

東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会

海底拡大系の総合研究

-InterRidge-Japan 研究発表集会-

講演要旨集

日 程： 平成22年11月4日（木）・5日（金）

場 所： 東京大学大気海洋研究所 講堂

コンビーナー： 沖野郷子（東京大学）
石橋純一郎（九州大学）
砂村倫成（東京大学）

大気海洋研対応者：沖野郷子（東京大学大気海洋研究所）

目 次

1. 地球物理観測に基づく南西インド洋海嶺東経 35-40 度における断層活動とメルト供給量に関する研究
佐藤太一・沖野郷子（東京大学大気海洋研究所）・島 伸和（神戸大学）
2. 南西インド洋（34° E~40° E）産中央海嶺玄武岩の岩石学・地球化学
佐藤 暢（専修大学）・白鳳丸 KH-07-4&KH-09-5 航海岩石班
3. 海底拡大系の上部マントル比抵抗構造 - これまでの研究と今後 -
島 伸和（神戸大学）
4. AUV および深海曳航体を用いた地磁気 3 成分探査装置の実海域試験
伊勢崎修弘・原田誠・佐柳敬造（東海大学）・松尾 淳（OYO インターナショナル）・
笠谷貴史（海洋研究開発機構）・馬場久紀（東海大学）
5. 深海底に生息する化学合成微生物の群集遺伝学的構造解明へのアプローチ
美野さやか・中川 聡（北海道大学）・牧田寛子・稲垣史生・山本正浩・布浦拓郎（海洋研究開発機構）・
中村光一（産業技術総合研究所）・Anne Godfroy (IFREMER) ・
高井 研（海洋研究開発機構）・澤辺智雄（北海道大学）
6. 鹿児島湾若尊火口浅海底熱水系におけるホウ素同位体地球化学
平尾真吾・大野辰晃・石橋純一郎（九州大学）・
王博賢・吳炫賦・游鎮烽（國立成功大学）・山中寿朗（岡山大学）
7. 中部沖縄トラフ伊平屋北熱水域の熱流量及び物性測定から推定した熱水モデル
正木裕香（高知大学）・川田佳史・木下正高・高井 研（海洋研究開発機構）・
Mike Mottle (University of Hawaii) ・IODP Exp#331 乗船研究者一同
8. 極域北大西洋海嶺のノルウェー調査船 G. O. Sars 号による 2010 年調査航海の概要
中村光一（産業技術総合研究所）
9. 低速、超低速拡大海嶺の系統的な熱水調査の新技术
中村光一（産業技術総合研究所）
10. 現場型化学センサ搭載 AUV を用いた熱水プルームのマッピング
下島公紀（電力中央研究所）・前田義明（セレス）
11. 超音波が観た熱水プルームの姿：竹富島海底温泉と AUV「うらしま」での計測事例
古島靖夫（海洋研究開発機構）・長尾正之（産業技術総合研究所）・
小牧加奈絵（海洋政策研究財団）・山本啓之（海洋研究開発機構）

- 12. Aseptic drilling/coring at hydrothermal sites in Mariana Trough using tethered marine rock-drill BMS**
Tetsuro Urabe*(Univ. Tokyo) and TAIGA10M cruise scientific party
- 13. Close correlation between Microbe and Geochemical composition in North-Western Pacific hydrothermal plume**
Michinari Sunamura*(Univ. Tokyo), Takroh Noguchi(Univ. Kochi), Kei Okamura(Univ. Kochi), and Hiroyuki Yamamoto(JAMSTEC)
- 14. Submarine Hydrothermal Activity and Gold-Rich Mineralization at Brothers Volcano, Kermadec Arc, New Zealand**
C.E.J. De Ronde, G.J. Massoth, D.A. Butterfield, B.W. Christenson, J. Ishibashi, R.G. Ditchburn, M.D. Hannington, R.L. Brathwaite, J.E. Lupton, V.S. Kamenetsky, I.J. Graham, G.F. Zellmer, R.P. Dziak, R.W. Embley, V.M. Dekov, F. Munnik, J. Lahr, L.J. Evans & K. Takai
- 15. Submarine Magmatic-Hydrothermal Systems at the Volcanically Active Monowai Volcanic Centre, Kermadec Arc**
Matthew I. Leybourne(GNS, New Zealand), Cornel E. J. de Ronde(GNS, New Zealand), Uli Schwarz-Schampera(BGR, Germany), Edward T. Baker(NOAA/PMEL), Kevin Faure(GNS, New Zealand), Mark D. Hannington(JISAO, USA), Sharon L. Walker(NOAA/PMEL), Joe Resing(NOAA/PMEL), Dave A. Butterfield, Christian Timm(GNS, New Zealand), Ian J. Graham(GNS, New Zealand)
- 16. Preliminary Report of IODP Expedition 331 “Deep Hot Biosphere”**
Ken Takai*(JAMSTEC), Jun-ichiro Ishibashi(Univ. Kyushu), Science Party of Exp.311
- 17. U-Th radioactive disequilibrium dating of hydrothermal sulfide minerals on the seafloor**
Asako Takamasa*(ERI, Univ. Tokyo), Shunichi Nakai(ERI, Univ. Tokyo), Yu Vin Sahoo(ERI, Univ. Tokyo), Jun-ichiro Ishibashi(Univ. Kyushu), Shin Toyoda(Okayama University of Science)
- 18. Evaluation of laser-induced breakdown spectroscopy as a technique for in-situ elemental analysis of solids at oceanic pressure**
Blair Thornton*(IIS, Univ. Tokyo) and Tamaki Ura(IIS, Univ. Tokyo)
- 19. Magnetic signatures of active and fossil hydrothermal sites on slow spreading ridge**
Jérôme Dymont*(IPGP, France)
- 20. Relationship between volcanism, tectonism and hydrothermalism in the equatorial Atlantic**
Colin Devey*(GEOMAR, Germany)
- 21. Newly discovered hydrothermal fields at the hotspot-ridge interaction site of the Central Indian Ridge and the Reunion hotspot**
Kensaku Tamaki*(Univ. Tokyo) and Shipboard Scientists of YK09-13 Leg1 Cruise

22. An exprolation for ultramafics behind Kairei field:What feeds unusual hydrogen

K.Nakamura(JAMSTEC), H.Kumagai*(JAMSTEC), T.Morishita(Univ. Kanazawa), T Tsuji(Univ. Kyoto),
T.Shibuya(JAMSTEC), K.Okino(Univ. Tokyo), K.Takai(JAMSTEC) and YK05-16 Leg1 and YK09-13 Leg2

23. Experimental constraints on hydrogen generation in ridge system

Katsuhiko Suzuki*(JAMSTEC)

地球物理観測に基づく南西インド洋海嶺東経 35-40 度における 断層活動とメルト供給量に関する研究

佐藤太一*、沖野郷子(東京大学大気海洋研究所)、島伸和(神戸大学)

中央海嶺でみられる海底地形および海洋性地殻の多様性は概ね海洋底拡大速度に依存すると考えられている。しかしながら、近年の海洋コアコンプレックス、ホットスポット近傍の中央海嶺そして超低速拡大海嶺等の研究から、中央海嶺の海底地形・海洋性地殻の多様性は拡大速度とメルト供給量のバランスによって決定されることが示唆されている。数値モデリングからも同様のことが示されているが観測の立場から検証した例は少ない。

研究対象は超低速拡大海嶺である南西インド洋海嶺(14-17 mm/yr)の東経 35-40 度に位置する Prince Edward 断層帯と Eric Simpson 断層帯に挟まれた一次セグメント(約 300km)である。過去の研究から、超低速拡大海嶺の、高速から低速拡大系ではみられない特徴的な海底地形は、主にメルト供給量の変化によるものだと示唆されている。加えて研究海域は $Na_{8.0}$ の値が南西インド洋海嶺の他海域に比べて低いこと、マリオンホットスポットが近傍にあることから、メルト供給量が多いことが示唆されている。この海域を対象にした。

研究航海は 2008 年 1 月と 2010 年 1 月に実施された(白鳳丸航海 KH0704-Leg2、KH0905-Leg4)。地球物理マッピング探査(海底地形・船上地磁気・船上重力)・岩石採取・地震波探査・電磁気探査が行われた。

本研究では地球物理マッピング探査で得られたデータをもとに海域のテクトニクスについて議論し、主に以下のように、メルト供給量の変化が海洋底拡大に与えた影響を明らかにした。

1) 研究海域(約 7Ma)において、海嶺軸がプレート運動方向に直交する 3 つのサブセグメント(Western, Central, Eastern サブセグメント)と、斜交する 2 つのサブセグメント(Oblique, Short サブセグメント)で構成されていることを、海底地形、地磁気縞異常から算出した磁化強度分布、重力異常から算出した地殻の厚さ変化分布から明らかにした。海洋性地殻の厚さは、直交拡大サブセグメントで厚く、斜交拡大セグメントでは薄い傾向にある。加えて Central サブセグメント以外では時空間的な変化が見られた。これら変化はサブセグメントごとのメルト供給量に時空間変動があることを反映したものだと考えられる。

2) Western サブセグメントと Oblique サブセグメントの海底地形と等時線の連続性から、3~4Ma では現在の Oblique サブセグメントと Western サブセグメントに相当する部分は単一の直交拡大サブセグメントで形成されていたと示唆される。研究海域での拡大方向の変化はみられないこと、現在の海洋性地殻が薄いことから、Oblique サブセグメントは、過去の直交拡大サブセグメントでのメルト供給量の減少によるセグメント末端部へのメルト供給量の減少により形成されたと考えられる。さらに拡大軸の斜交性は海底へのメルト供給を妨げることが示唆されており、メルト供給量の減少を促進し、斜交拡大を継続させている可能性がある。

南西インド洋 (34° E~40° E) 産中央海嶺玄武岩の岩石学・地球化学
**Petrology and geochemistry of Mid-ocean ridge basalts from 34° E to 40° E along
 the Southwest Indian Ridge**

佐藤暢 (専修大学) *・白鳳丸 KH-07-4&KH-09-5 航海岩石班⁽¹⁾
Hiroshi SATO (Senshu Univ.) and petrology scientists KH-07-4 & KH-09-5 cruise

拡大速度がほぼ等しい中央海嶺での拡大様式・海嶺の構造は、マントルソースの温度もしくは組成条件の違いの結果であると推測される。このことを検証する目的で、近接した海嶺セグメントで、拡大速度がほぼ等しいにも関わらず、マントルソースの違いが顕著に現れる可能性のある南西インド洋海嶺の東経 34° から 40° の海域で地球物理探査と併せて、ドレッジによる岩石採取を行った。

当該海域の拡大速度は年間約 15 mm であり、超低速拡大海嶺に分類される。また、南西インド洋海嶺の他の海域と同様に、断裂帯によって比較的短いセグメントに分かれている。断裂帯は、34° E に Marion 断裂帯、36° E に Prince Edward 断裂帯、39° E に Eric Simpson (ES) 断裂帯があり、これらの断裂帯によって、Marion-Prince Edward (M-P) セグメント、Prince Edward-Eric Simpson (P-E) セグメントに分けられている。P-E セグメントは更に non-transform discontinuity (NTD) と見られる凹地によって、3つのサブセグメントに分けられる。

拡大セグメントと NTD 凹地に区別したときの、同一セッティング内での希土類元素の規格化パタンの変動は結晶分化作用の程度の違いを反映し、異なるセッティングの違いは部分熔融度の違いに起因するように見える。しかしながら、主成分元素組成のバリエーションは、同一セッティング内であっても単純に結晶分化作用だけでは説明できない。

発表では、これまでに得られている岩石学・地球化学データを整理するとともに、本年度実施した玄武岩ガラスの水含有量分析の結果も踏まえて、当該海域の玄武岩およびマントルソースの特徴について議論する予定である。

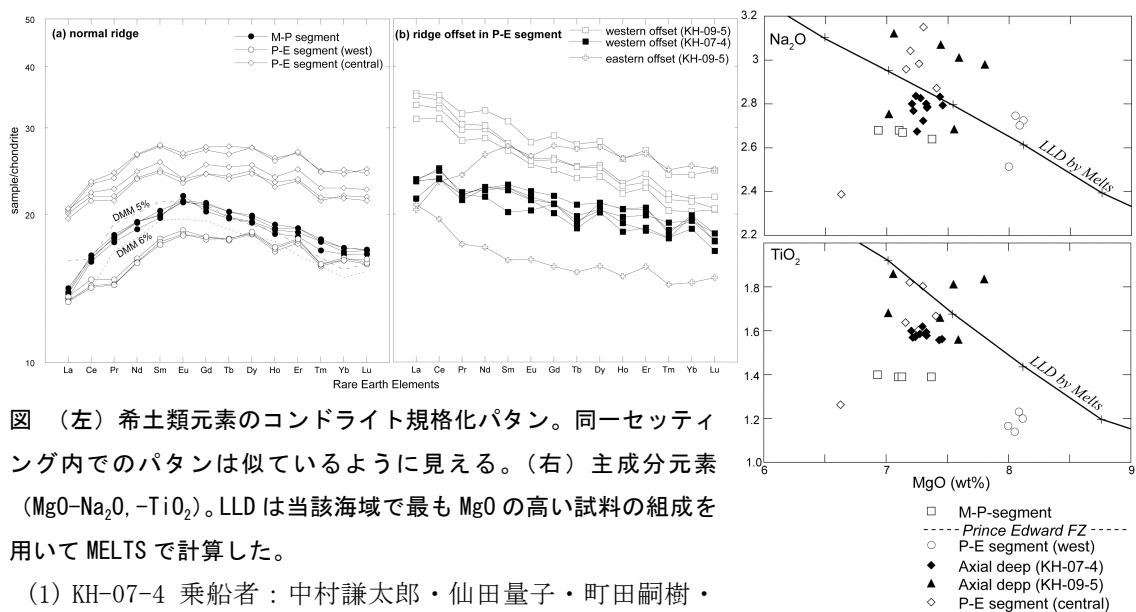


図 (左) 希土類元素のコンドライト規格化パタン。同一セッティング内でのパタンは似ているように見える。(右) 主成分元素 (MgO-Na₂O, -TiO₂)。LLD は当該海域で最も MgO の高い試料の組成を用いて MELTS で計算した。

(1) KH-07-4 乗船者：中村謙太郎・仙田量子・町田嗣樹・

根尾夏紀、KH-09-5 乗船者：海野進・金山恭子・仙田量子・中村謙太郎・鈴木敬人、

陸上分析協力者：熊谷英憲・山本順司・森下知晃・田村明弘・加藤泰浩

海底拡大系の上部マントル比抵抗構造 -これまでの研究と今後-
Upper mantle electrical resistivity structure beneath the seafloor spreading system
- A review and prospective view -

島 伸和* (神戸大学)
Nobukazu Seama* (Kobe University)

海底における大規模な長期電磁場観測は、これまで国際共同による観測で約 10 年に 1 度のペースで行われてきた。具体的には、1985 年に米国が主導して Juan de Fuca 沈み込み帯を対象に陸上観測との共同で実施した EMSLAB プロジェクト (Booker and Chave, 1989)、1996-1997 年に米国が主導して東太平洋中央海膨 (17° S) で実施した MELT 実験 (Evans et al., 1999)、2005-2007 年に日本が主導して中部マリアナの沈み込み-島弧-背弧拡大系を対象に実施した観測 (Matsuno et al., 2010) の 3 つの観測があり、後の 2 つが、海底拡大系としての成果である。速い拡大速度 (両側拡大速度 146mm/yr) を持つ東太平洋中央海膨 (17° S) の結果 (Baba et al., 2006) は、次の 3 点にまとめられる。1) 60km の厚さの高比抵抗な層が最上部に存在する、2) それより深部は低比抵抗であり、拡大方向とその垂直方向に強い異方性がある、3) 拡大軸下に、低比抵抗領域が存在する。この結果は、水を含む低比抵抗な上部マントルがあり、それが海底拡大にともなって、マントルの部分熔融による脱水で 60km の厚さの高比抵抗な層を形成し、さらにオリビンが拡大軸方向に配列することによって 60km 以深の比抵抗異方性を示すと解釈されている。また、拡大軸下の低比抵抗領域は、1%程度のメルト量で説明できる。一方、背弧拡大系で遅い拡大速度 (両側拡大速度 25 mm/yr) を持つ中部マリアナの拡大系での結果 (Matsuno et al., 2010) は、次の 3 点にまとめられる。1) 最上部に厚さ 60-80km の高比抵抗な層が存在する、2) 80km から 150km の深さにかけて比抵抗値が低くなりそれより深部は低比抵抗である、3) 拡大軸下には、低比抵抗な領域が存在しない。150km から 80km にかけての比抵抗値の変化は、深さ 150km でのマントル部分熔融開始とこれにともなう含水量の減少を示唆し、最上部の高比抵抗層は、脱水した層だと解釈できる。また、拡大軸下では、メルトが存在しても巨視的には連結していない程度に少ないことを示している。この 2 つの観測結果から、2 つの違ったアセノスフェアモデルである溶融モデルと含水モデルを再度検討すると、リソスフェアより深い上部マントルは水を含んでいて、この最上部は溶融しているというモデルが、これまでの観測結果を最も説明する。

海底拡大系を対象にした個別の海底長期電磁場観測を、拡大速度の違う海底拡大系においてシステムティックに進めている。2008 年にほぼ 1 年間の観測を実施し初期的な結果が出ている南西インド洋海嶺 (水間他, 2010) を始め、現在、ラウ背弧海盆拡大系、南部マリアナ背弧海盆拡大系での観測を実施しており、今後、中央インド洋海嶺、南東インド洋海嶺における観測を計画している。これらの海底拡大系の上部マントル比抵抗構造をイメージングすることにより、メルト領域と拡大速度との関係を定量化して、メルト供給の実態を明らかにし、アセノスフェアの形成を含む海底拡大系のダイナミクスの理解を進める計画である。これらの観測計画と、1 年程度の期間で多点海底電磁場観測が実施できるようになった観測機器開発の現状についても紹介する。

AUV および深海曳航体を用いた地磁気 3 成分探査装置の実海域試験
Experiment of 3 component magnetic survey system at sea using AUV and
deep towed vehicle

伊勢崎修弘*・原田誠・佐柳敬造（東海大学）、松尾淳（OYO インターナショナル）、笠谷貴史（海洋研究開発機構）、馬場久紀（東海大学）
N. Isezaki*, M. Harada, K. Sayanagi (Tokai Univ), J. Matsuo (OYO International),
T. Kasaya (JAMSTEC), and H. Baba (Tokai Univ)

文部科学省の「海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム」（文部科学省，2008）において、「電磁気学的手法を用いた高精度海底地質構造探査ツールの開発」（研究代表者：佐柳敬造・東海大学海洋研究所）という課題を設定して，深海底の資源探査を目的とした探査ツールの開発に携わってきた。ここでは海底における磁気探査を中心として，探査装置開発と実際の海域での実験結果を報告する。

磁気探査を地磁気 3 成分探査とした理由は

1. ベクトル物理量であるので、磁場と磁化の関係式を用いて、磁化構造を求めることが出来る。
2. 3 成分地球磁場およびその異常は、Laplace 方程式を満たすので、境界値問題（Dirichlet の問題）を解くことで、データ空白域を埋めることが出来る。

が、主要な理由である。蛇足であるが、全磁力およびその異常は上記の二つをみたくないので、磁化構造を求めるためには、適していない（使えない）。

地磁気 3 成分を測定するために、

1. 0.1 n T 以上の精度を持つフラックスゲート磁力計
2. 1/100 度以上の分解能を持つジャイロコンパス

が、システムとして必須である。

2009 年よこすか航海にて、紀伊半島南で AUV による 3 成分磁気探査、2010 年望星丸航海にて、ベヨネーズ海域での DTCM による 3 成分磁気探査、が実施された。2009 年の AUV 実験は、AUV の磁気ノイズをどの程度、ISEZAKI の方法(1986, Geophysics) によって取り除けるか、2010 年の DTCM 実験では、ヨー、ロール、ピッチの回転のみでどの程度、安定した地磁気 3 成分異常が得られるか、を試験することが目的であったが、どちらも初期の目標とした地磁気 3 成分異常が得られた。AUV、DTCM のどちらの装置においても、問題はその位置の精度である。2010 年 12 月にはベヨネーズにおいて本調査を計画している。

深海底に生息する化学合成微生物の
群集遺伝学的構造解明へのアプローチ

**An approach to clarifying the population genetic structures of
chemoautotrophic bacteria in deep-sea hydrothermal fields**

美野さやか*、中川聡(北大)、牧田寛子、稲垣史生、山本正浩、
布浦拓郎(JAMSTEC)、中村光一(産総研)、Anne Godfroy(IFREMER)、
高井研(JAMSTEC)、澤辺智雄(北大)

**Mino, S., Nakagawa, S. (Hokkaido Univ.), Makita, H., Inagaki, F., Yamamoto, M.,
Nunoura, T. (JAMSTEC), Nakamura, K. (AIST), Godfroy, A. (IFREMER),
Takai, K. (JAMSTEC) and Sawabe, T. (Hokkaido Univ.)**

【背景】深海底熱水活動域には、太陽光のエネルギーに依存しない化学合成微生物が支える、独自の生態系が存在する。これらの微生物群は、地球内部から供給される硫黄化合物や水素などから生存に不可欠なエネルギーを得る特殊な代謝経路を持ち合わせている。深海底熱水活動域に生息する化学合成微生物は、単独での生息はもとより、大型生物の細胞内や細胞外における共生関係を築いているものも報告されている。その中でも、Epsilonproteobacteria 綱に属する化学合成微生物が、世界中の深海底熱水活動域において普遍的に優占していることが明らかとなってきた。本分類群は胃潰瘍や胃癌、腸炎等の原因となる *Helicobacter pylori* (通称ピロリ菌) や *Campylobacter jejuni* といった病原性微生物を含むことでも知られている。これら病原性 Epsilonproteobacteria の群集遺伝学的構造はよく研究されており、遺伝子のバラエティーを造り出す突然変異や水平伝播の頻度が極めて高いことが特徴的だが、深海性のものに関しては研究例がない。そこで本研究では、培養可能な深海性 Epsilonproteobacteria の群集遺伝学的構造を MLSA 法によって明らかにすることを目的とした。

【方法】有人・無人潜水艇により、西太平洋・インド洋など世界各地の深海底熱水活動域において採取された試料を希釈培養した後、限界希釈法に供し単離を行った。複数のハウスキーピング遺伝子(生命存続の根幹に関わる遺伝子)の塩基配列をもとに、系統樹作成および突然変異や組換え頻度等を算出し、群集遺伝学的構造を規定する要因を考察した。

【結果および考察】系統樹作成の結果、相同性の高い 16S rRNA 遺伝子配列を持つ分離株内で、その由来する地域ごとにクレードが形成される傾向が見られた。このことから、深海底熱水活動域に生息する化学合成微生物群集では、多くの微生物群集で観察される地理的な混合が起こっていないことが示唆された。本発表では、微生物の生物地理についての所見を示しつつ、深海性 Epsilonproteobacteria の群集構造やゲノムレベルの多様性を生み出す原動力について議論したい。

鹿児島湾若尊火口浅海海底熱水系におけるホウ素同位体地球化学
B isotope geochemistry of Wakamiko shallow submarine hydrothermal systems, South Kyushu, Japan.

平尾真吾*、大野辰晃、石橋純一郎（九州大）、王博賢、吳炫賦、游鎮烽（國立成功大学）、山中寿朗（岡山大）

Shingo Hirao *, Tatsuaki Oono, Jun-ichiro Ishibashi (Kyushu University), Bo-Shian Wang, Shein-Fu Wu, Chen-Feng You (National Cheng Kung University), Toshiro Yamanaka (Okayama University)

はじめに

浅海熱水系は、深海熱水系に比べて熱水の化学組成が多様性に富む事が知られている。これは、熱水が海水、陸水、マグマ水など様々な起源に由来し、熱水進化過程の際に岩石や堆積物と反応する機会があることに加え、火山ガスや有機物などからの寄与も考えられることに起因する。鹿児島湾若尊火口の浅海熱水系を対象として、熱水中のホウ素の地球化学的特徴を明らかにすることを目的として本研究を行った。

試料と分析方法

熱水試料は 2010 年 3 月に行われた NT10-05 航海において ROV Hyper-Dolphin, (JAMSTEC) の潜航調査により採取された 27 試料を用いた。ホウ素濃度は比色法（アゾメチン-H 法）により定量した。ホウ素同位体比は試料を micro sublimation 法（Gaillardet et al., 2001）を用いて調整した後、MC-ICP-MS を用いて測定した。また桜島由来の降灰を 2 試料採取して分析に供した。火山灰試料は Ishikawa and Nakamura(1992)に従い試料を分解し、カラムでホウ素を分離した後、ホウ素濃度を ICP-MS で、同位体比を MC-ICP-MS で測定した。

結果と考察

若尊火口浅海熱水系で得られた試料の分析値から熱水端成分のホウ素濃度および同位体比を推定し、これまでに報告されている値と合わせて表 1 に示す。若尊熱水は他の海底熱水系に比べて、非常に高いホウ素濃度と ^{11}B に欠乏した同位体比を示すことが明らかになった。

200°C以上での水-岩石反応におけるホウ素の同位体分別は 1‰以下とほぼ無視できる事が確かめられており（Leeman et al., 2005）、熱水中のホウ素同位体比は起源物質の同位体比をそのまま反映すると考えられる。桜島火山灰試料の分析結果は、ホウ素同位濃度が 2 試料とも 15ppm（重量比）、 $\delta^{11}\text{B}$ 値が-4.1 ~ -1.8‰であった。若尊熱水のホウ素同位体比は火山灰試料の同位体比にほぼ一致しており、熱水中のホウ素の起源として主に火山性物質が寄与していると考えられる。

表 1 海底熱水系の B 濃度、 $\delta^{11}\text{B}$ 値の値

	B(mM)	$\delta^{11}\text{B}$ (‰)	Reference
Wakamiko Crater	9.14	-4.0	This study
Mid Ocean Ridge (EPR21N)	0.46 ~ 0.55	+31.0 ~ +36.8	Spivack et al.,1987
Mariana Trough	0.77 ~ 0.83	+22.5 ~ +29.8	Palmer et al.,1991
Escanaba Trough	1.75 ~ 2.18	+10.1 ~ +11.5	Berndt and Seyfried.,1990
Okinawa Trough	2.04 ~ 3.44	-1.0 ~ +9.2	You et al.,1994

中部沖縄トラフ伊平屋北熱水域の熱流量及び物性測定から推定した熱水モデル
**Hydrothermal model inferred from heat flow data and physical property,
 Iheya-North hydrothermal field in the Mid-Okinawa trough**

正木裕香* (高知大学大学院)、川田佳史 (IFREE/JAMSTEC)、
 木下正高(IFREE/JAMSTEC)、
 高井研(XBR/JAMSTEC)、Mike Mottle(University of Hawaii)、
 IODP Exp#331 乗船研究者一同
 Yuka Masaki* (Kochi University), Yoshifumi Kawada(IFREE/JAMSTEC),
 Masataka Kinoshita(IFREE/JAMSTEC), Ken Takai(XBR/JAMSTEC),
 Mike Mottle (University of Hawaii), IODP Exp#331 Scientists

沖縄トラフは、琉球弧の北西側に位置する背弧海盆である。現在、リフティングの段階であることが知られており、この活動により貫入したと解釈される熱水活動を伴う火山体が多数確認されている。本研究の対象である伊平屋北熱水域もその一例である。

発表者らは、2002年から2008年にかけて、伊平屋北熱水域及びその周辺域にて熱流量観測を行い、78点の熱流量を決定した。その結果、熱水域から5-15 km離れた6点の観測で、平均 0.11 W/m^2 の熱流量が得られた。一方で、活発な熱水域では、 10 W/m^2 を超える熱流量が観測された。熱水域から1.5 km東の観測点で、熱水域周辺の平均熱流量よりも1桁低い $<0.01 \text{ W/m}^2$ の低熱流量域が得られた(正木ほか, 2008 連合大会)。このような低熱流量域が生じる原因として、海水の吸い込み(リチャージ)が考えられてきた。AUV うらしまによるサイドスキャンソナーによる結果からも、この地域は反射強度分布から海底表層が粗粒な地質で構成されている事が推察された(浅田私信)。潜水船による海底表層観察、ピストンコアラーによる採泥調査により、熱水域と低熱流量域の間に、泥質堆積物が堆積している。付近のパミスに比べ透水性が悪いと考えられる泥質堆積物が、キャップをしている事が示唆された(正木ほか, 2010 WPGM)。

今年9/1から10/4にかけて実施されたIODP#331航海により上記で示した熱水域及び、低熱流量域を掘削した。熱水域の掘削では海底下数 m で熱水変質した sulfide まじりのコアが採取され、低熱流量域では海底下 60 m 以深で固い構造が確認された。熱水域では、海底下数 m まで高温の熱水が通過している事がわかる。また、低熱流量域では、APCT3による温度計測が8点で実施された。その結果、これまで得られなかった深部の温度分布とリソロジーが明らかになった。熱源の分布とリソロジーから透水率を推定して数値計算を行い、伊平屋北熱水活動の水理構造を推定する。

極域北大西洋海嶺のノルウェー調査船 G. O. Sars 号による 2010 年調査航海の概要

中村光一* (産業技術総合研究所)

アイスランドよりも北の極域北大西洋は Gondwana 大陸の分裂としての大西洋の拡大が最も遅く始まったところであり、現在も世界で最も遅い海底拡大をしている地域のひとつである。海洋拡大軸に直接、ヨーロッパ側の安定大陸棚の堆積物が流れ込んでおり、sedimented ridge の様相を呈している。確認されている最北のブラックスモーカーを含む海底熱水系がある他、約 3 万年前の大規模海底地滑りの後に生じた Haakon Mosby Mud Volcano (HMMV) は世界で最も研究が進んでいる海底冷湧水系-泥火山のひとつである。また、この海域は世界の海洋深層大循環の起源水が深海に潜り込む場所でもある。標記航海はベルゲン大学の時限付 COE である Centre for Geobiology を率いる Rolf B. Pedersen 教授が首席を勤め、2010 年 7 月 8 日～20 日、Tromsø 入出港で実施された。この航海は今年度航海の後半部分になり、内容は大きく三つに分けられ、Forsvarets forskningsinstitutt (FFI, Norwegian Defence Research Establishment) の AUV HUGIN 1000 の運航試験を兼ねた HMMV の探査、Knipovich 海嶺の CTD と HUGIN による海底熱水探査、2008 年に発見された最北のブラックスモーカー海底熱水系 Loki's Castle での ROV による試料採取と HUGIN による微地形詳細探査であった。G. O. Sars 号は 2003 年建造のノルウェー調査船中最新鋭の総トン数 3,800 トンの大型調査船である。水産資源の調査を主目的に建造されているため、長さ 77.5m に対して幅が最大で 18.6m と広く、中央に 2 系統のトロール設備がある。そのため、通常の海洋調査機器はほとんどサイドから操作されるように作られている。冬季のバレンツ海や南氷洋で水産資源の基礎調査を実施する必要から、幾重にも安全面に配慮してかつ少人数で各種作業をこなすことができるような設備になっており、また、現在可能なほとんどすべての種類の音響機器が装備されている。船内居住環境は優美で広く充実しており、steward の居室整備が毎日入り、世界の調査船の中で最も快適な環境である。今回、備船日数の初期 4 日を費やして、HUGIN の着揚収装置の設置のため船尾ならびに船尾甲板の改造を Tromsø で行った。

出港後、フィヨルド内で HUGIN と ROV の試験を行い、すぐに HMMV で HUGIN によるマルチビーム地形探査と Subbottom profiling を実施し、回収、充電後、高度を低く取って海底白黒写真撮影潜航を実施した。HUGIN に装着した中村の Eh センサーでメタン泡湧出に伴う H₂S 由来の酸化還元電位異常も観測することができた。その後、Knipovich 海嶺の Connelly et al. (2007, G-cubed, 8, Q08013) で報告されている熱水プルーム検出地点を中心に 5 点の垂直 CTD と HUGIN 2 潜航を実施した。Loki's Castle は Eastern Mohns 海嶺から Knipovich 海嶺へ方向が変化する場所の玄武岩質枕状熔岩からなる火山性リッジ上に位置し、317 度の熱水を噴出するブラックスモーカーが存在する。熱水の塩分濃度は海水より少し低く、海底下の沸騰、相分離を示唆する他、メタンやアンモニアの濃度から熱水への堆積物の寄与も示唆される。昼間の ROV Argus の潜航と夜間の HUGIN 潜航を組み合わせた調査を実施し、2 箇所海底熱水噴出地点それぞれに対して形成されている TAG クラスの規模のマウンドの詳細地形図を完成させた。

<http://www.uib.no/geobio/en> <http://www.uib.no/gosars/>
<http://www.mil.no/felles/ffi/hugin> <http://www.argus-rs.no/>

低速，超低速拡大海嶺の系統的な熱水調査の新技术

中村光一*（産業技術総合研究所）

高速拡大海嶺は拡大軸に位置する中軸谷の幅が狭く，Urabe et al. (1995, Science, 269, 1092) が示したように中軸谷沿いの 1 回の CTD-towyo で海底熱水活動起源の熱水プルームをほぼ外すことなく特定することができる。しかし，低速，超低速海嶺では，熱水プルームが周囲の海水による混合希釈で浮力を失って広がる non-buoyant plume で平均的に期待されるプルームの幅よりも中軸谷の幅が広く，TAG をはじめとして海底熱水活動が中軸谷の中央に存在するという保証はないことを示す事例も多数存在するので，拡大軸に沿う 1 回の CTD-towyo で熱水活動の有無に決着をつけることができない。

German et al. (2008, Deep Sea Research A, 55, 203) で提唱した AUV を用いた海底熱水活動の 3 段階探査手法の論文では German との間で AUV は潜航でカバーできる範囲が狭いので，AUV の投入に最適な場所を絞り込む Phase 0 調査の重要性を議論し，その点を強調したつもりであったが，AUV で Phase 1 から 3 への絞り込みで海底に熱水活動を絞り込むことができるという幻想が広がり，多額の資金を投入した 2007 年北極海 Gakkel 海嶺海底熱水探査のように，Phase 0 での絞り込みが不十分で主目的は果たせず終わった航海もでてるのが現状である (Kunz et al., 2009, J. Field Robotics, 26, 411, Stranne et al., 2010, JGRC, 115, C06028, doi:10.1029/2009JC005776)

低速，超低速海嶺のもうひとつの問題は水深が 4,000m を超え，Tow-yo という手法が効率的でないことである。つまり，CTD ケーブルの繰り出しが長い状態では前進速度を速めてもケーブル傾角がすぐに大きくなるので航走速度をせいぜい 1knot 程度にしかできないのである。昨年のカリブ海 Cayman Trough の調査では水深が 5,000m を超えるため，Tow-yo ではなく，一定間隔の垂直 CTD で Phase 0 の絞り込みを行おうとしたが，途中から AUV の Phase 1 調査を並行させたため，Phase 0 の絞り込みが中途半端になり，航海中に海底での熱水活動場所の特定には到らなかった (German et al., 2010, PNAS, 107, 14020, doi/10.1073/pnas.1009205107)。この航海では Hybrid-ROV NEREUS の AUV mode の潜航で CTD-towyo もどきの運動もさせたが，海底面上の遅い巡航速度に設計された AUV では上下方向の運動を速く行うことは難しいことが実証されるに留まった。

2010 年 7 月に極北大西洋海嶺域で実施されたノルウェー調査船 G. O. Sars 航海では CTD ウィンチのブロックが曳航に不適な形状をしているため，水深は AUV HUGIN 1000 の可航深度 3,000m を超えていたが，想定される non-buoyant plume level を挟んで上下させながら航走する実験を行った。HUGIN は魚雷型をしており，3.5 knot で航走可能であるため通常の CTD-towyo に充分匹敵する時間当りのカバー率を実現することができた。また，優れた着揚収システムを備えているため，着揚収も迅速かつ少人数で実施でき，CTD にひけを取らない。採水することはできないが Kongsberg の全面的協力の下に開発されている水中データ伝送システムは温度や Eh のデータを潜航中に詳しく船上で見ることができるとともに，音響指令によって途中で自在に潜航プログラムを変更することができる。つまり，AUV というよりも完全に untethered ROV になっている。今年装着していなかった濁度計の装着について技術的な情報はすべて伝えた。安全航走にかかせない前方障害物探査ソナーを装備する経費が手当されれば，完全に CTD-towyo を置き換える調査が可能になると考えられる。 <http://www.mil.no/felles/ffi/hugin>

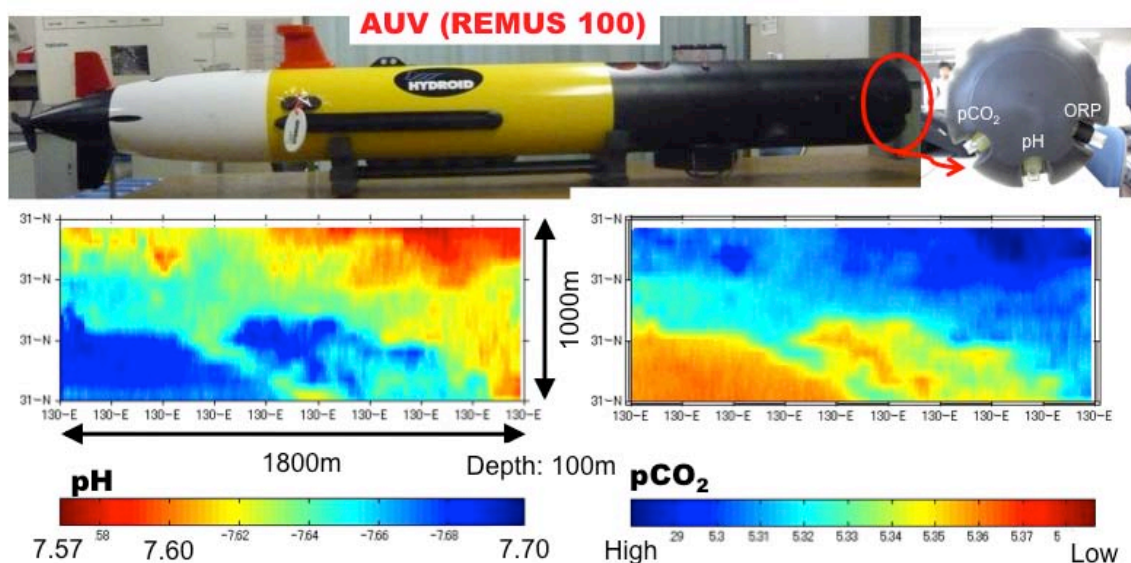
現場型化学センサ搭載 AUV を用いた熱水プルームのマッピング Mapping of hydrothermal plume by in-situ chemical sensor installed AUV

下島公紀* (電中研)、前田義明 (セレス)

Kiminori Shitashima (CRIEPI), Yoshiaki Maeda (CERES)

海底熱水活動に伴う地球内部から海洋への物質の供給量とその化学過程を正しく評価するためには、熱水プルームの中で起こっている化学成分の挙動を明らかにする必要がある。熱水プルームの観測においては、現場で化学成分を直接計測して時間的・空間的に連続した観測データを取得することが必要不可欠であり、そのためには化学センサの利用が非常に有効である。一方、自立型無人潜水調査船 (AUV) は、長時間・広範囲のグリッド航走などの、あらかじめプログラムされたミッションを自動で行うことができるため、気象条件や観測時間に制限されることなく、観測を行うことが可能である。(財) 電力中央研究所では、米国 HYDROID 社の「REMUS 100」を導入し、これに「鼻」となる計測センサ、特に多種類の化学センサを搭載することによって、地形の詳細調査や水中探査のみならず、環境モニタリングや広範囲マッピングに特化した AUV を用いた観測を実施している。

これまで、化学センサ搭載 AUV を用いて、海底熱水活動に起因した低 pH・高 CO₂ 水塊の拡散状況把握のためのマッピング観測を行ってきた。海底からの噴気活動が確認されている鹿児島湾奥部の若尊カルデラでは、ハオリムシサイト (東部の海丘上: 水深約 80m) の海丘を中心にした 700m 四方のエリアについて、たぎりサイト (カルデラ底西部: 水深約 200m) のガス噴出ポイントを中心にした 1800m×1000m エリアの水深 100m 層について (図)、広範囲のマッピング観測を実施した。また、石西礁湖の竹富島海底温泉地帯では、温泉水噴出地帯周辺の約 100m 四方のエリアについて、マッピング観測を実施した。発表では、AUV によるマッピング観測の他に、有索無人潜水調査船 (ROV) に化学センサを搭載して実施したマッピング観測や新規の海底熱水活動地帯の探査についても紹介する。



図：現場型化学センサ搭載 AUV (上段) と鹿児島湾でのマッピング結果 (下段)

超音波が観た熱水プルームの姿 ：竹富島海底温泉と AUV「うらしま」での計測事例

古島靖夫¹，長尾正之²，小牧加奈絵³，山本啓之¹
海洋研究開発機構，産業技術総合研究所，海洋政策研究財団

はじめに

海底に存在する熱水噴出孔から噴出した熱水は、周囲の海水と希釈混合しながら熱水プルームを形成する。熱水プルームは、メタンなどの噴出した熱水に由来する化学成分を多く含み、物理化学的に複雑な様相を呈している。ゆえに、熱水噴出に伴う地球内部から海洋への物質の供給を正しく捉えるためには、流れや水温などの物理環境因子の計測や、音響計測の技術を用いた熱水プルームの探索・挙動調査が必要である。そこで、我々は超音波流速計を用いて、海底から噴出する熱水の特徴（鉛直方向への噴出周期や拡がり）を計測することを試みた。その結果について報告する。

竹富島海底温泉にける計測例

沖縄県八重山諸島の竹富島東部沿岸域には、すり鉢状の地形をした海底温泉が存在する。中央部（水深 20m 付近）に熱水噴出孔があり、南側斜面には間欠的にバブルを噴出する間欠泉や小規模の熱水噴出孔等がある。我々は設置式の超音波流速計（ADP）を用いて、熱水噴出の 3 次元的な流れの計測を行った。

間欠泉の噴気間隔と潮位の間に関係があることを鉛直流速のデータから明らかにすると同時に、流量の時系列から海底下 10 m に間欠泉の加熱部（熱源）が存在する可能性が高いことを推定した。また、間欠泉加熱部の沸点が潮汐による圧力で変化すると考えると、熱源温度が安定して 200°C 以上、地下水温が 130.57°C の場合に、観測された噴気間隔が安定して再現され得ることを示した。この結果、潮汐変動に応じて間欠泉から海中に輸送される熱量を正確に測定できる可能性が見えてきた。さらに、鉛直流速と反射強度の関係から、間欠泉のみならず、中央熱水噴出孔から噴出される熱水も、潮汐変動の影響を受けている可能性が高いことが推測できた（現在、解析中）。深海底近傍の流れの変動には潮汐周期が見られるため、深海の熱水噴出も潮汐変動に伴う圧力の影響を受けて変動しているかも知れない。

竹富島海底温泉で用いた計測技術や解析が、深海熱水噴出域においても適応が可能であるか否かは検討中である。また、竹富島海底温泉は、深海で計測するための技術試験サイトとして有益な海域であると考えている。

AUV「うらしま」における計測例

南マリアナトラフの熱水サイト（Pika, Snail, Archean Site）において、地質と熱水プ

ルームの総合的な調査を実施するために、AUV「うらしま」(以下、「うらしま」)を用いた潜航が行われた(調査期間:2009年7月4日~7月13日)。我々は、「うらしま」に搭載されている ADCP で計測された反射強度(海水中の濁りの指標となる)と流速データを用いて、熱水プルームの挙動を調べた。その結果、反射強度は濁度と相関がよく、水に含まれる粒子状物質を反映していると推測できた。ゆえに、ADCP の反射強度分布から各サイトにおける熱水プルームの3次元的分布(挙動)を推測できる可能性が見えてきた。なお、本データに関しては、現在も解析を進めている。

Aseptic drilling/coring at hydrothermal sites in Mariana Trough using tethered marine rock-drill BMS

Tetsuro Urabe (University of Tokyo) and TAIGA10M cruise scientific party

Abstract:

Backarc Spreading Center and the off-ridge volcanoes in Southern Mariana Trough are selected as one of the main targets of TAIGA Project (Trans-crustal Advection & In-situ bio-geochemical processes of Global sub-seafloor Aquifer), due mainly to four known active hydrothermal fields; Snail site (12°57.19'N, 143°37.16'E, depth:2861m) and Yamanaka site (12°56.64'N, 143°36.80'E, depth: 2823m) on the spreading-axis, Archean site (12°56.35'N, 143°37.89'E, depth: 2986m), and Pika site (12°55.13'N, 143°38.92'E, depth: 2773m) on the off-axis seamount. Nine BMS (Benthic Multi-coring System) drillings were conducted during the Hakurei-Maru No.2 cruise between 14 June 2010 and 23 June 2010.

The cruise was of great success as we could drill 12 holes with total hole-depth of 41.9 meters (total core length = 25.2 meters) in 8 days on site: BMS-01 was drilled on the spreading axis near the Snail site. Hydrothermal fluid venting (temperature unknown) was observed after drilling. BMS-02 and BMS-03 are designed to survey the Archean site before drilling at the summit of the hill and proved that the hill is entirely covered by sulfide ores even beneath the sediment cover. BMS-04 indicated that Yamanaka site is still hydrothermally active but the hole was not cased due to technical reason. BMS-05 drilled through high-temperature alteration zone (chlorite-sericite-pyrite) in basalt lava beneath entirely oxidized mound about 4 meter thick. Series of drilling of BMS-06 revealed the existence of fresh pillow and sheet flow lavas beneath thick sedimentary cover around the Archean site hill. BMS-07 showed vertical zoning of sulfide structure at the summit of Archean site from pyrite-sphalerite-barite ore to pyrite-chalcopyrite ore with increasing depth of the hole.

The BMS was modified to avoid contamination from microbes which are abundant in seawater; we attached multiple filter (200 μ , 25 μ and 0.2 μ) to the pumping system to filter out microbes from drilling fluid. Core will not be washed by surface water during the recovery as only opening of the core barrel is the core-catcher part where core seals the water off from the remaining core. We carefully handled the core to avoid contamination from environments on deck. A part of holes were cased after drilling with titanium casing pipe (70mm ID) for future water sampling and monitoring, if fluid venting was observed during drilling. Water sampling was performed by inserting "Akatsuki fluid sampler" into the casing pipe. Besides, BMS is equipped with Ultra-short Baseline System (GAPS) for better precision of location drilled.

We are impressed by the ability of BMS as a marvelous scientific sampling tool. We are deeply indebted to the professional work of Mr. Tokuro Kobayashi, chief of BMS team and Captain Morio Endo and the crew that made us possible to achieve the goal of the challenging cruise. Project TAIGA has been funded for FY2008-2012 as "Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas" by MEXT.

Close correlation between Microbe and Geochemical composition in North-Western Pacific hydrothermal plume

Michinari Sunamura*(Univ. Tokyo), Takroh Noguchi, Kei Okamura (Kochi Univ.), and Hiroyuki Yamamoto (JAMSTEC)

Hydrothermal circulation plays an important role for geochemical element cycle between solid earth and ocean. More than 99% of chemical component in hydrothermal fluid are estimated to be emitted into ocean. Microbes in deep-sea hydrothermal ecosystem depend on the oxidation-reduction energy of chemical species in hydrothermal fluids as energy source for their growth. Modern seawater are rich in oxygen, which is common and strong reductant chemicals on the earth. Therefore the mixing zone between hydrothermal fluids and seawater is the most significant and effective zone to use the available chemical energy from hydrothermal fluid. Especially, due to the widespread distribution, the deep sea hydrothermal plume is important to estimate the hydrothermal primary production and influence for deep sea ecosystems.

In the TAIGA project, we planed to estimate the effect of deep sea hydrothermal venting to the deep sea ecosystems. For this purpose, we have investigated and sampled deep sea hydrothermal plumes in northwest Pacific Ocean hydrothermal fields using traditional vertical water column hydrocast, tow-yo survey with CTD-CMS, and sensor survey and water sampling by AUV Urashima with high accuracy positioning. Microbiological phylogenetic analysis of the plume sample showed the existence of sulfur oxidizing bacterial phylotype, named SUP05, and methane oxidizing bacterial phylotype (MOB) related with *Methylococcus*. MOB sequences were retrieved from Okinawa trough hydrothermal plumes, however, were not from hydrothermal plume on Izu-Bonin islands arc. These results are consistent with the fact that hydrothermal fluid in Okinawa trough is rich in methane. In contrast, SUP05 is typical phylotype in the northwestern Pacific hydrothermal plume due to hydrothermal fluids contains high amount of hydrogen sulfide. Quantitative analysis of SUP05 in various hydrothermal plumes showed that the SUP05 population is closely correlated with the potential chemical thermodynamics energy of sulfide in the hydrothermal fluids. This indicates that the oxidation-reduction reaction with high potential energy, e.g. sulfide, methane, and hydrogen, in the hydrothermal mixing zone proceeds by biotic nor abiotic.

**Submarine Hydrothermal Activity and Gold-Rich Mineralization at Brothers
Volcano, Kermadec Arc, New Zealand**

**C.E.J. DE RONDE, G.J. MASSOTH, D.A. BUTTERFIELD, B.W. CHRISTENSON,
J. ISHIBASHI, R.G. DITCHBURN, M.D. HANNINGTON, R.L. BRATHWAITE,
J.E. LUPTON, V.S. KAMENETSKY, I.J. GRAHAM, G.F. ZELLMER, R.P. DZIAK,
R.W. EMBLEY, V.M. DEKOV, F. MUNNIK, J. LAHR, L.J. EVANS & K. TAKAI**

"Brothers volcano, of the Kermadec intraoceanic arc, is host to a hydrothermal system unique among seafloor hydrothermal systems known anywhere in the world. It has two distinct vent fields, known as the NW caldera and cone sites, whose geology, permeability, vent fluid compositions, mineralogy and ore forming conditions are in stark contrast to each other. The NW caldera site strikes for ~600 m in a SW-NE direction with chimneys occurring over a ~145 m depth interval, between ~1690 and 1545 m. At least 100 dead and active sulfide chimney spires occur in this field, as seen during manned submersible dives, and are typically 2-3 m in height, with some reaching 6-7 m. Their ages (at time of sampling) fall into three groups: < 4 years, 23 and 35 years old. The chimneys typically occur near the base of individual fault-controlled benches on the caldera wall, striking in lines orthogonal to the slopes. More rare are massive sulfide crusts 2-3 m thick. Two main types of chimney predominate: Cu-rich (up to 28.5 wt.% Cu) and more commonly, Zn-rich (up to 43.8 wt.% Zn). Geochemical results indicate a 'magmatic' suite of elements associated with the Cu mineralization (including up to 91 ppm Au) and a 'epithermal' suite of elements associated with the dominant Zn-rich mineralization. The cone site comprises the Upper cone site atop the summit of the recent (main) dacite cone, and the Lower cone site that straddles the summit of an older, smaller, more degraded dacite cone on the NE flank of the main cone. Huge volumes of diffuse venting are seen at the Lower cone site, in contrast to venting at both the Upper cone and NW caldera sites. Individual vents are marked by low relief (≤ 0.5 m) mounds comprised predominately of native sulfur with bacterial mats. Vent fluids of the NW caldera field are focused, hot ($\leq 300^{\circ}\text{C}$), acidic ($\text{pH} \geq 2.8$), metal-rich and gas-poor. Calculated end-member fluids from NW caldera vents indicate phase-separation has occurred, with Cl values ranging from 93% to 137% of seawater values. By contrast, vent fluids at the cone site are diffuse, noticeably cooler ($\leq 122^{\circ}\text{C}$), more acidic ($\text{pH} = 1.9$), metal-poor and gas-rich. Higher-than-seawater values of SO_4 and Mg in the cone vent fluids show that these ions are being added to the hydrothermal fluid and are not being depleted via normal water/rock interactions."

**Submarine Magmatic-Hydrothermal Systems at the Volcanically Active Monowai
Volcanic Centre, Kermadec Arc**

**Matthew I. Leybourne^{1*}, Cornel E. J. de Ronde¹, Uli Schwarz-Schampera², Edward T. Baker³,
Kevin Faure¹, Mark D. Hannington⁴, Sharon L. Walker³, Joe Resing³, Dave A. Butterfield⁵,
Christian Timm¹, Ian J. Graham¹**

¹*GNS Science, P.O. Box 30-368, Lower Hutt, New Zealand*

²*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Germany*

³*Pacific Marine Environmental Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration, 7600 Sand
Point Way, Seattle, Washington 98115-6349, U.S.A.*

⁴*Department of Earth Sciences, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada*

⁵*JISAO, University of Washington, 7600 Sand Point Way NE, Seattle, WA 98115-6349, United States*

About mid-way along the ~2530 km long Tofua-Kermadec arc system NE of New Zealand lies the Monowai volcanic centre (MVC). The MVC consists of a large elongate caldera (7.9 x 5.7 km; 35 km²; floor depth around 1590 m) and a volcanically active stratovolcano on the southern flank, which rises to within ~ 100 m of the sea surface. Monowai caldera is located within an older caldera (84 km²). Unlike other calderas along the arc, mafic volcanic rocks dominate the MVC, with only uncommon basaltic andesites and rare andesites. Volcanic rocks are typical arc tholeiites with flat REE patterns, and positive anomalies in fluid mobile species (e.g., Rb, Ba, Sr, Pb) and negative anomalies in Nb and Ta relative to mid-ocean ridge basalt (MORB). Plume mapping shows at least four hydrothermal systems associated with the caldera and cone. Monowai cone has venting from the summit, as well as several vent sites inferred from plumes down the northern flank of the volcano. The caldera has a major hydrothermal vent system associated with the southwest wall of the caldera. The summit plume is gas-rich and acidic; plume samples show a pH shift of -2.00 pH units, H₂S up to 32

μM and CH_4 concentrations up to 900 nM. The summit plume has elevated total dissolvable Fe (TDFe up to 4200 nM), TDMn (up to 412 nM), and TDFe/TDMn (up to 20.4). In contrast, the caldera plumes have lower TDFe, but range to higher TDMn concentrations, and are relatively gas-poor (no H_2S detected, pH shift of -0.6 pH units, CH_4 concentrations up to 26 nM). Significantly, elevated TDMn and generally lower TDFe/TDMn for the caldera plumes compared to those on the cone we interpret to be the result of significant precipitation of Fe-sulfides in the subsurface, raising the distinct possibility for the occurrence of shallow buried massive sulfide mineralization at Monowai.

Particulate samples from both the cone sites and the caldera site are enriched in Al, Ti, Ca, Mg, Si, and S, with the cone summit plume particularly enriched in K, As, W and Cu, Pb, Zn. The elevated Ti and Al suggest acidic water-rock reactions and intense high-sulfidation like weathering of the host volcanic rocks. Observations from submersible dives with Pisces V in 2005 of the caldera site indicate numerous low temperature vents ($< 60^\circ\text{C}$), with a large biomass of vent-associated fauna, in particular large accumulations of the mussel *Bathymodiolus* sp. and the tubeworm *Lamellibrachia* sp.

We interpret the Monowai volcanic centre as possessing a robust high-sulfidation magmatic-hydrothermal system. The large shifts in pH, elevated TDFe and TDFe/TDMn, H_2S -rich nature of the vent fluids and elevated Ti and Al in the particulates indicates significant magmatic volatile \pm metal contributions to the hydrothermal system. The differences and similarities between the plumes at the summit of Monowai cone and the caldera site suggest active Fe-sulfide formation in the subsurface, and the potential for the presence of significant SMS mineralization.

Preliminary Report of IODP Expedition 331 “Deep Hot Biosphere”

**Ken Takai*(JAMSTEC), Jun-ichiro Ishibashi (Kyusyu Univ.), Science Party of Exp.
311**

Artificial hydrothermal vents created

Totally, 24 holes were drilled and 21 holes were cored in IODP Expedition 331. Four artificial hydrothermal vents were created by drilling operation and all the vents successfully made the pristine hydrothermal fluid concealed in the subseafloor environment blow off from the seafloor. All the hydrothermal vent emissions were confirmed to be $>240^{\circ}\text{C}$ by using thermal indicators sealed on the outlet pipes of the corrosion caps. These are the first artificial hydrothermal vents of high temperature fluids built in the DSDP/ODP/IODP history.

Subseafloor hydrothermal fluid alteration, flow and reservoir in unique hydrogeologic structure

All the results would provide a large scale of potential hydrogeologic provinces and subseafloor hydrothermal fluid flows and reservoirs. The drawn sketch represents spatially enormous hydrothermal deposition, alteration and fluid migration and reservation hosted in the whole Iheya North Knoll volcanic complex. There has been very little known about the hydrothermal circulation (pattern, spatial and time scale) in the subduction zones such as Volcanic Arc and Backarc settings. Although the delineated hydrogeologic provinces and the enormous hydrothermal deposition, alteration and fluid migration and reservation of the Iheya North field should be justified by the future onshore investigation, it may provide significant insights into the contribution of hydrothermal systems in the subduction zones to the global heat and chemical fluxes through the ocean floor.

Stratification of hydrothermal fluid by subseafloor phase-separation and segregation

The pore-fluid chemistry data obtained from Expedition 331 may depict that the subseafloor hydrothermal fluid reservoirs and flows are chemically stratified. In the shallower hydrothermal fluid flows and reservations, the vapor-gained (brine-depleted) hydrothermal fluids were identified at both Sites C0013 and C0014, while the vapor-lost (brine-enriched) fluids were found in the deeper zones of reservoirs. The previous seafloor surveys of the Iheya North hydrothermal field always found that the vapor-gained (brine-depleted) hydrothermal fluids were discharged from the seafloor vent sites. Thus, it has been a puzzle where the vapor-lost (brine-enriched) fluids have gone. Several theoretical calculations have predicted that greater densities of vapor-lost (brine-enriched) fluids sink the deeper subseafloor environments in the potential subseafloor hydrothermal reservoirs. However, none of the direct evidences has been obtained. Expedition 331 might provide the first direct evidences of the subseafloor stratification of the phase-separation-influenced hydrothermal fluids in the future chemical analyses of the pore-fluids and the hydrothermal fluids emitting from the artificial vents.

Was ‘subvent biosphere’ present?

Unfortunately, based on the onboard analyses and experiments, we had few of the evidences to prove the existence of 'subvent biosphere' beneath the Iheya North hydrothermal field. Prior to this expedition, it was hypothesized that the subseafloor mixing between the hydrothermal fluids and the recharging seawater was sustained by kinds of mesh structures of narrow hydrothermal fluid flows at the eastern flank subseafloor environments of the active vent sites. Finding the spatially enormous hydrothermal deposition, alteration and fluid flows and reservations confounded the hypothesis. Most of the core samples obtained from Sites C0013, C0014 and C0016 were likely exposed to higher temperatures than the microbiologically habitable temperature range (probably $< 50^{\circ}\text{C}$). However, the spatially limited but microbiologically habitable zones of core samples were taken from various sites during the expedition. The future shore-based, detail investigations from an international and interdisciplinary scientists will provide multiple lines of evidence for the existence of the functionally active, metabolically diverse subseafloor microbial communities associated with the hydrothermal activity.

Presently being formed 'Kuroko deposit' in the subseafloor environment of the Iheya North field

From the core samples obtained from Sites C0013, C0014 and C0016, hydrothermally altered minerals, rocks and sediments were ubiquitously identified. The massive sphalerite-rich sulfides recovered from Hole C0016B marked the first time that this type of material, strongly reminiscent of the Kuroko "black ore" was recovered from an active deep-sea hydrothermal system. The lithostratigraphic and petrological structure of Hole C0016B provides the direct evidences how the volcanic hosted massive sulfide (VHMS) mineral deposits and the Kuroko deposits are (were) formed in the present day (past) deep-sea hydrothermal systems. Not only the lithostratigraphic and petrological structure of Hole C0016B but also the whole lithostratigraphic and hydrogeologic architectures and the hydrothermal fluid (pore-fluid) chemistry at all the sites in Expedition 331 will provide significant insights into the settings and conditions of the VHMS and Kuroko deposits because the Iheya North field is the only example evidenced as the presently being formed one by the drilling and coring. The future investigation of the hydrothermal altered minerals, rocks and sediments will be also paid attention to from an economic geological aspect.

Preliminary conclusion

IODP Expedition 331 was extremely successful and shed a bright light on the future scientific and explorative drilling of deep-sea hydrothermal systems.

U-Th radioactive disequilibrium dating of hydrothermal sulfide minerals on the seafloor

**Asako Takamasa¹, Shun'ichi Nakai¹, YuVin Sahoo¹, Jun'ichiro Ishibashi²,
Shin Toyoda³
(¹Tokyo University, ²Kyushu University, ³Okayama University of Science)**

The time scale for a hydrothermal activity is an important factor which controls the interaction of evolution of chemosynthesis-based communities in a submarine hydrothermal system and "Rock-Fluid –Ecosystem linkage".

Many dating techniques using radioactive disequilibria of ²³⁵U, ²³⁸U and ²³²Th decay series have been applied for hydrothermal submarine ore deposits. Among previous studies, ²³⁰Th-²³⁴U disequilibrium dating has been applied for massive sulfide mounds from Transatlantic Geotraverse (TAG) deposit on the mid-Atlantic Ridge, which yields a wide range of ²³⁰Th-²³⁴U ages from 2.6 to 38 kilo years. The results indicated episodic activities lasted more than 30 kyr in the TAG area positioned on a slow spreading ridge. In this study, we have attempted ²³⁰Th-²³⁴U disequilibrium dating for hydrothermal deposits with younger ages from Okinawa Trough and South Mariana Trough using a Multiple-Collector Inductively Couple Plasma Mass Spectrometry (MC-ICP-MC) and examined the applicability of ²³⁰Th-²³⁴U disequilibrium method for dating of younger hydrothermal activity. Before 1990, radioactive counting method was widely used to measure radioactivities of U and Th. But recently, mass spectrometry has made it possible to determine lesser amount of uranium and thorium with higher precision. The samples used in this study contain sulfide and barite. Pb and Ba would cause analytical problems for U and Th isotope analyses, thus a good separation of the two elements is necessary. A two stage column chromatography was therefore used for the separation process. The sulfide mineral from Izena hole of Okinawa Trough was separated by acidic decomposition from insoluble barite. The ²³⁰Th-²³⁴U disequilibrium age of three samples yielded 700 to 1000 year. We have thus succeeded in the ²³⁰Th-²³⁴U disequilibrium dating for young age hydrothermal deposits to about several hundred years. However, due to small U/Th ratios of these samples, the precision of this method deteriorates. In addition, to determine the age more accurately, we need to estimate the initial ²³⁰Th /²³²Th ratios.

We will present results of Mariana Trough samples in the meeting.

Evaluation of laser-induced breakdown spectroscopy as a technique for in-situ elemental analysis of solids at oceanic pressures

**Blair Thornton and Tamaki Ura
Underwater Technology Research Center,
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo**

Abstract

The application of underwater platforms, such as remotely operated vehicles and mobile drilling systems, to sampling of the seafloor has led to great advances in the fields of oceanography and marine geophysics, since they allow for accurate correlation of seafloor composition with the position information of the platforms used. However, although this allows for accurately geo-referenced chemical information, the information is not immediately available since the analysis of sample composition is typically carried out on land. In this work, the authors seek to develop a sensor in order to perform in-situ analysis of the elements, by applying laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) to analyze the composition of submerged mineral deposits on the seafloor. It is hoped that this technology will allow for real-time geo-chemical feedback during surveys, and contribute not only to more efficient scientific surveys, but through integration with platforms such as underwater vehicles, drilling systems and subsea observatories, serve as a tool to facilitate both spatially and temporally continuous study of oceanographic areas of interest such as hydrothermal vent areas.

Preliminary results of experiments performed using a single pulse LIBS technique on solids immersed in water at pressures ranging from 0.1 to 30MPa are presented. First, the spectra obtained for various metallic samples taken in water at atmospheric pressure are analyzed. Next the spectra of immersed solids, taken at 0.1MPa, 10MPa, 20MPa and 30MPa are presented and the results discussed. The results provide valuable insight into the feasibility of the application of LIBS to analyze seafloor composition in-situ.

Magnetic signatures of active and fossil hydrothermal sites on slow spreading ridge

Jerome Dyment(IPGP & CNRS)

For the last 50 years, shipborne magnetics have been a very useful tool to date the seafloor and decipher the structure and evolution of ocean ridges and basins. However, they do not allow dating the seafloor with a resolution better than the million of years, and is unable to detect structures smaller than a few kilometres at best, which compares poorly to recent technological progresses achieved by acoustic mapping and seismics. The development of a wide variety of deep-sea vehicles – manned submersible, ROV, AUV, hybrid vehicles – makes new achievements possible for magnetics, in improving the resolution of the method by acquiring data closer to the seafloor. Indeed magnetometers are relatively inexpensive, light, and sober devices which can efficiently be installed on many kinds of supports. Several examples from the Mid-Atlantic Ridge, the Central Indian Ridge, and the East Pacific Rise will be presented, which demonstrate that (1) deep sea magnetics are able to date magmatic seafloor at a resolution of a few tens to hundreds thousand years; (2) deep-sea magnetics are one of the most promising technique to detect and characterize active and fossil hydrothermal vents and to evaluate the mining potential of these ore deposits; and (3) deep-sea magnetics represent a real addition to investigate volcanic structures of mid-ocean ridge such as active dyke networks.

Relationship between volcanism, tectonism and hydrothermalism in the equatorial Atlantic

Colin Devey (GEOMAR)

Newly discovered hydrothermal fields at the hotspot-ridge interaction site of the Central Indian Ridge and the Reunion hotspot

Kensaku Tamaki (Frontier Research Center for Energy and Resource, University of Tokyo) and Shipboard Scientists of YK09-13 Leg1 Cruise

In October 2009, we conducted YK09-13 cruise by R/V Yokosuka with a manned deep-sea submersible vehicle (DSV) Shinkai6500 in two regions of the Central Indian Ridge (CIR) 18°-20°S and successfully discovered two active hydrothermal sites; one is the Dodo field at the Dodo Great Lava Plain (CIR Segment 16 at 1820'S) and the other is the Solitaire Field at the Roger Plateau (Segment 15 (183'S), respectively. The Roger Plateau is an expression of ongoing interaction of Reunion hotspot – Rodriguez Ridge with the CIR spreading center. These findings are based on the results of the previous cruise KH06-4 cruise R/V Hakuho-maru done in 2006 with intensive seafloor mapping, CTD hydrocasts, and AUV-r2D4 diving researches. DSV Shinkai6500 made focused diving at the areas where chemical anomalies are detected by AUV-r2D4 Gamos in-situ chemical sensor and CTS hydrocasts. The Dodo field and Solitaire field are named after extinct bird species of the Mauritius Island and the Rodriguez Island, respectively.

The black smoker fluids in the Dodo field exhibit unusually high concentrations of H₂ in spite of the slightly brine-enriched feature of the fluids. Chemosynthetic faunal communities in the Dodo field are emaciated in size and composition. The Solitaire field is characterized by extensive diffusing flows throughout the field, suggesting that the emission patterns of the hydrothermal fluids were atypical among the CIR hydrothermal systems known so far including the Dodo field. The most outstanding feature was the prosperous macrofaunal communities that potentially contained the almost entire members of macrofaunal genera found in the CIR hydrothermal environments and even previously unexplored animal members (e.g., Alvinellidae polychaetes). Moreover, a new morphotype of scaly foot gastropod, of which one type has been known only in the Kairei field in the world, dominated the chemosynthetic animal communities in the Solitaire field. These findings provide important insights into geochemical diversity of hydrothermal activity and biodiversity and biogeography of vent-endemic ecosystem in the Indian Ocean.

An exploration for ultramafics behind Kairei field - What feeds unusual hydrogen?

K. Nakamura, H. Kumagai*, T. Morishita, T. Tsuji, T. Shibuya, K. Okino, K. Takai and YK05-16 Leg1 and YK09-13 Leg2 Scientific parties

Two hydrothermal fields in the Indian Ocean, Kairei and Edmond, are contrasting couple of the present day's hydrothermal activity along the Central Indian Ridge (CIR). They are only 160km away each other with very similar tectonic situations; both the sites are located on the shoulder of the abyssal hills near the end of the segments. Here the Kairei field is on an obliquely elongated abyssal hill that sub-parallel to the present-day's CIR axis (Hakuho-Knoll). Similarly to Kairei, Edmond is also on an abyssal hill near the northern end of CIR-3. Regardless of this similarity, their fluid chemistry and accompanied biota are very different (e.g Suzuki et al., 2006). The vent fluid of Kairei is characterized by its exceptionally high H₂ concentration, up to 8mM, despite the relatively low total gas content (Kumagai et al., 2008 and references therein). On the other hand, the fluid chemistry of the Edmond vent fluid is in the range of typical Mid Ocean Ridge type having nearly saturated Si content and poor gas abundances so far reported (Gallant and Von Damm, 2005).

Thus we focused to understand the uniqueness of Kairei field in terms of its geology and tectonics. As the geological and geophysical survey, two dive expeditions conducted in 2006 and 2009; YK05-16 Leg1 and YK09-13 Leg2, respectively. Total number of dives exceeds 10 in the area. During the former expedition, we located two locations with olivine-rich lithology; serpentized peridotites were found on the 25°S OCC and primitive troctolites were found on the small OCC-like topographic-high, Uraniwa Hills. Because these rocks and their protoliths contain abundant olivine of which Fe²⁺ potentially produces H₂, Nakamura et al. (2009) discussed the possible models of water-rock reaction to explain its vent chemistry. However, both the 25°S OCC and the Uraniwa Hills are rather distant and separated from the vent area with topographic lows.

Then, another dive expedition around the Kairei Field was planned as YK09-13 Leg2 to locate more suitable locality and lithology to feed H₂ to vent fluid of Kairei. In the expedition, much wider exposure of the serpentized peridotites has mapped between the Kairei field and the Uraniwa Hills, named as Yokoniwa massif (Nakamura et al., 2010). The morphology of Yokoniwa Massif is similar to a Non-Transform Offset Massif (NTO-Massif). The single channel seismic survey performed during the expedition also suggested that the wider distribution of ultramafic lithologies, especially northeastern quadrant of the Kairei field.

References

- Gallant R. M. and Von Damm K. L. (2005) *Geochem. Geophys. Geosyst.* **7**(6), paper #: Q06018, doi:10.1029/2005GC001067.
- Kumagai H. et al. (2008) *Geofluids*, **8**(4), 239-251.
- Nakamura K. et al. (2010) Japan Geosciences Union Meeting 2010, Abstract SCG-086-24.
- Nakamura K. et al. (2009) *Earth Planet. Sci. Lett.* **280**(1-4), 128-136.
- Suzuki Y. et al. (2006) *Earth Planet. Sci. Lett.* **242**(1-2), 39-50.

Experimental constraints on hydrogen generation in ridge system

Katsuhiko Suzuki (JAMSTEC)

Deep-sea hydrothermal vents were discovered in the late 1970s (Corliss et al., 1979; Edmond et al., 1979). Since then, they have been considered as a possible environment for the origin and early evolution of life on Earth (e.g., Yanagawa and Kojima, 1985; Russell and Hall, 1997). In addition, some researchers proposed that microbial ecosystems in the hydrothermal vents are primary producers which sustain most of the lives in the ocean (Jannasch et al., 1985 and our TAIGA project [<http://www-gbs.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~taiga/en/index.html>]). It is important, therefore, to figure out the hydrothermal reactions in the ocean floor for better understanding of the ecosystems in the ocean. Especially hydrogen generation is one of the most crucial processes in the hydrothermal systems, because multidisciplinary studies suggest that the most ancient microbial ecosystems were originated and maintained in the vicinity of H₂-rich hydrothermal fluids (Russell and Hall, 1997; Sleep et al., 2004; Kelley et al., 2005; Canfield et al., 2006). Such communities are possibly composed of hyperthermophilic subsurface lithoautotroph metahonogene (Takai et al., 2006).

The supply of abundant hydrogen to power such primary producers is the most likely coupled to hydrothermal serpentinization of ultramafic rocks. In the modern ocean, H₂-enriched hydrothermal fluids are commonly associated with slow-spreading mid-ocean ridge (MOR) setting dominated by peridotite (Kelley et al., 2001; Früh-Green et al., 2004). The serpentinization of abyssal peridotite has been well investigated both experimentally and theoretically. The investigations indicate that the peridotite-water reaction provides an extraordinarily high concentration of H₂ in the fluids (e.g., Seyfried et al., 1979; Allen and Seyfried, 2003; McCollom, 2007; McCollom and Bach, 2009). In the Hadean and early Archean ocean, however, it is believed that peridotite would be scarce in the ocean floor, and komatiite - hydrothermal reactions are the possible mechanism of hydrogen generation in the ocean floor. Yoshizaki et al. (2009) experimentally revealed that abundant H₂, equivalent to H₂ abundance in the peridotite-hosted hydrothermal solutions, was produced in komatiite alteration. On the other hand, the fault-related H₂ generation has been found by the gas monitoring along surface trace of the active Yamasaki fault (Wakita et al., 1980) and more recently from the drilling cores near hypocenters of micro-earthquakes along the San Andreas Fault (Erzinger & Wiersberg, 2008). Therefore, H₂ generation in the fault systems should be evaluated. Recently we started the experiment to estimate the hydrogen production in the fault system using our friction experiment system.

In this contribution, I will briefly review the experimental investigation on hydrogen production in the hydrothermal systems in the ridge, and introduce the results obtained in our laboratory experimental systems, both hydrothermal and simulated fault types.