

平成 21 年 6 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19540488

研究課題名（和文）台湾南西沖冷湧水炭酸塩岩形成へのメタンハイドレートの影響評価

研究課題名（英文）Influence of methane hydrate to the formation of cold seep carbonates, off Southwestern Taiwan

研究代表者

町山 栄章（MACHIYAMA HIDEAKI）

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・サブリーダー

研究者番号：00344284

研究成果の概要：台湾南西沖の南シナ海大陸棚斜面に分布する海底メタン湧水は、地形に規制されたメタンの集積がメタンハイドレートのキャップ構造を形成し、その頂部から海底面へ流体が上昇することに起因している。この海底メタン湧水に伴われる冷湧水炭酸塩岩の形成には、メタンハイドレートの分解水が部分的に関与していた。微生物による二酸化炭素の還元によって形成されたメタンと噴出ガス中の硫化水素によって、熱水噴出孔と同様な化学合成生物群集が冷湧水域にも生息していると推定される。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：メタンハイドレート、地質学、地球化学、海洋探査、深海環境、メタン湧水、台湾

## 1. 研究開始当初の背景

フィリピンより北方へと延びるルソン弧とアジア大陸とが衝突する台湾は、標高3,000mを越える山脈が島の中央をほぼ南北に縦断し、現在でも活発な地殻変動が生じている。1999年のChi-Chi地震（Mw7.6）を発生させた、島を南北に走るChelungpu断層帯の南方延長上の台湾南西沖や陸上には、多数の泥火山や泥ダイアピルが分布する（例えば、Wang et al., 1988; Liu et al., 1997）。台湾南西沖においては断層群と関係した泥ダイアピルや海底谷などの発達認められ、深部からの流体移動が想定される。

一方で、本海域にはBSR（海底面疑似反射

面）が広範囲に発達し、メタンハイドレートの分布が確認される（Liu et al., 2004）とともに、底層水中に高濃度のメタンが検出されている（Juang et al., 2005）。これらの事から、メタンハイドレートの分解水が断層沿いに湧出し、泥火山や泥ダイアピルを形成した可能性が指摘されている（Yang et al., 2004）。しかしながら、これらの検証や流体湧出のイベント性（地震による seismic pumping など）の議論はなされていない。

このような付加体や前弧海盆等における泥火山・泥ダイアピルとメタンハイドレートとの関係は、日本の南海トラフのみならず世界的にも重要な研究課題となっている。台湾

南西沖はこの問題を解明する最適のフィールドの一つであり、2007年3月に日本と台湾による共同調査航海が実施された。

## 2. 研究の目的

本研究では、上述の背景の下、台湾南西沖の泥火山等の流体湧出域において、メタンハイドレートの分解水の関与を検証し、そのプロセスならびに派生現象を明らかにする事によって、当該域でのメタンハイドレートの分解現象の規定要因を特定する事を目標とする。

このため、過去におけるメタンハイドレートの分解現象の良好な記録媒体である、冷湧水炭酸塩岩に着目し、以下の2つのキープロセスの解明を目的とした。

(1) 冷湧水炭酸塩岩類の特徴：海底表層付近で形成される炭酸塩岩類は、いつ・どこで・どのようなプロセスで形成されたか？。

(2) 冷湧水の特徴：海底下に存在する含メタン流体はどこから由来し、いかなる性質を持つのか？。

## 3. 研究の方法

本研究では、南シナ海大陸棚斜面に位置するサイトF (Formosa Ridge) とサイトGの2地点の冷湧水域を対象とした(図1)。研究目的達成のため、本研究では以下の方法を用いて実施した。

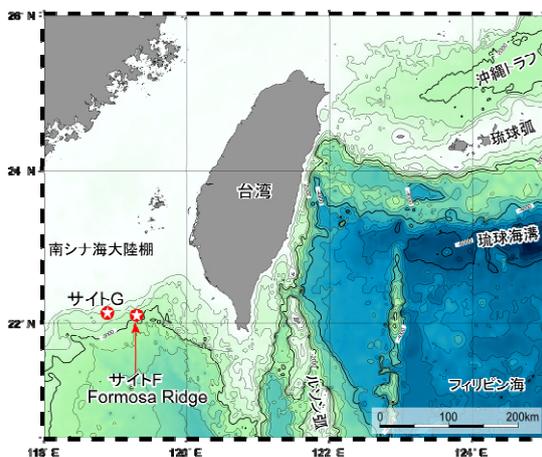


図1 台湾南西沖調査海域位置図

(1) 地質構造・テクトニックセッティングの検討：冷湧水(メタン湧水)域周辺における地質構造等、海底下の地質学的特徴を把握し、メタン湧水域とBSR等のメタンハイドレート胚胎や地層内流体との関係を明らかにするため、マルチビーム測深器を用いた海底地形データやシングルチャネル反射法地震波探査データの検討を行った。

(2) 冷湧水炭酸塩岩の検討：炭酸塩岩形成への含メタン流体やメタンハイドレートの寄与を把握するため、冷湧水炭酸塩岩の酸素・炭素安定同位体比分析を実施した。また、可能な試料に関しては、ウラン年代測定を行った。

(3) 冷湧水・ガス組成の検討：現在湧出する冷湧水の特徴やメタンの起源を解明するために、各種組成分析や水素同位体比等の分析を実施した。

(4) 地殻熱流量・ガンマ線・映像データの検討：冷湧水域の広がりや流体湧出経路を把握するため、潜航調査時に取得した地殻熱流量データや自然ガンマ線データ、映像等の解析・検討を行った。

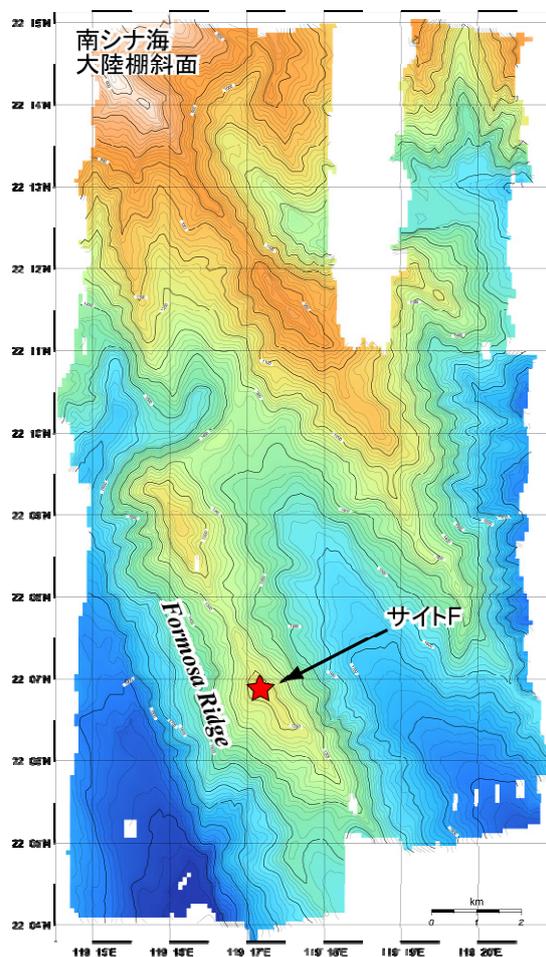


図2 サイトF (Formosa Ridge) 周辺の海底地形図

## 4. 研究成果

(1) 地形・地質構造とメタン集積メカニズム  
南シナ海大陸棚斜面は、中国大陸側から供給された鮮新世～更新世の堆積物で構成されている。研究対象としたFormosa RidgeやサイトGのリッジ構造は、この斜面が海底浸

食によって形成されたものであり、海底谷は斜面上部から削りこむ形で発達している(図2)。

堆積層はほぼ水平に累重しており、斜面下部側に傾斜する正断層がいくつも発達していることが明らかとなった(図3)。ほぼ水平の地層が浸食されているため、リッジ地形は地質構造を反映していない。

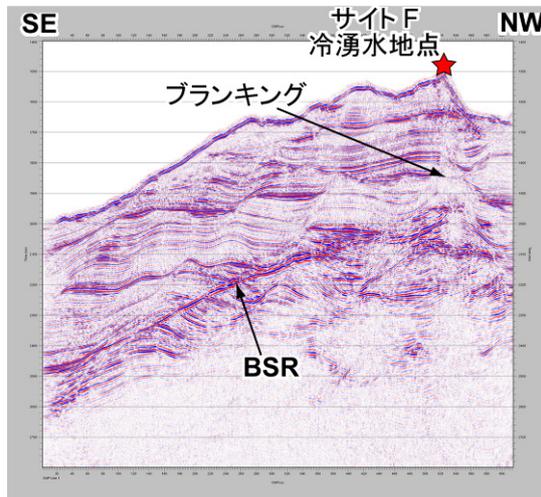


図3 サイトF周辺の、Formosa Ridge 縦断測線の反射法地震波探査断面図

Formosa Ridge では、海底下 400 ~ 500ms(往復走時)に明瞭な BSR が発達している。この BSR で示されるメタンハイドレート層が、リッジ地形に沿うように発達することでキャップ構造をなし、ガス(メタン)をトラップしているものと推定される(図4)。すなわち、地形規制を示す“リッジ型”(Baba and Yamada, 2004)のメタン移動・集積メカニズムであることが明らかとなった。

サイトF直下には断層構造とは無関係のブランキングが認められ、ガスが集積した堆積層から冷湧水(メタン)湧出域へつながる流体経路(conduit)と考えられる(図3、4)。すなわち、これは BSR の漏斗効果と捉えることができる(森田ほか、印刷中)。これが現在活動的な冷湧水供給元とみなされる。

サイトG付近には BSR が認められず、また活動的な冷湧水は認められないが、柱状の強振幅帯が発達しており、リッジ頂部の海底面につながる流体経路が存在していたものと推定される。

冷湧水域周辺の“通常”の泥底やバクテリアマット付近は、高い自然ガンマ線強度(計数率: > 200 cps)と高濃度のトリウム系列(> 10 ppm)が観測され、海底下からの湧水活動の影響が冷湧水湧出孔周辺に広く及んでいることが示された。

冷湧水域周辺での地殻熱流量計測の結果から、底層水温変動の影響が及んでいるものの、広域スケールでは BSR 深度と整合的であり、深部からの流体移動は局所的であることが明らかとなった。

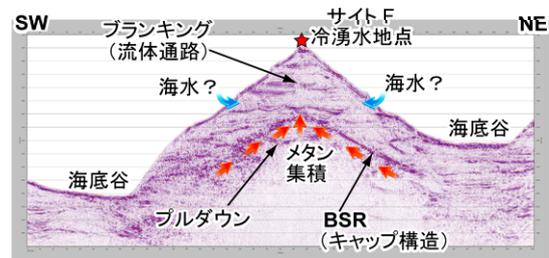


図4 サイトF周辺の、Formosa Ridge 横断測線の反射法地震波探査断面図

## (2) 冷湧水炭酸塩岩の形成

自生炭酸塩岩は、海底表層を広く覆う厚さ 50 ~ 100cm 程度の炭酸塩ペイメントや、高さ数mに達する岩塊状として産する。これら炭酸塩岩は、母岩となる細粒砂岩等の粒子間隙を膠結するミクライトや脈状に発達するカルサイトやアラゴナイトといった炭酸塩鉱物から構成されている。

冷湧水炭酸塩岩の炭素・酸素同位体比組成は、それぞれ -40 ~ -55‰・3.5 ~ 4.5‰前後の値を示す。したがって、自生炭酸塩岩形成に含メタン流体が関与していたこと、またその一部には重い酸素同位体比をもつ流体の存在、すなわちメタンハイドレートの分解水の関与が示唆された。

自生炭酸塩岩の一部試料は、ウラン年代測定により約 56,000 ~ 90,000 年前を示し、少なくとも現在露出する冷湧水炭酸塩岩はこの時期に活発に形成されたものと推定される。

## (3) 冷湧水(含メタン流体)の起源と化学合成生態系への寄与

現在噴出するガスは 90 ~ 94%のメタンから構成されている。メタン/エタン比は 7,600 ~ 15,000、メタンの炭素同位体比は -70‰前後であることから、噴出するメタンは微生物起源であることが確認された。また、水素同位体比が -205 ~ -208‰であることから、メタン形成のパスは二酸化炭素還元であることが明らかとなった。

ガスのヘリウム同位体比は 0.34R<sub>0</sub>と低い値を示すことから、台湾南西沖の泥火山と同様に地殻起源の寄与が推定される。

ガス中の硫化水素濃度は約 220 ~ 300ppm、堆積物の溶存硫化物濃度は 20mM に達する。また湧出地点付近の底層水中のメタン濃度は 700nL/L、堆積物中のメタン濃度は

5x10<sup>5</sup>μL/L と高濃度である。したがって、海底下から供給されるメタンにより、冷湧水域周辺にヘイトウシンカイヒバリガイが群生するとともに、硫化水素を含むガスの湧出孔周辺には、沖縄トラフの熱水噴出孔で認められるようなゴエモンコシオリエビが生息する特異な化学合成生態系が維持されているものと考えられる。

(4) 本研究成果の国内外における位置づけ

冷湧水域は世界的に広く分布しているが、物理探査と潜航調査を組み合わせた総合的な調査研究例は多くはない。特に、付加体周辺とは異なる、パッシブマージンの海底浸食によるリッジに発達する冷湧水システムを明らかにできた意義は大きい。メタン集積メカニズムは地質構造規制の“リッジ型”ではあるが、流体湧出が断層構造に起因しないBSRの漏斗効果である点が、従来報告されていなかった新しいモデルとなり得る。

研究対象とした Formosa Ridge の冷湧水域には、熱水噴出孔周辺でしか生息しないゴエモンコシオリエビが生息する、従来報告されていなかった特異な化学合成生態系が発達している。本研究結果から、海底下から供給されるガス中に含まれる硫化水素がゴエモンコシオリエビの生息を可能にしていることが示唆された。したがって、メタンと硫化水素の濃度バランスによっては、このような特異な化学合成生態系が今後発見されることを示したと言えよう。

(5) 今後の課題と展望

BSRの漏斗効果による流体湧出ならびに流体循環システムは新しいモデルではあるが、検証が必要である。リッジ全体を含むのか？といったスケールの問題、またそのドラピングフォースは何か？という課題が残されている。一方、ゴエモンコシオリエビの生息を維持する硫化水素の起源として、果たして海底下のガスだけで可能なのか、流体循環システムとして海水中の硫酸イオンが地層内に供給されていることも要因なのではないかといった点の解明が今後必要である。このため、将来的にはIODP(統合国際深海掘削計画)による掘削研究による検証を目指していきたい。

冷湧水湧出システム・メタン集積メカニズムに関してはある程度まで明らかにできたものの、メタンハイドレートがどのようにして分解したのかという点が未解明のまま残されている。引き続き調査研究が待たれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

{ 雑誌論文 } (計 2 件)

Char-Shine Liu, Sumito Morita, Yi-Hsiang Liao, Chia-Yen Ku, Hideaki Machiyama, Saulwood Lin, Wonn Soh, High-resolution seismic images of the Formosa Ridge off southwestern Taiwan where "hydrothermal" chemosynthetic community is present at a cold seep site, Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), CD-ROM, 2008, 査読無

Tsanyao Frank Yang, Tomohiro Toki, Saulwood Lin, Hideaki Machiyama, Chih-Hsien Sun, Gas composition of the venting bubbles from the Formosa Ridge in the gas hydrate potential area, offshore of SW Taiwan, Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), CD-ROM, 2008, 査読無

{ 学会発表 } (計 10 件)

Hideaki Machiyama, Ocean bottom gamma-ray anomaly around methane seeps related to gas hydrate-bearing zone in the eastern margin of Japan Sea and off Southwest Taiwan, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, 平成 20 年 12 月 17 日, Moscone Convention Center (サンフランシスコ)

町山栄章, メタン湧水域における海底自然ガンマ線異常 日本海東縁・台湾南西沖の計測結果、日本地質学会第 115 年学術大会、平成 20 年 9 月 21 日、秋田大学 (秋田市)

Yee Cheng Lim, Gas hydrate-related geochemical characterization and seafloor topographic variations in the continental margin offshore southwestern Taiwan, 6th International Conference on Asian Marine Geology, 平成 20 年 8 月 30 日、高知工科大学 (香美市)

町山栄章, メタン湧水域での海底ガンマ線計測 日本海上越沖・台湾南西沖の例、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、平成 20 年 5 月 28 日、幕張メッセ (千葉市)

町山栄章, メタン湧水域における“熱水噴出孔生物群集”の発見 「なつしま」NT07-05 台湾南西沖調査航海の概要、第 24 回しんかいシンポジウム、平成 20 年 3 月 14 日、横浜市立大学 (横浜市)

森田澄人, 台湾南西沖冷湧水海域における地形及び地質構造調査 NT07-05 日本台湾共同調査より、第 24 回しんかいシンポジウム、平成 20 年 3 月 14 日、横浜市立大学 (横浜市)

Hideaki Machiyama, Discovery of "hydrothermal" chemosynthetic community in a cold seep environment, Formosa Ridge: Seafloor observation results from first ROV cruise, off Southwestern Taiwan,

American Geophysical Union 2007 Fall Meeting、平成 19 年 12 月 11 日、Moscone Convention Center (サンフランシスコ)

Saulwood Lin、Near sea floor gas hydrate formation and influence on pore water chemistry and authigenic carbonate at the Formosa Ridge, South China Sea、American Geophysical Union 2007 Fall Meeting、平成 19 年 12 月 11 日、Moscone Convention Center (サンフランシスコ)

町山栄章、Discovery of "hydrothermal" chemosynthetic community in a cold seep environment, Formosa Ridge: preliminary results from NT07-05 Cruise, off southwestern Taiwan、日本地質学会第 114 年大会、平成 19 年 9 月 10 日、北海道大学(札幌市)

Saulwood Lin、Formosa Ridge, a cold seep with densely populated chemosynthetic community in the passive margin, Southwest of Taiwan、17th Goldschmidt Conference (Goldschmidt 2007)、平成 19 年 8 月 21 日、Cologne University (ケルン)

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

町山 栄章 (MACHIYAMA HIDEAKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・サブリーダー

研究者番号：00344284

### (2)研究分担者

徐 垣 (SOH WONN) (2007 年度)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・所長

研究者番号：90183847

### (3)連携研究者

徐 垣 (SOH WONN) (2008 年度)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・所長

研究者番号：90183847

### (4)研究協力者

森田 澄人 (MORITA SUMITO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質調査情報センター・主幹

研究者番号：20358188

木下 正高 (KINOSHITA MASATAKA)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・グループリーダー

研究者番号：50225009

LIN SAULWOOD

国立台湾大学・海洋研究所・准教授

LIU CHAR-SHINE

国立台湾大学・海洋研究所・教授

YANG TSANYAO

国立台湾大学・理学院地質科学系・教授

HUANG CHI-YUE

国立成功大学・理学院地球科学系・教授