

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19204049

研究課題名（和文）日本海東縁の海底メタンハイドレートと大規模メタン湧出に関する総合的研究

研究課題名（英文）Integrated study of seafloor methane hydrate and gigantic methane seeps in the eastern margin of Japan Sea

研究代表者

松本 良（MATSUMOTO RYO）

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：40011762

研究成果の概要（和文）：

日本海東縁・上越海盆では海底メタンフラックスが著しく高く、海底～表層付近には塊状のメタンハイドレートが分布し海底から強いメタン湧出が多数確認された。メタンは深部熱分解起源でありガスチムニーと呼ばれる通路を経て海底付近まで運ばれ、浅部に集積した。海水準が低下した2万年ほど前に大規模な分解がおき大量のメタン放出が海底環境を変えた。このようなメカニズムによりオルドビス紀末期の氷期に大量絶滅が起きた可能性がある。

研究成果の概要（英文）：

Extremely high methane flux has been identified in the Joetsu basin, eastern margin of Japan Sea. Shallow, gas chimney type gas hydrates and strong methane seepages have been also observed in the basin. Deep-seated thermogenic methane migrated through conduits (gas chimney) to the seafloor and accumulated as massive gas hydrate deposits. Massive dissociation occurred at the LGM, corresponding to the sea level fall, and caused serious environmental change. Similar mechanism may explain mass extinction at the Ordovician-Silurian boundary.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------------|------------|
| 2007年度 | 19,800,000 | 5,940,000 | 25,740,000 |
| 2008年度 | 9,100,000 | 2,730,000 | 11,830,000 |
| 2009年度 | 5,900,000 | 1,770,000 | 7,670,000 |
| 2010年度 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |
| 総計 | 37,800,000 | 11,340,000 | 49,140,000 |

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：環境地質

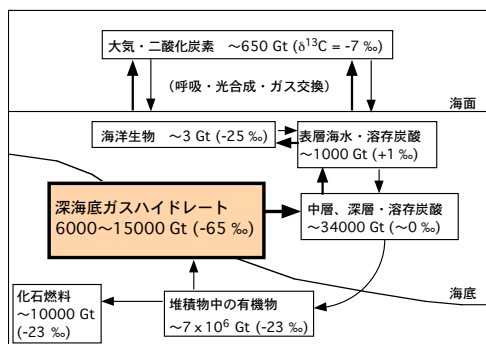
1. 研究開始当初の背景

メタンハイドレートはメタンガスと水からなる氷状の固体物質（ $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）で、物質科学的研究により、低温・高圧の条件下で安定に存在することが分かっている。

1960年ころより、永久凍土の下や深海堆積物中からメタンハイドレートの試料が回収され大陸棚外縁～大陸斜面堆積物中に広く分

布することが明らかにされた（例えば Kvenvolden, 1996; 松本, 1997; Paull et al., 2000）。炭素量に換算して10,000ギガトン＝10兆トンという莫大な炭素リザーブであるメタンハイドレートは、僅かな温度上昇と圧力減少によって分解するという早い応答性をもつ。このような性質から、海洋のメタンハイドレートは地球表層における炭素サイ

クルと環境変動に強く関与すると予想された (Dickens et al., 1995)。松本は暁新世-始新世境界 (PETM) の環境変動における海洋の炭素同位体の急激な変化に注目し、メタンハイドレートの分解に伴うメタンの放出が、生物に致命的なダメージを与え大量絶滅がおきた (“メタンハイドレート仮説”) と考えた (松本, 1995)。有孔虫学者である James Kennett 博士は、第四紀における気候変動サイクル (氷期-間氷期変動) における大気メタン濃度変動を詳しく解析し、亜間氷期とよばれる短期間の温暖期に海洋のメタンハイドレートの分解が起きていた事を明らかにした (Kennett et al., 2000)。ほかに、白亜期 (Menegatti et al., 1998; Jenkyns and Wilson, 1999; Harrington and Kemp, 2001) やジュラ紀 (Hesselbo et al., 2000; Padden et al., 2001) における環境変動・貧酸素イベントや、デボン紀末の F/F 境界事変 (Hossein and Matsumoto, 2006), オルドビス紀-シルル紀境界の変動 (Yamamoto and Matsumoto, 2006) についてもメタンハイドレートの分解モデルが提案されている。



地球表層圏の炭素循環とメタンハイドレート

2005 年頃迄の海洋メタンハイドレート研究により、海洋のメタンハイドレートに2つのタイプがあることが明らかとなった。一つは、海底から数 100m の地層中に地層の分布に規制されて層状に分布するもの (深部層序規制型)、もう一つは、深部ガスの移動通路としてのシリンダー状構造 (ガストムニー) 内や海底付近に密集するもの (浅層構造規制型、ガストムニー型) である。ODP 掘削などが発見したメタンハイドレートは前者であり、資源探査の対象とされるのも前者である。一方後者は海底に露出しメタンガスの湧出を伴い、微生物群集が密集するなど、海底におけるメタンの挙動を知り、環境へのインパクトを明らかにする上で多くの情報を提供するため、学術研究は次第に表層型のハイドレートにシフトしてきたと言える。

2004 年、日本海の上越海盆 (直江津沖) にメタン湧出孔と見られる巨大な凹地 (ポックマーク) が発見され (Matsumoto et al., 2005) 表層メタンハイドレート研究が本格化した。

2. 研究の目的

2004 年-2006 年の調査で以下の課題が抽出された。本研究では以下について明らかにする。

- (1) ポックマークを作った巨大メタンの湧出時期：現在はポックマーク周辺から“細々と”高さ 600m のプルームが多数出ているが、直径 500m ものポックマークを作ったメタン湧出は極めて巨大であった筈である。
- (2) 最終氷期の終焉と巨大メタン湧出の関係：最終氷期最寒期に底性有孔虫数が減少するがメタン環境の特徴種はその付近にのみ出現する。有孔虫の殻の炭素同位体組成はメタンの影響を強く受けた痕跡がある。これらの事実は、従来のモデルとは反対に寒い時期にハイドレートが分解したことを示唆する。
- (3) 日本海のインバージョンテクトニクスとの関係：上越海盆から佐渡を経て北海道西方まで変動地形が広範囲に分布する (“日本海東縁変動帯”)。地質モデルは変動帯でメタンハイドレートが形成されたとことを示唆する。
- (4) メタンハイドレートと生物絶滅の関係：メタンハイドレート分解が温暖化と酸素消費のフィードバックを起こして生物の大量絶滅に関与したと指摘されている。分解が寒冷によるのか温暖によるのかが課題である。
- (5) 古生代の絶滅とハイドレート：本研究の地質へのフィードバック課題として、氷河の発達が発達を絶滅を引き起こしたとされているオルドビス紀-シルル紀境界変動についてメタンハイドレート仮説の適用の可否を検証する。

3. 研究の方法

研究目的とした5つの個別課題について最先端の手法に基づいた最高の科学的成果を4年という研究期間内で挙げるため、4つの研究チームを立ち上げた。

- (1) 地質・地化学チーム：堆積物化学組成分析、ガスハイドレートの結晶構造解析、間隙水、溶存ガス、炭酸塩ノジュール、バイオマーカーの分析を通して、大規模メタン湧出が起きた時期の特定、最終氷期のメタン富化環境が成立したメカニズムその広がり の 解 明。

- (2) 物理探査チーム:メタン湧出と浅層メタンハイドレートが上越海盆に特異な現象か、佐渡から北海道西方に連なる日本海東縁変動帯でも見られるのかの解明。計量魚群探知機やマルチビーム(SEABEAM, SEABAT)によるメタンブルーム探査、海底地形図の作製、地震探査(SCS および SBP) によるガスチムニーの抽出。熱流量とその経年変化を測定し、メタンハイドレート安定領域の下限深度を決め、表層付近における流体移動量を見積もる。
- (3) 生物チーム:メタン湧出の影響を記録すると考えられる(C-1) マクロベントスと有孔虫、(C-2) メタンの生成や分解に直接関与すると考えられる微生物(バクテリア、アーキア) の2つを扱う。前者は、メタン湧出が海底生物群にどのように影響するかの検証。底性有孔虫の同位体組成分析によるメタンの寄与や水温変化の推定。後者は、メタン生成バクテリア、消費バクテリアおよびこれらと共役の関係にある硫酸酸化バクテリアの堆積物中での分布深度と密度の解明。
- (4) 境界事変チーム:メタンハイドレートの環境インパクトを地質時代の変動事変を例に検証。オルドビス紀-シルル紀境界は、ゴンドワナ氷床の2段階の発達に対応して、2回の変動・絶滅を経験したと説明されている(Chen et al., 2006)。日本海のように、氷期の大規模なメタンの湧出が環境変動を引き起こしたかもしれない。

調査研究では(1) 研究船によるメタンハイドレート分布域およびその周辺海域での海洋調査、(2) オルドビス紀/シルル紀の境界層が露出している陸上地質調査、(3) 海洋調査および陸上地質調査で得た堆積物・岩石試料の分析を採取した数値データの解析により実施した。

- (1) 海洋調査:2007年~2010年に実習船「海鷹丸」と研究船「なつしま」「かいよう」「よこすか」R/V MARION DUFRESNE による海洋調査を行なった。調査海域は2007年、2008年は上越海盆とその周辺海域、2009年と2010年には上越海盆に加え、隠岐西方、佐渡の北方、秋田沖、北海道奥尻島西方、後志トラフで調査を行った。調査項目は、①ピストンコアリング、②CTD 測定を採水、③地震探査、④海底地形調査、⑤ブルーム探索調査、⑥熱流量測定、⑦海水の流向流速調査を含む。「なつしま」航海では無人深海探査機『ハイ

パードルフィン』による海底の観察とサンプル採取を行なった。「よこすか」では自律型深海探査機『うらしま』により海底面の高分解能音響探査を実施した。R/V MARION DUFRESNE では超長尺コアリングシステム(カリプソ)を用いて、40mのコアの採取に成功し過去10万年の環境変動を明らかにできた。

- (2) 陸上調査:中国南京の近郊・和県のオルドビス紀・シルル紀境界付近の地層の観察とサンプリングを行なった。その結果、境界に特徴的な炭酸塩岩層を発見、境界そのものが失われずに残っていることが判明した。化学分析用のサンプルを多数採取した。
- (3) 試料の分析と解析海洋調査試料については、堆積物(泥砂)と間隙水、溶存ガス、および堆積物中に含有する炭酸塩コンクリーション、化石の殻に分けて地球化学分析を行なった。間隙水の硫酸濃度プロファイルから現在のメタンフラックスが、塩素濃度からは堆積物中のメタンハイドレート量あるいはメタンハイドレート生成率を推定できる。間隙水中のヨウ素濃度は有機物の寄与の指標となり放射性ヨウ素129から起源有機物の年代を推定する事が出来る。ガス組成とガス同位体比からはメタンハイドレートを作るガスの起源と生成深度が明らかとなる。硫酸イオンの還元とメタンと酸化が共役関係にあり、その時、炭酸塩が生成する。したがって、炭酸塩ノジュールはメタン湧出の指標となる。このような炭酸塩の炭素同位体組成は非常に小さく、その程度からメタンの寄与率が推定できる。炭酸塩中の放射性ウランとトリウム之比から炭酸塩生成年代の推定が可能である。有孔虫については群集解析と殻の同位体組成分析を行なった。陸上地質試料については、頁岩の化学組成とくに有機炭素量、全硫黄量に注目し、生物生産量の変動、環境のシフトを復元した。メタンの寄与、水温変化は炭酸塩の炭素および酸素同位体組成の変動から推定した。

4. 研究成果

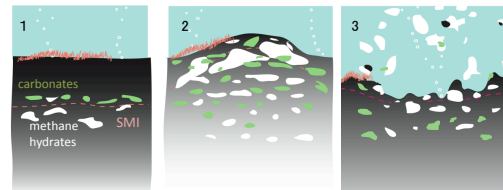
(概要) 上越沖の海底メタンハイドレートの生成、集積、崩壊過程について詳細なモデルを描く事ができた。有孔虫による環境の復元は詳細のバイオゾーンの設定を可能とし日本海の環境変動モデルに変更を迫るデータを得た。ヨウ素同位体は上越のメタンの年代

が 3000 万年であることを示唆した。成果の中で特に重要な部分は、上越沖の表層型メタンハイドレートが過去数万年の間に繰り返し生成と崩壊をしていたことが地質学的、地球化学的証拠から明らかに出来た事である。

(1) メタンハイドレートの生成・崩壊モデル

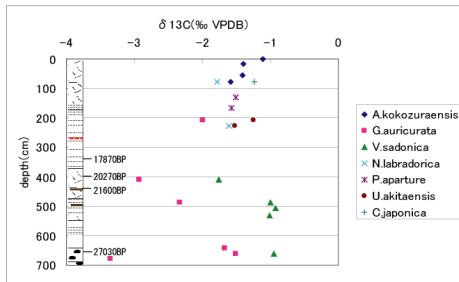
ル：日本海の拡大により日本海東縁部に有機物に富んだ堆積物が埋積し、若い背弧海盆の高熱流量により有機物熟成が進んだ。数百万年前のテクトニック・インバージョンによる地殻の短縮に伴い、日本海東縁にリッジとトラフが形成され、逆断層に沿って深部の炭化水素が移動を始め、断層や背斜トラップに石油・天然ガス鉱床が形成された。海鷹海脚や上越海丘のようなリッジ域では、断層に沿って深部の熱分解起源メタンがメタン含有流体として供給された。浅部では断層は不明瞭となるが、ほぼ断層方向に規制されて割れ目（オープンフラクチャー）が発達、メタン含有流体の通路となった。有機物に富んだ堆積物中では、古細菌によるメタン発酵分解が微生物分解起源メタンが生成されている。熱分解起源、微生物分解起源、およびこれらの混合ガスにより調査海域のメタンフラックスは高く維持され BGHS 深度以浅には広範囲にメタンハイドレートが集積した。海鷹海脚や上越海丘深部の、断層に規制されたガスチムニーではメタンフラックスが極めて大きくなり BGHS 直上にメタンハイドレートを集積するだけでなく、溶存態およびフリーガスとして上昇するメタンからメタンハイドレートが形成され、チムニー内のハイドレート集積率が增大した。この時、周囲の間隙水（残留水）の塩分濃度は著しく大きくなり、メタンハイドレート生成の阻害要因となった。溶存態として BGHS 以浅に供給されたメタンは、流体の上昇に伴う圧力減少のため脱ガスし浅所のメタンハイドレートのソースとなった。極めて小さな細孔で脱ガスしたメタンは“多孔質効果”によりメタンハイドレートをつくることなく、フリーガスのまま浅所堆積物中に留まり、堆積物の伝搬速度を著しく小さくした。メタンハイドレートの生成により、堆積物は全体としてリジッドなフレイムをつくるが、その中には無数の細孔を持つもろく崩壊しやすい構造であった。構造運度により割れ目が発達し、高鹹水が希釈されると、細孔中のメタンは割れ目に沿って移動し新たなメタンハイドレート形成に関与し

た。継続的に進行するメタンハイドレート付加により、ガスチムニー内のメタンハイドレート集積率は向上、特に最上部（海底直下付近）では塊状～脈状のハイドレートがレンズ状の濃集をつくったが、濃集が進むと自らの浮力により重力不安定化し、ついに浮上・崩壊した。小規模な崩壊は日常的に進行していた。分解-生成と不安定化の進行によりついに自己崩壊システムが駆動して、大量のメタンとメタンハイドレートが放出され、あとには大きな凹地が形成された。C-14 年代と底性有孔虫殻の炭素同位体は、最終氷期最寒期（LGM）に顕著な分解とメタン放出があり底性環境が著しく還元になった。この時、メタンハイドレートは寒冷化にたいする負のフィードバック機構となっている。



海底表層に生成集積が進みついに自己崩壊をおこして後に巨大な凹地（ポックマーク）を残す。

- (2) 有孔虫から環境解析：海鷹海脚から採取された長さ約 5~9m のピストンコアを 3 本用いて浮遊性有孔虫、底生有孔虫の群集組成解析を行った。その結果、過去約 3 万年の有孔虫層序を 12 のユニットに分けることができた。最上部ユニットは *Neogloboquadrina dutertrei* などの暖流種が卓越し対馬海流の影響が顕著である。日本海に広域的に分布する葉理をもつ暗色層 (TL-1) 層準は、*Bolivina pacifica* で特徴付けられる。その下はほぼ TL-2 層準に対応し、底生有孔虫の個体数が極小でありながら、メタン湧水環境に特徴的な *Stainforthia rotundata* が頻出する。この層準では浮遊性有孔虫固体数は逆に大きくなる。この時期、海底での炭酸塩の溶解が阻害されたと考えられる。底生有孔虫の炭素・酸素の安定同位体を測定した。その結果、*Stainforthia rotundata* が卓越する層準 (24,000~20,000 年前) に底生有孔虫の殻の炭素同位体組成の負異常がみられた。これらのことから、最終氷期にあたるこの時期に海底にメタンの強い湧出があったことが示唆される。



有孔虫の殻の炭素同位体比は寒冷化が進み海水準が低下した2万年付近でメタンの寄与により著しい負異常を示す。

(3) オルドビス紀末の環境変動：有機炭素同位体比は、Hirnantian 期を挟んで負のシフトの後に二段階的に大規模な正のシフトを示しており、また対応して炭酸塩含有量の増加と硫黄同位体比の正のシフトが見られる。このように氷床形成が始まり、それにより駆動した海洋循環が軽い炭素、栄養塩類に富む底層水を湧昇させ、まず基礎生物生産を増加させた。続いて海洋循環により海洋が酸化的環境へと移行し始め、同時に氷床形成に伴う海水準の低下も引き起こした。海水準の低下にともなうメタンハイドレートの分解とメタンの放出が海洋の炭素同位組成の変動に寄与した。黒色頁岩相中における 27cm のドロマイト層の中で起こった有機炭素同位体比の二回目の急激な正のシフトは、氷床が最盛期を迎え、酸化と浅海化が促進される中において、さらに基礎生産がさらに向上した結果であると考えられる。生物の絶滅は、このような環境下で起こったと考えられ、一段階目は温暖な気候や貧酸素環境に適合した生物相が、二段階目は氷床が衰退した後再び還元的な環境に戻った時に起こったと考えられる。

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 10 件)

- ① Fernando Freire, Ryo Matsumoto, Toshihiko Sugai Structural and stratigraphic control on the Umitaka spur gas hydrates in the eastern margin of Japan Sea., Spec. Issue, Jour. Marine and Petrol. Geol., 査読有, 25, 2011, 154-161.
- ② Kakuwa, Y., Evolution of Cambrian Ordovician trace fossils in pelagic deep-sea chert, Australia., 査読有, 57, 2010, 615-625.
- ③ Hiruta, A., Snyder, G. T., Tomaru, H. and Matsumoto, R., Geochemical

constraints for the formation and dissociation of gas hydrate in an area of high methane flux, eastern margin of the Japan Sea., Earth and Planetary Science

Letters., 査読有, 279, 2009, 326-339.

- ④ 中川 洋, 松本 良, 上越沖海鷹海脚メタン湧出域の過去32,000年の岩相変化と有孔虫層序, 地学雑誌, 査読有, 118, 2009, 969-985.
 - ⑤ 松本 良, 総説 メタンハイドレート—海底下に氷状巨大炭素リザーバ発見のインパクト—, 地学雑誌, 査読有, 118, 2009, 7-42.
 - ⑥ 松本 良, 角和 善隆, 沼波 秀樹, 荻原 成騎 日本海東縁、上越海盆の高メタンフラックス域におけるメタンハイドレートの成長と崩壊, 地学雑誌, 査読有, 118, 2009, 43-71.
 - ⑦ 荻原 成騎, なつしまNT-06-19航海(直江津沖海鷹海脚および上越海丘)によって採取された堆積物柱状試料, 地学雑誌, 査読有, 118, 2009, 128-135
 - ⑧ Tomaru, H., Lu, ZL., Fehn, U., Muramatsu, Y., Matsumoto, R., Age variation of pore water iodine in the eastern Nankai Trough, Japan: Evidence for different methane sources in a large gas hydrate field., GEOLOGY, 査読有 35, 2007, 1015-1018.
 - ⑨ Chen, Y., Matsumoto, R., Paull, CK (Paull, Charles K.); Ussler, W., Lorenson, T., Hart, P., Winters, W. Methane-derived authigenic carbonates from the northern Gulf of Mexico - MD02 cruise., JOURNAL OF GEOCHEMICAL EXPLORATION, 査読有, 95, 2007, 1-15.
 - ⑩ Tomaru, H., Fehn, U., Lu, ZL., Matsumoto, R., Halogen systematics in the Mallik 5L-38 gas hydrate production research well, Northwest Territories, Canada: Implications for the origin of gas hydrates under terrestrial permafrost conditions., APPLIED GEOCHEMISTRY, 査読有, 22, 2007, 656-675.
- [学会発表] (11 件)
- ① R. Matsumoto, Low velocity anomaly of gas hydrate bearing sediments: implications for extensive distribution of gas bubbles, 18-ISC (International Sedimentological Congress), 2010年9月30日, メンドーサ
 - ② R. Matsumoto, Occurrence and Origin of gas hydrates of the eastern margin of Japan Sea as investigated by deep

- piston and gravity coring of R/V Marion Dufresne., AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, 2010年12月16日, サンフランシスコ
- ③ H. Tomaru, Pore water geochemistry of active methane venting sites, Umitaka spur and Joetsu knoll, eastern margin of Japan Sea., AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, 2010年12月16日, サンフランシスコ
- ④ Ryo Matsumoto, Low velocity anomaly of gas hydrate bearing silt and clayey sediments, Joetsu basin, eastern margin of Japan Sea., 6th Asia Oceanic Geoscience Society Meeting, 2009年8月13日, シンガポール
- ⑤ Ryo Matsumoto, Evolution and Collapse of Marine Gas Hydrates: impact on Global Change Joint Symposium of Hiroshima University JAMSTEC, 2009年11月16日, Hiroshima University
- ⑥ Ryo Matsumoto, Gas hydrate as the future energy resource - fundamental issues for the development of marine gas hydrate deposits -, World Green Energy Forum 2008, 2008年10月9日, (慶州) Gyeongju, 韓国 Korea
- ⑦ Ryo Matsumoto, Evolution of Gas Hydrate Deposits of the Marginal Seas of the Western Pacific, 6th ICAMG, 2008 August 30, Kochi University of Technology (Kochi)
- ⑧ Ryo Matsumoto, Dissociation of subsurface gas hydrates and collapse of gas-hydrate mounds during the LGM in the Eastern Margin of Japan Sea, Fall Meeting of American Geophysical Union, 2008年12月17日, サンフランシスコ
- ⑨ Matsumoto, R., et al., Methane plumes and ocean floor gas hydrate off Joetsu, eastern margin of Japan Sea, Korea -Japan Joint Workshop on IODP Projects, 2007年11月21日, 韓国・済州島
- ⑩ R. Matsumoto, H. Tomaru, L. Takeuchi, A. Hiruta, O. Ishizaki, C. Aoyama, H. Machiyama, T. Goto, Types and Evolution of Gas Hydrate System along the Tectonically Active Zones of the Western Pacific: Nankai Trough vs. Eastern Margin of Japan Sea, AGU Fall Meeting, 2007年12月10日, サンフランシスコ
- ⑪ C. Aoyama, R. Matsumoto, M. Hiromatsu, G. Snyder, O. Ishizaki, Acoustical Surveys Of Methane Plumes Using the Quantitative Echo Sounder In Japan Sea,

AGU Fall Meeting, 2007年12月10日, サンフランシスコ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 良 (MATSUMOTO RYO)
 東京大学・大学院理学系研究科・教授
 研究者番号: 40011762

(2) 研究分担者

荻原 成騎 (OGIHARA SHIGENORI)
 東京大学・大学院理学系研究科・助教
 研究者番号: 50214044
 角和 善隆 (KAKUWA YOSHITAKA)
 東京大学・大学院総合文化研究科・助教
 研究者番号: 70124667
 砂村 倫成 (SUNAMURA MICHINARI)
 東京大学・大学院理学系研究科・助教
 研究者番号: 90360867

(H22: 連携研究者)

沼波 秀樹 (NUMANAMI HIDEKI)
 東京家政学院大学・家政学部・准教授
 研究者番号: 10266554

(H22: 連携研究者)

中井 俊一 (NAKAI SHUNICHI)
 東京大学・地震研究所・准教授
 研究者番号: 50188869

(H21~H22: 連携研究者)

栗田 嘉宥 (KURITA KAYU)
 東京海洋大学・海洋科学部・教授
 研究者番号: 80106757

(H21: 定年退職)

竹内 章 (TAKEUCHI AKIRA)
 富山大学・理工学研究科・教授
 研究者番号: 20126494

(H20~H22: 連携研究者)

吉田 邦夫 (YOSHIDA KUNIO)
 東京大学・総合研究博物館・准教授
 研究者番号: 10272527

(H20~H22: 連携研究者)

木下 正高 (KINOSHITA MASATAKA)
 (独) 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

(H20~H22: 連携研究者)

(3) 連携研究者

町山 栄章 (MACHIYAMA HIDEAKI)
 (独) 海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・グループサブリーダー

研究者番号: 00344284

稲垣 史生 (INAGAKI FUMIO)

(独) 海洋研究開発機構・高知コア研究所
 ・グループサブリーダー

研究者番号: 50360748