

# 薩摩硫黄島の地熱変質

金原啓司・茂野博・大久保太治（地殻熱部）

## 1. ま え が き

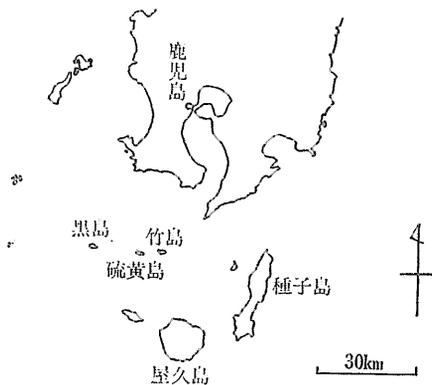
14年ほど前の鹿児島県薩摩硫黄島の様子が本ニュースで紹介されている(岡野 1963)。筆者らは昭和50年8月地質調査所が実施した全国地熱基礎調査「南西諸島」地域の変質帯調査でこの島を訪れる機会を得た。そこで今回の調査のあらましを中心にして最近の硫黄島の様子についても紹介してみたい。

## 2. 薩摩硫黄島

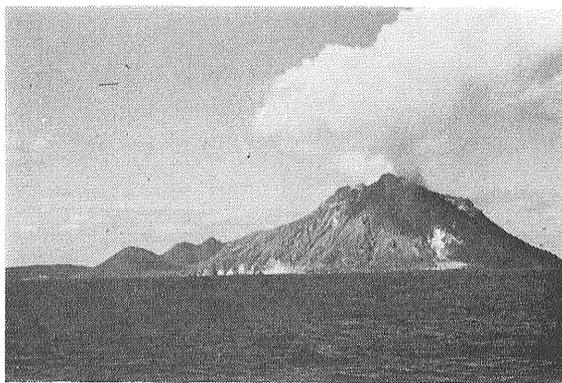
薩摩硫黄島は竹島 黒島とともに鹿児島郡三島村に属する周囲約18kmの小さな島である(第1 2図)。鹿児島港より3～4日おきに出航する村営の定期船“みしま”(438.52t)で南々西へ約6時間 130kmの位置にある(第3図)。

もっとも飛行機を利用すれば 鹿児島空港よりわずか1時間足らずで島の飛行場に到着することができる(第4図)。島の人口は207名(男91人 女116人 昭和51年7月現在)であり 民家は唯一の港である長浜港の近くに散在している(第5 6図)。島にはひなびた旅館(民宿)が一軒あるほか 某楽器メーカーが経営する豪華なホテルが硫黄岳の山麓にある(第7図)。飛行機は 通常このホテルに来るお客のために運航されている。旅館の井戸水は塩分が強く 慣れない筆者らにとっては 苦勞であった。

島をとりまく海岸線は切り立った崖をなすことが多く 容易には人を近づかせない。また道路の発達も悪く しかも島への交通の便の悪さ [すでに述べたように 3



第1図 薩摩硫黄島の位置図



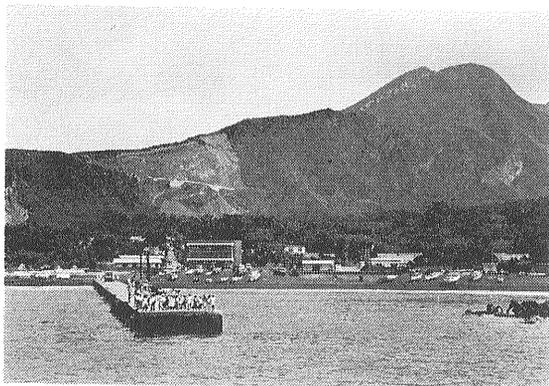
第2図 笠雲に覆われた硫黄岳を東方海上から望む



第3図 硫黄島長浜港に接岸する“みしま”(438.52t)



第4図 硫黄島の飛行場に着陸した旅客機(日本内外航空の“アイルンダー”8人乗り)



第5図 定期船“みしま”からみた長浜港の全景 右後方の高い山は矢筈岳(348.2m)

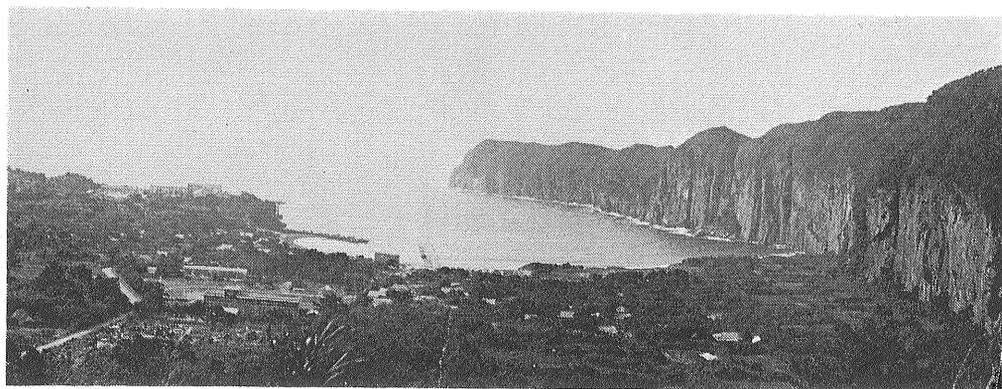
～4日おきに船便があるが 天候次第で欠航するので 不順な日が続けば宿の食糧(特に生鮮食品)事情は急激に悪化する]も手伝って 最近の離島ブームとは言え訪れる観光客もまだまだ少ないようである。 それにしてもたえず噴気をあげる硫黄岳の雄々しさと 山麓海岸より湧出して海水中に拡散する赤色～乳白色の温泉沈殿物のとりなす美事な色彩は 訪れる人々の心を魅了する

のに十分な島であると言えよう。

### 3. 地質のあらまし

硫黄島は 竹島とともに鬼界カルデラ(MATUMOTO 1943)の北壁をなす。 鬼界カルデラ(東西 22km 南北 13km)の大半は海中に没しているが 島内の稲村岳(第8図) 硫黄岳および 1934年に新しくできた新硫黄島は いずれもカルデラ内の中央火口丘である。 硫黄島の地質および岩石については T. MATUMOTO (1943)をはじめとして 松本幡郎(1951) H. MATSUMOTO (1954 1960)の研究があり 最近では 小野・曾屋(1975)の報告がある。 小野・曾屋(1976MS)によって作られた地質図を第9図に示すが 硫黄島は矢筈岳火山(第5図) 長浜溶岩(第6図) 城が原火砕流(第10図) 大浦火砕流 稲村岳火山(第8図) 硫黄岳火山(第7図) 中央火口丘降下火山灰よりなっている。

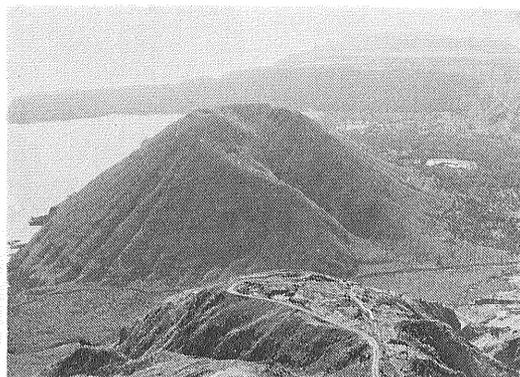
硫黄島は周囲を海にかこまれた比較的小さな島で 現在も活発に高温の噴気活動を示すこと 山麓海岸には様々な泉質の温泉が湧出していることなどから 地球化学者によって現在盛んに研究がなされている(鎌田 1964 1972 吉田ほか 1966 1969 1972 松葉谷ほか 1975)。



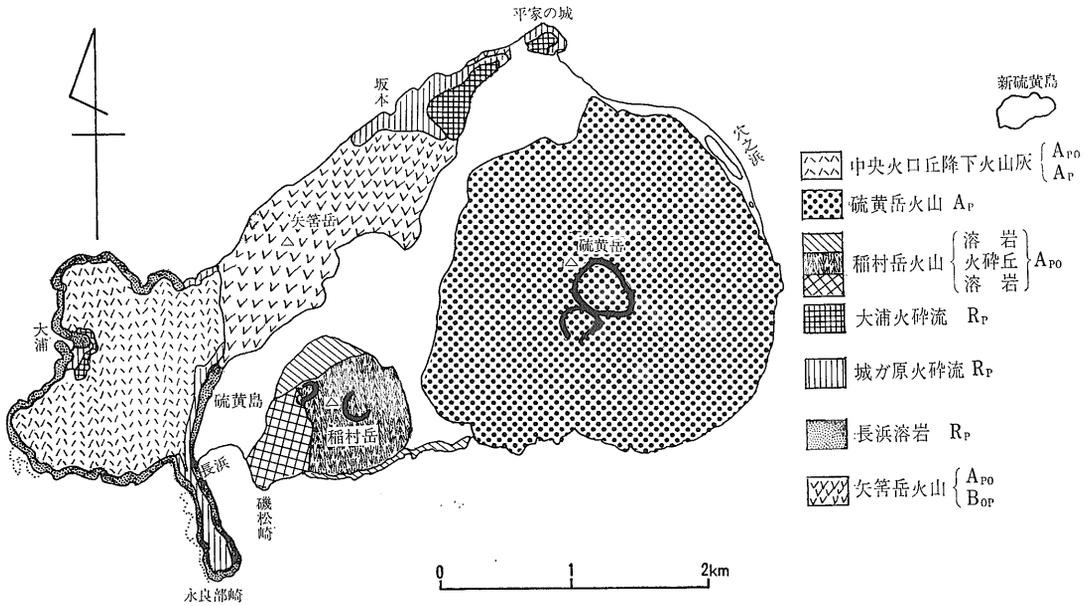
第6図 硫黄島部落の全景 左手前に見える鉄筋コンクリートの建物は 小・中学校 右側の切り立つ崖は 流紋岩質の長浜溶岩からなるカルデラ壁である。



第7図 硫黄岳火山の雄姿 右端に見える建物がホテル“足摺”で その後に見える山すそは 稲村岳である。



第8図 後方のカルデラ縁と前方の稲村岳火山(248.0m) 硫黄岳火口への道路から写す。



第9図 薩摩硫黄島の地質図 (小野・曾屋 1975MS)

また最近では工業技術院のサンシャイン計画の一環として「火山発電方式に関するフィジビリティスタディ」も行なわれている。

#### 4. 地熱および温泉

硫黄島の温泉については鎌田(1964 1672)による詳細な報告があり その位置は後述する第12図に示してある。鎌田によれば 硫黄島の温泉には三種類のタイプがある。それは

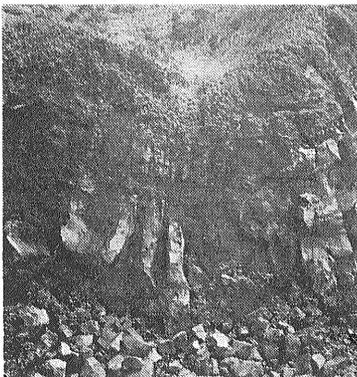
- 1) 硫黄岳周辺の温泉(北平 北平下海岸 東の各温泉で 泉質は強酸性)
- 2) 稲村岳周辺の温泉(赤湯 長浜の各温泉で炭酸鉄を含む弱酸性泉)
- 3) カルデラ壁の外側の温泉(坂本 ウタン浜の各温泉で 中性弱食塩泉)

である。

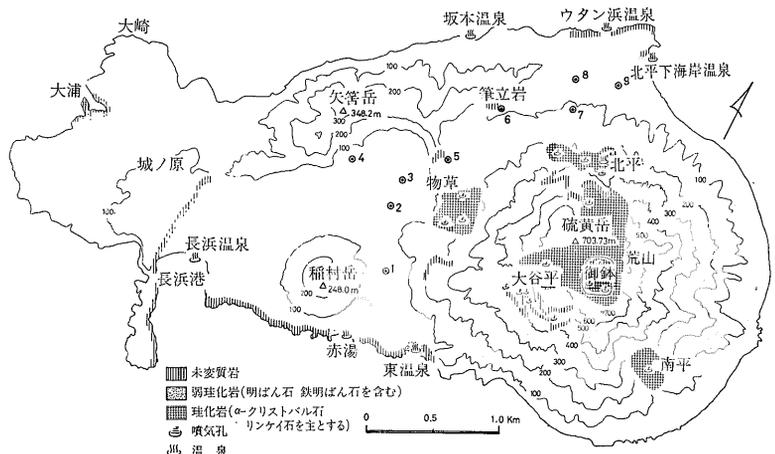
湧出した温泉は海水と反応して 1)では 乳白色沈殿物(含水珪酸アルミニウム) 2)では 赤色鉄質沈殿物をつくり(3)は 沈殿を生じない 海中に拡散している様子がよくわかる。

1) 硫黄岳周辺の温泉(北平 北平下海岸 東の各温泉で 泉

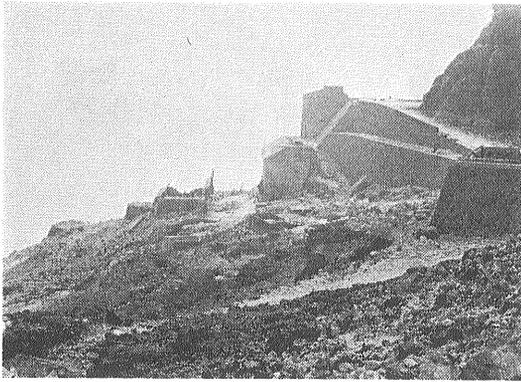
硫黄島における地表の地熱活動は ほぼ硫黄岳火山の



第10図 城ノ原火砕流 (硫黄島西端の大浦海岸で) 地形面に沿って火砕流が溢流したと考えられる様相を示している。



第11図 薩摩硫黄島の地熱変質帯分布図 (遠望観察の結果も含む) 2重丸は地下水観測井の位置を示す。



第12図 硫黄岳火口入口にある鉱石運搬施設（現在はトラック輸送のため使用されていない）

分布する地域に限られている。海面上からそそり立つ硫黄岳（703.7m）はその急峻な地形のため 全山を調査することはとても不可能である。今回踏査したのは 火口と火口内の硫黄・珪石鉱石採掘のために開かれた道路沿い および西側山麓の物草のみであった。残りは遠望観察にたよらざるを得なかった。そのようにして作られた変質帯分布図が第11図である。なお以前は火口内で採掘されていた硫黄鉱石は運搬施設でふもとの長浜港へ降ろされ ここから大分県津久見市の製錬所へ運ばれていた（岡野 1963）（第12 13図）が 現在採掘された珪石はトラック輸送で ふもとにおろされている。

## 5. 地表岩石の変質

硫黄島の地表に認められる地熱変質帯には 噴気活動によるものと 温泉活動によるものがある。

### 5-1. 噴気活動による変質帯

このタイプの変質帯として 硫黄岳の火口変質帯および西側山麓の物草変質帯について記述する。

#### A. 火口変質帯

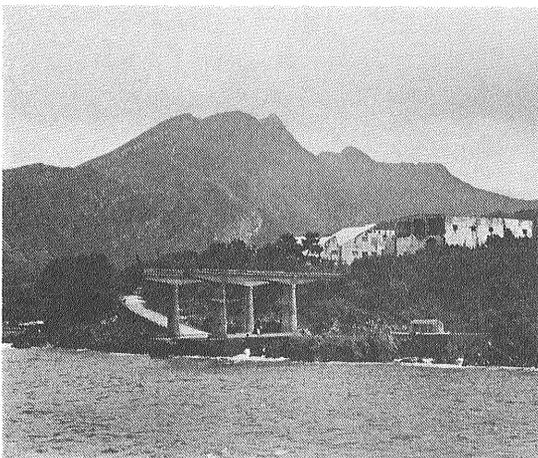
硫黄岳頂上東側直下に 直径約 450m の御鉢<sup>おぼち</sup>と呼ばれる円形の火口があり 高温の噴気地帯となっている（第14図）。激しい硫黄ガスのために 火口内での長時間の調査は困難をきわめる。噴気孔の温度はいずれも100°C近いが 第15図に示すように 火口壁には釜の口のように 750°C近い高温地帯も存在する（鎌田 1964 吉田ほか 1966）。岩石は極端な白色珪化変質を受けているほか 昇華鉱物として輝水鉛鉱 モリブデンブルー 硼酸石 硫黄 石黄 磁鉄鉱 鏡鉄鉱 フッ素金雲母などが報告されている（鎌田 1964）。

短時間の調査ではあつが 今回採取した試料のX線分析結果を第15図に示す。それによれば 白色珪化岩のほとんどに $\alpha$ -クリストバル石およびリンケイ石などのシリカ鉱物と昇華硫黄が生じているが 石英は極端に少ない。 $\alpha$ -クリストバル石は単独に生ずることがあるが リンケイ石は常に $\alpha$ -クリストバル石を伴って生じている。

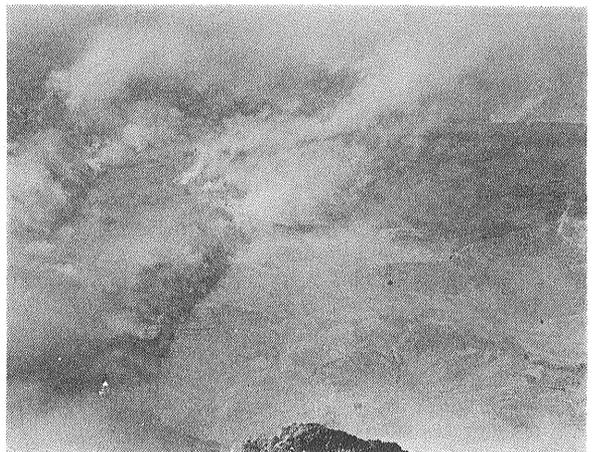
また明ばん石および石膏が検出されたほか 転石ではあつが モリブデンブルーの付着した岩石も認められた。

#### B. 物草変質帯

硫黄岳の西斜面山麓の物草付近に 活発な噴気活動を示す地帯がある（第16図）。噴気孔は100°C近い温度を示し 周囲の岩石は白色珪化変質を受けている。X線分析によれば 変質岩のほとんどに $\alpha$ -クリストバル石



第13図 長浜港にある硫黄・珪石鉱石を船積みするための施設



第14図 火口「御鉢」の底 現在もいたるところで活発な噴気活動をしている様子がよくわかる。

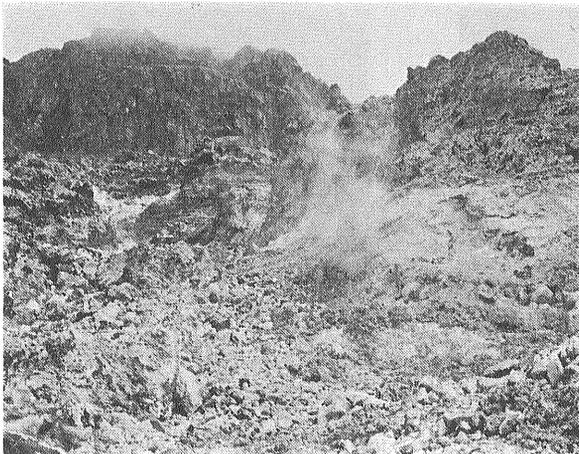
第1表 薩摩硫黄島産コランダム粉末X線回折データ

h	k	l	(1)		(2)	
			d (Å)	I	d (Å)	I
0	1	2	3.490	26	3.479	75
1	0	4	2.554	90	2.552	90
1	1	0	2.384	13	2.379	40
0	0	6	2.169	3	2.165	< 1
1	1	3	2.088	39	2.085	100
2	0	2	—	—	1.964	2
0	2	4	1.742	17	1.740	45
1	1	6	1.601	100	1.601	80
2	1	1	1.548	2	1.546	4
1	2	2	1.511	12	1.514	6
0	1	8			1.510	8
1	2	4	1.407	13	1.404	30
0	3	0	1.376	13	1.374	50
1	2	5	—	—	1.337	2
2	0	8	1.277	2	1.276	4
1	0	10	1.240	20	1.239	16
1	1	9	1.237	13	1.2343	8
2	2	0	1.192	3	1.1898	8
3	0	6	—	—	1.1600	< 1
2	2	3	1.149	1	1.1470	6
3	1	1	—	—	1.1382	2
3	1	2	1.126	2	1.1255	6
1	2	8	—	—	1.1246	4
0	2	10	1.100	7	1.0988	8
0	0	12	1.084	3	1.0831	4
1	3	4	1.079	3	1.0781	8
2	2	6	1.044	5	1.0426	14
4	0	2	1.018	1	1.0175	2
1	2	10	0.999	10	0.9976	12

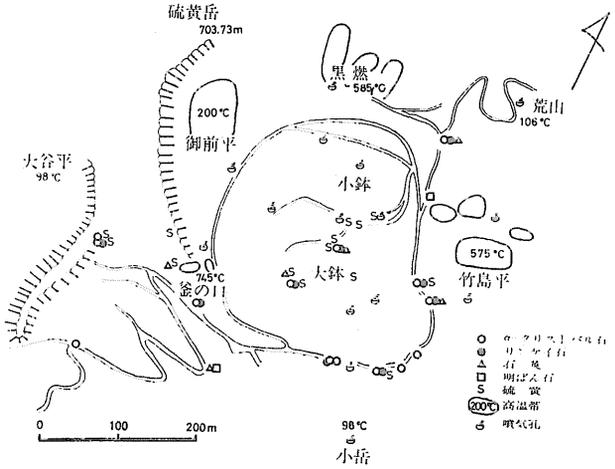
(1) 薩摩硫黄島産コランダム  
 (2) コランダム (ASTM-card no. 10-173)

が生じているが リンケイ石は極端に少なく また石英は全く検出されなかった(第17図)。このことは上述の火口変質帯とは対照的である。

ここには記さなかったが硫黄岳南東斜面南平にも噴気



第16図 活発な噴気をあげる物草の変質帯 このあたりは一本の草木も見られない(左端に小さく見えるのが著者の一人 茂野)



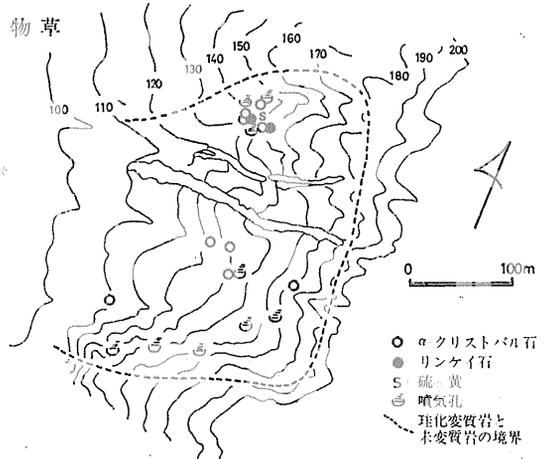
第15図 硫黄岳火口変質帯 [高温帯のデータは鎌田(1964) 吉田ほか(1966)より引用]

活動を示す変質帯がある(第18図)。

C. コランダム (Corundum  $Al_2O_3$ ) とローダライト (Roedderite  $K_2Mg_2(Mg, Fe)_3Si_{12}O_{30}$ )

今回の調査で特筆されるべきことは 火口内の転石ではあったが コランダムが発見されたこと またこれも火口への道路の登り口の採石場での転石であったが、ローダライトの発見であろう。

問題のコランダムは藍青色の粒状集合体として皮殻状に産し 周囲には硬石膏が生じている。火山地帯の昇華鉱物としてのコランダムはアラスカの Valley of Ten Thousand Smokes より報告されているが (SHIPLEY 1920) くわしい記載はない。硫黄島産コランダムの粉末X線回折データを第1表にあげておく。このコランダムの Jarrell-Ash 社製発光分光分析装置 (JA-7102型) での分析結果(地球化学課 安藤 厚技官分析)を



第17図 物草付近の変質帯分布

第2表 コランダム中の微量成分

元 素	ppm	元 素	ppm
In	—	Ga	50
Sb	—	W	25
Sr	tr.	Mo	1,000
Ba	tr.	Cd	—
Be	5	Cu	10
As	50—100	Zn	パーセントオーダー
B	150	Ag	1
Ge	5	Ni	7
Tl	5?	Co	10
Sn	250	Si	多い
Pb	25	Al	多い
Bi	10	Fe	多い

分析者：安藤 厚技官

第2表にあげておく。これらの結果を総合すると本鉱物にはAlのほかにAs B Sn Mo Zn Fe Siなど Si Al以外に火山昇華物に特有な元素が検出されたが Alを除くこれらの元素がコランダムの結晶構造中に

第3表 ローダライト (Roedderite) の化学分析値 (奥村ほか 1976)

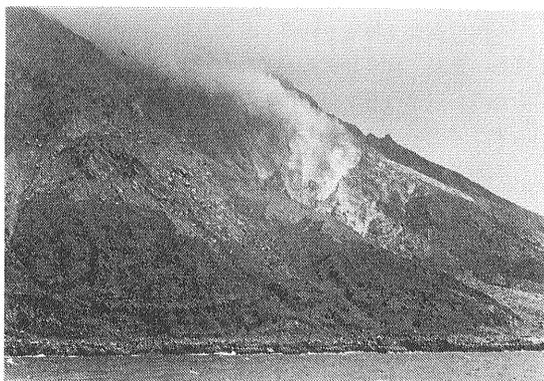
	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	69.4 %	70.4 %
TiO <sub>2</sub>	0.0	0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0.4
FeO	8.4	8.5
MnO	0.5	0.5
MgO	14.3	14.9
CaO	0.0	0.0
Na <sub>2</sub> O	3.0	1.5
K <sub>2</sub> O	3.1	3.1
Total (%)	99.2	99.4

(1) 斜長石を置換したローダライト  
(2) 晶洞中に生じているローダライト

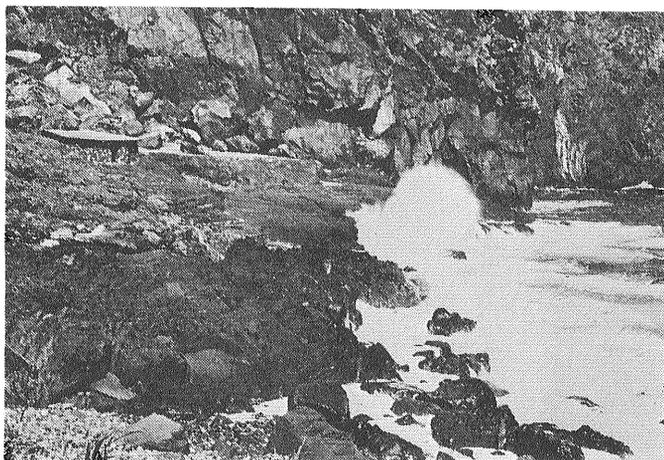
入っているのかどうかは確認していない [分析電子顕微鏡ではこのほかにSとClが検出された (労働省産業医学総合研究所 神山宣彦氏分析)]。

一方ローダライトは硫黄岳火口への道路の登り口の採石場より パン殻状火山弾に混じって発見された [その後小野・奥村両技官らが硫黄島を再調査した結果 ローダライトは硫黄岳火山の放出物中の変質岩中にはかなり一般的に生じていることがわかった(私信)]。試料の表面は緑色を帯びているがこれは針状の輝石であった。また割れ目をうめて濃青色の鉱物があった。これは顕微鏡観察とX線分析では最初大隅石と判定されたがその産状に疑問が持たれたので地質部奥村公男技官がEPMA分析をしたところこの鉱物はAlをほとんど含まないことがわかり文献 (BUNCH 1969; BERG and WHEELER 1976など) を検討した結果 ローダライトと同定された。

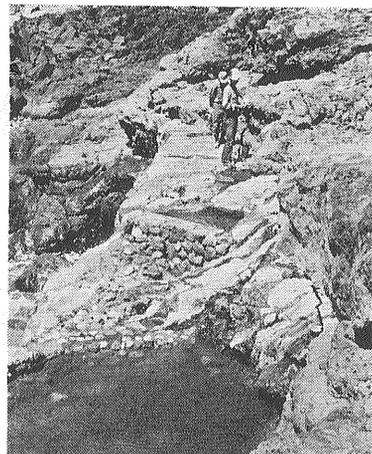
現在奥村技官により詳細な研究がされつつある。ローダライトは大隅石 八木石などに類似した鉱物である



第18図 噴煙をあげる硫黄岳南東の南平 ここでも以前硫黄が採掘されていた。



第19図 荒波の寄せる東温泉 左の石小屋が脱衣場で それより手前の岩かげ (いま飛沫があがっている所) に温泉湧出口および露天風呂がある。後方は 硫黄岳火山の溶岩からなる絶壁



第20図 東温泉の露天風呂 付近一帯は弱い珪化作用を受けており クリソパル石および鉄閃ばん石が生じている。

が 現在までは隕石中のみその存在が報告されているものである。 奥村ら (1976) により報告されたローダライトの EPMA による分析値を第3表にあげておく。

5-2. 温泉活動による変質帯

温泉湧出に伴う岩石の変質例として ここでは東温泉と北平下海岸温泉をあげておく。

A. 東温泉変質帯

硫黄岳の南山麓海岸の波打ちぎわには東温泉がある。露天風呂となっており 脱衣場もある。湯はそのまま滝となって海中に落下している(第19 20図)。泉質は pH=1.6 T=55°C (鎌田 1964) である。温泉は硫黄岳火山の溶岩と稲村岳火山の溶岩の境界付近から湧出しており 付近一帯は弱い珪化作用を受けた角礫層よりの。X線分析によれば これらからα-クリストバル石が検出されたほか 温泉湧出口付近の角礫層の茶褐色マトリックスより鉄明ばん石が検出された。東温泉の西約50mの弱珪化岩中にはα-クリストバル石のほか白色脈状の明ばん石が顕著に認められた(第21図)。

B. 北平下海岸温泉変質帯

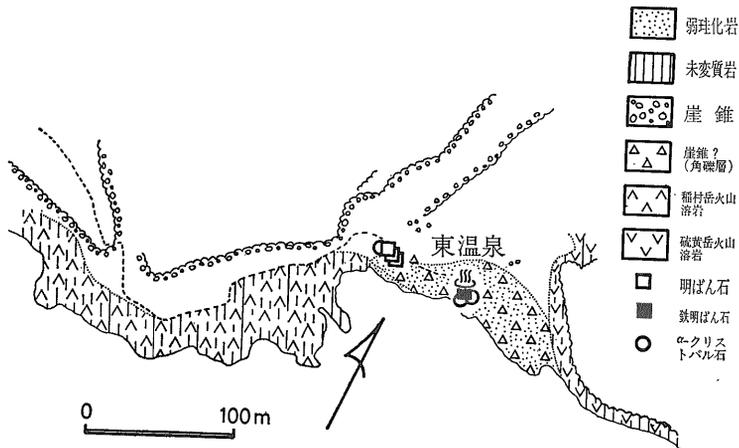
硫黄島北端平家城の西側にはウタン浜温泉 (pH=2.1 T=64.9°C) 東側には北平下海岸温泉 (pH=1.3~1.5 T=70°C) がある (いずれも鎌田 1964)。

両温泉とも海岸の砂の中から湧出しているため 限られた時間にしか観察できず 今回の調査では湧泉を確認することができなかった。北平下海岸温泉は硫黄岳火山岩と城が原火砕流の境界付近より湧出する温泉である。海岸線は硫黄岳火山岩などの礫を含む切り立った崖錐層からなり 小規模ではあるが その下位に存在する白色の泥質~砂質堆積物中には多量の明ばん石が生じている(第22図)。しかし現在この個所には温泉徴候はない。

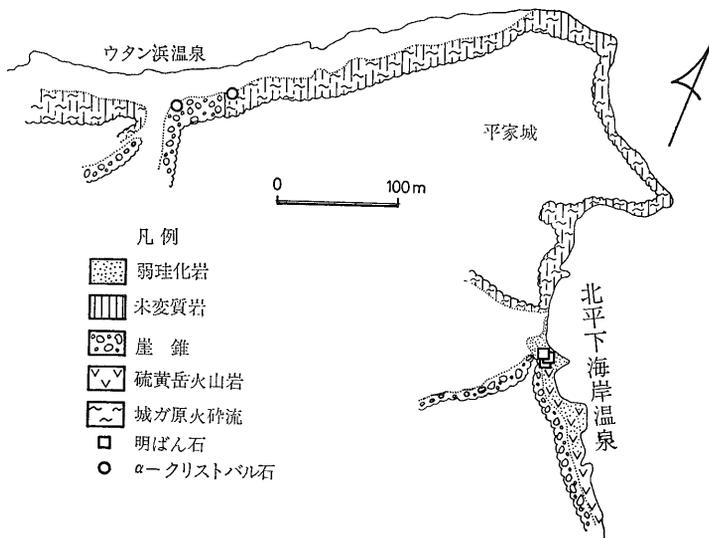
6. 地下の岩石の変質

硫黄島では工業技術院により 100~150mの地下水観測井が計9本掘削され(第11図参照) そのコアの変質状況も報告されている(吉田ほか 1976)。筆者らもこのうち No.3 4 6 8号井の計4本のコアの変質を検討する機会を得た。その結果は上記報告書の結果と大差ないので ここでは概略の記述にとどめたい(第23 24図)。

3号井の孔底温度は54°C (100m)で 38mまでは緻密で新鮮な硫黄岳火山溶岩 それに深は比較的ルーズな硫黄岳火山角礫凝灰岩よりの。38~55mは酸化帯となっており 特に地下水面 (50.2m) 直下は赤褐色の強酸化帯となっており 明ばん石が生じている。55~70mは鉍染状黄鉄鉱 ~100m は明ばん石 石膏がいずれも脈状物として生じている。粘土鉍物としては 50m



第21図 東温泉付近の変質帯分布



第22図 北平下海岸温泉付近の変質帯分布



第23図 地下水観測井(№4号井) 北原式採水器で採水しているところ

以深に雲母鉱物(セリサイト?)が特徴的に認められる。4号井は矢筈岳火山の溶岩および凝灰角礫岩よりなり孔底温度は23°C(134m)と低い。他の3本の井戸とは異なり硫酸塩鉱物が見られずモンモリロナイトが特徴的に生じている。6号井は矢筈岳火山溶岩および凝灰角礫岩よりなり孔底温度は117°C(120m)と高い。約30~100mの間は赤褐色の酸化帯となっており石膏硬石膏のほかに黄鉄鉱が多量に生じている。しかし明ばん石は検出できなかった。8号井は硫黄岳火山溶岩および凝灰角礫岩よりなり孔底温度は101°C(100m)である。変質鉱物として地下水面(56.7m)下では明ばん石が多量に脈として生じている。その他に少量の黄鉄鉱および硬石膏が見られる。

### 7. 変質岩の化学分析

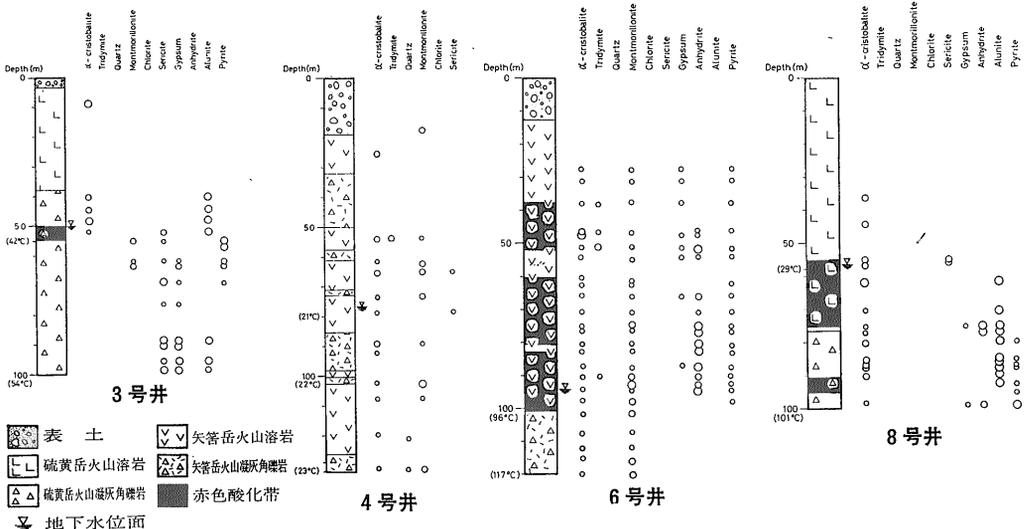
硫黄岳の噴気作用による溶岩の化学成分の移動状況を把握するために主成分の化学分析を行なった。結果は第4表に示す通りである。

硫黄岳火山の溶岩は SO<sub>2</sub> や HCl に非常に富む酸性噴気によって強い変質作用を受け 変質が進むにしたがって MgO FeO CaO Na<sub>2</sub>O K<sub>2</sub>O Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> などが溶脱され珪石化している。噴気中の SO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>S の一部は自然硫黄あるいは明ばん石として固定され 変質岩中の S SO<sub>3</sub> を高めている。また変質岩では H<sub>2</sub>O CO<sub>2</sub> も増加している。松葉谷ら(1975)によればこれらの硫黄岳火山の溶岩は 硫黄岳の噴気中の水蒸気(δ<sup>18</sup>O = +4.6~+9.1)と同位体交換をおこない 変質作用を強く受けるにしたがって その δ<sup>18</sup>O がしだいに高くなっていく。かなりの程度珪化した(4)は 100~200°Cの低温で噴気と酸素同位体平衡状態にあったと推定されている。

### 8. おわりに

今回の調査はごく短期間のため十分な調査をおこなうことができなかった。不十分な点は本文中に示した文献等で調べていただきたい。

現地調査に際しては末野悌六氏に種々御便宜をいただき また地質調査に当っては地質部小野晃司技官の多大な御援助をいただいた。化学分析用の貴重な試料は鉱床部松久幸敬技官の試料を使用させてもらい 発光分析では地球化学課安藤厚技官のお世話になった。さらに九州大学工学部湯原浩三氏 地質調査所地殻熱部川村政和技官には試錐コアの入手に関して御便宜をいた



第24図 ボーリングコア中の変質鉱物

第4表 硫黄岳火山溶岩の化学組成

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SiO <sub>2</sub>	70.50(%)	70.37(%)	68.63(%)	90.85(%)	63.37(%)
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.57	0.54	0.14	0.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.93	13.70	14.50	0.44	12.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.76	1.55	2.03	0.28	2.31
FeO	3.20	2.08	0.79	0.14	3.45
Fe	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
MnO	0.11	0.11	0.05	<0.01	0.34
MgO	0.90	0.78	0.14	0.02	5.17
CaO	2.57	2.48	1.30	0.10	2.73
Na <sub>2</sub> O	4.29	4.06	2.12	0.24	5.74
K <sub>2</sub> O	2.35	2.40	1.74	0.08	3.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.10	0.10	0.02	0.10
S	<0.01	<0.01	<0.01	3.23	<0.01
SO <sub>3</sub>	<0.01	<0.01	2.02	1.12	<0.01
CO <sub>2</sub>	<0.01	0.02	0.11	0.09	<0.01
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.33	1.26	5.35	2.75	0.12
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.05	0.20	0.38	0.38	0.14
Total(%)	99.65	99.68	99.80	99.88	99.74

* whole rock	+6.7	+7.4	+10.1	+25.0
δ <sup>180</sup> % plagioclase (phenocryst)	+6.3	+6.7	+18.6	—

分析は東京石炭鉱物研究所による

- (1) 硫黄岳火山溶岩 (andesite, IW74S-13), fresh rock  
 (2) " ( " , IW74S-1), altered rock  
 (3) " ( " , IW74S-37), "  
 (4) " ( " , IW74S-4), siliceous rock  
 (5) " ( " , SW75082270), roedderite を生じている試料
- 注 (1)~(4)の試料の採取位置等については 松葉谷ほか (1975) を参照していただきたい。

\* 松葉谷ほか (1975) による

いた。以上の方々には厚くお礼申し上げます。

文 献

BERG, J. H. and WHEELER, E. P. (1976): Osumilite of deep-seated origin in the contact aureole of the anorthositic Nain complex, Labrador *Amer. Mineral.*, Vol. 61

BUNCH, T. E. (1969): Yagiite, A new sodium-magnesium analogue of osumilite *Amer. Mineral.*, Vol. 54

鎌田政明 (1964): 鹿児島県硫黄島の火山と地熱 地熱 No. 3

鎌田政明 (1972): さつま硫黄島の温泉—火山と温泉— 温泉科学 23巻

松葉谷 治・上田 晃・日下部 実・松久幸敬・酒井 均・佐々木 昭 (1975): 薩摩硫黄島および九州の二 三の地域の火山ならびに温泉についての同位体化学的調査報告 地調月報 26巻

松本幡郎 (1951): 鹿児島県硫黄島溶岩について 岩鉱 35巻

MATSUMOTO, H. (1954): Petrological study on rocks of Iwo-zima, Kagoshima Prefecture *Kumamoto Jour. Sci. Series B* No. 4

MATSUMOTO, H. (1960): The chemical characteristics of the lavas from Ryukyuu volcanic zone, Kyushu, Japan. *Kumamoto Jour. Sci. Series B* Section I Geology Vol. 4

MATSUMOTO, T. (1943): The four gigantic caldera volcanoes of Kyūshū, *Japan Jour. Geol. Geogra.* Vol. 19sp.no.

岡野武雄 (1963): 硫黄島 地質ニュース No. 106

奥村公男・小野晃司・金原啓司・茂野 博 (1976): 薩摩硫黄島の変質した火山岩中の Roedderite 三鉱学会秋季連合学術講演会要旨

小野晃司・曾屋龍典 (1975): 鬼界カルデラ 竹島 硫黄島の地質 (予報) 日本火山学会 1975年度秋季大会講演要旨 火山 第2集 20巻 3号

小野晃司・曾屋龍典 (1976MS): 薩摩硫黄島の地質図

SHIPLEY, J. W. (1920): Some chemical observation on the volcanic emanations and incrustations in the Valley of 10,000 Smokes *Amer. Jour. Sci.*, Vol. 50

吉田 稔・小沢竹二郎・小坂丈予 (1966): 薩摩硫黄島に生成する特異なケイ酸質 "火山昇華物" (I) (II) 岩鉱 55巻 5号 6号

吉田 稔・小沢竹二郎・小坂丈予 (1972): 薩摩硫黄島に火山昇華物として生じるモリブデン鉱物—モリブデンブルーおよびモリブデナイト 化学と工業 No. 3

吉田哲雄・樋口勝彦・湯原浩三 (1976): 鹿児島県硫黄島における岩石の変質作用について 地熱 No.48