GRC News Letter

2015.11.30 **No.43**

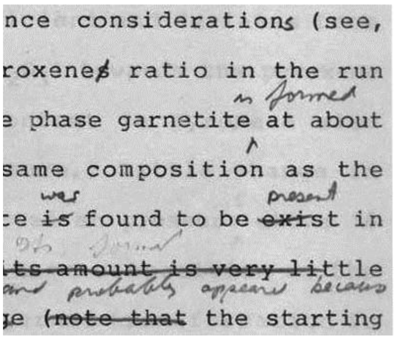
EHIME UNIVERSITY GRC GEODYNAMICS RESEARCH CENTER

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

センター長あいさつ

入舩　徹男


nce considerations (see,
roxenes ratio in the run
is formed
e phase garnetite at about
same composition as the
was present
ce ~~is~~ found to be ~~exi~~st in
only found
~~its amount is very lit~~tle
and probably appears because
ge (~~note that~~ the starting

11月10-12日に広島で、日本高圧力学会主催の第56回高圧討論会が行われました。実行委員長の関根広島大学教授の挨拶によれば、同地で同討論会が行われたのは20年ぶりとのこと。20年前の同討論会では、その前年に63才で亡くなった地球科学分野の巨人、A.E.Ringwood オーストラリア国立大学教授の業績を偲んで Ringwood メモリアルシンポが行われました。その後参加者の一部は松山に移動し、引き続き道後温泉で国際シンポを主催したことを思い出しました。

私ごとながら、キャンベラの Ringwood 教授の研究室には1984年から約3年間博士研究員として滞在し、またその後も亡くなる直前まで、約10年間に渡り共同研究を続けました。その中で同教授から多くのことを学びましたが、とりわけ物事の重要性を見出す卓越した能力は非常に印象的でした。同教授の予想や仮説の多くが、その後正しかったことが示されており、研究上の本質的に重要な点を把握し、それに集中して切り込むことの大切さを教えられました。

博士研究員の3年間にはいくつかの論文を書き、同教授の添削を受けました。いつも鉛筆で行間に独特の字体で書き込んでくれ（写真）、それを苦労して読み解いて修正した記憶があります。研究員を終える頃には、ほとんど修正なくOKがでるようになりましたが、同教授の肉筆による修正原稿のいくつかは、私の宝物としていまだに大事にとってあります。この方式を受け継いで、私も学生や若手の原稿を直すときにはいつも鉛筆で、あえて読めないような走り書きをします。これを読み解き、読めないところは自分で想像して補うことが、論文を書く能力を高める上で重要であると信じています。

一方で Ringwood 教授は、地球科学の知識を応用し、世の中の役に立つモノづくりにも精力的に取り組んでいました。その一つが鉱物間の元素分配の知識を応用した、高レベル核廃棄物の固定法の開発です。シンロック（SYNROC）と名付けられたこの技術は、我が国の原子力研究所（当時）でも検討され高く評価されました。しかし圧力を手段として使うことの法規上の制約等がネックとなって、結果的に採用に至りませんでした。

もう一つの応用は、オーストラリアに多産する低品質のダイヤモンドを活用し、シリコンをバインダーとした焼結ダイヤモンドを高圧合成する新しい手法の開発です。これはシンダイヤ(SYNDIA)

と名付けられ、ベンチャー企業から製品化もされました。私もシンダイヤが比較的低価格で、X 線を良く通すことから、超高圧装置のアンビルとして利用したこともありますが、工業製品としてはあまり成功しなかったようです。

このような Ringwood 教授の姿勢が頭にあり、私もここ 10 年あまりはナノ多結晶ダイヤモンド(ヒメダイヤ) の成功を契機に、地球科学の一方で超高圧材料科学ともいえる分野の研究に取り組んできました。折しも愛媛大学では、次世代の特徴ある科学研究の芽を育てるため、「リサーチユニット」制度が創設され、工学部・理学部・GRC の若手を中心とした超高圧材料科学研究ユニットが、高い評価を受けてこの 10 月に採択されました。分野・組織間の垣根が低い地方大学の利点を生かした新しい科学と技術が、GRC 関係者を中核として生みだされることを期待しています。

センターの構成

(H27.12.1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）
Steeve Gréaux（WPI研究員）
Wei Du　（WPI研究員）
Vincenzo Stagno（WPI研究員）
國本健広（WPI技術研究員）
小島洋平（特定研究員）
飯塚理子（学振特別研究員）
石井貴之（学振特別研究員）(H27.4.1～)

❖ 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）
白石千容（研究補助員）(H27.4.1～)

❖ 物性測定部門

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

❖ 量子ビーム応用部門

桑山靖弘（助　教）
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）
内山直美（技術補佐員）(H27.5.1～)

❖ 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）
客員教授　舟越賢一(CROSS東海利用促進部主任研究員)
客員教授　市田良夫（宇都宮大学名誉教授/cBN&ナノ加工研究所・所長）(H27.4.1～)
客員教授　平井寿子　(H27.4.1～)
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サイエンティスト）　(H27.4.1～)

❖ GRC研究員・GRC客員研究員

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

❖ 事務

研究拠点事務課（3F）
佐々木昇　（課長）
田窪　光　（チームリーダー）
宮本菜津子（事務補佐員）
兵頭恵理　（研究補助員）
八城めぐみ（事務補佐員）
長野絵理　（事務補佐員）
上田瑠美　（研究補助員）(H27.12.1～)

NEWS＆EVENTS

❖ 大藤准教授らが天然版ヒメダイヤを報告

GRC の大藤弘明准教授、入舩徹男教授（東京工業大地球生命研究所兼任）他とロシア科学アカデミーK. D. Litasov 教授他からなる日露共同研究チームは、シベリアの巨大隕石クレーターで発見されたダイヤモンドが天然版のナノ多結晶ダイヤモンドであることを Nature 出版のオンライン総合科学誌 Scientific Reports の 10 月 1 日版に発表しました。

ロシアシベリア北部の Popigai クレーターは、直径 100km におよぶ隕石クレーターです。1970 年代にはその周辺にダイヤモンドが発見されていますが、その詳細については長い間謎でした。2012 年にロシア政府関係者により、このダイヤモンドは通常のダイヤモンドより硬く、また数兆カラットと極めて大量に存在する可能性があることが発表され，国際的にも注目を集めています。

大藤准教授ら GRC のグループは、ロシア科学アカデミーの Litasov 教授らから 10 個の Popigai ダイヤモンドを入手し、GRC の集束イオンビーム微細加工装置と透過型電子顕微鏡を用いて、その特徴と生成過程を詳細に検討しました。この結果、これらのうち黄色味を帯びた透明のダイヤモンドが、数 10 ナノメートルという極めて微粒の純粋なダイヤモンドからできている「ナノ多結晶ダイヤモンド」であり、隕石衝突時の超高圧・高温により地表付近に存在していた単結晶グラファイトが変化してできたことを突きとめました。

❖ 大内助教らが新しいマントル流動モデルを発表

GRC の大内智博助教、入舩徹男教授、高輝度光科学研究センターの肥後祐司研究員らの研究グループは、地球マントル上部のダイナミクスをコントロールしている新しいモデルをアメリカ科学振興協会（AAAS）が発行する総合科学誌 Science Advances 誌の 10 月 2 日版に発表しました。

大内助教らの研究グループは、地球マントルの流動モデルを再検討するために、大型放射光施設 SPring-8 の強い X 線と、ここに GRC グループが設置した超高圧下での変形実験を可能にする装置を用いて、高温高圧下でのカンラン石の変形実験を行いました。この結果、マントル上部の流動は転位クリープではなく、カンラン石の粒子間のすべり（粒界すべり）によって起きる可能性が強いことが明らかになりました。この粒界すべりモデルでは、マントル上部の粘性がほぼ一定であるとする観測結果もうまく説明することができ、長年信じられてきた転位クリープ説を根本的に見直す必要があることを示しています。

マントルの流動によるプレートの移動や沈み込みに伴って、地震や火山活動などの自然現象がもたらされます。本研究で得られた粒界すべりによるカンラン石の流動に関する理論式は、このような地球内部のダイナミックな挙動と進化を理解する上で非常に重要になると考えられます。

❖ ヒメダイヤを用いた氷の高圧相の解明

H_2O が結晶化した固体である氷は､圧力が加わると様々な高圧相へと変化します。最近氷の高圧下での中性子線回折測定結果が報告され、高圧氷（VII 相）では圧力約 26 万気圧以上で水分子の半数が水酸化物イオンと水素イオンに解離し、解離した水素イオンが格子間位置に局在しているという「格子間位置モデル」が提案され注目されています。

本研究では、第一原理計算による高圧氷の X 線ラマン散乱（XRS）スペクトルの予測と、SPring-8 の BL12XU における高圧下の XRS 測定実験が行われました。この結果、格子間位置モデルを仮定した場合に予想された低エネルギー側のピークが XRS 測定では認められず、このモデルに再検討が必要なことが明らかになりました。本研究における高圧下での XRS 測定には、比較的大容量の試料容積に対する高圧下での測定が可能な、ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）製アンビルが用いられています。

本研究成果は、理化学研究所、兵庫県立大学らの共著として Nature 出版のオンライン総合科学誌 Scientific Reports の 7 月 27 日号に掲載されました。

❖ 柿澤さん(M2)がゴールドシュミット会議で優秀ポスター賞受賞

GRC の井上徹教授が指導する大学院生の柿澤翔さん（理工学研究科博士前期課程 2 年）が、8 月 16 -21 日にかけてチェコ・プラハで開催されたゴールドシュミット会議（Goldschmidt Conference

2015）で、ヨーロッパ鉱物科学会（EMU：European Mineralogical Union）の優秀ポスター発表賞を受賞しました。

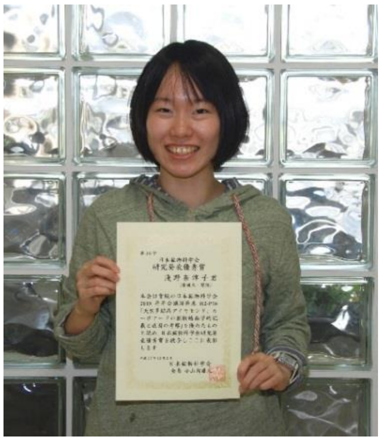
ゴールドシュミット会議は、アメリカ地球化学会とヨーロッパ地球化学連合が主催する地球化学分野での唯一の国際会議です。地球化学及び関連する広い分野を網羅し、今回のプラハでの会議も各国から約 4000 人の参加者がありました。同会議のスポンサーの一つであるヨーロッパ鉱物科学会は、鉱物科学に関係するセッションから 2 名のポスター賞を選出しましたが、GRC で研究をすすめている柿澤さんがその 1 人に選ばれました。同ポスター賞の受賞対象者の年齢は 30 歳までとなっていますが、柿澤さんは 23 歳での受賞であり快挙と言えます。

柿澤さんの受賞ポスターのタイトルは「Water solubility of Al-bearing bridgmanite at the lower mantle condition（下部マントル条件における Al に富んだブリッジマナイト中への水の溶解度）」です。ブリッジマナイトは，地球内部の 660 km から 2900 km 付近までを占める下部マントルにおいて、その約 8 割近くを占める高圧鉱物であり、地球で一番多く存在する鉱物とも言えます。柿澤さんはブリッジマナイト中の含水量の圧力依存性を、50 万気圧程度の下部マントル半ばに対応する圧力まで実験により明らかにしました。高度な高圧実験及び機器分析技術により初めて可能となった研究であり、審査員から高い評価を受けました。

❖ 淺野さん(M1)が日本鉱物科学会年会で研究発表優秀賞を受賞

GRC の大藤弘明准教授が指導する大学院生の淺野奈津子さん（理工学研究科博士前期課程 1 年）が、2015 年 9 月 25 -27 日にかけて東京大学にて開催された日本鉱物科学会 2015 年年会で、学生会員の発表を表彰する第 36 回研究発表優秀賞を受賞しました。

淺野さんの受賞ポスターのタイトルは、「天然多結晶ダイヤモンド、カーボナードの鉱物結晶学的記載と成因の考察」で大藤准教授及び東京大学大学院理学系研究科の鍵裕之教授との共同研究の成果を発表したものです。カーボナードは、数十～数百ミクロンの結晶の集合からなる黒色塊状の多結晶ダイヤモンドですが、その起源についてはマントル内生成説のほか、宇宙空間生成説、衝撃生成説など多くの議論があり、いまだ謎に包まれています。



淺野さんらは中央アフリカ産およびブラジル産のカーボナードの微細組織や結晶方位分布、内部包有物について電子顕微鏡を用いて詳しく調べ、その斑状多結晶組織が高過飽和流体中で形成された非平衡成長組織であることを明らかにしました。さらに、カーボナード中より初めて一次包有物（オンファス輝石組成を持つ鉱物）を見つけ、その生成に海洋地殻物質（エクロジャイト）が密接に関係している可能性を見いだしました。これらの観察結果は、カーボナードが地球深部起源であることを裏付けるとともに、その成因および生成環境の全容解明に大きく貢献するものと期待され、審査員からも高い評価を受けました。

❖ AIRAPT 50 周年記念総会マドリードで開催

国際高圧力学会（AIRAPT）の設立 50 周年を記念する総会が、8 月 30-9 月 4 日の 6 日間にわたりスペインのマドリードでヨーロッパ高圧会議（EHPRG）との共催で開催されました。AIRAPT は 1965 年に

設立され，現在世界中に約2000名の会員を擁しており、高圧力を手段として用いる物理学、地球科学、化学、材料科学、生命科学などの研究者からなる高圧力科学分野で唯一の国際会議です。2011年のインド（ムンバイ）の総会において、入舩センター長がアジアから初めての会長として選出され，2013年のシアトル及び今回のマドリードの総会及び評議員会での議長として重要な役割を果たしました。

AIRAPT設立50年記念となる今回の総会には日本からも70人余りが参加し、高圧力の科学と技術に関する最新の研究成果の発表と議論が行われました。会期中には会員による総会と2回の評議員会、また高圧物理学分野でのノーベル賞受賞者P. W. Bridgmanに因んだAIRAPTの最高賞であるBridgman賞と若手研究者に授与されるJamieson賞の授与式、また50周年記念講演会などが、いずれも入舩センター長の司会のもと行われました。

❖ モスクワ大学地質学部と学術協定調印式

モスクワ大学地質学部は1000名あまりの学生を擁する、ロシア最大・トップレベルの地球科学系学部です。GRCは同大学の複数の大学院生の長期に渡る受け入れ実績などをもとに、2014年に部局間学術交流協定を結びました。これらの実績などに基づき、本年度よりGRC・東大及びモスクワ大・ロシア科学アカデミーN.V. ソボレフ研究所（ノボシビルスク）のグループを中心とした日本学術振興会の日露国際共同研究事業が採択されています（日本側代表：鍵裕之東大教授）。この国際共同研究のキックオフを兼ねて、10月20-24日にモスクワ大学でダイヤモンド及び地球深部物質学に関するシンポジウムが開催されましたが、この機会にD. Y. プシャロフスキー同学部長と入舩徹男GRCセンター長との間で、協定書のロシア語版への調印式が行われました。

シンポジウムの一環としてモスクワ市内にある、18世紀に設立された世界最大級の鉱物博物館であるA.E.フェルスマン鉱物博物館において、入舩センター長とL. Bindiフローレンス大学教授による講演会も行われました。また、モスクワ大学でのシンポジウムでは先だって本HPで報告した、天然版ナノ多結晶ダイヤモンドを確認したGRC大藤准教授や、日本鉱物科学会優秀発表賞を受賞しした理工学研究科淺野奈津子さんの講演も行われました。

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）

１２月

12/4 “Numerical simulations of thermochemical mantle convection with drifting supercontinent in two-dimensional cylindrical geometry”
Akari Harada (Msc. student, Ehime University)

“Lattice diffusion in MgO crystal from first principles simulation”
Takafumi Harada (Msc. student, Ehime University)

12/11 “The fate of sulfate mineral during subduction to the deep mantle”
Taku Fujii (Ph.D. student, Ehime University)

“Mineralogical and crystallographical study on the microtexture and genesis of polycrystalline diamond, Carbonado”
Natsuko Asano (Msc. student, Ehime University)

１月

1/8 “Development of the double stage diamond anvil cell II”
Dr. Takeshi Sakai (Assistant Professor, GRC)

1/22 (Advanced Science Seminar)
“Elastic properties of hydrous bridgmanite”
Dr. Toru Inoue (Professor, GRC)

1/29 (Advanced Science Seminar)
“First principles investigation of hydrous phases in earth's deep interior”
Dr. Jun Tsuchiya (Associate Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第422回 “Stability region of the liebermannite-lingunite solid solution”
Youmo Zhou (Ph.D. student, Ehime

University) 2015.07.24

第 423 回 (Advanced Science Seminar)
"Linear analysis on the onset of thermal convection of highly compressible fluids with variable physical properties: Implications for the mantle convection of super-Earths"
Dr. Masanori Kameyama (Associate Professor, GRC) 2015.07.31

第 424 回 "Estimate of subduction of island arcs to the deep mantle"
Dr. Hiroki Ichikawa (Postdoctoral Researcher, ELSI-ES, GRC) 2015.10.02

第 425 回 "Synthesis of nano-polycrystalline grossular garnet under high pressure and high temperature"
Kouji Kawakami (Msc. student, Ehime University) 2015.10.09

第 426 回 "Solid solution effects of Fe^{2+} and Fe^{3+} on the thermo-elastic property of $MgSiO_3$ bridgmanite calculated based on the internally consistent LSDA+U method"
Atsushi Hase (Msc. student, Ehime University) 2015.10.16

第 427 回 "Reaction between carbonate, silicate and C-H-O fluid under high pressure and temperature"
Shunta Ikawa (Msc. student, Ehime University) 2015.10.23

第 428 回 "Numerical experiments on mantle convection of super-Earths with variable thermal conductivity and adiabatic compression"
Mayumi Yamamoto (Msc. student, Ehime University) 2015.10.30

第 429 回 (Advanced Science Seminar)
"Diamond? from ultrahigh pressure metamorphic rocks from Japan"
Dr. Hiroaki Ohfuji (Associate Professor, GRC) 2015.11.20

第 430 回 "Equation of state of Al-bearing bridgmanite"
Shou Kakizawa (Msc. student, Ehime University) 2015.11.27

インターンシップ報告

❖ TEM study on graphite-diamond in UHP metamorphic rocks

I'm Denis Mikhailenko, I am third-year PhD student at V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Science (Laboratory of High Pressure Minerals and Diamond Deposits). My supervisor is Prof. Andrey Korsakov, who is an expert in ultra-high pressure metamorphism, petrology and mineralogy.

Origin of diamond and graphite in mantle xenoliths from kimberlite pipe is the main theme of my study. Graphite- and diamondiferous mantle rocks attracts particular interest because the diamond crystallization conditions in eclogites are still under discussion. Contrary to the mantle rocks, the presence of graphite and diamond is quite common feature in crustal-derived metamorphic rocks. In the PRIUS project, I investigated the carbon polymorphs from UHPM kyanite gneisses (Kokchetav Massif) by FIB and TEM equipment. These studies will help to understand the processes of diamond and graphite crystallization in UHPM rocks. It is likely that the same mechanism may occur in the upper mantle rocks.

I stay in GRC for about two months. Because this is my first visit to Japan, besides from research, I explored culture, food and life of peoples in Matsuyama. Free time in the evening I devote attendance climbing club and jogs around the Matsuyama castle. Hospitality and professionalism on the part of the PRIUS and GRC made my staying in Matsuyama very fruitful and memorable. Special thanks to Professor Hiroaki Ohfuji, who supervised my research. (Mikhailenko Denis, PhD student at

IGM SB RAS)

❖ Synthesis of large single crystal enstatite under hydrous condition

My name is ChingChien Li, currently a second year PhD student from Department of Earth Science, National Cheng Kung University at Tainan, Taiwan. I stayed in GRC from early August to early September this year for the synthesis of large hydrous enstatite crystals.

My research interest is to study the physical properties of orthopyroxene under the effect of water, especially the thermal, elastic and crystallographical properties and their implications in geodynamics. Pyroxenes are one of the well-known major host minerals for water in the mantle, and the water content in pyroxenes are higher comparing with olivine and garnet, the other two major mantle forming minerals. In my PRIUS project, I aim to synthesis large single crystals of enstatite with different water content in order to perform thermal and crystallographical experiments. Under the supervision of Prof. Inoue, I tested several syntheses runs with different pressure and temperature range. In the end I have succeeded in synthesizing large enstatite crystals for further thermal and crystallographical studies. The next step will be to quantify the water content and to measure the physical properties of my samples. The study of hydrous pyroxenes may shed some light on the understanding some anomalies found in the upper most mantle (e.g., low velocity zone).

During my time there, I have been taken good care of from the people I met in Matsuyama. I really enjoy working with people in GRC. If it is not with so many people's help, my experiments cannot go this far in such a short time. I have learnt a lot through the discussions with everyone in GRC. These wonderful people inspired me in many ways. I'm grateful for having this opportunity to be here. And of course people I met outside of GRC, from guesthouse owner, the volunteer guide lady in Matsuyama castle (we spent an afternoon talk about the tour spots, the history and culture of Matsuyama using only basic English and basic Japanese!), to the convenient store staff, offered their kind help despite my beginner level-poor Japanese. I will always remember the time here and wish someday I could go back to GRC for more research work! (ChingChien Li, PhD student at National Cheng Kung Univ.)

海外出張報告

❖ AIRAPT-25 参加報告

AIRAPT 国際会議がスペインのマドリッドにおいて 8 月 30 日から 9 月 4 日にかけて行われました。まず、松山空港から中部国際空港に飛び、次にヘルシンキまで行った後に、マドリッドまでの飛行機の旅となり非常に時間がかかりました。この時期のマドリッドの気候は、日中とても暑く、空気は乾燥していて日差しが強かったです。マドリッドはスリが多いと事前に聞いていたので若干不安でしたが、特にトラブルに巻き込まれることもなく、街はきれいで滞在してとても楽しかったです。しかし、ポイ捨てや落書きが多くそこが非常に残念に思いました。ホテルの近くに市場があり、学会の合間に本場のパエリヤ、アヒージョ等を味わうことが出来ました。

初日、会場までは自転車で行きましたが、ホテルから会場まで結構距離があってしんどかったのと、地下鉄の無料券を貰ったこともあって、次の日からは地下鉄を利用しました。AIRAPT は Complutense University of Madrid という場所で行われ、ポスターセッションやオーラル発表が活発に行われました。オーラル発表は 4 つの会場にわかれて行われ、著名な研究者の発表を聞くことが出来ました。今回の会議では、アルマンディンガーネットの高温高圧下における弾性波速度の研究報告をしました。ザクロ石中で重要な主要鉱物であるアルマンディンの高温高圧下における弾性データは、あまり報告されていません。その理由として、3 価の鉄を含むスキアガイトがどうしても出てきてしまい、アルマンディン単相を合成することが難しいためです。今回の会議では、アルマンディンの単相合成手法と高温高圧下における弾性波速度測定の結果を報告し、パイロープ、グ

ロッシュラー、メジャライトよりも弾性波速度が一番遅いという結果を報告しました。質問時には、弾性波実験前と後でスキアガイトは出てこないのかといったような意見をもらいました。

2 日目の夜に行われた宴会は豪華で、神殿？のような場所でコース料理がふるまわれ、AIRAPT の刻印が入ったお菓子ももらいました。スタッフの方に、fish or meat ?と聞かれたので肉料理にしました。パンが非常に硬かった記憶があります。スペインはフラメンコが有名なので、生ハム片手に宴会の途中でフラメンコを見学することもでき非常に満足しました。そこでは、著名な方々のスピーチはもちろん、会長である入舩先生のスピーチをきくことも出来ました。

最終日は、午前中で学会が終了したため、美術館に見学に行きました。マドリッドには、多数の美術館があり、有名なピカソやダリなどの絵画が展示してありました。中でもピカソのゲルニカが一番印象に残っています。「教科書でみたことある！」と感動しました。ゲルニカ自体とても大きく、ゲルニカの前には常に人だかりが絶えませんでした。有名なクマの銅像があるスペイン広場に行くと、人がごった返しており、そこにはあり得ない姿勢で浮いている大道芸をよくみかけました。どうなっているのだろうと思いよく観察しているとチップを要求されました（笑）。今回の AIRAPT は研究、息抜きどちらも非常に満足するものでした。(有本岳史 D2)

❖ Goldschmidt 2015 参加報告

2015 年 8 月 16～21 日にチェコ・プラハで開催された Goldschmidt2015 に参加しました。Goldschmidt 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分野の研究者が、世界各国から集まり、参加者は約 4000 人にも及びました。今回の Goldschmidt では、6 日間に渡って、26 テーマ 200 を超えるセッションが開かれました。主に地球化学のセッションですが、中には鉱物学・鉱物物理学や地球深部のセッションも開かれ、活発な議論が行われました。

私が参加したのは Mineralogy and Mineral Physics の“Water” in the Mantle and Crust: Hydrous and Nominally Anhydrous Minerals というセッションでした。ここではマントルや地殻に存在していると考えられている含水鉱物や無水鉱物に溶存する水についての発表が行われました。鉱物中に存在する水は分析するのがとても困難なものが多く、それを研究する最新の分析手法・実験方法や水が鉱物の化学的・物理学的性質へ与える影響についての発表が多く行われました。とくにラマン分光・赤外分光などの分光学を用いた研究が活発に行われている印象を受けました。

私自身は「Water solubility of Al-bearing bridgmanite at the lower mantle conditions」というタイトルでポスター発表を行いました。近年、Al と共に多量の水が bridgmanite に溶存することがわかってきましたが、圧力応答や物性値は不明なままでした。私は 50 GPa までの含水量の圧力依存性の研究を行い、～35 GPa までは圧力と共に含水量は増加し、それ以上の圧力では含水量が減少することを見出しました。発表には数多くの方が訪れ、英語で発表・議論するという貴重な体験ができました。そして、幸運なことに EMU (European Mineralogical Union 主催の poster prize に選出されました。学会での受賞は初めてであり、自分の成果が評価され大変嬉しく思います。

会議の合間にプラハ市内をまわりました。プラハには街中から見られるプラハ城と呼ばれるお城があり、街並みは西洋と日本で違いはありますが、松山と似たとことがあるなと感じました。ただプラハの中心にはブルタバ(モルダウ)川が流れています。この川とは少し縁があり、私の中学で開かれる学内の合唱コンクールの課題曲がスメタナのモルダウでした。実際に見ることができ、感動を覚えたと同時に中学での日々を思い出しました。街中には、様々な建築様式の建物があり（詳しくはありませんが）、どこにカメラを構えても絵になる街でした。また、チェコはビールでも有名であり、ピルスナーの元祖であるピルスナー・ウルケルが特に有名です。会議のポスターセッション中でも振る舞われていました。特に驚きなことはとにかく安いことです。500ml のビンが 25 チェココルナ(日本円で約 125 円)で水より安かったです。

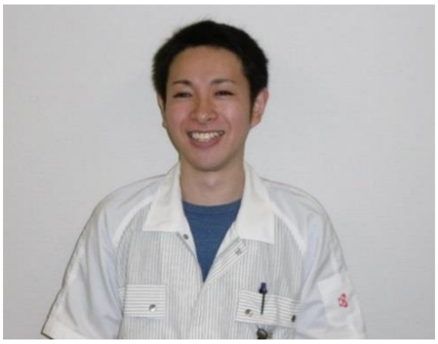
私は、この国際会議が始めての海外での発表で

した。普段 GRC の留学生や外国人スタッフと英語で話す機会が多くありますが、まだまだ英語力が足りないと再確認いたしました。今後も実験などの研究活動ばかりでなく、英語力の向上も日々取り組みたいと思います。なお、Goldschmidt2015 に参加するにあたり、日本高圧力学会から旅費の支援を受けています。この場を借りてお礼申し上げます。(柿澤翔 M2)

ALUMNI レポート⑧

❖ 京セラ株式会社機械工具技術開発部

磯部太志



私は 2014 年の 6 月から、京セラ(株)の機械工具事業部で働いています。機械工具事業部は、京セラの主力事業部の１つで、主に自動車や産業機械等の金属部品加工用の切削工具を提供しています。機械工具に使用する素材は、超硬合金をはじめ、サーメットや各種セラミック、ダイヤ、cBN 等多岐にわたり、私の所属する開発グループでは、超高圧装置を使ったダイヤ、cBN の焼成技術・素材開発が主な仕事になります。

GRC では研究室に配属されてから、博士の学位を取得するまでの長い間、大変お世話になりました。学部生の時からを振り返ってみると、もともと生物系の研究コースを希望していた私にとって地球科学の研究は興味の薄い分野でした。研究室に配属される時期になっても中々モチベーションが上がらず、当時の大学の成績も学科内でおそらくワースト５には入る勢いだったのではないでしょうか。はじめてのゼミの研究論文紹介でいい加減な発表をして、険悪な雰囲気にしてしまったのを今でも覚えています。そんな中で、その年はたまたま人気がなかった入舩先生の研究室で運良く拾ってもらい、ヒメダイヤの研究をやらせていただいたことが自分の中では自発的に研究に取り組むターニングポイントになったと思います。ヒメダイヤの研究は他の地球科の研究テーマとは少し異色で、ものづくり的な研究テーマでしたが、そういった自分が作ったものをなんらかの形で役立てることができることを魅力に感じ積極的に取り組めました。

私が実験を始めたころは、現在の BOTCHAN のような大型設備はなく、実験はもっぱら ORANGE-3000 を使って行なっていました。研究発表が近くなると実験系で同期の和田君と発表ぎりぎりまで実験をこなしていたように思います。和田君とは、同じ超高圧に関連した仕事をしている間柄、同期の中で今でもよく会うことがあります。彼は私よりもだいぶ先に社会人になっていたのですが、自分が会社に勤めだしてお互いぎこちない名刺交換をしました。

ヒメダイヤの大型化の研究は、はじめから 3000 トンプレスで大きな試料を合成しようとしたりして失敗も多くしましたが、自分で色々と試行錯誤しながら実験セルをいじったことで、実験技術を身につけることができました。その後の BOTCHAN を使ったヒメダイヤの１cm 級の大型化は比較的スムーズに達成できてしまったのですが、それはそれまでに自由な環境の中での実験の積み重ねがあったからだと思います。外にでてみて分かることですが、企業から見ても GRC の研究環境はとても恵まれていると思います。GRC に在籍していたころは、ないものを自分でなんとかしようとしてこなかったので、それが今になって思う反省点です。

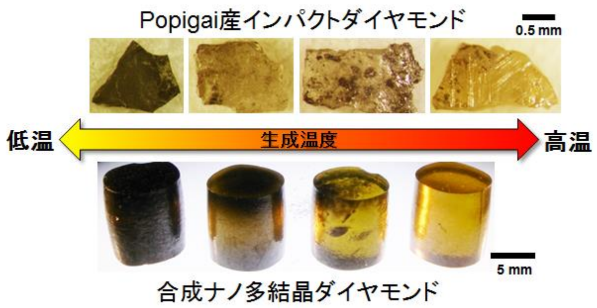
企業での研究開発はというと、よりも実用的な視点に立った結果が求められます。製品の歩留まりの向上や不良の原因を明らかにするためには、大学で行なっていた以上に数多くの実験・検証が必要です。学術研究のような華やかさは少ないかもしれませんが、さまざまな条件的な制約をクリアして製品を世の中に出せるようにすることはやりがいがあります。今後は GRC で学んだことと、社内で身に付けたノウハウを織り交ぜながら新しいことにも積極的に挑戦していきたいと考えています。GRC とは現在も共同研究で提携させていただいており、ちょくちょくお邪魔すると思いますが、今後ともどうぞよろしくお願い致します。

最新の研究紹介

❖ 隕石衝突孔中から天然版ナノ多結晶ダイヤモンドを発見

高い硬度と優れた機械特性を有するナノ多結晶ダイヤモンド（NPD, 通称“ヒメダイヤ”）は、当センターが誇る重要な発明であり、学術利用のみならず工業用途への実用も高く期待されている。NPD のナノ多結晶組織は高温高圧下におけるグラファイトからの直接変換焼結の産物であり、地球深部より産する天然のマントルダイヤには見られないユニークな組織である。最近、ロシアの隕石衝突孔より産するインパクトダイヤ（隕石衝突によって生じたダイヤモンド）中に合成 NPD と同等のナノ多結晶組織を見出し，10 月１日付けのネイチャー出版の電子ジャーナル Scientific Reports（10 月１日付)に報告したのでここに紹介したい。

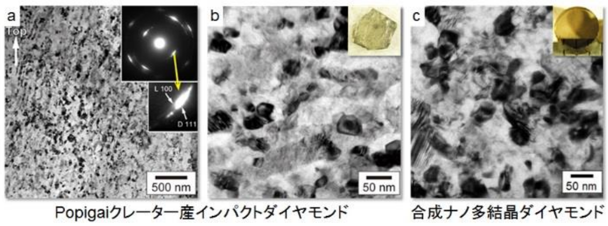
今回観察を行ったインパクトダイヤは、中央シベリアの北部に位置するPopigaiクレーター（直径約100 km、3,500万年前に形成）の内部に分布する衝撃角礫岩中より分離抽出したもので、共同研究者のロシア科学アカデミーのK. Litasov氏より提供していただいた。同クレーターにおけるダイヤモンドの発見は1970年代まで遡るが、その詳細については一部の学術報告を除いて約40年もの間、国家機密にされていた。ごく最近公表された情報によると、同クレーター全体でのダイヤモンドの埋蔵量は数兆カラット（向こう先3,000年分の供給量に相当）にも上るとされ、市場価格の暴落を懸念して機密とされていたらしい。そのような背景もあってか、Popigai産インパクトダイヤの性質、特に微細組織や結晶学的性質、生成メカニズムの詳細はよく分かっていなかった。そこで我々は入手した10個のダイヤ試料について、分光分析や電子顕微鏡観察を通した鉱物学的・結晶学的評価を行った。



試料は、淡黄色～黄褐色透明～黒色不透明で、いずれも板状形態(幅1-1.5 mm,厚さ0.1-0.5 mm)を有する。微小部XRD分析の結果，透光性の高い試料はダイヤモンドと少量のロンズデーライト（六方晶ダイヤモンド）より構成され、不透明の試料は、加えてグラファイトを含むことが分かった。さらに、グラファイト、ロンズデーライト、ダイヤモンドの各相の間にGr [001] // Ln [100]* // Dia [111]の共軸関係があり，その方向が板状のダイヤ試料表面の法線方向と一致することが分かった。この共軸関係は、透過電子顕微鏡（TEM)観察においても普遍的に観察され､Popigaiダイヤはグラファイトからのマルテンサイト（原子の長距離拡散を伴わない）相転移によって生成したことが明らかとなった。起源物質は、クレーター近辺に広く分布する始生代の片麻岩中に元々含まれるグラファイト（単結晶）と推定される。

TEMによる内部組織の観察から､Popigaiダイヤは直径5-50 nmほどの粒状結晶で構成される等粒状～モザイク状の組織を示し、高圧合成によって得られるNPDに酷似した特徴を持つことが分かった。両者の唯一の違いは構成ダイヤ粒子の結晶方位分布で、合成NPDではランダムであるのに対して、Popigaiダイヤではダイヤモンドの[111]が強い選択配向を有する。これは出発物質の結晶性の違いとそれに起因する相転移メカニズムの違いが関係しており、単結晶グラファイトを出発物質とする後者の場合、マルテンサイトによる相転移が支配的となり、結果として配向性（出発物質との共軸性）が保持されると考えらえる。

Popigaiクレーターにおけるインパクトダイヤの生成は、隕石衝突の衝撃圧と温度が持続するわずか数十ミリ秒の間に起ったものと推測され、静的圧縮によるNPD合成の場合と比較して反応時間は桁違いに短い。それにも関わらず、Popigaiダイヤは合成NPDに匹敵する微細組織や透光性を示しており、グラファイト－ダイヤモンド相転移がいかに迅速か分かる。Popigaiダイヤにおける透光性や共存相のバラエティーは、生成温度条件のわずかな違い（不均質）によると考えられ､NPD合成における合成温度効果とよく対比される。



NPDのようなナノ多結晶組織が形成されるためには、多核形成が支配的となる高い駆動力と、粒成長の抑制がキーポイントとなる。瞬間的な隕石衝突(高温高圧反応)によって生成されたPopigaiダイヤはちょうどこの条件を満たしており、構成粒子はナノメートルサイズのまま凍結（保持）されている。つまり、巨大隕石衝突孔からの天然版NPDの産出は、半ば必然的であるともいえる（出発材料となる炭素源が用意されていることが前提となるが)。今後、他の巨大隕石孔や隕石中からも同様の天然ナノ多結晶ダイヤが発見される可能性はあるだろう。今回のPopigaiダイヤは、サイズや質の点で宝石としての価値はほとんどないものの、合成NPD同等の微細組織を有することから、天然由来の超硬質材料として切削工具や砥粒などへの応用が可能かもしれない。(大藤弘明)

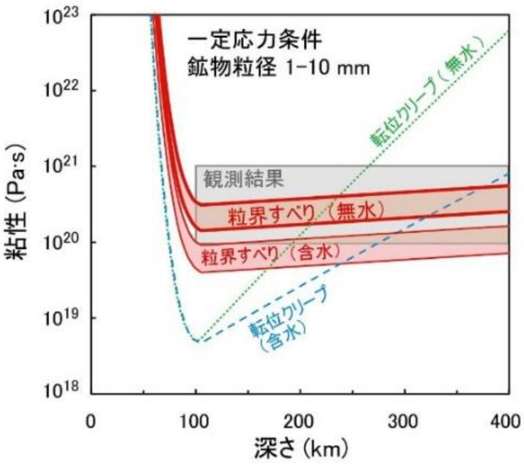
❖ 上部マントルにおけるカンラン石の流動メカニズムに関する新たな成果

地球の地下60 km以深の上部マントルでは、場所によっては1400℃にも達する高温の世界となるため、主要構成鉱物であるカンラン石が塑性変形することによって流動します。それに伴って、プレート（深さ0-60 km）も一緒に移動します。今から45年前の1970年以降、上部マントルにおけるカンラン石の変形は転位クリープによって支配されていると考えられてきました。しかし上部マントルの流動が転位クリープに支配されていると仮定した場合には、マントル上部の粘性は深さ

によらずほぼ一定であるといった観測結果を説明できないことが問題となっていました。

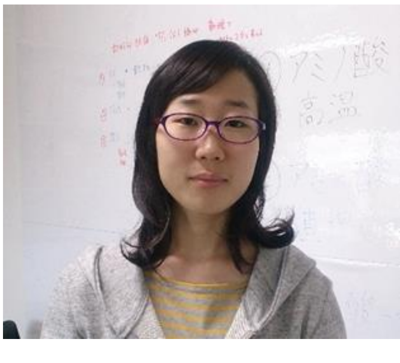
従来のカンラン石の変形実験のほとんどは、技術的な制約から、実際の上部マントルよりも大幅に低い圧力条件下（0.3 GPa 以下）において行われてきました。そのために、カンラン石の流動特性における圧力効果が見過ごされてきました。しかし近年、D-DIA 型変形装置が開発されたこと（Wang et al., 2003）ことに加え、GRC の研究グループにおける技術開発の結果（Nishiyama et al., 2008; Kawazoe et al., 2010)、上部マントル～マントル遷移層中部（深さ 30-500 km）条件での定量的な変形実験が可能となってきました。本研究では、大型放射光施設 SPring-8 の高温高圧ビームライン（BL04B1）において、地球の上部マントル浅部～中部（深さ 60－200 km）に相当する温度圧力条件下でカンラン石多結晶体の変形実験を D-DIA 型変形装置を用いて行いました。実験結果より、カンラン石多結晶体の流動強度は粒径依存性がある「転位移動律速型粒界すべり」によって支配されていることが明らかとなりました。さらに、この変形メカニズムにおいては、カンラン石の流動強度の圧力依存性が大幅に低いことも明らかとなりました。このことは、粒界すべり理論に基づいた上部マントルの粘性は深さが変化してもあまり変化しないことを意味します。一方、転位クリープの場合では、上部マントルの粘性は深さとともに大きく増加します。地球物理学的な観測結果から推定される上部マントルの粘性は深さに依存せずほぼ一定であることが知られています。この観測結果と本研究により推定される上部マントルの粘性の深さ依存性は非常によい一致を示しています。このことは、上部マントルの流動が「転位移動律速型粒界すべり」によって支配されているとする本研究の正当性を裏付けているものと考えられます。

粒界すべりは、鉱物の流動を表現する上での最も新しい理論モデルであり、転位クリープ及び拡散クリープの二つの主要なモデルと比べると、その重要性は地球内部では非常に限定的であると考えられてきました。それにもかかわらず今回の研究では、「転位移動律速型粒界すべり」が上部マントルにおいて最も支配的な流動メカニズムであることを証明しました。すなわち、今回の発見は非常に予想外の結果であり、45 年続いてきた定説が覆されたことを意味します。今後、マントルの流動に伴う地球の進化を正しく理解する上でも、これまでの地球進化シミュレーションの結果を本研究の結果である「転位移動律速型粒界すべり」に基づいて見直す必要があります。（大内智博）



共同利用・共同研究拠点（PRIUS）

❖ PRIUS 利用者の声



私は高圧下におけるアミノ酸の化学反応を研究しています。これまで衝撃圧縮や静的な高温高圧実験などからアミノ酸のオリゴマー化（重合）反応が報告されていますが、私は高圧下で（つまりは低温高圧条件で）アミノ酸にどのような化学反応が起こるのかを調べています。具体的には、最も基本的なアミノ酸の一つであるアラニンを出発試料として高圧実験を行い、回収試料を誘導体化したのち GC-MS を用いて、微量に生成する反応生成物の定性･定量分析を行っています。既に焼結ダイヤモンド製の対向アンビルを用いた室温下での加圧実験で 11 GPa までの圧力でサンプルの回収に成功しており、反応生成物として二量体、三量体の存在を確認しました。

PRIUS での共同実験の目的は、十分な試料体積を保持して、より高い圧力で高圧回収実験を行うことです。大型プレス ORANGE-3000 を使わせていただき、WC 製マルチアンビルを用いて 23 GPa の圧力をサンプルにかけることができました。現在、回収したサンプルの分析を行っています。

GRC に到着して驚いたことは、広い実験室に多くの大型プレスが存在していることです。今回は

使用しませんでしたが、BOTCHAN をはじめ、多くの実験･分析設備を見学させていただきました。部屋に大きなプレス機がある様子はとても迫力があり、ここでヒメダイヤが合成されるのと感慨深いものがありました。滞在中､少々空き時間があり、愛媛大学ミュージアムを見学しました。そこには種々の鉱物や化石が展示されていましたが、GRC の研究成果が大々的に取り上げられたブースがありました。DAC やヒメダイヤが展示されており、興味深く見学することができました。

今回の滞在では井上先生にとてもお世話になりました(昼休みに足を伸ばして大学周辺の案内もしていただきました)。ありがとうございました。来年度は博士課程に進学する予定でおりますので、今後ともよろしくお願いいたします。（東京大学大学院（鍵研究室）M2 藤本千賀子）

WPIサテライト拠点（ELSI-ES）

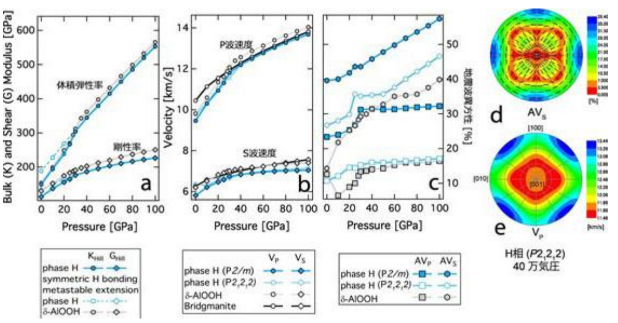
❖ 含水鉱物Ｈ相の弾性的性質を解明

GRC の土屋旬准教授（ELSI 兼任）は，コーネル大学の Mainak Mookherjee 博士との国際共同研究で，地球深部への水の運搬を担っていると考えられる鉱物の詳細な性質を理論的に明らかにしました。

地表付近に大量に存在する水の一部は，プレートの沈み込みに伴って地球深部のマントル（深さ 30-2900 キロメートル）へ含水鉱物としてもたらされます。2013 年，土屋旬准教授はプレートにより運ばれた含水鉱物が下部マントル付近において新たな含水鉱物(H 相)へと変化するという理論予測を発表しました。この理論予測を受けて 2014 年，GRC の実験グループは H 相の存在を超高圧実験により確認しました。この一連の発見をもとに，各国の研究者により H 相の研究がなされています。

本研究は,H 相の詳細な結晶構造や,H 相の存在を観測で調べるために必要な弾性的性質について，第一原理計算と呼ばれる理論計算手法により明らかにしたものです。

H 相はマントルと核の境界付近の深さ 2900 キロメートルまで水を運ぶ可能性を持っています。水の存在は岩石の溶ける温度を下げるため，マントル最下部でのマグマの発生を引き起こし，これによりマントル最下部に観測される超低速度層や，この付近に起源を持つマントル上昇流(プルーム)などの原因になる可能性があります。また，地球中心核の主要物質である溶融鉄への溶け込みなど，地球深部の物質や運動（ダイナミクス）の解明において,重要な影響を及ぼすものと考えられます。今回決定された H 相の弾性的性質は，このような地球深部の水の循環経路を調べるうえで非常に重要な情報と言えます。



本研究は,イギリス Nature 出版のオンライン総合科学誌 Scientific Reports の 2015 年 10 月 23 日（金）版にて発表されました。

❖ ELSI・新学術共催ワークショップ “The Earth's Mantle and Core: Structure, Composition, Evolution”開催

2015 年 11 月 4～7 日に道後プリンスホテルにおいて、地球生命研究所（ELSI）と科学研究費補助金新学術領域研究｢核-マントルの相互作用と共進化 ～統合的地球深部科学の創成～｣の共催のワークショップが開催され､国内外の研究者 80 名あまり（内、海外から 15 名）が参加しました。ワークショップでは、入舩センター長と George Helffrich ELSI 教授の挨拶に続き、Anat Shahar カーネギー地球物理研究所研究員をはじめ、Ronald Cohen 同研究所研究員、Brian Kennett オーストラリア国立大学教授、Craig Bina ノースウェスタン大学教授、Stephen Dye ハワイ大学・ハワイパシフィック大学教授など（基調講演者を発表順に並べました）11 件の基調・招待講演がおこなわれました。また、ワークショップの締めくくりとして、John Hernlund ELSI 教授による総合討論の後、土屋卓久教授による結びの挨拶がおこわれました。

編集後記：いつの間にか 12 月。寒さに加えて卒論・修論等も控え、血圧上昇の季節となってしまいました。（T.I & Y.M.）