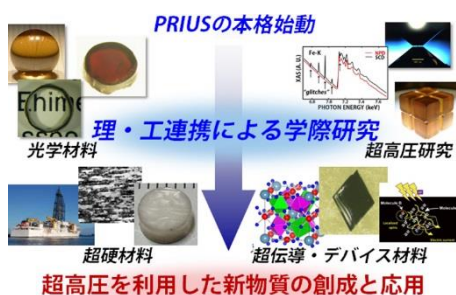


国立大学法人 愛媛大学
地球深部ダイナミクス研究センター
〒790-8577 松山市文京町2-5
TEL : 089-927-8197 (代表)
FAX : 089-927-8167
<http://www.ehime-u.ac.jp/~grc/>

目 次

- ◆ センター長挨拶
- ◆ センター構成
- ◆ NEWS & EVENTS:
 - 系外惑星深部物質の圧縮挙動の解明
 - 中心核条件での電気伝導度測定に成功
 - 入船センター長が R. W. Bunsen メダル受賞
 - GRC-東大地震研協定締結記念講演会
 - 熊本地震で被災された皆様へ
 - 国際レクチャー
 - フロンティアセミナー
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ 新人紹介
- ◆ 海外出張報告
- ◆ ALUMNI レポート No. 10
- ◆ 最新の研究紹介
- 先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)
- 地球生命研究所 サテライト (ELSI-ES)

➡ センター長あいさつ ➡



入船 徹男

国立大学も法人化第三期に入り、重点支援の名のもとにより本格的

な国立大学の差別化・選別の時代に入ったともいえます。愛媛大学が選択したのは、多くの地方大学がそうであるように重点支援①、つまり「地域貢献型」ともいえるカテゴリーです。研究重視のセンターである GRC として、このカテゴリーにおける一縷の望みは、「強み・特色ある分野で世界な

いし全国的な教育研究を推進する取組」も支援すると謳われていることです。

本学においては、特色ある研究推進のための戦略が設定され、その重要なポイントとして超高压科学関連の取組が取り上げられました。このことは GRC にとって歓迎すべきであるとともに、本学における先端研究の生き残りをかけた大きな責任も伴います。GRC にとって、このような期待に応えるためには、学内や研究者コミュニティからの支持が重要である一方で、「自主独立」の精神も大切であると考えています。

前者については、GRC を中核とした全国の共同利用・共同研究拠点（先進超高压科学研究拠点：“PRIUS”）が、平成 25 年に文科省から認定を受けました。PRIUS は高い評価を得て、第三期も引き続き超高压科学及び関連分野における拠点としての役割を担っています。共同利用・共同研究数も当初の想定の倍以上、国内外から 100 件を超える研究課題の採択とその実施により、コミュニティからの期待と支持も広がりつつあります。

自主独立のためには、基盤となる外部資金の獲得が重要です。幸いこれまでは GRC の高い研究成果を背景に、大型科研費等の継続的獲得に成功してきました。しかし今後もこのような綱渡りが可能であるという保証はありません。実験と理論を核とした地球深部科学のような基礎科学分野では、一般的には企業等からの支援もあり見込めません。

しかしこのような状況も、GRC では少し変化の兆候がみられます。世界最硬ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）の合成とその製品化の成功以来、GRC では先端的地球科学の推進の一方で、超高压を利用した新しい物質・材料の開発も本格的に試みています。少なからぬ企業との共同研究も開始され、これらの企業の中には独自に超高压装置を導入し、あるいはその導入を検討しているところもあり、GRC と緊密な連携をすすめています。

私自身も最近、超高压材料科学ともいえるべき分野の研究にも力を注いでいます。折しも平成 27 年度から、本学において特色ある研究グループを支援するリサーチユニット (RU) 制度が開始され、工・理・GRC のメンバーからなる「超高压材料科学

RU」が高い評価を得て採択されました。このRUを中核とした、「第二GRC」とも称される新たな組織の設置も、本学の研究戦略面での重要な課題として浮上しています。

第二GRCがどのような形態になるかは不明ではありますが、超高压をキーワードとした基礎から応用までを含む新たな研究分野の創成が本学において達成され、より幅広い研究者が結集する研究基盤作りができればと考えています。このような方策を通じて、本学における特色ある研究の生き残り新たな発展への貢献を期するとともに、企業等との共同研究や支援の積極的受け入れも想定しつつ、地球・惑星深部科学と超高压材料科学を柱とした次世代GRCへの発展を模索したいと思えます。

.....

➡ センターの構成 ➡

(H28. 6. 1現在)

❖ 超高压合成部門

入舩徹男 (教 授)
大藤弘明 (教 授)
大内智博 (助 教)
西 真之 (助 教)
Steeve Gréaux (WPI研究員)
國本健広 (WPI技術研究員)
小島洋平 (特定研究員)
野村龍一 (特別研究員) (H28. 5. 1～)
Nadezda Chertkova (特別研究員)
(H28. 5. 1～)
Wei Sun (WPI研究員) (H28. 5. 1～)
飯塚理子 (学振特別研究員)

❖ 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 (助 教)
市川浩樹 (WPI研究員)
Zhihua Xiong (特定研究員)
白石千容 (研究補助員)

❖ 物性測定部門

井上 徹 (教 授)
西原 遊 (准教授)
木村正樹 (助 教)
境 毅 (助 教)

❖ 量子ビーム応用部門

桑山靖弘 (助 教)

❖ 教育研究高度化支援室 (連携部門)

入舩徹男 (室長)
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)
林 諒輔 (技術補佐員)
内山直美 (技術補佐員)

❖ 客員部門

客員教授 Yanbin Wang (シカゴ大学GSECARS
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/
高压実験室長)
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 (東京大学大学院理学
系研究科特任研究員)
客員教授 舟越賢一 (CROSS東海事業セン
ター利用研究促進部門次長)
客員教授 平井寿子 (立正大学地球環境科
学部特任教授)
客員准教授 丹下慶範 ((公財) 高輝度光科
学研究センター利用促進部門
研究員)
客員准教授 西山宣正 (ドイツ電子シンク
ロトロンビームラインマネー
ジャー)

❖ 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

研究拠点事務課 (3F)
佐々木昇 (課長)
田窪 光 (チームリーダー)
宮本菜津子 (事務補佐員)
兵頭恵理 (研究補助員)
八城めぐみ (研究補助員)
長野絵理 (事務補佐員)
上田瑠美 (研究補助員)

.....

➡ NEWS&EVENTS ➡

❖ 系外惑星深部物質の圧縮挙動の解明

GRC の境毅助教、出倉春彦助教、高輝度光科学研究センターの平尾直久研究員らの研究グループが、地球マントル最深部・スーパーアース深部に存在するとされる鉱物であるポストペロブスカイト相の高温高压下における圧縮挙動を高圧実験と理論計算を用いて解明しました。

研究では、大型放射光施設 SPring-8 において従来の実験的研究の約 2 倍の圧力である 265 万気圧までの高圧実験を行って精密な密度データを取得し、状態方程式を確立しました。さらに、実験とは独立して理論計算も並行して行い、従来の理論的研究が行ってきた圧力の 6 倍に相当する 1200 万気圧・5000℃までの密度データを計算しました。実験的および理論的に決定した状態方程式を比較すると非常によい一致を示し、理論と実験との間の整合性が極めて高いモデルを構築することに成功しました。今回の成果により、スーパーアースマントル内部構造のみならず地球マントル最深部の理解が深まることが期待されます。

本研究は、イギリス Nature 出版社のオンラインジャーナル Scientific Reports の 2016 年 3 月 7 日版において発表されています (<http://dx.doi.org/10.1038/srep22652>)。



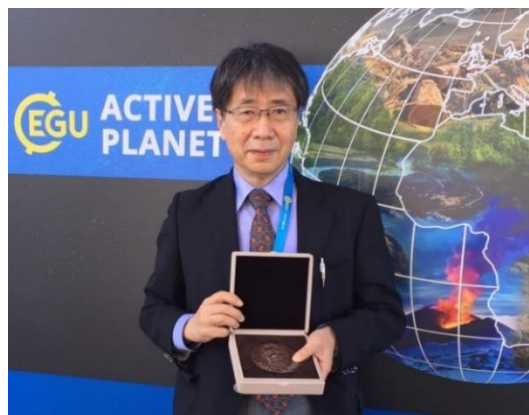
❖ 中心核条件での電気伝導度測定に成功

東京工業大学の太田健二講師、廣瀬敬教授、GRC の桑山靖弘助教、大阪大学の清水克哉教授、高輝度光科学研究センターの大石泰生副主席研究員からなる共同研究チームは、中心核に相当する温度圧力のもとで、電気伝導度を測定する技術開発に成功しました。高輝度光科学研究センターの大型放射光実験施設 (SPring-8) においてこの装置を用い、地球外核に相当する圧力 157 万気圧、温度 4500 度までの条件で鉄試料に対して実験を行いました。その結果、純鉄の電気伝導度から見積もった電気・熱伝導度が従来の予想よりも 3 倍程度高いことを明らかにしました。この研究成果から、地球内核は誕生してから 7 億年程度しか経過していないことが推測されます。また、地球磁場を生成しているダイナモ機構の理解へも大きく貢献することが期待されます。

本研究成果は、イギリスの総合科学誌 Nature の 2016 年 6 月 2 日号において発表されました (<http://www.nature.com/nature/journal/v534/n7605/full/nature17957.html>)。

❖ 入船センター長が R. W. Bunsen メダル受賞

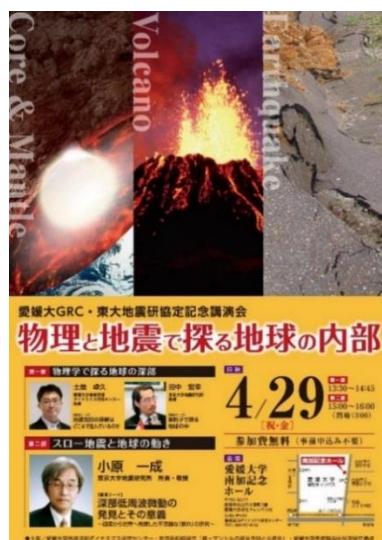
入船徹男 GRC センター長が、ウィーンで開催されたヨーロッパ地球科学連合 (EGU) の R. W. Bunsen メダル授賞式に出席し、受賞講演 (メダリストレ



クチャー) を行いました。入船 GRC センター長は昨年 11 月にアジアから初の同賞受賞者に決定されましたが、4 月 17~22 日の 6 日間に渡りウィーンで開催された同連合の総会中に、授賞式に出席するとともに受賞講演や祝賀レセプション、また EGU 会長主催の晩餐会に出席しました。EGU はアメリカ地球物理学連合 (AGU) に続いて、地球惑星科学分野で世界第 2 の規模となっており、設立 15 年目の今年は世界 109 か国からの約 14000 名の参加者により、約 15000 件の研究発表が行われました。

❖ GRC-東大地震研協定締結記念講演会

GRC と東京大学地震研究所 (地震研) が締結した連携・協力協定を記念した一般公開講演会が 2016 年 4 月 29 日 (金・祝) 13:30~16:00 愛媛大学南加ホールにて開催されました。講演会では、世界で初めて四国直下で発見された「深部低周波微動」という特殊な地震と、巨大地震を引き起こすプレートの沈み込みとの関連について、この現象を発見した小原一成教授 (東京大学地震研究所所長)、に解説していただきました。加えてニュートリノなどの素粒子を用いた新しい地球内部研究について田中宏幸教授 (東京大学地震研究所) が、量子力学を駆使した地球深部の構造と進化の最新の研究成果について土屋卓久教授 (GRC) が講演をおこないました。



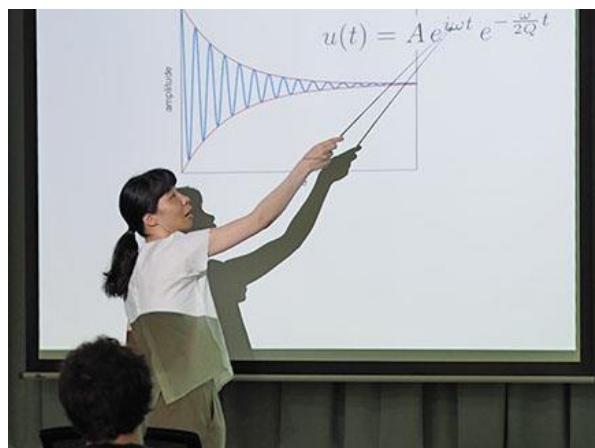
❖ 熊本地震で被災された皆様へ

GRC が運用する共同利用・共同研究拠点「先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)」では、熊本地震で被災された高压科学関連分野の教員・研究者や学生の皆様に対して、年度途中での共同利用・共同研究課題の採択と、旅費・滞在費の支援を優先的にを行います。

ご希望の方は当センター教員を通じて、または prius@stu.ehime-u.ac.jp へお申込み下さい。利用可能な機器の一覧や PRIUS についての詳細は、PRIUS (<http://www.grc.ehime-u.ac.jp/prius>) をご参照下さい。

❖ 第 12 回国際レクチャー

ハーバード大学の石井水晶教授による「GRC & 新学術領域研究“Core-Mantle Coevolution”国際レクチャー」が開催されました。石井教授は地震学をご専門とされており、講義では地球内部における異方性および減衰特性について、分野外の受講者にもわかりやすく説明していただきました。受講者の中には、本学教員、博士研究員、大学院生に加えて、学外からの参加者もありました。また、講義中に質疑応答の時間が定期的に設けられ、多くの質問が飛び交う中、講義は盛況の内に終わることができました。



“Seismological Constraints on the Earth’s Physical Property”

講演者：Dr. Miaki Ishii (Professor, Harvard University)

日時：2016 年 6 月 16 日 (木) 13:00-16:00

2016 年 6 月 17 日 (金) 13:00-16:00

場所：愛媛大学総合研究棟 I 4F 共通会議室

❖ 国際フロンティアセミナー

第 54 回 (& 新学術領域研究 (第 1 回))

“Composition and origin of the Moon”

講演者：Prof. Shun-ichiro Karato (Yale



University)

日時：2016 年 3 月 25 日 (金) 16:30-18:00

第 55 回 (& 新学術領域研究 (第 2 回))



“Atmosphere-mantle Interactions Using Noble Gases”

講演者：Dr. Colin Jackson (Geophysical Laboratory, Carnegie Institute for Science)

日時：2016 年 6 月 3 日 (金) 16:30-18:00

第 56 回 (& 新学術領域研究 (第 3 回))

“Earthquakes Great and Small: how they become large and how they evade detection”

講演者：Prof. Miaki Ishii (Harvard University)

日時：2016 年 6 月 17 日 (金) 16:30-18:00

第 57 回



“Reducing conditions in the inner Solar System, as witnessed by Mercury and Earth”

講演者: Dr. Asmaa Boujibar (NASA Johnson Space Center in Houston)

日時: 2016年6月24日 (金) 16:30-18:00

.....

➡ ジオダイナミクスセミナー ➡

❖ 今後の予定 (詳細はHPをご参照下さい)

7月

7/1 “Synthesis of superhard carbon nitrides”

Dr. Yohei Kojima (Postdoctoral Researcher, GRC)

7/8 “High-temperature failure of dunite and harzburgite: implications for intermediate-depth earthquakes”

Dr. Tomohiro Ohuchi (Assistant Professor, GRC)

7/15 “Phase relations in the system KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ with implications for the formation of lingunite in heavily shocked meteorites”

Youno Zhou (Ph.D. student, Ehime University)

7/22 “In situ high P-T X-ray computed laminography and its applications”

Dr. Ryuichi Nomura (Postdoctoral Researcher, GRC)

“High pressure generation in Kawai-type multianvil apparatus equipped with WC/NPD anvils”

Dr. Takehiro Kunimoto (WPI Postdoctoral Research Technician)

7/29 (Advanced Science Seminar)

“Numerical experiments on mantle convection of super-Earths with strong adiabatic compression”

Dr. Masanori Kameyama (Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第438回 “Experimental investigation of methane hydrates dissociation under high pressure and temperature”

Hirokazu Kadobayashi (Ph.D. student, Ehime University) 2016.02.26

第439回 “Equation of state at multi-megabar pressure II”

Dr. Takeshi Sakai (Assistant Professor, GRC) 2016.04.15

第440回 “HP-HT phase relation of lunar rocks: a clue for locating the lost Hadean crust?”

Dr. Steeve Greaux (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC) 2016.04.22

第441回 (Advanced Science Seminar)

“Pressure-assisted synthesis of transparent nano-polycrystalline ceramics”

Dr. Tetsuo Irifune (Professor, ELSI-ES, GRC) 2016.05.13

第442回 (Advanced Science Seminar)

“Determination of pressure effect on thermocouple electromotive force using multi-anvil apparatus”

Dr. Yu Nishihara (Associate Professor, GRC) 2016.05.20

第443回 “Ab initio prediction of the possible incongruent melting relation to the MgO-SiO_2 system in multi-megabar”

Takashi Taniuchi (Ph.D. student, Ehime University) 2016.06.10

.....

➡ 新人紹介 ➡

Zhihua Xiong
(特定研究員)



My name is Zhihua Xiong. I joined Geodynamics Research Center, Ehime University in August 2015 when I finished my PhD training at Peking University. During my PhD period,

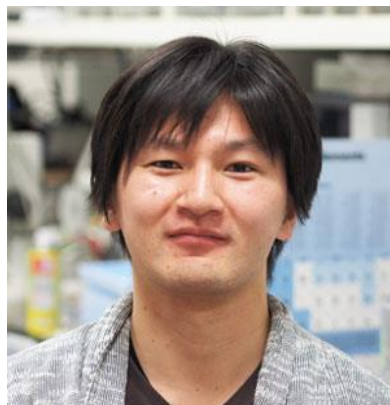
I was working with my supervisor professor Xi Liu in his high temperature and high pressure laboratory. With apparatus including piston-cylinder, multi-anvil press and diamond-anvil cell, mineral physical properties and phase diagram of the Ca-rich system from Ca_2SiO_4 to $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ were well constrained and some very interesting results were obtained.

Now I am working with professor Taku Tsuchiya as a post-doc, and our project is focused on the heat flux of the core-mantle boundary (CMB), which is a fundamental parameter in understanding the thermal evolution of the Earth. However, the total CMB heat flow is uncertain, with recent estimates ranging from 2 to 15 TW. One of the most important factors in determining the heat flow is whether and how much radioactive elements (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U) can exist in the core. In our study, ab-initio molecular dynamics calculations are used to learn about the partitioning behaviors of those elements. The partition coefficients are determined by Gibbs free energy changes corresponding to the radioactive elements exchanging reactions between silicate and metallic systems. Helmholtz free energies are obtained based on “thermodynamic integration” by computing the difference between two systems with different potential energy functions. Factors including temperature, pressure and composition (different silicate system and Fe-alloys) that may have effects to the partitioning behaviors will be well learned. Our results are anticipated to renew the cognitions of the heat flux of the CMB, and finally have implications for investigating the generation of the Earth’s magnetic field, the growth rate, age of the inner core, and dynamics of the mantle.

Since my start working in Theoretical Mineral Physics Group, progresses were made in our project with instructions of professor Taku Tsuchiya. Other members of our group including professor Jun Tsuchiya, Dekura-san and Ichikawa-san also give me lots of nice suggestion for running well with the whole project. Besides, discussion with students including Taniuchi-san and Harada-san also give me so many enlightenments. All of those deserve my endless thanks. In addition, life in Matsuyama is a kind of peaceful and wonderful one, I immediately settled down after my arrival with helps from Miyamoto-san and Yashiro-san, which I really appreciate.

Also, I am so grateful for all the colleagues in my office for creating harmonic working environment and the sweat accompanying of my dear and lovely friends in Matsuyama.

野村 龍一
(愛媛大特別研究員)



今年4月より特定研究員として着任しました野村龍一です。よろしくお願いします。

私は2014年に東京工業大学 理工学研究科 地球惑星科学専攻で博士の学位を取得したのち、同大学の地球生命研究所で2年間、WPI 研究員として働いていました。博士課程では初期地球内部の化学進化に焦点をあて、ダイヤモンドアンビルセルを利用した高圧下でのマントル物質の融解実験や、金属鉄-ケイ酸塩間の元素分配実験を行っていました。学位取得後は新しい高圧その場 X 線イメージング技術の開発や、X 線吸収微細構造 (XAFS) 分析による高圧液体鉄合金の構造解明などに取り組んできました。この2つのテーマは GRC に着任後も続けていく予定ですので、ここでは少しだけ研究内容について紹介したいと思います。

2011年に米科学誌「サイエンス」にはやぶさ論文の特集が組まれたことは記憶に新しいですが、その中でも特に土山教授(京都大学)の論文は私の研究にとって非常に大きな転機となりました。高圧業界では、X 線コンピュータ断層撮影 (CT) 法を用いて高圧下にある物質の形状や大きさ、組織を観察する“物理的”な研究が精力的に行われていますが、土山教授の論文では鉄の K 吸収端 (7.12 keV) を挟む2つの低い X 線エネルギーでサンプルを撮像することによって、サンプル内部の鉱物分布やその鉄濃度の情報など、“化学的”な情報を 3D で得ることに成功していました。私はこの手法を高圧にも応用できないかと思い、新しい高圧その場 X 線イメージング手法の開発プロジェクトとして研究を始めました。その後は土山教授のご協力もあり、去年までにこの化学的な X 線イメージングを高圧その場で行えるようになりました (X 線ラミノグラフィー撮像法)。また、嬉しい副作用で、物理的な目的でも従来の X 線 CT 法より質の高

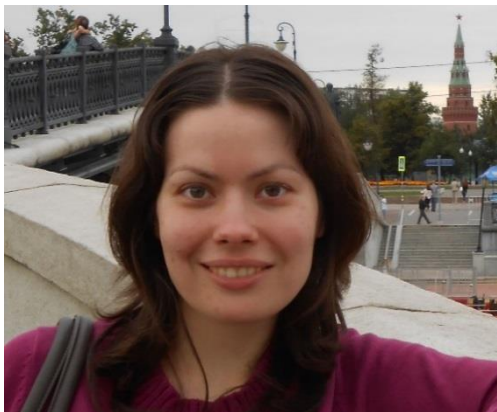
い撮像が、しかもより高圧で可能なことわかり、現在、変形実験への応用など、物理寄りのテーマも含めた様々なプロジェクトを展開させています。

もうひとつのプロジェクトである高圧その場 XAFS 分析では、単結晶のダイヤモンドアンビルを使用すると吸収スペクトルに回折由来のスパイク(グリッチ)が現れる問題が良く知られています。そのため、高圧 XAFS 研究ではアンビル素材としてナノ多結晶ダイヤモンド(NPD)が欠かせません。私は東工大時代から GRC の共同利用制度(PRIUS)を利用させていただいており、GRC 産 NPD ダイヤモンドアンビルを使用した実験を行ってきました。GRC に移ったことで今後研究が加速することを期待しています。

GRC では、さらにいくつかの新しいプロジェクトを開始しています。私のモットーはとにかく新しいことをやる、です。今後とも GRC 内外の方々と一緒に新しい研究を始められれば良いなと考えています。

最後に、異動初日から実験に集中できる環境を整えてくださった入舩さん、大藤さん、境さん、そしてなによりも事務の方々への感謝に堪えません。好きなことを好きなだけできる環境に休むことがもったいなく感じている毎日ですが、今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

Nadezda Chertkova
(愛媛大特別研究員)



My name is Nadezda Chertkova. I am from Moscow, Russia. I joined GRC as an Ehime University research fellow on May 1, 2016. I will work with Professor Tetsuo Irifune and Professor Hiroaki Ohfuji on investigation of mixing behavior of basaltic magmas with various volatile components and their physicochemical properties at depth using diamond anvil cell technique.

During my Ph.D. program at Okayama University in Japan I was developing the methods and techniques of high-temperature in situ experiment with hydrous silicate melts in an externally heated diamond anvil cell (HDAC)

primarily under the supervision of Associate Professor Shigeru Yamashita. Based on the structural data obtained by Raman and near-infrared spectroscopy, I constrained the effects of pressure and composition on the solution mechanism of water in silicate melts with different degree of melt polymerization. After getting my Ph.D. degree in 2015 I returned to Russia and worked as a research scientist at the Institute of Experimental Mineralogy, Russian Academy of Science (RAS), in Chernogolovka city. There I realized that Japan has very advanced experimental and analytical equipment and wanted to continue my work in Japan. At the conference in Moscow I met Prof. Irifune, Prof. Ohfuji and Prof. Inoue from GRC and was amazed by experimental techniques they demonstrated in their presentations. When they invited me to work at GRC, I was really happy.

I think that GRC is a nice place to conduct research, not only because it has world leading high-pressure experimental equipment and technologies, but also because it focuses on interdisciplinary approach and provides opportunity to discuss your work with the specialists in various fields of science from all over the world.

Wei Sun
(WPI 研究員)



My name is Wei Sun. I joined GRC as a postdoctoral researcher with ELSI group on May 1st, 2016. I will cooperate with Professor Irifune and other coworkers and focus on determination of sound velocities of wadsleyite, the dominant mineral in the upper transition zone corresponding to MTZ conditions.

I obtained my PhD degree on geoscience at Okayama University in 2016. During my PHD course, I worked with Professor Takashi Yoshino on H-D inter-diffusion in wadsleyite

I really appreciate all the help from Natsuko Miyamoto, Megumi Yashiro and the guidance from Dr Steeve Gréaux, Youmo Zhou and Professor Irifune. I believe, with their help, I can conquer any difficulty in my future research and life. I am looking forward to the work at GRC and the life at Matsuyama.

海外出張報告

2016 年度は「高圧結晶科学」をテーマに、8 日間にわたり各国から集まった 100 名近い大学院生やポスドクなどの若手研究者に対し、私を含む 20 名近い各国からの講師陣による集中的な講義・実習・討論会などが行われました。日本からは私が「マルチアンビル装置とその地球科学・材料科学

エーリチェは「天空のラピュタ」に迷い込んだような中世の小さな街で、三角形に近い外周は歩いて30分ほどです。観光客も多く10件ほどのレストランがありますが、すべてイタリアンでした。参加者は、財団が所有する3つの修道院等を改修



した建物（写真はその一つでレクチャーホールを兼ねたもの）で起居を共にし、昼はこれらのレストランのいずれかで食事。昼も夜も8日間連日のパスタ（たまにピザ）は、さすがにつらいものがありました。会期中の午後に2度行われたエクスカッションが下界に降りる唯一の機会、2台のバスに分乗しての古代ローマ・ギリシャ時代の遺跡めぐりはいいリフレッシュとなりました。（入船徹男）

.....

➡ ALUMNI レポート⑩ ➡

❖ Earth Sciences Department, Sapienza University (Rome, Italy)
Assistant Professor, Vincenzo Stagno



It dates back to 2009 when, for the first time, I was asked to write a short report about myself as a PhD student from Bayerisches Geoinstitut (Germany) that was visiting the Geodynamics Research Center (GRC) for 3 months. Then, I was a research scientist at Carnegie Institution of Washington in 2013 when I had the opportunity to visit GRC again and do some work in the field of experimental petrology applied to the deep Earth with its staff members. Till 2014, when I decided to move from US to Japan to join the WPI/ELSI program at GRC. At that time, for some unknown reason, my family and I felt like going back home, and the fastness of how we all adapted to the new life in Matsuyama was the proof that we made a good choice. Over these last years GRC gave me what a scientist would need of to be happy both in terms of scientific facilities, international visibility and human treatment. Regarding my own research goals, 14 months spent at GRC resulted in an important step forward to understand how the speciation of carbon from the depths of 1500 km up to the atmospheres has evolved over the last 3800

Ma. In December 2015 I was appointed with a 3-year tenure-track position in Sapienza University, Rome (<http://www.dst.uniroma1.it/en/>). A great opportunity has been offered to me to continue working with high-pressure facilities through a collaboration with the National Institute of Geophysics and Volcanology (www.ingv.it). Besides this, I am delighted to offer my knowledge for teaching graduates and undergraduate students, with the wish that one day some of them will also have the great opportunity to perform experiments at GRC's high pressure lab.

.....

➡ 最新の研究紹介 ➡

❖ MgSiO_3 ポストペロブスカイトの状態方程式

MgSiO_3 ポストペロブスカイト相（以下、PPv）は地球ではマントルの最深部にのみ存在するが、スーパーアースのような大きな岩石型惑星においてはマントルの大部分を占める主要鉱物となる。今回我々はPPvの状態方程式に関する研究を行った(Sakai et al., 2016)。2004年にPPvが発見されてからこの相に関する数多くの研究がなされており、いまさら MgSiO_3 端成分の状態方程式？と思われるかもしれない。しかし、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル（以下、LHDAC）、衝撃圧縮実験、第一原理計算による先行研究の結果は、P-V-Tの関係やグリューナイズンパラメータ(γ)の値、熱膨張率などについて必ずしも一致してはいなかった。本研究では、LHDACによる実験と第一原理計算の両面からこの問題に取り組んだ。

本研究の状態方程式の特徴は、①Keane状態方程式を採用したこと、②グリューナイズンパラメータに関してAl'tshulerの定義を採用したこと、③同様のモデルを採用したMg0プライマリースケールに基づいて決定したこと、④第一原理計算を並行して行い比較したこと、である。それぞれについて簡単に述べる。

1. Keane 状態方程式

Keane状態方程式は、常圧下における体積 V_0 、体積弾性率 K_0 とその圧力微分 K' に加えて、無限の圧力（圧縮極限）における K' 、すなわち K'_∞ をパラメータとして含んでいる。常圧と圧縮極限という2つの“端条件”のパラメータを持つことで、微分特性をより正確に表現できるのが特徴である。Staceyの言葉を借りれば、「調整可能なパラメータとしての K'_∞ を含むような状態方程式のみが正しい微分特性を与えることができる」のである。

2. Al'tshuler の定義～ γ_∞ モデル

γ に関するAl'tshulerの定義も同様に圧縮極限における値 γ_∞ をパラメータとして含んでおり、最

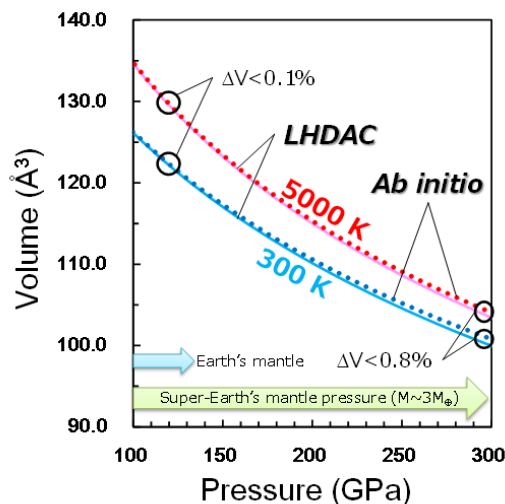
近多く使われ始めている。上述の議論と同様、圧縮極限でゼロに収束してしまう従来の定義($\gamma = \gamma_0(V/V_0)^q$)よりも、 γ_∞ を含んだ Al'tshuler の定義の使用が望ましい。結論から言って、先行研究における大きな矛盾の原因は、採用した定義式の違いにあった。

3. 圧力スケールと非静水圧性

実験データをもとに状態方程式を決定する場合、圧力スケールの選択は最も大きな問題のひとつである。本研究では圧力スケールとして、MgO を使用した。Tange et al. (2009) はスケールフリー統合解析(SFUA)による MgO プライマリースケールを報告しているが、今回は特に Keane 状態方程式と Al'tshuler の定義を採用した MGD モデルに基づいて決定されたスケールを採用した(Tange, unpub.). LHDAC の実験では非静水圧性の影響も考慮する必要がある。本研究では全てのデータについて MgO の St 値(異方性因子 S と一軸応力 t の積)を評価し、準静水圧とみなせる $St < 0.005$ の条件を満たすデータのみを用いた。また、先行研究の約 2 倍の圧力(圧力範囲でいえば 5 倍程度)である 265 GPa までの体積データを取得し、圧縮極限のパラメータをより制約できるように努めた。

4. 第一原理計算

実験では得ることのできない安定領域外の仮想的条件下におけるデータが得られる第一原理計算によるアプローチは、PPv のような高压相について特に有益な情報をもたらしてくれる。本研究では 0 GPa, 300 K から 1200 GPa, 5000 K までの非常に広範な温度圧力範囲で P-V-T 関係を第一原理的に決定し、上述の状態方程式モデルを適用して常圧及び圧縮極限のパラメータを得た。



結果として、状態方程式モデル、圧力スケール、非静水圧性の評価等、できうる最善をつくして真に実験データのみに基づいて決定した状態方程式は、各種パラメータ値、P-V-T データ、 γ の体積依存性、熱膨張率について第一原理計算の結果と完全といってよいほどに一致した (Fig. 1)。先行研究で見られた実験と理論の間の矛盾は完全に解消

され、地球マントル最下部はもちろん、スーパーアースマントルにも適用可能な PPv 状態方程式の「決定版」ともいえるモデルを確立することに成功した。(境 毅)

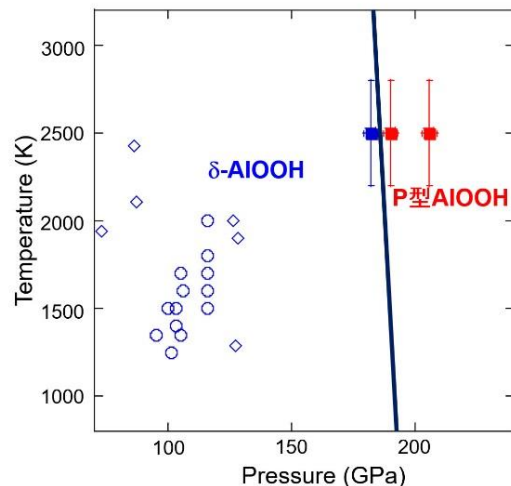
❖ マルチメガバル領域の含水鉱物

水素は宇宙で最も豊富に存在する元素であり、その特性は惑星の進化や構造に多大に影響を及ぼしたと考えられる。地球の地表付近に大量に存在する水の一部は、プレートの沈み込みにより含水鉱物として高温高压の地球深部に輸送される。多くの含水鉱物は数十万気圧、1500 K の条件では脱水分解するが、含水鉱物 δ -AlOOH は少なくとも 130 万気圧、2000K までその構造を保ち、地球下部マントル全体の温度圧力条件で安定である。従って、 δ -AlOOH は、高压型含水ケイ酸塩鉱物 phase H (MgSiO_4H_2) と固溶体を形成し、地球の核マントル境界付近まで水を運ぶ可能性がある。

より大きな天体内部では水素はどのような形態で存在するのだろうか。例えば氷惑星は水が主成分であり、その内部構造は、氷のマントルと岩石質の中心核からなるとされている。しかしながら、これらの氷惑星内部においても、温度と圧力の条件次第では、水素が含水鉱物として保存されるかもしれない。また、近年の観測技術の発展により次々と報告されている太陽系外惑星のスーパーアースにも、地球と同じく含水鉱物の沈み込みによるマントル深部への水の輸送が起こるかもしれない。

第一原理計算に基づく研究により、 δ -AlOOH は 170 万気圧付近でパイライト型構造へと相転移することが示唆された。しかし、このような超高压条件に安定領域を持つ含水鉱物は、実験により確認された例がない。本研究では、太陽系内外の大型惑星内部の含水鉱物を妄想しつつ、放射光 X 線によるその場構造観察により δ -AlOOH の安定性の確認とその高压相の観察を試みた。

出発物質は愛媛大学のマルチアンビル型高压発生装置により合成した δ -AlOOH の多結晶体である。これを薄いペレット状に形成し、表面を金で蒸着した。高压発生にはダイヤモンドアンビルセ



ルを使用し、高温発生と試料の構造の決定は SPring-8 の BL10XU のファイバーレーザーと放射光 X 線回折測定により行った。

182 GPa、2500 K 以下の温度圧力条件において、 δ -Al₁₀₀H の X 線回折ピークが観察されており、この圧力までの δ -Al₁₀₀H の安定性が確認された。192 万気圧、2500 K の条件下では、新たな X 線回折ピークが出現し、高压相 (以下 P 型 Al₁₀₀H) への相転移が確認された (図)。P 型 Al₁₀₀H の構造は斜方晶系であるが、理論予測された立方晶系のパイライト構造と非常に近い格子定数、構造である。P 型 Al₁₀₀H は本実験により少なくとも 210 万気圧、2500 K の条件まで存在できることが確認され、得られたの体積とその圧縮率は、共に理論計算で示唆されたパイライト型 Al₁₀₀H と良く一致した。

スーパーアースの地温勾配において P 型 Al₁₀₀H

は脱水分解せずに安定である。したがって、より低温の沈み込むプレートでは、水が P 型 Al₁₀₀H によってマントル深部へと運ばれることが考えられる。また、氷惑星の中心核の温度圧力条件が P 型 Al₁₀₀H の安定領域に含まれる場合、その内部構成鉱物として含水鉱物も候補物質となる。

200 万気圧を超える高圧力下においては、SiO₂ もパイライト構造へと相転移することが知られている。このことは SiO₂ がこの圧力領域において近似構造である P 型 Al₁₀₀H と固溶体を形成することを示唆する。P 型 Al₁₀₀H の脱水分解温度は定量化されていないが、氷惑星やスーパーアース内部の温度が P 型 Al₁₀₀H の脱水分解温度を超える場合でも、パイライト型 SiO₂ が $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ の置換によって大量の水を含むかもしれない。(西真之)

.....

共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

❖ PRIUS利用者の声



隕石には様々な種類があり、個々の隕石種ごとに固有の母天体から飛来してきています (例えば、普通コンドライトは普通コンドライト母天体、月起源隕石は月に由来する)。原始太陽系の誕生から現在に至るまで、太陽系内のあらゆる天体は衝突、破壊、溶融、再集積を繰り返しています。隕石の中には、その母天体で起きたダイナミックな衝突現象を記録しているものがあります。最も典型的な衝突現象の痕跡は、衝撃溶融脈とその脈内部で生成する高压相の存在です。私は様々な隕石に含まれる高压相を調べ、太陽系内での天体の進化史を衝突現象の視点から解き明かす研究を行っています。隕石中の高压相の存在は、明確な衝突現象の証拠となるだけでなく、衝撃圧力、衝突速度、衝突した天体のサイズを制約する手掛かりとなります。また、同位体年代学を併用し、衝突現象の定量化だけでなく、時間軸の導入にも取り組んでいます。高压相は地球深部を構成する物質でもあります。私は隕石中の高压相を地球深部物質のア

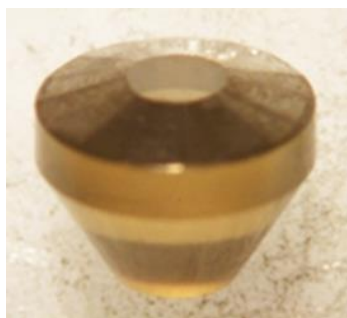
ナログ物質と見なし、その生成プロセス等の解明にも取り組んでいます。天体衝突により引き起こされる超高压・高温の持続時間は非常に短く (< 数秒)、その過程で生成する高压相の大きさは極小さなものです (< 数マイクロメートル)。そのため、隕石中の高压相の観察には高分解能の電子顕微鏡による観察や、レーザーラマン分析装置といった微小部位分析装置が大きな力を発揮します。現在、私は愛媛大学 GRC の大藤さん、境さんのご協力のもと、PRIUS での共同研究を進めています。PRIUS では主に電界放射走査型電子顕微鏡とレーザーラマン分光装置を使用させて頂き、普通コンドライト、火星起源隕石、月起源隕石に記録された母天体での衝撃変成履歴の研究を研究室の学生らと共に進めています。私はこれまでに既に PRIUS 共同研究の為に何度も松山を訪れており、落ち着いた街並みと GRC に集約された最先端の分析器群は研究を進めるには素晴らしい環境であると感じています。今後は、透過型電子顕微鏡等を用いてより小さなナノ・スケールで隕石中の高压相の解析を進めていく予定です。(広島大学大学院理学研究科准教授 宮原正明)

❖ Nature Chemistry にヒメダイヤ利用国際共同研究成果発表

地球深部ダイナミクス研究センター (GRC) と、フランス原子力庁・ケンブリッジ大学・ヨーロッパ放射光実験施設 (ESRF) らの国際共同研究チームは、希ガス元素であるキセノン (Xe) の酸化物の超高压下での生成を確認し、ネイチャー出版の Nature Chemistry 誌 2016 年 5 月 30 日号に発表しました (<http://www.nature.com/nchem/journal/>)

vaop/ncurrent/full/nchem.2528.html)。

研究に用いられた高圧下での X 線吸収スペクトル法 (XAS) は、単結晶ダイヤモンドを用いた従来の



の実験では、単結晶に由来するノイズのため得られたデータの精密解析が困難でした。ヒメダイヤは多結晶体であることから、このようなノイズが発生せず、XAS を用いた様々な元素の高

圧下での酸化状態などの分析が可能になりました。ESRF の放射光ビームラインは世界でも最も高圧下での XAS 実験を行うのに適しており、これとヒメダイヤを組み合わせることにより、超高压を利用した化学や物理学の分野で新たな研究が進展しています。GRC では 2015 年に ESRF と学術交流協

定を締結し、地球深部科学に加えてこれらの分野における国際共同研究も強力に推進しています。

❖ Scripta Materialia 誌に共同研究の成果発表

愛媛大学理工学研究科工学系の松下正史講師と、GRC の入船センター長・新名亨ラボマネージャーらの研究グループは、 $\text{Mg}_{97}\text{Zn}_1\text{Yb}_2$ 合金の新たな長周期超格子相の合成に圧力 5 GPa、温度 723K で成功するとともに、電子顕微鏡観察及び第一原理計算によりその局所構造に関するモデルを提案しました。この研究成果は、物質科学分野で高いインパクトファクターを有する専門誌 Scripta Materialia 誌において発表されました。松下氏は平成 27 年度に採択された愛媛大学の「超高压材料科学リサーチユニット」の代表を務めており、本成果は同リサーチユニットの PRIUS における重要な成果と言えます。(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646216301506)

WPIサテライト拠点 (ELSI-ES)

❖ WPI 博士研究員等の異動

WPI 研究員として GRC で研究を進めていた Vincenzo Stagno 氏が、イタリアの Sapienza 大学でデニュアトラックポジションを得るとともに、同じく WPI 研究員であった Wei Du 氏が、北京大学でリサーチフェローの職を得て GRC から転出しました。一方で、新たな WPI 研究員として Wei Sun 氏が、岡山大学地球物質科学研究センターから WPI 研究員として赴任しました。また、WPI 研究員ではありませんが、東京工業大学 ELSI から野村龍一氏とロシア科学アカデミーから Nadezda Chertkova さんがそれぞれ愛媛大学特別研究員として採用され、7 月からは学振研究員として桑原秀二氏が東大大気海洋研から、WPI 研究員として Sebastian A. R. Ritterbex 氏がフランスのリール第一大学から GRC に赴任する予定であり、ELSI-ES メンバーとも緊密な連携のもとに研究をすすめる予定です。

❖ 入船教授が EGU と国際結晶学スクールでレクチャー

ELSI-ES の拠点長を務める入船徹男教授が、ヨーロッパ地球科学連合 (EGU) の R. W. ブンゼンメダルを受賞し、4 月 17 日～22 日にウィーンで開催された EGU 総会において受賞記念レクチャーを行いました。ブンゼンバーナーで有名な化学者・地球化学者であるブンゼンの名前を冠した同賞の受賞者は、日本からは初めてとなります (詳細は本ニュースレターの News & Event 参照)。また同教授は 5 月

28 日～6 月 4 日にイタリアのエーリチェで開催された国際結晶学スクールにおいて、やはり日本人では唯一レクチャーを行い、参加者の博士課程学生や若手研究員に対してマルチアンビル装置の地球科学及び材料科学への応用について解説をおこなうとともに討論会当に参加しました (詳細は本ニュースレターの海外出張報告参照)。



編集後記：今年は松山も異常に雨が多い梅雨です。夏は暑くなるとの予報ですが、おかげで水不足の心配はなさそうです。(T. I & Y. M.)

