

口永良部島の火山ガス観測

東工大 火山流体研究センター 平林 順一・野上 健治
北大 理学研究科 大島 弘光
京大 防災研究所 井口 正人

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、地震活動が活発化している。また、2003年頃から新岳火口底に弱い噴気活動が認められ、同時に火口南の噴気活動も活発化しはじめ、2005年に入ると同地域の噴気活動は一段と活発化した。同時に、火口西の噴気活動も活発化しはじめた。また、2003年から、赤外線熱観測により新岳周辺の地熱・噴気地帯の拡大が観測され、全磁力も新岳火口直下での蓄熱を示す変化がはじまった。

口永良部島には、新岳火口周辺および旧火口内に噴気活動がある。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、火山ガス観測を開始した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、同噴気の温度は徐々に低下し、2003年には100°C以下となり、2004年以降は、火山ガスの噴出は極めて弱く、火山ガス採取が困難となった。一方、2003年頃から噴気活動が活発となった新岳火口南の噴気ガス中に二酸化硫黄が含まれるようになった。2005年には、新岳火口西の噴気ガス中にも二酸化硫黄が含まれるようになった。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、東の噴気温度の連続観測を開始した。

本報告では、火山ガス組成および噴気温度の変化と火山活動との関連について検討した。

2. 火山ガスの化学組成

表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°C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200°C低下し、2000年にはさらに温度が低下し100°C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。また、2003年にはさらに噴気活動が弱くなり、2004年には火山ガスの採取が困難になるなど同地点の噴気活動は極めて弱くなった(写真1、図1)。

また、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。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°C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°C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濃度となった。2005年の火口西で採取した噴気ガスにもSO₂

表 1 口永良部島の火山ガス組成

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



写真 1 口永良部島新岳東の割れ目火口南端の噴気活動の変化

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二酸化硫黄臭が強く感じられた。

火口南および西の噴気温度はいずれも 100

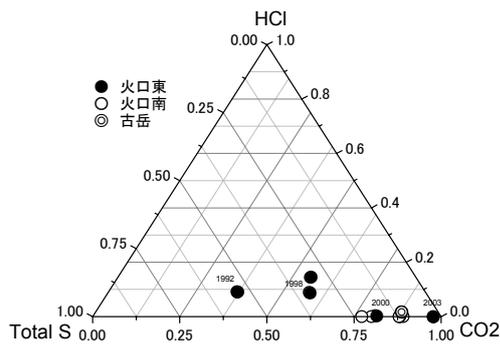


図1 火山ガスの HCl–Total S–CO₂ ダイアグラム

℃ 前後と低いが、両噴気ガス中にはマグマ由来の高温のガスに特徴的な CO ガスが含まれている。一酸化炭素が水に溶けにくいことを考えれば、マグマからの高温の火山ガスが上昇過程で地下水あるいは海水との接触で、冷却されていることを示唆している。これらの火山ガス組成は、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。

図 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。

一方、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 SO₂ に比べて水に対する溶解度が約 1 桁大きい

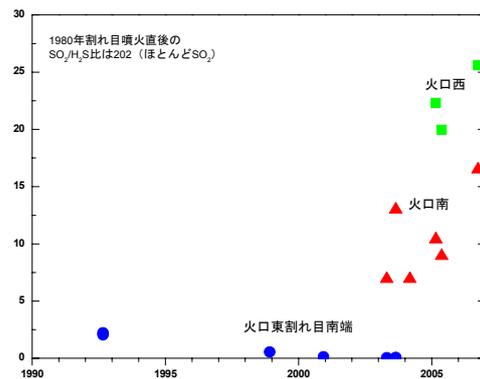


図2 口永良部島新岳周辺の火山ガスの SO₂/H₂S モル比

め、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℃で、火口東の温度より約 10℃ 高く、火山ガスには HCl、SO₂ が高濃度で含まれている。また、SO₂/H₂S 比は約 2 であり、H₂ 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。

火山活動の変化を推定する火山ガス成分として H₂ 濃度が用いられる。図 3 に R ガスの H₂ 濃度の時間変化を示した。火口東の火山ガス中の H₂ 濃度は 1992 年以降、温度、SO₂/H₂S 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 H₂ 濃度は、2003 年以降徐々に高くなる変化し、2005 年および 2006 年の R ガス中の H₂ 濃度は、70~80%と極めて高い。

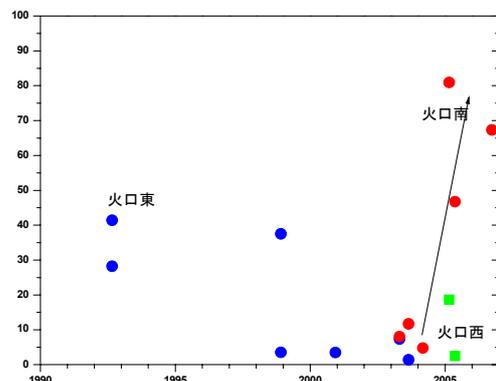


図3 口永良部島新岳周辺の火山ガス中の H₂ 濃度

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図 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、その後は噴気温度および火山ガス組成の変化によって AET も徐々に低下し、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。また、AET と噴気温度とには約 400°C のギャップがあるが、火山ガスの化学組成の章で述べたように、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 $\text{SO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ 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。

新岳山頂周辺の地磁気観測 (神田、本誌) によれば、2003 年以降山頂直下で熱消磁が進行していることを示す全磁力変化が観測おり、火山ガス組成から求めた地下温度の上昇と調和的で、口永良部島の新岳は、火山ガスの化学組成からみて、明らかに火山活動の活発化していることを示唆している。

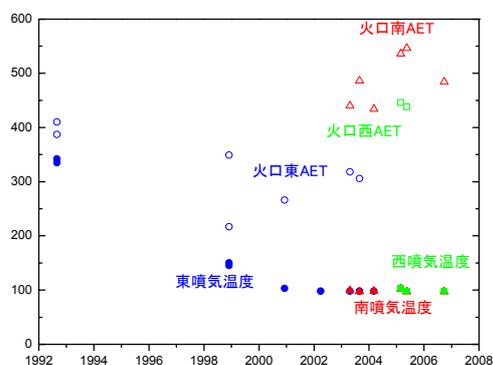


図 4 口永良部島新岳周辺の火山ガス組成から求めた見かけの平衡温度

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)。そこで、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 2005 年から開始した (図 5)。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。

図 6 に、3 観測点の日最高温度と日別地震回数を、図 7 に 2006 年 7 月からの南観測点の日最高温度と地震回数を示した。火口南観測点の噴気温度は、観測開始直後は 97.5°C であったが、2005 年 10 月頃から低下し、2006 年 2 月～7 月には 92°C 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°C 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°C の急激な温度上昇が観測され、12 月末には 98.9°C の日最高温度が観測された。急激な温度上昇が観測された 10 月下旬には、GPS 観測で、急激な山体膨張が観測されている (斎藤・井口、本誌)。

火口西観測点の温度は 2005 年 10 月頃から温度低下をはじめ、2006 年 2 月～7 月には観測開始時に比べて約 1°C 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。



図 5 新岳火口と噴気ガス温度連続観測点

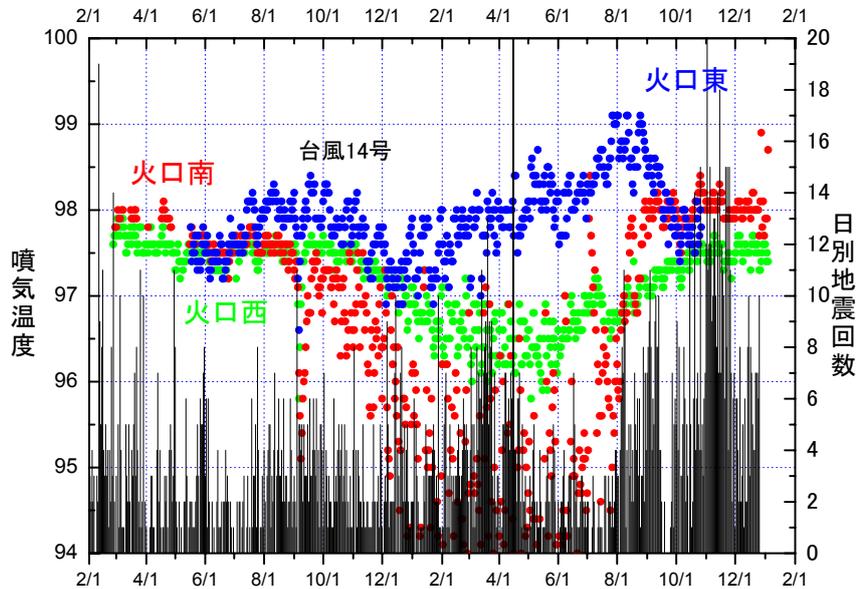


図 6 新岳火口周辺の 3 噴気地帯で行っている連続観測による噴気温度の日最高温度と日別地震回数 (棒グラフ)

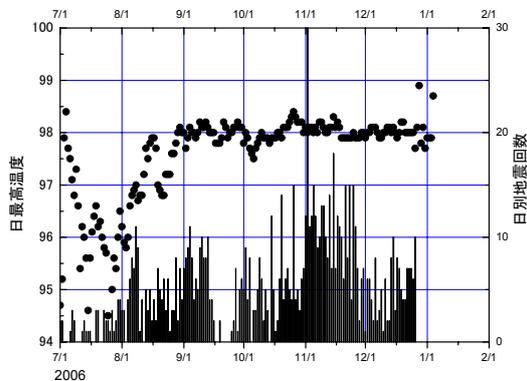


図 7 火口南観測点の 2006 年 7 月からの日最高温度と地震回数

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、本誌)。

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°C 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、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かとも考えられる。

5. まとめ

口永長部島における火山ガス観測の結果を以下にまとめた。

- ① 新岳火口南の噴気は、2003 年以降噴気の増加や、これまでガス中に含まれていなかった SO_2 ガスが含まれるようになり、その濃度は徐々に高くなっている。また、 H_2 ガス濃度も高い。

- ② 火山活動の指標となる $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ モル比は高く、徐々に値が大きくなっている。また、 H_2 濃度も同様に徐々に高くなっている。
- ③ 火口西の噴気活動も、2005年に活発化し、火口南の噴気ガスと同様に SO_2 濃度が高い組成に変化した。
- ④ 火山ガス組成から求めた見かけの平衡温度 (AET、地下温度) は約 500°C と高い。
- ⑤ 両地点の噴気ガス温度は 100°C 前後と低いにもかかわらず、ガス中にマグマ由来の高温の火山ガスに特徴的な CO が含まれている。
- ⑥ 火口南西の噴気ガスも、2006年9月に SO_2 が多く含まれていることが観察された。
- ⑦ 噴気温度の連続観測では、地震活動や山体膨張と連動した変化観測されている。

これらの結果は、口永良部島ではマグマからの高温ガス供給量増加に伴い火口下の熱水系が変化しており、明らかに火山活動が高まっていることを示している。

参考文献

- 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.
- 平林順一・大場 武・野上健治 (2000) 口永良部島および中ノ島の火山ガスと温泉. 第3回諏訪之瀬島火山の集中総合観測報告書, pp.95-104.
- 平林順一・野上健治・鈴木 隆・水橋正英 (2002) 口永良部島の火山ガスと温泉. 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測報告書, pp.143-152.
- 神田 径(2007)口永良部島火山の最近の地磁気変化について. 本報告.
- 齋藤英二・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— (本報告).
- Triastuty, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Yamazaki, T. (2007) Hypocenters, spectral analysis and source mechanism of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima: high-frequency, low-frequency and monochromatic events (in this issue).