

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:
 - 野村研究員が高圧力学会奨励賞受賞
 - 下部マントルの流動方向を制約
 - EHPRG-2016 画像コンテストで入賞
 - 門林さん (D2) が「未来博士コンペ」で金賞
 - 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・国際会議報告
- ◆ インターンシップ報告
- ◆ ALUMNI レポート No. 11
- ◆ 最新の研究紹介
- 先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)

◆ センター長あいさつ ◆



入船 徹男

今年は4月のEGUと5月のJpGUに加えて12月のAGUと、地球科学分野の世界3大ユニ

オンに参加することになりそうです。AGUはアメリカ地球物理連合と称しながら近年は国際化をすすめ、現在では世界の140か国に会員6万名を有するまでに成長しました。サンフランシスコで行われる年会は出席者2万人を超え、毎年行われている学会としては全ての科学分野で最大とのこと

です。一方、ヨーロッパ地球科学連合 EGU も、AGU 方式を取り入れつつヨーロッパを中心に国際化がす

すみ、今年は1万4000人の参加者がありました。AGUと比較すると分野にやや偏りがあるように思われますが、それでも特にここ数年はその存在感を増しています。

日本地球惑星科学連合 JpGU も、創成期の持ち回りの連合大会を経て2005年には連合として発足し、幕張での大会には7000人余りの発表者が参加する大規模な組織へと成長しています。近年はAGUやEGUとの連携を強め、2017年の大会では初めてAGUとの共催が実現します。JpGU国際化の一環という位置づけで、私もプログラム委員長（なぜかAGU側）を務めていますが、JpGUがAGUやEGUのような国際化を遂げるにはいくつかの壁を感じます。

一つは言葉の問題です。AGUはもとより、EGUにおいても英語の共通言語化は既成事実となっていますが、アジア人、とりわけ大多数の日本人科学者の英会話力は、いまだに十分な議論が行える水準に達していません。

もう一つは、これまで科学分野では指導的役割を果たしてきた日本に対し、アジア諸国、特に中国の影響力の急速な拡大という最近の状況です。JpGUに比べて規模は小さいながら、アジア・オセアニアの国際会議 AOGS もあり、JpGUが完全に国際化すると両者の関係が一層複雑化することが予想されます。JpGUの国際化は重要ですが、アジアの歴史的背景や現在の様々な政治的状況のもとでは、AGUやEGUのような方向での国際化は難しく、独自の国際化戦略が必要だと思われます。

国際化の波は大学も避けて通れませんが、グローバル経済の行き詰まりを示すとも思われる最近の様々な負の事象は、国際化について色々と考えさせられます。設立15年余りを経たGRCの、当初からの重要な目標の一つも「国際性」であり、そのための一つの方策として全体のセミナーを完全英語化して10年近くになります。この結果、最初はごちなかった英語での議論も今では当たり前のようになり、それなりに意見が言える雰囲気になってきました。留学生や海外からの長期滞在者も増え、GRCでは日本人主導の国際化が着実に進んでいると感じています。

近年大学の国際化が、様々なプログラムにより政策的に推し進められています。しかし、果たしてこのような形での、上からの「開国」が、本当に我が国の大学の国際化と独創的科学の発展にとっていいことなのか、この間の様々な状況を目の当たりにして少々疑問に感じています。科学の世界において国際社会で存在感を示すためには、日本のいいところを活かしつつ、英語教育の抜本的見直しを含むゆるやかな国際化を、ボトムアップ方式ですすめることが重要ではないかと考える昨今です。

.....

➡ センターの構成 ➡

(H28. 10. 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 (講 師)
西 真之 (助 教)
Steeve Gréaux (WPI上級研究員)
國本健広 (WPI技術研究員)
小島洋平 (特定研究員)
野村龍一 (上級研究員)
Nadezda Chertkova (特別研究員)
Wei Sun (WPI研究員)
飯塚理子 (学振特別研究員)
桑原秀治 (学振特別研究員) (H28. 7. 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)
市川浩樹 (WPI上級研究員)
Zhihua Xiong (特定研究員)
Sebastian Ritterbex (WPI研究員)
(H28. 7. 18～)
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)
境 毅 (講 師)
木村正樹 (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/高圧実験室長)
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
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 ➡

❖ 野村龍一研究員が日本高圧力学会奨励賞受賞

GRC の野村龍一特定研究員が日本高圧力学会の平成 28 年度奨励賞受賞者に選出され、10 月 26-29 日の 4 日間にわたり筑波大学で開催された第 57 回高圧討論会で授賞式・受賞講演が行われました。日本高圧力学会は、57 年の長い歴史を持つ高圧討論会を母体に、高圧力に関する科学と技術の研究と応用を促進するために 1989 年に設立され学際的学会です。同学会では、高圧力の科学と技術に関する新進気鋭の研究者・技術者 2 名以内に



毎年奨励賞を授賞していますが、本年度の受賞者として野村研究員が唯一選出されました(写真左)。受賞タイトルは「ダイヤモンドアンビル装置を用いた地球深部物質の先端的研究」で、ダイヤモンドアンビル超高压発生装置と様々な微小領域分析装置、及び放射光 X 線その場観察を組み合わせた新たな超高压技術の開発と、これを用いた地球マントル最下部条件下でのマグマの化学組成や、元素分配挙動などに関する先端的研究が高く評価されたものです。野村研究員は、高压討論会会期中に開催された同学会の総会での授賞式に出席するとともに、30 分間の受賞講演を行いました。リンク先 (日本高圧力学会 <http://www.highpressure.jp/>)

❖ 下部マントルの流動方向を実験的に制約

GRC の西原遊准教授は、岡山大学惑星物質研究所の辻野典秀研究員・山崎大輔准教授らとともに、下部マントルに対応する温度圧力条件下での主要鉱物ブリッジマナイトの結晶選択配向を実験的に解明し、イギリスの総合科学誌 Nature 誌の 10 月 17 日号に発表しました。地球内部の 660km 以深の下部マントル上部においては、地震波の伝播速度が方向によって異なる地震波速度異方性が観測されていますが、その原因については明らかでありませんでした。辻野研究員らのグループは、下部マントルに相当する高温高压条件下でせん断変型実験を可能にする技術開発を行い、ブリッジマナイトの結晶選択配向性の決定を可能にしました。得られた実験結果は、プレートの沈み込みに伴いその周辺部分の下部マントルが流動変形していることを示しており、この新たな知見は下部マントルのダイナミクスを知る上での重要な手がかりを与えます。リンク先 (<http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature19777.html>)

❖ EHPRG-2016 画像コンテストで入賞

ヨーロッパ高圧力会議 (EHPRG) の Best Image Contest "Art in Science" で、入船徹男センター

長が出品した写真が第 2 位に選ばれ、9 月 4 日～10 日にドイツのバイロイトで開かれた同会議の第 54 回大会 (EHPRG-2016)

中に表彰されま

した。同コンテストは EHPRG-2016 実行委員会が、高圧力の科学と技術に関連する芸術的な画像を募集したもので、入船センター長によるマルチアンビル超高压装置用のヒメダイヤ製アンビルの写真が、審査員により高く評価されたものです。なお、入船センター長と GRC の國本健広研究員らのグループは、この装置により既に 90 万気圧程度の圧力発生に成功しており、更にマルチアンビル装置の従来の限界を超える圧力発生に挑戦する取組をすすめています。リンク先 (<http://www.ehprg2016.org/poster-prize-winners/best-image-contest-art-in-science/>)



❖ 門林さん (D2) が「未来博士 3 分間コンペ」で金賞

GRC の大藤弘明教授が指導する大学院生の門林宏和さん (理工学研究科博士後期課程) が、2016 年 9 月 24 日に東広島市で開催された「未来博士 3 分間コンペティション 2016」で、オーディエンス金賞を受賞しました。



このコンペティションは広島大学が代表機関として進めている次世代研究者育成プログラムの一環で、博士課程の学生が自身の研究の魅力や展望についてスライド 1 枚を背景に 3 分間のスピーチを行い、プレゼン力を競うものです。門林さんの受賞発表タイトルは「ダイヤモンドの窓から海王星の内部を見る」で、高压実験に基づく惑星科学研究の内容を紹介したものです。コンペティションでは中四国の大学を中心に 24 名がスピーチを行い、門林さんは、当日会場に来た一般参加者の投票により金賞に選ばれました。リンク先 (http://home.hiroshima-u.ac.jp/hiraku/event/competition_2016/)

❖ 国際フロンティアセミナー

第 57 回

"Hydrogen-enhanced electrical conductivity in olivine and other minerals"

講演者: Dr. Shun-ichiro Karato (Professor, Yale

University)

日 時：2016 年 10 月 18 日（火）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）

11 月

11/4 (Advanced Science Seminar)

“Ab initio core model”

Dr. Taku Tsuchiya (Professor, GRC)

11/11 “Melting relations in the MgO-MgSiO₃ system and the effect of other elements under the lower mantle condition”
Satoka Ohnishi (Ph.D. student, Ehime University)

“Numerical simulations of thermochemical mantle convection with drifting supercontinent in two-dimensional cylindrical geometry”
Akari Harada (Msc. Student, Ehime University)

11/18 “From modeling defects to the rheology of the Earth’s interior”
Dr. Sebastian Ritterbex (Postdoctoral Fellow, ELSI-ES, GRC)

11/25 “Lattice diffusion in B2-type MgO”
Takafumi Harada (Msc. student, Ehime University)

“Synthesis of transparent sintered bodies of polycrystalline pyrope at high pressure and high temperature and their characteristics”
Daisuke Furuta (Msc. Student Ehime University)

12 月

12/2 “Development of externally heated diamond anvil cell technique for high temperature studies of fluids and silicate melts”
Dr. Nadezda Chertkova (Postdoctoral Fellow, GRC)

12/9 “TEM analysis of primary inclusions in carbonado”
Natsuko Asano (Msc. student, Ehime University)

“Equation of state of Al-bearing hydrous

bridgmanite: technical development of in situ X-ray closed system method”

Sho Kakizawa (Ph.D. student, Ehime University)

12/16 “Experimental study on the stability and physicochemical behavior of methane hydrate under high pressure and high temperature”

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

1 月

1/6 “Metal-silicate partitioning of halogens: Implications for the abundance and origin of terrestrial halogens”
Dr. Hideharu Kuwahara (JSPS Postdoctoral Fellow, GRC)

❖ 過去の講演

第 445 回 “Synthesis of superhard carbon nitrides”
Dr. Yohei Kojima (Postdoctoral Fellow, GRC) 2016. 07. 01

第 446 回 “Intermediate-depth earthquakes can be caused by localized heating in dehydrated antigorite shear zones”
Dr. Tomohiro Ohuchi (Assistant Professor, GRC) 2016. 07. 08

第 447 回 “Phase relations in the system KAlSi₃O₈-NaAlSi₃O₈ with implications for the formation of lingunite in heavily shocked meteorites”
Youmo Zhou (Ph.D. student, Ehime University) 2016. 07. 15

第 448 回 “High-pressure generation in Kawai-type multianvil apparatus equipped with nano-polycrystalline diamond anvils”
Dr. Takehiro Kunimoto (Postdoctoral Research Technician, ELSI-ES, GRC) 2016. 07. 22

第 449 回 (Advanced Science Seminar)
“Numerical experiments on mantle convection of super-Earths with strong adiabatic compression”
Dr. Masanori Kameyama (Professor, GRC) 2016. 07. 29

第 450 回 “In situ high P-T X-ray computed laminography and its applications”
Dr. Ryuichi Nomura (Postdoctoral Researcher, GRC) 2016. 08. 05

第 451 回 “Transformation of hydrous oxides at high pressures”
Dr. Masayuki Nishi (Assistant Professor, GRC) 2016. 9. 30

- 第452回 “H-D inter-diffusion in Fe-bearing wadsleyite and ringwoodite”
Dr. Wei Sun (Postdoctoral Fellow, ELSI-ES, GRC) 2016. 10. 7
- 第453回 “Ab initio prediction of potassium partitioning into the Earth’s core”
Dr. Zhihua Xiong (Postdoctoral Fellow, GRC) 2016. 10. 14
- 第454回 “Numerical simulations on the formation and behaviors of slabs in 2-D spherical annulus”
Mana Tsuchida (Msc. student, Ehime University) 2016. 10. 21

◆ 新人紹介 ◆

桑原 秀治 (JSPS 特別研究員)



今年6月に東京大学にて学位を取得し、7月から学振特別研究員として研究させていただけることになりました桑原秀治と申します。昨年度初めてGRCで実験する機会をいただいた際に研究環境に感動し、学位取得後はここで研究

を続けたいと思い、やって参りました。入舩先生、新名先生、事務の方々には押し掛ける形になってしまったにも関わらず、研究環境を提供していただき本当に感謝しております。

私はこれまで地球を中心とした岩石惑星の大気海洋の起源およびその初生の化学組成に関する研究を行ってきました。究極的な目標は生命の起源と進化を支える地球表層環境がどのように形成されたのか、また地球型惑星の表層環境の多様性の要因を理解することです。修士課程に入ってからはじめは惑星大気中の雷放電を模擬した実験で生成するアミノ酸などの生体有機分子について調べたり、地球型惑星大気の初生の化学組成を推定するべく、微惑星衝突で天体から脱ガスする揮発性物質に含まれる化学種について理論計算で調べ、といった研究を行いました。博士課程に入ってから始原物質であるコンドライトと地球型惑星の揮発性元素の存在度の違いに着目し、惑星分化時における核-マントル間の揮発性元素分配に関する実験から大気海洋形成過程に制約を加えるという研究を行ってきました。GRCでも現在、揮発性元素の分配実験を行っておりますので以下ではそ

の研究内容について簡単に紹介したいと思います。

地球型惑星表層に存在する揮発性元素の存在量やその相対比は惑星材料物質の化学組成と惑星形成過程によって特徴づけられています。具体的には惑星形成期における高温環境や大気散逸による宇宙空間への損失、惑星内部が分化する際に核や深部マントルに取り込まれるなどして揮発性元素のいくつかは材料物質と考えられているコンドライトと比較して枯渇しており、地球の場合、窒素やキセノンといった元素が枯渇していることが知られています。しかし、これらの枯渇を引き起こした要因として金属核やマントル鉱物への取り込み、原始大気の散逸、のうちどれが最も支配的であったのかは制約することができていません。そこで私は他に枯渇している揮発性元素として新たに塩素に着目し、マルチアンビル装置を用いて金属鉄メルト-ケイ酸塩メルト間の塩素分配を実験的に決定することでその枯渇の起源、そして大気海洋形成過程に制約を加えることを試んでいます。また、他のハロゲン元素や水素に関する金属鉄メルト-ケイ酸塩メルト-鉱物間の分配実験についても開始しており、地球内部のこれらの揮発性元素の分布、存在量についても制約を加えられればと考えております。最後に、GRCで研究できる機会を生かしてこれからも比較惑星科学的視点から高圧地球科学を展開していけるよう頑張っていきますのでみなさまどうぞ宜しくお願い致します。

Sebastian Ritterbex (WPI 研究員)

My name is Sebastian Ritterbex and I joined the theoretical mineral physics group at GRC as postdoctoral researcher at the end of



July 2016. Originally from the Netherlands where I studied physics and geophysics at Utrecht University, I obtained my Ph.D. at University Lille 1 in France in the mineral physics group of Prof. Cordier. Trained as a materials scientist in theoretical and computational mineral physics, my aim is to apply theoretical methods to study the intrinsic properties of Earth materials, with special interest in crystalline defects and deformation processes at all scales to bridge the gap between geodynamics and the underlying microscopic processes.

Finally I like to say many thanks to the whole TMPG group for their warm welcome and especially to Natsuko Miyamoto and Megumi Yashiro without whom I couldn't have settled down so easily in the nice city of Matsuyama.

ところでイタリアも日本と同様地震国です。今回の開催地であるラクイラも 2009 年に直下型地震に襲われ甚大な被害をうけています。驚いたことに、地震から 7 年がたった現在でもいまだ復旧工事がいたる所で行われていました。ずいぶん時間がかかっていることを現地の研究者に聞いたところ、他のイタリアの都市と同様ラクイラも古く貴重な建築物が多いため、被災した建物は取り壊して新たに建て直すのではなく元の通りに復元しているとのことでした。素材やデザインなども忠実に再現しているため、膨大な時間とお金を費やして少しずつ工事を進めているのだそうです。そうこうしているうち先日ラクイラから北に 30km ほどの場所で再び大きな地震が発生し、またしても大きな被害が生じてしまいました。これでは復旧するスピードよりも被災地が増えるスピードのほうが勝ってしまいます。耐震性の乏しい古い建物の多いイタリアでは地震への対応も日本と同様かそれ以上に大変そうだと感じました。(土屋卓久)

❖ Goldschmidt Conference 2016 への参加

2016 年 6 月 26 日から 7 月 1 日にかけて横浜で開催されたゴールドシュミット会議 (Goldschmidt Conference 2016) に参加してきました。ゴールドシュミット会議は、アメリカ地球化学会とヨーロッパ地球化学連合が主催する地球化学分野での唯一の国際会議です。地球化学および関連する広い分野を網羅し、今回の横浜での会議も各国から約 3500 人の参加者がありました。本会議で私は Mineralogy and Mineral Physics の Carbon Minerals in Planetary Interiors というセッションにて、高温高压下におけるメタンハイドレート(CH₄ hydrate)の安定性と分解挙動に関する研究をポスター形式で発表しました。メタンハイドレートは地球上では「燃える氷」と呼ばれ次世代のエネルギー資源として注目されるとともに、海王星や天王星などの氷惑星や土星衛星のタイタンに代表される氷天体の重要な構成成分として考えられています。しかし、これまでメタンハイドレートの研究は主に室温から低温高压領域に限られており、海王星などの氷惑星の内部構造を推定する上で重要となる高温高压下での安定領域、および分解挙動に関する研究は実験の難しさもあり行われていませんでした。そこで私は既存の外熱式ダイヤモンドアンビルセルを改良しラマン分光と組み合わせることで安定的な加熱実験を実現し、約 50 GPa までのメタンハイドレートの安定領域、および分解挙動を明らかにしました。ポスター発表の会場ではガスハイドレート研究で著名な John S. Tse 博士と議論する機会を得ることができ、これまでとは異なる視点からの意見をいただくことができました。また包接化合物や炭化水素などガスハイドレートの関連物質を扱う多くの研究者や学生と議論を行うことで、新たな研究の着想を得るなど国内であ

りながら海外の研究者から様々な刺激を受けることができました。

会議が終わった夜には横浜散策にも繰り出したのですが、横浜へは 2014 年の Japan Geoscience Union Meeting でも訪れていたもので、今回は観光名所ではなく「食」に重点を置き中華街にあるお粥の専門店と伊勢佐木町にあるタイ料理店に挑戦してみました。どちらの店もとても美味しかったのですがお粥の専門店では大量のパクチーと遭遇してしまい、あの独特な風味がトラウマになってしまいました。一方、タイ料理店ではタイ人の方が作る本格的な料理が予想以上に辛かったため、その辛さを店員のおばさんにジュスチャーで表現したところ爆笑されてしまいました。(今でもわざと辛くしたのではないかと疑っているほどです。)

今回の国際会議は日本で行われたため、国内にいながら海外で活躍する研究者と交流できる貴重な体験となりました。また自身の研究の魅力や意見を適切に伝えるためには研究活動のみならず、英語を含めた表現力を磨く必要性を痛感する機会にもなりました。今後も自身の研究のさらなる発展に向け、本会議で見えてきた課題を克服できるよう精進していきたいと思います。(門林宏和 D2)



➡ インターンシップ報告 ‹➡

❖ JSPS Summer Program Elizabeth Thompson (D4, University of Chicago)

I am a fourth year PhD student from the University of Chicago where I study material properties under high pressure and high temperature conditions to better understand the constitution and evolution of planetary interiors. In Chicago I primarily perform laser-heated diamond anvil cell experiments to investigate the distribution and cycling of volatiles in the deep Earth using X-ray diffraction (XRD), nuclear resonance inelastic X-ray scattering (NRIXS), and high-pressure infrared spectroscopy. This summer I spent ten weeks visiting Ehime University through the EAPSI Program, which is jointly funded through the U.S. National Science

い一例ですが、入学式では日の丸・君が代は一切なく（恐らく、宗教系の大学だからこそ今時できることだと思います）、麗々しい校旗入場の後、出席者一同起立して建学の精神を朗読し、学長と日蓮宗最高位のお坊さんが祝辞を述べるというものでした。入学式会場の外には花祭り（お釈迦様の誕生日を祝い、お釈迦様の小さな像に甘茶をかける）のセットがおいてあり、さすが仏教系の大学と思わせる微笑ましい風景でした。

立正大での私の立場は通常とは異なり、担当する授業のコマ数制限のため、卒論生を取れない状況です。つまり授業と幾つかの委員を担当するのが義務です。ですから、立正大学ではこれまでの経験を活かし、学生さんに地球惑星科学や高压物質科学の面白さや重要性を感じてもらいたいような授業を、熱を込めてやっていこうと考えています。そして研究は、ハイドレートに関するものは GRC との共同研究として進めさせてもらい、これとは別に、立正大では実験室（GRC の光学実験室と同程度の広さ）も配分されており、また、高エネ研での課題が採択されていますので、これらの環境を利用しながら、立正大でできることを始めようと、現在模索中です。

❖ 出光ペトロリアムノルゲ

Senior Geophysicist 臼井佑介



フィヨルドとオーロラとサーモン、ノルウェーからこんにちは！私は、2008 年から 4 年間、GRC のポスドク研究員としてお世話になりました。

2012 年より、出光興産株式会社資源部に入社し、2014 年から現在に至るまで、ノルウェー王国オスロ市に駐在しています。現職では、ノルウェー沖の新規ガス油田探鉱案件について、主に物理探査データを使った技術評価をしております。

私が GRC でお世話になったきっかけは、学会で研究発表の際、土屋卓久教授から有意義なコメントを頂いたことでした。当時の私は、南極で観測された地震波形データを基に、最下部マントル D' 層の地震波速度構造の調査をしていました。駆け出しの研究者で右往左往していた私は、ただひたすら波形データを現象として捉えるばかりで、原因を深く考察する力が不足していました。そこへ、土屋先生より異なる視点からの解釈をアドバイス頂いたことで理論鉱物物性に興味が湧き、理論と

実験を組合せた分野横断型の研究環境が整っている GRC で研究する決心をしました。

GRC は、当時から既に、地方の国立大学としては異例の規模を誇る高压実験装置や、高精度数値シミュレーションのための計算機が整備されていました。また、入船徹男センター長を始めとする教員の方々や技術系・事務系職員の全員が一体となり、若手育成に力を入れた研究教育プログラムを実行されていました。よって、私のような国内の研究者ばかりでなく、海外からも多くの野心を持った若手が集い、身近にいるのが凄いヤツだらけの世界選抜の様でした。定期開催のジオダイナミクスセミナーでは、毎回非常に高度な議論がなされ、まるで学会に参加している様な密度の濃い時間を過ごしたのを覚えています。

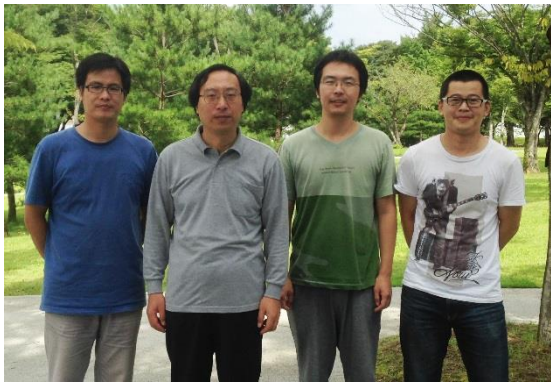
私は数値計算部門に所属し、理論鉱物物性と地震波形解析のジョイントモデリングを試みました。その過程で、馴染の無かった第一原理計算法を理解するために、量子力学や物理化学の基礎を習得する必要があり、修士課程の学生さんたちと一緒に、ゼミで勉強したのはとても良い思い出です。着任直後にグローバル COE プログラムが採択されたことで、私たち若手の研究者にとっては、海外の研究機関との連携がスムーズになり、活動の場を広げる大きなチャンスを手にすることが出来ました。これまで世界を相手にすることに臆病だった私は、多くのサポートを受けて自立心が芽生え、挑戦意欲が湧き出してきました。これらの経験が、後にも生かされるチャレンジ精神と幅広い視野を手に入れるための礎となりました。

松山での華々しい研究生活の最後に、私は大きく舵を切る決断をして、研究教育機関から民間企業に活動の場を移しました。多くの選択肢を見出して新たな目標を定め、それを達成できたのは、GRC での語り尽くせない程の経験が原動力となったのは間違いありません。この場をお借りして、愛媛大学及び GRC のスタッフの皆様には厚く御礼を申し上げます。

現職における技術評価業務は、幸運なことに、これまで得た知見と経験をダイレクトに反映できる仕事です。観測データの種類や精度、ターゲットとする深度は大きく異なりますが、未知なる地下構造に思いを馳せて技術評価で狙いを定め、不確定要素を削ぎ落としていくアプローチは共通しています。加えて、実際の試掘調査によって目に見える形で結果を得て、事前評価と照らし合せて答を知り得るチャンスが多いことに、非常に魅力を感じています。今後も、新たな仲間と共に多くの経験を通じてレベルアップを図り、新しい目標に向かってチャレンジし続けようと思います。

最後に、学生の皆さんへ。夢は必ず叶います！変化を恐れず、希望を持って、自分を信じて突き進んで下さい！

❖ 東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター 教授 趙大鵬



I had ever worked for 9 years from February 1998 to March 2007 at Ehime University, firstly at the Department of Earth Science till March 2001 as an associate professor, and then at Geodynamic Research Center (GRC) as an associate professor and a full professor during 2001 to 2007. I had a pleasant and fruitful time in Ehime, thanks to the kind help and support from the faculty members and students then.

In the following, I would like to introduce briefly my studies here in Tohoku University since April 2007. (1) We succeeded in determining the first seismic tomography of the Moon (Zhao et al., 2008, 2012), which shed new light on the lunar interior structure and mechanism of moonquakes; (2) We have been studying seismic anisotropy tomography (e.g., Wang & Zhao, 2008, 2013; Zhao et al., 2016), which provides new information on the dynamic evolution of the crust and mantle, mantle convection and subduction dynamics; (3) Soon after the occurrence of the great Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) on 11 March 2011, we presented the tomographic image of the source zone (Zhao et al., 2011), which provided crucial information on the causal mechanism of the huge megathrust earthquake; (4) We found that ascending fluids from the Pacific slab dehydration caused the 11 April 2011 Iwaki earthquake (M 7.0), and the fluids are also entering the Futaba fault near the Fukushima nuclear power plant, indicating that special attention should be paid to the potential risk of a large crustal earthquake in that area (Tong & Zhao, 2012); (5) A book titled “Multiscale Seismic Tomography” (D. Zhao, 2015) has been published recently by Springer, which summarizes the major results of seismic

tomography studies by our group in the past decade.

We have obtained some honors in the last a few years, such as (1) World Top-10 seismologist selected by Thomson-Reuters among over 30,000 earthquake researchers according to their publications and citations during 2000 to 2010 (<http://archive.sciencewatch.com/ana/st/earthquakes2/authors/>); (2) The 2014 Island Arc Award from Geological Society of Japan; (3) Top-20 Most Influential Researchers in Japan (http://news.wiley.com/AGU_JPGU) according to their AGU publications and citations during 2009 to 2015; and (4) our recent JGR paper (Liu & Zhao, 2016) has been selected as AGU Research Spotlight.

Finally, I sincerely wish that GRC researchers will do more and better works from now, and GRC will continue to be an excellent research center in Earth sciences.

.....

➡ 最新の研究紹介 ➡

❖ 地球マントル最下部圧力での物質の変形実験

地球内部物質科学において、地球深部の高压高温極限環境を実験室に再現し、地球構成物質の様々な物性を直接調べることは第一級の研究手法である。ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いた高压発生技術の著しい進展のおかげで、今では静的圧縮下で地球内部の全圧力温度条件を実験室に再現できるまでになっている。

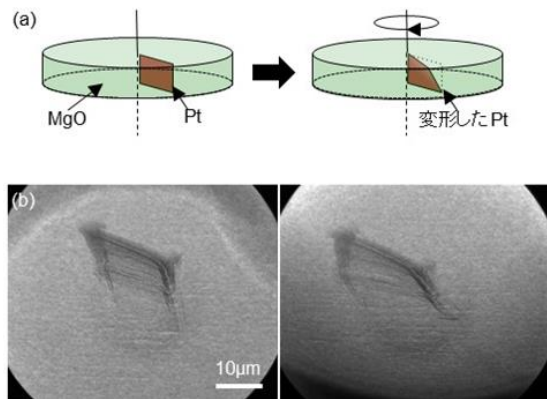
一方で、地球深部はマントル対流等の動的過程に支配されており、その理解には物質の塑性変形および流動(レオロジー)の研究が必要不可欠である。既存の変形装置(回転ドリッカマー装置やD-DIA装置)は実験圧力が地球下部マントル最上部(~30 GPa)までに限られているが、DACのアンビル片方を回転させる回転式DACはより超高压での大歪変形実験を可能にするポテンシャルを秘めている。

超高压下における物質の流動特性の理解には歪と応力をどれだけ精度よくその場で決定できるかが一つの鍵となる。前述の回転ドリッカマー装置やD-DIA装置では、歪は歪マーカーのX線ラジオグラフィーによる二次元イメージング、応力はX線回折から決定される。DACを用いた実験では、歪マーカーが加圧と回転の両方で変形を受けるため、歪みマーカーの「三次元」イメージングが必要不可欠である。

本プロジェクトでは回転式DACを改良し、マントル最下部(<135 GPa)やコア(<364 GPa)環境での大歪変形実験を行うことを目標にしている。今回は第一歩として、(1)室温下、マントル最下部圧

力での変形実験、(2)X線3Dイメージングの導入、を行い成功した。

歪、応力をX線ラミノグラフィー(3Dイメージング法)、X線回折によりその場で決定することを想定し、最適化されたセルの設計、製作を行った。サンプルにはMgO粉末、歪マーカーには白金Ptを用いた(図)。圧力30-135 GPa、室温下で実験を行った。X線ラミノグラフィー撮像を大型放射光施設SPring-8 BL47XUで行った。X線エネルギーは8keV、画素サイズは39.7nmで撮像を行った。X線光軸に対するサンプル傾斜角は30°で固定した。0.1°間隔で投影像を360°撮像し、断面像の再構成はフィルタ補正逆投影法に基づき行った。



(1)超高压発生に必要なキュレット径の小さな(120 μm)単結晶ダイヤモンドアンビルでは、ダイヤモンド硬さの異方性から真円形キュレットの製作が難しく、回転側アンビルが回転開始時に割れ、マントル最下部圧力の実験が困難であった。そこでGRCで合成されたナノ多結晶ダイヤモンド(ヒメダイヤ)アンビルを使用することで、135GPaまでの変形実験に成功した。(2)X線ラミノグラフィーで歪マーカーの変形を3D観察し、歪をその場で決定することができた(図)。

今後は高压「高温」実験のための技術開発、応力決定のためのX線回折測定を導入を行い、地球深部の流動特性の解明を目指す。なお本研究は、共同実験責任者の九州大学の東真太郎博士を始めとして、高輝度光科学研究センターの上杉健太郎博士、東京工業大学の中島悠貴氏と共同で実施している。(野村龍一)

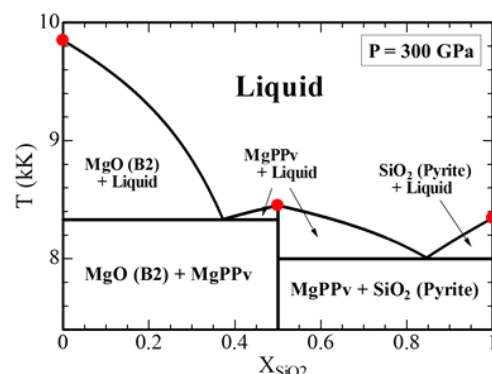
❖ マルチメガバール下におけるMgO-SiO₂共融系融解相平衡の第一原理計算

地球マントルに豊富に存在するマグネシウムケイ酸塩は、巨大地球型惑星のマントルやガス・氷惑星の核を構成する主要成分であるとも考えられている。これら惑星深部の圧力は、数百GPa(マルチメガバール)以上に達する。従って、超高压下におけるマグネシウムケイ酸塩の状態方程式や相平衡図は、巨大惑星の内部構造を考える上で重要である。

最近のレーザー衝撃実験(Spaulding et al.,

2012)によって、MgSiO₃の急激な体積・エントロピー変化が300-400 GPaで観察され、これは液体-液体相転移であると解釈された。しかし、第一原理分子動力学(AIMD)計算(Militzer, 2013)では、そのような相転移を支持する結果を得ることはできなかった。一方、Boates and Bonev (2013)は実験結果を解釈するため、two-phase-thermodynamic(2PT)法とAIMD法に基づく自由エネルギー計算を行い、液体MgSiO₃の分解反応を調べた。2PT法とは、固体成分と気体成分に分割された振動状態密度(VDOS)から、液体のエントロピーを求める方法である。この研究でBoatesらは、液体MgSiO₃が約300 GPaで固体MgOと液体SiO₂に分解すると報告した。しかし、2PT法は気体成分をどのようなモデル(例えば、理想気体や剛体球)で近似するかに依存する。さらに、VDOSのみを用いるこの手法には、振動エントロピー以外を評価できない可能性がある。また、彼らは一成分系の単純な分解反応MgSiO₃ → MgO + SiO₂しか考察しておらず、より詳細に調べるためにはMgO-SiO₂二成分系の相平衡を考える必要がある。しかしながら、マルチメガバール下におけるMgO-SiO₂共融系融解相平衡は未だ制約されていない。そこで本研究では、熱力学積分法とAIMD法に基づく独自の自由エネルギー計算手法(Taniuchi and Tsuchiya, in preparation)を用いて、300 GPaにおけるMgO-SiO₂共融系融解相平衡図の決定に取り組んだ。熱力学積分法は、2PT法よりも高い計算コストを必要とするが、振動だけでなく配置に関するエントロピーの評価も見込める方法である。

MgO(B2構造)とSiO₂(Pyrite構造)及びMgSiO₃(ポストペロブスカイト構造; MgPPv)の融点や液体の自由エネルギー組成曲線の計算から、300 GPaにおける共融系相平衡図を決定した。得られた相平衡図は調和融解を示し、これはBoatesらの結果とは異なり、液体MgSiO₃が安定であることを意味する。そこでエントロピーを比較した結果、我々とBoatesらの手法では理想混合の配置エントロピーの値にほぼ一致する差があった。一方、液体MgSiO₃が安定であるという我々の計算結果では、Spauldingらの実験結果を解釈できない。しかし近年、我々の理論的予測と調和的なレーザー衝撃実験(Bolis et al., submitted)の結果が得られ始めている。(谷内聖(D2))



共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

❖ PRIUS 利用者の声



芳香族炭化水素は六角板状のベンゼン環からなる有機化合物の総称です。芳香族炭化水素はマントル鉱物の包有物や隕石、氷天体など様々な環境で見つかっており、極限環境下での安定性や化学進化が注目されています。

高圧下での芳香族炭化水素は、平均的な結晶の構造が変化すると同時に、隣り合う分子間で局所的な化学反応が起きて多様な反応生成物が生成します。そのため、高圧下の炭化水素の挙動を理解するためには、結晶構造を明らかにするだけでなく、重合反応による多様な反応生成物を詳しく調べる必要があります。

そこで私たちは、高圧実験後の回収試料をガスクロマトグラフ質量分析計で分析し、高圧下での反応生成物の化学組成や分子構造の分析を行っています。圧力誘起の反応生成物は出発物質に対し微量かつ多様なため、分析には数十ミリグラムの多量の試料が必要です。そこで、GRCの井上先生、新名さんの指導もと、芳香族炭化水素の一種であるナフタレン($C_{10}H_8$)を出発物質として、室温下で10 GPaから23 GPaまでの実験を行いました。試料は名古屋大学へと持ち帰り、分析を行いました。その結果、15 GPa以上までの加圧した試料から、ナフタレン2分子、3分子が重合した複数種類の生成物を見つけることができました。今後室温高圧条件だけでなく、高温高圧条件での重合反応も調べていきたいと考えています。

松山で過ごしたのはわずか3年でしたが、共同利用で訪れるたびに、懐かしく、ほっとした気分になります。一方で愛媛大在籍時にはレーザー加熱DACを用いた実験を進めていたので、マルチアンビルプレスを用いての実験は初めての経験で、新鮮な気分です。滞在中には、多くの教員や学生さんたちから研究の話を伺い、刺激を受けています。

(名古屋大学大学院研究員 篠崎彩子)

❖ PRIUS利用者の声

北海道大学の私達のグループでは、下部マントルの主要鉱物であるケイ酸塩ペロブスカイトに、3価陽イオンを固溶させるメカニズムに興味を持って研究を進めています。ケイ酸塩ペロブスカイト

に3価陽イオンを固溶させる場合、電荷補償が必要なため、1価陽イオンとのカップル置換、陽イオン



サイトの欠陥形成、酸素欠陥の形成などのメカニズムが考えられます。これらの固溶メカニズムは、直感的には3価陽イオンのサイズと関係があり、比較的小さな Al^{3+} や Fe^{3+} などの場合と、大きな希土類元素イオンなどの場合で異なることが予想されます。また、圧力・温度条件でもメカニズムが変化する可能性がありますし、固溶量がメカニズムに依存することは容易に想像できます。さらに、井上さんたちのAlに富む含水ブリッジマナイトに関する成果に代表されるような水素の固溶との関係も興味深いところです。

現在、ケイ酸塩ペロブスカイトのアナログとして $CaTiO_3$ を使った研究を進めています。研究は、私の学生時代には地球深部科学のメインストリートの一つでした。ケイ酸塩ペロブスカイトが安定な高温高圧下でのその場観察が可能になると、アナログとしての研究は少なくなりました。しかし、 $CaTiO_3$ は材料として魅力的なため、現在もセラミクス分野を中心に精力的な研究が続けられており、膨大な研究資産は地球科学に非常に重要です。また、 $CaTiO_3$ が大気圧から超高压まで広い圧力温度領域で安定であることから、実験が困難なケイ酸塩ペロブスカイトの様々な性質の圧力効果を検討する場合など、アナログ研究は依然として重要です。今後とも、 $CaTiO_3$ への3価陽イオンの固溶に関わる様々な問題に対して、大気圧下での挙動を北大で調べ、PRIUSを利用して圧力効果を明らかにし、ケイ酸塩ペロブスカイトへの応用に展開するという方針で研究を進めたいと考えております。

昨年から、大学院生の今野君(写真)が実験に伺っており、井上さん、新名さんをはじめ、スタッフの方や学生さんにもお世話になりながら実験させていただき感謝しております。研究経過はまだ混乱の中にありますが、彼の研究のモチベーションが共同利用を通じて向上していくのを感じ、頼もしく思っています。今後ともよろしくお願いいたします。(北海道大学大学院教授 永井隆哉)

編集後記：記事が増えすぎて編集後記を書くスペースがなくなりました。(T. I & Y. M.)

