

小笠原硫黄島最近の変動について*

硫黄島火山活動調査グループ

**

1 まえがき

小笠原硫黄島には常時活発な噴気孔が存在し、これが時には小規模な水蒸気爆発にまで発達することもあること、また異常な隆起現象が顕著に認められることなどは古くから知られて来た事実であるが、1)、2)、3)同島が昭和43年6月20数年ぶりに我が国に返還された際、その隆起の著しい累積があらためて問題になった。

このためその時点において多くの研究機関により調査・研究が行われ、その報告もなされて来た。4)5)、6)、7) その後も同島の異常現象は引き続いており、気象庁、防災センターなどの調査もくりかえし行われて来ているが、筆者らも昭和43年、47年、50年の各年次に、同島を調査する機会を得、隆起現象の継続、その他多くの異常現象が発見されたので以下それらについて簡単に報告する。

調査は昭和43年に東京工大と東大地震研の合同で、また47年には東京工大単独で行われたが、この2回の調査で同島の最近の著しい隆起現象が確認されたので、今回の昭和50年3月12日より18日までの調査の際には、この隆起の原因究明にも資するため、千葉大学理学部地学教室と北海道大学理学部地球物理学教室の応援を得て、これまでの地形変化、検潮、水準測量、火山ガス、温泉などの調査に加えて電気探査、地震、重力、熱流量などの測定も併せて行つた。なお本調査行動とは別に同年4月17、18の両日には赤外線走査計による航空機からの地表温度分布測定も行われた。

なお本会報にも防災センターにより2回にわたって同島の報告が掲載されている。8)、9)

調査の分担は次の通りであった。

地形変動	}	東京工大・千葉大
潮汐観測		
水準測量		
地震観測	}	北海道大
重力測定		
熱流量		
電気探査	}	千葉大
火山ガス		
昇華物		
温泉	}	東京工大

* Received Apr. 30, 1976

** 調査グループの参加機関は次の通り。

東京工業大学・工学部・理学部

北海道大学・理学部

千葉大学・理学部

2 地形変化

著しい隆起にともなう、全島いたるところに顕著な地形変動が認められる。防災センターが詳しく観察している断層変動もその一つであるが、⁹⁾これらは主として同島南西部の千鳥ヶ浜旧飛行場、西海岸道路、摺鉢山、沈船海岸等に集中している。その他の変動はおもに海岸付近に目立ち、著者らが入手し得た地形図—明治44年(1911年)陸地測量部、昭和9年(1934年)水路部、昭和18年(1943年)海軍、昭和27年(1952年)米国沿岸警備隊、昭和43年(1968年)2月、8月、国土地理院、昭和46年(1971年)海上自衛隊が夫々作成した地図—を比較対照すると、その陸上面積の増大が明らかに認められる。このほか沈船海岸でのコンクリート船、や米軍上陸用舟艇、最近難波した慎洋丸など、もとは海中にあったものが現在は完全に陸地内にとり残されており、また釜岩など以前は沖合にあった小島が陸続きになってしまっていること、海岸に多くの段丘が発達していることなどは、その著しい隆起量を証立するものであろう。

3 検潮・水準測量

隆起量を求めるために毎回の水準測量には必ず検潮を行って平均海水面を求めた。検潮にははじめ、水圧式、或はフロート式の検潮計を用いたが、後には目視観測により読取りを行い父島の検潮記録と比較して諸補正を行った。

水準測量は図1に示すような沈船海岸から現滑走路西端を経て、飛行場南東を回り製塩所上にいる東西路線と、このルート途中から南西に分岐して千鳥飛行場南端にいる南北路線について毎回行われ、表1、表2、図2、図3に示すような結果が得られた。

表 - 1 東西路線水準測量結果 (m)

	S. 50.3.	S. 47.6.	隆起量	S. 47.6.	S. 43.7.	隆起量
西海岸海面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
上陸用舟艇	9.62	8.63	0.99	8.63	7.96	0.67
十字路	52.25	51.51	0.74	51.51	50.17	1.34
最高点	101.08	100.30	0.78	100.30	99.50	0.80
千鳥飛行場入口	77.71	76.60	1.11	76.60	75.80	0.80
南東海岸分岐	69.69	69.01	0.68	69.01	67.70	1.30
発電所下	89.47	88.63	0.84	88.63	87.46	1.17
製塩所上	71.58	70.70	0.88	70.70	69.43	1.27

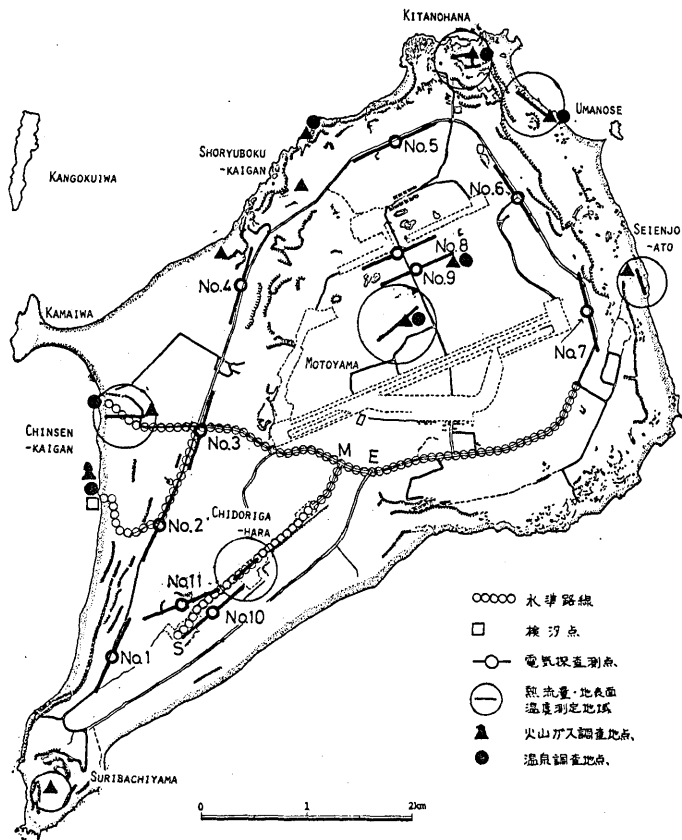


图 1 小笠原硫黄島調査地点図(昭和50年3月)

表 - 2 千鳥浜飛行場水準測量結果 [m]

	S. 50.3. 断層	S. 47.6 断層	隆起量	断層間の比較
M	77.71	76.60	1.11	
A	73.55	72.76	0.79	
A'	71.69 > 1.86	71.00 > 1.76	0.69	+0.10
B	71.80	71.07	0.73	
B'	70.95 > 0.85	70.32 > 0.75	0.63	+0.10
C	70.96	70.28	0.68	
C'	70.30 > 0.66	69.69 > 0.60	0.62	+0.06
D	71.68	70.18	1.50	
D'	71.22 > 0.46	69.66 > 0.52	1.56	-0.06
F	71.60	70.10	1.50	
F'	72.12 > -0.52	70.55 > -0.45	1.57	+0.07
S	72.83	71.20	1.63	

それによるとその隆起量は東西路線では、昭和43年7月から47年6月までの3年11ヶ月に最小0.68mから最大1.34m、それ以後50年3月までの2年9ヶ月で0.99mから1.11mの隆起を示しており、この両期間を通しては最高2.15mにも達した場所もあることが判明した。またこの路線は同島北部を構成している元山火山をよぎる線でもあり、その意味ではさきに辻らが指摘したように、4)元山中心部よりその周辺部の方が隆起量が大きであることを認め得る結果であった。また南北路線の隆起量は昭和47年と50年の比較では最低0.62m、最高1.63mに達し、43年以来では最高2.18mの隆起を示した。

しかしこの千鳥飛行場はさきにも述べたように、その滑走路が多数の断層で切られており、北半分は南落ちで大きく、南半分は北落ちでその落差は北ほどではない。

またその隆起量は前は北ほど大きく南ほど小さかったが、今回はその逆になっている。このことはこの千鳥ヶ浜では北東の元山と南西の摺鉢山の隆起により最も影響を受け、中央部分の隆起が少なくなっており、また47年までは元山の隆起が激しかったのにくらべ、その後49年まででは南の摺鉢山の隆起の方が著しくなってきたことを意味している。

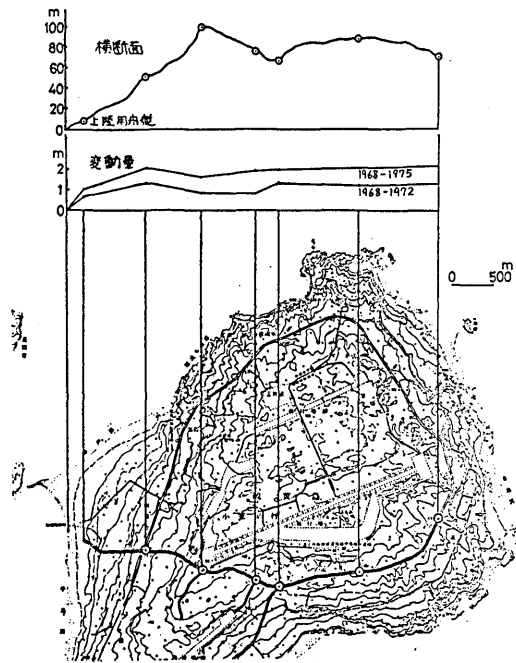


図 2 東西路線測量図

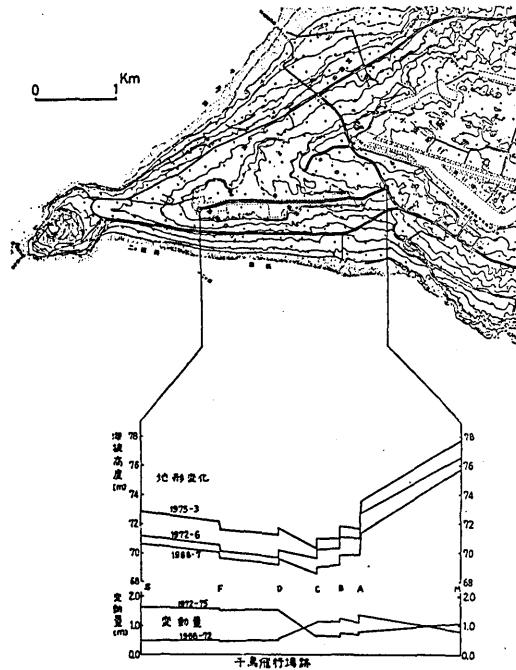


図 3 千鳥飛行場跡(南北路線)測量図

図4には、このほか前記諸測量地図より同一地点での海拔高度を求め、過去の隆起量を推定し、これに最近実測した隆起量を加えて積算し、且つ年間の隆起速度を求めて示した図で、これによると特に昭和25年頃までの隆起量11cm/年に比べ、それ以後は30cm/年と著しく隆起速度が増大し、且つ明治44年以来の累積量は10mを越えるものであることも判明した。

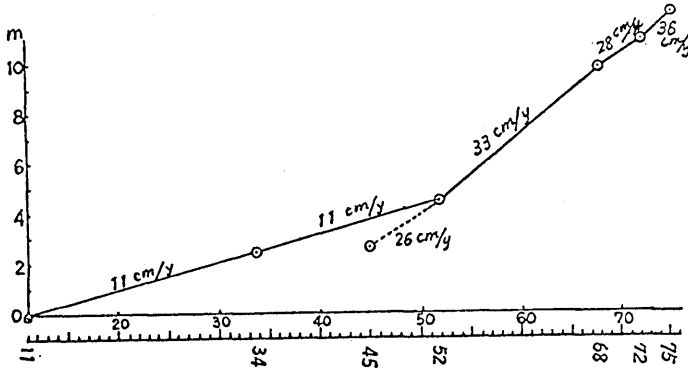


図4 1911~1975年隆起量および隆起速度

4 地震及び微動観測

今回の調査では機材運搬上の制限などにより上下動一成分の地震計一箇のみで観測を行わなければならなかったため、昭和50年3月12日より3月18日までの観測期間中、毎日地震観測は夜間の4時間のみ、武蔵野壕内で行い、昼間は同一地震計を島内各所に移動させ27点での微動測定を行った(図6)。観測は固有周期1秒の上下動地震計の出力を4種のゲインの増幅器を通して磁気テープに記録した。

観測された地震記象は図5のように5つの型に分類されたが、いずれのものもいわゆるS相は判定しがたいものであった。500 μ kin以上の地震表は表3に示すとおりで、これを過去の観測結果と比較される日頻度に直すと表4のようになり今回の期間中の1日1.5個は他の期間とほぼ同等に少ないが、昭和49年の高橋らの測定や、8) 43年の気象庁の観測(6)の一部にその約10倍前後のものもあり、時として発生回数が多くなることもあると言える。また一点観測で確かなことは言えないが、地震の発生源の一部は元山、北の鼻-金剛岩付近の噴気地帯にあるように思われる。

27地点での微動観測の結果から、活発な噴気地帯のもので、その活動源は非常に浅く100m以深のものはなかった。また各点での記録のスペクトルを見ると、同島の表層地質と密接な関係があることが判明し、元山、摺鉢山地域と、これを結ぶ千鳥ヶ浜地域とではその卓越周期が異なり、前者でその

値が2~3 Hz、後者では5~8 Hz にピークを有している(図6)。

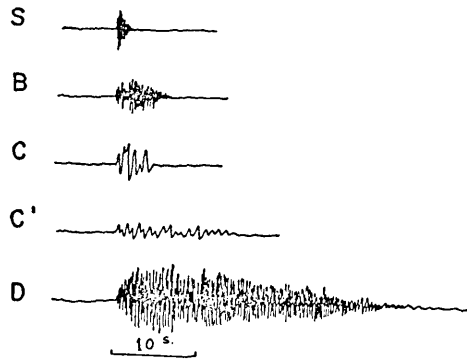


図5 観測された地震記録の分類

表-3 500 μ kine 以上の地震観震表

N O.	日 付	時 刻	速度 振 幅	変 位 振 幅	型
			μ kine	μ	
1	3月 12日	19 47	540	0.17 μ	B
2		21 07	1860	0.59	B
3		21 14	900	0.29	B
4		13日	22 11	630	0.20
5	14日	20 11	570	0.18	B
6	17日	22 44	1200	0.95	C
7	18日	18 56	810	0.45	C
8		20 46	570	0.18	S
9		21 42	3420	0.10	D

表-4 各観測期間の日頻度の比較

観 測 者	観 測 期 間	個数/1日
森本ほか (1968)	昭和43年7月9 - 8月13日	1-2
大野ほか (1971)	昭和43年8月21 - 11月14日	1.6
小坂ほか (1972)	昭和47年6月15 - 6月19日	2
高橋ほか (1975A)	昭和49年5月31 - 6月4日	1.2
笠原	昭和50年3月12 - 3月18日	1.5

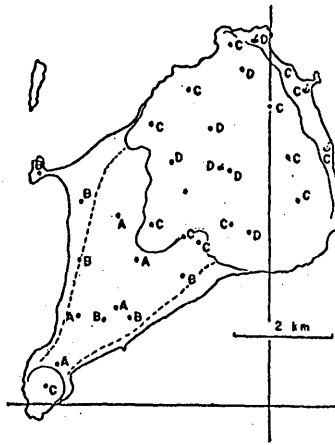


図 6 微動スペクトル型の分布

5 電気検査

図 1 に示す島内 11 の測線において測定が行われた。その結果の 1 例は図 7 に示すとおりで、まず大地比抵抗値が同島南部では約 160 m、北方元山付近では 50～30 m、平均約 100 m の深さに著しい不連続があるのが認められ、それ以深には著しく低い比抵抗値を示している部分のあることが判明した。

この低い値は地下の噴気で変質をうけ粘土化した岩石に多量の水を含み、且つ場合によっては高温の状態にある物質の存在が予想され、同島南部では深く、北部元山付近では非常に浅いところにまでそれが存在していることが想定され、これらの結果を総合して図 7 の下段にその断面図を示した。

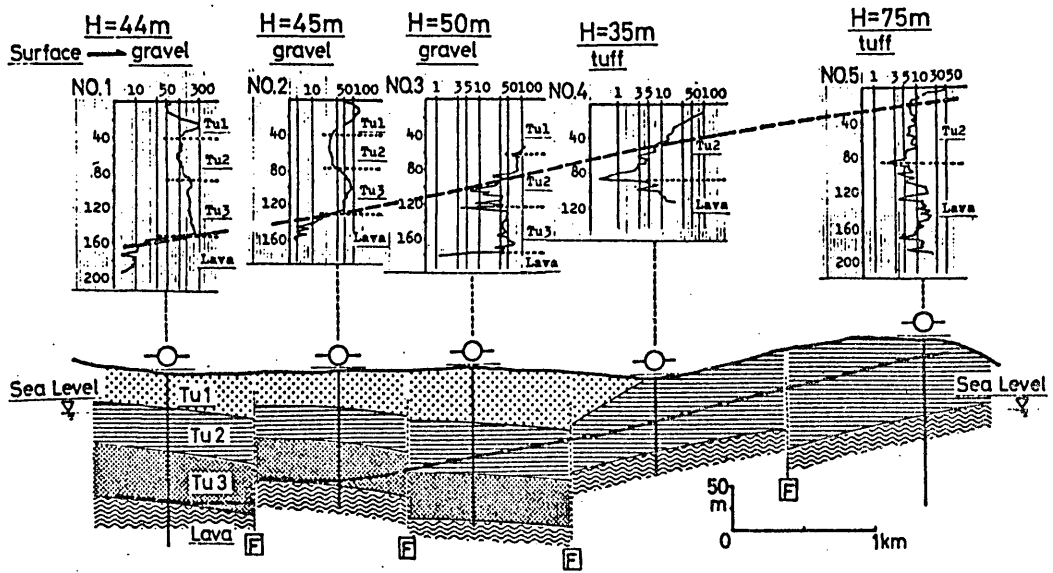


図 7 測点No1~No5の ρ -a曲線配置と、 ρ -a曲線から判定した模式地質断面図および温度の高いところ(図では太い破線)の勾配を記入したもので、地表は地形断面をあらわし、スケールは ρ -a曲線と同じ、-○-の下部の垂直線は測定深度である。

Tu1: 段丘礫層を含むスコリア質砂礫層、Tu2、Tu3: 砂質凝灰岩

6 重力測定

ラコステ重力計(G-31)を用い全島82点にわたって測定を実施した。測定点及び測定値に各種補正をほどこしたブーゲー異常分布図を図8に示した。これらの結果から同島の地下構造につき考察すると、本島は大局的にみて約 170 mgal に達する正の大きなブーゲー異常帯に含まれるが、その固有の構造にもとづく特徴の一つとして周辺地域から島の中心に向かって、重力異常の値が相対的に低くなっていく傾向をもつが、これは本島中心部に向う基盤の深まりと解釈される。このほかこれに加えて局所的には元山を中心とする周辺より相対的に高い異常、千鳥ヶ原及び褶鉢山をそれぞれ中心とする相対

的に低い異常などが認められる。元山の
高異常は図9にも示すように侵入岩体な
どの高密度物質の存在が推定され、また
千鳥ヶ原の低異常は低密度物質が比較的
地下深部にまで伸びているような構造が
推定される(図10)。

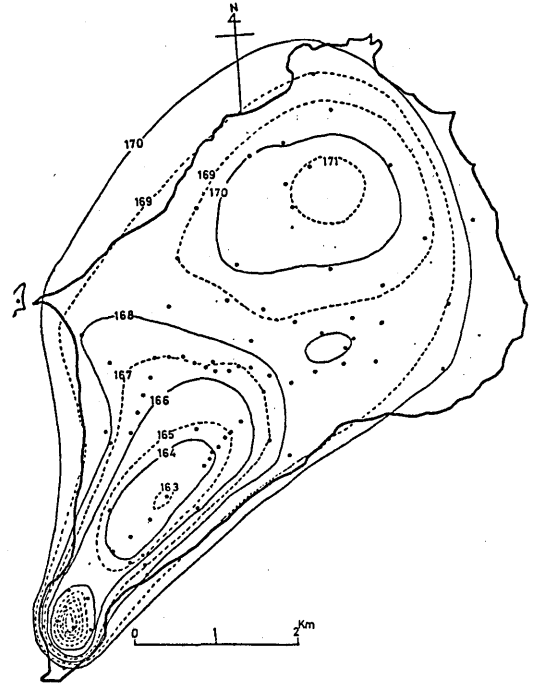


図 8

ブーゲー異常分布 (補正密度 = 1.80 g/cm^3) 単位 m. gal

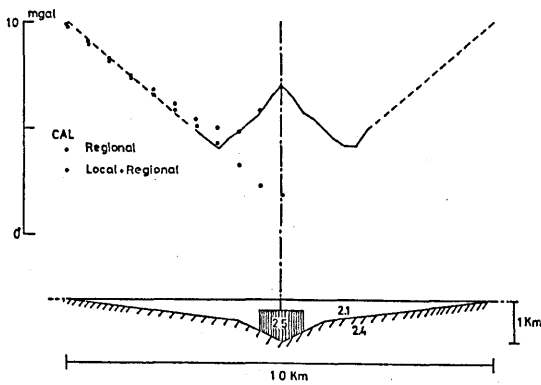


図 9

元山地域の重力異常と推定される地下構造

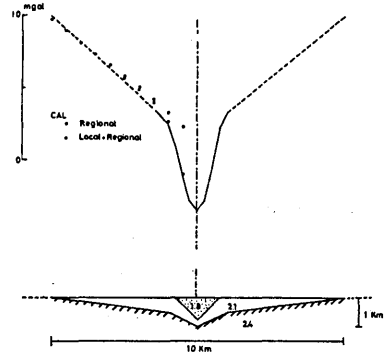


図 10

千鳥ヶ原地域の重力異常と推定される地下構造

7 火山ガス・昇華物・温泉

本島各地に分散する噴気孔及び温泉中からのガスの化学成分を表5、表6に示した。

表-5 噴気孔ガスの化学組織

採取場所	月日	温度℃	H ₂ O %	H ₂ O以外 のGas %	H ₂ O以外のガスの組織						R (アルカリに吸収され ないガス)の組織			
					HCl %	SO ₂ %	H ₂ S %	CO ₂ %	R %	N ₂ %	H ₂ %	H ₂ %	H ₂ %	H ₂ %
金剛岩-1	3-14	1193	99.27	0.73	<0.03	<0.05	1.2	98.2	0.6	93.8	5.9	0.05	0.2	
金剛岩-2	3-14	1258	99.29	0.71	<0.03	<0.05	1.9	97.8	0.3	96.2	3.7	0.01	0.06	
金剛岩・馬背岩 間の噴気	3-15	1005	98.7	1.3	-	-	2.4	96.2	1.4	46	54	0.00	0.00	
元山-1	3-16	1095	99.13	0.87	<0.03	<0.05	3.8	95.9	0.3	-	-	-	-	
元山-2	3-16	1000	98.2	1.8	-	-	3.3	95.9	0.8*	-	-	-	-	
摺鉢山	3-17	980	99.96	0.04	-	-	5.6	93.4	1.0	96	4	0.00	0.00	
西部落温泉跡1	3-18	990	75.3	24.7	-	-	1.3	98.3	0.4	89.2	66.6	0.02	0.12	
西部落温泉跡2	3-18	990	93.7	6.3	-	-	1.5	98.2	0.3**	35.5	64.5	0.02	0.05	
標流木	3-18	995	-	-	-	-	1.6	96.3	2.1	97	3	0.00	0.00	
沈船海岸-1	3-19	993	97.24	2.76	-	-	8.5	90.2	1.3	99.5	0.000	0.04	0.5	
沈船海岸-2	3-19	975	92.5	7.5	-	-	13.1	86.3	0.6	99.7	0.004	0.03	0.3	

* Rを1%と仮定して計算した。
** R中の酸素から計算して空気の混入を補正した。

表 - 6 温泉ガスの化学組成

採取場所	月日	温度℃	ガスの組成			R (アルカリに吸収されないガス)の組成			
			H ₂ S%	CO ₂ %	R %	N ₂ %	H ₂ %	He%	CH ₄ %
沈船新温泉-1	3-13	86.3	2.2	97.6	0.2	97.8	1.7	0.00	0.5
沈船新温泉-2	3-13	86.3	1.5	98.7	0.3	-	-	-	-
馬背岩温泉	3-15	98.2	2.2	97.6	0.2	99.5	0.24	0.13	0.08
北の鼻地獄-1	3-15	86.5	2.1	96.8	1.1	-	-	-	-
北の鼻地獄-2	3-15	86.5	2.6	96.5	0.9	36.1	63.9	0.02	0.00
元山ボーリング マッドポット	3-16	77.0	1.9	95.4	2.7	13.0	87.0	0.02	0.00
元山北飛行場南	3-16	93.2	3.4	90.0	6.6	5.4	4.6	0.00	0.00
為八海岸温泉	3-19	41.0	0.0	98.5	1.5	-	-	-	-

今回は特に残留ガス (Rガス) に注目し、もち帰った試料につきガスクロマトグラフ法を用いてそれらを分析し窒素 (N₂)、水素 (H₂)、ヘリウム (He)、メタン (CH₄) などの値も求めた。

以上の結果から言えることは、この島のガスの特徴として既に指摘したこともあるが、100℃以上の噴気温度を示す金剛岩、元山などのガスにも塩化水素 (HCl) 亜硫酸ガス (SO₂) がほとんど含まれておられない。この事実は本島の地下深部に熱水の存在を考え、そこから発散される蒸気溜りが浅所にあると考えた方が都合よいようである。前回の測定に比較して、(1)元山、金剛岩の噴気孔は相変わらず活発であり変化なく、(2)沈船海岸付近のガスには硫化水素 (H₂S) 濃度が増加しており、(3)摺鉢山の噴気活動は弱まっている。更に島全体として残留ガス中に水素ガスが検出されることは、他の成分の変化にかかわらずこの地域の活動度の高いことを示すもので、更に測定をくりかえしてその動向を注視する必要がある。

火山昇華物は周囲が海に囲まれているにもかかわらず、そのほとんどが表7に示すような硫酸塩であり、塩化物はわずかであって、高温で活発な噴気ガスは周囲の海水の影響をあまりよせつけず、主として噴気ガスそのものの成分のままであることが重ねて明らかにされた。

温泉水の分析結果は表8に示すとおりで、その成分の特徴から海水の影響を著しくうけ塩素 (Cl⁻)、マグネシウム (Mg⁺) を特徴成分とする型と、逆に噴気ガスに強く支配される硫酸根 (SO₄²⁻) カルシウム (Ca²⁺) を主とする型の2種に大別される。前者のうちのあるものは前回の調査にくらべて、その後の著しい隆起に支配され、海水侵入の影響が若干後退したと思われるものもある。

表 - 7 産出鉱物名と化学組織

Thenardite	$\text{Na}_2 \text{SO}_4$
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Bassanite	$2 \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Hexahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Melanterite	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Ferrohexahydrate	$\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Rozenite	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Alunogen	$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Soda-Alum	$\text{NaAl} (\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Potash-Alum	$\text{KAl} (\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Jarosite	$\text{KFe}_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_6$
Halotrichite group	
Halotrichite	$\text{FeAl}_2 (\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Pickeringite	$\text{MgAl}_2 (\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Copiapite	$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}_4^{3+} (\text{SO}_4)_6 (\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Sulfur	S
Halite	NaCl

表 - 8 温泉水化学分析値

	1	2	3	4	5	6	7
	元山 ボイリング マッドポット	北の鼻 地獄温泉	沈船温泉	馬背岩温泉	沈船新温泉	元山 北飛行場南	為八温泉
水温℃	77.0	89.0	52.5	98.2	86.3	93.2	78.0
pH	1.9	3.7	6.9	2.8+3.0-	6.8	2.6	6.5
Na+	38.4	226	1.050	13.300	9,690	6.5	8,640
k+	21.4	26.8	80.4	918	463	4.1	433
Ca ²⁺	25.9	199	70.3	236	320	3.0	316
Mg ²⁺	11.1	120	209	1,000	1,100	1.4	906
Fe ²⁺	135	4.4	0.04	342	0.66	12.4	13.2
Fe ³⁺	0.5	0.6	0.21	0.2	0.04	0.8	0.6
Al ³⁺	99.7	16.9	2.2	5.3	29.8	14.7	3.0
Mn ²⁺	1.0	14.6	0.4	8.4	2.5	tr.	2.5
F-	5.2	4.7	3.4	7.5	19	2.9	1.9
Cl-	4.2	18.2	69.7	22,900	17,400	3.5	15,400
SO ₄ ²⁻	1.598	1.515	2.162	2,396	2,273	1.85	1,934
ΣCO ₂			30.6	26.5	186		336
H ₂ SiO ₃	351	338	233	476	238	216	322

(化学成分単位は mg/l)

8 熱流量・表面温度分布測定

昭和50年3月の地上調査の際、熱流量、表面温度分布、放射率の測定を行ない、それとその後同年4月17、18の両日行われた航空熱測量の結果とを併せて全島よりの総放熱量を推算した。

まず地表測定では赤外線放射温度計で地表温度を、また地温と気温はサーミスタ温度計を用いて測定した。測点は活発な噴気孔地点6ヶ所の測線を含む46ヶ所で行われた。その一例として北の鼻および馬の背岩地域における地表温度異常分布を図11に示した。また赤外線放射温度計による局所的な地表温度分布も求められた(1例を図12に示した)。

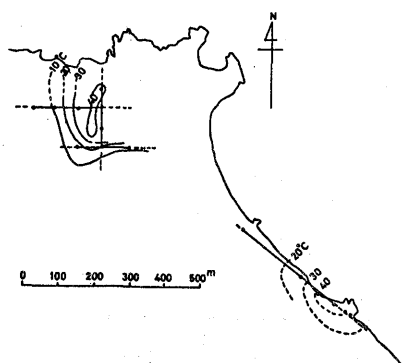


図 1 1

北の鼻、馬の背岩地域における地表温度異常

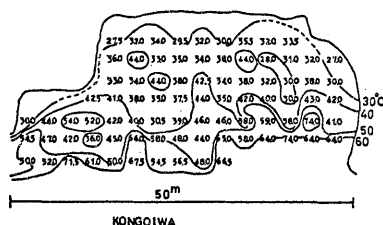


図 1 2

金剛岩表面温度(南半分)

地表物質の放射率は反射箱を用いて前記46点に5点を加えた51点について求められたが、その平均値は0.92~0.96の間に入っており、これを温度に換算すると5℃以内と予想される。

以上の地上データが得られた約1ヶ月後に赤外線走査計を用いての航空機による地表温度分布測定が行われた。測定は日本気象協会所属のディータラス社製マルチスペクトルスキャナ-(DS-1250)を、厚木航空基地のP2-V機に搭載して、硫黄島上空より4月17日昼間と18日未明の2回にわたって行われた。測定記録を映像化したものを集合貼合せたのが図13である。その結果から各温度階における平均熱流量を求めその面積から放熱量を計算したのが表9であり、これにより全島からの総放熱量を求めたところ $5.5 \times 10^8 \text{ cal/sec}$ と推算された。

表 - 9 表面温度と放熱量との対照 (江原)

温度階 (°C)	平均熱流量 (cal/cm ² ·sec)	面積 (cm ²)	放熱量 (cal/sec)
60.4~67.7	10.0×10^{-3}	0.006×10^{10}	0.06×10^7
51.3~60.4	8.0 "	1.6 "	12.8
42.2~51.3	6.0 "	1.6 "	9.6
33.2~42.2	4.0 "	3.1 "	12.4
24.1~33.2	2.0 "	10.3 "	20.6
15.5~24.1	—————	3.4 "	—————

総放熱量 = 5.5×10^8 cal/sec

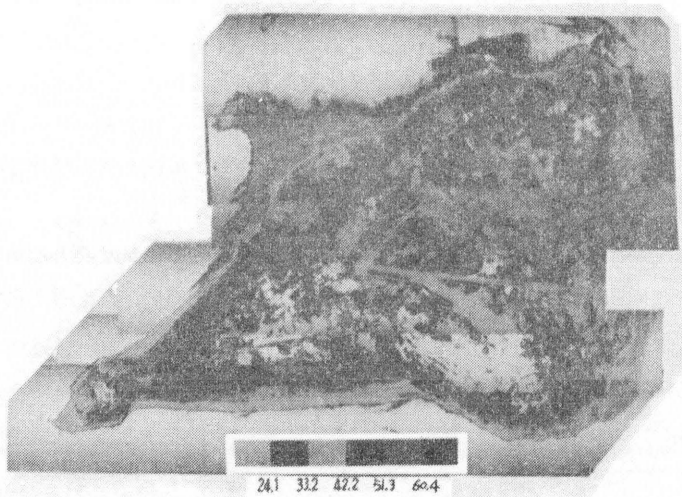


図 13 赤外線走査計を用いての航空機による地表温度分布測定結果
(昭和50年4月17日)

9 あとがき

以上今回の調査も含めて昭和43年以降に判明した事実を列挙すると、

1. 小笠原硫黄島の異常隆起は現在もなお継続しており、昭和25年以降は特にその量を増し、年間約30cmにも達しており、明治44年以来の総隆起量は10m以上になった地点もある。
2. にもかかわらず島内での地震活動は比較的静穏で、微小地震回数も少ないが、時に平常の10倍以上に達する場合もあり、さきの隆起は断続的に起っているのではないかと考えられる。また移動観測の結果から同島の地質構造や構成物質についてこれまでの知見とのよい対応が認められた。また発震源についてもある程度の推定が行われた。
3. 電気探査の結果から同島の約150～30m位の地下には著しく大地比抵抗の小さい層が存在しており、その実体は噴気により変質をうけた粘土質土壤に多量の水を含んだ泥漿状物質と考えられ、その存在する深さは北方元山付近では浅く、南へ行くに従って深くなっているものと推定される。
4. 重力測定の結果から得られたブーゲー異常図によると、島周辺から中心に向ってある程度の基盤の深まりが推定され、また北部元山付近ではさらにその下に緻密な進入岩の存在が想定され、また南部千鳥ヶ原や摺鉢山では火山礫などの低密度の噴出物の深部までの堆積を意味するものと考えられる。
5. 火山ガス主成分組成からは、その温度の割には活発な成分が検出されず、これは途中の蒸気層の存在によるのではないかと推定されたが、それらに左右されない水素ガスの混入が各所の噴気に認められる。その意味では同島の現状がガス成分から考えても決して不活発なのではないと想像される。
6. 地表温度分布、熱流量の測定により推算された本島の連続熱放出量は莫大な量に達しており、それがこれまでの同島に激しい爆発活動が発生していない原因の一つとも考えられる。

しかしながら同島では依然として著しい隆起現象が続いており、常時大量の熱エネルギーを連続的に放出している状況を考えれば、その監視体制と災害防止対策とをゆるがせにすることはできないものと考えられる。

(取まとめ： 東京工業大学 ・ 小坂 丈 予)

参 考 文 献

- 1) 本間不二男(1925): 硫黄島地質見聞記、地球、4、290。
- 2) 岩崎岩次(1936): 2、3の噴気孔の活動状態、日化誌 57、255。
- 3) Corwin, G. and Foster, H. L (1959): The 1957 explosive eruption on Iwo-Jima, Volcano Island, Am. J. Sci. 257, 161。
- 4) 辻昭治郎、栗山 稔、鶴見英策(1969): 小笠原諸島調査報告、国土地理院時報、37、1。
- 5) 高橋 博、高橋末雄、熊谷貞治(1971): 小笠原硫黄島異状火山活動調査報告1。
- 6) 気象庁(1971): 小笠原硫黄島調査報告、気象庁技術報告、75、138。
- 7) 森本良平、小坂文予ほか(1968): 小笠原硫黄島の異常隆起と最近の火山活動について、地学雑、77、255。
- 8) 国立防災科学技術センター(1975): 小笠原硫黄島における火山性異常について、噴火予知連報、2、32。
- 9) 国立防災科学技術センター(1976): 小笠原硫黄島の火山性異常について(その2)噴火予知連報、5、25。