GRC News Letter 2015.2.28 No.41

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:
  - 西助教が日本高圧力学会賞奨励賞受賞
  - 出倉助教がエルゼビア出版から表彰
  - 県科学博物館にヒメダイヤ展示
  - ヒメダイヤの特番がNHK Worldで放映
  - スティショバイト中にミュオニウムを確認
  - GRCホームページを刷新
  - 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

先進超高圧科学研究拠点 PRIUS

少々?遅くなってしまいましたが、本年もGRC及び共同利用・共同研究拠点「先進超高圧科学研究拠点」(PRIUS) を宜しくお願いいたします。

平成25年度に文部科学省により認定されたPRIUSは、初年度の試行期間を経て平成26年度から本格的な活動を開始しました。この間、平成25年度は67件、平成26年度は103件の課題が採択されています。当初想定していた採択数が40-50件ですから、予想の2倍以上の数です。

平成26年度でみると103件のうち国内が62件、海外からの申請がアメリカ(11件)、フランス(7)、ドイツ(7)、イギリス(3)、オーストラリア(3)、スペイン(2)、中国(2)など計41件に及んでいます。全体の約4割が海外のグループとの共同研究であり、超高圧科学関連分野における共同利用・共同研究がグローバルに展開されつつあります。

また、研究分野については地球科学分野が59件、それ以外が44件となっており、後者は主に物性物理学、材料科学、無機化学など、物質科学関連分野からの申請です。約4割が地球科学以外の分野からの申請であり、地球深部科学の先端的研究を主なミッションとしているGRCを中核とした拠点ながら、地球科学以外の分野からも大きな期待が寄せられています。

中でも特筆すべきは、GRCが生み出したナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）の、超高圧実験などへの応用に関する課題が30件と、全体の3分の1近くを占める点です。世界最大の大型超高圧合成装置、BOTCHAN-6000を初めとする特徴ある装置・技術に加え、自らが開発したヒメダイヤを提供しての共同研究の推進という点でも、PRIUSでしかできない拠点事業が展開されていると言えます。

大型装置を用いた10万気圧以上の超高圧領域での物質合成は、これまでほとんど地球科学研究者の独壇場でした。しかしGRCにおけるヒメダイヤを初めとした新物質開発の成功を一つの契機に、他の物質科学関連分野においてもこのような超高圧合成が盛んになってきました。

この動きは大学などの研究機関だけにとどまらず、国内のいくつかの企業がGRCと同様の大型超高圧装置を導入、あるいは導入を検討しています。また国外においても、アメリカ、ドイツ、中国などで同様の動きが活発になっています。とりわけ中国においては、既にBOTCHAN-6000級の装置が建造されるとともに、更に大型の超高圧合成装置の導入も具体化されつつあります。

GRCではこれら内外の動向やPRIUSの活動状況に鑑み、愛媛大学の理学系・工学系の教員と連携し、超高圧をキーワードとした新たな物質科学関連部門の設置に向けて動き始めています。国立大

学法人化後第３期の開始が目前に迫っていますが、GRC ではこのような学際的分野での新たな研究展開を期し、愛媛大学における特徴ある先端研究推進と、人材育成面での機能強化における貢献も目指したいと考えています。

センターの構成

(H27.2.1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/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）
(H26.4.1～)
客員教授　舟越賢一(CROSS東海利用促進部主任研究員)
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）

❖ GRC研究員

山本明彦（理工学研究科教授）

※GRC研究員はPRIUS設置に伴い、順次委嘱を休止しています。

❖ 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）
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）
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）
肥後祐司（JASRI利用促進部門研究員）
山崎大輔（岡山大学ISEI准教授）
奥地拓生（岡山大学ISEI准教授）
片山郁夫（広島大学理学研究科准教授）
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）
Fabrice Brunet（CNRS研究員）

※GRC客員研究員はPRIUS設置に伴い、順次委嘱を休止しています。

❖ 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

❖　西助教が日本高圧力学会賞奨励賞受賞

平成 26 年 11 月 22 日（土）～24 日（月）に徳島大学で開催された日本高圧力学会主催の第 55 回高圧討論会において、GRC の西真之助教が、同学会から新進気鋭の研究者に授与される奨励賞を受賞しました。

高圧討論会は長い伝統を持つ学際的な会議で、第 55 回目にあたる本年は 400 名余りの参加のもと徳島大学で 3 日間に渡り開催されました。会期中に開かれた総会において、同学会賞 1 名、及び西助教を含む 2 名の奨励賞授賞者に賞状と副賞が授与されました。奨励賞は、35 歳以下の会員の中から高圧力の科学と技術に関する新進気鋭の研究者 2 名以内に授与され、西助教の受賞理由は「マントル及び沈み込むプレート物質の高温高圧下での安定性と動的挙動の解明」です。

西助教は平成 26 年 9 月より助教に採用され、大型超高圧装置と放射光を組み合わせ、マントル及び沈み込むプレート物質の相転移やその動的挙動に関する先進的研究成果を挙げており、下部マントル領域における含水高圧相“Phase H”を発見（Nishi et al., Nature Geoscience, 2014 をご参照下さい）するなど、国際的にも大きな注目を集めています。

❖　出倉助教エルゼビア出版から表彰

GRC の出倉春彦助教が、エルゼビア出版の国際誌“Materials Science in Semiconductor Processing”における審査員としての貢献が高く評価され、2014 年の Outstanding Contribution in Reviewing により表彰されました。

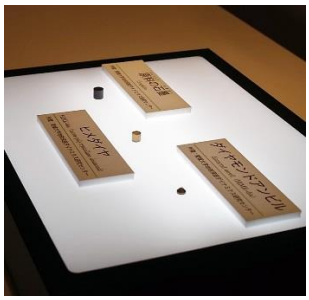
GRC 数値計算部門では、物性物理学的手法に基づく先端的研究を推進しています。同助教も物理学科の出身ですが、第一原理計算に基づく地球深部の研究とともに，物質科学的研究においても業績をあげています。この度，Materials Science in Semiconductor Processing 誌において，2013 年 2 月から現在に至るまで 8 編の同論文の査読を行い，全査読者の中からトップ 10%以内の者として選ばれ，表彰されたものです。国際誌の論文査読には多くの時間が必要な中，出倉助教の活動は関連研究コミュニティへの貢献として高く評価されます。

❖　県科学博物館にヒメダイヤ展示

GRC で合成されたナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）が、新居浜市の愛媛県総合科学博物館において、展示されています。

県立科学博物館で開催される企画展「教授を魅了した大地の結晶～北側隆司鉱物コレクション 200 選～」（平成 27 年 2 月 14 日（土）～4 月 5 日（日））では、鉱物収集家として著名な故北川隆司広島大学教授（鉱物学）が収集し、国立科学博物館に寄贈された多くの鉱物が公開されます。この企画展の一環として、GRC が開発に成功した、「世界最硬」ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）数点の展示も行なわれることになりました。

なお、展示されるヒメダイヤは、企画展終了後も同博物館に貸し出されて常設展示される予定です。



❖　ヒメダイヤの特番が NHK World で放映

地球深部ダイナミクス研究センターで開発されたナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）に関する特集番組が、NHK の海外向け英語 TV プログラム“NHK World” において 2015 年 2 月 17 日（火）に放映されました。

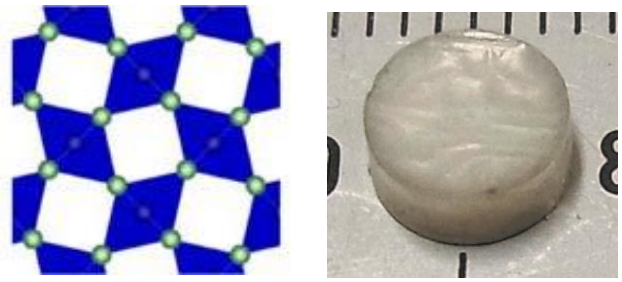
“NHK World” は NHK が海外向けに英語で放映しているプログラムで、TV 部門では世界 140 か国に配信されています。この中で週に 1 度放映されている、日本の先端技術と自然科学の成果をレポートする “Science View”（2 月 17 日付）の “The

leading edge” コーナーで、ヒメダイヤに関する特集番組が放映されました。

番組では “Not just a pretty face! The birth of the super diamond” のタイトルのもと、地球深部ダイナミクス研究センターでの取材や入舩センター長らへのインタビューを基に、約 20 分間に渡りヒメダイヤの合成方法・特徴・応用や、開発の経緯などについて解説されました。

地球深部ダイナミクス研究センターでは、国内 5、国外 20 余りの研究グループとの間でヒメダイヤを用いた様々な共同研究を進めています。ヒメダイヤを利用した研究は、本年度から本格的に活動を開始した共同利用・共同研究拠点「先進超高圧科学研究拠点」（PRIUS）の重要な柱の一つとなっており、今回の報道を機に更に国際的共同研究が活発化するものと期待されます。

❖ スティショバイト中にミュオニウムの存在を確認



スティショバイトの結晶構造と GRC で合成されたナノ多結晶スティショバイト。

地球内部には含水鉱物などとして、多量の水が存在すると考えられています。本研究では水を構成する水素が、従来考えられていたように水酸基（OH^-）としてだけではなく、原子状の中性水素（H^0）として、地球内部の鉱物中に存在する可能性を、ミュオン・スピン回転（μSR）法を用いて検討しました。測定に用いられたのは地球内部の重要な鉱物である、石英（SiO_2）の高圧相「スティショバイト」です。

測定の結果、スティショバイトに注入されたミュオン（陽子の軽い同位体に相当）の多くが、ミュオニウム（中性水素に相当）として結晶格子の隙間に存在することが明らかになりました。この発見は、地球の深部マントルに、これまで想定外であった中性水素が存在する可能性を示唆するものです。今後、地球内部における水素の循環や、地球の進化・ダイナミクスの解明に向けて、高圧鉱物研究の新しい展開が期待されます。

本研究は、東京大学の船守展正准教授・高エネルギー加速器研究機構の門野良典教授らを中心に進められました。ミュオン・スピン回転法による測定には多量の試料が必要であり、測定に用いられたナノ多結晶スティショバイト（図 2）は、地球深部ダイナミクス研究センターの大型超高圧装置 BOTCHAN-6000 を用いて合成され、西山宣正准教授（現ドイツ放射光研究所研究員）・入舩徹男教授により提供されました。本研究成果はネイチャー出版グループのオンラインジャーナル Scientific Reports の 2015 年 2 月 13 日号に発表されました。

❖ GRC ホームページを刷新

2001 年度の GRC 設立に伴い、目島由紀子技術専門職員により作成・管理・更新されてきたホームページが、このたび全面改定されました（http://www.grc.ehime-u.ac.jp/）。今回の改定はこの間の GRC の大きな発展、特に最近の共同利用共同拠点(PRIUS)化、及び WPI サテライト(ELSI-ES) 活動などに対応するためです。新ホームページは、土屋旬准教授を中心とした WEB 委員会により、作成・運用されており、今後更に高度かつわかり易く、またより迅速な情報発信を行うことを目指しています。

❖ 国際フロンティアセミナー

第52回

“Ab initio equation of states for planetary and exoplanetary modeling The interface between Seismology and Mineral Physics”

講演者：Dr. Stephane Mazevet (Director, Laboratoire Univers et Théories, Observatoire

de Paris)
日　時：2014年12月17日（水）16:00-18:00

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）

４月

4/10 (Advanced Science Seminar)
"Making transparent nano-polystalline ceramics with large-volume multianvil apparatus"
Dr. Tetsuo Irifune (Director & Professor, GRC)

4/17 "Redox melting in the Earth's lower mantle: implications for the presence of low seismic velocity anomalies"
Dr. Vincenzo Stagno (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC)

4/24 (Advanced Science Seminar)
"Growth kinetics of forsterite reaction rim at high-pressure"
Dr. Yu Nishihara (Associate Professor, GRC)

５月

5/8 "High pressure experimental studies on Tagish Lake Meteorite - Contribution of volatile rich material to the Earth's accretion"
Dr. Wei Du (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC)

❖ 過去の講演

第 400 回(Advanced Science Seminar)
"Recent progress for stability and water solubility of hydrous and nominally anhydrous minerals in the mantle"
Dr. Toru Inoue (Professor, GRC)
31 October 2014

第401回 "Stability of (Mg,Fe)SiO_3 perovskite at high pressure and high temperature"
Takeshi Arimoto (Ph.D. student, Ehime University)

"Solid solution effect of Fe^{2+} and Fe^{3+} on the elastic property of $MgSiO_3$ bridgmanite: an internally consistent LSDA+U study"
Atsushi Hase (Msc. student, Ehime University)　14 November 2014

第402回 "Ab initio free energy calculations of liquids and crystalline solids based on the thermodynamic integration method: Melting of the rocky core in Jupiter"
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)　21 November 2014

第403回 "Planetary interiors inferred from high pressure experiments on H_2O and MgO"
Dr. Tomoaki Kimura (Postdoctoral Fellow, GRC)　28 November 2014

第404回 "Melting experiments on the MgO-$MgSiO_3$ system under the lower mantle conditions"
Satoka Ohnishi (Ph.D. student, Ehime University)

"Synthesis of high-quality poly-crystalline grossular garnet under high pressure and high temperature"
Koji Kawakami (Msc. student, Ehime University)　5 December 2014

第405回 "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)　12 December 2014

第406回 "Post-perovskite phase boundary of Fe- and Al-bearing $MgSiO_3$"
Dr. Xianglong Wang (JSPS Postdoctoral Fellow, GRC)　23 January 2015

第407回 (Advanced Science Seminar)
"Stability of phase H in the lower

mantle”
Dr. Jun Tsuchiya (Associate Professor, GRC) 6 February 2015

第408回 (Advanced Science Seminar)
“Crystallization of diamonds in mantle - current understanding -”
Dr. Hiroaki Ohfuji (Associate Professor, GRC) 13 February 2015

第409回 “Density measurements of iron alloys”
Dr. Yasuhiro Kuwayama (Assistant Professor, GRC) 20 February 2015

第410回 “Direct sound velocity measurements of pyrolite at mantle transition zone P,T conditions”
Dr. Steeve Greaux (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC)
27 February 2015

海外出張報告

❖ International Diamond School 2015

2015 年 1 月 27～31 日にかけてイタリアで開催されたワークショップ「International Diamond School」に参加してきました。イタリアとは言っても、陽気な日差しと地中海の香りが広がるナポリやヴェネチアではなく、オーストリアとの国境近くに位置する小さな町でした。羽田からフランクフルトへ飛び、小型機に乗り継いでオーストリアのインスブルックへ移動、一泊して翌朝列車でまた移動という長旅でした。(当然といえば当然ですが) 欧州における各都市は列車で全て接続されていて、今回乗車した列車の路線も北はドイツのベルリンから、南はイタリアの先端、長靴の先のさらに先 (シシリー島のパレルモ) までつながっています。インスブルックから特急で 1 時間半ほど南下して目的地のブレッサノーネ(Bressanone-Brixen 駅) に着きました。ちなみに, 駅名の前半はイタリア語、後半はドイツ語表記です。第一次大戦中、同地域はオーストリア領でしたが、現在でも半数以上の住民がドイツ語を使用しているようです。

ワークショップは、パドバ大学の研修施設で行われました。パドバ大学のキャンパスはヴェネチア近郊にありますが、研修施設は、静かな避暑地であるブレッサノーネにあります。今回で発足後 2 回目 (4 年ぶり) のスクールには、13 か国から 100 名ほどの研究者や鉱山開発関係者の参加がありました。意外だったのは, カナダからの参加者の数で、ホスト国のイタリアについで 2 番目の多さでした。近年、カナダでは、ダイヤモンド鉱床の探査が国を挙げて進められており、10 社を超えるコンサルタント会社が鉱山の新規開拓にしのぎを削っているようです。カナダ人参加者の半数はそのようなコンサル関係者でした。4 日間に渡るプログラムの中、会場に“缶詰め”で、地球深部におけるダイヤモンドの成因論から、地表におけるキンバーライト (ダイヤモンドの母岩) パイプの探査まで、最新の知見、解釈が各講師によって紹介された後、皆で熱い議論を交わしました。

地球深部におけるダイヤモンドの成因論に関しては、興味のある方も多いかと思いますが、カーネギー研究所の Steven Shirey 氏を中心にまとめられた最新のレビューによると、ダイヤモンドの生成は, metasomatic な (交代反応) プロセスであると考えられています。例えば、安定大陸下部のリソスフェアにおける場合、地殻起源の変成岩、エクロジャイト (有機物由来の炭素を含む) と周囲のマントルかんらん岩との間の酸素フガシティー (還元度合い) のコントラストによって、両者の境界部でダイヤモンドが晶出すると推測されています。このプロセスにおいて重要な役割を果たしているのが、CO_2 や H_2O, CH_4 などの成分よりなる C-H-O 流体であり、実際、流体包有物として多くのダイヤモンド中にその証拠が保存されています。

私自身も指導学生の竹田侑平くんと一緒に進めてきた微結晶の放射状集合よりなる球晶ダイヤモンド、Ballas の結晶化プロセスに関する研究成果をポスター発表で紹介し、高い評価を得ました。ダイヤモンド研究を行っている同コミュニティにおいても、純粋に鉱物・結晶学的見地より (最新の分析技術を応用して) ダイヤモンドの結晶成長プロセスを調べている研究者はほとんどおらず、これまでの我々の研究の意義、方向性は確かなものであったと実感した一方で、(反論歓迎！の) 深い議論を交わすことはできず、多少のむなしさも残りました。

さすが Diamond School と銘打っているだけあり、中盤には, グラスゴー大学の Jeff Harris 氏の原石コレクションから、ダイヤモンドの形態や

町の様子とワークショップの雰囲気

内部包有物の顕微鏡観察を行ったり、ソフトウェアを用いて包有物周辺の残留応力を計算する実習も挟まれており、まさに“ダイヤモンド漬け”の充実したワークショップでした。4 年後の次回が今から楽しみです。(大藤 弘明)

❖ AGU 参加報告

アメリカ地球物理学連合(AGU)の秋の学会が2014 年 12 月 15 日～19 日まで行われ、土屋旬ほか GRC から数名が参加しました。毎年のように参加している学会ですが、今年は色々と大変でした。まず、飛行機の予約が日曜日の深夜(早朝)出発で、土曜日の夜に到着するということをすっかり忘れ、ホテルの予約から失敗し（日曜から予約していました)、現地で予約変更するはめになりました。ホテルは無事予約変更できたので、事なきを得ましたが、その後もトラブル（？）続きでした。

初日の学会参加受付は長蛇の列であり、事前に支払を済ませているにもかかわらず、並び始めてから名札を受け取るのに、２時間以上かかりました。(混雑が予想されるので、前日の夕方にレジストレーションを済ませておくほうがよいとメールは受け取っていましたが、当日の朝早めにいけばよいという考えが甘かったです。) AGU に参加したことのない学生さんは、これでこの学会の規模がわかると思います。また、今年は会場の一部が使用できないということで、鉱物物理や地球深部のセッションは近くのホテルの会議場が講演会場になっていましたが、中にはスクリーンのすぐ前に太い柱があるような部屋もあり、多くの参加者に不評でした。

さらに、これはポスターセッションで知り合いの研究者から教えてもらったのですが、今年からネームバッジに IC チップが埋め込まれており(RFID というそうです)、誰がどこにいるかがすべてわかるようになっているとのことでした。その方は、IC チップをバッジからはがして、「我々のチップには ALIEN(エイリアン)と書かれている・・・」と、皮肉をこめて言っていました。実際にはどの会場に何人くらいの人間がいるかをカウントする程度の簡易的なものだったようですが、事前にあまり周知されていなかったため、行動が監視されていると不快な思いをする方もいたようです。

今年の AGU では私は地球深部のセッションで招待講演を依頼されており、下部マントルにおける含水相の研究についての発表を行いました。ポスターセッションでも多くの研究者と有意義な議論ができたので、この点に関しては非常に満足しています。学会中には東工大 ELSI のメンバーとの会食や、ハーバード大の石井水晶さんのグループの夕食会にも呼んでもらい、いろんな人との交流を持てたことが収穫でした。今年の AGU での固体地球の研究発表に関しては、ある限られたテーマに集中している感じがしました。特に下部マントル組成、核、核マントル境界に関する研究がほとんどだったようです。これらが重要なテーマであることは確かですが、もうすこしバリエーションがあってもよいかという気がします。

ちなみに、帰り際に一人で電車に乗っていたら、知らない年配の女性に「大きなスーツケースをかかえた子供」と思われたのか、ニッコリ微笑みかけられて頭をいきなり撫でられた、という衝撃体験も最後にありました。アメリカ人はフレンドリーで良いのですが、通りすがりにいきなり道を尋ねられたりしますし（何度も)、異国で一人行動する日本人にとっては驚くことが多すぎます。そして、いろいろイレギュラーなことがあったためか、帰国するや熱をだしてしまうという、多くは自業自得でありますが、なんとも調子の狂う学会参加でした。(土屋旬)

UC Davis の松井宏晃博士（右）とポスター会場にて

ALUMNI レポート⑥

❖ （公財）高輝度光科学研究センター
利用促進部門研究員　肥後祐司

私は 2007 年 8 月から（公財）高輝度光科学研究センターに所属し、大型放射光施設 SPring-8 の高温高圧ビームライン（BL04B1）のビームライン担当者として勤務しています。

私と GRC の関わりは愛媛大学理学部地球科学科の研究室配属の 1998 年に遡ります。当時は理学部のイチ研究室で、学生には古い木製の実験机が与えられ、デスクワークからパーツ作りまですべてその机で行ったことを思い出します。研究室には常に 24 時間誰かが居り、1 日のほとんどを研究室で過ごし、非常にアットホームで居心地が良かったことを思い出します。研究では、先生方が国内外の学会や研究室訪問に積極的に参加・同行させていただき、研究の楽しさを教えていただくとともに、多くの研究者との交流ができました。SPring-8 での実験も学部 4 年生から一線で参加でき、今日の大きな糧となっています。その後、地球深部ダイナミクス研究センターの設立を期に、博士課程と博士研究員時代を非常に潤沢な設備の中で研究をおこなえたのも非常にラッキーであったと思います。

SPring-8 の BL04B1 には 2 台の大型の川井型高圧発生装置（SPEED-1500、 SPEED-Mk2）が設置されており、最大 1500 トンの荷重下で高圧高温実験が可能です。通常、SPring-8 では測定手法ごとに様々なビームラインがあり、ユーザーは測定したい手法に合わせて各ビームラインに試料を持ち込んで実験します。しかしながら、高圧発生装置が非常に大きく移動ができないため、BL04B1 では 1 つのビームラインで様々な測定が可能となっています。白色 X 線による X 線回折（XRD）測定や X 線ラジオグラフィー観察は高圧セル内部の観察や試料の結晶構造を高圧高温下で測定できる最も重要な機器です。また、単色 X 線（30-60keV）と 2 次元検出器（IP 又は大面積 CCD）による 2 次元 X 線回折像から試料中の応力の評価も可能となっています。近年、世界中の放射光施設に BL04B1 と同様の川井型高圧発生装置の導入が進んでいますが、BL04B1 で特筆すべき成果として、焼結ダイヤモンドアンビルを用いた超高圧発生があげられます。BL04B1 では最近 100GPa を超える圧力発生に成功しており、大型プレスを用いた圧力発生としては世界で突出した超高圧の発生に成功しています。一方で X 線による測定と並行して様々な物理量の測定もおこなわれています。代表的なものは超音波法による弾性波速度、アコースティック・エミッション測定、電気抵抗測定などです。これらはいずれも地球内部構造や化学組成を推定する上で非常に重要な情報を与えてくれます。

BL04B1 は共用ビームラインであり、研究課題申請にパスすれば誰でも使えるビームラインです。地球科学だけではなく、材料合成や物性物理分野でも重要な情報が得られる可能性を秘めています。是非気軽に相談していただき、BL04B1 で実験をしましょう。

❖ Institute of Nuclear Physics and Chemistry (INPC) China Academy of Engineering Physics (CAEP)
Associate Professor, Leiming Fang

More than three years have passed since I left GRC, Ehime University. I stayed in there from October 2008 to October 2011 to finish my PhD with the support of G-COE program. During that time, I learned a lot about high pressure synthesis and characterization techniques with the help of my supervisors Prof. Irifune and Ohfuji-san, and other GRC members.

I joined the neutron scattering technique and application group of Institute of Nuclear Physics and Chemistry (INPC), China Academy of Engineering Physics (CAEP) since November 2011 as a postdoctoral in first two years and then become an associate professor after that. As one of the biggest research complex in China, CAEP which is located at Mianyang (Sichuan province) is related to numerous fields from basic research to defense technology. A reactor neutron source (China Mianyang Research Reactor, CMRR), which is one of the only three neutron sources for neutron scattering in China, was newly built and operated at CAEP. Based on it, six spectrometers have been finished and come into service, including two neutron diffraction spectrometers, one residual stress neutron spectrometer, one small angle neutron spectrometer, one neutron reflectometer, and one triple axis spectrometer. I am responsible for the establishment and development of the high pressure *in-situ* neutron scattering with my colleagues. Recently, we have realized the high pressure condition of *in-situ* neutron diffraction up to 10 GPa by using a newly designed large-volume panoramic-type opposed anvil cell, which is the first time in China. There are very advanced neutron scattering centers like J-PARC in Japan and many members with rich experiment skill and experience on neutron scattering in GRC, so, I and my colleagues in our institute are looking forward to establishing close and sustained

collaborations with GRC in this field.

最新の研究紹介

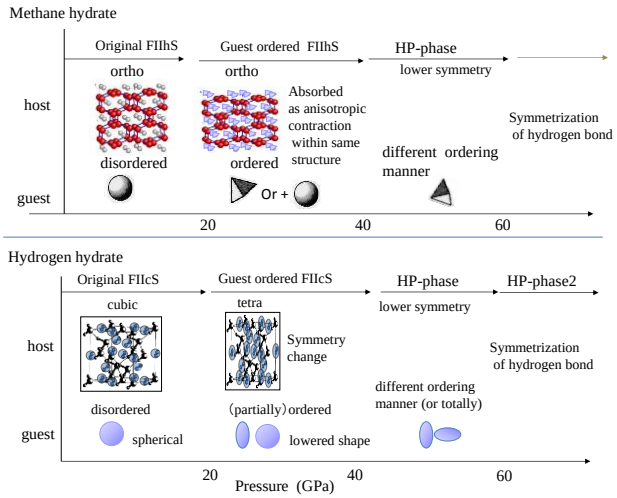
❖ ガスハイドレートのゲスト配向秩序化及びホスト水素結合対称化による高圧安定化プロセス

メタンハイドレート（MH）は燃える氷として次世代のエネルギー資源として期待され、水素ハイドレート（HH）は水素貯蔵媒体として注目される物質である。また両ハイドレートとも太陽系の氷惑星・衛星や最近相次いで発見される系外惑星の構成成分と考えられ、惑星科学的にも重要な物質である。ガスハイドレートは低圧下では水分子（ホスト）が水素結合でケージを形成し、その中にゲストが包有されたクラスレート構造を取る。約 2 GPa 以上になるとケージ構造は保たれず、filled ice 構造という、氷あるいは氷に類似したフレームワークの空隙にゲスト分子が満たされたような構造をとる。MH の場合 filled ice Ih 構造（斜方晶）、HH の場合 filled ice Ic 構造（立方晶）となる。MH と HH の filled ice 構造は室温下で 86 GPa という高圧まで存続し、際立った高圧安定性を示す。しかし、低温高圧下での相変化に関する研究はほとんど行われていなかった。また、水素結合を持つ物質系では高圧下での水素結合対称化や低温下でのプロトン秩序化は重要な課題であり、古くから実験や理論により研究されてきたが、ガスハイドレートでは研究は限られていた。そこで我々の研究グループでは MH と HH について低温高圧実験を行い、相変化を明らかにし、新たに形成される相とゲストの配向秩序化や、ホストの水素結合対称化との関連について検討し、ガスハイドレートの高圧安定化プロセスを提案した。

高圧発生にはクランプ式 DAC を用い，低温発生にはヘリウム冷凍ークライオスタットを用いた。圧力範囲は 2 GPa～77 GPa で，温度範囲は 30 K～300 K で行った。MH では X 線回折およびラマン分光により 2 GPa 以上で 3 つの相の存在が明らかとなり、それらの存在領域を示した。すなわち、20 GPa 以下ではゲストメタン分子が自由回転している相、それ以上ではゲスト分子の回転が抑制され配向が秩序化し、それにより相互作用が変化し斜方晶ではあるが軸比が変化する相、さらに、40 GPa 以上では別の配向様式によるゲスト秩序化相の存在が明らかとなった。従来 40 GPa 以上の相は水素結合対称化に関連する相と解釈されてきたが、本研究で重水をホストとする実験を行った結果、ゲスト配向秩序化相であることが示され、水素結合対称化による相は 60 GPa 以上に存在することが示唆された。また、MH ではそれぞれの相境界が負の傾きを示すが、これはホストのプロトン秩序化の進行による体積変化に関連する現象であると推測され、低温高圧下ではゲスト分子の秩序化とホストのプロトン秩序化が重畳して起きていることが示唆された。

HH についても 2 GPa 以上では 3 つの相の存在が明らかとなった。HH の filled ice Ic 構造はホストが氷 Ic であることから従来立方晶と考えられていたが、理論計算により低温高圧下で正方晶になることが予測された。本研究では正方晶化を実験的に検証し、ラマン分光によりゲスト分子の秩序化により分子の対称性が下がり、ホストが正方晶になることを示した。さらに 40 GPa 以上でも、重水-重水素置換試料の実験により別の配向様式によるゲスト秩序化相の存在を示し、水素結合対称化は 60 GPa 以上で起きることが示唆された。

図は MH と HH についてゲストの配向秩序化やホストの水素結合対称化に関連する相変化の概念図を示したものである。MH は約 20 GPa でゲストの配向秩序化が起きそれに誘起された軸比変化を生じる、40 GPa では別の配向様式による相変化が起き、この時ホストの結晶系も変わる。60 GPa 以上で今度はホストの水素結合対称化に関連する相変化が起きると考えられる。HH は約 20 GPa でゲストの配向秩序化により正方晶に相変化し、45 GPa で別の配向様式か全部が秩序化する相変化が起き、さらに 60 GPa でホストの水素結合対称化に関連する相変化が起きるという描像が描けると考えられる。MH と HH の卓越した高圧安定性はゲストの段階的な配向秩序化の進行により誘発される相互作用の強化により、次いで、ホストの水素結合対称化により獲得されていくものと考えられる。(平井寿子)



図：ゲスト配向秩序化とホスト水素結合対称化による安定化プロセス

❖The origin of diamonds by chemistry and mineralogy of trapped nano-inclusions

Natural diamonds represent an important tool to understand the geochemical processes occurring in the Earth's interior. During

their growth, diamonds can trap fluids and/or mineral inclusions, which are considered pristine witnesses of the surrounding forming-media. In addition, the composition of these inclusions along with the internal structure of the diamonds can provide invaluable information regarding the chemical and physical conditions at which diamonds formed in the interior of the Earth.

However, mechanisms for the formation of diamonds are also revealed by tiny minerals/fluids (50-250 nm in diameter) trapped in fibrous diamonds. Because of the nanometer size, the investigation of these inclusions can only be accomplished using the transmission electron microscopy technique assisted by focused ion beam for thin (about 100 nm thick) sample preparation. This is the case of a fibrous diamond from Sao Luis (Brazil) where tiny touching minerals were identified along with hypersaline fluids within an amorphous matrix (Figure 1). Mineralogical and chemical analyses performed by TEM showed this fibrous diamond being particularly rich in (K,Na)Cl-bearing inclusions along with euhedral phases such as mica, $(Ca,Mg,Fe)CO_3$ solid solutions and apatite in the outer part, while the inner part likely crystallized from a SiO_2- rich fluids.

The presence of nano-inclusions (minerals/fluids) along dislocations suggests that the diamond itself may have grown by a dislocation-controlled growth mechanism as previously described in literature.

In addition, the association of carbonate + mica + apatite + brine is widely accepted to be representative of diamond-forming media that crystallizes during cooling of the primary hydrous fluid, carbonatitic in composition. The presence of this mineral assemblage, therefore, implies that precipitation of diamond can occur at conditions where the reduced form of carbon -diamond- and its oxidized form -carbonate- can coexist within the lithosphere. (V. Stagno)

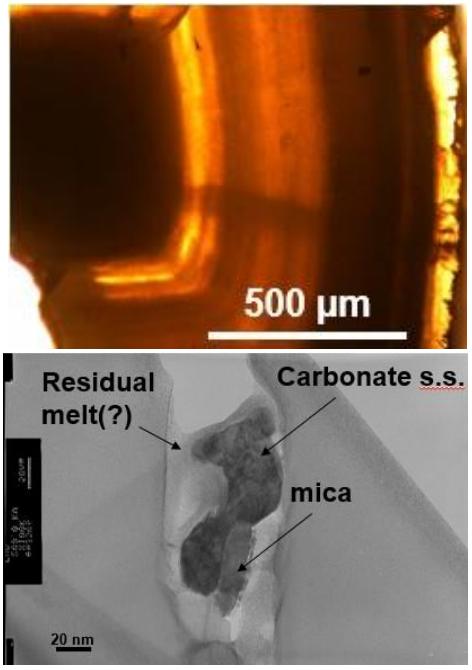
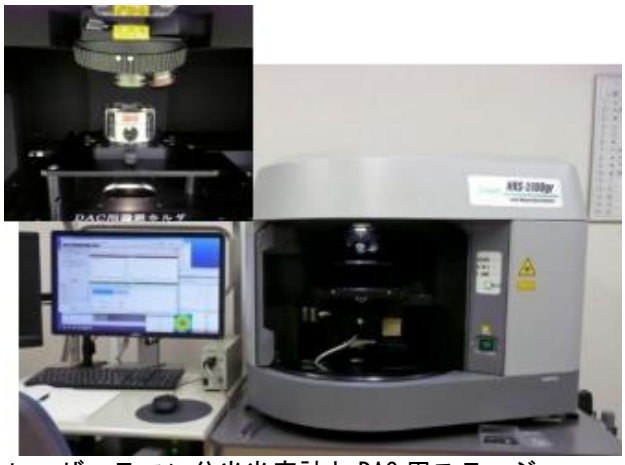


Fig.1 Natural diamond from Sao Luis (Brazil) shows growth zones (Up). A Bright-Field TEM image (Down) showing nano-inclusions representative of CO_2-rich fluid from which diamond might have formed.

センター機器紹介 No.27

❖ レーザーマン分光光度計



レーザーラマン分光光度計と DAC 用ステージ

当センターではこれまで長らく使用してきたラマン分光装置を更新し、2014 年 9 月に日本分光社製のレーザーラマン分光高度計（NRS-5100gr）を搬入しました。

ラマン分光法は赤外分光法と同様に物質に光を照射し、分子の振動情報を得る振動分光法です。赤外分光法では光と物質の相互作用による分子の振動エネルギーに相当する吸収現象を利用しますが、ラマン分光法は入射光に対して分子の振動エネルギー分だけシフトしたラマン散乱現象を利用する分析手法です。

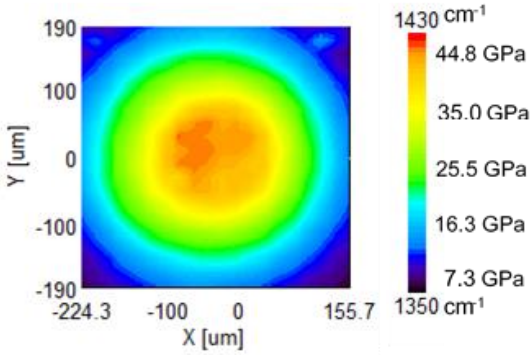
本装置は試料に光を照射するレーザー光源、試料の微小領域に光を照射するための顕微測定部、ラマン散乱光を分光する分光器および分光した散乱光を検出する CCD 検出器からなるラマン分光高度計本体とそれを制御し、検出器が得た信号をラマンシフトとして表示する PC 部で構成されています。

励起用レーザーは出力 50mW、発振波長 530nm のグリーン半導体レーザーで、分光器に焦点距離

300mm の収差補正型ツェルニターナ配置のシングルモノクロメーターを採用することで、検出器上の結合性能を高め、高品位なスペクトル測定が可能です。測定波数範囲は50cm^{-1}～8000cm^{-1}で0.1cm^{-1}以下の高い波数再現性能力を持っています。顕微鏡部には5倍、20倍、100倍の対物レンズと倍率20倍、作動距離25mmの超長作動対物レンズが設置されています。標準の試料ステージの他に当センターで一般的に使用している対称型DAC用のステージも用意してあり、この超長作動対物レンズと組合せることでDAC内の高圧下における試料の測定も可能となっています。試料ステージのX,Y,Z 軸は全自動可動で、可動可能距離は X＝100mm, Y = 70mm, Z = 30mmと比較的大きな試料も測定することが出来ます。最高空間分解能は100倍の対物レンズ使用時でX,Y,Z方向ともに1μmで、最小ステップサイズ0.1μmで3次元マッピング測定が可能です。

本レーザーラマン分光装置で得られた試料の局所表面や内部のラマンスペクトルのピーク位置から主に相の同定や化学結合の種類、ピークの半値幅から結晶度や粒径、またピーク位置のシフトによって結晶格子の歪などの解析が可能です。

図はDACのキュレット面（直径350μm）付近の400ポイントを20分程度でマッピングしたものです。各測定位置のダイヤモンドのラマンバンド端のマッピング結果からラマンシフト値と圧力の関係（Akahama and Kawamura, 2004）を用いることで圧力勾配の様子が分かります。このように短時間でのマッピング測定が可能であり、インクルージョン等の3次元マッピング分析にも威力を発揮すると期待しています。(新名亨)



図：DACキュレット面の圧力分布マッピング

共同利用・共同研究拠点（PRIUS）

❖ The 2nd PRIUS シンポジウム開催

2015年2月23日（月）13時～24日（火）14時30分に愛媛大学総合研究棟Ⅰ 4階共通会議室にて、本拠点の共同利用・共同研究の成果報告会を兼ねた“第2回PRIUSシンポジウム”を開催しました。

学外31名、学内47名、約80名と多くの方に参加いただき、1日目は口頭12件、ポスター37件、2日目は口頭14件とこれまでの共同研究の成果や進行状況、今後の研究についてなど様々な発表や討論が行われ、とても有意義な研究交流の場となりました。このシンポジウムを機会に、今後も本拠点での共同利用・共同研究を基にした超高圧科学研究の推進にご協力いただければ幸いです。

共同利用・共同研究についての詳細はGRCホームページをご参照下さい。
(http://www.grc.ehime-u.ac.jp/prius)

❖ PRIUS利用者の声

ヒメダイヤ乳鉢による超硬物質の粉末化

私は大藤准教授と入舩教授との共同研究で電界放出型走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡を使用したナノ多結晶スティショバイトの観察を行わ

せてもらっています。前所属がGRCであることから、とくに大藤先生には無理なお願いばかりしています。この場を借りて、お詫びとお礼をさせていただきます。大藤先生、入舩先生の全面的な支援が得られたからこそ、ナノ多結晶スティショバイトを割れにくくしているメカニズムを解明し、論文発表することができました。この成果は、アメリカセラミックス協会のトップページでも紹介されたので、ぜひご覧下さい(http://ceramics.org/ceramic-tech-today/hanging-tough-rare-ceramic-goes-amorphous-for-strength)。さらに昨年10月には、ヒメダイヤ乳鉢を使用させていただき、ゲルマニウムを固溶したナノ多結晶スティショバイトを粉末化しました。スティショバイトは最も硬い酸化物で、アルミナ乳鉢でも粉砕することができません。しかし、さすがにヒメダイヤ乳鉢、私が自負する最強酸化物も木端微塵に粉砕してくれました。その粉末試料を用いて、昨年10月末にロシアの放射光施設で粉末X線回折データ収集を行いました。PRIUS での共同研究を通じて、世界で広く共同研究をさせてもらっています。(ドイツ電子シンクロトロン研究所DESY研究員　西山宣正)

WPIサテライト拠点（ELSI-ES）

❖　西真之助教の原稿がNature Geoscienceに掲載

英国ネイチャー出版のNature Geoscience誌電子版（2014年12月8日出版）において、GRCの西真之助教の原稿がNews and Views欄に掲載されました。西助教や土屋旬准教授、入舩徹男教授らは、下部マントルにおける新しい含水鉱物 Phase Hの存在を2014年初めに同誌に発表しましたが、その後ドイツバイロイト大学のグループなどが，Phase Hの低圧型であるPhase Dが、アルミニウムの影響で下部マントルの高温下でも安定に存在することを明らかにしました（Pamato et al., Nature Geoscience, 2014）。西助教は、同誌編集部からこれらの一連の研究の意義に関する原稿執筆を依頼され、解説記事がこの論文と同時掲載されたものです。

❖　入舩徹男教授がアジア高圧力会議で総会講演

入舩徹男ELSI-ES拠点長・GRCセンター長は、バンコクのチュラロンコーン大学で開催された第7回アジア高圧力会議（ACHPR-7）2015年1月16日～18日において、カーネギー研究所研究員・中国高圧科学研究所長H.K. Mao博士、及びウプサラ大学R. Afuja教授とともに、総会講演を行いました。入舩教授は、同会議のアドバイザリーボードを務めるとともに、バンケットにおける国際高圧力学会（AIRAPT）会長としての挨拶や、会期中に3度開催された同ボード会議において重要な役割を果たし、今後のアジア地域における高圧科学の更なる振興と AIRAPT との連携強化について提案を行いました。

❖　ELSI固体地球グループとの連携

ELSI-ES では地球深部の起源物質・進化・ダイナミクスに関連した独自の研究を進めるとともに、ELSI固体地球グループとの連携により、様々な共同研究を進めています。特に土屋卓久教授・市川浩樹研究員らと丸山茂徳ELSI教授･河合研志東大助教による大陸地殻物質の挙動や、入舩徹男教授らと野村龍一 ELSI 研究員らによるヒメダイヤを活用した放射光高圧X線吸収実験など、特徴ある共同研究が進められ、成果の一部は論文としても発表されています。ELSI 固体地球グループとELSI-ES は、若手を中心に定期的に相互乗り入れによるセミナーを開催していますが、今後更に連携強化をすすめ、互いの得意分野を生かした共同研究の推進を図る予定です。

編集後記：表紙のPRIUSロゴは、16件のデザイン案投票の結果、見事第一位に輝いた土屋旬准教授の案です。また、下写真は大学近くの緋寒桜。満開になりました。（T. I. & Y. M.）