

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:
 - 深発地震発生の新しいメカニズムを提案
石川さんと高市さんに学生優秀発表賞
第6回GRCイメージコンテスト 2022
PRIUSシンポジウム開催案内
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ 国際会議参加報告
- ◆ ALUMNI レポート No. 29
- ◆ 最新の研究紹介
- 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

今年のノーベル物理学賞の発表は、センター長室に数人集まりリアルタイムで見守りました。直前に発表された「クラリベイト引用荣誉賞」に選出された20名のうちの3名の日本人の中に、GRCが深く関係する高圧科学分野の研究者の名前が含まれていたからです。同引用賞の受賞者の中からは、これまでに多くのノーベル賞受賞者がでており、この分野から選ばれると1946年に高圧物理学で受賞したP. W. ブリッジマン以来の快挙です。

残念ながら今年の受賞は逃しましたが、国内のあちこちの研究室で高圧科学分野の研究者や学生が、我々と同じように固唾を飲んで発表を見守っていたようです。関連する日本高圧力学会はもちろんのこと、高圧科学分野における全国の共同利

用・共同研究拠点「先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)」を運用するGRCでも、内々にホームページ等で祝辞を発表する準備をすすめておりました。今回候補に挙げた研究者の重要な業績は、ある物質の高圧下での高品質な単結晶合成に関するものです。日本高圧力学会が主催する高圧討論会でも、関係するご講演を何度かうかがったことがあります。その経緯は意外性に富み大変興味深いものです。

本来はこの物質の高圧相の単結晶合成を目指していたのですが、相境界付近の圧力下での長時間の合成のため、たまたま低圧相の結晶もできてしまったとのこと。これが高純度の単結晶であることがわかり、共同研究者により紫外領域での興味ある発光特性を持つことが明らかにされました。また、最短波長の固体レーザーとしての特徴を有し、紫外光デバイスとして高いポテンシャルを持つことも示されました。

と、ここまでは科学研究上よくある serendipity (予想外の発見) の一例のようですが、ここから更にストーリーが展開します。この高純度単結晶には、炭素原子の単一層からなるグラフェンの理想的な「置き台」としての予想外の使い道があったのです。グラフェンを始めとした2次元結晶の物性は、固体物理学の近年の重要な研究テーマであり、上記の結晶を世界中の研究者に提供した共同研究がすすめられ、わずか10年余りの間に1000編を超える論文として研究成果が発表されました。この結晶がなければ、これらの研究は不可能であったとされています。

ちなみにGRCで開発されたナノ多結晶ダイヤモンド(ヒメダイヤ)も、失敗実験の中から見出されたという serendipity が関係しています。ヒメダイヤを最初に報告したのは、上記結晶の合成が発表されたのと同時期の2000年代初頭で、我々もこれを提供した共同研究を国内外の多くのグループとすすめています。しかしその主な用途は超硬材料に限られ、同じく過去10年余りの間に約150編と、残念ながら一桁低い発表論文数に留まっています。(

研究上の serendipity は、単に偶然だけでは得られません。今回候補に挙げた方は、国立研究開発法人の研究機関に所属する研究者で、日本高圧学会や国際高圧学会の運営でご一緒させていただいていますが、息の長い研究を自らの手でコツコツ行っていることでよく知られています。このような地道な努力とそれを可能にする環境がなければ、偶然の女神は微笑んでくれないでしょう。来年以降の受賞者発表が、今から待ち遠しいところです。



◆ センターの構成 ◆

(R4. 10. 1現在)

❖ 実験系地球科学部門

入船徹男 (特別荣誉教授)
 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 (学振特別研究員)
 Marisa Wood (学振外国人特別研究員)

❖ 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)
 Sebastian Ritterbex (特定研究員)
 Shengxuan Huang (学振外国人特別研究員)
 (R4. 9. 27-)

❖ 超高压材料科学部門

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)

❖ 教育研究高度化支援室 (連携部門)

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)
 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主幹)
 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
 相澤麻衣 (チームリーダー)
 八丈野真子 (サブリーダー)
 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 ◆

❖ 深発地震発生の新しいメカニズムを提案



GRCの大内智博准教授と入船徹男教授、高輝度光科学研究センターの肥後祐司研究員らの研究チームは、深さ400～600kmで発生する「深発地震」の原因解明につながる実験に成功しました。

大内准教授らは深発地震が発生する地下条件に相当する高温高压下での地震発生モデル実験によって、特定の温度(850℃周辺)のみにおいてカンラン石のナノ粒子化が進行し、このナノ粒子層への変形エネルギーの集中と部分的熔融が起きる結果、地震発生に至ることを明らかにしました。本研究の結果は、長年謎に包まれていた深発地震の発生メカニズムの有力な説明になるとともに、深発地震の発生がプレート深部の特定の場所(「準安定カンラン石ウエッジ(MOW)」)と呼ばれる領域

の表面付近)に限定されることを意味しています。今後、そのような領域を継続的に監視することによって、深発地震の発生場所・発生頻度・規模などをモデル化するための手掛かりが得られるものと期待されます。本研究成果は、英国の科学雑誌「Nature Communications」に2022年9月15日付で掲載されました。

【論文】 T. Ohuchi, Y. Higo, Y. Tange, T. Sakai, K. Matsuda and T. Irifune, In situ X-ray and acoustic observations of deep seismic faulting upon phase transitions in olivine, Nature communications, 13, 5213, doi.org/10.1038/s41467-022-32923-8, 2022.

❖ 石川さんと高市さんに学生優秀発表賞



理工学研究科博士前期課程1年の石川裕太さん(入舩教授指導)と博士後期課程1年の高市合流さん(西原教授指導)が、2022年5月22日～6月3日に千葉県幕張メッセとオンラインのハイブリッドで開催された日本地球惑星科学連合(JpGU)2022年大会において学生優秀発表賞を受賞しました。JpGUは、地球惑星科学関連の学会・協議会など51団体が参加する組織により毎年開催されており、本年は約7000名が参加しました。

この大会での学生優秀発表賞の審査は、「学生個人の能力を見ることに主眼をおくものとし、発表の論理構成・研究目的と結果の明瞭さ・当該研究分野の発展への貢献度・既存研究への知識に加えて、学生の主体性を重視すること」が基準となっており、エントリーの5～10%が「優秀発表」として表彰されます。また、受賞は分野毎に分かれており、両名は最大の200名余りのエントリーがあった固体地球科学セクションで受賞しました。

【参考HP】 JpGU 2022年大会学生優秀発表賞受賞者 <https://www.jpгу.org/ospa/2022meeting/#sectionS>

❖ 第6回GRCイメージコンテスト2022

GRC 広報活動促進のため、第6回 GRC イメージコンテスト 2022 を開催します。第4、5回はGRCの活動が大きく制約され、自粛期間中に撮影された写真・動画などを募集いたしました。今年は“コロナ禍を越えて”というテーマで募集

を行います。皆様、奮ってご応募ください。

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：コロナ禍を越えて“Beyond the pandemic”
参加資格：不問。一人何点でも応募可
締切：2022年12月16日(金)
受賞商品：GRC オリジナルグッズ
※詳細：GRC HP (<http://www.grc.ehime-u.ac.jp/>)

❖ PRIUS シンポジウム

2023年2月28日(火)～3月1日(水)に、共同利用・共同研究拠点の報告会を兼ねた「第9回 PRIUS シンポジウム」を開催します。第7、8回はコロナ感染拡大を防ぐためにオンラインで開催いたしました。今回は現地又はハイブリット方式での開催を予定しております。詳細は12月中旬頃にGRC HP (PRIUS HP)にてご案内いたしますので、ぜひご参加ください。



◆ 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

10/21 “Synthesis of polycrystalline diamond from glassy carbon and examination of its formation process”
Chinatsu Ogawa (Msc Student, GRC)

10/28 “Earth’s core containing sulfur predicted by ab initio iron-silicate partitioning simulations”
Kei Ito (Msc student, GRC)

11月

11/4 “第一原理計算から予想される含鉄ケイ酸塩メルトにおける鉄の電荷不均化反応”
Kazushi Kitaguchi (Msc student, GRC)

11/11 “Phase relation in a natural hydrous basalts under the lower mantle conditions”
Yuta Ishikawa (Msc student, GRC)

11/18 “応力履歴依存レオロジーをもつマンテル対流シミュレーション—プレート運動の再現に向けて—”
Hiroki Taito (Msc student, GRC)

11/25 “Formation of ‘weak’ fault gouge as a result of deformation of olivine on the surface of a metastable olivine wedge”
Kohei Matsuda (Msc student, GRC)

12月

12/2 “TBA”

Hayato Kondo (Msc student, GRC)

12/9 “Deformation-induced crystallographic preferred orientation of DHMSs and preliminary data on phase D”

Wentian Wu (PhD student, GRC)

12/16 “Elastic properties of fcc-Fe under lunar core conditions”

Marisa Wood (JSPS Postdoctoral Fellow, GRC)

12/23 “Subduction and fate of oceanic crust; a historical perspective”

Tetsuo Irifune (Director/Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第576回 “The Kaiser effect exist at upper mantle pressures and temperatures?”

Tomohiro Ohuchi (Associate Professor, GRC) 2022. 7. 22

第577回 “The stability of hydrous SiO₂ stishovite in the deep mantle”

Goru Takaichi (PhD student, GRC) 2022. 7. 29

第578回 “Reevaluation of liquid iron penetration into bridgmanite grain boundaries”

Hiroshi Ohgidani (Msc Student, GRC) 2022. 10. 7

第579回 “アルミニウムを含む高密度含水マグネシウム珪酸塩Phase DとLi₂ZrF₆型SiO₂との固溶体形成に関する第一原理的研究”

Saito Nakagawa (Msc Student, GRC) 2022. 10. 14

.....

➡ 国際会議参加報告 ⬅

❖ ゴードン研究会議で講演

2022年7月17～22日にアメリカ、ニューハンプシャー州ホルダーネスで開催された高圧力科学のゴードン研究会議(HP-GRC)に参加し講演を行いました。本会議は90年以上の歴史をもつアメリカでも権威のある研究集会で、自由な討論を通して最先端の科学者の交流・情報交換を促進させることを目的として実施されています。今回は4年間の中断期間を経て、コロナ禍後初の開催となったようで、約150人の参加後が集まり完全対面形

式で実施されました。開催地のホルダーネスはボストンから高速バスで北に2時間ほどの距離にある小さな田舎町で、世界中から集まった研究者や学生が一週間この町にある小さな施設に籠ってともに過ごし、朝から晩まで議論を行いました。本会議の特徴として、実行委員会により選ばれた招待講演者のみが口頭発表を行い、発表には必ず未公表の最新の成果を含めることというルールが設けられています(その代わり発表内容の記録や会議で得た情報の口外は禁止されています)。このようなシステムのため、参加者にとっては最先端の研究に触れたり、著名研究者と知り合いになったりするよい機会となっているようです。また私を含めコロナ禍後初めての対面での国際会議への参加という人も多かったようで、多くの参加者、特に若手研究者からかなりの熱を感じました。

上述のルールのため、発表されていた研究について具体的なことを紹介することはできませんので、プログラムなどの面からもう少し今回の会議について述べたいと思います。高圧力科学の本会議では、地球科学のみならず、物性物理学、惑星科学、生物学、高エネルギー科学などの種々の分野での高圧研究が、それぞれ1つのセッションに割り当てられてプログラムが組まれていました。そしてそれぞれのセッションで、はじめに座長からセッションのテーマと招待講演者の紹介が行われました。その後、招待講演者による研究発表が始まるのですが、まず一人目が長めの講演を行います。その分野の代表者による基調講演といったところです。それに続いて、同じテーマに関して角度や手法の異なる短めの講演が1,2件行われました。このように一つのテーマに関して研究発表をまとめて行うというセッションの構成となっていることで、専門外の分野の研究であっても、それなりに理解を進めながら各分野の最先端の話しを聞くことができるようになっていました。中には、データが正しければノーベル賞クラスだというような超伝導関係の発表があったり、常温核融合の発表でもびっくりするような結果が紹介されたりしていました。また生物学分野の深海生物の話しもとても興味深いものでした。

一方、あくまで未発表の内容ということで、どこまで本当か怪しいものもあり、全部間違っているかもしれないと厳しい指摘を受けていた発表もありました。いずれにしても、非常に活発に議論が行われ、久々の海外ということもあり、ようやくこのアカデミックな雰囲気に戻ってきたかと感慨深い気分になりました。

自分自身に関しては、私は地球科学セッションの一人目の講演を行いました。実行委員会からのリクエストに応じて、最近行っている元素分配や熱伝導の第一原理計算に関して紹介しましたが、講演の後、地球科学のみならず様々な分野の研究者や学生さんからいろいろな意見や質問、その他共同研究やセミナーの依頼などいただきました。

今回はコロナ禍後、初めての海外出張で、帰国前の陰性証明など、まだ面倒な手続きが求められている時期でしたが、おかげで参加した甲斐があったと十分に感じる事ができました。(土屋卓久)

❖ IMA 2022 参加報告

国際鉱物学連合(IMA)は鉱物学の発展を目的とした世界で最も大きな組織です。IMAは4年に一度総会を行っており、今回はフランス・リヨンで



2022年7月18~22日に開催されました。コロナ禍の中ではあるものの、運営側の強い意向もあり対面のみで開催となりました。当然開催には困難が予想されましたが、土屋(旬)は理論計算鉱物物理のセッションの主コンピーナーを引き受けたこともあり、参加することを決めました。実に3年ぶりの海外出張です。なお、この前例のないコロナ禍のものと出張手続きには拠点事務室をはじめとした関係部署の方々に手厚いサポートをしていただき、感謝いたします。

まず、海外出張のハードルがかなり上がりました。国際情勢が不安定であることにより、円安やらオイル価格の高騰やらで、航空チケット代等旅費がかさみました。体感で普段の1.5~2倍くらいかかり、これまでのように海外出張に行けなくなってしまったなあと残念に思っています。海外出張に伴う手続きも煩雑でした。出張が終わった今、正確に思い出すのも少々煩わしいので詳細は割愛します。入出国手続き等、ネット上では古い情報が残っていることも多く、何が正確な情報かを見極めるのに時間を取られました。いつもは適当にやることでも、今回は間違った情報に基づいて行動すると、帰国できなくなる可能性があります。次回の海外出張がいつになるか分かりませんが、もうこんな心配せずに行きたいものです。

出発直前にフライトが航空会社の都合でキャンセルになって、フランクフルトでホテルを余計に1泊とらなくてはいけなくなり、さらに初日に割り当てられていた自分の研究発表にも間に合わない事態になってしまいました。急遽コンピーナーに連絡をとり発表の順番を変更してもらい、なんとか間に合わせました。…と、ネガティブな話を冒頭に持ってきましたが、実のところ、こんなトラブルも楽しんでる別の自分がいます。まあ大抵のことは何とかなるものです。対応していただいた方に感謝です！日本は往々にしてガラパゴス化しがちなので、困難に負けず、特に若者はどんどん海外に出て国際感覚を養って(と偉そうに言いますが、要は慣れて)ほしいと思っています。

ヨーロッパへの入国審査は全く普段と変わらず、滞在先と滞在期間を聞かれたただけであっさり終わ

り、空港から外はほぼマスクなしの世界が広がってました。35℃を超える暑さの中でも、湿度はそれほどないのでむしろ日本より過ごしやすい。会場では見知った顔がたくさんいて、「久しぶり、元気にしてた？」って声をかけてくれる。やっぱりオンラインでは味わえない喜びがありました。とは言え、会場ではなるべく人と距離を保ち、密な場所ではマスクをするようにしました。ただ、ほとんど周りはマスクなしですので、どれだけ効果があるのかは疑問でしたが…。ちなみに某大学の学長をリスペクトして、公園のベンチでおにぎりならぬフランスパンをかじってランチにしました。これはコロナ対策でもあり、経済対策でもありました(サンドイッチ1つで1000円を超えるなんて)。帰国の際は新型コロナウイルスのPCR検査を受けて陰性じゃないと帰れないということで、街中の検査所でPCR検査を受け、ドキドキしながらフランス語の陰性証明を解読して無事帰ってきました。

肝心の会議参加報告は最後になってしまいましたが、座長、口頭発表1件、ポスター発表1件を終え、関連する研究者と結果について直接議論できたのはとても良い収穫でした。その後もメールでやり取りしており、今後の展開にも希望が持てました。とにかく、新型コロナ感染拡大が終息し、国際情勢が落ち着いて分断の日々が一日も早く終わることを願っています。やはり直接交流しないと互いに分かり合えないことがたくさんありますね。(土屋旬)



➡ ALUMNI レポート⑳ ➡

❖ 岡山大学惑星物質研究所

特任助教, 近藤 望

2022年4月から岡山大学惑星物質研究所に異動しました、近藤です。GRCから移って半年が経ち、ようやく三朝での研究生生活に慣れてきたところです。自転車や路面電車であちこちに行けた松山とは違い、こちらでは完全に車生活となりました。この3月に免許をとったばかりの私ですが、交通量の少なさに助けられながらなんとか毎日通勤しています。愛媛とは気候も大きく異なり、特にこの夏は湿度の高さに驚かされました。これから秋になり、そして冬に至れば豪雪との闘いが待ち構えているため、すこしずつ身体を鍛えています。



惑星物質研究所には惑星物質基礎科学部門と惑星システム科学部門、生命・流体物質科学部門の3部門があり、私は惑星物質基礎科学部門の1員として、マルチアンビル装置やピストンシリン

ダー装置を使った実験を行っています。私の所属する研究グループは、芳野極所長と山崎大輔准教授を中心に、4人のポスドクスタッフと3人の学生で構成されており、電気伝導度測定や変形実験からマントル構成鉱物の物性を調べる研究や、遷移層～下部マントルの鉱物相平衡の研究などを行っています。SPring-8のBL04B1ビームラインにも頻繁に行くため、GRCの方とお会いすることもしばしばあると思います。私の研究としては、四月から、ケイ酸塩メルトと鉄メルト間における強親鉄元素の分配実験を始めました。強親鉄元素の分配は、核-マントル分離や隕石の後期重爆撃など、初期地球の進化を紐解く上で重要な情報と言えますが、これまで下部マントルの圧力範囲では分配係数が決定されてきませんでした。下部マントル圧力で強親鉄元素の分配係数を決めるとともに、メルト構造の圧力変化との関係から、強親鉄元素の分配メカニズムまで迫ることが出来たら面白いと考えています。

GRCでは4年間、ポスドクとしてとても貴重な時間を過ごすことができました。京都大学での学生時代、マントル岩石や地殻岩石の融解実験を行う中で、鉱物の晶出や元素の分配をメルト構造の観点から調べると面白そう、と思いつくも、放射光実験のハードルは高く、研究の道筋はつけられずにいました。そんな中、私がGRCのポスドクとなった丁度その年に、河野義生准教授がGRCに着任され、メルト構造測定を一から学ぶことができました。放射光実験の経験やメルト構造測定についての知識がほとんど無かった私に、根気強く教えてくださった河野さんには本当に感謝しております。コロナが流行してからは生活が制限され、研究が思うように進まない局面もありましたが、GRCの和気藹々とした雰囲気のおかげで、なんとか持ち直すことが出来たと思っています。ともすれば内に籠ってしまいそうな状況の中、GRCの皆さんと会話し、交流できることが大きな救いになりました。愛媛から離れる際にも、オンラインで送別会を開いていただき、とても嬉しかったです。

今後は、GRCで学んだことを活かして、地球惑星化学とメルト構造の間を繋ぐような研究をしていけたらと考えています。GRCにも、CO₂レーザー加熱ガス浮遊炉の共同利用などで、またお邪魔できれば有り難いです。これからも、どうぞ宜しくお願いいたします。



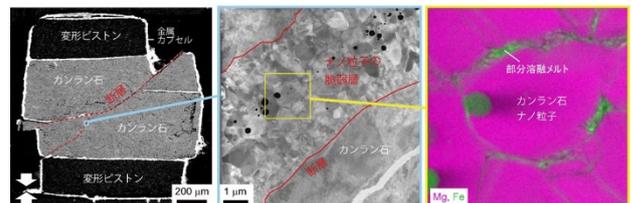
最新の研究紹介

❖ 実験による深発地震の再現

私達が住む地表のプレートはゆっくりと流れるマントルに浮いているため、マントルの流れとともにプレートも移動します。プレート同士が衝突し、

地下深くへ沈み込む過程で地震が発生します。深発地震は深さ300km以深のプレート内部で発生します。地表付近で起きる浅い地震の発生原因は既存の断層がすべることですが、深さ300km以深では圧力が非常に高いために断層すべりは阻害されます。そのため深さとともに地震は起きにくくなるのが一般的ですが、それにもかかわらず深さ400～600kmでは深発地震の発生頻度が例外的に高くなっている“特異性”が知られています。このことから、『カンラン石（プレートの主要構成鉱物）がワズレアイトやリングウッダイトへと結晶構造を変化させる際に深発地震が引き起こされるのではないか』と考えられてきました。この仮説を実験的に検証するには、13～20万気圧もの高圧環境下におけるカンラン石の変形・破壊実験を行う必要がありますが、これまで技術的に困難でした。そのため、過去の実験的研究では“アナログ物質”であるゲルマニウムオリビンが用いられてきました。ゲルマニウムオリビンは1～2万気圧程度の圧力にて、その結晶構造を“カンラン石”構造から“リングウッダイト”構造へと変化させます。しかしその結晶構造変化（相転移）の過程は“ワズレアイト”構造をスキップして進行します。また、圧力1～2万気圧における摩擦抵抗力は13～20万気圧での1/10程度に過ぎませんので、ゲルマニウムオリビンを用いた実験では「高圧力によって摩擦すべりが阻害されている状態」を適切に再現できません。そのため、深発地震の発生メカニズムを議論する際には(Mg_{1.8}Fe_{0.2})SiO₄の化学組成をもつマントルカンラン石を用いた実験が理想的となります。

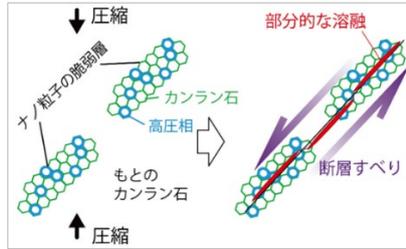
以上のような背景にて、私は以前よりD-DIA型変形装置を用いた実験における試料の大容量化と、13万気圧以上の高圧力下における『アコースティック・エミッション (AE)』測定のための技術開発に取り組んできました。より多くのAEを実験で検出するには、試料が大きいほど有利になります。また、装置内の2段目アンビルが大型化することにより、AEセンサーを設置するスペースを確保しやすくなります。この技術では、GRCにゆかりの深い方々によって発展してきた6-6型加圧方式での高圧発生技術やジャケット付きアンビルがその基礎となっています。その結果、大型放射光施設SPring-8の高温高圧ビームラインBL04B1において、マントル遷移層へと沈み込んだスラブ内の温度圧力条件下にて岩石試料中に断層が形成される様子を“その場”で観察しつつ、『アコースティック・エミッション』を測定することが可能となり



ました。

深発地震が特に多発する深さ 390~470km のプレート内部に相当する温度圧力条件下

(600–1100°C、13–16 万気圧) でカンラン石多結晶体の変形実験を行ったところ、特定の温度 (850°C 周辺) ではカンラン石が相転移する際に局所的なナノ粒子化が進行し、変形しやすい“脆弱層”を形成する場合がありますことが確認されました。その脆弱層はカンラン石とワズレアイトのナノ粒子からなるだけではなく、球状の白金やカンラン石の部分溶融メルト相も含まれることから、変形のエネルギーがナノ粒子からなる脆弱層に局所集中し、瞬間的にその部分が 2200°C 以上の非常に高い温度に達することでカンラン石が部分溶融し、それに伴う強度低下の結果として断層形成に至ることが明らかとなりました。本研究の結果は、深発地震の発生が深部プレート内部の『準安定カンラン石ウェッジ (MOW)』の表面付近に限定されることを意味しています。MOW の存在は地震波トモグラフィによって捉えることができるため、その領域を集中的に監視することで、今後深発地震の発生場所・発生頻度・規模などをモデル化していく上での手掛かりが得られるものと期待されます。(大内智博)



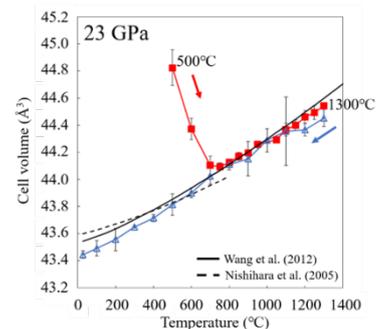
❖ マントル深部での含水スティショバイトの安定性

マントルやスラブを構成する鉱物には、結晶格子内に不純物として少量の水を含むことができるものがある。堆積岩や玄武岩などの地殻物質における代表的な鉱物である SiO_2 シリカ鉱物は、マントル深部の 10~70 GPa という幅広い圧力下でスティショバイトとして安定であり、少量の水を含むことが可能だと報告されている。従来、スティショバイト中の含水量は Al 含有量と関連していることが知られていたが、その含水量は Al_2O_3 を 4.4 wt% 含むスティショバイトでも最大 0.3 wt% であるとされていた (Litasov et al., 2007)。しかし最近の研究では、Al を含まないスティショバイトに 3 wt% 以上の多量の水が溶解する可能性が指摘されている (e.g., Spektor et al., 2016; Lin et al., 2020)。スティショバイトが水をどの程度取り込むかは、マントル深部における水の分布や水輸送効率に大きく影響するため重要である。

スティショバイトへの水の溶解は、水に飽和した系において格子体積が無水スティショバイトに比べ非常に大きな値を示すことなどから確認されている。マルチアンビル装置を用いた急冷回収実験 (Spektor et al., 2016) の結果がスティショバイトへの水の溶解は準安定的な現象である可能性を示唆している一方で、レーザー加熱式 DAC によ

る実験結果 (Lin et al., 2020; Nisr et al., 2020) は下部マントルで安定相として水を保持し得ることを支持しており、高温高压状態における含水 SiO_2 シリカ鉱物の安定性は正確に理解されていない。

そこで本研究では、SPring-8 の BL04B1 に設置されているマルチアンビル装置を用いた高温高压 X 線その場観察実験により、含水 SiO_2 高压相の格子体積を測定しその安定性を調査した。含水系の高温高压 X 線その場観察において大きな障害となっていた水の密封とその場観察の両立は、ダイヤモンド+金属複合体カプセル (松影他, 2022 JpGU) を用いることで実現し、セルを小型化し改良することで最大 30 GPa の圧力発生に成功した。出発物質は、含水量 9.8 wt% のケイ酸 ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) を使用して、圧力 13-29 GPa において最高 1300°C まで加熱した。一定荷重下の各温度で、試料に混合した金と試料の X 線回折パターンを取得し、圧力と試料の格子体積を算出した。実験の結果、加熱後に見られた SiO_2 高压相は常にスティショバイトであった。一部の実験では昇温・降温時に液体の水から氷 VII が生成することが観察され、このカプセル構成で水に飽和した系の実験が実現されていることが示された。横軸に温度、縦軸に格子体積をプロットした図を見ると分かるように、加熱初期の格子体積は無水スティショバイトの格子体積よりも非常に大きく、その過剰体積は最大で 2.8% であった。23 GPa の時の過剰体積の最大値から計算された含水量は、Nisr et al. (2017) で報告された常温常圧下における体積比と含水量の関係式から、3.5 wt% と見積もられた。しかし昇温とともに過剰体積は急激に小さくなり、700°C 以上では無水スティショバイトの格子体積に近い値を示したことから、昇温により脱水が起こっている可能性が高い。1000°C 以上では、無水スティショバイトの熱膨張曲線に沿って変化し、降温中も過剰体積は観察されなかった。また一定の温度における時分割 X 線観察から、時間経過とともに格子体積が累乗関数的に縮小することが分かった。これらの結果から、含水スティショバイトは 700°C 以下の低温に限って、準安定的に 1 wt% 以上の多量の水を保持し得ると考えられる。これは Spektor et al. (2016) の結果と調和的な結果であるが、Lin et al. (2020) らの結果とは大きく異なる。したがって本研究の結果から、下部マントルに沈み込む地殻物質中の SiO_2 スティショバイトが安定相として 1 wt% 以上の多量の水を保持する可能性は低いと考えられる。(高市合流: 愛媛大博士後期課程 1 年)



共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

❖ PRIUS 利用者の声



PRIUS の設備
利用型共同研究
として大型放射
光施設 SPring-8
設置の変形機構
付きガイドブロ
ックと GRC 設置
の微小領域 X 線
回折装置および

顕微ラマン分光装置を使わせていただいています。PRIUS を運営し、PRIUS 課題を審査・採択していただきまして、GRC スタッフおよび PRIUS 運営委員会委員の皆様へ感謝します。特に SPring-8 での超高压高温変形実験では西原遊先生と大内智博先生に、GRC での微小領域 X 線回折と顕微ラマン分光分析では境毅先生に大変お世話になっております。入舩徹男先生にはこちらの研究拠点の学外メンバーとして支援していただき、有り難うございます。

広島大学地球惑星システム学プログラムでは、川井型マルチアンビル高压発生装置を軸とした超高压高温実験室が立ち上がりました(写真)。井上徹先生の研究室の学生たちとともに超高压高温実験を行っています。2つの研究室に所属する学生は、計9名になり、12月からは仮配属の3年生も加わります。私の研究室では、博士課程後期へ1名、博士課程前期へ1名進学予定です。来年度は博士課程後期に進学する学生(山口和貴氏、写真左)が研究代表者として PRIUS 課題を申請する予定です。どうぞよろしく願いいたします。

地球惑星科学連合 2022 年大会では、GRC とこちらの学生たちが仲良く話しているのを見かけました。GRC も地球惑星システム学プログラムも展示ブースを出展し、ブースの場所が近かったのも良かったと思います。こちらの学生には「僕が学生の頃は GRC の学生さんと仲良くしてもらった」と話しています。PRIUS 課題による GRC 訪問や学会参加などを通して、愛媛大学や広島大学などの普段会えない学生たちが良い影響を及ぼしあい、成長し、研究が楽しくなるようになったら良いなあと思っています。

微力ながら GRC/PRIUS のお役に立てるように頑張りたいと思います。今後ともよろしく願いいたします。(川添貴章: 広島大学大学院先進理工系科学研究科准教授)

❖ PRIUS 利用者の声

ガラス材料は化学的・熱的耐久性に優れた材料

削減などを目的に薄肉化による製品の軽量化が進められています。しかしながら、材料の薄肉化は機械的強度の低下につながるため、その克服が大きな課題となっています。この問題を根本的に解決するためには、ガラスの変形・破壊挙動についてガラス構造の観点から理解することが重要です。ガラスの変形挙動には静水压応力による高密度化とせん断応力による流動の2つがあることが知られています。前者の静水压による高密度化の研究はこれまで多くの研究がなされてきていますが、後者のせん断応力による挙動に関する実験的研究はほとんど例をみません。そこで私は、広くガラス製品として利用されている「ホウケイ酸塩ガラス」にせん断応力を印加し、その変形挙動とそれに伴う構造変化を原子レベルで明らかにするため実験を行っています。この実験には、試料となるガラスの精密な加工が極めて重要です。私は学部4年生から GRC にある試料加工機(超音波加工機、ワイヤーソー)を利用させていただいています。加工したガラスは、本学設置の 50 ton プレス(HICONYAN)を用いて Paris-Edinburgh 型加圧による変形実験を行い、変形後の試料について様々な物性、構造解析を行っています。本年(修士2年)からは、3年間の研究の総仕上げとして、放射光実験施設(SPring-8)BL04B1設置の1500 ton D-DIA型プレス(SPEED-Mk. II)を用いてせん断応力による変形挙動のその場観察に取り組んでいます。GRCでの作業もそうですが、放射光実験でも大内先生をはじめ、大内研メンバーの方々へ強力なサポートをいただいています。

PRIUS は年に数回利用させていただいていますが、GRC で研究されている学生の姿や 3000 ton プレスを利用する同研究室の先生、学生を見ると研究のモチベーションが高まり、大変良い経験となっています。今後とも何卒よろしく願い申し上げます。(加藤豪起: 滋賀県立大学大学院工学研究科材料科学専攻修士2年)



編集後記: 技術補佐員の河田重栄さんが、5月25日にご病気により急逝されました。GRCスタッフ一同追悼の意を表すとともに、長年に渡るご貢献に心より感謝いたします。(T. I & Y. M.)



第6回 GRC イメージコンテスト作品募集中



【募集テーマ】 コロナ禍における活動Ⅲ

【募集内容】 GRC/PRIUS 関係者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.

