

火山ガス観測からみた口永良部島の活動状況

平林順一*・野上健治*・大島弘光**・井口正人

*東京工業大学火山流体研究センター

**北海道大学大学院理学研究科

要 旨

口永良部島火山には新岳および古岳火口に噴気活動が存在する。2003 年頃から新岳火口底および周辺の噴気活動が活発化しはじめ、火山ガスには、マグマ由来の高温の火山ガスに特長的な二酸化イオウ、水素、一酸化炭素が含まれるようになった。また、温度の連続観測では、2006 年 8 月頃から地震活動や地殻変動に対応した噴気温度の上昇が観測されている。これら火山ガスの化学組成や温度変化は、同火山の活動が活発化したことを示している。

キーワード： 口永良部島火山，火山ガス，火山活動度

1. はじめに

口永良部島では、1999 年以降地震の群発が時々観測され、その活動が活発化している。同火山には、新岳火口周辺および古岳火口に噴火活動が見られるが、これまでは 1945 年および 1980 年に噴火した新岳火口東側の割れ目火口南端の噴気活動が活発で、観測を開始した 1992 年の噴気温度は高く、ハロゲン化水素や二酸化硫黄が多く含まれていた。しかし、2003 年頃からは新岳火口底に噴気活動が認められるようになり、火口南の噴気活動も活発化しはじめた。また、2005 年に入ると同地域の噴気活動は一段と活発化し、同時に、火口西の噴気活動も活発化しはじめ、火山ガスの化学組成に大きな変化が観測されるようになった。赤外線熱観測でも、2003 年以降新岳周辺の地熱・噴気地帯の拡大が観測されている（井口, 2007）。また、全磁力の連続観測では、2003 年から新岳火口直下で蓄熱を示す変化がはじまった（神田, 2007）。

火山ガスの組成変化とともにその温度も火山活動の把握に重要な観測項目であり、2005 年から新岳火口の西、南、東の噴気地帯において温度の連続観測を開始し、火山ガス化学組成およびその変化と併せ、同火山の最近の火山活動度について検討した。

2. 火山ガスの化学組成

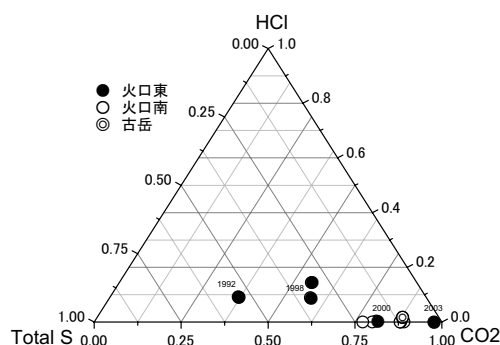
Table 1 に火口周辺で採取した火山ガスの温度および化学組成を示した。同表は、噴気温度、ガス組成から計算した見かけの平衡温度（AET）、水蒸気の濃度、水を除いたガス組成の百分率、アルカリ溶液に吸収されないガス組成（R-gas）の百分率を順に示した。また、同表には 1980 年噴火直後に新岳東の割れ目火口で採取した火山ガス組成および古岳火口で採取した火山ガス組成も併せて示した。

新岳火口周辺で噴気活動が最も活発であった東側割れ目火口南端（以後、火口東）の 1992 年の火山ガスは、温度が 340℃と高温で、火山ガス中の HF, HCl, SO₂, H₂ 濃度が著しく高く、高温のマグマ由来の組成であった。しかし、1998 年の同噴気温度は約 150℃と 200℃低下した。2000 年にはさらに温度低下し、100℃となった。噴気温度の低下とともに、HCl, SO₂, H₂ 濃度も低くなった（Fig.1）。また、2003 年には著しく噴気活動が弱くなり、2004 年には火山ガスの採取が困難となった。

1998 年に火口東で採取した火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比は、 $\delta^{18}\text{O}$ が +1.0 ‰、 δD が -23 ‰ ～ -25 ‰であり、火山ガス中の水は同地域の天水とマグマ由来の水が約 1 : 1 で混合したものであった。

Table 1 Chemical composition of fumaloric gas from Kuchinoerabujima volcano

Locality	Date	Temp. ℃	AET ℃	H ₂ O V%	Composition of gases exclusive of water						Composition of R-gas					
					HF	HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	R	He	H ₂	N ₂	CH ₄	Ar	CO
火口東割れ目	Oct.16,'80	97.2				0.01	40.5	0.2	59.3							
新岳火口東	Apr.28,'92	335	410	96.7	0.57	9.1	35.9	17.5	36.5	0.37	--	41.4	58.0	0.635	0.04	
	"	342	387	96.7	0.59	9.0	36.8	16.5	36.8	0.34	--	28.2	71.3	0.497		
	Nov.30,'98	150.4	217	99.06		8.88	11.9	21.4	57.6	0.24	0	3.52	95.4	0.147	0.774	
		145.1	349	99.07		14.3	10.7	19.3	54.8	0.85	0	37.5	61.8	0.114	0.572	
	Dec.08,'00	103	266	98.76		0.33	2.10	16.36	80.07	1.14	0	3.49	93.05	2.15	1.30	
	Apr.04,'03	98.1	318	94.51		0.0	0.096	2.17	97.11	0.62	0.024	7.30	91.95	0.205	0.519	
	Aug.28,'03	98	306	97.44		0.0	0.137	2.05	93.24	4.57	0.013	1.40	96.37	0.725	1.49	
南	Apr.04,'03	99.1	440	98.64		0.0	9.00	1.30	84.31	5.39	--	8.02	90.95		0.925	0.102
	Aug.28,'03	97	486	98.55		0.0	10.41	0.80	82.80	5.98		11.68	88.18		0.138	0.138
	Mar.06,'04	99	434	99.21		0.0	14.97	2.16	68.50	14.36		4.75	95.25			0.0
	Feb.26,'05	102	536	99.45		0.0	10.63	1.02	86.58	1.77		80.95	17.65			1.40
	May17,'05	97	546	98.24		0.0	10.47	1.17	85.06	3.29		46.74	52.72			0.536
	Sep.26,'06	97	484	98.29		0.0	21.31	1.29	76.65	0.789	0.024	67.32	32.66			Tr
西	Feb.26,'05	103	446	97.62			15.72	0.70	82.56	1.01		18.62	81.20			0.173
	May.17,'05	98	438	97.33			17.88	0.90	75.13			2.47	97.53			
古岳火口	Dec.08,'00	113	314	96.22		1.71	7.11	3.16	86.58	1.44	0	0.64	99.0	0	0.332	

Fig.1 Diagram of HCl–Total S–CO₂ of fumaloric gas from Kuchinoerabujima volcano

2003 年の火山ガス凝縮水の同位体比は、それぞれ－6.6 ‰、－54 ‰で、約 100℃の水が気液分離した蒸気相の値に近い。

一方、2003 年に活動が活発化した火口南の噴気ガスの温度は 100℃前後と低いものの火山ガス中の SO₂、H₂ 濃度は高く、さらに噴気活動が活発化した 2005 年以降は、火山ガス中のこれら成分濃度が著しく高くなった。2005 年の火口西で採取した噴気ガスにも SO₂ が高濃度で含まれていた。また、火山ガスの採取・分析は行っていないが、新岳火口の南西部の弱い噴気ガスは、2006 年 9 月の調査時には、2005

年 5 月の調査時に感じられなかった SO₂ 臭が強く感じられた。新岳周辺のガスに SO₂ が含まれるようになったことは、2006 年 12 月の SO₂ 放出量が約 40 ton/day であった(森, 2007) こととも調和的である。

火口南および西の噴気温度はいずれも 100℃前後と低いが、両噴気ガス中には CO ガスが含まれており、SO₂、H₂ ガスが高濃度で含まれていることと併せれば、現在新岳火口周辺に噴出している火山ガスが高温のマグマ由来であることを示している。

Fig. 2 に火山活動の指標として用いられる SO₂/H₂S モル比の変化を示した。火口東の割れ目火口南端(以後火口東)の火山ガスの SO₂/H₂S は 1992 年には約 2 であったが、その後は徐々に小さくなり 2003 年の値は 0.1 以下である。一方、2003 年から噴気活動が活発化した火口南の火山ガスの SO₂/H₂S 比は、約 7 と大きな値で、以後徐々に大きくなった。また、2005 年に噴気活動の活発化が認められ火口西の火山ガスも温度は低いものの、SO₂/H₂S 比は約 20 と大きな値であった。

尚、1980 年の噴火直後に火口東側の割れ目火口で採取した火山ガスの硫黄成分は、SO₂ に富み、H₂S が極めて少なく、両者の比は約 200 と著しく大きく、2003 年以降の新岳火口南および西の値の約 10 倍である。この違いは、現在、マグマからの高温の火山ガスは地下水と接触しており、SO₂ の一部が水に溶

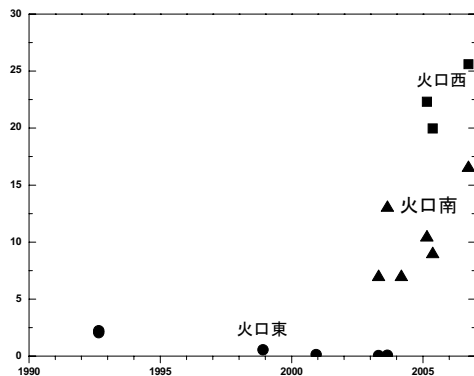


Fig.2 The $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ mol. ratio in fumarolic gas from Kuchinoerabujima volcano

解移行しているためと考えられる。また、現在山頂周辺に噴出している火山ガス中には HCl が含まれていない。これは、 HCl が SO_2 に比べて水に対する溶解度が約 1 桁大きいので、そのほとんどが地下水に溶けたためと考えられ、 HCl 濃度からも火山ガスが地表に到達する流路で水との接触していることを示している。

尚、2000 年に調査した古岳火口内の火山ガスの温度は 113°C で、火口東の温度より約 10°C 高く、火山ガスには HCl 、 SO_2 が高濃度で含まれている。また、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は約 2 であり、 H_2 濃度が低いことを除けば、同時期の火口東のガスと似た組成である。

また、火山活動の変化を推定する火山ガス成分として H_2 濃度も用いられる。Fig. 3 に R ガスの H_2 濃度の時間変化を示した。火口東の火山ガス中の H_2 濃度は 1992 年以降、温度、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比と同様に徐々に低くなっている。一方、火口南のガス中の H_2 濃度は、2003 年以降徐々に高くなる傾向で変化し、2005 年および 2006 年の R ガス中の H_2 濃度は、70~80% と極めて高い。

3. 見かけの平衡温度

火山ガスの化学組成から、見かけの平衡温度 (AET) を計算し、地下の熱的状态の変化を推定することができる。ここでは、 $\text{SO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ の反応から求めた AET を噴気温度と併せて Fig. 4 に示した。

前述したように 1992 年の火口東の噴気ガス温度は、 340°C であり、その AET は約 400°C と高かったが、その後は徐々に低下し、2003 年の AET は約 300°C であった。2003 年および 2005 年から噴気活動が活発

化した新岳火口南と火口西の噴気ガス温度はいずれも約 100°C と低いものの、AET は $450^\circ\text{C} \sim 550^\circ\text{C}$ と高く、2003 年以降地下の温度が高くなっていることを示している。また、AET と噴気温度とには約 400°C のギャップがあるが、これはマグマからの高温の火山ガスが地下水 (海水) と接触によって、噴気温度は低下したもののガス成分相互の反応は急冷保持されていることを示している。また、火口南の AET は 2003 年以降徐々に上昇する傾向にある。この地下温度の上昇は、2003 年以降新岳直下で熱消磁が進行していることを示す全磁力変化 (神田, 2007) と対応した結果である。

これら最近の新岳火口周辺の噴気活動の活発化や火山ガスの化学組成、推定された地下温度などは、口永良部島火山の火山活動波は明らかに活発化していることを示唆している。

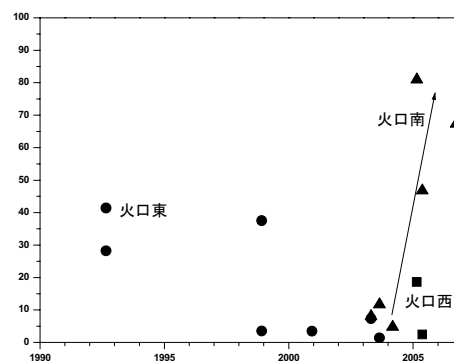


Fig.3 The variation of H_2 concentration in fumarolic gas from Kuchinoerabujima volcano

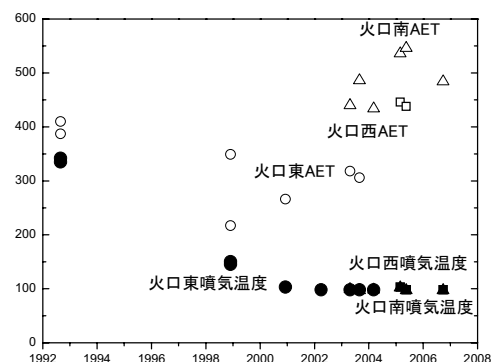


Fig.4 The outlet temperature and apparent equilibrium temperature of fumarolic gas

4. 噴気ガス温度の連続観測

火山活動の活発化は、火山ガス組成や温度変化を

もたらすことは、これまでも多くの火山で観測されている（例えば、平林・日下部，1985，平林，1986）。

2005 年から新岳新岳火口周辺の東，南，西の 3 噴気地帯の噴気温度の連続観測を開始した。用いた温度センサーは白金抵抗体（火口南，西）および K 熱伝対（火口東）で，測定周期は 1 時間である。観測データはオーブコム通信衛星を用いて，インターネット経由で取得する。

Fig. 5 に，3 観測点の日最高温度と日別地震回数を併せて示した。火口南観測点の噴気温度は，観測開始直後は，97.5℃であったが，2005 年 10 月頃から低下し，2006 年 2 月～7 月には 92℃まで下がったが，同年 8 月から急激な温度上昇に転じ，9 月には 98℃まで上昇した。また，10 月はじめに若干の温度低下が観測されたが，10 月下旬に約 0.5℃の急激な温度上昇が観測され，12 月末には 98.9℃の日最高温度が観測された。同時期には，GPS 観測でも，急激な山体膨張が観測されている（斎藤・井口，2007）。また，2007 年 2 月初旬にも急激な温度上昇が観測され，100℃を超える日最高温度が観測された。尚，短期的な温度の急激な変動は降水等の影響である。

火口西観測点の温度は 2005 年 10 月頃から温度低下しはじめ，2006 年 2 月～7 月には観測開始時に比べて約 1℃低下した。しかし，火口南観測点と同様に 8 月から上昇傾向に変わり，現在は観測開始時と同じ温度に復している。両観測点の温度上昇が始まった 2006 年 8 月からは，地震回数も増加している。特に，8 月には地下の熱水系で起こると考えられるモノクロマティックな地震の発生が観測されている（Triastuty et al., 2007）。

火口東観測点の温度は，2005 年 5 月の観測開始以後徐々に温度上昇していたが，10 月頃から低下に転じた。しかし，2006 年 4 月頃から上昇傾向に変わり，8 月～9 月には 99℃まで上昇した。

これらの噴気ガスの温度上昇は，グマからの火山ガス供給量の増加などにより，山頂下に存在する熱水系内に変化があったこと反映していると考えられる。火口南および西観測点と火口東観測点で温度上昇の始まった時期が異なっているが，これは前 2 観測点の噴気圧力が弱く，地下からの噴気ガス量の変化や気温などが鋭敏に温度に反映されるのに対して，火口東観測点には視認できる噴気ガスの放出が無く，また地表面が硫黄などで固化した地温を測定しているためか，またはマグマから山頂へ向かうガス流路が 2 系統あることの反映とも考えられる。

5. まとめ

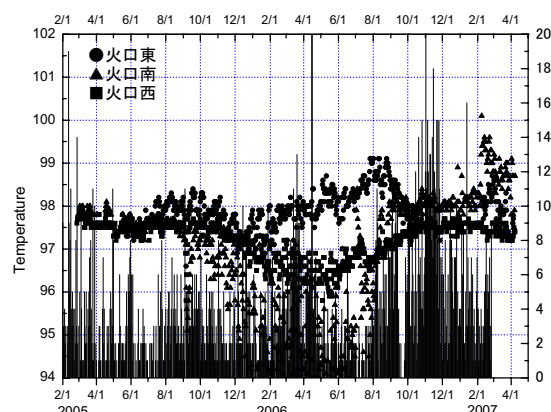


Fig.5 The variation of fumarolic temperature which was observed around the summit and the daily frequency of earthquake

口永良部島火山では，新岳火口周辺の噴気活動が 2003 年以降活発となった。これら噴気ガスの化学組成は，マグマ由来の高温の火山ガス供給量が増加していることを反映した変化で，同火山の活動度が高まっていることを示している。また，噴気温度は，地震活動や山頂域の地殻変動と連動して上昇し，マグマからの火山ガス供給量の増加が断続的に起こっていることを示している。

これらの火山ガス観測の結果と，井口ら（2002）によって提唱されている地震活動や，やや深い場所に起因する地殻変動などに基づいた地下構造（神田ら，2005，神田ら，私信）による比抵抗構造を併せ，口永良部島の熱水構造を Fig.6 に示した。すなわち，口永良部島火山の地下では，マグマから供給された HF，HCl，SO₂，H₂S，CO₂，H₂，N₂，CO などを含む高温の火山ガスが海面下 600m 付近で深部圧力源となる流体貯留層を形成する。ここから分離上昇した気相は，地表に噴出するガスに HCl が含まれてないことと山頂下 300m 付近から山麓方向の海面下 200m 付近に伸びる低比抵抗層があることから，海面付近で浸透した海水または地下水と接触し，水に溶解しやすい HF，HCl のほとんどと SO₂ の一部が水に溶解移行し，残りの火山ガスは上昇する。この上昇などによってガス通路周辺で高周波の地震が発生する。また，新岳山頂直下にも流体の蓋の役目をする低比抵抗層が存在すること，GPS 観測による山体の膨張は山頂直下に限られ，また断続的に起こること，これと連動して噴気温度も上昇することなどから，2 つの低比抵抗層に挟まれる山頂直下にはガス溜まりが形成されていると考えられる。

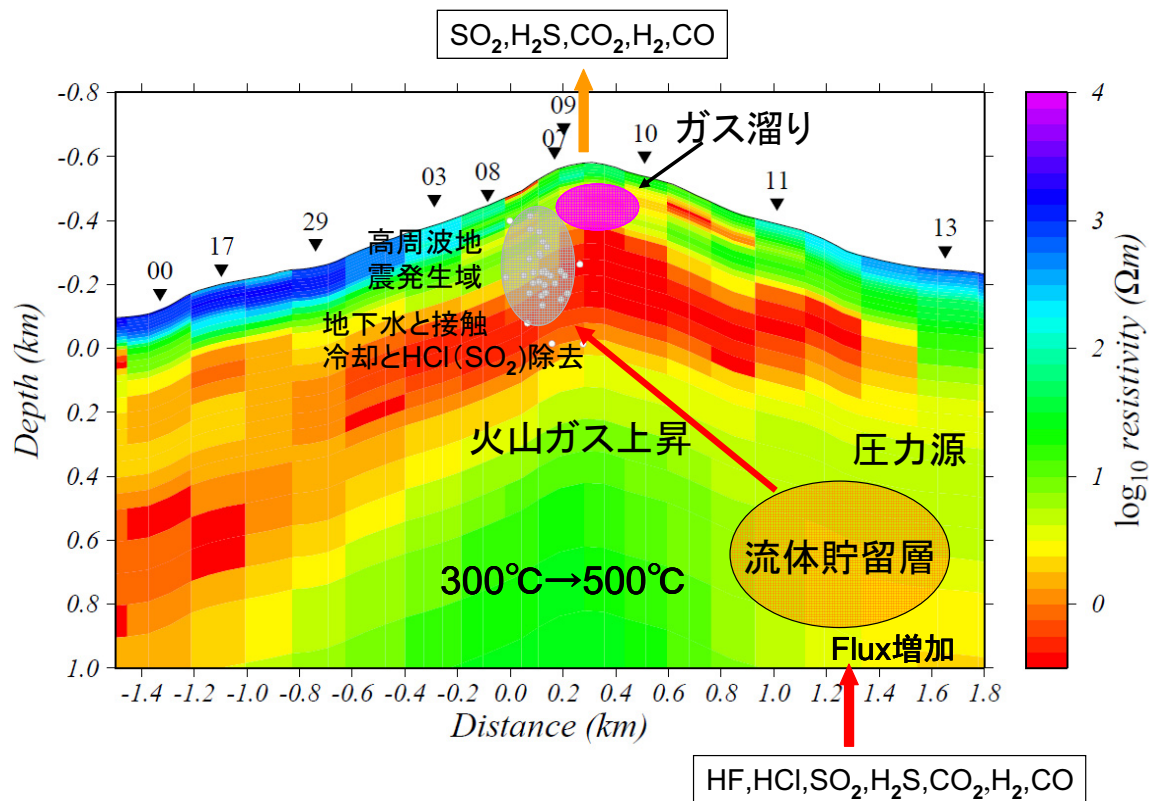


Fig.6 A geothermal structure model of Kuchinoerabujima volcano

参考文献

- 井口正人 (2007) : 2006 年口永良部島火山活動の概要. 京大防災研平成 18 年度法際研究特別推進事業「口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移予測のための実践的研究」報告書, pp.6-16.
- 井口正人・山本圭吾・味喜大介・高山鐵朗・寺石眞弘・園田保美・鬼澤真也・八木原寛・平野舟一郎 (2002) : 口永良部島火山における地盤変動. 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中観測報告書, pp.99-108.
- 神田 徑 (2007) : 口永良部島火山の最近の地磁気変化について. 京大防災研平成 18 年度法際研究特別推進事業「口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移予測のための実践的研究」報告書, pp.45-48.
- 神田 徑・田中良和・宇津木充・高倉伸一・井上寛之・中坊 真・日浦 一・森 健彦・吉川 慎・後藤秀作・長谷中利昭・重野伸昭・岡田靖章・山口慎司・酒井俊輔・藤本悠太 (2005) : 蓄熱中の火山の比抵抗構造, 平成16年度特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」報告書 (代表: 井田喜明) pp.73-76.
- 斎藤英二・井口正人 (2007) : 口永良部島火山における GPS 連続観測結果—2004 年 4 月～2006 年 12 月—. 京大防災研平成 18 年度法際研究特別推進事業「口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移予測のための実践的研究」報告書, pp.29-32.
- 平林順一・日下部 実 (1985) : 噴火の化学的前兆現象. 火山, 30, pp.171-183.
- 平林順一 (1986) : 火山ガス災害と化学的噴火予知の現状. 火山, 30, pp.S327-S338.
- Triastuty, H., Iguchi, M., Tameguri, K. and Yamazaki, T. (2007) : Hypocenters, Spectral Analysis and Source Mechanism of Volcanic Earthquakes at Kuchinoerabu-Jima: High frequency, Low frequency and Monochromatic Events. 京大防災研平成 18 年度防災研究特別推進事業「口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移予測のための実践的研究」報告書, pp.17-24.

The Relationship between the Chemical Composition of Volcanic Gas from Kuchinoerabujima and its Volcanic Activity

Jun-ichi HIRABAYASHI*, Kenji NOGAMI*, Hiromitsu OHSHIMA** and Masato IGUCHI

* Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

** Graduate School of Science, Hokkaido University

Synopsis

The observation of volcanic gas composition and continuous monitoring of the fumarolic temperature have been done at Kuchinoerabujima volcano since 1980. The activity of southern and western parts of the summit crater was increased from 2003. The concentration of sulfur dioxide and hydrogen gas is increased in volcanic gases. The calculated subsurface temperature from the gas composition is about 500°C. The temperature of volcanic gas is changed with the seismic activity and ground deformation. From the volcanic gas observation, the activity of Kuchinoerabujima volcano is clearly increased.

Keywords: Kuchinoerabujima volcano, volcanic gas, volcanic activity