

草津白根火山1982年10月の活動と地球化学的調査研究(1)*

東京工業大学工学部**
上智大学理工学部***
埼玉大学工学部****

1. まえがき

草津白根火山は1976年3月、34年ぶりに活動し、水釜北東隅で水蒸気爆発が発生した¹⁾²⁾。その後は表面活動は平穏を保っていたが、主火口湯釜の湖底には116℃の熔融硫黄が存在するなど、潜在的異状が発見され、注意を喚起して来た。しかるに前回噴火後6年目の1982年10月26日、同火山の湯釜西壁と湯釜北壁などから水蒸気爆発が発生した。その後表面的活動は10月29日をピークに漸時沈静化しつつあるが、以下に筆者らが行った調査結果につき報告する。

2. 噴火活動の経過

今回の噴火活動は1982年10月26日、午前9時05分頃、ほとんど何らの前兆もなく開始された。噴火位置は湯釜火口の西壁並びに北西壁、湯釜火口の北壁をほとんど同時に破って火山灰を多量に含む黒煙を激しく放出した。湯釜の火孔はその後約20分で終息し、その周囲約40m×200mの範囲に火山噴出物を放出堆積させた(図1, 2No.1)。

一方、湯釜の火孔は最初西壁南部の比較的高い位置に開孔し、さらに北壁東部にも新しい火孔を作った(図2No.2, 3)。火山灰は当時の西北西の強風により東南東方向に幅細く分布し殺原河原にも達している。放出火山灰は著しく湿潤で、降下地点は黒灰色を呈し、黒光りするほど水分が多かった。さらに西壁の斜面では水分が多いため、活動中の火孔から泥水流が流れ下っているのを見た人もある。噴煙は噴火後1~2時間ほどで白煙に変わり、火山灰も降らなくなった。*****

翌27日は湯釜西壁の高所にあった最初の爆裂火孔が、西壁北端の湖岸付近に移動し(図2No.4)、また湯釜北西隅の火孔(図2No.3)は明らかに湯釜の湖面下に延びており、時おり湖水中で噴火し、2~5m位の高さの水柱をあげていた(図2No.5)。また西壁北半分の高所にも2列の小形噴気孔群(図2No.6)を生じた。

このほか27日頃から湯釜の湖水表面の温度上昇が目立ちはじめ一時は広い湖面のほとんどをおおって水蒸気が立ちこめ、内部をうかがう事も困難なほどであった。さらにまた10月29日頃より湯釜湖面の水位が減少しはじめ、最初は急速に、後の11月2日以後はやや緩慢に、低下を続け今日に至っている。

新火孔よりの噴煙も次第に弱まり、10月30日には、そのほとんどが一旦停止し、噴煙が全く見られない状態となった。しかしそれから約1週間後の11月6日にはNo.3の噴気孔から再び白煙が噴き出し、11月

* Received. Dec. 31, 1982

***** 草津町役場の調査による。

** 小坂丈予, 平林順一, 駒林正士, 松井久仁雄

*** 小坂知子, 重田誠司, 福井恭子, 西野かおり

**** 小沢竹二郎

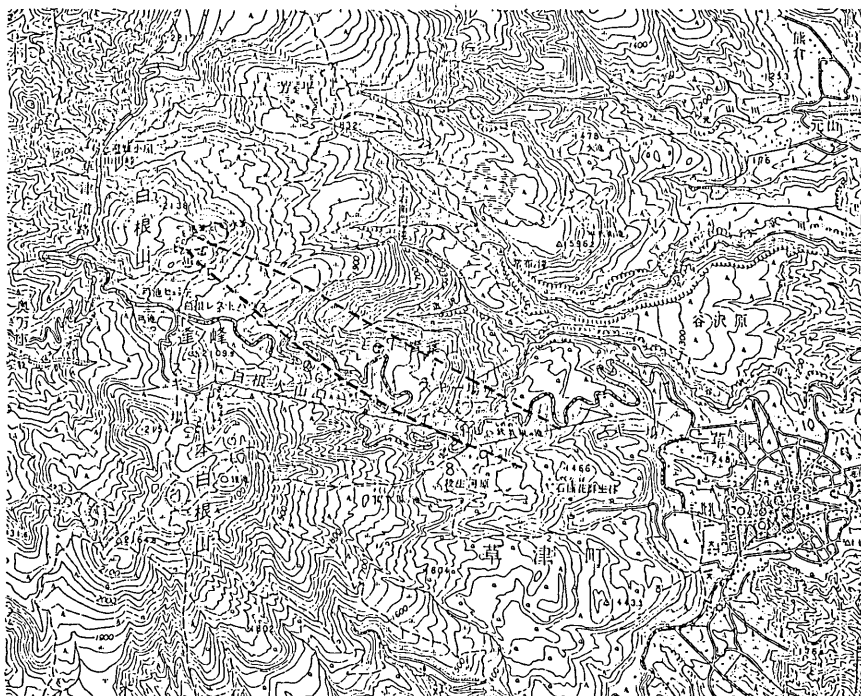


図1 草津白根火山周辺 1982年10月26日噴出物の分布

Fig.1 Map showing the distribution of ejecta on October 26, 1982, from the Kusatsushirane Volcano.

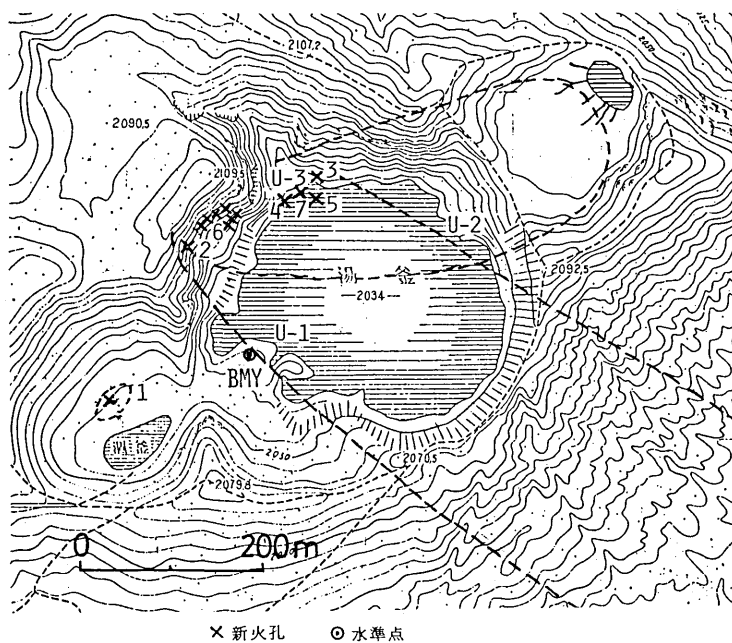


図2 草津白根火山山頂付近図。新爆裂火孔と噴出物の分布

Fig.2 Map showing the distribution of ejecta on October 26, 1982, and locality of new pit.

14日にはその手前に新しい噴気孔（図2 No. 7）が生じた。

3. 固形噴出物

3.1 火山灰

噴火開始時の西北西の強風のため、放出された火山灰は1～2図のように主として爆発地点から東南東に分布していた。噴出当時の火山灰は著しく湿潤状態で、降灰地域の地表は黒色を呈しており、さらに湯釜西壁の新火孔（図2-2）からは水分を多量に含んだ泥漿状の火山灰が壁面に沿って流下しているのが認められた。また、湯釜に生じた小噴火孔では、その周辺10×25mの範囲に火山灰が分布していた。その原土と細粒部分について行ったX線粉末回折法による構成鉱物は表1に示す通りで、いずれもカオリン、モンモリロナイト等の粘土鉱物や、硫化鉄、明ばん石、石膏等の二次変質鉱物を含んでいた。さらにまた化学分析は表2に示す通りで、相当に地中で変質作用の進んだものが放出されたことを示している。⁴⁾

3.2 放出岩塊

以上のほか当時の風向に関係なく径5～20cmの岩塊を、主として東北東方向に約450mまで放出し、落下地点の水釜火口底の砂地に多くのクレータを残した。岩塊はいずれも粘土化した火山灰泥土に厚く被覆されており、新鮮なものは全く認められなかった。その分布状況は図1、2に示す。

4. 火山ガス

4.1 湯釜新爆裂火孔より放出のガス

今回の活動で新たに開孔した爆裂火孔のうち、主としてNo. 3, 4, 6の火孔及びその付近において吸引法並びにアルカ

表 1 固形噴出物の鉱物組成

Table 1 Mineral composition of ejecta

	10月26日 殺生河原	10月27日 湯釜噴火孔	10月27日 湯釜U-3
Quartz	+	+	+
Cristobarite	+	+	+
Tridymite	+	+	+
Feldspar	+	+	+
Gypsum	+	+	+
Anhydrite	+	-	+
Alunite	+	+	+
Pyrite	+	+	+
Pyrophyllite	+	+	+
Kaoline	+	+	+
Montmorillonite	+	+	-
Mixed layer 2.56 Å Mineral	-	-	+
	-	+	-

+ 存在 - 存在せず

表 2 噴出火山灰の化学成分

Table 2 Chemical compositions of volcanic ash

成 分	wt. %
SiO ₂	51.60
Al ₂ O ₃	15.99
Fe ₂ O ₃	7.06
MgO	1.07
CaO	2.61
Na ₂ O	0.61
K ₂ O	0.93
H ₂ O ⁻	3.88
Ig. loss*	13.47

* 800℃における減量

表 3 新火孔の火山ガス化学成分

Table 3 Chemical compositions of gaseous components at new pit of Yugama

試料採取 年月日	温度 ℃	H ₂ O (V%)	H ₂ O以外のガス組成(V%)					R-ガス組成(V%)				SO ₂ /H ₂ S
			HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	R	He	H ₂	N ₂	CH ₄	
82-10-27	-	-	0.0	10.2	7.8	82.0	-	-	-	-	-	1.3
82-11-3	81.0	-	-	16.9	5.8	77.3	-	0.03	0.014	100	-	2.9
82-11-9	91.4	95.0	0.0	0.1	18.1	81.8	-	0.002	0.49	99.5	-	0.006

リ吸収法、沃素による硫化ガス分離法等を状況に応じて用いわけて火山ガスを採取した。ガスの測定分析結果を表3に示した。この場合直接併記するには必ずしも適当と思われぬデータもあるが、幾つかの資料を併合換算して、あえて一表に示した。それによると10月27日、11月3日にはSO₂がかなり多かったが、噴気が一旦停止して再開した後の11月9日にはそれが著しく減少しているのが最も特徴的な変化であった。10月27日は未だ噴気孔ガスの圧力も高く、且つ噴出量も多く、危険な状態であったが11月3日、9日の測定時には噴気圧力は著しく衰え、ガス採取に困難なほどであった。

4.2 火山周辺噴気孔の火山ガス

同火山山腹、山麓には多くの噴気孔が存在し、筆者らは長年測定をくり返しているが、今回の噴火前後⁵⁾の測定値を表4に示した。それによると今回の噴火活動においては、その前後に各噴気孔ガスの温度、成

表 4 周辺噴気孔の火山ガス化学成分

Table 4 Chemical compositions of gaseous components at Kitagawa, Sesshogawara and Manza Karabuki

試採取 料点	試料採取 年月日	温度 ℃	H ₂ O (V%)	H ₂ O以外のガス組成(V%)					R-ガス組成(V%)					SO ₂ /H ₂ S
				HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	R	He	H ₂	Ar.	N ₂	CH ₄	
山頂 北側	'82-5-26	94.8	97.9	0.0	0.1	13.6	84.7	1.7	0.018	0.058	-	99.9	0.03	0.007
	'82-8-26	94.2	97.9	0.0	0.09	17.5	81.1	1.3	0.045	0.00	0.24	99.7	tr.	0.005
	'82-10-27	93.0	98.0	0.01	0.05	12.7	85.5	1.7	0.017	0.055	-	99.9	0.01	0.004
万座 空噴	'82-5-26	95.9	96.7	0.01	0.4	64.2	34.9	0.5	0.018	1.28	-	98.2	0.50	0.006
	'82-8-24	95.1	98.9	0.0	0.03	75.1	24.4	0.6	0.016	1.96	1.04	96.6	0.43	0.0004
	'82-10-27	95.0	97.3	0.01	0.3	63.7	35.7	0.4	0.017	1.12	-	98.4	0.46	0.005
殺生 河原	'82-15-26	94.0	94.6	0.0	0.2	34.5	64.1	1.2	0.020	0.086	-	98.3	1.61	0.006
	'82-8-24	94.1	94.6	0.0	0.0	33.0	65.8	1.2	0.040	0.189	0.78	96.9	2.09	0.0
	'82-10-27	94.0	91.9	0.01	0.1	31.7	67.2	1.0	0.020	0.081	-	98.3	1.58	0.003

分ともに著しくは変動しなかったことを示している。しかし殺生河原などでは山頂の噴火活動が盛んなうちは硫気総ガス量が若干少なかったという報告もあったが、これを確認することは出来なかった。なお水釜周辺の小さな噴気孔の温度は、噴火後11月3日には夫々56.0, 73.0, 82.2℃を示した。

5. 湯釜湖水の変動

5.1 水位・水温の変動

今回の噴火活動前後の湯釜の水位の変動をこれまでのデータと比較して検討した。噴火開始後11月19日までの毎日の水位の変動を10月28日の水位を0として表5、図3に示した。この値は毎日1回草津町役場

表 5 1982年10月26日噴火後の湯釜湖面の変化, 表面水温, 気温の変化

Table 5 Changes of water level and water temperature at crater lake Yugama

測定月日 ^{*1}	湖 面 ^{*2} (cm)	減少量 (日)	表面水温 ^{*4} (°C)	気 温 (°C)	備 考
10月26	—	—	14. ^{*5}	—	
27	—	—	46.5	—	U-3 (50.6°C)
28	0	—	52.1	—	
29	+ 2	+ 2	55.5	12	
30	- 63	65	48.0	9	13h40m 47°C
31	- 168	105	38	15	
11月 1	- 268	100	32	5	
2	- 328	60	24	5	
3	- 389	61	23	1	最低気温 - 7°C
4	- 405	16	21	9	
5	- 427	22	20	4	
6	- 438	11	19	6	
7	- 449	11	19	5	
8	- 449	0	18	6	
9	- 460 ^{*3}	11	16	8	
10	- 474	14	16	7	
11	- 481	7	17	5	
12	- 487	6	16	-4	
13	- 498	11	16	0	
14	- 508	10	16	5	
15	- 518	10	16	3	
16	—	—	—	—	
17	—	—	—	—	
18	- 529	—	17	4	
19	- 535 ^{*3}	6	—	—	

* 1 毎日 10 h 00 m ~ 10 h 30 m の観測

* 2 10月28日の湖面を0 cmとした時の値

* 3 水準測量値(他の値はこれをもとに補正)

* 4 湯釜U-1(図2)地点, 測岸

* 5 気象庁がU-1の南東約80 mの湖岸で測定

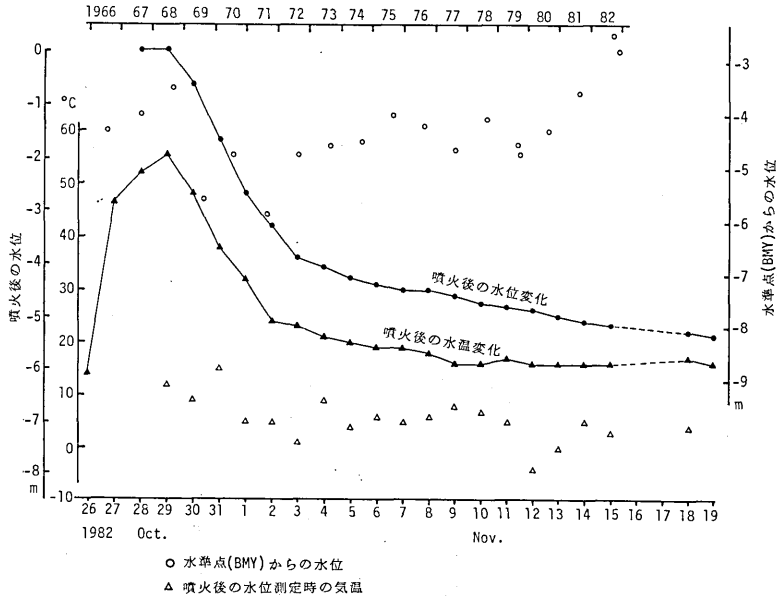


図3 白根山頂火口湖湯釜の水位，表面水温，気温の変化

Fig. 3 Changes of water level, water temperature and atmospheric temperature at Yugama.

の職員が，前日との変化を目測で測定したものを，筆者らが11月3，9，19日に行った水準測量の値と比較して補正したものである。これまで筆者らが行ってきた湯釜南岸の水準点からの水位と，これを10月28

表 6 湯釜湖面の経年変化

Table 6 Changes of water level and volume of lake water at Yugama

	*1 湖面 I (cm)	*2 湖面 II (cm)		*1 湖面 I (cm)	*2 湖面 II (cm)
1966-7- 4	- 430	- 151	1976- 8- 2	- 422	- 143
'67-8- 3	- 398	- 119	'77- 7-29	- 466	- 187
'68-8- 4	- 349	- 70	'78- 7-27	- 407	- 128
'69-7-28	- 556	- 277	'79- 7-31	- 454	- 175
'70-7-22	- 474	- 195	'79- 9-15	- 474	- 195
'71-7-29	- 584	- 305	'80- 7-29	- 430	- 151
'72-7-28	- 474	- 195	'81- 7-27	- 358	- 79
'73-7-25	- 458	- 179	'82- 8-26	- 252	+ 27
'74-7-29	- 450	- 171	'82-10-28	- 279	0
'75-7-25	- 399	- 120			

*1 湯釜湖岸に設けた水準点よりの高さ。

*2 1982-10-28の湯釜湖面を0cmとした時の高さ。

日の規準で換算した値を表 6, 図 3 に示した。それによると噴火開始直後の水位は例年になく高いものであり, またそれ以後の水位の低下は著しく, 11月19日には累計 535 cmに達しさらに低下を続けている。

一方表面水温は噴火当日は水面にわずかに白煙が認められる程度であったが, 本格的な温度上昇は 2 日目の10月27日から始まり29日には最高の 55.5℃にも達した。それ以後は急速に降下し11月 9 日にはほぼ平常にもどった(表 5, 図 3)。

5.2 湖水成分の変化

筆者らがこれまでくり返し行っている湯釜湖面の採水定点¹⁾, U-1, U-2, U-3 において10月27日, 及び11月3日, 11月 9 日に採水を行い, それらの分析値を噴火前の同年 8 月26日採水のデータと比較し表 7 に示した。それによると噴火の前後で成分の変動は極めて顕著であり, SO_4^{2-} (硫酸)と Ca^{2+} (カルシウム)の増加がもっとも大きく, 夫々濃度で 1,300 mg/l, 90 mg/l 上昇しており, また H_2SiO_3 (珪酸)が 50 mg/l, ΣFe (総鉄)は 40 mg/l 増加しており, その他の成分も Mg^{2+} (マグネシウム) 30 mg/l, Na^+ (ナトリウム) 10 mg/l, K^+ (カリウム) 6 mg/l と夫々増加した。

これを割合にすると Mg^{2+} が約 10 倍, Ca^{2+} , Na^+ が約 3 倍になる。しかしその後は SO_4^{2-} や Ca^{2+} は増加を続けているが, Mg^{2+} , Na^+ はその逆に減少している。

表 7 湯釜湖水の化学成分変化

Table 7 Chemical compositions in lake water at Yugama

	1982	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	ΣFe	Al^{3+}	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2SiO_4
U-1	8-26	10.3	9.7	107	4.9	91.6	151	2,050	3,846	158
	10-27	22.3	15.6	390	40.2	123	133	2,030	4,309	210
	11-3	18.4	16.7	378	26.9	116	156	2,080	5,104	202
	11-9	18.9	17.7	400	27.9	132	164	2,070	5,188	212
U-2	8-26	10.8	10.1	105	4.8	94.4	146	2,100	3,505	161
	11-3	18.1	16.8	379	26.5	115	150	2,050	5,089	192
U-3	8-26	10.4	9.8	106	4.7	94.4	138	2,020	3,873	159
	10-27	21.2	15.9	387	40.3	122	130	2,020	3,753	214
	11-3	18.1	16.5	383	26.7	116	151	2,060	5,108	190

6. 検討と考察

6.1 噴火形態

a. 既述のように今回の固形噴出は X線回折法ならびに化学分析の結果, いずれも粘土鉱物を含んでおり, 化学成分的にも著しく変質したもので, 新鮮な溶融マグマから直接供給されたものを含まない。

b. 放出直後の新噴出物はいずれも湿潤状態にあり黒灰色を呈しており, これは固形噴出物にガス中の凝縮水が付着しているものであり, 噴出温度があまり高くなかったことを意味している。

c. 固形噴出物に含まれるモンモリロナイト, カオリナイトなどの粘土鉱物が脱水しないまま放出されており, 噴出時高温にさらされていないことを示す。

d. 化学成分変化傾向が Fe (鉄) に富み, しかも硫化鉄を含む事, などから噴出物には地表下浅所で

変質した物質を含んでいることがわかった。⁴⁾

e. 観測によれば、噴火発見直前まで火山性地震の発生が認められなかった。^{*}

f. 同火山近年の噴火はすべて水蒸気爆発のみであった。

以上の結果から、今回の噴火活動は同火山特有の水蒸気爆発であろうと推定される。

6.2 新火孔噴出火山ガスの成分変化

表2に示す新爆裂火孔からの噴出ガス成分について検討すると、噴火後1～2週間で温度は81.0～91.4℃と低い値を示したが、その温度或は活発度を示す $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ の値は最初の2回は1.3～2.9でやや高温の起源を示唆しており、さらに11月9日にはこの値が0.006と著しく低下し、ガス圧も著しく低くなった。この事からも今回の噴火が単なる水蒸気爆発であり、その持続力も弱少の、浅い位置での噴火であることが推定される。⁶⁾

またRガス(残留ガス)もそのほとんどが N_2 (窒素)であり H_2 (水素)、He(ヘリウム)等の活発時に多いガスは極めて少ないことも判明した。

6.3 周辺噴気孔ガスの成分変化

今回噴火以前から存在する各噴気孔のガス成分を分析し、これを最近の分析結果(1982年5月26日と8月24～26日の結果)と比較した結果、これらの噴気孔は今回は噴火発生前後に著しい成分変化を示さなかったことが判明した。殺生河原の噴気量も徐々に旧に復した様である。

6.4 湯釜水位の変化

本年は夏季に著しい降雨量を示し、もともと湯釜の水位は例年になく上昇していたが(表6, 図3)爆発活動の衰退があらわれはじめた10月30日頃より、11月3日までは湖面の急激な降下が始まり、最初は1日60～100cmの降下を示した。11月4日頃からは、その減少率が小さくなり、1日5～10cmの減少を示すようになった。これは主として噴火の圧力の降下とともに水面下で噴出した火孔に湖水が逆流したためと考えられ、また最初はそれが直接の落差により行われたために急激であったが、その後は浸透による湖水流出のため、湖面の低下は緩慢になったものと解釈される(図4参照)。

6.5 湯釜表面水温の変化

湯釜の湖は10月26日午後3時、筆者が目撃した時既に湖面の大部分から、わずかの水蒸気を上げていた。これは後に考えれば湖面のごく表面のみに温水の薄い層がフィルム状に流れたものと考えられ、同日夕刻の気象庁の測定による表面水温は14℃であった。これは東大の荒牧重雄教授も確認されている。水温の本格的上昇は翌27日から始まり湖面には水蒸気が立ちこめ29日には頂点に達した。この湖面温度の上昇は、当時は水面下にあった新火孔より噴出する火山ガスにもよるが、後述する理由により、噴出する高温の熱水の混入によるところが多いと考えられる。その後30日から温度の降下が始まり、11月9日にはほぼ旧に復した。

6.6 湖水成分の変化

噴火後3回にわたり採取した湯釜表面湖水の成分を噴火前の1982年8月26日のものと比較すると図5のようになり、 SO_4^{2-} ばかりでなく Ca^{2+} 、 H_2SiO_3 、 ΣFe 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ などの金属イオンも増加している。このことは湖水の成分変化が単に火山ガスの湖水中への放出により引きおこされるのでは

* 前橋地方气象台による。

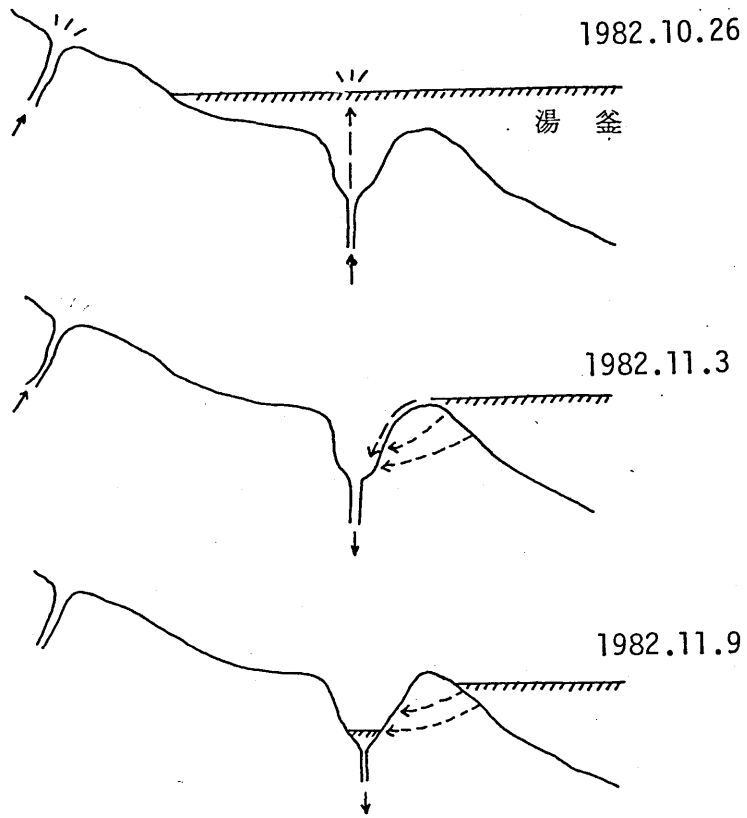


図4 湯釜新火孔の断面模式図

Fig.4 A cross section of new pit of Yugama

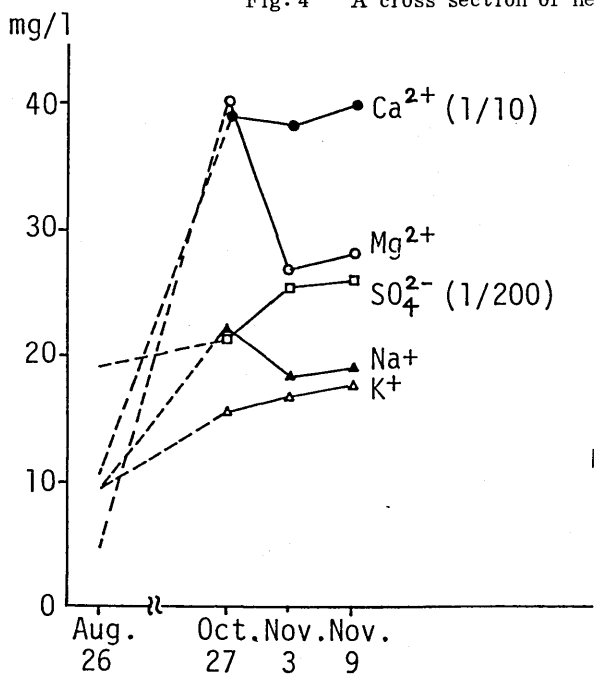


図5 湯釜湖水の化学成分変化

Fig.5 Changes of chemical composition in lake water at Yugama

なく、これらの陽イオンの増加は、現湖水より高濃度の熱水が湖中へ流入したためおこったと考えざるを得ない。なおその後の測定により SO_4^{2-} や Ca^{2+} 、 K^+ などがさらに濃度が高くなるのは、湖水温が高かったための蒸発濃縮に加えて、さらに高濃度の湧水が湖水中に供給されているものと考えられる。また Mg^{2+} 、 Na^+ などの成分はその後一時濃度が減少した。この事はこれらの成分が湖中で沈殿したためか、或はその後供給される地下からの湧水中のそれらの成分のみが何らかの理由で薄いためではないかと解釈される。

7. あとがき

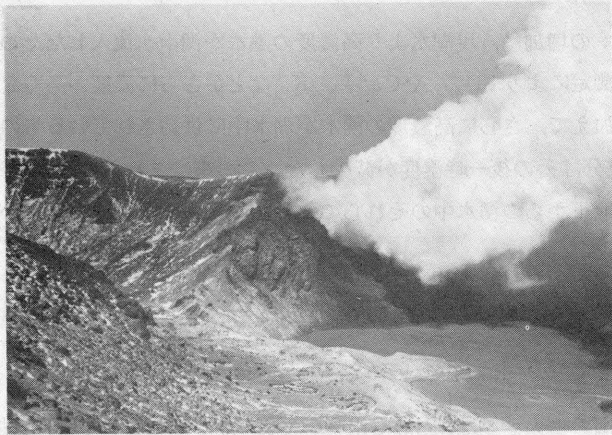
以上の結果を総括すると、

- 1) 今回の草津白根火山の噴火活動は、固形噴出物の変質状況、推定される噴火温度、噴出物の湿潤状態、噴火発生状況等により単なる水蒸気爆発と判断される。
- 2) 上述の件は新噴出ガスの成分温度 ($\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 値) が最初は大きく、それ以後急激に降下した事によって推定される。
- 3) 今回の噴火活動においては山麓噴気孔の成分にまでは影響を与えなかったようである。
- 4) 湯釜湖水の水位は噴火後急速に減少したが、これは主として、湯釜水面下に新たに生じた爆裂火孔への湖水の逆流によるものである。
- 5) 湖水成分は噴火後著しく高濃度に変化したが、これは主としてこの活動により湖水中に高濃度の熱湧水が多量に供給されたためと考えられる。
- 6) 噴火中から湯釜湖水の表面水温が急激に上昇したが、これも主として上述の高温湧水の流出混入によるものと考えられる。

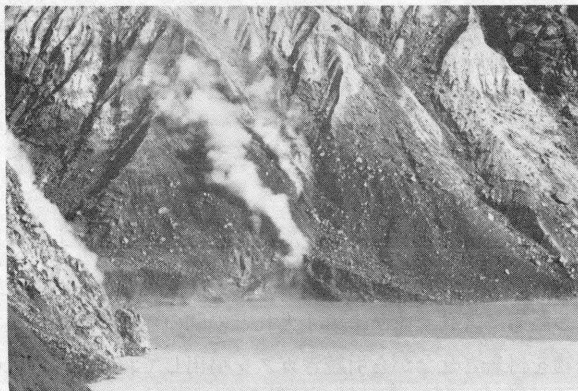
その後11月6日に復活した第3火孔、並びに第4火孔との間の窪地に新たに生じた新噴気現象(図2, No.7)は、硫黄の昇華物を付着させながら引続きガスを噴出しており表面的には平穏な状況であるが、一方湯釜の水位は下降を続けており、さらにまた同火山のこれまでの噴火活動が一回限りの水蒸気爆発で終ることの少ない事実を併せ考えても、今後の同火山の活動経過については特に注意深く見守る必要があろう。

終りに本調査にあたって、種々御便宜をおはかり下さり、或は御協力、御助言を賜った気象庁火山室、前橋地方气象台、草津町役場の各位、並びに中之条高校の下谷昌幸氏らに深く感謝申し上げます。

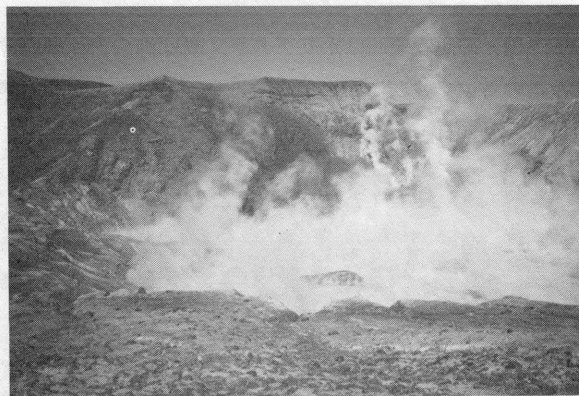
なお、本稿とりまとめ後の12月29日、草津白根火山が再爆発をおこしたが、これについては改めて報告の予定である。



昭和57年10月26日（草津町撮影）



昭和57年10月27日



昭和57年10月28日

参 考 文 献

- 1) 東京工業大学工学部・理学部, 上智大学理工学部(1976): 草津白根火山 1976 年活動とその前後の水質・ガス成分の変化, 火山噴火予知連絡会会報, 7, 11 ~ 19.
- 2) J. Oosaka et.al.(1980): Variation of Chemical Compositions in Volcanic Gases and Waters at Kusatsu-Shirane Volcano and Its Activity in 1976. Bull. Volcanologique 43, 207 ~ 216.
- 3) 小坂丈予ほか(1980): 草津白根火山湯釜湖底の溶融硫黄について, 火山Ⅱ 25, 309.
- 4) 小坂丈予(1982): 粘土鉱物による火山活動の解析, 粘土科学 22, 127 ~ 137.
- 5) 野村昭之助ほか(1979): 草津白根火山周辺の火山ガスの成分的特徴とその由来について, 日本地熱学会誌 1, 117 ~ 134.
- 6) 小坂丈予ほか(1978): 地球化学的手法による噴火予知, 火山Ⅱ 23, 33 ~ 40.
- 7) 気象庁(1975): 日本活火山要覧, 44 ~ 46.