

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:
 - 「透明ヒスイ」の超高压合成
 - 火星マントルにおける地震波低速度領域
 - 第2回惑星深部研究会の開催
 - ヒメダイヤがJSTのScience Portalで紹介
 - 第5回GRCイメージコンテスト2021
 - PRIUS共同利用者等の受け入れ
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ ALUMNI レポート No. 26
- ◆ 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)

スは、プリンストン大学上席研究員の眞鍋淑郎先生が今年のノーベル物理学賞を受賞されたことです。眞鍋先生は地球科学分野から初のノーベル賞受賞者であり、GRC とも関連の深い、地球物理学的手法に基づく研究が高く評価されました。

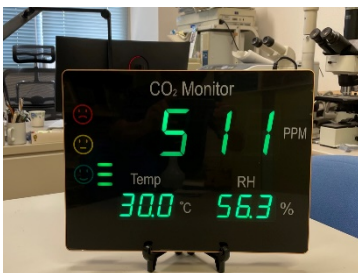
これまで地球科学分野はノーベル賞の対象外とされており、これに代わる賞として1980年に同じくスウェーデン王立科学アカデミーにより「クラフォード賞」が創設され、数学・天文学、地球科学、生物科学分野の研究者に授与されています(眞鍋先生も2018年の受賞者)。今回の眞鍋先生のノーベル賞受賞は、この点において驚きであるとともに、我が国のみならず世界中の地球科学分野の研究者や学生に、大きな夢と希望を与えてくれました。

GRC にとってもう一つの大変嬉しい理由は、眞鍋先生が愛媛のご出身であるという点です。愛媛出身のノーベル賞受賞者は、大江健三郎・中村修二両氏に加えて3人目。日本からのこれまでの受賞者が28名ですから、その1割が愛媛出身ということになります。受賞者の出身地は大阪と京都が各4名で、愛媛は東京とともに第3位の地位を占めます。愛媛県の人口は130万人程度ですから、最近はやりの10万人あたりの数で比較すると、突出して全国第一位といえそうです。

愛媛は教育熱心な土地柄であるとされており、現在でも小中学校の学力テストなどでは常に全国上位をキープしています。幕末においては幕府側につき、お隣の土佐藩に占領された痛い歴史をもつ伊予の国では、明治維新後も政治の世界では日の目をみず、「文」に活路を見出さざるを得ませんでした。小説「坂の上の雲」で有名な、日露戦争の雄である秋山好古・真之兄弟も、当初は文で身を立てることを考えていたとのこと。ノーベル賞受賞者の多さに比べ、総理大臣を一人も出していない背景には、このような愛媛の歴史と土地柄が関係しているのかもしれませんが。

一方で、ノーベル賞受賞者が郷土の英雄視されているかという点、必ずしもそうでもない雰囲気も感じます。愛媛に留まる人は仲間だが、外に出

◆ センター長あいさつ ◆



入船 徹男

コロナ禍も1年半を越え、その実体が明らかになるにつれ、一歩ずつではありますが大学も本来の機能を

取り戻しつつあります。GRCにおいても、超高压装置の遠隔操作システムの構築や代理実験の実施等に加え、変異種によるエアロゾル感染対策としてのCO₂モニター設置など様々な対策・取り組みを行ない、GRCが運用する先進超高压科学研究拠点(PRIUS)の共同利用・共同研究活動も本格的に再開されています。

長引くコロナ禍にあって研究・教育も思うように進められない中、GRCにとって大変嬉しいニュー

GRC においては、なるべく多様な若手人材を、できるだけ異なる大学・研究室や海外の研究機関から採用することを心がけてきました。一方で一定期間 GRC・大学・地域に貢献いただいた後は、他大学等へ異動することを妨げるものではありません。中核となる人材にはできる限り長くいて欲しいと願っておりますが、外に出て行った人も「GRC アルumni」として、引き続き強い連携を維持していただければと考えています。愛媛のいい面を活かしつつ、息の長い研究・人材育成を進める一方で、人材の適度な入れ替えと外部との連携を通じて、新たな方向性を不断に切り拓くことのできる組織を目指したいところです。

(R3. 10. 1現在)

入舩徹男 (特別榮譽教授)
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)

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)

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)

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客員研究員はPRIUS設置に伴い、委嘱を休止しています。

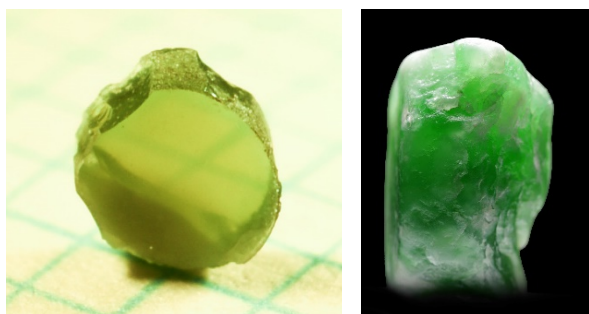
研究支援課・研究拠点第2チーム
 十河幸子（副課長）
 八丈野真子（事務職員）
 宮本菜津子（事務補佐員）
 八城めぐみ（研究補助員）
 濱田愛子（事務補佐員）

ヒスイ(翡翠)は通常緑色の宝石の一種であり、ヒスイ輝石(jadeite)と呼ばれる鉱物の数ミクロン～数十ミクロン程度の結晶の集合体です。国内で産する代表的な美しい鉱物であることなどの理由から、日本鉱物科学会により 2016 年 11 月に日本の「国石」として選定されました。ヒスイは多

結晶鉱物のため、結晶界面での光の散乱などにより、透光性はあまりよくなく、通常は不透明～半透明です。しかし、ヒスイを構成する鉱物の粒径を可視光の波長（約 400～800 ナノメートル）より十分小さくすることにより、高い透光性を有する「透明ヒスイ」が得られると予想されていました。

GRC では、超高压下での物質合成法を駆使することにより、これまでにナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）や、透明で硬いナノ多結晶ガーネットの合成を世界に先駆けて発表してきましたが、このたび同様の手法を用いて粒径 200～300 ナノメートルの多結晶体からなる透明ヒスイの合成に成功しました。ヒスイは高い耐摩耗性を持つことが知られており、今後更に粒径を 100 ナノメートル以下のナノ領域に減少させるとともに、微細組織の制御を行うことにより、新たな高硬度・耐摩耗性材料として発展する可能性もあります。

本研究は愛媛大学理工学研究科博士前期課程を今春修了した満 圭祐さん（現・（株）三菱マテリアル）と、指導教員である入船徹男 GRC 教授を中心に、大藤弘明 GRC 教授（現東北大学教授）、山田明寛滋賀県立大学准教授（愛媛大学理工学研究科博士後期課程修了）との共同研究として行われ、日本鉱物科学会が発行する英文誌「Journal of Mineralogical and Petrological Science」において、9 月 30 日にオンライン出版されました。



合成された透明ヒスイ(左)と天然のヒスイ原石(右): 糸魚川市フォッサマグナミュージアム提供)

【論文】

Mitsu, K., Irifune, T., Ohfuji, H., Yamada, A., Synthesis of transparent polycrystalline jadeite under high pressure and temperature, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 210319, doi:10.2465/jmps.210319, 2021.

【参考 HP】

日本鉱物科学会 HP 内:「ひすい」を我が国の「国石」として選定

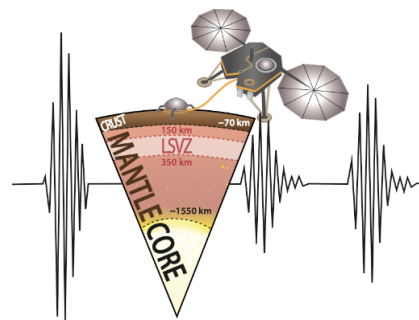
http://jams.la.coocan.jp/ishi_2016.html

❖ 火星マントルにおける地震波低速度領域

GRC の Steeve Gréaux 助教らのグループと、フランスの宇宙物理学研究所 (IMPMC) との共同研究に

より、火星マントルの深さ 150～350 km において、地震波の低速度領域が存在することが示唆されました。

NASA により 2018 年 5 月に打ち上げられた火星探査機 InSight は、同年 11 月に火星表面に到着して以来、様々なデ



ータを地球に送り続けました。とりわけ、火星に設置された地震計により多数の地震（「火震」）が記録され、火星の内部構造を制約する詳細なデータが得られています。GRC-IMPMC の共同研究チームは、まず火星マントルに想定される物質に対して、火星内部に対応する高温高压下での相関係を詳細に決定しました。更に放射光施設 SPring-8 の高圧地球科学関連ビームライン (BL04B1) において、X 線その場観察と超音波測定技術を組み合わせることにより、火星内部で想定される物質の高圧相に対して、高温高压下での弾性波速度を精密に決定しました。これらの結果、火星の上部マントル深さ 150km～350km に対応する圧力で、想定される火星のマントル物質の弾性波速度が、予想以上に低下することが明らかになりました。

本研究で得られた火星のマントルにおける低速度領域の存在に関する実験結果は、InSight ミッションによる最新の観測結果とも調和的であり、今後火星マントルを構成する物質や内部構造・ダイナミクスを理解する上で重要な手がかりを与えられます。本研究の成果は 9 月 21 日付で学術誌 Geophysical Research Letters に掲載されました。

【論文】

Xu, F., Siersch, N.C., Gréaux, S., Rivoldini, A., Kuwahara, H., Kondo, N., Mengu, Y.N., Kono, Y., Higo Y., Plesa A.-C., Badro J. and Antonangeli, D., Low velocity zones in the martian upper mantle highlighted by sound velocity measurements, Geophysical Research Letters, 48(19), E2021GL093977, doi:10.1029/2021GL093977, 2021.

❖ 第 2 回惑星深部研究会の開催

2021 年 9 月 10 日（金）に「第 2 回惑星深部研究会」をオンライン方式で開催しました。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、惑星深部理論研究の情報共有・共同研究推進の継続発展を目指し、2020年度から GRC 鉱物物性理論グループが主催しています。地震学・惑星磁気学・鉱物物性理論を切り口として、今回は6件の依頼講演がありました。オンライン方式での開催ながら約30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。本会は今後も定期的開催される予定です。



【日時】2021年9月10日（金）9:55～16:00

【開催方法】オンライン方式（Teams 利用）

【プログラム】（司会：出倉春彦）

出倉 春彦 開会の挨拶

金嶋 聡（九州大学）

Seismic velocity structure of the upper
1000 km of the outer core

大村 訓史（広島工業大学）

Molecular dynamics study of non-simple
liquids under deep-earth condition

John Hernlund（東工大）

A new mechanism for core-mantle chemical
exchange and consequences for the structure
and dynamics of the CMB region

高橋 太（九州大学）

A compositionally-driven dynamo model
consistent with a sudden decline in the
lunar magnetic field

大鶴 啓介（東京大学 M1）

波形インバージョンによる南大西洋下 D'' 領域
の3次元S波速度構造推定

佐藤 嶺（東京大学 M1）

波形インバージョンによる中米下 D'' 領域の三
次元S・P波速度同時構造推定

土屋 卓久 閉会の挨拶

❖ ヒメダイヤが JST の Science Portal で紹介

「サイエンスポータル（Science Portal）」は、科学技術振興機構（JST）が運用する科学技術の最新情報を広く発信する総合 Web サイトです。サイエンスポータルでは、情報、生物、地球、宇宙、医療、物理・化学、材料、環境など幅広い分野の

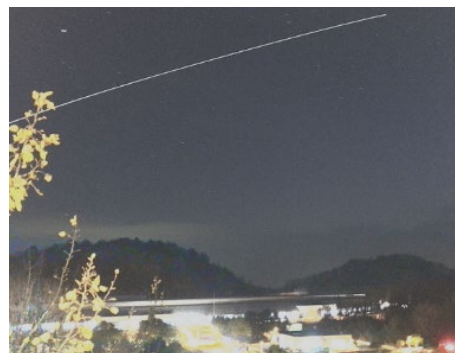


科学ニュースの発信や、各分野の専門家による多様な視点からの意見・レポート、科学イベントの紹介等を行っています。このたび同サイトにおいて、「輝ける結晶研究」というタイトルで、GRC のヒメダイヤが信州大学で開発された信大クリスタルとともに、2021年10月11日付の動画ニュースとして配信されました。

【サイエンスポータル動画ニュース URL】

<https://scienceportal.jst.go.jp/gateway/videonews/m200001005/index.html>

❖ 第5回 GRC イメージコンテスト 2021



第4回受賞作品

「SPRING-8 から観察した国際宇宙ステーション」

GRC 広報活動促進のため、第5回 GRC イメージコンテスト 2021 を開催いたします。今年もコロナ禍で GRC/PRIUS の活動が大きく制約されているため、それぞれの自粛期間中に撮影された写真・動画などでも構いません。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： コロナ禍における活動Ⅱ

参加資格： 不問。一人何点でも応募可

締 切： 2021年12月10日（金）

受賞商品： GRC オリジナルグッズ

※詳細は GRC HP (<http://www.grc.ehime-u.ac.jp/>) をご覧ください。

❖ PRIUS 共同利用者等の受け入れ

新型コロナウイルス感染症「第5波」の収束に伴い、愛媛大学においては BCP の見直しを行うと

ともに、10月よりステージの引き下げを行いました。これに合わせて、GRCが運用するPRIUSにおいても、本学が指定する「特別指定地域」(1週間の10万人あたり感染者数が25名以上の都道府県)以外からの、共同利用・共同研究等を目的とした訪問者の制限を大幅に緩和しています。

GRCとしては様々な感染予防対策を講じておりますが、来訪者の皆様におかれましても、GRC/PRIUSのガイドラインに従い、引き続き十分な感染対策をお願いいたします。なお感染の再拡大に伴い再度ステージが変更される可能性がありますので、ご来訪に際しては愛媛大学・GRCのHP情報をご参考いただくとともに、詳細はGRC事務までお問い合わせください。

.....

◆ 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)

11月

11/5 “Thermodynamic stability and crystal chemical properties of the Li_2ZrF_6 -type structure in SiO_2 ”
Mr. Saito Nakagawa (Master student, GRC)

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

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

11/26 “Effects of the core mantle composition and pressure changes on the sulfur partitioning in the deep Earth”
Mr. Kei Ito (Master student, GRC)

12月

12/3 “Synthesis of nano-polycrystalline diamond from glassy carbon under pressure conditions of 10–15 GPa”
Ms. Chinatsu Ogawa (Master student, GRC)

12/10 “Recent developments in high-pressure synchrotron X-ray experiments of amorphous materials”
Dr. Yoshio Kono (Associate Professor, GRC)

12/17 “Transparent nano-ceramics”
Dr. Tetsuo Irifune (Director/Professor, GRC)

1月

1/14 “Strength of diamond under high-pressure and temperature determined by in situ X-ray diffraction measurements”
Dr. Takehiro Kunimoto (Post-doctoral fellow, GRC)

1/21 “High pressure generation over 4 megabar II”
Dr. Takeshi Sakai (Associate Professor, GRC)

1/28 “First principles calculation of hydrous phases in the Earth and Planetary interiors”
Dr. Jun Tsuchiya (Associate Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第551回 “The regulation mechanism of redox state of the Earth’s magma ocean inferred from experiments on redox disproportionation of Fe^{2+} ”
Dr. Hideharu Kuwahara (Assistant Professor, GRC) 2021.7.2

第552回 “Sound velocity measurements at mantle geotherm temperatures: results, problems and perspectives”
Dr. Steeve Gréaux (Assistant Professor, GRC) 2021.7.16

第553回 “A challenge to observe the process of faulting in rocks at high pressures”
Dr. Tomohiro Ohuchi (Associate Professor, GRC) 2021.7.30

第554回 “Rehydration of crustal material in the deep mantle and stability of hydrous minerals and nominally anhydrous minerals”
Mr. Gou Takaichi (Master student, GRC) 2021.10.22

第555回 “Metal connectivity in bridgmanite aggregate: Implications for the origin of ULVZs at the lowermost of the Earth’s mantle”
Mr. Hiroshi Ohgidani (Master student, GRC) 2021.10.29

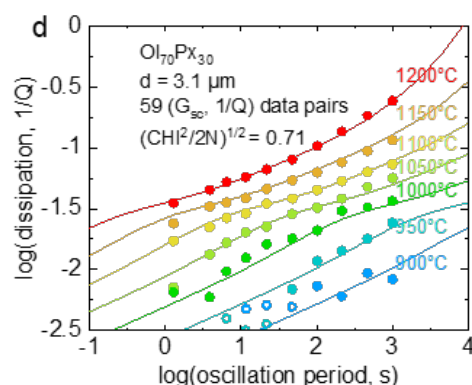
.....

❖ オーストラリア国立大学地球科学研究所
名誉教授, Ian Jackson

enjoyed that stay in Matsuyama and the interactions then and since with GRC Director and long-time friend Professor Tetsuo Irifune, and also with many other past and current GRC staff, students, and visitors. I have visited Ehime University and the GRC several times since then, most recently in May 2017 following the joint JpGU-AGU meeting in Chiba. Following retirement as Director of the Research School of Earth Sciences at the Australian National University, and appointment as an Emeritus Professor in late 2015, I have maintained an active research program within the School's Rock Physics Research Group. During that time I have supervised three PhD students through to completion: Yang Li (2016), Chris Cline (2018), and Richard Skelton. More recently I have worked with two more PhD students: Abdulwaheed Ôgûnsàmi, whose thesis is currently under examination, and Tongzhang Qu who is expected to finish early in 2022. In 'retirement', much of my time is spent at the 'Lilli Pilli campus' - our beach house at Lilli Pilli beach near Batemans Bay on the southern coast of the state of New South Wales - which is also a meeting place for family.

We have continued to employ seismic-frequency forced-oscillation techniques in studies of high-temperature viscoelastic relaxation in mantle materials, and in studies of cracked and fluid-saturated media relevant to the Earth's crust. High-temperature studies of synthetic olivine-pyroxene mixtures, with PhD student Tongzhang Qu and collaborator Uli Faul (MIT) have examined the role of orthopyroxene as the next most abundant upper-mantle phase after olivine, the onset of anelastic relaxation,

and are re-examining its grain-size sensitivity. Specimens containing 30% (Qu et al., J. Geophys. Res. 126, 2021) and <5% orthopyroxene, display closely similar ‘high-temperature background’ dissipation. A broad dissipation peak of modest amplitude superimposed upon the background at temperatures of 900–1050°C accounts for the systematic variation with oscillation period T_0 and temperature of the slope of the $\log Q^{-1}$ vs $\log T_0$ trends. This dissipation peak is thus closely associated with the onset of appreciable relaxation and is attributed to elastically accommodated grain-boundary sliding in these fine-grained materials.



Another highlight of recent research comes from forced-oscillation studies, collaborative with ANU PhD student Abdulwaheed Ôgûnsâmî and Jan Borgomano and Jérôme Fortin of the École Normale Supérieure Paris, of fluid-flow transitions responsible for frequency dependence of elastic moduli (dispersion) and dissipation in cracked and fluid-saturated media. Axial stress-oscillation tests on a thermally cracked specimen of soda-lime-silica glass, water-saturated at a low differential pressure (2.5 MPa), reveal strong frequency dependence (dispersion) of the Young's modulus accompanied by pronounced strain-energy dissipation (Ôgûnsâmî et al., J. Geophys. Res. 125, 2020). Such frequency-dependent behavior, attributed to stress-induced squirt flow of water within the crack network, precludes the direct seismological application of laboratory results from conventional (ultrasonic) techniques.

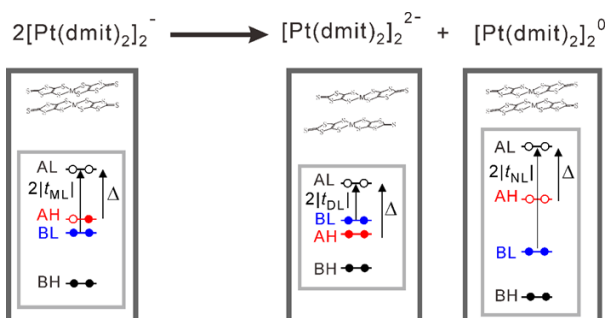
最新の研究紹介

❖ 電荷・格子・軌道の自由度が連動する分子性超伝導体の研究

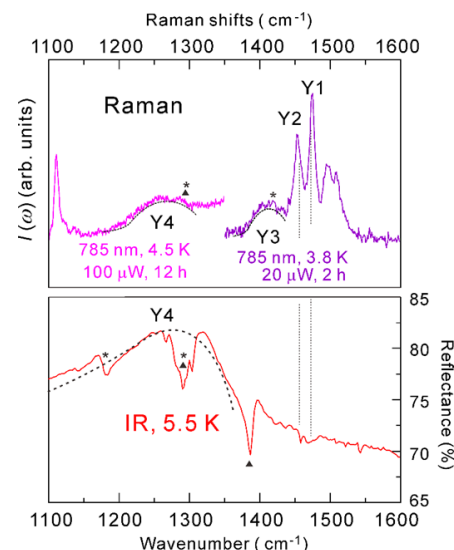
結晶性の二次元系分子性超伝導体は、電荷・格子・軌道といった複数の自由度が連動できる系として注目されつつある。対イオンなどの置換により分子間距離が変わる「化学的圧力」や、数 kbar 程度の「物理的圧力」によって、伝導性や磁性が変化するので、物性に影響を与え自由度を探索するモデル化合物とみなせる。ここでは、1) 分子軌道準位にまつわる自由度の探索と、2) 電荷不均一な超伝導体における四量化揺らぎ、を紹介する。

1) 金属ジチオレン錯体は、化学圧力や物理圧力によってフェルミ準位近傍の軌道準位が入れ替わりやすいと予想されており、単一成分金属やディラック電子系との関連性から注目されている。また、金属ジチオレン錯体塩に属する Pd(dmit)_2 塩では、正三角格子に近い条件では量子スピン液体にならない、というパラドックスが存在し、これも軌道準位の入替わりが原因である。本研究では、軌道準位の入替わりが起こる境界条件を探索した。二量体における分子間距離が Pd(dmit)_2 塩よりも長い Pt(dmit)_2 塩に着目し、赤外・ラマンスペクトルを観測・解析した。価数に鋭敏な分子内振動は低温でピーク分裂を起こした。この結果は、正三角格子の Pd(dmit)_2 塩と同様に -1 価の二量体のままでは不安定であり、低温では -2 価と 0 価の二種類の二量体が生じたことを意味する。今度は、二量体内の分子間移動積分に反比例する分子振動の波数を解析したところ、0 価の二量体では Pd(dmit)_2 塩の 0 価の二量体よりも移動積分が大きかった。-2 価の二量体の移動積分は、 Pd(dmit)_2 塩の -2 価の二量体の移動積分の半分程度であった。

-2 価の二量体において移動積分が小さいのであれば、反結合性軌道(AH)の準位は下がるので再外殻軌道は結合性軌道(BL)になる。一方、0 価の二量体のほうでは、移動積分が大きくても反結合性軌道(AH)は空なので、最外殻軌道は結合性(BL)である。開殻ラジカルである -1 価の二量体では結合性軌道(BL)準位と反結合性軌道(AH)準位が近かったため、半数の二量体において軌道準位の入替わりが解消されたと考えられる。



2) 銅酸化物や分子性物質の超伝導体の分野では、磁気揺らぎによる電子対形成が着目されてきた。しかし最近では、電荷や格子の揺らぎの観測例が増えてきており、超伝導転移との関連性から注目されている。そこで、 β'' -型 BEDT-TTF 塩に属する常圧伝導体において、電荷と格子の揺らぎを検証するために、ヘリウム温度以下でラマンスペクトルの長時間測定を行った。反転対称性を破る格子歪みに対応する振動モードが、非常に弱い強度で観測された(下図)。



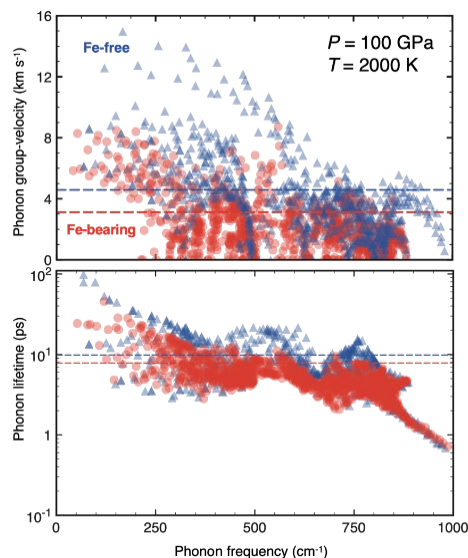
このモードの波数を解析することで、移動積分の大きな方向に四分子並んだ短距離秩序(格子揺らぎ)の存在を見出した。今度は、分子の電荷量に鋭敏な振動モードに着目したところ、格子揺らぎと結合した電荷揺らぎに起因する二本に分裂したピークと、線幅の広い別のピークが共存した。前者は超伝導ギャップの形成に対応し、後者はフェルミ面に残る電子に対応することが示唆される。(山本貴)

❖ Thermal transport property at the lowermost part of the Earth's mantle

Heat transport in deep Earth controls its thermal evolution. Determination of the thermal conductivity of the lower mantle (LM) is one of the central issues for a better understanding of deep Earth phenomena, such as the manner of mantle convection, the evolution of the magnetic field, and inner core growth. However, it is poorly understood because deep mantle pressure and temperature conditions are quite difficult to replicate for laboratory experiments. Prof. Taku Tsuchiya and I have been studying the lattice thermal conductivity (κ_{lat}) of the LM minerals. Our computational approach based on the density-functional theory and the many body quantum perturbation theory for the phonon-phonon interaction in Boltzmann transport theory was successfully applied first to the end-member of LM minerals, MgO , MgSiO_3 bridgmanite, and MgSiO_3 post-perovskite

(Dekura and Tsuchiya, 2013, 2017, 2019).

Since major mantle minerals generally form Fe and Al solid solutions, the effects of Fe and Al incorporations on the κ_{lat} should be investigated to obtain more realistic LM conductivity. Recent experiments have shown small κ_{lat} of Fe-bearing LM minerals (e.g., Hsieh et al., 2017, 2018; Ohta et al., 2017; Okuda et al., 2017). However, the temperature and/or pressure conditions of experiments were far from the actual LM condition, and the effect of solid solution on the LM conductivity is still unclear. In order to investigate the Fe effect under the LM conditions, we have extended our computational techniques to the more realistic systems, Fe-bearing LM minerals, in conjunction with the internally consistent DFT+U method that well captures the Fe-O bond character (e.g., Tsuchiya et al., 2005).



(Mg,Fe)O ferropericlasite (FP) formed by the solid solution between MgO and FeO is believed to be the second most abundant mineral after (Fe,Al)-bearing MgSiO₃ bridgmanite and post-perovskite in the LM. Recently, we have computed/determined anharmonic and harmonic lattice dynamical properties of FP under the deep LM conditions, which is necessary for determining the κ_{lat} . Because these calculations cost large amount of computations, we heavily used supercomputers at Nagoya University. The solid solution of ~ 10 mol% of FeO with the iron in the low spin state is found to substantially reduce the κ_{lat} of MgO by more than 50% at the whole LM conditions. Our analysis demonstrates that decreases in the phonon group-velocity and phonon lifetime by

the incorporation of Fe cause such a substantial reduction in the κ_{lat} (Figure). The Fe effect would affect the thermal transport properties of the lowermost mantle. Now, we are currently working on the modeling of the core-mantle boundary heat flux using our ab initio mineral physics dataset including κ_{lat} of Fe-bearing MgSiO₃ also determined recently in our research group (Haruhiko Dekura).

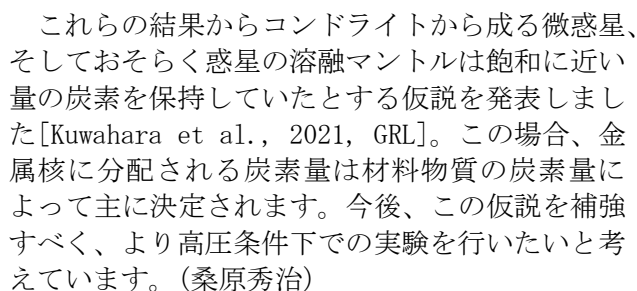
❖ 惑星形成期における岩石天体内部の炭素分布

太陽系形成期初期には小さな塵が互いに集まり、衝突合体を繰り返し、やがて月や火星といった天体サイズの微惑星と呼ばれる惑星胚がいくつもできたと考えられています[例えば Hayashi et al., 1985]。この過程において放射性壊変元素である ²⁶Al や微惑星同士の衝突によって発生する熱によって微惑星内部は溶融していたと考えられています[例えば、Elkins-Tanton, 2012]。溶融した微惑星内部では金属鉄とマントルが重力的に分離し、金属鉄と親和性の高い元素が天体表層から失われます。こうした分化過程は太陽系内の岩石天体表層の元素組成の多様性を生み出した主要因のひとつであり、また高温高压下における金属鉄とマグマ間の元素分配を調べることは惑星表層環境の成因を理解する上で本質的に重要です。

このような考えのもと、ここ数年私は高压下における液体金属鉄–マグマ間の炭素分配に関する実験的研究を行ってきました。ここではこれまでの成果を簡単に紹介いたします[Kuwahara et al., 2019; 2021]。これまでも多くの先行研究で惑星分化過程における金属核–マントル間の炭素分配が調べられてきました[例えば Dasgupta et al., 2013; Li et al., 2016; Tsuno et al., 2018]。しかしながら、先行研究では試料を封入するカプセルおよび炭素源としてグラファイトが使用されていました。したがって、炭素が飽和した条件下で液体金属鉄–マグマ間の炭素分配が調べられてきたのです。2 相間の元素分配は対象元素の濃度に依存する場合があります。また、地球をはじめとした岩石天体の材料物質と考えられているコンドライトの炭素濃度を考えると岩石天体全体が炭素で飽和していたとは考えにくく、私は炭素濃度が液体金属鉄–マグマ間の炭素分配に及ぼす影響について検討してみることにしました。

本題に入る前になぜ 2 相間の元素分配が対象元素濃度に依存する可能性があるのかについて考えてみましょう。例えば、いくつかの椅子が置かれた部屋を考えてみましょう。この部屋に入る人の多くは椅子に座るはずですが、なぜなら椅子に座ったほうがエネルギーが低い、つまり楽だからです。部屋の人数が増えるにつれて、何人かは椅子に座

実際にコンドライトと同程度の炭素を含めた出発試料を使い、液体金属鉄-マグマ間の炭素分配を調べてみた結果、グラファイトを用いた先行研究と比べて液体金属鉄へ分配される炭素量は数倍低いことがわかりました。また、面白いことにマグマへ分配される炭素濃度はグラファイトを用いた場合とほとんど変わらないこともわかりました。このことはコンドライトから成る岩石天体の分化過程において飽和に近い量の炭素がマントルへ分配された可能性を示唆します。さらに、マグマへの炭素溶解度は現在地球マントルで見積もられている炭素濃度を良く説明できることもわかりました。



❖ 電子後方散乱回折パターン検出器

私が学部生だった20年以上前では、国内の地球科学系では電子後方散乱回折パターン検出器（以降EBSP検出器）を保有している研究室は殆ど無かったと記憶しています。当時において岩石試料の結晶方位を測定する際に用いる装置といえば、偏光顕微鏡とユニバーサルステージのセットが“常識”でした。この操作には熟練と時間を要します。私が博士後期の学生だった2006年ごろになって、静岡大（当時）の道林先生の研究室にお邪魔してEBSP検出器に触れる機会を得られるようになりました。初めて岩石試料の結晶方位マップを得た時には、とても感動したのを今でも覚えています。その後ポスドクとしてイェール大の唐戸先生の研究室でお世話になった際には、電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）とEBSP検出器の組み合わせが非常に強力であることを痛感しました。EBSP測定には大電流の電子線を要するため、短寿命のタングステンフィラメント電子銃では分析中に“ビームが落ちる”ことが珍しくありません。一方、長寿命の電界放出型の電子銃であればそのような問題は無いため、スムーズにEBSP測定が行えます。私がGCOE 研究員としてGRCに着任した2009年には、EBSP検出器を備えたFE-SEMがセンターに設置してありました。これは当時としては、国内の地球科学系では非常に珍しかったと思います。それ以降、夢中になって当装置を使い続けてきました。



9

なっていました。これは、EBSP から結晶方位を特定するのに要する計算処理速度が PC やソフトの性能に強く依存するためです。そこでこの度、GRC では最新型の CMOS 搭載 EBSP 検出器を導入しました。パターン取得の速さは最新型のラインナップの中では通常のグレードですが、それでも既設の EBSP 検出器では測定に一晩要していたものが、今回導入した検出器では 10 分程度にまで短縮されました。これだけでも私にとっては驚きだったのですが、当検出器は測定が速いだけではなく、ドリフト補正を備えている上、EDS 元素マッピング

との併用も可能であることが私にとっては“革命的”でした。というのも、長時間マッピングはドリフトの問題を抱えることが普通ですし、多相系試料のマッピングでは、元素マッピングは重要な情報となるからです。いい検出器が入ったなあ、と感動しつつも、10 年もの間に私が浦島太郎になっていたことを痛感させられた次第です。まずは私自身が当検出器に慣れた上で、可能な限り早く共用開始となることを目指しているところです。
(大内智博)

.....

共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

❖ PRIUS 利用者の声



岩石内で発生する微小破壊にもなって放射される超音波帯域の弾性波であるアコースティックエミッション

ン (AE) は、直接視ることができない岩石の内部で進行する破壊現象に関する重要な情報源です。岩石破壊に関連する AE は 1960 年代から研究が進められてきましたが、50 年ほどの時を経て、AE の波形も自然地震による波形と同じように解析することが可能になってきつつあります。私はこれまで、センサの開発やセンサのキャリブレーション手法の確立にも携わりながら、100 MPa 程度以下の法線応力下での破壊現象を対象に 2m~10cm 程度の岩石試料で発生する AE について解析を進めてきました。そして、この地殻に相当する圧力条件下で発生する AE について、その規模と特徴的な時間に関するスケール関係において、自然地震の延長上に位置する、すなわち AE はマグニチュードが -7 程度の非常に小さい地震である可能性が示されました。

一方、愛媛大学 GRC の D-DIA 型超高压変形装置 Madonna I で実施されている GPa オーダーの超高压岩石破壊試験は、稍深発地震の模擬するものですが、試料が 20 mm 程度と非常に小さくなり、AE 計測にとっては非常にチャレンジングになります。試料が小さいということは、対象とする微小破壊も小さくなるので、これまで以上に高周波 (3~4 MHz 程度) までを解析対象とする必要があるとともに、震源決定精度も向上させる必要があります。これを実現させるためのハードルはいくつもあるので

すが、成功すれば稍深発地震の発生メカニズムの解明に近づく世界初の成果が得られるものと大いに期待しています。

愛媛大学 GRC の大内智博先生主導のこの計画に PRIUS を利用して参画できることは非常にワクワクするものであり、新しいセンサを使った実験を 8 月からスタートさせたところです。個人的には、20 年以上ぶりに固体圧のマルチアンビル型の試験機に触れることができ、学生時代の師匠である故、島田充彦先生との思い出もよみがえり、身が引き締まる思いでした。COVID-19 の影響が明けるまでは訪問できる機会も限られると思いますが、これからも PRIUS を利用して実験を実施できることを楽しみにしておりますので、今後ともよろしくお願いいたします。

(川方裕則：立命館大学理工学部教授)

❖ PRIUS 利用者の声

“Investigation of structural transitions and melting/recrystallization dynamics in disordered system under extreme conditions”

My research activities are mainly focused on the phase behavior of disordered systems (liquids, glasses) under extreme conditions, including pressure induced polyamorphism, amorphization and melting/recrystallization dynamics. I mainly use diamond anvil cells for high pressure and high temperature experiments, and X-ray absorption spectroscopy (XAS) for structural characterizations. XAS is an ideal element selective technique for probing the local



atomic structure and electronic properties in disordered systems. However, efficient coupling of the technique with diamond anvil cells had been largely restricted for many years due to undesired glitches superimposed on the XAS spectra which is introduced by the Bragg reflections of the single crystal diamond anvils. The possibility of using synthetic nano-polycrystalline diamond (NPD) anvils was a revolutionary change in the field, and offered great scientific opportunity for the high pressure XAS community. Several experiments related with my PhD thesis and recent postdoc projects would not be successful without close collaborations with prof. Tetsuo Irifune and Dr. Toru Shinmei from GRC. Within the framework of PRIUS collaborations, we have developed resistively heated diamond anvil cells for XAS experiments [1], and studied the local structural and phase diagram of a metallic liquid alloy under high pressure and high temperature (HP-HT) conditions [2]. Very recently, we also studied the phase behavior and melting

/crystallization dynamics of glassy and liquid Se under HP-HT [3]. Thanks to the NPD anvils, the quality of the high pressure EXAFS data was very good (see the attached figure) and allowed us to perform

quantitative analysis with unprecedented details and accuracy.

(Yimin Mijiti, Post-doctoral fellow, University of Camerino, Italy)

[1] Y. Mijiti et al., Rev. Sci. Instrum 91, 085114.

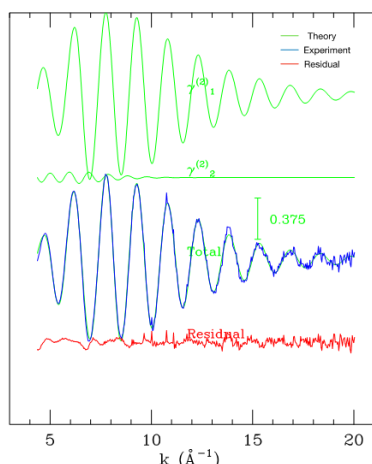
[2] Y. Mijiti et al., Phys. Status Solidi PRL, 2021, accepted manuscript (in press).

[3] Y. Mijiti et al, manuscript under preparations.

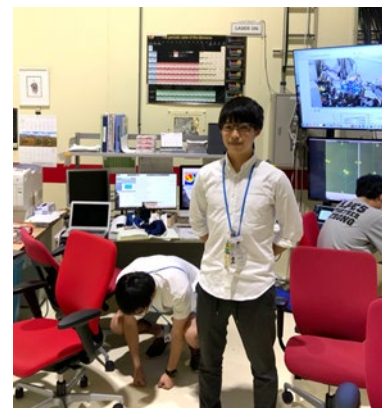
❖ PRIUS利用者の声

“含水stishoviteの合成実験”

私は7月中旬に同研究室博士課程の岡健太さんとPRIUSを利用してGRCに来所し、ORANGE-2000および-3000を用いて含水stishoviteの合成実験を行



わせていただきました。時期としては新型コロナウイルス感染の第4波と第5波のちょうど合間であったため全国的には感染者数は減少傾向にあったものの、コロナ禍でも東京からの来所



を許可いただけるという大変ありがたいご連絡を受けました。この実験を行うにあたり、受け入れを許可していただきました入船様、来所中の実験のほとんど、活発な議論を行っていただきました桑原様、合成実験の前後でストラテジーを組んでいただきましたGréaux様、合成実験の際に議論をしていただきました福山様、またこのような状況の中で柔軟に東京からの来所に伴う手続きをしてくださりましたGRCのスタッフの皆様には大変お世話になりました。この場を借りて改めて感謝申し上げます。

実験の合間に西原様と研究のディスカッションをさせていただきました。自分の研究室以外の研究者との対面での議論はコロナ禍に入ってから初めてであったためとても懐かしく感じました。その場で交わされた議論から岡さんの研究が飛躍的に進み、また派生した新しい研究も生まれました。学会もオンライン学会ばかりになってしまった昨今ですが、このような対面でばったり会って始まる議論から生まれる思いがけない研究の進展は大切であると改めて感じました。

今回の実験では様々な含水量のstishoviteを合成することに成功しました。私は高温高压下における含水鉱物の物性に強い興味がありまして、早速持ち帰った合成試料の電気伝導度を測定しています。含水試料の合成と相同定、および含水量の分析を行う装置が全て揃っているGRCはとても魅力的な場所です。PRIUSをまた利用させていただきますと幸いです、今後とも何卒よろしくお願いいたします。まだまだ油断はできないコロナ情勢ですが、収束しまして対面での議論ができる日常が一日でも早く戻ることを願っております。

(奥田善之:東京大学 日本学術振興会特別研究員)

編集後記: GRCでも徐々に通常の研究・教育活動が再開されつつありますが、来年には様々な行事を含めて対面での交流が再び活発になることを祈っています。(T. I & Y. M.).



第5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Ⅱ

【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.

【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】 2021 年 12 月 10 日 (金)

【提 出 先】 <https://photos.app.goo.gl/kspLGZVCWVp3eyik6> 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)

【賞 品】 GRC オリジナルグッズ

【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.

