



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:
 - PRIUSが共共拠点期末評価で高評価
 - 第8回PRIUSシンポジウム開催
 - 第3回新学術領域研究「核-マントルの相互作用と共進化」研究集会の開催
 - 第5回GRCイメージコンテスト2021結果報告
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ ALUMNIレポート No. 27
- ◆ 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)

用数が大きく減少しました。しかしGRCスタッフの努力により、高压実験のリモート化や代理実験などの工夫がなされ、拠点活動をなんとか維持・継続することができました。また年度末の成果発表会・シンポジウムも、リモート化による新たな方式により活発に行われています。

このような取り組みも高く評価され、このたび発表された共共拠点の第3期末評価において、PRIUSが最高のS評価を得たことは大変嬉しい限りです。来年度はPRIUS認定10年目を迎えますが、GRC設置20年に際して昨年度設置された在り方検討委員会の報告に沿い、第4期においては特に「動的地球科学」・「惑星深部科学」・「超高压材料科学」をキーワードとしつつ、多様な分野の国内外の研究者と連携した研究推進と人材育成に取り組むたいと考えています。

今年に入りオミクロン株の影響で、愛媛においても連日多くの感染報告が相次いでいます。大学の方針により県境を越えた移動も制限されているため、海外はもちろん県外の出張も困難な状況が続いています。私事での県外への移動も制約されるため、私も県外にいる家族や孫たちに会うこともできません。

このような状況の中、ほぼ毎週のように週末に県内各地にドライブで出かけ、愛媛の新たな面を見出す機会が増えました。この間、大洲・内子・大三島・愛南などの観光地に加え、あまりゆっくり訪れたことがなかった今治・八幡浜・宇和島・西条・新居浜などもまわりました。それぞれに固有の歴史と文化・自然があり、足元の愛媛各地の良さを見直すいい機会となりました。

なかでも興味深いのは、日本の100名城のうち5つが愛媛にあることです。松山城・湯築城はもとより、大洲城も何度か訪れたことがありますが、今年になって初めて今治城・宇和島城も訪れました。これらの5城のうち、大洲城・今治城・宇和島城は藤堂高虎の築城です。高虎は今治藩主を務めた後、私の出身地でもある三重の津藩初代藩主となり、津城や伊賀上野城の築城にも携わりました。私が松山に来て30年余りとなりますが、

◆ センター長あいさつ ◆



入船 徹男

我が国に初めて新型コロナウイルス感染者が確認されて2年が過ぎ、コロナ禍の中3回目の春を迎えました。残念ながら今年もまだ花見は難しそうですが、ウイルスの特性と感染回避に関する情報の蓄積や、予想以上に早いペースでのワクチンや治療薬の開発により、少しずつではありますがそれなりの対応が可能になってきた感があります。

国立大学法人化第3期中期計画期間も終了し、4月からは第4期に入ります。グローバルCOE事業終了直後の2013年に初めて認定された、GRCが運用する全国の共同利用・共同研究拠点(共共拠点)PRIUSも、コロナ禍中の過去2年間は共同利

愛媛と三重との間には、このように江戸時代から色々なつながりがあることがわかりました。

ちなみに私ごとながら、私の姓はあまり見慣れない船という漢字を使います。インターネット情報によると、この字を使う「入船」姓の人数は全国でも 100 人以下とか。その中で愛媛は 20 名程度と、全国でもトップの多さとされています。一方で「入船」姓も、愛媛は全国一の多さのようです(約 300 人)。そういえば温暖な気候と静かな海に面した両県には、多くの共通点があるような気がします。これまで縁もゆかりもないと思っていた愛媛ですが、こうしてみるとひょっとしたら私のルーツはこの地なのかもしれません。当初は腰かけのつもりもありましたが、愛媛での生活も 30 数年と人生の半分を占めることになり、ここが終のすみかとなりそうな気配です。



◆ センターの構成 ◆

(R4. 3. 1現在)

❖ 実験系地球科学部門

入船徹男 (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 (助 教)
井上紗綾子 (助 教)
桑原秀治 (助 教)
國本健広 (特定研究員)
近藤 望 (WPI研究員)
福山 鴻 (学振特別研究員)

❖ 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)

❖ 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 (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 ((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) アドバンスト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)
八丈野真子 (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 ◆

❖ PRIUS が共共拠点期末評価で高評価

文部科学省は 2021 年 10 月 29 日付で、国立大学共同利用・共同研究拠点 (共共拠点) の期末評価結果を発表し、GRC が運用する先進超高压科学研究拠点 (PRIUS) に対して最高区分の S 評価が与えられました。

本期末評価は、国立大学法人化第 3 期中期目標期間 (平成 28 年度～令和 3 年度) における計 79 の共共拠点の活動内容に対して行われ、それぞれ S (18 拠点)・A (39 拠点)・A- (17 拠点)・B (5 拠点)・C (0 拠点) の評価が与えられました。PRIUS に対しては、最も拠点数の多い理工学系 (共同研

究型)の18の単独拠点のうち、京都大学基礎物理学研究所・名古屋大学宇宙地球環境研究所が運用する2拠点とともに、S評価が与えられました。地方大学の共拠点がS評価を得ることは極めて稀であり、多くの参加を頂いたPRIUS利用者の皆さまと推進した拠点の活動が高く評価された結果となりました。PRIUS利用者・協議会委員を始めとした関係各位のご参画・ご協力にお礼申し上げます。

なお、審査結果に付記された評価コメントは以下の通りです：

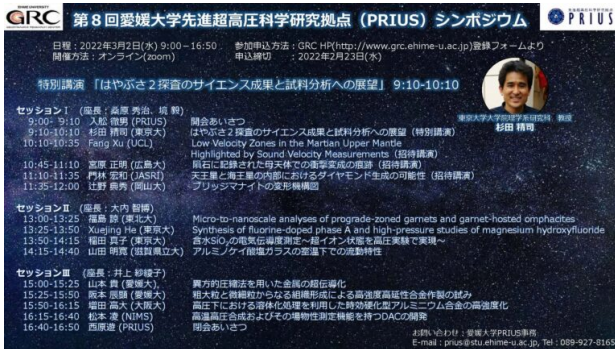
「先進超高压科学の中核的拠点として、比較的小規模な研究施設ながら世界的にも他の追随を許さない独自の優れた研究設備と技術を基盤として、国際的な共同研究の実績も多く研究教育の国際化が非常に進んでおり、かつ共同利用・共同研究活動も活発に行われており、関連コミュニティへの貢献も非常に高く評価できる。今後は、超高压科学に関する技術開発を更に進めてその独自性と特色を一層追及するとともに、現在進めている地球惑星科学にとどまらない物理学・化学・材料科学分野等との学際的な研究活動への更なる拡大も期待される。」

【参考HP】

共同利用・共同研究拠点及び国際共同利用・共同研究拠点の第3期中期目標期間における期末評価(国立大学)

https://www.mext.go.jp/a_menu/kyoten/1410089_00005.htm

❖ 第8回PRIUSシンポジウム開催



第8回愛媛大学先進超高压科学研究拠点 (PRIUS) シンポジウム

日程：2022年3月2日(水) 9:00 - 16:50 参加申込方法：GRC HP(<http://www.grc.ehime-u.ac.jp>)登録フォームより
申込締切：2022年2月23日(水)

開催方法：オンライン方式(ZOOM)

特別講演 『はやぶさ2探査のサイエンス成果と試料分析への展望』 9:10-10:10

セッションI (座長：桑原 秀治、境 毅)
9:00-9:10 入船 徹男 (PRIUS)
9:10-10:10 杉田 精司 (東京大)
10:10-10:35 Fang Xu (UCL)
10:45-11:10 宮原 正明 (広島大)
11:10-11:35 門林 宏和 (JASRI)
11:35-12:00 辻野 典秀 (岡山大)

セッションII (座長：大内 智博)
13:00-13:25 福島 諒 (東北大)
13:25-13:50 Xuejing He (東京大)
13:50-14:15 稲田 真子 (東京大)
14:15-14:40 山田 明寛 (滋賀県立大)

セッションIII (座長：井上 紗綾子)
15:00-15:25 山本 貴 (愛媛大)
15:25-15:50 阪本 辰顕 (愛媛大)
15:50-16:15 増田 高大 (大阪大)
16:15-16:40 松本 凌 (NIMS)
16:40-16:50 西原遊 (PRIUS)

特別講演 『はやぶさ2探査のサイエンス成果と試料分析への展望』 (特別講演) 杉田 精司
Low Velocity Zones in the Martian Upper Mantle Highlighted by Sound Velocity Measurements (招待講演)
隕石に記録された母天体での衝撃変成の痕跡 (招待講演)
天王星と海王星の内部におけるダイヤモンド生成の可能性 (招待講演)
Micro-to-nanoscale analyses of prograde-zoned garnets and garnet-hosted omphacites (招待講演)
Synthesis of fluorine-doped phase A and high-pressure studies of magnesium hydroxyfluoride (招待講演)
含水SiO₂の電気伝導度測定～超イオン状態を高压実験で実現～ (招待講演)
アルミニウム酸塩ガラスの室温下での流動特性 (招待講演)

異方的圧縮法を用いた金属の超伝導化 (招待講演)
粒大粒と微細粒からなる組織形成による高強度高延性合金作製の試み (招待講演)
高压下における溶体化処理を利用した時効硬化型アルミニウム合金の高強度化 (招待講演)
高温高压合成およびその場物性測定機能を持つDACの開発 (招待講演)

懇話会あいさつ

お問い合わせ：愛媛大学PRIUS事務局
E-mail: prius@stu.ehime-u.ac.jp, Tel: 089-927-8165

2022年3月2日(水)に、共同利用・共同研究拠点の報告会を兼ねた「第8回PRIUSシンポジウム」をオンライン方式で開催いたしました。シンポジウム前半は、地球外物質についての研究を中心としたプログラムとし、東京大学の杉田精司先生による特別講演と3件の招待講演が行われ、全体で13件の講演が行われました。昨年度を上回る約70名の参加者があり、発表された最新の研究成果について活発な議論が行われました。また、シンポジウムに合わせて用意されたSpatialChat上の自由な歓談スペースも、議論や情報交換の場として大いに役立ったようです。

【日程】 2022年3月2日(水) 9:00-16:50

【開催方法】 オンライン方式(ZOOM利用)

【プログラム】

入船 徹男 (PRIUS) 開会あいさつ

[セッションI] (座長：桑原 秀治、境 毅)

☆『特別講演』☆

杉田 精司 (東京大学大学院理学系研究科)

はやぶさ2探査のサイエンス成果と試料分析への展望

Fang Xu (UCL) (招待講演)

Low Velocity Zones in the Martian Upper Mantle Highlighted by Sound Velocity Measurements

宮原 正明 (広島大) (招待講演)

隕石に記録された母天体での衝撃変成の痕跡

門林 宏和 (JASRI) (招待講演)

天王星と海王星の内部におけるダイヤモンド生成の可能性

辻野 典秀 (岡山大) (招待講演)

ブリッジマナイトの変形機構図

[セッションII] (座長：大内 智博)

福島 諒 (東北大)

Micro-to-nanoscale analyses of prograde-zoned garnets and garnet-hosted omphacites

Xuejing He (東京大)

Synthesis of fluorine-doped phase A and high-pressure studies of magnesium hydroxyfluoride

稲田 真子 (東京大)

含水SiO₂の電気伝導度測定～超イオン状態を高压実験で実現～

山田 明寛 (滋賀県立大)

アルミノケイ酸塩ガラスの室温下での流動特性

[セッションIII] (座長：井上 紗綾子)

山本 貴 (愛媛大)

異方的圧縮法を用いた金属の超伝導化

阪本 辰顕 (愛媛大)

粗大粒と微細粒からなる組織形成による高強度高延性合金作製の試み

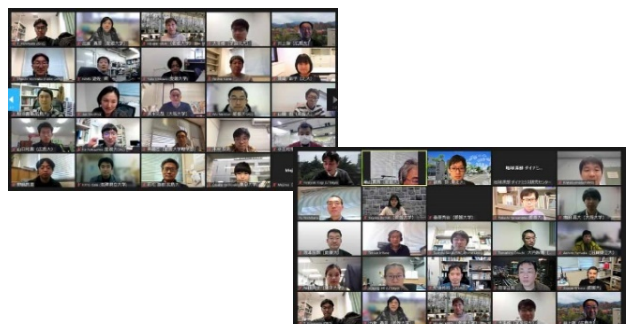
増田 高大 (大阪大)

高压下における溶体化処理を利用した時効硬化型アルミニウム合金の高強度化

松本 凌 (NIMS)

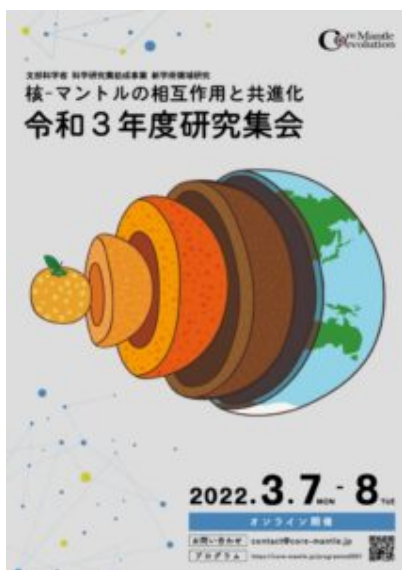
高温高压合成およびその場物性測定機能を持つDACの開発

西原遊 (PRIUS) 閉会あいさつ



❖ 第3回新学術領域研究「核-マンツルの相互作用と共進化」研究集会開催

新学術領域研究「核-マンツルの相互作用と共進化」(領域代表:土屋卓久 GRC 教授)の研究集会が、2022年3月7日(月)、8日(火)の2日間にわたりオンラインで開催されました。本研究集会は2015年度～



2019年度に採択された同新学術領域研究の最終年度の研究集会ですが、コロナ禍により延期を余儀なくされました。今回も直前まで現地での開催を検討いたしましたが、オンラインでの開催となりました。

研究集会には、海外からも含め80名近い参加申し込みがあり、常時60~70程度がオンラインで参加いただきました。土屋領域代表からの挨拶とともに、3件の招待講演と、新学術関係者以外の講演を含む多様な分野から20件の講演があり、活発な質疑応答と議論が交わされました。

【日程】2022年3月7日(月)~8日(火)

【開催方法】オンライン方式(ZOOM方式)

【プログラム】下記HPにて詳細を参照下さい。

<https://core-mantle.jp/programme2021>

❖ 第5回GRCイメージコンテスト2021結果発表

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」を開催しました。第5回目を迎える2021年度のコンテストは、昨年度と同様にコロナ禍における活動をテーマに、研究活動に関係のない作品も含めて幅広く募集しました。国内外より40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。12月23日(木)に開票の結果、18件が受賞作品として選出され、同日夜にオンラインで開催されたGRC忘年会において、発表及び受賞式が行われました。なお、受賞作品は本ニューズレターの最後に掲載しています。



◆ 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)

3月

3/11 “Linear analysis on the onset of thermal convection of highly compressible fluids with variable viscosity and thermal conductivity in spherical geometry: Implications for the mantle convection of super-Earths”
Dr. Masanori Kameyama (Professor, GRC)

3/18 “Reaction and partitioning of water between liquid metal and molten silicate”
Dr. Taku Tsuchiya (Professor, GRC)

3/25 “Heat transport properties of the slab constituent minerals from first-principles”
Dr. Haruhiko Dekura (Assistant Professor, GRC)

5月

5/13 “Nanoscale Mn (hydr)oxide formation on the Fe oxide surfaces: Size-dependent reactivity of Fe (hydr)oxides”
Dr. Sayoko Inoue (Assistant Professor, GRC)

5/20 “Ultrahigh-temperature and high-pressure experiment for isotope fractionation during Earth’s core formation”
Dr. Ko Fukuyama (JSPS Post-doctoral fellow, GRC)

❖ 過去の講演

第556回 “Thermodynamic stability and crystal chemical properties of the Li_2ZrF_6 -type structure in SiO_2 ”
Saito Nakagawa (Master student, M1, GRC) 2021. 11. 5

第557回 “Origin and formation process of overgrown layers on hydrothermal quartz crystals”
Ms. Rino Watanabe (Master student, M2, GRC) 2021. 11. 12

第558回 “Anomalous behavior of Poisson’s ratio of glassy carbons under compression”
Mr. Haruma Asou (Master student, M2, GRC) 2021. 11. 19

第559回 “Effects of the core mantle composition

and pressure changes on the sulfur partitioning in the deep Earth”

Mr. Kei Itoh (Master student, M1, GRC)
2021. 11. 26

第560回 “Synthesis of nano-polycrystalline diamond from glassy carbon under pressure conditions of 9–15 GPa”

Ms. Chinatsu Ogawa (Master student, M1, GRC)
2021. 12. 3

第561回 “Recent developments in structural measurement of amorphous materials under pressure”

Dr. Yoshio Kono (Associate Professor, GRC)
2021. 12. 10

第562回 “Transparent nano-ceramics”

Dr. Tetsuo Irifune (Director/Professor, GRC)
2021. 12. 24

第563回 “Strength of diamond under high-temperature determined by in situ X-ray diffraction measurements”

Dr. Takehiro Kunimoto (Postdoctoral Fellow, GRC)
2022. 1. 14

第564回 “High pressure generation over 4 megabar II”

Dr. Takeshi Sakai (Associate Professor, GRC)
2022. 1. 14

第565回 “First principles investigations of high pressure ice phases”

Dr. Jun Tsuchiya (Associate Professor, GRC)
2022. 1. 28

第567回 “Ab initio investigation of the intercrystalline mechanical behavior of ferropericlase at extreme pressures of planetary mantles”

Dr. Sebastian Ritterbex (Postdoctoral Fellow, GRC)
2022. 2. 4

第568回 “Different structural behavior of MgSiO₃ and CaSiO₃ glasses at high pressures”

Dr. Nozomi Kondo (Postdoctoral Fellow, GRC)
2022. 2. 18

ALUMNI レポート②⑦

❖ 大阪大学大学院理学研究科

准教授, 西 真之



2021年3月から大阪大学理学研究科に異動しました、西です。GRCから去って既に1年が経過し、新しい環境で楽しく過ごしています。所属する惑星内部物質学研究室では、近藤忠教授を中心とする教員スタッフ4

名の他、岡山大学を退官された米田明先生や、以前GRCにも所属していたNadezdaさんも在籍しています。大学院生・学部生を加えると約20名の組織で、なかなか大きな研究室です。この研究室では、高圧、高温、低温、強磁場等の極限環境下における物質の性質を、様々な実験手法に基づき研究しており、惑星内部のダイナミクスや隕石中の鉱物の衝撃変性に関する新しい発見を目指しています。実験装置としては、GRCでもおなじみのマルチアンビル型装置やダイヤモンドアンビルセルに加え、高強度レーザーも積極的に利用しています。スタッフそれぞれの専門性には共通点もありながら適度にばらけており、協力して新しい課題に挑戦できる環境に大変満足しています。私はこれまで同様、マルチアンビル装置を使った実験を推進する予定で、GRC(PRIUS)やSPring-8でも皆さんにお会いする機会は多いはずです。研究室へのマルチアンビル装置の導入は将来の目標として、直近では実験の準備をラボ内で完結させるための環境づくりに注力しています。

およそ11年間を過ごし、さらに今後も頻繁に行き来する予定のGRCは私にとって実家のようなものです。初めてGRCを訪れたのは九州大学の博士課程の時に、ガーネット粒子中の元素拡散実験のためORANGE-2000を使用しました。当時のGRCラボを見学した際、指導教員である久保先生に「同じ学費を納めているとは思えないですね。」と言われたことをよく覚えています。当時私が使っていたマルチアンビル装置(EUDES)もGRCから九州大学へ移管されたものでした。GRCへのあこがれを強くした私は、学位取得後はGRCへ行くという意志を固め、鉱物科学会で入船先生に直談判し、快く受け入れていただきました。実験のための環境が良かったのはもちろんですが、若手の研究者が世界中から集まっていたことにも大きな魅力を感じました。実際に多くの研究者の先端的な実験研究を間近で見ることができ、大きな刺激になりました。

.....

教員になった後には良い学生にも恵まれました。GRCでは10名程度の学生を指導しましたが、思い返せば研究室を盛り上げる元気な学生が集まってくれたように思います。大学院生も増え、志の高い学生も配属された矢先の異動で、その点では残念な気持ちもありましたが、学生さんたちには恵まれた研究環境を生かして、新しい発見を目指して研究を楽しんで欲しいと思っています。

最後に、長引くコロナ禍により退職の際には十分な挨拶ができず失礼しております。お名前を挙げることは省略させていただきますが、実験グループはもちろんのこと理論グループや事務スタッフの方々にも大変お世話になりました。GRCには頻繁に現れますので、引き続きどうぞよろしくお願いいたします。



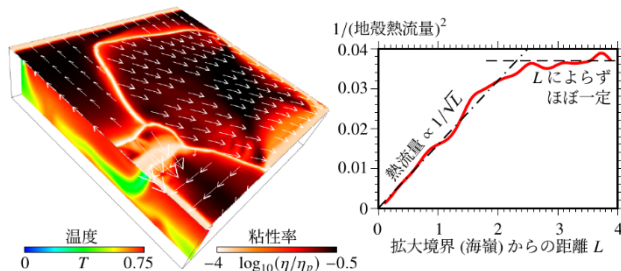
最新の研究紹介

❖ 応力履歴依存レオロジーを用いた3次元マン トル対流シミュレーションによる「プレート」の モデル化

地球科学をご専門とされていない方であっても、「マントル対流」という言葉から真っ先に連想するのは「プレートテクトニクスの原動力」という点ではあるまいか。プレートテクトニクスは太陽系内の岩石質の天体の中では地球にのみ観察される特異な現象であり、まさに地球のマントルダイナミクスを特徴づける決定的な要素といえる。それゆえ、マントル対流の数値シミュレーションが始まった1960年代から現在に至るまで、プレートテクトニクスの再現は中心的な研究テーマの1つとなっている。この目的の達成には、プレートの挙動の特徴である (i) 剛体的に運動する「かたい」プレートの内部と (ii) 局所的な変形の起こる「やわらかい」プレート境界、という強度の異なる2つの状態を同時に表現できるレオロジー(流動特性)が重要である。ここでは、高度なレオロジーのモデルを組み込んだ我々の3次元箱型マントル対流シミュレーションの一部を紹介させていただく。

本研究では厚さ3000 km、縦横比4:4:1の3次元箱型領域の中で、内部発熱によって駆動されるマントル物質の熱対流を考える。マントル物質の粘性率は温度や圧力(深さ)に依存するものとし、粘性率の強い温度依存性によって地表面沿いの低温の部分に高粘性の「かたい板」(リソスフェア)を発達させる。これに加えて、粘性率は応力履歴にも依存するものとする。具体的には、ある範囲内の応力のもとでは粘性率は「無傷でかたい」状態(プレートの内部に相当)と「壊れてやわらかい」状態(プレート境界に相当)に対応する2つの値をとり得るが、そのどちらの値をとるかは過

去の応力状態(「無傷」か「壊れた」か)によって定まるものとしている。



本研究の3次元マントル対流シミュレーションで得られた地表面のリソスフェアの挙動を解析したところ、リソスフェアは数枚のかたい「プレート」に分かれ、それぞれのプレートが剛体的に運動(並進あるいは回転)していることが確認できた。その際、となり合うプレート間の相対運動によって引き起こされるリソスフェアの変形は、狭い帯状の「プレート境界」に集中して起こっている。またプレートの拡大境界(海嶺)に近いところでは、地表面での熱流量は海嶺から離れるとともに減少し、その傾向は半無限体の冷却モデルによる予測と調和的であった。さらに大きなプレートの直下のマントルでは、海嶺から十分離れたところでプレート運動の方向に軸をもつ筒状の2次元的小規模対流が発生していることが分かった。この小規模対流による熱輸送によって、古い年代のプレート上では地表面での熱流量が半無限体の冷却モデルによる予測からずれ、しかも一定の値に収束する傾向がもたらされた。これらの特徴は実際に観測されるプレートの特徴と非常に調和的であり、本研究のシミュレーションモデルの有用性を強く示すものといえるであろう。

なおこの研究は、海洋研究開発機構の宮腰剛広氏、及び東京大学の小河正基氏と共同のもと実施しているものである。記して感謝する。(亀山真典)

❖ 緑泥石のFe-Mg比と脱水酸化機構の関係

層状珪酸塩鉱物の結晶構造はSiO₄からなる四面体(T)シートと八面体(O)シートを基本とする。蛇紋石のような鉱物は、1枚のTシートと1枚のOシートの組み合わせからなる単位層が積層した1:1層を基本とした構造を持ち、1:1型鉱物に分類される。雲母に代表される2:1型鉱物は、2枚のTシートが積層方向に関して対称になるように配置し、その間にOシートが存在する2:1層を基本とする構造を持つ。2:1型鉱物の中でも緑泥石は、2:1層の間にもう一枚Oシート(層間シートと呼ばれる)を含み、厚さ1.4 nmの単位層を基本とした構造を持つ層状珪酸塩鉱物である。緑泥石の一般組成式は[(R²⁺, R³⁺)₃(OH)₆][(R²⁺, R³⁺)₃(Si, Al)₄O₁₀(OH)₂]で表され、R²⁺としては主にMg、Fe²⁺を、R³⁺としてはAl、Fe³⁺、Crなどを含む。緑泥石は2種類のOシートを持つことから、多様な化学組成と積層構造を持つことが

知られている。緑泥石の多様性を考えたとき、Fe-Mg比や Fe^{3+} の含有量と結晶構造の関係がよく議論され、これらと生成条件の関係は緑泥石地質温度計や酸素分圧計として利用されている。ここでは、異なるFe-Mg比を持つ緑泥石を常圧下で加熱した時の脱水酸化機構を比較した結果を紹介する。

緑泥石の脱水分解は2段階で進む。まず、層間シートが脱水酸化し、その後2:1層中の0シートが脱水酸化し、緑泥石は完全に分解する。本研究では、緑泥石を層間シートのみが脱水酸化する温度(650°C)で加熱し、その積層構造を高分解能透過電子顕微鏡法(HRTEM)で観察した。加熱前後のHRTEM像を比較すると、加熱によって層間の構造は変化したが、2:1層はほとんど変化していないことがわかる。Mgに富む緑泥石の場合には、2本の黒い線のようなコントラストが層間に見られた。この構造は、先行研究で報告されている2枚の原子網面に対応することが、シミュレーション像との比較で示された。一方で、Feに富む緑泥石の場合には、層間に明確なコントラストが見られない構造を持つ層が多かった(図矢頭)。これは、Fe緑泥石の場合には層間構造が完全に不規則であることを表している。このような層間構造の違いは、フリーエ合成やメスバウアー分光法による分析からも示唆された。また、積層構造の変化に加えて、加熱によって構造中の Fe^{2+} が完全に酸化したことも明らかになった。室温ではイオン半径の小さい Fe^{3+} は層間シート中の1種類の八面体席(M4席)に集中する。このような R^{3+} の規則的な分配は、静電的にも層間の結合エネルギーから見ても、緑泥石構造の安定性を向上するので好ましいと先行研究で示されている。一方で、緑泥石層間シート中の他の八面体席(M3席)や2:1層中の八面体席(M1, M2席)に R^{3+} が含まれる場合には、静電的な反発が増し、不安定になることが予想される。また、高温高压下ではM4席は膨張するが、M1, M2, M3席はほとんど変化しないことが報告されている。このような先行研究の結果と合わせて考えると、Feに富む緑泥石では加熱後層間構造が完全に壊れたのは、M3席に含まれていた Fe^{2+} が加熱による酸化で Fe^{3+} に変化し、緑泥石構造中に安定に存在できなくなったため放出されたと考察できる。この結果から、緑泥石中に含むことができる Fe^{3+} の量は、生成環境の酸素分圧に関係なく総Fe含有量に

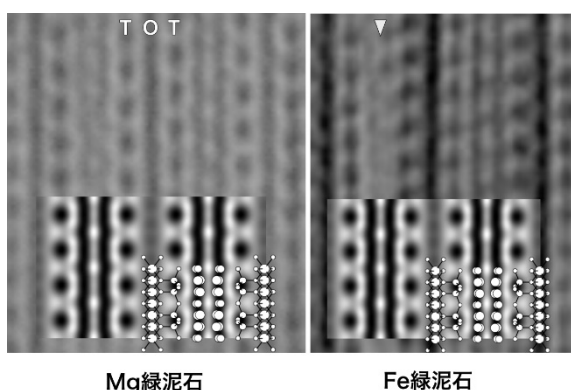
よって結晶学的に制限されることが示唆された。過去に報告されている緑泥石の化学組成の Fe^{3+} 含有量とM3席中の総Fe含有量との関係を調べたところ、この仮説を支持することが明らかになった。本研究の結果は緑泥石地質温度計、酸素分圧計の精密化へ貢献することが期待される。(井上紗綾子)

❖ 窒素同位体分別の解明に向けた超高温・高压実験

窒素は地球大気の約78%を占め生命の必須元素の一つになっているだけでなく、その同位体は初期地球を理解する上でも非常に重要になります。例えば、窒素の同位体組成を調べることは、地球がどのような始原的隕石(コンドライト)でできたかの議論をする際の指針の1つになっています。一方、窒素の同位体組成は地球史を通じて変化することも知られており、その中でも地球の核が形成する際に窒素の同位体が分別する過程は地球化学で長く注目を集めている問題です。先行研究では地球核分離が生じるマグマオーシャンを模した高温高压実験を行うことにより、鉄メルト-ケイ酸塩メルト間での窒素同位体分別係数が調べられました(Li et al., 2016; Dalou et al., 2019)。この分別係数が温度に強く依存することは古くからよく知られています(e.g., Bigeleisen and Mayer, 1947; Urey, 1947)。しかしながら、これらの実験温度圧力条件は7 GPa・1800 °Cまでであり、2400°C以上に及ぶ浅いマグマオーシャンの温度条件(e.g., Andrault et al., 2011)には到達できておりません。このような背景から、地球核形成過程における窒素同位体分別を直接制約するための超高温・高压実験が必要となっています。

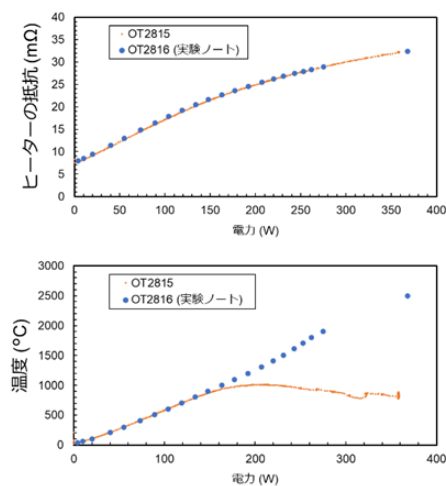
そこで今回、新たに超高温・高压実験に取り組みました。現在も進行中ではあるものの、その手法についてまず簡単に紹介します。実験にはGRCに設置された川井型マルチアンビル高压発生装置(ORANGE-3000)を使用し、TELが8mmであるF08アンビル(フジダイス製)を加圧に用いました。ヒーターにはレニウムを使用しています。今回の実験を遂行するにあたり、高温下での圧力キャリブレーションの作成も同時に行い、その際にコーサイト-スティショバイト相転移(Ono et al., 2017)とオリビン-ウォズレアイト相転移(Katsura et al., 2003)を参照しました。作成したキャリブレーションから、目標圧力である7 GPa(2.6 MN)の達成を確認しています。試料カプセルとしてMgO単結晶板を使用しており、出発物質は玄武岩質ガラスと金属鉄を質量比7:3で混合したものに、 ^{15}N ($^{15}NH_4^{15}NO_3$)とC(グラファイト)をそれぞれ0.2 wt.%, 0.4 wt.%ドープして作成しました。

加熱実験は2回行い、現時点での加熱保持時間は600秒(Run no. OT2815)及び70秒(Run no.



OT2816) です。OT2816 では 2500°Cでの加熱がうまくいったのですが、加熱終了時に電子データを保存し損なってしまいました。そのため、OT2816 に関しては実験ノートを参照しつつ結果をここで紹介することにいたします。図のように、横軸を電力 (W)とした際の OT2815 と OT2816 における加熱の際のヒーターの抵抗 (mΩ)は非常によく一致しています。また、OT2815 の実験では途中で熱電対が制御不能になってしまったものの、800°C付近までは両者の加熱データはよく一致しています。よって、外挿による議論になりますが、OT2815 であっても 2400°Cに及ぶ高温が発生していたことが強く示唆されます。

実は、これまでのマルチアンビル高圧発生装置を用いた 8 GPa 以下における超高温高圧実験は、ボロンドープダイヤモンドヒーターの適用圧力条件未満であることもあり (Nishida et al., 2020)、報告例が限られています (e.g., Ohtani and Kumazawa, 1981; Kanzaki, 1990; Zhang et al., 1993)。これらの先行研究ではグラファイトやLaCrO₃がヒーターに用いられていますが、今回のようにレニウムヒーターであっても、浅いマグマオーシャンでの議論や物質の溶融関係の決定にも有用であると考えています。一方、OT2815, OT2816 共に試料と MgO 単結晶カプセルの反応が激しいことも分かりました。この課題の解決には融点の高い物質、例えばジルコニアやダイヤモンドを試料カプセルとして使用することが挙げられます。今後は引き続き再現実験を行いつつ、回収試料の組成に合わせた SIMS 用の標準物質の作成に取り組む予定です。(福山 鴻)



ターの適用圧力条件未満であることもあり (Nishida et al., 2020)、報告例が限られています (e.g., Ohtani and Kumazawa, 1981; Kanzaki, 1990; Zhang et al., 1993)。これらの先行研究ではグラファイトやLaCrO₃がヒーターに用いられていますが、今回のようにレニウムヒーターであっても、浅いマグマオーシャンでの議論や物質の溶融関係の決定にも有用であると考えています。一方、OT2815, OT2816 共に試料と MgO 単結晶カプセルの反応が激しいことも分かりました。この課題の解決には融点の高い物質、例えばジルコニアやダイヤモンドを試料カプセルとして使用することが挙げられます。今後は引き続き再現実験を行いつつ、回収試料の組成に合わせた SIMS 用の標準物質の作成に取り組む予定です。(福山 鴻)



◆ センター機器紹介 ◆

❖ 顕微赤外分光装置用赤外偏光測定ユニット

当センターでは日本分光社製の全真空型顕微赤外分光装置 (IRT-5200EUO) が使用されていますが、この装置と組み合わせて用いる赤外偏光測定ユニットを 2021 年 12 月に導入しました。

赤外分光分析は、試料に赤外光を照射し試料中を透過または試料表面を反射する光量を測定し、

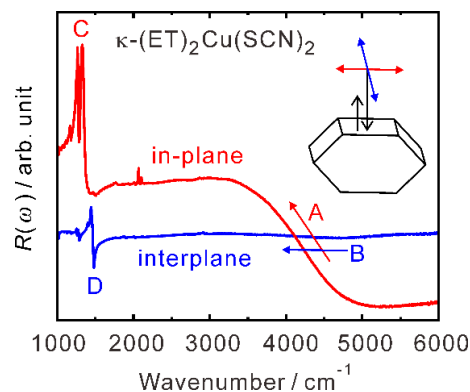
そのスペクトルから試料中の原子の結合状態を調べたり物質の同定を行ったりする分析法です。当センターの全真空型顕微赤外分光装置では、光源から検出器までの全光路を真空下に置くことができるため、水蒸気や二酸化炭素に由来するノイズに邪魔をされない高精度なスペクトルを得ることができます。また、顕微鏡と組み合わせて用いることで微小試料の分析や二次元マッピングを行うことが可能なおえ、ダイヤモンドアンビルセル (DAC) 設置用のアダプターと組み合わせて DAC 中で加圧された試料に赤外光を照射しそのスペクトルを得ることも可能です。

多くの単結晶物質は赤外スペクトルに異方性がありますが、これまで本装置では偏光していない赤外光での測定しか行うことができなかったため異方性を調べることはできませんでした。今回導入した赤外偏光測定ユニットは、偏光測定により赤外スペクトルの異方性などの分析を可能にするものです。本ユニットの主要部である偏光子はワイヤグリッド型と呼ばれるもので、赤外光透過材である KRS-5 基板上に Al が線状に 3200 本/mm の間隔で形成されています。これに赤外光を透過させることにより、(波数範囲 3~25 μm では) 95% 以上の偏光率の直線偏光の赤外光が得られます。この偏光子は赤外顕微鏡内部の検出器直前に取り付けられており、測定プログラムから偏光子の光路への挿入、取り出し、角度のコントロールを行なうことが出来ます。

この偏光測定ユニットを使用した測定の例として、分子性超伝導体 κ-(ET)₂Cu(SCN)₂ [ET = bis-ethylenedithio-tetrathiafulvalene] の偏光反射スペクトルを紹介します。この結晶は、無機イオン [Cu(SCN)₂] が二次元的に並んだ絶縁体層と、ET 分子が二次元的に並んだ電気伝導層から構成されます。絶縁体層と電気伝導層が交互に積層する典型的な二次元伝導体です。図は、超伝導転移温度 (T_c=10.4K) よりも高い 300 K の偏光反射スペクトルです。挿入図に示すように、平板上単結晶の側面に光を照射しました。赤色は面内偏光 (in-plane)、青色は面間偏光 (interplane) です。

面内偏光における立ち上がり (A) は、電子相関のある伝導性物質に特有な低エネルギー励起です。一方、面間偏光では、B で示すように低エネルギー励起は

観測されません。このように、異方的伝導性を反映したスペクトルが得られます。面内偏光の C は炭素-炭素二重結合



(C=C) に由来する分子振動です。隣接分子間の電子密度が分子内振動と連動して変調します。その結果、強度と線幅が大きくなり、本来の周波数よりも 100-200 cm^{-1} 程度低くなります。C の波数から隣接分子間の移動積分を推定できます。面間偏光の D は、C とは異なる部位の C=C 伸縮振動であり、分子の価数の決定や、クーロン反発力を推定するときには有用です。

このように、偏光測定ユニットの導入により、A のような電子遷移の単離や、C と D のような分子振動の分離が可能になります。結晶軸の判定だけではなく、移動積分や電子相関の評価、正確な組成決定など、単結晶 X 線構造解析だけでは容易に得られない情報を得ることができます。(山本貴・西原遊)

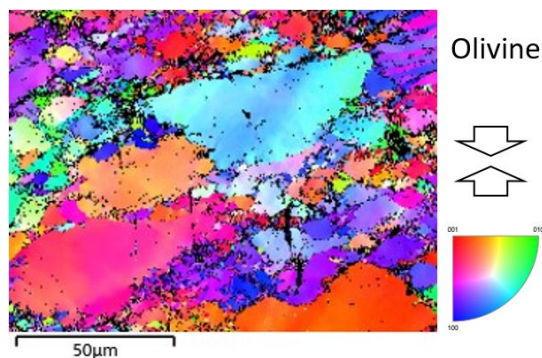
❖ 電子後方散乱回折パターン検出器 (続報)

前号のニュースレターでは、電子後方散乱回折パターン検出器が新たに GRC に導入されたことを報告させていただきました。今回は、その検出器の試運転の結果について報告させていただきます。

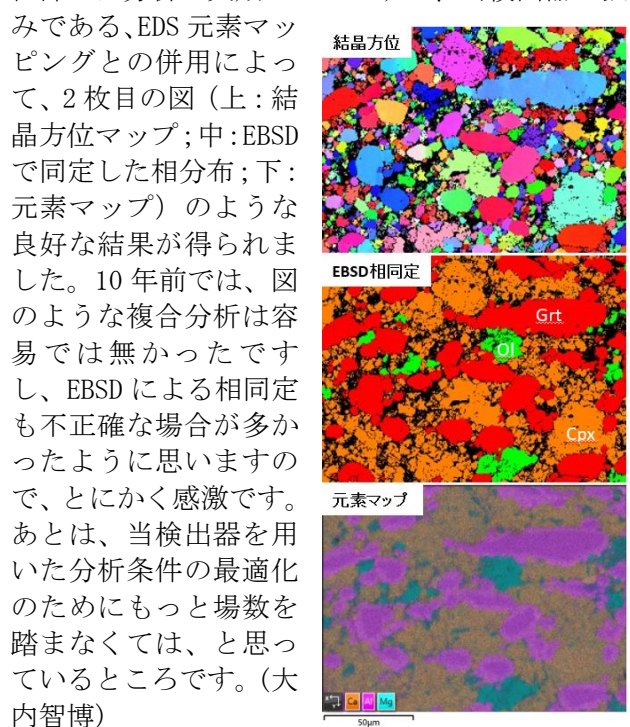
電子後方散乱回折を意味する EBSD (Electron Back Scattered Diffraction) は、走査型電子顕微鏡にて結晶方位を決定する際に非常に有効です。絞った電子線を測定対象の単結晶試料に入射し、電子線が結晶内で回折する際に得られる幾何学模様 (菊池パターン) を 2 次元スクリーンに映し出します。結晶方位を特定するには明瞭な菊池パターンを得る必要があるため、その撮影にはある程度の露光時間を要します (1 点あたり数〜数十ミリ秒)。さらに、得られた菊池パターンから結晶方位を特定する際には、その計算処理にも時間を要します。当然、菊池パターン撮影のための露光時間を短縮すれば、面分析に要する時間は短くなりますが、結晶方位決定に失敗 (ミスインデックス) する可能性は高くなります。ミスインデックスは可能な限り低減させたいですから、典型的な分析条件 (加速電圧 20kV、電流値 4.5nA、ピクセルサイズ $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^2$) では結果的に 1 領域 ($150 \times 100 \mu\text{m}^2$) あたり数十分〜数時間を要することになります。

1 枚目の図は、封圧 2.3 GPa、温度 890°C にて一軸圧縮変形を被った含水カンラン石多結晶体の分析結果の一例です。まず注目していただきたいのは、図には分析後の補正処理を一切加えていない (!) ということです (黒点が定量できなかつた点)。この高いクオリティーは、分析成功率 (ヒットレート) が 84% と高いことから裏付けられています。10 年前の検出器では、そのような高いヒットレートは、滅多に出せませんでした (少なくとも私は)。10 年の歳月で結晶方位解析用ソフトウェアも相当発達していたのだと感心しています。図

では赤〜青色の粒子が卓越していることから、流動方向 (写真の横方向、なお縦方向が一軸圧縮方向) にはカンラン石の c 軸と a 軸が選択的に配向していることが分かります。粗大粒子の内部には微妙な結晶方位の違い (色ムラ) がありますが、これは亜粒界の発達を意味しています。そのため、カンラン石結晶の変形の担い手が転位 (1 次元の欠陥構造) であり、転位はカンラン石の b 面上を移動していたものと推定されます。



だいぶ専門的なことを書いてしまったので、最後に一軸圧縮変形 (封圧 ~ 3 GPa、温度 600°C の条件下) を被った合成エクロジイトの分析結果を簡単に紹介して終わりにします。この試料は 6 割程度の単斜輝石 (Ca に富んだ相) と 4 割程度のザクロ石 (Al に富んだ相) + カンラン石 (Mg に富んだ相) からなる多相系のため、カンラン石多結晶と比べると分析の難度はより高いです。極細粒部では分析に失敗していますが、当検出器の強みである、EDS 元素マッピングとの併用によって、2 枚目の図 (上: 結晶方位マップ; 中: EBSD で同定した相分布; 下: 元素マップ) のような良好な結果が得られました。10 年前では、図のような複合分析は容易では無かったですし、EBSD による相同定も不正確な場合が多かったように思いますので、とにかく感激です。



あとは、当検出器を用いた分析条件の最適化のためにもっと場数を踏まなくては、と思っています (大内智博)

共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

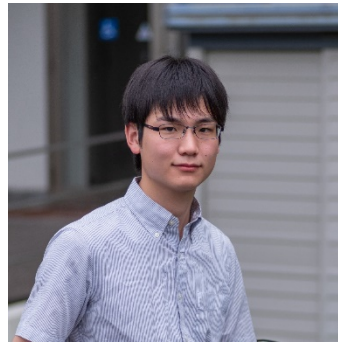
❖ PRIUS 利用者の声

My PhD research is focused on studying the physicochemical properties of fluorine-doped hydrous minerals under high pressure and high temperature. Fluorine is recycled into the Earth's mantle mainly through the subduction process and is transported by hydrous minerals. Studying fluorine-bearing hydrous minerals and phases under relevant pressure and temperature conditions will help us to understand the transportation processes of fluorine in subducting slabs. I use X-ray diffraction (XRD), infrared and Raman spectroscopy, and neutron diffraction to investigate the crystal structure, compressibility, hydrogen-bonding geometry, etc. For high-pressure XRD and spectroscopic measurements, I use diamond anvil cells (DACs), and in neutron diffraction experiments the Paris-Edinburgh press was used. I had some experiences using multi-anvil apparatus, but this was my first time to visit GRC. I was impressed by the advanced research facilities and lively academic atmosphere. This time I am aiming at synthesizing fluorine-doped dense hydrous magnesium silicate phase A. Phase A has been observed as a dehydration product of serpentine-group minerals in subducting slabs at pressures below 15 GPa, and may help to transport water and fluorine to even deeper depths (up to 300 km) after antigorite decomposition (~200 km in cold subduction zones). High-pressure and high-temperature experiments have been conducted using the ORANGE-1000 press with a 14/8 cell assembly and the run products were analyzed using the micro-focused XRD. I am grateful that my proposal had been admitted by the FY2021 PRIUS Joint Use Program, which provided me the chance to carry out intended researches during my PhD. I am grateful to Irifune-sensei, Shinmei-sensei, Fukuyama-san, and the GRC staff. With their support and help, my experiments went on smoothly and I have



learned a lot how to conduct experiments using multi-anvil apparatus, which I think will become one of the often-used devices in my future research. Although the desired results were not achieved, I believe it is a process of exploring and learning, and I wish that I will have opportunity to visit GRC to work it out in the future. (Xuejing He : PhD student, Geochemical Research Center, The University of Tokyo)

❖ PRIUS利用者の声



大陸地殻下部を構成する変成岩(含ざくろ石苦鉄質グラニュライト)に含まれる鉱物相やその微細組織を調べることは、地殻下部の温度圧力条件の変化や流体活動を解き明かす鍵になります。私たちは、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いてそれらの結晶学的性質を調べるために、2020年度からPRIUSにお世話になってきました。私は同じ研究室の福島諒君と共にGRCに来所し、2020年にGRCから東北大へ異動された大藤弘明先生の指導の下、FIB (Scios)及びTEM (JEM-2010)を用いた薄膜の切り出しとその観察方法を学びました。私は予察研究でシベリアのキンバーライトに捕獲された下部地殻起源の高圧グラニュライト中に未知のFe-Ti酸化鉱物を発見しており、その結晶学的特性を調べるのが目的でした。しかし、数ミクロンのターゲットからFIBで薄膜を切り出す作業は想像以上に難しく、何度かの失敗の末、最終的には同一結晶粒子から直交する2枚の薄膜を切り出すことができました。TEM観察では、まず1枚の薄膜において制限視野回折で逆格子点の間隔が狭く(つまり実格子の面間隔が広い)、かつ軸が直交する逆格子パターンを探しました。この直交する2軸をそれぞれ結晶軸と仮定し、もう1枚の薄膜の観察から残りの1軸も決まることを確認して、これらの軸を基準とする単位格子を見つけることができました。こうして求めた格子定数と逆格子点の消滅関係に基づくと、このFe-Ti酸化物は、armalcolite ($(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Ti}_2\text{O}_5$)などの既知相とは全く異なるものであることが分かりました。このFe-Ti酸化物を指標とした岩石形成条件の制約は叶いませんでしたが、この未知相の結

晶構造と化学組成を明らかにすることは鉱物記載学的には重要ですし、また実験学的研究と組み合わせれば母岩の形成条件を制約する新たな指標鉱物としての可能性も広がると期待されます。

GRC来所にあたり、旅程や宿泊の手配を含め多くのサポートを頂き、装置使用にあたっては新名先生や境先生を始め、GRCスタッフの方々に多くのお気遣いやアドバイスを頂きました。私は学外の研究機関での分析はPRIUSが初めてであり、最先端を誇る研究環境に少しでも身を置けたことは研究活動において良い刺激になったと感じています。今年度で私自身はPRIUS課題を満了しますが、来年度からは継続課題で福島君が主体となり、引き続きTEMを用いたナノ鉱物組織解析を進める予定ですので、今後ともどうぞよろしくお願い致します。(福原春輔：東北大学大学院理学研究科地学専攻修士2年)

❖ 拠点期末評価結果

令和3年10月付で文部科学省から「共同利用・共同研究拠点及び国際共同利用・共同研究拠点の第3期中期目標期間における期末評価（国立大学）」が公表され、PRIUSは理工学系（共同研究型）において最高のS評価を得ました。以下は公表されてい

る評価区分ごとの期末評価結果総括表です。

評価区分ごとの期末評価結果（総括表）

評価区分 (期末評価結果)	計/専門 委員会等 名	理工学系 (大型設 備利用型)	理工学系 (共同研 究型)	医学・生 物学系 (医学系)	医学・生 物学系 (生物学 系)	人文・社 会科学系	異分野融 合系	国際共同 利用・共 同研究拠 点
S	18	3	4	3	2	2	1	3
A	39	5	10	9	6	3	3	3
A-	17	4	5	3	2	2	1	0
B	5	0	1	1	2	1	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0
計	79	12	20	16	12	8	5	6

編集後記：愛媛は2月に入ってずっと「高止まり」状態が続いていますが、検査数が絞られているため増加しているのか減っているのかもわからない状況です。来年こそは花見もしたいところですが… (T. I & Y. M.)。

GRC image contest 2021: "Under the pandemic"

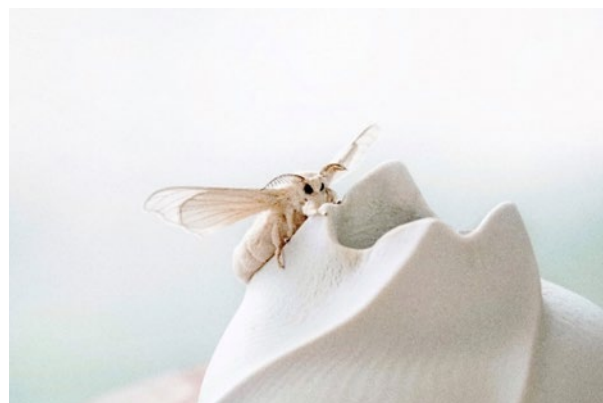
受賞作品

1位



「2021年水晶の中の旅」

2位



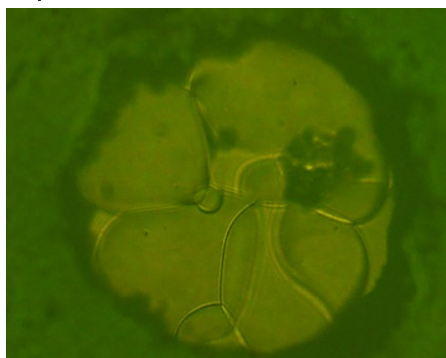
「純白の命」

3位



「カメムシは整理好き？」

4位



「Illusion」

5位



「晩秋の Soseki Lab」

6位：センター長賞



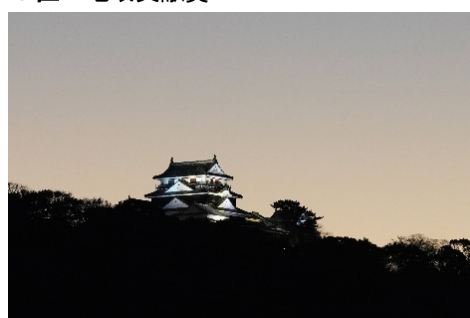
「かんらん石 de GRC」

6位：ラッキー賞



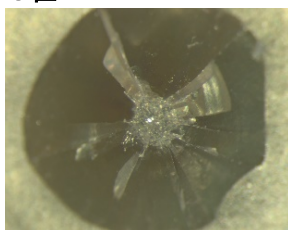
「幸せの二重虹」

6位：地域貢献賞



「日暮れの松山城」

9位



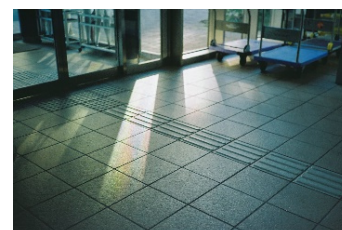
「Well-deserved after-work」



「月にも見える単結晶ダイヤモンド表面の塑性変形」



「秋の週末」



「総合研究棟の虹」