

B-2. メタン・亜酸化窒素の放出源及び放出量の解明に関する研究

(2) 火山等からの放出量の解明に関する研究

研究代表者	地質調査所	青木正博
通商産業省 工業技術院	地質調査所	
鉱物資源部	実験鉱床課	篠原宏志
地殻熱部	地殻熱資源課	風早康平
地質情報センター	地形情報課	安田聡
北海道支所	応用地質課	池田国昭

平成5-6年度 合計予算額 8,607千円

(平成6年度予算額 4,367千円)

[要旨] メタンの放出量の直接の測定は不可能であるため、火山ガス中のメタン/二酸化炭素濃度比の代表値と火山からの二酸化炭素の放出量から推定することを試みた。火山から放出されているメタンの量を推定するために、火山ガス、地熱井ガス、海底熱水系ガス、土壌ガスなどの調査を実施し、各現象に特徴的なメタン/二酸化炭素濃度比の最大値を 10^{-2} ~ 10^{-3} と推定した。これらのメタン/二酸化炭素濃度比と文献による各現象による二酸化炭素の放出量の推定値から火山からの放出量の最大値を推定した。

[キーワード] 火山ガス、土壌ガス、メタン、二酸化炭素

1. 序

火山などによる地殻の形成・岩石の変成・プレート沈み込みなどに伴う地質学的な物質循環は、地球誕生以来46億年間に渡り継続してきた基本的な過程であり、地球表層における物質の循環を理解するうえで、その理解を欠かすことは出来ない。地質学的物質循環は数百万年の長いタイムスケールで気圏・水圏・地殻・マントルという大きなサイクルでの過程であり、数万年のタイムスケールで生じている生物学的な循環はその土台の上に成り立っている。現在の地球上で観測される物質の循環を理解するためには、これらの地質学的循環、生物学的循環、およびよりタイムスケールの短い人類活動による影響とをそれぞれ検討する必要がある。

Bernerらにより検討された地質学的（地球化学的）炭素循環モデル（BLAGモデル）¹⁾は、地質時代における大気中の二酸化炭素に最も大きな影響を与える要因が地球からの脱ガス（火山等からの放出）率の変化であることを示している。現在推定されている地質学的現象による放出量は、人類活動による放出量（500Tmol/yr）を比べ非常に小さいが、地質学的現象のタイムスケールが数百万年から数億年を長期であるためにその及ぼす影響は大きい。

本研究課題では、主要な温室効果気体の一つであるメタンを放出する地質学的現象として陸上火山、地熱地帯および海底火山（海嶺）等の現象について検討し、その放出量を推定することを目的としている。

2. 研究方法

各種地質現象に伴われるガス成分の放出量、特に火山ガスの主成分でありメタンと成因的に密接な関係をもつと考えられる二酸化炭素の放出量の推定は表1に示すように様々な方法での推定が試みられている(1), 2), 3), 4), 5), 6), 7) は、火山ガス成分のうちで直接放出量が測定できるのは、TOMS (Total Ozon Mapping Spectrometer: 衛星に搭載しマッピングを行なう) およびCOSPEC (Corelation Spectrometer: 地上から個々の噴煙について測定を行なう)により紫外光の吸収を測定できる二酸化硫黄に限られている。また、 ^3He はその供給源が火山などのマントルに起源をもつ現象に限られるため、放出量の推定が可能である。そのため、火山ガスの主成分でありメタンと成因的に密接な関係をもつと考えられる二酸化炭素の放出量の推定は、 SO_2 または ^3He の放出量に、これらとの濃度比を乗ずることにより推定されている。本研究では、このように推定されている二酸化炭素の放出量に、それぞれ現象に対応したメタン/二酸化炭素濃度比を乗ずることによりメタンの放出量を推定することを基本方針としている。そのため本研究はそれぞれの地質現象により放出されるメタンの測定を行ない、メタンの起源を地球化学的に検討し、代表的なメタン/二酸化炭素濃度比を推定することを目的としている。

噴気ガスについては、薩摩硫黄島や有珠山などのような活動的な火山から、すでに火山としての活動は終息し熱水期に達したと考えられる恐山などのような火山まで、様々な段階の火山から、100度以下から900度以上までの幅広い温度範囲の試料を採取・分析を行った。また、日本と他の島弧との比較を行うために、インドネシアのいくつかの火山及び地熱系から採取した試料についても分析を行った。土壌ガスについては、鹿児島県薩摩硫黄島で現地調査を行い、約40点の試料を採取・分析を行った。地熱ガスおよび海底熱水系ガスについては、今までにも様々な研究者により多くのデータが得られているために、本研究独自でいくつかの試料について採取・分析を行うと同時に、文献調査に基づく検討をあわせて行った。変成作用により放出されるガスについては、文献調査に基づく検討を行った。

3. 結果及び考察

(1) 火山からの二酸化炭素の放出量

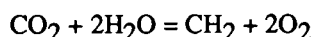
火山ガスの放出は噴火に伴われるもの、噴気地帯などから高温(>100℃)の噴気として放出されるもの、および火山の山体全体から拡散により(土壌ガスとして)放出されるものに分類される(表1)。これらの推定値は現世のものであり、地質時代には超大陸の分裂・海洋底の拡大の消長と共に大きな変化があったことが推定される。陸上火山からの定常的な放出量のうちの10~50%はイタリア・シシリー島のエトナ火山によるものであり、放出源が偏在していることが特徴的である。また山体全体からの拡散放出量は噴気ガスとして火口から放出される二酸化炭素の放出量に匹敵することがイタリア・エトナ火山において推定されており、二酸化炭素の放出過程として重要であることが示されている。しかし、現在までに山対全体から放出されているガス成分の放出量が推定されているのはエトナ火山についてのみであり、今後のほかの火山での測定が必要である。火山噴火による放出量も現世における平均値であるが、巨大噴火により放出される量が一年間当たりの平均放出量をはるかに上回る例が多く、その放出は時間的空間的に偏在している。また、VEI 3以上の噴火の噴煙高度は10kmを越え成層圏に達するために、巨大噴火により放

出された気体の多くは成層圏に注入されることが特徴である。

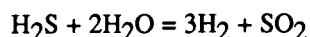
(2) 火山ガス中のメタン濃度

表2に本研究のために採取分析された様々な種類の火山ガス（地熱ガス、温泉ガス、海底熱水系のガス）の組成を示す。火山ガス中のメタンの成因としては主に、1) 火山ガスの主成分の一つである二酸化炭素との間の無機化学反応、2) 堆積物中の有機物の熱分解、の二つが考えられる。このうち有機物の熱分解による生成されるメタンの濃度（メタン/二酸化炭素比）は、火山体内に有機物を多く含んだ堆積物が存在するか否か、また、その堆積物の加熱される温度・圧力などに強く依存する。そのため、有機物の熱分解により生成したメタンの総量を推定することは困難である。しかし一般的に火山ガス中の二酸化炭素の大部分はマグマ起源であり地表近傍における有機物起源の二酸化炭素の混入は少ないと考えられており、少なくとも二酸化炭素に関しては有機物の熱分解が火山からの放出量を規制している本質的な過程とは考えられない。それに対し、無機化学反応により生じたメタンが火山ガス中のメタンの大部分であれば、各地質現象に特徴的な温度・圧力・酸素分圧から特徴的なメタン/二酸化炭素比を求めることができる。

化学平衡によるメタン濃度（メタン/二酸化炭素比）は、次の反応により温度、圧力、酸素分圧などにより規制されている。



日本などの島弧のマグマの酸素分圧はFMQ (Fayalite-Magnetite-Quartz) Bufferと同様の値を持つため、高温 (>800°C) の火山ガスの酸素分圧(または $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比) もまたFMQ Bufferとほぼ一致する(図1)。低温の火山ガスは以下に示す反応の反応速度がFMQ Bufferの反応速度と比べ大きいためFMQ Bufferの値からは大きくはずれるが、その値は火山ガス中の主成分である H_2S と SO_2 により規制された値として理解できる。



それに対し火山ガス中のメタン濃度は、高温 (>300°C) のものは圧力約100barsの条件下でのマグマ (FMQ Buffer) との平衡値に相当する。低温においては、火山ガス中のメタン濃度はマグマとの平衡値よりはるかに小さいが、反応速度が温度の低下とともに小さくなることを考慮すれば、低温下 (<200°C) では実質的に反応が進行していないと考えればその濃度は理解可能である。

以上より火山ガス中のメタン/二酸化炭素比としては、1) 高温 (>800°C) の火山ガスでは 10^{-3} 、2) 低温 (<800°C) の火山ガスでは 10^{-2} 、がメタン/二酸化炭素比の最大値として適当と考えられる。そのため、表1における噴火中に放出されるガス（マグマと平衡にある高温のガス）中のメタン/二酸化炭素比としては 10^{-3} 、噴気ガスには 10^{-2} 、を用いメタン放出量の最大値を推定できる。

(3) 山体から拡散放出されるガス

火山から放出されるガスは、火口から放出される高温の火山ガスの他に、火山の山対全体から拡散により（土壌ガスとして）放出されていることがイタリア・エトナ火山およびブルカノ火山において確認されている^{8),9)}。このうち、エトナ火山においては山対全体からの拡散により放出されている二酸化炭素の放出量が火山から放出されている二酸化炭素の全量の約半分をしめることが推定されている。火山から土壌ガスとして放出されているガスは、噴気孔から放出されてい

る火山ガスとは異なる温度・圧力下で化学平衡に達している（もしくは達していない）ことが考えられるため、ガス中のメタン／二酸化炭素比も異なることが予想される。しかし、いまだ火山山体から放出されているガスについてメタン濃度は調べられておらず、メタンの放出量についての推定は行われていない。

山体から拡散放出される火山ガスの特徴を調べるために、薩摩硫黄島において土壌ガス調査を行った。島の主要部での約40点において、地下約0.5-1 mの深さに直径約2 cmの塩ビ管を打ち込み、土壌ガスを採取した（図3）。二酸化炭素と酸素の濃度は、現場でそれぞれ検知管および酸素計を用いて測定された。それ以外のガス組成については、試料を持ち帰り実験室においてガスクロマトグラフを用いて分析された。また、土壌ガス中の二酸化炭素の起源を推定する目的で、二酸化炭素の炭素同位体比を測定するために、0.03-3 litreの試料を持ち帰り、二酸化炭素を単離した。この試料については、今後炭素同位体比の測定を行う予定である。

本研究による調査により、高濃度の二酸化炭素（最大36 mol %）を含む土壌ガスが放出されていることが確認され（表3）、その放出地点は火山のカルデラ壁沿いに分布している。土壌ガスの放出量の定量的な測定は行われていないが、目視による比較では土壌ガスを通じての二酸化炭素の放出量は火口からの噴気ガスとしての二酸化炭素の放出量より格段に小さいと推定された。これらの土壌ガスのメタン／二酸化炭素比は最大で0.05に達する。しかし、高濃度の二酸化炭素は熱異常に伴われているため、有機物を多く含む周囲の土壌の加熱によりメタンが生じたとも考えられる。高濃度の二酸化炭素（22 mol %）にもかかわらずメタンが検出されなかった（<10 ppm mol）試料も存在することを考慮し、土壌ガスのメタン／二酸化炭素比としては最大値として 10^{-2} を用いることとした。

本研究により、土壌ガスとして火山から放出されているガスのメタン／二酸化炭素比は噴気ガスと比べ特に小さくはないことが示されたが、この結果はほとんど唯一のものであり、この結果を一般的なものと結論するためにはより多くの火山における調査が必要と考えられる。また、今回採取された二酸化炭素に富む土壌ガスが、マグマ起源であると結論するためには、二酸化炭素の炭素同位体比の分析の結果を待つ必要がある。

（4）海底熱水系から放出されるガス

海底火山（主に海嶺）からはおもに熱水活動を通じて様々なガス成分が放出されている。海底熱水系の熱水の主成分は主に海水、および海水と火山岩の反応により生成したものと解釈されている。しかし、熱水に含まれるガス成分においては、高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比に象徴されるように明らかにマグマの直接の寄与が認められている。二酸化炭素についても、炭素同位体比の分析などから、その大部分はマグマから放出されたものと推定されている。

海底熱水系のガス試料の沖縄トラフ伊平屋の試料ではメタン／二酸化炭素比は 10^{-3} ～ $10^{-3.5}$ が得られた。今までに分析されている海底熱水系の試料でも同様にメタン／二酸化炭素比は 10^{-2} ～ 10^{-3} が得られている¹⁰⁾。これらの試料では二酸化炭素およびメタンの炭素同位体比から500～700℃において二酸化炭素およびメタンが炭素同位体比平衡にあったと推定されており¹⁰⁾、メタンは無機的に生成したと推察される。以上を考慮し海底熱水系のガス中のメタン／二酸化炭素比としては 10^{-2} を用いることとする。熱水の海底での噴出温度の多くは<300度であるが、海底熱水系ガス中のメタン／二酸化炭素比が高温の火山ガスの比と同様の値を示すことは、噴出温度が低温で

あるにも関わらず、その深部では高温状態にあることを示唆している。事実、熱水の噴出温度は、ほとんどの場合その深度により規制された圧力から推定される海水の沸騰温度を一致しており、そのより深部での温度を直接反映しているとは考えにくい。

(5) 地熱ガス

地熱ガスは、マグマから放出されていると考えられる高温の噴気ガスとは異なり、地下の熱水溜まりにおいて周囲の岩石とほぼ平衡状態にあったものと推定されている。そのため、高温の火山ガスの酸素分圧がマグマの酸素分圧 (FMQ Buffer近傍と推定される) により規制されているのに対し、地熱ガスの酸素分圧はより酸化的な Fe^{2+}/Fe^{3+} 比が1と仮定した岩石による酸素分圧のBuffer条件下で反応平衡に達している可能性が大きい¹¹⁾。

本研究で分析された地熱井ガスはIndonesia Kamojan KMJ-45のみでありメタン/二酸化炭素比は $10^{-2.5}$ であった。熱水系では多くの場合その深部で熱水の沸騰が生じ、気液分離が起きている。各ガス成分はそれぞれ異なる気相と液相間の分配係数 (ガス成分の液相への溶解度) をもつため、気液分離を生じた後の試料中のガス成分濃度は、深部における熱水の組成を反映しているとは限らず、メタン/二酸化炭素比も代表値とみなすことはできない。そのため、地熱系を代表するメタン/二酸化炭素比を推定するためには、気液分離を受けていない試料について分析を行う必要がある。いままでも多くの地熱ガスが分析されているが、熱水の気液分離を受けていない試料では多くの場合メタン/二酸化炭素比は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ であり、300度近傍ないしはそれ以上の温度下において、 Fe^{2+}/Fe^{3+} 比が1と仮定した岩石による酸素分圧のBuffer条件下で生成したものを推定されている¹¹⁾。そのため、地熱ガスのメタン/二酸化炭素比の代表値としては 10^{-2} を用いることとする。

(6) 変成作用により放出されるガス

海洋地殻プレートの沈み込みに伴い、その上面に乗っている堆積物は陸側に付加され付加体を形成するとともに、その一部はプレートとともにマントルへと沈み込む。堆積物に含まれる炭酸塩岩や有機物は加熱圧縮に伴う変成作用により分解し二酸化炭素などを放出する場合がある。変成作用による堆積物の分解の程度は、その温度・圧力履歴にも依存し必ずしも明確ではない。そのため、地質調査に基づき変成作用による炭酸塩岩の消失の程度から変成作用による二酸化炭素の放出量が見積もられている⁷⁾。変成作用では、還元的な酸素分圧条件で高温高压下におかれる場合があり、メタン/二酸化炭素比は非常に大きくなり得る¹²⁾。事実、変成岩中の流体包有物にはメタンを主成分としたものが存在する¹³⁾。しかし、メタン/二酸化炭素比は温度・圧力・酸素分圧およびその履歴に依存するため、変成作用の履歴を知らずしては理論的に推定することはできない。また、変成作用により生じた二酸化炭素がどのような形で地表に放出されるかも現在未だ不明である。しかし、いずれにしても変成作用に生じ得るメタンの量は、消失する炭酸塩岩から放出される炭素量を上回ることはないため、その値を上限と見なすことができる。

4. まとめ

以上で推定した各地質現象に付随して放出される気体中のメタン/二酸化炭素比および表1に挙げられている二酸化炭素の放出量から、メタンの放出量を推定した結果を表1に挙げた。本研

究の目的である、火山などからの放出量としては、合計で最大0.04 Tmol/yrと推定された。ただし、表からも明らかなように推定されたのはあくまで最大値であり、そのより精度の良い推定のためにはより細やかな検討が必要である。また、より広い意味での地質現象によるメタンの放出量を見積もるためには変成作用の寄与についても考慮する必要がある。変成作用を起源とする二酸化炭素放出量は1 Tmol/yrと推定されており、メタン放出量は不明であるがこの値を上限とする。もし、変成作用により放出されるガスのメタン／二酸化炭素比が大きい場合には、へんせいさようを起源とするメタンの放出量は無視し得ない。しかし変成作用を起源とする気体の平均組成や地表への放出過程については現在全く不明であるとさえいってよく、今後の重要検討課題であろう。

参考文献

- 1: Berner et al. (1983) *Am. J. Sci.* 283, 641-683.
- 2: Berner (1990) *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 2889-1890.
- 3: Williams et al. (1992) *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 1765-1770.
- 4: Allard (1992) *Geophys. Res. Lett.* 19, 1479-1481.
- 5: Gerlach (1991) *EOS*, 72, 249-256.
- 6: Seward et al. (1993) *EOS 1993 Fall Meeting abstr.* 689.
- 7: McKibben et al. (1993) *EOS 1993 Fall Meeting abstr.* 689.
- 8: Allard et al. (1991) *Nature* 351, 387-391.
- 9: Baubron et al. (1990) *Nature* 344, 51-53.
- 10: Ishibashi et al. (1994) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 128, 183-197.
- 11: Giggenbach (1991) in "Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (ed., F. D'Amore)", pp. 119-144, UNITAR, New York.
- 12: Eugster and Skippen (1967) in "Researches in Geochemistry (ed. Abelson)", vol. 2, pp. 492-520, Wiley, New York.
- 13: Frey et al. (1980) *Eclogae. Geol. Helv.*, 73, 527-546.

研究発表の状況

論文

- Shinohara H., Giggenbach W. F., Kazahaya K. and Hedenquist J. W. (1994) Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma Iwojima: Following Matsuo. *Geochem. J.*, 27, 271-285.
- 篠原宏志・風早康平・Hedenquist J. W. (1994) 薩摩硫黄島の火山ガス・温泉・熱水系. *地質ニュース* 472, 6-12.

学会発表

- Shinohara H., and Kazahaya K. (1994) Convection in a magma column as a mechanism of excessive degassing. presented in "5th Field Workshop on Volcanic Gases", July, 1994, Bandung, Indonesia.

Table 1 CO₂ and CH₄ flux from geological sources

	Method	Measured Component	CO ₂ flux (Tmol/yr)	Ref.	CH ₄ /CO ₂	CH ₄ flux (Tmol/yr)
Total	BLAG Model	CO ₂	6-11	1, 2	—	—
Volcano Erutpion	TOMS	SO ₂	1	3	<0.001	<0.001
	Fumarole	COSPEC	SO ₂	3	<0.01	<0.01
	Diffusive		CO ₂	(1)	<0.01	<0.01
Oceanic Ridge	³ He distribution	³ He	1	5	<0.01	<0.01
Geothermal		Heat	(1)	6	<0.01	<0.01
Metamorphic		Carbonate	(1)	7	?	?

1: Berner et al. (1983) Am. J. Sci. 283, 641-683.

2: Berner (1990) Geochim. Cosmochim. Acta 54, 2889-1890.

3: Williams et al. (1992) Geochim. Cosmochim. Acta 56, 1765-1770.

4: Allard (1992) Geophys. Res. Lett. 19, 1479-1481.

5: Gerlach (1991) EOS, 72, 249-256.

6: Seward et al. (1993) EOS 1993 Fall Meeting abstr. 689.

7: McKibben et al. (1993) EOS 1993 Fall Meeting abstr. 689.

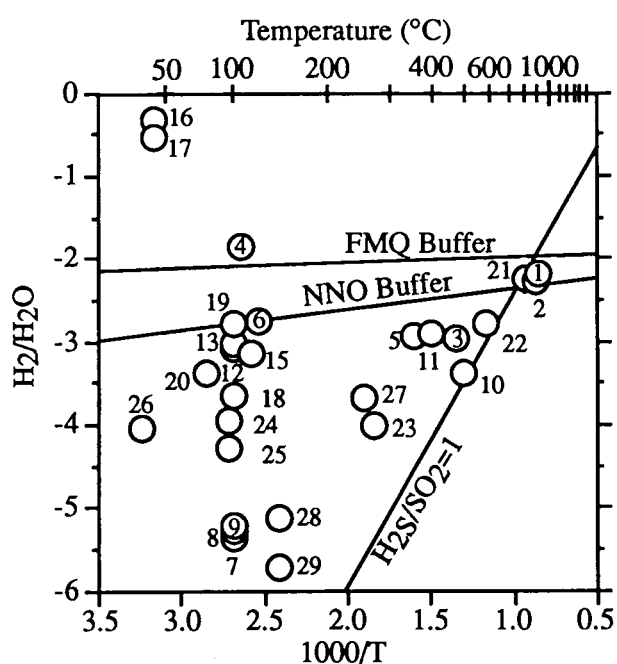


Figure 1 Variation of H₂/H₂O ratio with temperature of fumaroles

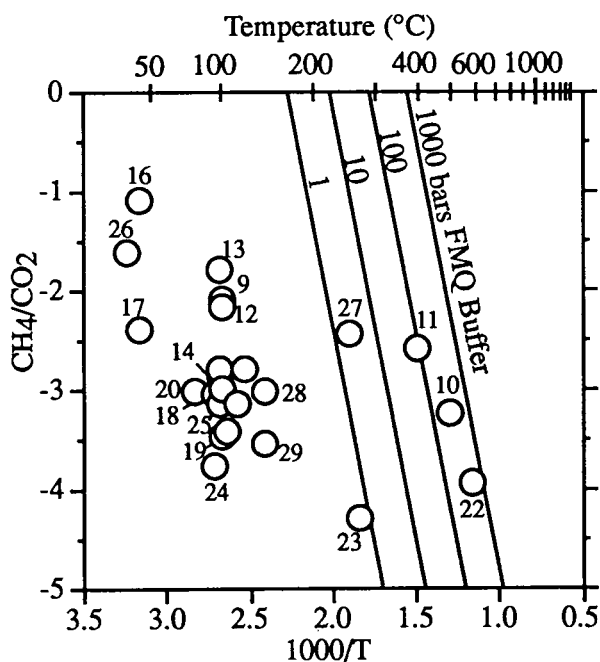


Figure 2 Variation of CH₄/CO₂ ratio with temperature of fumaroles

Sample No.: SATUMA-IWOJIMA, 1:O-hachioku901, 2:O-hachioku881, 3:O-hachinaka467, 4:O-hachinaka106, 5:Kuromoe351, 6:Ohachifuchi121, 7:Monogusa, 8:Monogusa, 9:NE-fumarole, USU, 10:I-crater495, 11:I-crater393, 12:Gin-numa, 13:Gairinn-uchi, 14:Gairinn-soto, NOBORIBETU, 15:Hoyoriyama, 16:A-1, 17:A'-1, OSOREZAN, 18:No.1 Spring, 19:Genkisen, 20:Shinta-choubu, Indonesia, 21:Merapi Gendol, 22:Merapi Woro, 23:Papandayang, 24:Tankubang Perahu, 25:Dieng Sikidang, 26:Dieng Senila, 27:Kamojang KMJ-45, Okinawa Trough IKEYA, 28:D684-2a, 29:D-684-1a.

Table 2 Results of volcanic gas analyses

Location	Date	Temp. Sample (, C)	Sample (g)	H ₂ O ppm-mol	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	HCl	He	H ₂	O ₂	N ₂	Ar	CH ₄	CO	
Satsuma-Iwojima																
1	O-hachikoku901	94/10/29	901	6.19	969 785	4 758	214	12 184	6 057	0.021	6 625	0	287	4.87	0	33.7
2	O-hachikoku881	94/10/29	881	12.29	974 129	3 804	323	9 853	6 410	0.016	5 327	0	107	1.09	0	26.8
3	O-hachinaka467	94/10/31	467	22.89	951 369	48	8 278	16 269	13 531	0.025	1 030	0	69	0.77	0	4.95
4	Ohachinaka106	94/10/31	106	5.21	950 343	4 050	8 656	16 350	191	0.374	13 480	0	101	12.2	1.58	2.34
5	Kuromoe351	94/10/31	351	45.23	976 043	3 100	1 431	6 537	11 603	0.019	1 133	7	103	0.87	0	3.12
6	O-obachifuchi121	94/11/1	121	33.63	974 042	266	307	12 636	10 746	0.052	1 761	0	169	1.55	0.44	1.99
7	Monogusa	94/10/30	99	3.39	968 903	4 085	-	4 014	43	0.161	5	3 325	19 324	352	6.6	0
8	Monogusa	93/3/4	99	3.74	968 983	4 984	-	3 983	36	0.159	4	3 127	18 809	228	3.7	0
9	NE-fumarole	93/3/6	100	83.69	990 220	3 101	96	5 859	0	0.066	6	0	685	7	25	0
Usu																
10	I-crater495	94/11/30	495	40.55	997 263	1 339	1 552	173	601	0.001	429	0	40	0.42	0.79	0.24
11	I-crater393	94/11/30	393	31.53	995 993	1 655	1 836	115	610	0.004	1 290	0	119	1.42	4.10	0.58
12	Gin-numa	94/12/1	100	35.02	997 212	1 472	2 370	148	3	0.009	829	0	117	2.30	10.1	0.50
13	Gairinn-uchi	94/12/1	99	58.34	997 669	821	5 487	177	0	0.005	851	0	103	10.4	13.7	0
14	Gairinn-soto	94/12/1	98	1.15	973 895	2 996	0	0	131	0.023	0	4 699	18 045	230	4.30	0
Noboribetu																
15	Hiyoriyama	93/9/24	114	13.39	984 222	11 005	3 390	282	9	0.037	701	0	382	2	8	0
16	A-1	93/9/24	42	0.15	402 105	65 324	1 983	50	1 051	22.2	193 792	1 218	325 105	4 130	5 242	0
17	A'-1	93/9/24	42	0.43	388 137	358 141	5 591	4 825	1 083	5.33	116 751	0	122 323	1 744	1 478	0
Osorezann																
18	No.1Spring	93/11/6	100	6.77	805 650	149 558	37 197	4 136	21	0.63	187	1	3 087	11	153	0
19	Gennkisen	93/11/6	100	2.79	86 390	743 451	131 560	23 801	470	2.44	149	2	13 895	20	259	0
20	Shinta-choubu	93/11/6	78	4.35	618 032	292 866	76 216	6 418	307	0.94	261	5	5 595	14	285	0
Indonesia																
21	Merapi Gendol	94/7/27	803	1.18	874 681	61 882	403	10 072	3 931	0.523	5 017	5	41 678	475	0	328
22	Merapi Woro	94/7/27	575	10.39	936 717	45 803	2 198	5 217	1 986	0.160	1 533	9	2 685	25.6	5.20	74
23	Papandayang	94/7/23	270	26.89	965 128	24 067	4 734	1 470	1 840	0.211	97	1	445	0.76	1.25	0
24	Tankubang Perahu	94/7/21	95	84.50	992 756	3 895	9 682	254	2	0.096	112	0	189	1.16	0.67	0
25	Dieng Sikidang	94/7/25	94	69.79	986 199	7 079	10 782	479	56	0.313	53	0	179	0.50	6.36	0
26	Dieng Senila	94/7/25	35	2.49	820 772	172 428	-	126	128	1.562	73	43	2 253	7.22	4 185	0
27	Kamojang KMJ-4	94/7/22	251	92.73	995 392	4 064	117	45	2	0.13	207	1	154	1.10	14.9	0
Okinawa trough Iheya																
28	D684-2a	93/6/1	140	1.20	963 448	34 770	909	- 156	158	0.252	7	134	683	11	35	0
29	D684-1a	93/6/1	140	15.07	951 411	34 812	882	- 236	12 428	0.063	2	158	518	15	10	0

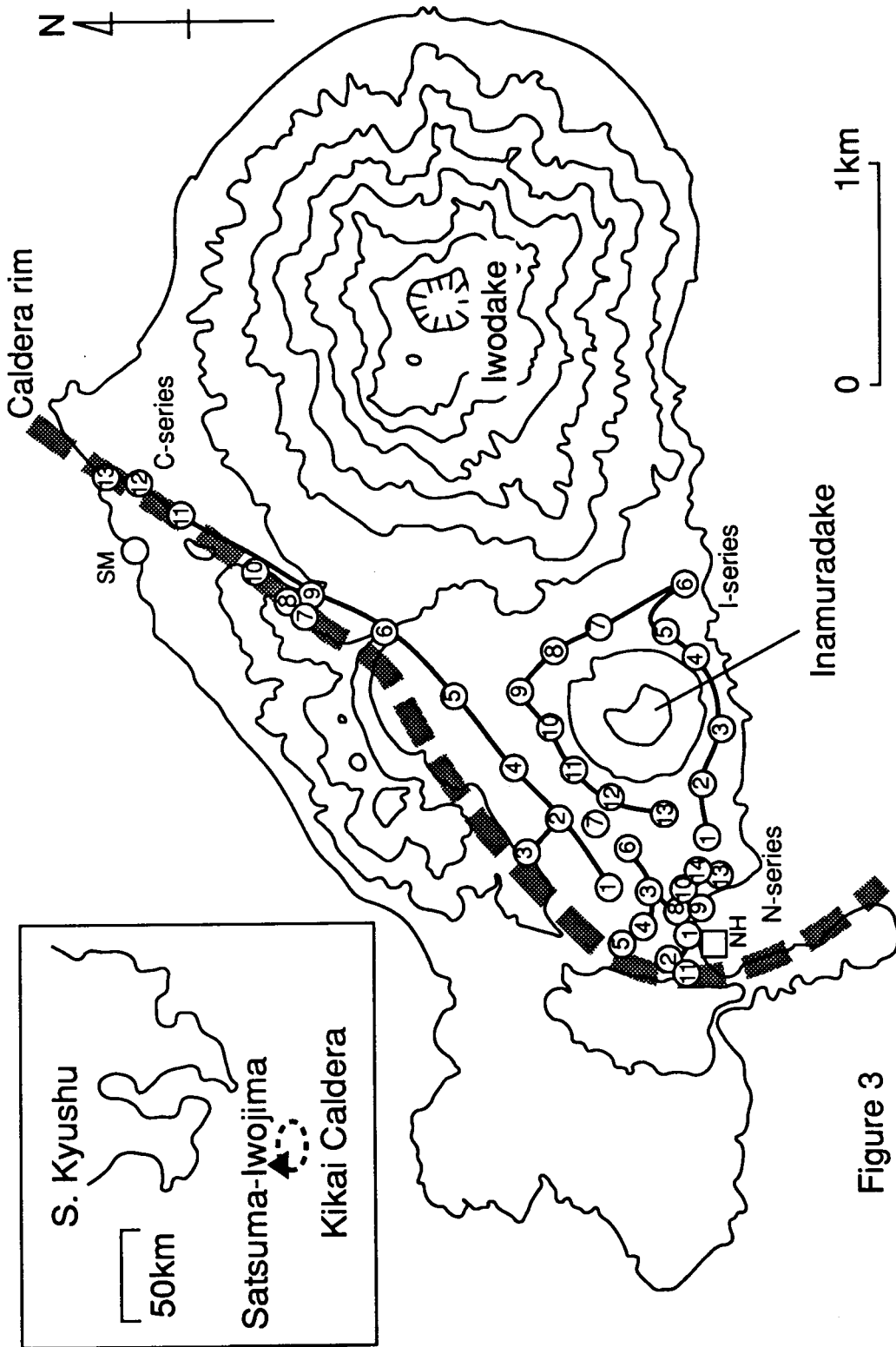


Figure 3

Table 3 Results of soil gas analyses

No.	T (°C)	CO2 (%)	He (ppm)	H2 (ppm)	O2 (%)	N2 (%)	Ar (%)	CH4 (ppm)
C-1	24.5	1.4	4.5		19.7	76.7	0.91	<10
C-2	24.8	1	4.4	2.1	20.0	75.3	0.90	<10
C-3	24.1	0.48	3.8	2.2	20.5	77.7	0.92	<10
C-4	22.9	1.7	3.3	8.3	19.3	76.8	0.92	<10
C-5		0.23	4.7		20.3	76.5	0.91	<10
C-6		1.2	4.2		19.1	72.5	0.86	<10
C-7	96.0	36	7.2	18.7	13.0	67.0	0.80	2215
C-8	70.0	22	4.9	6.9	16.0	65.8	0.78	<10
C-9	20.7	0.21	4.2	4.0	20.5	82.3	0.98	<10
C-10		0.6	4.8	3.4	20.2	76.8	0.92	<10
C-11		0.42	4.2		20.3	75.6	0.90	<10
C-12		0.8	5.0	5.7	20.0	76.1	0.91	<10
C-13	25.4	4.8	4.5	4.2	19.3	74.7	0.89	<10
I-1	24.5	0.2	3.6	2.0	20.3	75.5	0.90	<10
I-2	21.7	0.2	4.5		20.5	76.3	0.91	<10
I-3	22.4	0.24	2.9		20.3	75.6	0.90	<10
I-4	25.2	0.1	5.3		20.4	75.7	0.90	<10
I-5	21.9	0.08	5.2	1.3	20.5	75.7	0.90	<10
I-6		0.48	4.4	1.4	20.2	75.9	0.90	<10
I-7	23.8	0.38	3.8	1.5	20.3	75.7	0.90	<10
I-8	22.8	0.7	5.4	1.3	20.0	75.7	0.90	<10
I-9	22.6	0.4	4.2		20.5	77.3	0.92	<10
I-10	22.6	0.8	3.7	1.2	20.2	76.3	0.91	<10
I-11	21.1	0.5	0.0		20.3	76.2	0.91	<10
I-12	21.5	1.3	4.3		19.7	76.1	0.91	<10
I-13	23.1	0.9	3.9	1.7	20.0	74.9	0.89	<10
N-1	31.2	0.7	4.2	1.1	20.0	75.2	0.90	<10
N-2	25.8	1.1	4.8	4.0	19.5	75.5	0.90	<10
N-3	23.6	0.9	4.9	1.3	19.7	76.1	0.91	<10
N-4	26.3	2.1	4.6	1.0	19.0	75.0	0.89	<10
N-5		0.4	4.7		20.2	76.0	0.90	<10
N-6	23.6	1.2	3.7	2.3	19.8	75.9	0.90	<10
N-7	24.1	0.9	3.8		20.0	75.9	0.90	<10
N-8	28.0	1	4.3	2.2	19.9	76.6	0.91	<10
N-9	24.7	0.26	5.0	6.7	20.3	78.8	0.94	<10
N-10	25.3	1.1	3.8	2.2	19.7	75.0	0.89	<10
N-11	31.2	13	4.9	6.2	9.5	79.7	0.95	<10
N-12	50.0	11.5	5.1	8.7	12.9	72.9	0.87	127
N-13	22.7	0.17	4.5	5.2	20.5	77.2	0.92	<10
N-14	28.0	1	4.8	5.0	19.5	81.5	0.97	<10
NH		13	9.7	8.5	1.7	79.8	0.95	7200
SM	24.5	0.3	4.9	2.2	20.6	76.8	0.91	<10