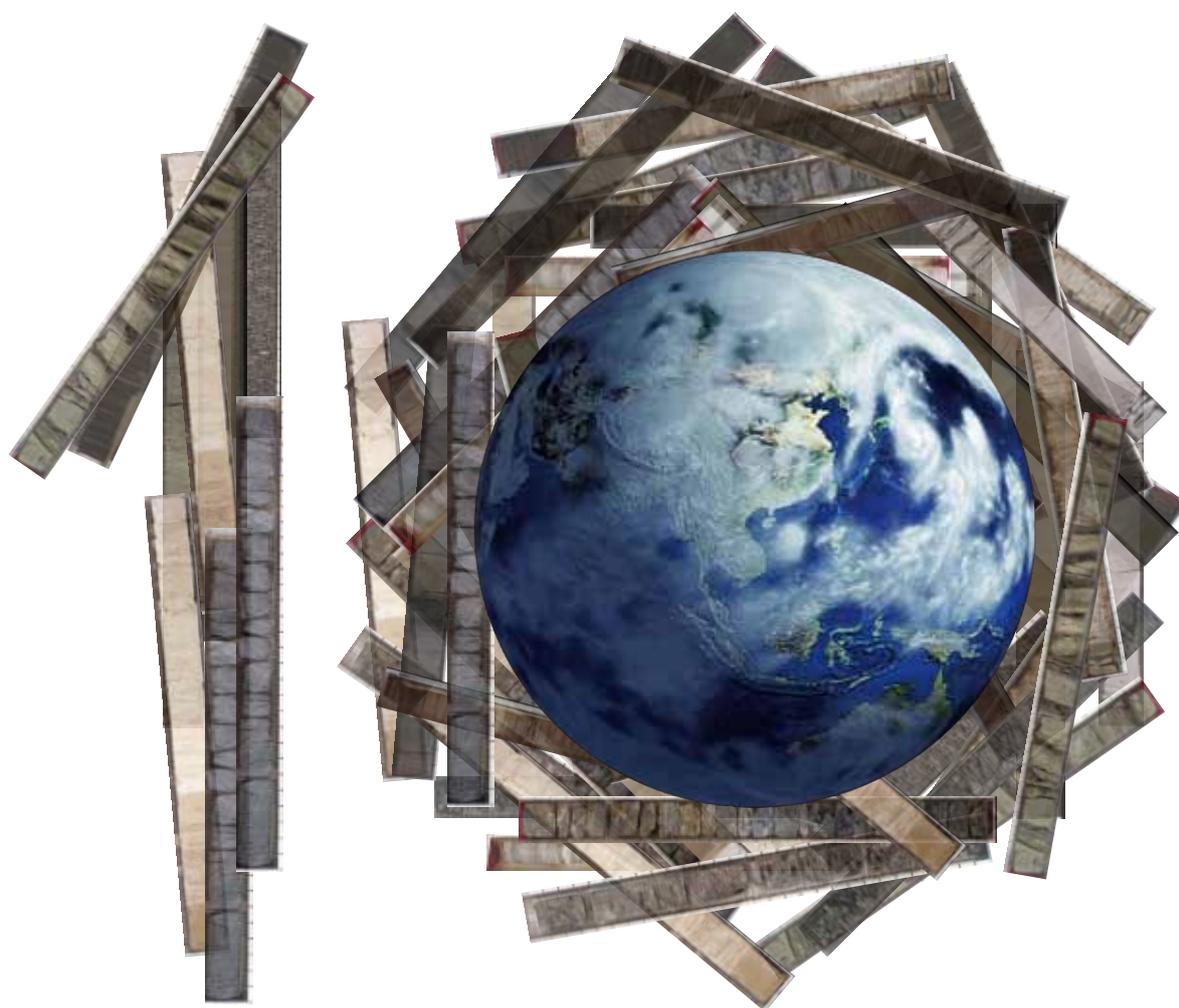


# 高知コア研究所 10周年記念誌



国立研究開発法人海洋研究開発機構 高知コア研究所



# ごあいさつ

平成17(2005)年10月に高知コア研究所が設立されてから、今年で10周年を迎えます。高知コア研究所は海洋研究開発機構の国内5番目の拠点として、地球深部探査船「ちきゅう」をはじめとする掘削船により海底から採取されたコア試料の保管・管理、それらを用いた先端的研究までを一貫して行う世界でもユニークな研究所として出発いたしました。おかげさまでこの10年、多方面で大きな飛躍を遂げ、国際的に高い評価をいただけるようになりました。これも、皆さまの厚いご支援とご協力の賜で、研究所一同、心より御礼申し上げます。

海洋底の地層や岩石には太古から現在までの地球システムに関する想像を絶する豊富な情報が蓄えられています。掘削船からドリルパイプを伸ばして海底から何百メートル、場合によっては何千メートルの深さまで掘削を行って得られた円柱状のコア試料は、小さなものではありませんが、海洋底の立派な断面の一部であり、限りない価値を秘めています。高知コア研究所には国際的な掘削プロジェクトで採取されたものだけでも、総計で100キロメートルを超える長さのコア試料が保管・管理されています。これらは人類のかけがえのない科学的財産であり、世界中の研究者からのリクエストに応じて分配され、地球科学・生命科学の様々な分野で多くの研究を生み出しています。私ども自身も、様々な科学コミュニティと連携しながら、地震断層、地下生命圏、地球環境変動等の諸分野や、関連する技術開発の分野で世界をリードする研究成果を挙げてまいりました。また、得られた成果を発信して社会に還元したり、次世代の研究者・技術者を育成するための活動も積極的に行ってまいりました。

本誌は10周年を記念し、これまでの高知コア研究所のあゆみをまとめたものです。手に取ってご覧いただき、私どもの活動への理解を深めていただければ幸いです。10周年という節目を機会として、研究開発を通して社会に貢献するという私どもに課せられた使命を再認識し、今後10年、20年とさらなる飛躍を目指して努力し邁進してまいりますので、ご支援のほどよろしくお願い申し上げます。

国立研究開発法人 海洋研究開発機構  
高知コア研究所  
研究所長 石川 剛志



# 目次

---

## 第1章 高知コア研究所の歩み

- 1. 概要 ..... P2
- 2. 歴史年表 ..... P6
- 3. 職員、アドバイザー一覧 ..... P9

## 第2章 10年間の活動と成果

- 1. 断層物性研究グループ ..... P11
- 2. 地球深部生命研究グループ ..... P19
- 3. 同位体地球化学研究グループ ..... P32
- 4. 科学支援グループ ..... P39
- 5. 管理課 ..... P46

## 第3章 活動の記録

- 1. 学術論文等リスト ..... P48
  - 2. アウトリーチ活動 ..... P84
  - 3. コア総数等の統計情報 ..... P93
-

# 1. 概要

## 1. 高知コア研究所の設立

海洋研究開発機構(JAMSTEC)高知コア研究所が設立されるまでの経緯は、地球深部探査船「ちきゅう」による深海地球ドリリング計画の推進と不可分の関係にありました。我が国が「ちきゅう」を建造し、日米欧を中心とする国際プロジェクトである統合国際深海掘削計画(IODP)を推進するに当たって重要な課題の1つとなったのが、海洋底の掘削によって得られる多量のコア試料を一括保管・管理し、分析を行う機能およびそれを担う施設の整備でした。このような背景の中、平成13年度の第二次補正予算によりIODPの中核となる掘削コア試料の保管・管理・分析機能を備えた大型施設の建設がなされることとなりました。施設は既に学内組織として海洋コアセンターを有していた高知大学の物部キャンパス(高知県南国市)に建設されることとなり、平成15(2003)年3月に竣工、同年4月に「高知大学海洋コア総合研究センター」が設立されました。

これを受け、JAMSTECは、同年4月、高知大学との間で同施設の利用および維持管理業務に関する覚書を取り交わし、「ちきゅう」運用に向けたIODP掘削コア試料の保管・管理と同施設が有する「ちきゅう」ミラーリング機器運用等の準備を始めるとともに、平成16(2004)年4月にはさらに、高知大学との間で同施設の管理運営および有効活用について合意する契約書を締結し、同施設の共同運営を本格的に開始しました。平成16(2004)年7月には、地球深部探査センター(CDEX)の計5名が常駐するようになり、IODP用の分析解析機器の整備・運用等が加速されることとなりました。

そして、平成17(2005)年10月、JAMSTEC高知コア研究所の設立を迎えました。JAMSTECとしては国内5番目の拠点としての発足です。初代の所長には、地球内部変動研究センター(IFREE)掘削試料研究プログラム(当時組織)においてプログラムディレクターを務めていた東垣(あずま わたる)が就任しました。高知コア研究所の設立に当たっては、平成17年7月の「ちきゅう」の完成・運用開始を受け、高知大学との連携を強化するとともに、最先端の設備・機器を有する同施設を最大限に有効かつ高度に活用することが使命となりました。そのため、従来の掘削コア試料の保管・管理・分析機能に加え、掘削コア試料と最先端機器群を活用した研究機能が新たに加えられ、大幅な強化が図られることとなりました。こうして、掘削コア試料の保管・管理から研究に至るまで一貫した体制が構築された高知コア研究所は、IODPをはじめとする掘削地球科学分野における世界有数の新たな研究拠点としてスタートを切ることとなりました。

## 2. 高知大学との施設共同運営

高知コア研究所のユニークな点の1つは、全国共同利用研究施設(現在は共同利用・共同研究拠点)である高知大学海洋コア総合研究センターと同一施設を共有し、共同運営を行っていることです。独立行政法人(現在は国立研究開発法人)と国立大学法人という、仕組みとミッションの異なる法人が手を携え、掘削地球科学の推進という共通目的の下、施設を共同運営する全国的に見ても異例の体制を構築しています。これは、現在、国が進めている共同利用・共同研究拠点制度の精神を先取りする、画期的な協力関係であると言えます。

高知コア研究所の設立後、平成18(2006)年6月には、高知コア研究所と高知大学海洋コア総合研究センターの共通名称(愛称)として、「高知コアセンター(Kochi Core Center: KCC)」が制定されました。さらに、両法人により構成される共同運営協議会の下には、同年から「研究推進」、「研究支援」、「アウトリーチ」、「研究成果物」、「安全管理」について協議する各ワーキンググループが順次組織され、高知コアセンターの円滑な共同運営が図られることとなりました。とは言え、この共同運営は前例のない取り組みであるが故に、高知コアセンターが発展するにつれ当初は想定していなかった各種の齟齬が生じ、従来の協定等では対処が次第に困難となってきました。そこで、平成26(2014)年4月、JAMSTECと高知大学の包括連携協定締結に伴い、高知コアセンターの管理運営等に関する契約が大幅に改定され、

共同運営は新たなステージに入りました。新たな枠組みにおいては、両法人の共同運営実務者による従来の共同運営協議会に加え、両法人の責任者による連携推進協議会、外部有識者から運営に関する助言を受ける高知コアセンター評議会が新たに設置されました。また、連携大学院を通じた教育・人材育成等に関しても整理が行われ、一貫した協力関係の構築が可能となりました。

### 3. 高知コア研究所の組織・体制

高知コア研究所は、平成17(2005)年10月の設立当初、2つの研究グループと科学支援グループ、および管理課という体制でスタートしました。掘削コア試料を用いた物質科学的基盤研究を推進する目的で設置された研究グループには、断層の物性に基づき地震時の断層破壊プロセスの解明を目指す地震断層物性研究グループ、同位体分析等に基づき地球表層物質の循環と地球環境変動の解明を目指す掘削試料物質研究グループの2本柱が据えられました。科学支援グループは、研究グループの科学支援、掘削コア試料の保管・管理を含むキュレーション、および関係する新たな技術やノウハウの開発を行う目的で設置され、高知コア研究所を特徴づける組織の1つとなりました。管理課は3グループの業務の円滑な運用や高知大学との共同運営等に係る管理業務を担いました。

上記の体制により、掘削コア試料等について物理的・化学的手法を用いた研究がまず可能となりましたが、次に喫緊の課題となったのが生命科学的手法を用いた研究の導入でした。そこで、研究所開設1年後となる平成18(2006)年10月、掘削試料物質研究グループ内に地下生命圏の研究機能を追加し、新たな研究グループの設置準備を開始しました。そして、平成19(2007)年4月、海底下に広がる生命圏の全貌解明を目指す地下生命圏研究グループを新設、それに合わせ、他の2研究グループを地震断層研究グループ、同位体地球化学研究グループに改組しました。

JAMSTECの第2期中期計画の下で高知コア研究所の3研究グループと科学支援グループには様々な機能強化が行われ、それぞれ大きな発展を遂げました。そして、平成26(2014)年4月に第3期中期計画が開始されるに当たり、3研究グループは、断層物性研究グループ、同位体地球化学研究グループ、地球深部生命研究グループとして新たなスタートを切り、現在に至っています。

なお、高知コア研究所の組織・体制や業務の方向性を決定するためには、JAMSTEC内で果たすべき役割のみならず、掘削地球科学の研究拠点として高知大学や日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC)を含む関連科学コミュニティに対して果たすべき役割をも考慮することが必要でした。そこで平成18(2006)年4月に兼岡一郎東京大学名誉教授を高知コア研究所のアドバイザーとして招聘し、コミュニティから見た研究所のあるべき姿について同年12月6日に提言がまとめられました。これを受けて、平成19(2007)年2月、東所長により「独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所のあり方について」が作成されました。高知コア研究所のあるべき姿を謳ったこの文書の内容は、現在でも高知コア研究所の礎となっています。その後も、国際的に著名な学識経験者をアドバイザーとして2名~4名招聘して研究担当理事、高知コア研究所スタッフを交えたアドバイザー会議を適宜開催し、研究の方向性やコア試料のキュレーション、運営等について貴重な助言を得て研究所の業務に生かしてきています。

### 4. 施設および研究基盤

高知コアセンターは、IODP コア試料保管・管理施設の象徴である大型冷蔵保管庫はもちろんのこと、分析・解析機器を備えた各種実験室に加え、研究者や支援スタッフのオフィスを有しています。高知コア研究所は、高知コアセンターの共同運営方針に基づき、これらのうち多くの設備・機器を高知大学海洋コア総合研究センターと共用しています。

高知コアセンターが備える多くの機器のうち、X線CTスキャナー、マルチセンサー・コアロガー(MSCL)等の非破壊計測機器は、「ちきゅう」のミラーリング機器として位置付けられ、IODP航海中に非破壊計測が行えなかったコア試料の陸上での計測、あるいは乗船前の研究者に対する陸上でのトレーニングの実施を可能としています。また、粉末X

線回折計、蛍光X線分析計、走査型電子顕微鏡など基礎的な鉱物・化学データを取得するための機器から、高度な化学分析を行うための質量分析計(ICP質量分析計、安定同位体質量分析計、表面電離質量分析計)等まで各種の機器が充実しています。

高知コア研究所独自の機器としては、平成20(2008)年1月に完成した画期的な流体制御型中高速摩擦試験機や、透水試験機をはじめとする断層物性計測機器群があります。また、平成22(2010)年度から23年度にかけては最先端研究基盤事業により、ナノメートルスケールの同位体マッピングが可能な高解像度二次イオン質量分析計(NanoSIMS)や、シングルセルラボをはじめとする地球深部生命系・同位体地球化学系研究設備・機器の大幅な強化が行われました。さらに、平成24年度補正予算により、平成26(2014)年3月までに、高精度二重収束セクター磁場質量分析計、透過型電子顕微鏡などの導入による微小領域化学分析機能のさらなる強化、および断層面微細構造解析システム、K0 圧密実験装置などの導入による地震断層研究機能の強化が行われました。高知コア研究所では、これら世界最先端の研究基盤を縦横に駆使した研究が展開されています。

## 5. 研究戦略および分野融合研究の推進

高知コア研究所の特徴の1つは、最先端の研究設備・機器を有するのみならず、研究者一人ひとりが独自の尖鋭的な分析・実験手法や技術を持ち、それに基づいて各研究グループが世界最先端の研究を展開していることです。たとえば、微生物細胞数をカウントしたり試料から特定の微生物だけを抽出する独創的な手法、回転式高速摩擦試験機を使って断層すべりを再現したりコア試料や掘削孔から応力を測定する手法、超高精度で試料中の金属同位体比を測定したりマイクロメートル以下の超微小領域の鉱物・化学分析を行う手法、などが尖鋭的な技術の例として挙げられます。このような高い技術に裏付けられた各分野の研究が他者の追従を許さぬオリジナルなサイエンスの展開を可能としています。

また、特筆すべき点は、3研究グループが、独自に先端的な研究を展開しながらも、必要に応じて「物理」「化学」「生物」をそれぞれの武器として「三位一体」となって協力し、連携し合うことが可能な点です。これには、高知コア研究所が比較的小規模であるが故に分野間の風通しがよく、必要な情報がすぐに共有できる環境が整っていることも要因として挙げられます。これらのことは掘削コア試料に基づく分野の垣根を越えた融合研究を可能とし、たとえばNanoSIMSを用いた単一細胞の活性・代謝の研究(地球深部生命研究グループと同位体地球化学研究グループ)、地震時の断層すべりと化学的相互作用の研究(断層物性研究グループと同位体地球化学研究グループ)、海底下の物性や破壊が生命圏に与える影響の研究(地球深部生命研究グループと断層物性研究グループ)など、ユニークな共同研究が展開されています。さらに、高知コア研究所の場合、科学支援グループも技術開発機能を持ち、それに基づいて強力な科学的支援を研究グループに対して提供していることも大きな特徴です。それも含めると高知コア研究所は「四位一体」の研究体制を有していると言ってよいでしょう。こうした協力体制の実現は、日本国内のみならず世界にも誇るべきものです。平成27(2015)年7月にサイエンス誌に掲載されたIODP下北掘削の成果に関する論文には、4グループの構成員が著者として名を連ねており、まさに分野融合研究を象徴する成果と言ってよいでしょう(なお、高知大学海洋コア総合研究センターの構成員も著者となっており、高知コアセンターの総合力が発揮された論文でもあります)。

このような高知コア研究所の研究戦略や分野融合研究は、サイエンス誌やネイチャー誌をはじめとするハイレベルの国際学術誌に論文として掲載された多くの研究成果として結実しています(「歴史年表」および第3章参照)。

## 6. コアキュレーション業務の展開

高知コアセンターは、IODPにおいて、ドイツ・ブレーメン大学、米国・テキサスA&M大学のコア保管施設と並んで世界の3大コア試料保管拠点の1つに位置付けられました。高知コア研究所科学支援グループは、「ちきゅう」をはじめ

とするIODP掘削船で採取されるコア試料のうち、アジア、オセアニア、インド洋海域から採取された試料を保管・管理し、研究者に分配するキュレーション・サービスを担当しています。また、1960年代以降の国際的な深海掘削計画(DSDP、ODP)で同海域から採取された膨大なコア試料(レガシーコア試料)についても同様のキュレーションを行っています。

「ちきゅう」初のIODPコア試料となる南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)のコアは平成20(2008)年2月に、高知コア研究所に搬入されました。レガシーコア試料については平成19(2007)年9月にテキサス、ブレイメンからの受け入れを開始し、平成20(2008)年11月に受け入れを完了しました。現在では、総計100kmを超えるIODP/ODP/DSDPコア試料のキュレーションを遅滞なく円滑に行うとともに、陸上でのサンプリングパーティーの支援も行っています。また、海底下生命圏研究用の極低温保管コア試料のキュレーション(DeepBIOS)や、「ちきゅう」で取得されたX線CT画像の閲覧(バーチャルコア・ライブラリー)など、高知独自のIODPサービスを意欲的に開発し、提供してきています。

上記に加え、平成20(2008)年11月からは、「みらい」等JAMSTEC船舶が採取したピストンコア試料(非IODPコア試料)についてもキュレーション業務を開始し、貴重なコア試料の有効利用に大きく貢献しています。

## 7.人材育成とアウトリーチ活動

高知コア研究所には、地球掘削科学の研究拠点として、貴重な掘削コア試料を有効に活用した先端的研究を展開するのみならず、研究活動を通して、次世代の研究者を育てるという使命もあります。日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC)、高知大学海洋コア総合研究センターと協働して平成19(2007)年度から実施している大学院生・若手研究者対象の「コラスクール」や、平成26(2014)年度に実施したアジア地域若手研究者対象のJST「さくらサイエンスプログラム」コア分析基礎コース、また、IODP研究航海に参加する研究者向けのトレーニングや技術相談などへの対応もそうした取り組みの一部です。

また、連携大学院を通じた教育・人材育成も行っています。JAMSTECは高知コア研究所設置以前から高知大学大学院理学研究科と連携講座を開設しており、現在に至るまで高知コア研究所の研究者も客員教員として研究教育に携わっています。また、平成20(2008)年度からは、高知コア研究所として、新たに広島大学大学院理学研究科と連携講座を開設し、客員教員として研究教育に当たっています。これらの連携大学院からは、既に学位を取得し、大学等で研究者として活躍する人材が巣立っています。

さらに、米国国立科学財団(NSF)および日本学術振興会(JSPS)によるEast Asia and Pacific Summer Institute (EAPSI)プログラムにより、ノースカロライナ大学(2008年)・オレゴン州立大学(2009年、2014年)・カリフォルニア工科大学(2013年)から合計4名の大学院生を約2ヶ月間受け入れ、海底下生命圏研究に関する技術指導を行ったのをはじめ、国内外の大学院生・若手研究者をJAMSTEC研究生・外部研究員として積極的に受け入れて共同研究を推進するとともに、人材育成・国際貢献を行っています。

高知コア研究所の活動や研究成果を社会に発信し、地球科学・生命科学の裾野を広げるためのアウトリーチ活動も積極的に行っています。高知コアセンターを訪れる多数の見学者への対応、学校への出前授業、各種講演活動などを行うとともに、毎年11月には高知大学海洋コア総合研究センターと共同で、高知コアセンター1日公開を実施しています。また、平成24(2012)年度からは、高知大学と共同で市民講演会「高知コアセンター講演会」を開催して最新の研究成果の社会への発信を行うとともに、市民を交えたパネルディスカッションを通して地震・防災、地球環境問題、海洋資源などに関する啓蒙活動も合わせて行っています。また、室戸ジオパークの推進協議会にも顧問として参加し、専門家の立場からジオパークを通じた地球科学の普及に努めています。

## 2. 歴史年表

2005	10/1	高知コア研究所の設立 地震断層物性研究グループ、掘削試料物質研究グループ、科学支援グループの3グループと管理課の体制でスタート
	12/16~17	設立記念講演会およびシンポジウム「掘削科学の現状と将来」を開催
	12/20~21	台湾チェルンプ断層掘削ワークショップを開催
2006	3/18~20	コア解析スクール「アドバンスドコース」を高知大学と共催(次年度も実施)
	6/1	高知大学海洋コア総合研究センターとの共通名称「高知コアセンター」を制定
	10/1	地下生命圏研究グループの設置準備開始
	11/20~21	台湾チェルンプ断層掘削ワークショップ(第2回)を開催
2007	4/1	地下生命圏研究グループを新設、他の2研究グループを地震断層研究グループ、同位体地球化学研究グループに改組
	9/7	担当海域のDSDP/ODPレガシーコア試料をテキサスA&M大学(GCR)、ブレイメン大学(BCR)から受入開始、コア試料の保管管理および研究者への試料提供を開始
	11/3	高知コアセンター一日公開を実施(以後毎年11月に実施)
	11/16	広島大学・海洋研究開発機構合同シンポジウム「地球深部掘削コア試料を用いた新たな研究フロンティア」を開催
2008	1/31	流体制御型中高速摩擦試験機を導入
	2/13	「ちきゅう」高知新港で特別公開 先行して高校での出前授業実施
	2/14	「ちきゅう」IODP 掘削コア(南海トラフ地震発生帯掘削プロジェクト:NanTroSEIZE Stage 1)初搬入
	3/24	J-DESC コアスクール「コア同位体分析コース」を開催(以後毎年実施)
	4/1	広島大学大学院理学研究科と連携大学院による教育研究を開始
	7/22	<b>【プレス発表】【ネイチャー誌掲載】</b> 深海底下に広がるアーキアワールドを発見～世界各地の海底堆積物から大量のアーキア(古細菌)を検出～
	8/31	一般講演会「次の南海地震と津波について『考える』」を開催
	9/15	<b>【プレス発表】【ネイチャー・ジオサイエンス掲載】</b> 地震時に断層内部で生じた高温の水の痕跡を世界で初めて発見～地震における断層すべり機構の理解に貢献～
	10/8	NSFのArden L. Bement, Jr.長官が視察
	10/29	83km分の海洋科学掘削コアサンプルが搬入完了、「レガシーコア試料移管完了式」開催
2009	2/12	画期的な全自動微生物細胞計数システムを開発
	2/26~27	IODPキュレーション会議を開催



2009	10/14	海底下生命圏研究用の冷凍コア試料 (RMS、後に DeepBIOS に改称) の保管開始
	11/16	第3回広島大学・海洋研究開発機構合同シンポジウム「海底下の環境と地下生命圏研究の最前線—地下生命と堆積環境の相互作用—」を開催
2010	4/22	IODP 第323次研究航海 (ベーリング海掘削) のコア試料の多数サンプリング (3万7000個採取)
2011	4/12	<b>【プレス発表】【ネイチャー誌掲載】</b> 地震を引き起こす要因となる断層潤滑効果を岩石摩擦実験で確認～大地震発生プロセスの解明へ前進～
	6/6	室戸ジオパーク推進協議会、高知工科大学と連携協定を締結
	10/11	<b>【プレス発表】【米国科学アカデミー紀要掲載】</b> 下北半島八戸沖の46万年前の海底か地層中に大量の“生きている”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体～
	11/1	<b>【プレス発表】</b> 地震時に断層で発生する大量の水素ガス～生命の誕生に地震ガスが寄与している可能性～
	11/7	第4回広島大学・海洋研究開発機構合同シンポジウム「地震と断層研究の最前線—観測・実験・フィールドからのアプローチ—」を開催
	11/30	超高空間分解能二次イオン質量分析装置 (NanoSIMS 50L) を導入
	2012	2/15
7/26～9/23		<b>【プレス発表】</b> 地下生命圏研究グループが主導して「ちきゅう」によるIODP 第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」を実施、科学海洋掘削における世界最高到達深度を更新
9/3		<b>【プレス発表】【ネイチャー・ジオサイエンス誌掲載】</b> プレート境界で発生する「ゆっくり地震」は岩石中の浸透率の違いにより発生することを証明
2013	2/8	<b>【プレス発表】【サイエンス誌掲載】</b> 「ちきゅう」掘削調査により明らかにされた東北地方太平洋沖地震震源域の応力状態変化を発表
	3/15	<b>【サイエンス誌掲載】</b> 海嶺翼部の深部に埋没した玄武岩における微生物の炭素と硫黄循環の証拠を発表
	3/9	第1回高知コアセンター講演会「『ちきゅう』で巨大地震を探る ～南海地震と3・11東北地震～」を開催
	8/5	<b>【プレス発表】</b> ICP 質量分析法による高精度 <sup>236</sup> U 定量法の確立～海生炭酸カルシウムの U-Th 年代迅速測定による古気候変動の詳細把握に貢献～
	10/8	<b>【プレス発表】</b> 「ちきゅう」の断層掘削試料の水理学的解析により明らかにされた東北地方太平洋沖地震の巨大すべりの発生メカニズム

## 2. 歴史年表

2013	12/3	第5回広島大学・海洋研究開発機構合同シンポジウム「マイクロ・ナノスケールの計測技術が拓く新しい宇宙・地球科学」を開催
	12/6	<b>【プレス発表】【サイエンス誌掲載】</b> 東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波発生メカニズムの解明～「ちきゅう」の科学成果がSCIENCE誌に3編同時掲載～
2014	2/1	第2回高知コアセンター講演会「海からの め・ぐ・み ～海は宝の山～」を開催
	3/31	高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計(IMS-1280HR)、集束イオンビーム極微試料加工システム(FIB)、透過型電子顕微鏡(TEM)、生体高分子質量顕微鏡、断層面微細構造解析システム、K0 圧密実験装置、断層帯内浸透・拡散測定システム、水熱実験装置を導入
	4/1	研究グループを断層物性研究グループ、地球深部生命研究グループ、同位体地球化学研究グループに改組 機構と高知大学の包括連携協定締結に伴い高知コアセンターの管理運営等に関する契約を改定
	6/18	<b>【プレス発表】</b> サンゴ礁の掘削からわかった太平洋の熱帯海域の環境変動～最終氷期からの回復期に太平洋赤道域の表層海水が酸性化していたことを発見～
	6/30	高知コアセンター新保管庫が完成
	12/5	<b>【プレス発表】【ネイチャー・コミュニケーション誌掲載】</b> 海洋における銅同位体比の分布を高精度で解明～重金属元素の同位体比が海洋大循環をめぐる指標になる可能性を示唆～
2015	2/10	<b>【プレス発表】</b> 南海トラフ熊野海盆泥火山で巨大地震の震源域に由来する水の成分を発見～海底下深部の水循環システムに関する新知見～
	2/22	第3回高知コアセンター講演会「たぐり出せ!地球環境の記憶 ～本質は細部に宿る～」を開催
	3/17	<b>【プレス発表】【ネイチャー・ジオサイエンス誌掲載】</b> 外洋の深海底堆積物に酸素に満ちた超低栄養生命圏を発見～地球内部の生命圏と元素循環に新しいパラダイム～
	6/29	<b>【米国科学アカデミー紀要掲載】</b> 地震時の断層摩擦用溶融現象を実験室で再現してレオロジーを決定 大地震発生プロセスの解明へ前進
	7/1	高知コアセンターB棟に地球深部生命研究および同位体地球化学研究用の新クリーンルームを設置
	7/24	<b>【プレス発表】【サイエンス誌掲載】</b> 「ちきゅう」により世界最深の海底下微生物群衆と生命圏の限界を発見～石炭・天然ガスの形成プロセスを支える「海底下の森」が存在～

## 3. 職員、アドバイザー一覧

2015年8月31日時点での現職者を以下に記します。(所長及び所長代理については歴代)

### 歴代所長

東 垣	2005年10月1日	～	2011年3月31日
黒田 芳史	2011年4月1日	～	2012年3月31日
木下 正高	2012年4月1日	～	2015年3月31日
石川 剛志	2015年4月1日	～	現在に至る

### 歴代所長代理

木川 栄一	2010年4月1日	～	2011年3月31日
稲垣 史生	2015年4月1日	～	現在に至る

### 断層物性研究グループ

林 為人	(グループリーダー、上席技術研究員)
廣瀬 丈洋	(グループリーダー代理、主任研究員)
谷川 亘	(主任研究員)
濱田 洋平	(研究員)

### 地球深部生命研究グループ

稲垣 史生	(グループリーダー〔兼務〕、上席研究員)
諸野 祐樹	(グループリーダー代理、主任研究員)
井尻 暁	(主任研究員)
星野 辰彦	(主任研究員)
鈴木 志野	(特任主任研究員)

### 同位体地球化学研究グループ

石川 剛志	(グループリーダー〔兼務〕、上席技術研究員)
伊藤 元雄	(グループリーダー代理、主任技術研究員)
清水 健二	(技術研究員)
若木 重行	(技術研究員)

### 科学支援グループ

阿波根 直一	(グループリーダー、技術主幹)
Lallan Prasad Gupta	(グループリーダー代理、技術副主幹)
駒井 信晴	(グループリーダー代理、技術副主幹)
久光 敏夫	(グループリーダー代理、技術副主幹)
富岡 尚敬	(主任技術研究員)

牛久保 孝行	(技術研究員)
肖 楠	(技術副主任)
矢吹 季晋	(技術副主任)
山岡 亮	(特任技術スタッフ)

## 管理課

千葉 俊彦	(課長)
上田 健	(事務副主任)
松尾 純子	(事務スタッフ)
畠中 亜紀	(事務スタッフ)
坂本 沙樹	(事務スタッフ)
沖吉 由妃	(事務スタッフ)

## 高知コア研究所在勤

石井 俊一	(研究員、海底資源研究開発センター所属)
浦本 豪一郎	(外来研究員、日本学術振興会特別研究員)

## 歴代アドバイザー

高知コア研究所では2007年度よりアドバイザー会議を開催し、アドバイザーの方々より高知コア研究所の科学的な成果、キュレーション業務、科学支援、要員、アウトリーチ活動や運営管理等について各種助言を頂きました。

### 2006年度(平成18年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
-------	------	------

### 2007年度(平成19年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
Timothy Byrne	米国コネチカット大学	准教授

### 2008年度(平成20年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
酒井 豊三郎	宇都宮大学	名誉教授
Timothy Byrne	米国コネチカット大学	准教授

### 2009年度(平成21年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
酒井 豊三郎	宇都宮大学	名誉教授
Judith McKenzie	スイス連邦工科大学	名誉教授
Kenneth Nealson	米国南カリフォルニア大学	名誉教授

### 2010年度(平成22年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
酒井 豊三郎	宇都宮大学	名誉教授
Judith McKenzie	スイス連邦工科大学	名誉教授
Kenneth Nealson	米国南カリフォルニア大学	名誉教授

### 2011年度(平成23年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
酒井 豊三郎	宇都宮大学	名誉教授
Judith McKenzie	スイス連邦工科大学	名誉教授
Kenneth Nealson	米国南カリフォルニア大学	名誉教授

### 2012年度(平成24年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
小川 勇二郎	筑波大学	名誉教授
Judith Mckenzie	スイス連邦工科大学	名誉教授
Bo Barker Jørgensen	オーフス大学	教授

### 2013年度(平成25年度)

兼岡 一郎	東京大学	名誉教授
小川 勇二郎	筑波大学	名誉教授
Judith Mckenzie	スイス連邦工科大学	名誉教授
Bo Barker Jørgensen	オーフス大学	教授

## 第2章 10年間の活動と成果

# 1. 断層物性研究グループ

## Fault Mechanics Research Group

本研究グループは、海溝型巨大地震発生の際である沈み込み帯の地震発生帯掘削等において、掘削コア試料や検層データ等を最大限に活用して、断層帯およびその周辺の各種物理・化学特性の解明、応力場の計測、地震断層の活動歴と挙動の解明を行い、物質科学に基づいて地震断層に対する包括的な理解を目指して研究を進めてきました。また、これらの目的を達成するために、関連する研究手法と機器の新規開発や高度化研究も行っています。高知コア研究所が設立してから、主として東北地方太平洋沖地震調査掘削(JFAST)、南海トラフ地震発生帯掘削(NanTroSEIZE)、台湾チェルンプ断層掘削(TCDP)等の地震断層掘削科学を推進してきました。今後もIODPによる沈み込み帯の地震発生帯掘削や実施すべきとされているマントル掘削などを推進し、掘削コア試料、掘削データならびに陸上のナチュラルアナログ試料等を活用して、地震の根源である震源断層の実態解明はもとより、地球システムの営みの解明に貢献していきます。

### 1. 東北地方太平洋沖地震の震源域掘削調査研究

東北地方太平洋沖地震では、M(マグニチュード)9 という地震の規模もさることながら、特に巨大津波によって多くの被害が生じました。その津波発生の直接の原因として共通認識となった仮説が、プレート境界断層が海溝軸まで大きく滑ったというものです。地震時に大きなすべりが生じたのであれば、断層では摩擦熱のため非常に温度が上昇したであろうし、地震に伴って応力とひずみが解放されたはずですが、これらを実証するため、IODP第343次研究航海として宮城県牡鹿半島東方沖で「ちきゅう」によるプレート境界断層掘削が行われました。断層物性研究グループからは、2名の研究者がこの研究航海で乗船したほか、1名が陸上で試料解析に貢献してきました。海溝付近の震源断層では何が起こったのかを解明するため、我々は多方面から総合的に取り組んできました。

### ① 東北地震震源断層近傍の応力状態

掘削孔壁の部分崩壊現象(ブレイクアウト)の解析から東北地震の震源断層近傍の応力状態(力のかかり具合)を測定しました。その結果、地震後の断層近傍は、巨大地震の断層すべりを起こす横の押しの力がほぼ完全に解放され、いわゆる“正断層型”の応力状態になっていたことが明らかになりました。一方、地層の層理や小断層の構造解析に基づき、既存の研究成果を考慮しながら、地震前の応力状態を推定したところ、その応力状態は断層を滑らせる横の押しの力が強い“逆断層型”であったことが分かりました。これらの結果は、東北地震の時に、日本海溝付近のプレート境界断層の浅い部分が応力とエネルギーを大きく解放したことが大きな断層すべりや津波の巨大化につながったことを示しています。このような応力の変化(図1)は、従来地震性すべりが発生しないとされていた海溝付近の断層が能動的に滑ったことを示唆し、断層の高速すべり弱化の作業仮説と合致しました(Lin et al., 2013 Science; 2013年2月8日プレスリリース)。

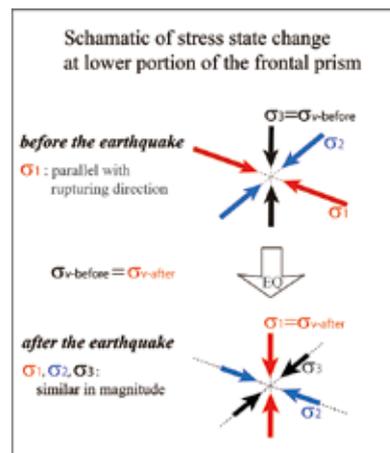


図1 東北地震に伴う海溝軸付近断層直上の応力状態変化を示す模式図。地震発生前の逆断層型から正断層型へ変化を示す。

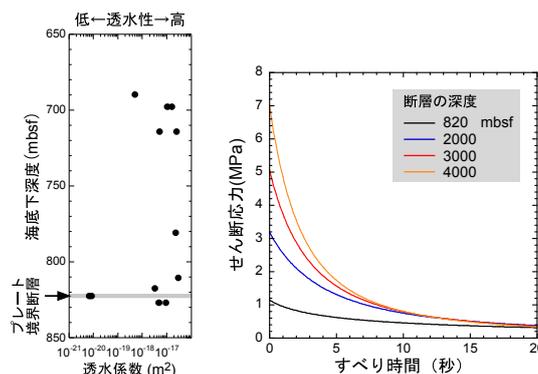
### ② 断層掘削試料の水理学的解析

JFASTで得られた掘削コア試料を用い、圧力を上げて現場環境を再現した室内水理実験により流体の移動特性を評価しました。その結果、東北地方太平洋沖地震ですべったプレート境界断層付近では非常に透水性が低い(すなわち水が流れにくい)ことが明らかになりました(図2 左)。また、透水性が低い原因は、粘土鉱物の一種であるスメクタイトの含有量が非常に多いためであることがわかりました。さらに、断層流体の挙動を解析した結果、地震断層のすべりに伴う摩擦発熱により流体の圧力が増加し、すべり摩擦力が大きく低下する(断層のすべり摩擦抵抗の減少:すべりやすくなる)ことが、プレート境界断層の浅部で大きなすべりが生じることにつながることを明らかにしました(図2 右)(Tanikawa et al., 2013 EPSL; 2013年10月8日プレスリリース)。

図2

(左) JFAST掘削サイトC0019の深度680mから830m区間の透水係数の深度分布。透水係数が大きいほど流体が流れやすい。プレート境界断層は820m付近に位置する。

(右) 断層すべりに伴う断層のせん断応力(断層の摩擦抵抗に等しい)の変化。異なる色の曲線はプレート境界断層の深度の違いによる変化を示す。流体圧の上昇により断層のすべり抵抗の低下を招き、また深部ほどその影響が顕著に現れている。



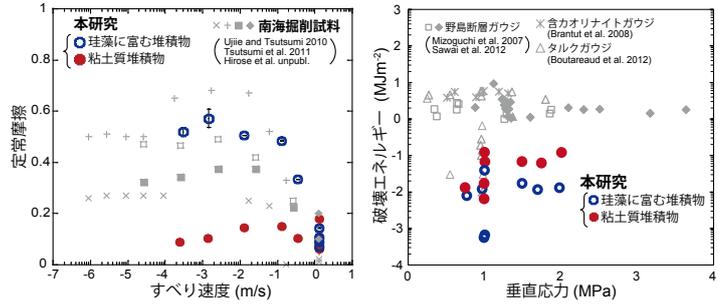
### ③ 日本海溝のプレート境界断層物質の摩擦特性: 東北地震時のプレート境界浅部での大規模すべりの要因を解明

東北日本弧に沈み込む直前のプレート境界物質(DSDP, Leg56, Site 436で採取)を用いて摩擦実験をおこないました。その結果、将来のプレート境界物質となる粘土質堆積物は、摩擦係数が幅広い速度領域で0.2以下と著しく小さいこと(図3 左)、地震性高速すべり伝播のしやすさを規定する破壊エネルギーが他の断層物質と比較しても数桁小さいことが初めて明らかになりました(図3 右)。これは、東北沖のプレート境界浅部で、摩擦強度の弱い粘土層沿いに選択的に破壊が伝播することを示唆しており、このような摩擦特性が東北地震時に大きなすべりを引き起こす一

要因となったと考えられます(Sawai et al., 2014, EPS)。

図3

(左) 定常摩擦係数とすべり速度の関係、粘土質プレート境界物質の摩擦が広い速度範囲で著しく小さい。  
 (右) 破壊伝播のしやすさを規定する破壊エネルギーと垂直応力の相関関係。東北日本弧に沈み込む堆積物は、破壊エネルギーが非常に小さい。



④ 掘削コア試料の熱物性測定

JFASTの第二次研究航海により、掘削孔内に温度のモニタリングセンサーの設置を行い、プレート境界断層付近において温度プロファイルの正のピークを検出することに成功しました(Fulton et al., 2013 Science;2013年12月6日プレスリリース)。この正の温度ピークが東北地震の際に発生した摩擦熱によって生じたものかどうか解釈するために、地層の熱伝導率と熱拡散率を知る必要があります。通常、コア試料の熱伝導率しか測定されませんが、我々はJFASTのコア試料を用いて、熱拡散率も測定しました(Lin et al., 2014 EPS)。そして、この温度ピークが地震の摩擦熱であるという発見に寄与しました。この成果は東北地震時に滑った断層の位置を特定するとともに、地震時の断層面に働いていた動的摩擦力が非常に小さかったことを明らかにしました。

2. 南海トラフ地震発生帯の掘削調査研究

M8クラス以上の南海・東南海地震は100-200年の間隔で繰り返し発生しています。東南海地震の震源断層であるフィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界断層の固着域を掘り抜き、南海トラフ地震発生帯の実態を解明するために、南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)は2007年から開始されました。断層物性研究グループは当該プロジェクトを全面的に推進し、掘削コア試料や掘削断層データを用いて、断層コア試料の各種力学・物理・化学特性の解析や、応力の測定を研究してきました。当研究グループの研究者は、第348次研究航海で共同首席研究者を務めたほか、多くの研究航海に乗船してきました。

① 南海トラフ試料の低-高速摩擦特性

南海トラフ・プレート境界断層岩の摩擦係数を地震間(通常時)のゆっくりしたすべり速度から、地震時の秒速数mの高速すべりまでの条件で測定した。その結果、含水条件下におけるプレート境界物質は一般的な岩石と比較すると著しく摩擦係数が小さいことが明らかとなりました(図4)。この結果は、地震破壊が深部からプレート境界に沿って伝播してきた場合、プレート境界浅部ではエネルギー的に容易に断層すべりが促進されることを意味しています。海底面に表れる断層すべり変位が、津波の規模を規定する一つの要因になりうることから、今後南海付加体中に認められる分岐断層群においても、すべり特性を調べる必要があります。

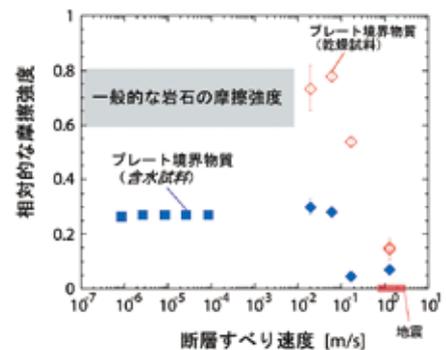


図4 南海掘削ステージ1で採取されたプレート境界物質の摩擦係数(縦軸)と断層すべり速度(横軸)の相関関係。含水条件下におけるプレート境界物質の相対強度は、一般的な岩石の1/3程度であり、地震時のすべり速度ではほとんど強度を失います。

## ② 南海トラフ沈み込み帯の断層とその近傍の流体移動特性

南海・東南海地震発生メカニズムの解析を目指してIODP 南海掘削計画により掘削されたコア試料を用いて、地震断層運動を支配する断層帯とその周囲の岩石の摩擦特性や水理学的性質(図5)の測定を行っています(Tanikawa et al., 2014)。

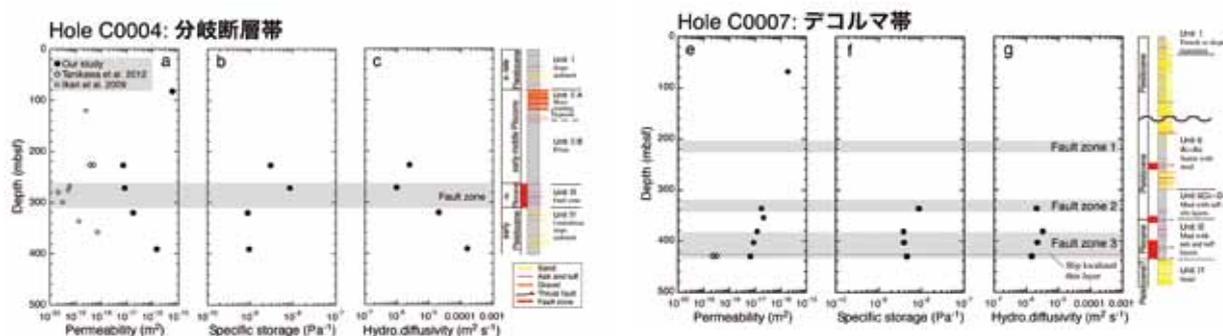
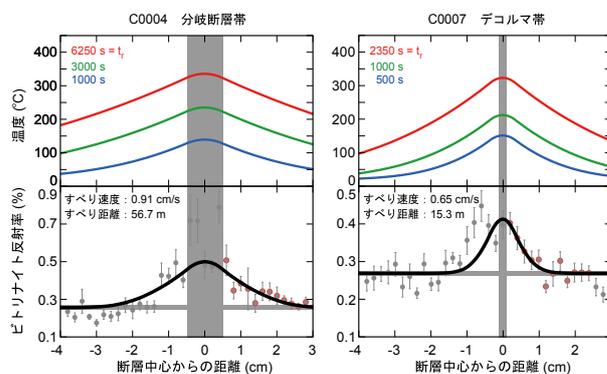


図5 南海掘削コア試料を用いて推定した南海トラフ浅部の水理構造。分岐断層帯とデコルマ帯はともに断層帯の透水性が低いこと、分岐断層帯は周囲の岩石に比較して断層帯の透水性が低いこと、デコルマ帯は深部ほど透水性が小さくなることから明らかになりました。このような断層帯の透水性構造は、断層帯近傍に高間隙水圧が保持されることを示唆しています。

## ③ 南海トラフ沈み込み帯浅部断層のすべり特性の解析

沈み込み帯の断層が、過去にどのようなすべりを引き起こしたのかを、断層に記録された摩擦熱の痕跡に着目して見積りました。すべり時間とすべり距離を摩擦熱の痕跡から同時に見積る計算手法を開発し、それを南海トラフ沈み込み浅部の断層に適用しました(図6)。その結果、これらの断層が過去に東北太平洋沖地震と同規模の非常に大きな変位を、長時間かけてすべった可能性が示唆されました(Hamada et al., 2015EPS)。

図6 南海断層掘削コア試料の摩擦熱の痕跡と摩擦発熱、平均すべり速度、総すべり距離の推定結果。摩擦発熱の痕跡(ビトリナイト反射率の増加:下段の点)を、開発した計算手法で再現したところ(下段の線)、長時間の摩擦発熱によって、断層の外側が加熱されていたことが明らかになりました(上段)。この特異な温度上昇は、ゆっくりとした、しかし大きな変位の断層運動によってもたらされた可能性があります。

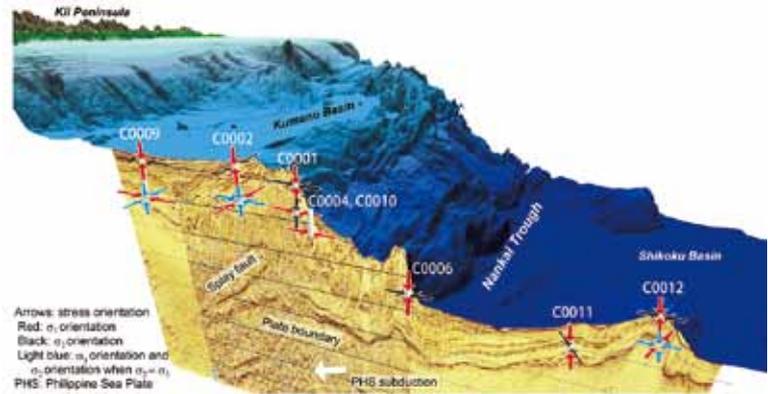


## ④ 南海トラフ沈み込み帯の応力分布

沈み込み帯の断層近傍の応力場分布を知ることが、断層の破壊パターンや破壊時の変形を見積るために重要です。南海トラフ掘削において、掘削コア試料を用いた非弾性ひずみ回復(ASR)測定と検層データによるブレークアウトの解析を併用して、各航海における応力測定を実施してきました(例えば、Byrne et al., 2009 GRL; Lin et al., 2010 GRL; Yamamoto et al., 2013 Tectonophysics)。深度が最大1.6kmまでの浅部の結果を取りまとめて、全般的にみると浅部(例えば、1km以浅)では基本的に正断層型の応力場(鉛直方向の最大主応力;伸張場ともいう)であり、1.5km付近では横ずれまたは逆断層型応力場(水平方向の最大主応力;圧縮場ともいう)になる兆候が認められました(図7)。特に、応力測定の結果は、熊野海盆の海側辺縁部(C0002サイト)付近の応力が沈み込み方向の伸張場であ

ることを解明しました。このような応力状態はそれまで予測されておらず、南海掘削では最も注目された結果の一つとなりました。

図7 南海トラフ掘削ステージ1～2から得られた浅部の応力場分布 (Lin et al., in-press Tectonophysics)。各矢印は三次元主応力の方向を示しており、赤は最大主応力 $\sigma_1$ 、黒は中間主応力 $\sigma_2$ 、また水色は最小主応力 $\sigma_3$ の方向を示しています。中間主応力と最小主応力は、ほぼ等しい場合( $\sigma_2 = \sigma_3$ )、両者とも水色で表されています。



### 3. 台湾チェルンプ断層の掘削調査研究～地球物理的手法からのアプローチ～

断層物性研究グループは、1999年に発生した台湾集集地震(M7.6)の震源断層を掘削する台湾チェルンプ断層掘削の国際プロジェクト(TCDP)を台湾の研究機関とともに推進しました。断層の地震時のすべり挙動を物質科学的に解明するために、IODP 南海トラフ掘削に先駆けて、開所して間もない高知コアセンターのコア解析ファシリティを用いて、掘削サイトから断層帯を貫いたHole-Bの約400m分の連続コア試料を高知コアセンターに持ち込み、各種コア試料の総合的な解析を行いました。

断層帯コア試料の観察および非破壊計測により、地震時のすべり摩擦熱により生じた黒色化現象および帯磁率・自然ガンマ線放射強度・密度の異常を見出した(Hirono et al., 2006 GRL; Hirono et al., 2007 JGR)とともに、掘削コア試料を用いた高速摩擦実験により、断層の高速すべりを模擬して高帯磁率発生メカニズムを突き止めました(Tanikawa et al., 2007 GRL)。また、断層帯の中心部で体積含水率が高くなり、電気比抵抗・弾性波速度が低下する特性が確認されました(Lin et al., 2008 GRL)。さらに、断層岩の浸透率測定結果に基づくシミュレーションにより、地震時に断層内部の流体圧力が上昇し、断層すべりを助長したことを示唆する結果を得ました(Tanikawa et al., 2008 G3)。一方、各種応力解析を総合した結果、掘削により掘り当てた複数の断層帯のうち、深度がもっとも浅い断層帯付近で主応力方向が変化したことを発見し、1999年集集地震時に滑った断層の特定に重要な証拠を得ることができました(Lin et al., 2007 GRL; Lin et al., 2010 Tectonophysics)。

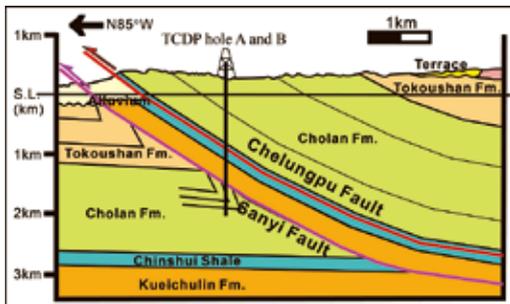


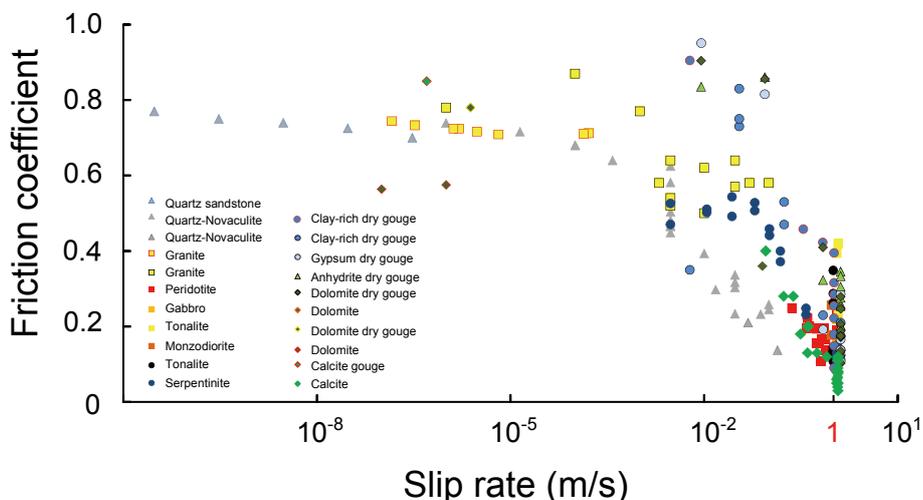
図8 台湾チェルンプ断層掘削の地質断面図(ほぼ東西断面)とHole-Bの深度1243mで採取された断層のコア試料。

## 4. 地震断層の実態解明および技術開発研究

### ① 地震時の断層物質の摩擦力学特性: 断層潤滑効果を岩石摩擦実験で確認

過去十数年間おこなってきた地震時の高速断層すべり運動を再現した岩石摩擦実験の結果を、断層面で消費される摩擦エネルギーという視点から体系的に解析し、地震時には、すべり面で発生する摩擦発熱によって活性化される物理化学反応によって断層潤滑現象(断層の摩擦強度が劇的に低下する現象)が起こることを明らかにしました。断層面に働く力(地殻応力)を支えきれなくなった時に、断層はすべりはじめます。そのすべりとともに断層の摩擦強度が低下して、断層すべりは増幅され、地震が起こります。そのため、地震時に大きな強度低下をもたらす断層潤滑作用が実験によって確認されたことは、地震発生プロセスの解明につながる大きな一歩です(Di Toro et al., 2011 Nature; 2011年4月12日プレスリリース)。

図9 プレートの運動速度(約10-9 m/sまたは数cm/year)から地震時のすべり速度(数m/s)における、模擬断層の摩擦係数のコンパイル。断層を構成する岩種が異なってもすべり速度が数cm/sより速くなると、摩擦係数が0.6～0.8から0.3以下に減少します。このような高速すべり時における断層の摩擦抵抗の著しい減少(地震断層潤滑現象)が、地震時に起こっていると考えられます。



### ② 地震断層運動時に発生する大量の水素ガス ~地震ガスを食べる地下生態系が存在!?! ~

地震断層運動を実験室で再現し、地震時に断層面から発生する水素ガスの量と地震のマグニチュードの規模との間に強い相関関係があることがわかりました(Hirose et al., 2011 GRL; 2011年11月11日プレスリリース)。この相関関係を用いて、地震時に発生する水素ガスの量を見積もったところ、マグニチュード1以下の小規模な地震でも大量

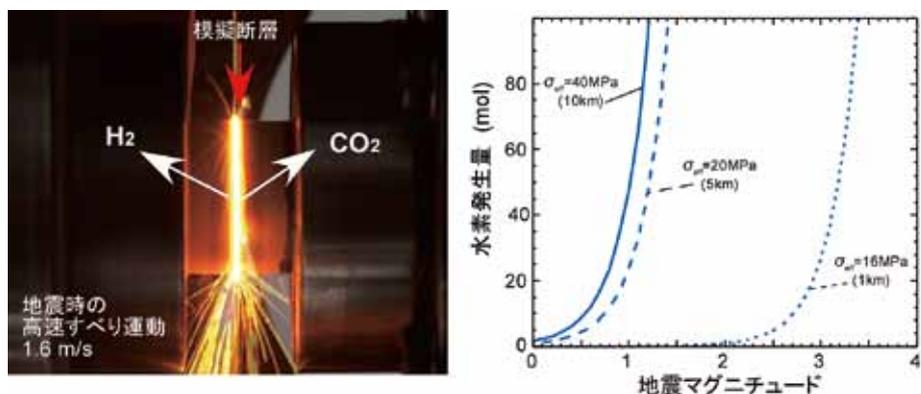


図10 地震時には莫大なエネルギーが地下深部で放出されます。大部分は熱になり、その熱によって化学反応が起こり、様々な種類のガス(水素・二酸化炭素等)が発生します。断層が高速で大きく動くほど、つまり地震のマグニチュードが大きくなるほど水素ガスの総生成量が増えることが明らかとなりました。

の水素ガスが発生し、地震断層帯に生じる水素ガス濃度は水素ガスをエネルギー源とする化学合成生態系を維持するのに十分な数mmol/kg以上に達することが明らかとなりました。このことは、プレート境界周辺など、微小地震が継続的に起こっている環境に、地震活動にエネルギー源を依存した地下・海底下生物圏が存在する可能性を示しています。さらにこの結果は、水素ガスをエネルギー源とする化学合成微生物の一種であるメタン生成菌が地球生命の共通祖先の最有力候補と考えられていることと合わせると、「地震断層活動が起こる環境も始原的生態系が存在しうる場である」という新しい可能性を提示するものです。これは始原的地球環境のみでなく、地球外の岩石型惑星での生命の存在可能性を考える上でも重要な知見です。

### ③ 断層コアと周辺母岩の流体移動特性および熱圧化 (Thermal Pressurization) 現象

流体の断層すべり挙動への寄与を明らかにするために、断層内部の流体を保持および制御した環境で地震時の断層すべり挙動を再現できる装置の開発を行いました。本装置を用いて台湾チェルンプ断層のすべり面近傍(図8)で確認された熱圧化現象に起因する「熱水-岩石反応」を検証・再現することに成功しました(Tanikawa et al., 2015, GRL)。現在、本装置を用いて、圧熱化過程そのものの検証を進めています。また、圧熱化過程は断層帯の透水性のダイナミックな変動が鍵を握りますが、これまで検証されていませんでした。そこで、断層模擬試料を用いた実験により、断層物質の透水性のダイナミックな変動を考察しました。その結果、高速断層運動に伴う透水性の変化は、母岩の浸透率、すべり速度、および生成磨耗物質(ガウジ)の分布に大きく依存することが明らかとなりました(Tanikawa et al., 2012, JSG; Tanikawa et al., 2014, Geofluids)。本結果から、南海トラフ巨大地震断層は地震すべりとともに透水性が増加することが推測されました。



図11 断層物質の含水・圧力条件をより地下深部環境下に再現できる流体制御型中高速摩擦試験機

### ④ コア試料の非弾性ひずみ回復法 (ASR法) による応力測定

地下深部の現在応力状態を測定するためには、掘削でしかアクセスできないことから、沈み込み帯の応力分布に関して、多くの場合数値シミュレーションに頼らざるを得ないのが現状です。今回、掘削コア試料の応力解放に伴う非弾性ひずみの回復を測定することによる応力測定の技術を高度化し、海洋科学掘削プロジェクトへの適用に初めて成功しました(Lin et al., 2006 Tectonophysics; Byrne et al., 2009 GRL)。掘削船上で採取直後のコア試料にひずみゲージを貼付して、応力解放後の非弾性ひずみ回復(基本的に自由膨張)を測定して、応力を決定する手法です。一例として、南海トラフ掘削のASR法による三次元応力場の測定結果があり、孔内換層による二次元応力場や構造解析による



図12 非弾性ひずみ回復量測定に用いた海底下912mから採取された掘削コア試料および試料表面に貼付した測定センサー(ひずみゲージ)。

過去の応力場とよく一致しているほか、得られた伸張場(最大主応力が鉛直方向である)の結果は、掘削孔付近の反射波構造調査の結果とも整合しました。

### ⑤ コア試料の高圧環境下での熱物性測定

「ちきゅう」によるライザー大深度掘削で採取されるコア試料は、高圧環境下であったため、その物性測定は原位置の高圧条件を考慮する必要があります。そのため、最高100MPa(深度約5kmの圧力相当)までの封圧下における熱伝導率の装置を開発して、運用を始めました。南海トラフ掘削のコアを含めて、各種岩石コア試料の高圧下の測定を行った結果、熱伝導率は圧力の増加に伴い上昇することが明らかとなりました(Lin et al., 2011 G3)。深度条件によっては、コア試料を用いて原位置の熱物性を評価する場合、この圧力効果は無視できません。

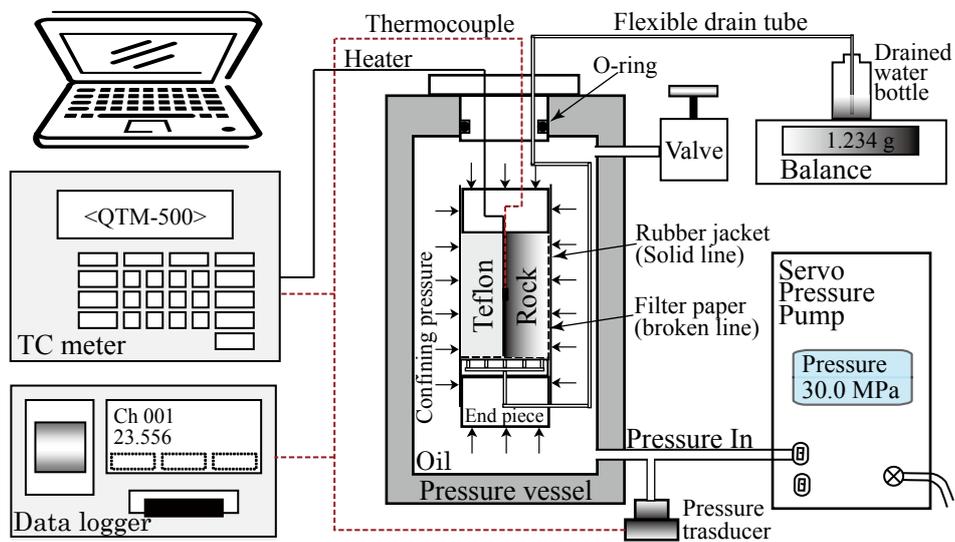


図13 新規開発した高圧下における熱伝導率の測定システム

## 2. 地球深部生命研究グループ

Geomicrobiology Group

地球上のあらゆる生態系において、地下圏に生息する微生物は有機物の一次生産や最終分解あるいは物質・エネルギー変換の担い手として重要な役割を果たしています。自然環境中に生息する多様な微生物群集は、過去約40億年にわたる地球と生命の共進化プロセスによって構築されてきた極めて合理的な生態系機能や物質循環における役割を持つと同時に、ダイナミックな地球環境の変化に対して適応・進化する流動的な側面を併せ持っています。しかし、約40億年の地球と生命の共進化において、進化プロセスの駆動力となる地球内部のエネルギーと生命の起源との連動および多様化する生態系機能との関連性は未だ明らかではなく、宇宙における拡張エネルギーと暗黒物質との相関に匹敵する人類最大の科学的命題の一つとなっています。現在から約30億年前、地球表層の生態系は、持続的に降り注ぐ太陽光のエネルギーから生命活動に必要なエネルギーに変換する光合成代謝機能を獲得しました。その後、地球

表層の爆発的な光合成による酸素の発生と有機物の基礎生産は、地球規模の酸化還元状態や元素循環に大きな変化をもたらし、単細胞・多細胞生物の劇的な進化を促したと考えられています。一方、近年の海洋科学掘削を通じた調査により、深海底の堆積物や海洋地殻に、地球表層生命圏を遥かに上回る空間規模の「海底下生命圏」が存在することが明らかになりました(図1)。海底下生命圏は、太陽光が届かない暗黒の世界ですが、海水や地球内部(マグマ)から地質学的時間スケールで供給される有機・無機エネルギー基質に依存する微生物から構成される「第三の生命圏」と位置づけられます。海底下における微生物の生態や進化は、海洋と地球内部をつなぐ水・元素循環や断層・プレート活動などの地質ダイナミクスと密接な関わりがある可能性があります(図2)。

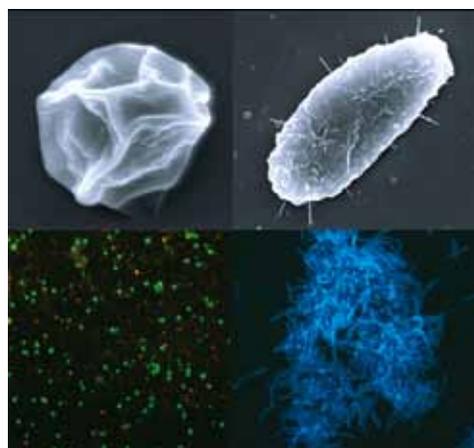


図1 深海底堆積物に生息する微生物

海洋掘削科学を通じて、地球における最後の生命圏フロンティアとも言われる海底下生命圏の実態を包括的に解明すべく、海洋研究開発機構は、平成18年4月1日に高知コア研究所に地下生命圏研究グループを発足させました。その後、文部科学省および日本学術振興会による最先端研究基盤事業や最先端次世代・若手研究者支援プログラム等を経て、平成24年4月1日より地球深部生命研究グループに改組されました。高知コア研究所発足以降、統合国際深海掘削計画(IODP)における二つの掘削調査の国際プロジェクトを主導的に実施し、英国科学誌ネイチャーや米国科学誌サイエンスなどで研究成果や研究指針に関する論文を発表するなど、海洋掘削科学における生命科学分野を世界的に牽引する中核的研究拠点としての役割を果たしています。

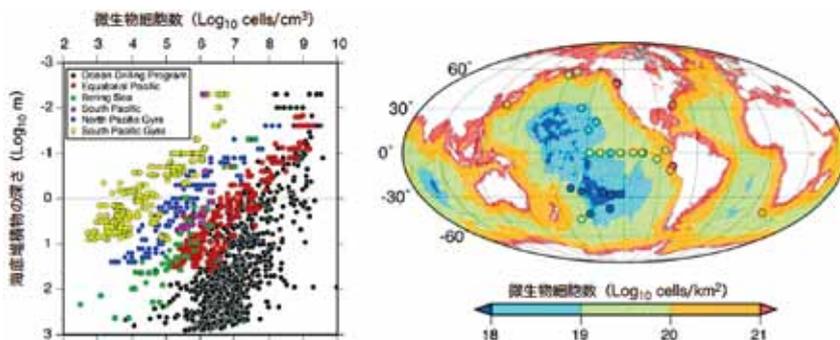


図2 地球の生命圏と炭素循環の相関図。地球表層の生命圏と地球内部の生命圏は密接な関係があるが、炭素循環の速度には大きな違いがある。

## 1. 世界最高峰の地下生命分析手法の研究開発

地球は、その表層の約7割が海洋で覆われています。その海底下に広がる「海底下生命圏」の圧倒的な空間規模は、陸域や海洋などの地球表層生命圏を遥かに上回ることが推測されます(図3)。しかし、その正確なバイオマスや生命圏の規模と限界に関する知見は限られていました。その科学的疑問を解決するには、(1)海洋科学掘削のプラットフォームが持つ掘削能力および高品質なサンプル採取能力の一次的問題と、(2)掘削により採取されたコア試料に含まれる微生物細胞の客観的かつ高精度な評価に係る分析技術の二次的問題に係る、いくつかの障壁をクリアする必要があります。前者は、ライザー掘削システムを搭載する「ちきゅう」を海洋掘削科学に適用することにより、ノンライザー掘削船では到達できない大深度地下圏や炭化水素胚胎環境における生命科学分析用のコア試料を採取することで大きく改善されますが、生命圏の限界域もしくは非生命生息空間の分析を可能とする高品質な生命科学用コア試料の採取や外部汚染(コンタミネーション)の抑制と評価が課題として残っています。後者は、大深度の生命圏フロンティアから採取されるコア試料に含まれる僅かな現場生命シグナルを検知し、微生物細胞が持つ核酸などの生体高分子や代謝機能を明らかにするために、従来にはない独自の分析手法を確立する必要があります。

図3 海底堆積物に生息する微生物のバイオマス分布。表層海水中有機物基礎生産量と海底堆積物中の微生物バイオマスの分布には正の相関があり、地球表層生命圏と地球内部生命圏はリンクしていることがわかる。一般的に、深度が深くなるにつれて対数的に細胞数が減少する傾向があるが、その限界深度や生命生息可能条件については不明な点が多い。



グループが発足した当時、堆積物中に生息する微生物細胞は、アクリジンオレンジ蛍光色素で染色したのち、蛍光顕微鏡を用いた直接計数法によって評価されていました。同直接係数法は、蛍光色素で染色された微生物細胞と自家蛍光を持つ非生物鉱物粒子を肉眼で区別する特別なトレーニングが必要とされ、データの精度や客観性、再現性などに問題がありました。さらに、同手法の限界定量値が堆積物1cm<sup>3</sup>あたり約10<sup>5</sup>細胞と高く、生命圏の限界域に近い

低バイオマスのコア試料を評価することは技術的に困難でした。そこで、地球深部生命研究グループは、堆積物からの効率的に微生物細胞を剥離・分取し、生命特異的な蛍光シグナルを客観的に検出・定量するための分析手法の研究開発を実施しました。まず、二重螺旋DNAに特異的に吸着する高濃度の蛍光試薬SYBR Green Iを用いて微生物細胞を染色し、細胞に由来する蛍光スペクトル波長のパターンと鉱物などの非生物由来のパターンの違いをコンピューターによるイメージ画像解析で認識することで、肉眼に依存しない客観的な生命シグナルを検出・定量する手法開発に成功しました(Morono et al., 2009)。さらに、蛍光顕微鏡にスライドローダーと画像解析のマクロプログラムを組み合わせ、複数スライドの広域蛍光イメージ画像を自動で採取し細胞係数を行うロボットシステムを構築しました(Morono and Inagaki, 2010)。さらに、堆積物スラリーの多重密度勾配遠心分離を用いて高効率で微生物細胞を鉱物粒子から剥離し、フローサイトメトリーを用いて微生物細胞数の計測を行う分析プロトコルを確立しました(Morono et al., 2013)。本手法は、フローサイトメトリーの代わりに高感度セルソーターを用いることで低バイオマス試料中の微生物細胞を選択的に非生物粒子から分取・濃縮することが可能であり、従来法では分析不可能であった生命圏の限界域に相当する低バイオマス試料の評価や、単一細胞レベルの元素・同位体組成分析およびシングルセルゲノム分析などに新境地を拓きました。現在、高知コア研究所における外部汚染を遮断したクリーンブースやクリーンルームで細胞係数に係る実験を行うことにより、統計学的に優位な細胞係数の下限値は堆積物1cm<sup>3</sup>あたり6.2細胞を達成しています。この値は、高知コア研究所発足当時のアクリジンオレンジ蛍光染色を用いた直接係数法の検出限界値に比べて、約10万倍に近い革新的な分析精度の向上を意味しています。

自然環境における微生物の多様性や生態学的な機能や進化を理解する上で、環境ゲノムを用いた分子生物学的分析アプローチがあります。掘削コア試料から直接的に環境ゲノムDNAを抽出し、遺伝子解読によりその構造と機能を推定し、微生物群集の系統的多様性や生態系ネットワーク、微生物細胞の持つ代謝機能ポテンシャルや遺伝学的な進化プロセスなどを読み解くアプローチです。掘削コア試料を用いたこれまでの研究によって、海底堆積物に生息する多くの微生物種が、それまでに陸域や海洋などの地球表層環境から分離・培養された微生物と進化系統と離れた未培養微生物であることが明らかにされています。つまり、海底下に生息する微生物の生理・生態や代謝機能の多くは不明であり、海水や陸域といった地球表層環境に生息する生物種とは異なる環境適応・進化プロセスがあることを示唆しています。掘削コア試料から環境ゲノムDNAを抽出するには、未培養で低活性の海底下微生物細胞を効率的に溶菌し、遺伝子解析のためのバイアスの少ない鋳型を調整することが必要です。地球深部生命研究グループでは、一般的に用いられている市販の環境ゲノム抽出キットを用いて海底下微生物細胞の溶菌効率を測定したところ、70%以上の微生物細胞が溶菌せずに残渣に残されていることが判明しました。これは、海底下の微生物の多様性や生態系機能を正確に理解する上で、多くの遺伝学的情報が欠落し、正確な評価が困難であることを示しています。これらの問題を解決するために、同グループでは熱・アルカリ処理を施した新規の環境ゲノムDNA抽出法を開発し、全体の約80-90%の細胞を溶菌させることに成功しました(Morono et al., 2014)。本手法は、硬い細胞膜を持つアーキアやバクテリアを溶菌することで、バイアスの少ない環境ゲノムDNAを取得するメリットがあるのですが、熱・アルカリ処理によるDNAの断片化や一本鎖化の影響を受けることに難点があり、引き続き抽出手法の改良や複数の抽出プロトコルを適用するなどの対応が求められます。同グループで開発された手法等を用いて抽出・精製された環境ゲノムDNAは、次世代シーケンサーによる網羅的な遺伝子解読とその構造解析が可能となります。地球深部生命研究グループでは、生命を構成する三つの系統ドメイン(生物界)であるバクテリア(真正細菌)・アーキア(古細菌)・ユーカリア(真核生物)の存在量や、硫酸還元やメタン生成などの生物地球化学的な元素循環において重要な役割を果たす代謝機能遺伝子の存在量を測定する新たな手法として、マイクロ流体デバイスを用いたデジタルPCR法を世界で初めて掘削コア試料に適用しました(Hoshino and Inagaki, 2012)。本遺伝子定量システムは、従来の蛍光リアルタイムPCR法に比べて堆積物から抽出されたゲノムDNAに混在するフミン酸などのPCR阻害物質の影響を受けにくく、極微量の鋳型DNA断片の絶対分子量を正確に定量することが可能です。さらに、既存のデータベースに基づき構築

されたPCR 遺伝子増幅用のプライマー配列に依存しない多様性解析手法として、16S rRNA 末端にポリアデニンを付加した逆転写反応を用いた手法開発に成功しています (Hoshino et al., 2013)。

現在、これらの掘削コア試料に特化した独自性の高い生命科学分析手法は、海底下深部の生命圏フロンティアを比類のない分析感度・精度の最先端技術で開拓する強力な研究ツールとなっています(図4)。それらの基盤技術は、地球深部生命研究グループの「新しい分析技術が新しいサイエンスの境地を拓く」ことを念頭においた研究開発活動の一環として位置づけられ、今後もその方針が変わることはないでしょう。



図4 高知コア研究所に整備されたシングルセル分析実験室。クリーンルーム内で、単一細胞からコミュニティレベルの高感度・高精度分析に必要なサンプル処理が行われる。

## 2. 海底下のアーキアワールドの発見

2008年、地球深部生命研究グループはドイツ・ブレーメン大学と共同で、海底堆積物に大量のアーキア(古細菌)が存在することを示す研究成果を英国科学誌ネイチャーに発表しました(Lipp et al., 2008; 2008.7.22プレス発表)。海底下生命圏における三つの系統ドメイン(生物界)の存在比とその空間分布を解明することは、地球内部環境における生命進化や生態系機能を紐解く上で極めて重要です。一方、堆積物や岩石のコア試料に含まれる微生物の定性・定量分析は、ある系統に特異的な細胞や生体高分子(DNAや脂質など)の検出にバイアスが生じる可能性があり、前述のとおり、海底下生命圏に特化した高精度かつ高感度な分析手法の研究開発が不可欠です。2007年に地球深部生命研究グループが発足した当初は、海底下の微生物群集の大部分はバクテリアであり、アーキアは全体の0.1%以下であると考えられてきました。しかし、物理的な細胞破碎による新しい環境DNAの抽出・精製法とスロットブロットハイブリダイゼーションや定量PCRを組み合わせた手法により、2006年に地球深部探査船「ちきゅう」による下北沖慣熟訓練航海CK06-06で採取されたコア試料を含む、世界各地の堆積物コア試料を分析した結果、堆積物に含まれる微生物群集の30~40%がアーキアである結果が得られました。一方、ブレーメン大学のチームは、アーキアの極性脂質とバクテリアの極性脂肪酸を定量し、80%以上の微生物がアーキアであることを示唆しました。この遺伝子解析と極性脂質分析の示すアーキアの存在比率の違いは、アーキアの膜脂質が完全体のまま還元度の高い堆積物に残存しやすい性質を持つことが原因であると判明しました。現在は、両者の分析アプローチは概ね一致する値を示しており、マイクロ流体デバイスとデジタルPCR法を用いた遺伝子定量においても30~40%の値が得られています。いずれにせよ、当時の最新分析技術の適用により、海底下数百メートルまでの大陸沿岸堆積物に、従来考えられてきた量よりも顕著に多いアーキア細胞が存在することが明らかとなりました(図5)。

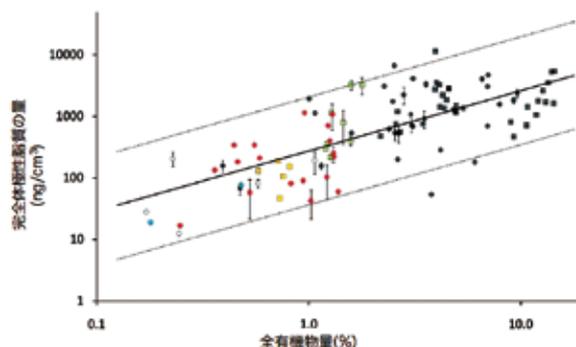


図5 堆積物コア試料に含まれる全有機物量とバイオマスの指標となる完全態極性脂質の量には正の相関がある。これは、海底下の微生物群集が主に埋没した有機物に依存する従属栄養型の微生物生態系であることを示唆している。

一般に、いくつかの例外を除き、バクテリアの細胞膜は脂肪酸二重膜から構成されているのに対して、アーキアの細胞膜は脂質一重膜から構成されています。前者は膜の流動性及び親水性に富み、外界と細胞内の基質輸送を頻繁に行なう高エネルギー代謝に適した構造であるのに対して、後者は膜の流動性が低くより疎水的であり、外界と細胞内の物質移動を押さえる低エネルギー代謝や極限環境の生存に適した構造です。海底下のアーキアは、海水や地層から地質学的時間スケールで供給される極めて少ないエネルギー基質を用いて生存するために有利であり、環境に対して合理的に適応進化した細胞構造を有していると言えます。しかし、海底堆積物に生息するアーキアのほとんどは未培養であり、その具体的な生理・代謝機能や、進化プロセス等の解明は、今後の地球深部生命研究グループの研究展開で明らかにすべき重要な科学目標の一つです。

### 3. 海底下微生物の大部分が「生細胞」であることを世界で初めて証明

海底堆積物中に存在する大量の微生物細胞は、実際に生きているのか死んでいるのか、それとも胞子のように不活性の状態休眠しているのか、といった疑問が未解明のまま残されていました。これらの疑問を解決すべく、地球深部生命研究グループでは、2006年の「ちきゅう」下北沖慣熟訓練航海CK06-06によって青森県八戸沖の海底219メートルの掘削深度から採取された約46万年前の堆積物に、 $^{13}\text{C}$ や $^{15}\text{N}$ の安定同位体元素で標識され

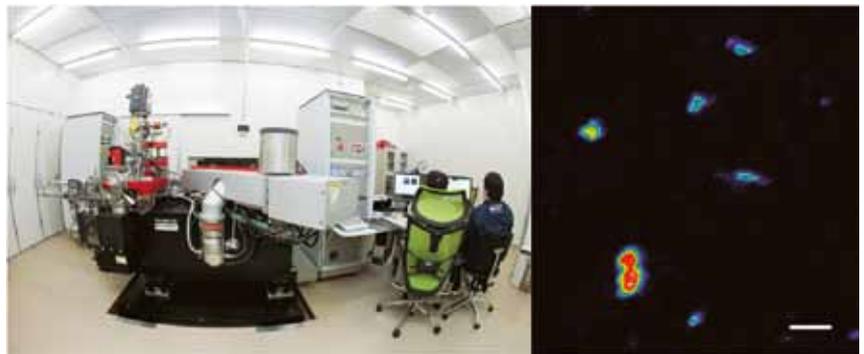


図6 高知コア研究所のクリーンルーム内に設置された超高空間分解能二次イオン質量分析器 (NanoSIMS 50L)。右の写真は、「ちきゅう」により下北沖から採取された海底下約210mの約46万年前の地層から検出された $^{13}\text{C}$ -グルコースを細胞内に取り組んだ微生物のNanoSIMSイメージ画像。海底下深部の微生物細胞が実際に「生細胞」であることが初めて証明された。

た様々な栄養源を添加し、細胞内への安定同位体標識元素の同化(取り込み)速度を、東京大学大気海洋研究所およびフランスのキュリー研究所が所有する超高空間分解能二次イオン質量分析計 (NanoSIMS) を用いて評価しました。NanoSIMSを用いた海底下微生物細胞の質量イメージ分析としては、世界初の試みです。その結果、堆積物中の少なくとも76%の栄養細胞(ここでは、蛍光色素によって細胞内DNAが染色可能な細胞を示します)が基質同化活性を示す「生細胞」であることが証明され、その一細胞当たりの元素同化速度は少なくとも1京分の一グラム炭素以下と極めて低い速度であることが示されました(図6)。添加した栄養源の中でも、グルコース、ピルビン酸、アミノ酸といった高い代謝エネルギーを生む物質を与えた場合にのみ微生物の細胞増殖が確認され、細胞増殖のための代謝エネルギーが取りにくい酢酸や二酸化炭素の場合は、基質は細胞内に取り込まれるものの、細胞数の増加は観察されませんでした。さらに、海底下微生物に添加した窒素( $^{15}\text{N}$ 標識されたアンモニア)の取り込み率が、炭素の取り込み率よりも高い傾向が認められました。この興味深い発見は、極めてエネルギー供給速度の遅い海底下の現場環境において、微生物細胞が窒素の取り込みをコントロールすることにより細胞内エネルギーの消費を節約し、長期間生存のためのエネルギー調節を行っている可能性を示唆しています。本研究の成果は、2011年に米国科学アカデミー紀要(PNAS)に論文として発表され、世界的に高い評価を得られました(Morono et al., 2011; 2011.10.11プレス発表)。

現在は、文部科学省および日本学術振興会による平成22-24年度最先端研究基盤事業「海底下実環境ラボの整備による地球科学—生命科学融合拠点の強化(「ちきゅう」を活用)」(研究代表者:稲垣史生)により高知コア研究所に整備されたNanoSIMS 50Lを用いて、同位体地球化学グループと連携した様々な研究開発を行っています。

## 4. 南太平洋環流域における超低栄養生命圏とスローライフの発見

2002年に行われた史上初の海底下生命圏の解明を目的とした掘削調査 Ocean Drilling Program (ODP) Leg 201航海調査以降、海底下生命圏の研究は主に有機物を多く含む大陸沿岸の堆積物を中心に行われてきました。一方、海水中の基礎生産量が極めて小さく、有機物をほとんど含まない外洋の堆積物環境については、そこに生命が存在するかどうかを含め、生命圏の実態や地球化学的特徴の大部分が未解明な生命圏フロンティアでした。2010年、地球上で最も表層海水の基礎生産量が小さく、最も透明度の高い海域として知られる南太平洋環流域において、米国科学掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」を用いたIODP第329次研究航海「南太平洋環流域生命探査」(共同首席研究者: Steven D'Hondt・稲垣史生)を実施しました。同航海では、南太平洋環流域の中心域を含む7箇所の掘削地点(水深3,740~5,695m、温度1.1℃~10.6℃)で調査を行い、海底表層から玄武岩直上までの全ての堆積物(厚さ最大131m)のコア試料を採取しました。掘削されたコア試料は、船上に回収後直ちに冷蔵実験室に運ばれ、微小電極および光学式酸素センサーを用いた溶存酸素濃度の測定を行うと同時に、間隙水中の化学成分の分析や堆積物の地質学的な特徴等に関する船上分析が行われました。また、外部汚染を受けていないコア中心部から無菌的にサンプルを採取し、地球深部生命研究グループにより開発された高精度・高感度細胞計数法を用いて微生物細胞密度の評価を行いました。

分析の結果、南太平洋環流域内の全ての掘削サイトにおいて、海底表層から約1億2000万年前(白亜紀)に形成された玄武岩直上までの全ての堆積物の間隙水中に、酸素が溶存していることが明らかとなりました(図7)。微生物の活性が高い大陸沿岸の堆積物環境では、海水から供給される酸素は海底下数ミリメートルから数メートルの範囲内で完全に消費され、嫌気・無酸素状態になりますが、南太平洋環流域のような栄養源に乏しい外洋環境においては、堆積物中の微生物の代謝活性が著しく低いために、海水からゆっくりと拡散・浸透する酸素が完全に消費されず、玄武岩にまで到達していることが世界で初めて実証されました。本研究航海により得られたデータを、これまでの科学海洋掘削調査により得られた世界各地の海洋堆積物の堆積速度や酸素濃度等に関するデータと比較・統合することにより、全海洋の最大37%の範囲で、海水から堆積物へと供給された比較的豊富な酸素が、上部玄武岩を含む海洋地殻に供給されていることが示唆されました。さらに、それらの堆積物環境は微生物の栄養源となる有機物の濃度が0.25%~0.002%(検出限界)以下と極めて少量であるにもかかわらず、堆積物1cm<sup>3</sup>あたり約10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup>細胞程度の微生物が表層から基盤岩までの全ての堆積物環境に存在していることが明らかとなりました。堆積物中の酸素濃度の減少分を、堆積物中の微生物のエネルギー代謝(酸素呼吸)により消費される濃度に換算すると、1年間に消費される酸素の量は、堆積物1cm<sup>3</sup>あたり約10<sup>-13</sup>~10<sup>-11</sup>mol程度と超微量であり、微生物1細胞あたりが1年間に呼吸する酸素量は、10<sup>-17</sup>~10<sup>-14</sup>mol程度であると試算されました。これは、南太平洋環流域のような冷たい深海底堆積物に、必要最低限のエネルギーを消費しながら存続する生命が存在する証拠であると同時に、地球の広大な深海底堆積物環境に、地球上で最も代謝活性の低い「超低栄養生命圏」が存在し、外洋の堆積物環境に生命圏の限界(非生命生息環境)が存在しないことを示す発見です。さらに、外洋の広い範囲で、海水から広い範囲で海洋地殻に供給される酸素は、上部玄武岩に豊富に含まれる鉄や硫黄など様々な金属元素の遷移状態や、海洋プレートの沈み込みに伴う上部マントルの酸化、ひいては大気・海洋における酸素濃度の変化など、地球環境に少なからぬ影

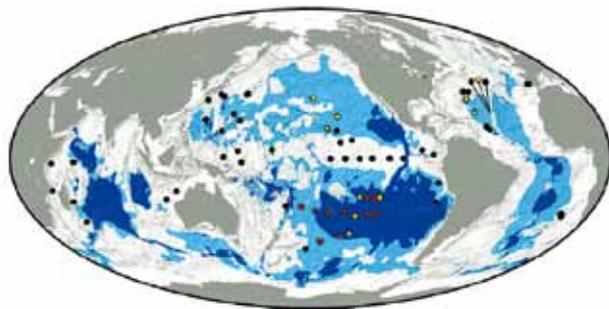


図7 海底表層から玄武岩まで酸素が到達している海域を示す地図。青: 高い確率で酸素が玄武岩まで到達している範囲、水色: 酸素が玄武岩まで到達していると推定される範囲、点: 調査地点。

たデータを、これまでの科学海洋掘削調査により得られた世界各地の海洋堆積物の堆積速度や酸素濃度等に関するデータと比較・統合することにより、全海洋の最大37%の範囲で、海水から堆積物へと供給された比較的豊富な酸素が、上部玄武岩を含む海洋地殻に供給されていることが示唆されました。さらに、それらの堆積物環境は微生物の栄養源となる有機物の濃度が0.25%~0.002%(検出限界)以下と極めて少量であるにもかかわらず、堆積物1cm<sup>3</sup>あたり約10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup>細胞程度の微生物が表層から基盤岩までの全ての堆積物環境に存在していることが明らかとなりました。堆積物中の酸素濃度の減少分を、堆積物中の微生物のエネルギー代謝(酸素呼吸)により消費される濃度に換算すると、1年間に消費される酸素の量は、堆積物1cm<sup>3</sup>あたり約10<sup>-13</sup>~10<sup>-11</sup>mol程度と超微量であり、微生物1細胞あたりが1年間に呼吸する酸素量は、10<sup>-17</sup>~10<sup>-14</sup>mol程度であると試算されました。これは、南太平洋環流域のような冷たい深海底堆積物に、必要最低限のエネルギーを消費しながら存続する生命が存在する証拠であると同時に、地球の広大な深海底堆積物環境に、地球上で最も代謝活性の低い「超低栄養生命圏」が存在し、外洋の堆積物環境に生命圏の限界(非生命生息環境)が存在しないことを示す発見です。さらに、外洋の広い範囲で、海水から広い範囲で海洋地殻に供給される酸素は、上部玄武岩に豊富に含まれる鉄や硫黄など様々な金属元素の遷移状態や、海洋プレートの沈み込みに伴う上部マントルの酸化、ひいては大気・海洋における酸素濃度の変化など、地球環境に少なからぬ影

響を与えている可能性があります。また、そうした作用が堆積物直下の地殻内生命圏(玄武岩などの岩石環境における生命圏)の栄養源となっている可能性も考えられます。本研究の成果は、地球の元素循環と生命圏の関わりを理解する上で極めて重要なマイルストーンであり、2015年に英国科学誌ネイチャー・ジオサイエンスに論文として発表され高い評価を得ています(D'Hondt et al., 2015; 2015.3.13プレス発表)。

## 5. 南海トラフ熊野灘泥火山の微生物生態系と生物地球化学

世界各地のプレート収束帯に点在する海底泥火山は、その堆積学的・地質学的形成プロセスにおいて、海底深部の生命活動を支える水と栄養・エネルギー基質の供給経路と捉えることができます。実際に、泥火山頂部や断層面に沿った冷水湧出域には、海底下深部から運ばれる還元物質と海水に含まれる酸化物質に支えられる特異な化学合成生物と微生物生態系の存在が明らかになっていますが、その深部流路や根源となる泥質流体形成場に生命が存在するかどうかについては不明な点が多いです。

2009年と2012年、私たちの研究グループは南海トラフ熊野灘第五泥火山の山頂から「ちきゅう」によるノンライザーの掘削調査を実施しました(2012年は海底資源研究開発センター地球生命工学グループと共同)。ドリルビットに温度センサー(APCT-3)を設置し、山頂から約200mまでの堆積物温度を測定したところ、地温勾配は0.029°C/mと堆積盆の成層域に比べて有意に低く、山体全体が深層海水によって冷やされているか、もしくは掘削中にメタンハイドレートの部分溶解による吸熱効果が起きていることが示唆されました。堆積物中から微生物細胞を剥離し、イメージ分析による微生物細胞計数を行った結果、山頂から約200mまでの泥火山流路に、約1,000~1万細胞/cm<sup>3</sup>程度の、比較的少ない規模の微生物群集が存在することが明らかとなりました。採取された堆積物コアサンプルの間隙水に含まれるメタン・H<sub>2</sub>O・CO<sub>2</sub>・酢酸の炭素・水素同位体組成の測定結果や、放射性トレーサー基質を用いた微生物代謝活性測定の結果は、比較的浅部における水素資化性CO<sub>2</sub>還元型酢酸生成と深部環境における水素資化性CO<sub>2</sub>還元型メタン生成が起きていることを示唆しました。さらに、最先端研究基盤事業により「ちきゅう」に搭載された新型の保圧コア採取システム(Hybrid-PCS)(Kubo et al., 2014; 2012.7.9プレス発表)を用いて、深度6mと60mから保圧コア試料を採取し、間隙水に含まれるメタンのクランプト同位体組成(<sup>13</sup>CH<sub>3</sub>D)をマサチューセッツ工科大学にて測定したところ、微生物起源を強く示唆するメタン生成温度指標が得られました。さらに、脂質バイオマーカーや16S rRNA遺伝子による分類・多様性解析および微生物代謝反応に必要な熱エネルギー収支の熱力学的計算結果を統合的に解釈すると、泥火山流路に複数タイプの微生物生態系の存在が示唆されると同時に、その生態系を支える水・エネルギー供給経路として、堆積盆を含む南海トラフ付加体構造に特異的な堆積物続成プロセス(例えば、60°C~150°C付近のスメクタイトーイライト反応による脱水やミネラルリーチング)や大深度の断層活動に連動する流体・ガス成分のインプットなど、プレート沈み込み帯における地質学的特徴と動態が大きく関与していることが明らかになりつつあります(Ijiri et al., in prep.)。さらに、同掘削調査により得られたコア試料に含まれるリチウムの同位体比(<sup>7</sup>Li/<sup>6</sup>Li比)から、下部堆積盆~上部付加体にかけての粘土鉱物の脱水作用以外にも、南海トラフ巨大地震の震源域に相当する210°C~310°C付近(推定海底下15km)の温度履歴を持つ水が含まれていることが明らかとなりました(Nishio et al., 2015; 2015.2.10プレス発表)。

## 6. 下北沖石炭層生命圏掘削による生命圏の限界と「海底下の森」の発見

大陸沿岸域の海底堆積物に含まれる微生物細胞数は、一般的に深さが増すにつれて対数的に減少する傾向が知られています。これまでに、ニュージーランド沖で掘削された1,922mまでの堆積物サンプルから微生物の存在を示唆するデータが報告されています。我々は南太平洋還流域の掘削調査によって、地球の海洋の最大37%の海底下が好

気的生命圏であることを示しました。これは、主に大陸沿岸域に位置する残りの67%の海底下生命圏が、有機物を主な栄養・エネルギー源とする嫌気的生命圏であることを示しています。しかし、沿岸海域の海底堆積物環境における嫌気的生命圏の深度限界や生命生息可能条件、微生物が炭素循環や資源エネルギー形成プロセスに果たす役割などの科学的疑問は、ライザー掘削システムを搭載する「ちきゅう」以外では解決することが不可能な命題でした。

我々は、地球深部生命研究グループのフラッグシッププロジェクトとして、2012年に青森県八戸市沖約80kmの地点(サイトC0020: 水深1,180m)にて「ちきゅう」のライザー掘削によるIODP第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」(共同首席研究者: 稲垣史生・Kai-Uwe Hinrichs)を実施しました(図8)。本IODP研究航海は、高知コア研究所の最先端研究基盤事業の一環として世界初のComplementary Project Proposal (CPP)として採択され、2011年の東日本大震災による延期を経て、2012年7月から9月にかけて実現したプロジェクトです。同掘削航海により、当時の海洋科学掘削における世界最高到達深度記録を更新する海底下2,466mまでのコア試料や地層流体・ガス試料の採取に成功しました(2012.7.12, 2012.9.6,10,27プレス発表)。「ちきゅう」船上の堆積学的分析などにより、海底下約1.5~2.5kmの深度範囲に過去2000万年以上前(新第三紀中新世~古第三紀漸新世)に浅海~湖沼環境で形成されたと推察される17の石炭層(厚さ0.3~7.3mの褐炭と呼ばれる未熟性の石炭)が確認されました。これは、北海道南部~東北地方太平洋側の沿岸環境が、かつて植物の生い茂る「森」や「湿地」であったことを示しています。また、温度センサーを用いた孔内計測によって、掘削孔の最深部2,466m地点での現場温度は約60°Cであり、採取された地層サンプルは生命(微生物)が生息可能な温度の範囲内であることが示されました。

地球深部生命研究グループを中心とする国際研究者チームは、ドイツ・ブレーメン大学や米国J. Craig Venter Institute(JCVI)と共同で、同研究航海により得られたサンプルから現場固有の生命シグナルを抽出し、海底下深部の生命圏の限界と微生物生態系の実態解明を目指した最先端の地球科学—生命科学融合研究を行いました。本研究結果は、米国科学誌サイエンスに掲載され、世界的に高い評価を得ました(Inagaki et al., 2015; 2015.7.24プレス発表)。

まず、「ちきゅう」船上に整備されているX線CTスキャナーによって選別された高品質な微生物分析用コアサンプルを採取し、高知コア研究所において、堆積物中に含まれる微生物細胞を鉱物などから剥離・濃縮し、SYBR Green I蛍光色素で染色された微生物細胞の数を蛍光イメージ画像等により計測した結果、大陸沿岸の堆積物に生息する微生物細胞数の世界平均を遥かに下回る極微量の微生物細胞(1cm<sup>3</sup>当たり100細胞以下)が存在していることが明らかとなりました。本結果は、海洋科学掘削により世界で初めて海底下深部生命圏の限界域を捉えたことを示しています。また、微生物にとっての栄養源となる海底下1.9~2.0kmと2.4km付近の石炭層には、1cm<sup>3</sup>あたり1万細胞程度にまで微生物細胞数が増加していること認められました(図9)。「ちきゅう」のライザー掘削によって地層から船上に運ばれてくるマッドガスや、掘削孔内から採取された地層流体(地下水)に含まれるガスの化学成分(C1/C2: メタンとエタンの比率)およびメタン・二酸化炭素の炭素・水素同位体組成を分析した結果、2000年以上前に形成された海底下

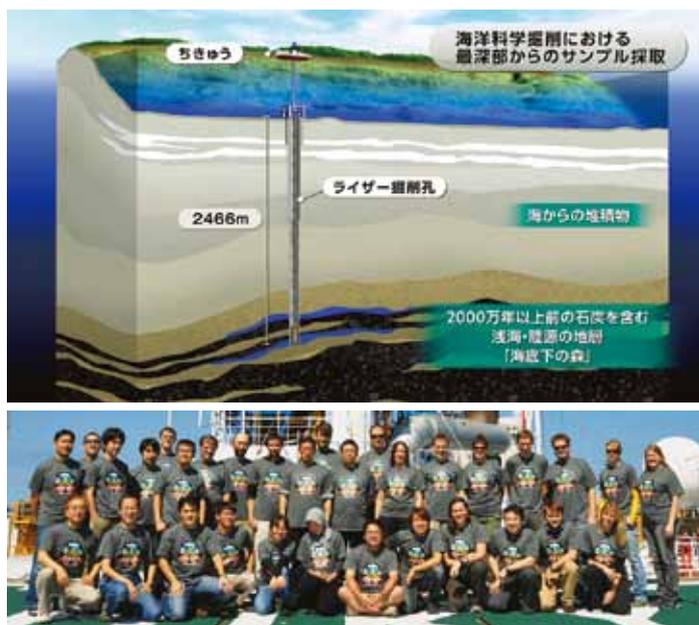


図8 地球深部探査船「ちきゅう」による統合国際深海掘削計画 (IODP) 第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」プロジェクトの概念図と国際チームの乗船研究者一同。

約2.5kmまでの地層においてもなお、現場の微生物の代謝活動による天然ガス生産が進行しており、その末端反応を担う微生物は、水素をエネルギー源とした二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)還元型のメタン生成菌であることが示唆されました(図10)。さらに、それらの堆積物コアサンプルから、生物地球化学研究分野との協働によって、メタン生成菌の生細胞の存在を示すF430バイオマーカーの検出・定量に成功しました。

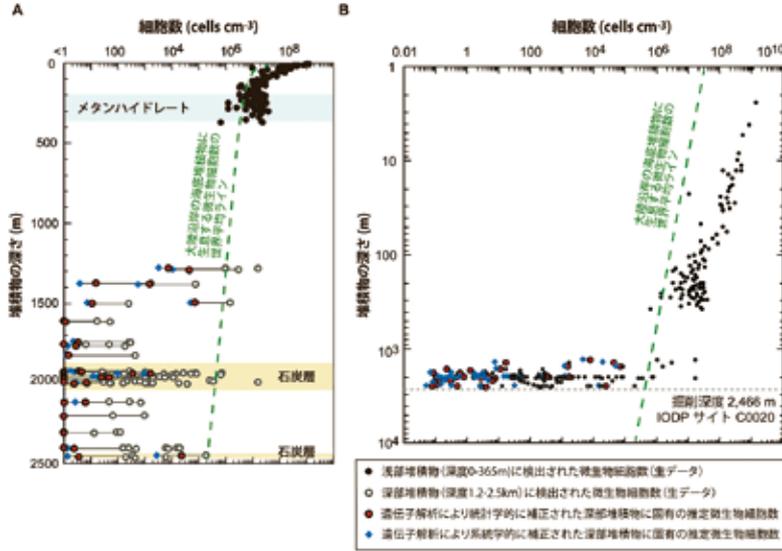


図9 IODPサイトC0020から採取された堆積物コアサンプルに含まれる微生物細胞数。(A) 深度をリニア軸に微生物細胞数をプロットしたプロファイル。(B) 深度を対数軸に微生物細胞数をプロットしたプロファイル。同サイトの海底表層から365mまでの海洋性堆積物のコアサンプルは、2006年に実施された「ちぎゅう」の慣熟航海CK06-06によって採取された。IODP第337次研究航海によって海底下深部から採取されたライザー掘削のコアサンプルに含まれる細胞数は、イメージ分析による直接細胞計数の値に加えて、堆積物サンプルと掘削泥水や実験室内の空気・試薬などの汚染の可能性のあるサンプルから検出された細菌の16S rRNA 遺伝子について網羅的に遺伝子解読を行い、その統計学的分析や系統学的分析により現場固有の推定微生物細胞数を試算した。IODPサイトC0020の堆積物に含まれる微生物細胞の量は、世界各地の大陸沿岸の海底堆積物に生息する微生物細胞の世界平均に比べると、海底表層から海底下365mまでの浅部堆積物には世界平均を上回る高濃度の微生物細胞が存在する一方、海底下約1.2~2.5kmの深部堆積物では細胞数が大幅に世界平均を下まわっており、海底下生命圏の限界域に到達したことを示唆している。

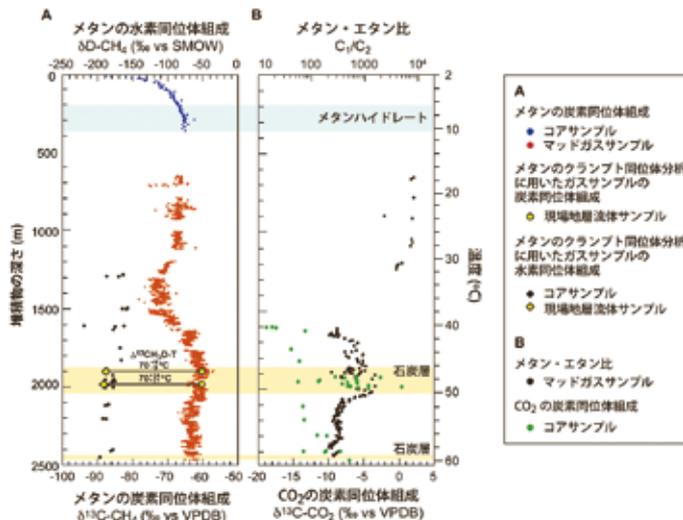


図10 IODPサイトC0020のガス成分組成と同位体組成の深度プロファイル。(A) メタンの炭素・水素同位体組成とクランプト同位体(<sup>13</sup>CH<sub>3</sub>D)によるメタン生成温度の推定分析に用いた地層流体サンプルのメタンの炭素・水素同位体組成。(B) マッドガス成分の化学組成(C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>比)と堆積物コアサンプルに含まれるCO<sub>2</sub>の炭素同位体組成。海底下約2.5kmの大深度においてもなお、石炭などの有機物を栄養源とする微生物生態系の最終分解プロセスとして、現場に生息するメタン菌のCO<sub>2</sub>還元によるメタン生産が起きていることを示している。

また、同掘削地点の浅部堆積物に生息する微生物の培養に実績のある下降流懸垂型スポンジリアクター (Imachi et al., 2011; 2011.6.9プレス発表) を用いて、海底下約2kmの石炭層に生息する微生物群集の培養を現場温度に近い約40°Cの嫌気(無酸素)条件で試みた結果、メタノバクテリウム属に近縁なメタン生成菌を含む、世界最深部の海底下微生物群集の培養に成功しました。リアクターにより培養された微生物細胞を含む培養液を採取し、安定同位体炭素( $^{13}\text{C}$ )で標識された $\text{CO}_2$ を添加し、高知コア研究所に整備されたNanoSIMSを用いて細胞の同位体元素組成イメージを分析した結果、実際に $\text{CO}_2$ を細胞内に取り込んでいる微生物細胞(メタノバクテリウム属のメタン菌など)の生育が確認されました。これらの微生物学的な結果は、ガスの同位体地球化学分析やF430バイオマーカーの分析から得られた結果と同様に、海底下約2.5kmまでの堆積物環境に、石炭層の熟成プロセスや天然ガスの形成プロセスに関与する微生物生態系が存在することを示す直接的な証拠であり、過去2000万年間もの間に埋没した世界最深部の生物地球化学的プロセスを見事に実験室内に再現した研究成果です(図11)。

海底下深部の「生命圏の限界域」に生息する低濃度の微生物群集について、その種類や多様性を評価するため、堆積物コアサンプルから直接DNAを抽出し、系統学的な分類指標となる16S rRNA 遺伝子の増幅および次世代シーケンサーを用いた網羅的な塩基配列の解読を行いました。さらに、外部汚染(コンタミネーション)の影響のない現場固有の微生物種を評価するため、ライザー掘削に用いる泥水や実験室内の空気・水などに由来する16S rRNA 遺伝子の増幅産物についても網羅的な塩基配列の解読を行い、JCVIとの共同研究による統計学的手法によって比較群集構造解析を行いました。その結果、海底下365mまでの海洋性堆積物から得られたコアサンプルからは、これまでの大 陸沿岸の海底堆積物から検出されている一般的なバクテリア(例えば、クロロフレキシ門やアトリバクテリア門などに属するバクテリア)が優占的に検出された一方で、石炭層を含む海底下1.2~2.5kmまでの深部地層からは、それらのバクテリアはほとんど検出されず、陸域の森林土壌などに広く分布する固有のバクテリア(例えば、アクチノバクテリア門、プロテオバクテリア門、ファーミキューテス門やアッシドバクテリア門などに属するバクテリア)が多く検出されました(図12)。これらの遺伝子解析の結果は、過去2000年以上前の当時、「森」や「湿原」であった大陸縁辺の環境が、日本列島の形成に伴い、地質学的な時間を経て海底下深部に埋没してもなお、当時の森林土壌に由来する陸源性の微生物生態系の一部を保持し、依然として有機物を分解してメタンを作り出す「海底下の森」としての役割を果たしていることを示唆しています。

海底下約2.5kmの地層温度は約60°Cであり、自然環境中の微生物が生息可能な温度範囲内であるにもかかわらず、なぜ生命圏の限界域に相当するような極度な微生物量の低下が起きているのでしょうか? 海底下の堆積物環境は、一般的に深くなるにつれ古い地層から構成され、温度が上昇します。一方、核酸(DNAやRNAなど)やタンパク質を構成するアミノ酸などの生体高分子は、温度が増すにつれ急激に損傷率が高くなる傾向があります。本研究で調査された掘削サイトでは、深度が増すにつれて温度が上昇し、海底下約1.5km付近から生体高分子の損傷率が急速に高くなる傾向が認められると同時に、極度に細胞数が低下していることが示されました(図13)。これは即ち、海底下生命圏において、堆積物中に埋もれた微生物が生息、あるいは生体高分子の損傷を修復しながら存続していくためには、細胞内の酵素を機能させるための水やエネルギー基質の持続的な供給が不可欠ですが、それが十分ではないことを

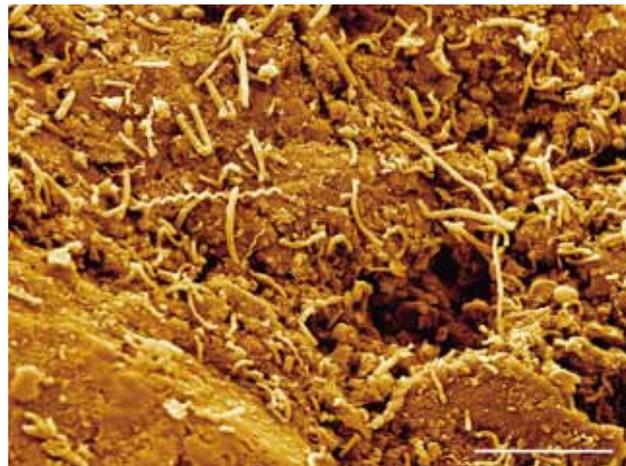


図11 海底下約2kmの石炭層のコアサンプルから、バイオリアクターを用いて培養された世界最深の海底下微生物群集の走査型電子顕微鏡写真。石炭に膨大な数の微生物が付着し増殖している様子がわかる。右下のスケールは5 $\mu\text{m}$ 。

意味しています。また、温度が高い海底下深部の堆積物環境に適応した新しい微生物群集(例えば、好熱性のバクテリアなど)が繁茂せず、堆積当時の陸源性の微生物生態系の一部が保持されていたことから、下北八戸沖の石炭層を含む深部堆積環境は、微生物生態系を支えるために必要な水やエネルギー基質の持続的な供給が限られているだけでなく、外部からの環境適応可能な微生物種の混入が閉ざされた静的でドライな環境であることが原因であると考えられます。これは、陸域や海底下を含むあらゆる地球内部環境において、たとえ生命生息のためのいくつかの環境条件がそろっていても、必ずしもそこに生命が繁茂・存続できるわけではないことを示しています。

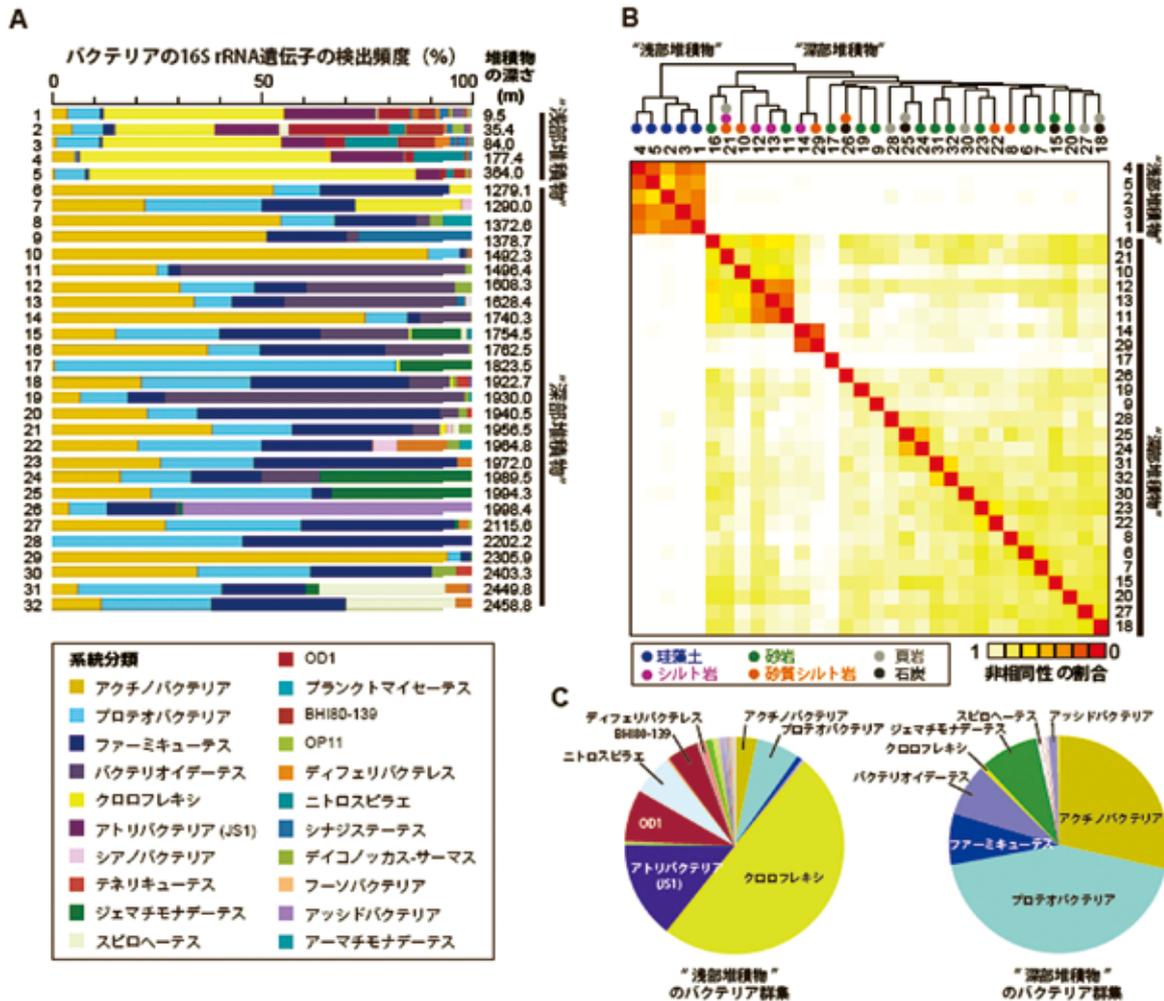
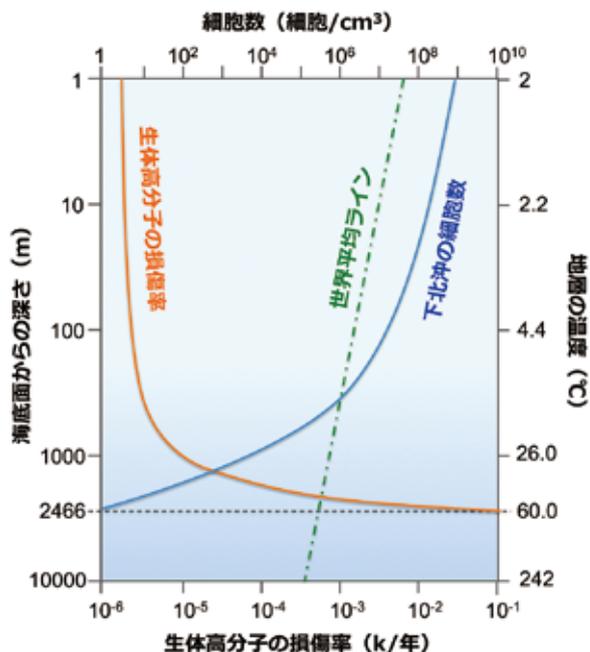


図12 下北八戸沖の掘削サイトC0020の海底堆積物に生息すると推察されるバクテリアの多様性解析。(A)各深度の堆積物サンプルから検出された固有のバクテリアの16S rRNA遺伝子に基づく系統分類学的多様性を示すプロファイル。(B) (A) で用いた16S rRNA遺伝子に基づく微生物群集構造のクラスター解析と非相同性解析。(C) “浅部堆積物”(0-365m)と“深部堆積物”(1.2-2.5km)の微生物群集組成の違い。海底下数百mまでの海洋性堆積物のコアサンプル(“浅部堆積物”)には、有機物に富む大陸沿岸の堆積物に一般的に検出される微生物種(例えば、クロロフレキシ門やアトリバクテリア門などに属するバクテリア)が優占しているのに対して、石炭層を含む浅海~湿地・湖沼性の“深部堆積物”のコアサンプルには海洋性堆積物に生息するバクテリアがほとんど検出されず、塩濃度の低い陸域の森林土壌などに広く分布する微生物種(例えば、アクチノバクテリア門、プロテオバクテリア門、ファーミキューテス門やアッシドバクテリア門などに属するバクテリア)が優占的に検出され、浅部堆積物の微生物群集とは明らかに異なる固有の微生物が生息していることがわかる。

図13 「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」プロジェクトで確認された地層中の微生物細胞の濃度プロファイル(青線)と世界平均ライン(緑破線)、生体高分子の損傷率のプロファイル(オレンジ線)を示した概略図。もし環境中に、生体高分子の損傷を修復し新しい生合成代謝を支えるための水とエネルギー基質の供給が十分にあるような地質学的条件であれば、細胞数の急激な低下は起こらずに、生命圏はさらに深部まで拡大する可能性がある。



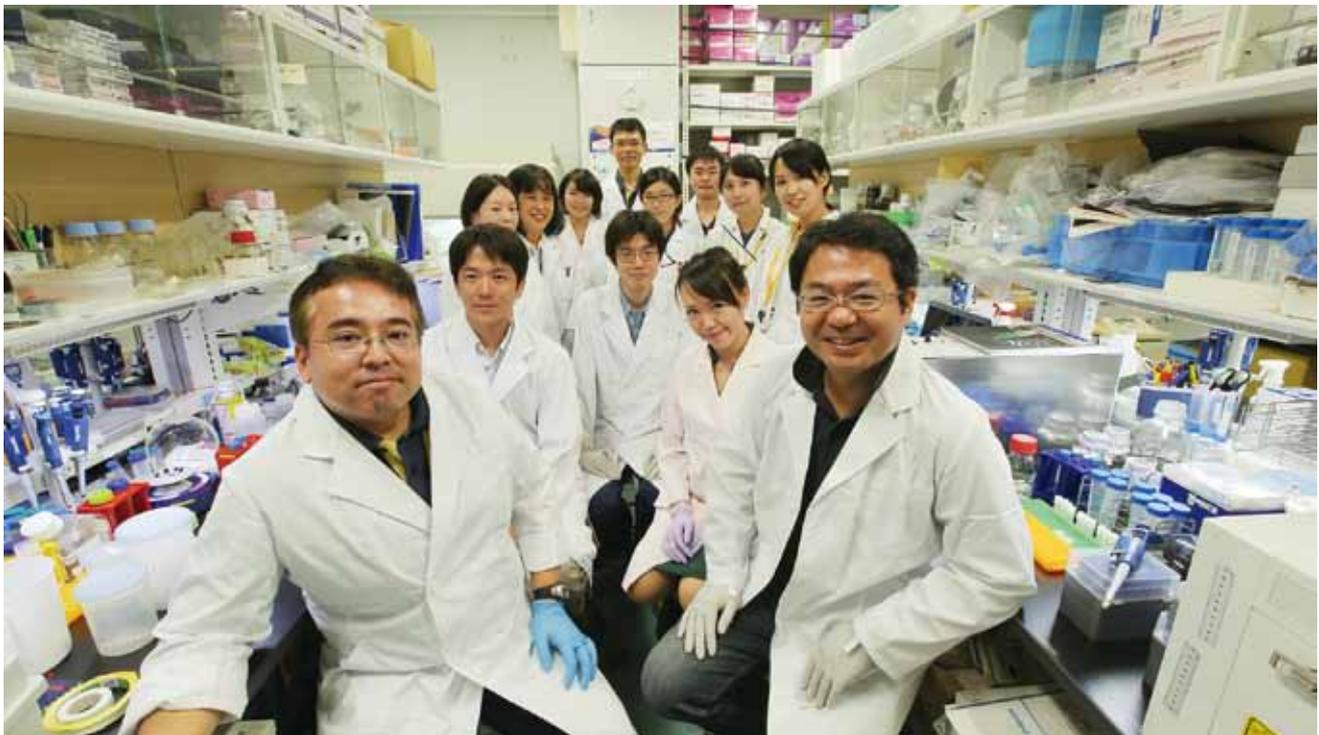
## 今後の研究展開

過去約10年の高知コア研究所と地球深部生命研究グループの歩んできた道のりは、IODPにおける海底下生命圏フロンティアへの挑戦と理解に大きく貢献してきました。「ちきゅう」を用いた下北八戸沖石炭層生命圏探査における「海底下の森」に関する発見について、米国科学誌サイエンスはトップストーリーの一つとして取り上げました。本研究により、海底下生命圏の限界と生命生息可能条件を規定する環境要因について大きな科学的進展がありました。100℃以下の温度範囲において水・エネルギー基質の供給フラックスが高ければ生命圏の限界には達せず、深部流体に支えられた新しい生命圏の実像が見えてくる可能性があります。過去から現在そして将来にわたる「変動する地球と生命」の共進化の謎を紐解くためには、地圏と生命圏の接点である物質転換の境界・縁辺域を一つの地球生命回路網として捉え、その反応場の時空間的な挙動メカニズムを理解する必要があります。現在、IODP Leg 190等で地質学的調査が行われ知見が集積している高知県室戸沖の南海トラフ沈み込み帯において、4℃付近の海底面から100℃以上までの温度勾配がある堆積物環境を「ちきゅう」を用いて掘削し、温度上昇によって高まる生命機能維持のためのエネルギー要求性と、デコルマ境界に沿った流体・エネルギー供給のバランスにより規定される生命圏の限界を追究するIODP掘削調査プロジェクトを計画しています。グラスファイバーケーシングによる最新の地球生命科学オブザーバトリーを完成させ、DONET-2海底観測網と連動することにより、今後さらなる海底下生命圏の限界と地球変動・ダイナミクスとのリンケージが解明されるでしょう。その国際プロジェクトにおいて、掘削調査エリアに拠点を構える高知コア研究所が中核的な役割を果たすことは疑う余地がありません。

2012年、「ちきゅう」の船上でライザー掘削に用いる噴出防止装置(BOP)の整備に時間を要しているところ、今後の研究展望に関する論文を執筆して船上から米国科学誌サイエンスに投稿したところ、航海期間中に受理された経緯があります(Hinrichs and Inagaki, 2012)。それは、掘削コア試料を用いた生命科学により地球全体の海底下生命圏の全体像が次々と明らかにされる一方で、生命圏を構成する細胞一つ一つが果たす役割や機能、適応・進化プロセスの多くは未知であることを指摘したものです。海底下の堆積物環境には、バクテリアやアーキア以外にも、カビなどの真核微生物や、ウイルス様粒子が存在することが明らかとなっています。また、それらの微生物細胞の生理活性状態や細胞周期について不明な部分が多く、通常分子生物学的手法ではその検出・定量が困難な、「ネクロマス」と呼

ばれる内生孢子や休眠細胞のような不活性細胞が膨大に存在する可能性が示唆されています。また、「海底下の森」のような堆積当時の環境に由来する微生物生態系の残存は、それらの時代や環境を反映する微生物を究極のバイオマーカープロキシとして捉え、海底下生命の環境適応機能や進化プロセス、長期生存戦略といった多くの科学的疑問の解明が期待されることです。実際に、海底堆積物から抽出した環境ゲノムDNAの約80%は、陸域や海洋といった地球表層生命圏に由来するゲノムデータベースと相同性を示さない機能未知の遺伝子であり、海底下生命が独自の遺伝子進化を遂げたことを示しています。今後、地球表層の生命圏に比べて環境・エネルギーフラックスが必然的に異なる地球内部の生命進化プロセスの追究によって、ダーウィンの進化論に代表される地球表層の進化プロセスと異なる新たな根本原理の発見につながる可能性があります。

サイエンス誌の記者は、「(地球深部の生命探査は)冥王星に行くようなものだ」と論文掲載と同時期のNASAの探査機「ニューホライズンズ」の話題にたとえ、「(海底下の森の発見は)冥王星でハンバーガーショップをみたような驚き」と解説しています。一方で、日本が世界に誇る地球深部探査船「ちきゅう」は、海底下約7000mまで掘削できる能力を持っています。他方、「ニューホライズンズ」は48億kmの宇宙の旅を無事に終えつつありますが、「ちきゅう」の40億年以上の生命と地球の進化をひも解く旅は、まだ始まったばかりです。



高知コア研究所地球深部生命研究グループ

## 3. 同位体地球化学研究グループ

### Isotope Geochemistry Group

同位体地球化学研究グループでは、掘削コア試料などに記録された化学的な情報を微量元素・同位体分析、あるいは超微細構造観察の手法を用いて読み解き、地球表層～内部の物質循環(流体岩石相互作用・地震断層活動・生物地球化学的過程・マグマ形成過程・岩石鉱物形成過程など)や地球環境変動を解明するための研究を行っています。また、これらの研究目的を達するため、マクロスケールからナノメートルスケールに至る様々な空間分解能での元素・同位体の高精度・極微量分析法および解析法の開発研究を行っています。比類のない高い技術力やそれに基づく分析機器の高度な運用、機器の密接なリンケージなどにより新たな地平を切り拓く研究開発方針は、グループの大きな特徴の1つとなっています。

#### 1. 高精度同位体分析法の開発

高知コア研究所の開所後、まずは実験室と分析機器を立ち上げ、掘削コア試料などを用いた研究の武器となる各種化学分析ルーチンを構築することが必要とされました。主力機器であるマルチコレクターICP質量分析計(MC-ICPMS) Neptune(図1)と表面電離質量分析計(TIMMS) Triton(図2)については、掘削科学コミュニティからの期待も大きく、当初から多様な共同研究の展開を想定して「高精度かつ迅速・簡便」な同位体分析を目指すことを大方針としました。この方針に基づき、試料からの元素の化学分離法(図3)および質量分析法の開発が行われました。

それらの例としては、開所後いち早く行われた鉛同位体比の迅速精密分析法(Tanimizu and Ishikawa, 2006)の開発や、その後のマグネシウム同位体比(Tanimizu, 2008)、アンチモン同位体比(Asaoka et al., 2011; Tanimizu et al., 2011)、銅同位体比(Tanimizu et al., 2007; Takano, Tanimizu et al., 2014)、セリウム同位体比(Nakada, Tanimizu et al., 2013)の精密分析法開発などが挙げられます。

高知コア研究所で特に独自性が高い分析技術としては、流体岩石相互作用の鋭敏なトレーサーとなる軽元素(リチ

ウム、ホウ素)、重元素(ストロンチウム、ネオジウムなど)の高精度安定同位体分析法があります。リチウム同位体比に関しては、Neptuneを用いた高精度分析ルーチン(Nishio et al., 2010)がまず構築された後、さらに試料からのリチウムの化学分離法の刷新と質量分析法の最適化により試料処理の迅速化が図られ、より利便性の高い手法へと成長を遂げつつあります。一方、ホウ素同位体比は、高い有用性が指摘されながら分析の困難さ故に従来有効に活用されてこなかった側面があります。本研究グループではICP質量分析法を用いた岩石中のホウ素含有率の精密定量法(Nagaishi and Ishikawa, 2009)の開発から始め、Tritonを用いたホウ素同位体比分析法の大幅改良により世界最高の測定精度・再現性( $\pm 0.1\%$ )を実現しました(Ishikawa and Nagaishi, 2011)。Neptuneを用いたホウ素同位体比迅速分析法の開発も進行中です。また、汎用性の高いストロンチウム・ネオジウム同位体比分析について、Tritonを用いたダブルスパイク法により、放射起源同位体比のみならず安定同位体比をも超高精度で分析する手法開発が行われています。

こうして開発された各種分析技術は、以下に述べる多様な物質循環研究、地球環境変動研究において縦横に活用されています。

さらに、本研究グループでは、アジレント・テクノロジー、フランス海洋研究所(IFREMER)と共同で、ウラントリウム系非平衡年代測定に必要なウラン236について、他の質量分析法に比べて飛躍的に迅速かつ容易な高精度定量技術を開発しました(Tanimizu et al., 2013:プレスリリース2013.8.5)。新世代のICP質量分析計を用いてイオンの収束能力を高めるとともに、天然に最も多く存在するウラン238の強いイオンビームがウラン236の微小な信号に与える影響を排除し、さらに信号をウラン酸化物イオンとして検出することで、従来問題であったウラン水素化物イオンからの影響を著しく抑制することに成功しました。これは、地球環境変動研究に有用なウラントリウム系非平衡年代測定に新局面をもたらす革新的な技術であり、今後、過去の気候変動のより詳細な解明に役立つことが期待されます。



図1 マルチコレクターICP質量分析計 Neptune



図2 表面電離質量分析計 Triton



図3 クリーンルームにおける化学分離。イオン交換樹脂を用いてホウ素を分離しているところです。

## 2. 炭酸塩を用いた地球環境変動研究の展開

アラゴナイトやカルサイトなどの炭酸塩鉱物はサンゴ・有孔虫・貝などの骨格、あるいは無機的沈殿物として掘削コア試料を含む各種試料に普遍的に含まれ、そこにはそれらが形成された時の様々な環境条件が化学的情報として記録されています。炭酸塩の精密同位体分析に基づく地球環境変動研究は本研究グループの主要な研究テーマの1つです。

海成炭酸塩のストロンチウム同位体比分析は炭酸塩の形成年代を知る有力な方法の1つです。IODP Exp.307において北大西洋・ポーキパイン海盆の深海サンゴマウンドで掘削されたコア試料は、古地磁気や微化石を用いた年代決定手段ではマウンドの成長過程を知るのに十分なデータが得られませんでした。ストロンチウム同位体分析により、270万年前から成長を開始して最大24cm/1000年に達する速度で成長した後、170万年前に一旦成長を休止し、100万年前に成長を再開するという、気候変動と連動した詳細な成長史が初めて明らかとなりました(Kano et al., 2007, 図4)。この手法は付加体に含まれる石灰岩の形成史の研究等にも有効です(たとえば、Kakizaki, Ishikawa et al., 2012)。現在、IODP Exp.337下北八戸沖石炭層生命圏掘削で得られた試料についても地球深部生命研究グループ等と共同で貝化石のストロンチウム同位体分析に基づく堆積物の年代測定を進めています。

本研究グループで開発した鉛同位体比の精密分析法は、サンゴ骨格の分析により、大気エアロゾルの起源・輸送過程に迫る新たな手段を生み出しました。海水中の鉛濃度は極めて低いため、サンゴ骨格に含まれる微量鉛の同位体比は海水ではなく、ほぼ専ら降下エアロゾルの組成を反映します。小笠原のハマサンゴのコア試料から得られた約100年間の年輪について鉛同位体分析を行ったところ、エアロゾル経路で北太平洋海域に供給された鉛の同位体比が少なくとも19世紀末以降、化石燃料の使用など陸域における人間活動の影響を受け始め、1980年代以降は中国から飛来した化石燃料起源のエアロゾルの増大を鋭敏に反映し変動したという新しい知見が得られました(Inoue and Tanimizu, 2008, 図5)。

また、海成炭酸塩のホウ素同位体比は海水のpHの鋭敏な指標となることが知られています。本研究グループでは、IODP Exp.310においてタヒチで掘削されたハマサンゴコア試料のホウ素同位体分析を行いました(図6)。世界最高レベルの精度のホウ素同位体比分析法を用いることで詳細なpH変動の解析が可能となり、最終退氷期(約19,000年前から11,000年前)にタヒチ海域の海水が2回に亘って顕著に酸性化

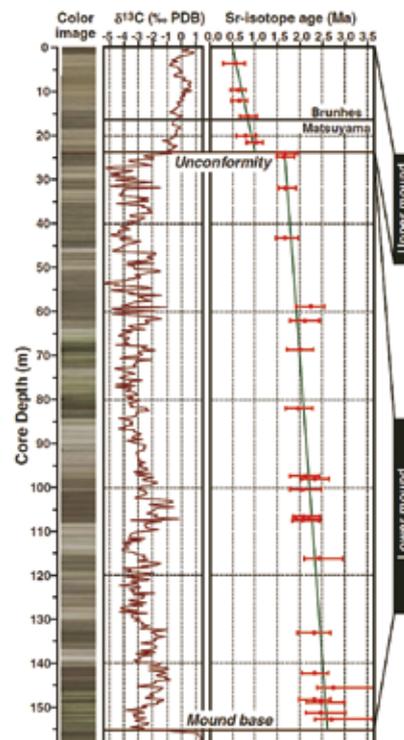


図4 IODP Exp.307における深海サンゴマウンドのストロンチウム同位体層序(右)。縦軸がコア試料を採取した深度、横軸が年代で、直線の傾きが深海サンゴの成長速度を表しています。成長速度の異なる2つのステージがあり、その間で成長の休止があったことが分かります。

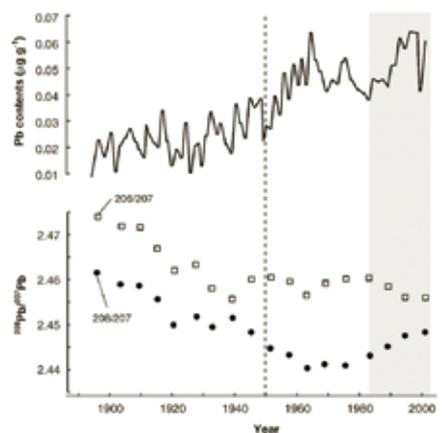


図5 小笠原サンゴの過去100年間の鉛同位体比の変動。鉛濃度(上)、鉛同位体比(下)ともに人間活動の影響とみられる変化がここ100年間に明瞭に認められます。1980年代以降の変化は主として中国大陸の人間活動によるものとみられます。

していたことが明らかとなりました(Kubota et al., 2014:プレスリリース2014.6.11)。それらの酸性化イベントは、南極の氷床に保存されている大気CO<sub>2</sub>の2度の急上昇期と時期的にほぼ一致しており、最終退氷期において中央赤道太平洋域が深海から大気へCO<sub>2</sub>を輸送する経路となっていたことが明らかとなりました。この成果は大気CO<sub>2</sub>濃度の変化と大気海洋システムの理解を大きく前進させるものです。

そのほか、深海サンゴや大型有孔虫骨格のマグネシウム同位体比が骨格の炭酸塩鉱物形成過程を理解するための良い指標となることが明らかになったほか(Yoshimura, Tanimizu et al., 2011)、鍾乳洞の石筍のストロンチウム・バリウム濃度が乾燥/湿潤気候変動の、希土類元素濃度が陸域化学風化速度の指標となり得ることが明らかになるなど(Hori, Ishikawa et al., 2013; 2014)、海域のみならず陸域の気候・環境変動解析のための新手法も開発されました。

第四紀環境変動に対するサンゴ礁・サンゴ礁生態系の応答の解明を目指し、現在琉球列島のサンゴ礁で行われているICDP COREF 掘削計画の実現に際して果たした役割もまた特筆すべき事項です(Iryu, Matsuda, Machiyama et al., 2007など)。

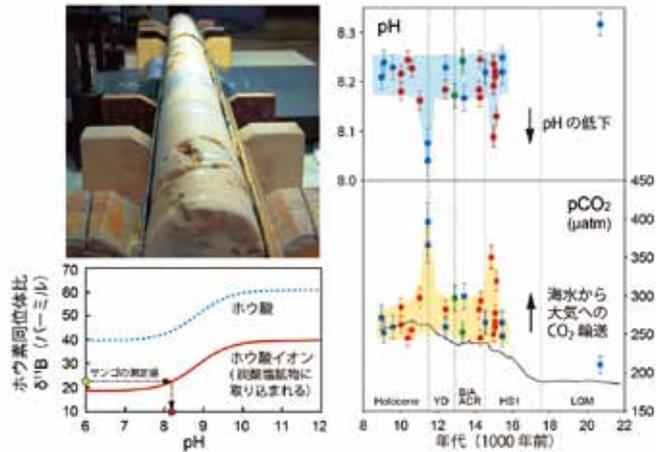


図6 IODP Exp.310タヒチ掘削で採取されたハマサンゴのコア試料(左上)、サンゴのホウ素同位体比とpHの関係(左下)およびホウ素同位体比の分析から求められたタヒチ海域のpHとCO<sub>2</sub>分圧の時代変化(右)。気候変動にともなって、この海域では最終退氷期に2度、顕著なpHの低下があったこと、深海から大気へCO<sub>2</sub>が輸送されていたことが明らかになりました。

### 3. 地球化学的手法による地震時の断層滑り機構研究の新展開

地震時の断層の摩擦発熱により間隙水圧が上昇すると、断層の強度が大幅に低下し滑りやすくなること(熱圧化)は従来から理論的に指摘されてきましたが、実際に地震時の断層内部でそのようなプロセスにより高温流体が生じた証拠は見つかっていませんでした。本研究グループは断層物性研究グループと共同で、1999年台湾集集地震(M 7.6)で活動したチェルンプ断層の掘削(ICDPチェルンプ断層掘削計画:TCDP)で得られたコア試料を詳細に分析しました。その結果、集集地震で滑ったものを含む3つの主要断層の滑り帯の岩石に、リチウム・ルビジウム・セシウム含有率およびストロンチウム同位体比が減少しストロンチウム含有率が増加するという、特徴的かつ明瞭な化学組成変化が認められました(図7)。水熱実験データを組み入れたモデル計算を新たに考案し、それを用いた解析を行うことにより、地震時の断層内部に350℃以上の高温の流体が存在し、断層岩と相互作用したことが世界で初めて証明されました(図8)。地震時の断層の熱圧化による断層滑り増大を強く示唆するこの成果はネイ

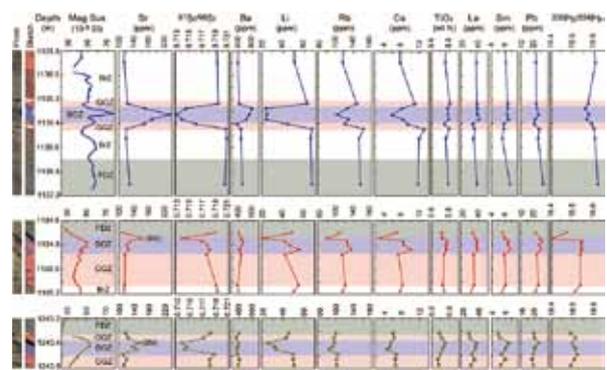


図7 チェルンプ断層コア試料の黒色ガウジ帯(BGZ)で発見された顕著な化学組成変化。BGZは地震時に断層滑りを起こした部分で、集集地震で滑ったのは深度1136m(上)です。他のBGZは過去の地震で生じたと考えられます。3つのBGZはいずれも周りの岩石とは異なった化学的特徴を示していることが分かります。

チャー・ジオサイエンス誌に掲載されました(Ishikawa et al., 2008:プレスリリース2008.9.15)。

断層岩の地球化学的解析を用いたこの新手法により、その後、房総付加体(Hamada et al., 2011)、四万十付加体(Honda, Ishikawa et al., 2011)、コディアック付加体(Yamaguchi, Ishikawa et al., 2014)、中央構造線(Ishikawa et al., 2014)で地震時における断層内の高温流体岩石相互作用(250°C ~>350°C)の証拠が次々と発見されました(図9)。これらの研究により、これまで不明であった地震時の断層内流体岩石相互作用の実態が明らかになるとともに、断層滑りに流体が与える影響が普遍的であることが示唆されました。さらに、断層物性研究グループと共同で、チェルンプ断層の母岩を用いて流体存在下の高速摩擦実験を行いました。その結果、熱圧化が生じる条件を再現した場合、1回の地震イベント(300°C、40秒)で、断層岩において検出可能なレベルの微量元素組成変化が確かに生じることが立証されました(Tanikawa, Ishikawa, et al., 2015)。IODP Exp.316(NanTroSEIZE)で掘削された南海トラフ巨大分岐断層試料についても、本手法を用いて地震時の流体岩石相互作用の温度の上限(250°C)が推定されました(Hirono, Ishikawa et al., 2014)。熱圧化は海底の断層浅部域で生じると巨大津波の誘因となり得ますが、本手法は断層帯における熱圧化履歴の有無の評価を通し、防災・減災面での寄与も期待されます。

本研究グループは断層物性研究グループとともにIODP Exp.343東北地方太平洋沖地震調査掘削(JFAST)にも参画しました。掘削コア試料中に含まれる間隙水の化学分析に基づいてプレート境界断層に沿って特に大きな流体の移動がないことを示し、温度検層で見出された温度異常が地震時の摩擦熱起源であることを支持することで、地震時の断層の摩擦係数が非常に低かったことを明らかとした画期的な研究に貢献しました(Fulton et al., 2015:サイエンス誌に掲載、プレスリリース2013.12.6)。

### 4. 水・流体による物質移動・物質循環研究

水や流体による元素や物質の移動・循環は、地球システムの進化を支配する最重要過程の1つであり、地球化学的手法によるそれらの理解は本研究グループの大きな目標です。

リチウム同位体比、ホウ素同位体比はこれらの過程に鋭敏な優秀なトレーサーです。リチウム同位体比を用いた研究としては、御嶽火山周辺の群発地震発生に関係する流体が少なくとも下部地殻以深に起因する深部流体であることを明らかにした研究(Nishio et al., 2010)、熊野泥火山の形成に寄与した流体が沈み込み帯深部の300°Cに達

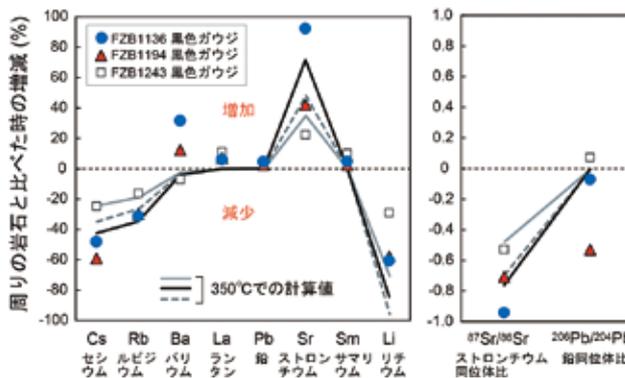


図8 黒色ガウジ帯における元素・同位体比の増減。周りの岩石と比較してあります。これらの元素・同位体比の増減は、350°C以上の高温流体と黒色ガウジが相互作用すれば説明できることがモデル計算により明らかになりました。こうして見出された高温流体の痕跡は、地震時の断層帯で熱圧化が起こったことを示しています。

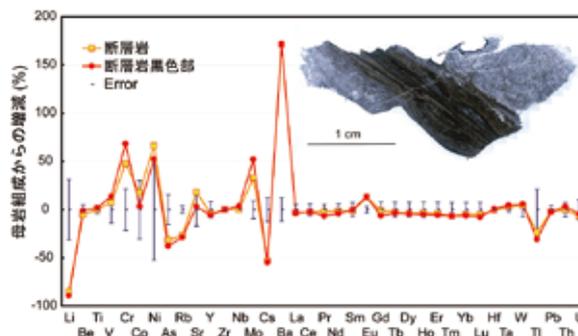


図9 房総付加体の断層滑り帯試料(右上)とそこで認められた化学組成変化。周りの岩石と比較した増減は、チェルンプ断層のものと同様であり、地震時に350°C以上の流体と相互作用したことが示唆されます。現在の南海トラフの付加体でも巨大地震で同様のことが生じ、熱圧化による断層滑りの増大が巨大津波の誘因になる可能性があります。

する領域からもたらされた可能性を示した研究 (Nishio et al., 2015) が挙げられます。ホウ素同位体比を用いては、陸上に露出したかつての海洋地殻断面の分析に基づき、表層からモホ面付近に至る海洋地殻全域、最高500°Cにおよぶ熱水循環・熱水変質と元素循環を明らかにした研究 (Yamaoka, Ishikawa et al., 2012)、キプロス型熱水鉱床が海洋地殻内における複数回の温度の異なる熱水循環過程に関係して形成されたことを明らかにした研究 (Yamaoka et al., 2015) などが展開されました。

高精度同位体分析法の開発が物質循環の新たな解析手法を生み出した例として、銅同位体比分析が挙げられます。本研究グループでは、新たな分析手法により、海水中に溶存した極微量の銅の同位体比の精密測定に成功しました。その結果、2008年～2012年に採取された東太平洋、西太平洋、インド洋、北大西洋の海水中の銅同位体比が表層から深層に行くにしたがって約0.3‰程度高くなっており、深層海水でみると、大西洋、インド洋、太平洋の順に同位体比が高くなっていくことが判明しました。これらの銅同位体比が示す傾向は、深層水の年齢の目安となる海水のみかけの酸素消費量 (AOU) とよく相関していることから (図10)、銅同位体比は海洋循環メカニズムを紐解く重要な化学トレーサーとなるのみならず、太古の海洋における海水循環速度を解明する手段ともなりうるということが明らかになりました。この成果はネイチャー・コミュニケーション誌に掲載されました (Takano, Tanimizu et al., 2014; プレスリリース2014.12.5)。

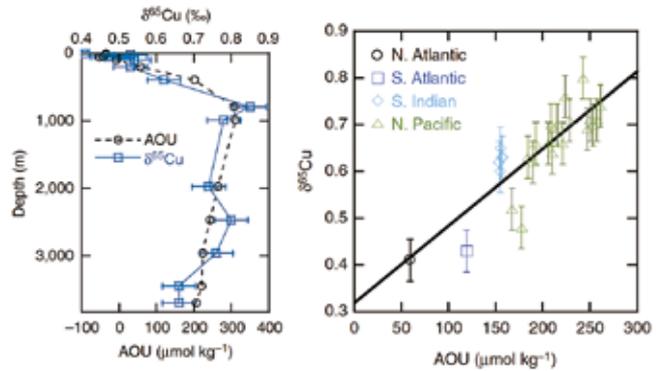


図10 東太平洋の海水の深度と銅同位体比、AOUの関係 (左) および海洋深層水の銅同位体比とAOUの関係 (右)。銅同位体比とAOUの深度分布が良く似通っていること、海洋深層水の銅同位体比がAOUと良く相関していることがわかります。このように、銅同位体比は海水のAOUの指標として、過去の海洋循環の研究に役立つ新たなツールとなることが期待されます。

## 5. 革新的な微小領域研究の展開

2011年度最先端研究基盤事業による超高解像度二次イオン質量分析計 (NanoSIMS) の導入は、本研究グループのポテンシャルを飛躍的に増大させました (図11)。超高解像度の同位体イメージングにより、当該装置の主たる導入目的である海底下微生物単一細胞の研究のみならず、サブミクロンスケールでの様々な物質移動・循環過程に関わる極微小領域での固相-固相、液相-固相間における諸素過程の解明が新たに可能となりました。NanoSIMSを用い微生物細胞の代謝等を研究するための同位体イメージング技術の開発は決して容易ではありませんが、地球深部生命研究グループとの密接な連携により困難を克服し最先端の分析手法が次々と生み出されています (Morono, Ito & Inagaki, 2014; Kubota, Morono, Ito et al., 2014など)。NanoSIMSを用いた解析手法は、IODP Exp.337下北八戸沖石炭層生命圏掘削における世界最深の海底下微生物群集と生命圏の限界発見 (Inagaki et al., 2015; サイエンス誌に掲載、プレスリリース2015.7.24) にも大きく貢



図11 超高解像度二次イオン質量分析計 NanoSIMS

献しました。また、「はやぶさ」試料から発見されたもののような極めて微小な有機物について、空間分解能100~250ナノメートルで水素(±50%)、炭素(±9%)、窒素(±2%)の同位体イメージング分析にも成功し、精度・確度と空間分解能との両立を達成しました(Ito et al., 2014, 図12)。

補正予算により2013年度末には高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計(IMS-1280HR、図13)、集束イオンビーム極微試料加工システム(FIB、図14)、透過型電子顕微鏡(TEM、図15)が新たに導入されました。これにより高知コア研究所は、東京大学から移設された標準型の二次イオン質量分析計(IMS-6f、図16)、既設のNanoSIMSを合わせ、世界最高クラスの超高感度・高精度微小空間分析機能を有する研究所となりました。これら新規導入の微小領域分析機器群は初期の立ち上げを終え、分析ルーチンの開発・応用段階に入っています。例えば、ジルコン単結晶の高精度酸素同位体に基づく大陸地殻形成過程の研究、結晶中のメルト包有物のマルチ同位体・微量元素分析(水・CO<sub>2</sub>・ハロゲン・硫黄など揮発成分濃度と鉛同位体比など)に基づく地球内部の水・物質循環の研究、堆積物中における粘土鉱物の生成過程研究など多くの研究が既にスタートしています。

また、上記微小領域分析機器と既存のNeptune, Triton等を組みわせることで、高知コア研究所にはマクロスケールからナノメートルスケールに至る様々な空間分解能での元素・同位体の高精度・極微量分析についてあらゆるニーズに応えられる強力な基盤が構築されたと言えます。今後も、将来のマントル掘削を含む大深度~超大深度掘削で得られる希少試料などを用いた革新的な研究を展開してゆきます。

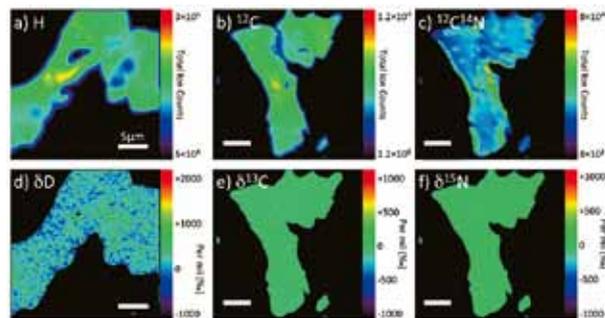


図12 NanoSIMSによる微小有機物の水素・炭素・窒素同位体イメージング。100ナノメートルスケールの超高空間分解能での精密同位体イメージングが可能となりました。微生物や微小有機物の研究のための強力な武器となります。



図13 高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計 IMS-1280HR



図14 集束イオンビーム極微試料加工システム FIB 図15 透過型電子顕微鏡 TEM



図16 二次イオン質量分析計 IMS-6f

## 4. 科学支援グループ

Science Services Group

科学支援グループは、高知コア研究所が掘削科学研究の拠点となるべく、高知コア研究所・研究グループと車の両輪となって高度な技術支援体制を確立することを目指して設置されました。高知コア研究所が保有する各種実験装置および高知大学と海洋研究開発機構との協定の下で機構が主ユーザーとして活用する大学実験施設設備の運用支援を担当し、高知コア研究所の3つの研究グループへの技術支援を担うと同時に国際深海科学掘削計画における掘削コア保管の国際拠点としてコアサンプルを利用する国内外の研究者を対象としたキュレーション・サービスを実施しています。

### 1. 技術開発・機器運用支援

ルーチン的な機器の運用保守を行うだけでなく、高知コア研究所の研究グループのニーズに合わせた高度な技術開発支援を実施し、高知コア研究所が保有する最先端機器を用いた研究成果が数多く創出されるような支援を目指しています。各研究グループが取り組む研究分野に適した技術支援員(業務委託による)や技術職員、技術研究員を配置し、高度かつ継続的な技術支援体制の確立に努めています。具体的な支援内容としては、高速摩擦実験の試料作成



図1 技術支援員による技術支援・運用支援の様子

支援、封圧下における熱伝導率などの物性計測支援、非弾性ひずみ回復に関する実験支援、各同位体比質量分析計の運用支援や例えばホウ素同位体分析測定の手法開発・最適化のための基礎実験、研究者が確立した手法をさらに一般化してルーチン的に行えるような技術開発／支援、凍結コア試料を用いた新規DNA抽出法、スライドローダーシステムによる微生物細胞数の撮影・計数支援、16S rRNA 遺伝子タグシーケンス解析試料の調製、NanoSIMS用試料の作成支援等を実施してきました(図1)。

特に2010年度から2011年度にかけて、文部科学省および日本学術振興会による最先端研究基盤事業『海底下実環境ラボの整備による地球科学-生命科学融合拠点の強化(「ちきゅう」を活用)』の一環として、超高解像度二次イオン質量分析計 NanoSIMSや単一細胞分析クリーンラボ、実環境バイオCCSリアクターシステム、コア専用高解像度X線CT装置等の最先端分析装置の導入が行われました。科学支援グループは、これらの機器の導入支援を行うと同時に、これら最先端装置を安定的に稼働させるため、大規模な施設改修工事(極低温試料室を改修し、NanoSIMSクリーンルームとシングルセル分析室を新設)や環境整備(電気設備の増強、コンテナラボ設置のためのコンテナヤード拡張整備工事など)を担当しました(図2)。さらに2012年度補正予算により、『高知コア研究所分析機能の強化』として高精度大型2重収束セクター磁場質量分析計 IMS-1280HRや透過型電子顕微鏡(TEM)、集束イオンビーム極微試料加工システム(FIB)、生体高分子質量顕微鏡(IMSscope)をはじめとする先端機器の導入が認められたため、2013年度にかけて機器導入支援およびIMS-1280HRのためのSIMS用クリーンルーム区画の拡張工事(TEM/FIB室新設を含む)を担当し、世界でトップクラスの極微小領域分析施設の構築に貢献しました(図3)。また、東京大学より従来型二次イオン質量分析装置(IMS-6f)の移管を受け、X線分析・電子顕微鏡(FE-SEM)室に当該装置を移設・整備し、運用を開始しています(図4)。

これらの環境整備の一環として、実験装置や実験区画内什器の耐震固定の推進を実施したほか、既設コア保管庫棟に収容されている貴重なコア試料約13万セクションへの津波浸水対策を実施し、津波による浸水に対



図2 NanoSIMS導入のためのピット内基礎工事。SIMS設置箇所の耐荷重及び制振性向上のため、独立基礎としました。



図3 クリーンルーム拡張のためのスラブ工事。IMS-1280HR設置箇所はNanoSIMSと同様に独立基礎となっています。



図4 東京大学から移管を受け、高知コア研究所に搬入中の従来型二次イオン質量分析計(IMS-6f)

してコアの汚染を最小限に留めるために特殊フィルムによる梱包を実施しました。他方、高知大学海洋コア総合研究センターも2013年度に新コア保管庫棟の設置が認められたため、新保管庫棟の運用に関する協議を行い、研究所として新保管庫運用に必要な環境整備を実施しています。さらに2015年度は新コア保管庫棟2Fへのクリーンルーム新設工事の支援を実施しています。高知コア研究所における化学物質の安全管理、放射線業務の安全管理等についても横須賀本部・安全環境管理室や高知大学と協働で実施するなど安全な実験環境の整備に努めています。

## 2. コア・キュレーション

日米主導による統合国際深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program, Integrated ODP:2003-2013)がスタートすると、米国の旧深海掘削計画等で採取された掘削コア(いわゆるレガシーコア)を含む掘削コア試料を、採取した海域区分に従って日米欧が担当する三大コア保管庫(高知コアセンター、テキサスA & M大学、ブレイメン大学)にて保管・管理・提供を行うことがIntegrated ODPの中央管理法であるIODP-MI, INC.により決定されました(図5)。この決定を受け、2006年度後半から米国の複数拠点に保管されていたレガシーコアの高知への移管作業が開始されることになりました。科学支援グループは地球深部探査センター(CDEX)と協力し、レガシーコアおよびIntegrated ODPコア受け入れのための大規模な施設整備(2~4番保管庫への移動式コア棚の整備、コンテナヤードの整備、試料管理支援ソフトの開発等)を計画しました。2007年度上半期には、これらの計画に沿って施設整備を行い、2~4番保管庫へ移動式コア保管棚を導入するとともに屋外コンテナヤードや試料搬入経路拡張工事等の整備を実施しました(図6, 7)。また、膨大な掘削コアサンプルを管理するため、コア試料管理ソフトである「コア蔵」を開発し、運用を開始しました。これらの施設整備事業と並行して、科学支援グループのスタッフを内外のコア保管施設に派遣してコア・キュレーション業務の実態調査を行いました。調査結果に基づいてコア管理体制の強化を行い、コア・キュレーション業務を正式に発足させました。2007年9月6日に米国から第1便のレガシーコア試料が到着し、以降ほぼ毎週1~2基のペースで40フィート冷蔵コンテナ車が到着してレガシーコアを下ろしていく作業が続きました(図8, 9)。レガシーコアの搬入と同時に、国際的なコア試料提供サービスを開始しました。2008年10月8日には、米国国立科学財団(NSF)のArden L. Bement, Jr.長官が視察に訪れ(図10)、10月28日に最後のコンテナ(第51便)が高知に到着し、高知担当分の約83km分のレガシーコアの受け入れが完了しました。これを記念し、翌29日にレガシーコア移管完了式典が高知で行われました(図11, 12)。三大コア保管庫へのレガシーコア再配分の完了後には、Integrated ODPに

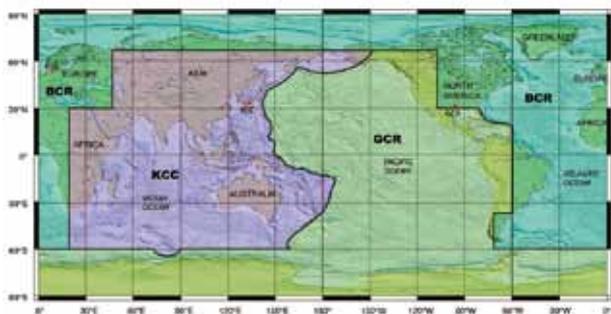


図5 深海科学掘削コア試料の保管担当海域図。高知コアセンター(KCC)は紫色で示された海域(ベーリング海を含む西太平洋縁辺域、ケルゲレン海台を含むインド洋)においてレガシーコアを含めたコア試料が収容されることとなりました。なお、中央~東太平洋および南極海はテキサスA&M大学コア保管庫(GCR)、大西洋と北極海についてはブレイメン大学コア保管庫(BCR)が担当します(Texas A & M大学提供の原図に一部加筆)。



図6 レガシーコア及びIODPコアを収容するための移動式コアラックを設置(第2-4番保管庫)

よるキュレーション会議が高知コア研究所で開催され、日本・米国・ドイツを始め、韓国、台湾のキュレーション関係者が一堂に会し、掘削船航海スケジュールに合わせたキュレーション計画やバイオ・サンプルの取り扱いについて協議が



図7 コア管理資材や常温試料を保管するために整備されたコンテナヤード



図8 40フィートコンテナ車によるレガシーコアの搬入



図9 コア保管庫への搬入を待つレガシーコアの列



図10 米国国立科学財団 (NSF) の Arden L. Bement, Jr. 長官が高知コアセンターを視察されました。



図11 高知移転分の最後のレガシーコアを保管庫に搬入するIODP計画管理法人 (IODP-MI) の Hans Christian Larsen 副代表と高知コア研究所IODPキュレーターのラン・プラサド・グプタ。



図12 レガシーコア移管完了記念式典の様子

なされました(図13)。地球深部探査船「ちきゅう」により採取され、モラトリアム期間が終了したNanTroSEIZE コア試料についても試料提供を開始しました。一方、Integrated ODP以外に機構船舶が研究航海で採取したコア試料について、情報管理部署である地球情報基盤センターおよび課題選択部署である研究船運航部と連携し、「JAMSTEC コア」として新たにキュレーション・サービスを開始しました。

2009年度からは地球深部探査船「ちきゅう」のライザー掘削によるカッティング試料も保管を開始したほか、Integrated ODPにより米国のJOIDES Resolution号がベーリング海において採取した試料のサンプリング・パーティーが高知で実施され、5万3千点もの試料を高知で採取し、国内外へ配送しました。また、同年度から掘削航海における微生物試料のルーチン採取(Routine Microbiological Sample, RMS) とそのキュレーションに関するパイロット研究がIntegrated ODPに認められて本格的に開始され、今日のDeepBIOS(Deep Biosphere Samples) アーカイブへと繋がることとなりました(図14)。海底下生命圏解明の一助となるべく、微生物を含む凍結サンプルの長期保管技術の開発を推進し、試料の保管状態の違いによる影響を全菌数測定やDNA組成の比較等を通じて継続的に検討しているところです。現在は、2014年10月に発効した生物多様性条約・名古屋議定書に基づいて、遺伝資源の適正な取り扱いについても調査を進め、「ちきゅう」が採取した掘削コア試料を生物研究のために利用する場合の手続きについてCDEXと準備を進めています。

2013年度には掘削コア試料を保管している既設コア保管庫の2-4番庫がほぼ満杯となりましたが、JOIDES Resolution号により総計6kmを超えるコアが日本海で採取され、これらが高知コアへ運ばれる予定となりました。このため、CDEXにも協力頂き、地球深部探査船「ちきゅう」の新宮ベースに保管されていた空のコアラックを全て高知コアへ運びこんで仮設ラックとして組み上げ、新コア保管棟が完成するまで日本海コアをどうにか無事に仮収容しました(図15)。



図13 2009年2月に高知コア研究所で開催されたIODPキュレーター会議の参加メンバー

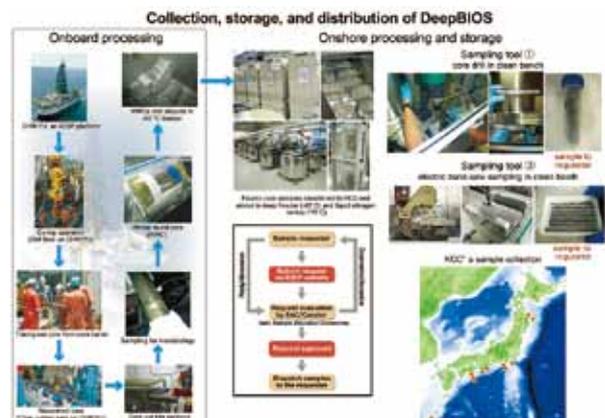


図14 海底下生命圏研究のための新しい試料管理法として、主に「ちきゅう」が採取した試料を中心にDeepBIOSアーカイブを実施しています。この図は船上における試料処理から高知コア研究所での保管・管理プロセスまで一連の手順を示しています。



図15 コア保管庫収容率が100%を超えたため、仮設コアラックによりコア試料を受け入れました (IODP Exp.346)。

2014年度夏に高知大学による新コア保管棟工事が完了し、新たに150kmのコア保管能力を持ち、かつ将来起こり得る南海地震津波にも耐えることのできる新コア保管庫の運用が開始されました。これにより、既設コア保管庫と合わせると合計で約250km分のコア試料を保管できることとなり、世界でも最大級のコア保管施設となりました(図16)。

また、科学支援グループではルーチン的なコア管理業務以外に、「ちきゅう」船上で計測されたX線CTのデータを簡便に閲覧できる環境を構築するため、バーチャルコア・ライブラリーやCT画像用簡易ビューワの開発を行ったり(図17)、サンプル利用者が対象サンプルの状況を事前にWeb上で確認できるシステムの構築を進め、より一層の利便性向上に努めています(図18)。



図16 2014年6月末に完成した新コア保管庫(パノラマ撮影)。コア棚は床固定式ですが、積層ラックによる中二階構造で高さ約7.5mとなり、高所作業車を用いてコアの出し入れを行います。



図17 「ちきゅう」で取得されたコア試料のX線CT画像のカタログ(バーチャルコア・ライブラリー)や筑波大学と共同で専用ビューワシステム(バーチャルコア・ビューワ)を開発しました(URL: <http://www.kochi-core.jp/VCL/index.html>)。

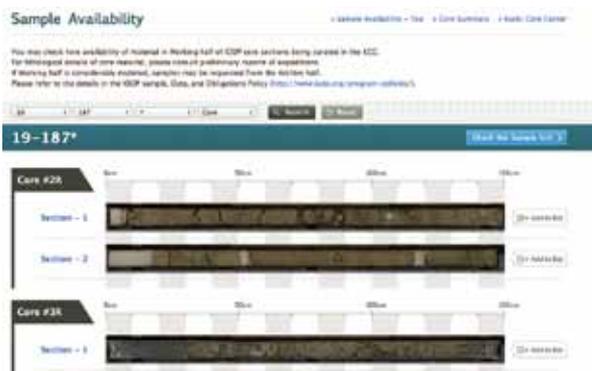


図18 レガシー及びIODPコアの試料状態を閲覧できるwebサービスの構築を進めています。

### 3. 地球掘削科学アウトリーチ活動への協力

高知大学および日本地球掘削科学コンソーシアム(J-DESC)との協働により、高知コア研究所の発足当時より同位体地球化学研究グループと連携してコア解析スクールを毎年実施し、若手研究者や技術者への分析技術の普及に努めています(図19)。また、IODPに初めて参加/乗船する方を対象に、高知大学とも共同で講習会(プレクルーズ・トレーニング)や船上一次データ追補のための計測支援(アフタークルーズ・ワーク)を適宜実施しています(図20)。これらの実績に基づいて、2014年度には独立行政法人科学技術振興機構(JST)の日本・アジア青少年サイエンス交流事業(通称:

さくらサイエンスプラン)の支援を受け、中国・台湾・韓国・インドネシア・ベトナムより各2名ずつ計10名の若手研究者を招聘し、高知コア研究所にてコア解析スクール型の体験実習を実施し、海外参加者から好評を得ています(図21)。また、地域へのアウトリーチ活動の一環として、高知大学および高知県教育委員会の連携によるコア・サイエンスティチャー(CST)養成拠点構築事業に協力し、高知県の小・中学校教員の理科教育における指導力向上にむけて河川堆積物や海洋コア試料を用いた地学実習を担当しています(2012年度以降)。また、室戸ジオパークへの協力として、南海トラフ掘削試料の展示協力等を実施しています。



図19 J-DESC コアスクール (コア同位体コース)の実習風景



図20 プレクルーズ・トレーニングへの協力 (IODP Exp.324の例)



図21 JST さくらサイエンスプランの協力によるアジア若手研究者向けコア解析スクールを開催(2014年11月)

## 5. 管理課

### General Affairs Division

管理課は2005年10月に高知コア研究所が開所して以来、研究所機能の拡充、研究者人数の増加と共に、その時々における施設・予算執行・人事労務の管理など多岐にわたる業務を実施してきました。

なお、高知大学海洋コア総合研究センターと海洋研究開発機構高知コア研究所の2つの機関を合わせて、一つ屋根の下、協働して様々な事務業務をこなし、「高知コアセンター」の愛称にて協働運営されてきたことも良き実績になっています。

また、高知コア研究所設立当初の管理課体制は、課長、事務(副)主任、数名の事務支援スタッフの構成でした。設立当初は様々なイベント対応を行い研究所の認知度を高め、研究所の規模に応じた運営、研究機器等の管理、人事、労務、安全、庶務、会計等の種々の業務を着実にこなしてきました。

10年間の研究所運営の間、発足当初の管理課陣容とは異なりますが、上記業務を実施して印象に残った次のようなことがありましたので、ここに記載します。

まず、管理課の業務を実施するうえで日々の仕事を通して研究所が成長・変化している事を感じることができます。所内の月1回の安全パトロールを実施すると、機器が増える、居室が増える、人が増えること、旅費支出処理を行うと研究者が活発に世界中を飛び回っていることが見える。

労務管理の出勤簿を通して過酷な乗船出張中の研究者のシフト勤務を知ることができる。庶務として研究所の受付業務をすれば来訪者が増えている、研究所見学の見学要請、電話対応でも取材申し込みが増えていること等のアウトリーチ活動の増も感じる。このような些細な日常の業務でもグローバル化、高知コア研究所の注目度、認知度が少しずつ向上していることが大いに実感できます。

研究所の運営は研究者と事務担当者が車両の両輪のような関係であることが望ましいと考えます。自負ですが当所の研究者はとても優秀で、素晴らしい実績がある事実は最近やっと薄々理解し始めました。それは研究者を日々

身近に見て、そのやんちゃぶり?を知るからこそ、研究者本来の功績とのギャップを感じているのです。

また、2014年度には独立行政法人科学技術振興機構の日本・アジア青少年サイエンス交流事業「さくらサイエンスプラン」の事務に携わる経験をしました。このプランの実施には当時の所長、管理課長を中心に試行錯誤で迎える準備をしました。所長の「予算はないが、気持ちでおもてなしを」という言葉でやる気が増し、プランは充実したものとなりました。

参加された海外研究者はもちろん勉強(研修)のために当所を訪問しましたが、2週間の滞在期間中生活の面でも不便のないよう、特に「食事」には一層の配慮をしました。

最終日には、送別会の席で「日本に興味をもってもらえた」、「リラックスしていただけた」と感想を頂くことができ、交流事業の一端を担えていると実感したことを覚えています。

2010年度から2011年度には、文部科学省および日本学術振興会による最先端基盤事業「海底下実環境ラボの整備による地球科学・生命科学融合拠点の強化(「ちきゅう」の活用)」の一環として、超高解像度二次イオン質量分析計 NanoSIMSや単一細胞分析クリーンラボ、実環境バイオCCSリアクターシステムなどが整備されました。これは会計的な事務処理にとどまらず、その仕様検討から設置に至るまで研究者や科学支援グループとも緊密な連携を取り進められました。

2012年2月15日には、当所にて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」を開催しました。本ワークショップのために、地球科学や生命科学・分析科学・宇宙科学分野における国内外の著名な研究者の出席を依頼することになり招聘者のリストアップ、依頼出張、講演依頼者の宿泊先手配などの事前準備から、当日のワークショップ開催運営まで、多岐にわたる業務を完遂しました。

2013年3月はIODP サンプリングパーティーおよび数年継続開催してきたアドバイザー会議が重なり、更に年度末であったため、慌ただしい日々を送っておりましたが、管理課では外国の来訪者のVISAの手配、宿泊先の確保、高知コア研究所と宿泊先間の送迎の手配、租税条約の届け出のサポートおよび国内外の旅費精算などの対応が必要とされました。

サンプリングパーティーの30名以上の来訪者の滞在では昼食の手配、料金回収や飲み物の準備などの煩雑な業務も実施しました。そんな中、来訪者が昼食を摂るスペースも限られていたため、天気の良い日にはエントランス外の階段でランチを取るなど賑やかな雰囲気も醸し出せたことは有意義でした。

このような経験は、管理課としてのおもてなしサポートと感じ、無事に終了できたことがなつかしまれています。

以上のような各種イベント対応、予算要求、執行の会計的処理などの苦労話も管理課の歴史として刻まれ、現在は、管理課長、事務副主任、事務スタッフ4名、派遣職員1名にて管理課業務を実施しています。

## 高知コア研究所 研究業績リスト 2006～2015上半期

2006

(Peer reviewed)

断層 G

Arai, K., Okamura, Y., Ikehara, K., Ashi, J., Soh, W. and Kinoshita, M. (2006) Active faults and tectonics on the upper forearc slope off Hamamatsu City, central Japan. 2006, *Journal of the Geological society of Japan*, 112, 749-759 (in Japanese with English abstract).

断層 G

Hirono, T., Ikehara, M., Otsuki, K., Mishima, T., Sakaguchi, M., Soh, W., Omori, M., Lin, W., Yeh, E.-C., Tanikawa, W. and Wang, C.-Y. (2006) Evidence of frictional melting within disk-shaped black materials discovered from the Taiwan Chelungpu fault system. *Geophysical Research Letters*, 33, L19311, doi:10.1029/2006GL027329.

断層 G

Hirono, T., Lin, W. and Nakashima S. (2006): Pore space visualization of rocks using an atomic force microscope, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol.43, pp.317-320.

断層 G

Hirono, T., Lin, W., Yeh, E.-C., Soh, W., Hashimoto, Y., Sone, H., Matsubayashi, O., Aoike, K., Ito, H., Kinoshita, M., Murayama, M., Song, S.-R., Ma, K.-F., Hung, J., Wang, C.-Y. and Tsai, Y.-B. (2006) High magnetic susceptibility of fault gouge within Taiwan Chelungpu-fault: Nondestructive continuous measurements of physical and chemical properties in fault rocks recovered from Hole B, TCDP. *Geophysical Research Letters*, 33, L15303, doi:10.1029/2006GL0261336.

同位体 G

Iryu, Y., Matsuda, H., Machiyama, H., Piller, W., Quinn, M., Mutti, M. (2006) An introductory perspective on responses of coral reefs to Quaternary paleoclimatic and paleoceanographic changes in the Ryukyu Islands. *Island Arc*, 15, 393-406.

科学支援 G

Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H., Okouchi, N., Ikehara, M., Yasuda, H., Kitazato, H., Taira, A. (2006) Age model, physical properties and paleoceanographic implications of the upper Quaternary core sediments in the Choshi area, central Japan, *The Island Arc*, vol.15, Issue 3, p.366-377.

断層 G

Lin, W., Kwaśniewski, M., Imamura, T. and Matsuki, K. (2006) Determination of three-dimensional in-situ stresses from anelastic strain recovery measurement of cores at great depth. *Tectonophysics*, 426, 221-238.

断層 G

Ma, K.-F., Tanaka, H., Song, S.-R., Wang, C.-Y., Hung, J.-H., Song, Y.-F., Yeh, E.-C., Soh, W., Sone, H., Kuo, L.-W., and Wu, H.-Y. (2006) Slip zone and energetics of a large earthquake from the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project. *Nature*, 444, 473-476.

断層 G

Mishima, T., Hirono, T., Soh, W. and Song, S.-R. (2006) Thermal history estimation of the Taiwan Chelungpu Fault using rock-magnetic methods. *Geophysical Research Letters*, 33, L23311, doi:10.1029/2006GL028088.

断層 G

Mukoyoshi, H., Sakaguchi, A., Otsuki, K., Hirono, T. and Soh, W., (2006) Co-seismic frictional melting along an out-of-sequence thrust in the Shimanto accretionary complex. Implication on the tsunamigenic potential of splay faults in modern subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 245, 330-343.

同位体 G

Tanimizu, M. and Hirata, T. (2006) Determination of natural isotopic variation in nickel using inductively coupled

plasma mass spectrometry. *Journal of Analytical and Atomic Spectrometry*, 21, 1423-1426.

## 同位体 G

Tanimizu, M., and Ishikawa, T. (2006) Development of rapid and precise Pb isotope analytical techniques using MC-ICP-MS and new results for GSJ rock reference samples. *Geochemical Journal*, 40, 121-133.

## 断層 G

谷川 亘, 嶋本利彦 (2006) 第三紀堆積岩を用いたガスと水の浸透係数の比較と Klinkenberg 効果. *応用地質*, 47, 131-139.

## 同位体 G

西尾嘉朗 (2006) リチウム同位体分析手法の確立と地球内物質循環に関する同位体地球化学的研究. *地球化学*, 40, 83-96.

## 断層 G

藤井幸泰, 堀伸三郎, 高橋学, 竹村貴人, 林為人 (2006): デジタル立体写真測量による, 稲田花崗岩の異方性と一軸引張破断面粗度のちがいについて, *応用地質*, Vol.47, No.5, pp.252-258.

## 2007

(Peer reviewed)

## 生命 G

D'Hondt, S., Inagaki, F., Ferdelman, T., Jørgensen, B. B., Kato, K., Kemp, P., Sobczyk, P., Sogin, M., and Takai, K. (2007) Exploring seafloor life with the Integrated Ocean Drilling Program. *Scientific Drilling*, 5, 58-69.

## 断層 G

Fujii, Y., Takemura, T., Takahashi, M. and Lin, W. (2007): Surface features of uniaxial tensile fractures and their relation to rock anisotropy in Inada granite, *International Journal Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol.44, pp.98-107, doi: 10.1016/j.ijrmms.2006.05.001, 2007.

## 断層 G 同位体 G

Hirono, T., Tsunogai, U., Maegawa, K., Toki, T., Tanimizu, M., Soh, W., Lin, W., Yeh, E.-C., Song, S.-R. and Wang, C.-Y., (2007) Chemical and isotopic characteristics of interstitial fluid within the Taiwan Chelungpu fault. *Geochemical Journal*, 41, 97-102.

## 断層 G

Hirono, T., Yeh, E.-C., Lin, W., Sone, H., Soh, W., Hashimoto, Y., Matsubayashi, O., Aoike, K., Ito, H., Kinoshita, M., Murayama, M., S.-R. Song., K.-F. Ma., J.-H. Hung., C.-Y. Wang., Y.-B. Tsai., Kondo, T., Nishimura, M., Moriya, S., Tanaka, T., Fujiki, T., Maeda, R., Muraki, H., Kuramoto, T., Sugiyama, K., and Sugawara, T., (2007): Nondestructive continuous physical property measurements of core samples recovered from Hole B, Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project, *Journal Geophysical Research*, Vol.112, B07404, doi:10.1029/2006JB004738.

## 断層 G 同位体 G

Hirono, T., Yokoyama, T., Hamada, Y., Tanikawa, W., Mishima, T., Ikehara, M., Famin, V., Tanimizu, M., Lin, W., Soh, W., and Song, S.-R., (2007): A chemical kinetic approach to estimate dynamic shear stress during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake. *Geophysical Research Letters*, Vol.34, L19308, doi: 10.1029/2007GL030743.

## 科学支援 G 同位体 G 断層 G

Ikehara, M., Hirono, T., Tadai, O., Sakaguchi, M., Kikuta, H., Fukuchi, T., Mishima, T., Nakamura, N., Aoike, K., Fujimoto, K., Hashimoto, Y., Ishikawa, T., Ito, H., Kinoshita, M., Lin, W., Masuda, K., Matsubara, T., Matsubayashi, O., Mizoguchi, K., Murayama, M., Otsuki, K., Shimamoto, T., Sone, H., Takahashi, M., Tanikawa, W., Tanimizu, M., Soh, W. and Song, S.-R. (2007) Low total and inorganic carbon contents within the Chelungpu fault. *Geochemical Journal*, 41, 391-396.

同位体 G

Iryu, Y., Matsuda, H., Machiyama, H., Piller, W. E., Quinn, T. M., and Mutti, M. (2007) The COral-REef Front (COREF) Project. *Scientific Drilling*, No. 5, 70-72.

同位体 G

Kano, A., Ferdelman, T. G., Williams, T., Henriot, J.-P., Ishikawa, T., Kawagoe, N., Takashima, C., Kakizaki, Y., Abe, K., Sakai, S., Browning, E.-L., Li, X., and The IODP Expedition 307 Scientists (2007) Age constraints on the origin and growth history of a deep-water coral mound in NE Atlantic drilled in IODP Expedition 307. *Geology*, 35, 1051-1054.

同位体 G

Kuroda, J., Ogawa, N. O., Tanimizu, M., Millard F. Coffin, Tokuyama, H., Kitazato, H. and Ohkouchi, N. (2007) Contemporaneous massive subaerial volcanism and Late Cretaceous oceanic anoxic event 2. *Earth and Planetary Science Letters*, 256, 211-223.

断層 G

Lin, W., Yeh, E. C., Ito, H., Hirono, T., Soh, W., Wang, C. Y., Ma, K. F., Hung, J. H. and Song, S. R. (2007): Preliminary results of stress measurement using drill cores of TCDP Hole-A: an application of anelastic strain recovery method to three-dimensional in-situ stress determination. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 18, 379-393, doi:10.3319/TAO.2007.18.2.379(TCDP).

断層 G

Lin, W., Yeh E.-C., Ito, H., Hung J.-H., Hirono, T., Soh, W., K.-F. Ma., Kinoshita, M., Wang, C.-Y. and Song, S.-R. (2007): Current Stress State and Principal Stress Rotations in the Vicinity of the Chelungpu Fault Induced by the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake, *Geophysical Research Letters*, Vol.34, L16307, doi: 10.1029/2007GL030515.

断層 G

Mukoyoshi, H., Hirono, T., Sekine, K., Tsuchida, N., and Soh, W., (2007) Cathodoluminescence and fluid inclusion analyses of mineral veins within major thrusts in the Shimanto accretionary complex: Evidence of hydraulic fracturing during thrusting, *Earth, Planets and Space*, 59, 937-942

同位体 G

Nishio, Y., Nakai, S., Ishii, T. and Sano, Y. (2007) Isotope systematics of Li, Sr, Nd, and volatiles in Indian Ocean MORBs of the Rodrigues Triple Junction: constraints on the origin of the DUPAL anomaly. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 745-759.

断層 G

Seeber, L., C. Muller, Fujiwara, T., Araki, K., Soh, W., Y. Djajadiharja and M-H. Cormier (2007) Accretion, mass wasting, and partitioned strain over 26th Dec.2004 Mw9.2 rupture offshore Aceh, Northern Sumatra: *Earth and Planetary Science Letters*, 263, 16-31, doi:10.1016/j.epsl.2007.07.057

同位体 G

Takeuchi, R., Matsumoto, R., Ogihara, S. and Machiyama, H. (2007) Methane-induced dolomite "chimneys" on the Kuroshima Knoll, Ryukyu islands, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, 95, 16-28.

断層 G

Tanikawa, W., Mishima, T., Hirono, T., Lin, W., Shimamoto, T., Soh, W., S.-R. Song., (2007): High magnetic susceptibility produced in high velocity frictional tests on core samples from the Chelungpu fault in Taiwan, *Geophysical Research Letters*, 34, L15304, doi:10.1029/2007GL030783

同位体 G

Tanimizu, M., Takahashi, Y., and Nomura, M. (2007) Spectroscopic study on the anion exchange behavior of Cu chloro-complexes in HCl solutions and its implication to Cu isotopic fractionation. *Geochemical Journal*, 41, 291-295.

## 断層 G

Wang, P. L., L. H. Lin., H. T. Yu., T. W. Cheng., S. R. Song., L. W. Kuo., E. C. Yeh., Lin, W., and Wang, C. Y., (2007): Cultivation-based characterization of microbial communities associated with deep sedimentary rocks from Taiwan Chelungpu Drilling Project cores. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 18, 395-412, doi: 10.3319/TAO.2007.18.2.395(TCDP).

## 断層 G

Yeh, E. C., Sone, H., Nakaya, T., K. H. Ian., S. R. Song., J. H. Hung., Lin, W., Hirono, T., C. Y. Wang., K. F. Ma, Soh, W., and Kinoshita, M., (2007): Core description and characteristics of fault zones from Hole-A of the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 18, 327-357, doi: 10.3319/TAO.2007.18.2.327(TCDP).

## 断層 G

谷川 亘, 嶋本利彦 (2007)室内実験による地下深部の浸透率構造の推定 - 足柄層群を例として -. 地質学雑誌, 113, 27-32.

## 断層 G

林 為人, 高橋 学, 藤井幸泰, 西山 哲, 竹村貴人, (2007):一軸引張状態における数種類の花崗岩質岩石と斑れい岩の変形特性, 材料, 論文, Vol.56 No.7 pp.654-659, doi:10.2472/jsms.56.654, JOI JST.JSTAGE/jsms/56.654.

## (Others)

## 断層 G

Hung, J.-H., Kuo-Feng Ma, Chien-Ying Wang, Sheng-Rong Song, Hisao Ito, Lin, W. and Yeh, E.-C., (2007). Subsurface structure, fault-zone characteristics, and stress state in scientific drill holes of Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project, *Scientific Drilling*, Special Issue No.1, pp.55-58, doi:10.2204/iodp.sd.s01.27.2007.

## 断層 G

Lin, W., Hirono T., Yeh E.-C., Tanikawa W., and Soh W., (2007): Core handling and real-time non-destructive characterization at the Kochi Core Center: An example of core analysis from the Chelungpu fault, *Scientific Drilling*, Special Issue No.1, pp.106-109, doi:10.2204/iodp.sd.s01.35.2007.

## 生命 G

稲垣史生 (2007) 海底下生命圏の解明にむけた地球微生物学的アプローチ. 日本極限環境微生物学会誌, Vol. 6, 17-20.

## 生命 G

町山栄章・山本啓之・稲垣史生 (2007) 琉球弧周辺のメタン湧水・海底熱水. 地質ニュース, 633号, 1-3.

## 2008

## (Peer reviewed)

## 生命 G

Engelen, B., Ziegelmüller, K., Wolf, L., Köpke, B., Gittel, A., Treude, T., Nakagawa, S., Inagaki, F., Lever, M. A., Steinsbu, B. O., and Cypionka, H. (2008) Fluids from the ocean crust support microbial activities within the deep biosphere. *Geomicrobiology. J.*, 25, 56-66.

## 生命 G

Fujino, Y., Kawatsu, R., Inagaki, F., Umeda, A., Yokoyama, T., Okaue, Y., Iwai, S., Ogata, S., Ohshima, T., and Doi, K. (2008) *Thermus thermophilus* TMY isolated from silica scale taken from a geothermal power plant. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 70-78.

科学支援 G

Gupta, L., Kawahata, H., Takeuchi, M., Ohta, H., Ono, Y. (2008) Temperature and pH Dependence of Some Metals Leaching from Fly Ash of Municipal Solid Waste, *Resource Geology*, vol.55, no.4, p.357 - 372.

科学支援 G

Gupta, L., Kawahata, H., Takeuchi, M., Ohta, H., Ono, Y. (2008) Impact of Changes in Redox Conditions on Leaching of Some Elements from MSW Fly Ash, *Resource Geology*, vol.56, no.2, p.191-196.

科学支援 G 同位体 G 断層 G

Hashimoto, Y., Tadaï, O., Tanimizu, M., Tanikawa, W., Hirono, T., Lin, W., Mishima, T., Sakaguchi, M., Soh, W., Song, S.-R., Aoike, K., Ishikawa, T., Murayama, M., Fujimoto, K., Fukuchi, K., Ikehara, M., Ito, H., Kikuta, H., Kinoshita, M., Masuda, K., Matsubara, T., Matsubayashi, O., Mizoguchi, K., Nakamura, N., Otsuki, K., Shimamoto, T., Sone, H. and Takahashi, M. (2008) Characteristics of chlorites in seismogenic fault zones: the Taiwan Chelungpu fault Drilling Project (TCDP) core sample. *eEarth*, 3, 1-6.

断層 G 科学支援 G 同位体 G

Hirono, T., Fujimoto, K., Yokoyama, T., Hamada, Y., Tanikawa, W., Tadaï, O., Mishima, T., Tanimizu, M., Lin, W., Soh, W. and Song, S.-R. (2008) Clay mineral reactions caused by frictional heating during an earthquake: An example from the Taiwan Chelungpu fault. *Geophysical Research Letters*, 35, L16303, doi:10.1029/2008GL034476.

断層 G

Hirono, T., Mukoyoshi, H., Tanikawa, W., Noda, H., Mizoguchi, K. and Shimamoto, T. (2008) Frictional behavior and its seismological implications within thrusts in the shallow portion of an accretionary prism. *Tectonophysics*, Vol. 456, issues 3-4, 163-170.

断層 G 同位体 G 科学支援 G

Hirono, T., Sakaguchi, M., Otsuki, K., Sone, H., Fujimoto, K., Mishima, T., Lin, W., Tanikawa, W., Tanimizu, M., Soh, W., Yeh, E.-C. and Song, S.-R. (2008) Characterization of slip zone associated with the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake: X-ray CT image analyses and microstructural observations of the Taiwan Chelungpu fault. *Tectonophysics*, Vol. 449, issues 1-4, 63-84, doi: 10.1016/j.tecto.2007.12.002.

断層 G

Hirose, T. and Hayman, N. (2008) Structure, permeability, and strength of a fault zone in the footwall of an oceanic core complex, the Central Dome of the Atlantis Massif, Mid-Atlantic Ridge, 30N. *Journal of Structural Geology*, 30, issue 8, 1060-1071, doi:10.1016/j.jsg.2008.04.009.

生命 G

Inagaki, F. and Nakagawa, S. (2008) Spatial distribution of subseafloor life: Diversity and biogeography. *In: Links between geological processes, microbial activities and evolution of life.* (Eds.) Dilek, Y., Furnes, H., and Muehlenbachs, K., pp.135-158, *Springer Science + Business Media*, Dordrecht, The Netherlands.

同位体 G

Inoue, M. and Tanimizu, M. (2008) Anthropogenic lead inputs to the western Pacific during the 20th century. *Science of the Total Environment*, 406, 123-130.

同位体 G 科学支援 G 断層 G

Ishikawa, T., Tanimizu, M., Nagaishi, K., Matsuoka, J., Tadaï, O., Sakaguchi, M., Hirono, T., Mishima, T., Tanikawa, W., Lin, W., Kikuta, H., Soh, W. and Song, S.-R. (2008) Coseismic fluid-rock interactions at high temperatures in the Chelungpu fault. *Nature Geoscience*, 1, 679-683, doi:10.1038/ngeo308.

同位体 G

Kashiwabara, T., Mitsunobu, S., Das, A., Itai, T., Tanimizu, M. and Takahashi, Y. (2008) Oxidation States of Antimony and Arsenic in Marine Ferromanganese Oxides Related to Their Fractionation in Oxidic Marine Environment.

*Chemistry Letters*, 37, 756-757.

生命 G

Kobayashi, T., Koide, O., Mori, K., Shimamura, S., Matsuura, T., Miura, T., Takaki, Y., Morono, Y., Nunoura, T., Imachi, H., Inagaki, F., Takai, K., and Horikoshi, K. (2008) Phylogenetic and enzymatic diversity of deep subseafloor aerobic microorganisms in organics- and methane-rich sediments off Shimokita Peninsula. *Extremophiles*, 12, 519-527.

断層 G

Lin, W., Matsubayashi, O., Yeh E.-C., Hirono, T., Tanikawa, W., Soh, W., Wang, C.-Y., Song, S.-R. and Murayama, M., (2008): Profiles of volumetric water content in fault zones retrieved from hole B of the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP), *Geophysical Research Letters*, Vol.34, L01305, doi: 10.1029/2007GL032158.

断層 G

Lin, W. (2008) A core-based method to determine three-dimensional in situ stress in deep drilling wells: the anelastic strain recovery technique. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol.27, No.12, pp.2387-2394.

断層 G

Lin, W. and Takahashi, M. (2008) Anisotropy of Strength and Deformability of Inada Granite under Uniaxial Tension. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol.27, No.12, pp.2463-2472.

断層 G

Lin, W., Yamamoto, K., Ito, H., Masago, H. and Kawamura, Y. (2008) Estimation of Minimum Principal Horizontal Stress from an Extended Leak-off Test onboard the Chikyu drilling vessel and Suggestions for Future Test Procedures. *Scientific Drilling*, 6, 43-47, doi:10.2204/iodp.sd.6.06.

生命 G

Lipp, J. S., Morono, Y., Inagaki, F., and Hinrichs, K.-U. (2008) Significant contribution of Archaea to extant biomass in marine subsurface sediments. *Nature*, 454, 991-994.

生命 G

Masui, N., Morono, Y., and Inagaki, F. (2008) Microbiological assessment of circulation mud fluids during the first operation of riser drilling by the deep-earth research vessel "Chikyu" offshore the Shimokita Peninsula. *Geomicrobiology Journal*, 25, 274-282.

断層 G

Michibayashi, K., Hirose, T., Nozaka, T., Harigane, Y., Escartin, J., Delius, H., Linek, M. and Ohara, Y. (2008) Hydration due to high-T brittle failure within in situ oceanic crust, 30° N Mid-Atlantic Ridge. *Earth and Planetary Science Letters*, 275, 348-35.

断層 G

Mizoguchi, K., Hirose, T., Shimamoto, T. and Fukuyama, E. (2008) Internal structure and permeability of the Nojima fault, southwest Japan. *Journal of Structural Geology*, 30, 4, 513-524, doi:10.1016/j.jsg.2007.12.002.

断層 G

Mizoguchi, K., Takahashi, M., Tanikawa, W., Masuda, K., Song, S.-R. and Soh, W. (2008) Frictional strength of fault gouge in Taiwan Chelungpu fault obtained from TCDP Hole B. *Tectonophysics*, 460, 15,198-205.

断層 G

Nielsen, S., D. Toro, G., Hirose, T. and Shimamoto, T. (2008) Frictional melts and seismic slip. *Journal of Geophysical Research*. 113, B01308, doi:10.1029/2007JB005122.

生命 G

Nunoura, T., Inagaki, F., Delwiche, M., Colwell, F. S., and Takai, K. (2008) Subseafloor microbial communities in methane hydrate bearing sediments of two distinct locations (ODP Leg 204) in the Cascadia Margin. *Microbes and Environments*, 23, 317-325.

断層 G

Takahashi, M., Takemura, T., Lin W. and Urushimatsu Y. (2008) Microscopic Visualization of Rocks by Micro Focus X-ray CT under Confining and Pore Pressures. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol. 27, No.12, 2455-2462.

断層 G

Tanikawa, W., Mishima, T., Hirono, T., Soh, W. and Song, S.-R. (2008) High magnetic susceptibility produced by thermal decomposition of core samples from the Chelungpu fault in Taiwan. *Earth and Planetary Science Letters*, 272, 372-381.

断層 G

Tanikawa, W., Shimamoto, T., Wey, S.-K., Lin, C.-W. and Lai, W.-C. (2008) Stratigraphic variation of transport properties and overpressure development in the Western Foothills, Taiwan. *Journal of Geophysical Research*, 113, B12403, doi:10.1029/2008JB005647.

同位体 G

Tanimizu, M. (2008) Determination of Mg isotopic composition of seawater with rapid Mg purification. *Journal of Nuclear Science and Technology*, Supp5, 51-54 .

生命 G

Uchida, M., Ohkushi, K., Kimoto, K., Inagaki, F., Ishimura, T., Tsunogai, U., TuZino, T., and Shibata, Y. (2008) Radiocarbon-based carbon source quantification of anomalous isotopic foraminifera in last glacial sediments in the western North Pacific. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.*, 9, Q04N14, doi:10.1029/2006GC001558.

断層 G 科学支援 G

谷川 亘, 坂口 真澄 (2008) 透水係数の測定時間短縮を目的としたトランジェント・パルス法の改良と考察. 応用地質, 49, 105-110.

科学支援 G 断層 G

廣野哲朗, 西村征洋, 多田井修, 林為人, マイクロフォーカス X線 CT 装置における階調値の誤差の検証および CT 値への規格化について, *JAMSTEC Report of Research and Development*, Volume 8, pp.29-36

断層 G

林 為人, 高橋 学, 中村敏明, 藤井幸泰, 2008. 稲田花崗岩の引張強度・変形特性およびその異方性 - 岩石の一軸引張試験と圧裂引張試験の比較を中心として -, *地盤工学ジャーナル* Vol. 3, No.2, pp.165-173.

2009

(Peer reviewed)

同位体 G

Arai, K., Inoue, T., Matsuda, H., Machiyama, H., Sasaki, K., Iryu, Y., Sugihara, K., Fujita, K., and Nara, M. (2009) Shallow seismic profiling survey on postglacial fore-reef near the present-day northern limit of coral reef formation in the northwestern Pacific. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008, 49-52.

断層 G

Byrne, T.B., Lin, W., Tsutsumi, A., Yamamoto, Y., Lewis, J.C., Kanagawa, K., Kitamura, Y., Yamaguchi, A., Kimura, G.

(2009) Anelastic strain recover reveals extension across SW Japan subduction zone. *Geophysical Research Letters*. Vol. 36, L23310, doi:10.1029/2009GL040749.

## 断層 G

Del, D.P., Di, T. G., Han, R., Hirose, T., Nielsen, S., Shimamoto, T., Cavallo, A. (2009) Frictional melting of peridotite and seismic slip. *Journal of Geophysical Research*, 114, B06306, doi:10.1029/2008JB005990.

## 生命 G

Doi, K., Fujino, Y., Inagaki, F., Kawatsu, R., Tahara, M., Ohshima, T., Okaue, Y., Yokoyama, T., Iwai, S., Ogata, S. (2009) Stimulation of expression of a silica induced protein (Sip) in *Thermus thermophilus* by supersaturated silicic acid. *Applied Environmental Microbiology*, 75, 2406-2413.

## 生命 G 科学支援 G

Futagami, T., Morono, Y., Terada, T., and Inagaki, F. (2009) Dehalogenation activity and distribution of reductive dehalogenase homologous genes in marine subsurface sediments. *Applied Environmental Microbiology*, 75, 6905-6909.

## 断層 G

Hamada, Y., Hirono, T., Ikehara, M., Soh, W., Song, S-R. (2009) Estimated dynamic shear stress and frictional heat during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake: A chemical kinetics approach with isothermal heating experiment. *Tectonophysics*, 469, pp.73-84, doi:10.1016/j.tecto.2009.01.036.

## 断層 G

Hamada, Y., Hirono, T., Tanikawa, W., Soh, W., Song, S-R. (2009) Energy taken up by co-seismic chemical reactions during a large earthquake: An example from the 1999 Taiwan Chi-Chi Earthquake. *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L06301. doi: 10.1029/2008GL03772, 2009.

## 断層 G

Hirono, T., Lin, W., Yeh, E.-C., Soh, W., Murayama, M., Wang, C.-Y., Song, S-R. (2009) Porosity profile within the Taiwan Chelungpu Fault, reconstructed from X-ray computed tomography images, *JAMSTEC Report of Research And Development*, V. 9, 15-22.

## 同位体 G

Hirono, T., Ujiie, K., Ishikawa, T., Mishima, T., Hamada, Y., Tanimizu, M., Soh, W., Kinoshita, M. (2009) Estimated of temperature rise in a shallow slip zone of the megasplay fault in the Nankai Trough. *Tectonophysics*, 478, 215-220. doi:10.1016/j.tecto.2009.08.001.

## 断層 G

Hung, J.-H., Ma, K.-F., Wang, C.-Y., Ito, H., Lin, W. and Yeh, E.-C. (2009) Subsurface structure, physical property, fault-zone characteristics and stress state in scientific drill holes of Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project. *Tectonophysics*, Vol. 466, issues 3-4, 307-321. doi: 10.1016/j.tecto.2007.11.014.

## 科学支援 G

Ito, M., Yamaoka, K., Masuda, H., Kawahata, H., Gupta, L. (2009) Thermal stability of amino acids in biogenic sediments and aqueous solutions at seafloor hydrothermal temperatures, *Geochemical journal*, vol. 43, no.5, p. 31-341.

## 同位体 G

Kashiwabara, T., Takahashi, Y., Tanimizu, M. (2009) A XAFS study on the mechanism of isotopic fractionation of molybdenum during its adsorption on ferromanganese oxides. *Geochemical Journal*, 43, 31-36.

科学支援 G

Kawahata, H., Minoshima, K., Ishizaki, Y., Yamaoka, K., Gupta, L., Nagao, M., Kuroyanagi, A. (2009) Comparison of settling particles and sediments at IMAGES coring site in the northwestern North Pacific - Effect of resuspended particles on paleorecords, *Sedimentary Geology*, vol. 222, Issues 3-4, p.254-262.

生命 G

Masui, N., Morono, Y., and Inagaki, F. (2009) Bio-archive core storage and subsampling procedure for subseafloor molecular biological research. *Scientific Drilling*, 8, 35-37.

断層 G

Mishima, T., Hirono, T., Nakamura, N., Tanikawa, W., Soh, W. and Song, S.-R. (2009) Changes to magnetic minerals caused by frictional heating during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake. *EPS*, Vol. 61(No. 6) 797-801.

断層 G

Mizoguchi, K., Hirose, T., Shimamoto, T., Fukuyama, E. (2009) Fault Heals Rapidly after Dynamic Weakening. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 99, No. 6, 3470-3474. Doi: 10.1785/0120080325

断層 G

Mizoguchi, K., Hirose, T., Shimamoto, T., Fukuyama, E. (2009) High-velocity frictional behaviors of fault gouge obtained from Nojima fault, southwest Japan. *Tectonophysics*. 471, issues 3-4, 285-296. Doi:10.1016/j.tecto.2009.02.033.

生命 G 科学支援 G

Morono, Y., Terada, T., Masui, N., and Inagaki, F. (2009) Discriminative detection and enumeration of microbial life in marine subsurface sediments. *The ISME Journal*, 3, 503-511.

同位体 G

Nagaishi, K. and Ishikawa, T. (2009) A simple method for the precise determination of boron, zirconium, niobium, hafnium and tantalum using ICP-MS and new results for rock reference samples. *Geochemical Journal*, 43, 133-141.

断層 G 科学支援 G

Otsuki, K., Hirono, T., Omori, M., Sakaguchi, M., Tanikawa, W., Lin, W., Soh, W., Rong, S.-R., (2009) Analyses of pseudotachylyte from Hole-B of Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project (TCDP); their implications for seismic slip behaviors during 1999 Chi-Chi earthquake, *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2009.01.008, 469, 13-24.

断層 G

Sato, K., Kumagai, H., Hirose, T., Tamura, H., Mizoguchi, K. and Shimamoto, T. (2009) Experimental study for noble gas release and exchange under high-speed frictional melting. *Chemical Geology* Vol. 266, issues 1-2, 96-103. doi:10.1016/j.chemgeo.2008.12.017.

生命 G

Screaton, E., Kimura, G., Curewitz, D., Moore, G., Chester, F., Fabbri, O., Fergusson, C., Girault, F., Goldsby, D., Harris, R., Inagaki, F., Jiang, T., Kitamura, Y., Knuth, M., Li, C. F., Liljedahl, L. C., Louis, L., Milliken, K., Nicholson, U., Riedinger, N., Sakaguchi, A., Solomon, E., Strasser, M., Su, X., Tsutsumi, A., Yamaguchi, A., Ujiie, K., and Zhao, X. (2009) Interactions between deformation and fluids in the frontal thrust region of the NanTroSEIZE transect offshore the Kii Peninsula, Japan: Results from IODP Expedition 316 Sites C0006 and C0007. *Geochemistry Geophysics. Geosystems*, 10, Q0AD01, doi: 10.1029/2009GC002713.

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Hirono, T., Lin, W., Soh, W., Song, S.-R. (2009) Transport properties and dynamic processes in a fault zone from samples recovered from TCDP Hole B of the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project, *G-Cube*, 10, Q04013. doi:10.1029/2008GC002269

## 生命 G

Tomaru, H., Fehn, U., Lu, Z., Takeuchi, R., Inagaki, F., Imachi, H., Kotani, R., Matsumoto, R., and Aoike, K. (2009) Dating of dissolved iodine in pore waters from the gas hydrate occurrence offshore Shimokita Peninsula, Japan:  $^{129}\text{I}$  results from the D/V *Chikyu* shakedown cruise. *Resource Geol.*, 59, 359-373.

## 断層 G

Viti C. and Hirose T., (2009) Dehydration reactions and micro/nanostructures in experimentally-deformed serpentinites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 157, 327-338, DOI 10.1007/s00410-008-0337-6.

## 断層 G 同位体 G

徐 垣, 谷川 亘, 廣瀬 丈洋, 林 為人, 谷水 雅治, 石川 剛志, 廣野 哲朗, 中村 教博, 三島 稔明, Yeh, E.-C., Song, S.-R., Ma, K.-F., (2009) 1999年台湾集集地震を引き起こしたチェルンブ断層の成果概要—明らかになってきた断層岩の物質科学と今後の課題— *地質学雑誌*, 115, 488-500.

## 科学支援 G 断層 G

多田 井修, 林 為人, 谷川 亘, 廣瀬 丈洋, 坂口 真澄 (2009) 掘削試料の非定常細線加熱法による熱伝導率測定の高精度化に向けた実験. *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 9(2), 1-14.

## 同位体 G

町山 栄章, 木下 正高, 武内 里香, 松本 良, 山野 誠, 濱元 栄起, 弘松 峰男, 佐藤 幹夫, 小松原 純子 (2009) 日本海東縁, 上越海盆西部メタンハイドレート分布域の熱流量分布. *地学雑誌*, 118, 986-1007.

## 同位体 G

松本 良, 奥田 義久, 蛭田 明宏, 戸丸 仁, 竹内 瑛一, 山王 梨紗, 鈴木 麻希, 土永 和博, 石田 泰士, 石崎 理, 武内 里香, 小松原 純子, Antonio Fernando FREIRE, 町山 栄章, 青山 千春, 上嶋 正人, 弘松 峰男, Glen SNYDER, 沼波 秀樹, 佐藤 幹夫, 的場 保望, 中川 洋, 角和 善隆, 荻原 成騎, 柳川 勝則, 砂村 倫成, 後藤 忠則, 廬 海龍, 小林 武志 (2009) 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*, 118, 43-71.

## 同位体 G

森田 澄人, Char-Shine LIU, Chia-Yen KU, 町山 栄章, Saulwood LIN, 徐 垣, 清水 賢 (2009) 台湾南西沖, 海底マウンド分布域の流体循環—大陸棚斜面上のリッジにおける高精度地震探査について— *地学雑誌*, 118, 424-434.

## (Others)

## 科学支援 G

Firth, J., Gupta, L., Röhl, U. (2009) New Focus on the Tales of the Earth—Legacy Cores Redistribution Project Completed, *Scientific Drilling*, no.7, p.31-33.

## 断層 G

Sato, K., Hirose T., Tamura, H., Kumagai, H., Mizoguchi, K. (2009) Volatile gas analysis released from simulated faults during frictional melting: experimental technique and preliminary results. *JAMSTEC-R IFREE Special Issue*, 51-57.

## 断層 G

東 垣 (2009) 台湾チェルンブ断層掘削に置ける成果. *JAMSTEC Report of Research and Development*, V. 9, 95-104.

## 断層 G

東 垣 (2009) 3-5 1999年台湾集集地震を解析する —台湾チェルンブ断層掘削のコア試料—, 木村 学 & 木下 正高 編, 付加体と巨大地震発生帯, 168-185, 東京大学出版会

生命 G

稲垣史生・多田隆治 (2009) INVEST 国際運営委員会の活動概要—日本の国際的科学力について感じたこと—. 月刊地球, Vol. 32 (2), 2-7.

生命 G

稲垣史生・諸野祐樹 (2009) 海底下堆積物中に広がるアーキアワールド. バイオインダストリー, 25, 8-17.

同位体 G

西尾嘉朗, 丸岡照幸, 寺田靖子, 小木曾哲, 鈴木勝彦 (2009) 放射光蛍光 X線分析による白亜紀—第三紀 (K-T) 境界粘土内における白金族元素濃集相の探査. Spring8 2009A 利用報告書 (2009A1466).

同位体 G

町山 栄章, 松本 良, 弘松 峰男 (2009) 口絵2: メタンハイドレート露頭とメタン湧出に由来する崩壊地形の観察. 地学雑誌, 118(1), ii.

生命 G

科学支援 G

諸野祐樹・寺田武志 (2009) 海底下堆積物中の微生物バイオマス測定法. バイオインダストリー, 25, 80-87.

同位体 G

吉村寿紘, 谷水雅治 (2009) 炭酸カルシウムの Ca 安定同位体比による古海洋環境復元. 月刊地球, 31(11), 610-620.

2010

(Peer reviewed)

生命 G

Bach, W., Ravelo, C., Behrmann, J., Camoin, G., Duncan, R., Edwards, K., Gulick, S., Inagaki, F., Pälike, H., and Tada, R. (2010) IODP New Ventures in Exploring Scientific Targets (INVEST): Defining the new goals of an international drilling program. *Scientific Drilling*, 9, 54-64.

断層 G

Chang, C., McNeill, L. C., Moore, J. C., Lin, W., Conin, M., and Yamada, Y. (2010), In situ stress state in the Nankai accretionary wedge estimated from borehole wall failures, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, Q0AD04, doi:10.1029/2010GC003261.

断層 G

De, P. N., Hirose, T., Mitchell, T., Toro, G. D., Viti, C., and Shimamoto, T. (2011), Fault lubrication and earthquake propagation in thermally unstable rocks, *Geology*, 39, 35-38.

断層 G

Ferri, F., Toro, G. D., Hirose, T., and Shimamoto T. (2010), Evidence of thermal pressurization in high-velocity friction experiments on smectite-rich gouges, *Terra Nova*, 22(5), 347-353.

断層 G

Haimson, B., Lin, W., Oku, H., Hung, J.-H., Song, S.-R. (2010), Integrating borehole breakout dimensions, strength criteria, and leak-off test results, to constrain the state of stress across the Chelungpu Fault, Taiwan, *Tectonophysics*, 482, 65-72, doi: 10.1016/j.tecto.2009.05.016.

断層 G

Han, R., Hirose, T., and Shimamoto, T. (2010), Strong velocity weakening and powder lubrication of simulated carbonate faults at seismic slip rates, *Journal of Geophysical Research*, 115, B03412, doi:10.1029/2008JB006136.

生命 G

Inagaki, F. (2010) Deep seafloor microbial communities. In: *Encyclopedia of Life Sciences*, pp. 1-10, John Wiley &

Sons, Ltd., Chichester, doi: 10.1002/9780470015902.a0021894.

#### 生命 G

Lever, M. A., Heuer, V. B., Morono, Y., Masui, N., Schmidt, F., Alperin, M. J., Inagaki, F., Hinrichs, K.-U., and Teske, A. (2010) Acetogenesis in deep seafloor sediments of the Juan de Fuca ridge flank: A synthesis of geochemical, thermodynamic, and gene-based evidence. *Geomicrobiol Journal*, 27, 183-211.

#### 断層 G

Lin, W., Doan, M.-L., Moore, J. C., McNeill, L., Byrne, T., Ito, T., Saffer, D., Conin, M., Kinoshita, M., Sanada, Y., Moe, K.-T., Araki, E., Tobin, H., Boutt, D., Kano, Y., Hayman, N., Flemings, P., Huftile, G., Cukur, D., Buret, C., Schleicher, A., Efimenko, N., Kawabata, K., Buchs, D., JIANG, S., Kameo, K., Horiguchi, K., Wiersberg, T., Kopf, A., Kitada, K., Eguchi, N., Toczko, S., Takahashi, K., Kido, Y. (2010), Present-day principal horizontal stress orientations in the Kumano forearc basin of the southwest Japan subduction zone determined from IODP NanTroSEIZE drilling Site C0009, *Geophysical Research Letters*, Vol.37, L13303, doi: 10.1029/2010GL043158. 2010.

#### 断層 G

Lin, W., Yeh, E.-C., Hung, J.-H., Haimson, B., Hirono, T., (2010), Localized rotation of principal stress around faults and fractures determined from borehole breakouts in hole B of the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP), *Tectonophysics*, 482, 82-91, doi: 10.1016/j.tecto.2009.06.020.

#### 断層 G

Matsumoto, D., Shimamoto, T., Hirose, T., Gunatilake, J., Wickramasooriya, A., DeLile, J., Young, S., Rathnayake, C., Ranasooriya, J. and Murayama, M., 2010, Thickness and grain-size distribution of the 2004 Indian Ocean tsunami deposits in Periya Kalapuwa Lagoon, eastern Sri Lanka, *Sedimentary Geology*, 230, 95-104.

#### 生命 G

Morono, Y., and Inagaki, F. (2010) Automatic slide-loader fluorescent microscope system for high-throughput discriminative enumeration of seafloor life. *Scientific Drilling*, 9, 32-36.

#### 断層 G

Nielsen, S., Mosca, P., Giberti, G., Toro, G. D., Hirose, T. and Shimamoto, T. (2010), On the transient behavior of frictional melt during seismic slip, *Journal of Geophysical Research*, 115, B10301, doi:10.1029/2009JB007020.

#### 同位体 G

Nishio, Y., Okamura, K., Tanimizu, M., Ishikawa, T. and Sano, Y. (2010) Lithium and strontium isotopic systematics of waters around Ontake volcano, Japan: Implications for deep-seated fluids and earthquake swarms. *Earth and Planetary Science Letters*, 297, 567-576.

#### 生命 G

Nunoura, T., Oida, H., Nakaseama, M., Kosaka, A., Ohkubo, S., Kikuchi, T., Kazama, H., Tanabe, S. H., Nakamura, K., Kinoshita, M., Hirayama, H., Inagaki, F., Tsunogai, U., Ishibashi, J., and Takai, K. (2010) Archaeal diversity and distribution along thermal and geochemical gradients in hydrothermal sediments at the Yonaguni Knoll IV, the Southern Okinawa Trough. *Applied and Environmental Microbiology*, 76, 1198-1211.

#### 生命 G

Takano, Y., Chikaraishi, Y., Ogawa, N. O., Nomaki, H., Morono, Y., Inagaki, F., Kitazato, H., Hinrichs, K.-U., and Ohkouchi, N. (2010) Sedimentary membrane lipids recycled by deep-sea benthic archaea. *Nature Geoscience*, 3, 858-861.

#### 同位体 G

Tanaka, K., Tani, Y., Takahashi, Y., Tanimizu, M., Suzuki, Y., Kozai, N. and Ohnuki, T. (2010) A specific Ce oxidation process during sorption of rare earth elements on biogenic Mn oxide produced by *Acremonium* sp. strain KR21-2. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 5463-5477.

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Tadai, O., Hirose, T. (2010) Influence of fault slip rate on shear-induced permeability, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2009JB007013.

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Wibowo, H. T., Shimamoto, T., Tadai, O., (2010) Fluid transport properties and estimation of overpressure at the Lusi mud volcano, East Java Basin. *Engineering Geology*, 116, 73-85.

同位体 G

Tsunogai, U., Kosaka, A., Nakayama, N., Komatsu, D.D., Konno, U., Kameyama, S., Nakagawa, F., Sumino, H., Nagao, K., Fujikura, K., and Machiyama, H. (2010) Origin and fate of deep-sea seeping methane bubbles at Kuroshima knoll, Ryukyu forearc region, Japan. *Geochemical Journal*, 44, 46-476.

生命 G

Stainsbu, B. O., Thorseth, I. H., Nakagawa, S., Inagaki, F., Lever, M. A., Engelen, B., Øvreås, L., and Pedersen, R. B. (2010) *Archaeoglobus sulfaticallidus* sp. nov., a thermophilic and facultatively lithoautotrophic sulfate-reducer isolated from black rust exposed to hot ridge flank crustal fluids. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology*, 60, 2745-2752.

断層 G

Stünitz H., Keulenb N., Hirose T., and Heilbronnerb R., (2010), Grain size distribution and microstructures of experimentally sheared granitoid gouge at coseismic slip rates – criteria to distinguish seismic and aseismic faults? *Journal of Structural Geology*, 32, 59-69.

断層 G

Viti, C., and Hirose, T. (2010), Thermal decomposition of serpentine during coseismic faulting: nanostructures and mineral reactions, *Journal of Structural Geology*, 32(10), 1476-1484.

同位体 G 科学支援 G

高柳栄子, 中山裕樹, 石川剛志, 永石一弥, 井龍康文 (2010) 北大東島の地表に分布するドロマイトのSr同位体組成. 地質学雑誌, 116, 237-240.

(Others)

同位体 G

西尾嘉朗 (2010) リチウム同位体が拓く地殻流体科学. 地質ニュース, 670, 13-21.

断層 G

廣瀬丈洋・高橋美紀 (2010), 蛇紋岩の摩擦特性と断層運動 – 研究レビューと最近の成果 –, 月刊地球, 32(3), 156-161.

生命 G

諸野祐樹・稲垣史生 (2010) 海底下生命圏の拡がり と 限界を探る – 高感度・高精度・高性能の生命検出計数法の開発. 化学と生物, Vol. 48 (11), 757-76, 日本農芸化学会.

2011

(Peer reviewed)

同位体 G

Asaoka, S., Takahashi, Y., Araki, Y., and Tanimizu, M. (2011) Preconcentration method of antimony using modified thiol cotton fiber for isotopic analyses of antimony in natural samples. *Analytical Science*, 27, 25-28.

## 断層 G

Blackman, D.K., Ildefonse, B., John, B.E., Ohara, Y., Miller, D.J. and IODP 304-305 Science Party (Hirose, T. included) (2011) Drilling Constraints on Lithospheric Accretion and Evolution at Atlantis Massif, Mid-Atlantic Ridge 30° N, *Journal of Geophysical Research*, 116, B07103, doi:10.1029/2010JB007931.

## 生命 G

Chapligin, B., Leng, M. J., Webb, E., Alexandre, A., Dodd, J. P., Ijiri, A., Lucke, A., Shemesh, A., Abelman, A., Herzsuh, U., Longstaffe, F. J., Meyer, H., Moschen, R., Okazaki, Y., Rees, N. H., Sharp, Z. D., Sloane, H. J., Sonzogni, C., Swann, G. E. A., Sylvestre, F., Tyler, J. J., and Yam, R. (2011) Inter-laboratory comparison of oxygen isotope compositions from biogenic silica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, 7242-7256.

## 断層 G

De P, N., Chiodini, G., Hirose, T., Cardellini, C., Caliro, C. and Shimamoto, T., (2011), The geochemical signature of carbonate-hosted seismogenic faults, *Earth and Planetary Science Letters*, 310, 225–232, doi:10.1016/j.epsl.2011.09.001.

## 断層 G

De P, N., Hirose, T., Mitchell, T., Toro, G. D., Viti, C. and Shimamoto, T. (2011), Fault lubrication and earthquake propagation in thermally unstable rocks, *Geology*, 39(1), 35–38, doi:10.1130/G31398.1.

## 断層 G

Di Toro, G., Han R., Hirose T., De P. N., Nielsen S., Mizoguchi, K., Ferri, F., Cocco, M. and Shimamoto, T., 2011. Fault lubrication during earthquakes, *Nature*, 471,494–498, doi:10.1038/nature09838.

## 断層 G

Doan, M. - L., Conin, M., Henry, P., Wiersberg, T., Boutt, D., Buchs, D., Saffer, D., McNeill, L. C., Cukur, D. and Lin, W. (2011), Quantification of free gas in the Kumano fore - arc basin detected from borehole physical properties: IODP NanTroSEIZE drilling Site C0009, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 12, Q0AD06, doi:10.1029/2010GC003284.

## 断層 G

Faulkner, D.R., Mitchell, T., Behnsen, J., Hirose, T. and Shimamoto, T., 2011. Stuck in the mud? Earthquake nucleation and propagation through accretionary forearcs, *Geophysical Research Letters*, 38, L18303, doi:10.1029/2011GL048552.

## 断層 G

Ferri, F., Toro, G. D., Hirose, T., Han, R., Noda, H., Shimamoto, T., Quaresimin, M. and de R, N. (2011) Low- To High-Velocity Frictional Properties Of The Clay-Rich Gouges From The Slipping Zone Of The 1963 Vaiont Slide (Northern Italy), *Journal of Geophysical Research*, 116, B09208, doi:10.1029/2011JB008338.

## 同位体 G

Hamada, Y., Hirono, T. and Ishikawa, T. (2011) Coseismic frictional heating and fluid–rock interaction in a slip zone within a shallow accretionary prism and implications for earthquake slip behavior. *Journal of Geophysical Research*, 116, B01302, doi: 10.1029/2010JB007730.

## 断層 G

Han, R., Hirose, T., Shimamoto, T., Lee, Y. and Ando, J. (2011) Granular nanoparticles lubricate faults during seismic slip, *Geology*, 39(6) 599–602, doi:10.1130/G31842.1.

生命 G

Hirayama, H., Suzuki, Y., Abe, M., Miyazaki, M., Makita, H., Inagaki, F., Uematsu, K., and Takai, K. (2011) *Methylothermus subterraneus* sp. nov., a moderately thermophilic methanotrophic bacterium from a terrestrial subsurface hot aquifer in Japan. *International Journal Of Systematic and Evolutionary Microbiol.*, 61, 2646-2653.

断層 G

Hirono, T., and Tanikawa, W. (2011), Implications of the thermal properties and kinetic parameters of dehydroxylation of mica minerals for fault weakening, frictional heating, and earthquake energetics, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 307, 1-2, 1, 161-172.

断層 G

Hirose T., Kawagucci, S. and Suzuki, K. (2011), Mechanoradical H<sub>2</sub> generation and implications for an earthquake-driven dark energy biosphere, *Geophysical Research Letters*, 38, L17303, doi:10.1029/2011GL048850.

同位体 G

Honda, G., Ishikawa, T., Hirono, T. and Mukoyoshi, H. (2011) Geochemical signals for determining the slip-weakening mechanism of an ancient megasplay fault in the Shimanto accretionary complex. *Geophysical Research Letters*, 38, L06310, doi:10.1029/2011GL046722.

生命 G 科学支援 G

Hoshino, T., Morono, Y., Terada, T., Imachi, H., Ferdelman, T. G., and Inagaki, F. (2011) Comparative study of subseafloor microbial community structures in deeply buried coral fossils and sediment matrices from the Challenger Mound of the Porcupine Seabight. *Frontiers in Microbiology*, 2, Article no. 231.

生命 G

Imachi, H., Aoi, K., Tasumi, E., Saito, Y., Yamanaka, Y., Saito, Y., Yamaguchi, T., Tomaru, H., Takeuchi, R., Morono, Y., Inagaki, F., and Takai, K. (2011) Cultivation of methanogenic community from subseafloor sediments using a continuous-flow bioreactor. *ISME Journal*, 5, 1751-1925.

同位体 G

Ishikawa, T. and Nagaishi, K. (2011) High-precision isotopic analysis of boron by positive thermal ionization mass spectrometry with sample preheating. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26, 359-365.

同位体 G

Kashiwabara, T., Takahashi, Y., Tanimizu, M., and Usui, A. (2011) Molecular-scale mechanisms of distribution and isotopic fractionation of molybdenum between seawater and ferromanganese oxides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, 5762-5784.

同位体 G

Kuroda, J., Tanimizu, M., Hori, R. S., Suzuki, K., Ogawa, N. O., Tejada, M. L., Coffin, M. F., Coccioni, R., Erba, E., and Ohkouchi, N. (2011) Lead isotopic record of Barremian-Aptian marine sediments: Implications for large igneous provinces and the Aptian climatic crisis. *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 126-134.

断層 G

Lin, W., Saito, S., Sanada, Y., Yamamoto, Y., Hashimoto, Y., Kanamatsu, T. (2011), Principal horizontal stress orientations prior to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki, Japan, earthquake in its source area, *Geophysical Research Letters*, 38, L00G10, doi:10.1029/2011GL049097.

断層 G 科学支援 G

Lin, W., Tadai, O., Hirose, T., Tanikawa, W., Takahashi, M., Mukoyoshi, H. and Kinoshita M. (2011), Thermal conductivities under high pressure in core samples from IODP NanTroSEIZE drilling site C0001, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 12, Q0AD14, doi:10.1029/2010GC003449.

## 同位体 G

Matsuda, H., Arai, K., Machiyama, H., Iryu, Y. and Tsuji, Y. (2011) Submerged reefal deposits near a present-day northern limit of coral reef formation in the northern Ryukyu Island Arc, northwestern Pacific Ocean. *Island Arc*, 20, 411-425.

## 生命 G

Morono, Y., Kallmeyer, J., Inagaki, F., and the Expedition 329 Scientists. (2011) Preliminary experiment for cell count using flow cytometry. *Proceedings of the IODP*, 329, 1-8.

## 生命 G 同位体 G 科学支援 G

Morono, Y., Terada, H., Nishizawa M., Ito, M., Takahata N., Sano Y., and Inagaki, F. (2011) Carbon and nitrogen assimilation in deep seafloor microbial cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 18295-18300.

## 断層 G

Noda, H., Kanagawa, K., Hirose, T. and Inoue, A., (2011) Frictional experiments at intermediate slip rates with controlling temperature. *Journal of Geophysical Research*, 116, B07306, doi:10.1029/2010JB007945.

## 断層 G

Oohashi, K., Hirose, T. and Shimamoto, T. (2011) Shear-induced graphitization of carbonaceous materials during seismic fault motion: experiments and possible implications for fault mechanics, *Journal of structural Geology*, 33, 1122-1134, doi:10.1016/j.jsg.2011.01.007.

## 科学支援 G

Raimbourg, H., Ujiie, K., Kopf, A., Hisamitsu, T., Hamano, Y., Saito, S., Kinoshita, M. (2011) The role of compaction contrasts in sediments in décollement initiation in an accretionary prism, *Marine Geology*, vol. 282, Issues 3-4, p.188-200.

## 同位体 G

Tanimizu, M., Araki, Y., Asaoka, S., and Takahashi, Y. (2011) Determination of natural isotopic variation in antimony using inductively coupled plasma mass spectrometry for an uncertainty estimation of the standard atomic weight of antimony. *Geochemical Journal*, 45, 27-31.

## 断層 G

Togo, T., Shimamoto, T., Ma, S. and Hirose, T. (2011) High-velocity frictional behavior of Longmenshan fault gouge from Hongkou outcrop, Sichuan, China and its implications for dynamic weakening of fault during the 2008 Wenchuan earthquake, *Earthquake Science*, 24, 267-281, doi:10.1007/s11589-011-0790-6.

## 同位体 G

Toyofuku, T., Suzuki, M., Suga, H., Sakai, S., Suzuki, A., Ishikawa, T., Jan de Nooijer, L., Schiebel, R., Kawahata, H., and Kitazato, H. (2011) Mg/Ca and  $\delta^{18}\text{O}$  in the brackish shallow-water benthic foraminifer *Ammonia 'beccarii'*. *Marine Micropaleontology*, 78, 113-120.

## 同位体 G

Yamaguchi A., Barrat J-A., Ito, M., and Bohn M. (2011) Post Eucritic magmatism on Vesta: Evidence from the petrology and thermal history of diogenites. *Journal of Geophysical Research*, 116, E08009, doi:10.1029/2010JE003753.

## 生命 G

Yanagawa, K., Sunamura, M., Lever, M. A., Morono, Y., Hiruta, A., Matsumoto, R., Urabe, T., and Inagaki, F. (2011) Niche separation of anaerobic methanotrophs (ANME-1 and -2) in methane seep-sediments in the eastern Japan Sea off Joetsu. *Geomicrobiol Journal*, 28, 118-129.

同位体 G

Yoshimura, T., Tanimizu, M., Inoue, M., Suzuki, A., Iwasaki, N., and Kawahata, H. (2011) Mg isotope fractionation in biogenic carbonates of deep-sea coral, benthic foraminifera and hermatypic coral. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 401, 2755-2769.

同位体 G

谷水雅治 (2011) ICP 質量分析法を用いた重元素安定同位体比の精密測定による地球化学の新展開. 地球化学, 45, 129-145.

(Others)

科学支援 G

Nishiyama, T., Yamagiwa, S., Hisamitsu, T. (2011) Prototyping GPU-based Cloud System for IODP Core Image Database, *ICNC '11 Proceedings of the 2011 Second International Conference on Networking and Computing*, p.327-331.

同位体 G

伊藤元雄 (2011) 超高空間分解能型二次イオン質量分析器 NanoSIMS によるイメージング法: 隕石と海底下微生物への応用. 機能紙研究会会誌, 50, 3-7.

生命 G

稲垣史生 (2011) 地球環境・エネルギー問題に挑む: 下北八戸沖石炭層生命圏掘削. 文部科学時報, 1621(2), 17-20.

2012

(Peer reviewed)

同位体 G

Asaoka, S., Takahashi, Y., Araki, Y., and Tanimizu, M. (2012) Comparison of antimony and arsenic behavior in an Ichinokawa river water-sediment system. *Chemical Geology*, 334, 1-8.

断層 G

Boutt, D. F., Saffer, D. M., Doan, M. L., Lin, W., Ito, T., Kano, Y., Flemings, P. B., McNeil, L., Byrne, T., Hayman, N. W. and Moe, K. T. (2012), Scale dependence of in-situ permeability measurements in the Nankai accretionary prism: The role of fractures, *Geophysical Research Letters*, 39, L07302, doi:10.1029/2012GL051216.

断層 G

Boutareaud, S., Hirose, T., Andréani, M., Pec, M., Calugaru, D.-G., Boullier, A.-M. and Doan, M.-L. (2012), On the role of phyllosilicates on fault lubrication: Insight from micro- and nanostructural investigations on talc friction experiments, *Journal of Geophysical Research*, 117, B08408, doi:10.1029/2011JB009006.

生命 G

Briggs, B., Inagaki, F., 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. *FEMS Microbiology Ecology*, 81, 88-98.

断層 G

Cheng H., Qiao, Y., Liu, C., Li, Y., Zhu, B., Shi, Y., Sun, D., Zhang K. and Lin, W. (2012), Extended hybrid pressure and velocity boundary conditions for D3Q27 lattice Boltzmann model, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.36, Issue 5, 2031-2055, doi:10.1016/j.apm.2011.08.015

科学支援 G

Ichiyama, Y., Ishiwatari, A., Kimura, J., Senda, R., Kawabata, H., Tatsumi, Y. (2012) Picrites in central Hokkaido:

Evidence of extremely high temperature magmatism in the Late Jurassic ocean recorded in an accreted oceanic plateau, *Geology*, vol.40, Issue 5, p.411-414.

## 同位体 G

Ikehara, K., Ashi, J., Machiyama, H. and Shirai, M. (2012) Submarine slope response to earthquake shaking within western Sagami Bay, Central Japan. In Yamada, Y., Kawamura, K., Ikehara, K., Ogawa, Y., Urgeles, R., Mosher, D., Chaytor, J., Strasser, M. (Eds), *Submarine Mass Movements and Their Consequences*, Advances in Natural and Technological Hazards Research 31, 539-547, Springer.

## 同位体 G 科学支援 G

Kakizaki, Y., Ishikawa, T., Nagaiishi, K., Tanimizu, M., Hasegawa, T., and Kano, A. (2012) Strontium isotopic ages of the Torinosu-type limestones (latest Jurassic to earliest Cretaceous, Japan): Implication for biocalcification event in northwestern Palaeo-Pacific. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46, 140-149.

## 断層 G

Katayama, I., Terada, T., Okazaki, K. and Tanikawa, W. (2012), Episodic tremor and slow slip potentially linked to permeability contrasts at the Moho, *Nature Geoscience*, 731 - 734, doi:10.1038/ngeo1559.

## 断層 G

Kawagucci, S., Yoshida, Y. T., Noguchi, T., Honda, M. C., Uchida, H., Ishibashi, H., Nakagawa, F., Tsunogai, U., Okamura, K., Takaki, Y., Nunoura, T., Miyazaki, J., Lin, W., Kitazato, H. and Takai, K. (2012), Disturbance of deep-sea environments induced by the M9.0 Tohoku Earthquake, *Scientific Reports*, 2, 270, doi:10.1038/srep00270.

## 断層 G 科学支援 G

Kitamura, M., Mukoyoshi, H., Fulton, P. M. and Hirose, T. (2012), Coal maturation by frictional heat during rapid fault slip, *Geophysical Research Letters*, 39, L16302, doi:10.1029/2012GL052316.

## 生命 G

Kouduka, M., Suko, T., Morono, Y., Inagaki, F., Ito, K. and Suzuki, Y. (2012) A new DNA extraction method by controlled alkaline treatments from consolidated subsurface sediments. *FEMS Microbiology Letters*, 326, 47-54.

## 断層 G

Han, R., Hirose, T. (2012) Clay clast aggregates in fault gouge: An unequivocal indicator of seismic faulting at shallow depths? *Journal of Structural Geology*, 43, 92-99, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.008>.

## 生命 G

Hinrichs, K.-U., and Inagaki, F. (2012) Downsizing the deep biosphere. *Science*, 338, 204-205.

## 断層 G

Hirose T., Mizoguchi, K. and Shimamoto, T. (2012), Wear processes in rocks at slow to high slip rates, *Journal of Structural Geology*, 38, 102-116, doi:10.1016/j.jsg.2011.12.007.

## 生命 G

Hoshino, T., and Inagaki, F. (2012) Molecular quantification of environmental DNA using microfluidics and digital PCR. *Systematic and Applied Microbiology*, 35, 390-395.

## 生命 G

Ijiri, A., Harada, N., Hirota, A., Tsunogai, U., Ogawa, N.O., Khim, B.K., and Uchida, M. (2012) Biogeochemical processes involving acetate in subseafloor sediments from the Bering shelf break. *Organic Geochemistry*, 48, 47-55.

生命 G

Langerhuus, A. T., Røy, H., Lever, M. A., Morono, Y., Inagaki, F., Jørgensen, B. B., and Lomstein, B. A. (2012) Endospore abundance and D:L-amino acid modeling of bacterial turnover in Holocene marine sediment (Aarhus Bay). *Geochimica et Cosmochim. Acta*, 99, 87-99.

断層 G

Lavallee Y., Mitchell T.M., Heap J.M., Vasseur J., Hess K., Hirose T., Dingwell B.D., (2012), Experimental generation of volcanic pseudotachylites: constraining rheology, *Journal of Structural Geology*, 38, 222-233, doi:10.1016/j.jsg.2012.02.001.

生命 G

Makita, H., Nakagawa, S., Miyazaki, M., Nakamura, K., Inagaki, F., and Takai, K. (2012) *Thiofractor thiocaminus* 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. *Archives Microbiology*, 194, 785-794.

断層 G

Marcaillou B., Henry P., Kinoshita M., Kanamatsu T., Screaton E., Daigle H., Harcouet-Menou V., Lee Y., Matsubayashi O., Moe K., Kodaira S., Yamano M., the Expedition 333 science party (2012) Seismogenic zone temperatures and heat-flow anomalies in the To-nankai margin segment based on temperature data from IODP expedition 333 and thermal model, *Earth and Planetary Science Letters*, 349-350, 171-185, doi:10.1016/j.epsl.2012.06.048

生命 G

Mills, H. J., Reese, B. K., Shepard, A. K., Riedinger, N., Dowd, S. E., Morono, Y., and Inagaki, F. (2012) Characterization of metabolically active bacterial populations in subseafloor Nankai Trough sediments above, within, and below the sulfate-methane transition zone. *Frontiers in Microbiology*, 3, Article no. 113.

生命 G

Miyazaki, M., Koide, O., Kobayashi, T., Mori, K., Shimamura, S., Nunoura, T., Imachi, H., Inagaki, F., Nagahama, T., Deguchi, S., and Takai, K. (2012) *Geoflum rubicundum* gen. nov. sp. nov., isolated from deep subseafloor sediment. *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology*, 62, 1075-1080.

生命 G

Morono, Y., Yamamoto, K., and Inagaki, F. (2012) Radical gas-based DNA decontamination technique for ultra-sensitive molecular experiments. *Microbes And Environments*, 27, 512-514.

断層 G

Noguchi, T., Tanikawa, W., Hirose, T., Lin, W., Kawagucci, S., Takashima, Y., Honda, M., Takai, K., Kitazato, K., and Okamura, K., (2012), Dynamic process of turbidity generation triggered by the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13, Q11003, doi:10.1029/2012GC004360.

断層 G

Oohashi, K., Hirose, T., Kobayashi, K. and Shimamoto, T. (2012), The occurrence of graphite-bearing fault rocks in the Atotsugawa fault system, Japan: origins and implications for fault creep, *Journal of Structural Geology*, 38, 39-50, doi:10.1016/j.jsg.2011.10.011.

同位体 G

Park, C., Wakaki, S., Sakamoto, N., Kobayashi S. and Yurimoto, H. (2012) Oxygen isotopic composition of the solar nebula gas inferred from high-precision isotope imaging of melilite crystals in an Allende CAI. *Meteoritics and Planetary Sciences*, 47, 2070-2083.

断層 G

Sugioka, H., Okamoto, T., Nakamura T., Ishihara Y., Ito A., Obana K., Kinoshita M., Nakahigashi K., Shinohara M.,

Fukao Y. (2012), Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, 5, 414~418, doi:10.1038/ngeo1466

同位体 G 科学支援 G

Takayanagi, H., Iryu, Y., Oda, M., Sato, T., Chiyonobu, S., Nishimura, A., Nakazawa, T., Ishikawa, T., and Nagaishi, K. (2012) Temporal changes in biotic and abiotic composition of shallow-water carbonates on submerged seamounts in the northwestern Pacific Ocean and their controlling factors. *Geodiversitas*, 34, 189-217.

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Mukoyoshi, H. and Tadai, O. (2012), Experimental investigation of the influence of slip velocity and temperature on permeability during and after high-velocity fault slip, *Journal of Structural Geology*, 38, 90-101.

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Mukoyoshi, H., Tadai, O., Hirose, T., Tsutsumi, A. and Lin, W. (2012), Velocity dependence of shear-induced permeability associated with frictional behavior in fault zones of the Nankai subduction zone, *Journal of Geophysical Research*, 117, B05405, doi:10.1029/2011JB008956.

生命 G

Toki, T., Uehara, Y., Kinjo, K., Ijiri, A., Tsunogai, U., Tomaru, H., and Ashi, J. (2012) Methane production and accumulation in the Nankai accretionary prism: Results from IODP Expeditions 315 and 316. *Geochemical Journal*, 46, 89-106.

生命 G

Vossmeyer, A., Deusner, C., Kato, C., Inagaki, F., and Ferdelman, T. (2012) Substrate-specific pressure dependence of microbial sulfate reduction in deep-sea cold seep sediments of the Japan Trench. *Frontiers in Microbiology*, 3, Article no. 253.

断層 G

Wang L., Sun D., Lin W., Cui J., Peng H., Gao L., Wang W., Tang Z., Qiao Z., (2012), Anelastic strain recovery method to determine in-situ stress and an application example, *Chinese Journal of Geophysics*, 55 (3), 333-342, doi:10.6038/j.issn.0001-5733.2012.05.24.

生命 G

Watsuji, T., Nishizawa, M., Morono, Y., Hirayama, H., Kawagucci, S., Takahata, N., Sano, Y., and Takai, K. (2012) Cell-Specific thioautotrophic productivity of Epsilon-proteobacterial epibionts associated with *Shinkaia crosnieri*. *PLoS ONE*, 7, e46282. doi:10.1371/journal.pone.0046282

断層 G

Wu H.-Y., Kinoshita M., Sanada Y., (2012) Stress state estimation by geophysical logs in NanTroSEIZE Expedition 319-Site C0009, Kumano Basin, southwest Japan, *Geophysical Research Letters*, 39, L18303, doi:10.1029/2012GL053086

同位体 G 科学支援 G

Yamaoka, K., Ishikawa, T., Matsubaya, O., Ishiyama, D., Nagaishi, K., Hiroyasu, Y., Chiba, H., and Kawahata, H. (2012) Boron and oxygen isotope systematics for a complete section of oceanic crustal rocks in the Oman ophiolite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84, 543-559.

断層 G

Yeh E.-C., Li W.-C., Sun T.-H., Lin Weiren., Lin Wayne, Lin, C.-K., Chen, W.-S. (2012), In-Situ Stress Evaluation Inferred From Anelastic Strain Recovery In Hoping Area, Hualien, *Sino-Geotechnics*, No. 131, pp.23-34, in Chinese (Taiwanese) with English abstract.

生命 G

Zhang, G., Smith-Duque, C., Li, H., Zarikian, C., D'Hondt, S., Inagaki, F., 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. *Lithos*, 144-145, 73-87.

断層 G

Zhu, B., Cheng, H., Qiao, Y., Liu, C., Sshi, Y., Zhang, K., Sun, D., Lin, W., (2012), Porosity and permeability evolution and evaluation in anisotropic porosity multiscale-multiphase-multicomponent structure, *CHINESE SCIENCE BULLETIN*, Vol.57, No.4, pp.320-327, doi: 10.1007/s11434-011-4874-4.

同位体 G

石川剛志, 廣野哲朗 (2012) 断層岩の微量元素組成・同位体組成からみた地震時の流体岩石相互作用. 地球化学, 46, 217-230.

同位体 G

吉村 寿紘, 谷水 雅治 (2012) 炭酸カルシウムのCa, Mg安定同位体分別. 地球化学, 46, 35-51.

(Others)

科学支援 G

Gupta, L., Hisamitsu, T., Masui, N. (2102) New Services of KCC to Assist Researchers in Realizing Scientific Goals of the IODP, *Scientific Drilling*, no.13, p.40-41.

断層 G

Moe, K.T., Ito, T., Lin W., Doan, M-L., Boutt, D., Kawamura, Y., Khong, C-K., McNeill, L., Byrne, T., Saffer, D., Araki, E., Eguchi, N., Sawada, I., Flemings, P., Kano, Y., Moore, C., Kinoshita, M. and Tobin, H. (2012). Operation review of the first wireline in situ stress test in scientific ocean drilling, *Scientific Drilling*, Special Issue No.13, pp.35-39, doi:10.2204/iodp.sd.06.2011.

生命 G

稲垣史生 (2012) 教養読本 海底下生命圏と炭化水素資源: 地球内部の持続的物質循環システムの理解と利活用. 地質と調査, 2, 35-42, 土木春秋社.

生命 G

稲垣史生 (2012) 深部地下生命圏. 地球と宇宙の化学事典, 1-24, p. 35. 日本地球化学会編, 朝倉書店.

生命 G

井町寛之・稲垣史生 (2012) 深海底環境からのメタン生成菌の効率的な培養技術 (特集 非在来型天然ガスの資源動向とメタン化学変換). ファインケミカル, 41(12), 40-47, シーエムシー出版.

生命 G

浦本豪一郎・清家一馬 (2012) ストラウブ法: チャネル堆積層における補償累重の定量的検出. 地質学雑誌, 118, 582-587.

同位体 G

河本和朗, 石川剛志, 松多範子, 廣野哲朗 (2013) 長野県天然記念物, 中央構造線安康露頭の前岩の判定と地質境界断層の決定 - 偏光顕微鏡観察と化学分析の対比 -. 伊那谷自然研究論集, 14, 1-17.

科学支援 G

富山隆将, 町山栄章, 佐川優子 (2012) JAMSTEC コア試料キュレーション—二次利用のための試料・データ管理—, 月刊地球, vol.34, no.1, p.9-18.

生命 G

諸野祐樹 (2012) 太古の地層から生きた微生物を発見—超高解像度二次イオン質量分析計を用いた海底下生命圏の解析—.

バイオサイエンスとインダストリー, 70, 244-245.

生命 G

諸野祐樹・稲垣史生 (2012) NanoSIMSによる未培養微生物のシングルセルレベルでの生理生態解析 (特集 複合微生物系の制御・有効利用の最前線). 化学工学, 76(11), 667-670, 日本化学工学会.

2013

(Peer reviewed)

断層 G 同位体 G

Chester, F. M., Rowe, C., Ujiie, K., Kirkpatrick, J., Regalla, C., Remitti, F., Moore, J. C., Toy, V., Wolfson-Schwehr, M., Bose, S., Kameda, J., Mori, J. J., Brodsky, E. E., Eguchi, E., Toczko, S. and Expedition 343 and 343T Scientists (Anderson, L., Behrmann, J. H., Conin, M., Cook, B., Fulton, P., Hirose, T., Ikari, M., Ishikawa, T., Jeppson, T., Lin, W., Mishima, T., Motoyama, I., Nakamura, Y., Sample, J., Sun, T., Takai, K., Yang, T., Kodaira, S., Maeda, L., Kido, Y., Saito, S. and Sanada, Y.) (2013) Structure and composition of the plate-boundary slip zone for the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Science*, 342, 1208-1211.

断層 G

Cui, J.W., Li, Z.F., Wang, L.J., Lin, W., Wang, W., Sun, D.S., Gao, L., Qian, H.S., (2013). Determination of three-dimensional in situ stresses from anelastic strain recovery (ASR) of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project Hole-1 (WFSD-1) and Formation mechanism of the "5.12" Wenchuan earthquake. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 2033-2047. (in Chinese with English abstract).

断層 G

Davis E.E., Kinoshita M., Becker K., Wang K., Asano Y., Ito Y., (2013) Episodic deformation and inferred slow slip at the Nankai subduction zone during the first decade of CORK borehole pressure and VLFE monitoring, *Earth and Planetary Science Letters*, 368, 110-118

生命 G

De Beer, D., Haeckel, M., Neumann, J., Wegener, G., Inagaki, F., and Boetius, A. (2013) Saturated CO<sub>2</sub> inhibits microbial processes in CO<sub>2</sub>-vented deep-sea sediments. *Biogeosciences*, 10, 5639-5649.

生命 G

D'Hondt, S., Inagaki, F., Zarikian, C. A., and the IODP Expedition 329 Scientists. (2013) IODP Expedition 329: Life and habitability beneath the seafloor of the South Pacific Gyre. *Scientific Drilling*, 15, 4-10.

科学支援 G

Fukuda, M., Harada, N., Sato, M., Lange, C. B., Ahagon, N., Kawakami, H., Miyashita, W., Pantoja, S., Matsumoto, T., Motoyama, I. (2013) 230Th-normalized fluxes of biogenic components from the central and southernmost Chilean margin over the past 22,000 years, *Geochemical Journal*, vol. 47, p.119-135.

同位体 G 断層 G

Fulton, P. M., Brodsky, E. E., Kano, Y., Mori, J., Chester, F., Ishikawa, T., Harris, R.N., Lin, W., Eguchi, N., Toczko, S. and the Exp. 343/343T and KR13-08 Scientists (Kyo, M., Namba, Y., Muraki, H., Kasaya, T., Conin, M., Moore, J. C., Nakamura, Y., Anderson, L., Cook, B., Jeppson, T., Wolfson-Schwehr, M., Sanada, Y., Saito, S., Kido, Y., Hirose, T., Behrmann, J. H., Ikari, M., Ujiie, K., Rowe, C., Kirkpatrick, J., Bose, S., Regalla, C., Remitti, F., Toy, V., Mishima, T., Yang, T., Sun, T., Sample, J., Takai, K., Kameda, J., Maeda, L., Kodaira, S., Hino, R. and Saffer, D.) (2013) Low coseismic friction on the Tohoku-oki fault determined from temperature measurements. *Science*, 342, 1214-1217.

生命 G 科学支援 G

Futagami, T., Morono, Y., Terada, T., Kaksonen, A. H., and Inagaki, F. (2013) Distribution of dehalogenation activity and characterization of organohalide-responsive genes in marine sediments of the Nankai Trough subduction zone. *Philosophical Transactions Of the Royal Society B*, 368, 20120249.

科学支援 G

Harada, N., Lange, C. B., Marchant, M. E., Sato, M., Ahagon, N., Pantoja, S., Ninnemann, U. (2013) Deglacial-Holocene changes in sea surface temperature, water mass characteristics, and the nitrogen cycle in the Pacific entrance of Strait of Magellan, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, vol.375, p.125-135.

断層 G

Harris Robert, Yamano M., Kinoshita M., Spinelli G., Hamamoto H., Ashi J., (2013) A Synthesis of Heat Flow Determinations and Thermal Modeling Along the Nankai Trough, Japan, *Journal of Geophysical Research*, 118, 2687-2702

断層 G 同位体 G

Hirono, T., Tanikawa, W., Honda, G., Kameda, J., Fukuda, J., Ishikawa T. (2013) Importance of mechanochemical effects on fault slip behavior during earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 40, 2988–2992. doi:10.1002/grl.50609

断層 G

Honda, G., Hirono, T., Hirai, N., Tanikawa, W. (2013), Quantitative evaluation of polytetrafluoroethylene contamination on rock powder specimens during high-velocity rotary-shear experiments. *JAMSTEC Report of Research and Development*, 16, 23-29.

同位体 G 科学支援 G

Hori, M., Ishikawa, T., Nagaishi, K., Lin, K., Wang, B.-S., You, C.-F., Shen, C.-C., and Kano, A. (2013) Prior calcite precipitation and source mixing process influence Sr/Ca, Ba/Ca and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of a stalagmite developed in southwestern Japan during 18.0-4.5 ka. *Chemical Geology*, 347, 190-198.

生命 G

Hoshino, T., and Inagaki, F. (2013) A comparative study of microbial diversity and community structure in marine sediments using poly(A) tailing and reverse transcription PCR *Frontiers in Microbiology*, 4, Article no. 160, doi:10.3389/fmicb.2013.00160

科学支援 G

Ichiyama, Y., Morishita, T., Tamura, A., Arai, S. (2013) Petrology of peridotite xenolith-bearing basaltic to andesitic lavas from the Shiribeshi Seamount, off northwestern Hokkaido, the Sea of Japan, *Journal of Asian Earth Sciences*, vol.76, p.48-58.

生命 G

Ijiri, A., Ohtomo, Y., Morono, Y., Ikehara, M., and Inagaki, F. (2013) Increase in acetate concentrations during sediment sample onboard storage: a caution for pore-water geochemical analyses. *Geochemical Journal*, 47, 567-571.

断層 G

Ito, T., Funato, A., Lin, W., Doan, M.-L., Boutt, D. F., Kano, Y., Ito, H., Saffer, D., McNeill, L. C., Byrne, T. and Moe, K. T. (2013), Determination of stress state in deep subsea formation by combination of hydraulic fracturing in situ test and core analysis: A case study in the IODP Expedition 319, *Journal. Geophysical Research Solid Earth*, 118, doi:10.1002/jgrb.50086.

同位体 G 科学支援 G

Kakizaki, Y., Weissert, H. J., Hasegawa, T., Ishikawa, T. and Matsuoka, J. (2013) Strontium and carbon isotope stratigraphy of the Late Jurassic shallow marine limestone in western Palaeo-Pacific, northwest Borneo. *Journal of Asian Earth Sciences*, 73, 57-67.

## 断層 G

Kinoshita M., Tobin H. (2013) Interseismic stress accumulation at the locked zone of Nankai Trough seismogenic fault off Kii Peninsula, *Tectonophysics*, 600, 153-164, doi:10.1016/j.tecto.2013.03.015

## 生命 G

Lever, M. A., Rouxel, O. J., Alt, J., Shimizu, N., Ono, S., Coggon, R. M., Shanks III, W. C., Lapham, L., Elvert, M., Prieto-Mollar, X., Hinrichs, K.-U., Inagaki, F., and Teske, A. (2013) Evidence for microbial carbon and sulfur cycling in deeply buried ridge flank basalt. *Science*, 339, 1305-1308.

## 同位体 G

Li, Y., Kimura, J., Machida, S., Ishii, T., Ishiwatari, A., Maruyama, S., Qiu, H.-N., Ishikawa, T., Kato, Y., Haraguchi, S., Takahata, N., Hirahara, Y., and Miyazaki, T., 2013, High-Mg adakite and low-Ca boninite from the Bonin forearc seamounts: Implications for the reaction between the slab melt and depleted mantle. *Journal of Petrology*, 54, 1149-1175.

## 断層 G 同位体 G

Lin, W., Conin, M., Moore, J. C., Chester, F. M., Nakamura, Y., Mori, J. J., Anderson, L., Brodsky, E., Eguchi, N., and Expedition 343 Scientists (Cook, B., Jeppson, T., Wolfson-Schwehr, M., Sanada, Y., Saito, S., Kido, Y., Hirose, T., Behrmann, J. H., Ikari, M., Ujiie, K., Rowe, C., Kirkpatrick, J., Bose, S., Regalla, C., Remitti, F., Toy, V., Fulton, P., Mishima, T., Yang, T., Sun, T., Ishikawa, T., Sample, J., Takai, K., Kameda, J., Toczko, S., Maeda, L., Kodaira, S., Hino, R., Saffer, D.), 2013, Stress state in the largest displacement area of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Science*, 339, 687-690. DOI: 10.1126/science.1229379.

## 生命 G 科学支援 G

Morono, Y., Terada, T., Kallmeyer, J., and Inagaki, F. (2013) An improved cell separation technique for marine subsurface sediments: Applications for high-throughput analysis using flow cytometry and cell sorting. *Environmental Microbiology*, 15, 2841-2849.

## 同位体 G

Nakada, R., Takahashi, Y., and Tanimizu, M. (2013) Isotopic and speciation study on cerium during its solid-water distribution with implication for Ce stable isotope as a paleo-redox proxy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 103, 49-62.

## 同位体 G

Nakada, R., Tanimizu, M., and Takahashi, Y. (2013) Difference in the stable isotopic fractionations of Ce, Nd, and Sm during adsorption on iron and manganese oxides and its interpretation based on their local structures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 121, 105-119.

## 生命 G 断層 G

Ohtomo, Y., Ijiri, A., Ikegawa, Y., Tsutsumi, M., Imachi, H., Uramoto, G., Hoshino, T., Morono, Y., Sakai, S., Saito, Y., Tanikawa, W., Hirose, T., and Inagaki, F. (2013) Biological CO<sub>2</sub> conversion to acetate in subsurface coal-sand formation using a high-pressure reactor system. *Frontiers in Microbiology*, 4, Article no. 361., doi:10.3389/fmicb.2013.00361

## 断層 G

Oohashi, K., Hirose, T., and Shimamoto, T. (2013), Graphite as a lubricating agent in fault zones: An insight from low- to high-velocity friction experiments on a mixed graphite-quartz gouge, *Journal. Geophysical Research Solid Earth*, 118, 2067-2084, doi:10.1002/jgrb.50175. Selected as "JGR Journal Highlight"

断層 G 同位体 G

Rowe, C. D., Moore, J. C., Remitti, F. and the IODP Expedition 343/343T Scientists (Hirose T., Ishikawa, T. and Lin W., included) (2013) The thickness of subduction plate boundary faults from the seafloor into the seismogenic zone, *Geology* 2013;41:991-994 doi: 10.1130/G34556.1

断層 G

Saffer, D. M., Flemings, P. B., Boutt, D., Doan, M.-L., Ito, T., McNeill, L., Byrne, T., Conin, M., Lin, W., Kano, Y., Araki, E., Eguchi, N. and Toczko, S. (2013), In situ stress and pore pressure in the Kumano Forearc Basin, offshore SW Honshu from downhole measurements during riser drilling, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14 (5), 1454-1470, doi:10.1002/ggge.20051. Published: 17 May 2013

断層 G

Sun, D. S., Lin, W., Cui, J. W., Wang, H., Chen, Q., Ma, Y., Wang, L. (2013) Three-dimensional in situ stress determination by anelastic strain recovery and its application at the Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Hole-1(WFSD-1). *Science China: Earth Sciences*, 2013, doi: 10.1007/s11430-013-4739-6

生命 G

Takai, K., Abe, M., Miyazaki, M., Koide, O., Nunoura, T., Imachi, H., Inagaki, F., and Kobayashi, T. (2013) *Sunxiuqinia faeciviva sp. nov.*, a novel facultatively anaerobic, organoheterotrophic bacterium within the Bacterioidetes isolated from deep seafloor sediment offshore Shimokita, Japan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63, 1602-1609.

同位体 G

Takano, S., Tanimizu, M., Hirata, T., and Sohrin, Y. (2013) Determination of isotopic composition of dissolved Cu in seawater by multi-collector ICP-MS after pre-concentration using an ethylenediaminetriacetic acid chelating resin. *Analytica Chimica Acta*, 784, 33-41.

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Hirose, T., Mukoyoshi, H., Tadai, O., Lin, W. (2013) Fluid transport properties in sediments and their role in large slip near the surface of the plate boundary fault in the Japan Trench, *Earth and Planetary Science Letters* 382 (2013) 150-160

同位体 G

Tanimizu, M., Sohrin, Y., and Hirata, T. (2013) Heavy element stable isotope ratios: analytical approaches and applications. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405, 2771-2783.

同位体 G

Tanimizu, M., Sugiyama, N., Ponzevera, E., and Bayon, G. (2013) Determination of ultra-low  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  isotope ratios by tandem quadrupole ICP-MS/MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 28, 1372-1376.

断層 G

Tsuji T., Kawamura K., Kanamatsu T., Kasaya T., Fujikura K., Ito Y., Tsuru T., Kinoshita M., (2013) Extension of continental crust due to anelastic deformation in the 2011 Tohoku-oki earthquake: The role of extensional faulting in the generation of a great tsunami, *Earth and Planetary Science Letters*, 364, 44-58

断層 G 同位体 G

Ujiie, K., Tanaka, H., Saito, T., Tsutsumi, A., Mori, J. J., Kameda, J., Brodsky, E. E., Chester, F. M., Eguchi, N., Toczko, S. and Expedition 343 and 343T Scientists (Anderson, L., Behrmann, J. H., Bose, S., Conin, M., Cook, B., Fulton, P., Hino, R., Hirose, T., Ikari, M., Ishikawa, T., Jeppson, T., Kido, Y., Kirkpatrick, J., Kodaira, S., Lin, W., Maeda, L., Mishima, T., Moore, J. C., Nakamura, Y., Regalla, C., Remitti, F., Rowe, C., Saffer, D., Saito, S., Sample, J., Wolfson-Schwehr, M., Sun, T., Takai, K., Toy, V. and Yang, T.), 2013, Low coseismic shear stress on the Tohoku-oki megathrust determined from laboratory experiments. *Science*, 342, 1211-1214.

## 断層 G

Wu H.-Y., Chan C.-H., Kinoshita M., Saito S., (2013) Observations and modeling of the stress field at NanTroSEIZE scientific drilling sites in Nankai, Japan, *Tectonophysics*, 600, 99-107, doi:10.1016/j.tecto.2013.04.009

## 断層 G

Yamamoto, Y., Lin, W., Oda, H., Byrne, T., Yamamoto, Y. (2013) Stress states at the subduction input site, Nankai Subduction Zone, using anelastic strain recovery (ASR) data in the basement basalt and overlying sediments, *Tectonophysics*, 600, 91-98. doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.028.

## 断層 G

Yamashita M., Kinoshita M., Kasaya T., Takahashi N., Kaneda Y., (2013) Sediment deformation in eastern Sagami Bay revealed by high-density seismic reflection survey, *JAMSTEC Report of Research and Development*, 17, 1-10.

## 生命 G 科学支援 G

Yanagawa, K., Morono, Y., de Beer, D., Haeckel, M., Sunamura, M., Futagami, T., Hoshino, T., Terada, T., Nakamura, K., Urabe, T., Rehder, G., Boetius, A., and Inagaki, F. (2013) Metabolically active microbial communities in marine sediment under high-CO<sub>2</sub> and low-pH extremes. *ISME J.*, 7, 555-567.

## 断層 G

Yang, T., Mishima, T., Ujiie, K., Chester, F. M., Mori, J. J., Eguchi, N., Toczko, S., Expedition 343 Scientists (Hirose T. and Lin W. included) (2013) Strain decoupling across the décollement in the region of large slip during the 2011 Tohoku-Oki earthquake from anisotropy of magnetic susceptibility, *Earth and Planetary Science Letters* 381 (2013) 31-38

## 生命 G

Yin, Q., Fu, B., Li, B., Shi, X., Inagaki, F., and Zhang, X.-H. (2013) Spatial variations in microbial community composition in surface seawater from the ultra-oligotrophic center to rim of the South Pacific Gyre. *PLoS ONE*, 8(2), e55148. doi:10.1371/journal.pone.0055148.

## 断層 G

望月 将志, 田村 肇, 木下 正高, 浅田 昭, 玉木 賢策, (2013) 海底熱水活動の音響的観測手法の開発, *海洋音響学会誌*, 40(3), 149-156

## 生命 G 同位体 G

諸野祐樹, 伊藤元雄, 稲垣史生 (2013) 超高空間分解能二次イオン質量分析法による微小領域イメージングの環境微生物学. *化学と生物*, 51, 205-207.

## (Others)

## 断層 G

Hirose, T., Saffer, D.M., Tobin, H.J., Toczko, S., Maeda, L., Kubo, Y., Kimura, G., Moore, G.F., Underwood, M.B., and Kanagawa, K. (2013) NanTroSEIZE Stage 3: NanTroSEIZE plate boundary deep riser 3. *IODP Scientific Prospectus*, 348. doi:10.2204/iodp.sp.348.2013

## 科学支援 G

Sakamoto, Y., Sasaki, S., Okamoto, T., Yamagiwa, S., Hisamitsu, T., Wada, K. (2013) A Visualization Cloud Service for X-CT DICOM Images Applied to Deep-sea Drilled Core Database. *Bulletin of Networking, Computing, Systems, and Software*, vol. 2, no. 1, p.53-58.

## 断層 G 同位体 G

Wang K., Kinoshita M., (2013) Dangers of Being Thin and Weak, *Science*, 342, 1178-1180, doi: 10.1126/science.1246518

生命 G

稲垣史生 (2013) 地球深部探査船「ちきゅう」による地球惑星科学・生命科学の挑戦. テクノオーシャン・ネットワーク TON News, 48(1), 1-2.

生命 G

土岐知弘・比嘉良作・棚原朗・井尻暁・角皆潤・芦寿一郎 (2013) 熊野泥火山における間隙水の起源. 地球化学, 47, 221-236.

生命 G

二神泰基・諸野祐樹・稲垣史生 (2013) 海洋環境における脱ハロゲン呼吸細菌. 環境バイオテクノロジー学会誌, 13(2), 117-123.

生命 G

諸野祐樹 (2013) 海底下における微生物とその代謝・活性 - 未知の海底下生命圏を紐解くテクニックとその応用. 日本極限環境生物学会誌, Vol.12 (2), 65-70.

生命 G

諸野祐樹 (2013) 海洋底下の微生物. 環境と微生物の事典, p. 226, 朝倉書店.

生命 G 同位体 G

諸野祐樹・伊藤元雄・稲垣史生 (2013) 超高空間分解能二次イオン質量分析法による微小領域イメージングと環境微生物学. 化学と生物, 51(4), 205-20, 日本農芸化学会.

2014

(Peer reviewed)

断層 G

Cui, W., Lin, W., Wang, L., Gao L., Huang Y., Wang, W., Sun, D, Li, Z., Zhou, J., Qian H, Peng, H, Xia, K, Li, K., (2014) Determination of three-dimensional in situ stresses by anelastic strain recovery in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project Hole-1 (WFS1), *Tectonophysics*, 619-620, 123-132. doi.org/10.1016/j.tecto.2013.09.013.

同位体 G

Dekov, V.M., Egueh, N.M., Kamenov, G.D., Bayon, G., Lalonde, S.V., Schmidt, M., Liebetrau, V., Munnik, F., Fouquet, Y., Tanimizu, M., Awaleh, M.O., Guirreh, I., and Le Gall, B. (2014) Hydrothermal carbonate chimneys from a continental rift (Afar Rift): mineralogy, geochemistry and mode of formation, *Chemical Geology*, 387, 87-100. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.08.019

生命 G

Felden, J., Ruff, S. E., Ertefai, T., Inagaki, F., Hinrichs, K.-U., and Wenzhöfer, F. (2014) Anaerobic methanotrophic community at 5346 m-deep vsicomylid clam colony in the Japan Trench. *Geobiology*, 12, 183-199.

断層 G

French, M. E., Kitajima, H., Chester, J. S., Chester, F. M., and Hirose, T. (2014), Displacement and dynamic weakening processes in smectite-rich gouge from the Central Deforming Zone of the San Andreas Fault, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2013JB010757.

断層 G

Fukuchi, R., Fujimoto, K., Kameda, J., Hamahashi, M., Yamaguchi, A., Kimura, G., Hamada, Y., Hashimoto, Y., Kitamura, Y., Saito, S. 2014, Changes in illite crystallinity within an ancient tectonic boundary thrust caused by thermal mechanical and hydrothermal effects: An example from the Nobeoka Thrust southwest Japan. *Earth, Planet and Space*. 66:116.

## 断層 G

Gao, L., Lin, W., Sun D. & Wang H., (2014) Experimental Anelastic Strain Recovery Compliance of Three Typical Rocks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.47, pp.1987-1995, DOI:10.1007/s00603-013-0526-0.

## 断層 G

Han, R., Hirose, T., Jeong, G. Y., Ando, J.I. and Mukoyoshi, H. (2014), Frictional melting of clayey gouge during seismic fault slip: Experimental observation and implications, *Geophysical Research Letters*, 41, 5457-5466, doi:10.1002/2014GL061246.

## 同位体 G

Hirono, T., Ishikawa, T., Masumoto, H., Kameda, J., Yabuta, H. and Mukoyoshi H. (2014) Re-evaluation of frictional heat recorded in the dark gouge of the shallow part of a megasplay fault at the Nankai Trough, *Tectonophysics*, 626, 157-169.

## 断層 G 同位体 G

Hirono, T., Kameda, J., Kanda, H., Tanikawa, W. and Ishikawa, T. (2014) Mineral assemblage anomalies in the slip zone of the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake: Ultrafine particles preserved only in the latest slip zone. *Geophysical Research Letters*, 41, doi:10.1002/2014GL059805.

## 同位体 G 科学支援 G

Hori, M., Ishikawa, T., Nagaishi, K., You, C.-F., Huang, K.-F., Shen, C.-C. and Kano, A. (2014) Rare earth elements in a stalagmite from southwestern Japan: a potential proxy for chemical weathering. *Geochemical Journal*, 48, 73-84.

## 科学支援 G

Ichiyama, Y., Ishiwatari, A., Kimura, J., Senda, R., Miyamoto, T. (2014) Jurassic plume-origin ophiolites in Japan: accreted fragments of oceanic plateaus, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol.168, p.1-24.

## 生命 G

Ijiri, A., Yamane, M., Ikehara, M., Yokoyama, Y., and Okazaki, Y. (2014) Online oxygen isotope analysis of sub-milligram quantities of biogenic opal using the inductive high-temperature carbon reduction method coupled with continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. *Journal of Quaternary Science*, 29, 455-462.

## 生命 G

Imachi, H., Sakai, S., Lipp, J. S., Miyazaki, M., Saito, Y., Yamanaka, Y., Hinrichs, K.-U., Inagaki, F., and Takai, K. (2014) *Pelolinea submarina* gen. nov., an anaerobic filamentous bacterium of the phylum *Chloroflexi* isolated from subseafloor sediment offshore Shimokita, Japan. *International Journal Of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64, 812-818.

## 生命 G

Inagaki, F., and Orphan, V. (2014) Exploration of subseafloor life and the deep biosphere through IODP (2003-2013). *In: Earth and Life Processes Discovered from Subseafloor Environments -A Decade of Science Achieved by the Integrated Ocean Drilling Program (IODP).* (Eds.) Stein, R., Blackman, D., Inagaki, F., Larsen, H. C., *Developments in Marine Geology*, vol. 7, pp. 39-63, Elsevier, Netherlands.

## 生命 G

Ishibashi, J., Noguchi, T., Toki, T., Miyabe, S., Yamagami, S., Onishi, Y., Yamanaka, T., Yokoyama, Y., Omori, R., Takahashi, Y., Hatada, K., Nakaguchi, J., Yoshizaki, M., Konno, U., Shibuya, T., Takai, K., Inagaki, F., and Kawagucci, S. (2014) Diversity of fluid geochemistry affected by processes during fluid upwelling in active hydrothermal fields in the Izena Hole, the middle Okinawa Trough back-arc basin. *Geochemical Journal*, 48, 357-369.

同位体 G

Ishikawa, T., Hirono, T., Matsuta, N., Kawamoto, K., Fujimoto, K., Kameda, J., Nishio, Y., Maekawa, Y. and Honda, G. (2014) Geochemical and mineralogical characteristics of fault gouge in the Median Tectonic Line, Japan: evidence for earthquake slip. *Earth, Planets and Space*, 66:36, doi: 10.1186/1880-5981-66-36.

同位体 G

Ito, M., Uesugi, M., Naraoka, H., Yabuta, H., Kitajima, F., Mita, H., Takano, Y., Karouji, Y., Yada, T., Ishibashi, Y., Okada, T. and Abe, M. (2014) H, C, and N isotopic compositions of Hayabusa category 3 organic samples. *Earth, Planets and Space*, 66:91, doi:10.1186/1880-5981-66-91.

断層 G

Kameda, J., Kouketsu, Y., Shimizu, M., Yamaguchi, A., Hamada, Y., Hamahashi, M., Koge, H., Fukuchi, R., Ikeda, M., Kogure, T., Kimura, G. 2014, The influence of organic-rich shear zones on pelagic sediment deformation and seismogenesis in a subduction zone. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 109, 228-238.

生命 G

Kawai, M., Futagami, T., Toyoda, A., Takaki, Y., Nishi, S., Hori, S., Arai, W., Tsubouchi, T., Morono, Y., Uchiyama, I., Ito, T., Fujiyama, A., Inagaki, F., and Takami, H. (2014) High frequency of phylogenetically diverse reductive dehalogenase-homologous genes in deep subseafloor sedimentary metagenomes. *Frontiers in Microbiology*, 5, Article no. 80.

断層 G 同位体 G

Kawada Y., Toki T., Kinoshita M., Joshima M., Higa R, Kasaya T., Tsunogai U., Nishimura K., Kisimoto K, (2014) Tracing geologically constrained fluid flow pathways using a combination of heat flow measurements, pore water chemistry, and acoustic imaging near the deformation front of the Nankai Trough off the Muroto Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 618, 121-137

断層 G

Kendrick, J.E., Lavallée, Y., Hirose, T., Toro, G. D., Hornby, A. J., Angelis, S. D. and Dingwell, D. B. (2014), Volcanic drumbeat seismicity caused by stick-slip motion and magmatic frictional melting, *Nature Geoscience*, Vol 7, 438-442, doi:10.1038/NGEO2146.

断層 G

Kitamura, M., Mukoyoshi, H., and Hirose, T., (2014), The relationship between displacement and thickness of faults in the Shimanto accretionary complex. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 120, 11-21. (in Japanese with English abstract).

断層 G

Koge, H., Fujiwara, T., Kodaira, S., Sasaki, T., Kameda, J., Kitamura, Y., Hamahashi, M., Fukuchi, R., Yamaguchi, A., Hamada, Y., Ashi, J., Kimura, G.. 2014, Friction properties of the plate boundary megathrust beneath the frontal wedge near the Japan Trench: An inference from topographic variation. *Earth, Planet and Space*.

生命 G

Kubo, Y., Mizuguchi, Y., Inagaki, F., and Yamamoto, K. (2014) A new hybrid pressure-coring system for the drilling vessel *Chikyu*. *Scientific Drilling*, 17, 37-43.

生命 G 同位体 G 科学支援 G

Kubota, K., Morono, Y., Ito, M., Terada, T., Itezono, S., Harada, H. and Inagaki, F. (2014) Gold-ISH: A nano-size gold particle-based phylogenetic identification compatible with NanoSIMS. *Systematic and Applied Microbiology*, 37, 261-6, DOI:10.1016/j.syapm.2014.02.003.

同位体 G

Kubota, K., Yokoyama, Y., Ishikawa, T., Obrochta, S. and Suzuki, A. (2014) Larger CO<sub>2</sub> source at the equatorial Pacific during the last deglaciation. *Scientific Reports*, 4, 5261, doi: 10.1038/srep05261.

## 断層 G

Lavallée, Y., Hirose, T., Kendrick, J.E., DeAngelis, S., Petrakova, L., Hornby, A.J., Dingwell D.B. (2014), A frictional law for volcanic ash gouge, *Earth and Planetary Science Letters*, 400, 177-183, doi:10.1016/j.epsl.2014.05.023.

## 断層 G

Lin, W. (2014), Determination of in-situ stress state in a Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST) borehole one year after the Tohoku-Oki great earthquake, *Int. Jour. of the Japan Committee from Rock Mechanics*, 10, 1-4, doi.org/10.11187/ijjcr.10.1

## 断層 G 科学支援 G

Lin, W., Fulton, P.M., Harris, R.N., Tadai, O., Matsubayashi, O., Tanikawa, W., and Kinoshita, M., 2014. Thermal conductivities, thermal diffusivities, and volumetric heat capacities of core samples obtained from the Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST), *Earth, Planets and Space*, 66:48 doi:10.1186/1880-5981-66-48.

## 同位体 G

Machida, S., Orihashi, Y., Magnani, M., Neo, N., Wilson, S., Tanimizu, M., Yoneda, S., Yasuda, A. and Tamaki, K. (2014) Regional mantle heterogeneity regulates melt production along the Reunion hotspot-influenced Central Indian Ridge. *Geochemical Journal*, 48, 433-449.

## 断層 G 同位体 G

Maekawa, Y., Hirono, T., Yabuta, H., Mukoyoshi, H., Kitamura, M., Ikehara, M., Tanikawa, W. and Ishikawa, T. (2014) Estimation of slip parameters associated with frictional heating during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake by vitrinite reflectance geothermometry. *Earth, Planets and Space*, 66:28, doi:10.1186/1880-5981-66-28.

## 断層 G

Misawa A., Hirata K., Seeber L., Arai K., Nakamura Y., Rahardiawan R., Udrekh U., Fujiwara T., Kinoshita M., Baba H., Kameo K., Adachi K., Sarukawa H., Tokuyama H., Permana H., Djajadihardja Y.S., Ashi J., (2014) Geological structure of the offshore Sumatra forearc region estimated from high-resolution MCS reflection survey, *Earth and Planetary Science Letters*, 386, 41-51

## 断層 G

Miyakawa A., Saito S., Yamada Y., Tomaru H., Kinoshita M., Tsuji T. (2014) Gas hydrate saturation at Site C0002, IODP Expeditions 314 and 315, in the Kumano Basin, Nankai trough, *Island Arc*, 23 (2), 142-156

## 生命 G 同位体 G

Morono, Y., Ito, M., and Inagaki, F. (2014) Detecting slow metabolism in the subseafloor: analysis of single cells using NanoSIMS. In: Kallmeyer J. and Wagner D. (eds), *Microbial Life of the Deep Biosphere*, De Gruyter, pp. 101-120.

## 生命 G

Morono, Y., and Kallmeyer, J. (2014) Detection and Enumeration of Microbial Cells in Subseafloor Sediment. *In: Earth and Life Processes Discovered from Subseafloor Environments -A Decade of Science Achieved by the Integrated Ocean Drilling Program (IODP)*. (Eds.) Stein, R., Blackman, D., Inagaki, F., Larsen, H. C., *Developments in Marine Geology*, vol. 7, p. 65-83, Elsevier, Netherlands.

## 生命 G 科学支援 G

Morono, Y., Terada, T., Hoshino, T., and Inagaki, F. (2014) Hot-alkaline DNA extraction method for deep subseafloor archaeal communities. *Applied Environmental Microbiology*, 80, 1985-1994.

## 生命 G

Nakajima, Y., Shinzato, C., Khalturina, M., Watanabe, H., Inagaki, F., Satoh, N., and Mitarai, S. (2014) Cross-species, amplifiable microsatellite markers for neoverrid barnacles from deep-sea hydrothermal vents developed using next-generation sequencing. *International Journal of Molecular Sciences*, 15, 14364-14371.

同位体 G

Ohmori, K., Watanabe, T., Tanimizu, M., and Shirai, K. (2014) Lead concentration and isotopic composition in the Pacific sclerosponge (*Acanthochaetetes wellsii*) reflects environmental lead pollution. *Geology*, 42, 287-290.

同位体 G

Sakata, K., Sakaguchi, A., Tanimizu, M., Takaku, Y., Yokoyama, Y., and Takahashi, Y. (2014) Identification of sources of lead in the atmosphere by chemical speciation using X-ray absorption near-edge structure (XANES) spectroscopy. *Journal of Environmental Sciences*, 26, 343-352.

断層 G

Sano, Y., Hara, T., Takahata, N., Kawagucci, S., Honda, M., Nishio, Y., Tanikawa, W., Hasegawa, A. and Hattori, K. "Helium anomalies suggest a fluid pathway from mantle to trench during the 2011 Tohoku-Oki earthquake," *Nature Communications*, vol. 5, Jan. 2014.

断層 G

Sawai, M., Hirose, T., and Kameda, J. (2014), Frictional properties of incoming pelagic sediments at the Japan Trench: implications for large slip at a shallow plate boundary during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth, Planets and Space*, 66:65. doi:10.1186/1880-5981-66-65.

科学支援 G

Sentoku, A., Morisaki, H., Masumoto, S., Ohno, R., Tomiyama, T., Ezaki, Y. (2014) Internal skeletal analysis of the colonial azooxanthellate scleractinian *Dendrophyllia cribrosa* using microfocus X-ray CT images: Underlying basis for its rigid and highly adaptive colony structure, *Journal of Structural Biology*, vol.189, no.1, p.37-43.

断層 G

Sun, D., Lin, W., Cui, J. W., Wang, H., Chen Q., Ma, Y., Wang, L., Three-dimensional *in situ* stress determination by anelastic strain recovery and its application at the Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Hole-1(WFSD-1), *Science China: Earth Sciences*, 2014, Vol.57, No.6, pp.1212-1220, doi: 10.1007/s11430-013-4739-6.

同位体 G

Takano, S., Tanimizu, M., Hirata, T., and Sohrin, Y. (2014) Isotopic constraints on biogeochemical cycling of copper in the ocean. *Nature Communications*, 5:5663, doi:10.1038/ncomms6663.

断層 G

Tanikawa, W., Mukoyoshi, H., Lin, W., Hirose T., and A. Tsutsumi., 2014. Pressure dependence of fluid transport properties of shallow fault systems in the Nankai subduction zone. *Earth, Planets and Space*, 66:90. doi:10.1186/1880-5981-66-90

断層 G 科学支援 G

Tanikawa, W. Tadai, O. and Mukoyoshi, H., 2014. Permeability changes in simulated granite faults during and after frictional sliding, *Geofluids*, doi: 10.1111/gfl.12091.

同位体 G

Thuy, N. T., Wada, H., Ishikawa, T., and Shimano, T. (2014) Geochemistry and petrogenesis of carbonatites from South Nam Xe, Lai Chau area, northwest Vietnam. *Mineralogy and Petrology*, 108, 371-390.

生命 G

Toki, T., Higa, R., Ijiri, A., Tsunogai, U., and Ashi, J. (2014) Origin and transport of pore fluids in the Nankai accretionary prism inferred from the chemical and isotopic compositions of pore water at cold seep sites off Kumano. *Earth, Planets and Space*, 66, 137.

同位体 G

Uesugi, M., Naraoka, H., Ito, M., Yabuta, H., Kitajima, F., Takano, Y., Mita, H., Ohnishi, I., Kebukawa, Y., Yada,

T., Karouji, Y., Ishibashi, Y., Okada, T. and Abe, M., 2014, Sequential analysis of carbonaceous materials in Hayabusa-returned samples for the determination of their origin. *Earth, Planets and Space*, 66:102, doi:10.1186/1880-5981-66-102.

## 同位体 G

Uno, M., Iwamori, H., Nakamura, H., Yokoyama, T., Ishikawa, T. and Tanimizu, M. (2014) Elemental transport upon hydration of basic schists during regional metamorphism: geochemical evidence from the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Geochemical Journal*, 48, 29-49.

## 生命 G

Uramoto, G.-I., Morono, Y., Uematsu, K., and Inagaki, F. (2014) An improved sample preparation method for imaging microstructures of fine-grained marine sediment using microfocuss X-ray computed tomography and scanning electron microscopy. *Limnology and Oceanography Methods*, 12, 469-483.

## 同位体 G

Yabuta, H., Uesugi, M., Naraoka, H., Ito, M., David Kilcoyne, A. L., Sandford, S. A., Kitajima, F., Mita, H., Takano, Y., Yada, T., Karouji, Y., Ishibashi, Y., Okada, T. and Abe, M. (2014) X-ray absorption near edge structure spectroscopic study of Hayabusa category 3 carbonaceous particles. *Earth, Planets and Space*, 66:156.

## 同位体 G

Yamaguchi, A., Ishikawa, T., Kato, Y., Nozaki, T., Meneghini, F., Rowe, C., Moore, J. C., Tsutsumi, A. and Kimura, G. (2014) Fluid-rock interaction recorded in black fault rocks in the Kodiak accretionary complex, Alaska. *Earth, Planets and Space*, 66:58, doi: 10.1186/1880-5981-66-58.

## 同位体 G

Yamaoka, K., Hong, E., Ishikawa, T., Gamo, T. and Kawahata, H. (2014) Boron isotope geochemistry of vent fluids from arc/back-arc seafloor hydrothermal systems in the western Pacific. *Chemical Geology*, 392, 9-18.

## 生命 G

Yanagawa, K., Morono, Y., Yshida-Takashima, Y., Eitoku, M., Sunamura, M., Inagaki, F., Imachi, H., Takai, K., and Nunoura, T. (2014) Viral abundance and its variation in deep seafloor sediments of the continental margins. *FEMS Microbiology Ecology*, 88, 60-68.

## 生命 G

Yanagawa, K., Breuker, A., Schippers, A., Nishizawa, M., Ijiri, A., Hirai, M., Takaki, Y., Sunamura, M., Urabe, T., Nunoura, T., and Takai, K. (2014) Microbial community stratification controlled by the seafloor fluid flow and geothermal gradient at the Iheya North hydrothermal field in the Mid-Okinawa Trough (IODP Expedition 331). *Applied and Environmental Microbiology*, 80, 6126-6135.

## 断層 G

北村真奈美・向吉秀樹・廣瀬丈洋 (2014), 付加体内部に発達する断層の変位量と幅との相関関係. *地質学雑誌*, 120 (1), 11-21.

## 断層 G

林 為人, 齊藤 実篤, モリ ジェームズ, 江口 暢久, Sean TOCZKO (2014), 東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST) の概要とこれまでの主な成果, *応用地質*, 55, 241-250

## (Others)

## 断層 G

Tobin, H., Hirose, T., Saffer, D., Toczko, S., Maeda, L., Kubo, Y., and the Expedition 348 Scientists, 2015. Proc. IODP, 348: College Station, TX (Integrated Ocean Drilling Program). doi:10.2204/iodp.proc.348.2015

科学支援 G

Toyota, K., Kuroda, Y., Jozaki, R., Ito, H., Gao, D., Yamagiwa, S., Hisamitsu, T., Wada, K. (2014) Extending a Social Network Services on a Visualization Cloud Service for Deep-Sea Drilled Core Database, *Bulletin of Networking, Computing, System, and Software*, vol. 3, no.1, p 52-56.

同位体 G

伊藤元雄, 坂本尚義, 2014, 7.5 宇宙・惑星科学関連試料の分析—質量分析法. マイクロビームアナリシスハンドブック, 日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会編, オーム社.

生命 G

稲垣史生, 高野修, 山田泰広, 森田澄人, 鈴木庸平, 真田佳典, 久保雄介, 東垣, 岡津弘明. (2014)「海底下の炭化水素資源・炭素循環と地球生命工学」シンポジウム開催報告—生態系と調和した循環型カーボンマネージメントの重要性—. 石油技術協会誌, 70(3), 190-192.

断層 G

廣瀬丈洋「実験室から探る地震発生のメカニズム」in 地球の過去現在未来—広大地惑からのメッセージ— (広島大学出版)

断層 G

廣瀬丈洋 超深度ライザー掘削によって南海付加体深部からはじめて検層データ・地質試料の採取に成功! JDESC News Letter

生命 G

諸野祐樹 (2014) 海底下における微生物とその代謝・活性—未知の海底下生命圏を紐解くテクニックとその応用. 日本極限環境生物学会誌, 12(2), 65-70.

断層 G

林 為人・IODP 第343次研究航海乗船研究者一同 「コラム 東北地方太平洋沖地震調査掘削: 海洋底掘削による震源断層挙動の解明に向けて」in 地球の過去現在未来—広大地惑からのメッセージ— (広島大学出版)

2015

(Peer reviewed)

生命 G

Aoki, M., Kakiuchi, R., Yamaguchi, T., Takai, K., Inagaki, F., and Imachi, H. (2015) Phylogenetic diversity of *aprA* genes in subseafloor sediments on the northwestern Pacific margin off Japan. *Microbes and Environments*, in press.

生命 G

D'Hondt, S., Inagaki, F., Zarikian, C. A., Abrams, L. J., Dubois, N., Engelhardt, T., Evans, H., Ferdelman, T., Gribsholt, B., Harris, R. N., Hoppie, B. W., Hyun, J.-H., Kallmeyer, J., Kim, J., Lynch, J. E., McKinley, C. C., Mitsunobu, S., Morono, Y., Murray, R. W., Pockalny, R., Sauvage, J., Shimon, T., Shiraishi, F., Smith, D. C., Smith-Duque, C., Spivack, A. J., Steinsbu, B. O., Suzuki, Y., Szpak, M., Toffin, L., Uramoto, G., Yamaguchi, T. Y., Zhang, G., Zhang, X.-H., and Ziebis, W. (2015) Presence of oxygen and aerobic communities from seafloor to basement in deep-sea sediment. *Nature Geoscience*, 8, 299-304.

断層 G

Hamada, Y., Sakaguchi, A., Tanikawa, W., Yamaguchi, A., Kameda, J., Kimura, G. (2015) Estimation of slip rate and fault displacement during shallow earthquake rupture in the Nankai subduction zone, *Earth, Planets and Space*, 2015, 67:39, DOI 10.1186/s40623-015-0208-0.

断層 G

Hamahashi, M., Hamada, Y., Yamaguchi, A., Kimura, G., Fukuchi, R., Saito, S., Kameda, J., Kitamura, Y., Fujimoto, K., Hashimoto. 2015, Multiple damage zone structure of an exhumed seismogenic megasplay fault in a subduction

zone - A study from the Nobeoka Thrust Drilling Project. *Earth, Planet and Space*, 67:30.

## 断層 G

Hornby, A., Kendrick, J.E., Lamb, O.D., Hirose, T., De Angelis, S., Aulock, F.W., Umakoshi, K., Miwa, T., De Angelis, S.H., Wadsworth, F.B., Hess, K.-U., Dingwe, D.B. and Lavallée, Y. 2015. Spine growth and seismogenic friction at Mt Unzen, Japan, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2014JB011660.

## 生命 G 同位体 G 断層 G 科学支援 G

Inagaki, F., Hinrichs, K.-U., Kubo, Y., Bowles, M. W., Heuer, V. B., Hong, W.-L., Hoshino, T., Ijiri, A., Imachi, H., Ito, M., Kaneko, M., Lever, M. A., Lin, Y.-S., Methé, B. A., Morita, S., Morono, Y., Tanikawa, W., Bihan, M., Bowden, S. A., Elvert, M., Glombitza, C., Gross, D., Harrington, G. J., Hori, T., Li, K., Limmer, D., Liu, C.-H., Murayama, M., Ohkouchi, N., Ono, S., Park, Y.-S., Phillips, S. C., Prieto-Mollar, X., Purkey, M., Riedinger, N., Sanada, Y., Sauvage, J., Snyder, G., Susilawati, R., Takano, Y., Tasumi, E., Terada, T., Tomaru, H., Trembath-Reichert, E., Wang, D. T., and Yamada, Y., 2015, Exploring deep microbial life in coal-bearing sediment down to ~2.5 km below the ocean floor. *Science*, 349, 420-424.

## 同位体 G

Ito M. and Messenger S. (2015) Rare Earth Element Measurements and Mapping of Minerals in the Allende CAI, 7R19-1, by NanoSIMS Ion Microprobe. *Meteoritics & Planetary Science*, in press.

## 断層 G

Kameda, J., Shimizu, M., Ujiie, K., Hirose, T., Ikari, M., Mori, J., Kiyokazu Oohashi & Kimura, G. (2015). Pelagic smectite as an important factor in tsunamigenic slip along the Japan Trench. *Geology*, 43(2), 155-158.

## 生命 G

Kawai, M., Uchiyama, I., Takami, H., and Inagaki, F. (2015) Low frequency of endospore-specific genes in subseafloor sedimentary metagenomes. *Environmental Microbiology Report*, 7, 341-350.

## 同位体 G

Kawasaki N., Kato C., Itoh S., Wakaki S., Ito M., and Yurimoto H. (2015) <sup>26</sup>Al-<sup>26</sup>Mg chronology and oxygen isotope distributions of multiple melting for a Type C CAI from Allende. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, in press.

## 同位体 G

Kitajima, F., Uesugi, M., Karouji, Y., Ishibashi, Y., Yada, T., Naraoka, H., Abe, M., Fujimura, A., Ito, M., Yabuta, H., Mita, H., Takano, Y. and Okada, T. (2015) A micro-Raman and infrared study of several Hayabusa category 3 (organic) particles. *Earth, Planets and Space*, 67:20, doi:10.1186/s40623-015-0182-6.

## 同位体 G

Kubota, K., Yokoyama, Y., Ishikawa, T. and Suzuki, A. (2015) A new method for calibrating a boron isotope paleo-pH proxy using massive Porites corals. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, in press.

## 同位体 G

Kuroda, J., Ihoriya, N., Hori, R. S., Ogawa, O. N., Ikehara, M., Tanimizu, M. and Ohkouchi, N. (2015) Geochemistry of Aptian bedded chert succession from the deep Pacific basin: new insights into Cretaceous Oceanic Anoxic Event 1a. Geological Society of America Special Paper 511: *The Origin, Evolution, and Environmental Impact of Oceanic Large Igneous Provinces*, SPE511-16.

## 断層 G

Lin W., Byrne, T., Kinoshita, M., McNeill, L., Chang, C., Lewis, J., Yamamoto, Y., Saffer, D., Moore, J.C., Wu, H.-Y., Tsuji, T., Yamada, Y., Conin, M., Saito, S., Ito, T., Tobin, H., Kimura, G., Kanagawa, K., Ashi, J., Underwood, M., Kanamatsu, T., Distribution of stress state in the Nankai subduction zone, southwest Japan and a comparison with Japan Trench, *Tectonophysics*, in-press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2015.05.008>

生命 G 科学支援 G 断層 G

Morono, Y., Terada, T., Yamamoto, Y., Xiao, N., Hirose, T., Sugeno, M., Ohwada, N., and Inagaki, F. (2015) Intact preservation of environmental samples by freezing under alternating magnetic field. *Environmental Microbiology Reports*, 7, 243-251.

断層 G

Nagano, Y., Lin, W., Yamamoto, K. In-situ stress analysis using the anelastic strain recovery (ASR) method at the first offshore gas production test site in the eastern Nankai Trough, Japan, *Marine and Petroleum Geology*, in-press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.02.027>

断層 G

Lavallée, Y., Hirose, T., Kendrick, J. E., Hess, K-U. and Dingwell, D. B. (2015) Fault rheology beyond frictional melting, *PNAS*, doi/10.1073/pnas.1413608112.

同位体 G

Naraoka H., Aoki D., Fukushima K., Uesugi M., Ito M., Yabuta H., Kitajima F., Mita H., Yabuta H., Takano Y., Yada T., Ishibashi Y., Karouji Y., Okada T., and Abe M. (2015) ToF-SIMS analysis of carbonaceous particles in the sample catcher of the Hayabusa spacecraft. *Earth, Planets and Space* 67:67, doi: 10.1186/s40623-015-0224-0.

生命 G 同位体 G 科学支援 G

Nishio, Y., Ijiri, A., Toki, T., Morono, Y., Tanimizu, M., Nagaishi, K., and Inagaki, F. (2015) Origins of lithium in submarine mud volcano fluid in the Nankai accretionary wedge. *Earth and Planetary Science Letters*, 414, 144-155.

生命 G

Noguchi, T., Fukuba, T., Okamura, K., Ijiri, A., Yanagawa, K., Ishitani, Y., Fujii, T., and Sunamura, M. (2015) Distribution and Biogeochemical Properties of Hydrothermal Plumes in the Rodriguez Triple Junction. In: *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*. (Eds.) Okino, K., Ishibashi, J., and Sunamura, M., *Springer*, pp. 194-204.

生命 G

Ohtomo, Y., Ijiri, A., Morono, Y., Ikegawa, Y., Suenaga, H., Case, D., Matchiyama, H., Yamamoto, F., Goto, S., Fukuba, T., Nagasawa, M., Matsumoto, M., and Inagaki, F. (2015) CO<sub>2</sub> emission and shallow-type methane hydrate decomposition experiment on deep-sea floor. *JAMSTEC Report of Research and Development*, 20, 61-71.

断層 G

Oohashi, K., Hirose, T., Takahashi, M. and Tanikawa, W. (2015), Dynamic weakening of smectite-bearing faults at intermediate velocities: Implications for subduction zone earthquakes, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 120, 1572-1586, doi:10.1002/2015JB011881.

同位体 G

Saitoh, Y., Ishikawa, T., Tanimizu, M., Murayama, M., Ujiie, Y., Yamamoto, Y., Ujiie, K. and Kanamatsu, T. (2015) Sr, Nd, and Pb isotope compositions of hemipelagic sediment in the Shikoku Basin: Implications for sediment transport by the Kuroshio and Philippine Sea plate motion in the late Cenozoic. *Earth and Planetary Science Letters*, 421, 47-57.

断層 G

Suzuki, K., Kato, S., Shibuya, T., Hirose, T., Fuchida, S., Kumar, V. R., & Urabe, T. (2015). Development of Hydrothermal and Frictional Experimental Systems to Simulate Sub-seafloor Water-Rock-Microbe Interactions. In *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems* (pp. 71-85). *Springer Japan*.

断層 G

Suzuki, K., Shibuya, T., Yoshizaki, M., & Hirose, T. (2015). Experimental Hydrogen Production in Hydrothermal and

Fault Systems: Significance for Habitability of Subseafloor H<sub>2</sub> Chemoautotroph Microbial Ecosystems. In *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems* (pp. 87-94). Springer Japan.

断層 G 同位体 G 科学支援 G

Tanikawa, W., Ishikawa, T., Honda, G., Hirono, T. and Tadai, O. (2015) Trace element anomaly in fault rock induced by coseismic hydrothermal reactions reproduced in laboratory friction experiments. *Geophysical Research Letters*, 42, doi:10.1002/2015GL063195.

生命 G

Yamanaka, T., Nagashio, H., Nishio, R., Kondo, K., Noguchi, T., Okamura, K., Nunoura, T., Makita, H., Nakamura, K., Watanabe, H., Inoue, K., Toki, T., Iguchi, K., Tsunogai, U., Nakada, R., Ohshima, S., Toyoda, S., Kawai, J., Yoshida, N., Ijiri, A., Sunamura, M. (2015) The Tarama Knoll: Geochemical and Biological Profiles of Hydrothermal Activity. In: *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*. (Eds.) Okino, K., Ishibashi, J., and Sunamura, M., *Springer*, pp. 497-504.

同位体 G

Yamaoka, K., Matsukura, S., Ishikawa, T. and Kawahata, H. (2015) Boron isotope systematics of a fossil hydrothermal system from the Troodos ophiolite, Cyprus: water-rock interactions in the oceanic crust and subseafloor ore deposits. *Chemical Geology*, 396, 61-73.

同位体 G

加藤尚希, 廣野哲朗, 石川剛志, 大谷具幸 (2015) 阿寺断層田瀬露頭における断層ガウジの鉱物学的・地球化学的特徴. 活断層研究, 43, 印刷中.

生命 G

西尾嘉朗・井尻暁 (2015) 海底泥火山の研究から見てきたもの. テクノオーシャン・ネットワーク TON News, 55, 1-2.

科学支援 G 断層 G

畠田 健太郎, 林 為人, 後藤 忠徳, 廣瀬 丈洋, 谷川 亘, 濱田 洋平, 多田井 修 (2015), 交流インピーダンス法を用いた比抵抗測定の精度および地質試料における有効性の検討実験, *JAMSTEC-R*, vol.20, pp.41-50, <http://doi.org/10.5918/jamstecr>

(Others)

断層 G 科学支援 G

Lin, W., Tadai, O., Takahashi, M., Sato, D., Hirose, T., Tanikawa, W., Hamada, Y., Hatakeda, K., 2015, An Experimental Study on Measurement Methods of Bulk Density and Porosity of Rock Samples, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3, 72-79, DOI: 10.4236/gep.2015.35009

## 2. アウトリーチ活動

高知コア研究所では10年の活動において、研究成果の外部発信、普及・啓蒙活動などアウトリーチ活動を実施してきました。ここにその活動の主要なものを記します。

### 一般公開

高知コア研究所では、毎年11月3日(祝)に高知大学と協力し、施設一般公開を開催しています。直近では2014年度に「見る、触る、わかる地球科学掘削の世界」と題して、各種分析機器や新保管庫の見学公開・体験イベント等を実施、年々参加者が増加し1,800名を超える方々に来場頂きました。

なお、海洋研究開発機構本部及び横浜研究所で開催される一般公開にも展示ブースを設置し、当所のコア試料保管庫の様子や研究成果のトピック等を紹介してきました。

また、2008年2月13日には高知新港に地球深部探査船「ちきゅう」が寄港し、高知県の行政関係者、高校生および地球科学専攻の大学関係者(合計127名)に特別公開を開催することにより、高知におけるJAMSTEC活動の理解を深めることに貢献できました。



一般公開の様子



高知新港の「ちきゅう」特別公開

### 講演会

#### (1) 高知コア研究所 設立記念講演会

海洋研究開発機構は2005年10月1日に高知コア研究所を発足させましたが、これを記念し、同年12月16日に高知市の高新文化ホールにて高知コア研究所 設立記念講演会「将来の深海掘削計画と高知コア研究所の果たす役割」を開催しました。この講演会では高知コア研究所の東所長が、同研究所の発足目的や役割について講演したほか、日本掘削科学コンソーシアム(JDESC)の石原会長ほかによる講演が行われました。

また、翌17日には、高知大学海洋コア総合研究センター／海洋研究開発機構 高知コア研究所にて学術シンポジウム「掘削科学の現状と将来、昨年度の全国共同研究計画の成果報告を踏まえて」を開催しました。シンポジウム終了後は、高知大学との合同成果発表会を行い、研究者を中心に活発な議論が行われました。

## (2) 一般講演会・市民講演会

### ◆ 一般講演会

2008年8月31日、高知コア研究所では高知大学と産業技術総合研究所と共催して、「次の南海地震と津波について『考える』」と題した公開講演会を開催し、会場となった高知市文化プラザ「かるぽーと」には、約300名の一般参加者が来場しました。講演会は、「掘削研究」をキーワードに、「海から」「陸から」「過去から」という異なる3つの視点から、次に起こる南海地震についての研究成果を、高知県民の皆様に分かりやすくお伝えすることを目的として開催されました。



最初に東所長が講演会の目的について説明し、平朝彦理事が、南海トラフの特徴や地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフでの海底掘削の最近の研究成果について講演し、続いて、産業技術総合研究所の佃栄吉研究コーディネーター、高知大学の岡村眞教授に講演頂きました。

エントランスホールに設けられたポスター展示会場や講演後の質疑応答では多くの質問を頂き、講演会参加者の南海地震の研究成果に対する関心の高さが窺える講演会となりました。

### ◆ 市民講演会

2014年7月27日に室戸ジオパーク講演会を室戸ジオパーク推進協議会・高知工科大学・高知コア研究所の3機関合同で開催しました。この講演会は「最先端技術で探る室戸の未来」と題した講演会で、小松幹侍室戸市長からのご挨拶のあと、木下正高高知コア研究所長が「室戸沖で何が起きているのか!『ちきゅう』掘削から分かった南海地震」と題して講演を行いました。

なお、この講演会は2012年7月14日に室戸市民講座として、室戸市保健福祉センターやすらぎにて「海溝型巨大地震はどのように起こるのか?～研究・観測の最前線～」と題して行った講演会のどちらも盛んな講演会でした。

また、2014年の講演会では、室戸市連合婦人会による救荒植物の試食会や実行委員会による防災教育チャレンジプランの活動報告も行われました。

## (3) 高知コアセンター講演会

本講演会は、一般の方々を対象に高知大学海洋コア総合研究センターと海洋研究開発機構高知コア研究所が共同運営する高知コアセンターにおける研究をはじめとして、高知大学や海洋研究開発機構が実施している研究について紹介し、科学掘削により展開する地球科学への興味を喚起することを目的として開催されてきました。

第1回は、2013年3月9日に高知県立県民文化ホール・グリーンホールにて、「『ちきゅう』で巨大地震を探る ～南海地震と3・11東北地震～」が開催され、特に海溝型巨大地震について科学的に理解していただくため、地球深部探査船「ちきゅう」による最新の研究成果を交えながら、過去の南海地震や、2011



## 2. アウトリーチ活動

年3月11日に起こった東北地方太平洋沖地震の知見等が紹介されました。

また、第2回は、2014年2月1日に「『海からの め・ぐ・み』～海は宝の山～」、第3回は、「たぐり出せ！地球環境の記憶～本質は細部に宿る～」と題し、それぞれ地元の方々へ最新の研究成果が紹介されました。

以上のような各種講演会を開催することにより、開所以来10周年を迎える高知コア研究所は、益々と注目を集める研究所となりつつあります。

---

### 授業・スクール

---

#### (1) J-DESC コアスクール

このスクールは、J-DESC(日本地球掘削科学コンソーシアム)主催のJ-DESC コアスクールの一環として高知コアセンターにて実施されています。

これは2008年3月より、地球掘削科学における研究手法や計測技術の普及・レベルアップ、人材育成・裾野の拡大、会員機関の相互交流などの観点から開催されています。J-DESC コアスクールには、コア解析に必要な基礎的なスキルを習得するためのコースから、より応用的・専門的なスキルを習得するためのコースがあり、初回のスクールコースは次のものでした。

##### ○コア解析基礎コース(2008.3.15-18)

内容:コア解析に必要な基礎的なスキルを習得するためのコースで、コアの岩相記載や非破壊計測などについてレクチャーと実習を行い、実体験を通してコア解析を理解してもらいました。

##### ○コア同位体分析コース(2008.3.19-21)

内容:大学院生を中心とする14名が参加し、コア解析のための応用的・専門的なスキルを学びました。本コースでは3-5人の小グループで個別に機器分析に特化したレクチャーと実習を行い、より高次のコア解析技術をマスターしました。

プログラム1:IRMSを用いた炭素塩中の炭素、酸素同位体分析

プログラム2:TIMSを用いたトゥファ堆積物中のSr同位体分析

プログラム3:GC/C/IRMSを用いた有機分子レベルの炭素同位体分析

なお、このスクールは現在も継続され、高知大学職員と協働でコア試料の取り扱いや記載、講義と実習が行われています。



#### (2) スクーリング

高知コア研究所開所早々には、2006年10月に国際堆積学会(ISC2006、福岡)の巡検ショートコース(コア解析スクール入門編、高知大学主催)開催に協力、2007年3月には若手研究者を対象に、最先端の同位体分析をレクチャーする「第5回コア解析スクール アドバンスドコース」を開催しました。

### (3) Sand for Student

CDEX(海洋研究開発機構 地球深部探査センター) が主導するアウトリーチプログラム「Sand for Student」を四国で初開催しました。このコースでは、高知コア研究所が協力し内容や事前調査、学校側との調整、イベントに必要な諸手続きを行いました。

Sand for Students とは、生徒の皆さんが身近な河川や海岸で砂を観察しながら、地球科学、環境科学への興味を深めることを目的とした教育プログラムです。実習と事後学習を通じて、生徒が自ら集めた砂の分析データが、掘削地点における堆積物の後背地解析のための試料やデータになります。

なお、今回の参加には、香川県立丸亀高校、香川県立観音寺第一高校、香川県立高松工芸高校から教職員を含め合計約30名の参加者があり、関川河川敷・琴弾公園(愛媛県四国中央市・香川県観音寺市)にて野外調査・観察を、観音寺第一高校にて砂試料と地質に関する屋内授業を行いました。



### (4) さくらサイエンスプラン

さくらサイエンスプラン(日本・アジア青少年サイエンス交流事業)はアジアの優秀な青少年を日本へ招待し、最先端の科学技術を学んでもらうことを目的とした独立行政法人科学技術振興機構主催の事業です。JAMSTECからは海洋掘削科学研究開発センター、高知コア研究所のそれぞれから申請した計画2件が採択され、台湾、インドネシア、ベトナム、中国、韓国から総勢10名をお招きしました。2014年11月10日から22日までの間、JAMSTEC横須賀本部、横浜研究所および日本科学未来館の見学や、高知コア研究所においてさまざまな講義・実習を行いました。

なお、高知コア研究所における講義実習では、掘削計画、コア計測概要、コアキュレーションの実務、CTやMSCLの実機を用いたコアロギング、顕微鏡を活用した微化石学等、室戸ジオパークへのフィールドトリップを高知大学の協力を得て実施しました。

短期間ではありましたが、研究、分析の一端に触れるだけでなく、日本文化にも親しむことで交流を深めました。

### (5) 出前授業

高知コア研究所では、小学校、中学校、高校への出前授業や、各所への講師派遣を実施してきました。地元の香美市では、舟入小学校への出前授業は人気があり、2009年度より継続して谷川巨研究員を講師派遣しています。

また、2009年3月17日、高知県立安芸中・高等学校にて当研究所の諸野祐樹研究員が出前授業を行いました。これは、安芸中・高等学校が実施したキャリア授業の一環で、職業の魅力ややりがい、仕事の内容などについての講演を通して生徒の皆さんに進路選択について考える機会をつくるというものでした。諸野研究員は、現在行っている研究についてクイズ問題や身近な話題を交えて紹介しました。生徒の皆さんも、普段の授業では学ぶことのできない「研

## 2. アウトリーチ活動

究の世界」に興味津々の様子でした。

最後に、諸野研究員から生徒の皆さんに「皆さんも将来研究員になって一緒に研究をしませんか?」と呼びかけましたが、この授業が将来研究の道に進むきっかけとなると幸いです。

2009年9月4日、徳島県小松島の小松島市立坂野中学校1年生を対象に当研究所の廣瀬丈洋研究員とラン・プラサド・グプタ技術主任が出前授業を行いました。坂野中学校区は小松島市の東南部に位置し、南海地震発生時には津波が押し寄せることが予測されており、防災教育の一環として今回の出前授業が行われました。

廣瀬研究員は「地震と断層 ～せまりくる南海地震にむけて～」というテーマで、地震のメカニズム、南海地震と津波、実験室での断層再現について説明しました。また、ビデオでスマトラ島沖地震の津波による被害状況を紹介し、津波について考えてもらいました。

グプタ技術主任は統合国際深海掘削計画(IODP)、地球深部探査船「ちきゅう」と高知コア研究所の役割を紹介し、地下で起きている地震のメカニズムについて話しました。

質問時間では、生徒さんから多くの質問を受け、関心の高さが窺われました。坂野中学校の皆さんがこの授業を通じて、防災意識をより高めていただければ幸いです。

以上のような各種スクーリング、出前授業を各所で実施することにより、高知コア研究所が持っている知見、研究成果、コア管理技術等を幅広く普及、伝達してきました。



廣瀬丈洋研究員とラン・プラサド・グプタ技術主任の出前授業

## 展示

### (1) 地元で展示

2010年11月20日～21日まで、第22回生涯学習フェスティバル「まなびピア高知2010」の開催にあたり文部科学省および高知県より要請があり、JAMSTECと高知コア研究所の活動および研究内容を紹介する展示を高知ぢばさんセンターで本部の協力の下に行いました。展示タイトルを「海で探そう!地球のひみつー見たことありますか?海の中のその下を・・・」とし、JAMSTECの紹介パネルを展示し、内容は子供が見ても分かりやすいものにしました。

会場が高知であることをふまえ、JAMSTECの存在を地元の方々により身近に感じて頂けるよう、高知コア研究所の研究活動を主な内容として次のものを紹介しました。

コアの掘削模型には大人から子供まで多くの方々が興味を示し、その模型を使ってコアとは何か、どのように掘削され、コアの研究がどのように生かされているかなど一般の方に分かりやすく示すことができました。特にKTバウンダリーについては、どの年代の方にも興味を持って話を聞いて頂けました。

また、子供向け掘削模擬体験コーナーは、掘削パイプの棒の長さがちょうど子供の目線の高さぐらいの長さのためか、特に小学校低学年から下の年齢の子供たちの目にとまりやすく、多くの子連れの来場者が立ち寄りしました。

## (2) 学会で展示

地球惑星科学連合2007年大会(2007年5月19日-24日:千葉幕張)にて高知大学海洋コア総合研究センターと合同で「高知コアセンター」の展示ブースを出展開始し、その後、現在に至るまで毎年度、同大会に合同で展示ブースを出展しています。

また、日本地質学会第116年学術大会(2009年9月4日-6日:岡山理科大学)に、「高知コア研究所」の展示ブースを出展しました。当該大会では、「桃太郎と学ぶ地質学」をテーマに地質学の発展や普及を目指して、研究者・学生の研究発表、情報交流の場として開催されました。

高知コア研究所はJAMSTECコアキュレーション(当機構の船舶で採取したコア試料)とIODPコアキュレーションを中心にブースを展示し、研究者をはじめ多くの方に、当研究所の活動を知っていただきました。

なお、海外の学会(American Geophysical Union, AGU)においても、高知大学海洋コア総合研究センターと合同で「高知コアセンター」の展示ブースを同センター及び高知コア研究所のpresenceを上げるように継続して毎年出展しています。



地球惑星科学連合(JPGU)2007年大会出展の様子



## (3) 特別展示

2013年11月6日~11月17日に高知市立自由民権記念館において、市民、県民に小惑星探査機「はやぶさ」を中心とした宇宙開発、並びに地球深部探査船「ちきゅう」による海洋コア研究を紹介することで広く科学に対する関心を高める機会を提供するため「~宇宙と地球の謎にせまる~小惑星探査機「はやぶさ」×地球深部探査船「ちきゅう」特別展示」を実施しました。

高知コア研究所では、高知大学海洋コア総合研究センターと協力して、海洋科学技術の理解増進と高知コアセンター

## 2. アウトリーチ活動

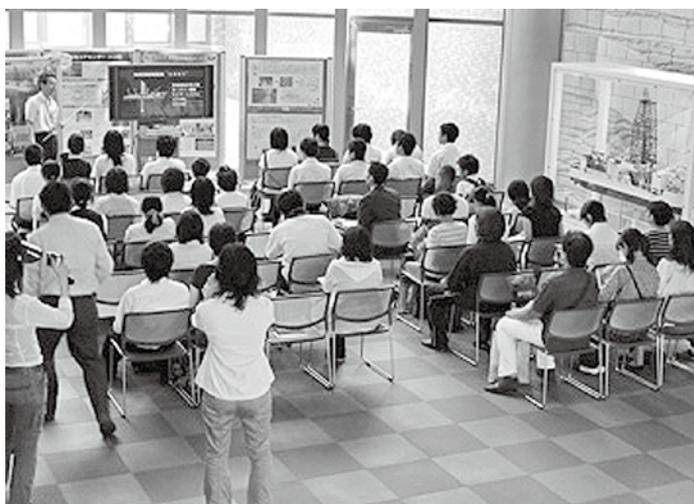
の普及広報活動の一環として、当該展示を後援し、展示及び講演会を開催しました。(講演会を期間中の11月10日に開催)

以上のような国内外各所での展示を実施することにより、学会参加者、一般の方々に高知コア研究所の研究成果、コア保管庫の様子、キュレーション業務等を幅広く普及、伝達してきました。

### 見学／視察

高知コア研究所では、毎年10組程度の見学、視察者を受け入れています。これまででは、

- 2009年7月13日に高知県立江の口養護学校の生徒、教員そして保護者の方々、総勢53名の皆様が高知コアセンターを見学。コア試料掘削のビデオを見た後、「コア」が保管されている冷凍庫で $-20^{\circ}\text{C}$ の体験、微生物研究試料を長期間保存する極低温試料室で瞬時に葉っぱを凍らせる実験など体験頂きました。



- 2010年2月19日に広島大学理理学部地球惑星システム学科の2年生と引率者、計31名が、地球科学野外巡検の一環として高知コアセンターを訪問しました。統合国際深海掘削計画(IODP)および海洋研究開発機構の紹介をした後、コアセンターの施設設備や研究に関する説明を行い、学生たちは熱心に耳を傾けていました。

- 第75期高知市民の大学総合コース「地球を知り未来をさぐる～高知発!!最先端地球科学～」として、2014年度に開校されていた市民大学の一環として、2014年5月31日に高知コアセンターに60名を超える同コースの受講者の方が訪問されました。同コースは高知コア研究所及び高知大学並びに同大学海洋コア総合研究センターの研究者、先生方が講師として3ヶ月にわたり講義を実施したため、当所を訪問された受講生の方々は講義とともに理解が深まったとされ大変喜んでおられました。



広島大学理理学部生の見学

- 2015年1月26日に、ガス会社及びその代理店の経営者(幹部)の方々に「水素社会における期待の高いメタンハイドレードに関する実現性や研究状況を学びエネルギーの将来像を示すような講演」依頼を受け、同社の研修として約20名の方々が高知コアセンターを訪問され、高知コア研究所と高知大学海洋コア総合研究センターにて講演、所

内視察を実施しました。

●2015年7月14日に、室戸世界ジオパークの再審査について、その海外審査員のお二方が世界ジオパークネットワーク現地審査に基づき審査されることとなり、高知コアセンターを再審査の前に視察頂きました。

なお、今回の視察は2011年6月6日に世界ジオパークを目指す室戸ジオパークの持続的な発展につなげるため、室戸ジオパーク推進協議会と、海洋研究開発機構、高知工科大学と連携協定を締結し、その一環として世界ジオパーク審査員の当センターの視察に至っています。

また、高知大学と高知コア研究所は、室戸ジオパーク推進協議会にそれぞれ2名、1名の顧問が研究的視点からの室戸世界ジオパークの発展に向けてのアドバイスを実施しています。



以上はほんの一例ですが、高知コア研究所開所から10年の間には、分野、年齢、国内外、目的を問わず大変たくさんの方々に当所を訪問頂き、幅広く研究成果、コア保管庫の様子、キュレーション業務等をご理解頂きました。また、見学、視察対応は当所の視察、または、高知コアセンターの視察の場合があり、後述の場合、高知大学海洋コア総合研究センターと協力して、その対応にあたっています。

## 報道 / 番組出演

高知コア研究所では、世界をリードする研究成果を随時プレス発表し(第1章「歴史年表」)、社会への成果発信を重視する立場から、それらに関する新聞報道等に積極的に協力してきました(表1)。また、掘削コア試料が持つ価値やキュレーションの意義、高知コア研究所が持つ先端的設備・機器が拓く新しいサイエンスの可能性などについても様々なメディアの協力の下、社会に発信してきました。表1に挙げた数多くの事例のうち、テレビ・ラジオ関係のいくつかを紹介します。

●2009年10月2日に、ラン・プラサド・グプタ技術主任が徳島県防災・危機管理情報総合ポータルサイト「安心とくしま」内、防災とくしまポッドキャストにて「第52回コアをよむー海底に潜む地震発生メカニズムに迫る」というテーマでインターネットラジオに出演しました。番組シナリオは、「高知コア研究所は、海溝型地震の発生メカニズムの解明や、深海に生息する未知の微生物の研究などを行っています。海溝型地震発生の秘密を握る「コア」とは?そして「コア」は、いったい何を我々に語りかけてくるのでしょうか。今回は、高知コア研究所のIODPキュレーター、ラン・グプタさんをお迎えし、地震発生メカニズムを「コア」からよみ解いていく過程や、IODP(統合国際深海掘削計画)によって取り組まれている南海トラフ地震発生帯掘削計画についてお話を伺います。」というものでした。

●2011年12月30日放送の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～』」で、俳優の谷原章介さんをキャスターとしてJAMSTEC 40周年記念番組をお送りしましたが、この中で、稲垣史生グループ・リーダー(当時)が案内役として、当研究所の最新のNanoSIMSによる

## 2. アウトリーチ活動

研究成果やコア試料保管庫などを紹介しました。

●2015年6月19日放送の四国4県向け番組、NHK四国羅針盤「過去の地震に学べ ～“歴史南海地震”研究最前線～」および2015年6月27日放送の全国向け番組、「NHK目撃!日本列島『南海地震 海に沈んだ“幻の集落”』」に取材協力し谷川亘研究員が出演しました。高知県に近い南海地震の発生域において過去に繰り返し発生し、甚大な被害をもたらしてきた地震の痕跡からそのメカニズムを解明し、防災にいかそうという研究の最前線を取り上げたものです。番組のHPでは「地震のメカニズム解明のため、これまで探査船で海底数千メートルの地層を調査する国際プロジェクトに参加してきた谷川さんが、なぜ幻の集落と向き合うことになったのか?」という切り口で紹介頂きました。どちらも30分近い放送であり、各所から高知コア研究所の研究や研究者についての認識が高まったとの感想を頂きました。

●2015年9月30日放送の高知県内向け番組、NHK「こうち情報いちばん」の水曜特集、「世界も注目!海底地下深い地層から微生物」で、稲垣史生所長代理がIODP下北沖石炭層生命圏掘削に関する研究成果を紹介しました。

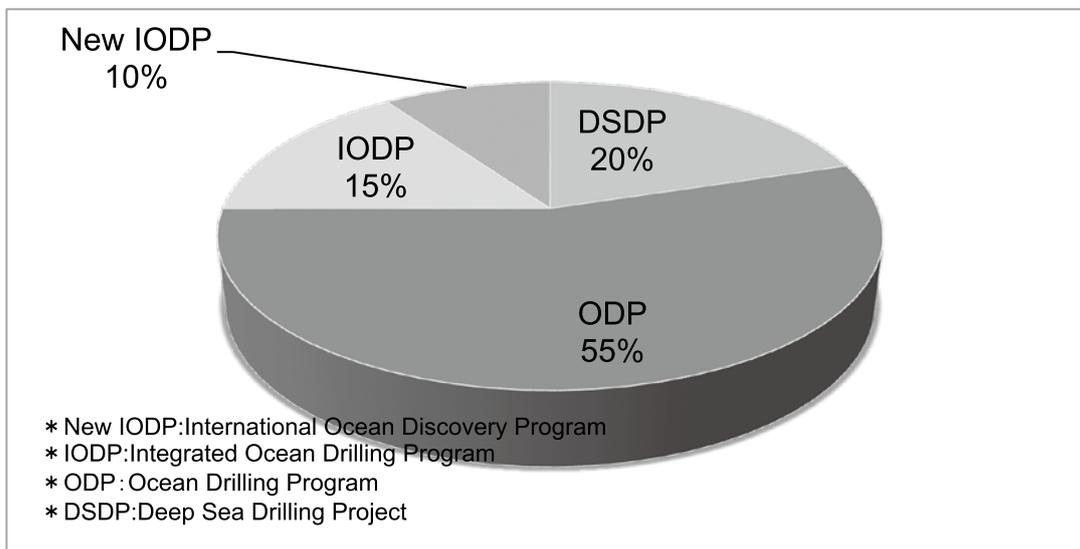
今後も、益々注目を浴びるであろう当研究所の研究成果を数多く発信していきたいと考えています。

表1 アウトリーチ、報道等の件数

	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度 (8月末現在)
新聞掲載	2	6	24	23	26	9	41
DVD制作、 TV・ラジオ 番組制作協力	2	4	1	2	2	4	1
インターネット 記事掲載		1	10	8	35	13	18
雑誌・本掲載	1			2	2	2	2
講演、 見学対応等	20	19	34	20	27	46	16

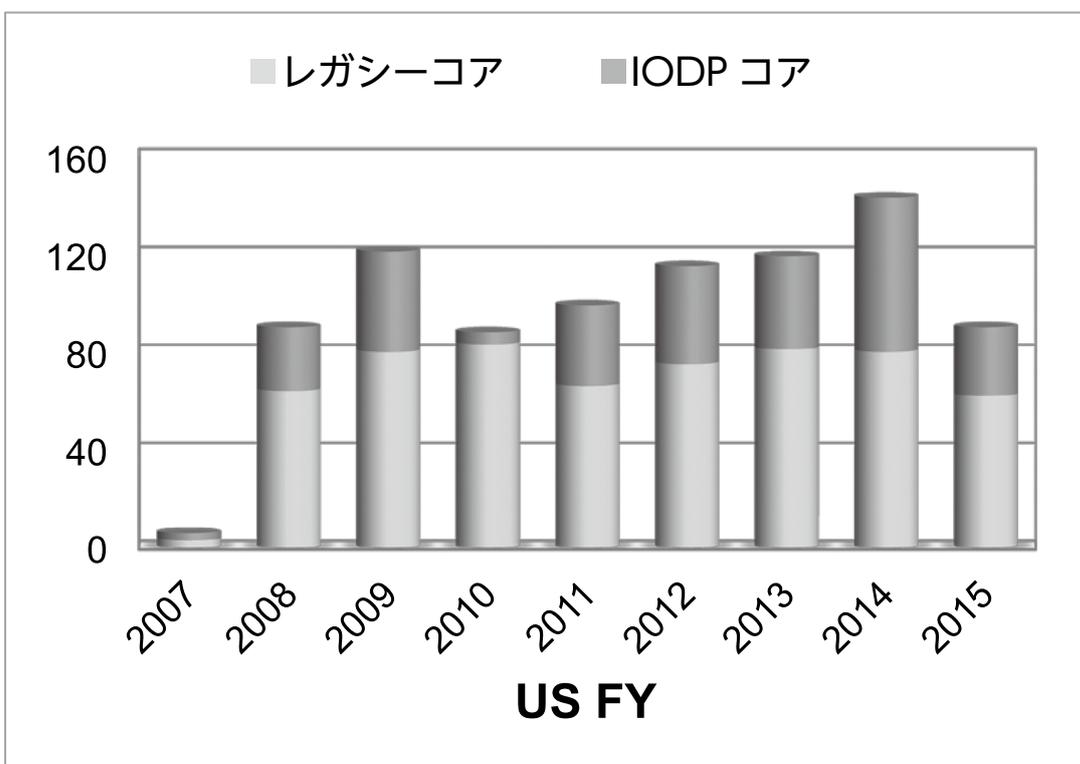
### 3. コア総数等の統計情報

高知コア研究所ではIODP(International Ocean Discovery Program, 国際深海科学掘削計画)等により採取したコア試料を保管しています。当所の開所以来のコア管理に関わる統計情報は以下ようになります。



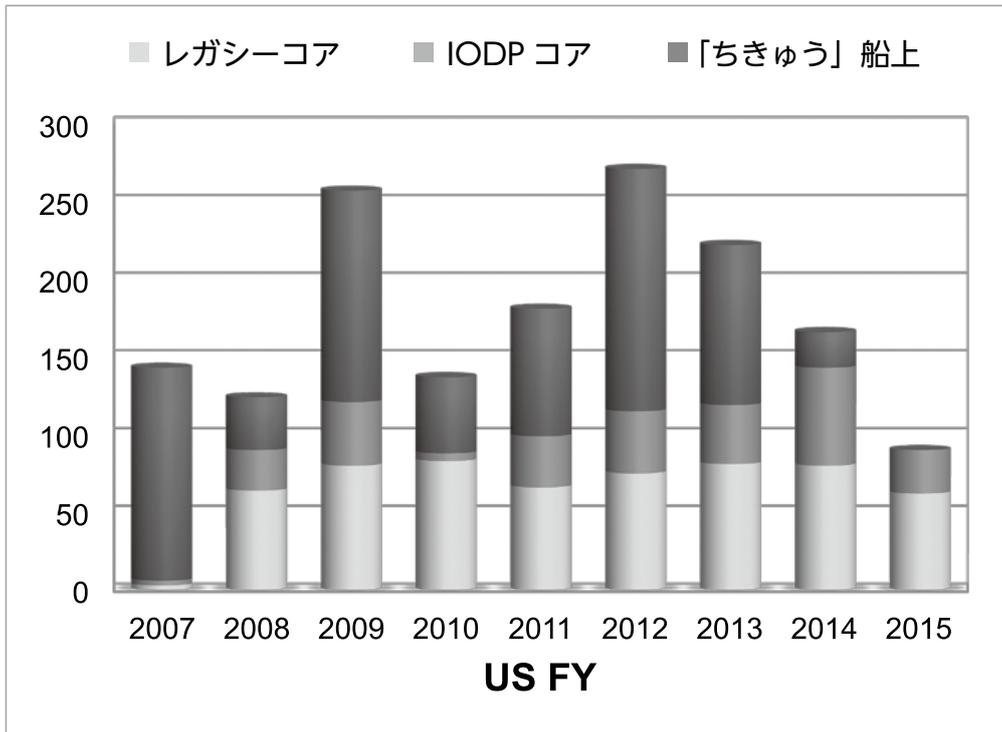
資料1 高知コア研究所で保管管理している海洋掘削コア試料の内訳

2015年8月現在、総延長にして111km分のコア試料を保管・管理しています。



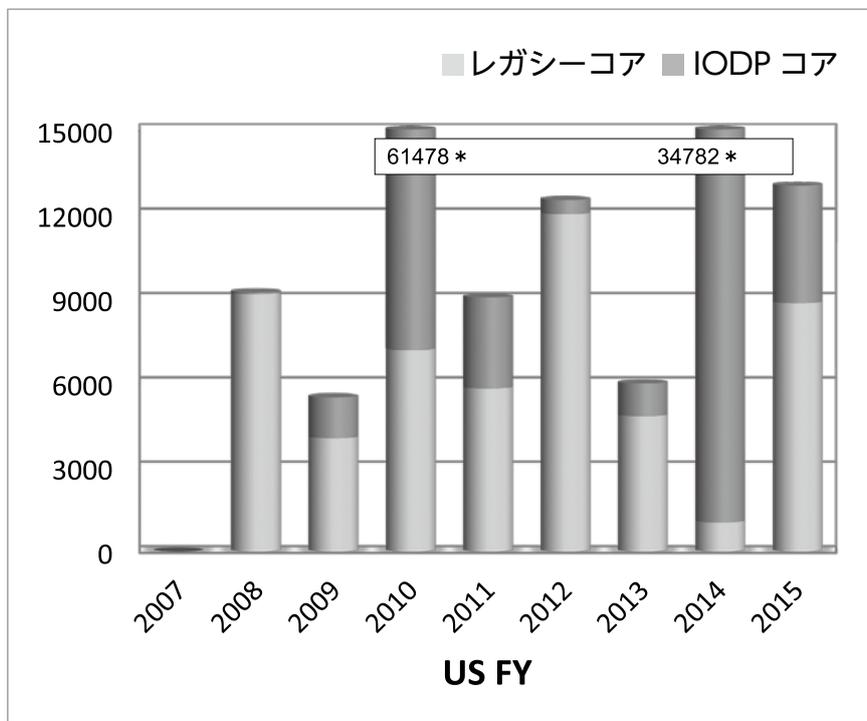
資料2 試料請求件数の推移(高知コア研究所保管試料のみを対象とした場合)

集計年度は米国会計年度(US FY)に基づいています。国内外から年間100件前後のサンプルリクエストが提出されています。



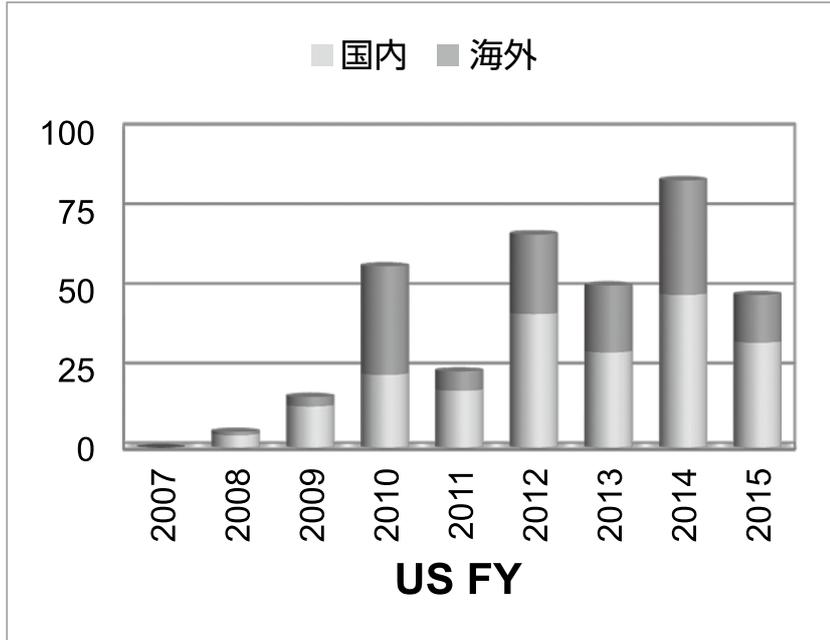
資料3 試料請求件数の推移(高知コア研究所申請分と「ちきゅう」船上リクエストを含めた場合)

地球深部探査船「ちきゅう」によるIODP航海が実施された年度は、審査対象となる試料請求件数が保管庫のみを対象とした場合のほぼ倍となります。



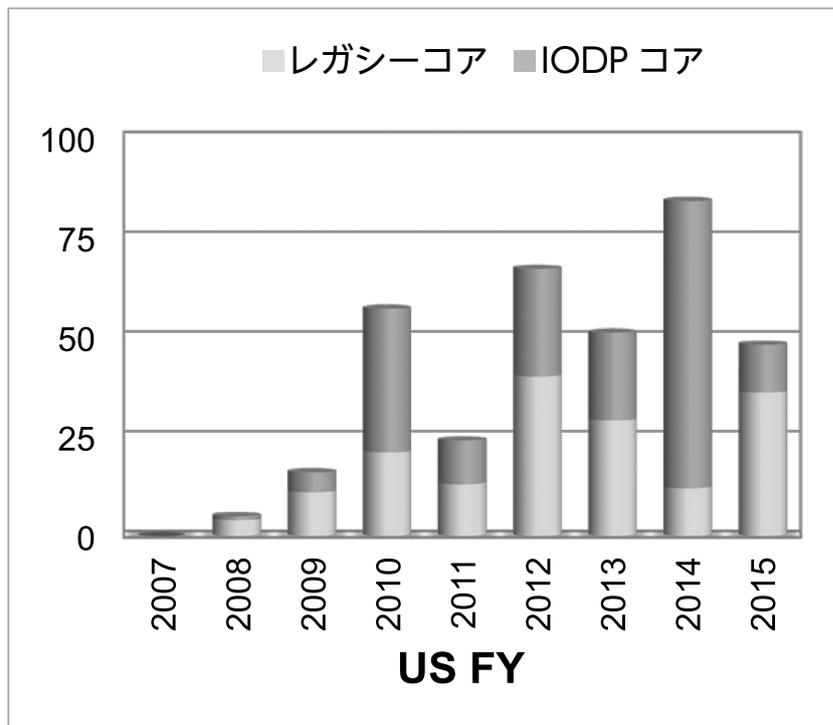
資料4 高知コア研究所におけるサンプル提供個数の推移と内訳

平年値で年間7千個程度の試料が国内外へ発送されています。掘削航海参加研究者によるサンプリング・パーティー(\*)が高知コア研究所に実施された場合、3万個を超える試料が国内外に発送されます。



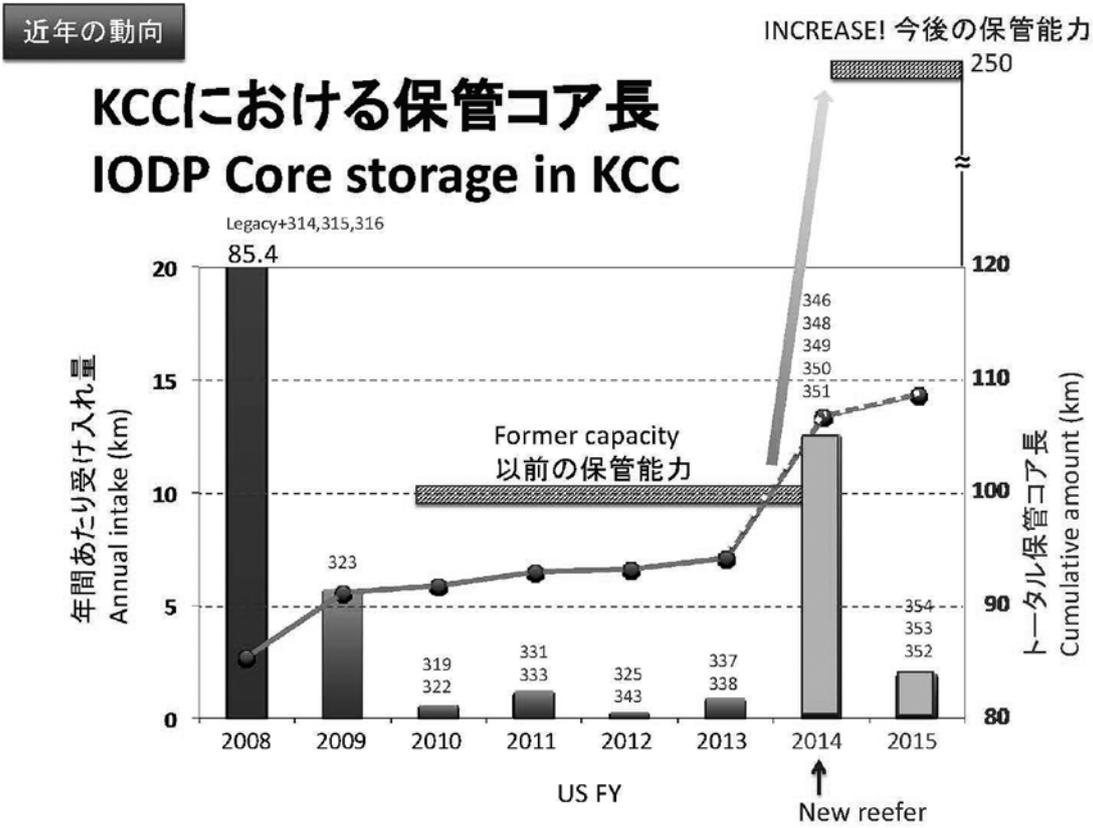
資料5 高知コア保管庫への訪問研究者数の推移とその内訳 I (国内外別)

試料採取や試料観察のために訪問する研究者数は、キュレーション・サービスを始めてから増加し、近年では年間50名前後となっています。サービス開始直後は主に国内研究者の来所が中心でしたが、近年は国内研究者・海外研究者の比率はほぼ半々となっています。



資料6 高知コア保管庫への訪問研究者数の推移とその内訳 II (対象コア別)

レガシーコアのみでなく、統合国際深海掘削計画や国際深海科学掘削計画で得られた比較的新しいコア試料を研究対象として訪問する研究者も着実に増加しています。



資料7 高知コア保管庫におけるコア受入量(棒グラフ)と保管総量(折れ線グラフ)の推移

USFY2008年度は、レガシーコア83km、「ちきゅう」NanTroSEIZE航海(Exp.314, 315, 316)の搬入がありました。USFY2014年度当初には、コア保管庫の収容率が100%を超えて仮設ラックで対応していましたが、2014年6月に高知大学の新コア保管庫棟が竣工し、最大収容能力は新旧コア保管庫あわせて250km分まで対応可能となりました。

## 高知コア研究所10周年記念誌

---

2015年10月20日発行

発行者：国立研究開発法人海洋研究開発機構  
高知コア研究所

〒783-8502 南国市物部乙 200

(高知大学物部キャンパス内)

TEL(088) 864-6705

FAX(088) 878-2192

制作・印刷：株式会社高知新聞総合印刷

---



**KOCHI JAMSTEC**



**JAMSTEC** 国立研究開発法人  
海洋研究開発機構  
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY