

国立大学法人 愛媛大学
地球深部ダイナミクス研究センター
〒790-8577 松山市文京町2-5
TEL : 089-927-8197 (代表)
FAX : 089-927-8167
<http://www.grc.ehime-u.ac.jp/>

目 次

- ◆ センター長挨拶
- ◆ センター構成
- ◆ NEWS & EVENTS :
CO₂レーザー加熱DACによるMgO融点精密決定
JpGU フェローと西田賞に GRC 教員が選出
耐熱性透明セラミックスの超高压合成
日本鉱物科学会 2017 年度年会開催案内
フロンティアセミナー
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ 海外出張・国際会議報告
- ◆ ALUMNI レポート No. 13
- ◆ 最新の研究紹介
- ◆ センター機器紹介 No. 31
- 先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)

➡ センター長あいさつ ➡

入船 徹男



例年幕張メッセで開催される日本地球惑星科学連合 (JpGU) の大会が、今年は世界最大の地球科学関連学会であるアメリカ地球物理学連合 (AGU) との初めての共催という形で、5 月下旬に 6 日間に渡り開催されました。AGU やヨーロッパの地球科学連合 (EGU) の参加者数には及ばないものの、

今回の JpGU-AGU 合同大会は昨年の JpGU 大会に比べて 1000 名以上多い、8000 名を大きく超える参加者のもと成功裏に幕を閉じました。

1990 年頃からスタートした JpGU の前身である「合同大会」は、当初大規模大学の持ち回りで開催されていましたが、その後代々木オリンピックセンターに会場を固定し、更に幕張メッセに会場を移した大規模な大会へと変遷してきました。2005 年には我が国の地球惑星科学関連の 50 近い学協会が結集する JpGU が発足し、2009 年より一般社団法人化されて今日に至っています。私も最初の合同大会以来ほぼ毎年参加していますが、この間のこのような経緯を経て、名実ともに我が国を代表する国際性の高い組織へと変貌を遂げたことが実感されます。

一方の AGU は 1919 年の設立以来 100 年近い長い歴史を有し、世界 144 か国に 6 万 2 千人の会員を擁する地球科学分野で世界最大の学術組織です。サンフランシスコで毎年 12 月に開催される大会には約 2 万人の会員が参加し、毎年行われているものとしては全ての学術分野で世界最大の大会とされています。AGU に私が初めて参加したのは 1987 年と、今から 30 年前の東海岸ボルチモアでの春季大会のことですが、当時は春季大会が東海岸、秋季大会が西海岸で開催され、東海岸の大会のほうが圧倒的に参加者が多かったと記憶しています。日本からの参加者は非常に少なく心細い思いをしたと同時に、会期中に食中毒になり嘔吐と下痢で丸 2 日間食事がとれず、悲惨な状況に至ったことを思い出します。

これ以降 AGU のほうも平均すると 2 年に一回程度、最近ではほぼ毎年参加してはいますが、上記の初の JpGU-AGU 合同大会において、なぜか私が AGU 側代表のプログラム委員長に指名されました。一方で JpGU 側の同委員長には九州大学の Huixin Liu 先生が選ばれ、逆の間違いじゃないのかとの思いもありましたが、両者の連携や AGU 側の協力、また JpGU 事務局の皆さん等の多大なご支援のおかげで、なんとか大役を終えることができました。Huixin さん (写真左) や、AGU の Margaret Leinen 前会長 (中央)、をはじめ関係者の皆様にこの場を

お借りしてお礼申し上げます。

この歳になってくると学会での重要な役割が求められ、またそのような期待に応えることは、研究コミュニティに対する研究者の責務であると思われまふ。私も過去10年近くは国際高圧力学会(AIRAPT)の評議員や会長を務めてきましたが、JpGUの上記の役回りの次は、高圧力をキーワードとした物理・化学・生物・地球科学・材料科学などの学際的な学術組織である、日本高圧力学会での更なる貢献が求められているようです。個人的にも地球深部科学の研究から、高圧力を用いた材料科学的研究に軸足を移しつつある昨今、微力ながらこの学会の発展に尽力するとともに、これに対応したGRCの新たな発展と、愛媛大学の特色ある研究推進における貢献も期したいと思います。

.....

➡ センターの構成 ➡

(H29. 6. 1現在)

❖ 超高圧合成部門

入舩徹男(教授)
大藤弘明(教授)
大内智博(講師)
西 真之(助教)
野村龍一(助教)
Steeve Gréaux (WPI上級研究員)
國本健広(特定研究員)
小島洋平(特定研究員)
Nadezda Chertkova (特別研究員)
Wei Sun (WPI研究員)
桑原秀治(特定研究員)(H29. 4. 1~)
有本岳史(特定研究員)(H29. 4. 1~)
Youmo Zhou (特定研究員)(H29. 4. 1~)

❖ 数値計算部門

土屋卓久(教授)
亀山真典(教授)
土屋 旬(准教授)
出倉春彦(講師)
Zhihua Xiong (特定研究員)
Sebastian Ritterbex (特定研究員)
白石千容(研究補助員)

❖ 物性測定部門

井上 徹(教授: 広島大学兼任)
西原 遊(准教授)
境 毅(講師)
木村正樹(助教)

❖ 教育研究高度化支援室(連携部門)

入舩徹男(室長)
山田 朗(リサーチアドミニストレーター)
新名 亨(ラボマネージャー)
目島由紀子(技術専門職員)

河田重榮(技術補佐員)
林 諒輔(技術補佐員)
内山直美(技術補佐員)

❖ 客員部門

客員教授 Yanbin Wang(シカゴ大学GSECARS主任研究員)
客員教授 Ian Jackson (オーストラリア国立大学地球科学研究所教授)
客員教授 Baosheng Li (ストニーブルック大学鉱物物性研究施設特任教授/高圧実験室長)
客員教授 鍵 裕之(東京大学大学院理学系研究科教授)
客員教授 八木健彦(東京大学大学院理学系研究科特任研究員)
客員教授 舟越賢一(CROSS東海事業センター利用研究促進部門次長)
客員教授 平井寿子(立正大学地球環境科学部特任教授)
客員准教授 丹下慶範((公財)高輝度光科学研究センター利用促進部門研究員)
客員准教授 西山宣正(東京工業大学科学技術創成研究院准教授)

❖ GRC研究員・GRC客員研究員

※GRC研究員・GRC客員研究員はPRIUS設置に伴い、委嘱を休止しています。

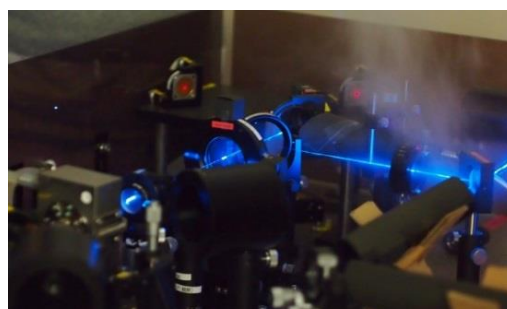
❖ 事務

研究支援課・研究拠点第2チーム
猪野周宣(副課長)
田窪 光(チームリーダー)
村上鋼次(事務補佐員)(H29. 4. 1~)
宮本菜津子(事務補佐員)
兵頭恵理(研究補助員)
八城めぐみ(研究補助員)
長野絵理(事務補佐員)
上田瑠美(研究補助員)

.....

➡ NEWS & EVENTS ➡

❖ CO₂ レーザー加熱 DAC による MgO 融点精密決定



GRC の木村友亮研究員（現東北大学理学研究科・日本学術振興会研究員）、大藤弘明教授、西真之助教、入船徹男教授の研究チームは、ダイヤモンドを用いた超高压発生装置(DAC)と、独自に開発したCO₂ レーザー両面加熱システムを組み合わせ、MgOペリクレースに対し、今まで行われた研究の中で最高圧力である 50 万気圧までの融点の正確な決定に成功しました。得られた融点（50 万気圧で 5600℃）は、これまでの実験値より約 1500℃高く、ペリクレースがマントル鉱物の中で最も高い融点を持つことを明らかにしました。この結果は、太古の地球に存在したマグマオーシャンが冷え固まる際、マグネシウムを多く含むペリクレースが最初に固化してマグマから取り除かれることを意味しており、マントル最深部のマグマの成分や、下部マントル全体の化学組成を明らかにする上でも重要な情報をもたらします。

本研究成果は、Nature 出版のオンラインジャーナル Nature Communications の 6 月 5 日版において発表されました。

(<http://www.nature.com/articles/ncomms15735>)

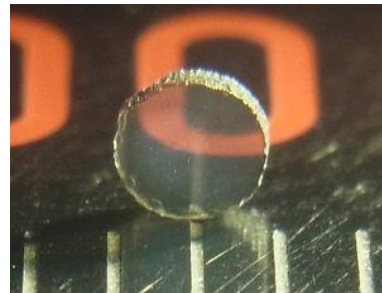
❖ JpGU フェローと西田賞に GRC 教員が選出



JpGU のフェローと西田賞に、GRC の入船徹男教授と土屋卓久教授がそれぞれ選出されました。毎年数千名（2017 年は約 8500 名）の参加者のもと大会を開催している JpGU では、「地球惑星科学におけるパラダイムシフトやブレークスルーなど、地球惑星科学の学術の発展に著しい貢献をした者」に対してフェローの称号を、また「新しい発想によって優れた業績を挙げ、国際的に高い評価を得ている」45 歳未満の研究者に対して地球惑星科学振興西田賞（西田賞）を授与しています。授与式は 5 月 20 日～25 日の 6 日間に渡り幕張メッセで開催された JpGU 大会期間中の 23 日夕刻に行われました。なお、今年度の大会は、世界 144 か国に 6 万 2 千人の会員を擁するアメリカ地球物理連合（AGU）との共催で、初の JpGU-AGU 合同大会として開催され、8000 人を超える参加者がありました。この合同大会では、入船教授が AGU 側代表としてプログラム委員長を務めました。

❖ 耐熱性透明セラミックスの超高压合成

東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所の西山宣正特任准教授（研究実施時はドイツ電子シンクロトロン研究員、元 GRC 准教授）らの日独共同研究グループ（東工大、ドイツ電子シンクロトロン、物質・材料研究機構、バイロイト大学、東大、愛媛大）は、砂と空気、それぞれの主要元素であるシリコン（ケイ素）と窒素からなる窒化ケイ素（Si₃N₄）から、全物質中で 3 番目に



に硬い透明セラミックスの合成に成功しました。

自動車のエンジン部品にも使用される耐熱セラミックスである窒化ケイ素に高い圧力と高い

温度をかけることにより、大気圧下では合成することができない“スピネル型窒化ケイ素”のセラミックス焼結体を超高压下で合成しました。得られた試料は、レンズや窓に使われる物質と同等の透明さを持つことが確かめられました。今回得られたスピネル型窒化ケイ素の透明セラミックスは、ダイヤモンド、立方晶窒化ホウ素に次いで全物質中で 3 番目の硬さをもつ物質であり、さらに空気中で 1,400℃の高温まで耐えられることが明らかになりました。このため過酷な環境で使われる装置の光学窓材料としての利用が期待できます。

本研究には GRC の大藤弘明教授・入船徹男教授が共同研究者として参加しています。両氏らの研究グループは、2016 年 12 月にやはり超高压合成法により、高い透明性と硬度を有する透明ナノセラミックス（ヒメガーネット）の合成に成功し、Nature 出版のオンラインジャーナル Nature Communications に発表しています。

(<http://www.nature.com/articles/srep44755>)

❖ 日本鉱物科学会 2017 年度年会開催

我が国の鉱物学や岩石鉱物学を代表する日本鉱物科学会の 2017 年度年会が、愛媛大学理学部を主な会場として 9 月 12-14 日の 3 日間にわたり開催されます（実行委員長入船徹男 GRC センター長）。年会では井上徹教授（現広島大・理）など GRC 教員を中心とした実行委員会により、通常の研究発表やシンポジウム等の開催の他、輝安鉱の産地として有名な西条の市ノ川鉱山巡検が企画されるとともに、GRC と地球科学教室と共催し「日本の石・愛媛県の石・愛媛大学の石」（仮称）をテーマとして、愛媛大学ミュージアムにおける特別展示が行われる予定です。特別展示では、「日本の石」として日本鉱物科学会が選定したヒスイ、「愛媛県の石」

として日本地質学会が選定したエクロジャイト・輝安鉱・イノセラムス、の展示とともに、愛媛大学が中心となり発見した様々な新鉱物や、ヒメダイヤモンド・ヒメガーネットなど超高压合成により生み出された新物質が「愛媛大学の石」として紹介される予定です。

❖ 国際フロンティアセミナー

第62回

“Dynamics of the fault motion and the origin of contrasting tectonic style between Earth and Venus”

講演者：Prof. Shun-ichiro Karato (Yale University)

日時：2017年3月21日(火) 16:30-18:00

第63回



“Experimental reproduction of mantle earthquakes analogues by antigorite dehydration & comparison with natural pseudotachylytes”

講演者：Dr. Thomas Ferrand (ENS Paris)

日時：2017年5月9日(火) 16:30-18:00

第64回



“Lateral temperature variation through ICB to CMB in geodynamo simulations”

講演者：Dr. Hiroaki Matsui (University of California Berkeley)

日時：2017年5月15日(月) 16:30-18:00

第65回



“Reactions between metal and silicate in the early differentiating Earth”

講演者：Dr. Andrew J. Campbell (University of Chicago)

日時：2017年5月17日(水) 17:00-18:30

.....

➡ ジオダイナミクスセミナー ➡

❖ 今後の予定（詳細はHPをご参照下さい）

6月

6/16 “The synthesis of carbon nitride-Is carbon nitride really harder than diamond?”

Dr. Yohei Kojima (Postdoctoral Researcher, GRC)

6/23 “Shear localization in peridotites and the occurrence of intermediate-depth earthquakes”

Dr. Tomohiro Ohuchi (Lecturer, GRC)

6/30 “Technical development of kawai-type multianvil technology using nano-polycrystalline diamond”

Dr. Takehiro Kunimoto (Postdoctoral Researcher, GRC)

7月

7/7 “The effect of Al on the stability of DHMS and water transports into the Earth’s interior”

Mr. Chaowen Xu (PhD Student, GRC)

7/14 “Numerical simulations of the coupled magmatism-mantle convection system in 2-D and 3-D geometries”

Dr. Masanori Kameyama (Professor, GRC)

7/21 “High-pressure deformation experiments using rotational diamond anvil cell”

Dr. Ryuichi Nomura (Assistant Professor, GRC)

7/28 “Melting temperatures of chondrites at ultra-high-pressures”
Dr. Steeve Greaux (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC)

❖ 過去の講演

第 464 回 “Outer core composition estimated from thermoelastic properties of liquid Fe alloys”

Dr. Hiroki Ichikawa (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC) 2017. 2. 3

第 465 回 (Advanced Science Seminar)

“Experimental study on the metasomatic reaction between brine and crustal materials in subduction zones”

Dr. Hiroaki Ohfuji (Professor, GRC)
2017. 2. 10

第 466 回 (Advanced Science Seminar)

“Ab initio core model”

Dr. Taku Tsuchiya (Professor, ELSI-ES, GRC) 2017. 2. 24

第 467 回 “Technical development on phonon transport property of lower mantle minerals: Theory and Application”

Dr. Haruhiko Dekura (Lecturer, GRC)
2017. 4. 14

第 468 回 “Effect of pressure on temperature measurements using WRe thermocouple and its impact on geophysics”

Dr. Yu Nishihara (Associate Professor, GRC) 2017. 4. 21

第 469 回 “Ultrahigh-pressure synthesis and applications of nanopolycrystalline ceramics; current status and future perspective”

Dr. Tetsuo Irifune (Professor, ELSI-ES, GRC) 2017. 4. 28

第 470 回 “Equations of state at multi-megabar pressure III”

Dr. Takeshi Sakai (Lecturer, GRC)
2017. 5. 12

.....

➡ 海外出張・国際会議報告 ➡

❖ Deep Carbon Observatory Legacy workshop & EGU General Assembly 2017

4 月 17 日から 29 日までイタリア・フィレンツェで行われた Deep Carbon Observatory Legacy workshop とオーストリア・ウィーンで行われた European Geoscience Union General Assembly

2017 に参加してきました。Deep Carbon Observatory (DCO, 深部炭素観測計画, <https://deepcarbon.net>)とは、米国スローン財団とカーネギー地球物理学研究所が、地球深部の炭素が化学的・生物学的にどのような役割を担うかを調べる目的で 2009 年から始めた国際的・学際的研究プログラムです。昨年春から土屋旬はこの DCO の Task Force 2020 というチームの一員に加わりました。この Task Force 2020 というのは、これまでに DCO で積み上げた膨大な研究成果や試料、実験設備、学際コミュニティ等の遺産(Legacy)をこのプロジェクトが終わった 2020 年以降、どのように継承するべきかを提案する 10 人で構成されるチームです。プロジェクトの内容もよくわかっていない状態で気軽に引き受けましたが、なかなか大変な仕事のようなのです。



その Task Force 2020 が主催しフィレンツェ大学で 3 日間行われたワークショップでは、DCO に関わりのある研究者を 30 名あまり招待して、いかに Legacy を継承すべきかの意見を提案してもらい、そこで交わされた議論をメンバーが取りまとめることになりました。参加者はほぼアメリカとヨーロッパからで、主に火山学、地球化学や生物学の研究者が多く、聞きなれない単語も多いため議論についていけないことも多々あり、また比較的少人数で朝食から夕食までずっと一緒でしたので、もう最後のほうは完全に飽和状態でした。痛感したのは語学力と知識の不足です。英語で自分の研究内容について話すことは比較的慣れています、例えば予算の獲得について、国際コミュニティの維持について、研究設備の革新性を保つためにはどのようにすべきか、込み入ったことを多くの単語を費やして語るのはほとんど不可能でした。一体何でこんな大変な仕事を引き受けてしまったんだろうと思うも、そこは他のメンバーや参加者が自然な形でサポートしてくれて、会議自体は非常にスムーズに進行できました。自分の能力不足をかなり感じましたが、貴重な経験ができたのは確かで、今後それを生かすことができればと思います。特に、自分の専門分野以外の人々と知り合いになれたのは非常に良かったです。

最終日は、オプションでフィールドトリップに参加させてもらい、トスカナ州の炭酸ガスが放

出されている地域を中心に見学しました。一日に何千 t も CO₂ ガスを放出する場所がたくさんあるそうで、一見長閑な林の奥に inferno (地獄) と呼ばれるガス溜まりがあり、知らずに踏み入れて死亡するような危険な場所もあるようです。

フィレンツェのワークショップの後はウィーンに移動し、初めて EGU に参加しました。地球深部の鉱物物理のセッションに申し込んだつもりでしたが、発表者を見てもほとんどダイナミクス関係の人ばかりでした。どうやら、鉱物物理、ダイナミクス、惑星科学の合同セッションだったようで、発表内容が非常に鉱物物理的 (ワズレアイトとリングウツタイト中の水素由来の振動特性について) だったので、いかに分かりやすく目的や結果を伝えるか、頭を悩ませました。発表後はいくつかの質問とコメントをもらえたので、まあよかったとしましょう。あと、一人で一週間過ごしたウィーンの街についてですが、治安は非常に良く、街も便利、清潔で美しいです。EGU 参加者は市内の電車やバスに無料で乗れるチケットをもらえました。早速 (?) 郊外の中央墓地にあるボルツマンのお墓参りをしてきました。すぐ近くのペトーベンやブラームスの墓には時折訪れる人がおりましたが、私自身は学生時代に習ったエントロピーの式が刻まれた墓にお参りできたのが感慨深かったです。

最後に、約 2 週間のそれなりに長い一人旅でしたが、その間、娘 2 人のお弁当作りと家庭訪問、参観日と P T A の仕事等、文句も言わず引き受けてくれた主人に感謝します。(土屋旬)

.....

➡ ALUMNI レポート⑬ ➡

❖ 東京大学大学院理学系研究科

名誉教授 八木健彦

私は、大学院生時代から何度か出入りはあったものの合計 37 年間在籍した東京大学物性研究所を 2012 年春に定年退職後、入船センター



長のお招きを受け GRC で特命教授として 2 年間過ごさせて頂きました。そこで一区切りをつけてまた関東に戻り、今は房総半島を一望する山の中の隠居生活を楽しんでいます。週 2 日は東大理学部地殻化学実験施設に片道 2 時間かけて通い、科研費を頂きながら少し研究も続けています。GRC 時代に始めた J-PARC の PLANET を使ったケイ酸塩-鉄-水素系の研究は無事ちゃんとした成果としてまとめ、さらに境さんたちと始めた 2 段式

DAC を用いた超高压発生技術の開発を進めると共に、さまざまな論文の査読やプロポーザル等の審査、評価、賞の選考や推薦などを、今まで散々お世話になった科学の世界への恩返しと思いながらやっています。

今までの Alumni レポートにもたびたび出てきますが、GRC の研究環境というのは、国際的に見てもきわめて恵まれたレベルにあります。入船先生が北大から愛媛大に移られた直後の、まだほとんど何も無い状態から知っている私には特にその感が強く、しかも高圧地球科学分野で世界をリードする他の 2 つの研究所、アメリカのカーネギー地球物理研究所とドイツのバイエルン地球科学研究所、のいずれもが大きな財団や政府の肝いりで設立・発展してきたのに対し、ほぼ競争的資金の獲得と愛媛大のサポートのみによってここまで発展してきたのはまさに驚嘆に値します。それらによって整備された最新の研究装置群はもちろんですが、若い人達が研究者として成長していく上で一番大切なものは、さまざまな議論ややりとりを通じて切磋琢磨する研究者仲間でしょう。GRC はその意味でも非常に良い環境になっています。特に GD セミナーは第一線の研究者としてやっていくトレーニングにもなる非常にレベルの高いもので、私は前述の 2 つの研究所にもそれぞれ長期滞在したことがありますが、それらでのセミナーと較べても全く遜色がありません。しかも大学院に入ってからまだ日も浅い院生も、そのような議論に充分耐える研究や発表を進めていることは驚きです。もちろんそれは GRC 教員の皆さんが、研究だけでなく教育にも並々ならぬ労力と時間をつぎ込んでいるからです。

しかしどんな素晴らしい組織も、長年同じことだけを続けていけば次第に活力を失っていきます。構成員の出入りが少なく、職員の平均年齢が毎年ほぼ 1 歳近く上がるような組織ではそれが特に深刻な問題になりますが、GRC では幸い人の出入りも非常に多く、当面そのような心配は杞憂です。しかし設立されてから 16 年経ち、たぐいまれなリーダーシップを発揮して来られた入船センター長も永遠に活躍できるわけではありませんから、ポスト入船時代のことも頭の片隅に入れておく必要があるでしょう。それを考えるとき、非常に大きな財産となるのが、GRC の OB、OG たちの存在でしょう。東大物性研究所は設立以来、当時としては珍しく助手の 5 年任期制を採っていて、その結果物性研助手を経験した人たちが全国の大学や研究機関に散らばって活躍しており、その数は数百人にのぼっています。それらの人達がサポーターとなってさまざまな刺激を与えることにより、物性研は設立以来半世紀になる現在でも物性科学の分野で高い存在感を持った研究所として活動が続けられていると思います。このニュースレターに毎号載っている Alumni レポートを見ていると、GRC で育った、あるいは一回り大きく成長した人々が、

今や世界中のいろいろな組織で活躍している様子が見て取れます。そのような人達をサポートとして生かしつつ、この先も GRC が国際的に大きな存在感を持った研究所としてますます発展していく事を祈念して、筆を置かせていただきます。

❖ 東北大学大学院理学研究科

日本学術振興会特別研究員 木村友亮

2017 年 3 月まで約 4 年半の間、愛媛大学 GRC で研究員としてお世話になりました。現在私は学術振興会特別研究員として、東北大学の地学専攻に所属して研究を進めています。振り返るとこの GRC ニュースレターに寄稿させていただくのは 2012 年 2 月の 32 号に掲載された新人紹介以来の二回目ということで、4 年半もお世話になっているながら、在籍期間中に本業の研究で目立った貢献がかなわなかったことを深く反省しております。思い起こせば愛媛では地元のカラオケ大会で優勝したり、恒例の花見行事では突然ギターを持ち込んで迷惑にも弾き語りで賑わせてみたり、最後には愛媛で知り合った女性と結婚したり、と研究とはおよそ無縁の業績(?)だけを残して去っていったことばかりが思い出されます。しかしそんな中、愛媛での最後の研究成果が遅ればせながら論文として出版されることが決まったことについては私としては感激の極みです。そんな私の迷惑な余興を寛容に受け止めながらも研究では的確にかつ熱心にご指導くださった愛媛の先生方には今でも感謝の念が堪えません。

さて、私は GRC でダイヤモンドを使った高压発生装置と炭酸ガスレーザー加熱システムを組み合わせた高温高压発生手法の開発に携わりましたが、その手法を使った研究は東北大学でも続けています。それはこの研究を行うことで一種の冒険にも似た体験を味わえるからかもしれません。例えば 50 万気圧、5000℃といった超高温高压条件を、自分で作った装置で生成する瞬間などは、高価なダイヤモンドがいつ割れてしまうのかといつもヒヤヒヤするのですが、それでも覚悟を決めて生成した時に、幾多の失敗もありながら、それを乗り越えた時だけに見たことのない表情を物質がチラッと見せてくれるのです。それはまるで行ったことのない国に旅行で訪れて、言葉が通じない中でも何とかたどり着いた先で待っている景色を見た時の感情と似ている気がするのです。その感動の瞬間は、(一人で奇声をあげて興奮しているので)他の人からは変な人に思われていますが、GRC で少なからずそれを体験できたことがきっかけとなって今でもこの研究を続けています。東北大学ではそのような高温高压発生に加えて、ブリュアン散乱やラマン散乱計測という物質に問いかける“声”を学び、あの手この手で振り向かせようと“声”をかけては物質との対話を楽しんでいます。

昨年度は幸運にも Gordon Research Conference

に参加する機会をいただき、その時知り合ったネバダ大学の研究者とは互いの研究の方向性の合致を見出せたので、その後大学を訪問して共同研究を始めることが決まりました。実際、今年の夏からネバダ大学に滞在することが決まっています。また、昨年の AGU Fall meeting ではエンジンバラ大学の研究者と意見を交わし、会議後も頻繁に建設的な議論を行うことができたので、GRC で共同実験を始めることが決定しました。彼らのような私と同世代の研究者との議論は私にとって非常に刺激的で、時折彼らから飛び出す最新の実験技術から着想されるアイディアはブレインストーミングかと間違える程斬新に感じる時があります。しかし、彼らにとっては至って現実的であり、実際に独創的な計測を実現させている実績もあるので驚きの連続です。このように、東北大学での研究と共に新たな国際共同研究の始動を両立し、充実した日々を過ごしています。研究の舞台は日本だけでなく、アメリカ、ヨーロッパと広がってきましたが、新しい人との出会いや、スリリングな実験を通した発見など、生活と研究の両面でこれからの展開への期待に胸躍らせながら、努力を怠らずに今後も精進して参りたいと思います。

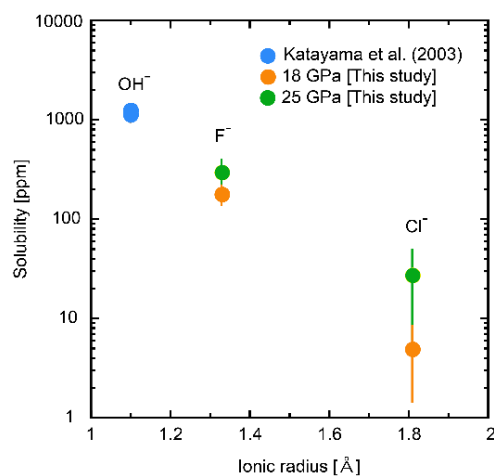


最新の研究紹介

❖ マグマオーシャン固化過程におけるハロゲン元素分別

海洋や中央海嶺玄武岩などから制約されている地球表層のハロゲン元素の相対存在度、例えば F/Cl 比はコンドライトなどの始原天体と比較して特異な値をもっていることが報告されている (e.g., McDonough and Sun, 1995; Sharp and Draper, 2013)。具体的には地球は始原天体と比較してフッ素に富み、塩素が枯渇しているがその起源は明らかにはなっていない。こうした地球型惑星と始原天体との間の元素存在度の違いを生む要因としては①揮発性の高い元素の宇宙空間への散逸に伴う分別、②分化過程における核-マントル間での元素分配、③核形成後のマグマオーシャン固化過程における固相と液相間での元素分配、④水蒸気大気-マグマオーシャン間の元素分配、が

ある。先行研究ではフッ素は塩素と比較して揮発性が高いため、①の揮発性の違いによる分別では現在の地球のフッ素に対する塩素の枯渇は説明することができないことが指摘されている (e. g., Halliday, 2015)。またフッ素や塩素は親鉄性が低いため、②の核-マントル分離においても地球表層の特異なハロゲン元素比は説明することはできない (Sharp and Draper, 2013; Kuwahara et al., submitted)。そこで本研究では③の核形成後にマグマオーシャンが固化する過程でマントル鉱物にフッ素と塩素が取り込まれ、またその溶解度の違いからマグマ残渣中のフッ素、塩素が分別される可能性について実験的に調べることを目的としている。



実験は愛媛大学 GRC に設置されている 3000 トンプレスのマルチアンビル高圧発生装置を用いて行った。出発試料にはエンスタタイトコンドライト (EH タイプ) (Javoy et al., 2010) 組成の酸化物混合物にフッ素と塩素をそれぞれ 1.5 wt%ずつそれぞれ CaF_2 、 FeCl_2 の形で加えた。試料はグラファイトカプセルに入れ、マントル遷移層、下部マントルの上部に相当する圧力条件下 (18GPa, 25GPa) で実験を行い、フッ素、塩素のマントル鉱物への溶解度の違いを調べた。実験回収試料中のフッ素と塩素は東京大学大気海洋研究所の佐野研究室との共同研究により二次イオン質量分析装置を用いて定量分析を行い、鉱物相の同定は愛媛大学 GRC に設置されている顕微ラマン分光装置、微小領域 X 線回折装置を用いて行った。

遷移層マントルで主要鉱物と考えられている Majorite に対するフッ素と塩素の溶解度を図に示す。先行研究で明らかにされている OH の溶解度 (Katayama et al., 2003) と合わせて考えると、実験結果は陰イオンのサイズによって Majorite への溶解度が変化することを示唆している。具体的にはイオン半径が大きくなるにつれて Majorite への不適合性が高くなっていることが明らかとなった。このことはマグマオーシャンが固化していく過程でマントル鉱物にフッ素が優先的に取り込まれ、マグマ残渣には塩素が選択的に濃集するこ

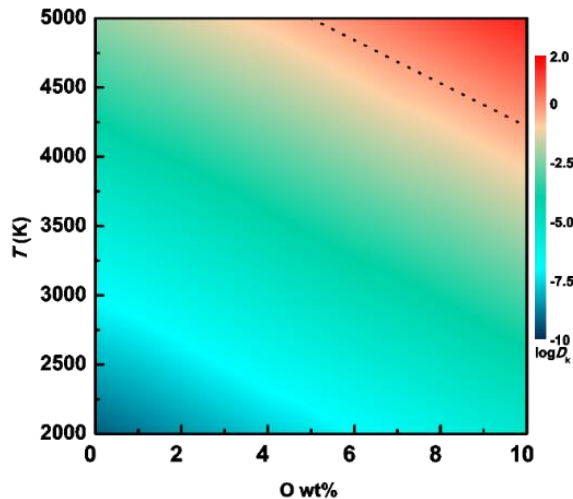
とを示している。従って、形成直後の原始地球にはフッ素が枯渇し、塩素に富んだ表層環境とフッ素に富み、塩素が枯渇した深部マントルが形成されることが考えられる。この場合、現在の地球表層のフッ素、塩素の相対存在量を説明するためには何らかの過程で塩素に富んだ表層物質が宇宙空間に散逸した後、マントルからの脱ガスにより表層にフッ素と塩素が供給される過程が要求される。もちろん、この仮説は推測の域を出ないが、最近提案されている地球大気形成モデル (Shcheka and Keppler, 2012) と調和的であるように見える。今後ほかのマントル鉱物へのハロゲン元素溶解度を調べ、地球の特異なハロゲン元素比の起源にさらなる実験的制約を加えていく予定である (桑原秀治)。

❖ Ab initio prediction of potassium partitioning into Earth's core

Silicate earth is depleted in potassium compared with chondrites [Wasserburg et al., 1964, Science]. Barely varying ratios of potassium isotope in chondrite, lunar and earth samples suggest that evaporation cannot be responsible for considerable potassium missing [Humayun and Clayton, 1995, GCA]. The finding of a change in potassium electronic structure from alkali-metal to transition-metal like ones at high pressure highlighted the possibility of its incorporation into the core [Parker, 1996, Science]. If potassium is present, even at $\sim$ ppm, the radiogenic heat produced by ^{40}K can be an important energy source for geodynamics [Labrosse, 2001, EPSL]. The potassium content in the core is determined by its partitioning behavior between silicate and metal systems, which could be affected by many factors such as temperature, pressure, metal compositions (the type and content of light elements) and silicate structure (nbo/t: the ratio of non-bridging oxygen to tetrahedral cations) [Bouhifd et al., 2007, EPSL; Muthy et al., 2002, Nature]. However, previous experimental studies provided only contradictory results of potassium incorporation into iron alloys, leaving its concentration in the core uncertain.

Ab-initio free energy simulations using thermodynamics integration molecular dynamics [Taniuchi, 2014] are performed to investigate whether and how much potassium can be sequestered into the metal system. The key parameter, Helmholtz free energy, is

estimated with “thermodynamic integration” by computing the difference between two systems with different potential energy functions ($F_1 - F_0 = \int_0^1 \langle U_1 - U_0 \rangle_\lambda d\lambda$) [Kirkwood, 1990, JCP]. Effects of factors including temperature, pressure and metal composition are investigated by estimating the Gibbs free energy changes and partitioning coefficients ($D_k = K_{wt\%metal}/K_{wt\%silicate}$) of potassium transfer reactions under different conditions.



Calculations performed from 3000 K to 5000 K suggest that temperature is with positive effect in potassium incorporation into iron alloys, while results of partitioning coefficient obtained from 20 GPa to 135 GPa with constant temperature and composition reveal that potassium partitioning behavior has an insignificant pressure dependence. Besides, the potassium partial density of states (pDoS) shows its electronic structure remains to be alkali metallic at 135 GPa.

Influences of the light elements including sulfur and oxygen that were proposed to be responsible for the core density deficits in potassium partitioning behavior are also investigated in this study. Potassium solubility seems unchanged as the sulfur content of the iron alloys increases. Oxygen is demonstrated to be essential in accounting for potassium incorporation into liquid metal. Local structure analysis of potassium incorporated liquid iron-alloys based on partial radial distribution function (RDF) shows that the chemical bond length of K-O pair decreases and potassium coordination number of oxygen increases as the liquid metal becomes oxygen richer.

We find that influences of pressure and

sulfur in potassium partitioning behavior are insignificant, while temperature and oxygen can enhance potassium solubility into liquid iron alloys. Here, we fit potassium partitioning coefficient as a function of temperature and oxygen concentration as shown in figure 1. Potassium partitioning coefficient approaches unity when liquid metal is with oxygen concentration of $\sim 5.5\%$ at 5000 K, and it can be larger if the temperature is higher or metal system is oxygen richer. Corresponding to $D_k=1$, potassium concentration in the core is ~ 240 ppm [McDounough and Sun, 1995, CG] and heat generated by ^{40}K is 1 TW, which is about 10% of the total heat flux at the core mantle boundary [Lay et al., 2008, Nature]. Our results indicate that there is a strong possibility for potassium to dissolve into oxygen bearing metallic core, and provide energy source for geodynamics including convection in the Earth's mantle and outer core, and formation of magnetic field.

(Zhihua Xiong)

❖ Al に富んだ含水 bridgmanite の状態方程式の決定

地球の表面は海に覆われ水の惑星と称されていますが、表面の数倍から数十倍もの水が地球深部に存在している可能性があることが、様々な研究から明らかになってきました。特にマントル遷移層で安定である wadsleyite や ringwoodite には $\sim 3\text{wt}\%$ もの水を含みうることが分かっています (e.g., Inoue et al., 1995)。近年、ダイヤモンドインクルージョン中から ~ 1.5 wt% もの水を含んだ hydrous ringwoodite が発見されました (Pearson et al., 2014)。また、地震学的観測からも水の存在を示唆する結果が得られています (e.g., Schmandt et al., 2014)。このように少なくともマントル遷移層の一部は含水化しているようです。一方で、下部マントルの水については未だ解らないことが多いです。近年、我々の研究グループは下部マントルの主要鉱物である bridgmanite に ~ 0.8 wt% もの水を含むことを見出し、その置換様式として $\text{Si}^{4+} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ を提唱しました。本研究では、この Al に富んだ含水 bridgmanite の状態方程式を決定し、下部マントルの含水量について制約を与えることを目的としています。

出発試料は愛媛大学設置のマルチアンビル型高圧発生装置により合成した Al に富む含水 bridgmanite ($\text{MgSi}_{0.95}\text{Al}_{0.05}\text{H}_{0.05}\text{O}_3$, 含水量 0.45 wt%) を用いました。実験装置には、SPRING-8 BL04B1 設置の SPEED-Mk. II を使い、第二段目アンビルに焼結ダイヤモンドを用いることで 50 GPa

❖ 3000 トンプレスガイドブロック改造



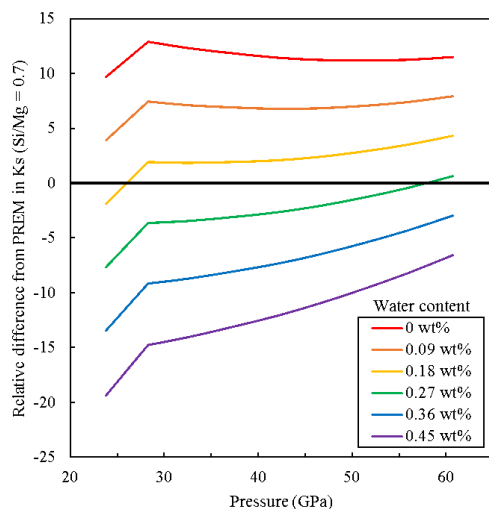
3000 トンプレス“ORANGE-3000”（住友重機械工業株式会社製）は最高圧力 30 万気圧、温度 3000℃ 程度までの条件下で超高温高压実験を行うために、2003 年 3 月に GRC に導入されました。当初は DIA 型（100）押しタイプのガイドブロックを有し、一段目アンビルの先端は 70mm 角、二段目アンビルに一边 36mm 角の超硬アンビルを使用してきました。比較的扱いやすい大型装置ということもあり、学部生・大学院生の実験やインターンシップ実験にも使用され、また海外からの利用者や地球科学以外の分野の研究者との学際的研究にも長年活躍してきました。

その後 2009 年に 6000 トンプレス“BOTCHAN-6000”が納入され、一边 52mm, 65mm, 75mm アンビルを用い、更に大容量試料の高压合成が可能になっています。BOTCHAN では TEL 15mm のアンビルを用いて 6.5mm 程度のヒメダイヤの合成を行っていますが、グラフアイトからの直接変換には 15 万気圧程度の圧力が必要です。（100）押しタイプガイドブロックのプレスでは TEL 15mm のアンビルを使用した場合、3000 トンの荷重をかけても 15 万気圧を発生することは出来ません。一方、BOTCHAN のように圧力発生効率の良い（111）押しタイプのプレスでは 3000 トンの荷重があれば 15 万気圧の発生が可能で、同程度サイズのヒメダイヤ合成が可能になります。そこでこの 3 月に 3000 トンプレスの DIA 型（100）押しタイプガイドブロックを（111）押しタイプのガイドブロックに改造する作業を行い、3000 トンプレスでも 52mm 角アンビルを使用した大容量試料合成が可能になりました。

新仕様の 3000 トンプレスは先端 100mm 角の 6 分割柱アンビル（SKH51）の上に先端 70mm 角のアンビルトップを設置することで、これまで同様 36mm 角のアンビルが使用可能です。52mm 角アンビ

までの圧力発生を試みました。実験には、本研究で開発を行った放射光 X 線その場観察実験による閉鎖系実験用セルを使用しました。このセルは X 線の吸収が比較的小さい Ag をカプセルに用いることにより、閉鎖系を実現しつつ金属カプセル内からの回折 X 線の取得を可能にしました。得られた P-V-T データを Vinet 状態方程式とデバイモデルによって最小二乗法を行うことで各種パラメータ (V_0 : 1 気圧の単位格子体積、 K_{T0} : 体積弾性率、 K_{T0}' : 体積弾性率の圧力微分、 γ_0 : グリューナizen 定数、 Θ_0 : デバイ温度、 α : 熱膨張率) を決定しました。

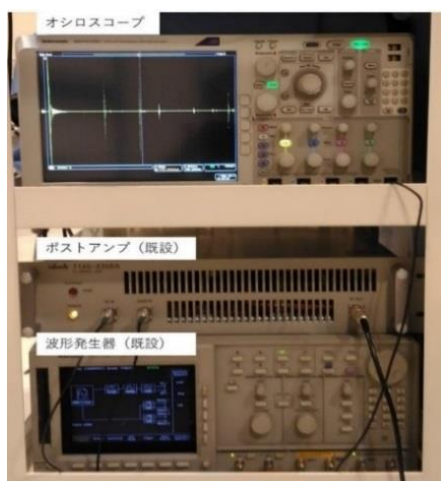
決定したパラメータを Mg 端成分の bridgmanite (Tange et al., 2012) と比較すると、 V_0 と K_{T0}' は Al に富む含水 bridgmanite の方が大きく、 K_{T0} は小さいことが分かりました。また、 α は Al に富む含水 bridgmanite の方が大きいことが分かりました。決定したパラメータをもとに 25-60 GPa までのマントル地温勾配における密度とバルク音速を計算しました。密度については、25 GPa では Al に富む含水 bridgmanite の方が小さいが、~50 GPa で逆転しました。一方、バルク音速は 25-60 GPa の範囲で、Al に富む含水 bridgmanite の方が 2-5% 程遅いことが分かりました。しかし、深部になるに従って差は小さくなります。



加えて、下部マントルの含水量について考察を行いました。下部マントルを無水または含水 bridgmanite と MgO の 2 相と仮定し、断熱体積弾性率を PREM (Dziewonski and Anderson, 1981) と比較しました。このとき、下部マントルの全岩組成は pyrolite (Si/Mg = 0.7) と仮定しました。その結果、0.2-0.3 wt% の水を含んでいるとき、PREM との差が小さくなることが明らかになりました。また、下部マントルの深部ほど多くの水を含んでいる可能性があることも明らかになりました。（柿澤翔 (D2)）

ル使用時にはアンビルトップを使用せず、直接一段目の 6 分割柱アンビルの上に設置します。DIA 型 (100) 押しタイプではスライディングブロックに電気絶縁材のガラスエポキシ板を使用し、摩擦軽減のグリースを塗る必要がありましたが、その必要がなくなり、作業性も向上しました。6 分割柱アンビル作成可能サイズの関係で、最大荷重が 2800 トンと若干減少しましたが、TEL 15mm で 15 万気圧の圧力発生が可能となり、今後これまで同様に 30 万気圧までの相平衡実験、物質合成、熔融実験や超音波測定実験などに加えて、ヒメダイヤやガーネット等の焼結体、中性子利用実験のための大容量試料合成等に活躍が期待されます。(新名亨)

❖ ミックスド・ドメイン・オシロスコープ



今年 1 月に SPring-8・BL04B1 に納入されたミックスド・ドメイン・オシロスコープ (テクトロニクス製 MD04104C-D1) は、高温高压条件下での弾性波速度測定実験において、超音波エコーのトラベルタイムの測定に使用されています。本オシロスコープは 1GHz の周波数帯域を持ち、最大 5GHz のサンプリングレートでデータの収集が可能です。現在、超音波エコー測定では 30~120MHz の sin バースト波形の高周波信号を取扱っており、そうした測定に十分な基本性能を有しています。レコード長は 20M ポイントあり、最大クロック数においても、約 4ms に渡る長時間の波形データを取得できます。これは、26mm 角の超硬アンビルを使用した場合の超音波エコー (S 波) の往復時間 (約 $22 \mu s$) と比較して 180 倍以上の長時間であり、高次反射を含めて試料を伝搬する超音波エコー全体を詳細に解析できます。また、SPring-8 での放射光実験では、測定中に実験ハッチ内に人間が立ち入れないため、測定時の遠隔操作の利便性が重要となります。本オシロスコープは USB ケーブルまたは LAN 経由で PC と接続し、各種測定条件の設定や測定波形のスクリーンイメージを遠隔地から確認することができます。これにより、実験ハッチ内に測定システムを常時設置することが可能となり、環境ノイズの混入や伝搬減衰の原因となる同軸ケーブルの長さを大幅に短くできます。さらに、高速のデータ転送が可能であることから、今後測定データのリアルタイム解析が実現すると期待されます。(JASRI 研究促進部門 肥後祐司)

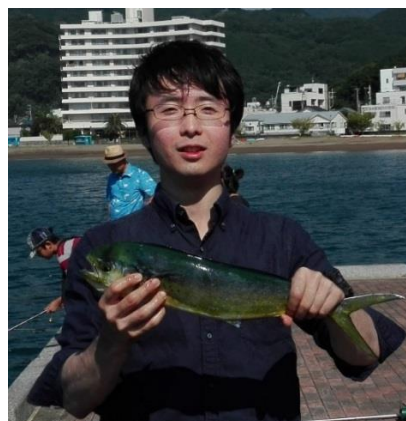
共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

❖ PRIUS利用者の声

私は現在、「地球内部の窒素」に関わる研究を進めています。そして、実験をするにあたって、愛媛大 GRC に設置されているマルチアンビル高压発生装置 (ORANGE-2000, ORANGE-3000) を使用させていただいています。

これまで、CI コンドライトに対する地球全体の窒素の量比は、他の元素 (例えば炭素) に比べて、オーダーレベルで小さいことが分かっています (e. g. Marty, 2012)。したがって、地球内部に窒素の貯蔵庫があるのではないかと考えられています。今までの地球内部における窒素の貯蔵庫の研究は、上部マントル (Li et al., 2013: Enstatite に最大約 80 ppm の窒素が含まれる)、下部マントル (Yoshioka et al., 2016, Goldschmidt: Bridgmanite に約 20 ppm の窒素が含まれる) がタ

ーゲットにされ、酸化還元状態を制御した高温高压実験がなされてきました。酸化還元状態を制御する理由は、地球深部の還元的条件下において、窒素が NH_3 として存在するからです。



本研究では今後、Yoshioka et al. (2016)と同様、下部マントルに窒素の貯蔵庫があると考え、Bridgmanite と柿澤翔さんと井上徹教授が精力的に取り組まれている Al bearing hydrous bridgmanite への窒素の取り込み様式を、比較検討する予定です。

実は、このような研究を進めるにあたり、ORANGE-2000 を安全使用できるギリギリの荷重 (16 MN) で実験していたこともあり、失敗が続いていました。しかし、GRC の井上先生、新名先生、柿澤さん、野田さん、徐さんにご丁寧にご指導いただいたお陰で、先日ようやく酸化還元状態を制御しつつ、高温高压 (27 GPa, 1700°C) を実験的に再現することができました。お忙しい中、ご指導くださった先生方には、心から感謝しています。また GRC 滞在中には、実験だけでなく、GRC の研究者や学生の方々に大変お世話になっております。今年の PRIUS 成果報告会の後では、たくさんの有益な助言をいただく機会や、議論する機会があり、大変刺激的な時間を過ごさせていただきました。

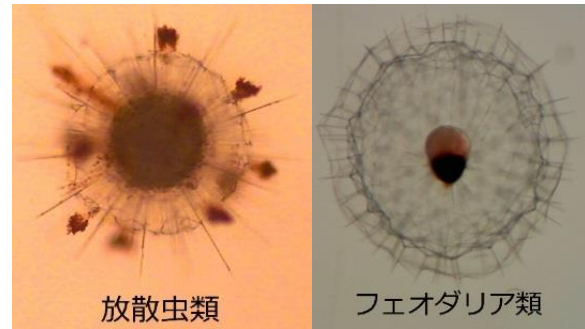
今後も引き続き、お世話になりますが、ご指導のほど何卒よろしくお願いいたします。(東京大学地殻化学実験施設 M2 福山鴻)

❖ PRIUS 利用者の声

私たちのグループは、海洋に生息する単細胞動物プランクトンの骨格構造と化学組成を解明するために PRIUS を利用させて頂きました。放散虫類やフェオダリア類などの殻をもつ大型単細胞動物プランクトンは、水産資源の餌や海洋の物質循環に大きな影響を与える重要な生物です。彼らは珪酸質 (主成分は SiO_2) の骨格を持つことが知られておりますが、詳細な構造や成分については未解明の部分が多かったため、GRC が所有する最先端の機器を用いて微細構造と化学組成の分析を行いました。

まず集束イオンビーム加工装置とウルトラミクロトームそれぞれを用いてプランクトンの骨格から厚さ 70-200 nm の超薄切片を作製し、それらを FE-TEM で詳細に観察しました。次に、各切片に対して EDS 分析を行い、元素組成と各元素の分布を調べました。結果として、放散虫類の骨格には間隙がなく元素組成が比較的均一であるのに対し、フェオダリア類の骨格には層構造や間隙が存在し元素組成は部位によって異なることが明らかになりました。放散虫類とフェオダリア類の骨格は非常に類似しているのですが、近年の分子生物学的研究により両グループは系統的に遠いことが明らかとなっています。これは、同様の環境に適応するために起源の異なる生物が似たような形に進化する「収斂」の一例である可能性があり、「一見すると似ている生き物だが、実は体の構造や化学成分が異なる」という本研究の成果は、収斂のような生物の進化を考える上で重要な知見だと言えます

す。今後は、珪酸質の骨格を持つ他の生物について同様の分析を行うと共に、これまでに得られた成果をまとめた学術論文を執筆・投稿する予定です。



地質学と海洋生物学という学術領域を超えた研究ができるのも PRIUS の魅力であり、このような共同研究ができるのは受け入れて下さった愛媛大学の先生方とスタッフの皆さまのお蔭でございます。これからさらに研究を進めて知見を増やし、成果を発表することで恩返しをしてゆきたいと考えております。今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。(国立科学博物館 (学振特別研究員) 仲村康秀)

.....

編集後記 : Y. M. さんのおめでたに伴い、今回から M. Y. さんに編集にあたっていただきます。ちょっとややこしいですが… (T. I., Y. M., M. Y.)。

.....