

モンゴルの農地開発と保全に関する基礎的調査研究 I.

—特にズーンハラー土壤の物理・化学的諸性質について—

長堀 金造・天谷 孝夫

(農地整備学研究室)

Received November 1, 1976

Fundamental Investigation and Study on the Development and Conservation of Agricultural Land in Mongolia I.

—Particularly on Physical and Chemical Properties of Soils in Zūnharā—

Kinzo NAGAHORI and Takao AMAYA

(Laboratory of Land Reclamation)

The recent development of agriculture in the Mongolian People's Republic which depends mainly on animal husbandry, has been amazing. However, there are many problems to be solved in order to establish a solid base for agricultural production in such a dry region as Mongolia. The investigation of water resources, the design of the optimum irrigation system, and the means to prevent wind and water erosion of agricultural land, are major problems. In this paper, certain physical and chemical soil properties have been investigated to find the way to solve the problems. A virgin land and cultivated fields of 2, 6 and 10 years old located at Zūnharā, north of Mongolia, have been chosen for this investigation.

The chemical characteristics shown in Table 1 and Fig. 1 indicate that Zūnharā soil has been formed by accumulation of volcanic ash transported by wind and it is normal soil free from salt.

The three phase distribution shown in Table 2 and 3 and the soil moisture characteristic curves shown in Fig. 2, prove that the aggregated structure has developed and the moisture retention has increased. The particle size distribution presented in Table 4 shows that the soil has a fine texture of silty clay. Since there was a negligible difference between the soil consistency of dry samples and of wet samples (Table 5), it could be concluded that the soil has been subjected to severe dry weather for a long time. By applying Middleton's erosion ratio (Table 6), it was found that this soil could be easily eroded by water. Therefore, soil conservation programs should be carried out to protect the soil against erosion.

緒 言

1924年に世界で2番目の社会主義国として誕生したモンゴル人民共和国は、牧畜の国として著名ではあるが、国内情勢については明らかでなく、ましてや農学に関する文献・資料などはほとんどみられなかった。しかし、1972年両国の外交関係樹立、1974年の文化協定のとりきめにともない、両国の学術交流は正式に動き出した。そして、1975、76年の文部省派遣による学術調査団に参加して、長堀はモンゴルにおける農地の開発と保全に関する基礎的調査研究を行なった。

この研究課題の遂行に当りまず明らかにしておくべき事柄は、自然地理条件である。すな

わち、面積が日本の約4.5倍であるモンゴルは、平均海拔が1,580mで大陸性気候であるため、年平均気温は 2°C で冬期は寒さが厳しく11月から5月まで大部分の河が氷結するという。しかも年間の平均降水量が350mm以下でその内約70%が夏期に降るといいう乾燥気候条件下にある。一方全国土に対し牧地の占める比率は83%におよぶといわれ、地下水が豊富であることから、畜産が国家経済の最大の担い手となっているゆえんが理解されよう。

これに対し農業生産の現状を概括すると、総耕地面積は488,800haで全国土の1%にすぎず、しかも土壌が肥沃な北中央部に集中している。しかし次第に耕地面積および生産量は増大してきつつあり、これは世界的な食料危機問題への対応、ならびに遊牧産業から定着的牧畜産業へと産業構造を変革させようという国の施策にもとづくものと考えられる。よって今後も農地の開発と造成は進行するものと思われるが、土壌調査による開墾適地の選定、気象条件と水資源の調査、乾燥地域での安定した農業生産基盤づくりのための合理的なカンガイ組織についての検討、造成した農地の風食や水食に対する保全等、研究すべき課題は多い。本研究はまず第一歩として、農業生産の基盤である土壌の物理・化学的諸性質について、実験・検討を加えたものである。

調査地点は、主都ウランバートルの北方180kmに位置するズーンハラーの町にある農業試験場内の耕地である。そして小麦畑の開墾後2年、6年、10年を経過した土壌の表層土と下層土を、またそれらと比較するため未耕作上(原土)の表・下層土のサンプリングを行ない、実験・検討を加えた。なおサンプリング時期は1975年9月23日であった。

方 法

未耕作土および耕作開始後2, 6, 10年を経過した4地点において、表層0~10cmおよび下層20~30cmの2層位から採取した土について下記の項目の実験を行なった。

1. 化学性

1) pHとEC: 土水比を1:5としたサスペンションについて、pHはガラス電極pHメーター、ECは電気伝導度計で測定した。

2) 交換性塩基(Exchangeable Bases)とカチオン交換容量(CEC): Peech法に順じpH7, 1N酢酸アンモニウム抽出を行ない、抽出液中の C_a , M_g を原子吸光光度法で、K, N_a を炎光光度法で測定し、交換性塩基量を求めた。交換吸着されたアンモニウムイオンを酸性10%塩化ナトリウム溶液で再抽出し、アンモニウムイオンを測定しCECを求めた。

3) N/5塩酸可溶リン酸: 土壌を1:5の割合でN/5塩酸で抽出し、抽出液中のリン酸をバナドモリブデン酸法で比色定量した。

4) 有機態全炭素: クロム酸—硫酸希釈熱法

5) 全窒素: ケールダール法

6) 砂および粘土中の鉱物の同定: 土壌を機械分析国際法に順じて分散させ、篩別法と沈降法により2~0.05mmの砂部分と2 μ 以下の粘土部分を採取し、砂部分は除鉄後岩石顕微鏡による観察、粘土部分は各種処理の配行試料についてX線回折を行ない、それぞれの鉱物組成を決定した。

7) 炭酸カルシウムの定性: 土壌のX線回折図にカルサイト(C_aCO_3)のピークが認められたので、1N塩酸添加による発泡の状態から炭酸カルシウムの存否を検討した。

2. 物理性

1) 三相分布: 100ccサンプラーにより現地状態における含水比、乾燥密度を測定し、真

Table 1. Results of chemical analysis

The time elapsed after cultivation	Depth of soil layer (cm)	PH (H ₂ O) 1:5	EC 1:5 $\mu\Omega/cm$	Exchangeable bases me/100 g soil ¹⁾				CEC ²⁾	N/5HCl Soluble P ₂ O ₅ mg/100g ³⁾
				Ca	Mg	K	Na		
Virgin soil	0-10	7.5	81	19.5	2.3	0.6	0.2	25.2	25
	20-30	8.2	91	28.5	2.1	0.4	0.2	23.2	26
2 years	0-10	6.6	96	18.0	3.6	0.6	0.1	23.7	27
	20-30	7.9	81	27.5	4.0	0.2	0.2	23.2	22
6 years	0-10	7.8	121	25.5	3.0	0.6	0.2	22.6	32
	20-30	7.9	190	27.0	2.1	0.1	0.2	22.2	5.4
10 years	0-10	7.2	80	13.0	2.0	0.5	0.1	25.2	24
	20-30	8.2	110	32.0	4.3	0.3	0.2	24.7	8.6

The time elapsed after cultivation	T. C. ⁴⁾	T. N. ⁵⁾	C/N	Clay mineral composition ⁶⁾					CaCO ₃ in soil ⁷⁾
				Mt.	Ver.	Chl.	Mica	Kaol.	
Virgin soil	2.43	0.17	14.3	±	+	+	++	+	+
	2.40	0.17	14.1	±	+	+	++	+	+
2 years	2.17	0.18	12.0	±	+	+	++	+	±
	2.91	0.15	12.7	±	+	+	++	+	+
6 years	2.34	0.17	13.8	±	+	+	++	+	+
	2.08	0.16	13.0	±	+	+	++	+	++
10 years	2.11	0.17	12.4	±	+	+	++	+	±
	2.30	0.16	14.4	±	+	+	++	+	++

- 1) A. O. A. C. Method (Methods of Analysis of Association of the Official Agricultural Chemists) : The analysis of leaching and washing extract by NH₄OAc (PH7, 1 N).
 Ca, Mg.....Atmic extinction analysis, K, Na.....Flame analysis.
 2) Peech method : Quantitative analysis of NH₄⁺-N by-NH₄OAc-alcohol-NaCl.
 3) 0.2N HCl 1:5 extract. 4) Wakley-Black Method. 5) Kjeldahl method.
 6) by X-ray diffraction. 7) Existence of blister by HCl.

比重の結果とあわせて三相分布を求めた。

- 2) 粒径分布：国際土壌学会法によった。分散剤はヘキサメタリン酸ナトリウムを用いた。
 3) コンシステンシー：生土，風乾土のそれぞれについて液性，ソ性，収縮各限界値を求め，コンシステンシーから示される物理特性や，風乾作用について検討を加えた。
 4) pF～水分曲線：pF 2.2 までを吸引法，2.5～4.2 までを遠心法により測定した。
 5) 侵食率：ミドルトンの侵食率測定法にもとづき，各土壌の耐水食性の検討を行なった。
 6) 含水量：カンガイに際し，0～30 cm 土層における含水量を，三相分布・pF～水分曲線結果から推定し，1 回当りのカンガイ水量を求めた。

結 果 と 考 察

1. 化学性

各種実験結果をまとめて示すと，Table 1 のとおりである。

土壌母材はレス（火山灰風積土）と考えられ，遊離炭酸カルシウムを含む細粒質の土壌であ

るが、表層で遊離炭酸カルシウムは消失の傾向を示し、これは pH の低下傾向からうかがわれる。全炭素含量は2.0~2.5%と普通で、CEC も 20~25 ml/100 g 土壌と中程度の値を示し、カルシウムを主とする交換性塩基が豊富で pH は高いが、電気伝導度よりみて水溶性塩類の集積はない。砂の鉱物組成は雲母類と石英が多いのが特徴的であり、粘土は X 線回折による同定結果を示す Fig. 1 からわかるように雲母型粘土鉱物（イライト）を主成分としカオリン鉱物、パーミキュライト、クロライトを含み、わずかにモンモリロナイトをともなっている。また土壌中の植物に対する有効栄養素量も、リン酸、マグネシウム、カリウムなどについて不足の恐れはないものと思われる。

以上の結果から、耕作開始後の土壌の化学性については、耕作による全炭素含量の減少、C/N比の低下、pH の低下など、2、3 の性質に若干の変化が認められた程度であった。すなわち本調査地点における土壌の化学性に対する耕作開始後経過年数の影響は見られず、どの試料についてもほとんど同じ結果が得られ、土壌生成母材は同一であることが明らかとなった。

2. 物理性

1) 三相分布：各層位 2 個の 100cc サンプラーによる含水比ならびに乾燥密度の平均値は、Table 2 に示すとおりである。まず現場含水比は、降雨量が少ない乾燥気候地帯にあることを反映して、どの部位においても pF 3 以上に乾燥していた。また乾燥密度においては、原土の 0~10cm 層が最も大きく、本土壌は自然状態においてはかなり密に充テンされている。そして耕作により乱され小さくなり、経年的に団粒構造が発達すると思われるが、その変化の傾向は明確ではない。しかし表層では原土から 2 年以降にかけて 1.335 から 1.05~1.13 に、下層では 1.22 から 1.18 に低下していることから、原土は表層が下層より大であるが、2 年以降は逆に下層が表層より大きくなっている。また下層での経年にもなう低下はごくわずかであることから、耕うんの深さは比較的浅くせいぜい 30 cm 程度までと推測される。

真比重については Table 2 に示したように、大体 2.70~2.72 付近に位置しており、以上の結果から三相分布を計算し Table 3 に示した。原土における固相率が高いことは乾燥密度の結果から予想され、2 年以降は 40% 強で経年的な変化は見られず、いずれも心土が大であった。以上の結果から、本土壌は火山灰組成ではあるが乾燥密度や真比重は大きく、三相分

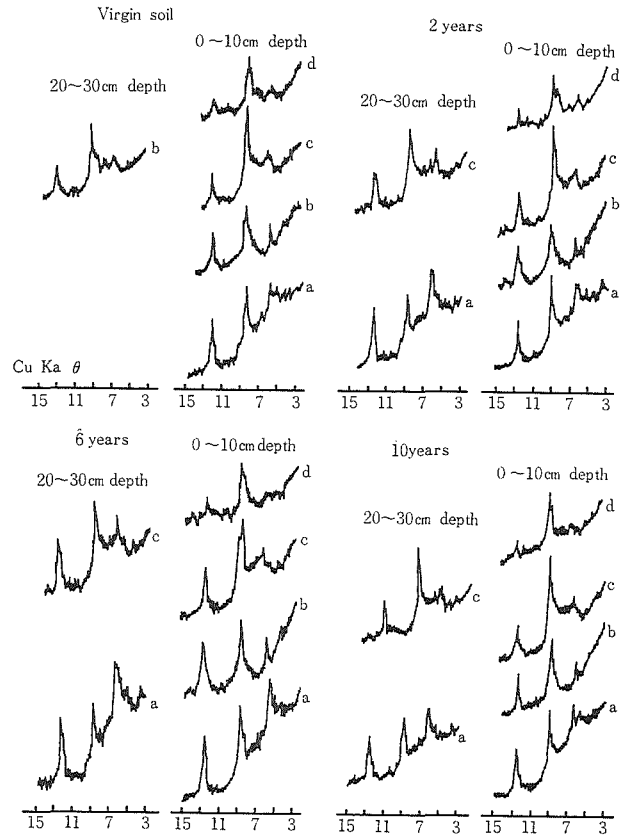


Fig. 1 X-ray diffraction pattern.

a : Mg-Air Dried b : Mg-Glycelated
c : K-Air Dried d : K-Hydrazin

Table 2. Results of moisture ratio, dry density, specific gravity and organic matter content

The time elapsed after cultivation Depth of soil layer (cm)	Virgin soil		2 years		6 years		10 years	
	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30
Moisture ratio (%)	15.82	18.65	20.47	23.73	15.77	15.20	17.18	24.47
Dry density (g/cm ³)	1.335	1.220	1.133	1.179	1.045	1.180	1.106	1.181
Specific gravity	2.722	2.698	2.712	2.727	2.717	2.751	2.714	2.719
Organic matter content (%)	4.18	3.54	3.35	3.81	3.10	2.97	2.67	3.70

Table 3. Results of three phase distribution by 100 cc sampler

The time elapsed after cultivation Depth of soil layer (cm)	Virgin soil		2 years		6 years		10 years	
	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30
Solid ratio (%)	49.1	45.2	41.8	43.0	38.4	42.9	40.8	43.4
Liquid ratio (%)	21.1	22.7	23.2	28.0	16.5	17.9	19.0	28.9
Vapor ratio (%)	29.8	32.0	35.0	29.0	45.1	39.2	40.2	27.7

Table 4. Results of particle size distribution (International system)

The time elapsed after cultivation Depth of soil layer (cm) Particle size classification	Virgin soil		2 years		6 years		10 years	
	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30
2.0-0.2 mm (coarse sand)	3.4	2.9	2.6	5.3	1.6	1.0	3.3	4.1
0.2-0.02 (fine sand)	38.7	37.9	43.8	36.4	45.6	31.9	40.8	28.6
0.02-0.002 (silt)	39.2	40.0	31.7	38.5	35.7	41.2	36.7	44.0
below 0.002 (clay)	18.7	19.2	21.9	19.8	17.2	25.9	19.2	23.2
Soil texture	SiCL	SiCL	SiCL	SiCL	SiCL	SiC	SiCL	SiCL

布からも日本における沖・洪積土壌の畑地に類似した性質¹⁾であることが明らかとなった。

2) 粒径分布：国際法による粒度分析結果を Table 4 に示した。三角座標分類によれば、6年20~30cm層が SiC(Silty clay)で、その他はすべて SiCL (Silty clay loam) となり、ほぼ同じ粒度組成となった。しかし 0.002 mm 以下の粘土分を見ると、原土の19%前後と比べて耕作により若干増加する傾向が示された。

3) コンシステンシー：生土および風乾土について、液性・ソ性・収縮各限界値を求め、その結果を Table 5 に示した。これより、どの限界値においても風乾による低下はほとんど示されなかった。粒径分布結果からは、かなり微細な粒子組成と見られるが、液性限界値は40%程度で意外に低い。ソ性限界値およびソ性指数はほぼ同値で20%前後となり、カサグラ

Table 5. Results of consistency test (fresh and air-dried soil)

The time elapsed after cultivation	Depth of soil layer (cm)	Liquid limit (%)		Plastic limit (%)		Plasticity index (%)		Shrinkage limit (%)		Initial moisture ratio (%)	
		Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil
Virgin soil	0-10	40.9	38.5	20.3	—	20.6	—	15.1	16.1	12.0	4.0
	20-30	38.9	38.7	20.6	19.6	18.3	19.1	18.0	16.9	13.1	4.1
2 years	0-10	36.7	37.2	20.3	19.3	16.4	17.9	16.3	16.7	17.3	3.7
	20-30	41.8	40.4	21.1	20.0	20.7	20.4	16.1	16.2	20.3	4.2
6 years	0-10	38.1	38.4	20.3	20.7	17.8	17.7	16.7	17.5	12.2	3.4
	20-30	46.7	47.6	23.9	23.5	22.8	24.1	17.3	18.7	14.0	4.4
10 years	0-10	36.5	37.2	20.4	20.2	16.1	17.0	15.8	16.2	11.9	3.9
	20-30	45.1	45.9	22.6	22.3	22.5	23.6	15.8	—	21.3	4.9

ソ性の図上では、「中ソ性の無機質粘土」に分類される。耕作開始後の経年変化を見ると、ほぼ心土は表土より大きくなり、どの限界値でも6年の結果が最も大きかった。

各限界値が低いことは、試験中少量の水を加えても土は非常に良くヌレて、ネバツキが大ききことからうかがえる。また風乾による影響は、風乾土の供試時含水比がいずれも4%前後であり、Table 5の生土からの低下があまり大きくないためとも考えられるが、モンゴルは年間降雨量が非常に少なく、土壌は試験時には強い風乾作用を十分受けていた結果と思われる。

また液性限界値に大きな影響をおよぼすとされる有機物含有量²⁾については、Table 2に示すように表層において経年にも減少する傾向は見られるが、どの部位においても少なく、液性限界に対する影響は微小と思われる。

4) pF~水分曲線：各層位2個の試料によるpFと含水比との関係をFig. 2に示した。これより土の保水性は、耕作後の経年にもない特性的な変化をすることが明らかとなった。すなわち、まず原土からは心土は表土に対して、どのpF段階においても含水比が高く、pF 0~4.2の範囲内での保有水分量は、ほぼ同一であった。しかし2年においては、両者の差は縮まり、6年、10年と経過するに従い、pF 2以下の低pF域では逆に含水量が大きくなり、表層での保水量が増加することが明らかとなった。

以上から、本地域での土の保水性はあまり大きくないが、経年的な変化を示したことから、土壌は次第に構造が発達し、保水性が向上するものと推測される。

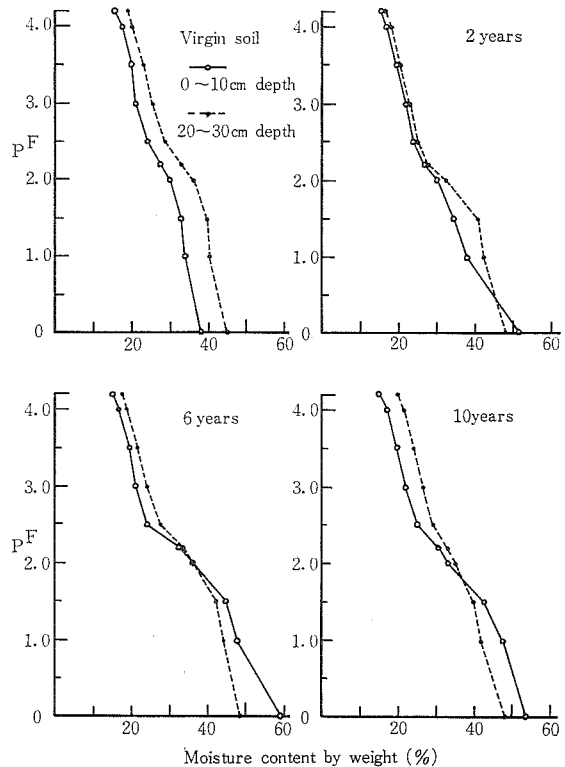


Fig. 2 Moisture characteristic curve.

5) 侵食率：モンゴルは年間平均降雨量が350 mm 以下と非常に少なく乾燥気候であるため、少量の降雨またはカンガイ水によって容易に侵食を受けると考えられる。そこで土壌の耐水食性を明らかにするため、ミドルトンの侵食率³⁾を測定した。ここでコロイド含量は0.002 mm 以下、水分当量はpF 2.7に取った。その結果を示す Table 6 の、「受食性土壌の基準」から判定されるように、いずれも強度の受食性土壌であるが、部位ならびに経年的な変化の傾向は示されなかった。以上から水食に対する防止策を講じることは、作土層の保護のため極めて重要であることが明らかとなった。

Table 6. Results of erosion ratio test

The time elapsed after cultivation Depth of soil layer (cm)	Virgin soil		2 years		6 years		10 years	
	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30
Dispersion ratio	33.5	45.0	40.4	31.8	39.7	38.0	41.3	51.4
$\frac{\text{Colloid content}}{\text{Moisture equivalent}}$	0.81	0.71	0.97	0.82	0.76	1.00	0.83	0.84
Erosion ratio	41.2	63.7	41.8	38.9	51.9	38.0	49.9	61.6

Standard of erosive soil.

(Dispersion ratio 13.0-66.0) $\left\{ \frac{\text{Colloid content}}{\text{Moisture equivalent}} 0.57-1.39 \right\}$ (Erosion ratio 12.4-65.2)

Table 7. Water quantity per irrigation

The quantity is calculated on the presumption that the value of 10-20 cm layer is the mean between 0-10 cm and 20-30 cm layer.

The time elapsed after cultivation Depth of soil layer (cm)	Virgin soil		2 years		6 years		10 years	
	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30	0-10	20-30
(1) F. C.	33.5	40.1	34.7	40.8	44.2	42.0	42.5	39.5
(2) C. M. E.	21.7	25.7	21.9	22.8	21.2	23.9	21.9	26.5
(3) Dry density (g/cm ³)	1.335	1.220	1.133	1.179	1.045	1.180	1.106	1.181
Water quantity per irrigation of 10cm layer (mm) $[(1)-(2)] \times (3)$	15.75	17.57	14.50	21.22	24.04	21.36	22.78	15.35
Presumptive water quantity per irrigation of 0-30cm layer (mm)	49.98		53.58		68.10		57.20	
presumptive evapotranspiration per 1 day (mm)	7.0		7.0		7.0		7.0	
Intermittent days	7.1		7.7		9.7		8.2	

また水食以外に考慮すべき問題点として風食がある。モンゴルは風が強く、土壌は粒度分析結果から明らかのように、0.02mm 以下のシルト・粘土分を50%以上も含むかなり微細な組成であるため、強度の乾燥により風食の影響を大きく受けると考えられる。よって今後風食問題を検討し、水食とあわせ土壌の保全に関する対策について検討を行なう予定である。

6) 容水量：モンゴルのような乾燥地域において、安定した農業生産基盤をつくるために

は、合理的なかんがい組織について検討する必要がある。ここではその第一歩として、0～30 cm 土層の容水量を試算し、それを1回当りのカンガイ水量としてカンガイ計画を考えた。

容水量の計算に当っては、三相分布と pF～水分曲線結果から、ホ場容水量 F. C. (pF1.5 とする) と C. M. E. (pF 3.0) 間に保持される水分量を求めた。ここで 10～20 cm 層は実験値がないため上下層の平均値をとった。その結果は Table 7 に示すとおりであり、pF～水分曲線から推測されるように、耕作の経年にもない原土と比較して構造性が発達し、低 pF 域での保水性が増大するため容水量も増加する。次にこの水量を1回当りのカンガイ水量として間断カンガイ計画を樹てると、次の様である。まず日消費水量については、かんがい期の現地における実測計器蒸発量が約 10 mm であり、土壌面蒸発量と計器蒸発量との比を 0.7 に採ると、約 7 mm になる。この値で1回当りのカンガイ水量を割ると、間断日数は 7.1～9.7 日の範囲となり、耕作により間断日数は長くなるようである。しかし 30 cm 以深の層の状況が明確ではなく、また気象条件が時期別の消費水量に与える影響を考慮する必要があり、今後の課題としたい。

摘 要

畜産業が国家経済の主力を占めるモンゴルにおいて、産業構造変革への努力と相まって、農産業の比率は次第に増加しつつある。日蒙学術交流の進展により、モンゴルにおける現地調査を行なう機会を得た筆者は、乾燥気候下での安定した農業生産基盤づくりのための合理的なカンガイ組織、造成した農地の風食や水食に対する保全等、研究すべき多くの課題を見出した。本報告はまずその基礎として、農業生産の基盤である土の物理・化学諸特性について実験・検討を加えたものであり、その結果は以下のごとく要約される。

試料土は、未耕作土と耕作開始後 2, 6, 10 年を経過した畑において、各地点上下 2 層から採取した。まず化学性については、土壌生成母材はレス(火山灰風積土)で、調査地点すべて同一と考えられる。耕作開始後は、全炭素含量の減少、C/N 比の低下、pH の低下など 2, 3 の性質に耕作の影響が若干みられるが、化学分析結果は中程度の値を示す上であることを示した。

次に物理性については、三相分布結果から本土壤は自然状態においてかなり密な土壤構造を形成しており、耕作により経年的に団粒構造が発達すると思われ、これは pF～水分曲線で低 pF 域での保水性が増大する傾向からうかがわれる。この結果からみると、日本における沖、洪積土壤の畑地に類似した性質と思われる。次に粒径分布から、ほぼ SiC に分類されやや微細な構造であるが、風乾によるコンシステンシー値の低下は非常に小さく、降雨量が極端に少ない気象条件下で、十分な風乾作用を受けた結果と考えられる。このように、微細で強度の乾燥作用を受けた土壤は、水食や風食の影響を大きく受けると推測され、耐水食性についてはミドルトンの侵食率測定結果から、強度の受食性土壤であることが示された。実際のカンガイ計画については、今後蒸発散量や土壤構造の面からさらに検討する必要がある。

最後に、本研究の遂行に当り化学性の分析においては、京郡府立大学・服部共生教授に多大の御助力を得た。またモンゴルでの調査に当っては、文部省海外学術調査費の援助を受けた。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 土壤物理研究会編：土壤物理用語事典，196 (1974)
- 2) 前田 隆ら：農土論集 61, 9—17 (1976)
- 3) 土壤物理性測定法委員会編：土壤物理性測定法，426—429 (1975)