

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:
  - GRC設立20周年と今後の在り方
  - 大内智博准教授に学長特別賞
  - 満圭祐さんが高圧討論会ポスター賞受賞
  - 絵本「潜入地球」が中国で発売
  - 第4回GRCイメージコンテスト開催
  - 第7回 PRIUSシンポジウム開催
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ 新人紹介
- ◆ ALUMNIレポート No. 24
- ◆ 最新の研究紹介
- ◆ センター機器紹介
- 先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)

委員を含む全学の「GRC 在り方検討委員会」が昨年度設置されました。対面での委員会の開催は困難でしたが、このほどその結果が取り纏められ、報告書の内容が確定しました。

センターの活動評価に関しては、教育活動・研究活動・社会貢献・国際交流・広報活動の5つの項目に対して評価いただきました。これらのいずれにおいても高い評価をいただくとともに、全体評価も11名の委員全員がA評価と、極めて高い評価をいただきほつとしています。報告書の内容はGRCホームページにおいて公開するとともに、追って冊子体としても配布を予定しています。

報告書にありますように、今後のGRCの研究の方向性に関しては、動的地球科学・惑星深部科学・超高压材料科学をキーワードとし、それぞれ深発地震のメカニズムやマントル・核のダイナミクスと進化、太陽系内惑星やスーパーアース深部における物質の挙動、超高压を利用した新たな物質合成と新材料の開発、などを重点的に進める予定です。また教育においては、引き続き愛媛大学における学部・大学院教育を担当するとともに、とりわけ博士後期課程学生や博士研究員などの若手研究者の育成においても、大きく貢献することを目指します。

GRCは学術創成研究・特別推進研究・基盤研究(S)、新学術領域研究等の大型科研費を、設立以来ほぼ切れ目なく獲得することにより、またグローバルCOE拠点や文部科学省の重点的予算の採択などにより、世界でもトップクラスの地球深部科学・超高压科学の拠点として成長してきました。このような研究面や人材育成面での資源をもとに、2013年には共同利用・共同研究拠点化され、法人化第2期・第3期を通じて高い評価をいただきました。現在、第4期におけるPRIUSの申請をおこなっているところですが、引き続き拠点としてのコミュニティーへの貢献も重要な課題と考えています。

社会との連携強化も、今後のGRCの重要な課題です。研究成果の一般への発信については、これまでも様々な取り組みを実施していますが、今後

## ➡ センター長あいさつ ➡



入船 徹男

2001年4月に設立されたGRCも、この3月末でちょうど20年となりました。予期せぬコロナ禍の中、記念行事等は行わないことになりましたが、今後ともGRC及び共同利用・共同研究拠点「先進超高压科学研究拠点(PRIUS)」

をよろしくお願いいたします。

GRC設置後20年を迎えるにあたり、とりわけ過去10年間の活動に対する外部評価を受けるとともに今後の新たな方向性を検討するため、学外の

は SNS や動画配信などを通じた情報発信にも、より積極的に取り組んでいきたいと思えます。本ニュースレターにおいて紹介されているイメージコンテンツも、このような広報活動の一環であり、コロナ禍における GRC メンバーの様々な一面が紹介されています。また、PRIUS を通じた研究コミュニティとの連携に加え、超高压合成法を用いた新材料の開発などを通じ、産業界との連携も強化する予定です。

一方で、私自身もそろそろ第一線から退くことを念頭におき、新しい運営体制への移行やそれを支える支援体制の充実と役割分担の明確化を進めたいと考えています。本年度は、博士研究員時代から GRC で貢献いただいた教授 1 名、准教授 1 名が他大学へ異動になりましたが、新たに若手教員 2 名を採用することができました。この 20 年で大学を取り巻く状況も大きく変わりましたが、若手に自由に研究してもらい適度な人材流動を前提としながらも、革新的・学際的研究を国際的に推進する GRC の伝統を受け継ぎつつ、新しい方向性を打ち出していただければと思います。末尾になってしまいましたが、また遅まきながら、本年もよろしく願いいたします。



## ▼ センターの構成 ▼

(R3. 3. 1 現在)

### ❖ 超高压合成部門

入船徹男 (特別荣誉教授)  
大藤弘明 (教授：東北大学兼任)  
大内智博 (准教授)  
Steeve Gréaux (助教)  
井上紗綾子 (助教) (R3. 2. 1-)  
桑原秀治 (助教) (R3. 3. 1-)  
國本健広 (特定研究員)  
近藤 望 (WPI研究員) (R3. 3. 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)  
Sebastian Ritterbex (特定研究員)

### ❖ 物性測定部門

西原 遊 (教授)  
河野義生 (准教授)  
境 毅 (准教授)  
大平 格 (WPI研究員)

### ❖ 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)  
石川史太郎 (准教授：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)  
河田重栄 (技術補佐員)  
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 (立正大学地球環境科学部特任教授)  
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)  
客員准教授 丹下慶範 ((公財) 高輝度光科学研究センター回折・散乱推進室主幹研究員)  
客員准教授 西山宣正 (住友電気工業(株) アドバンスドマテリアル研究所主幹)

### ❖ 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  
十河幸子 (副課長)  
和田まどか (事務職員)  
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)



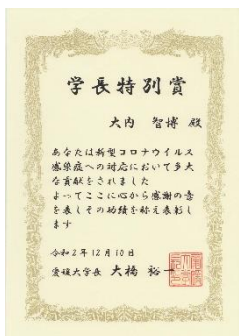
## ▶ NEWS & EVENTS ▶

### ❖ GRC 設立 20 周年と今後の在り方

GRC は文部科学省令に基づく施設として 2001 年 4 月に設立され、この 3 月でちょうど 20 年が経過しました。GRC では 10 年ごとに全学的に「在り方検討委員会」を組織し、学外委員も含めて過去 10 年間の実績の評価と、今後 10 年のセン

ターの方向性について検討を行っています。このたび同委員会による報告書が、委員長の宇野英満先端研究・学術推進機構長により取り纏められました。この結果、これまでの活動に対して高い評価が得られるとともに、今後も先端研究や研究人材育成面で愛媛大学を代表する特色ある研究拠点として、さらなる発展が期待されています。報告書の内容は GRC ホームページにおいて公開されるとともに、近く冊子体として配布される予定です。なおコロナ禍の現状に顧み、20 周年記念行事については見送ることとなりました。

#### ❖ 大内智博准教授に学長特別賞



新型コロナウイルス対応において顕著な功績があった者を対象とした学長特別賞表彰を、GRC の大内智博准教授が受賞し、12 月 10 日に表彰式が行われました。

大内准教授の受賞理由は、「独自の超高压装置制御システムの開発による共同利用実験のリモート化」で、

VPN 通信ソフトウェアを利用することにより、学外から GRC の一部の超高压実験装置の圧力・温度のリモート制御することを可能にしました。これにより、GRC が運用する共同利用・共同研究拠点 PRIUS における共同利用実験が、九州大や静岡大などから遠隔操作で行われるなど、コロナ禍における拠点活動の継続において重要な効果が得られています。

#### ❖ 満圭祐さんが高圧討論会ポスター賞受賞

日本高圧力学会が主催する第 61 回高圧討論会で、満圭祐さん（理工学研究科博士前期課程 2 年）がポスター賞を受賞しました。

令和 2 年度の同討論会は 12 月 2 日～4 日の 3 日間にわたり、オンラインで開催されましたが、ポスター賞にエントリーした学生発表 38



件の中から、参加者の投票により 5 名の発表者が賞に選ばれ、愛媛大学からは、満さん（指導教員入船徹男 GRC 教授）が化学・材料系分野において受賞しました。発表タイトルは「高温高压下における jadeite ガラス弾性波速度変化とナノ多結晶化過程」で、ヒスイ輝石 (jadeite) 組成ガラスの結晶化に伴う弾性波速度測定と合成実験の結果に

基づき、jadeite のナノ多結晶化過程についての発表をおこないました。受賞者の満さんには、討論会 3 日目に開催された同学会総会において、賞状と副賞が授与されました。

#### 【参照 HP】日本高圧力学会 (JSHPST)

<https://www.highpressure.jp/>

#### ❖ 絵本「潜入地球」が中国で発売

入船徹男センター長と、絵本作家の関口シュン氏によって 2019 年 11 月に発刊された絵本「地球の中に、潜っていくと・・・」(福音館書店)の中国語版「潜入地球」が、北京科学技術出版社から発売になりました。



「地球の中に、潜っていくと・・・」は、福音館書店の

「たくさんさんのふしぎ」シリーズの一つとして発刊された後に、北京科学技術出版社から中国でも発行したい旨の問い合わせがありました。両者による協議の後、北京科学技術出版社による翻訳が行われ、このたびハードカバーの単行本として中国全土での発行が実現しました。

本絵本の発行は中国の児童教育に貢献するとともに、両国の研究・教育交流にとっても重要であると思われます。GRC ではこれまで中国から、40 名程度が博士課程学生・研究員・教員として在籍・滞在しており、また GRC が運用する共同利用・共同研究拠点 PRIUS の活動や、3 つの中国研究機関との学術交流協定などを通じて、中国との間で多くの人的交流があります。本冊子の出版においても、GRC で博士課程を修了した周佑黙博士（現九州大学研究員）に、専門的見地からの訳文最終校正をお願いしました。写真は元 GRC 研究員の Xianlong Wang 中国科学院固体物理研究所教授の娘さん。

#### 【書誌情報 (2019 年 11 月発刊日本語版)】

「地球の中に、潜っていくと・・・」入船徹男 (文)・関口シュン (絵) 福音館書店「たくさんさんのふしぎ」シリーズ 2019 年 12 月号

#### 【リンク先】福音館書店

<https://www.fukuinkan.co.jp/book/?id=5854>

#### ❖ 第 4 回 GRC イメージコンテスト開催

GRC では広報活動と PRIUS における交流活動の一環として、GRC 構成員や PRIUS ユーザーを主な対象として、写真や動画などを中心とした「イメージコンテスト」を開催しています。第 4 回目を迎える 2020 年度のコンテストは、コロナ禍における

活動をテーマに、研究活動に無関係な作品も含め幅広く募集しました。委員長の土屋旬 GRC 准教授のもとには、50 件近い応募作品が寄せられ、オンラインツールを用いた作品の展示とコメントのやり取り、また投票もオンラインで行われました。投票にはアメリカやオーストラリアからも参加いただき、12 月 18 日に開票の結果 13 件が受賞作品として選出され、同日夜にやはりオンラインで開催された GRC 忘年会において発表されました。なお、受賞作品は本ニュースレターの最後に掲載しています。

#### ❖ 第 7 回 PRIUS シンポジウム開催

2021 年 3 月 2 日 (火) に、共同利用・共同研究の成果報告会を兼ねた「第 7 回 PRIUS シンポジウム」をオンライン方式で開催しました。昨年度はコロナ禍の影響で直前に中止としましたので、今回は 2 年ぶりの開催となりました。また、ポスタ

一発表は行わず、超高圧物性測定をキーワードに依頼講演 8 件のみとしました。オンライン方式での開催ながら、約 60 名の参加者があり、発表された最新の研究成果に関して活発な議論が行われました。

【日時】2021 年 3 月 2 日 (火) 13:00-17:00

【開催方法】オンライン方式 (Zoom 利用)

#### 【プログラム】

[セッション 1] (司会: 河野義生)

入船徹男 閉会あいさつ

尾崎典雅・片桐健登 (大阪大)

ハイパワーレーザーと SACLA を用いた NPD の衝撃圧縮実験

佐藤友子 (広島大)

ブリッジマナイトの衝撃圧縮挙動

木村友亮 (岐阜大)

ブリュアン散乱分光法を用いたアンモニアの超イオン相の弾性波速度測定

東真太郎 (東京工業大)

回転式 DAC を用いた超高圧変形実験から考察する下部マントルとスラブの強度コントラスト

[セッション 2] (司会: 出倉春彦)

境 毅 (愛媛大)

DAC×FIB で拓く 高压技術

石松直樹 (広島大)

NPD を用いた X 線吸収分光による 高压物性研究の現状

中本有紀 (大阪大)

水素加圧に向けたダイヤモンドアンビルセルによる 压力発生技術開発

高野義彦 (物質・材料研究機構)

電極導入型 DAC による水素化物の 压力下物性

西原遊 閉会あいさつ

#### ▶ 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)

4 月 予定なし

5 月

5/14 “Mn(II) oxidation catalyzed by nanohematite surfaces and structural evolution of product Mn oxyhydroxides by self-catalytic reaction”

Dr. Sayako Inoue (Assistant Professor, GRC)

#### ❖ 過去の講演

第536回 “Thermal conductivity of Super Earth’s mantle”

Dr. Haruhiko Dekura (Lecturer, GRC)

2020. 10. 30

第537回 “Sound velocities of subducted basaltic crust in the deep mantle”

Dr. Steeve Gréaux (Assistant Professor, GRC/ELSI-ES)

2020. 11. 6

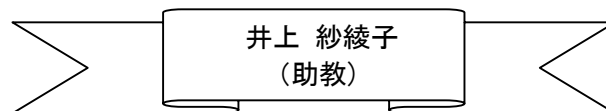
第538回 “Two-dimensional numerical experiments on thermal convection of highly compressible fluids with variable viscosity and thermal conductivity: Implications for mantle convection of super-Earths”

Dr. Masanori Kameyama (Professor, GRC)

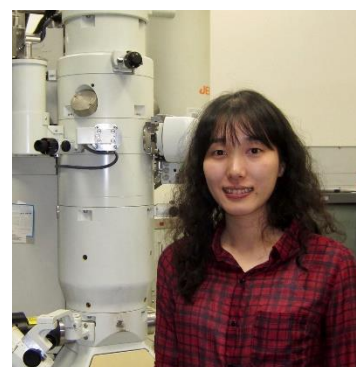
2020. 11. 20

- 第539回 “A challenge to observe the process of faulting in rocks at high pressures”  
Dr. Tomohiro Ohuchi (Associate Professor, GRC) 2020. 11. 27
- 第540回 “Structural evolution of SiO<sub>2</sub> glass and amorphous TiO<sub>2</sub> at high pressures”  
Dr. Yoshio Kono (Associate Professor, GRC) 2020. 12. 11
- 第541回 “Applications of NPD to high-pressure science and technology; some recent advances and future perspectives”  
Dr. Tetsuo Irifune (Professor, GRC/ELSI-ES) 2020. 12. 18
- 第542回 “Role of deep water cycle on the core-mantle interactio”  
Dr. Masayuki Nishi (Associate Professor, GRC) 2021. 1. 15
- 第543回 “Interaction between cerium and H<sub>2</sub>O in hydrous rhyolitic melts”  
Dr. Nozomi Kondo (Post-Doctoral Fellow, GRC) 2021. 2. 12
- 第544回 “High pressure generation over 4 megabar”  
Dr. Takeshi Sakai (Associate Professor, GRC) 2021. 2. 19
- 第545回 “Application of nano-polycrystalline diamond to high pressure experiment using multianvil apparatus with 6-8-2 type system”  
Dr. Takehiro Kunimoto (Post-Doctoral Fellow, GRC) 2021. 2. 26
- 第546回 “First-principles investigation of tilt grain boundaries in (ferro)periclase”  
Dr. Sebastian Ritterbex (Post-doctoral Fellow, GRC) 2021. 3. 5
- 第547回 “Thermal and chemical interactions between the core and mantle”  
Dr. Taku Tsuchiya (Professor, GRC) 2021. 3. 19
- .....

◆ 新人紹介 ◆

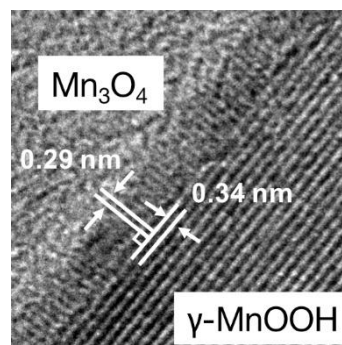


2021年2月1日付けで助教として着任いたしました井上紗綾子と申します。私は2016年に東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻で博士号を取得し、卒業後は米国バージニア工科大学で3年間と東大で1年半ポスドクとして過ごし、この度GRCに参りました。



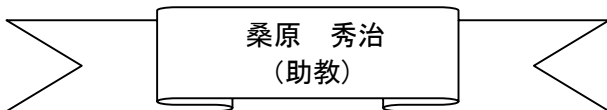
私は周囲の環境との相互作用に伴う鉱物の結晶構造や化学組成の変化を主に高分解能電子顕微鏡法を用いてナノスケールで明らかにし、その形成機構を明らかにしようと研究を行ってきました。特に、ナノメートルオーダーの粒径で存在する鉱物の地球上での挙動に興味を持ち、これまで粘土鉱物や金属水酸化物鉱物について研究してきました。粒径がナノメートルサイズの場合にはマイクロメートルスケール以上の場合と異なる性質を持ち、粒径が小さいことで莫大な比表面積や界面を持つため、環境変化の影響をより敏感に受けると考えられています。しかし、その粒径の小ささから直接的な観察や解析が難しく、実際に地球科学的な現象においてナノメートルサイズ鉱物がどのような役割を果たすのかはまだ十分な検討がされていません。

私は高分解能透過電子顕微鏡法 (HRTEM) を用いてほぼ原子レベルで結晶構造を直接観察しナノメートルの世界をより精密に理解しようとしてきました。その一例をご紹介します。水溶液中で赤鉄鉱ナノ粒子を触媒とするMn(II)の酸化実験を行い、その生成物の変化をHRTEM観察などで解析しました。その結果、赤鉄鉱を触媒としたMn(II)酸化反応によりMnOOHナノ粒子が生成された後、生成物MnOOHナノ粒子自身を触媒とする水溶液中の残留Mn(II)の酸化反応でMnOOHナノ粒子表面に厚さ3nmほどMn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>外殻層が形成されたことを明らかにしました(図)。このような水とナノ粒子界面でのわずかな表面構造の変化を直接観察できることはHRTEM観察の大きな強みです。そして、



わずか数nmの外殻層が界面に存在するだけで、水溶液中での生成物ナノ粒子の地球化学的な挙動は大きく変化すると予想できます。同様の構造を持つ天然Mn水酸化物の報告は(まだ)ありませんが、環境との界面であるナノ粒子表面構造のナノスケールでの変化をナノスケールで解析することは、地球化学的な現象を理解する上でとても重要だと提案しました。今後は金属(水)酸化物鉱物の電気化学的な性質と構造変化の解析を合わせて行い、ナノメートルサイズ鉱物の触媒としての性質と結晶構造の変化をより具体的かつ体系的に明らかにしたいと考えています。また、層状珪酸塩鉱物の結晶構造の安定性へのサイズ効果の影響についても研究したいと考えています。

ここまでで、私がこれまで地球深部科学とは縁遠かったことに皆様お気づきかもしれません。しかし、私が研究対象とする粘土鉱物や金属水酸化物鉱物は地球深部に存在する物質と同様に電子線損傷を受けやすいという共通点があり、それら物質の解析を行うためのノウハウは高压実験で合成された物質などの解析に貢献できるのではないかと思います。また、TEMの地球深部科学への更なる応用のために、技術改良や開発にも取り組みたいと考えています。私個人の研究としても、層状珪酸塩鉱物や金属水酸化物鉱物の結晶構造変化に圧力というパラメーターを加えることで、これまで環境科学的な観点から語られることが多かったナノメートルサイズ鉱物の物性や結晶化学的な特徴について新たな視点で研究できるのでと期待しております。皆様と議論や共同研究ができることを楽しみにしております。これからどうぞよろしくお願い申し上げます。



3月に着任致しました桑原秀治です。昨年4月から今年2月までは岡山大学惑星物質研究所に在籍しておりました。前任地も大変居心地は良かったのですが任期付きということもあり、就職活動をしているなかで運よく

GRCに採用していただきました。GRCには2016年7月から2020年3月までの約4年間も特別研究員として在籍していたことがあり、センターの多くの方はすでにご存知だとは思いますが、改めて自己紹介をさせていただきます。

私は生命の起源と進化を育む地球表層環境がどのように形成、維持されてきたのか?とくに生命誕生以前の初期表層環境に興味を持って研究を行っております。大学院時代は同じ研究室とは思

えないほど手法、対象がばらばらな学生が在籍した研究環境で学生生活を送りました(月の熱史に関する理論的研究、惑星探査機への搭載を目指した分析機器開発、惑星大気の光化学反応に関する実験的研究等)。そのせいか、私も勝手気ままに研究テーマを考え、良くも悪くもマイペースに研究を行うことができました。もともと深く物事を考えるのが苦手なせいか、なるべく単純な問題設定を行うことで簡単な実験や計算によって地球の初期表層環境を推定する研究に取り組んできました。ここ5年ほどは惑星内部の核やマントルが表層環境(大気、海洋や酸化還元状態)に与える役割を解明することに興味があり、今後もしばらくは高压実験を主軸にした研究を行いそうだなと感じております。GRCでは核-マントル間の揮発性元素同位体分別やマントル酸化還元度の鉛直分布に関する実験的制約を行い、地球の揮発性元素の起源や内部循環、そして酸化的大気の変遷を考える上で重要な課題に取り組んでいく予定です。

もともと手法問わず研究を行ってきたり、ろくに学会参加もしてこなかったため、そもそも存在が認識されていなかったり、何が専門なのか自分でもよくわからないのが目下の悩みではありますが、対象は一貫して地球型惑星形成直後の初期表層環境に関する研究を行っているつもりです(たまにその時々で興味の沸いた上記以外の研究を行うこともあります)。今後はGRCの環境を生かしたここでしかできない実験にも取り組みたいと思いますが、誰でもできる実験を誰もが思いつかない視点で行っていくことも大事にしながら研究を進めていきたいと考えております。皆さまどうぞ宜しくお願い致します。



▶ ALUMNI レポート②▶

❖ GSECARS, University of Chicago  
Research Professor, Yanbin Wang

The COVID-19 pandemic has significantly impacted lives in the whole world. After my February / March 2019 visit to GRC, I have not been able to come to Matsuyama to meet my colleagues and friends, unfortunately. But life goes on one way or another, so does scientific research.



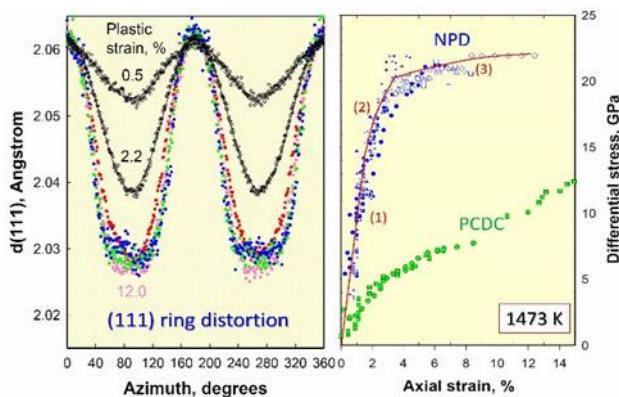
In an issue of the GRC Newsletter in 2016, I gave a report on strength of

polycrystalline diamond composites (PCDCs) using NPD as deformation pistons, a project in close collaboration with GRC staff members. The current report is extension of that study, completed last year, on plastic deformation of NPD itself, using NPD as deformation pistons. This is an international collaboration with Profs. Tetsuo Irifune, Hiroaki Ohfuji, and Dr. Toru Shinmei at GRC, Prof. Bin Wen of Yanshan University (Qinhuangdao, China), Dr. Norimasa Nishiyama (now at Sumitomo), and Drs. Feng Shi (now at China University of Geosciences, Wuhan, China), Tony Yu, Timothy Officer, Julien Gasc (now at École Normale Supérieure, Paris, France), and myself at GSECARS of the University of Chicago.

To measure the strength of NPD under high pressure and temperature in-situ, we rely on the so-called lattice strain, defined for any diffraction line with an index  $hkl$ , as

$$\varepsilon_{lat}(\psi) = \frac{d_{hkl}(\psi) - d_{p(hkl)}}{d_{p(hkl)}} = Q_{hkl}(1 - 3\sin^2\psi) \quad (1)$$

where  $\psi$  is the azimuth angle measured in an area detector ( $0^\circ$  being perpendicular to the vertical maximum principal stress),  $d_{hkl}(\psi)$  is the lattice spacing at a given P, T, and stress, and  $d_{p(hkl)}$  is the hydrostatic  $d_{hkl}$  under the P-T condition. Differential stress is calculated from the Q factor in Eq. (1) using an appropriate shear modulus. A striking feature of NPD after  $\sim 5\%$  strain is the unusual “saturation” of lattice strain, showing severely flattened bottoms when plotted as a function of diffraction azimuth angle (left panel of the figure). The conventional fit (black thin curve in the inset) using Eq. (1) fails to describe the observed behavior.



Transmission electron microscopy (TEM), conducted by Prof. Ohfuji on recovered samples, reveals several interesting

features: (1) there are very few free dislocations even after large plastic deformation, (2) nanotwinning increases with plastic strain, and (3) nanograins develop domain structures with small misorientations. The last observation is particularly interesting, as numerous recent studies have shown that as grain size is reduced to a few 100 nm, lattice rotation becomes an increasingly important mechanism for plastic deformation in nanostructured metals and oxides. Our study suggests that lattice rotation is also an important mechanism for plastic deformation in strong covalent nanomaterials like NPD. This is the first time when lattice rotation is observed in diamond. These conclusions are supported by molecular dynamics (MD) simulations conducted by Prof. Bin Wen.

Because of the unusual shape of the lattice strain, a correction scheme was developed for evaluating the strength of NPD. In the right panel of the figure, blue symbols are strength data of NPD at 1473 K ( $\sim 10$  GPa). Deformation of NPD is divided into three stages as illustrated by the red curve. Stage 1 is elastic. The lack of existing defects such as dislocations in the undeformed material requires higher stress to create new defects. Stage 2 is dominated by nanotwinning, which further strengthens the material, with rapid increase in strength. Stage 3 is dominated by lattice rotation. As a result, the overall strength of NPD is markedly higher than the Sumitomo polycrystalline diamond composite (PCDC; green symbols), whose deformation is controlled primarily by dislocation slip, with continuing strain hardening.

This study is the first to quantitatively evaluate strength of NPD under plastic deformation at high P and T and should shed light onto mechanisms of strengthening and deformation in nanograined polycrystalline diamond. Our manuscript has been submitted to ASC Nano and is currently under review. I am grateful to all collaborators, especially those at GRC, for their valuable contributions to this study.

❖ 九州大学大学院理学研究院

学術研究員, 周佑默

Greetings, dear GRC members, today (Feb 12th) is the first day of the lunar year 2021.

For the past year was extremely abnormal, I wish you a normal but happy new year.



I stayed at GRC for 7 years since Nov 2013 as PhD foreigner student and post-doctor. Thanks to my supervisor, Prof. Irifune, and many other GRC members, I did enjoy very peaceful time in GRC and also Matsuyama.

When I was a master student, I used high-pressure presses to make diamonds. In the second year of the master course, I got my first opportunity to come to Japan and visit Muroran Institute of Technology as short-term exchange foreigner student. It is this journey that impressed me with the beauty of Japan and the university education and research. At that moment, I found the will of learning more about Japan and science. Also, at that moment, I started to know the nanopolycrystalline diamond synthesized by Prof. Irifune's group. Then I wrote short messages to Prof. Irifune and inquired the possibility of entering his group. So luckily, I thought I was too small to notice and also my messages should be abrupt, while Prof. Irifune responded positively and approved my application soon. So, after I finished my master course, I joined Prof. Irifune's team and became a member of GRC.

The beginning is always the most difficult part for many things. First, I turned to start learning Earth science. Second, I got to be used to the multianvil technique and many other experimental and analytical devices. Although neither were easy for me, I really enjoyed the learning and training process, since GRC gathers many smart brains and provides excellent conditions for research.

Indeed, the experiments were my favorites, although a bit tough. Until my graduation, I finally established my experimental tricks and style by many tests, self-consideration, following many suggestions, and "spying", and started to be satisfied with the quality of my experiments.

In GRC, I used to do quite simple, relatively cheap multianvil experiments, but at quite high temperatures above 2300 K. However, such high temperatures were not so easily generated previously. Benefitting from

the quite high temperatures, we luckily got the chances to meet a series of new aluminous silicates at high pressures. They are the Na end-member of  $\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{11}$  (CAS) phase,  $\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.8}\text{AlSi}_3\text{O}_8$  hollandite, two  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  phases, and an  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  phase. These are the main products that I obtained in GRC.

At the end of Nov 2020, I left GRC for new challenges in Prof. Kubo's group of Kyushu University. Although my leaving was a little abrupt, it is better for me to do something different outside GRC, since I have already stayed at GRC for 7 years. In the past, I did many simple, repetitive experiments. From now on, I may do some well-designed and much more complicated experiments. Prof. Kubo also runs a pretty good laboratory. I will be happy to work in his group.

I have been in Kyushu for about 2 months. My life in Japan is quite simple, so the new environment did not trouble me at all. On the contrary, I like the open and a little wild field around the university's campus where I can find peace as well. By the way, there is a place named "Susenji" nearby (see the photo). This place name somehow relates to me. The first two symbols represent me and Prof. Irifune, and the last one forecasts the bright future on my head. Let us see in the future. Thank you very much again.



## 最新の研究紹介

### ❖ 超高温高圧法を用いたダイヤモンドの電子材料機能開発

タイトルは、今度博士後期課程を修了した福田玲さんの論文名です。名前のお通りですが、博士課程では、ダイヤモンドの電子材料としての機能探求を、GRCの超高压技術、ヒメダイヤを利用して頂き実施しました。今回の紹介の機会を頂きましたので、福田さんの期間中の研究についてご紹介させていただきます。



ダイヤモンドは高い絶縁破壊電界や移動度など、優れた半導体としての物性を持っています。これを利用した各種電力変換に利用されるパワーデバイスが実現すれば、輸送機器や家電などの大幅な小型化、省エネ化が期待できます。さらに窒素-空



孔結合欠陥(N-V センター)のような、量子磁気センサー、量子光源としても実用の期待が高まりつつあります。このような背景のもと、超高温・高圧技術で可能になるダイヤモンドの電子材料機能を探し求めて、以下のような将来有望な結果が得られたと考えています。

①ヒメダイヤが半導体になるかも： ヒメダイヤの導電性を調べたところ、ドーピングを施さない状態で、800°Cでは  $4 \times 10^2 \Omega \text{cm}$  の抵抗率とホール移動度  $2 \text{cm}^2/\text{Vs}$  を示しました。これは現状でも有機半導体などとは競合可能な数値で、電気が流れるレベルまでドーピングが実施できればヒメダイヤならではの強靭さ、光透過性能などを活かした特徴的な半導体ができる可能性があるのではと考えています。また、透明な単結晶よりも強い光吸収を示すことから、レーザー照射による導電性電極形成が容易であることも見出すことができました。

②流れなかった電気が流せるかもしれない： ダイヤモンドに電気を流すためには、一般的には導電性を示す不純物を格子置換で導入し、その周辺欠陥を低減して高純度化するか、所望の配位に制御する、ということが必要になります。ひとつは、ヒメダイヤ合成時に導電性を示すBやPを含む素材を同時に封入することで、それらがダイヤモンドの中に微結晶として導入できることがわかりました。また、単結晶ダイヤモンドにイオン注入でBやPを導入した試料では、高温・高圧処理後の明瞭な結晶性回復と、他の環境起源不純物の低減が得られました。この結果は、青色LEDが実現した際、GaN中のMgドーパントp型活性化に発案されたアニーリング処理と非常に似た振る舞いです。ダイヤモンドの導電性発現までは到達しませんでしたでしたが、今後の不純物導入、機能発現に非常に有望な結果だと考えています。

③Sn-Vセンター活性化に成功： 上記②と同様にSnをイオン注入して高温・高圧処理を実施することで、世界でもまだ成功例は少ない量子光源として期待されるSn-Vセンターを活性化させることができました。ピーク位置 1.999eV、2.003eV、それぞれ半値幅 2meV の鋭い発光を、77Kの温度帯域まで観測することができました。

以上の福田さんの期間の取り組みから、ダイヤモンドの電子・量子機能開発への超高温・高圧合成技術の有効性を示してもらえました。どのような形の研究ができるかもわからない当初から、福田さんの途切れることのない取り組みで、ここまでの確かな知見に醸成させてくれました。この間GRCから頂いた多くのサポートに心からお礼申し上げます。将来に夢が膨らむ貴重な知識・技術基盤を築いてもらえたと思いますので、また新たなスタートとして、未踏のダイヤモンド機能発現へむけ研究に取り組んでいければと思います。(石川史太郎)

## センター機器紹介

### ❖ 炉床昇降式高温電気炉 SPM65-17

昨年度末にGRCに新たな装置として炉床昇降式高温電気炉SPM65-17が導入されました(写真)。SPM65-17は小型ですが最高1700°Cの超高温加熱が可能な電気炉です。炉床昇降式により試料の設置も容易であり、またPIDプログラム制御により低温から高温まで



安定した加熱を簡単に行うことができます。炉内の大きさは、直径65mm、高さ120mmと非常に大きい空間があり、大サイズのるつぼを使用することが可能です。それにより、大型の試料の焼成や融解、ガラス作成、高温処理などに幅広くかつ簡便に使用できると考えています。特に、これまでGRCで一般的に使用してきた高温雰囲気炉と比べて、より大型のるつぼを使用することが可能であるため、大型試料を用いた試料合成などの用途に力を発揮すると期待されます。例えば、GRCで現在活発に研究されているナノ多結晶セラミックスの合成(例えば、Irifune et al., 2016, Nature Communications, 7, 13753)や弾性波速度測定用の高品質の焼結試料の合成(例えば、Greux et al., 2019, Nature, 565, 218-223)に使用するための出発物質として、大型のガラス試料の合成などが可能になると考えています。一方、今回導入した炉床昇降式高温電気炉は大気条件下での使用に限定されます。そのため、酸化還元状態を制御した試料合成には、従来より使用している高温雰囲気炉が有用になります。GRCに現在設置されている2種類の高温雰囲気炉と今回導入した炉床昇降式高温電気炉を用途ごとに使い分けることにより、より効率の良い試料合成が可能になると考えています。(河野義生)

# 共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

## ❖ PRIUS 利用者の声

My research is focused on understanding local structure in silicate glasses, melt and aqueous relevant to geochemical processes. I have been using X-ray absorption spectroscopy (XAS) as a major tool to study these properties in-situ at high temperature and pressure using diamond anvil cells. The access to nano-polycrystalline has opened fantastic new ways in studying these systems as XAS is spoiled by the Bragg peaks of the single-crystal diamond anvils, i.e. particularly EXAFS becomes impossible. With the NPD-anvils provided by Prof. Irifune through the GRC-PRIUS program and with Dr. Angelika Rosa of the XAS beamline BM23 at ESRF we were able to investigate the local structure of Ge in chemically complex germanate and Ge-doped silicate glasses up to 165 GPa (Krstulovic et al. 2020, 2021), which is to my knowledge among the highest pressure reached for EXAFS on this type of glass. Ge and Si in these glasses convert from tetrahedral to octahedral coordination at pressures between 20 and 60 GPa. At higher pressures, our data show that the coordination number of Ge does not change further up to the pressures investigated and the polyhedron shows a compression behavior distinct from that in simple  $\text{GeO}_2$ . Further, we could, for first time, constrain the local structure of Sr in silicate glass up ca. 45 GPa, which also shows a significant increase in coordination number (6 to ca. 9, Krstulovic et al. 2021). Finally, we have measured for the first time XANES spectra during laser-heating up to ca. 4000 K at ID24, ESRF, showing that the transition from tetrahedral to octahedral coordination in the melt is shifted to lower pressure at high temperature (Krstulovic et al. in prep.).



Krstulovic M., Rosa A.D., Biedermann N., Spiekermann G., Irifune T., Munoz M., Wilke M. (2020), Ge coordination in  $\text{NaAlGe}_3\text{O}_8$  glass

upon compression to 131 GPa. *Physical Review B*. 101, 214103. doi: 10.1103/PhysRevB.101.214103  
Krstulovic M., Rosa A.D., Biedermann N., Irifune T., Wilke M. (2021), Structural changes in aluminosilicate glasses up to 164 GPa and the role of alkali, alkaline earth cations and alumina in the densification mechanism. *Chemical Geology*, 560, 119980. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119980>

(Max Wilke : Professor, Institute of Geosciences, University of Potsdam)

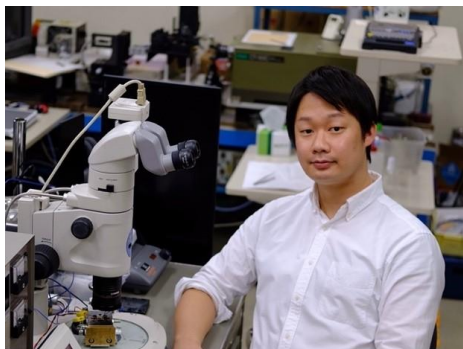
## ❖ PRIUS利用者の声



The first time I heard about PRIUS was in 2014, when I was about to move from Carnegie Institution for Science to join colleagues at the Geodynamic Research Center of Ehime University as postdoc. This research program appeared to me as a valid opportunity to work on fundamental aspects of the petrology of the Earth's interior by performing experiments with MADONNA press at GRC. As I am very interested in the oxygenation of the deep mantle through time and its implications on the mobilization of carbon to form diamonds and  $\text{CO}_2$ -rich magmas, the possibility to perform experiments at pressures greater than 25 GPa has been a unique opportunity, but also a great honor due to the high cost of the employed sintered diamond anvils necessary to generate very high pressures. Along with the technical support of GRC collaborators, I was able to synthesize mineral assemblages consisting of bridgmanite, ferropericlase, FeNi alloy, diamonds and carbonates that are representative of a lower mantle oxidised by interaction with subducted

CO<sub>2</sub>-rich fluids. Since I became professor at Sapienza University of Rome at the end of 2015, PRIUS has supported my visit but also the visit of some of my students that were happy to get in touch with the international scientific environment at GRC, and learn a bit of experimental petrology. Over these years, my scientific interests have expanded to the rheology of volatile-rich magmas, mineralogy of the subducted slab and planetary geology. I am very grateful to Director Irifune-sensei and to all the scientific members of the GRC for establishing and sustaining the PRIUS program. Thanks to the different types of PRIUS collaborative research projects, I will be able to collaborate with GRC colleagues also during the COVID-19 pandemic. (Vincenzo Stagno : Associate Professor, Department of Earth Sciences, Sapienza University of Rome)

#### ❖ PRIUS 利用者の声



氷やガス、またそれらからなるガスハイドレートは氷惑星や氷衛星の主要な構成物質であると考えられています。特に、ガスハイドレートの代表的な物質であるメタンハイドレート (MH) は、土星最大の衛星タイタンにおいて、その内部に大量に存在し、大気に数%含まれるメタンの供給源となり得ることが報告されています。そのため、タイタン内部条件におけるMHの安定性を明らかにすることは、大気組成が地球の原始大気に類似しており、原始的な生命や生命誕生の謎を解く手掛か

りとしても注目されるタイタン探査の重要な一歩となります。

そこで私達のグループでは、タイタンの内部条件を再現したH<sub>2</sub>O-CH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>系におけるMHの高温高压挙動を調べ、得られた実験結果に基づきタイタンの内部構造および大気メタンの起源の検討を行うための研究を進めており、PRIUS共同利用では高温高压下におけるMHの融解・固相分解を判断する上で強力な手法となるラマン分光と外熱式DACを組み合わせたその場観察実験を行っています。本研究は愛媛大学の宋雪然さん(平成30年3月卒業)と立正大学の町田憲治さん(令和2年3月修了)の学位論文研究でもあるため彼らと試行錯誤しながら進めてきましたが、2人の尽力もあり、現在までにMHの室温高压相転移と高温高压安定性に与えるアンモニアの影響を議論した論文を2報公表するに至っています(Kadobayashi et al. (2020) J. Phys. Chem. A 124, 10890-10896; Kadobayashi et al. (2020) J. Phys.: Conf. Ser. 1609, 012006)。共に研究を進めてきた宋さんと町田さんには二人三脚の相手が不慣れなせいで苦勞もかけましたが、初めてテーマ設定から学生と行った研究の成果を世に出せたことには、これまでとは違った喜びがありました。

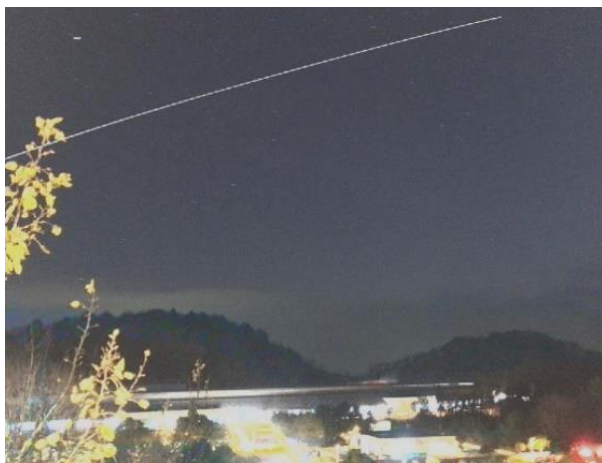
このような研究・教育経験の機会を提供いただきました大藤先生はもちろんGRCの教員・事務の皆様にはいつも親切に対応いただき感謝しております。とりわけ今年度はコロナ禍にも関わらず円滑に実験を行えるよう様々なご配慮をいただきましたこと、この場をお借りし重ねて感謝申し上げます。今後は氷衛星のみならず天王星や海王星などの巨大氷惑星を対象とした多様な氷天体内部におけるC-O-H-N系物質の高温高压挙動を調べていきたいと考えております。PRIUS共同利用でのレーザー加熱DACによる実験も計画しておりますので、来年度もお世話になるかと思いますが、引き続きよろしくお願い致します。(門林宏和:物質・材料研究機構日本学術振興会特別研究員)

編集後記：コロナ禍でのイメージコンテストにより、GRC関係者の新たな一面を見つけることができました (T. I & Y. M.)。

# GRC image contest 2020: "Under the pandemic"

## 受賞作品

1位: 「SPring-8 から観察した国際宇宙ステーション」



2位: 「松山城」



3位: 「実験室」



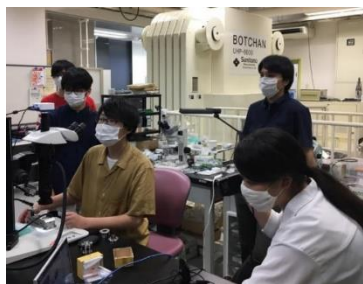
4位: 自粛生活賞  
「自粛の成果」



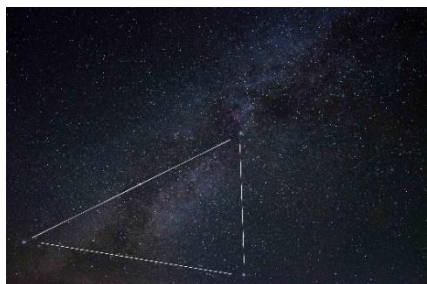
4位: センター長賞  
「初めての SPring-8」



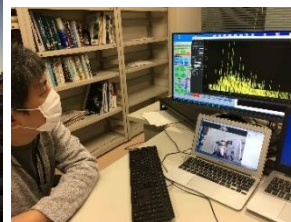
4位: 研究継続賞  
「密です」



4位: 風景描写賞  
「夏の大三角」



以下5位:  
「刹那のヒメダイヤ」「海を越えての実験」



「目をつぶればハワイ」

「リモートワークの進まない方、  
監視員派遣します」

「休日の午後」

「暇をもてあました神々」

