

草津白根火山1982年の活動と地球化学的研究(その2)*

東京工業大学工学部
上智大学理工学部

1. まえがき

1982年10月26日、水釜噴火以来6年目、湯釜火口としては40年ぶりに噴火した草津白根火山は、その後小康状態を保っていたが、約2ヶ月後の同年12月29日再度の水蒸気爆発を行った。筆者らは前回噴火後の湯釜の水位の変化、湯釜湖水成分、新噴火孔からの火山ガス、或は東麓河川水の成分などの観測をくり返して行って来たので、その結果と同火山の活動の推移について報告する。

2. 活動の経過

1982年10月26日、最初の噴火発生後、湯釜火口湖内での高温の熱水の湧出による湖面温度の上昇や、噴気活動も10月29日頃からは徐々に衰退しはじめ、噴気も一旦はほとんど停止し、湖水面の上昇も止まり逆に急激な下降に転じ、水面下に生じた主火孔(気象庁のNo.7火孔)が露出するようになった。しかし11月上旬には湯釜北西岸の噴気孔(No.6或はその南西側)および西壁の噴気孔(No.2)から再度弱い噴気が見られる様になり、また湯釜湖面の低下速度も著しく鈍化して来た。

しかし前橋地方気象台により同年12月19日頃より火山性微小地震の増加が報じられ警戒中のところ、12月29日午前5時40分頃湯釜北西隅の主火孔(No.7)から再び水蒸気爆発が発生し、水蒸気、泥水、火山灰、火山岩塊等を放出した(図1~2参照)。噴煙の高さは一時700mにも達し、火山灰は北東方向に約4km、噴出岩塊は西方約400mまで火口縁を越えて弾道放出され、その最大径は約70~80cmに達する

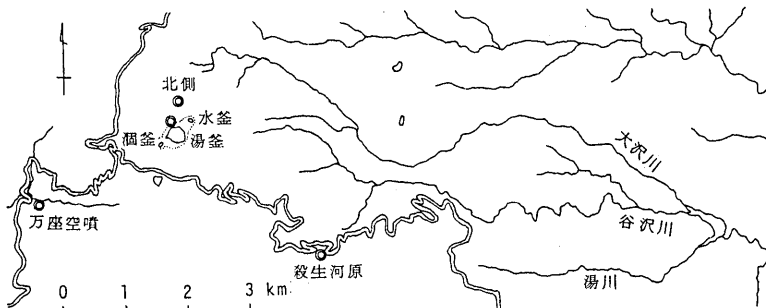


図1. 草津白根火山周辺図

Fig.1. Sketch map of Kusatsu-Shirane Volcano

* Received July 28, 1983

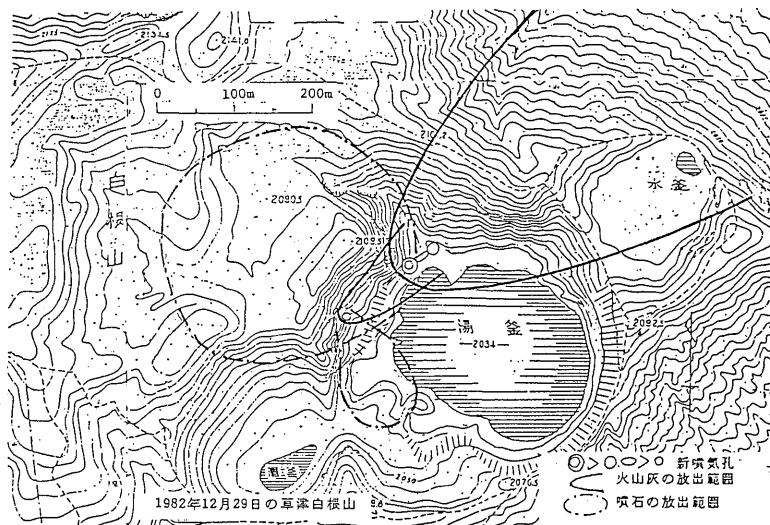


図2 草津白根火山1982年12月29日噴出物の分布

Fig.2. Map showing the distribution of ejecta on December 29, 1982 from the Kusatsu-Shirane Volcano.

ものもあった。また一部の噴石は西壁火孔（No.2）から南東方向に約200m飛散した。主火孔（No.7）はその後もしばらくは泥水の湧出、噴気活動、小規模の火山灰放出等が続けたと考えられるが、悪天候にはばまれ詳らかではない。

この活動は1月上旬までは弱い形で持続したようであろうが、その後は平穏な状況が続いた。しかし、3月9日早朝には前橋地方気象台により顕著な火山性地震が感知され、同火山々頂付近に何らかの異変があったものと推定されるが、3月12日に筆者らが現地調査した限りでは著しい地表活動の痕跡は認められなかった。その後4月中旬には西壁火孔（No.2）の噴気がやや盛んになり、また雪どけ水の流入により、北西岸主火孔（No.7, No.6）に溢水が見られたりしたが、表面活動は概して平穏な状況を保ってきている。しかし気象庁では4月上旬には火山性微動が、5月に入っても火山性微小地震の発生がやや多く、地下での活動はなお引続いているものと考えられ、今後の活動には十分注意を要するものと警告されている。

3. 湯釜水位の変動

湯釜の湖面の水位はその後の調査でさらに詳しく判明したのであるが、噴火直前極めて高いものであったのが噴火開始と同時に一旦さらに急上昇し、10月29日を限度として急激な下降が始まり、一時は105cm/日の速度で水位が低下した。しかし11月3日頃よりその低下速度が衰えはじめ、中旬には10cm/日から5cm/日になった。しかし12月29日の第2回目の噴火前後の測定では、その水位が一時的に上昇に転じたことが判明した。その後水位は再び降下にもどり、1983年1月28日の測定では最低の-859cm（噴火後の最高水位より861cm低下）を示した。これ以後は湖面下の漏水量の減少と融雪水の流入によって徐々に水位の上昇が始まり、同年5月1日には一旦-749cmまで回復した。ここで水位は再び降下に転じ6月5日現在で-782cmを示している。（表1、図3参照）。

表1. 湯釜湖面水位の変動

Table 1. Changes of water level at crater lake Yugama

測定年月日	湖面 (cm) ^{*1}	変動量 (cm)	日間 (日) ^{*3}	変動量/日 (cm)	水温 (°C)
1982年10月23日	- 81	-	-	-	-
26日	- 88	- 7	3	- 2.3	14.0
27日	- 22	+ 66	1	+66	46.5
28日	0	+ 22	1	+22	52.1
29日 ^{*2}	+ 2	+ 2	1	+ 2	55.5
11月 3日	-389	-391	5	-78.2	18.8
9日	-460	- 71	5	-14.5	17.0
19日 ^{*2}	-535	- 75	10	- 7.5	-
12月24日	-726	-191	35	- 5.5	5.0
30日	-712	+ 14	6	+ 2.3	2.7
1983年 1月28日	-859	-147	29	- 5.1	-0.4
3月12日	-841	+ 18	43	+ 0.4	6.5
4月16日	-804	+ 37	35	+ 1.1	3.0
5月 1日	-749	+ 55	15	+ 3.6	
6月 5日	-782	- 33	35	- 0.9	19.8

*1 1982年10月28日の水位を0cmとした時の値

*2 この間の詳細は前報(予知連会報26)参照

*3 前回測定日からの日数

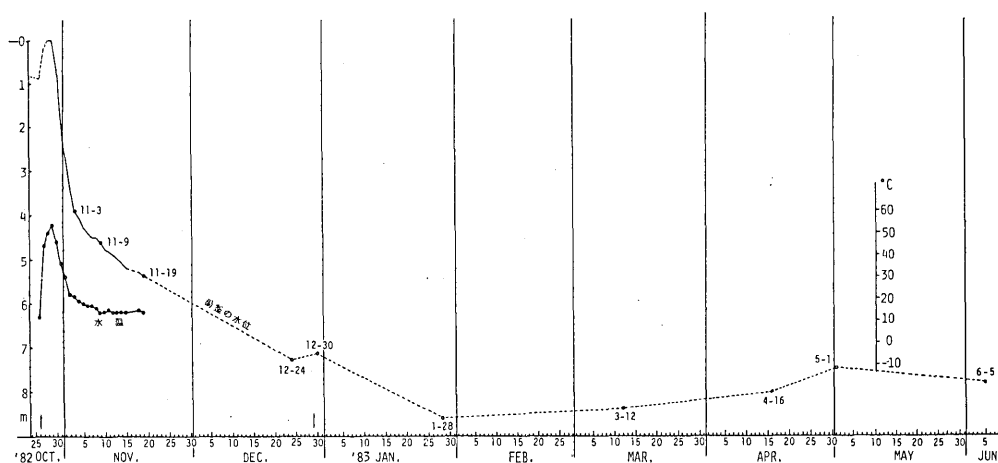


図3. 火口湖湯釜の水位変化

Fig.3 Changes of water level at crater lake Yugama

また湯釜の水温は既報の通り噴火後一時的に著しく上昇したがその後降下し、11月10日頃までに平常値にもどりその後は、ほぼその状況を保っている。

この水位、水温の変動は湯釜火口の構造と噴火機構に起因するもので、このため同火口の噴火活動や、また湯釜湖水の水質の変化とも密接な関連をもつものである。

4. 湯釜水質の変化

湯釜の水質は既報のように噴火後著しく高濃度になったが、水温が降下した後も表2、図4に示すよう

表2 噴火後の湯釜表面水の成分変化

Table 2. Chemical compositions in lake water at crater lake Yugama

Date	'82. 10. 27	'82. 11. 3	'82. 11. 9	'83. 12. 24	'82. 12. 30	'83. 1. 28	'83. 3. 12	'83. 4. 16	'82. 12. 30*
W.T. °C	46.5°C	18.8	17.0	5.0	2.7	-0.4	6.5	3.0	17.2
pH	1.3	1.28	1.30	1.35	1.29	1.43			3.26
Na	23.1	20.0	20.5	24.4	23.5	27.6	33.7	27.5	40.4
K	16.2	16.6	17.4	17.6	17.5	17.8	18.3	15.3	28.8
Ca	390	377	399	403	402.	478	446	384	718
Mg	37.2	27.4	29.4	35.1	36.3	44.1	52.0	41.8	98.9
Fe ²⁺	121	115	131	156	156	165	171	138	154
Fe ³⁺	2.0	0.7	0.5	0	1.4				1.4
Al	133	156	164	176	178	190	215	172	76.0
Mn	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.8	1.4	4.8
Cl	2030	2080	2070	2090	2050	2030	3120	2440	587
SO ₄	4309	5104	5188	4984	4952	4639	4721	3006	2251
H ₂ SiO ₃	210	202	212	254	254	278	349	282	109

* 湯釜西火口壁湧水

に1983年3月測定時までには多くの成分についてわずかながら増加の傾向が続いた。しかし同年4月16日の測定時から、地下からの熱水の供給がおとろえたのと、大量の雪解け水の流入によって、はじめて各成分とも濃度の減少が認められた。3月12日までの期間中でもCa²⁺、Na⁺の増加が特に著しく、またMgは一旦増加後減少し、再び急速に増加しており、Al³⁺、Fe²⁺、K⁺はわずかずつ増加した。これに引きかえSO₄²⁻は一旦増加後はわずかずつ減少しており、またCl⁻は噴火開始時ほとんど変化がなかったのが1983年1月28日と3月12日の間に著しい増加を示したのは特筆に値する。

また図4には1966年からの毎年夏期の湯釜U-1地点の表面水の成分変化も示したが、いずれの成分もわずかずつながら減少の一途をたどっているのがSO₄²⁻のみは1976年頃より一時的に増加の傾向を示している。

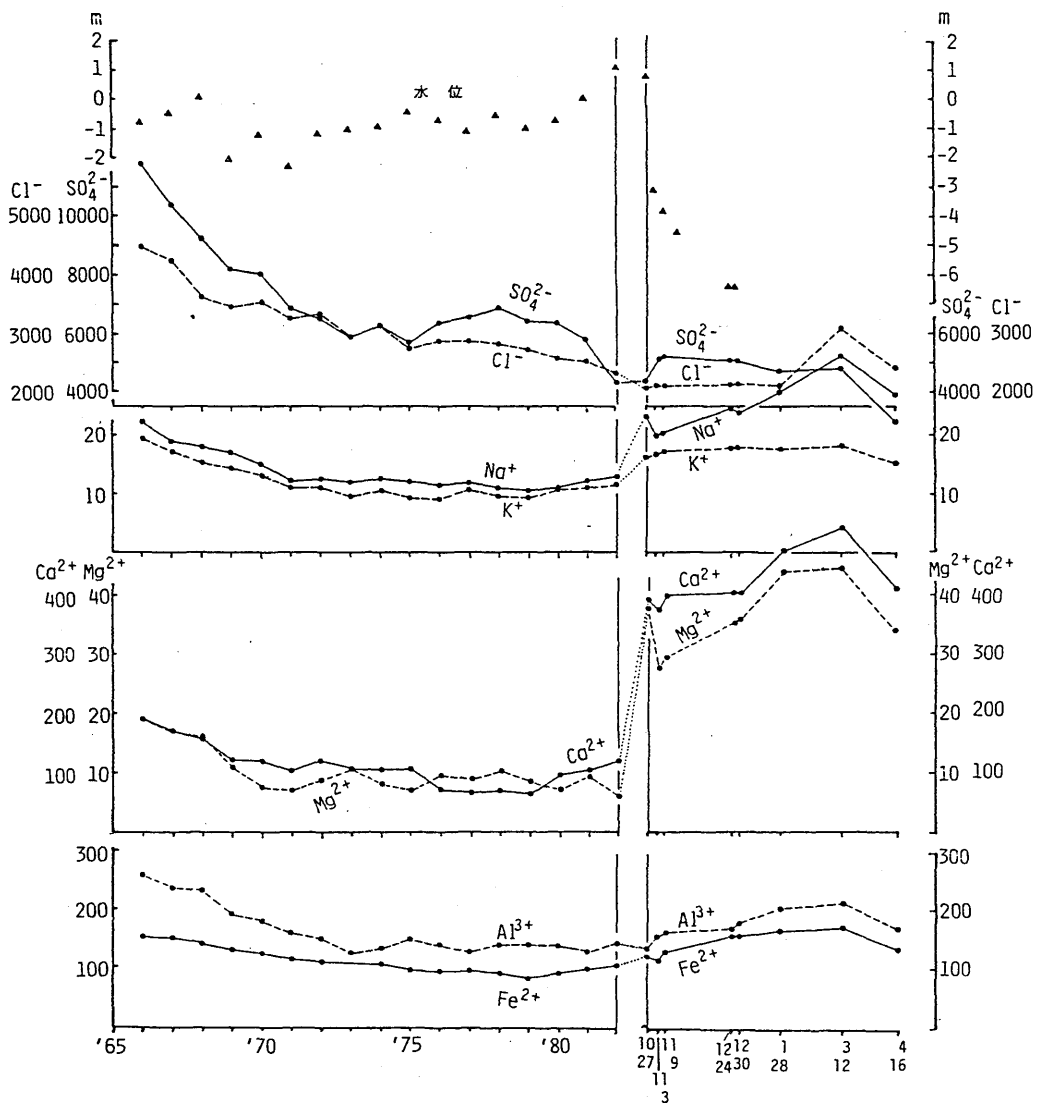


図4. 火口湖湯釜の水質変化

Fig.4 Changes of chemical compositions in lake water at crater lake Yugama

5. 火山ガス成分の変化

前報にも述べたように今回の一連の噴火の前後において、筆者らがこれまで継続観測を続けて来た山麓の殺生河原、山頂北側、万座空噴などの諸噴気孔の噴出ガスはその温度・成分ともほとんど変化が認められなかった。このことは今回の噴火の特徴とも考えられるが、このたびの活動で新たに発生した湯釜周辺の噴気孔のガス成分は次のような変化が行われた。

即ち表3、図5に示すように噴火当初の10月27日、11月3日の2回の観測では明らかにSO₂が多くSO₂>H₂S型の成分であったが、その後は急速にSO₂が減少し、11月9日、12月24日、1月28日などの

* 火山噴火予知連絡会々報26号P8-19

表 3. 新火孔の火山ガス細成

Table 3. Chemical compositions in volcanic gases of new pit at Yugama.

Date	Temp. °C	H ₂ O V%	Chemical composition of gaseous components exclusive of water V%					Chemical composition of residual gas V%				
			HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	R	He	H ₂	Ar	N ₂	CH ₄
'82. 10. 27 ¹	—	—	0	10. 2	7. 8	82. 0	—					
'82. 11. 3 ²	81. 0	—	—	74. 3	25. 7	—	—					
"	64. 1	—	0	22. 7	77. 3	—	—	0. 030	0. 14	0. 01	99. 95	0
			(0)	(16. 1)	(5. 8)	(77. 3)	—	(0. 030)	(0. 14)	(0. 01)	(99. 95)	(0)
'82. 11. 9 ³	91. 4	95. 0	0	0. 1	18. 1	81. 8	—	0. 002	0. 49	0. 55	99. 9	0
'82. 12. 24	94. 1	99. 2	0	0. 9	44. 7	53. 3	1. 1	0. 012	48. 3	0. 55	51. 1	0. 055
"	"	99. 2	0	0. 8	42. 0	56. 3	1. 0	0. 011	45. 7	0. 57	53. 5	0. 228
'82. 12. 30	—	—	—	—	—	—	—		0. 065		99. 9	
'83. 1. 28 ¹	—	—	0	0	11. 5	88. 5	—	0. 034	0. 026		99. 9	
'83. 3. 12 ³	91. 2	97. 0	—	0. 6	0. 06	99. 3	—	0. 002	0. 263		99. 7	
'83. 4. 16 ³	84. 2	95. 8	—	—	8. 3	91. 7	—	0. 001	0. 022		99. 98	

1 噴気孔近くの大気中の火山ガス組成

2 H₂Oは, 検出されなかった

3 H₂Oの含有量は, H₂Oと酸性ガスの含量から求めた。

()内の組成は11月3日の推定値

観測ではSO₂が著しく少ないか或は検出できない程でいずれもSO₂<H₂S型のものであった。ところが3月12日の測定では全体的に極めて稀薄なガスしか採取し得なかったが, 明らかにSO₂>H₂S型の活発なガスであった。しかし4月11日の観測ではまたもとのようなH₂SのみでSO₂を含まないガスにもどってしまった。

一方12月の噴火の5日前の12月24日のガスにのみ, 2回の採取試料ともに水素ガス(H₂)が残留ガス(R)の約50%含まれていることが判明した。

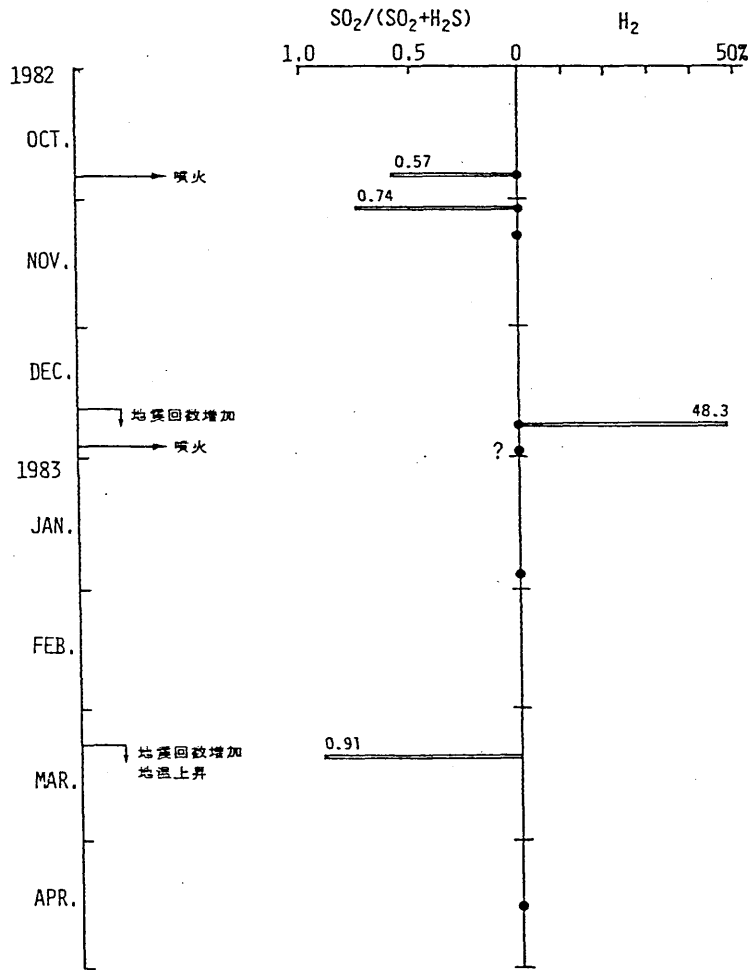


図5. 1982年10月噴火以後の新火孔ガスの $\text{SO}_2/(\text{SO}_2+\text{H}_2\text{S})$ および H_2 含有量

Fig.5 $\text{SO}_2/(\text{SO}_2+\text{H}_2\text{S})$ ratio and H_2 content in volcanic gases of new fumaroles of Yugama.

6. 東麓河川水の成分変化

草津白根山東麓には草津温泉水を主なる源泉とする湯川と、草津白根火山山頂付近に源を發する谷沢川、大沢川の3河川(図1)が、同火山の影響により強い酸性を示している。それ故この3河川の噴火との関連を求めるため、湯川については1965年以来、谷沢川については1970年、大沢川については1975年来の水質分析の結果を検討した。河川水は天候、特に降雨量により著しく成分濃度が変化するため、比較的他の影響をうけにくい K^+ を基準として、その他の成分との割合を求めて比較した。その結果 Cl/K の値に噴火との関連が認められた(表4、図6)。この三河川中谷沢川のみ Cl/K の値が噴火の前後において著しく増大し、その後もこの傾向は続いている。更に注意して以前のデータも検討したところ1976年の同火山水釜噴火の際にもそれにさきがけてやはり谷沢川のみこの値の増加が認められた。

表 4. 湯川, 大沢川, 谷沢川におけるK, Cl 濃度とCl/Kの変化

Table 4. Changes of K and Cl content, and Cl/K ratio in waters of Yukawa, Ohsawagawa and Yazawagawa.

測定年月	K mg/l			Cl mg/l			Cl/K		
	湯川	谷沢川	大沢川	湯川	谷沢川	大沢川	湯川	谷沢川	大沢川
'65-8	12.4			400.			32.3		
'66-7	11.1			353.			31.8		
'67-7	11.5			336.			29.2		
'70-7	9.7	5.5		276.	134.		28.5	24.4	
'71-8	11.4	5.0		323.	115.		28.3	23.0	
'73-7	10.7	4.3		296.	61.9		27.7	14.4	
'75-7	9.4	4.3	9.3	265.	72.2	184.	28.2	16.8	19.8
// -10	9.7	4.9		265.	91.2		27.3	18.6	
'76-3	10.9	6.0		289.	134.		26.5	22.3	
// -4	10.5	5.5		267.	114.		25.4	20.7	
'77-7	9.35	4.85	11.3	266.		253.	28.4		22.4
'78-7	10.0	5.6	10.9	261.	107.	215.	26.1	19.1	19.7
'79-7	9.70	4.52	9.18	276.	76.4	220.	28.5	16.9	24.0
'80-7	9.20	4.31	11.2	251.	74.6	235.	27.3	17.3	21.0
'81-7	7.4	4.4	9.5	174.	55.6	166.	23.5	12.6	17.5
'82-8	7.57	3.67	7.69	191.	48.9	161.	25.2	13.3	20.9
// -11	8.71	4.51	9.86	226.	84.7	201.	25.9	18.8	20.4
// -12	9.05	5.66	10.4	239.	123.	201.	26.4	21.7	19.3

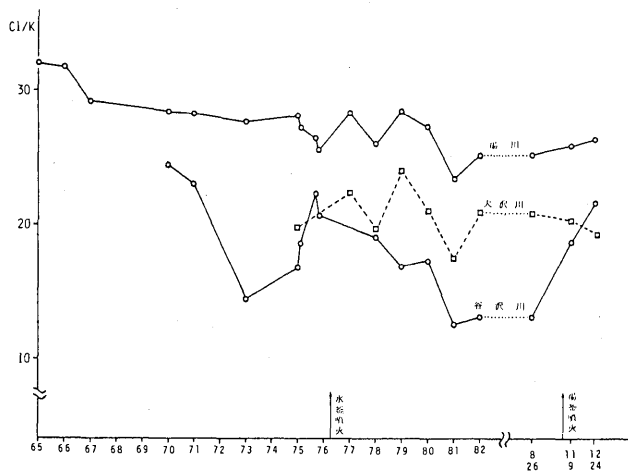


図 6. 湯川, 大沢川, 谷沢川におけるCl/Kの変化

Fig.6 The variation of the Cl/K ratio in waters of Yukawa, Ohsawagawa and Yazawagawa.

7. 検討と考察

7-1. 噴火状況と噴出物分布

今回の噴火も噴火状況、噴出物の内容等から考えて前回よりやや深い位置で発生した水蒸気爆発と考えられる。放出された火山灰は風向によってその風下である北東方向に分布したが、放出岩片は湯釜西北岸の主火孔から火口縁をこえて約400m西方まで弾道放出された。さらに湯釜の南半分に分布している岩片はその大きさや分布から湯釜西壁上方の火孔の小活動によって放出されたものと考えられる。

激しい爆発は同日の一回限りで、その後主火孔よりの溢水や、西壁上火孔の噴気などが時々認められる程度で、その後も火山性微小地震や微動は時々発生する（前橋地方気象台の発表による）ものの、顕著な地表活動は認められなかったようである。

7-2. 湯釜水位の変動と噴火活動

既報のように湯釜の水位の低下は著しく、これは湯釜湖底よりの漏水と考えられるので、その水がどこへ移動するかを確かめるため、草津白根火山周辺の河川水への浸透を考慮して、噴火前後の水質の変化を求めたが、濃厚な湯釜湖水の河川水への顕著な影響は認められなかった。従って漏出した膨大な量の湯釜湖水は地下深所に浸透して新たな水蒸気爆発発生要因になることが懸念されていたところ、1982年12月29日、湯釜主火孔において再度爆発が発生した。

噴火前後の詳しい状況を総合した結果、'82年10月26日の噴火直後には湯釜の水位が合計約80cm急上昇したことが判明した。また同年12月29日の噴火でもその前後のみ水位が14cm上昇した。後者は噴火の直前の測定値がなく、それ故これよりいく分大きな値であったかも知れない（図3）。いずれにしても噴火に湖面水位の上昇をともなうものようで、これは図7にも示すように、火口下につながる火道を満たした水が、噴火にあたって湖中に放出されるためと考えられよう。

その後圧力が衰えたとともに火道その他を通じて湖水が逆流し、著しい湖面水位の低下がおこるが'83年1月28日測定の前後から、漏水量が減少し、逆にこの頃からは雪解け水の流入が増加して水位は徐々に上昇しはじめた。しかし同年5月1日頃になると、融雪量も減少し湖中への流入量も減り、一方漏水は未だ続いているので再び湖面の低下が始まったと考えることが出来よう。

7-3. 湯釜湖水成分の変化と水位変動

1966年以來の湯釜湖水の変化（図5）を見るとほとんどの成分が年々減少しているが、これは湯釜湖面上昇による湖水量の増加にともなう希釈では説明しきれず、これは湖底からの漏水による成分濃度の低下か、沈澱の生成による溶存成分の減少しか考えられないが、湯釜湖水が高濃度とはいえ、そのほとんどの成分が飽和濃度に達していない事から、後者の理由は考え難い。いずれにしても溶存各成分が減少しつつある中で SO_4^{2-} 成分のみは噴火数年前から上昇の傾向にあり、これはおそらくは地下からの硫化ガス成分の供給があったものと考えられ、これは一種の前兆現象として捕らえることが出来るのではないかと考えられる。

一方噴火直後の湖水の温度急上昇と成分濃度の増加は、前報でも既に噴火にともなう高温の火山ガスの放出に加えて高温、高濃度の湧水の噴出と湖水への混合によって説明した。しかしその後の急激な水位の低下とともに湖水面が急速に低下したのは、高温の湧水は高濃度でも比重が小さく、冷たい在来の湖水面に乗って拡がり、浅い湖面下にあった主爆裂火孔から湖水が逆流下した際、この温い湖面の水が優先的に流失したためと解釈した。しかしその間にも新湧出水の湖水との混合は進行し、水温低下後も湖水の高

濃度は保たれている。そればかりでなく、その後湖水は更に高濃度化が進み、しかもその傾向が成分によって異なるのは、湖水逆流による湖面低下時期でも、この湖水中には他の場所からの高濃度湧水の供給が続いており、さらにその成分濃度や割合も別々変化しつつあるものと推察される。

また表3に示した湯釜西火口壁湧水は、噴火後に湧出したものであるが、これと類似の成分で高温の湧水が湖中にも湧出したものと考えられ、在来の湖水に較べて著しく高濃度の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ などの各成分が湖水に供給されて新湖水の成分が構成された事がよくわかる。当然の事ながら在来成分よりわずかに高濃度か、同程度、或はやや稀薄な各成分は湖水の成分にあまり大きな変動を与えていないことも理解出来る。

また表5には同火山の今回の固形噴出物を実験室において蒸留水で抽出したものの成分であるが、その各成分割合は、空釜のみを除いてさきの噴火湧水と酷似している。これは今回の噴火で高温の火山ガスと熱水が、これらの固形物が噴出前の地中に堆積貯留されている中を通過する際、固形物に含まれている可溶性成分を溶出し、一部は高温湧水となり、さらに固形物をまきこんで上昇噴出したことを考えれば容易に説明される。

以上の諸結果を総合して前述の各種水質の相互の関係を図8に示す。即ち各成分中からMg-Na-Kの3種を選び、3成分図にプロットした。その結果、噴火前の湯釜湖水と噴火後の湯釜西壁湧

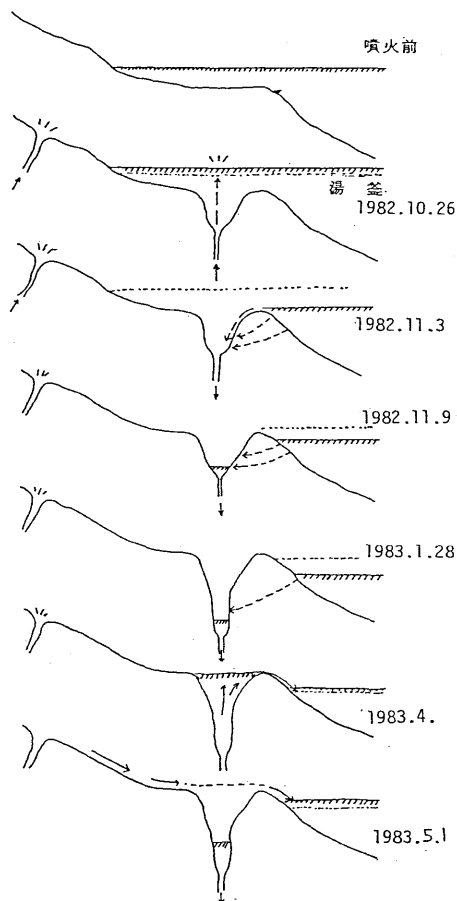


図7. 湯釜新火口の模式断面図

Fig.7 A cross section of new pit of Yugama.

表5. 草津白根火山1982年噴火固形噴出物の水溶性成分

Table 5 Water-soluble compositions of volcanic ejecta

mg/kg

	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Al ³⁺	Mn	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	SiO ₂	Cl/S
¹ 82.10.26 殺生河原	3.7	676	379	10400	622	425	64.1	33.1	13300	12090	519	2.98
" 酒釜	3.1	70.4	43.1	2040	122	1400	261	5.7	276	20080	698	0.04
¹ 82.12.29 湯釜西壁	3.1	564	246	5780	700	647	168	30.5	1950	18160	647	0.29
" 湯釜西壁*	3.2	468	198	5800	578	632	211	25.4	2030	17480	669	0.31

* 泥流

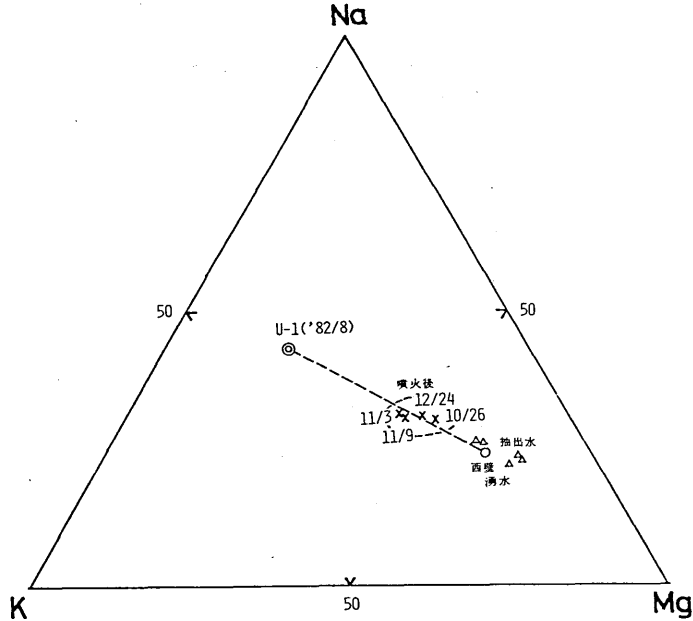


図 8. 湯釜湖水，湯釜西壁湧水，火山灰水溶性成分の Na-K-Mg 三成分図

Fig.8 Relations of the Na-K-Mg in lake waters of Yugama, spring water from new pit and water-soluble components of volcanic ejecta.

水や固形噴出物抽出水の投影点を結ぶ直線の上に噴火後の湯釜湖水成分のすべてが配列しており，この点からも噴火後の湯釜湖水は，在来の湖水に新湧水や抽出水と類似の成分をもつ熱水が混入したために生じたものであることが，これら各成分の溶存割合の変化からも立証し得たことになる。

7-4. 火山活動の変遷と火山ガス成分の変化

今回の噴火にあたって同火山麓地域に分布する主要噴気孔のガス成分が，噴火前後に顕著な変化が認められなかったことは既に述べたが，湯釜火口内に新たに生じた噴気孔ガスの成分には種々の変化が認められた。即ち噴火直後の10月27日，11月3日或は気象庁により火山性地震の記録された後の3月12日などには $SO_2/(SO_2 + H_2S)$ の値が夫々 0.57, 0.74, 0.91 (平均 0.74) といずれも 0.5 を上回る値であった。また 12月29日の噴火の翌日にもガス測定を試みたが，気象条件と火山活動状況により成功しなかった。これらの値は 1976年3月の水釜付近噴火前後の $SO_2/(SO_2 + H_2S)$ 値の 0.19~0.91 (平均 0.57) に較べて若干高い値を示した。またその他の活動低調期の測定では SO_2 はほとんど検出し得なかった(図5)。

また放出火山灰の水溶性成分中の Cl/S は 0.29, 0.31, 2.98 と 1976年水釜噴火の時のその値 0.08 に較べて著しく高い値であったが湯釜のものだけはこの値が 0.04 と極めて小さな値であった。

以上の諸点を考えると今回の水蒸気爆発に関与したガスの温度は 1976年の水釜噴火に較べ，より高温のものであったことが予想される。それ故その起源もより深いところからと考えられ，噴火規模，継続期間などが前回以上のものになるのではないかと推察される。

一方溜釜での活動は特に固形噴出物の水溶性成分の値から考えて、より低温で起源の浅いものと考えられ、その持続時間が約20分のみであったこと、噴出物の量が著しく少なかった事実とよく符合する。

7-5. 東麓河川水の成分変化と噴火活動

既述の通り東麓3河川中谷沢川のみにおいて今回の噴火ならびに1976年の水釜の噴火の前後においてC1/Kの値の著しい増加が認められた。これは谷沢川の川水にC1が多量に混入したためと考えられ、谷沢川のみにもそれが多いのは、この川の上流源泉地域が最も草津白根山の山頂火口に近い事、流下途中に殺生河原噴気孔地帯など地表面象の比較的活発な地域を通過するためであろうが、主な理由は同河川の源泉になる湧水の一部が、湧出にあたって地下の火山ガスと接触し、火山活動の活発化にともなって増大したと考えられるHClガスを地下ですばやく溶かしこみ、谷沢川の源泉水として同河川水に著しく影響をあたえたものと考えられる。さらに火山ガス中のHClガスが予想していたよりも少ないのは、これらのガス中のHClガスは、このように地下で気相から液相に移行してしまうためではないかと考える。