

資 料

551. 21/. 23 : 553. 492. 1

太平洋火山地域における鉄とアルミナの移動と蓄積*

K. K. Zelenov

小 西 善 治 訳

現世の火山地域における酸性温泉水の生成条件, その水で取り囲まれた岩石類の崩壊過程と多数の元素, 主として鉄およびアルミニウムの搬出は, 現在相当に詳しく研究されている。この種現象の本質は, 火山体を構成する岩石中を循環する大気成因の水が, 火山ガス (HCl, H₂S, SO₂, B(OH)₃, CO₂ 等) を溶解し, aggressive な酸混合物に転移し, アルカリ・アルカリ土類・鉄およびアルミニウムに富む周辺岩石類と相互作用をなし, 火成岩の酸分解行程でほとんど完全に溶液に移行する。

この種の現象の規模および溶存元素類の運命はこんにちまで明らかでない。しかし最近千島列島の熱水流の研究に基づく量的計算が行なわれた。千島列島では, 溶存物質, 主として鉄およびアルミナの海盆への搬出量が異常に大きなことが明らかにされた。例えば1日の湧出量 18 m³/sec の1小熱水河では, 溶存アルミニウム約 65 以上, 鉄約 35 t がオホーツク海に毎日搬出されている。

搬出, 再分布行程におけるこの種元素類の挙動に及ぼすおもな因子は以下のようなものである。

- 1) 元素自体の地質学的特性, 主として一定の水素イオン濃度の下で溶液から落ちて結合する能力。
- 2) 噴気孔の組成, この組成は, 火山活動階梯により左右される酸性熱水のアニオン部分で決定される。
- 3) ガスを溶解して酸に転化する地下水の存在と容量, この種水を dilute し, その水素イオン濃度を低下させ雨量。

熱水溶液内の鉄・アルミニウムの挙動は, 種々様々な水素イオン濃度 (常に厳密に決定された) の下でこの種金属のさまざまな結合状態の水酸化物を生成する可能性によって決定される。例えば, 鉄水酸化物は, pH=2-3 で凝固する。アルミニウムの水酸化物は, 硫酸溶液から pH=4.1, 塩酸溶液からは pH=6.5 で凝固する。地下水中には鉄は, 酸化第一の形態で存在するが, 地表上に湧出する水は, 急速に酸化し, pH 3 以上 (5 まで) の熱水の湧出口では, 酸化第二鉄が盛んに沈殿するのが認められる。このようにして鉄は, pH 5.5 以下の地下水および pH 2 以下の地表水中を自由に移動する。アルミニウムにとって最適移動条件は, ハロゲンが噴気ガス組成中で卓越している時に造成される。ハロゲンの消失で第一に特色付けられる火山活動の死滅は, アルミニウムの溶液への移動を停止させ, アルミニウムは, 分解地帯に残存して, 高陵土および明礬土を生成する。

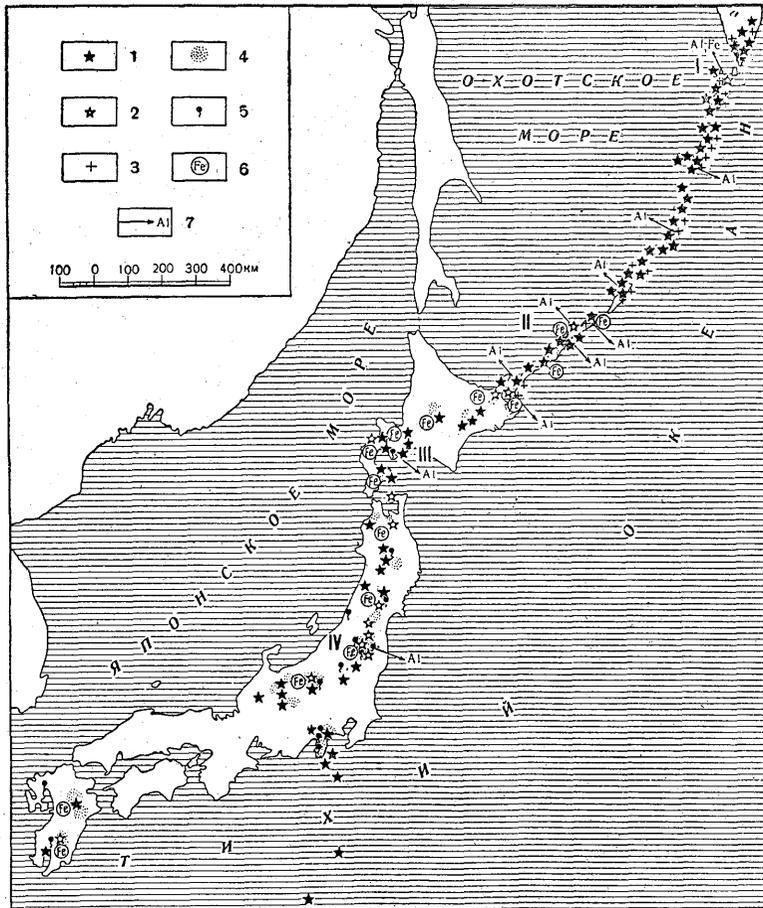
したがって火山活動の停止に基づくガス組成の変化は, ガス組成の変化および全地域全体の火山活動の総変化を全然意味するものではない。このような現象は, さまざまな火山地域では, 火山活動はさまざまな形をとることから明らかである。Valasov が指摘しているように, 第一

* K. K. Zelenov : Перемещение и накопление железа и алюминия в вулканических областях тихого океана, Известия академии наук СССР, Серия геологическая, No. 8, 1960

太平洋火山地域における鉄とアルミナの移動と蓄積 (小西善治訳)

にはすでに早くから火山活動の表徴が認められないものがあり、第二には、噴気活動階梯にあるものがあり、第三には、火山活動が最盛期にあるものがあり、第四は一般には鉱鏢状円錐火山で代表されるものであつて、火山としての生成が開始されつつあるものである。この種の現象は、火山噴出産物でせん塞される火山の火道と関連性をもつというわけで、熔岩およびガスが割れ目に沿つて新しい火道を上昇するのを明らかにしている。このようにして火山地域では、岩石の強烈な酸分解地帯が徐々に移動し、そのうえ分解過程では、新しい岩石類が次々と巻き込まれてゆく。

鉄およびアルミニウムの再配列に影響を及ぼすきわめて著しい第三要因としては、地下水と雨水とがあげられる。高山岳地帯および高正円錐火山の噴火口では、集水はきわめて僅かであつて、大多数の火山ガス量は、大氣中に単に放出されて酸を生成しない。溶存元素類が長期間溶液中に保ち得られる多少濃縮状態の酸が生成されるための最適条件は、地下水が活発に干渉する温帯の普通の水理地質学的様式の下で造成される。熱帯地域を特徴付ける多雨は、熱水の多量稀釈を誘導し、その中の水素イオン濃度が低下するので、鉄およびアルミナの移動(堆積物中に落ちた)を停止する。したがつて気候条件の函数として出現する地下水および雨水は、それ自体変化要因となり、その要因によつて鉄およびアルミナの移動が“禁止”され、または許与される。この観点に立つて、広大な太平洋の火山環——地球上のさまざまな気候地域で火山活動が現われている地域——を吟味しよう。



1—活火山, 2—火山湖をもつ活火山, 3—噴気活動地区, 4—現世の白色化岩石地帯, 5—酸性泉, 6—乾陸に堆積する酸化鉄を示す, 7—溶存アルミニウムの海への搬出方向を示す。
I—Yurev 河, II—嶺鉄鉱床, III—俱知安鉄鉱床, IV—群馬鉄鉱床

第1図 千島および日本列島の現世の火山地域における鉄およびアルミニウムの移動様式

千島および日本列島

千島列島の90の火山中、39は活火山であつて、世界の全活火山の約10%を占めている(第1図)。多くの観測者により“後氷河期の弱いこだま”と現在考えられている千島火山の活動は、主として、活発な噴気活動に現われ大千島花彩列島のほとんど至る所にみられる。千島列島では、死火山ならびに活火山の活動により、膨大な岩石変質帯、自然硫黄鉱床が生成されている。多くの火山例えば、Paramushir島のEbeko火山・Karpinskii火山、Onekton島のKrenitsyna火山、Shiashkotan島のKuntominar火山、Ruponkich島のUshishir火山、Ketoi島のPallas火山、Iturup島のKudriariyi火山・Bogdan Khmel'nitskii火山・Machekha火山・Berutarube火山、Kwnashir島のMendeleev火山・Golovin火山等の噴気活動は、強烈な熱水活動を伴うが、Ebeko火山・Krenitsyna火山・Pallas火山・Bogdan Khmel'nitskii火山とGolovin火山には、酸性噴火口がある。酸性熱水泉の湧出量(pH1—2)は多くの場合、一昼夜10lである。この種の温泉は、多数にみられるいわゆる“硫黄河”の源をなし活火山の斜面を流れて太平洋およびオホーツク海に注いでいる。この種の河は、岩石の酸分解によつて溶液中に移動したさまざまな元素類を海盆地域に搬出する。この場合陽イオンの主要部分は、アルミニウムおよび鉄からなっている。鉄およびアルミニウムの含有量は、酸性熱水泉水中では、1l中でグラム値を示すことがしばしばある。

熱流河川は、河口まで低pH状態を保ち、例えば千島列島の北部に分布し、オホーツク海に(pH=1.72)注ぐYurev河では、毎月65t、35tの溶存アルミニウムおよび酸化鉄を海盆地域へ搬出する。pH3以上の河川では鉄とアルミニウムの分離が起こる。地表上に湧出する温泉で酸化された鉄は、溶液から落ち、時には湧出口に沈積する褐鉄鉱堆積物を生成し、時には多孔質褐鉄鉱皮殻を生成し、次いで針鉄鉱へ転移することがある。この種現象は、堆積褐鉄鉱が鉱床を生成している南部諸島で明らかに認められる。例えば、Iturup島のBogdan Khmel'nitskii火山の連鎖状(流動)噴火湖では、湧出量約60l/day、pH3以上の温泉活動によつて大規模の褐鉄鉱質カスカド鉱床が生成され、その埋蔵量は、毎日1t以上の褐鉄鉱が増加している。温泉から沈殿した酸化鉄で生成された長大な褐鉄鉱皮覆地帯はBerutarube(Iturup島)火山の斜面に認められている。Rwdnichik河およびGryazn河の河谷(Iturup島の太平洋側)では、熱水泉から落ちた水酸化鉄は、沖積堆積物を膠結している。褐鉄鉱が盛んに沈殿している地域は、Mendeleev火山の酸性水を集めているSesn河河口やpH=3—5の熱水泉の湧出しているその他の地域——實際上至る所で——に認められている。このようにして生成された褐鉄鉱は、その組成がきわめて純粋であつて、混合物質をほとんど含んでいないことを指摘しておくことが重要である。Bogdan Khmel'nitskii火山口産の新鮮な褐鉄鉱試料の化学的分析はSiO₂—0.36; Al₂O₃—0.55; Fe₂O₃—72.92; FeO—4.06; CaO—0.13; MgO—0.14; Na₂O—0.09; K₂O—0.15; P₂O₅—0.93; SO₃—5.14; H₂O⁺—13.29; CO₂—0.19; C_{orth}—1.50(乾量%)である。多量の褐鉄鉱試料の分析結果によると、上述の諸元素以外に、少量のMn, V, Niが含まれているにすぎない。

全く同様な現象が日本列島でも認められる。日本では、200の既知火山中で、30の火山は、古い時代に活動を行ない、現在強烈な噴気、熱水活動階梯にある。この種火山は、北海道・本州(島)の北半部および九州の南部に集中し、そのうえこの種火山は、pH 3.9以下の10酸性温泉と関連性をもっている。この種温泉は、本州の中央地域にとくに発達している。日本にとつて典型的な万座温泉群——草津白根火山斜面に分布する——の熱水泉では、高塩素含量の下でアルミニウムの含量は245 mg/lに達する註1)。

多数の酸性噴火湖は、火山と関連性をもっている。例えば同一名称の火山に分布する片沼は、

註1) Nakamura H. & Hirukawa, T.: Geology and Hotsprings in The Manza Thermal Area, Gumma Prefecture, Bull. Geol. Surv. Japan, Vol. 8, No. 1, 1957.

面積 0.15 km², 最大深度 22 m, 水温 24°, pH 1.4 である。磐梯山の北斜面に分布する五色沼群は大小 80 余の湖沼からなり, pH 5.4 の酸性河川がその湖沼から流れでている。さらにまた沼尻火山の酸性水を集める大猪苗代湖, pH 2.2 の蔵王火山のおかま, および他の火山の 10 余の酸性湖は, 火山と関連性をもっている。日本列島には, 火成岩が酸性温泉水の作用を受けた多くの白色変質帯が存在し, しばしば自然硫黄鉱床を伴なっている。これらの地域には, 日本の水成褐鉄鉱床が多数賦存している註2)。

堆積褐鉄鉱——一般には沼鉄鉱と呼ばれている——は, 日本の最も重要な稼行鉱床の一つであつて, その地質は詳しく研究されている。Mitsuchi によれば, これらの鉱床は, 含鉄温泉から派生されるにもかゝらず, 湧出口付近に常に生成されるものでなく, 一般にはそれからある距離離れた凹地に賦存している。したがつて沼鉄鉱は, 山の斜面, 河谷, 段丘, 沖積平野, とくに沼沢地に分布する。一般的には, 鉱床の位置は, 地下の地質構造よりはむしろ現世の地形と密接な関係がある。これらの鉱床の母岩は, 安山岩・石英粗面岩・集塊岩・凝灰岩および火山砕屑岩のような火山岩型および砕屑岩である。鉱床は層状またはレンズ状を形成し, 母岩とは比較的 sharp contact をなしている。平面の形態は各鉱床によつて異なっている。ある鉱床は, 円形または楕円形の輪郭をもち, 他の鉱床は引き延ばされたような形態が特徴となっている。鉱床の層厚は 1 m 以下から 30 m 以上にわたる。一般には, 端部で薄く, 中央部で肥大する註3)。

沼鉄鉱を稼行対象とする重要な鉱山は, 北海道 (倶知安鉱床), 本州の北部 (群馬) すなわち火山活動の最も盛んな地域にある。倶知安鉱床は, 主として砕屑物質からなる段丘堆積物に賦存している。厚さ 2.5 m から 30 m にわたる多数の鉱体は, 厚さ 5~25 m の沖積土で覆われている。群馬鉱山の鉱床は, 現在の草津白根火山の山麓に分布し, 長さ 2,200 m, 幅 30~200 m の伸長地帯を占め, 古い時代の河谷に賦存している。河谷の中央部では, 鉱床の厚さは上流側で 20 m, 中央部では 10~20 m, 下流端では僅か数 m にすぎない。鉱床の上流端にみられる小凹地状盆地は, 沼鉄鉱鉱床を生成した鉱泉の以前の湧出口をなしている。群馬の沼鉄鉱の平均品位は 49.5% である。

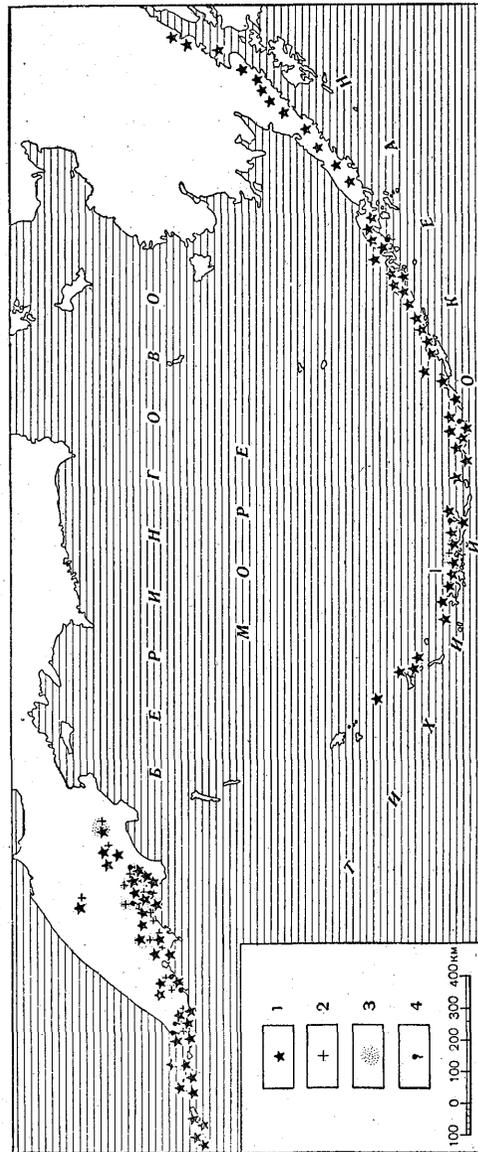
以上にみられるように, 日本の沼鉄鉱は, 生成条件についてみれば, 千島の褐鉄鉱質堆積物と同一である。日本および千島の温泉水中には, 多量のアルミニウムが明らかにされているが, 褐鉄鉱床では千島のようにアルミニウムが沈積していないから, 直接データを欠くにもかゝらず, 次のことが確かに推定できる。すなわち群馬および倶知安, おそらく日本の多くの他地域では, 千島のように, 多量のアルミニウムが海へ搬出されていることが考えられる。

酸性温泉水に基づく金属の搬出過程は, 火山ガスが溶存し, さまざまな酸混合物へ転換する地下水の存在によつて条件付けられる。この種の水は, 雨水によつて生成され, そのうえ雨水は, 地下水を著しく稀釈し, その中の水素イオン濃度を低下さす。計算によると, 日本および千島の降雨量は, 1年 1,000~2,000 mm であるから, 熱流河水の最大 pH 値を 2—5 まであげることができる。換言すればこの地帯では, 水の稀釈度は, アルミニウムの沈積ばかりでなく, また多くの場合酸化鉄の堆積にとつても, 明らかに充分でない。したがつて降雨量が最低で, pH 2 以下の河川 (例えば Ywrev 河) がある。千島花彩列島の北部では, 鉄およびアルミニウムが海盆地域へ搬出されている。温泉と関連性のある水の pH が主として 3—5 範囲にある他の千島諸島および日本では, アルミナは卓越的に海盆地域に移動する。1 酸化物の形態で岩石から運び出され, 地表上で酸化物に転移する圧倒的多数の鉄は, 褐鉄鉱皮殻または湖沼型の鉄鉱床の形態をとつて火山の斜面および (地形上) 低地帯に濃集する。

アリューシャン列島

註2) Yoshimura, S.: Stratification of hydrogen ion concentration in the water of the inorganic-acidotrophic lakes of Japan, J. Geol. Geogr., Vol. 17, No. 1~2, 1940

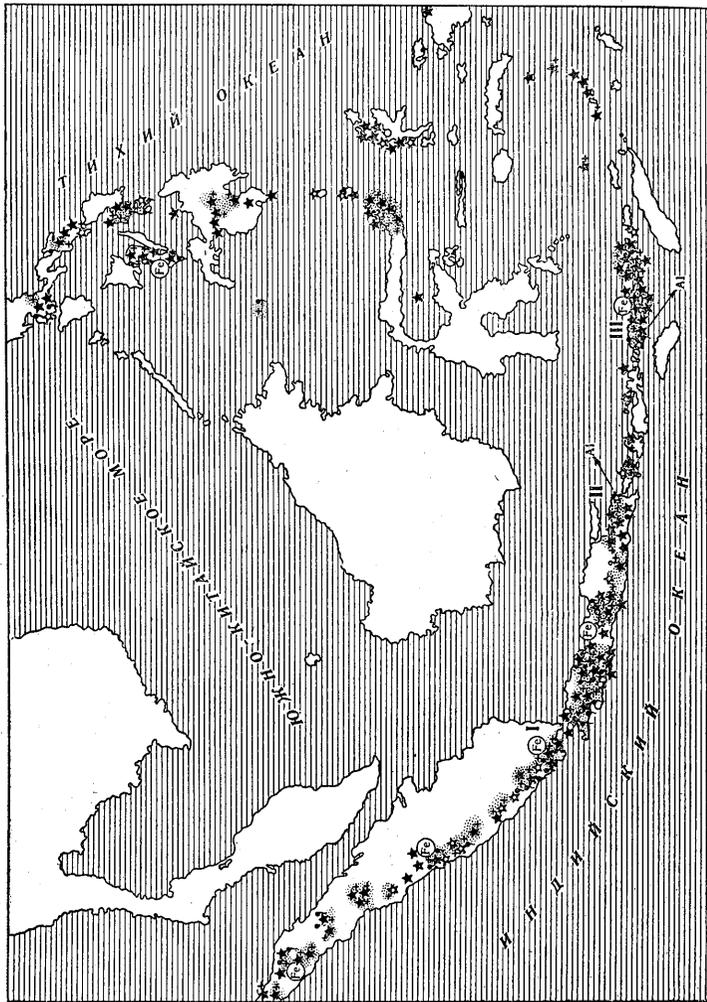
註3) Mitsuchi: Iron ore deposit in Japan, p. 546



第2図 カムチャツカ・アリューシャン群島・アラスカの現世の火山地区における熱水活動図式
 1—活火山; 2—噴気活動地帯, 3—現世の白色変質帯, 4—酸性泉
 I—大シトキン島

火山活動の活動度では、アリューシャン島弧は、千島列島に劣る（第2図）。こゝでは（アラスカを考えに入れない）20以上の活火山を数え、多くの巨大な古期噴火の跡をとどめている。多くの場合、島嶼の容貌を変え、新しい火山島が出現している。（例えば1796年に生成されたボブロフ島）しかし温泉はきわめて稀しく、噴火湖を欠失している。例外をなすものは、大シトキン火山（同一名の島にある）でこゝでは、膨大な白色変質岩石地帯、盛んな噴気活動帯、pH 2.2 塩素の含有量の高い酸性温泉が認められる。

アリューシャン列島では、噴火湖および酸性熱流河の乏しいのは、この島弧の気候特性に目を向ければ、明らかとなる。この地域では1年の大部分は、冬季であり、年雨量は、年間1,000 mm であつて、主として雪の型態で蓄積されている。降雪は、9月、時には8月に始まるが、



I-Vei-Vei 褶皺地帯, II-Idzen 噴性火山帯, III-フロロレス島の鉄鉱床
第3図 インドネシア群島の火山区における鉄・アルミニウムの移動を示す

5月以前にはやまない。山岳地帯では、降雪は6月に始まる。このように降雪をみない月は8月だけである。短期の融雪期に、水は急流をなして海に注ぎ、好ましい条件が備わっている場合でも、土壌の上層を潤おすにすぎない。地下水は生成されない。したがってアリューシャン島弧では、噴気活動が盛んであるにもかかわらず、岩石の分解過程、鉄・アルミニウムの再排列は著しく押さえられ、好ましい場所にもみ出現する。これらの地域では、水を媒介とする鉄・アルミニウムの海盆地帯への搬出は実際上欠失している(第2図参照)。

インドネシア群島

インドネシア群島は、世界で最も火山に富む地域であつて、この地域では、世界の全活火山の約半分が数島に分布している。Van Bemmelen および Padang のデータによれば、500以上の火山が知られ、そのうち133は、活火山である(第3図)。噴気活動階梯にあるものは、88の火山であつて、スマトラおよびジャバ島の印度洋沿岸地帯(21火山と36火山)、小スンダ列島・セレベス島の北東端ニューギニア、およびフィリピンに分布している。

噴気活動階梯にあるインドネシア群島の火山の特徴としては、多数の温泉およびカルデラ湖

—数火山では2または3以上—が存在していることである。温泉は、主として酸性であつて、溶存鉄・アルミニウムを多量に含み、時には1l中にグラム数をもつて表わされる含量を示すことがあるが、カルデラ湖は、酸性水の巨大な“貯水溜”である。Idzen カルデラ湖と名付けられる湖はジャバの東端にあつて、世界最大の酸性水湖である (Van Bemmelen による)。この湖には、 $\text{pH}=0.02$ の酸性水を約4千万 m^3 たゞえ、 Al_2O_3 および Fe_2O_3 の含量はそれぞれ8.7 g/l と 2.3 g/l である。

インドネシア群島に酸性泉が多量に存在するのは、この地域の降雨量がきわめて大きいことによるものである。インドネシアの大部分は年間雨量2,000~3,000 mmを示すが、風に曝された山腹では4,000 mm以上に達する。中部および西部ジャバでは、年間雨量7,000 mmを超えるが、フィリピン島の個々の地域では9,000 mmに及ぶ。例えばルソン島では、24時間の降雨量が1,000 mm以上を記録したことがある。このような降雨量は、千島列島の数島では年間を通じてみられないほどの降雨量である。

この地域では、多湿とともに、火山噴気活動が広域にわたつて発達しているの、必然的に、火山を構成する岩石の強烈な酸分解が進んでいる。そのために金属は溶解し、搬出されている。このような現象は、鉄・アルミニウムおよびその他の金属を欠失する岩石類で代表される噴気活動地帯が多数存在することで裏付けられる。例えば、ジャバ およびスマトラの2島だけでも、このような噴気地帯は30以上存在している。

酸性水が搬出する膨大な鉄・アルミニウムには、搬出後どのような状態が起こっているか？。インドネシアのきわめて多雨多湿条件下で、このような元素類は、どのような挙動を示すであろうか？。

インドネシア群島では、主として活火山地区に集中する大小の鉄鉱床が知られている。この種鉱床の大部分は、ほとんど全部が水酸化鉄から普通な層状鉄床で代表され、さまざまな岩石類—火山岩・頁岩・砂岩・火成岩上についでいる。残念なことには、インドネシアの研究者は、日本の地質学者と違って、鉄体と熱水性火山活動とを結び付けようとしないうで、成因について他の考え方を述べている。したがつてある一定の観点からするとしばしば古く、現在実際上手に入らないデータ(会社の報告、小報告等)によつて Moov, Van Bemmelen の著作中の簡単な地質学的データは、当然不完全なもので、利用することが難しい。しかしこの貧弱な記載の中にも、千島列島および日本の褐鉄鉄床の生成状態に類似の明白な特性が暗示される。

例えば Lampong 州(本部スマトラ)の Vei-Vei 鉄床地区では全く褐鉄鉄のみからなる4つの高くない丘陵がある。高さ13 mの丘におろされた pit によれば、鉄体の厚さは、14 mであつて、丘陵は、火山岩の比較的平坦な地帯に屹立している。きわめて純粋な鉄石の品位は95% ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) である。丘陵の上部では、チタンを全く欠くが、下部では SiO_2 の含量が若干富化され、痕跡のチタンがみられる(明らかに陸成源である)。そのほかに下帯では Al_2O_3 , MnO , SnO_2 (第1表)の含量は若干増加(1%範囲)する。埋蔵鉄量は83万5千tと見積られている。

記載から推定すると、Vei-Vei の褐鉄鉄丘陵地区は Iturup 島(千島列島)の褐鉄鉄鉄床地区と驚くべきほど類似している。Iturup 島では平坦な盆地の火山岩上に褐鉄鉄流が12 mの丘陵をなして屹立し、鉄床は Fe_2O_3 が温泉水から沈積して生成されたものである。この2つの鉄床は、組成からみても、また賦存形態および規模からみても、類似している。

スマトラの他の地域では、堆積源褐鉄鉄層は、Sukadan 山で指摘されている。この地域では、いわゆる沼鉄鉄はほとんど純粋な褐鉄鉄 (Fe_2O_3 —72.74%) で代表され、厚さ1~1.5 mの層をなして、玄武岩質熔岩流の境界に賦存している。この種鉄床は、Radjavaz にも認められる。Sukadan および Vei-Vei に類似する丘陵および皮覆(褐鉄鉄)が破壊されて生成されたと考えられる多孔質褐鉄鉄の漂礫は、スマトラの Kvala Bœe, Tjot Plue Via, Tapa Tian およびその他の地域で報告されている。ジャバでは、堆積源褐鉄鉄は、火山角礫岩 (breccia) および

第 1 表 東 部 ス マ ト ラ お よ び

試料採取箇所		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	CuO	
東部スマトラ	Vei-Vei 14m丘陵のピット 上部帯	1.95	0.23	93.20	2.67	なし	0.50	0.03	
	〃 〃 中部帯	9.60	0.53	84.85	1.03	tr.	1.20	0.08	
	〃 〃 下部帯	21.80	0.86	67.48	1.20	≫	1.00	0.05	
千 島	Iturup 島	湖, 截積物	1.61	1.29	56.73	10.75	0.06	—	—
		褐鉄鉱堆積物	0.38	0.55	72.92	4.06	tr.	—	—
	クナシリ島	酸性河堆積物	8.53	3.02	61.56	2.82	0.36	—	—
		レースナヤ河堆積物	1.87	0.62	70.62	1.49	0.33	—	—

礫岩 (conglomerate) 上についでいる。南部 Priangan の Gunung Petiardg 火山の山腹), フローレス島では, Volo, Bezi Volo Bopo Volo Akor 山, Vai Bero, Vai Meve 熔岩流斜面等に分布している。このように, 堆積源褐鉄鉱は, 噴気活動階梯にある火山付近に常に分布していることが確認できる。

上述の鉄床例が鉄床生成過程を完全に反映しているとは考えられない。しかしインドネシアの火山地区では, 火山付近の褐鉄鉱の沈積過程は, 千島列島および日本のそれと同一視できることは確かに納得できる。

そこで, アルミニウムが問題となってくる。周知のように西部インドネシアの紅土は, きわめて多量の遊離酸化アルミニウムを含むが, ある地域では, 酸化アルミニウムは, 土壌の卓越的成分ともなっている。この種現象は, 普通ラテイライト化, すなわち土壌水による珪酸の搬出と残留酸化アルミニウムの堆積によつて説明している。しかし源泉地域では遊離 Al₂O₃ を欠失し, 低地, 沼沢地, 水田, 河谷では, それが卓越していることからみると, こゝでは残留生成でなく, 反対に遊離酸化アルミニウムの搬入が問題となることが考えられる。搬入 Al₂O₃ の特徴的な堆積例は, Jackalta 付近のカルス石灰岩台地上の乾湖堆積物があげられる。Moor の記載によれば, この堆積物は, “Terva, Rossa” 型の生成ときわめて類似している紅土で代表され, Al の水酸化物を多量に含有している。

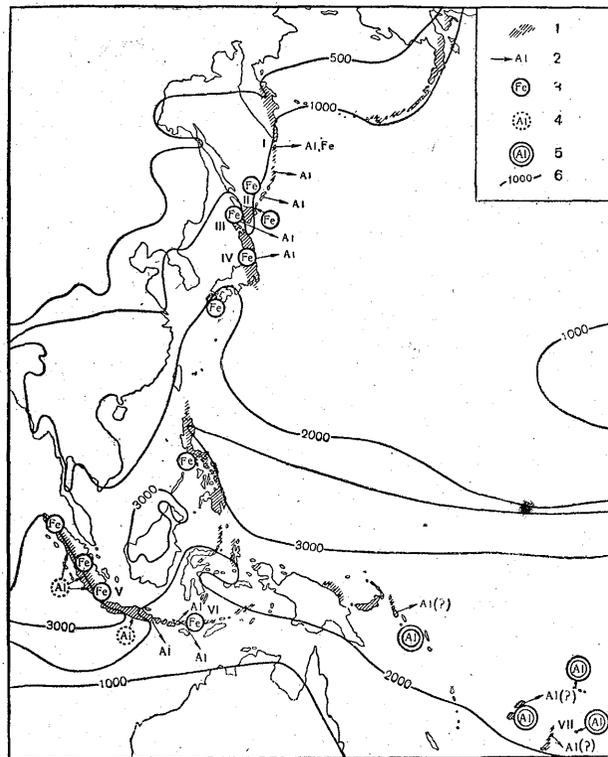
ラテイライト化の研究者が, 西部インドネシア土壌のラテイライト成因の取り扱いに対してきわめて慎重であることは, 興味がある。

Dames は, ジャバの大部分を覆い, 主として鮮新世および第四紀の火山産出物上に発達する褐土および紅土を研究して, ラテイライト成因を否定し, 真のラテイライトはジャバではこんにちに至るまでみだされていないと考えている。Prescott および Pendleton は, インドネシアの土壌構造の調査結果をまとめて, 次のような結論を下している。“色調が赤色で, かつ水酸化鉄およびアルミニウムに富む土壌が, ラテイライトと考えるべきでなく, またラテイライトに入れるべきでないことは, 疑問の余地がない”。

こゝでは温泉水が雨水によつて強く稀釈 (千島および日本列島に比較して 10 倍以上も大きい) されて移動能力を失つたアルミニウムの痕跡を探し求むべきである。高 pH の下で発生する流動水は, アルミニウムの水酸化物を膠結 (coagulation) さし, その水が海に注ぐはるか以前に堆積物に転移することがしばしばある。したがつてジャバおよびスマトラの, 沼沢地堆積物には, 日本および千島列島と異なり水酸化アルミニウムが褐鉄鉱とともに沈積している。このような現象は, すでに 1933 年に Hartman が観察し, “Merapi 火山の噴火後に発生した pH=8.6 の “二次” 温泉 (地表水と明らかに結び付いている) の黄褐色または赤褐色の水か

千島の褐鉄鋳組成

SnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	As ₂ O ₃	S	SO ₃	CO ₂	C	H ₂ O ⁺	総計	H ₂ O ⁻
0.12	0.20	0.20	—	—	0.02	0.01	—	なし	0.40	—	0.50	100.03	—
0.78	0.10	0.10	—	—	0.44	0.01	—	tr.	0.20	—	1.70	100.62	—
0.96	0.20	0.20	—	—	0.57	0.01	—	≫	なし	—	5.95	100.28	—
—	0.27	0.23	1.48	0.23	1.33	—	なし	7.78	0.85	0.06	16.89	99.56	71.51
—	0.13	0.14	0.09	0.15	0.93	—	≫	5.14	0.19	1.50	13.29	99.45	24.82
—	0.19	0.05	0.11	0.15	0.25	—	1.15	8.12	0.14	0.70	14.13	101.28	52.97
—	0.11	0.03	0.08	0.13	0.32	—	0.30	8.20	0.43	1.80	13.87	100.20	64.33



1—現世の火山地区, 2—海へのアルミニウムの搬出, 3—乾陸における酸化鉄の沈積, 4—土壌中におけるアルミニウムの沈積, 5—サンゴ島におけるアルミニウムの沈積, 6—ミリメートル等雨量線 (Berg による)
 I—Yurev 河, II—Caskad 型褐鉄鋳床, III—俱知安鋳床, IV—群馬鋳床, V—Vei-Vei 鋳床, VI—フローレス島, VII—Niue 島

第4図 太平洋の現世火山地域における鉄およびアルミニウムの移動図式

ら, Al₂O₃ との混合物中に 68% の Fe₂O₃ を含んでいる赤褐色または黄色堆積物が生成されることを確認している。

日本型の小沿海, 沼沢性の純粋な鉄鋳床は, フローレス島の北岸—南東部インドネシアにのみ分布している。この地域は年降水量が比較的少ない地域 (年間 1,000 ~ 2,000 mm) である。

この地区は、ジャバ・スマトラ・フローレス島の南東部を占め、さらに南東——太平洋の南部地域を含む——に延び、サンゴ海に及んでいる。こゝではアルミニウムの海への自由搬出は千島および日本の類似の条件下におけるように完全に実現している。たゞ溶存アルミニウムのきわめて僅かな部分が海に落ちないで、すでのべた Idjen 酸性湖に沈積している。

このように北部千島からサンゴ海にわたる太平洋弧には、比較的純粋な形態で鉄およびアルミニウムの分離、再配列を誘導する(酸性熱水による)火山岩の膨大な変質現象がみられる。きわめて多雨で特色付けられる赤道地域では、鉄の移動は停止され、アルミニウムは難移動性となる。これらの地域から北および南では、降雨量の少ない地域が隣接し、鉄は難移動性となるが、アルミニウムの搬出は、完全に実現している。個々の地域についてみれば、鉄およびアルミニウムの共搬出条件が造成されている。最後には、アリューシャン弧型の地域が存在し、こゝでは鉄およびアルミニウムの移動および火山岩の変質過程は、地下水を欠くために著しく押さえられている(第4図)。

赤道地域の北および南の海へ多量に搬出されたアルミニウムの運命はどうか?

熱水は海へ流入後中性化され、そのうちに溶存する鉄およびアルミニウムは、水酸化物の型態をとり、懸垂状態で落ちる。この種の化学的反応は、海水の上部皮膜で発生し、反応が完了するためには著しく多量の海水量(1千倍以上)を必要とする。そのために、熱水流河の河口では、数 km にわたって泥堆を形成し、沿岸から著しく離れた箇所、 $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ の混和物の遊離が起こる。

北部地域の千島列島および日本の沿岸では、鉄およびアルミニウムの水酸化物の混和物が沈積するための好ましい条件を欠いている。この地域では、混和物は、多量の陸成源物質と混在し、オホーツク海および太平洋の潮流の運動影響を受けて、事実上分散している。

太平洋の南部では、異なる環境が存在する。この地域では、火山地区からのアルミニウムの極大搬出地帯には、純粋の水をもつサンゴ島、およびサンゴ礁で水の作用が阻止されている環礁(湾入)地域が分布している。

文献をみると、南のサンゴ島の土壌(アメリカ地質学者の Red earth) は多量の Al_2O_3 を含み、そのうえ SiO_2 と Al_2O_3 の比はきわめて小さい。例えば西部サモア島では SiO_2 、 Al_2O_3 は 0.12 から 0.54 の変化を示すが、ソロモン群島では 0.33、Niue 島では 0.04 以下である。この種土壌は、サンゴ石灰岩上に常にのり、そのうえ研究者は、この種土壌と下部の炭酸塩質岩石の不溶性残骸との結び付きを完全に欠失していることをしばしば強調している。この種土壌は、火山岩が地表過程に基づく分解の進行で生成されたものであるという見解が支配的である。

しかしこのような仮説に対して用心深い態度を必要とするデータがある。そのためにはまず Niue 島の記載に一層詳しく留意すべきである。

Niue 島は、ニュージーランド北東、トンガ島付近に分布し、面積 $20km \times 24km$ の平坦なサンゴ島であつて、深度 5,000m の海淵で取り囲まれている。全島は、さまざまな時代のサンゴ礁からなり、その組成はきわめて純粋な石灰岩であつて、火山岩類は全然認められない。この島は、隆起、沈降(海面上および海面下)運動を繰り返して受けた。このことは、一方では、サンゴ礁が強大な発達をとげていることと、他方では海成段丘が発達していることで裏付けられる。

1 段丘面(海面上 75 m) は、組成がきわめて均質の厚さ 30 cm 以下の土壌で覆われている。1 試料の分析結果(%) は、 SiO_2 —0.32; Al_2O_3 —38.58; Fe_2O_3 —28.54; TiO_2 —1.50; P_2O_5 —2.02; Cr_2O_3 —0.22; CaO —1.67; MgO —0.55; Na_2O —0.04; K_2O —0.01; MnO —0.05; Ig. loss—26.64 である。この分析値からみられるように、この種“土壌”は全く鉄・アルミニウムの水酸化物で代表されている。

他の段丘(海面上 25 m) では、游泥が採取され、その組成(%) は、 SiO_2 —0.6; Al_2O_3 —

5.5; Fe₂O₃—3.0; TiO₂—0.1; P₂O₅—4.0; CaO—27.6; MgO—1.7; Ig. loss—55.5 である。こゝでは、また方解石碎片で貧化した鉄・アルミニウム塊が問題である。

雨水は、本島の中央部の礁状石灰岩に集まり、珪酸を含んでいない。礁状石灰岩自体には、珪酸がみられないので、弱白雲石化作用のみが認められるにすぎない。

土壌は火山灰が風成堆積し次いで完全分解して生成されたという Niue 島研究者の推定には、多くの不明確な問題を残している。この推定からは、なにがゆえに、Niue 島の火山灰の完全分解が起こる以前に、風成堆積が一定の海成段丘にのみ行なわれるとともに、隣接火山島 (例えば Kuka 島) では火山灰が同一条件下で全然分解しないで、分解産物としては主として SiO₂ が残っていることを、納得のいくように説明できない。また Niue 島の入念な記載中には、この種堆積物の海成成因説と矛盾するようないかなる事実も認められない。

こゝでは、上述の鉄・アルミニウムの移動現象が明らかにみられる。Niue 島の土壌および類似の太平洋南部のサンゴ島の Red earth は、石灰岩の溶解にも、また火山灰の風成移動、分解にもなんらの関係をもっていない。この種の Al₂O₃+Fe₂O₃ 混和物の堆積は、熱水に溶存して搬出された水酸化鉄およびアルミニウムが遊離して海中で生成されたものである。

Trechman は、Niue 島の丘陵性土壌と類似した海成ボーキサイトを、日本と相似の気候条件下にあるジャマイカ北岸の鮮新世サンゴ礁で観察している。この付近には、アンチル列島の現世火山が海に分布している。サンゴ岩岩石類は、崖の端から延長約 30 m、(深さ 0.31~0.6 m) にわたって斑点状暗褐色塊に変わっている。この塊状物質には、枝状・塊状サンゴの構造が認められる。この種斑点状物質は、波が打上げられる海岸線に沿って分布し、時には海岸の凹地にみられるが、こゝでは海水が蒸発し小塩皮殻を生成している。褐色塊は、波打際以外にも、またサンゴ堆がのっている後第三紀の岩石上にもみられない。褐色塊の化学的組成は次のようである (%)。

SiO₂—9.60; TiO₂—0.75; Al₂O₃—29.67; Fe₂O₃—6.53; MgCO₃—8.30; CaCO₃—21.33; NaCl—0.53; Ig. loss—14.64 である。

Yurev 河の河口に落ち、パラムシイル島の頻海地帯に保存されている混和物、ジャマイカの北岸の波打際地帯のサンゴ石灰岩上における海成ボーキサイト、Niue 島の海成段丘の土壌をそれぞれ比較すると、常に同一物質、すなわち Al₂O₃+Fe₂O₃ 混和物が存在することが明らかである。第一の場合には、この種混和物は、陸源 SiO₂ および海水塩で稀釈され、第二の場合は、有機源 CaCO₃ で稀釈されている。後者の場合には Al₂O₃+Fe₂O₃ は、炭酸塩および海水塩が洗われて、最も純粋な型態で観察されている (第2表)。

第2表 オホーツク・ジャマイカ・Niue 島の沿海地域の Al₂O₃+Fe₂O₃ 混和物組成

沈殿物の特性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	TiO ₂	MnO	CaCO ₃	MgCO ₃	NaCl	CaSO ₄ +MgSO ₄	P ₂ O ₅	C	H ₂ O+	総計
パラムシイル島沿海地帯の混和物	20.94	20.73	14.79	0.69	tr.	0.30	なし	9.75	4.25	1.80	5.31	15.87	94.43
北部ジャマイカの頻海地域の汀線地帯に発達する鮮新世石灰岩上のボーキサイト	9.60	29.67	6.53	0.75	—	21.33	8.30	0.53	—	—	—	14.64	91.35
Niue 島の土壌組成	0.32	38.58	28.54	1.50	0.05	2.98	1.15	—	—	—	—	24.73	97.85

カリブ海およびサンゴ海のサンゴ礁を上述のような観点から特殊研究を行なえば、海へ移動しそこで沈積した Al₂O₃+Fe₂O₃ 混和物の新しい例がたしかにみだされるであろう。海水中における Al₂O₃+Fe₂O₃ 混和物の移動可能限界はどの程度であるか?。100km の距離は、アル

ミニウムおよび鉄の海水の表層移動にとってさまたげとならない。この事実は、ジャバ島の西端に実在する Idjen カルデラ湖 (4千万 m³) が海中に沈降し湖の水が海水との反応に巻き込まれたことを考えてみれば明らかとなる (pH 0.2 から 6.5 にあがった)。すなわち厚さ 10m の水層は、全サンゴ海の水域に等しい 4 百万 m³ の面積を覆うことができるであろう。巨大な水塊が反応に巻き込まれると、沈殿した混和物は当然著しく分散するはずである。このことは混和物がサンゴ礁地域、すなわち海水のきわめて純粋な条件下で截積する状態を解明するであろう。

このような現象は、たしかに過去の地質時代に繰り返し起こった。このことは、ジャマイカおよびハイチの始新世および中新世石灰岩面上にのるボーキサイト鉱床、賦存条件がジャマイカのボーキサイトにきわめて近い中央、南部ヨーロッパおよびトルコの中生代および古生代のボーキサイト鉱床、中央アジアの石炭紀およびウラル、サライルのデボン紀の鉱床が裏付けている。すなわち海成ボーキサイトはアルハンゲルスキーの化学源ボーキサイト鉱床群に分けられるが、それとともに地中海地域のボーキサイト成因に関する考え方を再検討する必要性が起こってくる。

結論として次のことがいえる。すなわち上述のことからは、熱帯および亜熱帯気候での土壌生成過程——その進行過程で鉄およびアルミニウムの酸化物の遊離、堆積が行なわれる——を否定するものはでてこない。このような緩慢な遊離・分離過程は、好ましい条件下で、巨大な大陸の広域空間——ブラジル・熱帯アフリカおよび北部印度で、長期間にわたって実現され、移行価値のある堆積を誘導するであろう。この過程は、熱帯の火山島で発達し、ボルネオ、ミンダナオおよび小群島からミンダナオの北部の平坦な蛇紋岩塊上に賦存するクロムおよびニッケルに富む残留鉄鉱の発生にも必然的に関連性をもっているようである。しかし下部岩石と無関係が特性となっているいわゆる“再沈殿ラテイライト”の大部分は、少量の珪酸を含有し、その組成が純粋で鉱床構成部分が薄いことは、日本および千島花彩列島の沼鉄鉱のように、酸性温泉水で鉄およびアルミニウムの移動によつて発生するラテイライトの確率度が、きわめて高いことを示している。さらにまたなにがゆえに現世火山島弧地域では、ラテイライト土壌の緩慢な生成過程が、酸性温泉による膨大な火山岩 (量) の比較にならないほど速い分解過程——分解産物の再排列 (主として鉄およびアルミニウム) 過程——堆積過程によつて抑圧されるかが完全に明らかとなる。