

# 無人潜水艇 AUV を用いた北極海ガッケル海嶺の海底熱水探査 -2007 年 AGAVE 航海と今後の課題-

中村光一<sup>1</sup>、佐藤太一<sup>2</sup>、野木義史<sup>3</sup>、沖野郷子<sup>2</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所、<sup>2</sup>東京大学大気海洋研究所、<sup>3</sup>国立極地研究所

## Seafloor hydrothermal exploration on the Gakkel Ridge, Arctic Ocean utilizing AUVs - 2007 AGAVE cruise and after -

Ko-ichi Nakamura<sup>1</sup>, Taichi Sato<sup>2</sup>, Yoshihumi Nogi<sup>3</sup> and Kyoko Okino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo (AORI), <sup>3</sup>National Institute of Polar Research (NIPR)

In the summer of 2007, as a part of the International Polar Year projects, Arctic GAKkel Vent Expedition (AGAVE cruise) was conducted aiming discovery of hydrothermal activities on the Gakkel Ridge in the Arctic Ocean. On board the Swedish icebreaker, I/B Oden, CTD survey, AUV survey and mini-ROV surveys were performed. Although Eh and potential temperature anomalies indicated the existence of hydrothermal activities on the seafloor (Stranne et al., 2010), we could not locate any high temperature vent field on the seafloor. For the same kind of future efforts, development of regional hydrothermal exploration in vertical two dimension profiling methods by fast cruising AUV or underwater glider is crucial and necessary.

1cm/year 以下の拡大速度で拡大する北極海のガッケル海嶺は ultra-slow spreading ridge (Dick et al., 2003) の中でも拡大軸が拡大方向にほぼ直交して長く伸び、拡大軸方向と拡大方向の斜交性がほとんどなく、まとまった規模で超塩基性岩が卓越する amagmatic ridge と玄武岩が卓越する magmatic ridge が存在し (Michael et al., 2003)、現在の世界の海嶺系の中で ultra-slow spreading ridge の典型というべき海嶺である。また、大西洋から続く海嶺系の末端に位置しながら、ベーリング海峡の浅海域で太平洋にも繋がっているという地理的位置は海底熱水系に特有の生物群集の移動と進化を研究する上で重要な位置も占めている。更に、2001 年の AMORE cruise で海底熱水の存在する徴候が確認されており (Edmonds et al., 2003, Baker et al, 2004)、海嶺水深が 4,000m 以上と深いので、高温熱水噴出地点では臨界温度付近の高温の熱水が期待される。

International Polar Year のプロジェクトとして Woods Hole 海洋研究所とテキサス大学が NSF から獲得した予算でスウェーデン砕氷船オーデン (I/B Oden) を用いて 2007 年 5 月 27 日～6 月 7 日に機器テスト航海が、7 月 1 日～8 月 9 日に本調査航海が実施された (Arctic GAKkel Vent Expedition, AGAVE)。両航海に中村と佐藤が乗船し、テスト航海には野木も乗船した。中村は熱水が海水よりも還元的事実であることを着目した Eh センサー (German et al., 2008) を AUV (Autonomous Underwater Vehicle) と CTD に供給し、CTD 作業に携わり (Stranne et al., 2010)、佐藤、野木、沖野は海底熱水活動に伴って海底磁化強度が弱まる現象を捉える三成分磁力計を AUV に供給し、AUV 作業に携わった。

北極海の海洋調査における特殊条件はいうまでもなく氷海である。砕氷船といえども単独での行動では曳航などの海洋調査の基本的な航行の自由は制限される。この調査では航海経費とは別に Woods Hole 海洋研究所が NASA 予算で建造した 2 台の AUV (無人無索の潜水艇) が投入された他、海底観察と試料採取機能を持ち、スラスタで向きを制御し、不十分なながらも短距離の移動も可能な mini-ROV (Remotely-Operated Underwater Vehicle, 有索無人潜水艇) も投入された。NASA 予算は将来の Europa (木星の衛星) のような氷に覆われた「海」を持つ天体での探査、試料採取計画を目指す準備として位置づけられたものである。

海底熱水系を見つける戦略は

1. CTD 調査で熱水ブルーム調査をし、探査範囲の絞り込みをする。
2. 周囲の海水に薄められて温度差による浮力を失って横方向に広がった熱水ブルームの水深付近やそれ以深で AUV を航走させ、海底熱水の場所を特定する。
3. もう一台の AUV を海底熱水近傍の海底面直上を航走させ、海底微地形データならびに海底写真を取得する。
4. Mini-ROV で地質・生物試料を採取する。

であった。

氷海における最大の困難は、海底の目標点に対して機器操作をしながら定点保持をすることができないことである。停船した砕氷船は流水とともに漂流することしかできない。また、自己浮上した機器は流水に阻まれて海面上には容易に姿を現すことはない。特に夏場においては日々の流水の融解と氷結の繰り返しによって海面近傍

で局所的に塩分濃度が変化し、機器の浮力や音響通信パスに影響を与えるなどの困難もある。今回の航海ではそうした困難を克服して、AUVを投入し回収するという作業を無事に実施することができ、調査技術としては大きく前進した (Jakuba et al., 2008, Kunz et al., 2009)。しかし、残念ながら、低温熱水に伴うバクテリアマットの分布しか発見することはできず、航海名標題にある海底熱水系(Vent)は発見できなかった (Sohn et al., 2008)。

そのような結果になった主な原因は

1. 2001年のAMORE cruiseで海底熱水の存在する場所は十分に絞り込まれているという思い込みがあり、CTD調査で広い範囲のデータからAUV探査 (German et al., 2008) の最適地点を選び出す作業がされなかった。
2. バッテリー容量が小さく、潜入下降時の投棄ウェイトが採用されなかったために、海底付近にまで到達する時間がかかり過ぎ、AUVの実効航走観測時間が期待されたものより短かった。
3. 砕氷船が流水とともに漂流するという条件では mini-ROVで海底の目的地点を捕捉するためには海底熱水の広がり自身が大きくなければ非常に困難であった。

などである。

CTDやEhデータなどは高温熱水の存在自身を否定してはいないと考えられるので (Stranne et al., 2010) いつの日か海底に熱水活動を発見する再挑戦が行われるであろう。しかし、それを成功させるためには、海嶺上の熱水活動の可能性のある地点の絞り込みが必要で、流水に阻まれてCTD tow-yoによる通常の組織的な広域熱水探査ができない以上、海嶺に沿った垂直二次元のAUVもしくはunderwater gliderによる調査が先行して実施されることが不可欠である (本シンポジウムの中村の2010年G. O. Sars号航海の報告参照)。

本航海への参加旅費、機材輸送費などは国立極地研究所の2007年度萌芽研究「北極海ガッケル海嶺の熱水系探査」でまかなわれ、この研究資金援助無しには我々の乗船は実現できなかった。記して感謝する。

## References

<http://www.whoi.edu/sbl/liteSite.do?litesiteid=18873&articleId=28268>

航海の様子は下記の outreach web で現在も見ることができる。

<http://www.divediscover.whoi.edu/expedition11/index.html>

<http://polardiscovery.whoi.edu/expedition2/index.html>

- Baker, E. T., H. N. Edmonds, P. J. Michael, W. Bach, H. J. B. Dick, J. E. Snow, S. L. Walker, N. R. Banerjee and C. H. Langmuir, Hydrothermal venting in magma deserts: The ultraslow-spreading Gakkel and Southwest Indian Ridges, *Geochem. Geophys. Geosyst.* 5, Q08002, doi:10.1029/2004GC000712, 2004
- Dick, H. J. B., J. Lin and H. Schouten, An ultraslow-spreading class of ocean ridge, *Nature*, 426(6965), 405-412, 2003
- Edmonds, H. N., P. J. Michael, E. T. Baker, D. P. Connelly, J. E. Snow, C. H. Langmuir, H. J. B. Dick, R. Muhe, C. R. German and D. W. Graham, Discovery of abundant hydrothermal venting on the ultraslow-spreading Gakkel ridge in the Arctic Ocean, *Nature*, 421(6920), 252-256, 2003
- German, C. R., D. R. Yoerger, M. Jakuba, T. M. Shank, C. H. Langmuir, K. Nakamura, Hydrothermal exploration with the Autonomous Benthic Explorer, *Deep Sea Res.*, I, 55, 203-219, 2008
- Jakuba, M. V., C. N. Roman, H. Singh, C. Murphy, C. Kunz, C. Willis, T. Sato and R. A. Sohn, Long-baseline acoustic navigation for under-ice autonomous underwater vehicle operations, *J. Field Robotics*, 25, 861-879, 2008
- Kunz, C., C. Murphy, H. Singh, C. Pontbriand, R. A. Sohn, S. Singh, T. Sato, C. Roman, K. Nakamura, M. Jakuba, R. Eustice, R. Camilli, J. Bailey, Toward extraplanetary under-ice exploration: Robotic steps in the Arctic, *J. Field Robotics*, 26, 411-429, 2009
- Michael, P. J., C. H. Langmuir, H. J. B. Dick, J. E. Snow, S. L. Goldsteink, D. W. Graham, K. Lehnert, G. Kurras, W. Jokat, R. Muhe and H. N. Edmonds, Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean, *Nature*, 423(6943), 956-961, 2003
- Sohn, R. A., C. Willis, S. Humphris, T. M. Shank, H. Singh, H. N. Edmonds, C. Kunz, U. Hedman, E. Helmke, M. Jakuba, B. Liljebldh, J. Linder, C. Murphy, K. Nakamura, T. Sato, V. Schindwein, C. Stranne, M. Tausenfreund, L. Upchurch, P. Winsor, M. Jakobsson and A. Soule, Explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean, *Nature* 453(7199), 1236-1238, 2008
- Stranne C., R. A. Sohn, B. Liljebldh and K. Nakamura, Analysis and Modelling of Hydrothermal Plume Data Acquired from the 85°E Segment of the Gakkel Ridge, *J. Geophys. Res. C*, 115, C06028, doi:10.1029/2009JC005776, 2010