛の荒地というイメージでとらえられがちであり、沙漠の明確な定義とその面積は未だに確定していない。本研究においては、降水量データをもとに緯度経度0.5度四方毎のメッシュデータとして乾燥地域の分布を明らかにした。世界全体で沙漠は23.1億ha存在する。

さらに降水量の違う4種類の沙漠の面積を海岸からの距離の違いによって評価した。産業の立地や海水の淡水化を考えると海岸に近い沙漠から開発が行われると思われる。日射量の一番豊富な極沙漠は、海岸から900kmの距離までは海岸から離れるほどにその面積が増加す

る。一方、降水量が少しは期待できる半沙漠は海岸近くに多く存在し、内陸部へ向かうほどその存在量は減っていく。太陽エネルギー獲得基地の立地選択は、降り注ぐ日射量と海岸からの距離のトレードオフで判断されるであろう。沙漠の太陽光は現在の世界のエネルギー需要を十分に満たすクリーンなエネルギーであり、またその広大な土地は農耕や都市化等の他の土地利用と競合しない。沙漠を資源として考えれば、その分布と面積は重要な情報である。本研究での海岸からの距離による沙漠の分類は、将来的な沙漠の大規模開発を考える際の一助の資料となることが期待できる。

謝 辞

本研究はNEDOの委託研究の一環である。研究の遂行にあたり数多くのご助言とご指導を賜った地球エネルギーシステム研究所の佐野寛先生、及び地理情報システムのIDRISIについて多くの情報を提供して頂いたパシフィックコンサルタンツ株式会社の原雄一氏にここに記して深謝いたします。

引用文献

- 赤木祥彦(1994):「沙漠ガイドブック」理科年表読本, 丸善.
- 本多嘉明・村井俊治・Box, E.O.・後藤真太郎(1993):人間活動による地球環境影響評価に関する研究,「東京大学生産技術研究所報告」38-2:29-52.
- 堀 信行(1993):沙漠の空間構成—沙漠(砂漠)・Desertをめぐる用語とそのイメージ,「沙漠研究」3:73-81.
- 小島紀徳(1994):「二酸化炭素問題ウソとホント」アグネ承風社.
- 国立天文台編(1995):「理科年表」丸善.
- 松田 智(1997):CO₂固定のための大規模緑化,「化学工学」61:290-293.
- 日本気象協会(1992):「太陽光発電利用システムの研究開発, 利用システムに関する調査研究」(サンシャイン計画) 第1日本気象協会.
- 佐野 寛(1995):CO₂リサイクルシステムと地球エネルギー資源活用設計,化学工学会第28回秋季大会研究発表要旨集.
- 佐野 寛・本庄孝子・朴 柄植(1994):地球環境対策技術としての砂漠利用,化学工学会第27回秋季大会研究発表要旨集.
- 遠山征雄(1989):「砂漠緑化への挑戦」読売科学選書22, 読売新聞社.
- EASTMAN, J. R. (1995): *IDRISI for window's User's Guide*. Clark University, Massachusetts.
- KINEMAN, J. J. and OHRENSCHALL, M. A. (1992): *Global Ecosystems Database*. US Department of Commerce, NOAA, National Geophysical Data Center, Colorado.
- LEGATES, D.R. and WILLMOTT, C.J. (1990): Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected global precipitation. *Intern. J. Climatol.*, 10: 111-127.
- MATTHEWS, E. (1983): Global vegetation and land use. *J. Climate and Applied Meteorology*, 22: 474-487.
- NISHIGAMI, Y., YANAGISAWA, Y. and HIGASHINO, H. (1995): Evaluation of solar energy in deserts in the world. *J. Arid Land Studies*, 5S: 21-24.

Desert Area in the World from the Viewpoint of Development

Yasuko NISHIGAMI*

The Earth's deserts have recently attracted much attention with relation to the serious issue of global warming. Carbon dioxide (CO₂) has been responsible for over half the enhanced greenhouse effect in the past and is likely to remain so in the future. Utilizing solar radiation from the Earth's deserts is proposed as one measure for restraining massive release of CO₂ due to fossil fuels consumption. Planting trees in the vast arid regions for reduction of the atmospheric CO₂ concentration is also suggested.

The definition of desert has not been clearly established until now and various values have been reported as to the area of the world's deserts. The boundaries of deserts are not as clear as national boundaries and the distinction between desert and semi-desert is difficult. In this study the four kinds of deserts were classified according to the distance from shoreline from the viewpoints of development and utilization.

Deserts are very dry with little rainfall with the result that there is little or no vegetation. Using the world annual precipitation data (0.5° latitude/longitude mesh data) from Global Ecosystems Database of U. S. National Geophysical Data Center (NGDC), four kinds of deserts were defined. The distribution of deserts are given in the same mesh data as the precipitation data. The annual rainfall is less than 25mm in the ultra-desert, 25mm and 50mm in the super-desert, between 50mm and 100mm in the desert, and between 100mm and 250mm in the semi-desert, respectively. The area of each is 287.4 Mha, 266.7 Mha, 442.6 Mha and 1,318.1 Mha, respectively. The world's total desert area is 2,314.8 Mha.

The four kinds of desert were also classified according to every 100km distance from sea. Industries and factories for solar energy utilization will in general be more favorably located near the shoreline. Afforestation in arid regions requires water and the supply of fresh water by distillation of sea water will be one possible option. Desert areas nearer to the sea and having more abundant sunshine will be preferred for development. Ultra-desert has the most abundant solar radiation and its area increases according to its distance from shoreline up to a 900km distance. Semi-desert has a little rainfall and its area decreases with increasing distance from shoreline. Desert areas therefore have advantages and disadvantages with regard to the quantity of solar radiation and the distance from shoreline.

Many global environmental issues are arising nowadays and solutions are required for sustaining future development. Abundant solar energy and vast unused desert land may come to play important roles in the future. The classification of world deserts according to distance from the shoreline as provided in this study gives much important information for future desert development.

Key Words : Desert area, Precipitation, Shoreline, Solar energy, Desert development

* Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE). 9-2, Kizugawadai, Kizu-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02, Japan.

Salt Efflorescent Materials in Saline Lands of Xinjiang, China

Akihiko OKADA*, Sadayo YABUKI*, Cong-Qiang LIU**, Akira UEDA***,
Zi-Li FAN**** and Qing CHANG****

In the saline lands and deserted lands in Xinjiang, China, *i.e.*, the peripheries of the Taklimakan Desert in Tarim Basin, the southern periphery of Zhungar Basin and the central part of Turpan Basin, salt accumulation is conspicuous in the damp areas where the ground water level is shallow. Generally the vertical distribution of water-extractable Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} in the soil profiles indicates the surface deposition of salts due to the capillary evaporation of salt-containing water under the dried environment. The major salt materials occurring in the soils of saline lands are halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and accessory minerals such as bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and hummerstonite ($\text{K}_3\text{Na}_7\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were locally found. These salt species could have precipitated by the evaporation of the capillary-rising, aqueous solution through the soil pores from the ground water level. The most probable sources which supply salt-constituting chemical species to the saline lands are: (1) the Tertiary salt deposits in the Kunlun and Tianshan Mountains around Tarim Basin and the Huoyanshan Mountains in Turpan Basin, and (2) the Quaternary salt crusts and the present-day redeposited salt materials occurring in the subsurface of diluvial-alluvial fan sediments.

Key Words: Evaporite, Desert, Xinjiang

1. Introduction

In the arid and semiarid environments, the salt accumulation in the soil brings about the degradation of lands by the loss of vegetation, and is regarded as one of the most serious factors causing desertification. As concerns the salt accumulation to the environment, there exist several important geochemical problems to be solved, *i.e.*, (1) mineral or chemical species occurring in the saline lands, (2) accumulation and precipitation mechanisms, and (3) sources and transportation mechanisms of salt species. During 1987-1994,

we made field surveys and geochemical investigations of the saline lands distributing at the peripheries of the desert areas in Xinjiang, China by the cooperative studies between Japan and China (OKADA *et al.*, 1992 a, b, 1994, 1995).

2. Sampling Sites

Salt material, soil, river water and ground water samples were collected in and around the saline lands distributing at the margins of the desert areas in Xinjiang, China. In several saline lands, soil profile samples were collected at intervals of 5-10 cm from the surface of the

* Institute of Physical and Chemical Research. Wako, Saitama 351-01, Japan.

** Institute of Physical and Chemical Research. Present address: Center for Geosciences, Chinese Academy of Sciences. Datun Rd., Chaoyang, Beijing, People's Republic of China.

*** Mitsubishi Materials Corporation. Kitabukuro, Ohmiya, Saitama 330, Japan.

**** Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Chinese Academy of Sciences. Beijing South Rd., Urumqi, Xinjiang, People's Republic of China.

ground to the depth of 1.0-1.5 m. Fig. 1 shows the sampling sites in this work, *i.e.*, (1) northern part of Tarim Basin (Kuerle, Luntai, Kuche, Akesu), (2) western and southwestern parts of Tarim Basin (Kashi, Shache, Yecheng, and saline lands along the Kashi, Tizinap and Yeqiang Rivers), (3) southern part of Tarim Basin (Moyu, Hetian, Luopu, Cele, Yutian), (4) eastern and southeastern parts of Tarim Basin (Yuli, Tieganlike, Ruoqiang, Qiemo, Minfeng), (5) Turpan Basin, (6) southern part of Zhunger Basin (Fukan, Mosuowan, Jinhe, Yining) and the Pamirs (Tashikuergan). Tarim Basin is an arid, closed basin occupied mostly by sandy Taklimakan Desert. The annual precipitation and evaporation are <50 mm and 2,000-3,000 mm, respectively, in the western and south-western periphery of the Taklimakan Desert in the Tarim Basin, and <20 mm and 3,000 mm, respectively, in Turpan area (ZHU *et al.*, 1986). A salt lake called Aiding-hu locates at the lowest location in

China, -154 m from the sea level. Zhunger Basin has a mild climate compared with Turpan Basin and Taklimakan Desert area. The annual precipitation is about 200 mm in the southern part and 100 mm at the central part of the desert in the Zhunger Basin.

3. Experimental Method

1) Chemical analysis

The water-soluble components in soil samples were extracted by the following procedure. Adding 5 times the quantity of distilled water to the air-dried soil sample, the soil-water mixture was shaken for 1-2 hours. The water extracts were recovered by filtration using 0.2 mm pore-sized membrane filter. The quantitative analysis of cations in water-extracts was carried out using a Jarrell-Ash 575 II ICP emission spectrometer. Anionic species were measured with a Shimadzu HIC-6 A ion chromatograph analyzer.

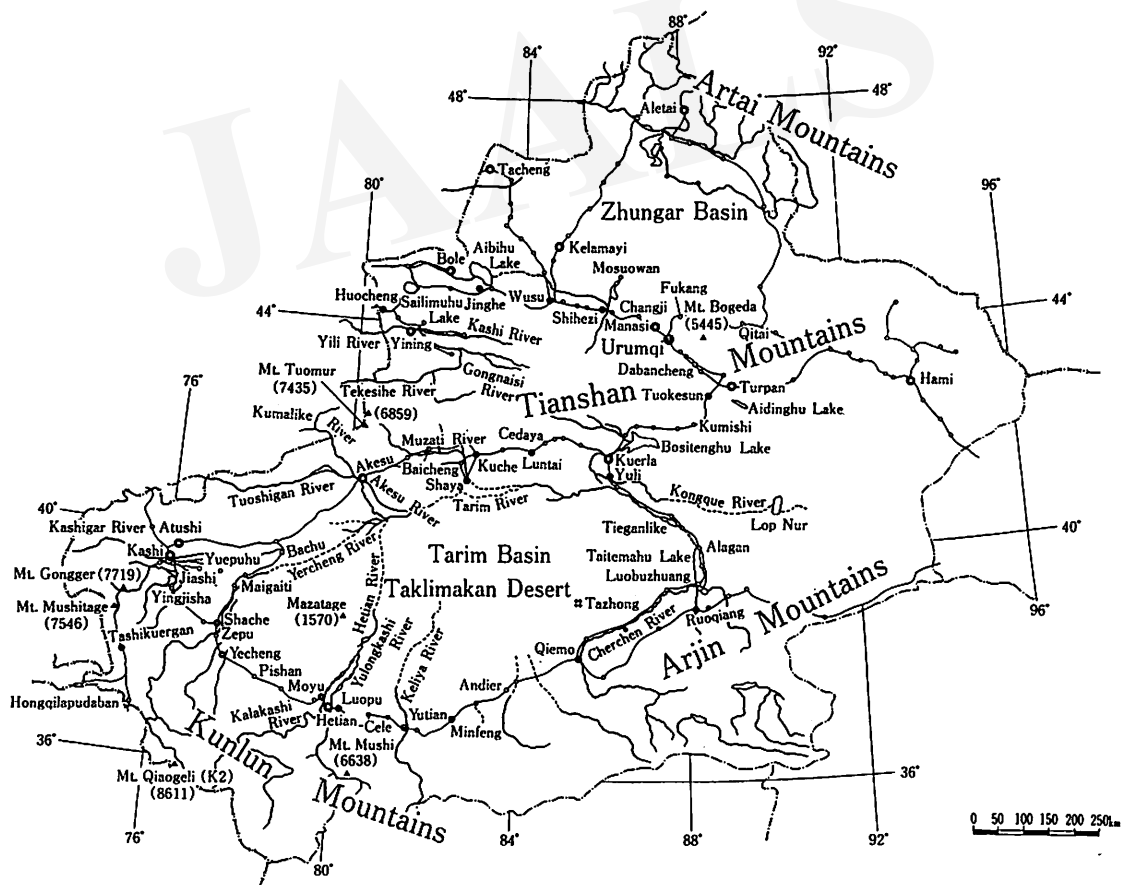


Fig. 1. Sampling sites of salt materials in Xinjiang.

2) Mineralogical Analysis

Salt grains in the soil samples were separated by hand-picking under the microscope. The identification of salt mineral species was carried out by the analysis of X-ray diffraction powder pattern obtained by Debye method using Gandolfi cameras, 114.6 mm and 57.3 mm in diameter, under the Ni-filtered Cu K α radiation. Scanning electron microscope, JEOL JSM-840 A, equipped with a LINK 10000 energy dispersive X-ray detection system, was used for the observation of the morphologies and occurrences of salt minerals and the determination of their chemical compositions.

4. Result and Discussion

1) Vertical distribution of salt species in the soils of saline lands

Figure 2 (1)-(5) shows the vertical distribution of water-extractable ionic species in the vertical soil sections collected at the sampling sites. Basically, the distribution patterns are formed both by the capillary rising of the ground water and the evaporation of water at the ground surface leaving residual salt precipitates. The salt accumulation in the soil and the subsequent formation of saline lands by this process is common in the arid zone of the world. The most typical example is shown in the distribution pattern found in the saline land at Yima, Tarim Basin (Fig. 2 (1)-A and B), which shows the highest concentration of water-soluble ionic species just at the surface of the ground. However the vertical distribution of Na $^{+}$, Ca $^{2+}$, Mg $^{2+}$, Cl $^{-}$ and SO $_4^{2-}$ contents from the surface to the near surface zone, about 40 cm in depth, of the several sampling sites shows conspicuous distribution patterns which indicate the salt removal by wash-out after the surface accumulation of salts. Tentatively we classified into 5 groups according to the degree of the salt removal in the surface zone of the soil section. Group 1 in Fig. 2 (1) shows the saline soils which have not been or have little been affected by salt depletion. The surface accumulation of salts is conspicuous as indicated by the steep increase of all of the Na $^{+}$, Ca $^{2+}$, Mg $^{2+}$, Cl $^{-}$ and SO $_4^{2-}$ species to the surface of the ground. Group 2 in Fig. 2 (2) shows that a slight salt removal is observed at the surface of

the ground as indicated by the slight decrease of Mg ion to the surface. It is because Mg salts such as magnesium sulfate hydrates and magnesium chloride hydrates are most water-soluble among the soil salt precipitates in the saline lands, and because the removal of Mg salts by wash-out is expected to appear at first compared with other salts found in the saline lands in Xinjiang, *e.g.*, halite (NaCl), thenardite (Na $_2$ SO $_4$), gypsum (CaSO $_4$ ·2H $_2$ O) and so on. Group 3 in Fig. 2 (3) shows the group which was affected by further salt removal from the soil of the surface zone. All of the Na $^{+}$, Ca $^{2+}$, Mg $^{2+}$, Cl $^{-}$ and SO $_4^{2-}$ species are decreasing toward the surface. Group 4 in Fig. 2 (4) shows that the decrease of ionic species at the surface zone is more distinct and more advanced. In Fig. 2 (4)-A and B, the salt precipitates consisting mainly of NaCl and Na $_2$ SO $_4$ concentrate at the subsurface zone, about 2-5 cm in depth. This could be caused by the wash-out of salt precipitates from the surface and by the downward shifting of redissolved salts to the subsurface due to a small amount of rain water. In the case of Group 5 in Fig. 2 (5), NaCl concentrates at deeper subsurface zone, compared with the cases in Fig. 2 (4), and CaSO $_4$ salt (gypsum) distributes broadly at the depth deeper than 20 cm from the surface. Both sampling sites of Fig. 2 (5)-A and B locate in the flood plain at the suburban area of Yecheng situated in the south western part of Tarim Basin, and consist mainly of thick fluvial sediments. In the vertical section of the sediments, there exist a lot of salt layers composed of gypsum (CaSO $_4$ ·2H $_2$ O), which could have been brought by the river water and seasonal floods for years from the salt deposits of the mountain areas. In comparison with the distribution pattern of CaSO $_4$ salt (gypsum), NaCl concentrates at the subsurface zone, 10-30 cm in depth. This fact indicates that the distribution of NaCl is affected by the capillary evaporation toward the surface of the ground because of the easier solubility in water. The decrease of NaCl concentration at the surface could be influenced by the wash-out by seasonal precipitation or floods.

2) Occurrence of salt minerals in the saline soils

In the closed arid basins, *e.g.*, Tarim Basin and Turpan Basin, saline lands distribute in the des-

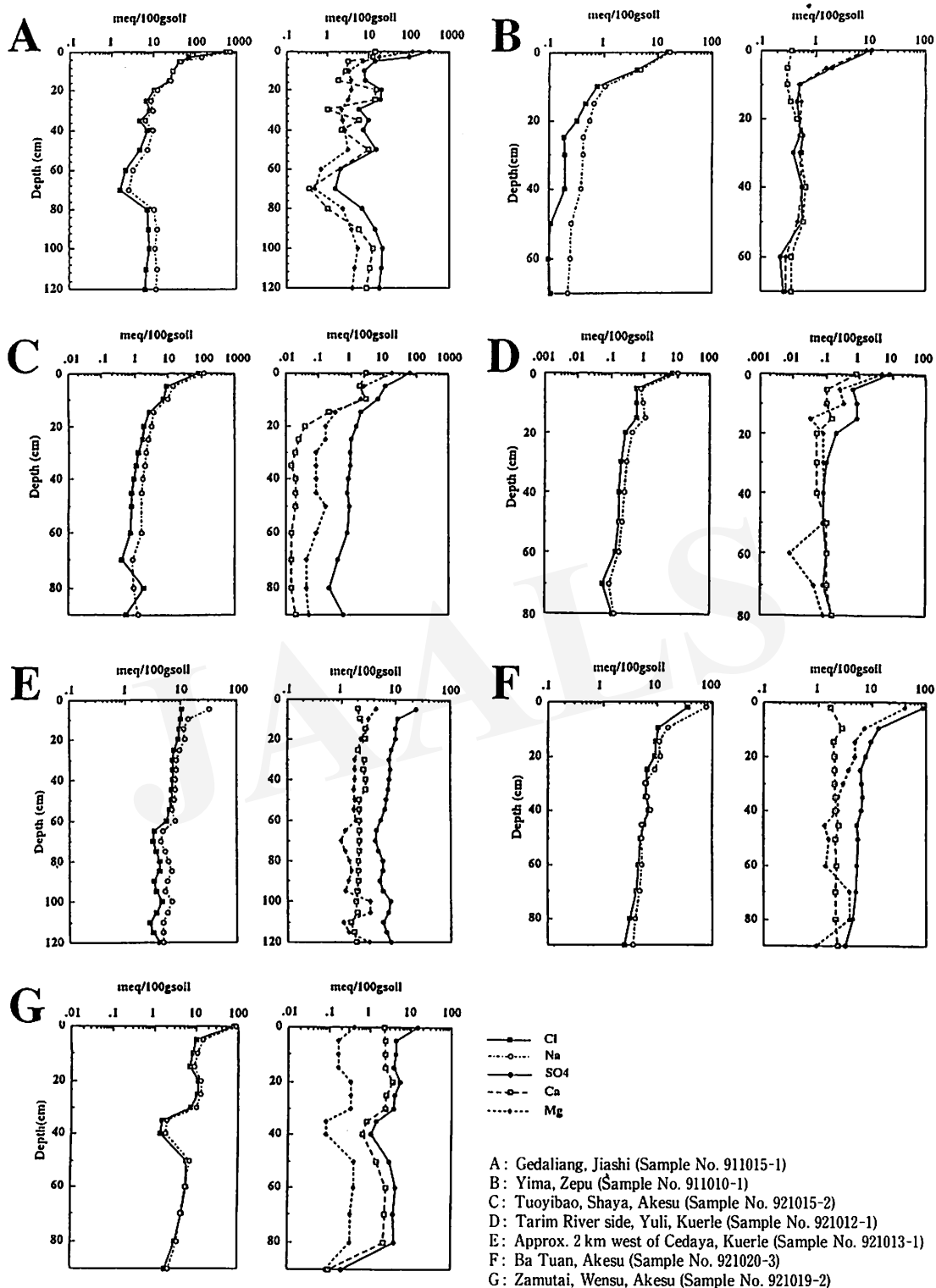


Fig. 2 (1). Water-soluble salt concentrations in the soil profiles of Group 1.
 Water-extractable ionic species concentrate just at the surface of the ground.

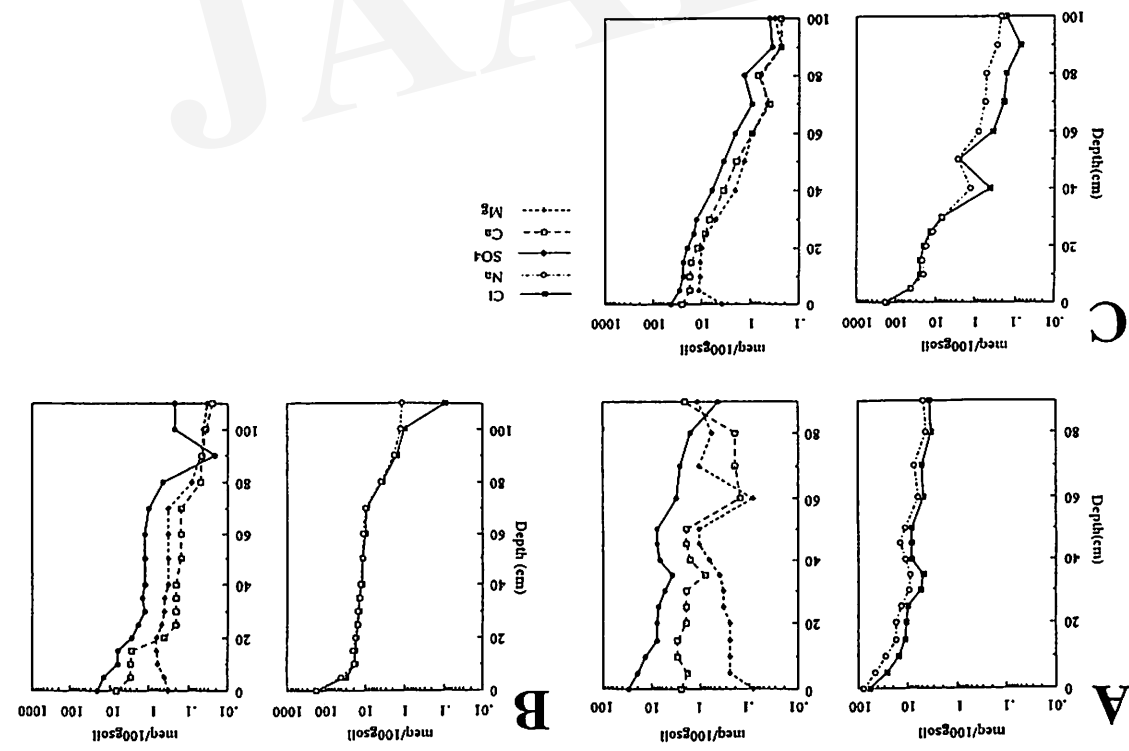


Fig. 2 (2). Water-soluble salt concentrations in the soil profiles of Group 2.
Most water-soluble Mg salts are only slightly removed at the surface.
A : Tazhon oil field, Luntai, Kuerte (Sample No. 921014-3)
B : Approx. 7 km north of Yuli, Kuerte (Sample No. 921012-3)
C : Yafuquan, Yingjisha (Sample No. 911009-3)

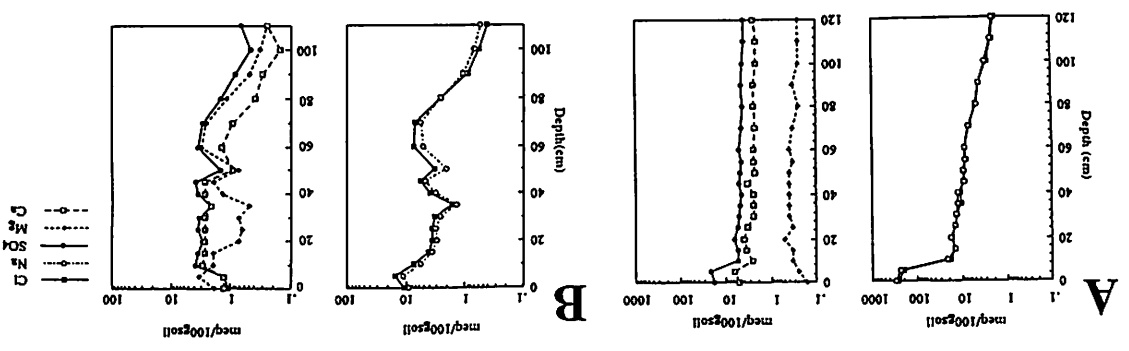


Fig. 2 (3). Water-soluble salt concentrations in the soil profiles of Group 3.
Water-extractable ionic species are a little removed from the surface zone.

A : Approx. 5 km east of Luntai, Kuerte (Sample No. 921013-2)
B : Approx. 10 km north of Tarim River bridge at the Desert Oil Road, Luntai, Kuerte (Sample No. 921014-2)

ert marginal areas where the ground water table is close to the ground surface. As seen in Table 1, residual salt materials in the soil of saline lands are generally halite (NaCl), thenardite (Na₂SO₄) and gypsum (CaSO₄·2H₂O), but various salt minerals occur accessorially, depending on the contents of water-soluble chemical species in the local water (Fig. 3 (1) and (2)). In the western

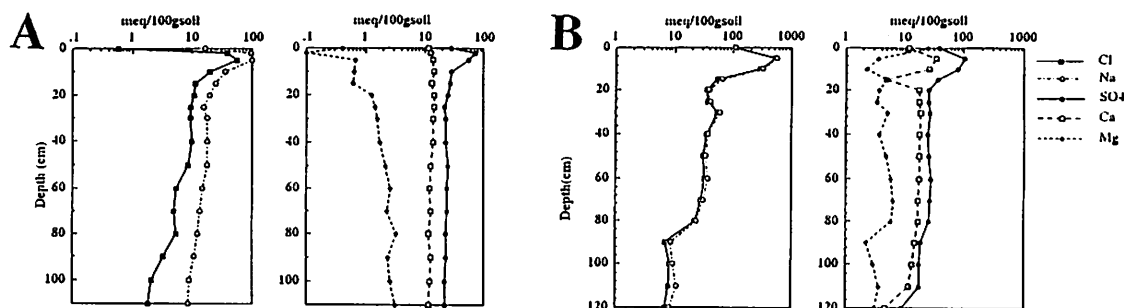


Fig. 2 (4). Water-soluble salt concentrations in the soil profiles of Group 4.

Most of water-extractable ionic species are depleted at the surface, and concentrate at the subsurface zone.

A : Yufuer-kebaqiang, Atushi (Sample No. 921015-2)

B : Meiqitiji, Yuepuhu (Sample No. 911014-1)

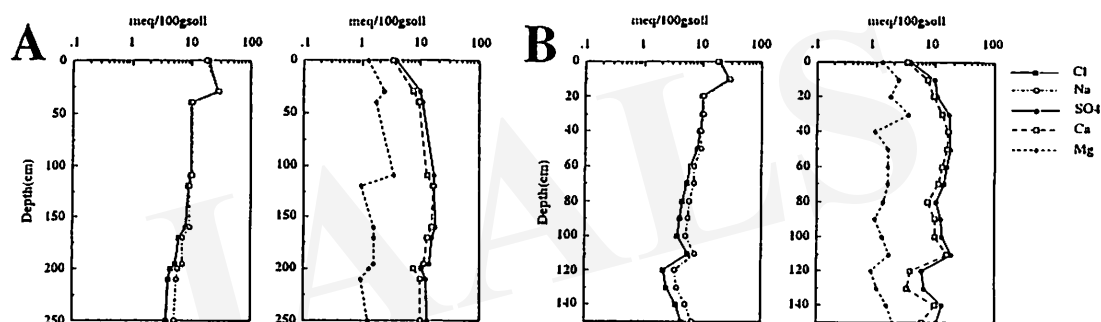


Fig. 2 (5). Water-soluble salt concentrations in the soil profiles of Group 5.

Vertical distribution of water-extracted ionic species in the soil section in the flood plain.

A : Kekeya, Yecheng (Sample No. 911011-3)

B : Jiangge-kesi, Yecheng (Sample No. 911010-2)

part of the Tarim Basin, eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) are commonly present in addition to halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Eugsterite has been so far found in the arid lands of Turkey, Kenya and U.S.A. (VERGOWEN, 1981; SKARIE *et al.*, 1987), but is a common accessory salt mineral in Xinjiang, China, especially in the salinized areas of Taklimakan Desert margins and Turpan Basin where both thenardite (Na_2SO_4) and halite (NaCl) are found as salt efflorescences (Fig. 3 (1)-E). Magnesium-bearing salt species widely distribute in the saline lands along Kashi River and Tizinap Rivers in the western and southwestern areas of Tarim Basin in contrast with the northern part.

Compared with the western and southern parts of Tarim Basin, magnesium supplied by the river system seems to be much lower in the northern areas. A rare occurrence of potassium- and nitrate-bearing salt mineral, humberstonite [$\text{K}_3\text{Na}_7\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$], is found as finely powdery efflorescence on the surface of halite crust covering the saline soils at Shaya in the northern area of Tarim Basin (Fig. 3 (1)-F). This mineral has been found in Chile and U.S.A. to date (MROSE *et al.*, 1970; ERICKSEN *et al.*, 1988). In Xinjiang, it has been reported that nitrate content of soil is rather high, 0.01-0.16 and 0.01-0.09 wt.% in Turpan Basin and Tarim Basin, respectively (WEN, 1965), but the source of nitrogen has not yet been clarified.

Table 1. Evaporite Minerals in Saline Lands of Xinjiang, China

Tarim Basin

Central Region	
Mazatage	halite (NaCl), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhydrite (CaSO_4)
Northern Region	
Cedaya	halite (NaCl), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Luntai	halite (NaCl), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Shaya (Tarim River side, 30 km SSE of Shaya)	halite (NaCl), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), humberstonite [$\text{Na}_7\text{K}_3\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]
Kuche (Yanshuigou)	halite (NaCl)
Yangdouma (Muzati River side)	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Tuman (Tuoshigan River side)	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Akesu Reservoir (along Tuoshigan River)	eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Baishitukeman (Akesu River side)	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Akesu	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Yijianfang	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Western Region	
Tazihong	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Yapuquan	halite (NaCl), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Yingjisha	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), vanthoffite ($3\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$)
Yima	thenardite (Na_2SO_4), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Kekeya	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Kekeya (Yerqiang River side)	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
Jiangeleshi	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Meiqitiji	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Wuke	halite (NaCl), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), starkeyite ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Yangdaman	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Gadaliang	thenardite (Na_2SO_4), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Yougurkebaqiang	thenardite (Na_2SO_4)
Bageawati	thenardite (Na_2SO_4)
Jiashi (Kezilesu River side)	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Southern Region	
Hetian	halite (NaCl), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Buya	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Luopu	halite (NaCl), glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), celestite (SrSO_4)
Aqikeshan	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Cele	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), starkeyite ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), celestite (SrSO_4)
Yutian	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Paheqi	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Yaogantuokelake	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), starkeyite ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Yingbage	thenardite (Na_2SO_4)
Minfeng	bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
Andier	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
Sudong	halite (NaCl), burkerite ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$)
Qiemao	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Eastern Region	
Yuli	halite (NaCl), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Tieganlike	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Luobuzhuang	halite (NaCl), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Ruoqiang	halite (NaCl), kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Tashishayi	thenardite (Na_2SO_4)
Washixia	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
Jianggeshayi	thenardite (Na_2SO_4)

Turpan Basin

Yemushi	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Xiaocaogou	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Taoergou	epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), pentahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), starkeyite ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Hongqixiang	thenardite (Na_2SO_4), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Aidinghu Lake	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Huoyanshan Qianshadi	thenardite (Na_2SO_4), glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)
Wudaolin	epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), thenardite (Na_2SO_4)
Saierkepu	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), anhydrite (CaSO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Shenquan	halite (NaCl), calcite (CaCO_3)

Zhungar Basin

Southern Region	
Qitai	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Tianchi	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Fukang	thenardite (Na_2SO_4), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Shibadaoliang	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Lihudi	bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)
Daquangou	thenardite (Na_2SO_4), glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)
Mosuowan	bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)
Ganhezi	thenardite (Na_2SO_4)
Gaoquan	thenardite (Na_2SO_4)
Jinghe	eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Aibihu Lake	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Sailimuhu Lake	thenardite (Na_2SO_4)
Yining	gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Yamatu Bridge (Yili River side)	thenardite (Na_2SO_4)

The Pamirs

Gaizi	pentahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), starkeyite ($\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Tashikuergan	mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
Bulunkoule	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Kalakuli Lake	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
Dabudaer	thenardite (Na_2SO_4), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
Liangtai	thenardite (Na_2SO_4)
Maza	thenardite (Na_2SO_4)
Kalaqigu	thenardite (Na_2SO_4)
Kalasu	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)

Yanqi Basin

Bositenghu Lake	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
Kumishi	halite (NaCl)

Chaiwopuhu Lake	thenardite (Na_2SO_4)
-----------------	---

Dabanchenghu Lake	halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4)
-------------------	---

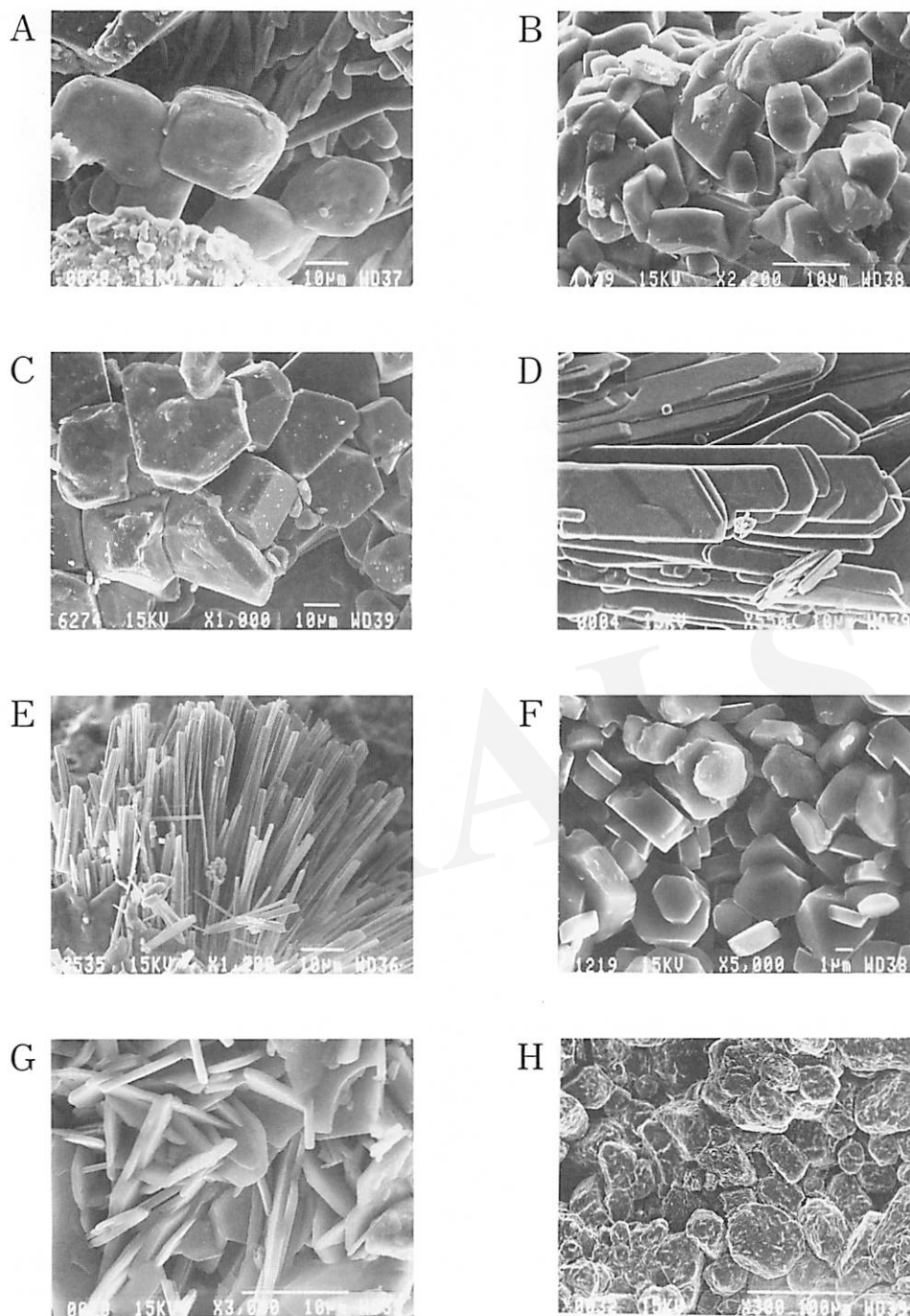


Fig. 3 (1). SEM images of salt minerals in saline lands of Xinjiang, China.

- A: Halite crystals (center) and thenardite at the back., Yingjisha, Tarim Basin (scale : 10 mm)
 B: Thenardite from Tarim River side, south of Shaya, Tarim Basin (scale : 10 mm)
 C: Gypsum from Liuhudi, Zhungar Basin (scale : 10 mm)
 D: Bloedite from Tazihong, Tarim Basin (scale : 10 mm)
 E: Eugsterite from Hongqixiang, Turpan Basin (scale : 10 mm)
 F: Humberstonite from Shaya, Tarim Basin (scale : 1 mm)
 G: Konyaite from Tazihong, Tarim Basin (scale : 10 mm)
 H: Hexahydrite from Jiashi, Tarim Basin (scale : 10 mm)

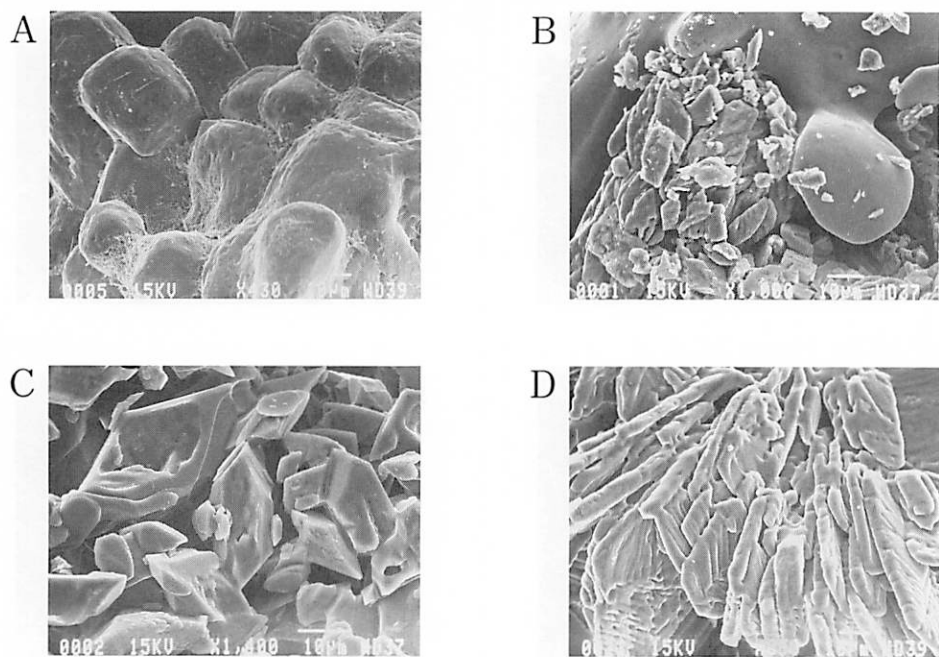


Fig. 3 (2). SEM images of salt minerals: partially dissolved appearances.

- A: Surface etched halite from Xiao-caogou, Yemushi, Turpan Basin (scale: 10 mm)
 B: Round-shaped halite and fine-grained bassanite from Aqikeshan, Tarim Basin (scale: 10 mm)
 C: Surface-etched thenardite crystal. Fine needles are eugsterite. Meijitiji, Tarim Basin (scale: 10 mm)
 D: Partially dissolved bloedite from Tazihong, Tarim Basin (scale: 10 mm)

3) Genesis of saline minerals, and natural water chemistry

In the arid environments, water moves up toward the ground surface through the soil pores by the capillary-rising in the area where the local ground water level is shallow. Water-soluble salts deposit near the surface of the ground due to the vaporization of water, and thus saline lands are formed by the salt accumulation in the soil. In Xinjiang, the ground water is brought about by river and glacier waters infiltrating into the underground aquiferous layer. The river waters in Xinjiang is generally Ca-HCO_3 type in the upper reaches near their sources at mountain areas such as the high altitude zones of Tianshan and Kunlun Mountains, but the water quality changes to $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ -types at the oasis zone in the lower reaches, increasing the contents of Na, Mg, SO_4 and Cl, and finally shifts to $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$ -type (usually $\text{Cl} > \text{SO}_4$) in the desert area in the basin (YABUKI *et al.*, 1996). Figure 4 shows the chemical trend of cationic and anionic

species of waters in Turpan Basin. As stated by HARDIE and EUGSTER (1970), the initial Ca-HCO_3 -typed, unsaturated water might change to the $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ -typed water, depleting Ca by the sequential separation stages of the primary calcite (CaCO_3) precipitation and the following gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) precipitation, during evaporative concentration. EUGSTER and HARDIE (1978) proposed that the $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$ -type brine in Saline Valley and Death Valley, U.S.A., was formed from the $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ -type brine by the removal of Mg due to the precipitation of Mg silicate minerals such as sepiolite and palygorskite. In Xinjiang, however, there is no evidence indicating the deposition of significant amount of such Mg-rich silicates in and around desert areas. Although it has been known that the basaltic rocks due to the Quaternary volcanic activity distribute in a few places in the upper valley of the Keriya River (MINISTRY OF GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, 1993), the water chemistry of the Keriya

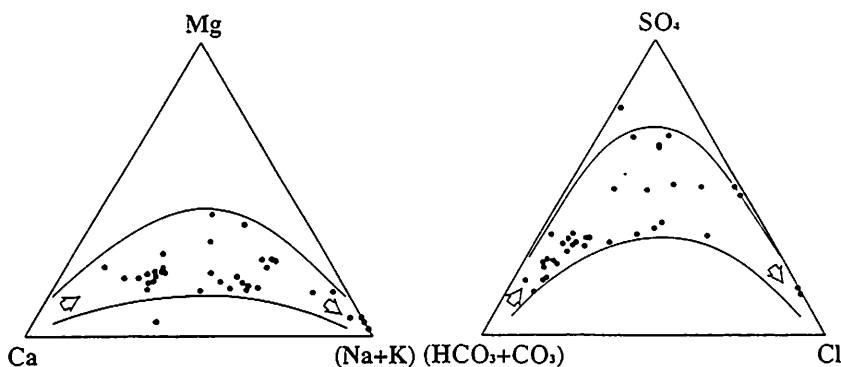


Fig. 4. Chemical trend of major cations and anions of natural waters in Turpan Basin (%meq/l).

The water quality changes from the Ca-HCO₃ type in the mountain area to the Na-Mg-SO₄-Cl type in the desert area through the Na-Mg-SO₄-Cl type in the oasis zone. This trend coincides with that of waters during evaporation to form finally a Na-SO₄-Cl rich brine.

River system is not so drastically changed by the local presence of the Mg-rich basaltic rocks (YANG *et al.*, 1993). The most probable interpretation for the transition of the Na-Mg-SO₄-Cl-type to the Na-SO₄-Cl-type of the water quality during the evaporative concentration is as follows. When Mg²⁺ becomes higher in content in the brine during the evaporation process, Mg²⁺ exchanges Na⁺, being absorbed on the surface of mineral grains such as clay minerals, and thus the water quality changes from the Na-Mg-SO₄-Cl-type into the Na-SO₄-Cl-type by the increase of Na⁺ and the decrease of Mg²⁺ in water (YANG *et al.*, 1993).

In Xinjiang, Quaternary-deposited and also present-day redeposited thenardite (Na₂SO₄) and halite (NaCl)-enriched salt deposits are found in great amounts in the alluvial-diluvial fan sediments and the flood plain sediments around the desert areas. Addition of Na and SO₄ or Na and Cl to the local waters by the redissolution of these salt deposits could be most responsible for the formation of Na-SO₄-Cl-type solutions around and inside the desert areas in Xinjiang.

4) Post-crystallization process on the surface of saline lands

Sequential precipitation of salts in the order of solubility is expected to occur toward the ground surface, when the local ground water

moves upward through soil pores by capillary rising. However it is usually quite rare to find such sequential precipitation of salt species in the vertical section of soil of saline lands. Rather two or more kinds of salt species are frequently found coexisting on the surface of the ground in saline lands. For example, halite (NaCl), thenardite (Na₂SO₄), bloedite (Na₂SO₄·MgSO₄·4H₂O), konyaite (Na₂SO₄·MgSO₄·5H₂O) and eugsterite (2Na₂SO₄·CaSO₄·2H₂O) were found to be present together as salt efflorescence in the saline soil at Tazihong in Tarim Basin. This fact could be explained by the continued dissolution and reprecipitation of salts on the surface of the ground of the saline land. The partial dissolution of pre-existed salts on the ground forms a new concentrated salt solution, from which different kinds of salt species precipitates during evaporation of water. The continuing partial dissolution and reprecipitation are most responsible for the formation of inhomogeneous salt aggregates composed of various mineral species. In Fig. 3 (2), the surface morphology of salt crystals such as halite, thenardite, bloedite and so on show water-etched appearances, indicating the occurrence of partial dissolution of salts on the surface of the ground in saline lands. Especially around the marginal areas of the Taklimakan Desert, the annual precipitation is usually small in amount, but the seasonal occurrences of floods occur due to the summer rain and the thawing of snow and

glacier ice on the surrounding Kunlun and Tianshan Mountains areas.

5) Sources of salt materials, and related geological environment of surrounding areas

Possible sources of salts are :

- (a) Rainfall (sea spray)
- (b) Surface runoff
- (c) Ground water
- (d) Airborne dust
- (e) Vegetation litter
- (f) Weathering of rock
- (g) Sediment (evaporite)

Of these, the salt supply from the ancient saline sediments and the salt transportation by the ground water system and the seasonal surface runoff could be most important for the formation of saline lands in Xinjiang.

In saline lands of Tarim, Turpan and Zhungar Basins in Xinjiang, one of the most likely sources supplying salts is salt deposits lying in the sedimentary layers occurring in the mountain areas, especially Tianshan and Kunlun Mountains, around the upper reaches of the rivers which flow into the basins. In the Kunlun Mountain Ranges located along the southern margin of the Tarim Basin, the high altitude zone, higher than 5,000 m from sea level, consists of Paleozoic metamorphic and igneous rocks, the middle-high altitude zone, 3,000-5,000 m from sea level, is formed of Paleozoic and Mesozoic sand stone, shale, limestone and granite. The middle altitude and low altitude zones locating at the northern side of Kunlun Mountains (<3,000 or 3,500 m areas in altitude), are chiefly composed of Mesozoic and Cenozoic conglomerate, sand stone, shale, limestone and so on, and these sedimentary layers include gypsum and halite layers of marine evaporite origin (WEN, 1965). The Tianshan Mountain Ranges located in the northern side of Tarim Basin is composed of varieties of rock types. The high and high-middle altitude zones consist mostly of Paleozoic metamorphic and igneous rocks, a part of the high-middle altitude zone, low altitude zone and front zone are composed of Mesozoic and Cenozoic sedimentary rocks. Especially, a great amount of halite and gypsum of marine origin are present in the Cretaceous and Tertiary layers of the low altitude zone at the southern foot of the Tianshan

Mountain Ranges (WEN, 1965). The salt deposits and carbonate rocks formed at the marine transgression to the western Tarim areas at the late Cretaceous and early Tertiary Periods distribute at the southern front of Tianshan Mountains, the northern front of Kunlun Mountains and the Mazatage Mountains (TANG *et al.*, 1989; MA *et al.*, 1991). In the Huoyanshan Mountains of Turpan Basin, there exist Cretaceous sand rocks and mud rocks comprising gypsum layers and thick Tertiary sandy and muddy rocks containing halite and gypsum layers of lacustrine origin (ref. Geological Map of Turpan Basin). In addition to these salt deposits of marine and lacustrine origins, the Quaternary salt deposits which accumulated at the subsurface of the alluvial-diluvial fans extending at the foot of Tianshan, Kunlun and Arjin Mountains is another important source of salt materials. Especially, mineralized masses consisting mainly of gypsum distribute widely in the fan sediments and fluvial terrace sediments extending from Yecheng, Pishan, Qiemo to Ruqiang at the southern margins of Tarim Basin (CHEN *et al.*, 1991). Around the marginal areas of the Taklimakan Desert in Tarim Basin, there are seasonal floods in spring and summer in the flood plains extending at the foot of Kunlun and Tianshan Mountains (YOSHINO, 1997). The flood water brings about not only reaccumulation of salt materials in the sediments but also enlargement of saline lands by dispersing water-soluble salts. The conspicuous regional variation of stable isotope ratios of Sr and S of salt precipitates in the saline lands suggests that the occurrence of these local salt-supplying sources (YABUKI *et al.*, 1993, 1996).

4. Conclusion

The vertical distribution of water-extractable Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} in the soil profile indicates that the deposition of salts in the surface zone of the ground are caused by the capillary rising of salt-containing ground water under the dried environment. The distribution of salts is usually highest in concentration at the top surface of the soil section as indicated by the soil profiles of Jiashi, Zepu, Akesu and Kuerle. However, the vertical distribution pattern of Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} in the soil pro-

files is affected by the action of water such as raining and flood. Namely, the peak of easily soluble salts is inclined to shift to the subsurface zone due to the penetration of rain water to the ground and the wash-out of salts by flood water. Especially, as seen in the flood plain at Yecheng, the deeper, downward shifting of Na and Cl peaks and the decrease of Ca, Mg and SO_4^{2-} toward the ground surface show the influence of flooding water. In Xinjiang, China, *i.e.*, the peripheries of the Taklimakan Desert in Tarim Basin, the southern periphery of Zhungar Basin and the central part of Turpan Basin, it was found in this work that various kinds of evaporitic salt materials are present in saline lands. The major salt materials occurring in the soils of saline lands are halite (NaCl), thenardite (Na_2SO_4) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and accessory salt minerals are bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hexahydrite ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and humberstonite ($\text{K}_3\text{Na}_7\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). It is interesting that such rare minerals as eugsterite, konyaite and humberstonite were found in Xinjiang. Of these, the occurrence of humberstonite at Shaya, Xinjiang, is the third one next to Chile and U.S.A. As seen in the chemical trend of natural waters in Turpan Basin, the water quality is inclined to change from the Ca-HCO_3 type in the source of mountain area to the $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$ type in the desert area concentrate through the $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ type in the oasis zone. This trend is coincident with the chemical trend of natural waters during evaporation, and also explains the dominant occurrence of gypsum, thenardite and halite during the process of evaporitic precipitation.

The most probable sources which supply Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , and SO_4^{2-} to the saline lands are: (1) the Tertiary salt deposits mostly consisting of halite (NaCl) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) which distribute in the Kunlun and Tianshan Mountains around Tarim Basin and the Huoyan-shan Mountains in Turpan Basin, and (2) the Quaternary salt crusts and the present-day redeposited salt materials in the subsurface zone of diluvial-alluvial fan sediments.

Acknowledgments

The soil, water and salt samples studied in this work were taken during the field survey in Xinjiang area in 1987-1994. We are grateful to Prof. Xun-Cheng XIA of Lanzhou Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences, Prof. Chong-Shun LI and staffs of Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Chinese Academy of Sciences, and Mr. Hua-Sheng QIU of the International Cooperation Office of Chinese Academy of Sciences for their cooperation. This work was carried out by the financial support of the Science and Technology Agency of Japanese Government during 1989-1994 fiscal years.

References

- CHEN, H.-Z., JIN, J., DONG, G.-R. and WANG, Y. (1991): Gypsum polygon in the north piedmont of Kunlun and Arjin Mountains and their paleo-environment significance. *Quaternary Glacier and Environment of Western China*, Sci. Publ., Beijing, 306-311.
- EUGSTER, H.P. and HARDIE, L.A. (1978): Saline Lakes. In LERMAN, A. ed., *Lakes - Chemistry, Geology and Physics*, Springer, 237-293.
- ERIKSEN, G.E., HOSTERMAN, J.W. and St. AMAND, P. (1988): Chemistry, mineralogy and origin of the clay-hill nitrate deposits, Amargosa River Valley, Death Valley Region, California, U.S.A. *Chem. Geol.*, **67**: 85-102.
- HARDIE, L.A. and EUGSTER, H.P. (1970): The evolution of closed basin brines. *Mineral. Soc. Spec. Paper*, **3**: 273-290.
- MA, B.-L. *et al.* (1991): *Tarim Petroleum Geology* (5). Sci. Publ., Beijing, 195 pp.
- MINISTRY OF GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (1993): *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Geological Memoirs, Ser. 1, No. 32*. Geological Publishing House, Beijing, 844 pp.
- MROSE, M.E. *et al.* (1970): Mineralogical studies of the nitrate deposits of Chile. III. Humberstonite, ($\text{K}_3\text{Na}_7\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), a new saline mineral. *Amer. Mineral.*, **55**: 1518-1533.
- OKADA, A., YABUKI, S. and LIU, C.-Q. (1992 a): Studies on the salt precipitation and accumulation in the desert area. *Ann. Rept. Japan-China Joint Study on Desertification*, 156-192.
- OKADA, A., YABUKI, S. and LIU, C.-Q. (1992 b): Distri-

- bution of salt-constituting chemical species in the desert soils of the Turpan Basin and Zhungar Basin, Xinjiang, China. *J. Arid Land Studies*, 2: 29-37.
- OKADA, A., YABUKI, S. and LIU, C-Q. (1994): Studies on the salt precipitation and accumulation in the desert area. *Ann. Rept. Japan-China Joint Study on Desertification*, 130-157.
- OKADA, A., YABUKI, S. and UEDA, A. (1995): Studies on the salt precipitation and accumulation in the desert area. *Phase II Rept. Japan-China Joint Study on Desertification*, 135-159.
- SKARIE, R.L. *et al.* (1987): Evaporite mineralogy and ground water chemistry associated with saline soils in Eastern North Dakota. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 51: 1372-1377.
- TANG, T-F. *et al.* (1989): *Cretaceous to Early Tertiary Marine Sediments and the Origin of Petroleum in Western Tarim Basin, Xinjiang*. Sci. Publ., Beijing, 155 pp.
- VERGOWEN, L. (1981): Eugsterite, a new salt mineral. *Amer. Mineral.*, 66: 632-636.
- WEN, Z-W. (1965): *Xinjiang Soil Geography*. Sci. Publ., Beijing, 471 pp.
- YABUKI, S., OKADA, A., TAKAHASHI, K., LIU, C-Q., ZHANG, J., FAN, Z-L. and CHANG, Q. (1993): The compositions of strontium isotopes in water, soil and salt samples from the desert area of Xinjiang, China. *Proc. Japan-China Intern. Symp. Study on Mechanism of Desertification*, 227-235.
- YABUKI, S., OKADA, A., UEDA, A., FAN, Z-L. and CHANG, Q. (1996): The behavior of ions from soluble salts in inland waters around the desert area, Xinjiang, China, from the viewpoint of isotope geochemistry. *J. Arid Land Studies*, 5: 195-216.
- YANG, S., WU, S-Y., LI, J-D., CHEN, W. and HONG, L. (1993): *Evaluation and Utilization of Water Resources in the Taklimakan Desert Areas*. Sci. Publ., Beijing, 330 pp.
- YOSHINO, M. (1997): *Desertification in China*. Taimeido Publ., Tokyo, 301 pp.
- ZHU, Z-D., LIU S., WU, Z. and DI, X-M. (1986): *Deserts in China*. Inst. Desert Res., Acad. Sinica. Lanzhou, 132 pp.

中国，新疆の塩類化土地の蒸発残留塩類物質

岡田昭彦*・矢吹貞代*・劉 叢強**・上田 晃***・樊 自立****・常 青****

タリム盆地のタクラマカン沙漠周辺地域，ジュンガル盆地の南縁地域やトルファン盆地などの中国，新疆の乾燥地域には多くの塩類化土地が分布し，種々の蒸発残留塩類鉱物が存在する。主な塩類鉱物は，halite(NaCl)，thenardite(Na_2SO_4) および gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) であるが，そのほかに bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)，glauberite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$)，eugsterite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，hexahydrite ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)，konyaite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)，humberstonite ($\text{K}_3\text{Na}_7\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) などの塩類鉱物が認められる。乾燥地では，地下水位が地表に近くなると地下水が地表に向かって毛管上昇し，地表付近の土壌に溶存成分を析出し，塩類集積が起きる。塩類を構成するナトリウム，カルシウム，マグネシウム，塩素，硫酸イオンなどのイオン種を供給する源として最も可能性の高いのは，(1)タリム盆地の周縁の天山山脈や崑崙山脈，トルファン盆地の火焰山山系に分布する第三紀起源の塩類堆積層，(2)天山山脈や崑崙山脈の前山地帯の麓に発達する沖・洪積扇状地の堆積物中に分布する第四紀～現世起源の塩類堆積層と考えられる。

JALS

* 理化学研究所

(受付：1997 年 5 月 30 日，受理：1997 年 7 月 28 日)

** 理化学研究所，現所属：中国科学院地球科学中心

*** 三菱マテリアル株式会社中央研究所

**** 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所

特集 第7回沙漠工学講演会講演要旨集

日本沙漠学会沙漠工学分科会*

概要

本講演要旨集は、日本沙漠学会沙漠工学分科会主催で行われた第7回講演会の講演内容をプログラムとともにまとめて示したものである。なお、遠藤 勲氏の講演Ⅰは予稿的段階の内容であり、掲載用原稿としての提出がなかったため、近い将来まとまった内容としての公表が行われることを期待し、掲載しなかった。

第7回講演会は、1997年4月8日理化学研究所研究本棟セミナー室において30名の出席者を得て開催された。

プログラム

- 14:30-14:40 開会挨拶：沙漠工学分科会長
遠藤 勲 (理化学研究所)
- 14:40-15:10 講演Ⅰ：「ポリ乳酸とバイオビレッジ」
遠藤 勲 (理化学研究所)
- 15:10-16:10 講演Ⅱ：「ジブチ国における砂漠緑化」
高橋 悟 (東京農業大学農業工学科)
- 16:20-17:20 講演Ⅲ：「二酸化炭素対策としての乾燥
地域における大規模植林」
安部征雄 (筑波大学農林工学系)
- 17:20-17:30 閉会挨拶：沙漠工学分科会幹事
安部征雄 (筑波大学農林工学系)

本分科会の現況としては、まず、この7月に幹事が改選され、新体制での分科会活動が始動したことを報告せねばなりません。それに伴い遠藤 勲分科会長の後を安部征雄 (筑波大学) が会長を引き継ぎ、新たな活動を展開しようとしています。よろしくご支援、ご協力の程お願いします。つぎに、この9月オーストラリアのカルグーリーで開催される“Desert Technology IV”へは当分科会関係者が10名以上参加します。その報告会も企画されていますので、「おあしす」等の情報をご注意ください。乾燥地に関する教科書を目指した「沙漠工学」(森北出版)の刊行は予定に遅れがでしたが、年度内発行を目指しております。

(文責：安部征雄)

Special Reports
Proceedings of Seventh Symposium on Arid Land Technology

The Japanese Research Group for Arid Land Technology*

This special report is the proceedings of the seventh symposium of The Japanese Research Group for Arid Land Technology held at Riken, Wako, Saitama, on April 8, 1997.

The first lecture was a general topic given by Professor Isao ENDO, Riken, on "Polylactic acid and Bio-village".

The second lecture was a case study of desert greening given by Professor Satoru TAKAHASHI, Tokyo University of Agriculture, on "Desert Greening in the Republic of Djibouti".

The last lecture was given by Professor Yukuo ABE, University of Tsukuba, on "A Large-Scale Afforestation in Arid Lands as Countermeasures of CO₂".

* c/o Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba.
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305, Japan.

ジブチにおける砂漠緑化 — Water harvesting による実践 —

高 橋 悟*

Desert Greening in the Republic of Djibouti

Satoru TAKAHASHI*

1. ま え が き

植物生育に必要な要素は光、温度、水である。このうち、砂漠のような乾燥地において欠落しているのは水である。従って自然の降雨のいちじるしく少ない乾燥地における緑化は一義的に水で規定されると考えられる。

水資源としては降雨・地下水・海水などがあげられるが、地下水・海水などの使用は有限性、単価の問題があり、少ないながらも良質である雨に着目することが一番自然であろう。

安価、簡単、そして小規模に得られる雨水を砂漠の緑化に効率的に利用することができれば、自然条件を有効に利用することになり、環境に大きくインパクトを与えないことから最適であり、あわせて土壌保全にも有効となろう。

この手法は雨水利用農業としてのウォーターハーベスティングと呼ばれるもので、世界の砂漠地帯の緑化・開発技術のひとつとして注目され期待されるものである。

東京農業大学では1991年の創立100周年記念事業としての「砂漠緑化へのチャレンジジブチ共和国での試みー」(塩倉, 1995)をきっかけとして、今日まで東アフリカジブチ共和国において

- (1) 現地の自然状況を否定的に見るのではなくできるだけ引き出し利用する
- (2) その地域にあるもの、低コストの材料の利用
- (3) 現地の人・農家でもやれる緑化
- (4) 共に汗をかく緑化

というスタンスのもとに砂漠緑化について研究をおこなっている。

この研究の過程においてジブチ共和国における緑化の

最適手段の一つとして、先に示したウォーターハーベスティングが有効であることが明らかになった。

そこで本文においてウォーターハーベスティングの定義及びその発生の背景を示すとともにジブチ共和国の社会・自然環境を述べ、これをもとにジブチ共和国での東京農業大学のウォーターハーベスティングの適用性及び施工、実践方法について報告する。

2. ウォーターハーベスティングの定義及び発生の背景

1) 定 義

ウォーターハーベスティングは乾燥地、半乾燥地において自然降雨による流出を農業に利用するために収集、貯留する技術として定義される。具体的には耕地や作物を畦畔で囲み、表面流出を貯留するものや、ワジ(潤谷)に長大な堰を築造して耕地に洪水を導くものなどである。

2) 発生の背景

ウォーターハーベスティングの成立には地域の気象、風土、なかでも降雨・土壌特性が大きく影響している。そしてこれらの要因の特性を積極的かつ巧みにとらえ利用しようとするものである。

その特徴のうち、砂漠の降雨は絶対量の少なさとともに降雨の変動率にあり、1年のうちの短期間に集中し、降れば土砂降りの豪雨である。そのため降雨は地下浸透が間に合わず水食を発生しながら地表面を走ってワジに流れ、貯留されることなく短期間に直接海に流出する。

土壌側から見ると砂漠の土壌は強い太陽エネルギーにより高温乾燥状態になり、その結果有機物を欠く、構造が貧弱で、液封現象を生じる塩類の多い不透水性土壌となる。そのため地表面に到達した降雨は土壌はく離と雨

* 東京農業大学農業工学科, 〒154 東京都世田谷区桜丘 1-1-1.

* Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, 145 Tokyo, Japan.

水の表面流出を促す。

ウォーターハーベスティングはこのような乾燥地、半乾燥地の降雨及び土壌特性を逆手にとり表面流出水を集水域で集め貯留し耕作域で利用する方法である。即ち、地域全体としては水収支を賄うことはできないが、降雨流出水を一部地域に集中させて水収支のバランスをとろうとするところの雨水利用農業技術である。

ウォーターハーベスティングの歴史を見てみるとその歴史は古く、紀元前10世紀以前から中東や北アフリカの年平均降雨量100mm以下の乾燥地を中心に営まれていた原始的な灌漑農業からと言われている。

このウォーターハーベスティングは地表流出の収集方法、構成要素によりいろいろ分類されるが、地形的要素によると規模の小さいシステムから大きなシステムへと表1に示されるような5種類のシステムに区分される。

3. ジブチ共和国の社会と自然環境

1) 社会環境

ジブチ共和国は図1に示すアフリカ大陸東部“アフリカの角”の一部にあり、エチオピア、エリトリア、ソマリア、と接した面積23,200km²（四国の1.2倍）の人口約50万の国である。そのうちの70%が首都のジブチで生活を営んでいる。ジブチ共和国の国土はアフリカ大地溝帯内に含まれるため、地形は複雑でアデン湾の0m地帯から平原状砂漠、そして1,500m近い高原地帯の岩石砂漠までを有する。

農業の観点から見ると耕作可能面積は国土の1%、牧草地面積は国土の10%で主要な経済は港湾、運輸、空港等のサービス活動が主で、農業、牧畜、及び漁業の一次産業はGNPの約4%にすぎない。

表1. ウォーターハーベスティング。

	システム名称	特 徴	備 考
1	小集水域システム	流出賦存地域から流出受益地域までの流出距離が150m未満	水盤法、等高線畦畔溝、階段畑マイクロキャッチメント
2	テラス状ワジシステム	流出水をワジの河道内に保持するため、ワジを横断する低いダムを作る	
3	丘陵斜面の暗渠システム	丘陵斜面の上部、中部で流出水を集め暗渠で農地または貯水施設に導く	
4	リーマンシステム	耕地の周囲に石または土堰を設けワジからの流出水を保持する	
5	迂回システム	ワジの流出水をワジ中の構造物でとらえ農地に導く	ウォータースプレッディング ウォーターダイバージョン

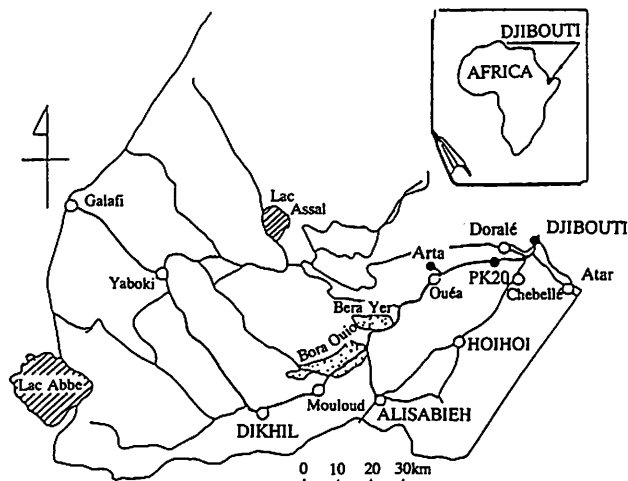


図1. ジブチ共和国の交通図。

2) 自然環境

ジブチの自然環境のうちの気象として、首都ジブチにある中央気象台の気象をとりあげてみる。

日平均気温は25℃～35℃の間で変動し、12、1月が最も低い月で、5～9月は一般に30℃を超える。

月別相対湿度は9月～5月にかけて70%以上と高く、6～8月にかけて低い値を示す。なかでも7月において相対湿度は55%と非常に低い値となる。

水面蒸発量は年間およそ3,000mmに達する。

乾燥地の緑化についてもっとも重要な降雨量は少なく、統計によると平均年降雨量は138.3mm(1901～1990年)となり、東京の値に比べて1/10である。

一方、各月の降雨量分布は10月～4月は10mm以上の降雨がみられ、年間を通して雨が少ないながら月別にみると雨期と乾期に2分される。

以上から本地域の気象特性としては気温が高く、蒸発量が1年中大きい乾燥した熱帯気候地域に属する。

一方土壌についてみれば、ジブチ共和国の土壌の主体は山側においては火山性起源の酸性岩石(玄武岩)の分解から生成されたものが主体をなし、母岩の分解は少なく玄武岩質の岩塊礫を多く含む特徴をもつ。

海岸の平野部ではサンゴ類化石を含む岩石の土台の上にワシの沖積土を含むサンゴ、貝殻類の破片混じりの砂質の石灰土壌が主体をなす(高橋, 1992)。

各地点の土壌は、主体をなす両土壌のもと海岸土壌、丘陵土壌、砂漠土壌、山岳土壌に分けられ、生成条件、塩類集積、乾燥収縮などの多様な土壌環境変化によりそれぞれ表2に示すような特徴ある物理性を示し、気象条件とからみ一部の土壌で土壌災害としての風食、水食が発生している。

植物栽培の灌漑用水としては現在地下水が主体として使用されている。

灌漑用水の化学性としてのpH、ECの値は表3に示す。

Doudaの灌漑用水のpHはほぼ中性に近いが、Ambouli及びPK20の灌漑用水のpHは比較的高い値を示す。

また、ECについてはDouda及びAmbouliにおいて非常に高い値である。

表3. 灌漑用水の化学的性質。

採取地	pH	EC (mS/cm)
Ambouli	7.70	3.02
Douda	7.07	3.60
PK-20(源水)	7.28	1.45
PK-20(灌漑用水)	7.70	1.72
市販の飲料水	7.03	0.59
ホテル水道水	7.28	3.28

したがって現在を含め灌漑水として使用するには塩類集積などをおこしやすい状態の水であることが知られる。

4. ジブチ共和国におけるウォーターハーベスティングの可能性

ジブチの自然条件がウォーターハーベスティングの発生の背景に十分に合致し、ウォーターハーベスティング施工に適しているかをウォーターハーベスティングの成立要因である降雨因子及び土壌因子から検討してみよう。

まず、降雨因子の一つである降雨の変動率をとりあげた。表4、図2はジブチの年降雨量の変動率及び月別降雨量の変動率を示す。

年降雨量の変動率は東京に比べて4.5倍と大きい値を示している。

月別降雨量の変動率は東京ではほとんどの月で50%以下であるのに対し、ジブチでは200%以上である。

このように年降雨量、月別降雨量の変動率からみてジブチの降雨は変動が激しいことが明らかである。これについてさらに詳細に検討するため日降雨量について考えてみた。

1990年のPK20地点での月別降雨量分布、降雨量の最も多い月である2月の日降雨量を図3、図4に示す。

2月の総降雨量は195.4mmであり、そのうち189.8mmが2月16日に降り月間降雨量のほとんどが1日に集中している。さらに2月16日の189.8mmは1990年の総降雨量の53%に相当し、これより1年の降雨量は年数回の降雨によるものであることがうかがえる(高橋ほか, 1994)。

表2. ジブチ土壌の基本的物理性。

土壌名	地点	比重	比表面積(m ² /g)	強熱減量(%)	土性
海岸土壌	Douda	2.733	14.0	9.34	Loamy Sand
丘陵土壌	PK20	2.755	38.4	30.00	Loam
砂漠土壌	Bara	2.808	73.5	12.13	Light Clay
山岳土壌	PK52	2.895	47.5	3.97	Loam

表 4. 年降雨量の変動率.

	最大年降雨量 (mm)	最小年降雨量 (mm)	年降雨量の最大最小の差(mm)	平均年降雨量(mm)	変動率 (%)
ジブティセルベント					
(1900~1991)	692.9	9.5	683.4	138.3	78.0
東京					
(1961~1990)	1,937.5	879.5	1,058.0	1,405.3	17.4

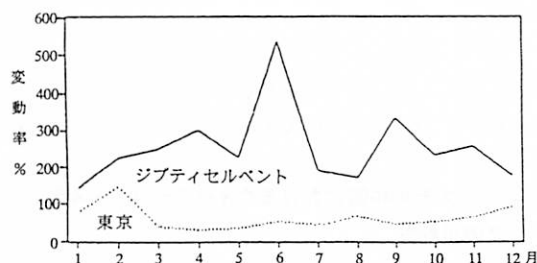


図 2. 月別降雨量の変動率 (1961~1990年).

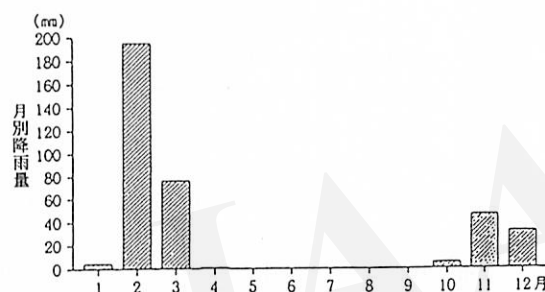


図 3. PK20地点の月別降雨量 (1990年度).

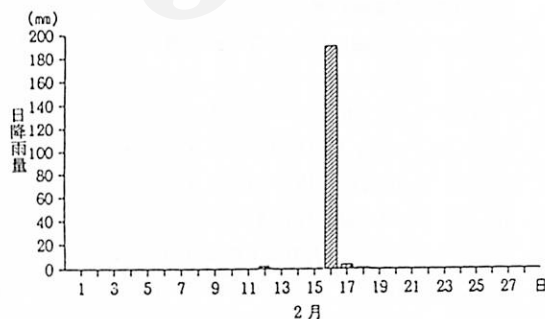


図 4. PK20地点の2月の降雨量 (1990年度).

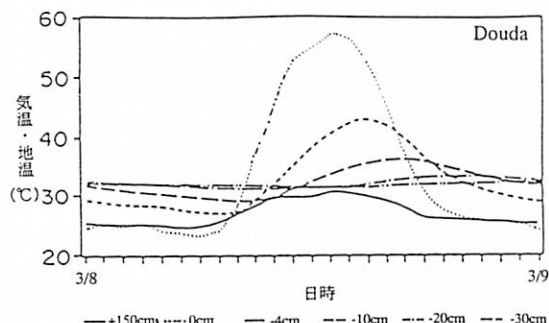
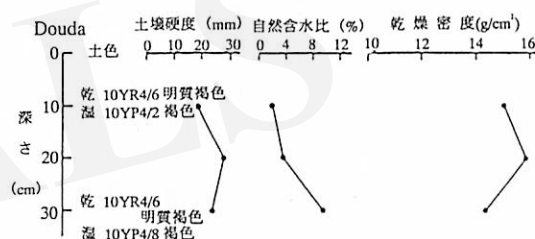
図 5. ジブチにおける気温・地温の変化.
3月8日0:05~3月9日0:05.

図 6. 土層断面における基本的物理性.

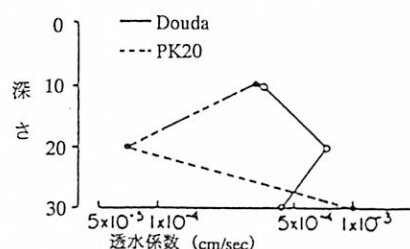


図 7. 深さ別透水係数.

従って、ジブチの雨も驟雨性の性格を持つ雨で1年のうちの短期間に集中し、降れば土砂降りの水食を伴う雨となり、熱帯乾燥地特有の雨の降り方で、植物生育に有効に利用されずに直接海に流出する雨であることが知られる。

続いて土壌因子的に見てみる。図5は気温と各深さにおける土壌温度を示したものである。土壌温度は気温に

比較してはるかに高い温度を示し、土壌自体、高度の乾燥を引き起こしていることが知られる。そのため土壌の物理性も熱帯乾燥地土壌特有の物理性を表わしていると推察される。図6, 7, 8は海岸平野土壌、丘陵地土壌の土層断面における基本的物理特性、透水性及び間隙特性を示したものである。

土壌水分は極端に少なく、土壌の乾燥密度は大きく、

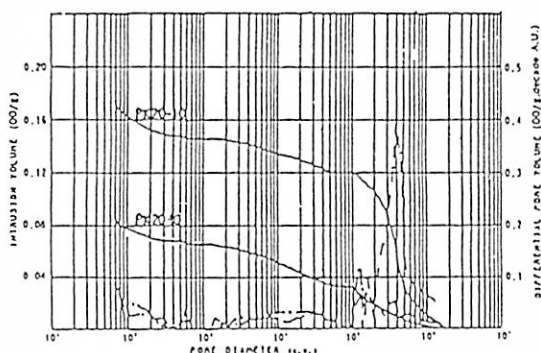


図8. PK20地点の間隙分布特性.

土はよく締まっているのが理解できる。それに伴い土壌硬度も作物根群伸長に不適なほどに非常に大きい値を示している。

土壌間隙を見ると乾湿の影響を強く受け、土壌間隙量は少なくそのうえ大間隙が少ない特徴が認められる。透水性も、土性のわりに両地点とも小さく、およそ 10^{-4} cm/secのオーダーとなっている(TAKAHASHI *et al.*, 1995)。

これらの土壌物理性をまとめてみると、ジブチの土壌は砂質土、粘性土に関わらず構造が貧弱で、液封現象を生じ、不透水性土壌状態にあることが知られよう。

そのためジブチにおいても地表面に到達した降雨の多くは地表面を走って流出し、ウォーターハーベスティングの適用できる土壌状態となっているものと思われる。

一方、PK20のような丘陵土壌は表5の耐水食性スレーキング試験結果から明らかなように、Doudaのような海岸平野土壌に比べて水食に弱いことも知られる。

以上、ウォーターハーベスティングの成立を降雨因子、土壌因子から検討してきたが、まさにジブチの降雨特性、土壌特性はウォーターハーベスティングの成立要因として適応できる条件にあるものと考えられる。

このことを裏付けるためにジブチの自然環境を観察してみると2つの注目できる事象が観察できる。その1つとしては写真1で示されるように自然の凹地の植生が旺盛であること、そしてもう1つは写真2で示される山の谷部の水の通り道の植生が旺盛であることである。

このことは驟雨性の降雨とは言え、降雨を何らかの方法で一時貯留させることにより植生を生やすことができることを意味している。即ち、年降雨量は少なく植物生育に必要な水量の絶対量が不足しているとは言え、1つの流域に降った雨を貯留しその量に合わせたような土地及び水利用システムの改善を試みていけば緑が再生でき、そのための工法を今後検討していくことが大切であることを示唆している。その具体的手段としてウォーターハ

表5. スレーキング試験による崩壊率.

		スレーキング	
		120秒崩壊率(%)	300秒崩壊率(%)
1.	Douda	9.5	17.4
2.	PK20	12.7	31.8



写真1. 自然の凹地の植生.



写真2. 山の谷部の水の通り道.

ーベスティングがあげられることをジブチの自然は証明しているものと確信する。

5. ウォーターハーベスティングの施工

ジブチの自然は、ウォーターハーベスティングを実施するのに可能な自然条件を有していることが明らかであることから、その施工を試みた。

施工地は首都ジブチより100km離れたアリザビ市の郊外の山から平地部にいたる扇状地である。

集水方式は、砂漠緑化のスタンスとして述べたように①その地域にあり低コストの材料の利用②現地の人、農家の人でもやれる方法を重視して、ウォーターハーベスティングのリーマンシステム的一种である雨水の流出の下流に掘った土塊を盛る簡単な溜池状の図9のような構

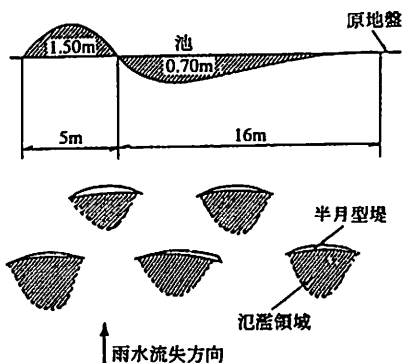


図9. 小溜池.

造を有するいわゆる半月堤といわれるものである。この半月堤の築造にはブルドーザーを用いて行い、14個の半月堤を作った。そして、14個の半月堤のうち5個を対照区とし、残りの9個の半月堤にストーンマルチ、ソールシーダー、ビート散布、樹木種子播種、牧草の移植などの処理を加えて集水及び各種処理の効果比較実験を始めた。

この結果は、現在観察中であり後日にその成果を報告できるものと期待しているところである。

7. おわりに

東京農業大学砂漠緑化チームはジブチにおいてウォーターハーベスティングを用い、緑化を進めようと実践を試みてきている。

このウォーターハーベスティングの技術、そしてなぜジブチでウォーターハーベスティングでの実践かということを理解してもらうために

- (1) ウォーターハーベスティングの定義及び発生の背景
- (2) ジブチの社会、自然環境
- (3) ジブチでのウォーターハーベスティングの可能性
- (4) ウォーターハーベスティングの施工

という流れに沿ってこれまで明らかにしてきた。砂漠緑化は、並大抵な事業ではないが、人類にとってやらねばならない事業であることは誰しも十分に理解している。

しかしながらその手法にはいろいろな方法があり、その選択にはその国の社会、自然環境条件、資金、技術度などいろいろな要素がかかわってくる。

東京農業大学では、はじめにのべた

- (1) 現地の自然状況を否定的に見るのではなくできるだけひきだし利用する
- (2) その地域にある材料、低コストの材料
- (3) 現地の人、農家の人でもやれる緑化
- (4) とともに汗をかく緑化

を基本にして現地にあった緑化を模索してきた。

砂漠緑化の実践に入るまでには周到な準備、計画が必要である。今後、いろいろな形での砂漠緑化が実践されるであろうがそれらの方々がどのような考え方、手法で行われるかわからないが、基本になるのは実践のためのスタンス及び方法が固くかたまっていることが重要である。そのために今回述べてきたような私たちの、東京農業大学の考え方、実践への道のりなどが参考にできれば大変喜ばしいことと考える。それと同時に樹木が1年、2年で育たないように砂漠緑化も1～2年でやれるものでなく少なくとも10年を1スパンとして考えることが必要な事業であると痛感されるところである。

参考文献

- 塩倉高義編著(1995):『砂漠緑化へのチャレンジジブチ共和国での試み』信山社サイテック。
- 高橋 悟(1992):ジブチ共和国南部の緑化地の灌漑について。農業土木学会誌, 60-11, 9-12。
- 高橋 悟・高橋久光・横山慎二(1994):ジブチ共和国南部の降雨特性について。東京農業大学農学集報, 39-3:149-158。
- TAKAHASHI, S. and WATANABE, F. (1995): Physical properties and erodibility of soil in the southern district of the Republic of Djibouti. *J. Agricultural Sci., Tokyo Nogyo Daigaku*, 32-45.

二酸化炭素対策としての乾燥地域における大規模植林

安部征雄*・小島紀徳**・山田興一***

A Large-Scale Afforestation in Arid Lands as Countermeasures of CO₂

Yukuo ABE*, Toshinori KOJIMA** and Koichi YAMADA***

1. はじめに

地球温暖化問題における二酸化炭素の有効な削減策の提示が急がれており、太陽エネルギーを利用した陸上生態系での生物的固定法が現実的な方策として有望視されている。すなわち、水資源の希薄さゆえに炭素固定量の少ない沙漠、乾燥地を大規模植林により固定量の多い生態系へ転換することが対策となりうると考えられる。しかし、対策を具体的な形で実施に移すための方法論はまだ確立されておらず、大規模植林計画に対応した現況の把握やそれらを基にした計画の可能性および実施効果などの多くの課題の検討が望まれている。

そこで、本報では西オーストラリア州を例にとり、乾燥地・半乾燥地域における主に年降水量の変化に伴う植生または植林の変化状況と年降水量200mmの大規模植林対象予定地域の植林に関連する条件の調査を行った結果を報告する。

2. 二酸化炭素問題と乾燥地域

化石燃料の使用に伴う二酸化炭素の年間排出量は炭素換算で約60億トンと見積もられている。このうち分散発生源からの45億トンの炭素を陸域の植物の光合成作用を利用して炭水化物に変換し、蓄積しようとする考えの可能性の検討が行われている。植物のこの機能を人為的に積極的かつ組織的に利用する方法として植林事業が位置づけられるが、本来植生量が少ないところに植林を行い、炭素固定量の純増によって効果を発揮することを図

らねばならない。そしてさらに植林事業は、地球の温暖化の原因となる二酸化炭素対策として有効なレベルにするためには、大規模に実施しなければならない。この2つの条件を備えた土地として従来降水量の不足により十分な活用がなされなかった広大な乾燥地域が考えられる。

対象となる世界の乾燥地域の区分とその面積は、1991年 UNEP の報告の分類によれば、極乾燥地980万 km²、乾燥地1,570万 km²、半乾燥地2,310万 km²で、合計4,860万 km²、世界の全土地面積の34%に当たる。しかし、極乾燥地を利用した植林は乾燥、半乾燥地の植林と植生維持の考え方が基本的に異なるので、ここでは対象としない。乾燥、半乾燥地域に限定しても降水量は絶対的に少なく、その降り方も不規則性と量的・地域的な集中度が特徴である。極乾燥地と乾燥地との境の年平均降水量は100mm程度、乾燥と半乾燥地との境は一般的には250mm前後、乾燥地域の上限は500mm前後を目途とすると、年平均降水量100-500mmの地域が大規模植林計画の対象と考えることになる。

安定した状態での生態系の炭素固定速度は、熱帯草原150t/km²/y、温帯草原250t/km²/y、低木林300t/km²/y、沙漠20t/km²/yである。これらの律速因子の第一は降水量で、その多少によって生産される植物量も大きな幅を持つ。第二の律速因子は土壌養分で、乾燥・半乾燥地域は生存できる有機物が少なく、水分の少ない環境で生き残れる小動物や微生物も限られてくるため、それらの総合的な営みによって自然に生成される持続的な成分は絶対的に不足している。

乾燥地域に大規模な植林を行い、温帯林程度の植生密

* 筑波大学農林工学系、〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1.

** 成蹊大学工学部、〒180 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1.

*** 東京大学工学部、〒113 東京都文京区本郷7-3-1.

* Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba. 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305, Japan.

** Faculty of Engineering, Seikei University. 3-3-1 Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo 180, Japan.

*** Faculty of Engineering, University of Tokyo. 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

度を実現すると、一つの目安として100km 四方の土地で約1億トンの炭素が固定できると試算されている。単純に計算すると、世界で毎年40カ所ほどの1万km²の土地で植林が可能ならば排出量は固定できることになる。当然排出量の規制も進むであろうから計算よりは少なくても済む事態も予想される。ともあれ、ここでは年間降雨量が100mm から500mm の乾燥、半乾燥地域において大規模な温帯林レベルの植林計画の実現が原理的に可能か否かを検討しなければならない。

3. 西オーストラリア州の降水量と植生量との関係

西オーストラリア州の年降水量は、図1に示すように、州の南西端から内陸に向かって規則的に漸減しており、それに伴って土地の利用形態も生産密度が低下する方向で変化している。すなわち、州南西端部の多降雨地域はあらゆるタイプ農業が可能であるし、降水量300-600mm までの州南西部では小麦栽培などの生産性の高い農業形態が可能で、オーストラリアの重要な農林産物生産地帯を形成している。したがって、本計画の趣旨による降水量300-600mm 地域の新規植林計画への利用は、食料生産基地としての利用と競合するため、必要性

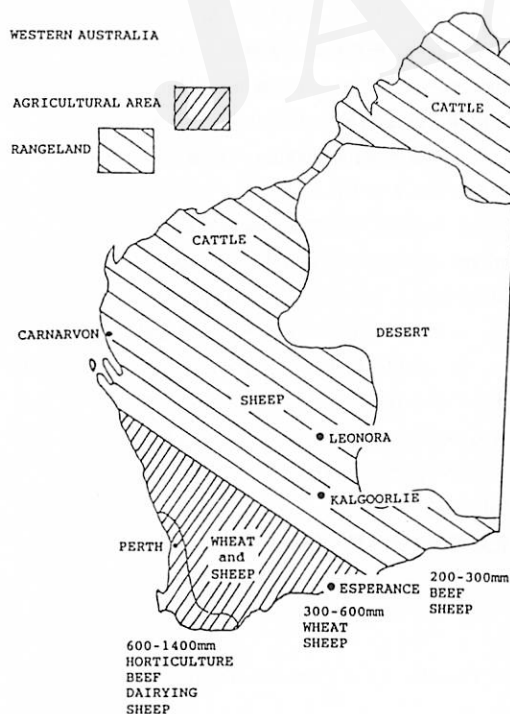


図1. 西オーストラリア州の年降水量と土地利用。

が最高レベルまで高まらなないと実現できないと予想される。それに対して、降水量200-300mm の水準になると放牧が主となり、羊や牛の低密度の生産が大規模に行われる。この地域が最も広大な面積を持ち、実質的な植林計画の対象地となる。200mm 以下の内陸地域は「沙漠」と表記されているが、オーストラリアには年降水量100mm 以下の極乾燥地は存在しないものの、植林可能条件はさらに厳しくなるため、その利用は次の時代にと考えるのが妥当である。

年降水量の減少に伴う樹木を中心とした植生量の変化状態を系統的に見るため、海岸部から内陸に向けてエスペランス、カルグーリー、レオノラの3地域の現況を調査した。

写真1は、年平均降水量が500mm のエスペランスの景観で、刈り取りの終わった小麦畑の中に植林後の経過年数が異なる並木が見られる。最前列の低木は植林後1年経過、2列目は4年経過、3、4列目は20年経過した成長状態の異なる並木の例である。年間500mm の降水量があれば、基本的な手当てで自然に樹木が育つといえる。現に、エスペランスでは、このような条件を生かして写真2に示すように産業用植林も試みられており、今



写真1. エスペランスの経過年数の異なる植林。



写真2. エスペランスの産業用植林。

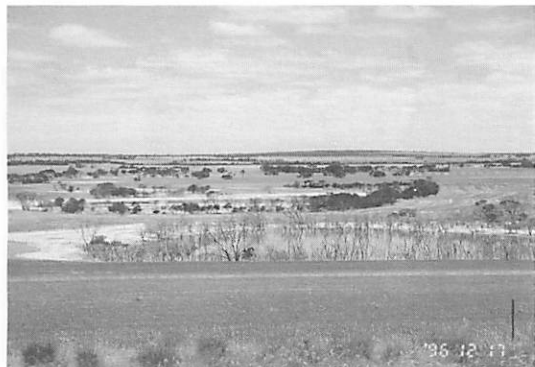


写真3. 小麦栽培地帯の塩害。



写真4. カルグーリの植林したユーカリ林。



写真5. レオノラのマルガ林。

水量が200mm程度と少なくても確保できることがわかる。しかし、その植栽密度および成長速度が年降水量の相異によって決定的な違ってくるため、雨水の有効利用をいかに図るかとその可能性があるか否かが乾燥地域における植林計画の成否の鍵であると考えられる。

4. レオノラ北西部の対象予定地域の現状

半乾燥地域における植林事業はエスペランスの例にみられるように技術的な困難性は大きくなく、むしろ社会、経済的な問題の側面が強いと判断されるので、本計画では技術的に未解決の問題を多く残し、原理的な可能性の検討を含む研究課題も多い乾燥地域に属するレオノラ地域を調査対象とすることとした。対象地域の正確な位置はレオノラの北西50kmのスタウト・メドウズ・ステーションを中心とした東西150km、南北130kmの範囲である。

対象地域は典型的な内陸乾燥気候を示し、年平均降水量およそ200mmと非常に乏しく、降水パターンは場所的・時間的にも不規則である。現在、その年降水量の3割程度しか植物に有効ではなく、残りの7割が蒸発や流出水として損失していると概算されており、その有効利用の方策が検討されている。河川は存在せず、地下水も家畜の飲料水としてのみ利用されている。土壌は有機物が非常に不足しており、地域によっては土壌内に塩が堆積している。また、ワジの流路にあたる地域では侵食、堆積が激しい。

後の発展が期待されている。また、エスペランスは小麦栽培可能地域であるため、森林伐採による開畑と継続的小麦栽培により、写真3に見られるように地下水位の上昇とそれに伴う塩害の発生が大きな問題となっている。その対策として、土地面積の約20%を植林することによる地下水位低下の効果と塩害防止の必要性が再認識され、具体的な施策となりつつある。

写真4は、エスペランスから約400km内陸に入った年平均降水量250mmのカルグーリにおける30-40年前に植林したユーカリ林の現状である。樹木の高さは10数mに達する。しかし、植栽密度は小さくなり、幹の太さも全体的に細く、不均一になる傾向がある。また、地域の何処にでも植林可能ということではなく、適地は限定されてくる。さらに内陸に300km入った降水量200mm強のレオノラにおけるマルガ林の状況が写真5である。樹高10m程度のこのマルガはここまで成長するのに約60年の歳月を要しており、成長速度が極端に低下しているのがわかる。植生がまとまってかつ比較的多量に存在する地域は雨水が集まりやすい低地または谷状部に限られるようになる。

以上の3地点の植生の現況から、樹木の大きさは年降



写真6. 良好な水利利用条件の場合の植生の繁茂状況。



写真8. 網の目状のクラックとソルトブッシュの生育状況。



写真7. 乏しい植生と土壌表面の状態。



写真9. ウォーター・ボンディング・バンク。

対象地域では全域において貧しい生態系が広がっているわけではなく、条件次第で植生が大きく、密に生長していることが写真6などによりわかる。生長の条件としては、表面流出水が流れ込んでくるか傾斜が比較的緩やかである所、土壌の塩類集積があまり見られない所、土壌の堆積地であり土壌水分がたまりやすくなっている所、という3点が挙げられる。これに該当する所を選択していくと、土壌塩類のたまりやすい所が水資源の集まりやすい所にあたるため、植生図から判断した結果、水資源の集まりやすい所が植物の生長により優先的に影響を与えていることが考えられる。

一方、植生の繁茂が見られる所から外れると、写真7に見られるように極めて植生の乏しい荒地が広がる。その境界線はかなり明確で、降水の集まり方や地中内での土壌水の貯留のされ方に明確な相異が予測され、その検討が必要である。写真7に見られる土壌表面は表面流出水で細粒土が洗い流され、固結した地盤が曝されている状態を呈しており、水も養分も欠乏した劣化土壌であることがわかる。それに対して、写真8の状況は地域の低地部に当たる個所で、表面流出水が湛水した痕跡が見

られる。すなわち、流出水が微細な粘土粒子を含んで湛水し、時間をかけて粘土粒子が土壌表面に沈積したあと、湛水が蒸発や浸透で無くなり、さらに土壌表面が乾燥で水分を失い、収縮が起き、網の目状のクラックが発生している。この状態の時に再び水が供給されると、浸潤、浸透が促進され、土壌中の水分が通常より多めに貯留されるため、植生の生長量が良くなる状況が作られた例である。

したがって、レオノラ地区では降水の地表面における滞留時間を延長させ、土壌水分をより多く貯留させるために、写真9に示すような堤高2m近くのウォーター・ボンディング・バンクの効果の検討が行われている。ウォーター・ハーベスティング法としての効果とともに、地下水の涵養や土壌浸食の防止に対しても効果を発揮するものと考えられる。この地域の今一つの特徴と問題点は、写真10に示すように、地表面下80cm程の深さに形成されたハード・パンと呼ばれる構造が緻密の硬盤層の存在である。ハード・パンは透水性も悪いいため土壌水分は通過できず、たとえ降水が多く浸透したとしても深い土層に貯留できないと考えられ、その改良が植林計



写真10. ハード・パンと根群域.

画のポイントの一つになると予想されている。また、植生の根群域も当然このハード・パンによって影響されており、根の張りは浅く水平方向に広がっているため、土壌水分も養分も限定されることになる。この点からもハード・パンに対する有効な対策が望まれる。

5. おわりに

以上の現況調査の結果から、今後の調査、研究の主な課題は、まず降雨後の表面流出水の挙動と土壌水量の評価である。次に植生の分布と量の正確な評価が重要となる。特に、乾燥地域においては利用可能水の仔細な誤差が広範囲の植生の存続に対して致命的な打撃を与える可能性が強いので、慎重かつ正確な調査が必要である。さらに大規模植林計画は様々な必要要素技術の集積とその技術群のシステマティックな長期間にわたる運用によって成功に至るものであるので、要素技術の改良、開発を目指すとともに計画全般に渡るシステムの構築が不可欠である。

なお、本報告は新エネルギー産業技術開発機構(NEDO)のサポートにより化学工学会生物的CO₂固定に関する調査委員会において実施した海外調査に基づいて作成した。

J A A L S

書 評

原 隆一：『イランの水と社会』古今書院，1997年5月，A5版，206p.，5,500円。

本書は社会学・西アジア地域研究者である著者が，1977年から1991年までの間，7回にわたって現地調査を行なったイラン東部のビルジャンド地方の農村の研究成果である。具体的な調査はビルジャンド地方のフルク村で行なわれているが，この研究はイランの農村全体を視野に入れて行なわれているため，通読することによりイランひいては乾燥地域の農村を理解する貴重な文献となっている。

全体の構成は，I章：自然環境と歴史，II章：灌漑，III章：経済構造，IV章：社会構造，V章：社会変動，終章，からなっている。まず自然，特に水と歴史的背景が説明されたのち，この二つの要因に制約された経済・社会構造と白色革命，イラン・イスラム革命の影響を受けた社会変動が説明されている。

I章-1では，まずイランの自然環境が気候（降水量）と地形（海拔高度）によって次の3地域に区分されている。1）沙漠＝降水量100mm以下で，海拔高度が200～1,000mの所—人間が生活できない地域，2）沙漠周辺地域＝降水量100～200mm，海拔1,000～2,000mの所—農牧地域，3）山岳地域＝降水量200～300mm，海拔高度2,000m以上の地域。この3地域のうち，沙漠周辺地域が水の量と水源から次の4地域に区分されている。1）北西部の多雨多水（天水）地域，2）南西部の小雨多水（河川水）地域，3）北東部の小雨多水（地下水）地域，4）南東部の少雨少水（半沙漠）地域である。この沙漠周辺地域を地形的にみると，山間の谷間から大規模な扇状地の末端にかけてであり，定点調査が行なわれたフルク村は少雨多水（地下水）地域の山麓部に位置している。

I章-2ではビルジャンド地方の自然環境と歴史が，I章-3ではフルク村の自然環境と歴史が説明されている。

III章-1ではイランでの灌漑の概況が水源・水量などをもとにして説明され，II章-2ではビルジャンド地方での灌漑方法が地表水と地下水に分けて説明されている。

III章-3ではフルク村のカナート灌漑が現地調査にもとづいて詳細に説明されており，この章の中心になっている。灌漑システム，水利慣行は非常に複雑であるが，要約すると水利権は個人所有でその単位は時間であるが，時間は水が畑に入る時間ではなく，決められたポイントで水が通過する時間である。また，旱魃の年には果

樹園を救うため一時的に水利権を共同使用するなど，乾燥地域での危機管理の方法が決められている。

III章ではフルク村の経済を支えている農業，牧畜，絨毯織りについての調査結果が詳細に説明されている。ここで説明されている実態は，主にイラン・イスラム革命前の様子であるが，これはV章で説明されている社会変動を理解するための比較材料となっている。平地部の農村は大土地所有制のもとにあり，農業が経済生活を支えているのに対し，産地のフルク村は農地が狭く水量も少ないため，農業だけでは生活を支えることができず，絨毯織りが重要な生業となっている。

IV章では著者が「村落に居住するが，農業生産者の周辺に位置する土地も耕作権もない農民」と定義するホシュネシオンを分析している。ホシュネシオンは1）大工・鍛冶屋等の職人層，聖職者，水番等からなる伝統的村抱えのグループ，2）商人，絨毯小屋所有者，運送手段所有者等の「農村ブルジョアジー」，3）その8割以上を占め，村落最下層を構成する「農業プロレタリアート」に分類され，彼等がはたしている役割，地位等が分析されている。

V章では，1962年から1979年まで実施された白色革命，1979年以降のイラン・イスラム革命と旧ソ連のアフガニスタン侵攻によって発生したアフガン難民の流入による影響が分析されている。ここでは，1）白色革命による農地改革の方法とその実行が説明され，小農の育成が必ずしも成功したとは言えず，下層農民の都市への流入が増大したこと，2）イラン・イスラム革命による農村政策はどのように実行され，どのような問題が生じたか，3）イラン東部には多数のアフガン難民が流入したが，大きな混乱は生じなかったこと，4）イランの経済成長による商品作物栽培の増大，絨毯産業の停滞が説明されている。

本書では，定点調査されたフルク村の灌漑と経済構造が数値をあげて具体的に説明されている。例えば，カナートの水利権所有者は何人であり，各個人の水利権の時間が何時間何分か，最小の水利権時間のフエンジャン（約26分）で耕作できる面積等が説明されている。また小麦，砂糖大根等農産物ごとに得られる収入，絨毯織りの収支決算等が明らかにされているので，オアシスでの生活の実態がよく理解できる。

本書はまたフルク村の実状報告だけでなくイラン全体を視野に入れて，白色革命以降20数年の農村の状況が説明されているので，イランを知る貴重な著書となっている。

（赤木祥彦）

JALS

編集委員 門村 浩(委員長：立正大学) 安部征雄(筑波大学) 小島紀徳(成蹊大学) 斉藤享治(埼玉大学)
嶋田義仁(静岡大学) 谷山一郎(農業環境技術研究所) 長島秀樹(東京水産大学)
山川修治(農業環境技術研究所) 書記：黒瀬匡子
日本沙漠学会編集委員会/〒113 文京区本駒込2-28-8 理化学研究所駒込分所内

TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389

Editorial Board Hiroshi KADOMURA (Chief Editor), Yukuo ABE, Toshinori KOJIMA, Kyoji SAITO,
Yoshihito SHIMADA, Ichiro TANIYAMA, Hideki NAGASHIMA, Shuji YAMAKAWA
Editorial Secretary: Kyoko KUROSE

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

TEL: 03-3947-7708/FAX: 03-3947-8389

本誌の刊行にあたっては文部省科学研究費補助金(研究成果公開促進費)の援助を受けた。

編集発行：日本沙漠学会/〒113 東京都文京区本駒込2-28-8 理化学研究所駒込分所内

© The Japanese Association for Arid Land Studies

TEL 03 (3947) 7708/FAX 03 (3947) 8389

定価 1,500円 (本体 1,457円)

発行日1997年 8 月25日

印刷：佐藤印刷株式会社

JOURNAL OF ARID LAND STUDIES

CONTENTS

Frontispiece

- T. MIYAZAKI: Satellite Image of Thar Desert and Desertification/Land Degradation by the Human Activities

Original Articles

- A.S. RAO and T. MIYAZAKI: Climatic Changes and Other Causative Factors Influencing Desertification in Osian (Jodhpur) Region of the Indian Arid Zone1-11
- Yongzhi LIU and Masatoshi YOSHINO: The Economic Development and Land Degradation of Oases in the Taklimakan Desert in Xinjiang, China13-22
- Yuuki YAZAWA, Yutaka SHINODA, Fumihiko YAZAKI and Tatsuaki YAMAGUCHI: Controlling Permeability and Salinity in Sandy Soils with Ammonium Humate23-33
- Tatsuaki YAMAGUCHI, Yasushi NISHIZAKI, Toyohiko HAYAKAWA, Mamdouh RIAD, Michael IBRAHIM, Nabil FANOUS, Nikolai BAMBALOV, Guennadi SOKOLOV: Arid Land Reclamation with Natural Organic Materials—Effect of Peat-Sapropel Based Ameliorant on Green Cabbage and Wheat Cultivation in the Egyptian Western Desert—35-45
- Yasuko NISHIGAMI: Desert Area in the World from the Viewpoint of Development47-52
- Akihiko OKADA, Sadayo YABUKI, Cong-Qiang LIU, Akira UEDA, Zi-Li FAN and Qing CHANG: Salt Efflorescent Materials in Saline Lands of Xinjiang, China53-67

Special Reports

- “Proceedings of Seventh Symposium on Arid Land Technology”
- Summary69-70
- Satoru TAKAHASHI: Desert Greening in the Republic of Djibouti71-76
- Yukuo ABE, Toshinori KOJIMA and Koichi YAMADA: A Large-Scale Afforestation in Arid Lands as Countermeasures of CO₂77-81

- Book Review83