GRC News Letter 2014.10.30 No.40

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:
  - 土屋教授が日本鉱物科学会賞受賞
  - Nature Comm.誌に論文掲載
  - NPSの割れにくさの新しいメカニズム
  - 井上教授がNHKスペシャルに出演
  - 国際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
- インターンシップ報告
- 海外出張報告
- ALUMNIレポート No.5
- 最新の研究紹介
- センター機器紹介 No26
- 先進超高圧科学研究拠点（PRIUS）
- 地球生命研究所 サテライト（ELSI-ES）

センター長あいさつ

入舩　徹男

私ごとながら50歳を迎えた10年前には、一念発起してTOEICを受験しました。還暦を迎えた今年は何をしようかと考えましたが、たいして思いつくものがありません。仕方がないので、結局また趣味と実益を兼ねて語学の学習に励んでいます。といっても、最近日課になっている早朝散歩の折に、近所のみかん山を巡りながらラジオ講座を聴く程度ですが。

7月の誕生日の直後には、オーストラリアが生んだ偉大な地球科学者A.E.Ringwood教授に因んだメダルを拝受しました。博士研究員時代とその後10年間にわたり共同研究させていただいた、同教授の名前を冠したメダルを授与されたのは望外の幸せです。8月の還暦祝いの会で贈られた、スペインFIFA公認の赤いユニフォーム(背番号60！)とともに、大変いい記念となりました。

地球内部にあると考えられている高圧型鉱物の大部分は、オーストラリア国立大学（ANU）のRingwoodの研究室で最初に合成されました。マントルの重要な高圧相であるスピネル構造のかんらん石は、彼の名前に因んでリングウッダイトと名付けられています。また、同じくマントル深部に存在すると考えられている特殊なざくろ石メージャライトは、共同研究者A. Majorの名前に由来しています。

これまで、隕石中にのみ存在が確認されていたリングウッダイトが、今年になって初めて地球深部由来のダイヤモンドの中から発見されました。このリングウッダイト中に多量（1-2wt%）の水が含まれていたことから、地球科学分野で大きな話題を呼んでいます。地球の中には、これまで考えられていた以上に水が存在するのかもしれません。

ダイヤモンドといえば、Ringwood教授はダイヤモンド粉末を高圧下で焼き固める新しい手法を開発し、1990年代には製品化に至りました。しかしAdvanced Diamond Composite (ADC)と名付けられたこの超硬材料は、ダイヤモンド本来の硬さに至ることはできませんでした。同教授の急逝もあり、残念ながら製品としては成功せず、受賞式の後立ち寄ったANUの研究所では、当時建造されたADC合成専用の大型プレスも埃をかぶった状態でした。

Ringwood教授が亡くなって20年余り経た現在においても、地球科学研究ではいまだに足元にも及ばない遠い存在です。その中で唯一「勝った」と思われるのは、超高圧合成技術を用いて産み出したヒメダイヤ（ナノ多結晶ダイヤモンド＝NPD）です。ヒメダイヤの類まれな硬さや、ダイヤモンドの純粋な多結晶体であることを活かし、現在では国内外の30近いグループと超高圧科学分野などにおいて共同研究を進めています。

一方でヒメダイヤ合成技術を応用し、新しい機

能性材料の超高圧合成にも取り組んでいます。その成果は、硬くて割れにくいナノ多結晶スティショバイト（NPS）や、宝石級の透明ナノ多結晶ガーネット（NPG）などの新物質の合成として表れつつあります。またGRCだけでは困難な物性測定や特性評価は、工学部や理学部の教員と連携した取り組みを進めています。先端的な地球深部科学の推進ともに、今後は「超高圧材料科学」とも称される新分野の開拓にも力を注ぎたいと考えています。

センターの構成

（H26.10.1現在）

❖ 超高圧合成部門

入舩徹男（教　授）
大藤弘明（准教授）
大内智博（助　教）
西　真之（助　教）（H26.9.1～）
Steeve Gréaux（WPI研究員）
Wei Du　（WPI研究員）
Vincenzo Stagno（WPI研究員）
（H26.10.1～）
國本健広（特定研究員）
小島洋平（特定研究員）
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（准教授）
土屋　旬（准教授）
出倉春彦（助　教）
市川浩樹（WPI研究員）
Xianlong Wang（学振外国人特別研究員）

❖ 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

平井寿子（特命教授）
桑山靖弘（助　教）
木村友亮（特定研究員）

❖ 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）（H26.4.1～）

❖ 客員部門

客員教授　藤野清志
客員教授　角谷　均（住友電気工業（株）アドバンスマテリアル研究所技師長/フェロー）
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）
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）
（H26.4.1～）
客員准教授　舟越賢一（CROSS東海利用促進部主任研究員）

❖ GRC研究員

榊原正幸（理工学研究科教授）
山本明彦（理工学研究科教授）
森　寛志（理工学研究科准教授）
渕崎員弘（理工学研究科教授）
小西健介（理工学研究科准教授）
田中寿郎（理工学研究科教授）
野村信福（理工学研究科教授）
平岡耕一（理工学研究科教授）
山下　浩（理工学研究科准教授）
豊田洋通（理工学研究科教授）
松下正史（理工学研究科講師）
仲井清眞（理工学研究科教授）
阪本辰顕（理工学研究科講師）
佐野　栄（教育学部教授）

❖ GRC客員研究員

遊佐　斉（物質・材料研究機構先端的共通技術部門主幹研究員）
鍵　裕之（東京大学理学系研究科教授）
平賀岳彦（東京大学地震研究所准教授）
道林克禎（静岡大学理学部教授）
市田良夫（CBN&Dナノ加工研究所所長・宇都宮大学名誉教授）
川本竜彦（京都大学理学研究科助教）
大高　理（大阪大学理学研究科准教授）
重森啓介（大阪大学ﾚｰｻﾞｰｴﾈﾙｷﾞｰ学研究センター准教授）
山田幾也（大阪府立大学21世紀科学研究機構特別講師）
角谷　均（住友電気工業（株）アドバンスマテリアル研究所技師長/フェロー）
吉岡祥一（神戸大学自然科学系先端融合研究環都市安全研究ｾﾝﾀｰ教授）
肥後祐司（JASRI利用促進部門研究員）
浦川　啓（岡山大学自然科学研究科准教授）
山崎大輔（岡山大学ISEI准教授）

奥地拓生（岡山大学ISEI准教授）
安東淳一（広島大学理学研究科准教授）
中久喜伴益（広島大学理学研究科助教）
片山郁夫（広島大学理学研究科准教授）
中田正夫（九州大学理学研究院教授）
加藤　工（九州大学理学研究院教授）
金嶋　聰（九州大学理学研究院教授）
久保友明（九州大学理学研究院准教授）
西堀麻衣子（九州大学大学院総合理工学研究院准教授）
赤松　直（高知大学教育研究部教授）
Fabrice Brunet（CNRS研究員）
西山宣正（ドイツ電子シンクロトロン研究所DESY研究員）

❖ 事務

研究拠点事務課（3F）
藤村　宗　（課長）
田窪　光　（チームリーダー）
外山廣子　（事務補佐員）
宮本菜津子（事務補佐員）
兵頭恵理　（事務補佐員）
八城めぐみ（事務補佐員）
長野絵理　（事務補佐員）

NEWS&EVENTS

❖ 土屋卓久教授が日本鉱物科学会賞受賞

土屋卓久教授（右）と齊藤哲理工学研究科助教（左）

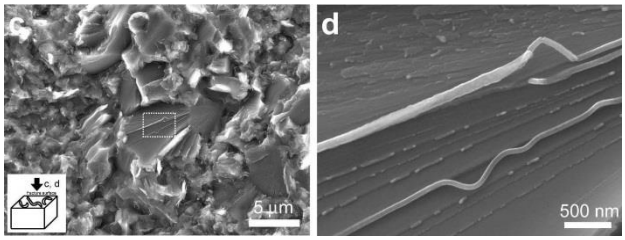
2014年9月17日（水）～19日（金）に熊本市で開催された日本鉱物科学会の年会において、GRCの土屋卓久教授が「第一原理計算による理論高圧鉱物物性学の開拓」により同学会の最高賞である学会賞を受賞し、授賞式の後に受賞者講演を行いました。日本鉱物科学会は、その前身である日本鉱物学会と日本岩石鉱物鉱床学会が統合されて平成19年9月に設立された、鉱物学および岩石学分野における我が国を代表する学会です。なお、本年会において理工学研究科の齊藤哲助教が顕著な業績を挙げた若手に贈られる奨励賞を受賞し、愛媛大学からのダブル受賞となりました。

❖ Nature Comm.誌に論文掲載

カーネギー研究所の河野義生研究員（前GRC特任助教）やGRC大藤弘明准教授らのグループによる、最新の放射光実験技術を用いた高温高圧下での二酸化炭素に富んだマグマの粘性に関する研究成果が、英ネイチャー出版のNature Communicationsの2014年10月14日号に発表されました。本研究では、米国アルゴンヌ研究所APSのカーネギー研究所HPCATにより運営されているビームラインにおいて、新しい超高速X線イメージングと高温高圧実験技術を組み合わせることにより、二酸化炭素に富んだマグマ（カーボナタイトメルト）の粘性を精度良く測定することに成功しました。この結果、カーボナタイトメルトは玄武岩質マグマなどに比べて2桁程度粘性が低く、流動性が高いことが明らかになりました。

❖ NPSの割れにくさの新しいメカニズム

GRCが2012年に発表したナノ多結晶スティショバイト（NPS）は、硬い上に割れにくいという従来の常識を覆す性質を持っています。GRCなどからなる研究グループは、このような「スーパーセラミックス」の割れにくさが結晶内に生じた非晶質領域の存在によるとする、新しいメカニズムを提案し、ネイチャー出版の電子版ジャーナル「サイエンティフィックレポート」誌の2014年10月9日号に発表しました。本研究は、西山宣正ドイツ放射光実験施設研究員（前GRC准教授）を中心に、大藤弘明GRC准教授，入舩徹男同教授、松下正史愛媛大学工学部講師、高橋学同教授、などからなる国際共同研究チームにより行われたものです。



NPSの破断により生じた非晶質シリカ（Sci. Rep. doi:10.1038/srep06558のFig.3c, 3d）

❖ 井上徹教授がNHKスペシャルに出演

2014年9月21日（日）夜に放映されたNHKスペシャル「巨大災害MEGA DISASTER地球大変動の衝撃」に、GRCの井上徹教授が出演しました。番組では、日本付近の火山噴火の原因をわかりやすく説明するため、センターの大型高圧装置を用いてマントル岩石の融解実験を行い、沈み込むプレートにより運ばれる水が岩石の融点を下げ、マグマ発生が水の存在により大きく促進されることを示

しました。なお、今後同番組は BS 放送向けに編集・放映されるとともに、海外向けの英語バージョンも作製される予定です。

❖ 国際フロンティアセミナー

第51回
“The interface between Seismology and Mineral Physics”
講演者：Prof. Brian Kennett (Research School of Earth Sciences, The Australian National University)
日　時：2014年10月1日（水）16:30-18:30

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）

１０月

10/31 (Advanced Science Seminar)
“Recent progress for stability and water solubility of hydrous and nominally anhydrous minerals in the mantle”
Dr. Toru Inoue (Professor, GRC)

11/14 “Stability of $(Mg,Fe)SiO_3$ perovskite at high pressure and high temperature”
Takeshi Arimoto (Ph.D. student, Ehime University)

“First-principles study on the high-pressure elastic properties of Fe^{2+},Fe^{3+}-bearing $MgSiO_3$ bridgmanite, using internally consistent LSDA+U method”
Atsushi Hase (Msc. student, Ehime University)

11/21 “Ab initio free energy calculation of solids based on the one-step thermodynamic integration: Revaluation on the melting points of MgO and SiO_2”
Takashi Taniuchi (Msc. student, Ehime University)

“Numerical simulation on thermal convection of highly compressible fluid with depth-dependent thermal conductivity: Implications for the mantle convection of super-Earths”
Mayumi Yamamoto (Msc. student, Ehime University)

11/28 “Planetary interiors inferred from high pressure experiments on H_2O and MgO”
Dr. Tomoaki Kimura (Postdoctoral Fellow, GRC)

１２月

12/5 “Melting experiments on the MgO-$MgSiO_3$ system under the lower mantle conditions”
Satoka Ohnishi (Ph.D. student, Ehime University)

“Synthesis of $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ grossular under high pressure and high temperature”
Koji Kawakami (Msc. student, Ehime University)

12/12 “Water solubility in Al-bearing bridgmanite”
Sho Kakizawa (Msc. student, Ehime University)

“Reaction between magnesite and reduced C-H-O fluid under high pressure and high temperature”
Shunta Ikawa (Msc. student, Ehime University)

１月

1/9 (Advanced Science Seminar)
“Crystallization of diamonds in mantle - current understanding -”
Dr. Hiroaki Ohfuji (Associate Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第388回“A new hydrous silicate in the upper mantle”
Nao Cai (Ph.D. student, Ehime University) 13 June 2014

第389回 “Elastic wave velocity of polycrystalline $Mj_{80}Py_{20}$ mahorite to the mantle transition zone conditions”
Zhaodong Liu (Ph.D. student, Ehime University) 20 June 2014

第390回 “Next-generation in situ high-pressure techniques using high-power laser and XFEL: Toward femtosecond/terapascal regime”
Dr. Yoshinori Tange (Assistant Professor, GRC) 27 June 2014

第391回 (Advanced Science Seminar)
"Linear and nonlinear analysis on the thermal convection of highly compressible fluids - Implications for the mantle convection of super-Earths-"
Dr. Masanori Kameyama (Associate Professor, GRC) 4 July 2014

第392回 "Synthesis of nitrogen-doped nano-polycrystalline diamond"
Youmo Zhou (Ph.D. student, Ehime University) 11 July 2014

第393回 "Chemistry and stability of phase H in the lower mantle"
Dr. Masayuki Nishi (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC) 18 July 2014

第394回 (Advanced Science Seminar)
"Phase changes of deuterated hydrogen hydrate induced by guest orientational ordering"
Dr. Hisako Hirai (Distinguished Professor, GRC) 25 July 2014

第395回 (Advanced Science Seminar)
"Variations of isotopic compositions of H, N and O between planets in the solar system"
Dr. Hisayoshi Yurimoto (Professor, Hokkaido University) 24 September 2014

第396回 "Subduction of continental materials and its effect on the mantle convection"
Dr. Hiroki Ichikawa (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC)
3 October 2014

第397回 "Crystal growth process of ballas, a natural polycrystalline diamond"
Yuhei Takeda (Msc. student, Ehime University)

"New phase changes of methane hydrate under high pressure and temperature"
Hirokazu Kadobayashi (Msc. student, Ehime University) 10 October 2014

第398回 "Development of the double stage diamond anvil cell"
Dr. Takeshi Sakai (Assistant Professor, GRC) 17 October 2014

第399回 "Experimental study on the phase transition and stability of $CaSO_4$ at high P-T"
Taku Fujii (Ph.D. student, Ehime University)

"Diffusion of hydrogen in Forsterite"
Mika Hashimoto (Msc. student, Ehime University) 24 October 2014

新人紹介

Vincenzo Stagno (WPI 研究員)

My name is Vincenzo Stagno, I am Italian (Palermo) and recently I moved from Washington DC to Matsuyama with my wife and my two little kids to pursue my research at the Geodynamics Research Center. I obtained my PhD at the Bayerisches Geoinstitut (BGI, Bayreuth) in 2011 where I conducted experiments at high pressure and temperature using multi-anvil presses to investigate the speciation of carbon in the interior of the Earth. During my PhD I visited GRC for a short visit (3 month) to conduct experiments using MADONNA press. After my PhD, I moved to the Geophysical Laboratory (Washington, DC) to work as a postdoc with Dr. Mao and Fei on various projects including synthesis of new materials at high pressure, kinetics of polymorphic transformation and stability of icosahedrite (the first natural quasicrystal) at extreme conditions both using multi anvil and diamond anvil cell techniques. In 2013 I was promoted to Research Scientist at the Geophysical Laboratory supported by a grant funded to Drs. Russel Hemley. During this period I had the possibility to explore several interesting scientific topics and establish new collaborations such as those with Dr. Anat Shahar (GL staff member) and Prof. Dimitri Sverjensky (J. Hopkins University) to work on carbon-related

projects. In particular, I performed multi-anvil experiments to determine the diffusion of carbon in Fe metal and the kinetics of carbide growth. This study enlarges our vision of carbon storage in the deep Earth so far limited to presence of graphite, diamond and carbonate (either liquid or solid) and opens new scenarios in terms of C isotopic fractionation. In addition, I was involved in a study regarding the formation of organic carbon in subduction-zone fluids.

Since my PhD I have been investigating the role of the oxygen fugacity, pressure and temperature as key-variables to understand the form that carbon takes at conditions of the Earth's mantle within synthetic mineral assemblages representative of natural peridotite and eclogite rocks. In addition, I have been looking at inclusions in natural diamonds as a further tool to understand the mantle redox state and its evolution over time. I believe that such multidisciplinary approach is needed to improve our knowledge on the deep carbon cycle and its contribution to the volatile outgassing. Therefore, I joined GRC from the 1st of October (2014) as a research member of ELSI (WPI) program as I consider this a great opportunity to pursue my research at pressures > 25 GPa with multi-anvil presses using sintered diamond anvils. This along with other advanced analytical techniques here at GRC will allow me to find out whether there were the conditions for the Early Earth's mantle to experience an oxidation event during which a large amount of volatile species may have been mobilized from the interior of the planet to the atmosphere.

My family and I are very glad to live in Matsuyama, a city with so much culture, traditions, good and genuine food, and many other similarities with our own town.

インターンシップ報告

❖ Distribution of trace elements in the phases of the lower mantle

Collaborative researches in GRC were my first work in Japan and it was a great experience for me. From 27 July to 9 September (2014) I studied new tools and techniques that will greatly help me in the future works.

The main theme of the project is to determine the possibility of occurrence of trace elements in the lower mantle phases and establish the influence of the degree of partial melting of the concentration of trace elements. We decided to begin with a study of sodium and its occurrence in the perovskite of a lower mantle (bridgmanite). It was suggested that sodium will not go in pure $MgSiO_3$ perovskite [Akaogi, 2007; Andrault, 2007]. Consequently, the presence of other cations contributing isomorphism is necessary. So the presence of trivalent cation Me^{3+} (Al^{3+}, Fe^{3+}) allows to realize heterovalent isomorphism: $Mg^{2+} + Si^{4+} = Me^{3+} + Me^{3+}$. The presence of excess (five weight percent) MgO provides undersaturation in silica phases, which allows the isomorphism with the formation of oxygen vacancies: $2Me^{3+} + V^0 = 2Si^{4+} + O^{2-}$. We predicted that this effect will lead to the entrainment of sodium into the perovskite. In connection, the main aim of study at the GRC was: syntheses of perovskite with sodium at 24 GPa and at temperature range from 1100-1700℃.

A series of experiments are performed using 8/3 cell assembly using 2000-tons split-sphere multi-anvil press. I am very grateful to Irifune-sensei, Shinmei-san and Ekaterina Sirotkina for their help in the study of the experimental technique.

As a result experiments were synthesized perovskites with variations in the composition. Dependence between the initial composition of the substance and synthesized minerals will be studied. Presently we found perovskites have the sodium content of up to 0.7 weight percent.

Study of the behavior of trace elements in the lower mantle conditions has important petrological significance. It can help the study of the structure and composition of the mantle phases and influence of partial melting on the distribution of elements (Anastasia Tamarova, student of Moscow State University).

海外出張報告

❖ IMA 2014 とキンバーライト巡検

2014 年 9 月 1 日～5 日にかけて、南アフリカヨハネスブルク市で開催の国際鉱物科学会(IMA)第 21 回会合に出席・発表してきました。ヨハネスブルクは、「世界一治安の悪い都市」ということで有名だそうで、正直なところかなり気乗りのしない出張でした。しかし、「Deep Earth Mineralogy」のセッションコンビナーと、さらに第 21 回 IMA 総会に日本代表（4 名）として参加することになっていましたので、仕方なし？の出張でした。しかし、行くからにはと会議後の巡検にも参加することにしました。南アフリカは金やダイヤモンドの有名な産地であり、私が博士論文で議論したバーバートンコマチアイト（特異な火山岩）が観察できる場所で、日本では見ることのできない太古のフィールドが広範囲で観察できます。

IMA 総会の今回の参加者は約 900 名（内日本人約 40 名）であり、前回のブタペスト(約 1700 名)の約半数でした。やはり、治安や地理的に遠い点が大きな理由であったように思われます。今回のメインテーマは、“Delving Deeper: Minerals as Mines of Information”であり、さすが南アフリカ開催ということで鉱床学的側面が強調されたものになっていました。発表件数は 745 件で、今までの IMA に比べてかなりコンパクトな会議になっていましたが、それでも 58 のセッションが設けられ、毎日 10 会場でセッションがパラレルに行われました。今回の収穫は、Nature に掲載されたダイヤモンド包有物中の hydrous ringwoodite の発見者、Pearson 博士と議論できたことでした。また、日本代表として総会への参加もいろいろ勉強になりました。

会議後、期待を胸に巡検に参加。巡検名はまさに「Geology of Early Earth – Barberton」、初期地球に相当する約 35 億年前に形成された Barberton Greenstone Belt に訪れる巡検です。期間は何と 1 週間。山道などの未舗装の道を走るため、4 輪駆動車と運転手付きでした。待望のコマチアイト（写真）を採集したり、枕状溶岩やチャートなどの観察により、この時代に既に海があり、海底火山活動があったことを実感できました。地質は素人ながら、太古の付加体であったことも産状を見て実感。さらに Barberton にある動物保護区で有名なクルーガー国立公園にて、キリン、象、シマウマ、ヒョウ、アンテロープなどに出会え、非常に楽しく有意義なフィールドワーク体験となりました。

さらにキンバリーまで飛び（ヨハネスブルクから飛行機で約 1 時間)、これまた有名なキンバーライトパイプの採集坑である「ビッグホール」を訪問し、キンバーライトを入手してきました。この試料に大きなダイヤモンドが入っているか楽しみです。帰りにデビアス本社へ立ち寄り、古い建物ながらダイヤモンドの取引をおこなう数多くの高級感漂う部屋などを見学させていただきました。

日本へ帰る頃には南アフリカファンになっており、さすがにヨハネスブルク等の都市中心部に近づくのはまずいでしょうが、郊外や田舎はそのような犯罪に手を染める人もほとんどおらず、過度に恐れる必要はないように感じました。出張前の不安を吹き飛ばす非常に多くの貴重な体験ができました。行ってみるものですね。(井上徹)

バーバートンコマチアイト

❖ オーストラリア再訪

オーストラリアには、博士研究員時代など合計 4 年近く滞在したことになります。その後も国際会議があるたびに訪れており、私にとっては第二の故郷ともいえます。2014 年 7 月の還暦の誕生日に日本を発ち、2 週間近く会議が行われたニューキャッスル、オーストラリア国立大（ANU）のあるキャンベラ、そして研究所長の別荘のあるサウスコーストを訪れました。

ニューキャッスルは、シドニーの北 150km に位置する人口約 50 万人の港町です。Ringwood メダルの授賞式に招待されたオーストラリア地球科学会議は、オーストラリア地質学会などが主催する 2 年に一度の会議で、この町の中心街で 5 日間に渡り行われました。

受賞講演が行われたタウンホールは、オペラなども上演される瀟洒な建物でした。古くからの友人である ANU の Ian Jackson 教授、Hugh O’Neill 教授なども参加し、楽しいひと時を過ごしました。特にバンケットは劇場の舞台上で行われ、男女のプロ歌手が誰もいない客席を舞台に「オペラ座の怪人」を演じるなど、大変凝った演出でした。

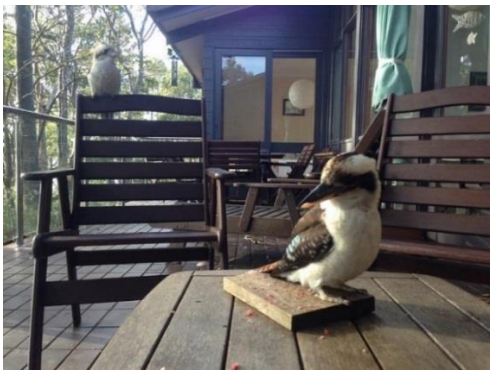
会議終了後、車で首都キャンベラに向かいました。ここはオーストラリアの首都ですが、最初に訪れた 30 年前に比べると大きく発展しており、特にキャンベラ空港は牧場のようなのどかな空港でしたが、モダンな大空港に変貌していました。

ANU の地球科学研究所（RSES）では、スクールセミナーで講演を行いました。大学院生が増えたこともあるせいか、以前に比べてカジュアルになっ

た印象を受けました。研究者中心であった昔のセミナーは、時には怒号が飛び交い、Ringwood 教授でさえ発表用の原稿を準備していたほど厳しいもので、国際会議で話すより緊張したものです。

RSES は研究者 70 名、博士課程学生 100 名を擁する研究所ですが、技術職員の数も約 50 名と桁違いの大きさです。日本の大学では考えられない恵まれた環境にあり、ここに来るとあまりの違いにがっくりきます。新築なった研究所の管理棟は、最上階がすべて所長のテリトリーで、所長室はもとより会議室や秘書室など、これも日本では考えられない広さでした。

週末は所長の Jackson 教授に招かれて、シドニーから南 200km ほどの海岸にある彼の別荘に 2 日間滞在させていただきました。ここを訪れるのは 4 度目で、私の釣り道具も常備させてもらっています。Jackson 教授がシュノーケリングでロブスターやアワビ・ウニを採っている間に私は釣りをし、また庭を訪れる野生の笑いカワセミ（クカバラ：写真）や有袋類のポッサムに餌をやるなど、久しぶりにゆったりとした時間を楽しむことができました。（入舩徹男）



Jackson 教授の別荘に現れたクカバラ

ALUMNI レポート⑤

❖ 鹿児島大学大学院理工学研究科
准教授　小林励司

私の専門は地震学で、学生時代から主に地震波の一種の表面波を使って地球内部構造を調べていました。GRC 設立時に地球深部活動数値解析部門の機関研究員として採用していただきました。このニュースレター第 1 号に自己紹介した際にも記載していますが、南極下の構造に興味あり、GRC に来るまでは単純な層構造しか求めることができませんでしたが、趙大鵬教授の指導の下、トモグラフィーの技術を身につけることができました。それまでは地震学的に調べることしか考えていませんでしたが、GRC でセミナーや卒論・修論発表などを通じて他の部門の研究に触れることで、分野間のコミュニケーションの重要性を知りました。

特に 2 年目に山崎大輔さんが赴任されたあとは、山崎さんから高圧実験の観点から質問されたり、また（長くは続きませんでしたが）固体物理学の本の勉強会など、多くの刺激を受けました。他の研究機関では、周りに地震学の研究者ばかりで、他分野の人がいても研究対象が違いすぎてあまり研究上の話をしませんでした。そういう意味では、GRC のように共通の研究対象に関して分野間で日常的にコミュニケーションがとれるところは、あまりないと思います。実を言うと、GRC にいたときは分野間のコミュニケーションの重要性をあまり強くは認識していませんでしたが、強く認識したのは GRC を離れた数年後のことです。

その後、震源断層の研究をすることになり、これも地震波を使った研究です。関東には相模トラフというプレート境界があり、そこで巨大地震が起こります。私は関東大震災を引き起こした 1923 年関東地震と、その 1 つ前の 1703 年元禄地震を研究し始めました。それがきっかけで、これらの地震の震源断層を掘削する国際計画に参加することになりました。現在、南海トラフで地球深部探査船「ちきゅう」を使って断層掘削が行われていますが、その相模トラフ版です。震源断層を調べることも、地球内部構造を調べるのと同様に、地震波解析以外のアプローチがあります。プレート境界の物質、その物質の摩擦特性、断層面付近の圧力や温度、地震に伴う地形の変化、地震発生サイクルのシミュレーションなど多岐にわたります。

私が掘削計画に関わるようになったころは、まだそれぞれの分野で独自に研究が進んでいて、分野間のコミュニケーションがほとんどないような状況でした。おそらく地球内部構造においても、まだまだ分野間のコミュニケーションは不十分と感じられているでしょうが、震源断層に関してはそれよりもはるかに不足していたと思います。

しかし、計画を練る段階で、分野間のコミュニケーションが生まれました。その結果、お互いの分野に何を期待するのか、どういう結果を他の分野に渡せるのか、等がだんだんと分かってくるようになりました。地球内部構造の研究ですでに行われていることが、ようやく震源断層の研究でも行われ始めたのでした。

いろいろと紆余曲折を経て掘削プロポーザルはおかげで良い評価を得つつあり、そのうちの一部

はあともう一歩で掘削の実現につながるところまできました。そうは言っても全体としてはまだ先は長いので、地道に進めていきたいと思います。

❖ Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan) PD Researcher, Chunyin Zhou

It is one year since my Ph.D graduation (September 2013) from Ehime University. In the past more than three years, I learned a lot about the high pressure/deep earth mineralogy and mineral physics in GRC. With the support of my supervisor Prof. Irifune and G-COE program, I got the valuable opportunity to study the state-of-the-art high pressure techniques in GRC and the synchrotron facilities in SPring-8. My Japanese colleagues, Dr. Steeve Greaux and Dr. Yuji Higo, taught me the ultrasonic experimental methods and skills during my Ph.D.

I joined the high pressure study group (lead by Prof. Zhenmin Jin) as a postdoctoral researcher in China University of Geosciences (Wuhan) after my Ph.D. The university is well-known for its profound achievements and education in the earth sciences in China ever since 1952. The high pressure laboratory has been equipped with a Walker-type multianvil, a Griggs apparatus, and other supporting facilities since 2010. High pressure experiments of phase transitions and deformations have been carried out here.

I am, in cooperation with Prof. Yanbin Wang and Dr. Tony Yu from GSECARS, in charge of the construction of the ultrasonic system for sound velocity measurement in the laboratory. The experimental experiences in Japan helped me a lot. We expect to conduct sound velocity measurements up to the PT conditions of the mantle transition zone (20 GPa, 1700K) in the future. Cell assemblies for high pressure sample synthesis and ultrasonic measurement are also designed. Now we are dealing with some technical details (e.g. noise elimination) and next we will put them into use soon.

最新の研究紹介

❖ 六方最密構造鉄の剪断誘起格子選択配向

地球の内核は極方向に伝播する縦波速度が赤道方向に伝播するものよりも約 3%速いという顕著な軸対称の異方性を持つことが知られており、これを説明する様々なモデルが提案されています。多くのモデルでは内核を構成する鉄の高圧相である六方最密構造の鉄（hcp-Fe）の変形誘起格子選択配向を異方性形成の素過程とみなしているため hcp-Fe の変形挙動を理解することが重要ですが、この物質は常温常圧へ回収できないため高圧下での観察が必要で、詳細な研究が不足していました。過去に DAC または D-DIA 装置を用いた一軸圧縮実験での格子選択配向の報告はありますが、この場合結果の解釈にすべり系の容易度を仮定したモデル計算が必要で明快な結論が得られていません。そこで、D-DIA 装置を用いて hcp-Fe の剪断変形実験を行い、これによって発達する格子選択配向を直接決定することを目指しました。

出発物質にはあらかじめ焼結した細粒の体心立方構造の鉄のディスクを用いました。実験は SPring-8、BL04B1 に設置されている D-DIA 装置、SPEED-MkII-D を用いて、圧力約 9-18GPa、温度 723 K、剪断歪速度 2×10^{-4}, 0.6×10^{-4} s^{-1} の条件下で行いました。

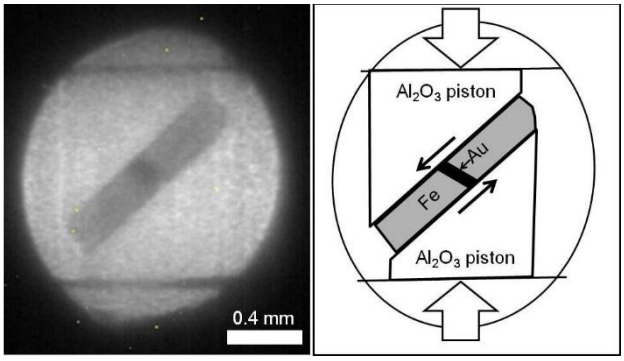


図 1　試料の X 線ラジオグラフ像

1 辺 4.5 または 5.0 mm の立方体圧力媒体を用い、45°で切断した Al_2O_3 円柱で試料を挟みセル全体の一軸圧縮により試料を剪断変形させました(図 1)。試料の周囲に配置したヒーターにより加熱し熱電対で温度を測定しました。変形中の試料の 2 次元回折パターンを 49-51 keV の単色 X 線とイメージングプレートを用いて取得し、これを神戸大学の瀬戸雄介講師の開発したソフトウェア ReciPro で解析し試料の格子選択配向を求めました。(1) hcp-Fe 単相の変形実験と(2) 面心立方構造から六方最密構造への相転移中の変形実験の 2 つのタイプ

の実験を行ったところ、いずれの実験でも変形の進行とともに徐々に格子選択配向が発達していく様子が観察されました。実験(1)では変形前のほぼランダムな hcp-Fe の組織から、最終的に剪断面法線方向に<0001>が、剪断方向に<11$\bar{2}$0>が配列する底面すべり支配のパターンが約 35°逆回転した選択配向が得られました(図 2)。この逆回転は実験での歪が比較的小さかったためと解釈でき、本研究の実験条件では底面すべりが支配的であると考えられます。また、実験(2)では変形前のほぼランダムな組織の面心立方構造の鉄が強い配向性を持つ hcp-Fe に相転移していく様子が見られ、最終的に(1)と同傾向のより強い選択配向が得られました。これは、転移シアーの寄与によると考えられます。得られた結果をもとに考えると、地球内核の異方性は、次数 2 的対流パターンでの変形で hcp-Fe の底面すべりが支配的となることで解釈できるかもしれません。(西原遊)

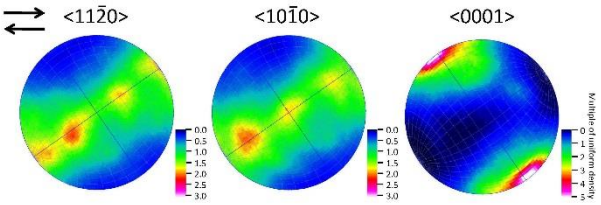


図 2　hcp-Fe の選択配向を示す極点図

❖ Fe *L*-edge XES of Fe-bearing $MgSiO_3$ bridgmanite

High-resolution *K*-edge X-ray emission spectroscopy (XES) was widely used to detect the pressure-induced spin transition, from the high-spin (HS) to low-spin (LS) state, of Fe-bearing $MgSiO_3$ bridgmanite (Badro et al., 2004). The technique cannot provide information about the valence states and substitution sites of Fe. However, since the electron transition, from 2*p* to 3*d* orbital, is allowed quantum mechanically, the Fe *L*-edge XES can directly present the distribution and intensity of Fe-3*d* character. The first-principles method combined with the Slater transition potential method is selected to simulate the Fe *L*-edge XES of Fe-bearing $MgSiO_3$ bridgmanite using the supercells containing 80 atoms. The generalized gradient approximation and more sophisticated LDA+*U* method are used for the exchange-correlation functional and half-core hole approximation for spectral simulations.

The Fe *L*-edge XES of Fe-bearing $MgSiO_3$ bridgmanite at pressures ranging from 0 to 180 GPa with 6.25 mol% of Fe incorporation was investigated. The spectroscopies of Fe adopting different valence states (2+ and 3+), spin states (HS and LS), and substitution sites (Mg and Si site) were investigated. Our results indicate that Hubbard *U* correction is necessary to correctly predict the band gap of Fe-bearing $MgSiO_3$ bridgmanite. Furthermore, the correction is also very important to describe the spectral features. The Fe *L*-edge XES depends weakly on pressure up to 180 GPa. For HS Fe^{2+} at the Mg site, one main peak located at ~709.0 eV is observed at 30 GPa, while one more localized main peak appears at ~711.0 eV in the case of LS Fe^{2+} at the Mg site under 120 GPa, giving rise to that the main peak of Fe^{2+} at the Mg site will be pushed up about 2 eV during the spin transition. Being different from Fe^{2+}, because of the larger attractive potential of Fe^{3+}, the XES of HS Fe^{3+} substituted at the Mg and Si site under 30 GPa show two and four main peaks, which distribute in a range of 1.8 eV and 3.5 eV, respectively. With a 4 eV shift of the first main peak, those main peaks will converge to one peak located at ~712.0 eV after the spin transition of Fe^{3+}. The sharpness of LS Fe's main peaks reflects higher localization of its 3*d* orbital, and the reason is that the crystal-field splitting of Fe's 3*d* orbital is included in the occupied states of HS Fe but not in LS Fe.

In summary, the shift and sharpness of main peaks can be used to identify the spin transition of both Fe^{2+} and Fe^{3+}. Furthermore, valence states of Fe can be distinguished by the profile of main peaks in the HS state and also by the shift of the first main peak during HS-LS transition. The substitution sites of

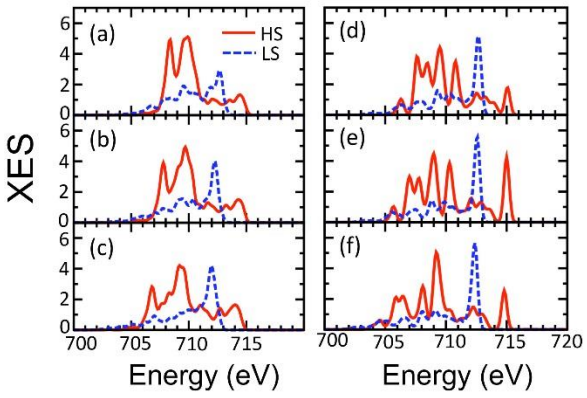


Fig 1. Calculated Fe *L*-edge XES of Fe^{3+} at the Mg site at 30, 60, and 120 GPa are shown in a, b, and c. Counterparts of Fe^{3+} at the Si site are shown in d, e, and f.

Fe^{3+} can be identified based on the features of both main peaks and whole spectra, since the hybridization between Si and O is much stronger than that between Mg and O. (Xianlong Wang)

センター機器紹介 No.26

❖ 六方クロスセクションポリッシャ（CP）

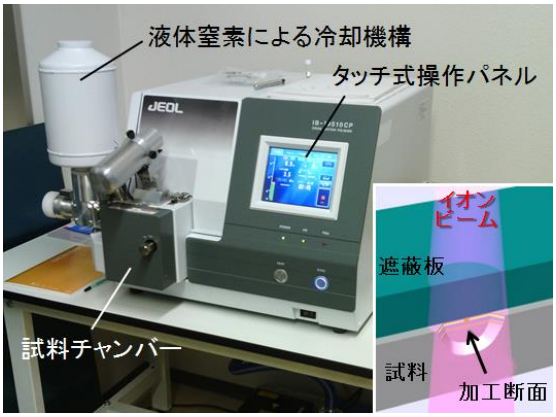


図 1. CP の外観と切削の模式図（JEOL HP より）

本装置（日本電子製）は、Ar イオンビームによるエッチング効果によって試料の断面加工を行う装置で、主に走査電子顕微鏡（SEM）による断面観察等に有効な装置です（図 1）。クロスセクションポリッシャ（以下、CP）は、主に、Ar イオン銃と試料チャンバーと真空ポンプで構成されます。Ar イオン銃でガスを電離して Ar^+イオンを発生させ、電圧印加によって一定のエネルギーに加速された Ar^+イオンを放出させます。こうして発生したブロードな Ar イオンビームを遮蔽板を隔てて試料へ照射し（図 2）、スパッタリング現象によって試料を切削します。断面加工用の装置とはいえ、イオンスパッタリングによって削ることができる範囲、量は限られていますので、通常は、本装置での加工

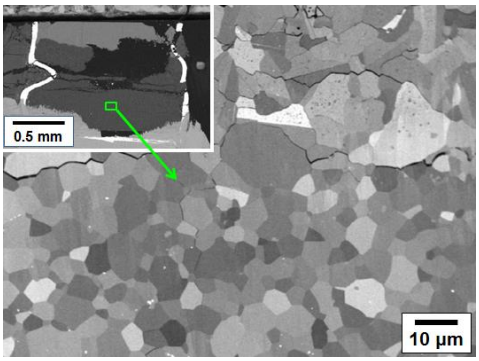


図 2. 高圧実験回収試料（$MgCr_2O_4$）の断面加工の例

前にバルク試料の切断、研磨などの予備加工を行います。この過程で作成した予備的な試料断面が遮蔽板から少しだけはみ出るように試料台上へ配置して、それを試料チャンバー内にセットしてイオンビーム加工を行います。

CP を断面加工に使用する最大のメリットは、機械研磨で生じる物理的な衝撃を試料に一切与えることなく断面が作成できる点です。例えば、多結晶で構成される鉱物試料の場合、各粒子が脱落（脱粒）や移動、変形することなく、本来の形態・組織を保持したまま割断されるため、より正確な、より多くの情報を得られる可能性があります。また、研磨剤や外部からの異物の混入がないのも嬉しい点です。さらに、本装置は液体窒素による冷却機構も備えており、イオンビーム加工における懸念材料の一つである加工中の試料温度の上昇を防ぐことができるため、加熱により分解したり、非晶質化したりする不安定な物質の加工にも使用できます。加工面は、極めて平滑で歪みがないため、組織観察や化学定量分析はもとより、試料表面状態の影響を受けやすい後方散乱電子線回折（EBSD）分析へも向いています。

以上のように，試料断面加工に本装置を用いると，従来の機械研磨断面からは得られなかったような有用な情報を引き出せる可能性があり，試料の幅と質がさらに拡張され，先端研究の進展に大きく貢献すると期待されます．（大藤 弘明）

共同利用・共同研究拠点（PRIUS）

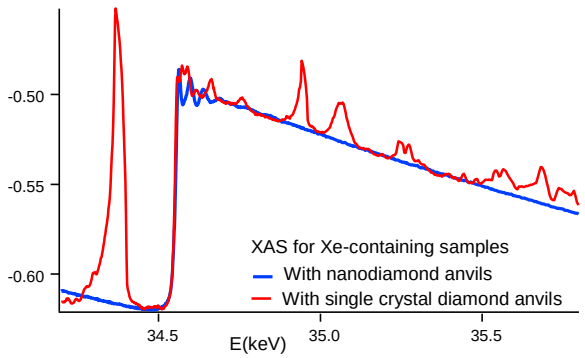
❖ PRIUS 利用者の声

Nano Polycrystalline Diamond: a revolutionary tool for high pressure structural investigations by XAFS

X-ray Absorption Fine Structure spectroscopy allows probing the local electronic structure and atomic arrangement of absorber atoms in materials at high pressure or ambient conditions. For over 30 years, diamond anvil cells have been coupled to XAFS studies of matter at high pressure, but their full exploitation at very high pressure has been hindered by Bragg diffraction from the anvils themselves. For many years, scientists have struggled with this problem, but have never really been able to solve it. The recent availability of nano-polycrystalline diamond (NPD) anvils represents a revolution for high pressure XAS applications, because the small size of the diamond crystallites and their random orientation allows distributing the

diffracted intensity in space, so that it averages out into a background without affecting the EXAFS signal. Thanks to the high degree of optical transparency of the NPD anvils, samples in the cell can be heated using powerful lasers, can be investigated using complementary spectroscopic techniques and their pressure can be estimated by collecting the luminescence signal from ruby spheres. However, the most important breakthrough has been in providing "glitch-free" EXAFS spectra up to very high X-ray energies, where high pressure XAS studies are particularly penalized because of the higher probability of X-rays of smaller wavelength matching the Bragg condition.

The figure below compares the Xenon K-edge absorption spectrum (E = 35 KeV) obtained through a DAC equipped with single crystal diamonds (in red) and NPDs (in blue) respectively. The weak EXAFS oscillations are visible on the blue spectrum, whereas they are completely submerged by the strong Bragg peaks



in the red spectrum.

The striking difference in the quality of the data justifies the use of the term "revolution" to describe the change in the level of information that can now be obtained by applying XAS spectroscopy at high pressure.

At the EXAFS beamlines ID24 and BM23 of the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) many users can now access NPD anvils thanks to the PRIUS project, opening a new window to high pressure XAS studies. (Sakura Pascarelli, ESRF)

WPIサテライト拠点（ELSI-ES）

❖ 入舩サテライト拠点長に Ringwood Medal 授与

Ringwood Medal はオーストラリアを代表する地球科学者 A. E. Ringwood の業績を記念して、オーストラリア地質学会（GSA）により 2012 年に創設された賞です。地球の基礎的なプロセスに関する研究においてすぐれた貢献をした、国際的に著名な研究者 1 名に対し 2 年ごとに贈呈されます。第 2 回目となる今年の受賞者に、ELSI 愛媛大学サテライト長である入舩徹男教授が選ばれました。入舩教授は、2014 年 7 月ニューキャッスルで行われたオーストラリア地球科学会議において、授賞式に出席し受賞講演を行いました。また、本ニュースレターでも既報のように、ELSI-ES サテライト教授の土屋卓久 GRC 教授が平成 26 年度日本鉱物科学会賞を受賞し、熊本大学で 9 月に行われた同学会年会において授賞式が行われました。

❖ メンバーの異動

ELSI-ES のメンバーである丹下慶範助教が、8 月 1 日付で高輝度光科学研究センターに異動しました。丹下助教は GRC 客員准教授として、引き続き ELSI-ES の一員として研究活動を継続する予定です。また、ELSI-ES 研究員であった西真之博士が、9 月 1 日付で GRC 助教として採用されました。西助教も引き続き ELSI-ES において研究活動を進めています。更に 10 月 1 日付で、米国カーネギー研究所から ELSI-ES 研究員として、Vincenzo Stagno 博士が着任しました。Stagno 博士は以前にも GRC に長期滞在し、焼結ダイヤモンドを用いたマルチアンビル装置による地球深部物質の研究を行っており、ELSI-ES においても同様の手法を用いた下部マントル領域の相変化や、融解・元素分配に基づく地球の進化やダイナミクスに関する研究を推進する予定です。

編集後記：いつの間にか秋も深まりました。表紙の写真はみかん山散歩の収穫です。（T. I. & Y. M.）