GRC News Letter 2023.10.20 No.67

EHIME UNIVERSITY
GRC
GEODYNAMICS RESEARCH CENTER

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
https://www.grc.ehime-u.ac.jp/

目　　次

- センター長挨拶
- センター構成
- NEWS＆EVENTS:
  - 入舩センター長がIMAメダル受賞
  - 国際会議AIRAPTの松山開催
  - ORANGE-3000による3000実験達成
  - GRC公用車の更新
  - GRCイベントの再開
  - 第7回GRCイメージコンテスト
  - フロンティアセミナー
- ジオダイナミクスセミナー
- ALUMNIレポート No.31
- 国際会議・海外出張報告
- 研究集会報告
- 最新の研究紹介
- センター機器紹介
- 先進超高圧科学研究拠点（PRIUS）

センター長あいさつ

入舩　徹男

コロナ禍が始まって以来初めて、7 月末に久しぶりの海外出張でエジンバラに出かけました。開催が 2 年間延期されていた、国際高圧力学会（AIRAPT）総会への出席のためです。通常 500-700 名程度の出席者がある会議としてはやや少なめでしたが、それでも 500 名近い参加者があり、そのほとんどがノーマスクで、世界はコロナ前の状況に戻りつつあることを実感した 1 週間でした。

AIRAPT から 2021 年にブリッジマンメダル受賞者に選出いただき、持ち越されていた受賞式に出席するとともに、受賞講演を行いました。講演の冒頭では、当該分野のノーベル賞受賞者 P.W.ブリッジマンが高圧研究を開始した約 100 年前に、日本でも京大の松山基範らが高圧装置を作製し、それが同大の阿武山地震観測所に現存していることを話しました（本年 3 月発行の GRC ニュースレター第 65 号参照）。久しぶりの対面での国際会議の講演で少し緊張しましたが、なんとか講演も無事終えることができました。

会議では、高圧力に関係する地球惑星科学・物理学・化学・材料科学などの研究発表とともに、色々なイベントが行われました。最も印象深かったのは、500 名の参加者ほぼ全員が集まって、スコットランド国立博物館のフロアを借り切って開催された懇親会でした。7 時の会場オープンからテーブル席での会食の一方で、エジンバラの会議では定番のスコティッシュダンスのお披露目とともに、参加者も踊りの輪に入るように促されました。

勇気ある 100 人ほどが輪に加わり、フォークダンスに近い集団ダンスを踊ることになり、私もつい年甲斐もなく参加してしまいました。調子にのって 1 時間余り踊った後、さすがに疲れて輪から抜けて席に戻りましたが、日本人参加者の多くは既に立ち去った後でした。私は 11 時過ぎには会場を後にしましたが、その後も真夜中までダンスは続いたとのこと。

会議の途中で少し胃の調子が悪くなりましたが、心配されたコロナ感染の兆候もなく、会議終了後の週末には、古くからの友人のエジンバラ大教授の家に泊めていただき、楽しい一夜を過ごしました。翌日は空港まで送っていただくなど、約 20 年ぶりの旧交を温めたまではよかったのですが、それからが大変でした。

飛行機に乗り込んですぐに少し熱っぽく感じたので、体温を測ってみると 38℃近く。それからどんどん上がって、ついには 39℃を越えてしまいました。準備していた解熱剤を飲むと 38℃くらいま

では下がりましたが、またすぐに 39℃に逆戻り。乗り換えの空港でも熱は下がらず、10 時間もソファーでぐったりしていました。長いトランジット時間を利用した無料ツアーを楽しみにしていましたが、それも無かったことになりました。

なんとか乗り継いで羽田に到着し、その晩は空港のホテルに泊まりましたが、幸い翌日にはほぼ平熱に戻っていました。翌朝松山に帰り、すぐに病院で受診したところ初のコロナ陽性と判明。幸い少し鼻水が出た程度で熱以外の症状はあまりなく、味覚・嗅覚障害はありましたが、これも数日で収まりました。6 回受けたワクチンのお陰か、処方された抗ウイルス薬が効いたのか、あるいはウイルスの弱毒化のためかよくわかりませんが、初コロナは驚くほどあっけなく完治してしまいました。

次回の AIRAPT 総会は日本で、しかも松山の県民文化会館で開催予定です。日本高圧力学会会員を中心に全国的な組織委員会を立ち上げるとともに、GRC を中心とした現地実行委員会も組織し、事務業務委託先を決定するなど、2 年後の開催に向けた準備が開始されつつあります。500 人規模の国際会議を地方都市で行う例は非常に少なく、松山ではほとんど例がないとのことで、色々と苦労しそうです。2 年後にはコロナ禍も完全に過去のものになっていることを祈りつつ、地方の良さを活かした特色ある会議になるように、これから準備をすすめていきたいと考えています。

センターの構成

（R5.10.1現在）

❖ 実験系地球科学部門

入舩徹男（特別栄誉教授）
西原　遊（教　授）
河野義生（准教授）
境　　毅（准教授）
大内智博（准教授）
Steeve Gréaux（講　師）
井上紗綾子（助　教）
桑原秀治（助　教）
國本健広（特定研究員）
福山　鴻（特定研究員）
小澤佳祐（特定研究員）

❖ 数値系地球科学部門

土屋卓久（教　授）
亀山真典（教　授）
土屋　旬（准教授）
出倉春彦（講　師）
Shengxuan Huang（学振外国人特別研究員）

❖ 超高圧科学部門

内藤俊雄　（教授：理工学研究科兼任）
松下正史　（教授：理工学研究科兼任）
山本　貴　（准教授：理工学研究科兼任）

❖ 先端研究高度支援室（連携部門）

山田　朗（シニアリサーチアドミニストレーター）
新名　亨（シニアラボマネージャー）
目島由紀子（技術専門職員）
白石千容（研究補助員）

❖ 客員部門

客員教授　Yanbin Wang(シカゴ大学GSECARS代表・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名誉教授)
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）
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（東京大学名誉教授）
客員教授　舟越賢一（CROSS中性子科学センター研究開発部次長）
客員教授　平井寿子（元愛媛大教授・前立正大教授）
客員教授　井上　徹（広島大学大学院先進理工系科学研究科教授）
客員教授　大藤弘明（東北大学大学院理学研究科教授）
客員教授　西山宣正（住友電気工業（株）アドバンストマテリアル研究所グループ長）
客員教授　Jannick Inglin（リール大学材料変換研究ユニット・CNRS UMR8207研究部長）
客員准教授　西　真之（大阪大学大学院理学研究科准教授）
客員准教授　丹下慶範(住友電気工業(株)アドバンストマテリアル研究所主席）

❖ 事務

研究支援課・研究拠点第2チーム
若井重広　（副課長）
相澤麻衣　（チームリーダー）
宮本菜津子（事務補佐員）
八城めぐみ（研究補助員）
濱田愛子　（事務補佐員）

NEWS＆EVENTS

❖ 入舩センター長が IMA メダル受賞

国際鉱物学会（International Mineralogical Association, IMA）は 1958 年に設立された鉱物

学分野の学会の連合体で、日本鉱物科学会を始め38 か国の関連学会が加盟する国際組織です。IMA は新鉱物の認定を行う国際機関としても知られていますが、鉱物学分野で顕著な業績をあげた研究者を 1 年から 2 年に 1 名選考し、同連合の最高賞である IMA メダルを贈呈しています。我が国からはこれまでに、大谷栄治東北大学名誉教授が同メダルを受賞しています。

このたび、同学会の Hans-Peter Schertl 会長より、入舩徹男 GRC センター長・愛媛大学特別栄誉教授が、2023 年の同メダル受賞者に決定されたとの電話による連絡がありました。入舩センター長の受賞は、マントル鉱物の超高圧下における相転移と物性変化の研究と、その応用によるヒメダイヤや透明ナノセラミックスなど、新物質の開発が高く評価されたものです。授賞式と受賞講演は、2024 年 8 月 18 日から 23 日にダブリン (アイルランド) において開催が予定されている、ヨーロッパ鉱物科学連合 (EMU) 総会において行われる予定です。

【参考 HP】 国際鉱物学会(IMA):
https://mineralogy-ima-wordpress.website/

❖ 国際会議 AIRAPT の松山開催

2 年に一度世界各国で開催されている国際高圧力学会主催の AIRAPT 総会が、2025 年に松山で開催されることが決定し、日本高圧力学会における準備委員会での検討のもと、このほど組織委員会が結成されました。29 回目となる AIRAPT-2025 は愛媛県県民文化会館で 9 月 28 日～10 月 3 日の 6 日間にわたり、高圧力を利用する物理学、化学、地球惑星科学、材料科学などの国内外の研究者約 500 名の参加を見込んでいます。

GRC からは入舩徹男センター長 (組織委員長)、土屋卓久副センター長 (庶務・愛媛大学実行委員長)、西原 遊 PRIUS 拠点長 (出版) が組織委員会に参加しており、事務局委託先の決定も行われ、この秋から本格的に準備がスタートします。関連して、本年 11 月 1 日～3 日に千葉県柏市で開催される第 64 回高圧討論会会期中には、拡大組織委員会を開催し、日本高圧力学会会員の意見交換を行う予定です。

なお、これまでに決定している AIRAPT 組織委員会のメンバーと役割は以下の通りです (GRC 関係者を除く) : 清水克哉 (阪大基礎工 : 副委員長)、松木均 (徳島大社会産業理工 : 副委員長)、長谷川正 (名大工 : プログラム委員長)、近藤忠 (阪大理 : 会計)、舟越賢一 (CROSS : AIRAPT 連携)、鍵裕之 (東大理 : 渉外)、谷口尚 (NIMS : アドバイザー)。

❖ ORANGE-3000 による 3000 実験達成

GRC の大型マルチアンビル装置 ORANGE-3000 の導入後、3000 回目の実験を記念して 8 月 17 日にお祝い会が開かれました。ORANGE-3000 の主要ユーザーなど約 10 名が見守る中、3000 回目の実験にあたった学振 PD の福山鴻さんと、入舩センター長が加熱実験を行い、その後記念のケーキとコーヒーで懇談会が行われました。

ORANGE-3000 は、2001 年の GRC 設立直後の 2003 年に、理学部構内に竣工した総合研究棟 I と同時に設置されました。当初は DIA 型ガイドブロックによる実験が行われていましたが、大型試料の合成に対する要望が高まる中、より圧力発生効率の高い 111 加圧方式のガイドブロックに変更し今日に至っています。以来約 20 年に渡って大きなトラブルもなく、GRC スタッフや学生、また PRIUS ユーザーにより活用されてきました。

なお、ORANGE は“Over the RANGE”の略で、限界を超える実験に挑戦することを念頭において名づけられました。GRC には 3000 トンの力を加えることができるこの装置の他に、それぞれ 1000 トン・2000 トンの力を加えることができる ORANGE-1000・ORANGE-2000 も設置され、いずれも学内外のユーザーに利用されています。また、これら ORANGE シリーズの他に、現時点では世界最大の超高圧合成装置 BOTCHAN-6000 や、D-DIA 型変形高圧装置 MADONNA-1500、また後者と同型でより超高圧発生を目指した MADONNA Ⅱ も設置され、いずれも PRIUS における共同利用・共同研究に供されています。

❖ GRC 公用車の更新

GRC 公用車第 1 号 (Vergil 号 : トヨタ・エスティマ) は、科研費「学術創成研究」の間接経費を原資に、主に SPring-8 での共同利用実験や資材搬送のために 2004 年度秋に導入されました。導入後 20 年近くを経て故障も多発した

ため、この秋新たに第2号（Vergil Ⅱ：トヨタ・ノア）が導入され、やはり SPring-8 への出張等に利用されています。

ちなみに Vergil 号は公用車導入直前の 2003 年に封切られた、SF 映画”The Core”の地底探検車の名称に因んで名付けられたものです。この映画は、Vergil 号が地球磁場を維持するために地球中心の核まで出かけ、止まりかけた外核の流動を核爆発により復活させるという、奇想天外なストーリーです。一方で Vergil はダンテの「神曲」に出てくる地底案内人であり、ローマの詩人ヴェルギリウスの英語名でもあります。

Vergil Ⅱも、地底の謎を解き明かす先導車としての役割が期待されるとともに、学内の利用にも一部開放しています。

❖ GRC イベントの再開

2020 年初頭に始まったコロナ禍の中、GRC においても愛媛大学のガイドラインに従い、施設や装置利用に関して様々な制約を設けてきました。これから 3 年余りを経て、新型コロナウイルス感染症が感染症法上の 5 類扱いへと移行したことを契機に、GRC ではコロナ禍中において実施されたこれらの行動制限をこの秋から撤廃し、施設・装置の共同利用に対しての制約をなくすとともに、GRC 恒例のイベントもコロナ禍以前の状態に戻すことにしました。

GRC イベント復活の第一弾として、例年夏休みに行われていた釣り＋BBQ 大会を 9 月 18 日に行いました。早朝から釣り部隊が松山市堀江町の海の駅に集結し、10 名ほどが釣りを楽しむとともに、釣果を大学に持ち帰り BBQ 準備部隊と合流し、家族なども含めて約 20 名が創石ラボ前に集まりバーベキューを楽しみました。GRC では PRIUS における共同利用・共同研究拠点活動の正常化とともに、今後もこれに加えて恒例の花見、ビアガーデン、イメージコンテスト、ボーリング大会・忘年会、歓送迎会等のイベントを、ポストコロナの新しい様式で、感染拡大状況も勘案しながら順次再開していく予定です。

❖ 第 7 回 GRC イメージコンテスト

GRC 広報活動促進のため、第 7 回 GRC イメージコンテストを開催いたします。今年はコロナ禍を超えて様々な活動が行えるようになりましたので、“GRC の復活” というテーマで募集したいと思います。皆様、奮って応募ください。

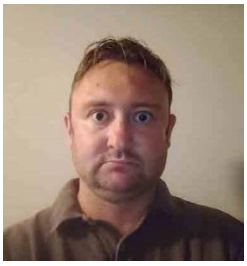
昨年度の入賞作品より

主　　催： 愛媛大学 GRC ホームページ委員
募集内容： GRC の皆さんでシェアしたい作品
テ ー マ： GRC の復活“Return of the GRC”
参加資格： 不問。一人何点でも応募可
締　　切： 2023 年 12 月 15 日（金）
受賞商品： GRC オリジナルグッズ他
詳細：GRC HP（http://www.grc.ehime-u.ac.jp/）

❖ フロンティアセミナー

第 84 回

“The importance of point defects on processes in the mantle”
Dr. Joshua Muir (Professor, Chinese Academy of Science)
日時：2023 年 7 月 7 日（金）
16:30～18：00



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）

１０月

10/20“Deformation of olivine under conditions of the lower part of the mantle transition zone: the role of olivine transition on deep-focus earthquakes”
Mr. Kohei Matsuda (Master Student, GRC)

“月の化石バルジを形成･保存するための数値計算プログラム”
Ms. Seina Terado (Master Student, GRC)

10/27 “The stability of hydrous SiO_2 stishovite in the deep mantle”
Mr. Goru Takaichi (PhD student, GRC)

11/10“Resolution of inconsistencies in experiments of iron-silicate sulfur partitioning

based on ab initio calculations”
Mr. Kei Itoh (PhD student, GRC)

11/17 “Acoustic emission monitoring at high pressures using small sensors optimized for D-DIA apparatuses”
Mr. Tetsuya Kubota (Master student, GRC)

“TBA”
Mr. Yamato Miyagawa (Master student, GRC)

11/24 “Lattice preferred orientation of phase D deformed at high pressure and high temperature”
Mr. Wentian Wu (PhD student, GRC)

12/1 “Modeling the CMB heat flow based on the ab initio mineral physics”
Dr. Haruhiko Dekura (Senior Assistant Professor, GRC)

12/8 “2-D cylindrical mantle convection simulations on tectonic plates with stress-history-dependent rheology model”
Mr. Hiroki Taito (Master student, GRC)

“Phase relations in a natural hydrous basalt under the lower mantle conditions”
Mr. Yuta Ishikawa (Master student, GRC)

12/15 “Prediction about the possibility of solid solution formation between Phase D and Li_2ZrF_6-type SiO_2 using ab initio multi-configuration sampling method”
Mr. Saito Nakagawa (Master student, GRC)

12/22 “Developments of multi-anvil technology in Japan and at GRC”
Dr. Tetsuo Irifune (Professor/Director, GRC)

❖ 過去の講演

第594回 “Experimental constraints on the distribution of Fe^{2+} and Fe^{3+} in the crystallizing Earth’s magma ocean”
Dr. Hideharu Kuwahara (Assistant Professor, GRC) 2023.7.14

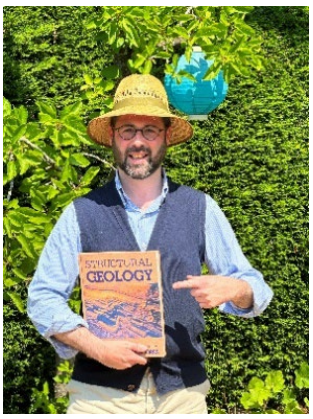
第595回 “Effect of hydrogen on rheology of hcp-Fe”
Dr. Yu Nishihara (Professor, GRC) 2023.7.21

第596回 “In situ time-resolved X-ray observation of transient creep in olivine aggregates at upper mantle pressures”
Dr. Tomohiro Ohuchi (Associate Professor, GRC) 2023.7.28

第597回 “Charge disproportionation in iron-bearing silicate melts predicted from first-principles calculations”
Mr. Kazushi Kitaguchi (Master student, GRC) 2023.10.13

ALUMNIレポート No.31

ユトレヒト大学地球科学科
研究員 Sebastian Ritterbex



Hi everyone, my name is Sebastian. I am a theoretical mineral physicist. My research focuses on how microphysical processes of rock-forming minerals govern the dynamic evolution of the Earth’s and planetary interiors. Originally, I am from the Netherlands where I did my undergraduates in physics and Earth sciences at Utrecht University before starting my PhD research in the Plasticity Group at the University of Lille in France. There, I was trained as a computational materials scientist bridging scales from the atomic level to the dimensions of geological processes. After my PhD defense in 2016, I left France and moved to beautiful Matsuyama as a PD research fellow in the Theoretical Mineral Physics (TMP) group of the Geodynamics Research Center (GRC).

As a previous member of the TMP group and with the support from Prof. Taku Tsuchiya, I was able to make original research contributions to physics-based modelling of microstructures and transport processes of deep Earth minerals by the use of first-principles simulation techniques. My research at the GRC provided new insights in the viscosity of Earth’s inner core, about deformation mechanisms in the deep interior of terrestrial exoplanets, in the microstructures of diamonds and in the physical properties and mechanical behavior

of grain boundaries under high-pressure conditions of the lower mantle. I gained lots of experiences from these works, especially on the quantum mechanical first-principles studies of minerals which provided important guidelines for my future research.

During my stay at GRC I had the chance to attend so many wonderful "Core-Mantle Coevolution" seminars and international conferences where I met and discussed with scientists at the forefront of exciting research developments at the interface between Earth and materials sciences. Being part of the GRC also allowed me to teach mineralogy classes to students at Minami high-school in Matsuyama, to receive a JSPS KAKENHI grant for early-career scientists and several years of external computation time at the parallel computer cluster at the supercomputer infrastructure of Nagoya University. At the same time, my stay at GRC offered me unique and very interesting experiences which allowed me to discover the Japanese culture. I really appreciate all chances GRC gave me to develop my academic career. I am particularly thankful that my research results produced at GRC attracted attention through invited lectures at international conferences and press release of our published papers which gave rise to an award for outstanding research communications from Ehime University. I would like to thank Tsuchiya-sensei and Irifune-sensei without whom these achievements would not have been possible, but also a big thanks to Jun-san, Steeve, Haruhiko-san, Nishihara-san, Huang-san, Sakai-san, Kono-san and many others for your advices, interesting discussions and nice time we spent together. I would like to say a special thank you to the staff of the administration and technical development offices of GRC, especially to Miyamoto-san, Yashiro-san, Hamada-san and Shiraishi-san. My work at GRC was only possible with your fantastic help and support. Sending you all a big hug!

In December 2022 I left GRC to start as senior researcher in the Structural Geology and Electron Microscopy Group of the Department of Earth Sciences at Utrecht University in the Netherlands. I mainly collaborate with the research teams of Prof. Oliver Plümper and Prof. Martin Drury. Our goal is to combine my theoretical research from first-principles atomistic studies on the microstructures and kinetic processes of geological materials with spectroscopy and electron microscopy observations of natural and experimental samples. Currently, we try to improve our understanding of dehydration reactions of serpentinized mantle peridotites (i.e., serpentinites) in subducting slabs. These metamorphic reactions release subduction zone fluids which are expected to play an important role in subduction dynamics, to contribute to arc magmatism and to induce mechanical instabilities as brittle failure and thus seismogenic zones in subducted oceanic lithospheres. Because natural observations of such preserved prograde metamorphic processes from ophiolites are rather sparse, we use a theoretical mineral physics approach to quantify the terminal breakdown of serpentines at subarc depth conditions. Anyone who is interested in our project or in collaborating with us on related topics is more than welcome to contact me (s.a.w.ritterbex@uu.nl). Finally, I would like to wish you all good luck with your academic activities and hopefully exciting research plans!

国際会議報告

❖ 第28回AIRAPT総会

AIRAPTは高圧力の科学と技術に関する国際会議で、第１回目は1965年にフランスで開催されました。米国中心の高圧ゴードン会議（HP-GRC）を、ヨーロッパでも開催してはどうかとの提案のもと開始された経緯から、当初はヨーロッパを中心に開催されてきました。その後主にヨーロッパ、北米、アジアの3地域で2年ごとに開催されており、日本ではこれまで京都で2回、東京で１回開催されれています。第 28 回の AIRAPT-2023 は第 60 回のヨーロッパ高圧会議（EHPRG）との共催で、スコットランドのエジンバラで開催され、私も久しぶり

の海外出張で参加しました。

会場はエジンバラ城から歩いて 10 分くらいのエジンバラ国際会議場で、エジンバラ大学を中心とした組織委員会により運営されました。参加者は 30 か国から約 500 名、国別には多い順番に英国（82 名）、米国（75）、フランス（54）、ドイツ（49）、中国（41）で、日本からは 6 番目に多い 31 名の参加があったとのことです。会議の前の週には、高圧スクールが 5 日間開催され、61 名の学生が参加しましたが、日本からは 1 名の参加に留まったようです。

会議開始の 7 月 23 日（日）当日には、国際圧力スケールと、高圧下での輸送特性に関する 2 つの関連ワークショップが開催され、夕方にはレジストレーションとともにレセプションが開催されました。

会議は翌日の朝から 5 日間に渡り開催され、それぞれ朝一番には全員が参加できる大きな会場で 1 件ずつ、計 3 件の総会講演（Plenary lecture）とブリッジマン賞受賞講演が行われました。AIRAPT では女性研究者の登用を積極的にすすめており、今回の 3 件の Plenary lecture のうち 2 件が女性研究者による講演でした。

総会・受賞講演の後は、5 つの会場に分かれて、物理学、化学、地球惑星科学、材料科学、食品科学など、高圧力を用いた多様な分野の口頭発表とポスター発表が行われました。会議の合間にはコーヒー・紅茶とともに（ちゃんとした）お菓子類も提供され、研究者間の交流がすすむ配慮がされていました。またランチ（こちらも味はともかく、ちゃんとしていました）も提供され、会議中は外に出なくてもすみました。

今回の会議ではエクスカーションは設定されておらず、この週はずっと会議づけでした。会議終了後の夕方には毎日軽食や飲み物が用意され、これで夕食を済ますこともできそうな内容でした。残念ながら現地の特産品スコッチは有料でしたが…。一方、スコットランド国立博物館の、広いフロアを借り切っておこなわれた懇親会は特筆もので（冒頭挨拶参照）、ここでは高価そうなスコッチも振舞われました。

会議中におこなわれた総会では、新会長に初めて女性の Sakura Pascarelli が選出されました。Sakura は日本生まれのイタリア人で、ヨーロッパ X 線自由電子レーザー施設（E-XFEL）のサイエンスディレクターの要職にあります。以前私が AIRAPT 会長を務めたときに、Secretary として活躍してもらいました。多少揉めるのではないかと心配された AIRAPT 評議員選挙もなんとか無事終え、日本からは J-PARC の舟越賢一氏とともに、GRC の土屋卓久副センターが選出されました。

一週間の会期を無事に終え、その日の夜はエジンバラ大の Ben Harte 教授の家に泊めていただきました。Harte 教授は、下部マントル起源の超深部ダイヤモンドの発見者の一人として著名です。25 年ほど前に愛媛大に招聘し、当時共用が開始された SPring-8 を利用してこのダイヤモンド中の包有物から、下部マントル起源のペロブスカイト構造の $CaSiO_3$ を探そうとしたことがありました。残念ながら当時は発見することができませんでしたが、最近やはり放射光を用いた探査で確認され、新鉱物 davemaoite として認定されています。

エジンバラを離れた以降の出来事は、冒頭挨拶に書きました。30 人余りの日本人参加者のうち、状況証拠から半数程度が感染して帰ってきたのではないかという噂もありますが、真偽のほどはわかりません。最後は予期せぬ（予想通りの？）結果になってしまいましたが、十数年ぶりに 4 度目のエジンバラ滞在を楽しんだ 1 週間でした。（入舩徹男）

研究集会報告

❖ 惑星深部研究会 夏合宿

2023 年 8 月 3 日（木）～5 日（土）に GRC 鉱物物性理論グループを中心とした「第 5 回惑星深部研究会」を高知県しもなの郷にて合宿形式で開催しました。愛媛大・東京大・東工大・九州大・海洋研究開発機構から総勢 21 名（うち外国人 7 名）の参加者が集まりました。涼しい山間の会場で，地震学・地球内部ダイナミクス・地球化学・高圧実験・鉱物物性理論など惑星深部研究に関連したさまざまなトピックに関する 17 件の講演があり，終始活発な議論が交わされました。本研究会は、平成 27～31 年度文部科学省科学研究費助成事業新学術領域研究「核―マントルの相互作用と共進化～統合的地球深部科学の創成～」において理論計算班の構成員を中心として実施していた班会議に端を発しており、惑星深部研究の情報共有・共同研究推進の継続発展を目指し、2020 年度から愛媛大 GRC 鉱物物性理論グループが中心となって毎年開催しているものです。

【プログラム】

鈴木　勝彦（海洋研究開発機構）
What do the isotopes tell about the core-mantle interactions? Still asking myself

高野　将大（東京大 M2）
Neutron diffraction measurements and molecular dynamics simulations on FeS hydrides

Austin　Taylor（東工大 M1）
Stratified Flows at the Top of the Outer Core

高市　合流（愛媛大 D2）
The stability of hydrous SiO_2 stishovite in the deep mantle

Jun　Su（東工大 D2）
Exploring large uncorrelated moduli province (LUMP) at lowermost mantle with joint P- and S-wave tomography

伊藤　慧（愛媛大 D1）
Resolution of inconsistencies in sulfur partitioning experiments between liquid iron and molten silicate based on ab initio free energy calculations

Huang　Shengxuan（愛媛大 PD）
Nitrogen-carbon-argon features of the bulk silicate Earth established by deep core-mantle differentiation

平岡　大和（東京大 B4）
Electrical conductivity measurement of $(Mg_{0.81},Fe_{0.19})O$ under high pressure and temperature

Wentian　Wu（愛媛大 D2）
Strain-induced crystal preferred orientation of phase D and implications for seismic anisotropy in the mid-mantle

Christine　Hernlund（東工大）
Using LLSVP properties to examine deep mantle oxidation state

北口　一志（愛媛大 M2）
Effects of Al and H on charge disproportionation in iron-bearing melts predicted from first-principles calculations

Nathan　Van　Alstine（東工大 M1）
How initial Earth core composition influences its evolution, and building a 1D self-consistent geodynamical model with mineral and geophysical constraints

石橋　凌一（東京大 M2）
Inversion for 3-D velocity structure in MTZ beneath northwestern Pacific

John　Hernlund（東工大）
How to make both the mantle and core side of the CMB iron-oxide rich?

金嶋　聡（九州大）
Seismic reflectors in the mid-lower mantle beneath central Pacific : their relationship with the Pacific LLSVP

西原　遊（愛媛大）
Effect of hydrogen on rheology of hcp-Fe

土屋　卓久（愛媛大）
High-pressure metal/silicate partitioning of volatiles

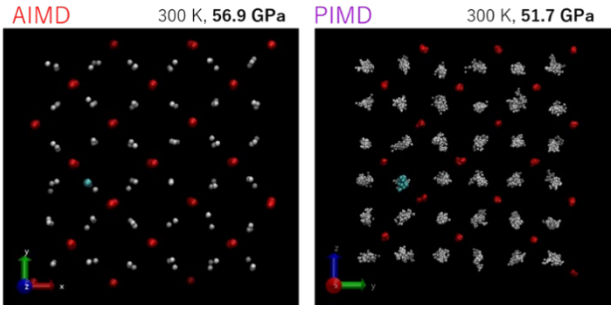
最新の研究紹介

❖　第一原理経路積分分子動力学計算による氷高圧相の弾性特性

水(H_2O)の構造と物理化学的性質を決定することは、物理学、化学、惑星科学分野等多くの分野において重要です。H_2Oの結晶多形はこれまで20種類が知られており、数多くの実験的・理論的研究が行われていますが、その物理的・化学的性質はまだ完全には解明されていません。氷の研究における本質的な課題は、水素が最も軽い原子であることです。そのため、水素は非常に移動しやすく、実験的に検出することが難しいことに加え、大きな量子効果を示すことが知られています。物質中の原子（電子・原子核)の時間・空間的な振る舞いは量子力学に支配されており、水素を代表とする質量の小さな元素は原子核の量子力学的な性質を反映して、古典力学的には移動できない領域へと元素が拡散することが可能になります（トンネル効果)。

高圧下において、氷Ⅶ相からX相に至る相転移は水素の静的無秩序状態から動的無秩序状態を経て対称水素結合状態へ至ると考えられており、多くの高圧実験・理論計算等により状態方程式や物性が調べられてきました。特にⅦ相の状態方程式に関しては約40-60 GPa付近において圧縮率の増加が報告されています。この原因は、水素の動的無秩序状態に起因する可能性が指摘されています。氷Ⅶ相の動的無秩序状態とは、酸素原子間に存在するエネルギー障壁を水素がホッピングして行き来するような状態です。この動的無秩序状態においては、上記のようなトンネル効果が重要な影響を与える可能性があります。

最近、私はこの氷Ⅶ相からX相に至る水素の状態変化を詳細に調べるために、原子核の量子効果

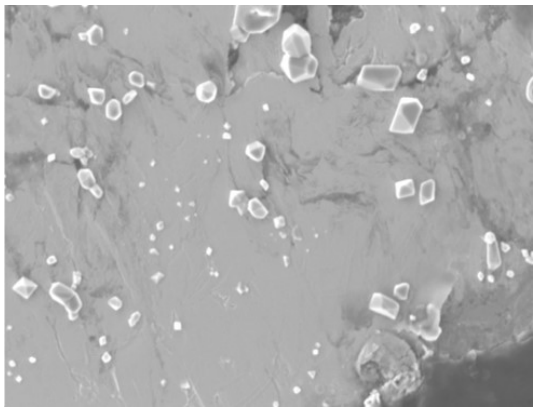


も考慮した第一原理経路積分分子動力学計算(PIMD)を行いました(https://arxiv.org/abs/2307.14214)。通常の第一原理分子動力学計算(AIMD)は、高温高圧下の状態を調べる上で非常に有効な手段であるのですが、この手法では原子核は古典粒子として扱われています。一方、PIMDでは対象とする系と同じ統計的なふるまいをする多粒子からなる古典系を考え、その古典系の統計平均を第一原理分子動力学計算することにより量子系のふるまいを調べることができます。本研究では、AIMD、PIMDによる氷Ⅶ相の弾性定数と、ブリルアン散乱実験から得られた弾性定数を比較しました。AIMD、PIMD、実験値のいずれも、低圧力条件では静的0 Kにおける弾性定数とほぼ平行な変化を示し、これは温度条件の違いによって説明できると考えられます。しかし、加圧にともないPIMD、ブリルアン散乱、AIMDの結果は、それぞれ40、60、70 GPaで静的0 Kの値から逸脱し増加し始めます。これらの弾性定数の増加は、水素原子の動的挙動に起因すると考えられます。AIMDとPIMDの結果を比較すると、原子核の量子効果は動的無秩序相の弾性定数の増加に大きく寄与(300K・70GPa付近で約20%)していることが判明しました。原子核の量子効果が常温条件においても弾性というマクロな物性に大きな影響を与えていることは非常に興味深いと感じます。このようなPIMDシミュレーションに必要な計算リソースは大きなものになりますが、今後計算機の演算能力の向上とともにより複雑な鉱物に対しても適用可能になると考えています。(土屋 旬)

❖ 巨大氷惑星のマントル上部におけるダイヤモンド生成

天王星のマントルの化学組成モデルは、太陽系の元素存在度をもとに水(H_2O):メタン(CH_4):アンモニア(NH_3)=7:4:1の混合比になっていると推定されている(e.g., Bethkenhagen et al., 2017)。主要成分のひとつであるメタンは高温高圧下で分解し、2000-3000 K, 10-80 GPaにおいてダイヤモンドを生成することが報告され、“ダイヤモンドの雨”が降るとして注目されている(Anchilotto et al., 1997; Benedetti et al., 1999; Hirai et al., 2009)。また, メタンハイドレートを用いたレーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル(LHDAC)による実験では,メタンのみの場合に比べ400 Kほど低温の温度条件でダイヤモンドが生成し、水の存在がダイヤモンド生成条件に影響を与えることが報告されている (Kadobayashi et al., 2021)。一方, 有機高分子を出発試料とした実験もあり、ポリスチレン(PS)を試料とした衝撃圧縮実験では5000 K、150 GPaという比較的高温高圧条件でようやくダイヤモンドが生成している(Kraus et al., 2017)。これに対しポリエチレンテレフタレート(PET)を用いた静的圧縮実験では1400-1900 K、8-9 GPaにてダイヤモンド生成が確認された(Kondorina et al., 2018)。ダイヤモンドが生成する温度圧力条件の違いは、試料の組成や実験手法の違いによって生じると考えられる. より低圧低温でダイヤモンドが生成したPET試料は、炭素と水を組み合わせた元素比ではあるがベンゼン環を含む芳香族化合物であり、化学組成比もやや異なることから天王星内部を模擬する場合に適切ではないと考えられる。

本研究では、天王星マントル上部におけるダイヤモンド生成条件の推定を目的とし、最も単純な高分子であるポリエチレン(PE, $(C_2H_4)_n$)と水(H_2O)(体積比1 : 1)を用いて高温高圧実験を行った。この試料の組成比はC : H : O = 2 : 6 : 1で先行研究よりも天王星マントルの組成比に近い。高圧の発生にはダイヤモンドアンビルセル (DAC)を用い、加熱にはCO_2レーザー加熱光学系を用いた。加熱前後の試料に対してラマン分光測定、加熱後の試料に対してXRD測定による相同定、SEMでの組織観察を行った。

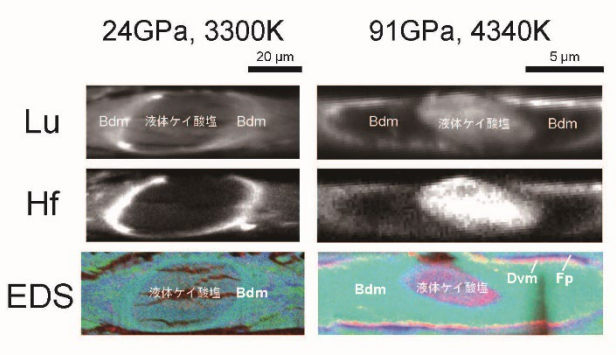


実験の結果、1800 K、14 GPa以上の条件においてダイヤモンド生成を確認した。また、それよりも低温低圧下では非晶質炭素が生成した。またラマン分光測定から水素分子の存在も確認され、高分子が炭素と水素に分解する反応が起きたことが確認された。比較としてポリエチレン単体での高温高圧実験を行ったが、XRD測定の結果、ダイヤモンド生成は確認できなかった。このことから、高分子を用いた実験でも水が触媒の働きをしてC-H系の分解を促進していると考えられる。高温下での水成分による炭化水素の分解は水蒸気改質として知られており、工業的な水素製造に用いられて

いる。分解反応により炭素が晶出した際に、それがダイヤモンドとなるかどうかは単純に炭素の相図に準ずる。この際、グラファイトからのダイヤモンド生成条件に比べややマイルドな条件となるグラッシーカーボンからのダイヤ生成条件と整合的な結果が得られ、巨大氷惑星の氷マントル上部が>10 GPa、>2000 Kの条件であるならばマントル最上部からダイヤモンドが晶出するといえる。なお、この研究は2022年度卒業の劔持嘉君の卒業研究として行われた。(境 毅)

❖ 深いマグマオーシャン中での希土類元素分配挙動の研究

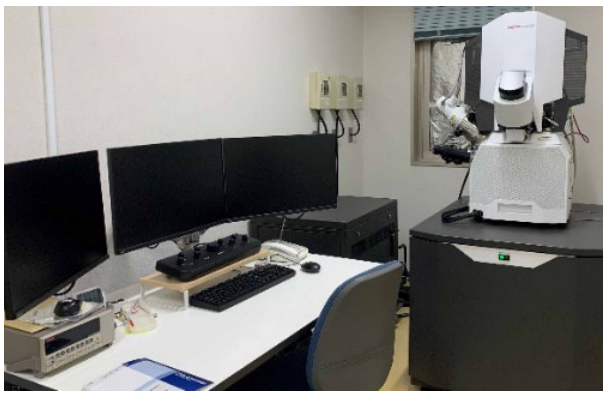
地球はかつてジャイアントインパクトによって溶融した深いマグマの海に覆われていたとされています。そのマグマの海の結晶化によって初期地球マントルの化学的成層構造が形成され、その影響が現在の地球にも残っている可能性が考えられます。その一例として、地球のコア-マントル境界直上に存在する地震波低速度異常領域は、このマグマの海の結晶化過程で固まらずに残った鉄に富む重いケイ酸塩液体である可能性が指摘されています(ベーサルマグマオーシャン仮説)。このようなケイ酸塩液体がコア-マントル境界直上に残存しているとすれば、希土類元素などの液体に濃集しやすい元素を濃集する貯蔵庫として隔離されており、地殻・マントル中の元素濃度に影響を与えていると考えられます(すなわち、(地殻・マントル) + (貯蔵庫) = (地球のケイ酸塩部分全体))。実際、マントル由来の岩石に含まれる ^{143}Nd(=^{147}Smの放射壊変由来の同位体)/^{144}Nd と ^{176}Hf(=^{176}Lu の放射壊変由来の同位体)/^{177}Hf はマントルアレイと呼ばれる相関を示す一方で、BSE(地球のケイ酸塩部分全体の平均値)とは調和的でないことが知られており、これは地球の内部に高 Sm/Nd あるいは低 Lu/Hf の貯蔵庫が存在することを示唆していることが指摘されています。この指摘の真偽を定量的に議論するためには、高圧下でのブリッジマナイトをはじめとする主要鉱物とケイ酸塩液体間の希土類元素(Nd・Sm・Lu)及び Hf の分配挙動を理解する必要があります。しかし、高圧実験を行った回収試料中の微小な鉱物・ケイ酸塩液体相の微量元素の濃度を定量することが困難であるため、これまでの研究ではマルチアンビルプレスで実験可能な圧力条件(<27GPa)でしか、微量元素の分配実験は行われていませんでした。そこで本研究では、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いて微量元素の鉱物-液体間の分配実験を下部マントルの底に相当する圧力を含む条件で行い、微小な試料中の元素濃度を高感度で測定できる北海道大学の同位体顕微鏡システムを利用して回収試料中の微量元素濃度の測定を行うことで、下部マントル全体の圧力条件で分配係数を決定しました。



その結果、24GPa で行った実験で La・Nd・Sm についてはケイ酸塩液体に濃集しており、Lu・Hf についてはややブリッジマナイトに濃集する傾向を示し、これはマルチアンビルプレスで行われている先行研究の結果と一致しました。一方で、91 GPa 以上の実験では La・Nd・Sm と同様に、Lu・Hf もケイ酸塩液体に濃集する振る舞いを示しました。さらに、24GPa では Lu と Hf の分配係数 D(=ブリッジマナイト中の濃度/液体ケイ酸塩中の濃度)は $D_{Lu}<D_{Hf}$ の関係がありましたが、下部マントル深部の圧力条件では $D^{Lu}>D_{Hf}$ となることが明らかになりました。この結果を考慮すると、ベーサルマグマオーシャン仮説で示唆されるように、ケイ酸塩液体がコア-マントル境界直上に存在する地震波低速度異常領域を形成していた場合、その液体は低 Lu/Hf の物質を貯蔵することが期待されます。本研究の結果から定量的な議論を行い、地球マントル深部に存在する地震波低速度異常領域のうち ULVZs と呼ばれる領域が地球深部の同位体の貯蔵庫であるとき、上述の「マントルアレイと BSE の不一致」の問題を説明することができることが分かりました。(小澤 佳祐, PD)

センター機器紹介

❖ 集束イオンビーム走査電子顕微鏡 (Thermo Scientific Scios2 DualBeam)



2023年2月に集束イオンビーム走査電子顕微鏡 (Thermo Scientific Scios2 DualBeam) が納入されました。本装置は、これまで長きにわたり先端

研究の推進に貢献してきた集束イオンビーム装置（JEOL JEM9310FIB）が、老朽化による真空系の動作不良のため、安定した動作ができなくなっていたことから、その後継として導入されました。

Scios2 は磁気材料を含む幅広い試料の高分解能観察に適した電界放出型走査電子顕微鏡（SEM）カラムと高分解能微細加工に適した集束イオンビーム（FIB）カラムから構成されており。試料位置条件を変更することなく SEM 像観察を行いながら、FIB 加工・観察を行うことができます。また、エネルギー分散型 X 線（EDS）検出器を備えており、加工位置の化学組成分析を行なったり、試料断面の元素マッピングを行ったりすることが可能です。これまで使用してきた JEM9310FIB は FIB 加工・観察機能のみを有していたことを考えますと、微細加工の精度と効率は飛躍的に向上したと言えるでしょう。また本装置は、すでに当センターの微細加工装置の主力として活躍しております集束イオンビーム走査電子顕微鏡 Scios の後継モデルであり、見た目も操作方法もよく似ています。そのため、すでに Scios の操作に熟達されたユーザーは、すぐに Scios2 も使いこなすことができるかと存じます。とはいえ、Scios「2」の名にふさわしく、操作性は向上したように感じます。また、今回導入された Scios2 にはユーザーを補助する目的で、操作の一部を自動化する機能が追加されています。私たちが扱う試料は、試料ごとにその状態が大きく異なるため、そもそも FIB 加工のルーティーン化が難しく、自動化の恩恵をどこまで受けることができるかは未知数ですが、手間と時間のかかる FIB 加工を少しでも効率よく進めるための活用方法を見つけたいと思います。本装置の導入により、GRC が推進してきた高圧地球科学・物質科学研究のさらなる進展が期待され、共同利用・共同研究（PRIUS）課題についてもより効率的に推進することが可能になるでしょう。（井上紗綾子）。

共同利用・共同研究拠点（PRIUS）

❖ PRIUS 利用者の声

Phase A の高温高圧変形実験

私は PRIUS の共同利用実験装置である ORANGE-3000 を用いて含水鉱物である Phase A の合成を行い、SPring-8 設置の D-DIA 型変形試験機で Phase A の変形実験を行っています。Phase A は沈み込むスラブの中深部に存在する含水鉱物で、Phase A の脱水に伴って深発地震が起きうるのかを明らかにすることを目的として研究を行っています。

深発地震は非常に面白い地震で、岩石が高温高圧で塑性的に流動する、スラブの 60 km 以深で発生します。したがって、深発地震は脆性破壊や摩擦すべりで発生する震源の浅い地震とは異なるメカニズムで起きると考えられています。色々な深発地震発生メカニズムがこれまで提案されてきましたが、その一つに含水鉱物の脱水に伴って地震が発生するというメカニズムがあります。ただ、スラブ内の含水鉱物のほとんどは深さ 150 km あたりで脱水分解してしまうため、深発地震の中でも震源が浅めの地震のメカニズムとして有力であると考えられてきました。しかし、 Phase A や D などの含水鉱物はより深いところでも安定的に存在しうるため、脱水に伴う地震がこれまで考えられてきた場所よりも深いところでも発生するのではないかと予想しています。

変形実験に用いるサンプルサイズは直径 1 mm、高さ 1 mm 程度ですが、変形実験 1 回ごとにサンプルを合成するのは大変なので、大きなサンプルを合成しコアを抜きます。Phase A の合成には圧力 10 GPa が必要なので、大きなサンプルを合成するのは容易では有りません。ORANGE-3000 は 10 GPa で直径 8 mm、高さ 10 mm 程度の大きなサンプルを安定的に合成することが可能で非常に助かっています。合成した Phase A は Spring-8 に設置してある D-DIA 型変形試験機で変形させます。10 GPa 以上での変形実験も容易ではありませんが、お世話になっている大内先生を始めとする GRC 関係者の技術開発のおかげで、実験を安定的に行い、非常に良質なデータの取得が可能となっています。

最後になりますが、このような研究環境を提供していただいている PRIUS 関係者の皆様、特に大内先生や学生の皆様にこの場を借りてお礼申し上げます。研究はまだまだ続いていくので引き続きよろしくお願いします。（澤燦道:東北大学大学院理学研究科助教）

編集後記：年末恒例の行事となったGRCイメージコンテストの作品募集中です。GRC関係者・PRIUSユーザーなどのご応募をお待ちしています（T.I. & Y.M.）

第 7 回 GRC イメージコンテスト作品募集中

【募集テーマ】 GRC の復活 “Return of the GRC” （必ずしもテーマに関するものでなくても構いません。）

【募集内容】 GRC 内やその他の場所で研究・学習活動中に撮った写真，研究・学習活動に関連したグラフィックアート等，GRC/PRIUS の皆さんでシェアしたい作品.

＊未発表のものに限る.
＊顔がはっきりと映っている場合は，応募に関しその人物に許可をとること.
＊写真を加工したものでも可.
＊カメラ貸出可能（ミラーレス一眼カメラ・詳細は土屋旬まで）
＊入選作品は加工し，GRC トップページに掲載予定.
＊動画は mp4 形式，30 秒以内を目安とする.

【提出方法等】 データ(10MB まで)と作品タイトル（短い説明文を加える）.
USB での持参，e-mail での提出可.
Google フォトへアップロード.
動画に関しては YouTube に「限定公開」でアップロードし，リンク先を提出でも可.

【参加資格】 不問. 一人何点でも応募可.

【締　　切】 2023 年 12 月 15 日（金）

【提 出 先】 https://photos.app.goo.gl/sijdqLQzQKGvA7VA7 にアップロード（google アカウントが必要）もしくは土屋旬（junt@ehime-u.ac.jp)までメール送信.

【賞　　品】 GRC オリジナルグッズ他

【審査方法】 専用ウェブページにて掲示. 委員会メンバーと GRC/PRIUS 構成員の投票(学外からの投票は記名投票とする）. 受賞者は数人(3~5 名)の予定.

【結果発表】 GRC 忘年会

【受賞作品の公開/非公開】
受賞作品の公開/非公開に関しては，プライバシーの観点などから受賞者ともご相談の上，決定させていただきます.

【著 作 権】 応募作品の使用権は GRC 帰属とさせていただきます.

【主　　催】 愛媛大学 GRC ホームページ委員会