

日本東北地方의 火山灰土壤

庄子貞雄

日本國 東北大學 農學部

譯 康珉秀

濟州大學校 農科大學

緒 言

火山灰土壤(Kuroboku土)은 沖積土壤과 함께 日本에 있어서 가장 重要한 耕地土壤이다. 火山灰土壤은 그 母材와 風化過程에 있어서 다른 土壤에서는 볼 수 없는 많은 特異性을 나타내며 이것이 이 土壤이 利用上의 問題點으로 되어 있다.

母材로서의 tephra 의 性質

火山灰土壤의 特異性은 母材인 火山灰, 輕石, Scoria 等の tephra 性質에 의해서 強하게 影響을 받는다. 그래서 이와 같은 母材의 性質을 研究하는 것은 火山灰土의 風化生成이나 特性을 깊이 理解하기 위해서 重要한 일이다.

tephra 는 그 鑛物組成에서 살펴보면 火山 glass 가 풍부하고 結晶鑛物含量이 낮은 것이 特徵이다. 이 때문에 一般岩처럼 鑛物組成에 의해 tephra 를 分類하는 것은 困難하다. 그래서 筆者 등은 表 1 과 같이 tephra 의 全珪酸含量에 의한 化學的 分類를 실시하고 있다.

이와 같은 分類에 의하면 東北地方의 tephra 는 安山岩, 石英安山岩, 流紋岩에 屬하는 것이 대부분이다. 濟州島에 널리 分布하고 있는 玄武岩에 속하는 Scoria 는 東北地方에 있어 岩手火山由來의 tephra 뿐이다.

表 2 에 나타낸 것처럼 全珪酸含量에 의한 tephra 分類의 有効性은, 全珪酸含量이 其他 重要成分과 密接한 相關關係가 있는 것을 알면 分明해진다. 예를 들어 Al, Fe, Ca, Mg 등은 모두 全珪酸含量과 密接한 直線的 關係에 있다. 이것은 珪酸含量이 낮은 玄武岩의 tephra

Table 1. Classification of tephric materials according to the total silica

Rock types	SiO ₂ %
Acidic (Felsic)	
Rhyolite	70
Dacite	70-62
Intermediate	
Andesite	62-58
Basaltic andesite	58-53.5
Basic (Mafic)	
Basalt	53.5-45

Table 2. Correlations between the content of SiO₂(X) and those of the other elements (Y) in tephric materials.

Al ₂ O ₃ %	Y = -0.242 x + 30.92	R = -0.905***
Fe ₂ O ₃ + FeO %	Y = -0.347 x + 27.83	R = -0.957***
MgO %	Y = -0.255 x + 18.38	R = -0.926***
CaO %	Y = -0.321 x + 25.86	R = -0.967***
Na ₂ O %	Y = 0.097 x - 2.58	R = 0.869***
TiO ₂ %	Y = -0.014 x + 1.54	R = -0.546**
MnO %	Y = -0.0025 x + 0.292	R = -0.571**
K ₂ O %	Y = 0.032 x - 0.82	R = 0.351

가 잘 風化되면 肥沃한 土壤을 生成하게 된다. K나 Na 含量이 全珪酸含量과 낮은 相關을 나타나는 것은 後述하는 바와 같이 이러한 alkali 는 火山帶와의 關係가 크기 때문이다.

tephra 의 種類와 鑛物組成의 關係는 圖 1 과 같이 整理할 수 있다. 어떤 種類의 tephra 에서도 火山 glass 가 壓倒的으로 많고 이 非晶質 鑛物이 母材鑛物로서 얼마나 중요한가는 분명하다. 火山 glass 는 그 屈折率 혹은 化學組成에서 珪酸含量이 높은 無色火山 glass (屈折率 < 1.53) 와 鐵이나 鹽氣含量이 높은 有色火山 glass (屈折率 > 1.53) 로 大別된다. 無色火山 glass 는 流紋岩, 石英安山岩, 安山岩 등의 屬하는 tephra 에, 또 有色火山 glass 는 玄武岩質 安山岩이나 玄武岩에 포함된다.

斜長石이나 輝石 등의 結晶鑛物은 모든 tephra 에 널리 들어 있는데 비해서 角閃石이나 黑雲母는 流紋岩으로부터 安山岩까지의 tephra 에 들어 있다. 그 含量은 後述하는 것처럼 火山帶와 關係가 있다. 橄欖石은 玄武岩의 tephra 에 特徵的으로 들어 있다.

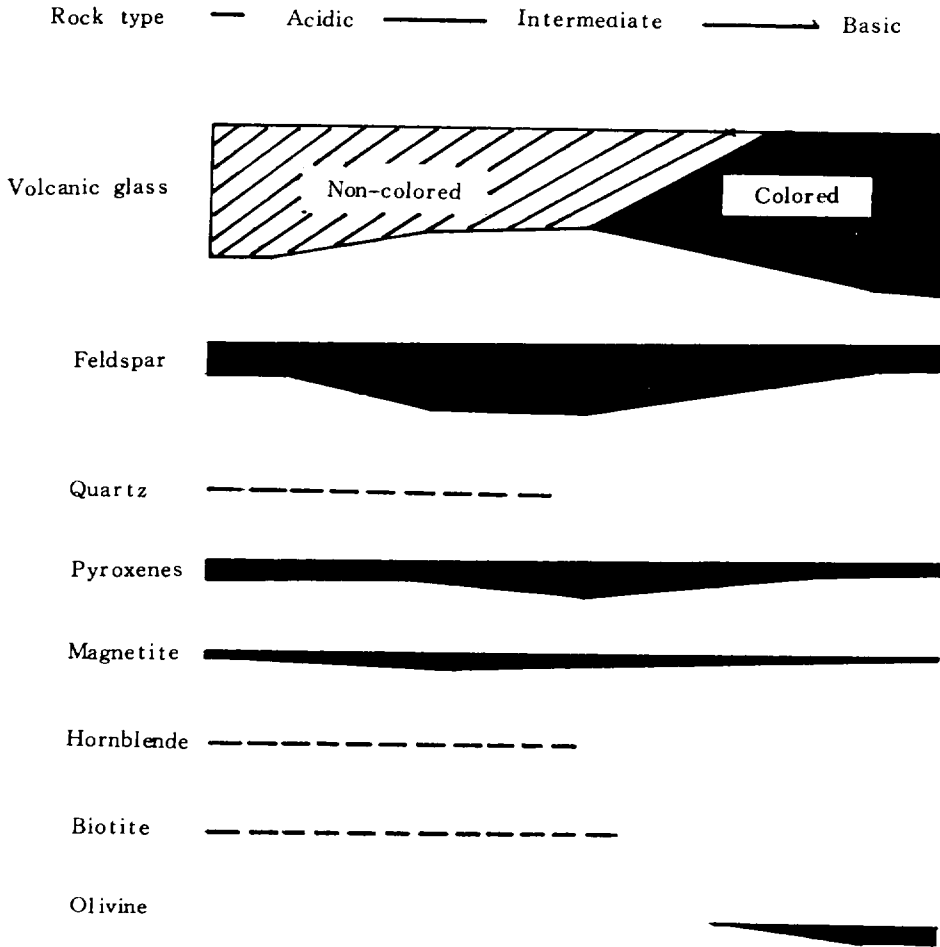


Fig.1. Relationships between rock types of tephric materials and their mineralogy

火山帶와 tephra의 性質과의 關係를 살펴보면 特定の 鑛物과 化學元素의 含量에는 興味 있는 關係가 나타나 있다.

東北日本의 火山帶는 日本海溝에 가까운 쪽에서부터 那須火山帶, 이어서 鳥海火山帶가 있다. 그리고 鳥海火山帶의 背後를 보면 中國地方에는 大山火山帶가 보인다. tephra 중의 K 含量, 角閃石이나 黑雲母의 含量을 보면 日本海溝보다 먼 火山帶에서 噴出한 tephra 일수록 높은 것이 特徵이다. 濟州島의 tephra는 大部分이 玄武岩質이지만 火山帶와의 關係로 보아 興味있는 母材이다.

東北地方의 火山灰土 生成

日本の 火山灰土 혹은 Kuroboku 土의 分類를 最近 提案된 耕地土壤의 分類에서 보면, 基本的으로는 腐植層의 厚度와 腐植含量에 기초를 두고 있다. 이 分類에 의하면 東北地方의 Kuroboku 土는 多腐植質 Kuroboku 土, 即 腐植層이 厚度가 25 ~ 30 cm, 腐植含量이 10% 以上인 것이 가장 많은 것 같다. 이 외에 厚層多腐植質 Kuroboku 土나 淡色 Kuroboku 土도 많이 分布되어 있다.

이상과 같이 東北地方 火山灰土의 대부분은 A層이 두껍고 더우기 後述하는 것처럼 非

Sampling site

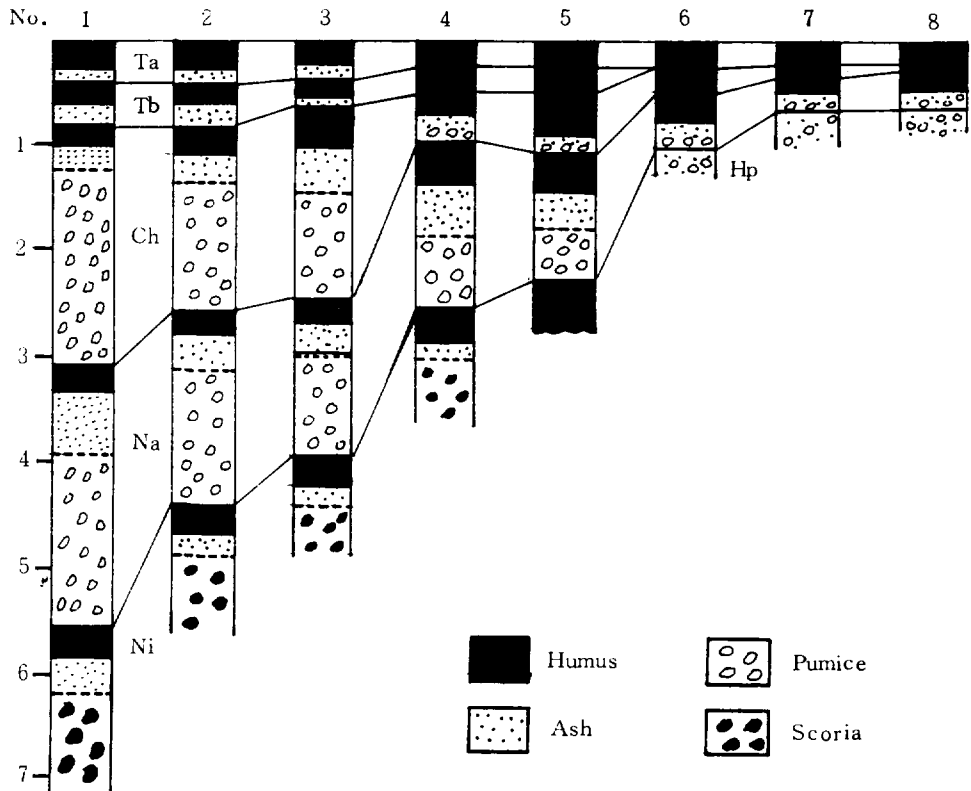


Fig.2. Profile sections of the soil from Towada tephras

1. Ninokura; 2. Kanutochidna; 3. Takko; 4. Sannohe; 5. Sarugoe; 6. Doronoki; 7. Banzo; 8. Yagi ; Ta, Towada - a ash; Tb, Towada - b ash; Ch, Chuseri ash; Na, Nanbu ash; Ni, Ninokura ash; Hp, Hachinohe pumice

allophane 質土壤이다. 이와 같은 土壤의 生成에는 間歇的인 tephra 의 降下와 土壤化의 반복, 또한 역새 植生이 크게 關係하고 있는 것이 확실해지고 있다. 그의 좋은 예는 東北地方 北部의 靑森縣에 分布하는 十和田 火山灰土에서 볼 수 있다.

圖2에 나타내고 있는 靑森縣의 8地點은 모두 十和田 caldela 의 東側에 있고 tephra 降下의 主軸下에 있다. tephra 는 새로운 쪽에서부터 十和田 a(約 1,000年), 十和田 b(約 2,000年), 「中세리」(約 4,000年), 南部(約 8,600年) 및 二ノ倉(約 10,000年)의 5개이며, 그 岩質은 流紋岩에서 玄武岩質 安山岩까지 變化하고 있다.

噴出源에 比較的 가까운 二ノ倉으로부터 田子까지는 tephra 가 堆積할 때마다 土壤이 生成되는 再生 type 의 土壤斷面으로 되어 있다. 한편 噴出源에서 먼 三戶以東의 地點에는 tephra 의 堆積層이 얇게 되어 있어서 斷面은 逆行 type 로 되어 두꺼운 腐植層을 形成하게 된다.

普通 森林에서 生成되는 火山灰土는 새까만 腐植層을 形成하지 않는다. 人爲的인 impact 에 의해 森林에서 역새 草原으로 移行됨에 따라 새까만 腐植層이 形成된다. 예를 들어 너도 밤나무 森林下의 十和田 火山灰土가 暗褐色의 腐植層으로 되어 있는 것에 비해 여기에 隣接한 火山灰土의 表層은 역새 植生의 影響을 강하게 받아 새까맣게 되어 있다.

東北地方 洼色 Kuroboku 土의 대부분은 人爲的으로 腐植層이 除去되었기 때문에 生成된 것으로 보인다.

또 日本의 火山灰土는 他國의 火山灰土에 비해 腐植層이 두께가 두껍고 색이 검다. 이것은 前述한 것처럼 역새 등의 草原植生이 密接히 關係하고 腐植酸의 type 이 A型으로 되어 있기 때문이다.

東北地方에 있어서 火山灰土 粘土鑛物의 生成

火山灰土의 대부분의 特異性은 母材인 tephra 가 細粒으로 더우기 風化하기 쉬운 火山 glass 를 多量으로 함유하고 있기 때문에 급격히 風化作用이 進행된 結果로 얻어진 것이다. 이러한 特異性이 대부분은 粘土鑛物組成과 密接히 關係한다.

그런데 東北地方에 있어서의 粘土鑛物을 보면 특히 表層은 風化環境과 母材의 影響을 많이 받고 있다. 圖3에는 表層의 allophane 質土壤 分布狀態가 나타나 있다. 이것에 의하면 表層이 allophane 質인 것은 많은 火山灰土 중에서 十和田 火山灰土의 一部, 岩手, 秋田駒久岳 및 藏王火山灰土 등에 불과하다.

十和田 火山灰土의 母材는 流紋岩質이지만 年降水量이 東北地方에는 가장 적고 土壤의 酸性化가 되기 어렵다. 한편 岩手, 秋田駒久岳 및 藏王火山灰土는 모두 鹽基含量이 높은 有

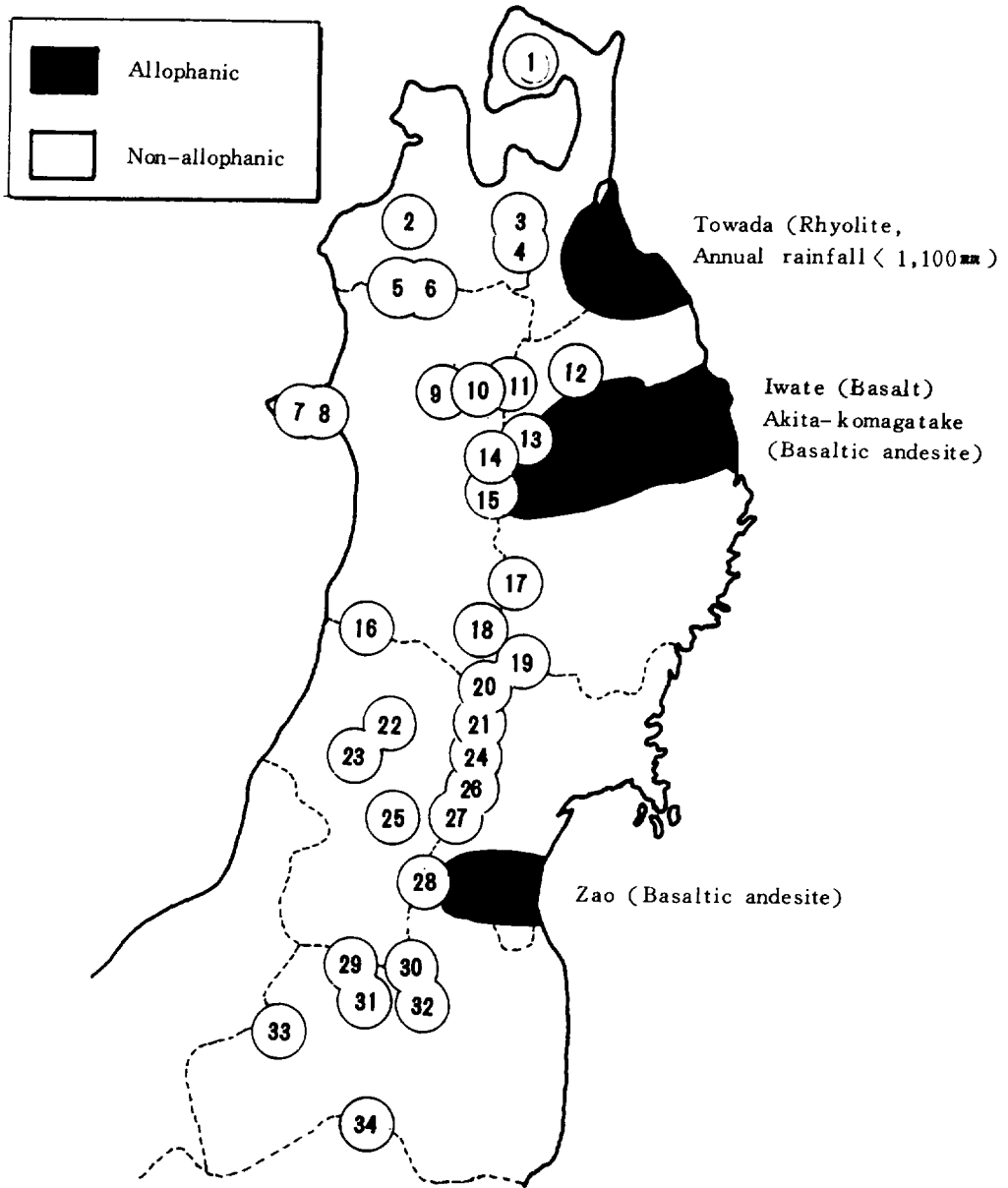


Fig.3. Mineral map of surface soils of Tohoku Andisols

色火山 glass 가 풍부한 玄武岩 내지는 玄武岩質火山岩의 tephra 이다.

以上の 火山灰土 外에는 모두 非allophanic 質 火山灰土로 되어 있다. 이런 土壤은 모두 年

降水量이 많고 母材는 無色火山 glass 가 풍부한 流紋岩, 石英安山岩 혹은 安山岩에 속한다. 이것으로부터 非 allophane 質 火山灰土는 溶脫이 進行되어 強酸性下에서 生成되는 것으로 생각되며 東北地方에 있는 無色火山 glass 가 풍부한 火山灰의 風化假說로서 筆者 등은 圖 4 를 提案하고 있다.

이 風化假說에 의하면 年降水量이 많고 表層이 pH ≤ 5 의 경우에는 母材로부터 溶出하는 Al 이온은 有機物과 安定된 複合體를 形成하여 非 allophane 質로 된다. 이것에 비해 年降水量이 적고 pH > 5 의 경우에는 風化溶出하는 Al 이온은 水酸化 Al 로 되어 有機物과의 複合體 形成力이 약해져 珪酸과 結合하여 allophane 이나 imogolite 를 生成하게 된다. 따라서 有機物의 集積은 降水量이 많은 土壤에서 많아진다.

有色火山 glass 가 풍부한 表層은 年降水量이 현저하게 많은 경우에도 酸性이 되기 어려워 allophane 質 火山灰土로 된다.

非 allophane 質 火山灰土 중에 主要 粘土鑛物인 2:1型 鑛物의 起源 혹은 成因에 대해서는 以下와 같은 搬入說이나 自主說이 있으나 더욱 今後의 研究가 기대된다.

또 搬入說로서는 다음과 같은 것이 있다.

- 1) 二次的 火山灰說……火山의 地表 혹은 山體內部에서 熱水變質作用으로 生成된 2:1型 鑛物이 火山爆發시에 tephra 와 함께 降下한다.
- 2) 黃砂說……中國大陸으로부터의 loess 에 由來한다.
主要한 自主說로서는 다음과 같은 것을 들수 있다.
 - 1) 重鑛物質 變質說……母材 중의 輝石, 角閃石, 雲母 等の 風化變質에 의한다.
 - 2) 非晶質 粘土風化說……火山灰土 중에서 生成되는 非晶質 粘土에서 生成된다.
 - 3) 無色火山 glass 의 風化說……無色火山 glass 가 酸性 表層에서 K를 선택적으로 흡수하여 2:1型 鑛物로 變質된다.

그런데 有機物이 供給이 적은 非腐植層(B, C層)에서는 母材에 관계없이 allophane - imogolite 가 生成된다. 이것을 보면 表層에 있어서 粘土鑛物의 生成에 대해서 有機物과의 複合體形成이 얼마나 重要한가를 理解하게 될 것이다.

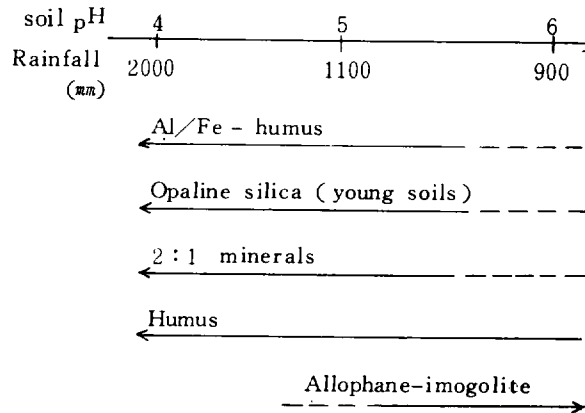


Fig.4. Weathering sequence for volcanic ash in the surface soils of Andisols from northeastern Japan (Ash dominated by non - colored glass)

또 오래되지 않은 火山灰土의 表層에는 円盤이나 楕圓板狀의 lamina opaline silica 가 많이 生成된다. 이 非晶質鑛物은 母材로부터의 珪酸供給이 풍부해서 Al 과 結合하기 곤란한 條件下에서 生成된다. 따라서 오래되지 않은 非 allophane 質 表層에서 生成되기 쉽다.

以上에서 火山灰土는 그 粘土鑛物組成으로 봐서 크게 allophane 質 土壤과 非 allophane 質 土壤으로 大別된다. allophane 質 土壤의 活性 Al 은 allophane · imogolite 의 Al 의 主體이고, 非 allophane 質 土壤의 그것은 腐植과 複合體를 形成하고 있는 Al 이다.

火山灰土의 獨特한 物理的 및 化學的 性質

1) 假比重(bulk density)

火山灰土는 假比重이 적은 것이 特徵이고 이것이 火山灰土이 중요한 規準이 된다. 예를 들어 火山灰土國際分類委員會(ICOMAND)는 假比重 $< 0.9 \text{ g/cm}^3$ 를 規準으로 하고 있다.

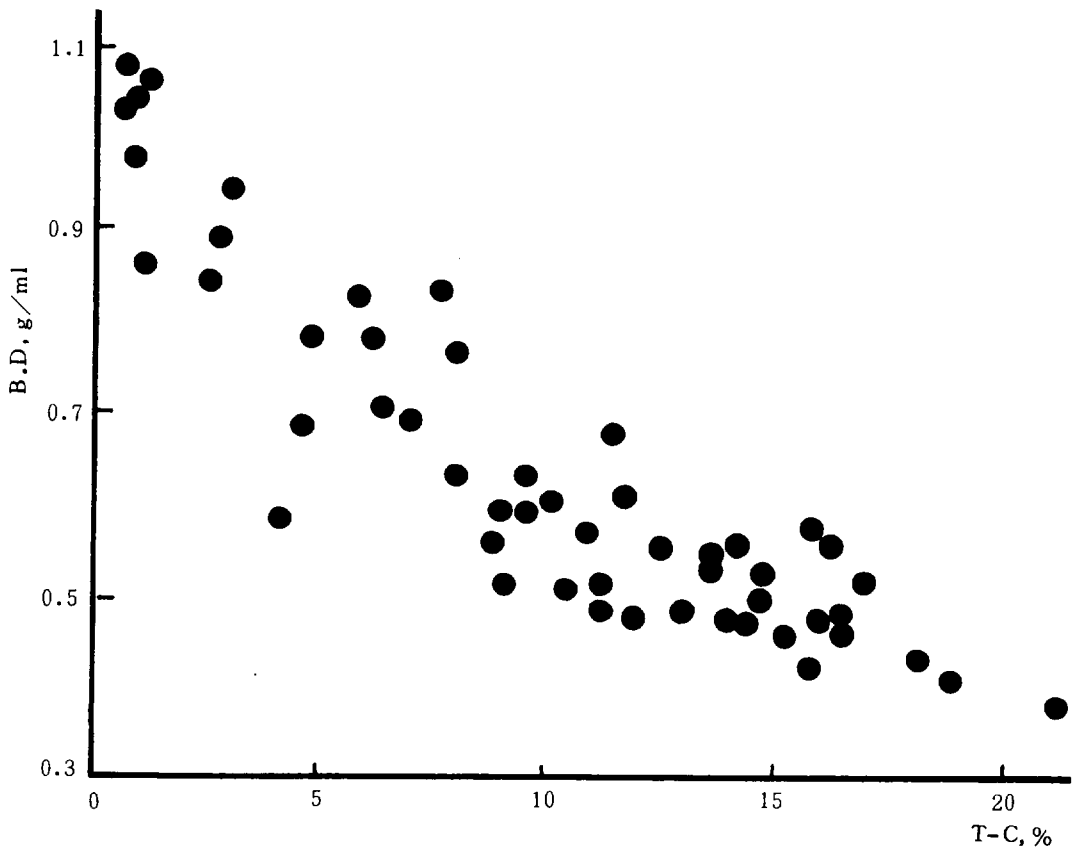


Fig.5. Relationship between total C and bulk density of non-allophanic Andisols

東北地方의 allophane 質 火山灰土나 非 allophane 質 火山灰土도 모두 上記의 規準을 만족시키고 있다. 그러나 非 allophane 質 火山灰土의 경우에는 圖 5 에 나타낸 것처럼 役割이 대단히 크다.

2) 水分保持力(water retention)

火山灰土는 다른 土壤에 비해 水分保持力(특히 15bar 水分保持力)이 크며 또 有效水分(available water)도 많다. 이 特徵은 非 allophane 質 火山灰土에도 共通의으로 認定된다.

圖 6 에는 最近 ICOMAND 로부터 非 allophane 質 火山灰土 Alludands 의 type locality 로서 要望되고 있는 東北大學 農學部의 向山地區 土壤水分 測定結果를 나타낸 것이다. 이것에 의하면 非 allophane 質 火山灰土도 15bar $\frac{1}{3}$ bar 水分이 많고 또 有效水分도 많은 것을 알 수 있다.

3) 有機物의 集積

Kuroboku 土라는 명칭에서 상정되는 것처럼 火山灰土는 排水가 良好한 世界의 土壤 中에서 가장 多量의 有機物을 集積하는 土壤이다. 더우기 日本의 火山灰土의 有機物은 腐植化度가 높은 腐植酸을 多量으로 함유하고 있기 때문에 黑色이 매우 짙다. 通常 日本의 火山灰土 有機物 含量은 10~20%이다. 이 有機物은 대부분이 有機-無機 複合體를 形成하고 있다. 圖 7 에는 有機物의 集積에 있어 特히 AI의 複合體 形成이 allophane 質 土壤에도 非 allophane 質 土壤에도 重要하다는 것이 나타나 있다.

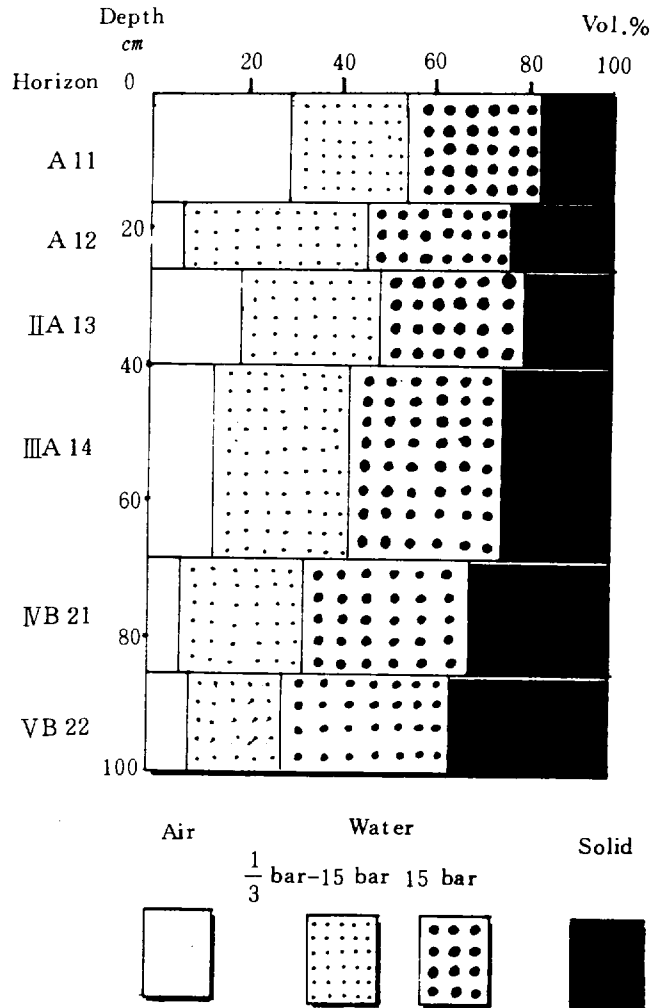


Fig. 6. Distribution of solid, water and air in Mukaiyama soil (Non-allophanic Andisol)

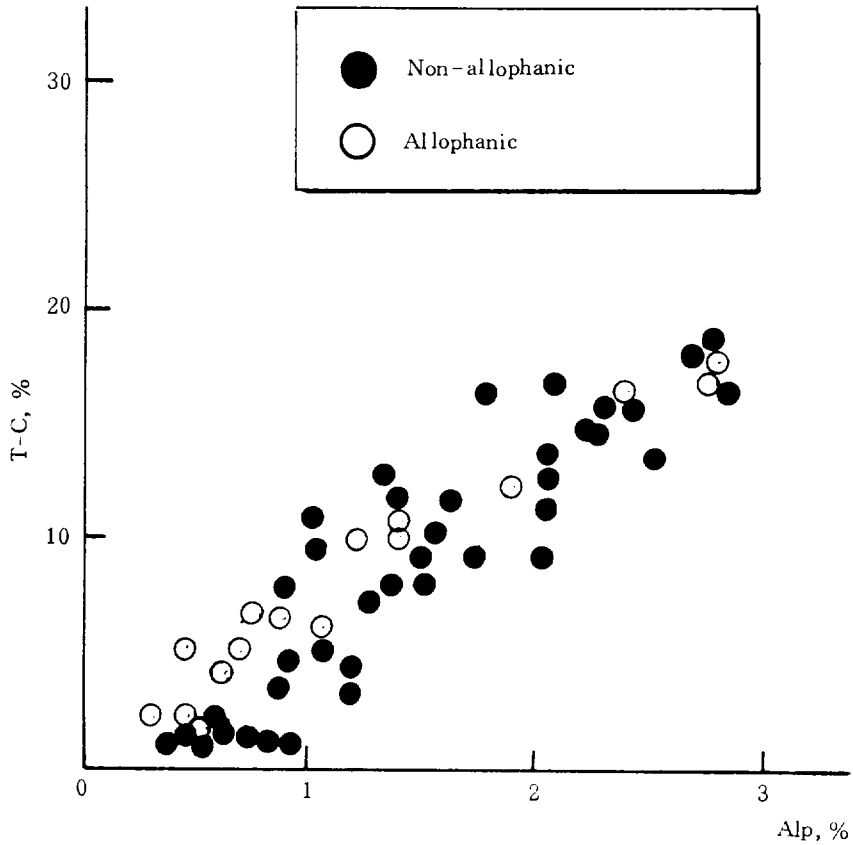


Fig.7. Relation between pyrophosphate extractable Al(Alp) and total C in Andisols.

4) 弗素와 磷酸과의 反應性

火山灰土는 多量의 活性 Al 이 含有되어 있다. 이 때문에 火山灰土는 NaF 溶液을 添加하면 活性 Al 에 結合하고 있는 水酸基(OH)와 F 와의 交換反應이 일어나 높은 pH를 나타내게 된다. 이 反應은 allophane test 로서 利用되어 美國農務省 Soil Taxonomy Andepts 의 重要한 規準(pH(NaF) > 9.4)으로 되어 있다. 그러나 最近에는 非 allophane 質 火山灰土도 圖 8 과 같이 높은 pH(NaF)를 나타내는 것이 확실시 되어 allophane 에 特異的인 反應이 아님을 알게 됐다. 火山灰土는 磷酸과의 反應性이 높고 從來로부터 이 性質이 火山灰土에 있어 低肥沃性的의 제일 큰 原因으로 되어져 왔다. 그러나 이와 같은 磷酸과의 反應性은 火山灰土의 가장 特異的인 性質이어서 ICOMAND는 磷酸保持容量 *phosphate retention* 85% 以上을 重要한 規準의 하나로 보고 있다. 日本의 非 allophane 質 火山灰土도 allophane 質 火山灰土와 마찬가지로 圖 9 처럼 이 規準을 만족시키고 있다.

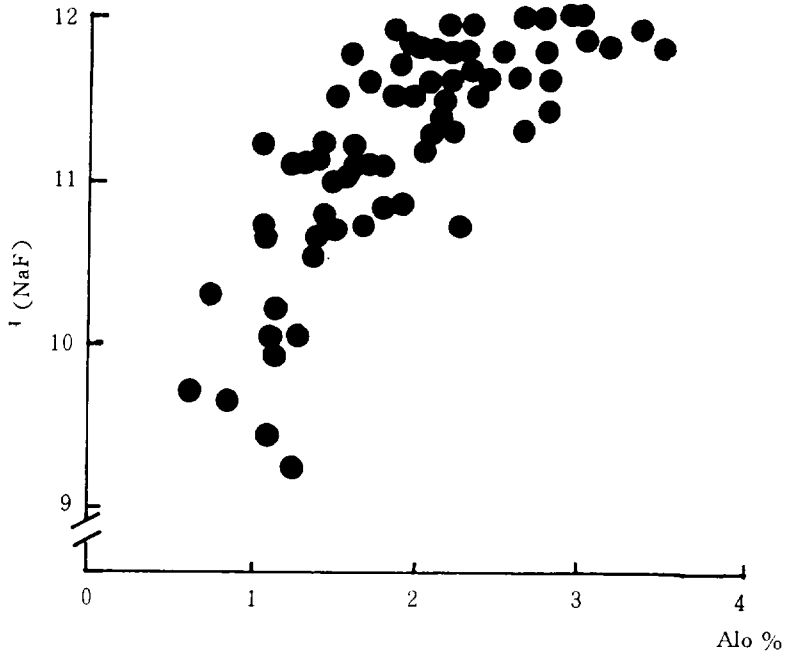


Fig. 8. Relationship between active Al (Alo) and pH (NaF) in non-allaphanic Andisols
NB: active Al was extracted with acid oxalate solution.

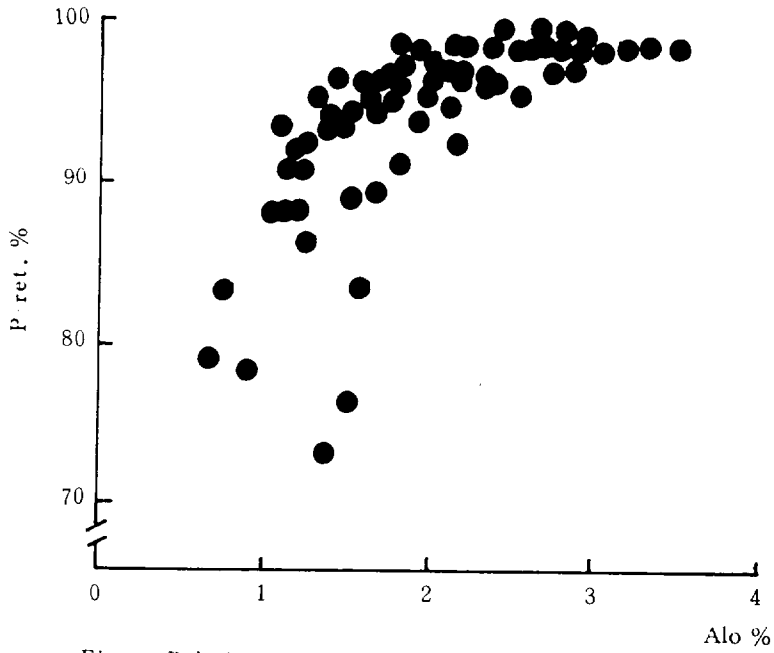


Fig.9. Relationship between active Al (Alo) and phosphate retention in non-allophanic Andisols

5) 土壤酸性

土壤酸性은 allophane 質 火山灰土와 非 allophane 質 火山灰土間에는 현저하게 다르다. 圖 10 에서 보는 바와 같이 allophane 質 火山灰土에는 植物의 酸性障害 限界 pH가 存在하지 않는데 비해서 非 allophane 質 火山灰土에는 pH 約 5의 限界值가 있다.

allophane 質 土壤에는 土壤의 交換性 鹽基가 아주 적은 경우에도 交換座는 proton으로 占有된다. 이것에 비해 非 allophane 質 土壤에는 2:1 型 礦物에 의한 交換座를 Al^{3+} 가 차지하게 된다. 이 交換性 Al 은 有害性 Al 이다.

따라서 土壤의 有害性 Al (土壤酸性의 中心)의 存在는 pH보다도 交換性 Al (通常 Kcl로 交換)쪽이 實際的이다.

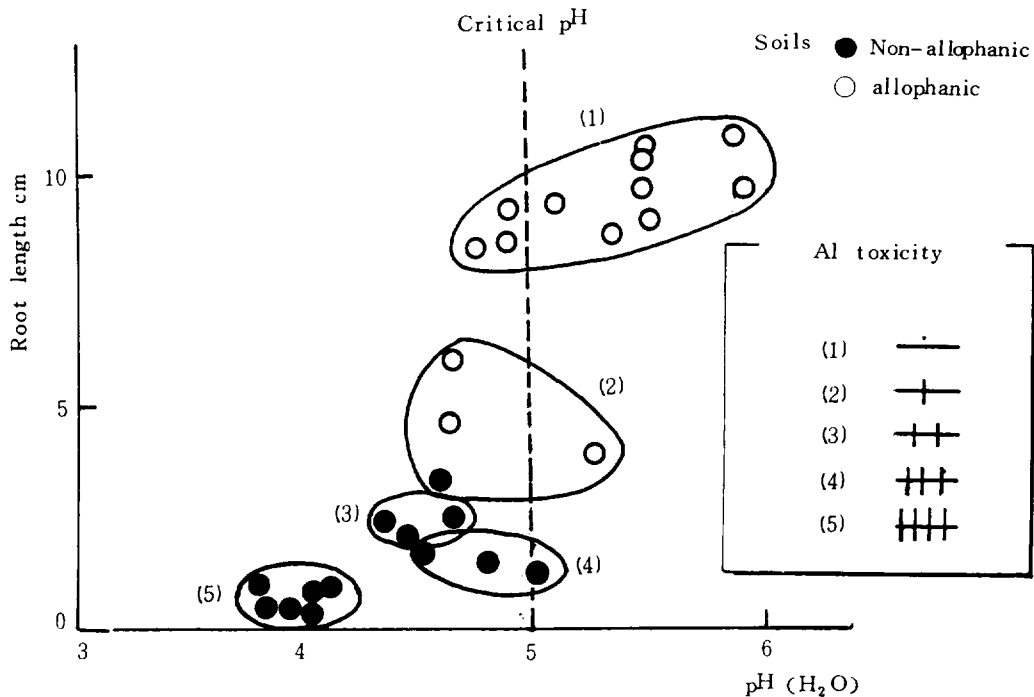


Fig.10. Relationship between soil pH and root growth of barley

火山灰土의 生産力

火山灰土는 지금까지 주로 化學的 不良要因 特히 磷酸肥沃性이 낮은 때문에 不良土壤으로 여겨져 왔다. 그러나 今日에는 이와 같은 化學的 不良要因이 比較的 容易하게 改良되기 때문에 오히려 이 土壤의 우수한 物理性이 評價되어야 할 것으로 생각된다. 特히 多收에 必要한 水分供給能力은 火山灰土의 우수한 性質이다.

Andisols in Tohoku, Japan

Sadao SHOJI
Faculty of Agriculture,
Tohoku University, Japan

Abstract

Andisols are the major cultivated soils in Japan and are used for growing of many upland crops, fruit trees and so on. Since the properties of tephras such as volcanic ash, pumice and scoria greatly influence the genesis and properties of Andisols, the classification of tephra is very important to grasp the properties of Andisols. We proposed a simple chemical classification based on the total silica content because the total silica content has close relationships to the contents of the other elements. According to this classification, most of tephras from Tohoku are classified as rhyolite, dacite, or andesite. These tephras are characterized by abundance of non-colored volcanic glass.

Tohoku Andisols mostly belong to High Humic Andisols. Their genesis reflects the repeated ash depositions and contribution of *Miscanthus sinensis*. According to the clay mineralogy, Andisols in Tohoku are divided into two groups; allophanic and non-allophanic. Allophanic Andisols have the clay fractions dominated by allophane and imoglite and form from basaltic tephras or from non-basaltic tephras under a weakly leaching condition. On the other hand, non-allophanic Andisols shows abundance of 2:1 minerals and active Al consisting mainly of Al-humus complex. These soils form from non-basaltic tephras under a strongly leaching condition.

Both allophanic and non-allophanic Andisols show unique physical and chemical properties such as low bulk density, high water retention, remarkable accumulation of organic matter, large amounts of variable charges, high reactivity with fluoride and phosphate, etc. However, there are some significant dissimilarities between the two groups of Andisols.

Andisols have been ranked as one of unfertile soils mainly because of limitations of chemical properties. However, since these limitations are easily relaxed by modern agrothechniques, excellent physical properties of the soils should be estimated.