

鹿児島県山川町鰻池周辺の地質と変質鉱物

加川博敏*・富田克利*・大庭昇*・山本温彦*

Geology and Hydrothermal Alteration Around The Unagi-ike, Yamagawa-cho, Kagoshima Prefecture

(1989年9月1日受理)

Hirotohi KAGAWA*, Katsutoshi TOMITA*, Noboru ŌBA*
and Masahiko YAMAMOTO*

Abstract

The studied area is situated at the eastern part of Yamagawa-cho, Kagoshima Prefecture. The geology is divided into seven according to the age of rocks and is summarized as follows :

Alluvium deposits
Ejecta of Kaimondake Volcano
Pyroclastic fall deposits by post caldera volcanism
{Ejecta of Nabeshimadake
{Lake-Ikeda ash bed

Pyroclastics related to the formation of Ikeda Caldera
Koya air fall pumice deposit and Koya pyroclastic flow deposit
Central cones of Ata Caldera
Pre-Ata pyroclastics and volcanics

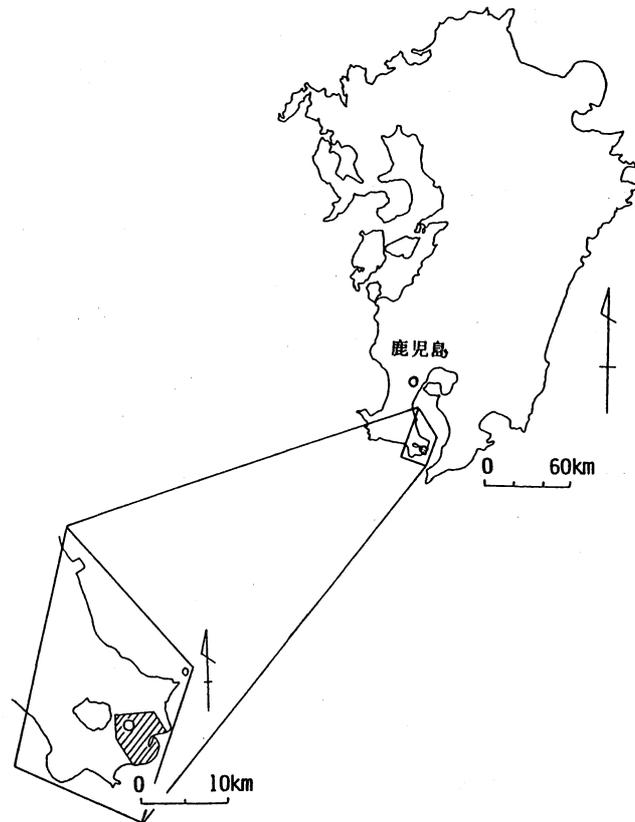
Late Pleistocene to Holocene lavas and pyroclastics were subjected to hydrothermal alteration. Five alteration zones are recognized which are situated in Narikawa, Unagi hot spring, west of pond Unagi, south of Takeyama and Fushime.

The alteration products are mainly kaolinite, halloysite, interstratified mica/smectite, mica, smectite, opaline silica, alunite, stilbite and clinoptilolite. Alunite which occurred in this area can be divided into four groups by the relative atomic ratios of potassium and sodium. The differences in atomic percent is probably influenced by pH and temperature of the solution which brought about the hydrothermal alteration in the area.

1. はじめに

指宿市南部から山川町にかけては中新世から完新世にかけての火山岩や火山碎屑物が分布している。またこれらの内、主として更新世後期の安山岩質からデイサイト質の火山岩は熱水変質を

* 鹿児島大学理学部地学教室 Insitute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, 890, Japan



第1図 調査地域位置図

受けて種々の変質鉱物ができている。今回、山川町東部の地質調査および熱水変質を受けた岩石の変質鉱物について研究したのでここに報告する。

従来の研究は地質については Matumoto (1943), 荒牧・宇井 (1966), 太田 (1966)・宇井 (1967), 成尾・小林 (1980) 等, 熱水変質については神谷他 (1978) 等がある。

2. 地質概説

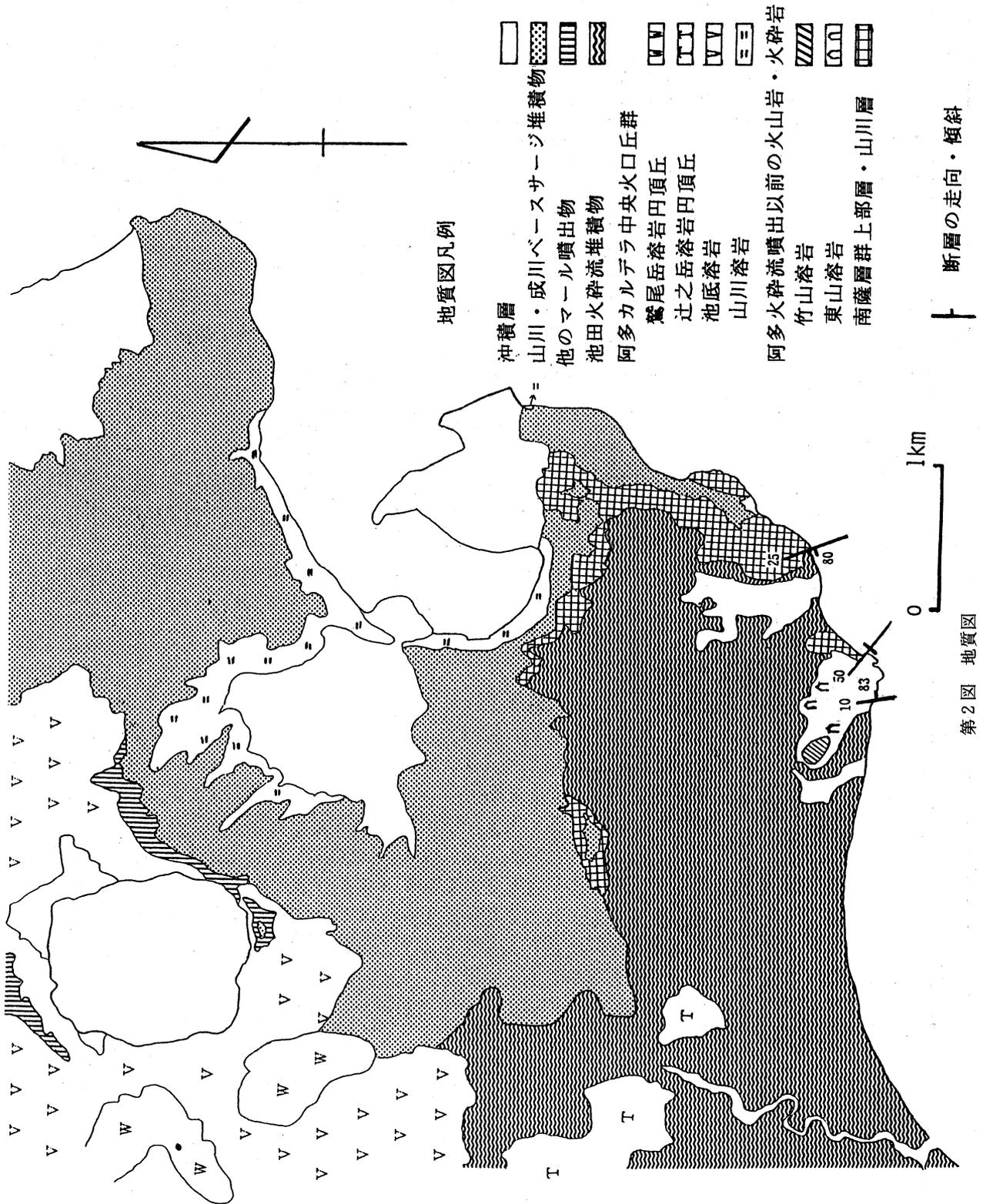
本地域は、Matumoto (1943) による“阿多カルデラ”内部（いわゆる鬼門平断層崖より南東側）に位置する。調査地域を第1図に示した。

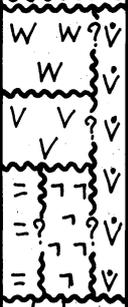
調査地域内に認められる地層（岩体）は下位より、阿多火砕流噴出以前のものとしては中新世後期の南薩層群上部層、鮮～更新世の山川層、更新世後期の竹山・東山溶岩が認められる。

阿多火砕流（8～9万年前）噴出後、約3万年前に始まった阿多カルデラ中央火口丘群の活動で、両輝石安山岩～デイサイト質の溶岩による成層火山体・溶岩円頂丘が形成された。

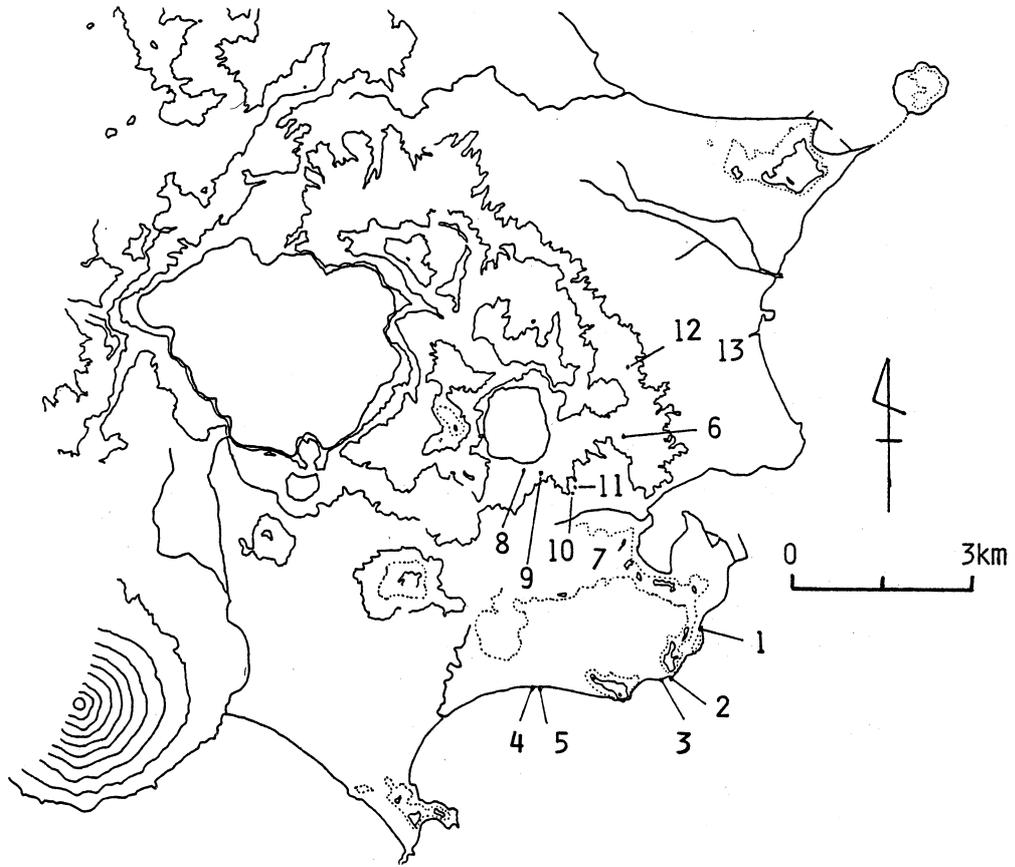
完新世に堆積したものは、約6,400年前に鬼界カルデラから噴出した幸屋火砕流堆積物、5,500ないし4,000年前の池田カルデラ形成時の池崎火山灰層・尾下降下スコリア堆積物・池田降下軽石堆積物・池田火砕流堆積物、ほぼ時期を同じくして起こったマール群の活動によるベースサージ堆積物・爆発角礫層、後カルデラ活動の噴出物として、池田湖火山灰層・鍋島岳火山噴出物。（テフラ、溶岩円頂丘）、4,000～1,000年前の開聞岳火山の活動により噴出されたスコリア質のテフラが見られる。現在、至るところで活発な噴気活動が見られたり、過去に存在した証拠としての熱

水変質帯が存在している。調査地域の地質図を第2図に、総合模式柱状図を第3図に、各個柱状図作成位置・各個柱状図をそれぞれ第4図、第5図に示した。

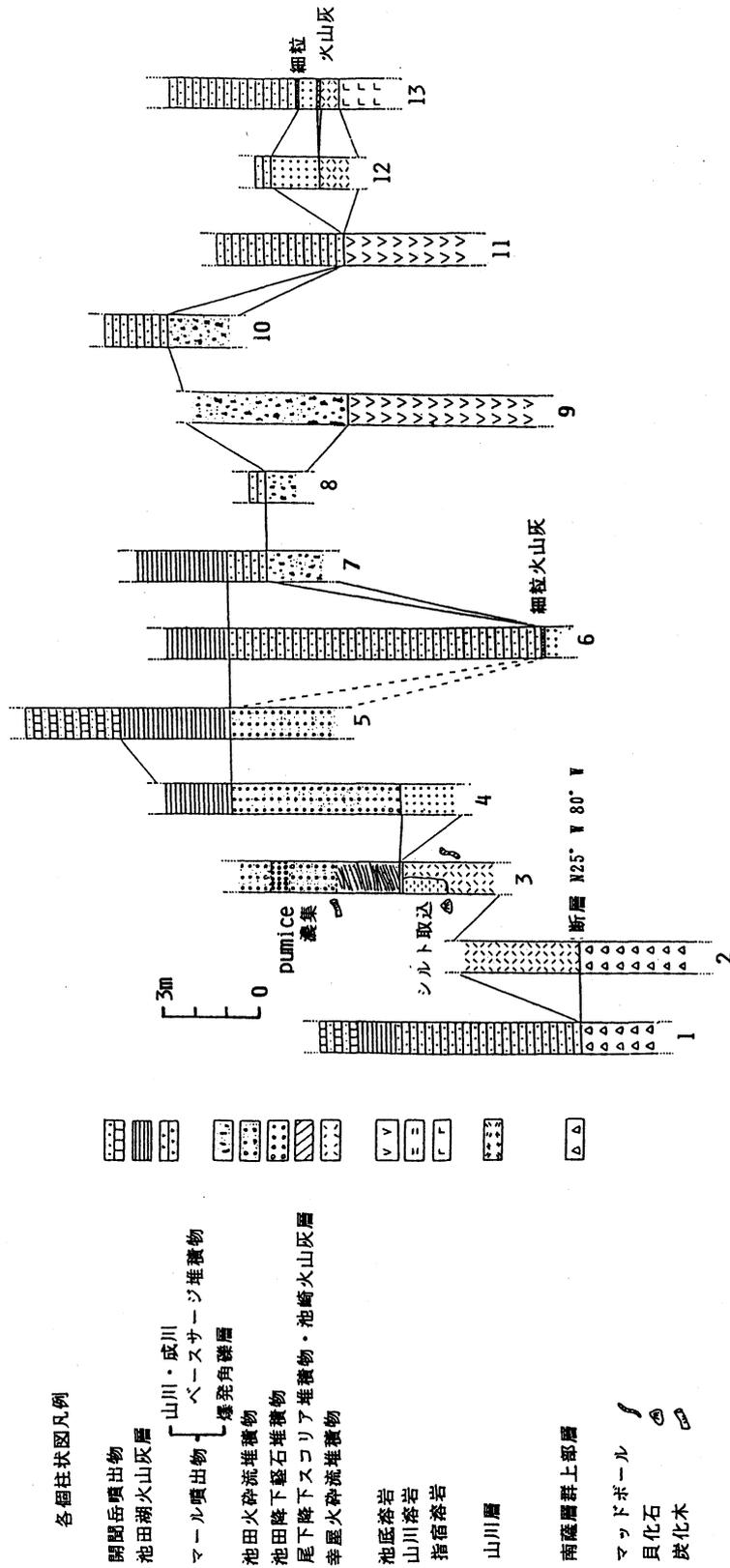


時代	地層名	柱状図	層厚	岩相	備考
第四紀	沖積層			河川・湖畔及び海浜に沿って分布し、礫・砂・泥よりなる。	
	開聞岳噴出物		5m	主として黒色のスコリア・黒色の火山灰よりなりよく成層している。	成尾・小林 (1983)
	鍋島岳噴出物		2.5m	発泡の悪いスコリア・軽石・安山岩礫よりなる。	
	池田湖火山灰層		5m	成層構造の著しい火山灰層、火山豆石に富む。	成尾・小林 (1980)
	マール噴出物		10m	池田カルデラ噴出物と同質の軽石よりなるベースサージ堆積物及び爆発角礫層。	
	池田火砕流堆積物		15m	灰白色～茶灰色の非溶結の火砕流堆積物で最大で4枚のフローユニットが認められる。	4,640±80 (1°C)
	池田降下軽石堆積物		2m	白色で発泡のあまり良くない降下軽石堆積物で有色鉱物が顕著。綫状軽石を含む。	4,500(T,L) 宇井(1967)
	尾下降下スコリア堆積物		3cm	発泡のあまり良くない黒色のスコリアよりなる。	
	池崎火山灰層		10cm	黄土色の火山灰層で、噴出源に近い所ではクロスラミナが見られるが、遠方ではマッシュプである。	成尾・小林 (1980)
	幸屋火砕流及び降下軽石堆積物		30cm	黄土色～橙色の非溶結の火砕流堆積物。	宇井(1973)
20cm			発泡の良い1cm以下の白色の降下軽石堆積物。	6,300(1°C)	
更新世	阿多カルデラ 中央火口丘群			両輝石安山岩～デイサイト質の溶岩よりなり、成層火山体と溶岩円頂丘が見られる。池底溶岩と山川溶岩は成層火山体である。局地的に熱水変質を受けている。	成尾・小林 (1983) 溶岩の各名称は主に宇井 (1967)による
	鷲尾岳溶岩円頂丘				
	池底溶岩 山川溶岩 指宿溶岩				
竹山・東山溶岩				両輝石安山岩質溶岩よりなる。火山体である東山と火山岩頸である竹山よりなる。	
新第三紀	山川層		20m	発泡の悪い軽石を多く含むラミネーションの顕著な水中火砕流。多数のマッドボールが見られ、海生貝化石等を含むシルトも取り込んでいる。	吉村・柳本・中込(1985)
	南薩層群上部層		100m	安山岩・花崗岩・堆積岩等の角礫～円礫を多く含む多孔質な凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩で、最上部には成層構造が見られる。	

第3図 総合模式柱状図



第4図 各個柱状図作成位置



第5図 各個柱状図

3. 地質各論

A. 阿多火砕流噴出（～8.5ないし9万年前）以前の堆積物

山川町南東部，主に山川港～南部海岸にかけて独立した小丘をなして散在する。

1) 南薩層群上部層

南薩層群の名称は金属鉱物探鉱促進事業団（1969）による。本地域のボーリング・データで認められる基盤岩類を南薩層群として記載したのは吉村他（1985）である。緑灰色～黄褐色の凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩・成層した凝灰質砂岩～凝灰質泥岩よりなる。山川町南東部海岸に見られる断層破碎帯より東側に位置し多孔質で固結がかなり進んでいる。海岸では人頭大以下の軽石・安山岩・花崗岩・頁岩・砂岩・黒曜岩が多数見られる。また，黒曜岩には塑性変形を受けた様に曲げられているものも見られる。台地上では異質岩片の量がかなり減少し，所によっては殆ど軽石のみとなる。台地の頂上部付近では1～数cm単位で成層した凝灰質の粗粒砂岩～泥岩が見られる。

鏡下では斜長石・紫蘇輝石・普通輝石・角閃石・黒雲母が認められるが，斜長石の大きなもの以外は破片状で小さい。輝石の一部は繊維状の緑泥石に置換されている。最大層厚は約150mに達するものと思われる。

2) 山川層

名称は吉村他（1985）が南薩層群と同様に本地域のボーリング・コアに用いたものである。南薩層群とは前述の断層で接し，それより西側に当たる。緑灰色～灰色で固結度が低く，殆ど軽石しか含まない火砕流様の岩相を示す。また，所々ラミネーションが発達し，基底部付近では南薩層群上部層に類似した岩相の50cm～1m大のブロックを含んでいる部分も見られる。①軽石の発泡が非常に悪い，②マッドボールやラミネーションが見られる，という様に松田・中村（1970）で述べられている水中で堆積した火砕流の特徴が見られる。また，火山豆石が見られないということは，噴煙柱が空中高くまで達し得ない位の噴火が起こった事を示唆している（松田・中村，1970）。最大層厚は20m程度であると思われる。鏡下では，斜長石・石英・角閃石・紫蘇輝石および普通輝石が認められる。

なお，これは池田火砕流堆積物（サージ状，後述）に覆われるが，その部分で最大1m前後の緑灰色のシルトを取り込んでいるのが見られる。massiveで固結度は同様に低く海生の二枚貝化石（*Raeta (Raetelops) pulchella* (Adams & Reeve), *Omala hyalina* (Gmelin)) を多量に含み（前者が圧倒的に多い），他に種・属名共に不明な巻貝化石や，ウニ等の化石も含むが，融けていて型しか残されていない。また，少量であるが山川層に含まれるものによく似た軽石を含む。

以上の地層名は，本地域（山川町伏目）のボーリングで確認されている地層との対応によるが，南薩層群上部層については鬼門平断層崖以北に露出する南薩層群上部層の凝灰角礫岩（宇井（1967）の荳口層）との鏡下ならびに肉眼的な岩相上の類似よりほぼ同時代のものと考えられる。

山川溶岩との直接の関係は不明だが，こちらの方が下位に当たると考えられる。東山溶岩・ベースサージ堆積物・池田火砕流堆積物・開聞岳噴出物に覆われる。宇井（1967）では南薩層群上部層と共に山川火砕流堆積物として一括して扱われ，また小林（1982）では“山川火砕流堆積物”は，南薩層群荳口層に対比されている。通商産業省資源エネルギー庁（1985）による南薩地域の広域調査では南薩層群上部層の年代を絶対年代，化石等を併用して中新世後期後半としている。

伏目地区のボーリングによると南薩層群上部層（N17～21帯；中新世末期～鮮新世末期）を不整合に覆う山川層（N21～22帯；鮮新世末期～更新世前期）が伏目地区を中心として分布しており，

所によっては海成化石を含む泥岩層を挟在していることも確認されている。前述のシルトの取り込みも、この様な泥岩層を流走中に取り込んで来たものと思われる。

3) 竹山, 東山溶岩

淵ノ上 (1970) で用いられた名称を再定義して用いる。共に両輝石安山岩よりなる。中間にやや低い鞍部を隔てて二つのピーク東山と竹山が見られる。東山は他の部分と尾根・谷の連続がよく一連の山体の様に見えるが、竹山は独立した円錐状の地形を成しているように見える。竹山には柱状節理や上方への擦傷状の筋が見られる。地形的特徴も併せて考えると、竹山は火山岩頸でそれ以外は山体の一部と考えられる。

肉眼的には、東山は明灰色～暗灰色で流理・板状節理が顕著であるが、一方竹山は暗灰色で流理が見られない。

鏡下に於いては共に石基がガラス質の両輝石安山岩だが、輝石の比率が異なっており (竹山: CPX > OPX, 東山: OPX > CPX), 竹山の方は一部の輝石が緑泥石に変化している。恐らく火道中に存在していた時に熱によって変質を受けた結果と思われる。また、竹山の山頂付近には捕獲岩の抜けた跡と思われる多数の球状の穴が遠望され、鏡下でも鉱物組成が類似した細粒の等粒状火山岩が捕獲岩として認められる。海岸部では東山のものと思われる溶岩が局地的に熱水変質を受けており、粘土化している。

竹山の南の海上にみられる俣川洲やその他の小岩体は遠望した限りでは流理が顕著であり、東山と同傾向の断層が認められたりと東山と類似の点が多い。同様に地壘状に残された岩体なのかも知れないが、断言はできない。

山川層とは大部分が断層接触だが、一部が山川層の上に乗ることが確認されている。池田火砕流堆積物によって麓が不整合に覆われていることよりそれより古いことは明らかだが、それ以外との関係は不明である。

以前は他の溶岩円頂丘 (後述) と同時期の活動によって形成されたと考えられていたが、成尾・小林 (1983) は第四紀更新世先阿多火山岩類とした。

今回は分布が山川層と密接に伴うこと、山体の保存状況が良くないことより阿多火砕流噴出以前に形成され、地壘状に取りのこされた岩体と考える。また竹山を火山岩頸と考えた場合、東山の山体保存状況からみてもかなり古いものと考えられる。

B. 阿多カルデラ中央火口丘群

名称は成尾・小林 (1983) による。阿多火砕流が8.5～9万年前に噴出された後、引き続いて小規模な今和泉火砕流が噴出された (両者とも本調査地域では確認されない)。長い休止の後約3万年前に始まった新たな火山活動 (Nagaoka, 1988) によって指宿市西部～山川町北部 (鬼門平断層崖より南側) で成層火山体・溶岩円頂丘が形成された。以下に述べる各溶岩の名称は主に宇井 (1967) によるが、やや分布が異なるものもある。

1) 指宿溶岩

火口丘群南東斜面に分布している。但し、調査地域ではわずかに数ヶ所でしか認められない。両輝石安山岩質では石基部は風化、変質が進み赤紫色の粘土状となっている。斜長石の斑晶が著しく多いことによって他と区別される。有色鉱物はあまり目立たない。層準は火口丘群中最古と思われ、池底溶岩・池田降下軽石堆積物・ベースサージ堆積物・幸屋火砕流堆積物に不整合に覆われるが、山川溶岩との関係は不明である。

2) 山川溶岩

成川北部～山川港周辺～山川駅前～指宿市大渡国道沿いおよび鶴瀬・金比羅鼻付近に分布する。

暗緑色～黒灰色の一様で流理の殆ど見られない両輝石安山岩質溶岩で石基中に多くの斜長石の斑晶がみられる。輝石斑晶は他のものより目立つ。緻密で数cm単位の水平な板状節理が顕著である。成川付近では熱水変質を受けて粘土化している。少量であるが凝灰角礫岩が見られることより、小規模ながら成層火山体をなしているのかもしれない。ベースサージ堆積物に不整合に覆われ、また山川・成川マールの壁を形成していることより、これらの形成以前に流出したものであることがわかる。指宿溶岩・南薩層群等との直接の関係は不明だがこれらより上位にあたると考えられる。

金比羅鼻において本溶岩とよく似た溶岩が見られる。分布がとんでいるため断言できないが、恐らく本溶岩の先端部と思われる。また鵜瀬にも岩礁が見られ、本溶岩と何か関係があるかも知れないが直接観察することは不可能である。

3) 池底溶岩

鰻池周辺～松が窪付近。鰻池周辺～池田湖東部の山地を形成している。

①濃青色緻密な部分と淡灰色多孔質な部分が縞状をなしているもの、②青灰色で一様なもの、③ガラス質で黒色と灰色の縞が見られるもの、④石基が黒色ガラス質でスフェルライトが見られるもの、という四種の岩相が調査地域内で識別される。

①の緻密な部分と②～④の鉱物組成は斜長石・普通輝石・紫蘇輝石・角閃石・不透明鉱物である。

①は調査範囲の最も多くの地域で見られるが、当調査地域の周辺部ではあまり認められず、大半はガラス質（恐らく④のもの）である。

久野（1952）で述べられている例と同様に、安山岩質とデイサイト質の溶岩の混合物が流動した結果できたものと思われる。

②は鰻池の北岸で何箇所か認められる。③は鰻池南岸で僅か1箇所認められるに過ぎない。④は調査地域では鰻池の西岸地域の沢でのみ認められるが前述の通り、他の地域ではかなり広範に認められる。スフェルライトが見られ黒曜岩的であり、鏡下では流理が非常に顕著である。

この沢では溶岩が何枚か重なりあっている様な地形が見られ岩相も垂直的に変化している。凝灰角礫岩と互層していることが随所で確認されており、成層火山体であると思われる。全体的に下位ほど凝灰角礫岩が多い。但し露頭が限られ、また鰻温泉周辺・鰻池の西側では熱水変質を受け粘土化・明礬化しているためそれぞれの関係は明瞭でないので、池底溶岩として一括する。観察できた範囲では④は①、②より上位と考えられるが、他の関係は不明である。

鰻池・池田湖などの壁を形成していることよりマール・池田カルデラ形成以前の噴出である。また分布から見る限り、山川溶岩より上位である。

4) 辻之岳溶岩円頂丘

辻之岳、およびその南東の二つの溶岩円頂丘を形成している。

熱水変質を受け赤桃色・黄土色・白色などの粘土質になっているが、恐らく両輝石安山岩と思われる。開聞岳噴出物・幸屋火砕流堆積物・池崎火山灰層・池田湖火山灰層等に覆われているため露出が著しく悪い。特に南東端のものは溶岩の露頭は未確認だが、地形から見る限り溶岩円頂丘と思われる。

開聞岳噴出物・幸屋火砕流堆積物・池田湖火山灰層に不整合に覆われる。

池底溶岩などと同時代の活動によって形成されたと思われる。

5) 鷲尾岳溶岩円頂丘

鷲尾岳およびその南のピークを形成する。両輝石安山岩質溶岩よりなる。濃青色の石基など池

底溶岩②に類似しているが、同質起源と思われる細粒の等粒状火成岩のゼノリスを含む。熱水変質を受けてかなりの部分で粘土化・明礬化している。

地形的に見て池底溶岩を貫いていると思われる。池田火砕流堆積物・鍋島岳噴出物・開聞岳噴出物に不整合に覆われる。

前述の他の溶岩類と同様な熱水変質を受けていることより他の溶岩類と活動時期はそう大きく違わないと思われる。

C. 幸屋火砕流および降下軽石堆積物

名称は宇井 (1967, 1973) による。辻之岳溶岩円頂丘・指宿市中央林道・指宿市片野田墓地公苑等散点的に分布が確認される。下位の降下軽石堆積物とそれに整合的に重なる火砕流堆積物よりなり、降下軽石堆積物は層厚20cm前後。軽石は白色ないし薄茶色で、平均粒径1cm以下、発泡良く斑晶量は少ない。斑晶鉱物の組成は、斜長石・普通輝石・紫蘇輝石・不透明鉱物である。殆ど軽石のみで、異質岩片は殆ど全く含まない。火砕流堆積物は層厚30~45cm。白色または黄土色~橙色の非溶結の火砕流堆積物で、軽石(最大10cm)はあまり多くなく、異質岩片は殆ど含まない。

約6,300年前に鹿児島県南方海上の鬼界カルデラより噴出したもの(町田, 1976)で、 ^{14}C 年代は宇井・福山(1972)によって $6,400 \pm 110$ Y.B.P., $6,050 \pm 110$ Y.B.P., $6,290 \pm 120$ Y.B.P.の値が得られている。指宿溶岩・辻之岳円頂丘溶岩を不整合に覆い、池田カルデラの噴出物に不整合に覆われる。

D. 池田カルデラに形成に関係したものやその類縁と考えられるもの

約4,500~5,500年前に現在の池田湖の所で新たな火山活動が始まった。水蒸気爆発から始まり、スコリア・軽石と噴出物の性質を変えていき、最後に火砕流を噴出して池田カルデラが形成された。絶対年代は $4,640 \pm 80$ Y.B.P. (松井, 1966 ^{14}C), $4,500$ Y.B.P. (吉村他, 1985 T.L.), また含まれる土器より $5,650 \pm 150 \sim 4,490 \pm 110$ Y.B.P. (成尾, 1983 ^{14}C)の値が得られている。

また、ほぼ同時期に池田湖の南東で複数のマールが形成された。

1) 池崎火山灰層

名称は成尾・小林(1980)による。指宿市片野田墓地公苑・辻之岳溶岩円頂丘に分布する。黄灰色~黄土色の火山灰層で最大層厚10cm。植物片(茎?)も見られる。たいていの場所ではmassiveだが、噴出源に近づくとクロスラミネーションが見られ、サージ状の堆積物の様相を呈する。粗粒の石英や黒雲母の結晶が集中している部分が下位に見られその一部は溶融した様になっていることより、地下に存在が推定される花崗岩(本地域のマール噴出物・南薩層群等の中にかかなりの数の花崗岩の岩片が含まれている)からの捕獲結晶と考えられる。また上位の尾下降下スコリア堆積物に似たスコリアを恐らく本質物質として含んでいる。幸屋火砕流堆積物を不整合に覆い、尾下降下スコリア堆積物に整合的に覆われる。池田カルデラ形成の最初期の噴出物で水蒸気爆発によって形成されたものであると考えられる。

2) 尾下降下スコリア堆積物

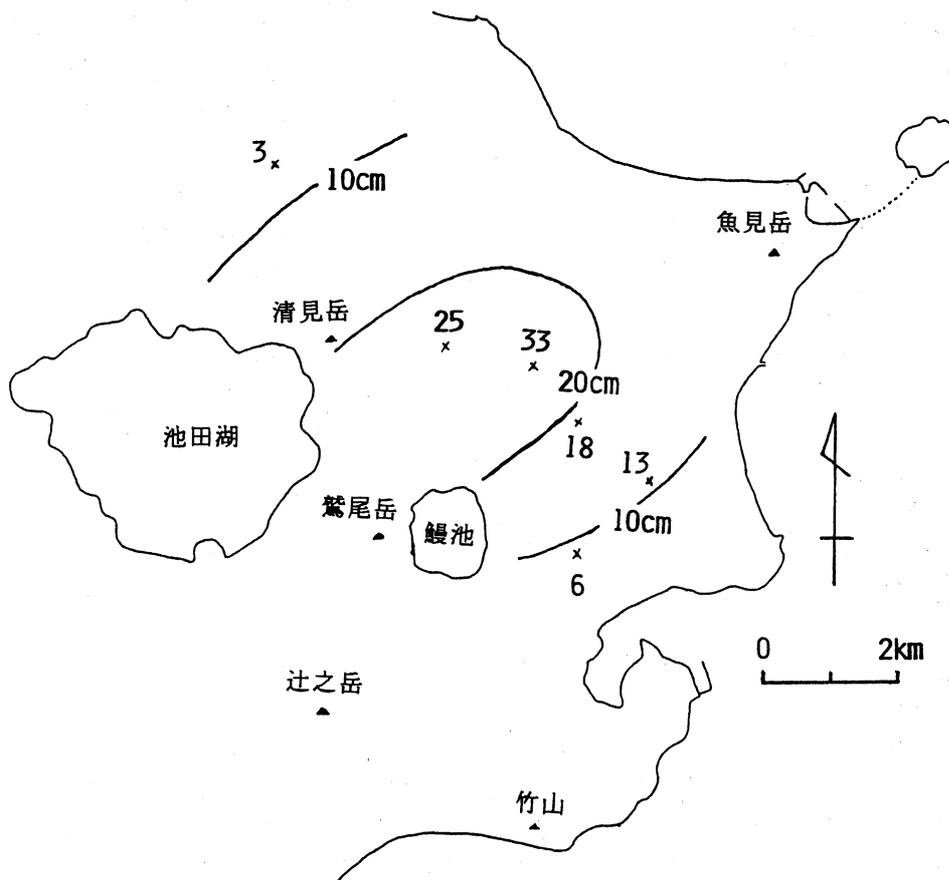
名称は成尾・小林(1980)による。宇井(1967)にも尾下降下スコリアとして記載されている。指宿市片野田墓地公苑~指宿市北方に分布する。発泡の良くない黒色のスコリアよりなり、層厚は10cm。斑晶鉱物として、石英・斜長石・橄欖石・普通輝石・紫蘇輝石・角閃石が見られる。下位の池崎火山灰層にめり込んでボム・サグ構造を示す部分も見られる。池崎火山灰層を整合的に覆い池田降下軽石堆積物に整合的に覆われる。

3) 池田降下軽石堆積物

名称は宇井 (1967) による。ほぼ全域に分布し、層厚は 2 m 土。白色で発泡のあまり良くない斑晶鉱物の多い軽石より成り、マグマ混合によってできたとされる (Ui, 1971) 青灰色と白色の縞状軽石も見られる。白色部は本堆積物の本質部で、斑晶鉱物として石英・斜長石・角閃石・紫蘇輝石・不透明鉱物を含む。青灰色の部分はいわば捕獲岩的な部分と考えられ、斑晶鉱物として斜長石・普通輝石・紫蘇輝石・不透明鉱物を含み、前述の尾下降下スコリア堆積物のものとは異なる。縞状軽石は本堆積物の下位に顕著に含まれ、上位にはあまり含まれない。全体に大きく二つに分けられ、相対的に下位は細粒、上位は粗粒である。また、主として安山岩の黒質岩片に富む。中央火口丘群溶岩・幸屋火砕流堆積物を不整合に、尾下降下スコリア堆積物を整合的に覆い、池田火砕流堆積物・マール噴出物に整合的に覆われる。

4) 池田火砕流堆積物

名称は宇井 (1967) によるが、やや分布がことなる。南半部台地を形成する。他に局部的に鷲尾岳の東麓にも見られる。最大層厚は 15 m。灰白色～茶灰色の非溶結の火砕流で下位の池田降下軽石と同質の軽石よりなり、主として安山岩の異質岩片を多く含む。最大で 4 枚のフローユニットが見られるが、全域にわたって追跡することは難しい。噴き抜けパイプも見られる。鷲尾岳東麓に認められるものは、あまり軽石が含まれない。層厚は 2 m 前後である。また山川層を覆う南部の海岸や伏目海岸では葉理が顕著な部分が見られるが、これは火砕流が水につこんだ結果生



第 6 図 等層厚線図

じたサージであると考えられる。池田降下軽石堆積物を整合的に覆い、池田湖火山灰層に整合的に覆われる。

5) マール噴出物

マールは池田湖の南東に分布し、池田湖に近い方から松ヶ窪・池底・鰻池・成川・山川の順でおよそ N65°W の方向で配列している。爆発角礫層とベースサージ堆積物より成り、これら2つは一連の爆発で形成された物と考えられる。前者は各マールの周辺に極く局地的に分布しており、人頭大以下の主に安山岩、稀に花崗岩・砂岩・頁岩・凝灰角礫岩（南薩層群？）の角礫～亜円礫を凝灰質のマトリックスで充填したもので、成層構造等は全く見られず雑多で淘汰は非常に悪い。最大層厚は4mである。後者の内、山川か成川に由来していると思われる山川・成川ベースサージ堆積物（成尾・小林（1980）の山川・成川グラウンドサージ堆積物）は北方約3km程度まで分布が追えるが、池底・松ヶ窪に由来していると思われるベースサージ堆積物は規模が小さく付近100m程の範囲にしか見られない。また、鰻池に由来すると思われるベースサージ堆積物は確認されなかった。池田火砕流堆積物・池田降下軽石堆積物と同質の軽石より成り、クロスラミネーションが顕著である。最大層厚は10mである。池田降下軽石堆積物を整合的に覆う。爆発角礫層の方が下位でベースサージ堆積物との間に見られる軽石を含む細粒のピンク～黄土色の火山灰層は、池田カルデラ噴出物と同じ軽石を含み、鉱物組成もこれと同じであり（軽石を除いた細粒のマトリックスの部分のみで）、池田湖（池田火砕流の噴出源）に近づくと層厚を増し（第6図）、粒度も大きくなる傾向があることよりこの火山灰層は池田火砕流の活動に関連したもの（co-ignimbrite ash 的なもの？）と考えられ、またそのように考えた場合、池田火砕流の方がベースサージより先に噴出されたことになる。また、池田湖北方で池田火砕流堆積物の2枚のフローユニットの間に層厚3cmで類似の黄色の火山灰層が見られた。

E. 後カルデラ火山活動による堆積物

池田カルデラ形成後も噴火活動は続き、水蒸気爆発による池田湖火山灰層の噴出や（成尾・小林1980）、スコリア噴出を伴う鍋島岳溶岩円頂丘の形成の様な活動がみられた。

1) 池田湖火山灰層

名称は成尾・小林（1980）による。ほぼ全域に分布し、最大層厚は5m。非常にきれいに平行に成層している火山灰層でそれぞれ粒度がよく揃っている。ユニットの色は灰白～茶灰色で、火山豆石に富み、ユニットによっては殆ど火山豆石よりなる。池田火砕流堆積物・ベースサージ堆積物を整合的に覆い、鍋島岳噴出物・開聞岳噴出物に不整合に覆われる。

2) 鍋島岳噴出物

成尾・小林（1983）や宇井（1967）に記載が見られる。池田湖の南縁付近に小規模な溶岩円頂丘である鍋島岳が見られるが、その形成に先立ってほぼ同じ場所でスコリアや火山灰を噴出しており、それが本調査地域でも何箇所かで認められる。発泡の極く悪いスコリア層よりなり、最大層厚は2.5m以上である。池田湖火山灰層を不整合に覆い、開聞岳噴出物に不整合に覆われる。

F. 開聞岳噴出物

名称は成尾・小林（1983b）による。中村（1967）の開聞岳火山噴出物も同じ。開聞岳火山は、下部の成層火山体と上部の溶岩円頂丘からなる二重式火山である。約4,000年前に活動を開始し（中村，1967）、溶岩流出、スコリア・火山灰の噴出を繰り返しながら山体を形成していった。そのテフラは本地域に広く分布している。本火山の最新の噴火は平安時代であり、貞観・仁和の2度の噴火記録がある。

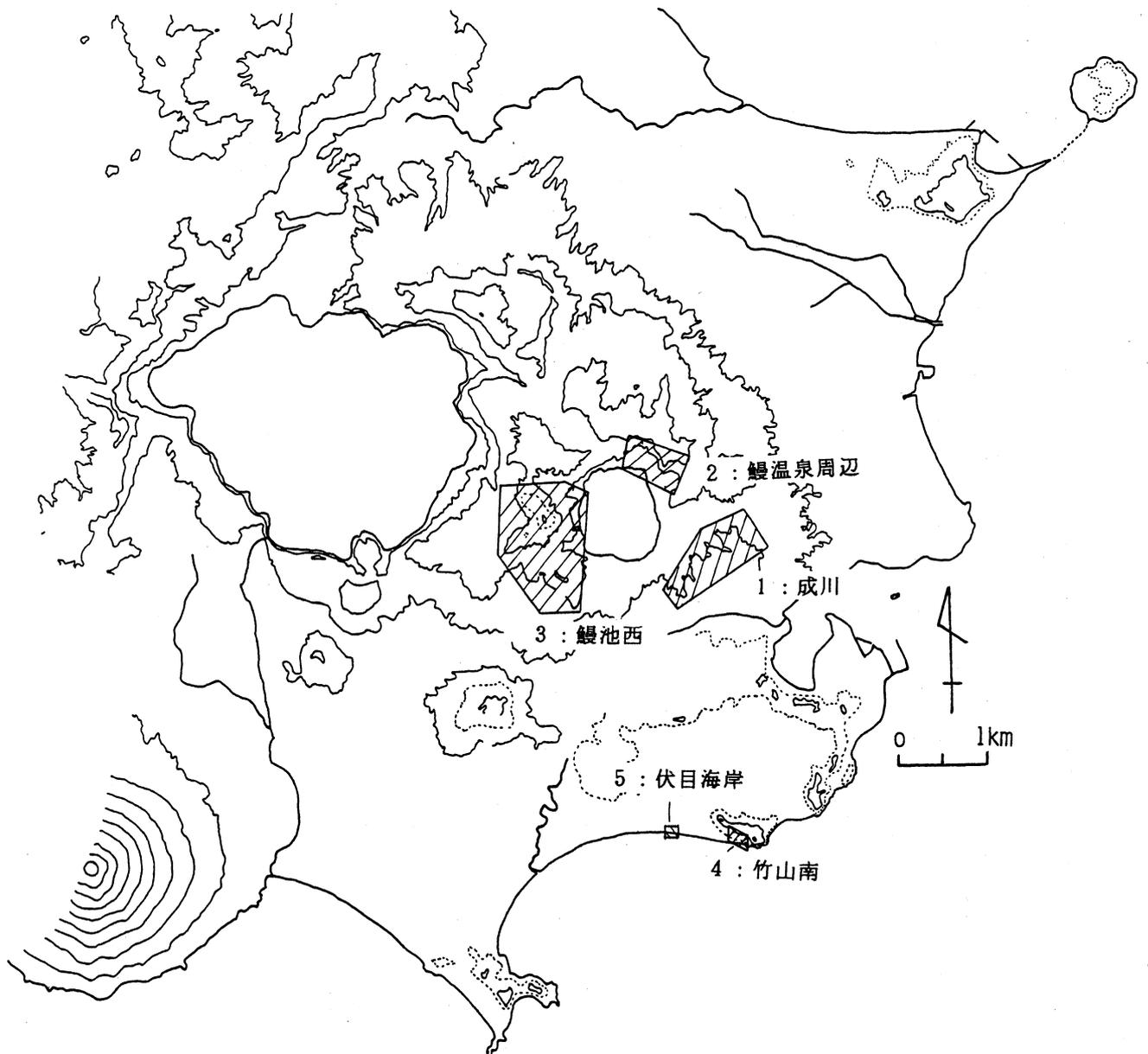
ほぼ全域に分布し、最大層厚は5m。1～10数cm単位で黒色や茶褐色のスコリア・黒色の火

山灰・豆石に富む淡黄褐色の火山灰層が成層している。各層毎にスコリアの粒径、発泡度には差がある。全部で20数ユニット認められる。この噴出物は下位のあらゆる層準を不整合に覆う本地域最上部層である。

G. 沖積層

山川町福元の砂嘴・鰻池の湖畔・成川マール内・河川・海浜に沿って分布が見られる。開聞岳噴出物・池田カルデラやマールの噴出物のリワークが主であり、溶岩（阿多以降?）・凝灰角礫岩（南薩層群?）等を雑多に含んでいる。海浜砂には橄欖石・輝石等の鉱物が多く含まれる。

4. 熱水変質について



第7図 熱水変質帯の位置

第1表 サンプルング地点ごとの変質鉱物一覧

地域	sample No		変質鉱物												非変質鉱物	備考		
			粘土鉱物					シリカ鉱物				その他						
			K	10H	7H	Mc	M/S	Sm	Q	Cr	Tr	Op-A	Al	Z	Py			
成川	1		○					○	○	○								
	2	1						○						C				
		2						○	○	○				C			○	
	3	1						○	○	○							○	
		2						○	○	○							○	
	4							○	△	△							○	
	5							○				△					○	
	6	1						○										Pyはbulkのみ
		2						○						C				
	3						○						C		△			
	4						○						C+S					
	35		○					○	○					C+S			○	
	36							○	○					C			○	
	37							○						C			○	
	38		△					○						C			○	
	39		○					○									○	
鰻温泉 周辺	7	1						○						C+S				
		2						○						C+S			○	
	8			△	△			△	△									
	33		○	○				△	△				△					
	34		○				△	○	○	○			○				温泉噴気	
鰻池 西部	9				○													
	10			○					△	○	○	○					多孔質	
	11									○	△							
	12									○	○							
	13	1								○	○							
		2								○	○							
		3								○	○							
		4								○	○							
		5								○	○							
		6								○	△							
	14			○														
	15	1								△	○							
		2								○	○							
	16		○							○	○							
	17		○							○	○							
18		○							○	○								
19		○							○	○								
20	1	○							○	△								
	2	○							○									
	3	○							○									
	4	○							○				△					
	5	○							○	△			△					
21	1	○	△						○									
	2	○							○									
	3	○							○									
22		○							○								○	
23		○							○								○	
40		○							○								○	
41		○							○								○	
竹山	24	1						○										
		2						○										
	25	1		△	△			○										
		2		○	△			○										
26		○																
27	1				△	○	○	○										
	2						○											
	3						△											
伏目 海岸	28							○		○								
	29							○		○								
	30							○		○								
	31							○		○								
	32							○		○								

K:kaolin minerals, 10H:10Å halloysite, 7H:7Å halloysite, Mc:mica clay mineral, M/S: interstratified minerals of mica/smectite, Sm:smectite, Q:quartz, Cr:cristobalite, Tr:tridymite, Op-A:opal-A, Al:alunite, Z:zeolite (C:clinoptilolite, S:stilbite), Py:pyrite

M : S = 66 : 34
Pyは肉眼的

非変質
オパール沈着
温泉噴気
非変質
非変質

本地域には局地的な熱水変質帯が各所に見られ、時にそれに噴気を伴うことから過去に活発な地熱活動が存在し、一部は現在まで継続していると考えられる。

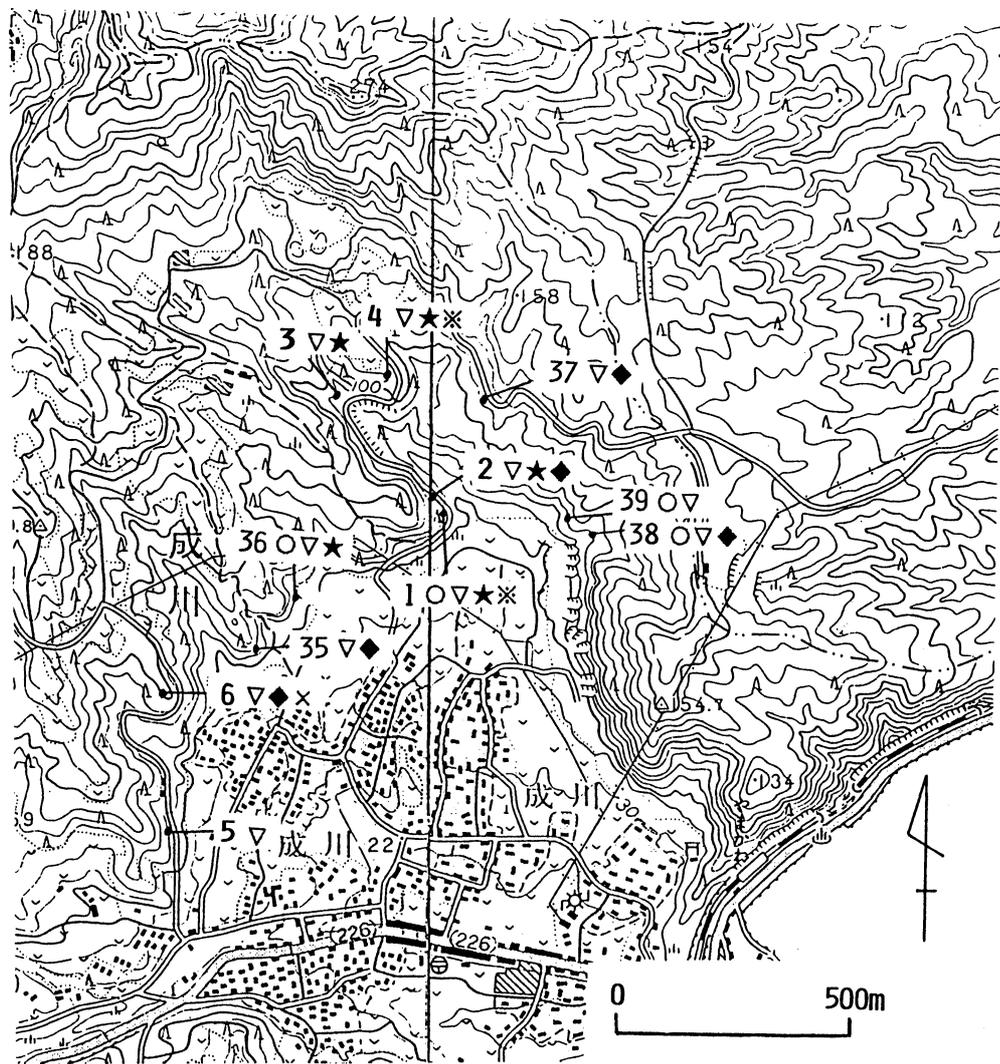
熱水変質帯は第7図に示すように成川北～西部・鰻温泉周辺・鰻池西部・竹山南・伏目海岸の5ヶ所に認められる。サンプリング地点毎にX線粉末回折によって鉱物を同定した結果を第1表に示す。

以下に変質帯毎のサンプリング地点および変質鉱物分布図を示した。

A. 変質帯および変質鉱物について

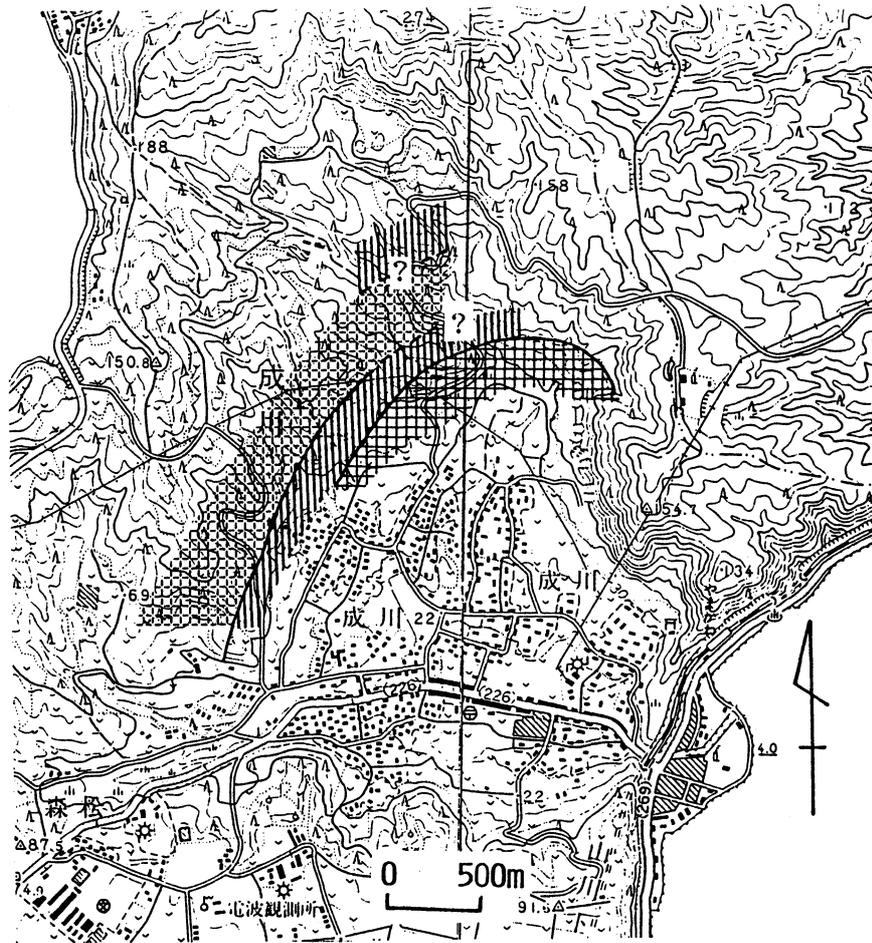
1) 成川北～西部地域

変質している地域からサンプリングし、それらについて含まれる変質鉱物をX線分析で同定した。認められた変質鉱物は、カオリナイト・スメクタイト・SiO₂ 鉱物 (クリストバライト・



○：カオリナイト，▽：スメクタイト，★：クリストバライト，※：トリディマイト，
◆：沸石類，×：黄鉄鉱

第8図 成川変質帯のサンプリング地点と変質鉱物



:カオリナイト+スメクタイト

 :スメクタイト

 :スメクタイト
 + 沸石

第9図 成川変質帯の変質分帯図

トリディマイト) 沸石類 (斜プロチル沸石・東沸石) および黄鉄鉱である。サンプリング地点と変質鉱物を第8図に示し、第9図に変質分布を示した。

中心から外に向かって、

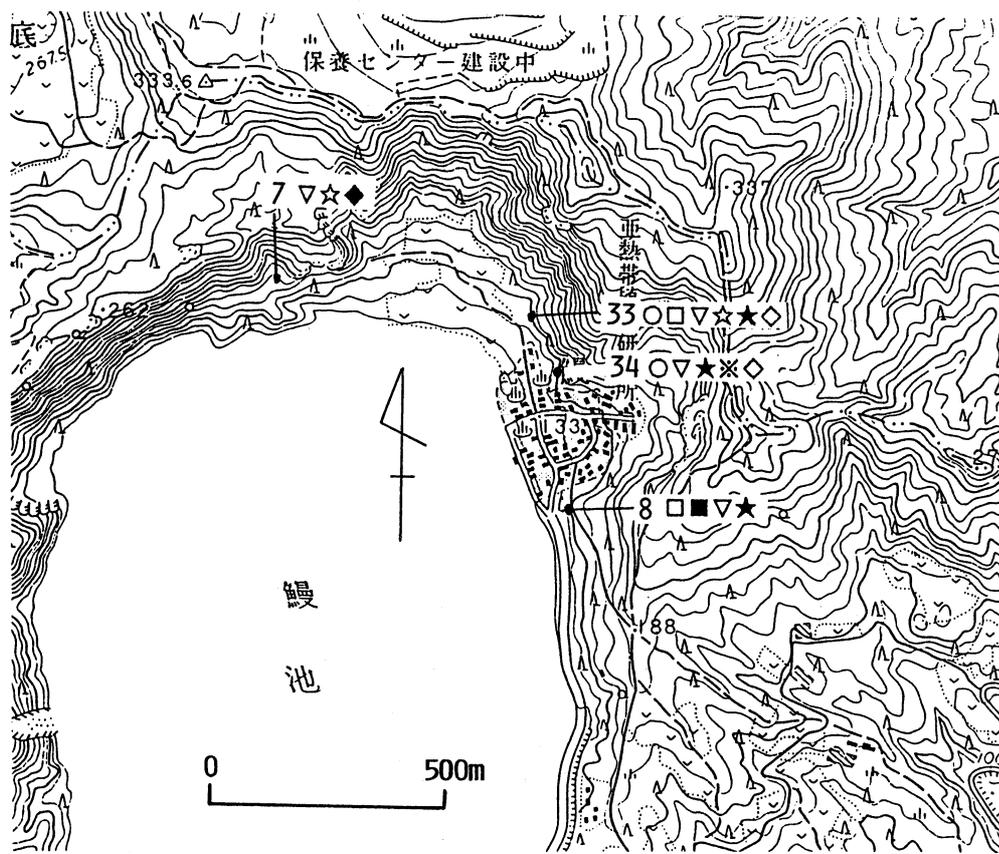
(カオリナイト+スメクタイト) → (スメクタイト) → (スメクタイト+沸石)

の帯状配列が不明瞭ながら第9図の様に認められる。

これら鉱物の生成条件をみると、カオリナイトは弱酸性、スメクタイトは中性ないしアルカリ性 (白水, 1988) であり、また沸石鉱物は低温でアルカリ性溶液との反応によって生成される (湊, 1980)。斜プロチル沸石→スメクタイトの変化は、続成作用等の変質の進行に伴って見られる現象である (湊, 1980)。

これらより、本地域の変質に関わった熱水の性質は中心から外へ向かって弱酸性～アルカリ性に移行していき、同時に温度の低下を伴うと考えられる。

変質した岩石は全般に軟質で、カオリナイトを含む部分は白色～薄茶色で、スメクタイトのみや、スメクタイトと沸石からなるものは茶色～黄土色である。また、変質帯の端の方では玉葱状



○: カオリナイト, □: 10Åハロイサイト, ■: 7Åハロイサイト, ▽: スメクタイト,
☆: 石英, ★: クリストバライト, ※: トリディマイト, ◇: 明礬石, ◆: 沸石類

第10図 鰻温泉周辺変質帯のサンプリング地点と変質鉱物

構造様の見かけを呈する。

2) 鰻温泉周辺地域

変質している地域からサンプリングし、それらについて含まれる本質鉱物を X 線分析で同定した。認められる変質鉱物はカオリナイト・スメクタイト・明礬石・SiO₂ 鉱物 (クリストバライト・トリディマイト) および沸石類 (斜プチロル沸石・東沸石) である。サンプリング地点と変質鉱物を第10図に示した。

現在噴気 (約100℃) がみられる地点 (34) を中心として、小規模な変質帯が見られる。明礬石が認められるので、硫酸酸性溶液による熱水変質を受けていることになるが、スメクタイトが明礬石に共生すること、カオリナイト・明礬石が噴気部付近の狭い範囲でしか認められないこと、本変質帯の端の方と考えられる鰻池北岸(7)ではアルカリ性の溶液との反応によってできる沸石類が認められるなど、本地域の変質に関与した熱水の酸性度はあまり高くないと考えられる。

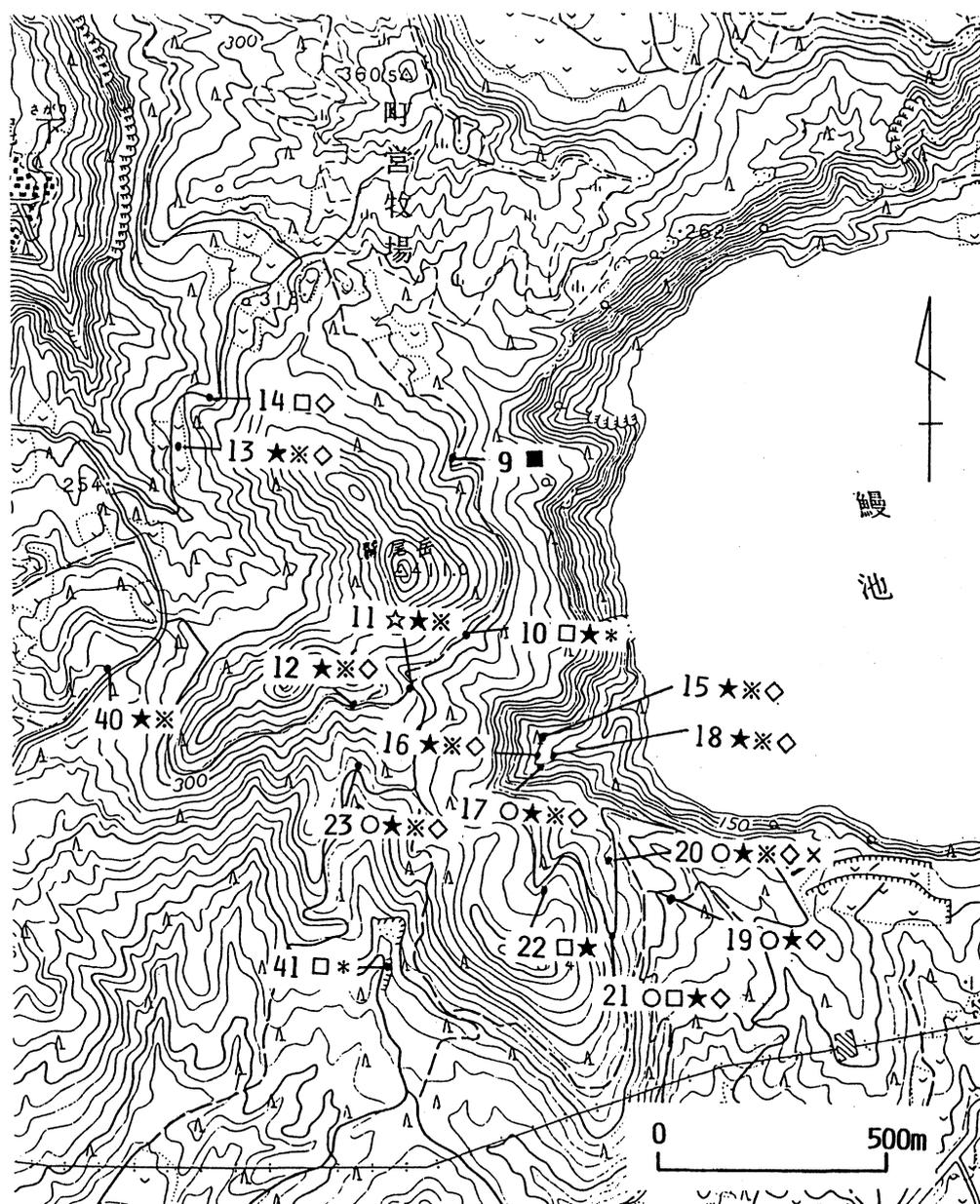
変質した岩石は軟質で噴気部のものは赤っぽい色をしているが、その他の部分では、だいたい黄土色である。

3) 鰻池西部地域

変質している地域からサンプリングし、それらについて含まれる変質鉱物を X 線分析で同定

した。認められる変質鉱物はカオリナイト・10Åハロイサイト・7Åハロイサイト、明礬石・ SiO_2 鉱物（クリストバライト・トリディマイト・Opal-A）および黄鉄鉱である。サンプリング地点と変質鉱物を第11図に示した。

明礬石がかなり広範に認められることより、かなり強い硫酸酸性の熱水活動があったことを示しているが、現在そのような兆候は地表には認められない。変質帯の中心と考えられるのは地点



○：カオリナイト，□：10Åハロイサイト，■：7Åハロイサイト，☆：石英，★：クリストバライト，※：トリディマイト，*：オパール A，◇：明礬石，×：黄鉄鉱

第11図 鰻池西部変質帯のサンプリング地点と変質鉱物

11で、溶脱が著しく進んで多孔質になっており変質鉱物として Opal-C ができている。その Opal-C の部分を中心にして外側に向かって、

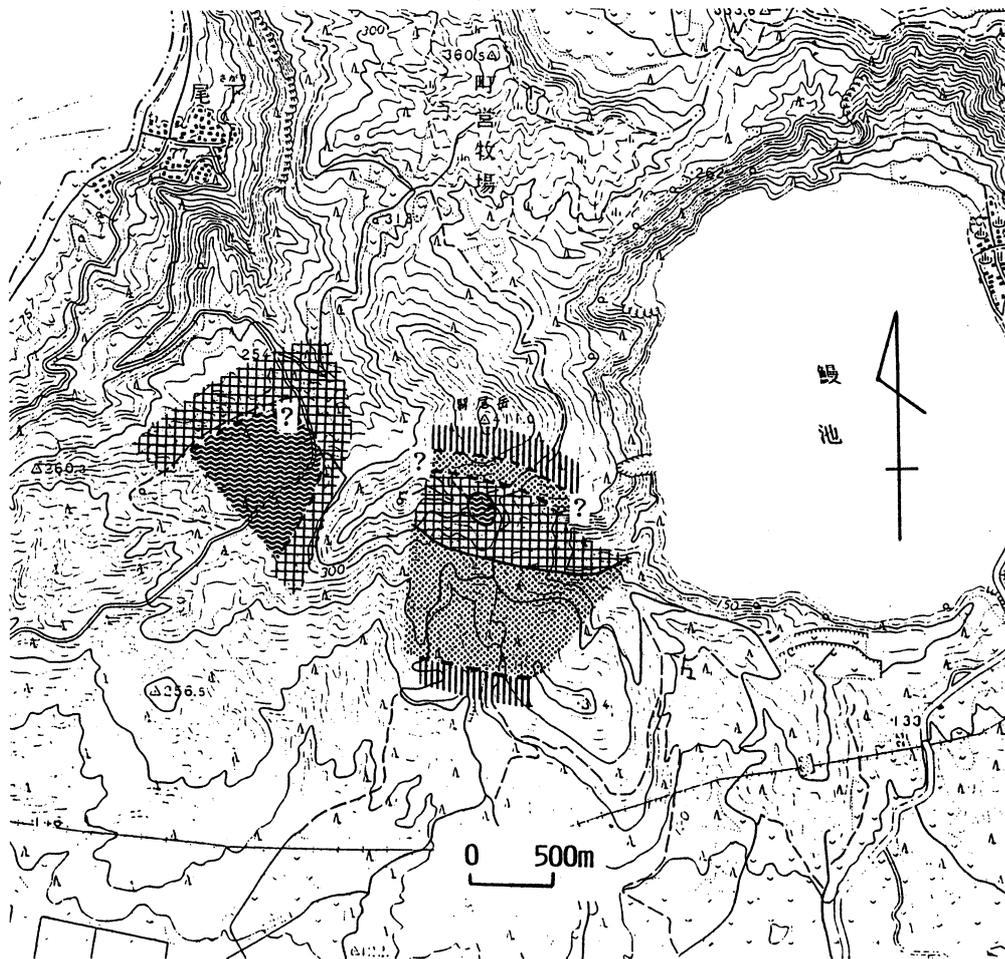
(Opal-C (珪化帯)) → (明礬石+Opal-CT (明礬石帯)) → (カオリナイト+Opal-CT+少量の明礬石 (カオリナイト帯)) → (ハロイサイト+Opal-A (ハロイサイト帯)) という累帯配列が第12図の様に認められる。

明礬石帯→カオリナイト帯という配列や、カオリナイト帯で黄鉄鉱 (あまり強酸性の条件下では生成されない) が認められることより、中心から外に向かって熱水の酸性度が低下していると考えられる。

また同時に、

Opal-C → Opal-CT → Opal-A

という配列も認められるが、続成変質の進行に伴って、



: 珪化帯
 : 明礬石帯
 : カオリナイト帯
 : ハロイサイト帯

第12図 鰻池西部変質帯の変質分帯図

Opal-A → Opal-CT → Opal-C または石英

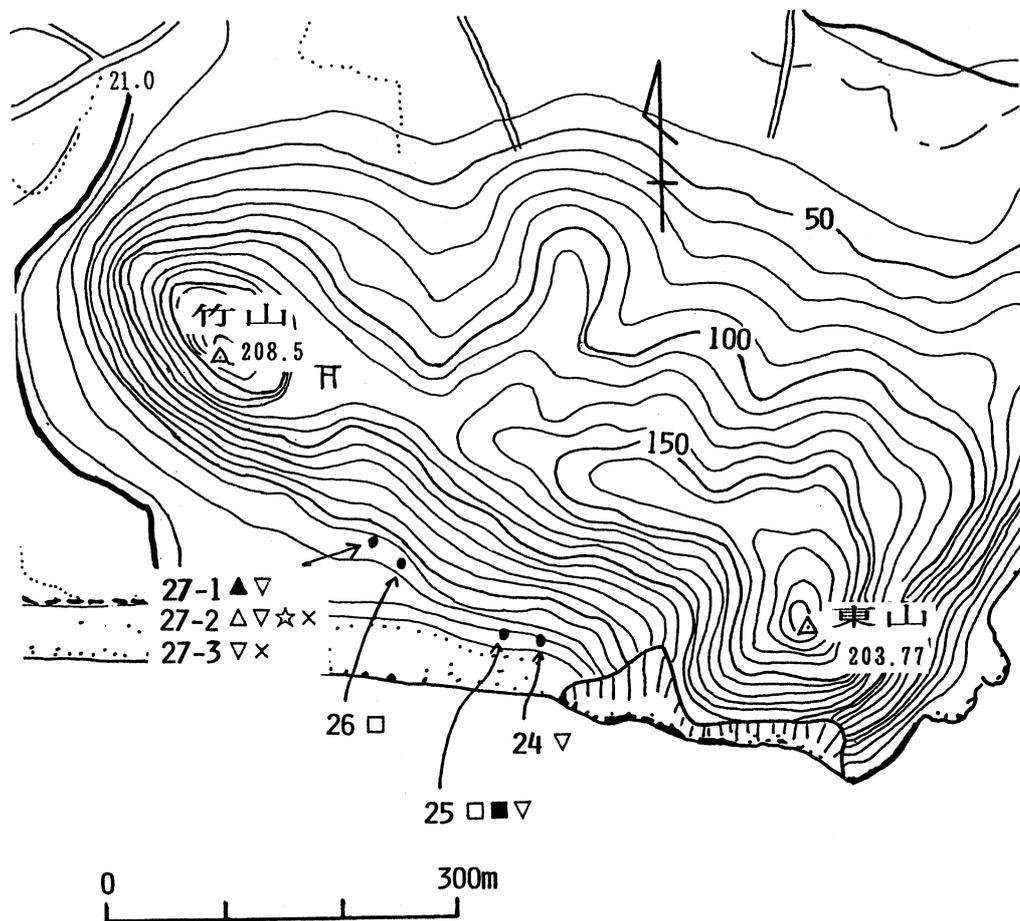
というシリカ鉱物の変化が一般的にみられる (水谷, 1976) ことより, この系列の変化には温度が大きく影響していると考えられる。

以上の結果より, 本変質帯でも成川の変質帯と同じく中心から外側へ向かって熱水の酸性度が低下し, 同時に温度も低下していく傾向が認められるが, 生成されている変質鉱物より, より酸性度の高い高温の熱水の活動があったと考えられる。

他にも地点40に珪化帯 (Opal-CT) が見られ, その北方に明礬石帯が認められることより, こゝも変質の中心で同様の累帯状配列をしていると考えられるが, 珪化帯でも変質鉱物が Opal-CT までしかなく, 明礬石に Opal-A を伴う帯 (後述の浦川 No. 5) が見られたりすることより, 恐らく地点11を中心とする変質帯よりも低温の熱水の活動によるものと推定される。

珪化帯の岩石は白色～青色で多孔質で脆く, 斑晶の痕跡らしき白点が認められる。

明礬石帯の岩石は白～薄桃色で硬くて緻密である。珪化帯の岩石と同じく, 斑晶の痕跡らしき白点が認められるが, 顕微鏡観察によると細粒の無色鉱物 (X線粉末回折の結果より, 明礬石



□: 10Åハロイサイト, ■: 7Åハロイサイト, △: 雲母粘土鉱物, ▲: 雲母/スメクタイト混合層鉱物, ▽: スメクタイト, ☆: 石英, ×: 黄鉄鉱

第13図 竹山南変質帯のサンプリング地点と変質鉱物

または SiO_2 と考えられる) に完全に置換されている。石基部は不鮮明で何からなるかよく分からない。

カオリナイト帯の岩石は白色～青灰色で軟質であるが、明礬石帯に近づくと硬くなる。

ハロイサイト帯の岩石は白色～青色で粉っぽくザラザラである。

4) 竹山南

変質している地域からサンプリングし、それらについて含まれる変質鉱物を X 線分析で同定した。認められる変質鉱物はスメクタイト・7 Åハロイサイト・雲母粘土鉱物および雲母/スメクタイト混合層鉱物である。サンプリング地点と変質鉱物を第13図に示した。

ジョイントに沿って2～3 m単位の極く小規模な変質帯が4ヶ所に認められる。生成している変質鉱物が雲母粘土鉱物・スメクタイトが主であるところをみると、熱水の性質は中性ないしアルカリ性であったと思われる。

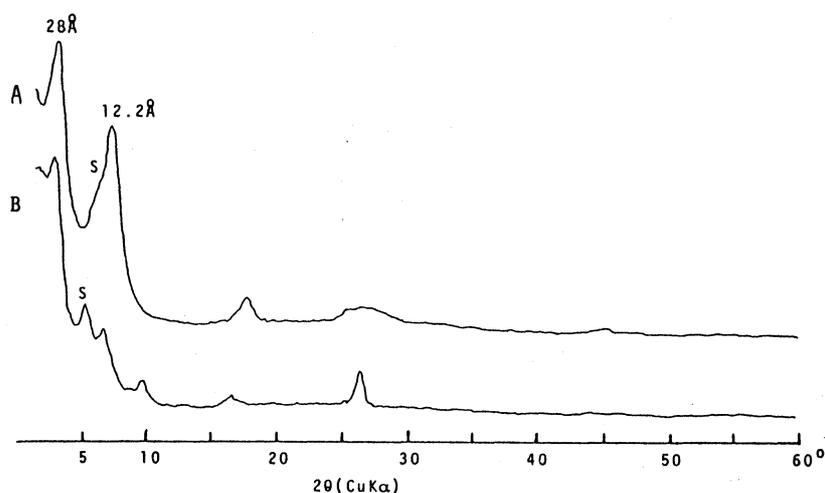
また本変質帯は小規模であるが、中心部では完全に変質されきっており、非変質鉱物が認められない。このことより、小規模ながら熱水の活動がかなり長期にわたった可能性も考えられる。

変質した岩石は地点27を例にとると、中心部ではほぼ均質なやや黄色味を帯びた白い軟質の粘土に変化している。

その外側には節理を円礫状または板状に残した(その部分もやや変質を受けて軟らかくなっている) やや硬い部分が見られる。

その更に外側は殆ど変質されていない様に見えるが、1 mm～2 mm大の黄鉄鉱が生成している。

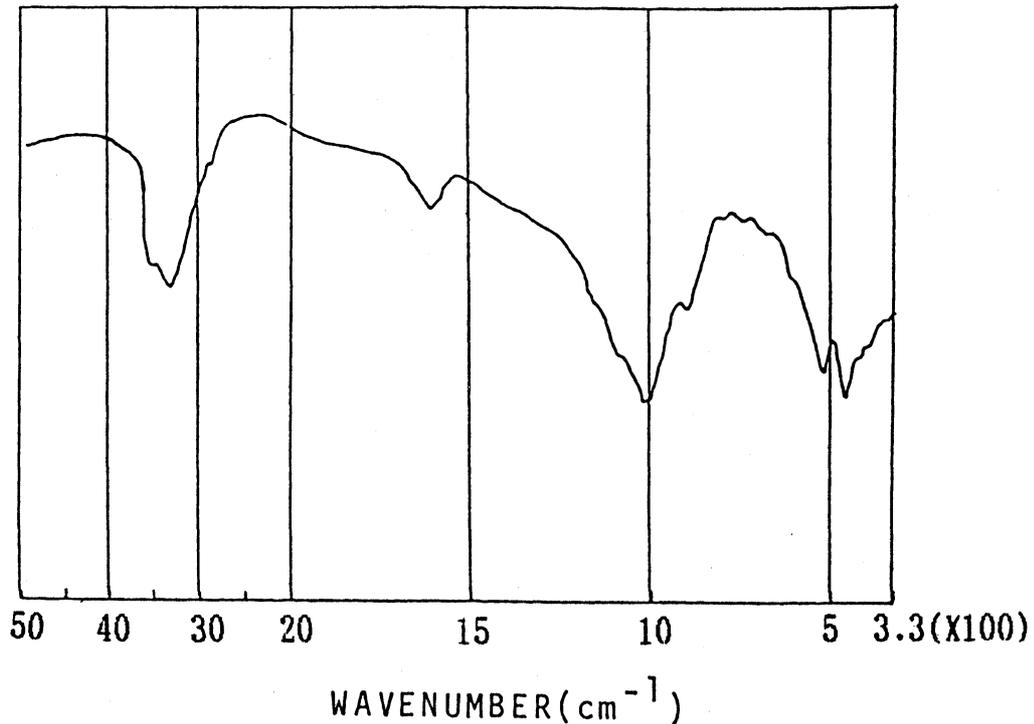
地点27-1で採取した試料には雲母/スメクタイト混合層鉱物が含まれていたなのでその X 線回折図を第14図に示した。



第14図 サンプル27-1の X 線回折図

A: 未処理のサンプル, B: エチレングリコール処理, S: スメクタイト

不定方位による (060) 反射は 1.49 \AA を示し、二八面体型であることがわかる。Tomita et al. (1988) の方法によって、Reichweite, P_M , P_S , P_{MM} , P_{MS} , P_{SM} を求めると、Reichweite=1, $P_M=0.66$, $P_S=0.34$, $P_{MM}=0.65$, $P_{SS}=0.33$, $P_{MS}=0.35$, $P_{SM}=0.67$ であった。ここで、 P_M は雲母層の存在確率、 P_S はスメクタイト層の存在確率、 P_{MM} は雲母層-雲母層とつながる確率である。またこの試料の赤外吸収スペクトルを第15図に示した。 $3,625 \text{ cm}^{-1}$ に O-H の振動による吸収帯び、



第15図 サンプル27-1の赤外線吸収スペクトル図

$3,350\text{cm}^{-1}$ と $1,625\text{cm}^{-1}$ に吸着水・層間水による吸収帯, $1,032\text{cm}^{-1}$ と $1,009\text{cm}^{-1}$, 468cm^{-1} の Si-O 振動による吸収帯, 910cm^{-1} にスメクタイト (モンモリロナイト) の Al-Al-OH の変角振動による吸収帯, 815cm^{-1} に雲母の Al-Mg-OH の変角振動による吸収帯, 745cm^{-1} と 525cm^{-1} に Si-O-Al の振動による吸収帯が見られる。

5) 伏目海岸

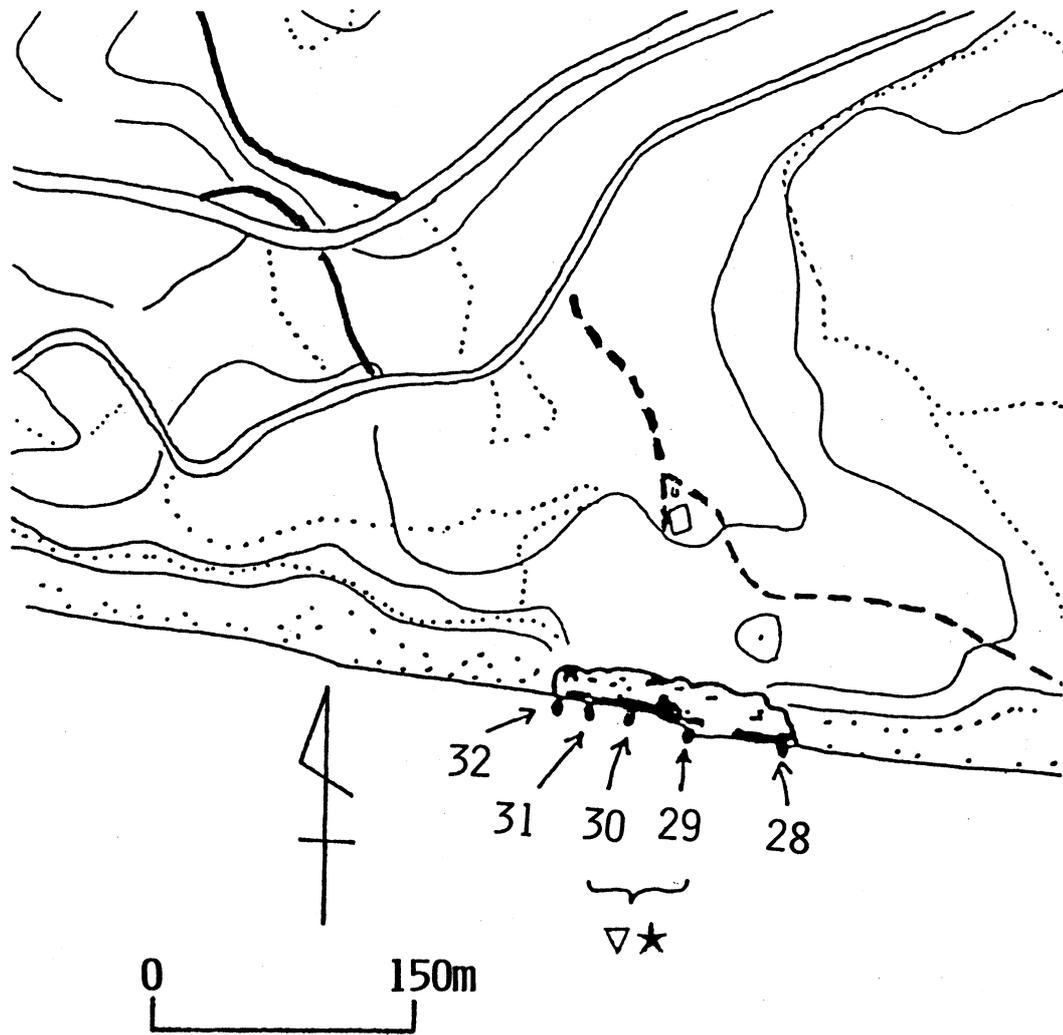
変質している地域からサンプリングし, それらについて含まれる変質鉱物を X 線分析で同定した。認められる変質鉱物はスメクタイトと SiO_2 鉱物 (クリストバライト) である。サンプリング地点と変質鉱物を第16図に示した。

前述の 1) ~ 4) の変質帯は阿多カルデラ中央火口丘群またはそれより古い溶岩が母岩であり, 現在噴気しているものは別として, その付近またはそれを覆う幸屋火砕流堆積物以降の新期の火山噴出物に影響を与えていない。しかし, ここで述べる変質帯は池田火砕流以降の堆積物より直接噴気が見られ, それに変質を及ぼしている。

変質作用はあまり強くなく, 現在噴気が見られる地点30, あるいは過去に噴気があったと思われる地点29 (断裂に沿って Opal が沈着している) の付近でのみ, スメクタイト・クリストバライトが認められるが, 少し離れると変質鉱物は認められない。変質を受けた部分はやや粘土質になっている。

B. 明礬石の $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$ について

調査地域内に産する明礬石をサンプリングし, $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$ と共生鉱物との関係を調べてみると, 大きく4つのグループに分けられた。カリウムのパーセントは河野・下田 (1989) の式を用いて計算した。

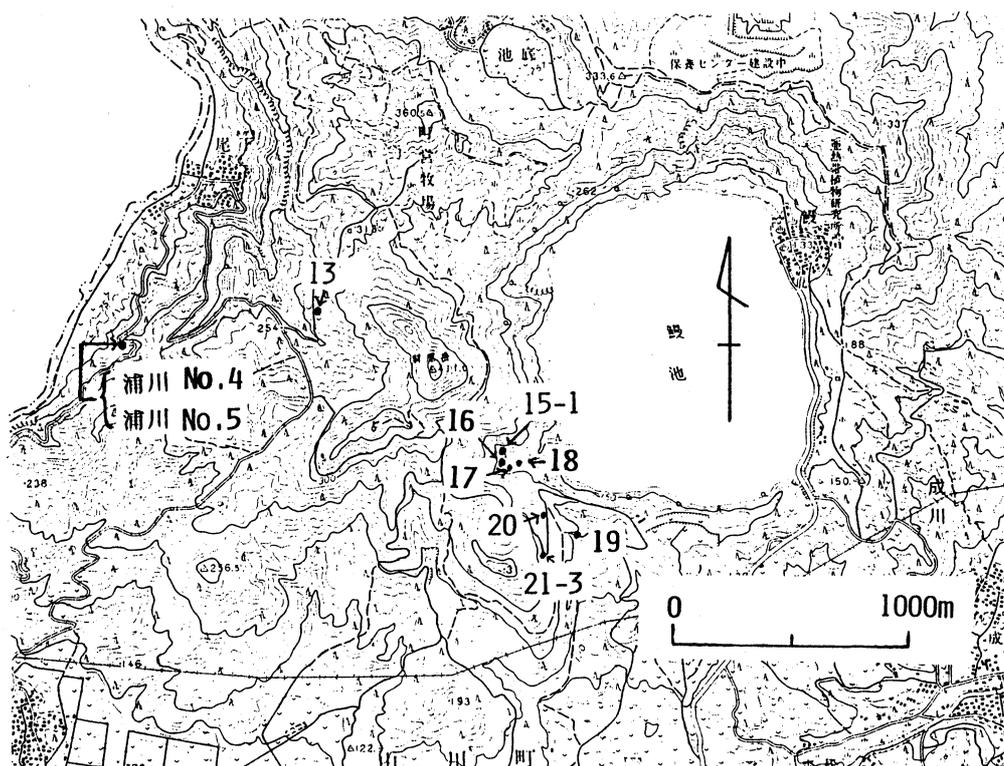


▽ : スメクタイト, ★ : クリスタバライト

第16図 伏目海岸変質帯のサンプリング地点と変質鉱物

- I : 共生鉱物として Opal-CT, 時にカオリナイト (明礬石 > カオリナイト) を含むグループ。カリウム%は100~91.5%であった。
- II : 共生鉱物としてカオリナイト (カオリナイト > 明礬石) ・ Opal-CT を含むグループでカリウム%は71.2~61.0%であった。
- III : 共生鉱物としてスメクタイト・カオリナイトを含むグループ。明礬石自体の含有量はあまり多くない。カリウム%は30.5~20.3%であった。
- IV : 共生鉱物として Opal-A・7 Åハロイサイトを含有グループ。カリウム%は0.0~10.2%であった。

サンプリング地点を第17図に, サンプル毎の X 線粉末回折による共生鉱物等の同定結果を第2表に示した。



第17図 明礬石サンプリング地点

第2表 明礬石のK/(K+Na)と共生鉱物の関係

Sample No	共生鉱物	K/(K+Na)	グループ
13-4	Opal-CT	100.0%	
15-1	Opal-CT	91.5%	
16	Opal-CT	100.0%	
17	Ka, Opal-CT	100.0%	I
18	Opal-CT	100.0%	
19	Ka, Opal-CT	100.0%	
20-1	Ka, Opal-CT	71.2%	
20-4	Ka, Opal-CT	61.0%	
21-2	Ka, 10Å-H, Opal-CT	71.2%	II
21-3	Ka, Opal-CT	71.2%	
33	Sm, Ka, 10A-H, Q, Opal-CT	30.5%	III
34	Sm, Ka, Opal-CT	20.3%	
浦川No4	7Å-H, Opal-A	0.0%	IV
浦川No5	Opal-A	10.2%	

Ka: Kaolinite, Sm:Smectite, Q: Quartz, 10Å-H: 10Å-Halloysite, 7Å-H: 7Å-Halloysite.

IのグループとIIのグループは同一の変質帯(鰻池西部)に属しており、それぞれが明礬石帯・カオリナイト帯に属している。明礬石帯→カオリナイト帯の累帯状配列は生成される鉱物の安定関係より、変質に関与した熱水の酸性度の低下を代表していると考えられる。即ち、明礬石の $K/(K+Na)$ が熱水のpHに支配されている可能性が考えられる。IIIのグループも、IIのグループよりも更に酸性度の低下した条件下で生成されたものとも考えられるが、スメクタイトの層間陽イオンとしてカリウムが取り込まれてしまった結果とも考えられる。

また、IのグループとIVのグループの共生鉱物は共にオパール・シリカだがIのグループはOpal-CTであり、IVのグループはOpal-Aである。これら2つのオパール・シリカは前述のように生成温度が異なると考えられているので、明礬石の $K/(K+Na)$ が熱水の温度にも支配されている可能性が考えられる。

原岩の化学組成の差異を反映している可能性(Tomita et al.,1982)も考えられるが、最も $K/(K+Na)$ がかけ離れているIのグループとIVのグループが近接して分布している。この2つのグループの原岩はほぼ同一組成であると考えられ、また変質に関与した熱水は同一の熱水系起源と考えられ、組成に大きな差は無いと考えられることより、温度の影響が最も大きいと考えられる。

IIIのグループの場合、他と属している変質帯も異なり(鰻温泉周辺)、分布もややかけ離れているので原岩の組成がやや異なっている可能性も考えられるが、生成されている明礬石の組成の差ほど大きいとは考えにくい。また、Opal-CTが生成されていることより熱水の温度も他とそう大きな差は無いと考えられるので、ここでは熱水の化学的性質の差異(特にpH)が最も大きな影響として考えられる。但しこの場合には、前述の通りカリウムがスメクタイトの層間陽イオンとして取り込まれてしまうことは、無視できない大きな要因である。

以上、明礬石の化学組成と熱水の性質の関係について若干の考察を加えたが、これまでに取り扱った研究が無いため、未だに議論の余地がある。

5. 考 察

本地域に露出している最下位の地層は、後期中新世の南薩層群上部層である。しかし、周辺地域の地質や火山噴出物に含まれる異質岩片から判断すると、四万十累層群やそれに貫入した深成岩類が基盤をなしていると推定される。

また、指宿地域一帯は、Matumoto (1943)で述べられている阿多カルデラの中、いわゆる鬼門平断層崖よりも南側に位置する。“阿多カルデラ”が、荒牧・宇井(1966)で述べられている様に阿多火砕流の噴出源でないとしても、この地域内は何かしらの陥没地形であることは地形的にも、地質的にも鬼門平断層崖より北の山地をなしている南薩層群が、伏目地区のボーリングの結果、地下1,000m以深に認められる(吉村他, 1985等)ことから明らかである。この陥没地域の形成時期であるが、伏目地区のボーリングで特に厚く認められる(1,000m以上)山川層が、北に向かって層厚を減じ鬼門平断層崖以北では認められない(新エネルギー総合開発機構, 1986)ことから、恐らく南薩層群堆積後、山川層堆積前(鮮新世前~中期と推定される)には現在ほどでなくとも、既にある程度の断層崖を形成していたものと思われる。小林・成尾(1983)でも、鬼門平断層崖は阿多火砕流噴出以前に形成されており、「阿多カルデラ」はこの東側が更に陥没した結果形成されたものと述べている。

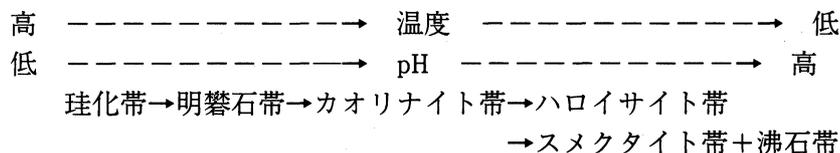
山川層は従来、山川火砕流堆積物として本地域に露出する南薩層群上部層と一括して記載されていたが今回、野外調査・ボーリング・データとの対照および鬼門平断層崖に露出する南薩層群

との比較より、中新世後期の南薩層群上部層および鮮新世～更新世前期の山川層の2つの層よりなるというように改めた。

本地域に露出する南薩層群上部層は凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩を主とし、最上部には成層部が見られる。また黒曜岩が多数含まれ、中には塑性変形した様な形の物が含まれるため、White et al. (1987) で述べられている様な、マグマ貫入によって不安定になった既存の堆積物（恐らく火山性）起源のスランプ性の堆積物と考えられる。石油資源開発株式会社による伏目地区のボーリングで南薩層群に貫入するデイサイト質の溶岩が確認されているが、これが本層中に多数含まれる黒曜岩と同一の岩石かどうかは不明である。また、前出の White et al. (1987) によると、最上部にみられる成層部は flow の上部に生じた乱流による堆積物であるとされている。山川層は前述のボーリングによって、伏目溶結凝灰岩部層・主部層・竹山凝灰岩部層の3部層が識別されている。地表の露出は後2者の内何れかに属すると考えられるが、これら2つの部層はボーリング・データの記載を見た限りでは岩相上もよく似ており、両者共に化石を含む灰色の泥岩を挟在していたりと共通な点が多いため、どちらとは断定しにくい。

本地域の熱水変質作用は主として阿多カルデラ中央火口丘群の溶岩類に及んでいる。調査地域内では成川・鰻温泉・鰻池西部の各変質帯がそれに該当するが、鰻温泉等で現在も噴気が続いているのを除くと、指宿市で見られる変質帯も含めて溶岩類はかなり激しく変質しているがそれより上位の幸屋火砕流堆積物以降の新しい堆積物には殆ど全く変質作用が及んでいない。従って本地域の北部に見られる熱水変質作用は阿多カルデラ中央火口丘群の活動に起因する熱水活動によっており、幸屋火砕流が堆積する約6,400年前までに大半はその活動を終えたが、一部は現在まで継続していると考えられる。

また成川変質帯・鰻池西部変質帯では、熱水変質をもたらした溶液の性質（温度・pH）の変化による変質鉱物の累帯分布が以下のように認められる。

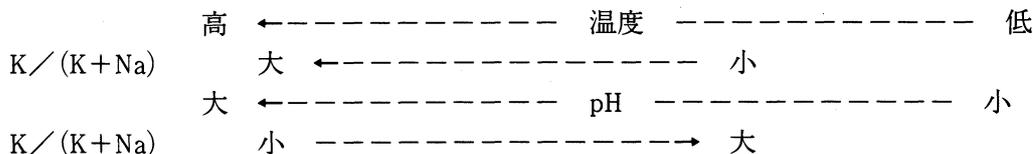


但し、南部の海岸に見られる熱水変質はやや様相が異なっている。変質作用が及んでいるのが阿多火砕流より古いと考えられる東山溶岩、噴出時代が約4,500～5,500年前と推定される池田カルデラの噴出物である。南部台地の南部は活発な地熱地帯であり、地熱開発を目的としてボーリングが行なわれているが、その解析結果によると本地域の熱水活動は南薩層群堆積時から存在しており、地下の深部から地表にかけて中性熱水の作用による変質鉱物の垂直的な累帯分布（圧力・温度の変化が原因）が認められるとのことである。

また、地点27-1で認められた雲母/スメクタイト混合層鉱物は、出発物質として雲母・スメクタイトのどちらも考えることができるが近隣の変質帯で生じている変質鉱物の状況からすると、スメクタイトを出発物質として雲母鉱物へと変化していく過程の中間物質とみなすことができると考えられる。変化の過程で層間水の脱水、層間陽イオンの付加等の化学組成上の変化が起こったと考えられる。その際の最も重要な要素は温度であるとされている (Inoue et al. 1978) が、それが続成変質によるものか重複熱水変質によるものかは変質帯の分布が狭く変化の状況等が詳しく追跡できず、またこの混合層鉱物がスメクタイトと共生しており純粋なものが得られなかったために、詳しい研究が行えなかったため不明である。

明礬石の $K/(K+Na)$ と、熱水の温度・pH 等の性質には以下のような関係が認められそうで

あるが、過去のデータが無いために、断言はできない。



6. 文 献

- 荒牧重雄・宇井忠英 (1966) 阿多火砕流と阿多カルデラ. 地質学雑誌 第72巻 第7号 p337-349
- 淵ノ上桂 (1970) 竹山の火山地形について. 鹿兒島県地学会誌 No. 34, 33-36.
- Inoue, A., Minato, H. and Utada, M. (1978) Mineralogical properties and occurrence of illite/montmorillonite mixed layer minerals formed from Miocene volcanic glass in Waga-Omoto district. *Clay Science* 5, 123-136
- 神谷雅晴・中川進・西村進・角清愛 (1978) 鹿兒島県指宿市・揖宿郡地熱地帯の熱水変質帯. 地質調査所報告 No. 259, 537-578.
- 河野元治・下田右 (1988) 福島県天栄山付近の安山岩中の雲母/スメクタイト混合層鉱物. 粘土科学 第28号 第3巻, 126-133
- _____ (1989) 明ばん石-ナトリウム明ばん石固溶体の合成と赤城産明ばん石の生に関する考察. 投稿準備中
- 金属鉱物探鉱促進事業団 (1969) 昭和43年度金鉱山の基礎的地質鉱床調査報告書. 南薩地域, 1-18.
- 小林哲夫 (1982) 鹿兒島地溝帯と火山性堆積物. 総合研究 九州の基盤と陥没構造 研究報告 No. 1, 73-75.
- _____・成尾英仁 (1983) 池田カルデラの火山活動と地盤変動. 総合研究 九州の基盤と陥没構造 研究報告 No. 2, 84-87.
- 町田洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ-アカホヤ火山灰-. 第四紀研究, 17(3), 143-163.
- 松田時彦・中村一明 (1970) 水底に堆積した火山性堆積物の特徴と分類. 鉱山地質20(99), 29-42.
- 松井健 (1966) 大隅半島笠野原台地のアカホヤ層の噴出年代. 地球科学 No. 87, 37-38.
- Matumoto, T. (1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyusyu. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, Vol. 19, Special number, 57p.p.
- 湊秀雄 (1980) 堆積岩中の沸石類について (成因の鉱物化学). 岩石鉱物鉱床学会誌, 2号, 105-113.
- 水谷伸治郎 (1976) ケイ酸鉱物とケイ質堆積物. 科学 Vol. 46, No. 7, 420-428.
- Nagaoka, S. (1988) The late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay, southeastern Kyushu, Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*. No. 23, 49-122.
- 中村真人 (1967) 開聞岳火山の噴出物と火山活動史. 火山, 第2集, 第12巻, 第3号, 119-131.
- 成尾英仁 (1983) 指宿地方における遺跡の火山噴出物層序. その1, 北部台地. 鹿兒島考古, 第17号, 106-137.
- _____・小林哲夫 (1980) 池田カルデラの火山活動史. 火山, 第2集, 第25巻, 306.
- _____ (1983) 指宿地方の地質. 同上巡検案内書 p.85-93.
- 太田良平 (1966) 鹿兒島県指宿地方地質調査報告. 地質調査所月報, 第17巻, 第3号, 129-139.
- 新エネルギー総合開発機構 (1986) 地熱開発促進調査報告書 No. 11, 池田湖周辺地域. 685p.p.
- 白水晴雄 (1988) 粘土鉱物学. 朝倉書店 185pp.
- Tomita, K., Ōba, N., Yamamoto, M., M. Istidjab, M. Badruddin, Sadjiman, A. Djuwandi, M. Parlin, A. Sudradjat and T. Suhanda (1982) The occurrence of natroalunite at Anak Krakatau, Indonesia. *Rep. Fac. Sci. Kagoshima Univ. (Earth Sci. & Biol.)* No. 15, 77-87.
- _____, Takahashi, H. and Watanabe, T. (1988) Quantification curves for mica/smectite interstratifications by X-ray powder diffraction. *Clays and Clay Minerals* Vol. 36 No. 3, 258-262.
- 通商産業省 資源エネルギー庁 (1985) 昭和59年度広域調査報告書-南薩地域-. 180pp.
- 宇井忠英 (1967) 鹿兒島県指宿地方の地質. 地質学雑誌, 第73巻, 第10号, 477-490.

- Ui, T. (1971) Genesis of magma and structure of magma chamber of several pyroclastic flows in Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo Sec II* Vol. 18, No. 1, 53-127.
- 宇井忠英 (1973) 幸屋火砕流—極めて薄く拡がり堆積した火砕流の発見. 火山, 第2集, 第18巻, 第3号, 153-168.
- _____・福山博之 (1972) 幸屋火砕流の14C年代と南九州諸火山の活動期間. 地質学雑誌, 第78巻, 第11号, 631-632.
- 吉村雄三郎・柳本裕・中込理 (1985) 鹿児島県伏見地区の地熱構造について. 地熱, Vol. 22, No. 3, 167-194.
- White, J.D.L. and Busby-Spera, C.J. (1987) Deep marine arc apron deposits and syndepositional magmatism in the Alisitos group at Punta Cono, Baja California, Mexico. *Sedimentology* 34, 911-927.