

## 中国東北部, 主要畑土壌の粘土鉱物学的特徴

韓, 京龍  
九州大学農学部土壌学講座

江頭, 和彦  
九州大学農学部土壌学講座

<https://doi.org/10.15017/23623>

---

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 53 (1/4), pp.51-63, 1999-02. 九州大学農学部  
バージョン :  
権利関係 :



## 中国東北部, 主要畑土壌の粘土鉱物学的特徴

韓 京 龍・江 頭 和 彦

九州大学農学部土壌学講座

(1998年10月2日受付, 1998年11月6日受理)

### Characterization of Clay Minerals of Major Upland Soils in Northeastern Part of China

Jing-Long HAN and Kazuhiko EGASHIRA

Laboratory of Soils, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581

#### 緒 言

中国東北部(遼寧省, 吉林省, 黒龍江省)は東側を長白山脈を主とする多数の平衡山脈, 西側を大興安嶺山脈, 北側を小興安嶺山脈に囲まれ, 中央部と南部に東北大平野が広がる。年平均降水量は300~700mmで, 東南から西北へと漸減する。年平均気温は0~8℃であり, 10℃以上の年有効積算温度は2,000~3,500℃で, 南から北へ減少する。土壌の凍結期間は各地によって異なるが, おおむね10月下旬から凍結し始め, 3月上旬には融解が始まる。春季と秋季は低温の影響を受けやすく, 冬季は長く, 厳寒で, 夏季は短くて蒸し暑く, 顕著な寒冷かつ半乾燥の大陸性気候を示す。

塩漬土, レシベ土, 湿草地土, 黒土, 暗棕壤は中国東北部の主要な畑土壌であり, 畑総面積の8割以上を占める(韓ら, 1998a)。塩漬土の総面積は600万ha, 生成環境によって内陸塩漬土と濱海塩漬土に分けられる。そのうち内陸塩漬土は東北部西部の半乾燥地域, 主に黒龍江省の西部と南西部, 吉林省西部および遼寧省北西部に分布する。レシベ土は東北部の半湿潤地域, 主に黒龍江省と吉林省の東部に分布し, 総面積は753万haである。湿草地土は総面積742万ha, 遼河, 松花江, 黒龍江およびこれら河川の支流の流域に分布する。黒土は主に吉林省と黒龍江省の中央部に分布し, 総面積は約1,000万haである。暗棕壤は北は黒龍江, 東はウスリ江, 西は大興安嶺山脈中部および浜綏, 浜長鉄道の沿線, 南は四平-清原-通化沿線まで広く分布する。総面積は2,470万haである。これらの土壌

は中国東北部の農業に主要な役割を果たしており, 農業生産での的確な土地利用と肥培管理には, 土壌の物理化学的性質と並んで, 粘土鉱物学的性質の把握を必要とする。

中国東北部土壌の粘土鉱物組成について, Zhao *et al.* (1997) は, 長白山, 三角龍湾, 五大連池の火山灰土壌の表層部が主にパーミキュライト, スメクタイト, 雲母, カオリナイトと少量の緑泥石, 石英, 長石から成ることを認め, 中国とモンゴルの乾燥あるいは半乾燥地帯から飛来した風成塵の寄与を示唆した。Xing and Dudas (1992) は黒龍江省の三つの川(黒龍江, ウスリ江, 松花江)の流域に広く分布している white clay 土壌の粘土鉱物について調べ, パーミキュライト, スメクタイト, 雲母, カオリナイトが相対的に高い割合で存在していること, 雲母とカオリナイトはA層とE層に多く, パーミキュライトとスメクタイトはBt層に集中していることを報告した。

しかしながら, これらの報告は限られた土壌型に対する粘土鉱物分析であり, 中国東北部の畑土壌について, 系統的かつ包括的に粘土鉱物学的特徴を明らかにした研究は今までなされていない。前報(韓ら, 1998a)において, 中国東北部の主要畑土壌をカバーする形で14地点から採取した土壌の物理的および化学的性質を明らかにした。本報は, そのうち12地点の土壌の粘土鉱物学的特徴を明らかにすることを目的とする。

## 試料および方法

## 1. 土壌試料

土壌試料は遼寧省と吉林省で採取した。表1に採取した土壌試料の簡単な説明、図1に土壌試料の採取地域を示す。採取地点を個々に表さず、採取地点の近い試料をひとつの採取地域にまとめて表示している。試料の母材は第四紀堆積物である。採取時期は1997年6月で、各土壌型でひとつの断面を主断面とし、ほかのひとつあるいはふたつの断面を副断面とした。ただし、

暗棕壤は主断面のみの分析とした。主断面は Ap, B (あるいは AC), C 層位, 副断面は Ap, B (あるいは AC) 層位から層位ごとに 1 kg ずつの試料を採取し、室温で風乾後、綿織袋に入れて日本に空輸し、分析に供した。

## 2. 粒径分析

風乾細土 (< 2 mm) 10.0g を 500mL トールビーカーに取り、7% 過酸化水素水 100mL を加えてホットプレート上で加熱し、有機物を分解した。内容物を 50mL 遠沈管に移して遠沈洗浄、再び 500mL トール

表1 中国東北部畑土壌試料の説明

土壌型	試料番号	土壌採取地	層位	深さ (cm)	母材	主な栽培作物	FAO/UNESCO 土壌分類
塩漬土	M1	吉林省松原市鮮豊村	Ap	0~15	第四紀更新世湖泊堆積物	トウモロコシ, 大豆, 水稻	Solonchak
			B	15~55			
			C	55~100			
	M2	吉林省松原市紅旗農場	Ap	0~20		トウモロコシ, 大豆, 水稻	
			B	20~50			
レシベ土	M3	吉林省龍井市智新城東	Ap	0~15	第四紀河湖粘土堆積物	トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	Planosol
			B	15~85			
				C		85~100	
	M4	吉林省和龍市西城	Ap	0~15		トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	
			B	15~50			
	M5	吉林省龍井市太陽鎮太興村	Ap	0~15		トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	
			B	15~50			
湿草地土	M6	遼寧省沈陽市新城区	Ap	0~20	近代淤積物	トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	Cambisol
			AC	20~30			
				C		30~100	
	M7	吉林省長春市蔡家村	Ap	0~25		トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	
			AC	25~35			
	M8	吉林省龍井市朝陽川鎮太東村	Ap	0~20		トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	
			AC	20~40			
黒土	M9	吉林省農安縣大營子村	Ap	0~15	第四紀更新世砂礫間粘土堆積物	トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	Phaeozem
			B	15~60			
				C		60~100	
	M10	吉林省和龍縣和龍東街	Ap	0~20		トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	
			B	20~50			
	M11	吉林省龍井市東盛鎮紅星村	Ap	0~20		トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ	
			B	20~50			
暗棕壤	M12	吉林省龍井市延辺大学農学院農場	Ap	0~20	第四紀堆積物	トウモロコシ, 大豆, 水稻, オオムギ, 果樹	Luvisol
			B	20~50			
			C	50~100			

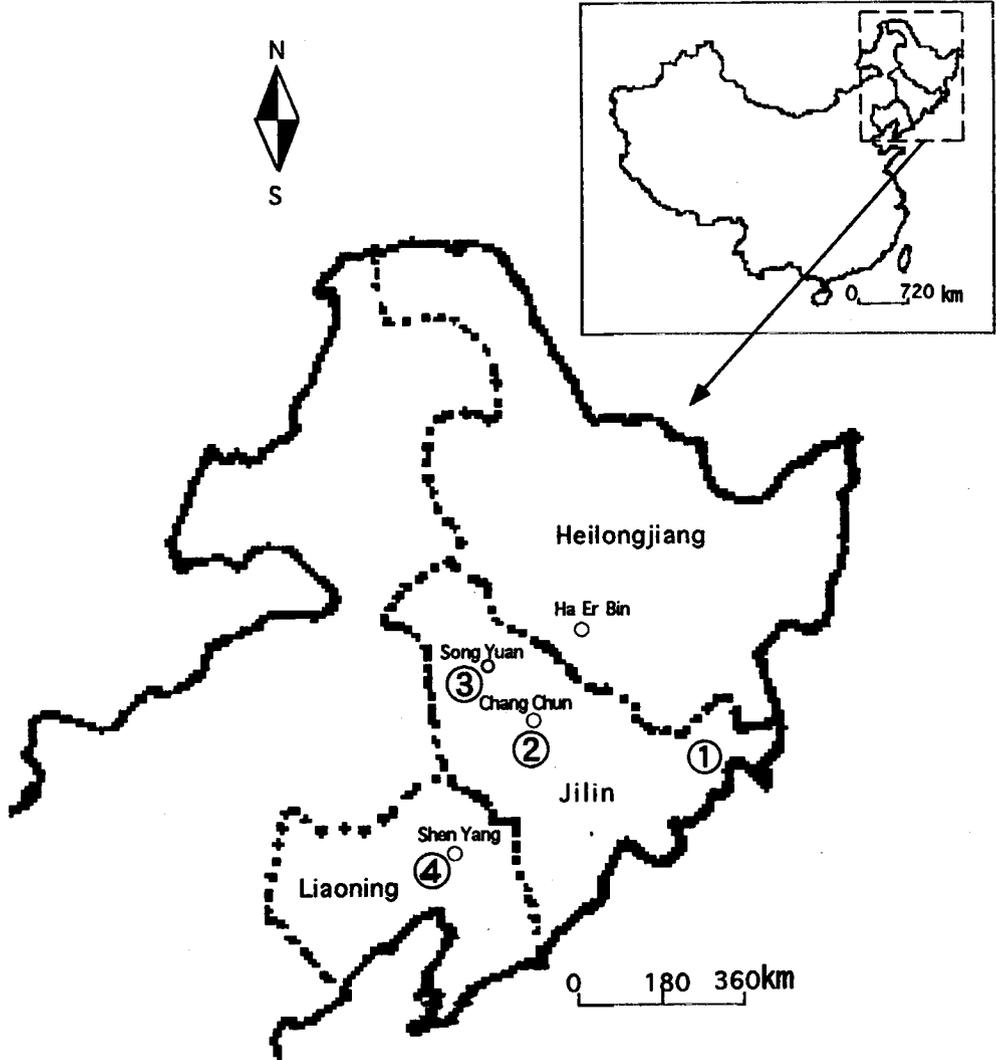


図1 中国東北部畑土壌試料の採取地域。  
 ①土壌試料 M3～M5, M8, M10～M12の採取地域  
 ②土壌試料 M7と M9の採取地域  
 ③土壌試料 M1と M2の採取地域  
 ④土壌試料 M6の採取地域

ビーカーに移して、水を400mLまで加え、1 M 水酸化ナトリウムを添加して pH 10に調整し、音波処理(水槽型; 38kHz, 250W)した。1 L 沈定シリンダーに移して水を加えて1Lとし、1分間上下に振とう後静置した。所定の時間後、サイフォンを用いて粘土画分 (<0.002mm) を採取した。音波処理-静置-粘土画分採取を繰り返して粘土画分を完全に分離した。

分離した粘土けんだく液に 3 M 塩化ナトリウムを少量加えて凝集させ、上澄液を除去した。一定量の粘土けんだく液を10mL 遠沈管に取り、遠心分離後、順次水、水-メタノール (1:1)、メタノール-アセトン (1:1)、アセトンで遠沈洗浄した。105℃で加熱乾燥後、冷却し、秤量した。粘土画分分離後の試料は、沈定法によりシルト画分 (0.002～0.02mm) を分離し、

細砂画分 (0.02~0.2mm) と粗砂画分 (0.2~2mm) を篩別して、105℃で加熱乾燥後、冷却し、秤量した。得られた値から粒径組成を求めた。

### 3. 鉱物分析

粘土画分中の鉱物の同定は X 線回折法により行い、X 線回折用の試料は次のように調製した。粒径分析において分離した粘土けんたく液を、粘土50mg を含むように2本の10mL 遠沈管に取り、遠心分離した。上澄液を捨て、1M 酢酸ナトリウム (pH 5.0) - 1M 塩化ナトリウム混液で2回遠沈洗浄した。続いて一方の遠沈管には1M 塩化カリウム、他方には0.5M 塩化マグネシウムを加えて、それぞれ3回遠沈洗浄した。両方の遠沈管に水を加えて遠沈洗浄し、脱塩した。水1mLを加えてよくけんたくし、その0.4mLをスライドガラス (28mm×48mm) の2/3をおおうように滴下、風乾した (定方位粉末試料)。カリウム飽和粘土は風乾、300℃加熱と550℃加熱試料、マグネシウム飽和粘土は風乾とグリセロール処理試料の X 線回折を行った。X 線回折には CuK $\alpha$  線を用い、以下の条件で行った。管電圧: 40 kV; 管電流: 20 mA; 走査速度: 2°min<sup>-1</sup>; 走査範囲: 3~30°2 $\theta$ ; スリット系: 1°-0.3mm-1°。

## 結 果

### 1. 粒径組成

表2に中国東北部畑土壌の粒径組成を示す。塩漬土の粘土含量は採取地点、層位を通して20.3~26.1%で、本研究で分析した試料のなかでは最も低く、土性は砂質埴壤土ないし軽埴土であった。M1は全層位で細砂含量が50%に近く、粗砂含量と合わせて65%以上に達した。M2でも Ap 層では M1 と同様の傾向がみられたが、B 層ではシルト含量が最も高かった。栽培措置に伴う塩分除去過程での粘土およびシルト粒子の表層からの移動は、M1で、粘土、シルト、細砂、粗砂のいずれにおいても、層位間に大きな含量差がみられないことから考えにくい。この観点よりすれば、塩漬土は本来粘土やシルト含量が低く、また M2 の Ap 層と B 層でのシルト含量と細砂含量の相違は、両層位間での、母材が第四紀堆積物でありおそらくは堆積時期が異なることによる堆積物の違いに起因するかもしれない。レシベ土の粘土含量は Ap 層と B 層では26.4~36.3%の範囲にあり、塩漬土に比べてやや高かった。土性は Ap 層ではシルト含量の違いにより採取地点間で異なり、B 層ではいずれも軽埴土であった。M3 では C 層の粘土含量が63.7%であり、Ap 層と B 層に

比べて30%近く高かった。このことは、レシベ化作用による粘土粒子の Ap 層と B 層から C 層への溶脱の現れと推測される。ただ、Ap 層、B 層と C 層の間で砂含量よりもむしろシルト含量の差が大きく、前者のシルト含量が後者の2倍近く高いことよりすれば、両者で堆積物が異なる可能性も十分に考えられる。さらに、M5 の Ap 層と B 層の間でのシルト含量と細砂含量の大きな相違も、堆積物の違いに起因するかもしれない。

湿草地土の粒径組成は、M6、M7 と M8 の間で幾分異なった。M6 と M7 では、粘土含量は Ap 層で26.9~33.1%、AC 層と C 層で34.7~37.4%で、土性は層位によらず軽埴土であった。粘土含量は Ap 層で低く、Ap 層からの粘土の溶脱傾向がうかがえた。一方、M8 では粘土含量は20.6~24.1%と、層位を通して低く、土性は Ap 層で埴壤土、AC 層で砂質埴壤土であった。さらに、M6 と M7 は細砂含量 (39.1~47.4%) が高く、粗砂 (0.9~3.5%) はわずかだったのに対し、M8 は高い粗砂含量 (30.3~49.1%) を示した。これら3地点は採取地域が異なり (図1)、M6、M7 と M8 の間で、堆積物あるいは堆積環境の相違が推察される。黒土については、採取した3地点のいずれの層位も36%以上の粘土含量を示し、他の土壌と比べて総体的に高い粘土含量を有した。このことはとくに M10 で顕著で、60%あるいはそれを越える粘土含量を示した。このため、M10 は重埴土、M9 と M11 は軽埴土の土性を有した。また3地点のいずれにおいても、粘土含量は、Ap 層で B 層よりも低く、M9 と M11 の間では、細砂含量と粗砂含量に違いがみられた。暗棕壤はただ1地点での測定であるが、粘土を主に、シルト、細砂、粗砂をほぼ近似した割合で含み、軽埴土の土性を示した。

このように、中国東北部の主要な畑土壌の粒径組成、とくに粘土含量には土壌型による違いがみられ、粘土含量は、総体的に黒土 $\geq$ 暗棕壤 $>$ 湿草地土、レシベ土 $>$ 塩漬土の順に低下する傾向がみられた。同一土壌型でも採取地点間、同一採取地点でも層位間で粒径組成の大きな相違がみられることがあり、おそらくは堆積物あるいは堆積環境の違いに起因するものと思われる。また、土壌型によらず多くの地点で、程度の差はあれ、Ap 層からの粘土溶脱傾向がうかがえた。中国で行われた粒径分析とは、分析方法や粒径区分が異なるため必ずしも厳密には対比できないが、中国での既往の報告 (中国科学院林业土壤研究所, 1980) によれば、粘土 (<0.001mm) 含量は黒土 $>$ 暗棕壤 $>$ 湿草

表2 中国東北部畑土壌の粒径組成

土壌型	試料番号	層位	粒 径 組 成 (%)				土性 <sup>a)</sup>
			粘土 ( $<0.002\text{mm}$ )	シルト ( $0.002\sim 0.02\text{mm}$ )	細砂 ( $0.02\sim 0.2\text{mm}$ )	粗砂 ( $0.2\sim 2\text{mm}$ )	
塩漬土	M1	Ap	20.3	12.6	47.2	19.9	SCL
		B	22.1	12.5	48.8	16.6	SCL
		C	21.8	11.9	48.4	17.9	SCL
	M2	Ap	23.9	13.2	56.4	6.5	SCL
		B	26.1	39.3	26.5	8.1	LiC
	M3	Ap	34.3	38.2	17.8	9.7	LiC
B		36.3	41.8	14.4	7.5	LiC	
C		63.7	19.3	13.9	3.1	HC	
レシベ土	M4	Ap	26.9	47.0	18.1	8.0	SiC
		B	33.1	43.8	18.8	4.3	LiC
	M5	Ap	26.4	12.9	49.5	11.2	SC
		B	27.3	38.3	25.6	8.8	LiC
	M6	Ap	26.9	22.2	47.4	3.5	LiC
		AC	35.0	23.2	39.9	1.9	LiC
C		34.7	24.3	39.2	1.8	LiC	
湿草地土	M7	Ap	33.1	21.3	43.9	1.7	LiC
		AC	37.4	22.6	39.1	0.9	LiC
	M8	Ap	24.1	23.8	21.8	30.3	CL
		AC	20.6	19.4	10.9	49.1	SCL
M9	Ap	39.1	22.9	37.4	0.6	LiC	
	B	42.5	24.7	32.4	0.4	LiC	
	C	37.5	24.6	37.7	0.2	LiC	
黒土	M10	Ap	59.1	25.1	9.0	6.8	HC
		B	68.2	22.1	7.6	2.1	HC
	M11	Ap	36.5	27.2	23.4	12.9	LiC
		B	41.9	32.2	21.1	4.8	LiC
暗棕壤	M12	Ap	36.2	17.6	17.2	29.0	LiC
		B	42.8	18.5	20.8	17.9	LiC
		C	39.9	17.9	17.0	25.2	LiC

<sup>a)</sup> SCL, 砂質埴壤土; LiC, 軽埴土; HC, 重埴土; SiC, シルト質埴土; SC, 砂質埴土; CL, 埴壤土。

地土>レシベ土の順に低下する傾向がみられ, 本研究で得られた順序と対応した。ただ, レシベ土は層位間の差が大きく, C層の粘土含量は黒土とはほぼ同じレベルにあり, 塩漬土では採取地点間の差が大きかった。

## 2. 鉱物組成

土壌型, 採取地点および層位によらず, 全ての試料で類似の X 線回折図が得られたので, M3, C層の粘

土面分の回折図を代表して図2に示す。Mg 飽和-風乾処理で14.4, 10.0, 7.17, 4.98, 4.26, 3.57, 3.34, 3.25, 3.19Åのピークが同定された。14.4Åのピークはグリセロール処理によって大部分18.0Åに移動し, K 飽和-550°C加熱処理によって10.0Åに収縮した。このことから, 14.4Åのピークは大部分スメクタイト, 一部パーミキュライト, 10.0Åと4.98Åのピークは雲

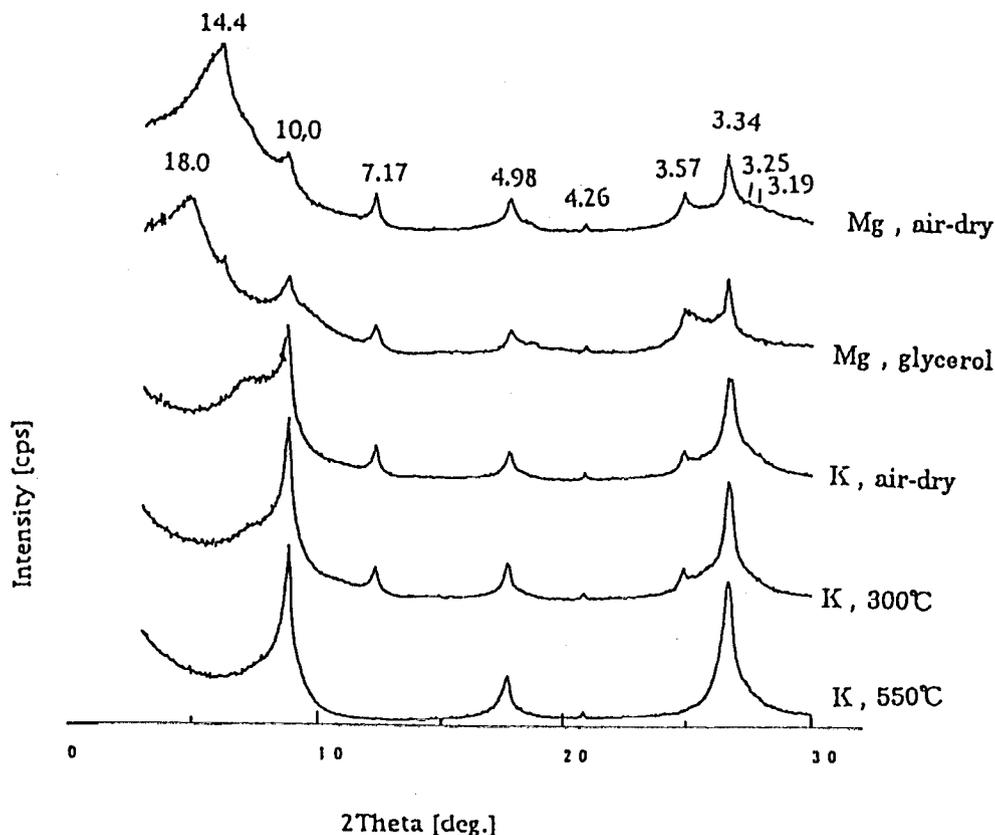


図2 M3, C層の粘土画分 (< 2 μm) のX線回折図。  
層間隔はÅで表す。

母, 7.17 Åと3.57 Åのピークはカオリナイト, 4.26 Åのピークは石英, 3.25 Åと3.19 Åのピークは長石と同定した。3.34 Åのピークは雲母と石英による。なお, 緑泥石, 2:1型鉱物-緑泥石中間種鉱物は同定されなかった。

Mg飽和-グリセロール処理で18 Åのピークを示す鉱物は従来スメクタイトと同定され (Zhao *et al.*, 1997; Xing and Dudas, 1992), M3のC層から分離した粘土画分でもそのように同定した。しかし, 図2の回折図をよく見ると, 18 Åのピークは低角度側にややテーリングして, ほぼスメクタイトから成るにしても, 少量のおそらくは雲母が混合層として含まれることが示唆された。本研究での鉱物同定の過程で, Mg飽和-グリセロール処理で18 Å付近の回折を示す鉱物には, 大きく3つのタイプがあることが認められた。ひとつは, M3のC層から分離した粘土画分でみ

られたように, 低角度側にややテーリングしながらも, 18 Åの回折線がピークとして現れるもの (図2) で, これをAタイプとした。他の2つは, 図3に, M12のB層とM4のAp層から分離した粘土画分のX線回折図を例として示すように, 18 Å付近の回折線が明確なピークにはならずむしろショルダーとして現れるもの (M12, B層) と, 18 Å付近の回折が非常に弱く, 明確なピークあるいはショルダーを示さないもの (M4, Ap層) で, 前者をBタイプ, 後者をCタイプとした。18 Å付近の回折が, K飽和-風乾処理で10.0 Åに移行することは, 10.0 Å回折線のピーク強度の顕著な増加によって確認される。BタイプおよびCタイプの回折プロファイルを, 今までに報告されているものにつけると, Wada *et al.* (1981) の報告にみられるように, Bタイプの鉱物は雲母/スメクタイト混合層鉱物, Cタイプの鉱物は雲母/パーミキュ

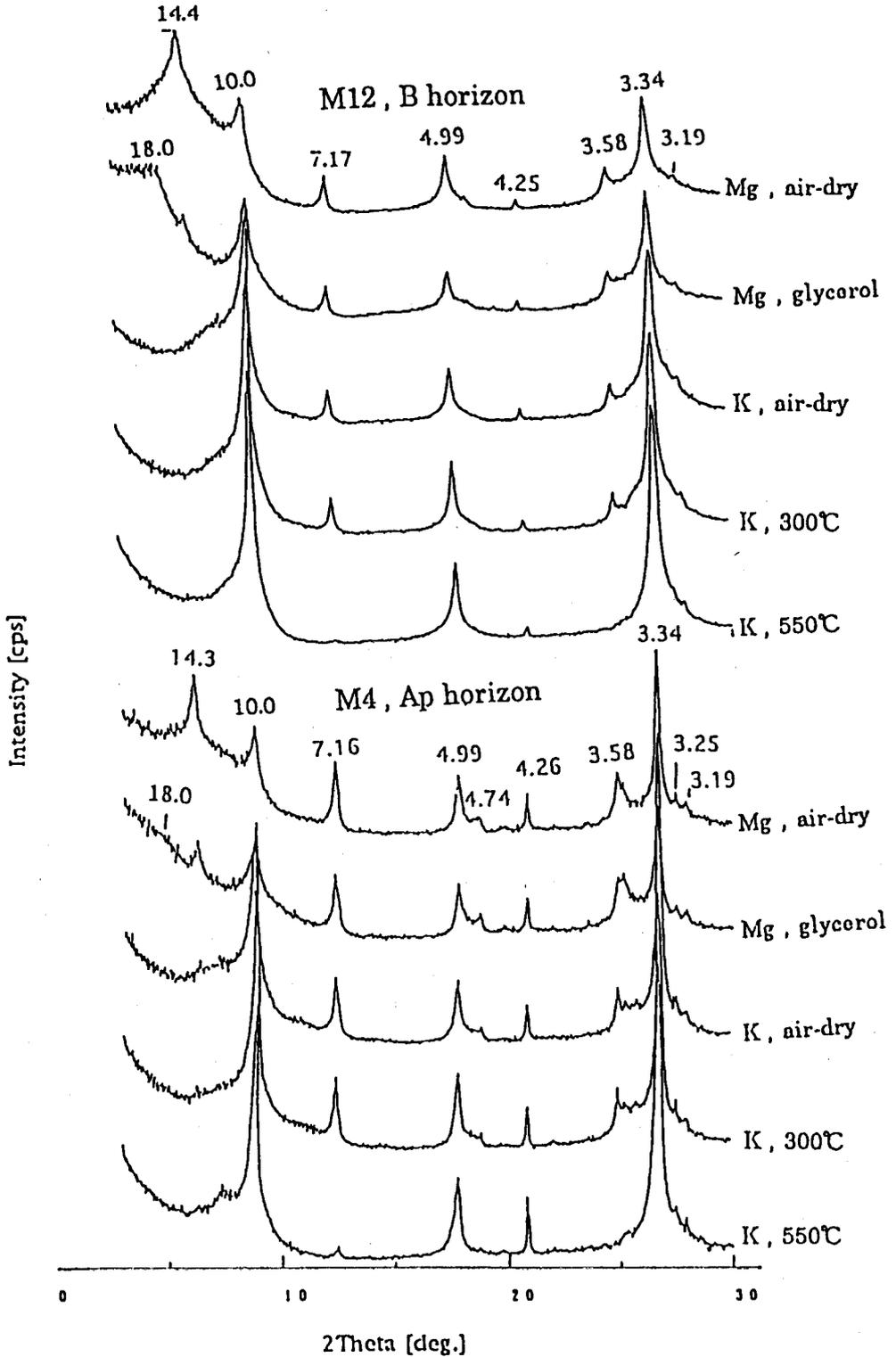


図3 M12, B層とM4, Ap層の粘土画分 (< 2 μm) のX線回折図。  
層間隔はÅで表す。

表3 等しい質量を有する鉱物の X 線回折ピークの相対強度

鉱物 <sup>a)</sup>	処 理			
	Mg, グリセロール		K, 550℃	
Mc	10Å	1	10Å	1
Vt	14Å	1.5	10Å	1.5
2:1M.L.M.			10Å	1.5
Kt	7Å	2		
Qr	4.25Å	1/3~1/6		
Fd	3.2Å	2~4		

<sup>a)</sup> Mc, 雲母; Vt, バーミキュライト; 2:1M.L.M., 2:1 型混合層鉱物;  
Kt, カオリナイト; Qr, 石英; Fd, 長石.

ライト/スメクタイト混合層鉱物に対比された。

中国東北部の畑土壌では、土壌型によらず類似の鉱物組み合わせが予測されたので、回折線のピーク強度から鉱物含量を計算することを試みた。ピーク強度は、ピーク高さに半価幅をかけて求め、ピーク強度から鉱物含量の計算には、表3に示す、雲母を基準とした換算係数を用いた (Islam and Lotse, 1986)。Aタイプ、Bタイプ、Cタイプの鉱物は一括して2:1型混合層鉱物として扱い、その含量の計算にはK飽和-550℃加熱試料の10.0Åのピーク強度を用いた。まず、以下のピーク強度を計算した。

処理	ピーク	ピーク強度
Mg 飽和-	14Å	a
グリセロール	10Å	b
	7Å	c
	4.25Å	d
	3.25Å	e
	3.19Å	f
K 飽和-	10Å	g

550℃加熱

鉱物の質量を、雲母を  $W_{Mc}$ 、バーミキュライトを  $W_{Vt}$ 、2:1型混合層鉱物を  $W_{2:1M.L.M.}$ 、カオリナイトを  $W_{Kt}$ 、石英を  $W_{Qr}$ 、長石を  $W_{Fd}$  で表すと、ピーク強度と質量は次のように関係づけられる。

$$b = W_{Mc}$$

$$a = 1.5W_{Vt}$$

$$g = W_{Mc} + 1.5W_{Vt} + 1.5W_{2:1M.L.M.}$$

$$c = 2W_{Kt}$$

$$d = (1/3 \sim 1/6)W_{Qr}$$

$$e + f = (2 \sim 4)W_{Fd}$$

なお、ピーク強度  $g$  は、K 飽和-風乾処理試料の7Åピーク強度を用いて基準化した。式を解いてそれぞれ

の鉱物の質量を得、

$R \times [W_{Mc} + W_{Vt} + W_{2:1M.L.M.} + W_{Kt} + W_{Qr} + W_{Fd}] = 100$  となるようにおき、各質量に係数  $R$  をかけて鉱物含量 (%) を求めた。

得られた鉱物組成を表4に示す。2:1型混合層鉱物は、その鉱物タイプを付すことによって区別した。表4に示すように、中国東北部畑土壌の粘土画分は雲母と2:1型混合層鉱物を主とし、その含量はそれぞれ15~53%、12~60%の範囲にあり、多くの試料で20%以上であった。石英含量も高く、9~34%の範囲にあり、多くの試料は15%以上であった。バーミキュライトは1~16%、カオリナイトは2~12%で、長石は10%以下であった。

粘土画分の鉱物組成を土壌型ごとにみていくと、塩漬土では、M1では鉱物含量に層位間で大きな違いはみられず、雲母15~23%、2:1型混合層鉱物28~36%で、バーミキュライトとカオリナイト含量が相対的に高く、2:1型混合層鉱物のタイプは、塩漬土に共通してBタイプであった。一方、M2では、Ap層とB層の間で雲母と2:1型混合層鉱物の含量に違いがみられ、雲母はAp層30%、B層16%と、Ap層で高く、2:1型混合層鉱物は逆にAp層25%、B層42%と、B層が高かった。2:1型混合層鉱物は雲母に由来し、雲母の風化産物と考えられるので、そうすると、雲母から2:1型混合層鉱物への風化は、Ap層よりもB層で進んでいることになる。この結果は、粒径組成の結果(表2)と合わせて、B層を形成した堆積物が堆積してある期間風化を受けたのち、Ap層を形成した堆積物がその上に堆積したと考えることによって説明される。

レシベ土では、M3のC層を除いて、Ap層とB層の雲母含量は22~39%、2:1型混合層鉱物は18~30

表4 中国東北部畑土壌の粘土画分の鉱物組成

土壌型	試料番号	層位	鉱物組成 <sup>a)</sup> (%)					
			Mc	Vt	2:1M.L.M.	Kt	Qr	Fd
塩漬土	M1	Ap	22	12	33 (B) <sup>b)</sup>	9	14	10
		B	15	14	36 (B)	11	15	9
		C	23	13	28 (B)	12	20	4
	M2	Ap	30	9	25 (B-C)	10	22	4
		B	16	11	42 (B)	9	18	4
	M3	Ap	30	4	29 (B-C)	7	26	4
B		28	5	28 (B-C)	8	28	3	
C		32	11	36 (A)	8	10	3	
レシベ土	M4	Ap	22	4	30 (C)	9	31	4
		B	30	4	23 (C)	8	31	4
	M5	Ap	39	2	19 (C)	6	30	4
		B	37	1	18 (B-C)	6	34	4
	M6	Ap	20	6	37 (C)	8	23	6
AC		22	5	38 (C)	8	23	4	
C		19	9	44 (C)	8	17	3	
湿草地土	M7	Ap	26	10	37 (B)	9	14	4
		AC	20	11	40 (B-C)	10	15	4
	M8	Ap	40	4	25 (A)	7	19	5
		AC	31	6	31 (A-B)	6	22	4
M9	Ap	25	14	28 (B)	10	19	4	
	B	15	14	41 (A-B)	11	17	2	
	C	18	16	44 (A)	8	12	2	
黒土	M10	Ap	18	6	60 (A-B)	2	12	2
		B	26	11	42 (A)	3	15	3
	M11	Ap	53	2	12 (B-C)	5	25	3
B		44	2	23 (C)	5	23	3	
暗棕壤	M12	Ap	28	9	46 (A)	5	9	3
		B	48	5	28 (B)	5	10	4
		C	26	13	41 (A)	4	13	3

<sup>a)</sup> Mc, 雲母; Vt, パーミキュライト; 2:1M.L.M., 2:1型混合層鉱物; Kt, カオリナイト; Qr, 石英; Fd, 長石.

<sup>b)</sup> A, 混合層鉱物として少量の雲母を伴うスメクタイト; B, 雲母-スメクタイト混合層鉱物; C, 雲母-パーミキュライト-スメクタイト混合層鉱物.

%の含量で, タイプはB-CあるいはCであった。パーミキュライト含量が土壌型のなかでは最も低く1~5%, 逆に石英含量は最も高く26~34%であった。M3のC層は, Ap層とB層に比べてパーミキュライト, 2:1型混合層鉱物の含量が高く, 石英含量は約

1/3, 2:1型混合層鉱物はAタイプであり, Ap層, B層とは異なった鉱物組成を示した。このことよりすれば, 粒径組成でみられたM3, C層の高い粘土含量(表2)は, レシベ化作用による粘土の集積よりも, C層と上位の層の間での堆積物の相違によって説明する

表5 中国東北部畑土壌における鉱物含量, 粘土含量, 陽イオン交換容量, 有機物含量相互の相関係数

	2:1M.L.M.	Vt	Mc	Kt	Qr	Fd	CC	OC
Vt	0.549**							
Mc	-0.731**	-0.665**						
Kt	-0.118	0.456*	-0.460*					
Qr	-0.680**	-0.671**	0.270	0.083				
Fd	-0.170	0.083	-0.148	0.365	0.000			
CC	0.413*	0.130	0.045	-0.505**	-0.416*	-0.549**		
OC	0.055	-0.374*	0.158	-0.182	0.158	0.032	-0.126	
CEC	0.422*	0.155	0.130	-0.603**	-0.559**	-0.470*	0.765**	0.176

\*\*と\*はそれぞれ1%と5%水準で有意差があることを示す。

2:1M.L.M., Vt, Mc, Kt, Qr, Fdは表4を参照。

CC, 粘土 (< 2 μm) 含量; OC, 有機物含量; CEC, 陽イオン交換容量。

のがより妥当かもしれない。M5で、Ap層とB層の間で粒径組成の違いがみられたが、粘土画分の鉱物組成には差はみられなかった。さらに、M3とM4のAp層とB層の雲母含量がM5に比べて低く、逆に2:1型混合層鉱物含量は高いことは、M3とM4で鉱物風化がM5に比べてやや進んでいることを示しているのかもしれない。

湿草地土では、M6, M7とM8の間に粒径組成の違いがみられたが(表2)、粘土画分の鉱物組成にも差がみられた。すなわち、雲母含量はM6とM7で層位を通して19~26%, M8では31~40%, 一方2:1型混合層鉱物含量はM6とM7で37~44%, M8で25~31%であった。さらに2:1型混合層鉱物のタイプは、M6とM7がBあるいはCタイプであったのに対し、M8ではAあるいはA-Bタイプであった。パーミキュライト、カオリナイト、石英、長石含量には明確な差はみられなかった。M6, M7, M8の採取地点は、図1に示すように互いに大きく距たっている。このような地域間差が、堆積物の違い、鉱物組成の違いに結びついている可能性が示唆される。

黒土は、採取地点、層位によらず36%以上の高い粘土含量を示したが(表2)、粘土画分の鉱物組成には、とくにM10とM11は同じ採取地域ながらかなりの違いがみられた。M9とM10の雲母含量は15~26%と、用いた土壌の中では最も低く、一方M11の雲母含量は44~53%と最も高かった。2:1型混合層鉱物含量は、M10で42~60%と最も高く、M11で12~23%と最も低く、M9で28~44%であった。2:1型混合層鉱物のタイプは、M9とM10がAあるいはBタイプであったのに対し、M11ではB-CあるいはCタイプであっ

た。パーミキュライト、カオリナイトおよび石英含量にも対照的な相違がみられた。さらに、地点間での相違に加え、同一地点でも層位間で多少の鉱物組成の相違が認められた。このような違いには、堆積物、堆積環境の違い、堆積物の堆積後の風化強度の違いが関与しているものと推察される。

暗棕壤は1地点での分析であるが、粘土画分の鉱物組成は、同じ採取地域の黒土の鉱物組成とは異なった。さらに、雲母とパーミキュライト含量、2:1型混合層鉱物の含量とタイプにおいて、Ap層とC層の類似、B層との相違が認められた。

以上のように、中国東北部主要畑土壌の粘土画分は、雲母とその風化産物である2:1型混合層鉱物を主要粘土鉱物として同じ鉱物組み合わせを有しながら、その相対含量すなわち鉱物組成は、土壌型、採取地点により多少とも異なった。同一土壌型での鉱物組成の変異は、黒土で大きく、塩漬土、レシベ土で小さく、湿草地土で中位にある傾向がうかがわれた。2:1型混合層鉱物のタイプと土壌型との関係は必ずしも明確ではなかったが、Aタイプは塩漬土とレシベ土のAp層とB層にはみられず、黒土と暗棕壤に集中する傾向が認められた。

### 3. 鉱物含量相互および鉱物含量と土壤理化学性との相関

表5に、表4に示した粘土画分中の鉱物含量間および鉱物含量と粘土含量、有機物含量および陽イオン交換容量との間の相関係数を示す。有機物含量と陽イオン交換容量は前報(韓ら, 1998a)のデータを用いた。表5に示すように、鉱物含量相互の相関では、2:1型混合層鉱物とパーミキュライトの間に正の、2:1

型混合層鉱物と雲母の間に負の, パーミキュライトと雲母の間に負の, いずれも1%水準で有意の相関がみられた。このことは, 2:1型混合層鉱物とパーミキュライトが雲母の風化産物であるとの考えを支持する。さらに, パーミキュライトはカオリナイトと5%水準で正の, カオリナイトは雲母と5%水準で負の相関を示しており, パーミキュライトの少なくとも一部は母材に由来し, パーミキュライトとカオリナイトが増えれば雲母が減るという関係にあることが示唆される。石英は, 2:1型混合層鉱物およびパーミキュライトと1%水準の負の相関を示した。

鉱物含量と土壤理化学性との相関では, 粘土含量と陽イオン交換容量がそれぞれ, 2:1型混合層鉱物含量と正の, カオリナイト, 石英, 長石含量と負の, 1%あるいは5%水準で有意の相関を示し, 有機物含量はパーミキュライトとのみ, 負の, 5%水準で有意の相関を示した。土壤理化学性相互の相関についてみれば, 粘土含量と陽イオン交換容量が正の, 1%水準で有意の相関を示したが, 粘土含量および陽イオン交換容量と有機物含量の間には有意の相関はみられなかった。これらのことよりすれば, 中国東北部畑土壌の保肥力, 緩衝能は, 陽イオン交換容量を介して, 粘土含量に最も強く, 続いて2:1型混合層鉱物含量に支配され, そしておそらくは2:1型混合層鉱物のタイプにも影響されるといえる。

## 考 察

中国東北部主要畑土壌の粘土画分が, 土壤型によらず類似の鉱物組み合わせを示し, 雲母とその風化産物と考えられる2:1型混合層鉱物を主にし, 石英, パーミキュライト, カオリナイト, 長石を伴ったことは, 風成塵の寄与が広範囲にみられることを示唆する。Inoue and Naruse (1987) は, 中国のレスおよびレス由来土壌にみられる鉱物として, 14Å鉱物, 雲母およびイライト, カオリナイト, 石英, 斜長石を報告している。さらに, Zhao *et al.* (1992) は, 中国東北部の長白山, 三角龍湾, 五大連池の火山灰土壌の生成は, 中国とモンゴルの乾燥あるいは半乾燥地帯からの対流圏風成塵の影響を強く受けていることを認めた。Xing and Dudas (1994) は, 黒龍江省で採取したwhite clay土壌がカオリナイト, 雲母, パーミキュライト, スメクタイトから成り, 風成塵の混入を受けていると報告した。これらの報告と合わせて, 本報の結果は, 中国東北部の畑土壌が中国内陸部とモンゴルから飛来した風成塵の影響を強く受けていることを示

していると考える。

中国東北部において, 風成塵の影響を受けた土壌中に見い出される, Mg飽和-グリスロール処理で18Åのピークを示す鉱物はスメクタイトと同定されてきた(Zhao *et al.*, 1997; Xing and Dudas, 1992)。しかし, 本報では, この鉱物がスメクタイトを主とするにしても, 雲母, あるいは雲母とパーミキュライトとの混合層鉱物であることを認め, 混合層のタイプによりAタイプ(ほぼスメクタイトから成るもの), Bタイプ(雲母/スメクタイト混合層鉱物), Cタイプ(雲母/パーミキュライト/スメクタイト混合層鉱物)の3つに区分されることを明らかにした。

これらスメクタイトを主とする混合層鉱物は雲母の風化産物と考えたが, Xing and Dudas (1992, 1994) は, white clay土壌中のスメクタイトはパーミキュライトの風化作用によって生成したと報告した。スメクタイトがパーミキュライトに由来するとすると, 雲母→パーミキュライト→スメクタイト, すなわち雲母→Cタイプ→Bタイプ→Aタイプ→スメクタイトという直列的風化系列が推定される。もうひとつの考えは, 出発物となる雲母の化学組成, 荷電特性・荷電量の違いに対応して, それぞれCタイプ, Bタイプ, Aタイプおよびその中間タイプが形成されるという, いわば並列的風化系列である。

中国東北部畑土壌の母材は, 表1に示すように第四紀の湖成あるいは河成堆積物であり, 累積性を示す。離水後は中国内陸部やモンゴルの乾燥・半乾燥地帯から風成塵として, とくにシルト, 粘土サイズの粒子が加わる。さらに風成塵の起源, 飛来した距離によって, 粒径組成, 鉱物組成, 化学組成が異なる。このような要因の空間的および時間的変動が, 粒径組成, 粘土画分の鉱物組成, さらに2:1型混合層鉱物の鉱物タイプの地点間, 層位間変動に対応していると思われる。

以上のように, 中国東北部畑土壌は, 母材としての堆積物, 堆積時期, 堆積環境の空間的, 時間的変動が予想されたが, 中国内陸部とモンゴルからの風成塵の影響を受けて, 類似の粘土画分の鉱物組み合わせを示した。このことは, 東北部畑土壌の肥沃度, 生産力と鉱物学的特徴の関係を考えるうえで好都合である。表5の粘土含量と陽イオン交換容量の高い, 正の相関から類推されるように, 東北部畑土壌の自然肥沃度, 保肥力に基づく肥培管理を最も強く規定する要因は, 東北部畑土壌を通して粘土鉱物の集含量としての粘土含量である。次いで, 粘土画分中の2:1型混合層鉱物の量である。そして, 2:1型混合層鉱物のタイプ

の寄与も大きく、その寄与の大きさはAタイプ>Bタイプ>Cタイプの順であろうと予測される。

2:1型混合層鉱物のタイプが肥培管理に影響する事例として、冷害被害との関連が上げられる。先に、中国東北部での冷害被害軽減のための肥培管理についてのポット試験および圃場試験の結果について報告したが(韓ら, 1998b), そのなかで、低温処理および低温年(冷害年)では、化学肥料施用によって水稻収量が大きく減少することを報告した。この試験で用いた土壤は、本報でのM12に相当する。M12のAp層の2:1型混合層鉱物はAタイプであり、高い潜在地力が予想される。この高い潜在地力と化学肥料施用による窒素の供給過剰が、低温処理と低温年での登熟歩合の大幅な低下、大きな減収に結びついたことが指摘される。

## 要 約

中国東北部の主要畑土壤の粒径組成、とくに粘土含量は、黒土>暗棕壤>湿草地土、レシベ土>塩漬土の順に低下する傾向がみられた。同一土壤型でも採取地点間、同一採取地点でも層位間で粒径組成の大きな相違がみられることがあった。

中国東北部、主要畑土壤の粘土鉱物は、雲母とその風化産物である2:1型混合層鉱物を主とし、少量のパーミキュライトとカオリナイトを伴った。土壤の粘土画分は、土壤型によらず類似の鉱物組み合わせを示した。このため、東北部畑土壤の自然肥沃度、および保肥力に基づく肥培管理を規定する要因は、先ず粘土含量であり、次いで粘土画分中の2:1型混合層鉱物含量であるといえる。

## 謝 辞

土壤試料の採取にご協力いただいた延辺大学農学院

農学系李 宗鉄教授、金 英海氏、延辺大学農学院科研処許 周源教授、鄭 哲氏、全 病武氏に感謝する。

## 文 献

- 中国科学院林業土壤研究所 1980 中国東北土壤. 科学出版社, 北京
- Inoue, K. and T. Naruse 1987 Physical, chemical, and mineralogical characteristics of modern eolian dust in Japan and rate of dust deposition. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **33**: 327-345
- Islam, A. K. M. E. and E. G. Lotse 1986 Quantitative mineralogical analysis of some Bangladesh soils with X-ray, ion exchange and selective dissolution techniques. *Clay Miner.*, **21**: 31-42
- 韓 京龍・江頭和彦・金 福順 1998a 中国東北部、主要畑土壤の物理的および化学的性質. 九大農学芸誌, **52**: 183-192
- 韓 京龍・李 宗鉄・江頭和彦・金・福順 1998b 中国東北部、冷害多発地域での水稻安定生産のための有機物施用効果. 土肥誌, **69**: 256-264
- Wada, K., Y. Kakuto, Y. Yamada and S. Vacharotayan 1981 Clay mineralogy of paddy soils in Thailand and Malaysia. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, **25**: 223-239
- Xing, B. and M. J. Dudas 1992 Pedogenic properties of white clay soils of the Three River plain, Heilongjiang Province, P.R. China. *Geoderma*, **54**: 189-211
- Xing, B. and M. J. Dudas 1994 Characterization of clay minerals in white clay soils, Republic of China. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **58**: 1253-1259
- Zhao, L., M. Satoh and K. Inoue 1997 Clay mineralogy and pedogenesis of volcanic ash soils influenced by tropospheric eolian dust in Changbaishan, Sanjiaolongwan, and Wudalianchi, Northeast China. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43**: 85-98

## Summary

Northeastern part of China (Liaoning, Jilin and Heilongjiang provinces) ranges between 38°40' ~ 53°30' N and between 115°40' ~ 135°20' E. Geographically, the northeastern part of China is surrounded by mountains in the eastern, northern and western borders, and the plain is distributed in the central and southern parts. Climate is characterized by the temperate to cool-temperate monsoon with the mean annual temperature of 0 to 8 °C and the mean annual precipitation of 300 to 700 mm. The aim of the present study is to elucidate the clay mineralogical characteristics of major upland soils in the northeastern part of China. For this purpose, soil samples were collected at 12 sites covering

Saline soils, Sols lessives, Meadow soils, Black-colored soils and Dark-brown forest soils which occupy more than 80% of the upland field in the northeastern part of China.

The particle-size distribution varied with sampling sites and with the horizons, reflecting the sedimentary nature of the parent material. In general, the clay content decreased in the order of Black-colored soils  $\geq$  Dark-brown forest soils  $>$  Meadow soils, Sols lessives  $>$  Saline soils. The sequence of the clay content among the soil types was generally similar to the results reported in China.

Mineralogical composition of the clay fraction was examined by X-ray diffraction using the parallel powder mount. Predominant minerals identified were mica and 2:1 mixed-layer minerals, followed by vermiculite, kaolinite, quartz and feldspars. Chlorite and 2:1 minerals-chlorite intergrade were not detected. The similar mineralogical suite in the clay fraction irrespective of soil types indicates that the upland soils in the northeastern part of China are extensively affected by the eolian dust originating from the inland of China and Mongolia.

2:1 mixed-layer minerals are minerals which show the reflection around  $18\text{\AA}$  in the Mg-saturated and glycerol-solvated specimen. They could be grouped into the three groups depending on the line profile around  $18\text{\AA}$ . Type A is the mineral which shows the peak at  $18\text{\AA}$  with a slight tailing toward the lower angle and was designated as smectite with a small amount of mica as the mixed-layer mineral. Type B is the mineral which shows the shoulder around  $18\text{\AA}$  and was designated as the mica-smectite mixed-layer mineral. Type C is the mineral which hardly shows any peak or shoulder around  $18\text{\AA}$  and was designated as the mica-vermiculite-smectite mixed-layer mineral.

Based on the correlation with cation exchange capacity, the inherent potentiality of upland soils in the northeastern part of China was estimated to be controlled by the clay content and then by the content and type of 2:1 mixed-layer minerals.