大磯丘陵の立川ローム中にみられる 風化断面の一例

歌田 実・詫摩まり子*・青木 正博**

(東京大学理学部, 東京都文京区本郷, *新座高等学校,
埼玉県新座市, **弘前大学理学部, 青森県弘前市文京町)

An alteration envelope of weathering origin in Pleistocene
Tachikawa Loam at Oiso Hills, Kanagawa Prefecture

Minoru Utada, Mariko Takuma* and Masahiro Aoki**

*Geological Institute, Faculty of Science, University
of Tokyo, Hongo, Tokyo *Niiza High School,
Niiza, Saitama, **Institute of Earth
Science, Faculty of Science, Hirosaki
University, Hirosaki, Aomori*

Abstract

A fairly thick alteration envelope of weathering origin at present was found at the northernmost Oiso Hills, Kanagawa Prefecture. It has been formed in eolian Tachikawa Loam of the latest Pleistocene age which widely covers the Kanto Plain and is constituted mainly by reworked basaltic Pyroclastics. At a typical outcrop, it is composed of the halloysite zone, the montmorillonite zone, and the weakly-altered zone where authigenic mineral was not detected by X-ray method. Its morphology is almost bed-like and its thickness is more than 5 meters. Its central part, near the surface, is occupied by the halloysite zone, while its marginal part, the deeper part, is the weakly-altered zone. The former is closely related to humus-bearing soils. The montmorillonite zone appears at the intermediate part locally. Chemically, all components except alumina were extremely leached out from the halloysite zone. On the other hand, the leaching of chemical components is not so strong in other zones. It is characteristic that MgO is concentrated in the montmorillonite zone.

The writers think this a typical alteration envelope of weathering origin

under wet and warm conditions and name it the K-M type weathering envelope.

1. ま え が き

神奈川県西部の大磯丘陵には高度の異なる平坦面がよく発達し、その成因が注目されてきた。また、大磯丘陵の構成物は主として第四紀の火砕物とロームで、ここでの層序は“関東ローム”の層序を定める上に極めて重要とされている。筆者らは協力者と共にこの地域の第四系層序と地形・地質発達史を研究してきたが、ここでは“地すべり”地形が一つの地形要素となっており、粘土化作用と関連が深いことが認められた。実際、関東大震災の際、丘陵北部で地すべりが生じ、河川をせき止めて“震生湖”を生じたことはよく知られた事実である。さらに筆者らの研究結果では、地すべりは現地表付近だけに限られず、いろいろな層位に“地質時代の地すべり堆積物”がはさまれている。そして、それらの地すべりの滑材となった粘土は、それぞれの時代に生じた風化殻に関連のあるものと考えられている（歌田¹⁾）。

この地域の風化殻の形成には第四紀を通じて盛衰がみとめられるが、現地表付近に生じた最も新しい風化殻は広域的に顕著なものの一つである。これは立川ローム期から現在に至る温暖湿潤期に形成され、溶脱帯にカオリン鉱物、集積帯にスメクタイトが生成するタイプとして典型的なものである。本報ではそのほとんど完全に近い風化断面の1例について、鉱物組成と化学組成、およびそれらの変化を記載し、火砕物を原岩とする温暖湿潤気候における風化作用の特徴について考察する。

2. 露頭のスケッチ

大磯丘陵における後期洪積世ロームは下位から吉沢ローム（下末吉ローム）、武蔵野ローム、立川ロームに区分される*。立川ロームは局所的には立川段丘礫層を覆って分布するが、一般にはそれ以前のローム中に生じた谷をうめて分布する。また、その上部は宝永スコリアを含む最も新しいロームにより覆われている。立川ローム上部と宝永スコリアとは丘陵部では削剝されているのが普通である。しかし、やや低地となっている丘陵最北部では、ほとんど完全な断面が残されており、ここで報告する露頭もその一つである。Fig. 1 に示したように、小田急線大秦野駅南東約1kmに位置し、1976年に新しい道路建設のため切り割られた好露出であったが、現在はブロックを積まれたためみることができない。露頭では下位に武蔵野ローム、上位に立川ロームがほぼ水平に重っているが、宝永スコリアは削剝されていて存在しない。露頭が切り割られた当時は全体が青黒色であったが、数ヶ月後に赤褐色に変化した。武蔵野ロームと立川ロームにはそれぞれかすかな堆積構造がみとめられ、それから判断すると両者は約10°～15°程の斜交関係である。この露頭

* 森²⁾は武蔵野ロームと立川ロームをまとめて新期ローム層としている。

Fig. 1. Locality of the studied outcrop.

で立川ロームの層厚は4.5~8.0mあり、谷地形をうめ、上位の60~210cm程が腐植を含む黒色土壌になっている。黒色土壌は谷底程厚く、かつ含まれている腐植量も多い。黒色部と赤褐色部の境界付近には白色化した層が10~15cmみられ、肉眼によって粘土化の強い部分と判かる。赤褐色ローム中でも、ところどころに数mm~数cmのレンズ状の固化した部分がみられ、この内部のロームは赤色化が遅れている。ロームの粒度は粗く、直径0.2~1.0cmのスコリアが肉眼で見分けられる。全体に均質であり、ときに色調により斑状にみえる部分があるが、変質の差異によるもので原岩には差異がない。

3. 研究方法

3.1 サンプル

Fig. 2 に示したように約2m間隔の重直断面において、それぞれ3~7個のサンプルを採取した。垂直方向のサンプル採取間隔は一定ではなく、肉眼によって判別できる変質の相異を考慮して代表的なものを選んでいく。断面の左下の殻にかこまれた部分で採取したものの44個を含め、総数は103個である。

3.2 実験

本研究で行った実験は次のとおりである。

A. 全試料の全岩および水戻物の粉末X線回折；対陰極—Cu，フィルター—Ni，電圧—35kV，電流—15mA，走査速度—1°/min。

B. 代表的粘土試料の400°C加熱， Mg^{2+} 飽和後のグリセリン処理，エチレングリコー

Fig. 2. Sketch of the studied outcrop, showing the position of taken samples.

ル処理後、粉末X線回折；条件は上記と同じ。

C. DTA および TGA；昇温速度— $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

D. 薄片による顕微鏡観察。

E. 走査型電子顕微鏡による破断面の観察。

F. 化学分析； SiO_2 、 Al_2O_3 —重量分析、 TiO_2 —比色分析、 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 CaO —原子吸光分析、 Na_2O 、 K_2O —炎光分析、 $\text{H}_2\text{O}(+)$ 、 $\text{H}_2\text{O}(-)$ —熱天秤法

4. 変質鉱物の同定

全岩および水筴物について上記の実験を行った結果、ハロイサイトとモンモリロナイトが変質鉱物として同定された。

ハロイサイト：Fig. 3 は典型的なハロイサイトの試料（No. 3の水筴物）について、無処理（NT）、 400°C で24時間加熱（H400）、エチレングリコール処理（EG）、Mgで飽和させた後グリセロール処理（AM）したものの粉末X線回折図である。この図からわかるとおり、このサンプルはほとんど純粋なハロイサイトまたはハロイサイト・アロファン球状体である。Fig. 4 にはこのサンプルの DTA 曲線を示す。DTA 曲線にはハロイサイトに特徴的な $500^{\circ}\sim 600^{\circ}\text{C}$ の強い吸熱ピークがみとめられるが、 100°C 付近の吸熱ピークの位置や $900^{\circ}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ の発熱ピークの位置からアロファンの存在を確認することはできなかった。また、走査型電子顕微鏡による観察によってもハロイサイトの細長い平板結晶は多数みられたが、ハロイサイト—アロファン球状体は確認できなかった。

モンモリロナイト：モンモリロナイトの最も多量に含まれているモンモリロナイト＋ハロイサイト混合物のサンプル（No. 4の水筴物）について、無処理（NT）、 400°C で24

Fig. 3. X-ray diffraction patterns of a typically halloysitized material (No 3) : NT, not treated specimen ; H(400), heated specimen at 400°C for 24 hours ; EG, ethylene glycol saturated specimen ; AM, Glycerol treated specimen after Mg-saturated.

時間加熱 (H400), エチレングリコール処理 (EG), Mg で飽和させた後グリセロール処理 (AM) したものの粉末X線回折図を Fig. 5 に, DTA 曲線を Fig. 4 に示す。

その他: Fig. 6 に示したサンプル (No.51) は無処理では非晶質のX線パターンを示すにもかかわらず, Mg で飽和した後グリセリン処理するとわずかにモンモリロナイト成分が存在することを示す。また, DTA 曲線 (Fig. 4) からはハロイサイトまたはアロファン成分がわずかに存在することが読みとれる。

Fig. 4. Differential thermal analysis curves for a typically halloysitized material (No 3), montmorillonite+halloysite material (No 4), and weakly altered material (No 51). The elevation speed of temperature is 10°C/min.

Fig. 5. X-ray powder patterns of montmorillonite-bearing material (No 4).
See Fig. 3 for the symbols.

Fig. 6. X-ray powder patterns of weakly altered material (No 51). See Fig. 3 for the symbols.

5. 変質鉱物の産状と変質系列

顕微鏡下における観察結果では、大磯丘陵における立川ROOMの主要構成物は、火山ガラス、斜長石、普通輝石、シソ輝石、カンラン石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱など玄武岩質マグマ起源の物質で、少量の石英粒、炭質物、植物破片、緑色岩片などの異質物が混じっている。変質鉱物は主として火山ガラスと斜長石から変化しており、その他の物質はあまり変質していない。斜長石から生成したハロイサイトは、劈開に沿って生成しており、斜長石の透明度が失われている。かなり変質の進んだものでも斜長石の外形を保っているものがある。これに対し、火山ガラスはハロイサイト化により孔隙が増え、海綿状の部分と平滑な部分が生成している。平滑の部分では斜長石の場合と同様にクラックに沿ってハロイサイト化が進んでいるが、海綿状の部分はハロイサイトの平板状結晶の集合により覆われている。モンモリロナイトは主として火山ガラスのへりに沿って生成している。褐色～緑色で火山ガラスに比べやや色が濃いが、結晶度が悪いため一見非晶質にみえる。しかし、走査型電子顕微鏡による観察結果では典型的なモンモリロナイト結晶の集合がみられ、ハロイサイトとは産状が異っている。

本研究では確かなアロファンが検出されず火山ガラスまたは斜長石からハロイサイトへの変質の中間段階はよくわからない。No.51のように変質初期にあると考えられる火山ガラスはモンモリロナイト化した部分とハロイサイト化（またはアロファン化）した部分が異っており、どちらかが他方の中間生成物となる可能性は小さい。すなわち、ハロイサイト化とモンモリロナイト化は別の変質系列であるとみられる。

6. 変質鉱物の累帯分布

上述の変質鉱物によって、Fig. 2 に示した風化断面は、

A. ハロイサイト帯

B. モンモリロナイト（±ハロイサイト）帯

C. 弱変質帯（X線のいは変質鉱物の同定されない帯）

に分帯される。その分布を Fig. 7 に示す。ハロイサイト帯は含まれるハロイサイトの量により A₁、A₂、A₃ と分けた。A₁ と A₃ は比較的ハロイサイト化が弱く、初生の斜長石のピークがはっきり認められるのに対し、A₂ はハロイサイト化が強く、斜長石のピークが認められない。モンモリロナイト帯は層状に分かれて分布するので、地表面に近いものから B₁、B₂、B₃ とした。C₁とC₂ も同様である。Fig. 7 に示された分帯は肉眼的観察と大略一致している。すなわち、ハロイサイト帯は地表面付近に分布するが、上から下へ規則的なハロイサイト化はみられず、黒色土壌の下限付近の白色化した部分（A₂）を中心にハロイサイト化が最も進んでいる。また、モンモリロナイト帯は固結したレンズ状の殻の部分と一致し、赤褐色の強い部分が弱変質帯にあたる。

Fig. 7. Distribution of the alteration zones. A₁; Upper halloysite zone, A₂; Middle halloysite zone, A₃; Lower halloysite zone, B₁; Upper montmorillonite zone, B₂; Middle montmorillonite zone, B₃; Lower montmorillonite zone, C₁; Upper weakly-altered zone, C₂; Lower weakly-altered zone.

7. 粘土化作用の伴う化学組成変化

立川ロームは約1万年に亘る長時間の二次風成積積物であるにもかかわらず、第5章に述べたようになりに均質で、その構成物はほとんど玄武岩質火砕物起源のものである。これは大磯丘陵が玄武岩質火砕物の供給源であった富士火山に近いためで、異質物の量は極めて少ない。このため、原岩の化学組成は富士火山の含輝石カンラン石玄武岩に等しいとの仮定が成り立つ。この仮想原岩および Fig. 7 に示した各帯の代表的サンプルの化学分析値を Table 1 に示す。これに基づいて考察すると、仮想原岩と変質したサンプルの最も顕著な化学組成上の相違は Ig. loss にみられ、風化作用の特徴の1つである加水があったことを示している。加水量はハロイサイト化の強さと調和的であるが、弱変質帯のものでも14%以上の Ig. loss があり、鉱物の変化に先立って加水が行われたことが明らかである。

その他の成分の増減を知るために、無水として計算しなおし、 $\text{Al}_2\text{O}_3=1$ としたときの各成分比を Fig. 8 に示した。また、 Al_2O_3 が全く移動しないと仮定すると、各成分の原岩に対する移動量が求められる。これを Fig. 9 に示した。さらに、これを移動率として換算したものが Fig. 10 に示してある。これらの3図をもとに Fig. 7 にみられる風化変質における化学組成変化は次のように要約される。

- 1) Al_2O_3 を除く全成分が原岩から溶脱されている。
- 2) Fig. 9 に示されているように溶脱量の多いものから $\text{Si} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Na} > \text{K}$ の順になり、Mg は場所により変化が著しい。

Table 1. Chemical composition of the assumed original rock and altered materials

	Assumed original rock	No. 1	No. 2	No. 3	No. 5	No. 24	No.39	No.23	No.34	No.51	No.52	No.49	No.47	No.46
SiO ₂	50.80	34.68	33.93	36.10	38.68	32.72	32.80	37.27	40.58	39.86	38.06	44.17	41.34	41.02
Al ₂ O ₃	16.19	20.01	27.45	26.23	27.91	20.88	20.69	21.88	17.89	21.34	20.33	20.72	19.69	19.66
Fe ₂ O ₃	11.28	7.79	6.08	4.02	6.95	14.80	11.98	10.51	10.45	12.53	12.99	9.89	11.75	11.16
CaO	9.78	2.32	1.10	1.63	2.69	1.54	1.87	1.88	6.16	3.27	2.22	5.49	4.41	4.26
MgO	5.12	1.88	0.49	0.45	0.72	1.16	2.22	1.49	5.85	2.42	3.92	3.99	2.71	4.28
Na ₂ O	2.65	0.77	0.33	0.50	0.73	0.42	0.51	0.58	1.47	0.85	0.58	1.31	0.97	1.09
K ₂ O	0.76	0.07	0.04	0.16	0.10	0.10	0.07	0.16	0.13	0.19	0.12	0.16	0.15	0.10
Ig.loss	1.56	30.20	30.40	28.41	21.66	25.15	28.47	24.48	14.32	19.61	20.32	14.40	18.32	16.54
TiO ₂	0.44													
P ₂ O ₅	0.16													
MnO	0.09													
Total	99.58	97.72	99.82	97.50	99.44	96.77	98.61	98.25	96.85	100.07	98.54	100.13	99.34	98.11

(Analyst, Takuma)

Fig. 8. Schematic variation diagram of the chemical composition in the weathering envelope of Oiso Hills. Calculated as dry base when $Al_2O_3=1$.

Fig. 9. Schematic variation diagram of the chemical composition in the weathering envelope of Oiso Hills when the original material were assumed to have the same chemical composition as an olivine-pyroxene basalt of Mt. Fuji.

Fig. 10. Schematic variation diagram showing the percent of gain or loss of the chemical composition when the original materials were assumed to have the same chemical composition as an olivine-pyroxene basalt of Mt. Fuji.

3) しかし、Fig. 10 に示された溶脱の割合（移動率）からみると、K, Na, Ca は50%以上が溶脱し、とくにハロイサイト帯では80%以上溶脱している。Si は溶脱量は大きい但其割合は小さく、30~50%の溶脱である。

4) Fe と Mg の溶脱の割合は場所により変化が大きく、モンモリロナイト帯 (B₃) では Mg は増加している。ここでは、Si, Ca, Na も周囲に比べ溶脱率が小さく集積帯の意味をもつものであろう。

5) Fig. 10 からみるとハロイサイト帯上~中部 (A₁・A₂) では Fe が著しく溶脱されているが、その下部 (A₃) からは溶脱が少ない。A₃ では Fe の溶脱率が10%以下のところもあり、ハロイサイト帯上~中部 (A₁・A₂) で溶脱された Fe が集積した疑いもある。

8. 風化殻の特徴

わが国のように造構造運動の激しい地域ではテフラのように変質が早く進む母材でないと大規模な風化殻は形成され難い。したがって、風化殻に関する研究の多くは第四紀のテフラやロームについて行われてきた。とくに粘土鉱物の鉱物学的性質や変化系列については詳細な研究が行われている (Sudo^{3,4,5}, 石井・近堂⁶, 近堂⁷, 倉林・土屋^{8,9,10}, 長

沢¹¹⁾, 増井・庄子¹²⁾, 渡辺¹³⁾, 田崎^{14,15,16,17)}。“関東ローム層”に関しても倉林・土屋^{8,10,18)}, 倉林・松井¹⁹⁾, 松井²⁰⁾, 金子²¹⁾らの研究がある。それらの研究によると, 時代の古いローム程変質が進みハロイサイトまたはメタハロイサイトが生成しているのに対し, 新しい立川ロームはアロファンの生成にとどまっていると報告されている。

前述のように, 本地域の立川ローム中の風化殻はハロイサイトを主とするもので, モンモリロナイトを伴う。ここでは下部多摩ロームから立川ロームに至る沢山の層準に風化殻がみられるが, 全て前述と同じ型のものであり, 時代による差異は認められていない(歌田^{1,22)})。立川ローム層の風化殻でさらに変質が進んでいると思われる例は近接地の愛鷹ローム中に知られている。すなわち, 松井・斎藤²³⁾は立川ローム相当層から Al-パーミキュライト, カオリナイト, ギブサイトを報告した。

風化作用の場合, ほとんど地表条件での変質であるから, 温度・圧力による地域的な差異は小さく, 主として反応溶液の性質, 量, 移動形態, 反応時間によって変質状態に差異が生じると考えられる。立川ロームの場合は間氷期の温暖湿潤気候下であるから第四紀としてはむしろ変質が早く進行する筈で本地域でみられたようなハロイサイト化の進んだ風化殻の形成はむしろ当然と言える。大磯丘陵では同様な立川ローム期の風化殻が広くみられるが, 本地域がとりわけ典型的である理由は以下のように考えられる。その1つは Fig. 2 に示されているように谷地形により地表水の集積した場所であったこと, 第2は多量の腐植の存在である。とくに後者はハロイサイト化の著しいところと腐植層下部とがほぼ一致することからも腐植酸の混入による地表水の pH 低下がハロイサイト化にとって好都合な環境であることは明らかであり, 植生が風化作用にとって重要な要因であることを示している。化学的にみた場合, 風化作用の特徴は加水, 溶脱, 酸化であり, 本地域の場合も Table 1 や Figs. 8~10 に示したようにこの特徴をよく示している。加えて, この研究により, ハロイサイト化した広い溶脱帯の周縁に小規模な集積帯があり, そこにモンモリロナイトが生じていることが明らかにされた。これは温暖湿潤気候下における風化断面として完全なものの一例とみられ, K-M 型風化殻*と名付ける。

謝辞 筆者の1人, 詫摩は東京大学教養学部宇宙地球科学教室研究生として湊秀雄教授の御指導の下にこの研究を行った。また, 井上厚行博士には実験上の御指導と御討論を頂いた。大阪大阪教養部武司秀夫教授にはシンポジウムでの発表の機会を与えて頂いた。これらの方々に深く感謝する。

* 溶脱帯の特徴鉱物がカオリン (K), 集積帯の特徴鉱物がモンモリロナイト (M) の意味である。

文 献

- 1) 歌田 実 (1979) 6 回自然災害シンポ論, 355.
- 2) 森慎一 (1980) 平塚市博物資, 24, 70p.
- 3) Sudo, T. (1953) Miner. J. 1, 66.
- 4) Sudo, T. (1954) Clay Miner. Bull., 2, 96.
- 5) Sudo, T. and Takahashi, H. (1956) ; Clay Miner., 4, 67.
- 6) 石井次郎・近堂祐弘 (1962) 地球科学, 62, 29.
- 7) 近堂祐弘 (1963) 地質雑, 69, 362.
- 8) 倉林三郎・土屋竜雄 (1958) 地質雑, 64, 605.
- 9) 倉林三郎・土屋竜雄 (1961) 粘土科学の進歩, 3, 204.
- 10) 倉林三郎・土屋竜雄 (1965) 粘土科学の進歩, 5, 19.
- 11) 長沢敬之助 (1966) 粘土科学, 6, 3.
- 12) 増井淳一・庄子貞雄 (1969) ペドロジスト, 11, 33.
- 13) 渡辺晃二 (1972) 第四紀研究, 11, 296.
- 14) 田崎和江 (1973) 地質雑, 79, 79.
- 15) 田崎和江 (1975) 粘土科学, 15, 3.
- 16) 田崎和江 (1975) 須藤俊男教授退官記念論文集, 145.
- 17) 田崎和江 (1978) 地球科学, 32, 58.
- 18) 倉林三郎・土屋竜雄 (1960) 地質雑, 66, 589.
- 19) 倉林三郎・松井 健 (1960) 地質雑, 66, 586.
- 20) 松井 健 (1960) 粘土科学の進歩, 2, 221.
- 21) 金子幸子 (1960) 粘土科学の進歩, 2, 360.
- 22) 歌田 実 (1976) 13回自然災害シンポ論, 219.
- 23) 松井 健・斎藤賢一 (1971) 第四紀研究, 10, 69.

(1980. 12. 7 受理)