

中国毛烏素砂漠における自然環境について
— 二、三の気象・土壌特性 —

神近牧男* · 山本太平**

Natural Environment on the Mu Us Desert in the
Inner Mongolian Autonomous Region of China
— A Few Characteristics of
Meteorology and Soil Factors —

Makio KAMICHIKA* and Tahei YAMAMOTO**

Summary

China has a desert area of 1,280,000km² which covers 13% of the total area of the country. With the rapid change of natural and artificial environments, there is widespread desertification, where there were plentiful grassy plains in the past. In the 40,000km² area of Mu Us Desert in the Inner Mongolian Autonomous region, the desertification phenomena caused by the conditions of meteorology, soil, salt accumulation and overpasturage has developed at a speed of 1,000km² per year since the 1950's.

This study discusses a few characteristics of meteorology, soil and water, as a preliminary step in researching the mechanism and movement of desertification. In this area which is located at latitude 37-39° N., it was found that the characteristics of meteorology, soil and water differ from other arid land area conditions.

ま え が き

中国の砂漠地帯は同国の北西部から北部にあたる

北緯37-43度の間に分布しており、大小の砂漠合せて、総面積128万km²、中国陸地総面積の約13%を占めている。

* 砂丘利用研究施設砂丘環境部門

** 砂丘利用研究施設乾燥地農学情報解析室

* *Division of Meteorological Environment, Sand Dune Research Institute*

** *Division of Arid Land Agricultural Information Analysis, Sand Dune Research Institute*

本報でとりあげる毛烏素砂漠は、中国砂漠地帯の東端の砂漠で、黄河の流れに三方を囲まれた鄂爾多斯高原にある。その面積は現在約400万haに達している。本砂漠は、解放初期に105万ha程度であったが、この25年の間に年間約10万haの速度で砂漠化が進行したといわれる。植生が途絶え、水食、風食によって砂状化した流砂群は、道路、農耕地、家屋、沼地などを埋没し、人々の生活を脅かすと同時に環境をも破壊し、砂漠を拡大するなど自然災害の源とされている。この毛烏素砂漠の拡大を防止し、流砂を固定して緑化することは、現地の重要な課題となっ

ている。

毛烏素砂漠の中央部付近に中国内蒙古自治区林業科学研究院の研究センターがある。本センターは、毛烏素砂漠の緑化と合理的利用の研究を行うため1983年に設置されたものであり、約8,400haの試験地を有する。現在、ここでは日本の研究者も混じえて共同研究が開始されようとしている。

本報は、この研究センターにおける共同研究の手はじめとして気象、土壌、水などの要因をとりあげ、それらの特性について二、三の基礎的検討を試みたものである。

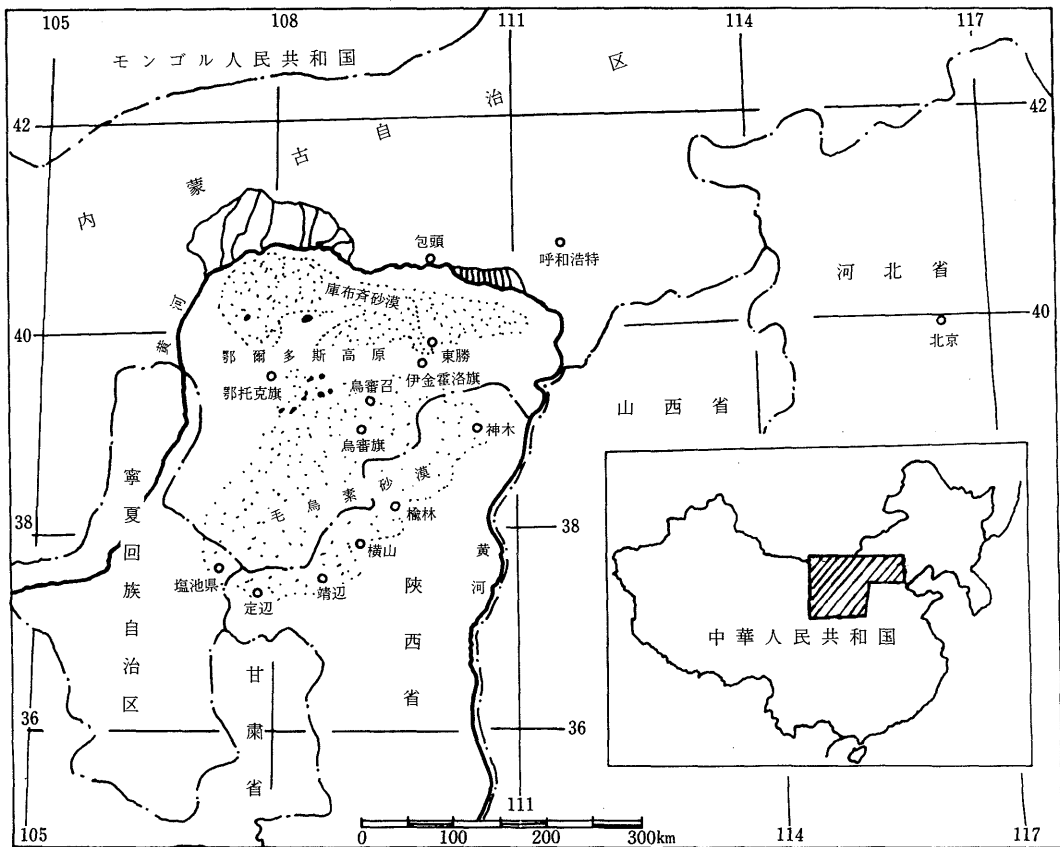


図-1 毛烏素砂漠位置図

地形・水環境

毛烏素砂漠は、図-1に示すように、北緯37-39度の中国の北部に位置している。黄河の流路が中流

において北に大きく迂回するところで、その南側に黄河に囲まれるかたちで、標高1,000-1,500mの鄂爾多斯高原が広がっている。毛烏素砂漠は、この高原の南半を占め、内蒙古自治区、陝西省、寧夏回族

自治区にまたがって分布している。今回調査を実施した内蒙古自治区にはその約60%が属する。

鄂爾多斯高原の地形は、西側の黄河に沿って南北に標高1,500–2,000m級の山地があり、それから南–南東方向に向かって緩やかな下り勾配をとり、東側の黄河に至って深い谷に連なっている。また、本高原の南端は、東西に並ぶ1,500m級の山地で遮られているので、毛烏素砂漠地帯は南東側で開いた盆地状の地形になっており、地下水が豊富である。高原の東端には、侵食によって形成された100–500mの深さの幅の広い谷が幾筋も北西から南東に伸び、本地域を流域とする河川が形成されている。河川の流量は、降水量がやや多くなる7–8月にピークを示し最終的には黄河に流入する。主要な地質は、中性代白亜紀の砂岩で構成されるが、一部の塩類地帯には第四紀沖積層がみられる。水食、風食により生成し堆積した流砂は、随所で高さ10–30mの網目状の砂丘列を形成している。砂丘は他の砂漠地に比べてあまり急峻なものではない。中国科学院では、本地域を砂漠地としてより平坦な砂質地として分類している。毛烏素砂漠の砂は冬–春の乾燥期に北西の強風により徐々に南東方向に移動している。このため砂層の厚さは高原中央部より東部、南部の砂漠周縁部で厚くなる傾向がある。毛烏素砂漠は地下水が豊富である。これは、一種の盆地状の地形に雨水が貯留されることによると考えられる。しかも、この地下水は浅い地層に豊富に分布しているので、本地域における唯一の貴重な水資源になる。一般に、白亜紀、

ジュラ紀の砂層には良質の地下水脈があり、第四紀層には塩類化した地下水が埋蔵している。本地域の自由面地下水の調査結果によると地下水は0–7mの浅い地層に数多く見られ、一井当り5–30m³/dayの平均湧出量を示す。

水質は、大部分が1,000ppm程度に塩類化し、弱アルカリ性を呈する。これらの水質は、雨水により土壌成分がリーチングされて生成したものである。自然湧出した良質の地下水は、生活用水や農業用水として利用されるが、塩類化した地下水の場合は湖沼が形成される。湖沼水は、蒸発濃縮され高濃度のアルカリ湖または塩湖を形成する。本地域の代表的なアルカリ湖の調査結果によると、湖水の構成元素は、CaやMgイオンに比べてNa、Cl、HCO₃イオンが極端に多く、これらのイオン量が90%以上に達する。

気象特性

鄂爾多斯高原は、図-1で示されるように海から約1,000kmの内陸にあり、標高は1,500–1,000mの範囲で、地勢は西が高く東ないし南東に向けて緩やかに傾斜している。

調査拠点となった毛烏素砂漠開発研究センターは鄂爾多斯高原のほぼ中央部に位置している。本研究センターは、開所して間もなく、気象データの蓄積がないので、ここでは、現地調査をした際に収集した烏審召気象観測所（研究センターの北西約15km）のデータをもとにして毛烏素砂漠の気象特性を考察する。

表-1 烏審召の気候表 (1960–1980)

	N39°06' E109°02' 海拔1,312m												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
平均気温℃	-11.4	-7.6	0.4	8.4	15.4	20.0	21.8	20.1	14.0	7.1	-1.8	-9.8	6.4
気温日較差℃	16.8	15.2	14.8	14.8	14.0	14.0	12.8	12.4	13.6	15.0	15.4	15.8	14.6
降水量(r)mm	2.0	3.0	7.3	16.8	19.8	32.1	96.0	101.5	54.0	23.4	5.0	1.1	362.0
蒸発量(E)mm	43.6	62.6	143.4	268.2	371.7	372.0	309.5	239.5	172.1	134.4	74.5	43.6	2,235.1
日照時数 hrs.	223.8	209.3	242.0	251.6	291.9	291.7	275.1	259.1	237.7	242.4	220.1	208.4	2,953.1
平均風速 m/s	3.2	3.4	3.7	4.4	4.3	3.6	3.4	3.2	2.9	3.1	3.5	3.3	3.5
E/r	22	21	20	16	19	12	3	2	3	6	15	40	6.2

表-1は主要気象要素に関する20年平均の気候値を示したものである。本表によれば烏審召の気候は、

気温の日較差、年較差が大きく、降水量が少なく、日照が多い典型的な乾燥砂漠の気候を示している。

年間の傾向を詳しく見るために、烏審召と同緯度の秋田（北緯39度）および年平均気温が同程度の旭川

（北緯44度）の2地点を選び⁹⁾、3者をハイサーグラフにより比較した（図-2）。本図より烏審召の気温は、冬（12-2月）に極端に低いが、4-10月の暖候期は秋田、旭川と大差がない。また、降水量は7-8月の夏期に多く11-3月にかけては極く少ない。図-3は、烏審召と鳥取大学砂丘研の気温年変化を比較したものである¹⁰⁾。烏審召の年平均最高および最低気温は、それぞれ13.7℃、-0.9℃、砂丘研は19.1℃、9.8℃である。烏審召は最暖月が7月、最寒月が1月で、砂丘研よりもそれぞれ約1ヵ月はやく、また、各月の気温較差が大きいなど内陸気候の特徴が見られる。

図には、降霜の目安として0℃以上、植物生育期間の目安として5℃以上および温度が十分な期間の目安として20℃以上の期間を示してみた。5℃以上の期間は、図から、烏審召で6ヵ月弱、砂丘研で8ヵ月程度であることが読みとれる。烏審召气象台における聞き取りでは、本統計期間内の最高気温、最

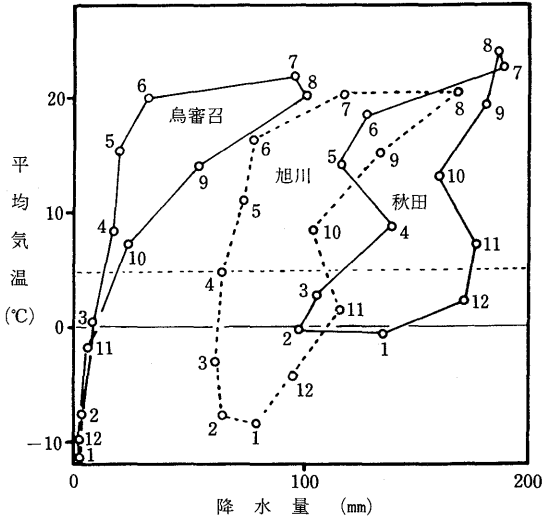


図-2 毛烏素砂漠および秋田・旭川の気候比較図

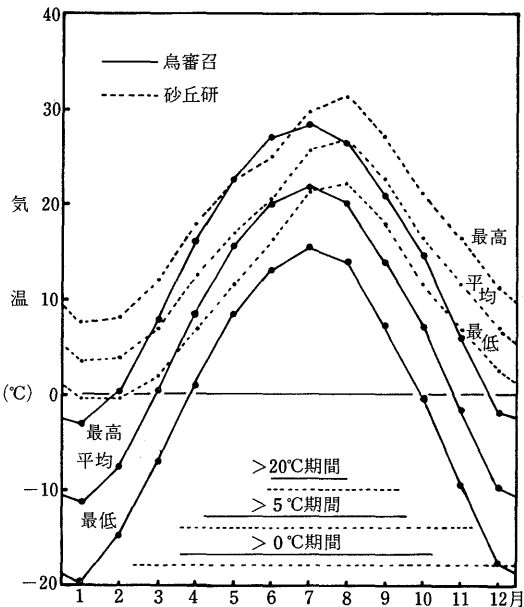


図-3 毛烏素砂漠と鳥取の気温年変化比較図

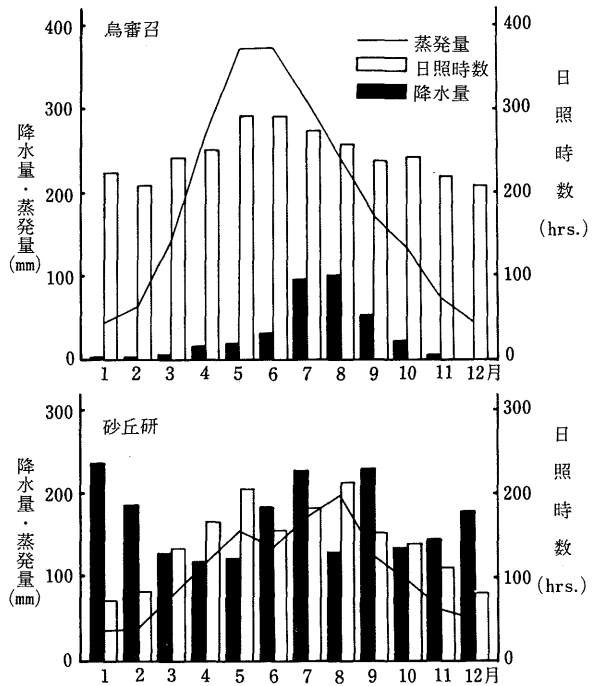


図-4 毛烏素砂漠と鳥取の降水量・日照時数・蒸発量年変化比較図

低気温の極は、 36.4°C (7月)、 -31.4°C (1月)が記録されている。

次に図-4は、烏審召と砂丘研の降水量、蒸発量、日照時数の年分布を対比したものである¹⁰⁾。降水量と蒸発量のバランスにおいて、特に春の4-6月の乾燥が著しいことがうかがえる。年雨量は、20年平均で 362mm であるが、この期間の最多雨年には 715mm 、最少雨年には 145mm の記録があり、年々の降水の変動が大きい。

表-1に戻って、風速は3-6月に強い傾向がある。最大風速が 17m/s を越える日数は、7-2月までは月に2日未満であるが、3-6月は2日を越え、特に4、5月は 3.8 日、 3.4 日で強風月であることを示している。また、風にとまなう砂塵により視程が 500m 以下になる日数は、11-6月は1日以上で、中でも3、4、5月は 2.7 日、 4.0 日、 3.0 日と多く、日本で見られる黄砂の時期と対応している。

そのほか、烏審召では凍土の観測を行っている。 10cm 、 30cm における平均的な凍結期間は、それぞれ11月21日-3月11日、11月29日-3月15日である。最大凍土深は2月に現われ、 150cm に達している。雪は1、2月に 10cm 程度積る。以上が烏審召の気象資料の概略であるが、以下に毛烏素砂漠の気候について気候学的な位置づけを試みることにする。

アジア大陸には、西アジア、中央アジア、モンゴリアに連なる乾燥地、半乾燥地が広く分布している。これらの地域は中緯度高圧帯に属し、内陸にあること、大山脈の影響を受けることなどにより降水量が少なく乾燥気候を呈していることは気候学的によく知られている⁵⁾。

毛烏素砂漠は、海岸から約 $1,000\text{km}$ の内陸にあり、中央アジア乾燥域の東端部に位置し、北にゴビ砂漠、西にタクマラカン砂漠をひかえている。また、東及び南東側はアジア大陸の東岸にあたり、東南アジアモンスーン気候帯に属する、いわゆる年降水量が 500mm 以上の湿潤アジアとなる。

また、北側は、緯度の増加とともに気温が低下し、植物期間が120日未満の寒冷アジアとなっている⁶⁾。

以上のような位置関係から、毛烏素砂漠の気候の特徴はつぎのように要約できる。

1. 内陸気候であるため、乾燥気候を呈する。ケ

ッペンの気候区分によれば、樹木気候、無樹木気候を分ける乾燥限界線上にあり、乾燥気候のうちの草原気候区に属する⁵⁾。

2. 大陸東岸気候の影響下にあること、比較的緯度が高いこと、 $1,000-1,500\text{m}$ の高原上にあることから、冬期は極く寒冷であると同時に夏期は温度が上がり、気温の年較差が乾燥地のなかでも特に大きい。

3. モンスーン気候域の北端に接しているため、夏期に雨が多い。

毛烏素砂漠の季節は概略下記のような変遷をたどる。冬は、大陸性亜寒帯気団のシベリア気団に覆われ、北西の季節風が吹いて非常に寒冷で乾燥している。最寒月の1月は月平均気温が -10°C を下まわり、凍土が形成される。

春は、引き続きシベリア気団に覆われるが、気温の上昇とともに極度に乾燥し、寒気の吹出による強風は砂嵐を引き起す。後半には大陸性熱帯気団の楊子江流域気団に覆われるようになり急速に気温は上昇する。

夏は、海洋性熱帯気団である小笠原気団の西縁にあたるため、南東の季節風が吹き高温となる。最暖月の7月の平均気温は 20°C を上回る。また、大陸東岸の梅雨を形成する熱帯前線帯が毛烏素砂漠付近まで北上してくるため雨が多くなる。

秋は、熱帯前線帯の後退、寒帯前線の南進で気温が気降下するが天候は比較的穏やかである。後半にはシベリア気団が強まって再び厳しい冬に向かう。

烏審召の気象データを基準において見ると、本地域は一般的な傾向として、烏審召より西、北の地域は、降水量は内陸気候の特性を強めて更に減少し、気温は緯度、標高との関係により低下する。例えば、図-1に示される鄂托克旗は、年降水量が 276mm 、年平均気温が 6.3°C である⁸⁾。一方、烏審召より東、南の地域は、反対に、降水量が増し気温は上昇する。榆林における雨量、気温はそれぞれ 451mm 、 7.9°C である⁸⁾。毛烏素砂漠の拡大を防止すること、流砂を固定し砂漠を緑化することが現地の重要な課題であることを冒頭に述べたが、次に、この観点から毛烏素砂漠の気候特性の問題点を要約すると以下のとおりである。

1. 冬が極めて低温であることから、緑化植物は

表-2 砂丘砂等の粒径分布

単位(%)

対象 砂丘地等	粒径 (mm)	1~	0.25~	0.05~	0.01~	0.005~	<0.001
		0.25	0.05	0.01	0.005	0.001	
流砂地の丘頂		72.1	21.7	1.3	0.6	—	4.3
丘間低地		34.6	35.0	20.3	1.5	1.5	7.1
流砂地の丘頂		77.7	19.4	—	—	—	2.9
丘間低地		70.5	21.4	2.9	0.6	—	4.6
固定砂丘地							
深さ 0~1cm		—	75.5	22.7	0.9	0.6	1.3
深さ 1~20cm		—	75.3	20.4	0.8	1.0	2.5
鳥取市砂丘畑							
開墾1年		83.6	14.9	0.2		1.3(<0.01mm)	
開墾30年		87.7	5.8	0.4		6.0(<0.01mm)	
鳥取市効外の山土 マサ土(砂壤土)		77.4(2~0.2mm)	12.1(0.2~0.02mm)	3.8(0.02~0.002mm)		6.7(<0.002mm)	

耐寒性を考慮する必要がある。

2. 気温較差が大きいいため、植物期間より無霜期間がかなり短い。

3. 表層土の凍結解消が3月一杯かかることは農業開発利用にとってひとつの制約となることが考えられる。

4. 4, 5, 6月, 温度上昇が急で植物生産には有利であるが, 乾燥が著しくしかも強風期であるため, 水分不足と流砂が重大な制約となる。

5. 7, 8, 9月は温度, 降水に恵まれて毛烏素砂漠では最も条件が良い時期であるが, 降水の年次変動が大きいいため干ばつが発生しやすい。また, 降雨は対流性で強度が強いため水食も発生しやすく, 土地荒廢の誘因となっている。

土 壤 ・ 水

毛烏素砂漠の研究センターの試験地を, 流砂地, 固定・半固定砂地, 丘間低地(季節性の湖沼を含む)の3種類の砂丘地に分類した場合, それぞれの割合は, 65%, 10%, 25%である。ここでは, おもに3種類の砂丘地を対象として取り上げ, それぞれの砂丘地の代表的な地点において土壌, 水のサンプリングを行い, 二三の理化学的特性の検討を試みた。

毛烏素砂漠全体における代表的土壌の粒径分析調査結果⁸⁾を基にして, 本センター内の流砂地, 固定・半固定砂地, 丘間低地の土壌粒径分布を, 表-2に

表-3 毛烏素砂地研究センターの固定砂地における深さ別の土壌水分特性

項目 深さ等	仮比重	圃場含水量 (容積%)	土壌水分量(容積%)		
			pF3.0	pF3.2	pF4.2
0~10cm	1.57	12.01	5.32	4.80	3.90
10~20cm	1.59	15.85	10.95	10.19	8.57
20~30cm	1.61	16.81	12.34	11.50	9.64
30~40cm	1.57	17.69	11.31	10.16	8.57
40~50cm	1.69	28.93	14.30	10.16	8.57
鳥取市砂丘砂	1.41	7.4	3.0	2.5	2.2
鳥取市マサ土	1.32	21.7	9.5	9.0	5.5

示すように推定した。また, 同表には比較のため鳥取市の砂丘畑とマサ土(砂壤土)の値²⁾を示した。3種類の砂丘地の土壌は, 0.05mm以下の粒径が比較的多いので, 全体的に細かな砂粒子を示すといえる。鳥取砂丘畑の場合は, 既に長年耕地化されていても, 0.05mm以上の粒径が93%以上を占め比較的粗い。鳥取砂丘畑の値は, 毛烏素砂漠においてむしろ流砂地の土壌に対応している。本センターの固定砂地における深さ別の土壌水分特性値等を表-3に示す。深さに伴って仮比重が増加しているため, 下層における土壌の緻密さが考慮される。これは, 採土時これらの領域に認められた, 凍土層が影響しているのではないかと推定された。深さ方向に対して, 各種水分特性値が増加するので, 下層における粘土分の増

加も考えられる。つぎに、この地点における深さ別の pF-水分曲線を作成した。これらの結果の一部を図-5に示す。ここで、土壤水分吸引圧が 0~pF3.0

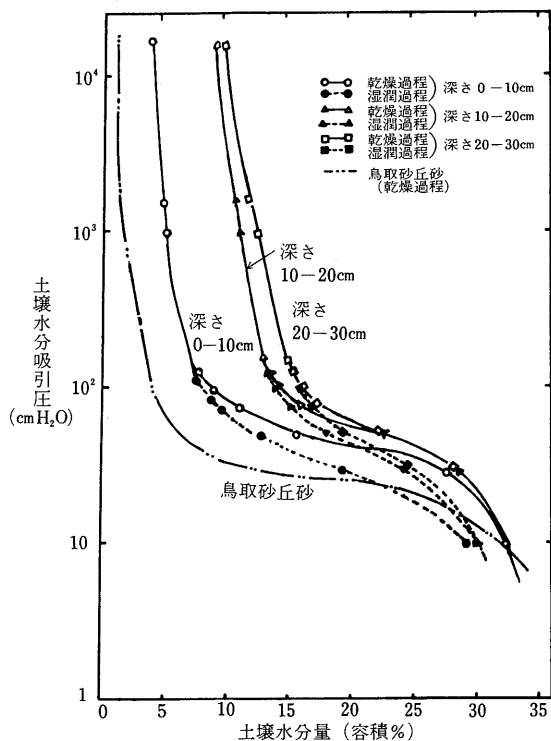


図-5 毛烏素砂地研究センターの固定砂丘地における土壤水分吸引圧と水分量との関係

の間の値は吸引法、土柱法を用い、pF3.0, pF3.2, pF4.2の値は遠心法を用いて求めた。pF-水分曲線は、深さに伴って高水分領域の方向に平行移動している。0~10cm深の土壤においても、鳥取の砂丘畑のpF-水分曲線よりも高水分領域に位置する。一般に粒径の大きい土壤ほどL字型のpF-水分曲線になり、Lの直角部分は低水分領域に分布する。粘土分の増加に伴いL字型は高水分領域に移動し、L字型がくずれてくる。これらの土壤物理的性質と、本地点が固定砂丘地に位置することから判断すれば、表-3、図-5に示した土壤は、鳥取における砂丘砂よりむしろマサ土に近い水分特性を示している。

つぎに流砂地、半固定砂地、固定砂地、丘間低地の泥炭地、季節性の沼およびアルカリ湖の周辺地における、土壤の化学的性質の一部を表-4に示す。サンプルは、アルカリ湖の周辺土壤の場合0~10cmの深さ、またその他の地点の場合30~60cmの深さから採取した。季節性の沼は、雨期に周辺の地下水が湧出したり、地表流下した雨水で形成され、乾期には消滅する。流砂地、半固定砂地および固定砂地においては、Naイオン以外の各イオンとも比較的小さい値を示す。しかし、鳥取の砂丘畑に比べこれらの土壤は、潜在的な塩類化がみられる。季節性沼の周辺土壤の場合、Na, K, Ca, Mgイオンがいずれも増加し、塩類化した沼の水質に影響されている。すなわち、沼の水が蒸発・濃縮して周辺土壤の塩類濃度を高めたものである。とくにNaイオンが顕著で

表-4 土壤の化学的分析結果 (水溶性イオンの場合)

単位 (ppm)

対象砂丘地 (採土地点)	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P
流砂地の丘頂 (センターの東方1km)	9.1	18.7	24.7	87.5	4.9	—	—
半固定砂地 (センターの圃場)	13.1	20.0	21.1	10.0	1.3	1.2	—
固定砂地 (センターの圃場)	14.4	17.4	7.8	26.5	2.6	—	—
丘間低湿地の泥炭地 (センターの東方2km)	2.5	13.3	3.8	28.5	0.9	—	—
季節性沼周辺の土壤 (センターの南方1km)	775.0	18.5	1,105.0	19,100.0	1.4	25.1	—
アルカリ湖周辺の土壤	244.0~ 1,800.0	5.0~ 6.7	50.4~ 95.4	11,900.0~ 24,800.0	3.9~ 6.6	6.0~ 30.1	1.0以下

表-5 水の化学的分析結果

単位(ppm)

測定項目	pH	電気伝導度 EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25°C)	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SAR*
灌漑用地下水 (センターの灌漑水)	7.25	569	4.1	69.6	20.5	20.6	3.1
センターの圃場内地下水 (135cmの深さ)	7.02	788	6.3	101.2	24.9	31.5	4.0
季節性の沼 (センターの西方約1km)	7.24	669	16.2	23.2	26.9	74.2	14.9
アルカリ湖	7.61~ 9.43	972~ 14,100	11.3~ 355.2	5.2~ 56.9	22.6~ 48.1	94.5~ 3,430.0	13.0~ 920.0

$$\text{SAR}^* = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2}$$

あることは、毛烏素砂漠における塩類特性の一つである。このため SAR 値が高い値を示し、土壌がアルカリ化していることが明らかである。アルカリ湖周辺土壌の場合は、Na イオンが沼地の場合よりさらに増大している。

本センターにおける灌漑用地下水、圃場内地下水、季節性沼およびアルカリ湖の化学的性質の一部を表-5に示す。灌漑用地下水は EC (電気伝導度) が 600~800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、SAR が 3~4 を示す。USDA の水質基準¹⁾に基づくと、この灌漑水は C2-S1 または C3-S1 に分類される。これは、透水性の高い土壌の場合通常のリーチングと土壌管理を行えば利用することができ、対象作物として中程度の耐塩性作物の栽培が可能であることを示している。季節性沼とアルカリ湖の水質は、これらの周辺土壌の場合と同様に、Ca、Mg、Na イオンが大きい。とくに Na イオンが増大し高い pH を示していることが土壌の場合と同様に、毛烏素砂漠に散在する湖沼水の塩類特性を示している。

あ と が き

毛烏素砂漠は、現在 80-85% が砂漠化しているので、中国内蒙古自治区が主体となり砂漠化防止・緑化 PROJECT が実施されつつある。過去の歴史において緑草地帯を築きながら、人為的、自然的な環境条件により砂漠化を余儀なくされた地帯であるので、中国側におけるこの PROJECT に対する熱意は大きい。まず 10 年計画で砂漠の緑化・固定を行い、地域

住民 (主に蒙古人) の牧畜を振興させる。この後農業に関しては、牧畜を中心としながら、果樹、蔬菜、養殖、水稻等の複合経営方式を導入し、集約化農業を発展させる。すでに毛烏素砂漠の将来を展望した 10 年周期の総合開発 PROJECT 構想がまとめられている。

ここでは、まず数多くの自然環境要因の中から、二三の気象、土壌、水の要因を取り上げ、本砂漠の特性について検討を行った。気象データは、本地域で既に中国側で実施された調査資料と烏審召の気象観測所の観測値を参考にし、土壌・水のデータは、内蒙古自治区林業科学院の試験用砂漠地の中より数箇所選んで測定したものである。本研究の内容は、これらの地域の一部の特徴について検討したものにすぎない。毛烏素砂漠の一般的特性については、今後における詳細な調査結果を待たねばならない。

本研究では、中国側の豊富な調査資料を利用させていただきながら取りまとめを行った。土壌と水の化学的分析は、鳥取大学農学部作物栄養学研究室の藤山英保氏にお願いした。

最後に、中国内蒙古自治区毛烏素砂漠における調査を企画し実施する機会を与えて頂いた鶴田泰雄氏 (国際技術交流会) に対し、厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1. 長 智男・矢野友久・神近牧男・松本 聡・山本太平. 1977. 中近東乾燥地域の農業開発にと

- もなうカンガイ方式と水管理に関する調査研究 (1). pp45-72. 海外学術調査報告書.
2. 長 智男・矢野友久・山本太平・松本 聡. 1976. 都市下水の再利用に関する研究-砂丘地におけるカンガイ利用-. pp3-15. 砂丘水文灌漑部門.
 3. 中国科学院内蒙古宁夏総合考察隊. 1982. 総合考察專集内蒙古自治区及其東部毘隣地区-水資源及其利用-. 科学出版社.
 4. 中国科学院南京土壤研究所主編. 1981. 中国土壤-改良利用・性質・肥沃度・生成分類-. 博友社.
 5. 福井英一郎編. 1966. 自然地理学 I. pp13-81. 朝倉書店.
 6. 畠山尚久監修. 1964. アジアの気候 (世界気候誌第 1 卷). pp3-9. 古今書院.
 7. 伊盟沙漠研究所編印. 1980. 鄂爾多斯地区沙漠化及其控制問題. pp15-61
 8. 北京大学地理系・中国科学院自然資源総合考察委員会・中国科学院蘭州砂漠研究所・中国科学院蘭州冰川凍土研究所. 1983. 毛烏素砂区自然条件及其改良利用. pp1-69. 科学出版社.
 9. 高橋浩一郎監修. 1983. 日本気象総覧(上), 東洋經濟新報社.
 10. 鳥取大学農学部砂丘利用研究施設. 1975. 気象累年報. 鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設.