GRC News Letter 2019.5.20 No.54

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:
  - Ritterbex研究員がJ.C.Maxwell賞を受賞
  - GRC新助教の採用
  - 文部科学省エントランスでのGRC企画展示
  - 国際NPDシンポジウム(STNPD-2019)開催
  - 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
- 研究会報告
- インターンシップ報告
- ALUMNIレポート No.19
- 最新の研究紹介
- センター機器紹介
- 先進超高圧科学研究拠点（PRIUS）

センター長あいさつ

入船　徹男

平成元年に愛媛大に赴任した私も、令和の時代を迎えていつの間にか松山に 30 年。一方 21 世紀初頭の 2001 年に設立された GRC は、もうすぐ 20 年となります。来年 3 月には一応の退職ということで（しばらくは居座る可能性が強いですが…）、今年度の NL 冒頭挨拶では、GRC 設立時からの思い出話を 3 回に分けて記したいと思います。

愛媛大理学部に着任した 1989 年当初から、いずれは四国に超高圧科学の拠点をつくりたいと考えていました。ほとんどゼロからの出発でしたが、当時の地球科学教室の自由闊達な雰囲気の中、独自の技術に基づく新しい研究の開拓を目指しました。この結果、例えば 1991, 94, 98 年にネイチャー誌に、96, 98 年にサイエンス誌にいずれも筆頭で論文発表するなど、90 年代は特にプロダクティブな時期を過ごすことができました。

SPring-8 の先行ビームライン（BL）の 1 つとして建設された高圧科学関連 BL では、愛媛大チームは 1997 年 9 月の共同利用開始直後に、重要な実験結果を得ることができました。12 月に論文をサイエンス誌に投稿しましたが、これが私の研究人生で唯一、査読にまわることなく即受理されました。翌年 3 月には出版され、SPring-8 全体で最初の施設利用研究成果として大きく注目されました。この時の主要メンバーの助手は現在では広島大教授、また 2 名の修士課程学生は東工大、九大の准教授として、それぞれ第一線の研究者として活躍しています。

これらの実績に基づき文科省から重点的な予算が措置され、1998 年には 2 台のマルチアンビル超高圧装置（ORANGE-1000, 2000；写真）と波長分散型 EPMA などを導入することができました。このような状況の中、愛媛大学では 2004 年からの国立大学法人化を見据えて、当時の鮎川恭三学長・小松正幸副学長のイニシアティブにより、特徴ある研究をすすめているグループを核にした学部横断型研究センターの設立が開始されました。

最初にできたのが、環境化学分野で国際的に活躍されていた農学部の田辺信介教授、また海洋物理学分野で優れた業績を挙げていた工学部の武岡英隆教授を中心とした、沿岸環境科学研究センター（CMES）です。1999 年に設置された CMES は、本学の特徴ある研究活動の牽引において重要な役割を果たしてきました。

その第二弾として私に白羽の矢が立ち、本学の強力なバックアップのもと GRC の設置が構想されました。とはいえ、法人化前の新しい研究施設はそう簡単には認可されず、文科省の担当課との交渉は大変難航しました。交渉の過程で相談に乗っていただいたのは、東大物性研の秋本俊一先生で

した。四谷のご自宅も何度か訪問させていただきましたが、この中で某科学財団の常務理事をご紹介いただきアドバイスを受けることにより、急速に話が進展しました。

他にない研究施設をつくるということで、少し長いですが地球深部ダイナミクス研究センターと名付けました。英語名は略称が重要だろうと考えGeodynamics Research Centerとしましたが、今では国際的にもGRCで通用するようになっています。中身も実験系と数値系の2本柱とし、他に例のない特徴ある施設を目指しました。

このような背景のもと、GRCは2001年4月に省令に基づく学内共同研究教育施設として、設置が認可されました。設立当初は理学部からの4名と、工学部から2名の6名の教員に、文科省から措置された純増の教員1名・客員教員1名（後に専任化）・研究機関研究員2名・研究支援推進員1名と、大学からの事務専門員1名・事務補佐員1名を加えた小さなセンターでした。とはいえ純増教員2名他が措置されるなど、法人化後の現在からみると考えられない手厚い支援でした。このような学部横断型研究センターの設立は全国的にもあまり例を見ず、法人化後を見越した本学執行部の先見性は、その後この2つのセンターがグローバルCOE拠点に選ばれたことなどを考えると、大変卓越したものだったといえます。

センターの構成

（R1.5.1現在）

❖ 超高圧合成部門

入舩徹男（教　授）
大藤弘明（教　授）
大内智博（講　師）
西　真之（講　師）
Steeve Gréaux（助教）（R1.5.1-）
國本健広（特定研究員）
Nadezda Chertkova（特定研究員）
Wei Sun （WPI研究員）
Youmo Zhou（特定研究員）
近藤　望（特定研究員）
桑原秀治（学振特別研究員）
坪川祐美子（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（講　師）
Sebastian Ritterbex（特定研究員）

❖ 物性測定部門

井上　徹（教　授：広島大学兼任）
河野義生（准教授）
西原　遊（准教授）
境　　毅（講　師）
木村正樹（助　教）

❖ 超高圧材料科学部門

内藤　俊雄（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）
松下　正史（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）

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）

❖ 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客員共同研究員）
客員教授　舟越賢一（CROSS中性子科学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（東京工業大学科学技術創成研究院特任准教授）

❖ GRC研究員・GRC客員研究員

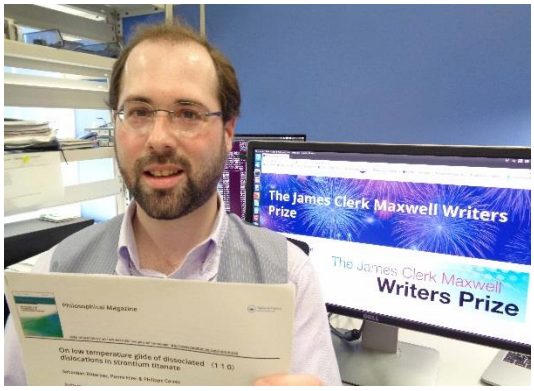
※GRC研究員・GRC客員研究員はPRIUS設置に伴い、委嘱を休止しています。

❖ 事務

研究支援課・研究拠点第2チーム
十河幸子　（副課長）（H31.4.1-）
和田まどか（事務職員）
宮本菜津子（事務補佐員）
上田瑠美　（研究補助員）
大西梨紗　（事務補佐員）
八城めぐみ（研究補助員）

NEWS＆EVENTS

❖ Ritterbex 研究員が J.C.Maxwell 賞を受賞



GRC の Sebastian Ritterbex 研究員が、Taylor & Francis 社出版の Philosophical Magazine 誌に発表した論文、“On low temperature glide of dissociated 〈110〉 dislocations in strontium titanate”が、同誌の James Clerk Maxwell 2018 賞を受賞しました。この賞は同誌およびその姉妹誌 Philosophical Magazine Letters に掲載された論文のうち、特に秀逸なものに対して年間数件程度に授与され、Ritterbex 研究員の論文は 2018 年に受賞した 3 件のうちの 1 つに選ばれました。Ritterbex 研究員は GRC 理論鉱物物性グループの土屋卓久教授の指導のもと、第一原理計算を基礎として地球深部物質の原子拡散と粘性など、レオロジーに関する理論的研究をすすめています。

【論文】
Ritterbex, S., Hirel, P. and Carrez, P.H., On low temperature glide of dissociated (110) dislocations in strontium titanate, Philos. Mag., 98(15), 1397-1411, 10.1080/14786435.2018.1438682, 2018.

❖ GRC 新助教の採用

本年 1 月 1 日付で野村龍一助教の京都大学白眉センターへの転出に伴い、後任として前 WPI 上級研究員の Steeve Gréaux 氏が、GRC のテニュアトラック助教として 5 月 1 日付けで着任しました。

同氏は現在は主に超高圧下での高圧相多結晶体の合成と、超音波法に基づくその弾性的性質の研究を行っていますが、これまでに高圧相関係や密度変化等についても多くの成果をあげています。母国語であるフランス語に加え、英語、日本語によるコミュニケーション能力も高く、今後の GRC の更なる国際化や、国際的な共同利用・共同研究活動においても重要な役割を担ってくれるものと期待されます。

❖ 文部科学省エントランスでの GRC 企画展示

2019 年 7 月から 8 月中旬にかけて、文部科学省新館 2 階のエントランスにおいて、GRC が企画展示を行います。これは、文部科学省が毎年募集をする広報展示企画へ応募し、採択されたものです。この企画では「ヒメダイヤ」の実物展示を中心としています。ヒメダイヤの実物展示は、愛媛大学ミュージアムでは常時行っているものの、東京周辺では、毎年 5 月後半に千葉幕張で開催されている地球惑星科学連合大会での展示ブースが唯一でした。今回の展示では、首都近辺の方々へ幅広く「ヒメダイヤ」を周知できることを期待しています。また、展示期間中には、ヒメダイヤが世界最硬であることを証明する「天然ダイヤモンド粉砕実演」など、超高圧の世界を紹介するイベントも行う予定です。もしこの期間に文部科学省へお立ち寄りの際は、ぜひ GRC 企画展示もご覧ください。

❖ 国際 NPD シンポジウム(STNPD-2019)開催

平成 31 年 2 月 28 日（木）～ 3 月 2 日（土）に、愛媛大学において第 1 回国際 NPD シンポジウム（1st International symposium Science and Technology of Nano-Polycrystalline Diamond 2019：STNPD-2019）が、愛媛大学先進超高圧科学研究拠点（PRIUS）および文部科学省科学研究費助成事業新学術領域研究「核ーマントル共進化」技

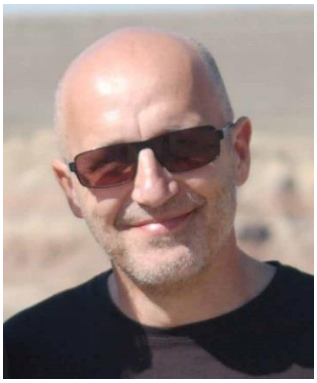
術開発班の共催で開催されました。ナノ多結晶ダイヤモンド(NPD)はヒメダイヤの愛称で親しまれているGRCが開発した「世界最硬」ダイヤモンドです。NPDは現在様々な分野の研究や工業的応用がすすめられ、国内外で多くの先進的な成果があがっており、これまでも各種学会等での発表はありましたが、今回NPD関連研究だけを集めた初の国際的シンポジウムの開催となりました。

海外からの招待講演者を中心に24件の口頭発表と22件のポスター発表が行われ、全体では約60名の参加者がありました。NPDそのものの合成法や物理的特性評価の話題に加えて、欧州・米国・そして日本の大型放射光施設においてNPDを利用して得られた先進的研究成果の紹介や、今後の国際的共同研究の在り方についての活発な議論が行われ、盛会のうちに終了しました。なお、今回のシンポジウムで発表のあった研究内容を中心に国際学術誌の特集号が組まれる予定となっています。

❖ フロンティアセミナー

第75回

"The Fate of Deeply Subducted Volatiles in Earth's Deep Mantle"

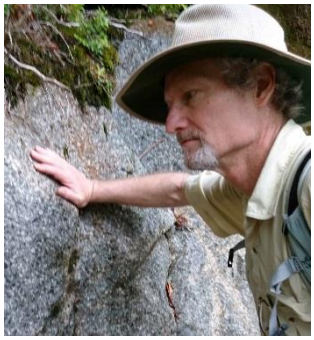


講演者：
Dr. Michael Walter (Director, Geophysical Lab, Carnegie Institution for Science)

日時:2019年3月25日
16：30～17：30

第76回

"Some Petrological Effects on Subduction Dynamics"



講演者：
Dr. Craig R. Bina (Professor, Dept. of Earth and Planetary Science, Northwestern University)

日時:2019年3月25日
17：30～18：30

第77回

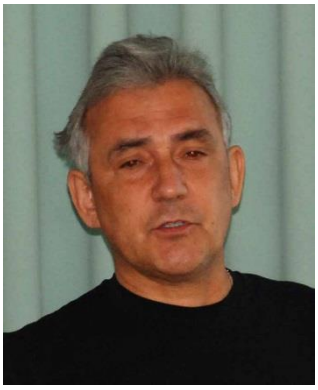
"On the large-scale geochemical anomalies in the deep mantle inferred from the hydrous mantle convection simulations"

講演者：
Dr. Takashi Nakagawa (Professor, Dept. of Earth Science, The University of Hong Kong)

日時:2019年3月27日
16：30～17：30

第78回

"Ultrahard nanomaterials-myths and reality"



講演者：
Dr. Vadim Brazhkin (Professor, Institute for High Pressure Physics RAS)

日時:2019年5月13日
9：30～10：30

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）

６月

6/7 "D/H partitioning between forsterite, wadsleyite, and ringwoodite: ab initio calculation"
Dr. Jun Tsuchiya (Associate Professor, GRC)

6/14 "Dynamic recrystallization of orthopyroxene during high temperature deformation"
Dr. Yumiko Tsubokawa (JSPS postdoctoral fellow, GRC)

6/28 "Ab initio anharmonic lattice dynamics for Fe-bearing lower mantle minerals"
Dr. Haruhiko Dekura (Lecturer, GRC)

７月

7/5 “From high-pressure mineral physics to novel nano-ceramics science; my research history over the Heisei period”
Dr. Tetsuo Irifune(Professor, GRC)

7/19 “Rheology of hcp-iron studied using D111-type apparatus”
Dr. Yu Nishihara (Associate Professor, GRC)

7/26 “Determination of the melting temperature of C_nH_{2n+2} at high pressure”
Dr. Takehiro Kunimoto (Postdoctoral fellow, GRC)

８月

8/2 “Acceleration of the rock-iron interaction by water under pressure”
Dr. Masayuki Nishi (Lecturer, GRC)

❖ 過去の講演

第512回 “Metal-silicate partitioning of carbon in a magma ocean: Implications for the distribution of carbon in the Earth”
Dr. Hideharu Kuwahara (JSPS postdoctoral fellow, GRC) 2019.2.22

第513回 “Sound velocities of Al,Fe-bearing bridgmanite in the Earth’s lower mantle”
Dr. Steeve Gréaux (WPI postdoctoral fellow, ELSI-ES, GRC) 2019.4.12

第 514 回“High-P,T elasticity of Fe-Si alloy”
Dr. Taku Tsuchiya (Professor, ELSI-ES, GRC) 2019.4.26

第 515 回 “Diamonds? In ultra-high-pressure metamorphic rocks”
Dr. Hiroaki Ohfuji (Professor, GRC) 2019.5.10

新人紹介

内藤　俊雄
（教授）

超高圧材料科学部門・教授の内藤です。この部門は今からほぼ１年前(2018 年５月)に発足した、理工学研究科との兼任の教員４名(教授１名(理)＋准教授 3 名（理 1 名、工２名)）からなる部門で、私は理学部との兼任です。この新部門設置の経緯や詳しい内容は、以前の GRC News Letter（ 2019.2.20 No. 53）で当部門の松下先生にご説明頂いておりますので、ここでは繰り返しません。私の専門は有機物の超伝導体や磁性体開発で、それらの機能を複合的に持つ新物質や、ここ 10 年ぐらいは特定の波長の光に応答して伝導性と磁性の両機能を発揮する物質などを研究しています。試料は通常 1 mm にも満たない微小な単結晶です。それを用いた実験（試料合成、電気抵抗測定、磁化率測定、電子スピン共鳴、顕微偏光反射スペクトル、ラマンスペクトル、NMR（固体）、光電子分光、Ｘ線吸収端微細構造（XAFS）など）と理論計算（拡張ヒュッケル法、DFT 計算などに基づく分子軌道計算、バンド計算、スペクトルのシュミレーション、電荷密度やスピン分布のマッピングなど）を駆使して、無機物・有機物を問わず“この世に無いもの”や“今まで出来なかったこと”を実現しようと、日々悪戦苦闘しております。

元々色々なことにすぐ首を突っ込みたくなる性分で、大学を受験する際も理学部に行くか工学部に行くか医学部に行くか、理学部に決めてからも数学、物理、化学、地学、生物それぞれに興味があり、最後まで決めかねていました。特に生き物（を捕まえたり、飼ったりするのが）が好きで、小さいころから海や山へ出かけて魚や虫やザリガニなどを取って遊んでいました。ペットショップで見かけるような虫、鳥、魚、小動物の類はたいてい飼ったことがあり、犬は 3 世代、合計 30 年ぐらい飼っていました。ちなみに生まれも育ちも東京（文京区）ですが、私が生まれ育った頃の文京区はまだ東京ドームもなく、庭園や大学の広大なキャンパスなど自然が豊富でした。近くには当時政界の大物たちの自宅も何軒かあり、それらの家の広大な庭で友達と一緒に（勝手に）遊んで、鬼ではなく守衛さんに捕まってたっぷり油を搾られた経験があります。もうそれらの家も今はありませんが。愛媛大学に着任してからも、地球科学科の研究室に行ってアンモナイトの化石を頂いてきたり、農学部に行ってカブトムシを貰ってきました。大学の教養課程（今で言うと共通教育）から専門課程（理学部化学科）を通じて、鉱物学、物性物理学、地球物理学、素粒子論、宇宙論などいろいろな講義を受けていましたので、GRC の各種研究のお話を伺うと懐かしく、不思議な縁を感じます。いろいろなこと、特に未踏領域、境界領域の“海のものとも山のものともつかない”研究の話を聞くのが好きで、前任地（北海道大学、2011

年３月まで)でも「創成科学共同研究機構」(以下、略して創成）という、独自のアイディアに基づく萌芽的、挑戦的研究を自らの手で開拓する若手教員を学内公募（3－4 件／年度）で集めた部局にいたことがあります。愛媛大学で言うとリサーチユニットに近いですが、申請は個人単位でした。例えば自分の隣の居室の先生はアメーバの挙動を数学的に解析（定式化）し、それを基に渋滞回避の画期的なアルゴリズムを作り、カーナビに搭載する研究で、イグノーベル賞を２回取りました。同賞を２回取った研究者は、世界広しと言えども未だにこの先生だけです。奇しくも創成で一緒だった先生方が、松山大学と徳島文理大学と愛媛大学に、私が異動したのとほぼ同時期に赴任しており、四国にも不思議な縁を感じます。

肝心の「高圧」と私の研究との関連をお話ししておりませんでした。新規超伝導体探索に高圧はつきものですが、それだけでなく（ヒメ）ダイヤが光を通せる高圧発生治具だというところに興味を持っています。なぜならば、未知の機構による高い転移温度を持った超伝導体が光励起状態で実現できないかと考えているからです。今回研究レベルの高い GRC のお仲間に加えて頂き、刺激を受けることで、自分の研究の視野や可能性が広がり、新たな方向へ展開できれば、それが新部門を設置して頂いた GRC への最大の恩返しだと思っています。どうぞよろしくお願い致します。

研究会報告

❖ 第１回国際 NPD シンポジウム「STNPD-2019」

平成 31 年２月 28 日（木）～３月２日（土）に、愛媛大学においてナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）に関する国際ワークショップ「1st International symposium STNPD-2019 (Science and Technology of Nano-Polycrystalline Diamond 2019)」が、愛媛大学先進超高圧科学研究拠点 (PRIUS) および文部科学省科学研究費助成事業新学術領域研究「核－マントル共進化」技術開発班の共催という形で開催されました。昨年度は国内シンポジウムという形でしたが、今回は NPD

関連研究だけを集めた初の国際的シンポジウムということで LOC＆発表者として参加しました。海外からの招待講演者を中心に 24 件の口頭発表と 22 件のポスター発表が行われ、全体では約 60 名の参加者があり、NPD そのものの合成法や物理的特性評価の話題に加えて、欧州・米国・そして日本の大型放射光施設において NPD を利用して得られた先進的研究成果の紹介や、今後の国際的共同研究の在り方についての活発な議論が行われました（なお、今回のシンポジウムで発表のあった研究内容を中心に国際学術誌の特集号が組まれる予定となっています)。

私自身は、Applications to ultrahigh pressure generation というセッションでマルチメガバールでの状態方程式に関する発表をしました。セッション名である ultrahigh pressure generation のトピックに関していえば、2018 年はトロイダル型 DAC の報告(Dewaele et al., 2018; Jenei et al., 2018)が相次ぎました。これらの報告は圧力値だけを見るといずれも 600 GPa 発生を謳っていますが、実際の圧縮状態 (V/V0) には差異があり、それは採用したレニウムの状態方程式(Re EoS)の違いに起因しています。言い方を変えると、ここで採用されたそれぞれの Re EoS の間には大きな矛盾があることになります。我々は MgO や白金といった他の圧力スケール物質とレニウムの同時圧縮データに基づいて、Re EoS の検証を行いました。結果だけ述べると、フランスグループ(Dewaele et al. 2018)の 600 GPa 到達は他の圧力スケールと比較しても大きな矛盾はなく妥当であろうと結論しました。同じセッションの最後には、そのフランスグループから招待・参加頂いた Occelli さんの発表がありました。発表では、論文には書いていなかった多くの失敗実験があった経緯についても触れられました。プロジェクトとしては 2013 年から開始していますが、論文化されたのは 2018 年で、その中でも 500 GPa を超えた実験は１回のみとなっています。全く同形状のアンビルを用いても簡単に 500 GPa 以上を発生する実験を再現することはできない難しさがあり、苦労の様子を実感するとともに、やはりみんな苦労しているんだ、自分も頑張らなければという気持ちを抱きました。発表後も、どんなダイヤを使用しているか、FIB 加

工後の処理はどうしているか、水素の圧縮を目指してコーティングなどの特別なケアはしているか、回収アンビルはどんな感じか、といったことに関して直接お話を伺えたことは大変有意義でした。

最後にLOCメンバーの一人として、参加してくださった皆様はもちろんのこと、事務方や学生さん含め多くの方の御協力のもとに無事終了できましたこと、お礼申し上げます。ありがとうございました。(境毅)

インターンシップ報告

❖ Under Pressure at GRC

Luca Samuele Capizzi
(Research Fellow, Sapienza University of Rome)

I am Luca Capizzi. I come from Catania (Italy), the city of Mount Etna Volcano. I am a "man of a volcano" and for this reason I decided to approach my life in geosciences study.

I obtained my Ph.D. at University of Milan in Italy in the experimental petrology group of prof. Stefano Poli in 2018 where I worked with piston cylinder apparatuses to study the mobility of COH liquids and fluids in mantle peridotite assemblage. The results emphasize the important role of water presence and amount into carbonatitic melts and fluids related to anhydrous carbonatitic and silicate melts at same P-T conditions.

After my PhD, I moved to the Geosciences Department (University of Padua, Italy) group of prof. Bernardo Cesare to perform re-melting experiments of polycrystalline, melt and fluid inclusions. These experiments were carried out by means of piston cylinder apparatus at crustal and upper mantle P-T conditions to understand anatexis and fluid regime of the deep continental crust from melt and fluid inclusions in metapelitic migmatites.

Therefore, I've joined at Department of Earth Sciences in Rome "La Sapienza" (Italy) since the 1st of November (2018) as a research fellow working with prof. Vincenzo Stagno as my supervisor to study Fe-bearing minerals, as petrogenetic indicators, at deep subduction environments to estimate the redox conditions of Earth's mantle at > 250km.

Thanks for the support from PRIUS and professor Vincenzo Stagno. I had an opportunity to work at GRC for two-week from 10 February to 24 February 2019.

The main focus of the research was to investigate the redox state of Earth's interior with implications for the mobilization of volatiles and to measure experimentally the Fe^{3+}/Fe_{tot} of silicates minerals stable in the deep mantle conditions.

During my two-week visit, with professor Vincenzo Stagno and Dr. Steeve Gréaux we performed a several HPHT experiments under various pressures from 20 to 26 GPa, temperatures from 1400 to 1800℃ and fO_2 conditions, by using the Multianvil apparatuses (D-DIA type Madonna II and DIA type Orange-3000 presses).

I was extremely impressed by the numbers and efficiency of GRC facilities: I had never seen so many multianvil apparatuses in my life or bigger ones like Botchan press.

This experience was my first time out of Europe. It was amazing to visit places like Matsuyama itself, because it offers the typical Japanese mixture of temples and botanic gardens with a wonderful castle and a spectacular view from the upper heights and Hiroshima with its Atomic Bomb Dome which tells a story.

I was pleasantly surprised by hospitality and professionality of Japanese researcher and PhD students of GRC. I had the opportunity to meet great professional scientists as Yoshio Kono and Steeve Gréaux. Special thanks to Professor and director of GRC Tetsuo Irifune.

I was very glad for this opportunity because Matsuyama is a very quiet place with its castle, parks and temples.

I decide to spend my life in petrological research, to study experimentally mantle and crust processes and for these reasons I sincerely hope to still be able to collaborate with GRC again and improve my experimental knowledge also through this collaboration.

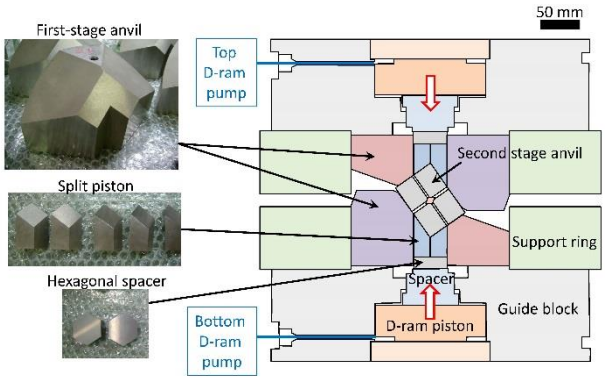
ALUMNI レポート⑲

❖ Institut des Sciences de la Terre
CNRS researcher, Fabrice Brunet

I first visited GRC in 2003 for one year as visitor scientist on a JSPS fellowship. Originally, I was trained by the German school of metamorphic petrology (W. Schreyer, F. Seifert, C. Chopin) to UHP phase relationships. GRC was not therefore a natural host institution considering my research area. However, I was very much impressed by the research led by Professor Irifune on pyrolitic mantle phase relationships across the whole upper mantle. The combination of both mineral physics and petrological approaches to infer the physical properties of the deep Earth was very appealing and I felt that I had a lot to learn at GRC. I therefore moved to Matsuyama with my wife and three kids for an unforgettable scientific and cultural experience. I stayed in close contact with my home laboratory at the Ecole Normale supérieure in Paris who sent two master students from Paris, Corentin Le Guillou and Sophie Guillon, to respectively work on the effect of carbonaceous matter disorder on diamond formation kinetics and serpentinite dehydration kinetics. My main research activity was actually dedicated to phase relationships in phosphorus-bearing systems at the conditions of the mantle transition zone. We were able to show for the first time that although phosphorus is tetrahedrally coordinated in common phosphate minerals, phosphorus can adopt an octahedral coordination under transition zone conditions. The fruitfulness of the scientific collaboration with Prof. Irifune's group led me to return to Matsuyama on a regular basis as associated researcher. Beyond the scientific aspect, living in Matsuyama has been a rich experience. My two daughters were respectively enrolled in the elementary school and kinder garden in Matsuyama. They had thus the opportunity to experience a true cultural immersion which partly shaped their current personality. We also build a bi-cultural network of friends to which we are still connected today. Since the "Matsuyama experience", I moved to the Earth Sciences Institute of Grenoble (ISTerre) where my research is now mostly centered on fluid-mineral interactions. I have been very much influenced by GRC innovation spirit since I am at the origin of an ISTerre spin-off company which does not produce nano-diamond aggregates … but nano-magnetite for industrial applications.

最新の研究紹介

❖ D111型装置による高温高圧変形実験



地球球内部での物質と熱の輸送を正確に理解するためには、高温高圧下の物質の流動特性の知見が欠かせません。地球深部物質の流動特性を解明することを目的として、最近、英国の S. Hunt、D. Dobson らによって高圧変形実験装置 DT-Cup が開発されました。この装置では、111 押し川井型マルチアンビル装置の対向する上下の二段目アンビルを油圧によって独立に駆動することによって、最高 18GPa の高圧下でよく制御された変形実験を実現しています。しかしながら、DT-Cup 装置では小型のガイドブロックを採用していることから発生荷重が限られ、地球下部マントルの条件（圧力 >23GPa）での変形実験の実現にはさらなる改良が必要でした。これを踏まえて、私たちは 2017 年 3 月に高エネルギー加速器研究機構、PF-AR、NE7A に「D111 型ガイドブロック」を導入・設置し、DT-Cup 装置の大型改良版にあたる D111 型装置のシステムを構築しました。これにより地球下部マント

ルに相当する高温高圧条件での定量的な変形実験の技術を確立し、種々の地球深部物質の変形・流動特性を解明することを目指しています。なお、この装置の導入は新学術領域研究「核-マントルの相互作用と共進化」の一環として行われたものであり、ここで紹介する研究は岡山大学、九州大学の領域メンバーと共同して進めているものです。

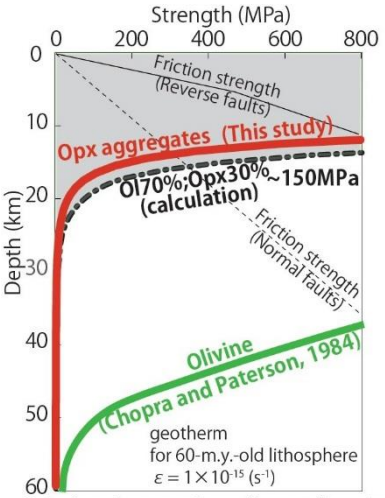
図は D111 型ガイドブロックの模式図を表しています。このガイドブロックの最高差動ラム荷重は、従来の DT-Cup 装置を大きく超える上下各 314tonf です。これを既設の MAX-III プレスと組み合わせることにより、最高メインラム荷重 700tonf の D111 型装置が構成されます。変形実験では、試料を含む圧力媒体にメインラム荷重を印加し高圧力を発生させ、圧力媒体に内蔵した発熱体により試料を加熱し、上下差動ラムを一定速度で前進させることによって高温高圧下での試料の変形を行っています。放射光 X 線を用いた実験では、50-60keV の単色 X 線を圧力媒体中の試料に照射して変形中の試料をその場観察します。このとき、蛍光体と CCD または CMOS センサーを用いて得られるラジオグラフ像から試料歪を、フラットパネルセンサーを用いて得られる二次元 X 線回折パターンからは試料の差応力と圧力を決定します。

これまでにコーサイト、リングウッダイト、ブリッジマナイト、鉄などを試料とした一軸圧縮および剪断変形実験が最高 350tonf までのメインラム荷重で行われ、よく制御された一定歪速度の変形が達成されています。先端長 2mm のアンビルを用いた場合に、加熱前の室温下の値ながら、30GPa を超える圧力の発生が達成されました。また、約 1700K、約 27GPa の高温高圧下での定量的な変形実験にも成功しており、目標としていた地球下部マントル条件が達成されています。現在、これらの実験を通じて地球深部物質の流動強度、結晶選択配向を制約する実験データが得られつつあります。

筆者が中心となり行なっている六方最密構造（hcp）の鉄の実験では、最高 22.6GPa、873K の温度圧力条件の範囲で一定歪速度の一軸圧縮変形実験を行なっています。これまでに得られた予察的なデータから、hcp 鉄は約 700K 以上の温度では応力指数が約 5 を示す転位クリープが優勢であるのに対し、それ以下の低温ではべき乗則の崩壊が起こるらしいことが示されています。今後、より高温での実験を行なって地球内核の粘性率を制約につなげたいと考えています。（西原遊）

❖　上部マントル条件下における斜方輝石の変形実験

プレートテクトニクスはマントル対流の様式の一種であり、地球内部と表面での物質循環や熱の輸送といった重要な役割を持っています。また、太陽系の地球型惑星でプレートテクトニクスが確認されているのは地球だけであり（他の地球型惑星ではマントル対流は起きてもプレートの運動はない）、プレートテクトニクスは非常に限られた条件でのみ起きる現象であるということが分かります。ここで、地球においてプレートテクトニクスが起きるために必要なプレートの理論強度は 150 MPa 以下となっていますが、それに対しプレートの最主要鉱物であるカンラン石の強度は 500-600 MPa 程度と強すぎます。すなわち、地球では他の地球型惑星と同様にプレートテクトニクスが起きえないにも関わらず、実際にはそれが起こっているといった矛盾が存在します。そこでこの矛盾を解決するために、地球においてプレートの強度が「弱化」している何らかの理由について検討を行う必要があります。



Calculated strength profile as a function of depth in the oceanic lithosphere.

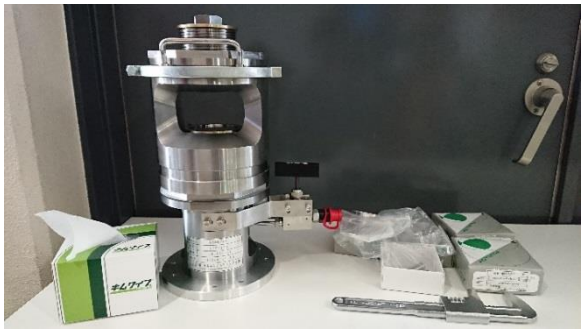
私はこのプレート強度の「弱化」の原因を説明するために、カンラン石に次いでプレートに多く存在する斜方輝石に着目しました。斜方輝石はカンラン石より低い強度を持ちうることが実験的に指摘されている鉱物です。また、斜方輝石には温度圧力に応じた 5 種類の結晶多形が存在しますが、実験装置の発生可能圧力による問題などから、これまで実際のプレート内で安定なオルソエンスタタイト相（圧力> 1GPa、温度 > 800℃）の安定条件下で行われた実験が限られていました。そこで私は、大型放射光施設 SPring-8 に設置の D-DIA 型変形装置を用いて、実際のプレート内の温度圧力条件下（深さ 50-140km 相当、温度 1000-1200 ℃）において、強力な単色 X 線を用いた高温高圧“その場観察”変形実験から斜方輝石の応力・歪の測定を行いました。そして斜方輝石の変形強度を実験的に決定することで、プレート強度の「弱化」に及ぼす斜方輝石の影響を評価することを試みました。また本研究ではドライな斜方輝石の変形強度の決定を目指し、変形実験の試料をあらかじめ雰囲気炉で加熱処理することで溶存する水の除去を行い、高温高圧下でも斜方輝石がドライ条件を維持したままの実験を行いました。

変形実験のデータと回収試料の組織観察から、本実験条件において卓越する斜方輝石の変形メカニズム（転位クリープ）と、流動則のパラメータを決定しました。その結果、本研究で得られたドライな斜方輝石の転位クリープによる変形強度は、プレート内の温度圧力条件下ではドライなカンラン石のものと比べ著しく低い値であることが分か

りました。また、本研究結果を用いて理論的に海洋プレート（カンラン石 70%、斜方輝石 30%）の強度を計算した結果、存在量が約 30%でも斜方輝石（弱層）が孤立せず連続して存在し全体の変形を支配するような場合、プレート全体の強度は 150 MPa 以下となりうることがわかりました（図を参照）。従って本研究から、ドライな斜方輝石の転位クリープ変形によりプレート全体の強度が著しく低下しうると考えられ、プレート強度について斜方輝石による「弱化」の影響が大きい可能性が示されました。今後はドライ条件での実験に加え含水条件下での実験を行うことで、高温・高圧下における水の及ぼす影響についても評価を進めていく予定です。(坪川祐美子)

センター機器紹介

❖ 小型プレス装置



日本の高圧プレス実験では主に大型のマルチアンビルプレスや DIA 型プレスが使用されているが、一方ヨーロッパやアメリカの特に放射光 X 線・中性子施設では小型のパリーエジンバラ型プレスが活躍している。大型プレス、小型プレスそれぞれに長所、短所があり、それぞれの特性を生かして様々な測定システムと組み合わせた新しい高圧プレス実験の開拓は、今後の高圧実験科学の重要な課題の一つであると考えられる。

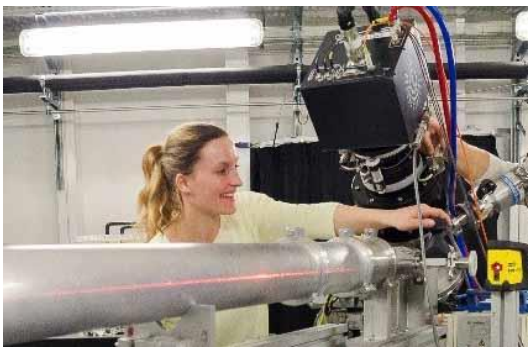
昨年度 GRC では、持ち運び可能な小型のプレス装置を導入した。導入した小型プレス装置は、130 トンの加圧能力を持ちながら、その大きさは架台を含めても直径約 20cm、高さ 40cm 以下、そして重量は約 35kg と、持ち運び可能な小型サイズである。さらに、加圧は小型のハンドポンプで行うため、この小型プレス装置と加圧システム一式を車で持ち運ぶことが可能である。この小型プレス装置では、対向型のアンビルを使用した高圧実験を行うことが可能であり、私がアメリカの放射光 X 線施設 Advanced Photon Source(APS)のビームライン 16-BM-B で行っていた、圧力 12GPa、温度 2000℃までの高圧高温実験を行うことができると考えている(例えば、Kono et al., 2014, Phys. Earth Planet. Inter, 228, 269-280)。

この小型プレス装置を活用することにより、これまで高圧プレス実験と組み合わせたことのない放射光 X 線測定やその他測定システムと組み合わせた新しい高圧実験を開拓することを考えている。写真は、この４月に SPring-8 の BL04B2 ビームラインに小型プレス装置を持ち込み、ステージに設置した際の状況である。写真左側のステージの上に設置されているのが小型プレス装置である。BL04B2 ビームラインは、61.7keV の高エネルギー X 線を活用し、液体やガラスなどの非晶質物質の動径分布関数測定を行うことが可能なビームラインである。高圧下における液体（例えば、マグマや金属液体）や酸化物ガラスなどの構造測定は、地球科学だけでなく、物理学、材料科学などの幅広い学術分野において注目されている分野であり、近年特にアメリカの APS やフランスの ESRF で活発に開発されている高圧実験分野の一つである。筆者は、昨年６月までビームラインサイエンティストをしていた APS のビームライン 16-BM-B において、液体やガラスの構造・物性測定の開発・研究を行っており、日本の SPring-8 においてもより発展した高圧液体の研究を行いたいと考えている。現状では、小型プレス装置の設置についての確認などを行ったのみで測定はまだ行っていないが、120°の幅広い開口角を持つ小型プレス装置を活用することにより、高エネルギーの X 線回折測定を幅広い 2θ 角まで測定する、すなわち幅広い Q 範囲での液体の構造因子測定が可能になると期待している。これまでの APS や ESRF の実験では、高圧ビームラインで液体、ガラスの動径分布関数測定を行っているため、ビームラインの測定系は動径分布関数測定に最適化されておらず、特に測定の Q 範囲が限られている問題があった。動径分布関数測定に最適化されたビームラインである BL04B2 において、新しく GRC に導入した小型プレス装置を用いた高圧高温実験を可能にすることにより、一気圧下における液体の構造解析と同様の高品質の動径分布関数測定を高圧条件下で実現したいと考えている。(河野義生)

❖ PRIUS 利用者の声

I am a geo-scientist in charge of the extreme pressure and temperature (P/T) conditions activities at the X-ray absorption (XAS) beamlines ID24 and BM23 at the ESRF in Grenoble, France. I have been involved in the PRIUS program for 5 years.

Nano-polycrystalline diamonds (NPDs) are fundamental tools for quantitative XAS studies at high P/T conditions that opened up new research directions. Indeed, NPDs yield a continuous and weak X-ray background signal which enables the collection of high-quality XAS data of materials compressed in diamond anvil cells. This is a critical advantage over the classically used single-crystal diamonds that generate strong parasitic signals (glitches) that render the analysis of XAS data in many cases impossible.



My research program is focused on geochemistry at extreme P/T conditions and highly benefits from the NPDs. Indeed, such experiments are performed at very high dilution levels and/or at extreme pressures and temperatures. In both cases, the resulting XAS signals are weak and, could be strongly affected by the "glitches" from the single-crystal diamonds.

Thanks to the NPDs, I could recently obtain unique XAS data on the mechanical properties of the noble gas krypton at Earth's core conditions (Rosa et al., 2018). I have been also involved in several related research projects which focused on the transport of trace elements in melts (Pohlenz et al., 2018; Crepisson et al., 2018), the phase diagram of iron to Earth's core conditions (Morard et al., 2018) and the electronic properties of semiconductor compounds under compression (Fornasini et al., 2017; Donnerer et al., 2018). All these studies would have not been feasible without NPDs.

I am very grateful to Professor Irifune and to the scientific staff at GRC that established and sustained the PRIUS program, through which I could obtain these NPD anvils which are essential for my research. (ESRF, PhD, Angelika Rosa)

(References)

A.D. Rosa, G. Garbarino, R. Briggs, G. Morard, M.A. Bouhifd, T. Irifune, O. Mathon and S. Pascarelli. Effect of the fcc-hcp martensitic transition on the equation of state of solid krypton up to 140 GPa. **Physical Review B**, 97, 094115 (2018). [doi: 10.1103/PhysRevB.97.094115].

J. Pohlenz, A.D. Rosa, S. Pascarelli, O. Mathon, , S. Belin, G. Landrot, V. Murzin, A. Veligzhanin, A. Shiryaev, T. Irifune, M. Wilke. Structural controls of CO_2 on Y, La and Sr incorporation into sodium rich silicate - carbonate melts by in situ high P T EXAFS. **Chemical Geology**, 486, 1-15 (2018). [doi: 10.1016/j.chemgeo.2017.12.023].

C. Crépisson, C. Sanloup, L. Cormier, M. Blanchard, J. Hudspeth, A.D. Rosa, O. Mathon, T. Irifune. Kr environments in a feldspathic glass: a high pressure, high temperature X-ray absorption study. **Chemical Geology**, 493, 525-531 (2018). [doi: 10.1016/j.chemgeo.2018.07.008]

G. Morard, S. Boccato, A.D. Rosa, S. Anzellini, F. Miozzi, L. Henry, G. Garbarino, M. Harmand, F. Guyot, E. Boulard, I. Kantor, T. Irifune, R. Torchio. Solving controversies on the iron phase diagram under high pressure. **Geophysical Research Letters**, 45 (11) 074-11,082 (2018). [doi: 10.1029/2018GL079950].

P. Fornasini, R. Grisenti, T. Irifune, T. Shinmei, S. Pascarelli, A.D. Rosa. Bond compressibility and bond Grüneisen parameters of CdTe. **Journal of Condens Matter**, 30(24):245402 (2018). [doi: 10.1088/1361-648X/aac188].

C. Donnerer, M. Moretti Sala, S. Pascarelli, A.D. Rosa, S.N. Andreev, V.V. Mazurenko, T. Irifune, E.C. Hunter, R.S. Perry, D.F. McMorrow. High-pressure insulator-to-metal transition in $Sr_3Ir_2O_7$ studied by x-ray absorption spectroscopy. Physical Review B, 97, 035106 (2018). [doi: 10.1103/PhysRevB.97.035106].

❖ PRIUS 利用者の声

私は長年希土類ホウ化物の研究に携わってきました。この化合物は結晶対称性の高い物質が多く、また価数揺動や近藤絶縁体状態形成、多極子秩序などの物性物理学上興味深い現象がふんだんに表れる物質群でもあります。その中でも、常圧ではまだ作成されていない物質をかねてより、世界に先駆けて作ってみたいという欲求がずっとありました。希土類6ホウ化物RB_6ではR=Tm, Er, Luがまだ作製できていませんが、いずれ克服したいと思っています。現在最も力を注いでいるのは新規の希土類12ホウ化物RB_{12}の開発です。これらは常圧ではR=Tb～Luまでが作成できますが、いずれも重希土類です。R=La～Gdまでのいわゆる軽希土類では、だれもその物質を作成して物性をきちんと評価したという報告がなされていませんでした。

2013年に茨城大学に異動する前は広島大学で2010年頃よりこのテーマに取り組み、工学部の山中先生の協力のもと、GdB_{12}の合成に取り組み、その合成に成功しました。さらにSmB_{12}の合成に取り組みましたが、最大15GPa加圧でも単一相は得られず、SmB_6と混在したままでした。山中研究室では、もともと（100）方向押し出しの6-8カワイ型の高圧装置でしたが、その後愛媛大のGRCの装置を参考にして(111)方向の押出し方法に変えて最大15GPa加圧を実現したところでした。そこで私は山中先生を通じて、入舩先生に相談し、当時准教授としてGRCにおられた西山宣正先生（のち、ドイツのDESYに転出、現在東工大）とともにSmB_{12}の合成、更にはR=Ce, Pr, Ndの合成にも取り組みました。使った装置は3000トンプレスで、最大20GPa荷重の元、SmB_{12}の単相合成にはじめて成功いたしました。その流れで、今に至るまでPRIUS共同利用研究にも参加させていただき、毎年のように関連物質の合成にお邪魔させていただいております。毎回、ラボマネージャーの新名先生には、学生ともども非常にお世話になっており、感謝に堪えません。おかげさまで、茨城大学でも高圧装置を導入して、高圧合成研究に取り組むことができるようになりました。これも入舩先生はじめ、GRCの皆様方の支援のおかげと思っております。今後とも引き続きよろしくお願いいたします。(茨城大学理工学研究科教授　伊賀文俊)

❖ PRIUSシンポジウムの開催

2019年2月27日（水）～28日（木）と、PRIUS成果発表会・シンポジウムが開催され、PRIUSを利用した共同利用・共同研究の成果が口頭発表・ポスター発表により報告されました。シンポジウムには国内外から約70名の参加者のもと、多様な研究成果が発表され質疑応答やその後の議論を通じて研究及び人的な交流を深めました。今年はこれに引き続いて、ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）の合成・特性・応用に関する国際シンポジウムが2月28日～3月2日に開催され、PRIUSシンポジウム参加者の一部はこの国際シンポジウムに合流し、活発な研究交流がおこなわれました。

編集後記：大型科研費の特別推進研究、ヒアリングによばれながらあえなく落選。直前に某先生に根津の常勝トンカツ屋さんに連れっていっていただいたのに、ジンクス破ってしまい申し訳ないところです。一度採択されているし、歳を考えるとしかたないかもしれませんが... (T.I & Y.M.)。