GRC News Letter 2012. 5.10 No.33

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:
  - 新任教員・研究員の着任・採用予定
  - 若手研究者の国内外への異動
  - 吉林大学との学術交流協定
  - グローバル COE 若手研究者成果報告会
  - 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
- 海外出張報告
- インターンシップ報告
- 最新の研究紹介
- センター機器紹介⑲⑳
- 特別推進研究ニュース No.9

センター長あいさつ

入船　徹男

グローバル COE も最終年度を迎え、GRC の国際的知名度もかなり上がっているように感じます。今年度の博士課程学生募集においても、中国やドイツなど海外からの応募や問い合わせが数件きています。現在では GRC の博士課程学生の半数近くが外国人であり、また年間数名の大学院生を、長期滞在インターンシップとして受け入れています。後者に関しては、今年もすでにノースウエスタン大学、モスクワ州立大学、北京大学など世界トップレベルの大学から、それぞれ数か月程度の大学院生の受け入れが決まっています。

これらの長期インターンシップ学生の旅費・滞在費は、原則的にすべて先方負担です。あえてこちらから募集をかけたりお金を出したりしなくても、学生の派遣を希望する国外の研究者が増えていることは、GRC における研究・教育・環境の国際化や高度化の表れともいえます。GRC 教員やリサーチアドミニストレーターとラボマネージャー、また本学および GRC 事務の国際化への積極的対応に感謝したいと思います。

このように年々増加している海外からの学生の名前をどう呼ぶか、また自分をどう呼んでもらうかは悩ましいところです。欧米からの学生は、習慣上互いにファーストネームで呼び合っても違和感がありません。しかし、中国などアジアの学生は、そのような習慣があまりないとともに、目上の人に敬意を表する儒教的・仏教的バックグラウンドも強く、そう簡単ではありません。基本的に学生に任せていますが、sensei と呼ぶことが多いようです。私が彼らを呼ぶときは、ファーストネームを使うようにしていますが、女子学生にはつい san をつけてしまいます。

これは日本人の間でも悩ましい問題です。「先生」、「さん」、「君」のいずれを使うかにより、それぞれの意識が垣間見えます。私は学生も含め、「先生」でも「さん」でも好きなように呼んでもらっています。さすがに学生から「君」で呼ばれたことはありませんが、年齢が多少上でも同僚から「君」で呼ばれれば、少しムカつくかもしれません。

私は自分の（男子）学生には「君」を使います。外国人学生には「君」をつけないので、ダブルスタンダードのそしりは免れないかもしれません。一方、若手も含め、研究者に対しては、できるだけ「さん」で呼ぶことにしています。現代語の「君」は目下の人に使うのが一般的であり、若手とはいえ独立した研究者に対しては、「さん」でよぶのが好ましいと思っています（これには異論があるかもしれませんが）。自分の学生に対しても、学位をとった人に対しては基本的に「さん」で呼びます。突然の呼称変更ですから、意識しないと難しいですが、独立して欲しいという願望も込めて、あえてこう呼ぶようにしています。

目上の同僚をどう呼ぶかも、難しい問題です。上記のように、おなじ研究者だからみんな「先生」ではなく「さん」と呼ぶべきだとする主張もあります。私もこの考えに賛成で、初対面の人や他分野の人、あるいは「雲の上の存在」（これには２つの意味がありますが）以外は、なるべく「先生」と呼ぶのは避けるようにしています。一方で、このような研究者平等論を強く唱える人も、自分より若手や後輩を「君」と呼ぶことが多いのは、大変興味深い現象と感じています。

センターの構成

（H24.5.1現在）

❖ 超高圧合成部門

入舩徹男（教　授）
大藤弘明（准教授）（H24.4.1～）
丹下慶範（助　教）
公募予定（助　教）
川添貴章（COE助教）
Steeve Gréaux（COE助教）（H24.5.1～）
大内智博（COE助教）（H24.5.1～）
西　真之（学振特別研究員）
秦　家千（学振外国人特別研究員）

❖ 数値計算部門

土屋卓久（教　授）
亀山真典（准教授）
Nico de Koker（助　教）
Arnaud Metsue（COE助教）
市川浩樹（COE助教）（H24.5.1～）
王　賢龍（COE研究員）（H24.4.1～）

❖ 物性測定部門

井上　徹（教　授）
松影香子（准教授(COE)）
木村正樹（助　教）
着任予定（助　教）
山田明寛（COE助教）（H24.5.1～）

❖ 量子ビーム応用部門

平井寿子（教授(COE)）
八木健彦（特命教授）（H24.4.1～）
桑山靖弘（助　教）
木村友亮（COE研究員）

❖ 上級研究員センター（連携部門）

土屋　旬（上級研究員（GRC関連））
西原　遊（上級研究員（GRC関連））
出倉春彦（研究員（GRC関連））
募集中　（研究員（GRC関連））

❖ 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（技術員）
河田重栄（技術補佐員）

❖ 客員部門

客員教授　藤野清志（H24.4.1～）
客員教授　角谷　均（住友電気工業（株）産業素材材料技術研究所主幹）
客員教授　YanbinWang（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　BaoshengLi（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）
客員准教授　舟越賢一（JASRI利用促進部門副主幹研究員）

❖ GRC研究員

川嵜智佑（理工学研究科教授）
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）
八木秀次（理工学研究科准教授）
豊田洋通（理工学研究科准教授）
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）
中江隆博（理工学研究科助教）
佐野　栄（教育学部教授）

❖ GRC客員研究員

遊佐　斉（物質・材料研究機構物質ラボ主幹研究員）
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（静岡大学理学部准教授）

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）産業素材材料技術研究所主幹）
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）
本田理恵（高知大学教育研究部准教授）
田島文子（ミュンヘン大学客員教授）
Fabrice Brunet（CNRS研究員）
Jennifer Kung（台湾国立成功大学地球科学研究所准教授）

❖　事務

研究拠点事務課（3F）
藤村　宗　（課長）
日野真成　（副課長）（H24.4.1～）
外山廣子　（再雇用事務補佐員）
加藤智恵子（事務補佐員）
田中規志　（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）

NEWS＆EVENTS

❖　新任教員・研究員の着任・採用予定

4 月 1 日付で、本年 3 月に東大物性研を退職された八木健彦東大名誉教授が、愛媛大学特命教授として GRC に着任されました。八木教授は特にダイヤモンドアンビル装置を用いた高圧地球科学・物性科学がご専門で、フンボルト賞、ブリッジマン賞など国内外の賞を受賞されるとともに、日本高圧力学会会長としても活躍されてきました。当面は本年度 1 年の予定で、GRC の若手育成や代表者として推進している新学術領域研究「高圧中性子科学」の研究に携わっていただきます。また、昨年度までグローバル COE 教員としてご貢献いただいた藤野清志教授を GRC 客員教授として、また数値計算部門の COE 研究員として、Xianlong Wang 氏（前東工大研究員）を、それぞれ 1 年の予定で GRC に迎えました。尚、8 月 1 日付で、境毅氏（現東北大助教）が GRC 実験系助教として着任予定であるとともに、もう 1 名の GRC 実験系助教の公募を近く開始する予定です。

❖　若手研究者の国内外への異動

グローバル COE も最終年に近づいた平成 24 年初頭から、GRC の若手教員・研究者が国内外に次々と新たな活躍の場を見出しています。1 月には町田真一 COE 助教がカーネギー研究所研究員として、オークリッジの中性子実験施設に赴任しました。4 月には西山宣正 GRC 准教授がハンブルクのドイツ放射光研究施設（DESY）の PETRA-III における新しい高圧ビームライン建設責任者就任。また、COE 研究員の Li Lei 氏が、中国四川大学原子分子物理学研究所准教授として採用されました。同時に臼井佑介 COE 研究員が、出光オイルアンドガス開発（株）に技術職として就職するとともに、3 月に学位を取得した篠崎彩子氏が、東大理学部で博士研究員として採用されました。このように、GRC の若手研究者が、国外の研究機関や企業も含め、新しい職場を積極的に見出していることは、一面寂しくはありますが、グローバルな視点での活躍が期待されている証でもあります。

❖　吉林大学との学術交流協定

中国東北部長春にある吉林大学（Jilin University）は、中国でも有数の大学ですが、高圧物理および高圧化学関連の国家重点研究所を有する、高圧科学分野でもトップクラスの大学です。このたび愛媛大学と同大学との間で大学間学術交流協定が結ばれ、愛媛大学から柳沢学長や理事・副学長をはじめ、9 名の訪問団が 2012 年 5 月 4 日に同大学を訪れ、調印式をおこないました。調印式の後には入舩センター長が特別講演をおこない、上記両研究所の研究者・学生をはじめ多くの参加者がありました。同大学の化学系研究所所長の Liu 教授は、GRC が中心として立ち上げたアジアにおける超高圧地球科学・物質科学の連携拠点（TANDEM）の同大学の代表者です。また、物理系研究所所長の Cui 教授は、入舩センター長が会長を務める国際高圧力学会（AIRAPT）の中国を代表する評議員であり、アジア地区および国際的な連携活

動についても話合いがもたれました。

❖ グローバル COE 若手研究者成果報告会

2012 年 3 月 15 日（木）に、GRC を中核とするグローバル COE 拠点「地球深部物質学」の若手研究者（博士課程学生・COE 研究員・COE 助教）の成果報告会を行ないました。報告会は毎年度末に行なっており、1 年の成果及び次年度の研究計画について推進委員による評価を行ないました。平成 24 年度で終了の本プログラムでは最後の若手成果報告会のため、多くの若手研究者から最先端の研究成果が披露され、総じて高い評価がなされました。尚、最終年度の本年度は、3 月にアジアにおける連携組織(TANDEM)や、GRC と部局間学術協定を締結している 8 つの国際的研究機関を中心に、国際シンポジウムを開催する予定で、若手研究成果発表や拠点の最終的成果の取りまとめ、GRC の今後の方向についても討論が行われる予定です。

❖ 国際フロンティアセミナー

第43回
“Synthesis of Aluminum- and Iron-Rich Post-Perovskite and their implications to the D” layer”
講演者：Prof. Sean R. Shieh (Dept. Earth Sciences and Dept. Physics and Astronomy, Univ. Western Ontario)
日　時：2012年5月28日（月）16：30－18：00

ジオダイナミクスセミナー

❖ 今後の予定（詳細はHPをご参照下さい）

５月

5/11 “Superplasticity of fluid-bearing dunite: implications for the initiation of the subduction”
Dr. Tomohiro Ohuchi (Global COE Research Fellow, GRC)

“Phase relations and melt compositions in hydrous pyrolite system”
Cuiping Yang (Ph.D. student, Ehime University)

６月

6/1 “The structure of the Earth's core”
Dr. Yasuhiro Kuwayama (Assistant Professor, GRC)

6/8 “Lattice thermal conductivity of $MgSiO_3$ perovskite and postperovskite at the core-mantle boundary”
Dr. Haruhiko Dekura (Senior Research Fellow Center, Postdoctral Fellow, GRC)
“Numerical investigations of effects of spatial variations in physical properties on the mantle convection patterns”
Arata Miyauchi (Ph.D. student, Ehime University)

6/15 “Grain boundary diffusion in Mg-perovskite reaction rims”
Dr. Masayuki Nishi (JSPS Postdoctral Fellow, GRC)

6/29 “P-V-T EOS of Mg perovskite and liquid Fe: Toward refining thermal/chemical models of the Earth”
Dr. Yoshinori Tange (Assistant Professor, GRC)

７月

7/6 “Development of 6-6 type compression for the high pressure neutron diffraction”
Dr. Akihiro Yamada (Global COE Research Fellow, GRC)

“Experimental investigation on hydrogen-free carbon nitride”
Yohei Kojima (Ph.D. student, Ehime Unversity)

7/13 “Onset of thermal convection in a highly compressible fluid with strongly temperature-dependent viscosity”
Dr. Masanori Kameyama (Associate Professor, GRC)

7/20 (Special Seminar)
Dr. Takaya Nagai (Professor, Graduate School of Science, Hokkaido University)

7/27 “Low temperature and high pressure properties of gas hydrates”
Dr. Hisako Hirai (Global COE Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第321回 “Viscosity contrast between majorite and ringwoodite”
Dr. Yu Nishihara (Senior Research Fellow, Senior Research Fellow Center, GRC)　2 March 2012

第322回 “Measurements of elastic velocities and elastic constants of nano polycrystalline diamonds with pulse and resonance methods under fluid pressure”
Dr. Masaki Kimura (Assistant Professor,

GRC)　　9 March 2012

第323回 “Element stragegy, Nano-polycrystalline stishovite, and DESY”
Dr. Norimasa Nishiyama (Associate Professor, GRC)
“Synthesis of high-quality sintered bodies of polycrystalline minerals at high pressure: Let's make poly-gems”
Dr. Irifune Tetsuo (Professor & Director, GRC)　　16 March 2012

第324回 “First principles studies on the hydrous wadsleyite and hydrous ringwoodite”
Dr. Jun Tsuchiya (Senior Research Fellow, Senior Research Fellow Center, GRC)　　23 March 2012

第325回 “Melting the deep mantle – magma oceans and ultra-low velocity zones”
Dr. Nico de Koker (Assistant Professor, GRC)　　13 April 2012

第326回 “Development of the high-pressure X-ray diffraction experiments and the study of the Earth's deep interior”
Dr. Takehiko Yagi (Distinguished Professor, GRC)　　20 April 2012

第327回 “Water Weakening of wadsleyite : Implication for viscosity at 410-500 km Depth”
Dr. Takaaki Kawazoe (Global COE Research Fellow, GRC)
“Equation of state and ultrasonic measurement of $MgSiO_3$ akimotoite”
Chunyin Zhou (Ph.D. student, Ehime University)　　27 April 2012

新人紹介

八木　健彦
(特命教授)

大学院生時代を含めると計 37 年間在籍した東大物性研究所をこの 3 月で定年退職し、4 月から特命教授として GRC にお世話になることになりました。高圧地球科学分野で文句なく世界の Center of Excellence のひとつとして躍進を続ける GRC に、スタッフメンバーとして参加できることになったことを大変うれしく思っています。また新たな気持ちで、微力ですが GRC のさらなる発展に尽くせればと思っています。

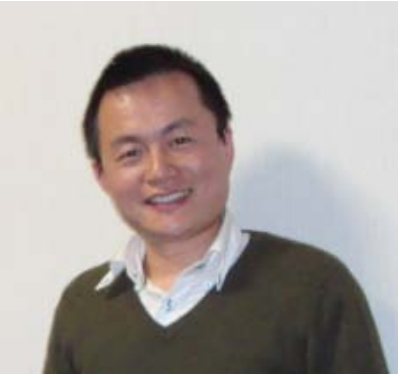
私自身は大学院時代から長年、高圧下の X 線実験技術の開発とそれを用いた地球深部の研究を進めてきました。私が実験を始めた頃は 5GPa 程度が上限だった高温高圧 X 線その場観察実験の圧力領域も、その後のダイヤモンドアンビルやシンクロトロン放射光の発達と相まって急速な拡大を遂げ、今や地球中心部に対応する 360GPa 領域でも高精度の実験が可能になりました。しかし X 線実験は、地球深部を構成する物質の結晶構造や状態方程式といったもっとも基本的な情報は与えてくれるものの、それだけでは地球深部の理解には不十分で、まだまだやるべきことは山のようにあります。そのひとつが X 線では見ることが困難な、高圧鉱物やマグマ中の水（水素）に関する原子レベルでの情報を集めることです。そのために、私が領域代表者を務めている科研費新学術領域研究「高圧中性子地球科学」を、来年の期間終了までに良い形でまとめ上げることがまずは重要なことだと思っています。茨城県東海村の新しいパルス中性子実験施設 J-PARC にこの研究計画で建設中の高圧実験専用ビームライン PLANET では、GRC で開発された 6-6 型のアセンブリーを用いた 6 軸プレスが使われることになっています。また、中性子実験の結果はそれだけで研究としてまとめることはしばしば難しく、X 線や他の手法による観測結果と合わせて理解を進めることも重要です。GRC の優れたスタッフや装置の特徴を生かして、いろいろな方に協力をお願いできればと思っています。建設中の PLANET は高温高圧下の中性子実験で新しい領域を拓くユニークな装置として多方面からその完成が期待されており、うまく使いこなしていけば必ずや国際的にもトップクラスの成果を挙げられるようになると思います。

GRC はここしばらく、マルチアンビル型超高圧発生装置を用いた研究と、理論計算による研究で世界をリードする成果を挙げてきています。しかし近年ダイヤモンドアンビルグループのメンバーが増え、実験設備も非常に充実してきました。またダイヤモンドアンビルの試料の解析に威力を発揮する電子顕微鏡グループも大変強力ですので、これらの各グループがうまく連携を深めていけば、他にはまねのできない大変ユニークな研究を展開することが可能になると思います。私自身今までこれらさまざまな分野での研究も進めてきましたので、その経験や知識を生かしながら、連携のお手伝いができればと考えています。

またGRCはその名前にもあるように基本的には地球科学の研究所ですが、近年は高圧物質科学の分野でもめざましい成果を挙げています。地球科学に限定すると研究対象となる物質系は限られてしまいますが、物質科学となると対象はほぼ無限にありますので、今まで全く予測もしなかったような新しい物質を作りあげたりすることも可能でしょう。科学の本当の面白さは、そのような予期せぬ結果を見いだすことにあると思います。

私自身今まで世界中のさまざまな研究グループの様子を見る機会に恵まれましたが、GRC 程度の規模でこれほど装置が充実しているところはほとんど見当たりません。またスタッフの平均年齢も若く、この先の活躍が楽しみな人材も多く揃っています。このような恵まれた環境の中で研究できることをありがたく思うと共に、少しでもお役に立てればと思っていますので、どうぞよろしくお願い致します。

王　賢龍
(COE 研究員)



My name is Xianlong Wang (王 賢龍). I joined GRC as a GCOE postdoctoral fellow in the theoretical mineral physics group and worked with Prof. Tsuchiya on April 2012. My home town is Shandong province of China, and I got my PhD degree at the Institute of Solid States Physics (ISSP) of Chinese Academy of Sciences (CAS) on July 2008. The title of my thesis is "Investigations of diluted magnetic semiconductors by using first-principles method".

Since I really interested in not only scientific research of other countries but also their local cultures, I started my overseas research career in Wollongong University of Australia on February 2009. Compared with that of China, I was introduced to a totally different lifestyle with European features and became excited for this since it was a good chance for me to enjoy European-like daily life and to train my English. There I focused on the cathode materials of lithium battery about eight months and try to design much more efficient one by theoretical simulation.

Then, I was fortunate enough to get the opportunity to work with Prof. Terakura at Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST). Therefore, I moved to Japan with amazing culture and very well organized society, all of which attracted me. I continued working on the materials related to renewable and clean energies and took part in the project of Carbon Alloy Catalyst at the cathode of Fuel Cell with Prof. Terakura who was the leader of theoretical group in that project. Through theoretical simulations, we made an effort to find out potential active sites in Pt-free carbon alloy catalyst and tried to enhance the stability of these active sites. Furthermore, in order to identify the active sites in real samples and to understand the spectral results of experimental groups, the theoretical simulations of XAS, XES, XPS and NMR spectra were also done. During last two years, I worked with Prof. Terakura at Tokyo Institute of Technology where we could directly discuss with experimental groups.

As I am a younger researcher and have already worked on the subject of energy materials for about three years, to enrich my experience and receive much more scientific training, at the end of last year, I prepared to change my subject to the properties of materials under high pressure which is my favorite one. I know that GRC is one of the top groups around the world in the field of high pressure, therefore, I send my CV to Prof. Tsuchiya to seek for an available position. I am lucky for that I can work with Prof. Tsuchiya and become a GRC member. Here, I am planning to do theoretical simulations on the spectra and phase-transition of minerals in the deep earth with the instruction of Prof. Tsuchiya. Surely, my experience at GRC is useful and helpful for my following research career. Matsuyama is a nice city with very clean sea and lots of small hills which are very nice places for hiking. Also my wife said that she enjoys her daily life very much here.

Since both my wife and me are new for GRC and Matsuyama, at the beginning we thought that it is a little difficult for us to make our daily life and my research on the track in short time such as housing and so on. However, with the kind help of GRC members, especially Fulong Wang, Natsuko Miyamoto, Megumi Yashiro, Haruhiko Dekura and Li Lei, we did it easily and

quickly. In the end, thanks to all of your help!

海外出張報告

❖ アリゾナ州立大での高分解能電子顕微鏡観察

2月25日～3月5日の間、高圧合成ダイヤモンドの高分解能電顕観察のため、米アリゾナ州立大学（ASU）を訪問しました。アリゾナ州は、大部分がサボテンの自生する岩砂漠で覆われ、年中乾燥した気候が特徴です。夏場の気温は 40℃を超え、日差しも大変厳しいようですが、冬場は温暖少雨のため、避寒に最適の場所でした。アリゾナ州立大は、古くから地球科学や鉱物学の分野において、透過電子顕微鏡（TEM）を駆使した研究を推進していることで有名で、Prof. Peter Buseck や Prof. Thomas Sharp など、著名な“電顕屋”がいることでも知られています。カーボンナノチューブの発見者でノーベル賞候補者としても名高い飯島澄男氏も、ASU でのポスドク時代に Buseck 氏と一緒に、斜方輝石の高分解能電顕観察で重要な仕事をされています。

そのような電顕ラボのメッカを訪れることができたのは、昨夏 GRC に短期滞在したハンガリー人の Dr. Peter Nemeth のおかげでした。彼とは、2010年のハンガリーでの国際鉱物学会議（IMA）の際に知り合い、共同研究を進めてきましたが、彼がポスドク時代に修行した場所が ASU の Buseck 氏のラボでした。ハンガリーで職を持つ Peter（Nemeth 氏の方です）ですが、EU からの支援によって再び ASU で 1.5 年間研究を進める機会を得ました。彼の渡米に合わせて私も渡航し、私が持ち込んだ DAC やマルチアンビルで合成したダイヤモンド試料の高分解能像観察を ASU で一緒に行いました。

ASU には、最近、LeRoy Eyring Center for Solid State Science（冒頭二語は人名）という統合型の電顕分析センター（センター長は Sharp 氏）が設立され、2 か所に集結させた 20 台近い電顕を学内外に広く開放しています（有料ですが）。その中で私は、日本電子製の ARM-200F というレンズの球面収差をなくした分解能 0.08 nm を誇る最新機器と、加速電圧 400 kV（一般的な TEM は 200 kV）の同社製 4000F という高分解能電顕を使用してきました。最新の ARM 機は、もはや TEM というよりは近未来のハイテク機器といった様相で（図 1）、自然光様に調光された明るい室内で、高性能 CCD カメラから大型液晶 3 面へ出力された像を見ながら、操作・観察を行いました（従来の電顕観察は，暗室で蛍光板との睨めっこでした）。「これがスタンダードになる日がいつか来るのだろうか... ？」と思わず問いたくなるような、あまりにも異次元の世界でした。ただ、観察の結果、私の試料に関しては諸々の理由より ARM 機はあまり向かないことが分かりました。一方、4000F を用いた観察では、素晴らしい成果が挙がりました。電子線の波長は、加速度の大きさ（加速電圧）に反比例するため、4000F ではより高い分解能と（散乱波の）透過性、干渉性が得られます。実際、GRC の 200kV の TEM では詳細な観察が難しかった約 0.2 nm のダイヤモンドの格子面も手に取るように解像され、グラファイトから六方晶ダイヤ、立方晶ダイヤへの相転移プロセスを原子積層レベルで考察することができました。この研究成果の詳細については、セミナーなどで別途ご紹介させていただきたいと思います。

よき相棒、Peter のおかげで、滞在中の二度の週末も有意義に過ごせました。彼も私も“地質屋”でもあるため、土日は郊外へ山登り（岩登り）に出かけ、先カンブリア時代の地層やそれらを貫く火成岩類の観察も楽しみました（図 2）。また最後の週末はグランドキャニオンまで足を延ばし、まだ雪が積もる峡谷の壮大な景色や、coesite や stishovite が最初に発見されたバリンジャー隕石孔など、貴重な自然の財産を目の当たりにしてきました。

わずか 2 週間弱の滞在でしたが、日常の慌ただしさから解放され、純粋に研究とレジャーの両方にひた向きに打ち込めた、たいへん有意義なリフレッシュトリップでした。（大藤弘明）

図 1

図 2

インターンシップ報告

❖ 共振法のインターンシップ

2012年3月8～10日の間、今年愛媛大学理学部地球科学科を定年退職された大野一郎先生による共振法のインターンシップが行われました。このインターンシップは共振法を用いて鉱物の弾性定数を決定する手法を学ぶことを目的としたものです。共振法は一定の形をしたサンプルを振動させ、その共振の振動数を測定することによって、サンプルの弾性定数を求めることができます。共振法の特徴として、数mm程度の小さい試料、また、数十～数百kHzオーダーの低い周波数で測定が可能、温度変化測定が比較的容易であることがあげられます。しかし、共振法は一般にサンプルを出来るだけ自由に振動させる必要があるため、これを高圧下で行うことは困難です。現在、日本では共振法を専門とした研究者は数少なくなってきており、超音波法を用いた弾性定数の決定が主流ですが、重要な測定方法である事には間違いありません。

インターンシップは8名と少人数で行われ、最初に共振法の概要、モードの同定と弾性定数の決定法についてのレクチャーを受けました。その後、愛媛大学工学部に設置されている装置を用いて実際に測定を行い、試料には弾性定数が予め既知の球体MgO単結晶を使用しました。数mmの大きさの良質な焼結体もしくは単結晶が必要であり、ピストンシリンダーやマルチアンビル装置などを用いて、高圧条件下で合成された良質な多結晶焼結体などを測定することも可能です。

共振法では合試料の形が重要であり、出来るだけ大きな試料を準備しておくことが必要です。GRCでは、世界最大の川井型高圧発生装置（BOTCHAN-6000）を用いて合成されたナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）の真球加工に成功しています。最近、真球ヒメダイヤの共振法を用いた弾性定数の精密決定も行われつつあります。共振法には一度に一つの周波数を入力するCW法と一度にたくさんの周波数を入力するFT法の二種類があり、インターンシップではFT法を用いました。サンプルを圧電振動子ではさみ、周波数を入力すると各共振周波数ピークが得られるため対応する振動モードを決定し、弾性定数を求めました。

共振法インターンシップでは、愛媛大学理学部地球科学科設立直後以来長きにわたって、地球内部物理学、岩石物性の第一線で活躍されてきた大野一郎先生と短期間ですが研究が出来たことは私の大きな財産となりました。私の研究テーマがマルチアンビル高圧発生装置を用いた多結晶焼結体の合成であるため、弾性定数を決定する際、学んだ技術を向上させるとともに、今後高圧合成試料の測定に応用していきたいと考えています。(有本岳史)

最新の研究紹介

❖ Sound velocities of Al-stishovite at high P and T

We investigate the pressure and temperature dependences of the elastic properties of minerals by using multi-anvil apparatus coupled with synchrotron X-ray diffraction and ultrasonic interferometry. This technique provides ways to constrain the structure and composition of the deep mantle by a direct comparison of laboratory data with the velocity profiles derived from seismological observations. Using this technique, we recently examinated the pressure and temperature dependences of the elastic properties of stishovite + 1 wt% Al_2O_3 up to 24 GPa and 1700 K.

Like continental crust, mid-oceanic ridge basalts and sediments are enriched in silicon. It has been suggested that subduction processes provide a way of enriching the mantle with silica. Previous studies have shown that stishovite has a relatively high-density compared to other constituent minerals of subducted slabs, and could generate chemical and density heterogeneities in the deep mantle. For this reason, numerous studies reported the physical properties of pure stishovite (see Andrault et al. 1998, and references therein). However, in the subduction context, stishovite is also proposed to host substantial amount of Al and water (Liu et al., 2006; Ono et al., 1998). Therefore Al-stishovite is believed to be a major mineral of mid-oceanic ridge basalts subducted to the mantle transition zone. The incorporation of even small amounts of Al and H_2O via its possible coupling with oxygen vacancies can influence the stability, density and compressibility of SiO_2 (e.g. Bolfan-Casanova et al., 2009; Lakshtanov et al., 2007).

Our preliminary data showed that the velocities of P- and S-waves are slower than pure stishovite for SiO_2 + 1wt% Al_2O_3. At room

P and T, the velocities of P-wave are 4% slower than pure stishovite whereas those of S-wave are about 1% smaller. Fitting of our data with a two-dimensional linear regression permitted to determine the thermoelastic parameters K_S and G, and their pressure and temperature dependences. Figure 1 shows a direct comparison of v_P and v_S of Al-stishovite to those derived from PREM model. Velocities of Al-stishovite are high compared to those of surrounding minerals, which suggests that unless abnormally high temperature gradients exist, stishovite cannot remain in the MTZ and is likely to sink in the lower mantle. On the other hand, increasing the Al-content of the stishovite will decrease its density and sound velocities. Thus, Al-enriched stishovite could be an important constituent mineral of subducted slabs remaining buoyant at the bottom of the MTZ. (Steeve Gréaux)

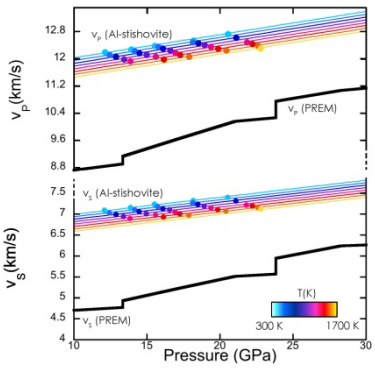


Figure 1. P- and S-wave velocities for Al-stishovite as a function of P for different T. For comparison, the velocities derived from the PREM model are indicated with black lines.

❖ Thermal equation of state of $CaSiO_3$ perovskite up to 62 GPa and 1900 K

Mineral thermodynamic and thermoelastic properties constraints on the composition of the Earth's lower mantle rely on knowledge of thermal equations of state of candidate minerals. $CaSiO_3$ perovskite (Ca-Pv) starts to appear at the Earth's mantle transition zone with garnet disappearance. And then it can persist stably deep into the lowermost mantle. According to the recent phase equilibrium results, Ca-Pv occupies up to ~9 vol% in a pyrolite mantle and up to ~24 vol% in a MORB composition. The Ca content anomaly between the subducted slab (MORB) and surrounding mantle (pyrolite) can contribute to explain the negative correlation between the S-wave and the bulk sound velocities in the D″ layer, because Ca-Pv has a high S-wave and low bulk sound velocities compared to the $MgSiO_3$ perovskite (Komabayashi et al., 2009). Thus, its thermoelastic properties are substantial to interpret the mantle's heterogeneity and understand the structure and chemical evolutions of the Earth's mantle.

The P-V-T EOS and thermoelastic properties of $CaSiO_3$ have been investigated extensively by means of various experimental techniques. For instance, those for Ca-Pv studies up to 96 GPa and ~2400 K by LHDAC and up to 13 GPa and 1600 K by using a multi-anvil apparatus (MA). A Large temperature uncertainties in LHDAC result in the uncertainties of thermoelastic properties determined by DAC. In addition, the pressure range is very limited by using MA. Therefore, large extrapolating operations have been required to calculate the thermoelastic properties of Ca-Pv in the lower mantle conditions.

Here we report a result of P-V-T measurements of Ca-Pv and the resultant P-V-T EOS and high-pressure thermoelastic properties at 20-62 GPa and 300-1900 K by using a sintered-diamond multi-anvil apparatus and synchrotron radiations, which are applicable to interpret seismic observations in the lower mantle. P-V-T equations of state of $CaSiO_3$ were precisely determined on the basis of Mie-Grüneisen-Debye model with Morse-Rydberg (Vinet) and third-order Birch-Murnaghan equations for reference isotherms. By using the parameters constained in the present study, the new equation of state of $CaSiO_3$ gives the thermoelastic properties such as density and adiabatic bulk modulus (see Figure 1) with no

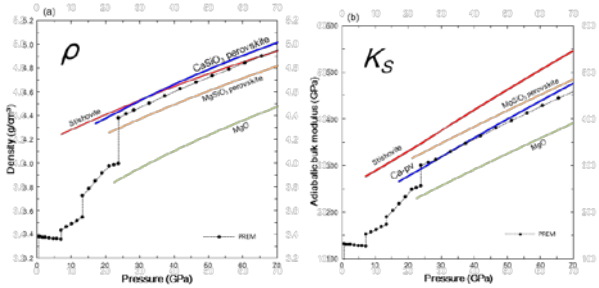


Figure 1 .Density ρ (a) and adiabatic bulk modulus K_S (b) of $CaSiO_3$ perovskite compared with PREM (Dziewonski and Anderson, 1981). These properties are calculated along a geotherm (Brown and Shankland, 1981). ρ, and K_S of stishovite (Wang et al., submitted), MgO (Tange et al., 2009a), and $MgSiO_3$ perovskite (Tange et al., 2012) are also shown for comparison.

extrapolating operation to mid-lower mantle conditions. Because of our more precise experimental data comparing with previous measurements by DAC, current equation of state of $CaSiO_3$ perovskite provides a tighter constraint on the pressure thermal expansivity and dimensionless parameter *b*. These in situ determined equations of state and thermoelastic properties of $CaSiO_3$ perovskite up to mid-lower mantle conditions are important to discuss the physical properties, evolution of the lower mantle, and the mantle anisotropy. (Fulong Wang)

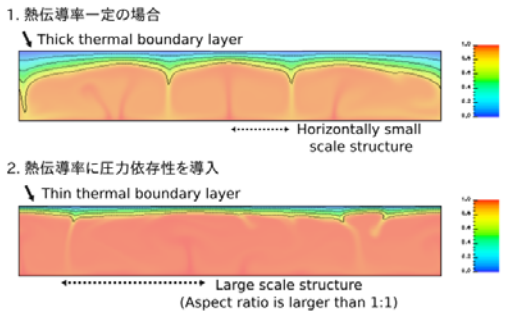
❖ 物性変化を伴うマントル対流シミュレーション～マントル物性の変化が対流様式に与える影響～

高温高圧実験や第一原理計算等の最近の進歩の結果、地球型惑星を構成する鉱物の微視的な性質が広範かつ詳細に調べられている。こうした性質は、地震学などから得られる地球内部の「静的」な構造の理解に有用であるのはもちろん、地球型惑星のマントルの対流・流動という「動的」な構造の成因やその発達過程にも大きく影響を与えていると考えられる。本研究では、マントルの構成鉱物の物性値とその空間変化がマントル内部の流れ構造にどのような影響を与えているかを数値流体力学の立場から研究している。

マントルの数値流体力学の先行研究では、その多くがマントル物質の粘性率とその温度依存性に注目してきた。これによると、粘性率に強い温度依存性が存在する場合には、「スタグナント・リッド（ST）型」と呼ばれる様式で対流が起こる。このST型対流では、地球型惑星のリソスフェアを思わせる「固い蓋」が低温の表面付近に形成される。しかしその反面、「蓋」の深部では横幅の小さいセルで対流が起こり、地球型惑星のマントルで観察される大規模な水平構造は発達しないという問題点が残る。一方で、マントル構成物質の熱伝導率・熱膨張率の圧力依存性は、近年の実験的・理論的研究によって精密に推定されるようになってきたものの、マントル内部で期待される変化量が粘性率と比べて圧倒的に小さいことなどから、過去の数値流体力学研究ではほとんど注目されなかった。そこで本研究では、粘性率の強い温度依存性に加えて、熱伝導率・熱膨張率の圧力依存性を導入した流体モデルを構築し、それらの影響を理解するための数値流体力学シミュレーションを行った。

本研究ではまず、線形化された数値流体力学の基礎方程式を用いて、各物性値の空間変化がある場合に熱対流の臨界状態がどう変化するのかを調べた。その結果、熱伝導率・熱膨張率の圧力依存性を導入することで、ST型対流の水平構造が長波長化することが確認された。この長波長化の効果は熱伝導率の空間変化を導入した場合に顕著であり、ある場合には水平波長が1.4倍以上にまで増大した。この結果は、粘性率の温度依存性に熱伝導率の空間変化が加わることで、「固い蓋」と深部の大規模水平構造という2つの特徴が同時に再現できる可能性を示唆する。なお筆者が現在実施している、同じ流体モデルを適用した予備的な二次元の数値流体力学シミュレーションでも、同程度あるいはそれ以上の長波長化が予想されている。

本研究の結果は、マントル構成物質の物性値、とりわけ熱伝導率とその空間変化を見積もることが、マントル内部のダイナミクスの理解に重要であることを意味している。今後も継続して鉱物物理学的知見を流体モデルに導入し、マントルダイナミクスへの新たな示唆を得ていきたい。(宮内新)



レイリー数10^7、上下面の粘性率比が10^5における
マントル内部の温度場

✦ センター機器紹介⑲⑳ ✦

中性子カメラ

新学術研究領域「中性子地球科学」のプロジェクトとして、J-PARCに高圧ビームラインを建設しています。その中で、中性子イメージングを可能にすべく、中性子カメラの導入を計画し、検討を進めてきました。昨年末の12/22（木）に晴れて、PLANET ビームラインにこの中性子カメラが導入されました。ここで、この装置に関して簡単に紹介したいと思います。基本的には、入力面には濃縮ホウ素B-10を反応膜として用い、$^{10}B(n, \alpha)$反応で発生したα線でCsI蛍光体を発光させるシステムを採用しています（図）。この方式では、α線の飛程は約4μmであるため、従来用いられてき

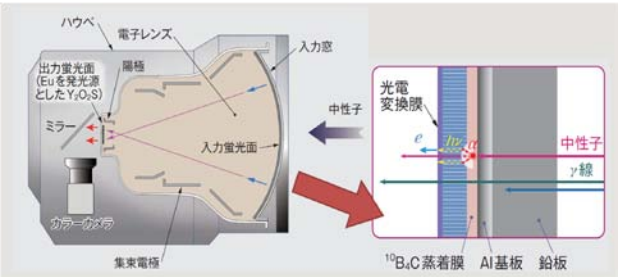


図　中性子カラーI.I.（I.I.:イメージインテンシファイア）の構造（左図）と入力蛍光面の断面構造（右図）。青い横縞の部分はCsI蛍光体である。

たGdタイプよりも高空間分解能で高精細なイメージングが可能とされています。（Gdタイプ とはGd(n,γ)反応でγ線と内部転換電子が放出され、その内部転換電子がCsI蛍光体を発光させるシステムで、その発光に寄与する内部転換電子の飛程は約20μmとされています。詳しくは、日塔光一：東芝レビュー，64，7，(2009)，pp.70.71.参照。）また、パルス中性子である特徴を生かすため、エネルギー選別した画像も収集できるようにブランキング機能を搭載した装置にしています。画像の空間分解能をできるだけよくするためには、カメラの入力面は高圧装置に可能な限り近づける必要があり、そのためには従来の装置よりコンパクトなものにする必要があります。尚、この B（ボロン）タイプを入力面に使用したタイプは国内外を見てもまだ数例しかなく、またこの装置にブランキング機能を搭載したものは世界初となります。また、超高圧発生装置と組み合わせて使用できるように工夫を施した装置は世界に例がありません。このカメラの導入により、大型超高圧発生装置を用いて実現された高温高圧条件下での各種試料の観察（イメージング）が可能となります。特に、中性子はX線では困難である試料中の水素や水のイメージングが得意であり、これらを含む試料のイメージングがターゲットとなります。また、もちろんこのカメラは小型プレスやプレスを用いない状態でのイメージングも可能です。さらに、試料を回転させることにより、このカメラを用いた試料の3次元トモグラフィー像（3次元分布像）の収集を可能にすることも考えています。特に小型プレスの1つであるパリエジンバラプレスを用いれば、高温高圧下での試料の3次元トモグラフィー像の収集も可能であり、その開発も進めて行く予定です。尚、本装置は新学術研究領域「中性子地球科学」（代表：八木健彦）の中の計画研究の1つであるマグマ班（代表：井上徹）の科研費により導入され、導入の際には（株）東芝及び（株）東芝電力検査サービスの方々には多大なご協力をいただきました。更に、本新学術領域研究の多くの方々のご協力により導入にこぎつけました。この場をお借りして、お礼を申し上げます。(井上徹)

❖ マシニングセンター

今春、理学部正門横の超高圧実験室（通称“プレス小屋”）に、主として世界最大のマルチアンビル装置BOTCHAN-6000で使用する実験パーツ(圧力媒体、断熱材等）作成を目的とした、マシニングセンター（キラ・コーポレーション社製 PCV-30）が導入されました。これまでは、メクトロン社製MTV-T310 というマシニングセンターで加工を行っていましたが、ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）の大型化、合成試料の大容量化等に伴う実験パーツの大型化、また、ヒメダイヤ等を用いた国内外の関連分野との共同研究の増加に対応する為、実験用パーツの生産性を向上する必要がありました。現在、装置の設置が完了し、試運転を始めた状況ですが、今後はマシニングセンター2台体制でパーツ加工量を増加していく予定です。

PCV-30は機械幅1250mmの省スペースタイプの小型マシニングセンターで、660mm（X 軸方向)×350mm（Y 軸方向）の作業テーブルが 500mm(X)×300mm(Y)×300mm(Z) の範囲で可動し、マルチアンビル装置用の実験パーツを作成するには十分な作業スペースを確保しています。主軸の最大回転速度は10000/minで、15本までの工具を収納出来る自動工具交換装置を備えています。軸加速度や送り速度、更に高性能サーボモータ駆動のダイレクト交換方式を採用した工具交換装置の高速化で、従来製品よりも生産性が 15%向上した仕様が本機の特徴です。装置の作業テーブル上に取り付けたバイスにセラミックスや金属等の加工材料を固定し、作成したプログラムに従って加工内容に見合った工具を呼び出し、荒取り加工、仕上げ加工、穴あけ等の高精度加工を施し、自動で希望形状に仕上げることが可能です。

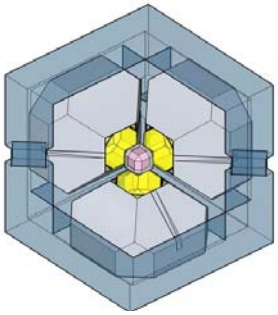
現在、BOTCHAN-6000では15万気圧の圧力で、一辺 25～38mm の分割型正八面体圧力媒体を用いて大型ヒメダイヤ（最大 1cm）の合成を行っており、15mm程度の圧力媒体で25万気圧程度の圧力発生を試みています。また、GRCは平成25年度を目標に全国共同利用・共同研究拠点化を目指しており、これら大型のマルチアンビル装置と圧力媒体を用い、ヒメダイヤだけでなく物性測定用の大型多結晶体や大容量を必要とするJ-PARC、新高圧地球科学ビームライン（PLANET）での中性子回折実験用試料の合成、材料科学等関連分野との共同研究の準備を進めていく予定です。また、本機の操作には専門的な知識・技術が必要で、河田重栄氏に技術補佐員として御尽力頂いております。この場をお借りしてお礼申し上げます。(新名亨)

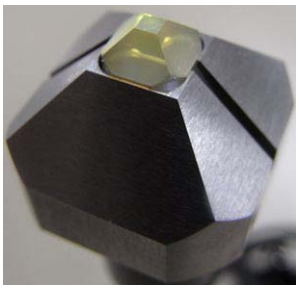
編集後記：今年の桜は綺麗でしたが、あっという間に散ってしまいました。いつの間にか藤の季節です。(T.I. & Y.M.)

特別推進研究ニュース No. 9

ヒメダイヤの MA6-6 への応用

GRC では、直径・長さともに 10 mm 程度の大型ヒメダイヤの合成が可能となり、マルチアンビル装置への応用がすすめられています。ヒメダイヤをアンビル材として用い、GRC では 6-8 加圧方式、また SPring-8 では 6-6 加圧方式による超高圧実験への応用が試みられています。後者では、昨年度から試料部構成の開発が本格的にすすめられ、圧力媒体やガスケットの素材、形状などの最適化が行われました。この結果、既に地球の下部マントル領域に対応する温度圧力の発生が可能となっています。ヒメダイヤは、アンビル材として一般的な超硬合金や焼結ダイヤモンドと異なり、高い透光性を有しています。本年度は、さらなる高圧発生技術の向上と共に、ヒメダイヤの高い透光性を活かし、高圧下にある試料の相転移の光学観察や、輻射光を利用した温度測定方法の開発を目指す予定です。

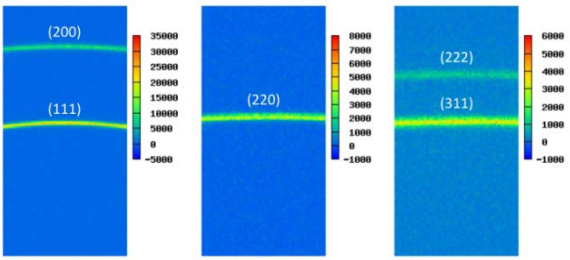




純鉄液体の状態方程式と各種物性

地球外核は主に溶けた液体の鉄から成ると考えられていますが、極めて高い温度圧力のためにその外核条件での性質は未だによくわかっていません。そこで独自に改良・開発を行った定温第一原理分子動力学計算法を用いて、液体鉄の状態方程式、融点、断熱温度勾配などの熱力学的性質、また P 波速度や粘性などといった物性の決定を行いました（状態方程式をモデル化する際に、これまでマントル鉱物に対して培ってきた手法に、金属である点及び液体である点の 2 点の要素を組み込むという拡張を行いました）。その結果、第一原理的に求められた断熱温度勾配が従来衝撃圧縮実験などから実験的に得られていたものときわめてよく一致すること、P 波速度は固体とは異なりほとんど温度によらず一定となることなどを明らかにすることに成功しました。そして従来から指摘されているように、液体純鉄の密度や P 波速度では実際の地球の値は全く再現できず、軽元素など何か他の元素をある程度溶かし込む必要があることも確認できました（これらの結果は現在国際的な専門誌に投稿中です）。今後外核に含まれていると考えられている不純物元素の効果も明らかにしていく計画で、これにより地球外核の熱化学特性の理解を進めていきたいと考えています。

「SACLA」における新しい試み



本研究分担者の丹下慶範助教を中心とする実験課題が、2012 年 3 月より供用が開始された SPring-8 の X 線自由電子レーザー施設（SACLA）の一般利用課題に採択され、大阪大学や理研の研究グループと共同で供用開始直後よりテスト実験が開始されました。SACLA が創り出す新しい光を用いると、100 フェムト秒（1 フェムト秒は 1000 兆分の 1 秒）以下の短時間で、物質の状態を超高速診断することが可能になります。本研究の最終年度にあたる本年度は、より超高圧下での新しい研究の展開を目指し、巨大地球型惑星（スーパーアース）内部の超高圧状態（数 100～1000 万気圧）を数ナノ秒（ナノ秒は 10 億分の 1 秒）というごく限られた時間再現し、これまで不可能だったテラパスカル領域でのその場観察にもチャレンジしています（図は約 10 フェムト秒の測定時間で得られた金の二次元 X 線回折パターン）。

下部マントル主要高圧相の状態方程式

本研究グループでは焼結ダイヤモンドアンビルを用いたマルチアンビル装置により、下部マントル深部領域における精密な高温高圧実験を可能にしました。この技術を用いて、下部マントルを構成する主要な高圧相である、$MgSiO_3$ および $CaSiO_3$ ペロブスカイト、MgO ペリクレス、SiO_2 スティショバイトなどについて、従来の KMA 実験（60 GPa・1500K 程度）のに比較して 2 倍程度の圧力領域にわたって、精密な状態方程式（密度 - 圧力 - 温度関係）を決定しました。これらの成果は一連の J. Geophys. Res. 論文として公表・印刷中であり、下部マントルの化学組成やダイナミクスを解明する上での重要なデータを提供しています。