

氏名・（本籍）	すみ 角	きよ 清	し 愛
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理	第 1 4 5 号	
学位授与年月日	昭和 4 2 年 2 月 1 5 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
最終学歴	昭和 2 9 年 3 月 鳥根大学文理学部地学科卒業		
学位論文題目	Hydrothermal Rock Alteration of the Matsukawa Geothermal Area . (松川地熱地帯における岩石の熱水変質)		
論文審査委員	(主査) 教授 河 野 義 礼	教授 竹 内 常 彦	教授 牛 島 信 義

論 文 目 次

- I Introduction
- II Geology
- III Zonal arrangement of altered rocks
- IV Minerals in altered rocks
- V Microscopic and X-ray characteristics of altered rocks
- VI Chemical compositions of altered rocks
- VII Temperature measured in bore holes
- VIII Chemical compositions of hot water
- IX Relative abundance of silicon to aluminium as referred to depth
- X Destruction of zeolite and formation of mixed-layer minerals
- XI Comparison of the alteration of Matsukawa area with that of Wairakei

論文内容要旨

I 緒言

岩手県松川地域において、近年地熱発電の研究・開発のために多くの試錐が行われた。筆者は1960年から1966年にわたつて、この地域の変質作用の研究に従事し、その際、地表および試錐で得られた試料の変質鉱物を同定し、その組合せにもとづいて変質帯の、地表および地下における立体的な分帯を行ない、その累帯配列を明らかにした。活地熱地 (active thermal area) の熱水変質帯を立体的に分帯した例は、わが国では従来知られていない。

松川の変質帯は6帯に分帯され、地表から深度600 mまでの分帯の断面が得られた。分帯の範囲を深度600 mまでに限定したのは、この部分の原岩が、比較的単純な3種類の火山岩であり、また、これらの火山岩は第三紀のいわゆるグリーンタフ形成に伴う広域的な熱水変質を受けていないからである。

300コ以上の試料を採取し、顕微鏡的およびX線の研究を行ない、その一部は電子顕微鏡観察および化学分析を行なった。

II 地質

松川およびその周辺地域の層序は、地表地質調査によれば、下位から、山津田層 (中新世)、玉川溶結凝灰岩 (中新世または鮮新世)、松川安山岩 (更新世) および新期火山岩類 (更新世ないし現世) に分けられる。試錐の結果によれば、地熱地帯は、地表から深度160 mまでは松川安山岩、160 mから960 mまでは玉川溶結凝灰岩、960 mから深部は山津田層およびさらに古い地層からなっている。

研究された変質岩の原岩は、松川安山岩の輝石安山岩、玉川溶結凝灰岩の安山岩および玉川溶結凝灰岩の石英安山岩の3種類である。

III 変質岩の累帯配列

松川地域の熱水変質帯は、地表では1~1.5 Kmの中で、ENE-WSW方向に7 Km以上にわたつて分布している。変質帯は、変質鉱物の種類および組合せにもとづいて6帯に分けられる。それらはサポーナイト帯 (または緑泥石帯)、モンモリロナイト帯、カオリン帯および明ばん石帯であり、周縁から中心に向つて上記の順に累帯配列している。一方この系列とは別に、パイロフィライト帯が上記の累帯配列に重つて分布している。各帯相互の境界は、帯の名称となつた鉱物が出現・消失する線を基準にして定めた。他の諸鉱物は、帯のちがいだけでなく、同一帯内でも深さのちがいによつて、その種類および量が変化するので、分帯の基準にならなかつた。

すでに報告された多くの合成実験からみて、サポーナイト帯からモンモリロナイト帯・カオリン帯を経て明ばん石帯に至る一連の累帯配列は、pH値の低下にもとづくものであり、またパイロフィライト帯はこれらの帯より高温の条件下で生成したものであることは明らかである。本地域のパ

イロファイライト帯と緑泥石帯とは、パイロファイライト帯の現在の地温分布が、パイロファイライトの生成に必要な温度に達していないこと、緑泥石帯の構成鉱物が現在は崩壊しつつあることなどの現象から判断して、他の諸帯よりやゝ古い時期に生成したものとみなされる。

IV 変質岩中の鉱物

変質鉱物には細粒のものが多く、ストークス法によつて分離し、主にX線回折によつて同定した。またX線の底面反射と柱面反射は、それぞれ定方位集合と無定方位集合とを用いて測定した。さらに加熱処理・エチレングリコールおよび塩酸処理を併用した。以上の操作によつて、1種類の沸石、8種類の粘土鉱物および9種類のその他の鉱物を正確に同定した。沸石は濁沸石である。粘土鉱物は、サポーナイト、緑泥石、加水雲母、モンモリロナイト、カオリン、パイロファイライト、モンモリロナイト—緑泥石混合層鉱物および絹雲母—モンモリロナイト混合層鉱物である。またその他の鉱物は、明ばん石、硬石膏、石膏、方解石、ルチル、黄鉄鉱、ダイアスポア、紅柱石およびズニアイトである。

加水雲母は、 10\AA から低角度側へ強度を漸次低下する帯状反射だけでなく、比較的鋭い 11\AA 反射をししばしば伴う。この 11\AA の反射は絹雲母—モンモリロナイト混合層鉱物の不規則なものか、あるいは混合比が1:1でないものが含まれていることに由来するのであろう。

絹雲母—モンモリロナイト混合層鉱物のうちには両者1:1の規則的混合層以外に、 25\AA 反射が現われず、 12.5\AA 反射がやゝブロード(broad)な不規則混合層も存在する。

V 変質岩の顕微鏡的およびX線的性質

松川の変質帯を構成する主要な変質岩は次のとおりである。

i) 弱変質安山岩：サポーナイト帯の主要岩石である。原岩中の斜長石・輝石などは大半が新鮮なまま残り、石基の間隙にはサポーナイトなどが生じている。

ii) 加水雲母—緑泥石—濁沸石岩：緑泥石帯の主要岩石である。原岩の斜長石は大部分が濁沸石と加水雲母とに変化している。部分的に残っている斜長石は曹長石化を受けていない。モンモリロナイト帯に近い所では、濁沸石が方解石(または硬石膏)と絹雲母—モンモリロナイト混合層鉱物との集合体に変化しつつある。

iii) 方解石—モンモリロナイト—石英岩：モンモリロナイト帯の主要岩石である。中間的な深度では、石英・モンモリロナイト・方解石および黄鉄鉱が生じており、深部では、これに絹雲母—モンモリロナイト混合層鉱物、硬石膏などが加わる。一方浅部では、上記の組合せから方解石・黄鉄鉱などがなくなる。

iv) カオリン—石英岩：カオリン帯の主要岩石である。中間的な深度では、カオリン・石英および黄鉄鉱が生じているが、深部ではこれに硬石膏が加わる。一方浅部では逆に黄鉄鉱がなく、カオリンの量が減少する。

v) 石英—明ばん石岩：明ばん石帯の構成岩石である。明ばん石および石英が生じているが、深度が浅くなるにつれて石英の量が増加し、地表付近では多孔質で大半が石英からなる岩石となる。

V) バイロファイライト-石英岩：バイロファイライト帯の主要岩石である。バイロファイライト・石英および黄鉄鉱が生じ、ダイアスポア・紅柱石・ズニタイトなどを伴う。バイロファイライト-ダイアスポアの共生がある時は石英はみられない。

VI 変質岩の化学成分

各帯の代表的な岩石18コの化学分析を行なった。主要元素の変化量をみるために、揮発性成分などを除いた他の成分の百分比（酸化物比および原子比）を算出した。

VII 孔井中で測定された温度

T1・T2・T3・BR1およびBR2の孔井では、連続的に孔底温度が測定されている。最高温度は、BR2号井の深度520 mにおける 235℃である。

VIII 熱水の化学成分

自然湧出泉および孔井から湧出する熱水13試料を化学分析した。これらの熱水は、塩素イオンの含量が低く、硫酸イオンの含量が高いのが特徴である。

IX 珪素・アルミニウム相対比と深度との関係

pH条件にもとづいた変質分帯で、酸性変質帯に珪素が濃集している例は、これまでにいくつか報告されている。この現象は、酸性条件下でアルミニウムが溶脱され、結果的に珪素が濃集するものであろう。松川では、浅所で珪素の濃集が起つている。しかし深所では濃集は起つておらず、珪素・アルミニウム相対比は、緑泥石帯・モンモリロナイト帯・カオリン帯および明ばん石帯を通じて、ほとんど一定に保たれている。

この現象は単に pH条件だけでは説明することが出来ない。筆者は、それに対して変質帯中の循環溶液の流量の大きさを一つの要因として提案した。いわゆる溶脱作用は、元素の、(1)鉱物から溶液への移動と、(2)反応系の内側から系外への移動との2つの過程から成り立っており、溶液の流量は(2)の過程に対して大きな役割を果すにちがいない。深度の差による流量のちがいは、地下水の動きなどによつて十分に生じうることである。

ここでは代表的な例として、珪素とアルミニウムについて述べたが、元素の移動が深所において少ないという現象は、他のみられるすべての元素についても認めることが出来る。

X 沸石の崩壊と混合層鉱物の生成

緑泥石帯とモンモリロナイト帯との境界部では、濁沸石は、方解石（または硬石膏）と絹雲母-モンモリロナイト混合層鉱物との集合体に変化しつつある。この混合層鉱物は、緑泥石帯に近い所では11Åの反射を持つ加水雲母であるが、モンモリロナイト帯に近づくにしたがつて、12.5Åの反射を持つが25Åの反射を持たない混合層となり、ついに25Åの鋭い反射を持つ1：1の規則的混合層鉱物に移りかわる。言いかえれば、緑泥石帯からモンモリロナイト帯に向つて混合層鉱物の規則

性が増大している。

また鉱物組合せの現出ひん度から判断すると、加水雲母から規則的混合層鉱物への変化の速度は、濁沸石の崩壊速度より小さい。

XI ワイラケイ (Wairakei) と松川の熱水変質の比較

活地熱地の中で最もよく研究されたニュージーランドのワイラケイの熱水変質と、松川のそれとを比較してみると、構成鉱物はたがいによく類似し、アルカリ性変質帯から酸性変質帯まで分布している。しかし二つの点で相違がある。

第一の相違は変質帯の断面の形状についてである。酸性変質帯（カオリンおよび明ばん石帯）についてみれば、ワイラケイでは深さ90 m・横5,000 m以上、松川では深さ900 m・横500 mである。また深さと水平巾との比をとれば、松川ではワイラケイの100倍になつていて、両変質帯の形状の差が著しい。

第2の相違は、沸石形成の問題である。ワイラケイでは現在でも深部で沸石が生成しつつある（ただし浅部では上昇熱水液の化学的性質の変化によつてモンモリロナイトが生成しつつある）。一方松川では沸石形成の時期は過ぎ去り、それは現在は方解石（または硬石膏）と混合層鉱物とに分解しつつある。

論文審査結果の要旨

岩手県松川地域には数年前より地熱発電の研究及び開発のために多くの試錐が行われた。角清愛の提出論文はこの試錐で得られた多くの試料にもとづき、この地域の熱水による変質作用の研究を行ったものである。300個の試料を採集し鉱物同定には顕微鏡的及びX線的方法を用い、また電子顕微鏡観察や化学分析をも行って研究し、変質鉱物の組合わせにより地表下600米迄の変質の累帯配列を立体的に分帯した。

松川及びその周辺は下位から中新世の山津田層、中新世又は鮮新世の玉川溶結凝灰岩、更新世の松川安山岩及び新期火山岩類からなり、試錐結果によれば、地熱地帯は地表深度160m迄は松川安山岩、160mから960mは玉川溶結凝灰岩、960mから深部は山津田層およびさらに古い地層からなっている。地表下600m迄の変質岩の原岩は松川安山岩の輝石安山岩、玉川溶結凝灰岩の安山岩、石英安山岩の3種類である。

松川の熱水変質帯は地表で幅1~1.5Km、長さ7Km以上にわたって分布しているが、角はこの変質帯を変質鉱物の種類及び組合わせによりサポーナイト帯（または緑泥石帯）、モンモリロナイト帯、カオリン帯および明ばん石帯及びパイロフィライト帯の6帯に分けた。前5帯は中心に向かって上記の順に累帯配列を行い、パイロフィライト帯のみは上記累帯配列に重なって分布している。上記一連の累帯配列は P^H 値の低下にもとづくものであり、またパイロフィライト帯はこれらの帯より高温の条件下に生じたものである。角はまた各帯の主要元素の変化量をみるため18個の化学分析値から揮発性成分を除いた百分比を産出し、特に珪素・アルミニウム相対比と深度との関係を求めた。酸性変質帯に珪素が濃集している例はこれ迄にいくつか報告されているが、松川では浅所で珪素の濃集が起っているが、深所では珪素の濃集は認められず、各帯を通じ殆んど一定に保たれている。この現象を角は単にpH条件だけでは説明できないと述べ、変質帯中の循環溶液の流量を一つの要因として提案した。また深所において元素の移動が少ないという現象は他のすべての元素についても認められると述べた。また角は緑泥石帯とモンモリロナイト帯との境界部では濁沸石が、方解石と絹雲母-モンモリロナイト混合層との集合体に変化しつつあると言う興味ある事実をも認めた。角は最後に松川変質帯とニュージーランドのワイラケイ(Wairakei)との比較を行い、構成鉱物がよく類似し、ともにアルカリ性変質帯から酸性変質帯まで分布しているが、両者は次の二点で相違していると述べた。即ち第1に酸性変質帯(カオリン及び明ばん石帯)についてみればワイラケイでは深さ90m、横5000mに対し、松川は深さ900m、横500mである。第2にワイラケイでは現在でも深部で沸石が生成しつつあるに対し、松川では沸石形成の時期は過ぎ、現在は方解石と混合層鉱物とに分解しつつある。

尚、参考論文8編は何れも本論文の基礎となる優秀なものである。以上角の論文は1960年~1966年に至る6ケ年に亘る労作であり、活地熱地(active thermal area)の熱水変質帯を研究した例はわが国では始めてで、外国においても少く、岩石の変質の研究に寄与すること大である。よって、角清愛提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。