

課題番号	GR102
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	エネルギー再生型海底下 CO ₂ 地中隔離(バイオ CCS)に関する地球生命工学的研究
研究機関・部局・職名	独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所 地下生命圏研究グループ・グループリーダー
氏名	稲垣 史生

1. 当該年度の研究目的

本研究は、深海底堆積物内に存在する従属栄養微生物生態系の代謝機能およびその生態学的役割に着目し、海底下深部に埋没した有機物の生物学的分解プロセスおよび有機物の最終分解プロセスを担うメタン生成菌の実態や機能を理解し、CO₂ 排出削減に資する海底下 CO₂ 隔離を想定して、高濃度の CO₂ を天然ガス(メタン)に再生する持続的炭素循環システムの創出を目指すものである。本研究は、統合国際深海掘削計画(IODP)第 337 次航海により、地球深部探査船「ちきゅう」を用いて下北半島八戸東方沖の海底下深部の夾炭層(未成熟の石炭層と砂岩が入り交じった地層)のコア試料を採取し、実環境の温度・圧力を再現した実験室内環境で CO₂ を含む流体と反応させ、「CO₂-水-鉱物-生命」相互作用の解明および時空間的シミュレーションを行う。平成 23 年度は、海底堆積物内の微生物生態系の代謝機能や生理学的な特徴を追究すると共に、CO₂ 反応実験用のジオバイオリクターシステムを構築する。また、平成 24 年夏期に実施予定の下北半島沖 IODP 掘削調査航海に向けた準備を進める。

2. 研究の実施状況

海底下深部堆積物中に生息する微生物細胞の生理学的な特徴を明らかにするため、地球深部探査船「ちきゅう」の慣熟航海にて下北半島八戸東方沖の海底下 212 メートルより採取された約 46 万年前のコア試料に含まれる微生物細胞の基質同化活性を測定した。炭素・窒素安定同位体で標識された様々な基質を堆積物に添加し、超高空間分解能二次イオン質量分析器(NanoSIMS)を用いて一細胞あたりの基質取り込み率を測定したところ、全体の約 80%以上の大部分の微生物細胞が基質同化活性を示す「生細胞」であることを見出し、一細胞あたりの基質取り込み速度が一日あたり約 1 京分の 1 グラム以下と極めて低い値であることを明らかにした。本結果は、海底堆積物内の多くの微生物細胞が生存に必要な最小限のエネルギーを使って地質学的な時間を生きている証拠を示している。本研究成果は、米国科学アカデミー紀要に掲載され、10 月 11 日付けでプレス発表を行った。

海底下地層中への CO₂ 隔離にともなう「CO₂-水-鉱物-生命」相互作用を研究するため、海洋研究開発機構高知コア研究所にジオバイオリクターシステムを整備した。本システムは、海底下の温度・圧力を独立して制御可能な4つの反応容器を直列または並列に連結させることにより、海底下の CO₂ の挙動や圧入性、物性変化や間隙水・ガスの化学組成変化などを時空間的に再現することのできるシステムである。平成 24 年度から、本システムと掘削コア試料を用いた「CO₂-水-鉱物-生命」反応試験に着手する。

3. 研究発表等

雑誌論文 計15件	<p>(掲載済み一査読有り) 計9件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Yanagawa, K., Sunamura, M., Lever, M. A., Morono, Y., Hiruta, A., Matsumoto, R., Urabe, T., and <u>Inagaki, F.</u> (2011) Niche separation of anaerobic methanotrophs (ANME-1 and -2) in methane seep-sediments in the eastern Japan Sea off Joetsu. <i>Geomicrobiol. J.</i>, 28, 118-129. 2. Morono, Y., Terada, T., Nishizawa, M., Hillion, F., Ito, M., Takahata, N., Sano, Y., and <u>Inagaki, F.</u> (2011) Carbon and nitrogen assimilation of deep seafloor microbial cells. <i>Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.</i>, 108, 18295-18300. 3. Hirayama, H., Suzuki, Y., Abe, M., Miyazaki, M., Makita, H., <u>Inagaki, F.</u>, Uematsu, K., and Takai, K. (2011) <i>Methylothermus subterraneus</i> sp. nov., a moderately thermophilic methanotrophic bacterium from a terrestrial subsurface hot aquifer in Japan. <i>Int. J. Syst. Evol. Microbiol.</i>, 61, 2646-2653. 4. Imachi, H., Aoi, K., Tasumi, E., Saito, Y., Yamanaka, Y., Saito, Y., Yamaguchi, T., Tomaru, H., Takeuchi, R., Morono, Y., <u>Inagaki, F.</u> and Takai, K. (2011) Cultivation of methanogenic community from seafloor sediments using a continuous-flow bioreactor. <i>ISME J.</i>, 5, 1751-1925. 5. Hoshino, T., Morono, Y., Terada, T., Imachi, H., Ferdelman, T. G., and <u>Inagaki, F.</u> (2011) Comparative study of seafloor microbial community structures in deeply buried coral fossils and sediment matrices from the Challenger Mound of the Porcupine Seabight. <i>Front. Microbio.</i>, 2, Article no. 231. 6. Kouduka, M., Suko, T., Morono, Y., <u>Inagaki, F.</u>, Ito, K., and Suzuki, Y. (2012) A new DNA extraction method by controlled alkaline treatments from consolidated subsurface sediments. <i>FEMS Microbiol. Lett.</i>, 326, 47-54. 7. Mills, H. J., Reese, B. K., Shepard, A. K., Riedinger, N., Dowd, S. E., Morono, Y., and <u>Inagaki, F.</u> (2012) Characterization of metabolically active bacterial populations in seafloor Nankai Trough sediments above, within, and below the sulfate-methane transition zone. <i>Front. Microbio.</i>, 3, Article no. 113. 8. Miyazaki, M., Koide, O., Kobayashi, T., Mori, K., Shimamura, S., Nunoura, T., Imachi, H., <u>Inagaki, F.</u>, Nagahama, T., Deguchi, S., and Takai, K. (2012) <i>Geofilum rubicundum</i> gen. nov. sp. nov., isolated from deep seafloor sediment. <i>Int. J. Syst. Evol. Microbiol.</i>, 62, 1075-1080. 9. Zhang, G., Smith-Duque, C., Li, H., Zarikian, C., D'Hondt, S., <u>Inagaki, F.</u>, and IODP Expedition 329 Scientists. (2012) Geochemistry of basalts from IODP Site U1365: Implications for magmatism and mantle source signatures of mid-Cretaceous Osborn Trough. <i>Lithos</i>, 144-145, 73-87. <p>(掲載済み一査読無し) 計3件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Expedition 329 Scientists.</u> (2011) South Pacific Gyre seafloor life. <i>IODP Preliminary Report</i>, 329, pp. 1-108, the International Ocean Drilling Program Management International, Inc., Tokyo. doi:10.2204/iodp.pr.329.2011. 2. Morono, Y., Kallmeyer, J., <u>Inagaki, F.</u>, and the Expedition 329 Scientists. Preliminary experiment for cell count using flow cytometry. In D'Hondt, S., <u>Inagaki, F.</u>, Alvarez Zarikian, C.A., and the Expedition 329 Scientists. <i>Proceedings of the IODP</i>, 329, the Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., Tokyo. doi:10.2204/iodp.proc.329.110.2011. 3. D'Hondt, S., <u>Inagaki, F.</u>, Alvarez Zarikian, C. A., and the Expedition 329 Scientists. (2011) South Pacific Gyre Seafloor Life. <i>Proceedings of the IODP</i>, Vol. 329, the Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., Tokyo. <p>(未掲載) 計3件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Briggs, B., <u>Inagaki, F.</u>, Morono, Y., Futagami, T., Huguet, C., Rosell-Mele, A., Lorenson, T., and Colwell, F. S. (2012) Bacterial dominance in seafloor sediments characterized by methane hydrates. <i>FEMS Microbiol. Ecol.</i>, in press. 2. Morono, Y., Yamamoto, K., and <u>Inagaki, F.</u> (2012) Radical gas-based DNA decontamination technique for ultra-sensitive molecular experiments. <i>Microb. Environ.</i>, in press.
------------------	---

	<p>3. Makita, H., Nakagawa, S., Miyazaki, M., Nakamura, K., <u>Inagaki, F.</u>, and Takai, K. (2012) <i>Thiofractor thiocaminus</i> gen. nov., sp. nov., a novel hydrogen-oxidizing sulfur-reducing epsilonproteobacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent chimney in the Nikko Seamount field of the northern Mariana Arc. <i>Arch. Microbiol.</i>, in press.</p>
<p>会議発表 計25件</p>	<p>専門家向け 計 22 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 稲垣史生、高橋嘉夫、「課題別討論-生命科学:深海掘削による生命・地球科学の新しいパラダイムを求めて」、J-DESC・JAMSTEC 共催ワークショップ・日本地球惑星科学連合 2011 年大会特別セッション、海洋研究開発機構東京事務所(東京・5月)(ファシリテーター) 2. 美野さやか、中川聡、牧田寛子、<u>稲垣史生</u>、山本正浩、布浦拓郎、中村光一、Anne Godfroy、高井研、澤辺智雄、「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」、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、幕張メッセ(東京・5月) 3. Ijiri, A., Toki, T., Yamaguchi, Y.T., Kwagucci, S., Hattori, S., Morono, Y., Tsunogai, U., Nakamura, K., Takai, K., Ashi, J., and <u>Inagaki, F.</u> (Aug. 2011) Biogeochemical processes in mud-volcano sediments from the Kumano forearc basin, Japan. Goldschmidt 2011, Prague, Czech Republic. 4. 井尻暁、土岐知弘、山口保彦、川口慎介、服部祥平、諸野祐樹、吉田尚弘、角皆潤、中村光一、高井研、芦寿一郎、<u>稲垣史生</u>、「熊野海盆海底泥火山堆積物の生物地球化学的研究」、2011 年度日本地球化学会年会、北海道大学(札幌・9月)。 5. 西尾嘉朗、井尻暁、土岐知弘、諸野祐樹、<u>稲垣史生</u>、「熊野海盆泥火山流体の Li 同位体組成とその起源」、2011 年度日本地球化学会、北海道大学(札幌・9月)。 6. 村岡諭、芦寿一郎、金松敏也、坂口有人、<u>稲垣史生</u>、「熊野トラフ掘削試料を用いた泥火山噴出物の供給源の研究」、日本地質学会第 117 年学術大会、富山大学(富山・9月)。 7. <u>Inagaki, F.</u> (Sep. 2011) Exploration of deep hydrocarbon reservoirs and geobiological processes through scientific ocean drilling. The 8th International Symposium of Subsurface Microbiology (ISSM2010), Garmisch-Partenkirchen, Germany. (Invited) 8. Morono, Y., Kallmeyer, J., Terada, T. and <u>Inagaki, F.</u> (Sep. 2011) High throughput, discriminative enumeration of seafloor microbes with flow cytometry. The 8th International Symposium of Subsurface Microbiology (ISSM2010), Garmisch-Partenkirchen, Germany. 9. 諸野祐樹, Jens Kallmeyer, 寺田武志, <u>稲垣史生</u>、「フローサイトメトリーによる海底下堆積物試料中の選択的微生物カウント法」、第 27 回日本微生物生態学会大会、京都大学農学部(京都・10月)。 10. 井尻暁、土岐知弘、山口保彦、川口慎介、服部祥平、諸野祐樹、吉田尚弘、角皆潤、中村光一、高井研、芦寿一郎、<u>稲垣史生</u>、「熊野海盆海底泥火山の噴出流路堆積物における生物地球化学過程」、第 27 回日本微生物生態学会大会、京都大学農学部(京都・10月)。 11. 河合幹彦、豊田敦、高木善弘、西真郎、内山郁夫、高井研、<u>稲垣史生</u>、高見英人、「海底堆積層の生物代謝機能の比較メタゲノム配列解析」、第 27 回日本微生物生態学会大会、京都大学農学部(京都・10月)。 12. <u>稲垣史生</u>、「地球生命工学による新しい持続的地球システム“ジオバイオリアクター”の醸成にむけて」、平成 23 年度日本醸造学会大会、北とぴあ つつじホール(東京・10月)(招待講演)。 13. 諸野祐樹、寺田武志、西澤学、伊藤元雄、François Hillion、高畑直人、佐野有司、<u>稲垣史生</u>、「NanoSIMS の高空間分解能イメージング法を用いた海底下微生物の炭素・窒素取り込みの検出」、平成 23 年度極限環境生物学会年会、長崎大学(長崎・11月)。 14. 星野辰彦、<u>稲垣史生</u>、「Digital PCR 法による環境微生物の高精度遺伝子定量」、平成 23 年度極限環境生物学会、長崎大学(長崎・11月)。 15. 井尻暁、土岐知弘、山口保彦、川口慎介、服部祥平、諸野祐樹、吉田尚弘、角皆潤、中村光一、高井研、芦寿一郎、<u>稲垣史生</u>、「熊野海盆泥火山山頂から回収されたメタンハイドレートに関する研究」第 3 回メタンハイドレート総合シンポジウム、産業技術総合研究所 臨海副都心センター(東京・12月)。 16. <u>Inagaki, F.</u> (Dec. 2011) Habitability and potential functioning power of deep seafloor life. J. Craig Venter Institute Seminar, San Diego, U.S.A. (Invited) 17. Morono, Y., Kallmeyer, J., Terada, T., <u>Inagaki, F.</u>, (Dec. 2011) An Improved Method for High-throughput Discrimination and Enumeration of Sedimentary Cells Using Flow

	<p>Cytometry, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, U.S.A. (Oral)</p> <p>18. Ijiri, A., Toki, T., Yamaguchi, Y.T., Kawagucci, S., Hattori, S., Morono, Y., Lever, M.A., Yoshida, N., Tsunogai, U., Nakamura, K., Takai, K., Ashi, J., and <u>Inagaki, F.</u> (Dec. 2011) Biogeochemical study on mud-volcano sediments from the Kumano forearc basin, Japan. AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, U.S.A.</p> <p>19. Nishio, Y., Ijiri, A., Toki, T., Morono, Y. and <u>Inagaki, F.</u> (Dec. 2011) Lithium isotopic evidence for deep-seated fluids from Kumano mud volcano in Nankai accretionary prism. AGU fall meeting 2011, San Francisco, U.S.A.</p> <p>20. Muraoka, S., Ashi, J., Kanamatsu, T., Sakaguchi, A. and <u>Inagaki, F.</u> (Dec. 2011) Studies on formation mechanism and source depth of mud volcanoes by using of drilling cores in the Kumano forearc basin, SW Japan. AGU fall meeting 2011, San Francisco, U.S.A.</p> <p>21. <u>Inagaki, F.</u> (Feb. 2012) Frontiers in Life and Earth Planetary Sciences: Lessons from Scientific Ocean Drilling. The International Workshop “Frontiers in Life and Earth Planetary Sciences”, JAMSTEC Kochi Institute for Core Sample Research. (Workshop Organizer)</p> <p>22. 河合幹彦、豊田敦、高木善弘、西真郎、荒井渉、内山郁夫、坪内泰志、諸野祐樹、青池寛、高井研、<u>稲垣史生</u>、高見英人、「Features of sub-seafloor ecosystem revealed through fine scale metagenomic analyses」、第6回日本ゲノム微生物学会年会、立教大学（東京・3月）。</p> <p>一般向け 計3件</p> <p>1. <u>稲垣史生</u>、「海底下の炭化水素システムと生命活動-「ちきゅう」による下北八戸沖石炭層生命圏掘削調査の目指すところ-」、日本石油技術協会-海洋研究開発機構共催シンポジウム「地下圏微生物と石炭起原の炭化水素資源-西太平洋沿岸海域におけるエネルギー資源と生成メカニズム-」、東京大学小柴ホール（東京・6月）（招待講演）。</p> <p>2. <u>稲垣史生</u>、「科学海洋掘削による海底下生命圏の探究」、九州大学百周年記念寄付講座開設記念シンポジウム、九州大学西新プラザ（福岡・6月）（招待講演）。</p> <p>3. <u>稲垣史生</u>、「海底下の持続可能な資源エネルギー循環システム（ジオバイオリクター）の構築に向けて」、海底資源研究プロジェクトワークショップ、東京大学農学部弥生講堂一条ホール（東京・7月）（招待講演）。</p>
<p>図書</p> <p>計1件</p>	<p>1. <u>稲垣史生</u>、「地球と宇宙の科学事典：海底下生命圏」、朝倉書店、印刷中。</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況</p> <p>計0件</p>	<p>（取得済み）該当なし</p> <p>（出願中）該当なし</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fumio Inagaki, Ph. D. http://web.me.com/fumioinagaki/Fumio_Inagaki/Welcome.html • 海洋研究開発機構 高知コア研究所、地下生命圏研究グループ http://www.jamstec.go.jp/kochi/j/ • 海洋研究開発機構 海底資源プロジェクト、地球生命工学研究グループ http://www.jamstec.go.jp/shigen/j/
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> • BS朝日-BS民放5局共同特別番組 TASUKI つながる想い「海に未来を託して～俳優・谷原章介と深海に挑み続ける者たち～」(2011年12月30日(金)放送)に出演。 http://www.bs-asahi.co.jp/tasuki/prg_001.html • 文部科学省レクつきプレスリリース「下北半島八戸沖の46万年前の海底下地層中に大量の“生きて

様式19 別紙1

	<p>いる”微生物細胞を確認～超高解像度質量分析によって明らかになってきた海底下深部の生命の実態～」、平成 23 年 10 月 11 日 http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20111011/ ジュニア向け解説(知ろう！記者に発表した最新研究) http://www.jamstec.go.jp/j/kids/press_release/20111011/</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載計19件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高知新聞、「46万年前地層から微生物」、2011 年 10 月 11 日 2. 東奥日報、「46万年前地層から微生物 八戸沖、海底下 200 メートル生きた状態、大量に」、2011 年 10 月 11 日 3. 日本経済新聞、「46万年前の地層 海底の微生物代謝活動観察」、2011 年 10 月 11 日 4. 東京新聞、「省エネで寿命数千年単位？46万年前の地層生きた微生物」、2011 年 10 月 11 日 5. 信濃毎日新聞、「青森県沖で確認 寿命数千年単位か」、2011 年 10 月 11 日 6. 大分合同新聞、「青森沖の海底 46 万年前の地層に微生物」、2011 年 10 月 11 日 7. 神奈川新聞、「青森沖・46万年前の地層から生きた微生物を採取」、2011 年 10 月 12 日 8. SANKEI EXPRESS、「46万年前地層から大量の微生物」、2011 年 10 月 12 日 9. 毎日新聞、「46万年前の地層 海底の微生物代謝活動観察」、2011 年 10 月 12 日 10. 日経産業新聞(日経テレコン 21)、「海洋研究開発機構と東大46万年前の微生物観察 資源形成解明に道」、2011 年 10 月 12 日 11. デーリー東北、「46万年前海底下地層から微生物 代謝活動観察に成功」、2011 年 10 月 12 日 12. 河北新報、「46万年前地層から微生物 八戸沖海底で採取」、2011 年 10 月 12 日 13. 茨城新聞、「46万年前地層に微生物 青森沖海底 過酷環境生き抜く」、2011 年 10 月 12 日 14. 日刊水産経済新聞、「海底微生物の活動を初観察」、2011 年 10 月 19 日 15. 朝日新聞、「青森県海底掘削で確認 46万年前の地層に微生物」、2011 年 11 月 3 日 16. JAMSTEC ニュース なつしま、「下北半島八戸沖の46万年前の海底下地層中に大量の“生きている”微生物細胞を確認」、2011 年 12 月号、第 93 号 17. 電気新聞、「CO₂、メタンに変換 青森・八戸で研究着手 石炭火力排ガス活用も」、2012 年 2 月 3 日 18. JAMSTEC ニュース なつしま、「最先端研究拠点国際ワークショップ 地球惑星科学-生命科学融合研究の最前線 開催報告」、2012 年 3 月号、第 96 号 19. J-DESC NEWS 日本地球掘削科学コンソーシアム ニュースレター、「Exp. 329 South Pacific Gyre Subseafloor Life 南太平洋還流域下海底下生命探査」、共同首席研究者 稲垣史生、第5号、p.3、2012 年 3 月 31 日発行
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最先端研究拠点ワークショップ 「地球惑星科学-生命科学融合研究の最前線」、平成 24 年 2 月 15 日 http://www.jamstec.go.jp/kochi/j/ws2012/index.html

4. その他特記事項

特になし。

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	126,000,000	26,000,000	0	100,000,000	0
間接経費	37,800,000	7,800,000	0	30,000,000	0
合計	163,800,000	33,800,000	0	130,000,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未取利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	26,000,000	0	0	26,000,000	24,307,080	1,692,920	0
間接経費	7,800,000	0	0	7,800,000	7,292,124	507,876	0
合計	33,800,000	0	0	33,800,000	31,599,204	2,200,796	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	22,437,597	メタン安定炭素同位体分析装置、試薬購入
旅費	884,710	依頼出張、国内出張(打ち合わせ等)
謝金・人件費等	40,000	依頼出張(講演、研究助言)謝金
その他	944,773	HP作成費、HP用素材作成費、論文投稿
直接経費計	24,307,080	
間接経費計	7,292,124	
合計	31,599,204	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
メタン安定炭素同 位体分析装置(メタ ンハイト安定同位 体分析装置)	Los Gatos Research社	1	20,475,000	20,475,000	2011/12/16	海洋研究開発 機構
				0		
				0		