

桜島火山の活動と火山ガス組成および土壌からの 二酸化炭素ガスの拡散放出

東京工業大火山流体研究センター

平林 順一・野上 健治

攪上 勇介

京都大学防災研究所

井口 正人・味喜 大介

1. はじめに

桜島火山では、火口から放出される火山ガスや島内の温泉ガスの化学組成、爆発で放出される火山灰に付着する火山ガス成分は、火山活動に連動して変化することが知られている(例えば, Hirabayashi et al., 1986¹⁾)。また, 同島の南～東海岸には温泉の湧出が見られ, これら温泉水は, マグマ由来の揮発性成分を含む熱流体と天水, 海水の混合で説明され, その温度, 化学組成も火山活動に連動して変化する(太田・露木, 1977²⁾, 太田, 1986³⁾, 大場・他, 1999⁴⁾)。

第10回の桜島火山集中総合観測の実施にあたり筆者らは, 2006年昭和火口噴火開始後の火山灰に付着する火山ガス成分, 温泉ガスの化学組成について調査し, 桜島火山の活動との関連について検討した。また, 温泉ガスを含む地下の熱水の分布を調べるために土壌からのCO₂ガスの拡散放出量の測定を行った。

2. 火山灰の水溶性付着成分

火山灰に付着する水溶性の塩化物イオン, 硫酸イオンは, 爆発時の火山ガス組成比を保持しており(Hirabayashi, et al., 1982⁵⁾), その値および変化から噴火時に放出された火山灰の素性や活動に関与した火山ガス組成, 活動の推移などについての知見が得られる。

2006年6月4日の昭和火口の噴火活動再開後から2008年2月の活動時まで, 同火口および同期間に南岳火口から放出された火山灰を採取し, これに付着する水溶性成分の分析を行った。図1に, 2006年6月, 2007年5月, 2008年2月の昭和火口噴火時に噴出された火山灰および同期間に南岳の爆発で放出された火山灰の硫酸イオンおよび塩化物イオン付着量の関係を示した。また, 同図には, 桜島が活発な爆発活動を繰り返していた1970年代の南岳からの火山灰の値も併せて示した。図1の1970年代の南岳から放出された火山灰に付着する塩化物イオンは～2,000 mg/kg, 硫酸イオンは～5,000 mg/kgである。これに対して, 2006年6月の

昭和火口噴火再開後同火口から放出された火山灰の塩化物イオン付着量は、500～5,000 mg/kg、硫酸イオン付着量は、2,000～50,000 mg/kg と大きい。但し、活動が約 1 ヶ月継続した 2007 年 5 月の昭和火口の噴火で放出された火山灰の両成分の付着量は比較的少なく、1970 年代の火山灰の付着量と大きな差はない。昭和火口噴火再開後の昭和火口から放出された火山灰に多くの塩化物イオンや硫酸イオンが付着していることは、昭和火口および火道を埋めていた火山ガス起源の塩類を含んだ土壌などが多く含まれていることを意味する。事実、昭和火口周辺では火山ガス起源の白色の火山昇華物が析出しているのがしばしば観察され、また、噴出物の顕微鏡観察でも石膏などが含まれている。活動期間が約 1 ヶ月続いた 2007 年 5 月以後の昭和火口からの火山灰は、活動の継続で塩類などの影響が少なくなったものと考えられる。

一方、両成分のモル比は、0.1～0.76 であり、1970 年代の南岳からの火山灰の値と比べて大きな違いはない。また、2006 年 6 月に昭和火口噴火再開後に南岳から放出された火山灰の値も 0.1～1.0 の範囲にある。このことは、2006 年 6 月の昭和火口噴火再開後から 2008 年 2 月の噴火の間に放出された火山灰付着している塩化物イオンと硫酸イオンのモル比は、南岳からの火山灰も含めて、経時的な大きな変化は見られず、昭和火口の噴火に関与した火山ガスは、これまで南岳火口から放出されている火山ガスと本質的に違いがないと言える(図 2)。

3. 温泉ガスの化学組成

桜島島内の東～南西部の海岸付近には温泉が湧出している。また、島内には観測や農業用水調査のために多くの孔井が掘られ、島の南西部～東部の地域のボーリング孔では海水面よりやや高い水位を持つ温泉水が存在する(図 3)。これら温泉水のほとんどは CO₂ を含むガスを伴っている。このうち、春田山、持木、黒神の 3 観測井においては、2006 年 6 月の昭和火口噴

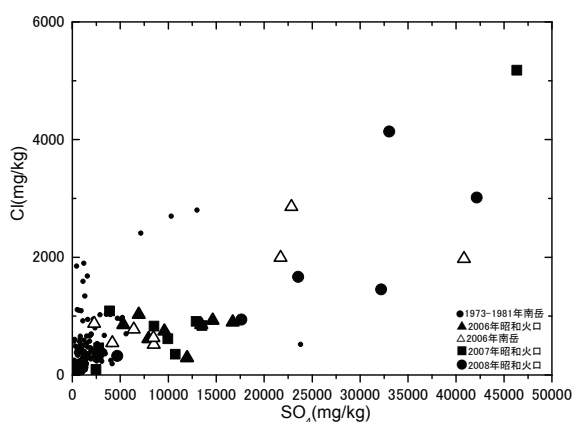


図 1. 2006 年 6 月昭和火口再噴火後の火山灰に付着する塩化物イオンと硫酸イオン量

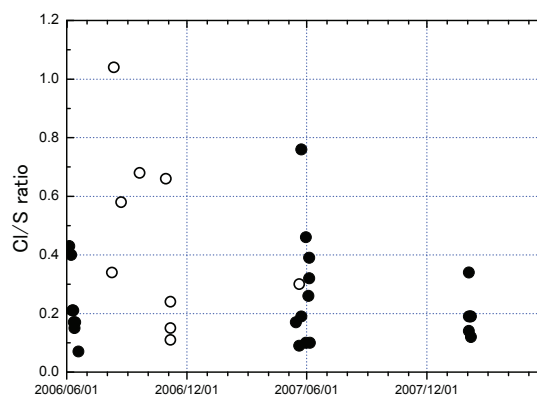


図 2. 2006 年 6 月昭和火口再噴火後の火山灰に付着する Cl⁻/SO₄²⁻モル比の時間変化 (○は南岳火口からの火山灰)

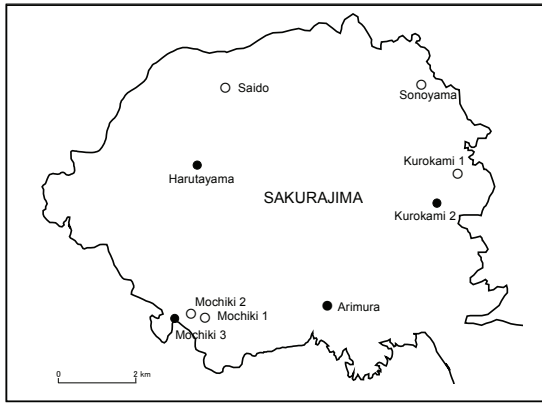


図 3. 桜島島内のボーリング孔の位置と温泉ガスの観測を行ったボーリング孔(●印)

火再開後から定期的に温泉ガスの化学組成の調査を行った。国土交通省九州整備局大隅河川国道事務所の有村観測井については、掘削完了後の2005年12月から観測を開始した。

温泉ガスは、ボーリング孔の孔底近くまで挿入されたパイプに2口の100ml注射器を接続して採取した。採取したガス量を読み取った後、注射器に5モルの水酸化カリウム溶液を2~3ml注入し、体積減量をCO₂とした。注射器内に残った気相は、ガラス容器に移して持ち帰り、ガスクロマトグラフ装置で分析した。

図4に、これら観測井の温泉ガス中のCO₂濃度の変化を示した(分析値は表1)。同図には、1990年代に測定したCO₂濃度も併せて示した。春田山観測井における、2006年以降のCO₂濃度は10~30%で変化しており、1995年測定時の濃度と大きな違いはない。また、同観測井におけるCO₂の連続観測の結果では、CO₂濃度は10~50%の範囲で変化しており、その変化は降水量と逆相関の関係にあり、降雨の少ない冬季は高く、降水量の多い時期はCO₂濃度が低い季節変化を繰り返している。

持木観測井における1997年のCO₂濃度は、30%を超える高い濃度であったが、昭和火口噴火再開後の濃度は5~10%と低い。有村観測井の温泉は、温度が約70℃で、これまで桜島島内で掘削された観測井の中で最も水温が高く、CO₂濃度も60~65%と極めて高い。

黒神観測井における1991年のCO₂濃度は約2%であり、昭和火口噴火再開直後もほぼ同様の濃度であった。しかし、2007年5月の同火口での噴火活動再開後の2007年7月の観測では約10%と高濃度になった。また、2008年2月の昭和火口噴火直前の2008年1月20日には、CO₂濃度は約20%とさらに高濃度となり、噴火後の2月13日の測定でも高い濃度が観測された。

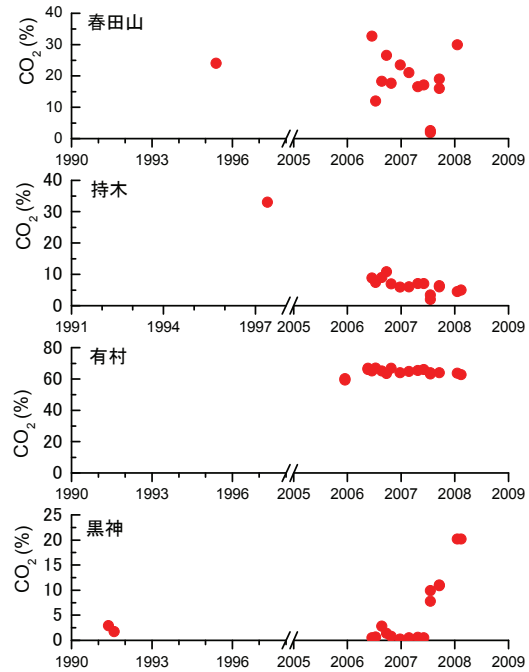


図 4. 春田山, 持木, 有村, 黒神観測井の温泉ガス中のCO₂濃度変化

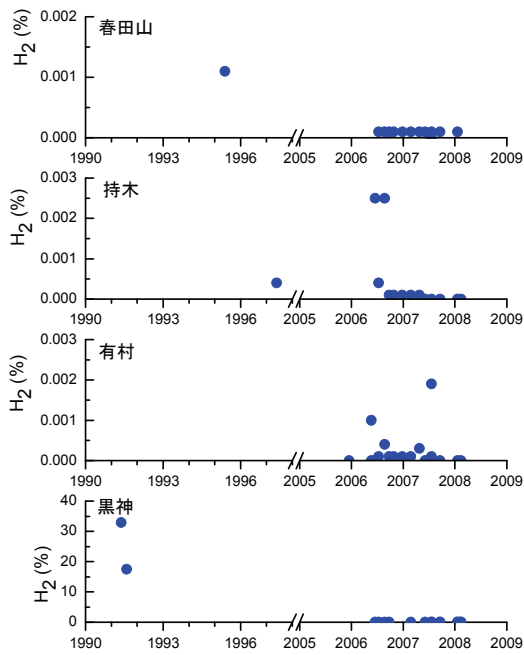


図 5. 春田山, 持木, 有村, 黒神観測井の温泉ガス中の H₂ 濃度変化

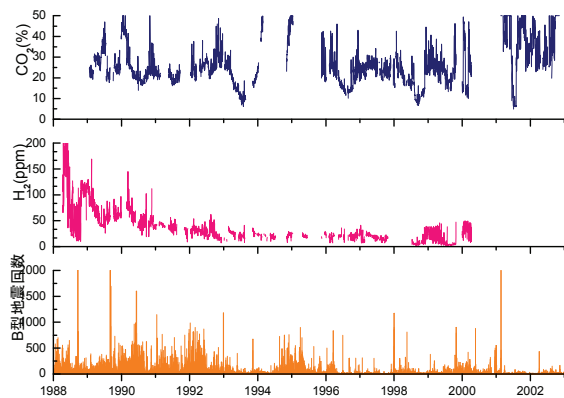


図 6. 春田山観測井における連続観測による CO₂ と H₂ 濃度変化と B 型地震の発生回数

黒神観測井における H₂ ガス濃度は、1991 年の観測では 20～30%と高かったが、昭和火口の噴火再開直後は 0.02%程度と低い濃度であった。水素ガス濃度は、2006 年 8 月～9 月には一旦 0.03%を超える濃度となったが、その後は 0.01%程度に低下した。しかし、昭和火口噴火再開後の 2007 年 7 月以降は、CO₂ 濃度と同様に H₂ 濃度も上昇傾向に転じ、2008 年 1 月、2 月の濃度は 0.05 %を超えている(図 7)。

黒神観測井で、CO₂, H₂ 濃度の上昇がはじまったのは、2007 年 5 月の再噴火直後ではなく、活動がおさまった 7 月からで、これと関連すると思われる地盤変動が観測されている。すなわち、

図 5 に4観測井における水素ガス濃度の変化を示した。春田山観測井の 1995 年の観測では、H₂ 濃度は 0.001%を超えていたが、昭和火口での噴火再開後の H₂ 濃度は極めて低く、0.0005%以下で、昭和火口の火山活動との関連は認められない。しかし、1988 年に同観測井で本格的に観測を開始した自動ガス chromatograph 装置による連続観測では、H₂ は観測開始直後 0.01 %を越える高い濃度であり、その後徐々に濃度低下した。この濃度変化は、桜島の活動、特にマグマの発泡などによって起こる B 型地震の発生回数の変化と類似している(図 6)。

持木観測井の H₂ 濃度は、自動ガス chromatograph 装置による観測で、爆発活動に先行して短期間高くなることが観測されているが (Hirabayashi et al., 1986⁵), 定期観測による H₂ ガスの濃度は低く、火山活動に連動した変化は認められていない。

有村観測井の H₂ ガス濃度は、昭和火口での爆発開始直前の 2006 年 5 月 21 日、2007 年 5 月の同火口における再噴火後 7 月 21 日に 0.001 %を超える濃度が観測された。この濃度変化は、火山活動と関連したものとも考えられるが定かでない。

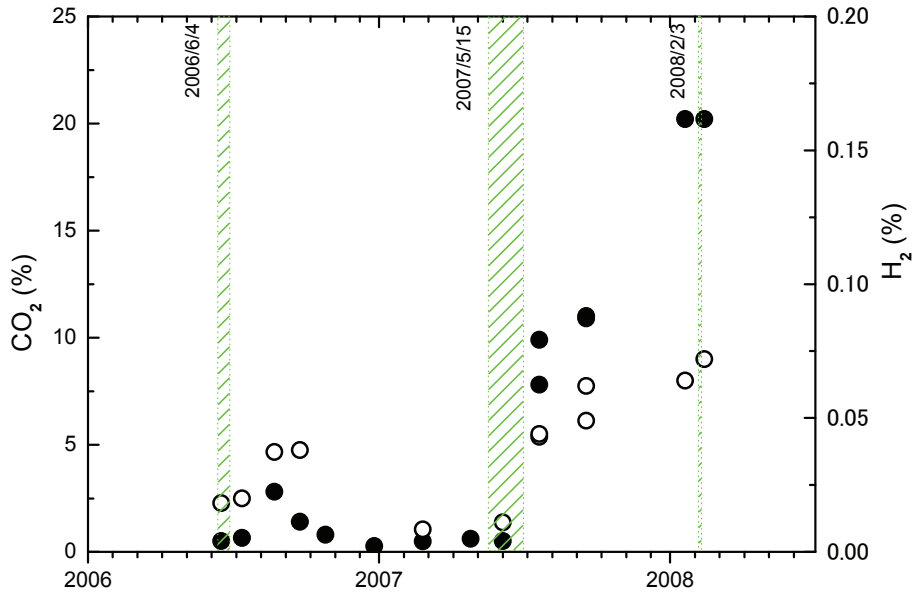


図 7. 黒神観測井の温泉ガス中の CO₂(●)と H₂(○)濃度と昭和火口の活動(斜線部分)

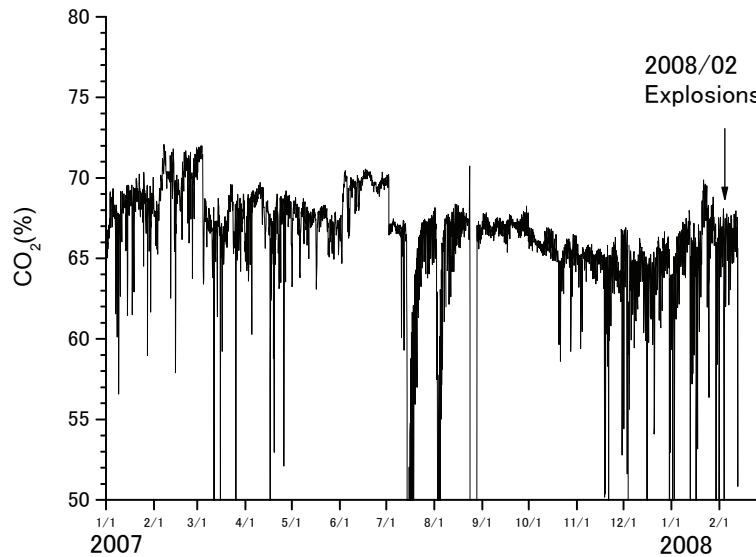


図 8. 国土交通省九州整備局大隅河川国道事務所所有村観測井における CO₂ 濃度変化

島内の GPS 観測では、2007 年 8 月頃から東西の水平成分が伸びる傾向を示している。また、ハルタ山観測坑道の伸縮計は、2007 年 5 月の昭和火口噴火再開の約 3 ヶ月前から伸びが始まり、噴火後は縮みに転じたが、同年 9 月ころから再び山体の膨張を示す伸びの傾向に変化した。このほか、国土交通省有村観測坑道の水管傾斜計でも 2007 年 8 月から山頂上がり、すなわち膨張を示す傾向に転じる変化が観測されている。また、有村観測井の CO₂ 濃度は 2007 年 12 月から上昇に転じている(図 8)。

表 1. 桜島ボーリング孔における温泉ガス分析結果

Locality	Date	CO ₂	He	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	Ar
Harutayama	1995/5	24.0	0.0007	0.0011	3.69	67.17	4.33	0.806
	2006/6/17	32.7		0.0022	2.95	51.68	12.69	
	2006/7/13	12.0		tr	13.56	72.20	2.226	
	2006/8/23	18.3		tr	10.52	63.74	8.34	
	2006/9/24	26.5		tr	9.47	56.39	17.11	
	2006/10/26	17.64	tr	tr	7.29	69.33	5.72	
	2006/12/28	23.5		tr	4.64	57.63	14.22	
	2007/2/25	21.0		tr	4.46	68.29	6.25	
	2007/4/26	16.5	tr	tr	7.57	69.69	6.23	
	2007/6/5	17.1	tr	tr	6.46	71.70	4.73	
	2007/7/21	1.9	tr	tr	19.4	78.3	0.341	
		2.5	tr	nd	19.0	78.1	0.366	
	2007/9/18	16.0	tr	tr	6.39	65.58	12.02	
		19.0	tr	tr	6.00	63.20	11.83	
	2008/1/20	29.9	tr	tr	0.89	59.37	9.84	
Mochiki 3	1997/5	33.0	0.0006	0.0004	12.84	53.32	0.0052	0.838
	2006/6/17	8.8		0.0025	17.85	73.33	nd	
	2006/7/13	7.4		tr	18.33	74.26	nd	
	2006/8/23	9.0		tr	17.82	73.17	nd	
	2006/9/24	10.8		tr	17.46	71.73	nd	
	2006/10/26	6.93		tr	18.42	74.62	nd	
	2006/12/26	5.9		tr	18.72	75.37	nd	
	2007/2/25	6.0		tr	18.78	75.21	nd	
	2007/4/26	7.0	tr	tr	18.35	74.64	nd	
	2007/6/5	7.0	tr	nd	18.44	74.55	nd	
	2007/7/21	2.0	tr	nd	19.6	78.4	nd	
		3.4	tr	nd	19.3	77.3	nd	
	2007/9/18	6.0	tr	nd	18.66	75.33	nd	
		6.4	tr	nd	18.59	75.00	nd	
	2008/1/20	4.5	tr	nd	18.99	76.50	nd	
2008/2/13	5.0	tr	nd	19.10	75.90	nd		
Arimura	2005/12/17	60.2		nd	5.33	34.73	0.0071	
		59.2		nd	5.33	35.46	0.0085	
	2006/5/21	66.7		nd	3.87	29.43	tr	
		66.0		0.0010	3.88	30.12	tr	
	2006/6/18	65.0		nd	3.67	31.31	tr	
	2006/7/13	67.0	0.0004	tr	3.82	29.18	0.0040	
	2006/8/23	65.0		0.0004	4.02	30.98	tr	
	2006/9/24	63.4	tr	tr	4.18	32.42	tr	
	2006/10/26	66.83		tr	3.35	27.79	tr	
	2006/12/26	64.0		tr	3.78	32.2	tr	
	2007/2/25	64.7	tr	tr	3.61	31.58	tr	
	2007/4/26	65.3	tr	0.0003	3.53	31.17	nd	
	2007/6/5	66.0	nd	nd	3.63	30.36	nd	
	2007/7/21	64.0	tr	tr	4.2	31.8	nd	
		63.1	tr	0.0019	4.3	32.6	nd	
2007/9/18	64.0	tr	nd	3.81	32.19	tr		
	63.9	tr	nd	3.89	32.50	tr		
2008/1/20	63.7	tr	nd	3.76	32.53	nd		
2008/2/13	62.7		nd	3.86	33.43	nd		
Kurokami 2	1991/5/20	2.9		32.92	12.82	51.37	0.0155	
	1991/8/7	1.7		17.50	13.57	65.86	1.36	
	2006/6/17	0.5		0.0182	19.99	79.44	0.0485	
	2006/7/13	0.65		0.0199	20.01	79.31	nd	
	2006/8/23	2.8		0.0373	19.53	77.62	nd	
	2006/9/24	1.4		0.038	19.81	78.74	nd	
	2006/10/26	0.8		tr	20.16	78.03	nd	
	2006/12/26	0.27		tr	20.1	79.6	nd	
	2007/2/25	0.48		0.0084	20.13	79.37	nd	
	2007/4/26	0.6		tr	19.59	79.80	nd	
	2007/6/5	0.5	tr	0.011	19.73	79.75	nd	
	2007/7/21	9.9	tr	0.043	17.1	73.0	nd	
		7.8	tr	0.044	17.5	74.7	nd	
	2007/9/18	10.9	tr	0.049	16.10	72.94	nd	
		11.0	tr	0.062	15.98	72.95	nd	
2008/1/20	20.2	tr	0.064	12.70	67.04	nd		
2008/2/13	20.2	tr	0.072	12.35	67.38	nd		

4. 土壌からの CO₂ 拡散放出量

前章でのべたように、桜島に掘削された観測井では温泉の湧出があり、温泉水に含まれる CO₂ ガス濃度は火山活動に連動して変化する。これら桜島の東～南～南西部に湧出する温泉は、これまでの研究で、マグマ起源の熱流体と天水、海水の混合である。また、桜島の西～北～東にかけての北半分の地域には、現在の火山活動に関連した温泉の湧出がないことから、桜島の南半分の地域の地下に胚胎すると考えられる熱水の分布域を推定するために、土壌からの CO₂ の拡散放出量を測定した。測定に使用した装置は、West Systems 社製の WS0014 で、放出量は内部に攪拌用ファンを備えたチャンバーを地表に密着させ、チャンバー内の CO₂ 濃度の増加率から求めた。測定点数は 145 点である(観測点および放出量は表 2)。

土壌からの CO₂ の拡散放出量は、一般に中央火口から高温の火山ガスを放出する活動的な火山では、周辺の土壌からの放出量は少なく(例えば、齋藤・他, 2007⁶⁾)、草津白根山のように噴気・変質帯が発達した火山の山頂周辺では地表からの CO₂ 放出量が多い(齋藤・他, 2004⁷⁾)。

図 8 に各観測点における CO₂ 放出量を示した。測定した地域のうち特に CO₂ 放出量が多かった場所は、春田山、湯之平展望台および有村、黒神地域の一部であった。これらの場所はいずれも温泉ガス中の CO₂ 濃度が高い観測井近傍である。また、湯之平展望台は大正溶岩シミュ

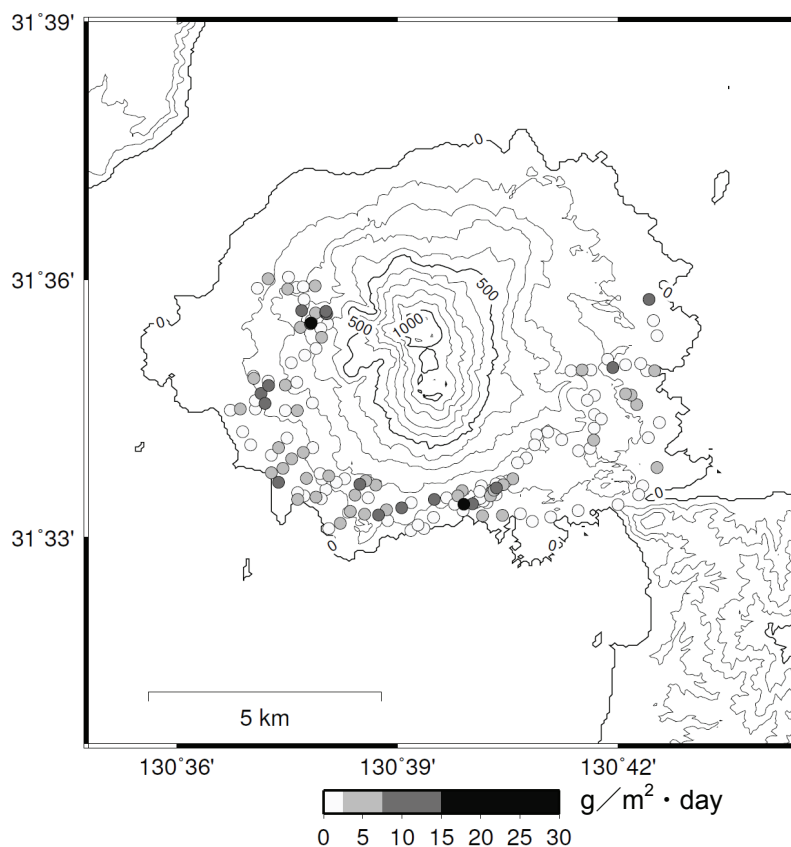


図 8. 桜島における土壌からの CO₂ 拡散放出量分布

レーション時の溶岩流出口の一つに近く(石原・他, 1985⁸⁾), 弱い噴気活動がある。これら高い CO₂ 放出量が観測された地点以外にもやや高い CO₂ 放出量が観測された場所は, 赤水から春田山へ登る登山道の途中の愛宕山付近, 持木地域の一部, 島南部の古里温泉付近などである。また, 有村地域には, 昭和 14 年の昭和火口での活動後に CO₂ ガスの噴出孔が確認された場所(津屋・水上, 1940⁹⁾)の近くに, 全観測点の中で最も高い CO₂ 放出量が観測された場所がある。このほか, 昭和溶岩流の先端付近から弱い噴気が見られる場所の近くでも若干高い CO₂ 放出量が観測された。なお, 黒神地域から大正および昭和溶岩流を横切って有村川へ抜ける測線では, 両溶岩が覆っているためか, CO₂ 放出量は少なかった。

5. まとめ

昭和火口の再噴火活動で放出された火山灰に付着する火山ガス由来の水溶性成分量は, 南岳の爆発活動が活発であった 1970 年代の火山灰に比べて多いが, 塩化物イオンと硫酸イオンの比には大きな変化は見られなかった。また, 2006 年 6 月, 2007 年 5 月, 2008 年 2 月の各噴火期の両成分の比に経時変化はなく, 一連の昭和火口の噴火に関与した火山ガスは, 南岳から放出されているガス組成と違いはない。

桜島火山のボーリング孔における温泉ガスの観測では, 黒神観測井の温泉ガスの CO₂ および H₂ 濃度が昭和火口の噴火活動に連動する濃度上昇が観測された。また, 国土交通省九州整備局の有村観測井の温泉ガスの CO₂ も前駆的な濃度上昇が観測されている。

水準測量や GPS 観測で検出される桜島島内の隆起・膨張の圧力源は始良カルデラ中央部から桜島島内北部にあり, 主たるマグマの蓄積は依然として始良カルデラ下において進行しているが, 昭和火口に近い両観測井の温泉ガスの成分濃度の変化とこれと同期するような南岳山頂域の隆起を示す微小傾斜変化は, 始良カルデラのマグマ溜りから山頂へのマグマ供給量やその経路に若干の変化が起こっている可能性を示唆していると考えられる。

2003 年 11 月ごろから桜島南西部の地下 6~9km において A 型地震の活動が活発化し, 始良カルデラから南西部へのマグマの移動が推定されたが(Hidayati et al., 2007¹⁰⁾), 南岳の爆発活動が活発であったときに高濃度の CO₂ や H₂ が観測された持木海岸の温泉ガスの CO₂ や H₂ 濃度が現在低いことは, 桜島南西の浅部へのマグマの供給量が少ないことを示していると思われる。

桜島島内の南半分の地域で行った土壌からの CO₂ の拡散放出量の測定では, 温泉ガスを調査したボーリング孔周辺, 噴気孔近傍や地下に温泉が胚胎すると思われる古里温泉の山側地域などから CO₂ の放出量が多いことが判明し, 土壌からの CO₂ 放出量の測定は, 地下の熱水分布の推定に有用である。

謝 辞

桜島火山の集中総合観測を実施するにあたり、京都大学防災研究所火山活動研究センターの皆様にご協力をいただきました。二酸化炭素の拡散放出量測定装置は、九州大学島原地震火山観測所から拝借いたしました。また、同装置の取り扱いについては、産業技術総合研究所、高橋 浩博士にご指導をいただきました。ここに、記してお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Hirabayashi, J., Ohsaka, J. and Ozawa, T. (1986): Geochemical Study on Volcanic Gases at Sakurajima Volcano, Japan, *J. Geophysical Res.*, Vol. 91, B12, 12,167-12,176.
- 2) 太田一也・露木利貞(1977):地下水・温泉の観測結果, 第2回桜島火山の集中観測報告書, 81-87.
- 3) 太田一也(1986):桜島火山における火山活動に対応した温泉の挙動, 第5回桜島火山の集中観測報告書, 103-114.
- 4) 大場 武・平林順一・野上健治・石原和弘・山本圭吾(1999):桜島火山の地下水・熱水系, 京都大学防災研究所共同研究 9P-5 報告書「桜島火山の地下水・熱水系に関する研究」, 31-47.
- 5) Hirabayashi, J., Ohsaka, J. and Ozawa, T. (1982): Relationship between volcanic activity and chemical composition of volcanic gases — A case study on the Sakurajima Volcano, *Geochem. J.*, Vol. 16, 11-21.
- 6) 齋藤政城・松島 健・松尾紉道・清水 洋(2007):阿蘇中岳火山の二酸化硫黄および二酸化炭素ガス放出量の測定, 九州大学大学院理学研究院報告, 第22巻, 51-62.
- 7) 齋藤政城・平林順一・野上健治・森 健彦・水橋正英・及川光弘(2004):草津白根山山頂地域から放出される二酸化炭素ガス量, 第4回草津白根火山の集中総合観測報告書, 175-181.
- 8) 石原和弘・井口正人・加茂幸介(1985):桜島火山の溶岩流(Ⅱ), 京都大学防災研究所年報, 第28号, 1-11.
- 9) 津屋弘達・水上 武(1940):昭和14年10月桜島火山の小噴火, 東京大学地震研究所彙報, 第18巻, 318-339.
- 10) Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007): Volcanic-tectonic earthquakes during the stage of magma accumulation at the Aira caldera, Southern Kyushu, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, Vol. 52, 289-309.

(Received on April 3, 2008)

表 2. 土壌からの CO₂ 拡散放出量(1)

No.	GPSNo.	緯度	経度	高度 m	温度 °C	気圧 hpa	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均	A.c.K.	mol・m ⁻² ・day ⁻¹	CO ₂ 放出量 g・m ⁻² ・day ⁻¹
1	002	31:33:29.3	130:37:23.4	35	12.6	1010	0.25	0.19			0.22	0.33076	0.073	3.20
2	003	31:33:48.2	130:37:26.5	53	13.1	1008	0.11	0.28	0.16		0.18	0.32953	0.060	2.66
3	004	31:33:54.9	130:37:33.7	68	12.8	1006	0.32	0.16	0.15		0.21	0.32922	0.069	3.04
4	006	31:33:59.2	130:37:43.1	91	12.8	1004	0.38	0.52	0.35		0.42	0.32857	0.137	6.03
5	007	31:34:02.6	130:37:51.2	99	12.0	1003	0.06	0.03			0.05	0.32916	0.015	0.65
6	008	31:33:41.3	130:37:45.7	69	12.4	1006	0.84	0.32	0.27		0.48	0.32968	0.157	6.92
7	009	31:33:44.6	130:37:56.8	102	11.8	1002	0.12	0.09			0.11	0.32906	0.035	1.52
8	010	31:33:42.8	130:38:04.1	118	12.3	1001	0.23	0.45			0.34	0.32816	0.112	4.91
9	011	31:33:38.4	130:38:10.2	120	12.7	999	0.07	0.15	0.12		0.11	0.32704	0.037	1.63
10	012	31:33:40.8	130:38:16.9	129	12.3	998	0.12	0.08			0.10	0.32717	0.033	1.44
11	013	31:33:37.1	130:38:29.3	160	12.5	995	1.04	0.85	0.43		0.77	0.32596	0.252	11.09
12	014	31:33:39.4	130:38:34.4	184	12.2	992	0.26	0.65	0.35		0.42	0.32532	0.137	6.01
13	015	31:33:36.5	130:38:42.5	180	13.1	992	0.30	0.27			0.29	0.32430	0.092	4.07
14	016	31:33:27.4	130:38:36.1	131	12.8	998	0.19	0.09	0.11		0.13	0.32660	0.042	1.87
15	017	31:33:29.5	130:38:25.6	124	13.8	998	0.22	0.15			0.19	0.32546	0.060	2.65
16	018	31:33:18.1	130:38:21.6	109	13.7	1000	0.45	0.42			0.44	0.32623	0.142	6.25
17	019	31:33:16.2	130:38:33.3	114	13.6	999	0.52	0.47			0.50	0.32602	0.161	7.10
18	020	31:33:15.7	130:38:44.7	116	13.7	999	0.51	0.59			0.55	0.32590	0.179	7.89
19	021	31:33:19.2	130:38:51.1	132	13.3	997	0.38	0.56			0.47	0.32571	0.153	6.74
20	023	31:33:20.5	130:39:03.7	137	13.6	996	0.92	0.60	0.26		0.59	0.32504	0.193	8.49
21	024	31:33:24.2	130:39:11.5	137	13.5	997	0.02	0.01			0.02	0.32548	0.005	0.21
22	025	31:33:11.8	130:38:52.3	83	13.5	1004	0.11	0.18			0.15	0.32776	0.048	2.09
23	026	31:33:28.1	130:37:53.7	57	14.5	1008	0.40	0.38			0.39	0.32792	0.128	5.63
24	027	31:33:26.9	130:37:58.0	63	14.1	1007	0.10	0.10			0.10	0.32806	0.033	1.44
25	028	31:33:33.3	130:38:01.8	91	13.6	1003	0.07	0.07			0.07	0.32732	0.023	1.01
26	029	31:33:40.5	130:37:58.6	101	13.9	1002	0.06	0.11			0.09	0.32665	0.028	1.22
30	030	31:33:04.7	130:39:10.9	38	11.7	1016	0.02	0.01			0.02	0.33378	0.005	0.22

表 2. 土壌からの CO₂ 拡散放出量 (2)

No.	GPSNo.	緯度	経度	高度 m	温度 °C	気圧 hpa	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均	A.c.K.	mol・m ⁻² ・day ⁻¹	CO ₂ 放出量 g・m ⁻² ・day ⁻¹
31	031	31:33:08.5	130:39:16.8	58	11.6	1012	0.17	0.01	0.04		0.07	0.33258	0.024	1.07
32	032	31:33:06.2	130:39:21.8	32	12.6	1015	0.01				0.01	0.33240	0.003	0.15
33	033	31:33:13.8	130:39:29.6	54	11.2	1012	0.12	0.06			0.09	0.33305	0.030	1.32
34	034	31:33:18.7	130:39:53.5	38	12.2	1014	0.06	0.08			0.07	0.33254	0.023	1.02
35	035	31:33:23.0	130:39:54.3	66	12.2	1010	1.70	1.46			1.58	0.33122	0.523	23.03
36	036	31:33:28.9	130:39:49.4	95	11.3	1006	0.32	0.40			0.36	0.33096	0.119	5.24
37	037	31:33:23.1	130:39:46.9	89	12.4	1007	0.12	0.09			0.11	0.33001	0.035	1.52
38	038	31:33:26.5	130:39:30.3	143	11.4	1004	0.33	0.88			0.61	0.33018	0.200	8.79
39	039	31:33:27.5	130:39:40.2	116	12.6	1004	0.04	0.06			0.05	0.32880	0.016	0.72
40	040	31:33:32.5	130:39:53.0	103	12.5	1006	0.54	0.11	0.13		0.26	0.32957	0.086	3.77
41	042	31:33:23.3	130:40:01.5	34	13.5	1014	0.85	0.54			0.70	0.33103	0.230	10.13
42	043	31:33:24.4	130:40:04.2	30	12.9	1014	0.05	0.03			0.04	0.33172	0.013	0.58
43	044	31:33:27.2	130:40:08.0	49	12.5	1012	0.12	0.08			0.10	0.33153	0.033	1.46
44	045	31:33:31.9	130:40:07.4	95	11.5	1006	0.12	0.10			0.11	0.33072	0.036	1.60
45	046	31:33:36.0	130:40:08.6	131	11.5	1002	0.16	0.06			0.11	0.32941	0.036	1.59
46	047	31:33:25.4	130:40:10.3	41	11.9	1014	0.11	0.07			0.09	0.33289	0.030	1.32
47	048	31:33:29.0	130:40:16.2	56	11.5	1010	0.45	0.18			0.32	0.33204	0.105	4.60
48	049	31:33:32.9	130:40:19.0	71	11.5	1009	0.38	0.50			0.44	0.33171	0.146	6.42
49	050	31:33:37.2	130:40:20.5	78	11.2	1008	0.16	0.09			0.13	0.33173	0.041	1.82
50	051	31:33:38.7	130:40:24.1	90	11.4	1006	0.08	0.07			0.08	0.33084	0.025	1.09
51	052	31:33:31.9	130:40:17.7	65	11.6	1009	0.25	0.20			0.23	0.33159	0.075	3.28
52	053	31:33:24.3	130:40:13.0	49	11.6	1013	0.08	0.07			0.08	0.33291	0.025	1.10
53	054	31:33:29.7	130:40:20.7	67	11.4	1009	0.02	0.02			0.02	0.33183	0.007	0.29
54	055	31:33:36.6	130:40:26.3	92	11.0	1006	0.27	0.33			0.30	0.33131	0.099	4.37
55	056	31:33:40.8	130:40:34.1	108	11.5	1004	0.26	0.17			0.22	0.33007	0.071	3.12
56	057	31:33:51.9	130:40:38.2	134	10.5	1001	0.04	0.02			0.03	0.33024	0.010	0.44
57	058	31:33:14.9	130:40:09.6	27	10.8	1013	0.20	0.14			0.17	0.33385	0.057	2.50

表 2. 土壌からの CO₂ 拡散放出量(3)

No.	GPSNo.	緯度	経度	高度 m	温度 °C	気圧 hpa	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均	A.c.K.	mol・m ⁻² ・day ⁻¹	CO ₂ 放出量 g・m ⁻² ・day ⁻¹
58	059	31:33:15.4	130:40:25.8	47	10.6	1011	0.25	0.24			0.25	0.33342	0.082	3.60
59	060	31:33:16.5	130:40:40.4	68	10.5	1008	0.07	0.05			0.06	0.33255	0.020	0.88
60	061	31:33:11.2	130:40:50.2	54	10.4	1010	0.10	0.08			0.09	0.33333	0.030	1.32
61	062	31:33:14.2	130:41:05.3	36	10.5	1012	0.03				0.03	0.33387	0.010	0.44
62	063	31:33:18.6	130:41:27.5	38	10.7	1012	0.09				0.09	0.33364	0.030	1.32
63	064	31:33:22.9	130:42:00.1	20	10.9	1015	0.03	0.08			0.06	0.33439	0.018	0.81
64	065	31:33:06.2	130:38:04.2	40	10.1	1013	0.06				0.06	0.33467	0.020	0.88
65	066	31:33:09.8	130:38:13.5	43	9.9	1012	0.20	0.35			0.28	0.33458	0.092	4.05
70	067	31:33:29.7	130:42:17.1	46	6.6	1022	0.06	0.10			0.08	0.34187	0.027	1.20
71	068	31:33:35.9	130:42:20.2	61	6.0	1019	0.06	0.03			0.05	0.34160	0.015	0.68
72	069	31:33:48.7	130:42:32.1	60	8.6	1019	0.27	0.20			0.24	0.33845	0.080	3.50
73	070	31:34:09.7	130:42:24.8	56	6.9	1020	0.08	0.03			0.06	0.34084	0.019	0.83
74	071	31:34:20.1	130:42:34.0	53	7.1	1021	0.14	0.06			0.10	0.34093	0.034	1.50
75	072	31:34:32.8	130:42:15.5	79	6.8	1017	0.24	0.13			0.19	0.33996	0.063	2.77
76	073	31:34:39.3	130:42:10.8	84	6.7	1015	0.80	0.30	0.06	0.11	0.32	0.33941	0.108	4.74
77	074	31:34:40.3	130:42:06.1	82	7.1	1013	0.43	0.22			0.33	0.33826	0.110	4.84
78	075	31:34:56.3	130:42:23.4	33	6.6	1019	0.07	0.02			0.05	0.34087	0.015	0.68
79	076	31:35:01.3	130:42:18.7	44	7.3	1017	0.08	0.05			0.07	0.33935	0.022	0.97
80	077	31:35:00.6	130:42:06.2	65	6.8	1015	0.10	0.06			0.08	0.33929	0.027	1.19
81	078	31:34:58.6	130:41:56.0	73	7.5	1016	0.32	0.90			0.61	0.33878	0.207	9.09
82	079	31:34:57.0	130:41:38.1	120	6.9	1008	0.06	0.04			0.05	0.33683	0.017	0.74
83	080	31:34:56.8	130:41:30.7	144	7.0	1004	0.28	0.19			0.24	0.33537	0.079	3.47
84	081	31:34:56.4	130:41:21.8	152	5.5	1002	0.08	0.12			0.10	0.33651	0.034	1.48
85	082	31:35:04.4	130:41:51.5	109	6.8	1007	0.09	0.08			0.09	0.33661	0.029	1.26
86	083	31:34:56.3	130:42:30.1	1	11.8	1024	0.35	0.22			0.29	0.33629	0.096	4.22
87	084	31:35:20.8	130:42:32.1	49	7.7	1020	0.08	0.02			0.05	0.33987	0.017	0.75
88	085	31:35:31.3	130:42:29.0	31	8.5	1020	0.05	0.06			0.06	0.33890	0.019	0.82

表 2. 土壌からの CO₂ 拡散放出量 (4)

No.	GPSNo.	緯度	経度	高度 m	温度 °C	気圧 hpa	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均	A.c.K.	mol・m ⁻² ・day ⁻¹	CO ₂ 放出量 g・m ⁻² ・day ⁻¹
89	086	31:35:46.1	130:42:25.6	49	7.4	1018	0.98	0.76			0.87	0.33956	0.295	13.00
90	087	31:33:34.5	130:40:20.9	81	7.7	1014	0.58	0.45			0.52	0.33787	0.174	7.66
91	088	31:33:33.2	130:40:19.0	77	7.7	1013	0.09				0.09	0.33753	0.030	1.34
92	089	31:33:28.8	130:37:43.9	34	7.9	1019	0.07	0.05			0.06	0.33929	0.020	0.90
93	090	31:33:31.1	130:37:38.6	22	8.3	1020	0.08	0.10			0.09	0.33914	0.031	1.34
94	091	31:33:26.5	130:37:38.6	1	8.9	1021	0.23	0.31			0.27	0.33875	0.091	4.03
100	092	31:34:39.1	130:41:40.9	106	5.8	1012	0.09	0.03			0.06	0.33950	0.020	0.90
101	093	31:34:35.6	130:41:35.1	113	5.4	1011	0.12	0.10			0.11	0.33965	0.037	1.64
102	094	31:34:25.7	130:41:40.9	107	5.6	1012	0.05	0.03			0.04	0.33974	0.014	0.60
103	095	31:34:22.6	130:41:46.5	112	6.1	1012	0.08	0.04			0.06	0.33913	0.020	0.90
104	096	31:34:16.2	130:41:40.7	108	6.3	1012	0.07	0.06			0.07	0.33889	0.022	0.97
105	097	31:34:08.0	130:41:40.1	104	7.4	1013	0.19	0.23			0.21	0.33790	0.071	3.12
106	098	31:34:02.0	130:41:37.4	100	7.3	1014	0.10	0.07			0.09	0.33835	0.029	1.27
107	099	31:34:00.5	130:41:27.9	124	7.6	1011	0.05	0.02			0.04	0.33699	0.012	0.52
108	100	31:34:08.2	130:41:14.1	165	8.0	1005	0.05	0.04			0.05	0.33451	0.015	0.66
109	101	31:34:13.4	130:41:02.9	185	8.0	1003	0.02	0.00			0.01	0.33385	0.003	0.15
110	102	31:34:11.6	130:40:53.6	221	8.9	998	0.05	0.06			0.06	0.33112	0.018	0.80
111	103	31:34:04.6	130:40:52.2	193	8.8	1000	0.13	0.11			0.12	0.33190	0.040	1.75
112	104	31:33:55.3	130:40:45.4	171	9.6	1002	0.00	0.02			0.01	0.33162	0.003	0.15
113	105	31:33:38.4	130:37:23.0	32	10.8	1021	0.70	0.38			0.54	0.33648	0.182	8.00
114	106	31:33:45.0	130:37:17.3	28	10.6	1020	0.26	0.20			0.23	0.33639	0.077	3.41
115	107	31:34:33.7	130:37:50.7	196	8.4	1000	0.09	0.02			0.06	0.33237	0.018	0.80
116	108	31:34:28.4	130:37:38.5	156	9.8	1004	0.50	0.30			0.40	0.33205	0.133	5.85
117	109	31:34:28.4	130:37:28.6	129	9.0	1007	0.13	0.07			0.10	0.33399	0.033	1.47
118	110	31:34:09.3	130:37:29.9	49	9.7	1017	0.09	0.04			0.07	0.33647	0.022	0.96
119	111	31:34:02.6	130:37:23.2	34	10.3	1019	0.36	0.29			0.33	0.33642	0.109	4.81
120	112	31:33:57.4	130:37:17.3	22	9.5	1021	0.10	0.10			0.10	0.33803	0.034	1.49

表 2. 土壌からの CO₂ 拡散放出量(5)

No.	GPSNo.	緯度	経度	高度 m	温度 °C	気圧 hpa	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均	A.c.K.	mol・m ⁻² ・day ⁻¹	CO ₂ 放出量 g・m ⁻² ・day ⁻¹
121	113	31:34:04.5	130:37:00.2	16	9.8	1022	0.10	0.05			0.08	0.33800	0.025	1.12
122	114	31:34:13.7	130:36:53.9	18	8.9	1022	0.04	0.05			0.05	0.33908	0.015	0.67
123	115	31:34:28.8	130:36:43.8	13	9.1	1022	0.00	0.01			0.01	0.33884	0.002	0.07
130	116	31:34:29.6	130:36:51.8	27	7.6	1022	0.28	0.34			0.31	0.34065	0.106	4.65
131	117	31:34:29.5	130:37:04.2	50	7.8	1019	0.03	0.04			0.04	0.33941	0.012	0.52
132	118	31:34:35.5	130:37:04.3	76	7.9	1015	0.12	0.11			0.12	0.33796	0.039	1.71
133	119	31:34:33.4	130:37:12.0	105	7.7	1012	0.51	0.75			0.63	0.33720	0.212	9.35
134	120	31:34:40.5	130:37:08.7	127	7.6	1009	0.60	0.61			0.61	0.33632	0.203	8.95
135	121	31:34:45.9	130:37:15.0	147	8.2	1006	0.76	0.91			0.84	0.33461	0.279	12.30
136	122	31:34:51.1	130:37:02.8	166	7.9	1004	0.12	0.28			0.20	0.33430	0.067	2.94
137	123	31:34:52.5	130:37:02.7	166	7.9	1004	0.08	0.05			0.07	0.33430	0.022	0.96
138	124	31:34:49.1	130:37:14.6	178	7.1	1003	0.04	0.05			0.05	0.33492	0.015	0.66
139	125	31:34:46.2	130:37:28.6	196	6.9	1000	0.21	0.17			0.19	0.33416	0.063	2.79
140	126	31:34:48.3	130:37:38.2	215	7.2	997	0.12	0.15			0.14	0.33280	0.045	1.98
141	127	31:35:01.8	130:37:33.6	252	6.7	993	0.06	0.06			0.06	0.33205	0.020	0.88
142	128	31:35:07.1	130:37:44.4	266	7.1	991	0.10	0.06			0.08	0.33091	0.026	1.17
143	129	31:35:11.8	130:37:53.6	292	6.7	988	0.06	0.16	0.14		0.12	0.33038	0.040	1.74
144	130	31:35:19.6	130:37:58.3	339	6.5	982	0.44	0.26			0.35	0.32861	0.115	5.06
145	131	31:35:29.3	130:38:03.0	372	6.4	979	0.04	0.08			0.06	0.32772	0.020	0.87
146	132	31:35:37.7	130:38:01.8	413	6.9	973	1.00	0.72	0.75		0.82	0.32513	0.268	11.78
147	133	31:35:36.2	130:38:02.5	416	6.9	972	0.72	0.84			0.78	0.32480	0.253	11.15
148	134	31:35:36.8	130:38:01.3	414	6.9	973	0.44	0.36			0.40	0.32513	0.130	5.72
149	135	31:35:29.6	130:37:49.6	377	7.2	977	1.81	1.69			1.75	0.32612	0.570	25.10
150	136	31:35:29.2	130:37:49.2	376	7.2	976	0.86	0.93			0.90	0.32579	0.292	12.83
151	137	31:35:31.3	130:37:49.8	367	7.6	978	0.08	0.16			0.12	0.32599	0.039	1.72
152	138	31:35:36.7	130:37:53.3	343	8.2	981	0.16	0.19			0.18	0.32629	0.057	2.51
153	139	31:35:25.9	130:37:57.6	318	7.8	985	0.09	0.08			0.09	0.32809	0.028	1.23

表 2. 土壌からの CO₂ 拡散放出量 (6)

No.	GPSNo.	緯度	経度	高度 m	温度 °C	気圧 hpa	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	平均	A.c.K.	mol・m ⁻² ・day ⁻¹	CO ₂ 放出量 g・m ⁻² ・day ⁻¹
154	140	31:35:26.8	130:37:41.1	287	8.2	987	0.22	0.23			0.23	0.32829	0.074	3.25
155	141	31:35:38.3	130:37:42.0	249	8.1	991	0.64	0.50			0.57	0.32973	0.188	8.27
156	142	31:35:46.1	130:37:43.9	219	8.5	995	0.10	0.06			0.08	0.33059	0.026	1.16
157	143	31:35:55.1	130:37:43.1	182	8.3	1000	0.06	0.08			0.07	0.33249	0.023	1.02
158	144	31:36:01.6	130:37:31.3	137	9.0	1005	0.05	0.07			0.06	0.33333	0.020	0.88
159	145	31:36:00.5	130:37:14.6	80	10.1	1012	0.35	0.32	0.10		0.26	0.33434	0.086	3.78
160	146	31:35:54.0	130:37:06.0	58	9.8	1015	0.09	0.03			0.06	0.33569	0.020	0.89
161	147	31:35:55.6	130:37:53.0	35	10.5	1017	0.15	0.20			0.18	0.33552	0.059	2.58
162	148	31:35:54.6	130:37:37.8	15	9.8	1020	0.05	0.05			0.05	0.33734	0.017	0.74
163	149	31:35:53.5	130:37:30.5	9	9.6	1021	0.24	0.23			0.24	0.33791	0.079	3.49

