

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:
  - GRC助教、上級研究員センター・学振PD着任
  - COE成果発表・中間外部評価会
  - 高圧中性子スプリングスクール in 愛媛
  - キャリアアップ公開講座
  - 第9回GRC国際レクチャー
  - 第35～36回GRC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
- ◆ 最新の研究紹介
- ◆ センター機器紹介⑩
- ◆ 特別推進研究ニュース No. 3

➡ センター長あいさつ ◀



入船 徹男

松山も暖冬と4月初めの寒さのせいか、今年の桜は長持ちし、3月後半から3週間以上楽しませてくれました。とはいえCOE中間評価のヒアリング書類作りに忙しく、GRC関連の花見には、一度だけしか(?)参加できなかったのが少し心残りです。

でも、今年は意外なところに素晴らしい一本桜があることを知りました。朝自宅から「山の辺の道」を、40分歩いて大学にくることが多いのですが、途中の「姫原」地区の山際に「比翼塚」とい

う旧跡があります。早起きのついでにちょっと寄り道して山の方に行ってみると、そこに咲く大木の桜は目が覚めるほど見事なものでした。

加えて、比翼塚のいわれがまた興味深いのです。5世紀初頭、第19代允堯(いんぎょう)天皇の長男軽皇子(かるのみこ)と、その妹の通称衣通姫(そとおひめ)が禁断の恋に落ち、これが知られて軽皇子は伊予に島流しに。皇子が戻るのを待てずに追いかけてきた姫と、かなわぬ恋に悲観して互いに刺し違えたのがこの地とか。

古事記にも載っている有名な話で、我が国初の心中事件とされています。このおり衣通姫が詠んだのが、「君が行き 気長くなりぬ やまたづの 迎えは行かむ 待つには待たじ」。この歌は万葉集の第2巻にも収録されています。

一方、日本書記では軽皇子は川之江(四国中央市)に、衣通姫が伊予に幽閉されたことになっています。とはいえ、いずれにしても姫が松山にいたことは確かのように。比翼塚には2本の小さな塔が2人を擬して建てられており、これを覆うかのように、後世植えられたであろう桜の古木が見事な花を咲かせていました。

なぜこの地区を姫原あるいは姫山と称するのかという、私の長年の謎も解けました。愛媛の「媛」はお姫様の姫ではなく、彦に対応する女性を意味する古語。古代、伊予は女性が支配する国とされていました。「姫」の字は相応しくないと気になっていましたが、衣通姫の姫がその語源だったようです。

いつの間にか4月も後半になり、さすがに比翼塚の大木も葉桜になってしまいました。一方で、新緑とともに様々な色のつつじが咲きはじめました。この付近は、野生の藤の名所でもあります(ちなみに拙宅の住所も「吉藤」です)。満開の桜は散っても、今度は違った花が比翼塚の初夏を楽しま

せてくれそうです。

GRC も国内外から優秀な人材が集まり、今が花盛りといえるかもしれません。桜の花はいずれ散りますが、違った種を撒き、新しい苗を育てることにより、次々と美しい花を咲かせたいものです。俳句王国松山にしながら、京大のO先生や愛媛大のK先生のように俳句は詠めず、また名大のS先生のように短歌に造詣は深くありませんが、比翼塚の万葉の心に触発されて、私も腰折れを一首：「山のへの 比翼の里の 早緑に 消えゆく 姫や 塚の葉ざくら」。



## ◆ センターの構成 ◆

(H22. 4. 1現在)

### ❖ 地球深部物質構造動態解析部門

入船徹男 (教授)  
西山宣正 (准教授)  
大藤弘明 (助教)  
丹下慶範 (助教)  
川添貴章 (COE研究員)  
Steeve Gréaux (COE研究員)  
大内智博 (COE研究員)  
雷 力 (COE研究員)  
西 真之 (学振PD)

### ❖ 地球物質物性計測部門

井上 徹 (教授)  
松影香子 (准教授(COE))  
木村正樹 (助教)  
Matthew L. Whitaker (助教)  
河野義生 (COE助教)  
山田明寛 (COE研究員)

### ❖ 量子ビーム応用部門

平井寿子 (教授(COE))

藤野清志 (教授(COE))

桑山靖弘 (助教)

町田真一 (COE研究員)

### ❖ 地球深部活動数値解析部門

土屋卓久 (教授)

亀山真典 (准教授)

石河孝洋 (助教)

白井佑介 (COE研究員)

市川浩樹 (COE研究員)

Arnaud Metsue (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))

Dirk Spengler (研究員 (GRC関連))

出倉春彦 (研究員 (GRC関連))

### ❖ 教育研究高度化支援室分室

入船徹男 (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)

矢野春佳 (技術補佐員)

Sabrina Whitaker (研究支援者)

### ❖ 客員部門

客員教授 角谷 均 (住友電気工業 (株) エレクトロクス・材料研究所ス<sup>パ</sup>シャリスト)

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)

客員准教授 舟越賢一 (JASRI利用促進部門 副主幹研究員)

### ❖ GRC研究員

大野一郎 (理工学研究科教授)

川寄智佑 (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)

淵崎員弘 (理工学研究科教授)  
小西健介 (理工学研究科准教授)  
山田幾也 (理工学研究科助教)  
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 (理工学研究科准教授)  
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 (理工学研究科助教)  
佐野 栄 (教育学部教授)

宮本菜津子 (事務補佐員)  
兵頭 恵理 (事務補佐員)  
COE事務室 (4F)  
小野由紀子 (事務補佐員)  
大熊 知 (事務補佐員)

#### ❖ 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助教)  
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 (大阪大学レーザーエネルギー学研究センター准教授)  
角谷 均 (住友電気工業(株) エレクトロクス・材料研究所スペシャリスト)  
吉岡祥一 (神戸大学理学研究科教授)  
肥後祐司 (JASRI利用促進部門研究員)  
浦川 啓 (岡山大学理学部准教授)  
山崎大輔 (岡山大学ISEI准教授)  
安東淳一 (広島大学理学研究科助教)  
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助教)  
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)  
巨海玄道 (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)  
赤松 直 (高知大学教育学部准教授)  
本田理恵 (高知大学理学部准教授)  
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)

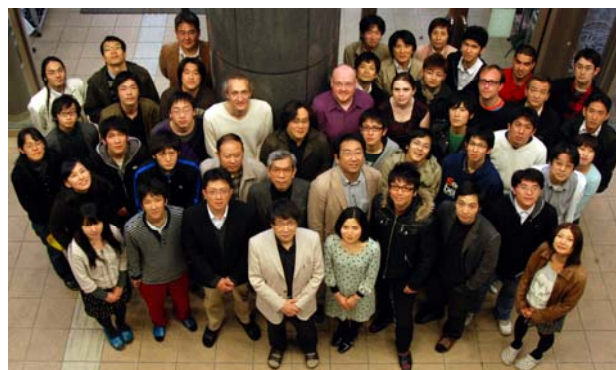
#### ❖ 事務室

研究拠点事務課 (3F)  
藤村 宗 (副課長)  
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)

### NEWS & EVENTS

#### ❖ GRC助教、上級研究員センター・学振PD着任

4月1日付で、Matthew L. Whitaker氏 (元COE研究員、ニューヨーク州立大出身・超音波測定) がGRC助教に、西 真之氏 (九大出身・高圧実験) が学振PD、出倉春彦氏 (阪大出身・第一原理計算) が上級研究員センターGRC関連PDとして、また2月にはArnaud Metsue氏 (Lille科学技術大出身・第一原理計算) がCOE研究員として着任しました。これでCOEに関連したGRCの人事も一段落し、一層強力に研究と教育が推進される体制ができました。一方で、3月にはGRCで博士課程を修了した國本健広氏が学振PDからJASRIのPDとして、また4月には特別推進PDの実平 武氏が宇和島東高校教員として転出し、新たな環境で活躍しています。



#### ❖ COE成果発表・中間外部評価会

3月15日と16日の2日間、GRCを中核拠点としたグローバルCOEプログラム「先進的実験と理論による地球深部物質学拠点」の平成20・21年度の成果発表会と、外部評価会がおこなわれました。発表会では、拠点リーダーの入船センター長が全体の概要を、教育担当の井上教授が人材育成面の、また研究担当の土屋教授が研究面での到達点と今後の課題について報告しました。その後GRCの7つのグループや、連携先のリーダーおよび若手が、口頭およびポスター発表をおこないました。発表

会には学長、理事、理学部長や、愛媛大学のもう一つのCOE拠点の代表者らとともに、外部評価委員として八木健彦東大教授、松井正典兵庫県立大教授、中田正夫九大教授、川勝均東大教授に参加いただき、拠点の活動に関して貴重なご意見をいただきました。

#### ❖ 高圧中性子スプリングスクール in 愛媛

新学術領域研究「高温高圧中性子実験で拓く地球の物質科学」（代表：八木健彦東大教授）、学術創成研究「強力パルス中性子源を活用した超高压物質科学の開拓」（代表：鍵裕之東大教授）とGRCを中核としたグローバルCOEプログラム「地球深部物質学」の共催により、愛媛大学総合研究棟において3月2日と3日の2日間に渡り、中性子高圧科学ビームラインの現状と今後に関するスプリングスクールが開催されました。スクールでは若手を対象としたレクチャーの他、J-PARCにおける新しいビームライン「PLANET」の建設や、関連装置の設置に関して議論がなされました。期間中には新居浜市にある住友重機テクノフォートの工場見学や、GRCのラボツアーもおこなわれ、合計約50名の参加者がありました。



#### ❖ キャリアアップ公開講座

GRCではグローバルCOEの教育プログラムの一環として、特に若手研究者のキャリアパスを念頭においた標記公開講座を開始しました。第1回はCOE拠点リーダーである入船徹男教授が「ハイインパクトジャーナルに向けた論文の書き方」と題して、ネイチャー誌やサイエンス誌に的を絞った論文の書き方や、投稿の仕方などについて、講演をおこないました。学内に公開した本講座は、予定していた教室が一杯になり、急遽理学部内の大講義室に場所を移して開催されましたが、ここも満員になるほどの盛況でした。また、第2回目は4月16日

に、GRC研究支援者として英語論文の添削等に当たっている、Sara Whitaker氏による「Common Mistakes in English for a Non-Native Speaker」と題する講演がおこなわれ、多数の参加者がありました。今後は、住友電工（株）の研究者である角谷均GRC客員教授（2010年5月12日（水）開催予定）や、CMESを中心としたグローバルCOEプログラム拠点リーダーの、田辺信介教授などによる講演会を予定しています。

#### ❖ 第9回GRC国際レクチャー

2月9日と10日の2日間に渡り、GRCと学術交流協定を提携しているドイツのバイロイト大学バイエルン地球科学研究所（BGI）のCatherine McCammon博士による第9回GRC国際レクチャーが開催されました。レクチャーでは地球化学や分光学的手法を用いた地球深部物質学的研究の基礎とともに、マントル深部におけるFeの酸化状態や遷移金属の挙動などについての最新の研究成果について解説がなされました。この講義はグローバルCOEの教育プログラムの一部も兼ねており、学内外から約50名の若手研究者や学生、教員等が聴講しました。尚、このレクチャーの直前まで、McCammon博士が指導するBGIの博士課程学生が4か月ほどGRCに滞在し、BGIでは困難な焼結ダイヤモンドアンビルやFIBを用いた共同研究をおこないませんでした。McCammon博士はGRCに10日ほど滞在し、多くのGRC構成員と交流を深めるとともに、大学裏の御幸山に登るなど、松山周辺の自然を満喫されたようです。



#### ❖ GRC国際フロンティアセミナー

第35回

“The Role of Mineral Physics in Modelling

Geodynamics of The Lower Mantle”

講演者 : Prof. David A. Yuen (Department of  
Geology and Geophysics, University  
of Minnesota)

日時 : 2010年3月19日 13:00-14:00

第36回

“Combined flexural and torsional oscillation  
methods for laboratory study of viscoelasticity  
and poroelasticity”

講演者 : Prof. Ian Jackson (Research School of  
Earth Sciences, Australian National  
University)

日時 : 2010年3月26日 16:30-17:30



◆ 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)

5月

5/14 “Survival of majoritic garnet in diamond  
by direct kimberlite ascent from deep  
mantle”

Dr. Masayuki Nishi (JSPS Postdoctoral  
Fellow, GRC)

“Study on the superconductivity in solid  
boron under high pressure”

Dr. Haruhiko Dekura (Senior Research  
Fellow Center, Postdoctoral Fellow, GRC)

5/21 “Modeling of seismic anisotropy above D”  
discontinuity based on differential  
travel times of teleseismic shear waves  
and polycrystalline elasticity  
analyses”

Dr. Yusuke Usui (Global COE Postdoctoral  
Fellow, GRC)

6月

6/4 “Turbostratic iron predicted in the  
Earth’s inner core”

Dr. Takahiro Ishikawa (Assistant  
Professor, GRC)

6/11 “Unified pressure scales of MgO, Au, and  
NaCl at the pressure and temperature  
conditions of the mantle transition

region”

Dr. Yoshio Kono (Global COE Research  
Fellow, GRC)

6/18 “Structure of hydrous and anhydrous  
albite melt at high pressures”

Dr. Akihiro Yamada (Global COE  
Postdoctoral Fellow, GRC)

7月

7/2 “First principles exploration for water in  
the deep Earth’s mantle”

Dr. Jun Tsuchiya (Senior Research Fellow,  
Senior Research Fellow Center, GRC)

7/9 “Spin transition of ferric iron in the  
lower mantle: An experimental approach”

Dr. Kiyoshi Fujimoto (Global COE  
Professor, GRC)

7/16 “High pressure and high temperature  
synthesis of amorphous-like diamond and  
its physical properties”

Dr. Hiroaki Ohfuji (Assistant Professor,  
GRC)

7/23 “Changes in structure and cage occupancy  
of mixed gas hydrate under high  
pressure”

Dr. Hisako Hirai (Global COE Professor,  
GRC)

7/30 “TBA”

Dr. Yasuhiro Kuwayama (Assistant  
Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第252回 “Study the phase transition of graphitic  
carbon nitride treated by high  
pressure and high temperature”

Leiming Fang (PhD. Student, Ehime  
University) 2010. 1.22

第253回 “Chemical composition of the mantle  
transition region and the lower  
mantle: some insights from recent  
experimental results”

Dr. Tetsuo Irifune (Professor &  
Director, GRC) 2010. 1.29

第254回 “The effect of water on the Earth’s  
mantle materials”

Dr. Toru Inoue (Professor, GRC)

2010. 2. 5  
 第 255 回 “New phase transitions in the conditions of the mantle, core and further”  
 Dr. Taku Tsuchiya (Professor, GRC)
2010. 2. 12  
 第 256 回 “A linear stability analysis on the onset of thermal convection of a fluid with strongly temperature-dependent viscosity in a spherical shell”  
 Dr. Masanori Kameyama (Associate Professor, GRC)
2010. 2. 26  
 第 257 回 “Plume derived mantle variability beneath the Cameroon Volcanic Line, West Africa: A study of peridotite xenoliths”  
 Dr. Kyoko N. Matsukage (Global COE Associate Professor, GRC)
2010. 3. 5  
 第 258 回 “Measurements of elastic velocities and elastic constants of nano-poly-crystalline diamond by pulse method”  
 Dr. Masaki Kimura (Assistant Professor, GRC)
2010. 3. 12  
 第 259 回 “Toward interpretations of regional seismic discontinuities in mantle transition zone and upper part of lower mantle: phase relation in harzburgite and future projects”  
 Dr. Norimasa Nishiyama (Associate Professor, GRC)
2010. 4. 2  
 第 260 回 “Multi-disciplinary investigation of iron/light-element alloys at extreme conditions and their implications for Earth’s core”  
 Dr. Matthew L. Whitaker (Assistant Professor, GRC)
- 9 April 2010  
 第 261 回 “Numerical modeling of dislocation core structures at the atomic scale in mantle minerals”  
 Dr. Arnaud Metsue (Global COE Postdoctoral Fellow, GRC)
- 23 April 2010  
 第 262 回 “Intermolecular interactions and isotopic effects of hydrogen hydrate under high pressure”  
 Dr. Shinichi Machida (Global COE Postdoctoral Fellow, GRC)
- 30 April 2010  
 第 263 回 “P-V-T EOS of MgSiO<sub>3</sub> perovskite: A

primary reference for mineralogy of the lower mantle”  
 Dr. Yoshinori Tange (Assistant Professor, GRC) 7 May 2010



◆ 新人紹介 ◆



My name is Arnaud Metsue and I started as a Global COE Post-Doctoral Fellow at the GRC on February 1<sup>st</sup>, 2010. I defended my Ph.D. in Materials Science last January and I moved from France to Japan ten days after. My dissertation was prepared at the University of Lille-Sciences and Technologies and was supervised by Patrick Cordier and David Mainprice. During my Ph.D., I investigated the dislocation properties of major Earth’s mantle minerals, which is a first step in order to understand the elementary mechanisms of plastic deformation in the Earth. I conducted *ab initio* and semi-empirical potential calculations of stacking faults and, by using a theoretical model, the Peierls-Nabarro model, put in forward the possible dislocation structures in minerals.

My research interest focuses on the application of the concepts and theories developed in material science on the physical properties of deep Earth’s mantle minerals. During my stay at the GRC, I would like to investigate, from a theoretical point of view, the effects of single-point defects on the

thermodynamic and plastic properties of minerals. This project will be done by using the supercomputers based in the GRC and with the help of the members of the Theoretical Mineral Physics Group. I am enjoying my time in Japan. I will use this time to discover this country, as visiting the most beautiful places, and, of course, tasting the sumptuous Japanese traditional food!!!

### 出倉春彦

(上級研究員/シニア研究員)

今年度から GRC 研究員として勤務する事になりました出倉春彦と申します。

一月前に大阪大学の博士課程を修了致しました。研究分野は物性理論、特に固体中の電子状態を主として考察していました。僕は地球科学を今までに学んだ事が無く、少しく不安を抱えて愛媛に引っ越した様は、さながらぼっちゃんの主人公の気分でした。

この原稿執筆時で、愛媛に来てから三週間程経っております。この三週間の間でさえも、実に刺激的な日々を送らせて頂いており、毎日溢れるほどの新情報の洪水に心地良い立ち眩みを感じています。マントル、地震波、等々、僕にとって NHK の特番でしか見た事が無い内容を皆様が話しており、「なるほど今や自分は本当にこの分野に足を踏み入れたのだ」と確信しております。

今後、自分がどのような形でこの分野に貢献出来るか分かりませんが、皆様のお力を御借りしながら励みたい所存です。何卒、宜しく御願い申し上げます。

規定字数にまだ余裕があるため、以下では愛媛での生活面に関して少しだけ述べさせて頂こうかと思います。既に述べました通り愛媛に来てから3週間が経ちましたが、松山という場所は僕が予想した以上に住みやすい場所であると感じております。各種のお店が軒を連ね、「望みなさい。そうすれば、松山はそれに答えてくれるでしょう」というお告げが聞こえる程に利便性極まりなく、加えて、精神の抑圧を解放し活力を注入する空間(一言



で言うと飲み屋の事です)も多く、全くもって素晴らしい場所であると感じています。

以上、論旨が曖昧ではありましたが、現状での感想も踏まえて自己紹介をさせて頂きました。あるいはもう少し研究の話をした方が良かったかもしれぬと、些か不安を感じておりますがここで筆を置かせて頂きます。ありがとうございました。

### 西 真之

(学振特別研究員)

今年度から学振特別研究員として GRC で研究させて頂いていただくことになりました、西真之です。今年3月に九州大学にて「Mechanisms and kinetics of the pyroxene-garnet transformation: Implications for subducting plate and ascending diamond」という題目で博士号を取得しました。GRC には学生時代に何度か実験関連で訪れたことがあり、その度に活発な研究と充実した設備を大変魅力的に感じていました。この度、研究者としての最初の一步を GRC で歩める機会を得られたことを非常に嬉しく思います。

私はこれまで、マルチアンビル型高压発生装置を使って鉱物(ガーネット、輝石)の相転移速度を求める研究を行ってきました。九州大学での実験に用いていたマルチアンビル装置(現 QDES, 旧 EUDES)は、4年前に GRC から移管されたものです。この装置は1980年代生まれで、GRC に現在ある最新鋭の装置とは趣を異にした装置で、私はこの装置のおかげで研究を推進することができ、博士号を取得するに至りました。

地球内部は、深さと共に温度圧力が上昇するとされています。この過程で、地球を構成する鉱物は安定な構造へと相転移を起こし、それが地球内部の物性に大きな影響を及ぼしていると考えられ



ています。多くの先行研究により、様々な温度圧力条件下での鉱物相平衡に関する議論はされてきました。しかし、地球内部は相平衡が必ずしも成り立つとは限りません。例えば沈み込むプレートは比較的低温であるため、鉱物が相境界を超えても平衡相関係に従わず、準安定相として存在する可能性が示唆されています。従って、地球内部の鉱物構成を明らかにするには平衡相境界を決定するだけでは十分とは言えず、相転移カインेटクスを考慮する必要があります。

地球深部の鉱物の相転移速度を測定する場合、マルチアンビル装置と放射光 X 線を組み合わせたその場観察法が非常に有用です。この手法により、短い時間でサンプルの X 線回折パターンを連続的に得ることが可能であるため、相転移率の変化をリアルタイムで観察することができます。私は大型放射光施設である SPring-8 や高エネルギー加速器研究機構にて、この手法による相転移カインेटクスの研究を行ってきました。現在、得られた速度データと相転移のメカニズムに基づいて地球内部に沈み込むプレートの鉱物構成の構築を試みています。

また、相転移は原子の拡散現象により律速される場合があります。特にガーネット中の原子の拡散係数を求めることは、マントル遷移層領域の鉱物構成を考察する上で不可欠であると推察されるため、現在、実験によるガーネット中の原子(Si, Al etc.) の拡散係数の導出に関する研究を計画しています。この研究にはマルチアンビル装置の他に、GRC 設置の収束イオンビーム加工装置(FIB)や透過型電子顕微鏡(TEM-EDS)といった加工/分析装置が有用であると思われます。GRC で研究できるチャンスを生かして、精力的に研究を推し進めていきたいと思っております。どうぞよろしくお願ひします。



## 最新の研究紹介

### ❖ 大陸クラトン下のマントルにおける化学的多様性の謎と地球深部水の関係

地球マントルの平均化学組成、深さ及び水平方向の化学的不均質の有無や程度の解明は、地球進化の理解を深める上で基本的かつ重要な問題である。1960 年代に Ringwood が提唱した仮想的なマントル始源物質“パイロライト”は現在でも最も

信頼されているマントルの化学組成モデルである。パイロライトは、海洋地殻がマントル物質の部分融解液の地表付近での冷却・固結によるものであるとする“部分融解モデル”をもとに求められた。従って海洋地域のマントルの化学的多様性がパイロライトの融け残り物質に期待される組成トレンドと一致するのは当然の帰結であるが、その後島孤やオククラトン下の大陸マントルの多様性をもこのモデルで説明しうることが示された (Boyd, 1986; Arai, 1994; Matsukage and Kubo, 2003)。単純明快な仮説であるということに加え、様々な地球物理学的、地球化学的裏付けから「始源マントル物質=均質な一つの物質=パイロライト」という考えが確固たる地位を占めている。

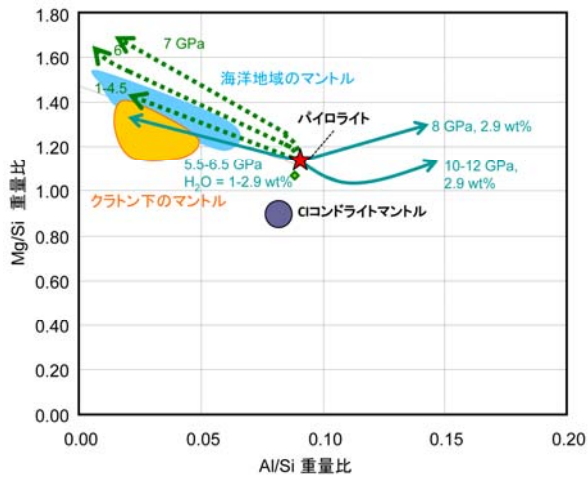
一方、キンバライトマグマの捕獲岩として得られる太古代の大陸クラトン下のマントル物質は、海洋マントルに比べ極端に液相濃集元素に枯渇しているにもかかわらず SiO<sub>2</sub> 成分 (代表的な液相濃集元素の 1 つ) に富むという特異な化学組成を有する (Boyd, 1989)。クラトン下のマントルの液相濃集元素の枯渇、特に Fe に対する高 Mg 含有量を上部マントル深部での部分融解とそれに伴う部分融解液の分離過程で説明しようと試みられたこともあったが (Boyd, 1989)、上部マントル条件下でのパイロライトの高圧部分融解実験 (Walter, 1999) から Mg 成分と Si 成分の両方に富むクラトン下マントルの特徴をパイロライトの単純な部分融解モデルで再現するのは不可能なことが示された。現在、特異な化学的多様性を説明するモデルとして、次の 2 つが挙げられている。

(1) 基本的な液相濃集元素の枯渇は、海洋地域と同様にパイロライトの単純な部分融解プロセスで形成され、その後 SiO<sub>2</sub> 成分に富んだメルトが付加することにより“Si 含有量の異常”を有するようになった (Herzberg et al., 1988; Kelemen et al., 1998)。

(2) パイロライトとは異なる“SiO<sub>2</sub> 成分に富む始源物質”が地球深部には存在し、その物質の部分融解による融け残り岩として形成された (Walter, 1999)。

第 1 のモデルは「パイロライトモデル」に基づき立てられたものである。Kelemen らはメルトの起源としてスラブ融解を想定しているが、SiO<sub>2</sub> 成分に富むメルトは一般に MgO 成分に枯渇しており、モデルを破綻させないためには相当に奇妙なメルト組成を仮定する必要があるという致命的欠点がある。それに比べ、第 2 のモデルは単純明快で筆





海洋、大陸クラトン地域のマントル化学組成と  
 高压部分融解実験の結果の比較

者は好感を持つが、このモデルが正しかった場合多くの研究者が崇拝するパイロライトモデルに一石を投じることになる。SiO<sub>2</sub>に富んだ始源的マントル組成の候補としてはCI コンドライトマントルが考えられ、マントル浅部はパイロライト、深部はCI コンドライトマントルと考えることも可能である。しかし、下部マントルもパイロライト的な組成を有しているとする実験的データが出されたこと (Irifune et al., 2010)、CI コンドライトのマントル物質の存在が天然物から証明されていないことなど、このモデルに不利な点も存在する。ここで第3の可能性を提示したい。

(3) 大陸クラトン下の特異な化学組成を有するマントルは含水条件下でのパイロライトの部分融解で形成された融け残り物質である。

我々の研究から、深さ 200km に相当する圧力、H<sub>2</sub>O や CO<sub>2</sub> 成分の存在下でパイロライトが部分融解すると融け残り物質は無水の場合に比べて高い Mg/(Mg + Fe) 比を有し、Si に富む様になることが分ってきた (図)。また実験で得られた融け残り物質はクラトンマントルの化学的特異性を説明することが分ってきた。もしこのモデルが正しいなら、初期地球マントルには大規模な“地球深部水”の不均質が存在していたことになる。現状ではモデル (3) が (2) に比べて現実の地球を真に説明しうるか筆者は確信が持てないが、実験を重ね明らかにして行きたい。(松影香子)

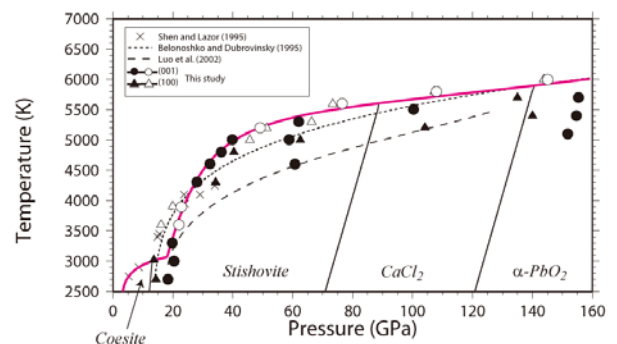
❖ **Ab initio two-phase MD simulations for high-pressure melting curve of SiO<sub>2</sub>**

Ab initio two-phase molecular dynamics simulations were performed on silica at

pressures of 20–160 GPa and temperatures of 2500–6000 K to examine its solid-liquid phase boundary. The calculated melting temperature ( $T_m$ ) is fairly consistent with classical MD simulations (Figure 1). No differences were found in the  $T_m$  for the cells with (100) and (001) different joint planes.

At the triple point of coesite (CO), stishovite (ST), and liquid near 20 GPa, the melting temperature shows an abrupt increase. According to the Clausius - Clapeyron equation for the single component phase boundary,  $dP/dT = \Delta S / \Delta V$ , where  $\Delta S$  and  $\Delta V$  are entropy and volume change from solid to liquid, respectively, a large volume reduction (~30%) across the CO-ST phase transition explains the significant change in  $dP/dT$ . On the other hand, across the ST-CaCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub>- $\alpha$ -PbO<sub>2</sub> phase transitions we observed no discontinuous increases in the  $T_m$ . The ST-CaCl<sub>2</sub> phase transition is second order. Therefore,  $\Delta V$  changes continuously. Although the CaCl<sub>2</sub>- $\alpha$ -PbO<sub>2</sub> transition is first order,  $\Delta V$  is very small because the volume change across the transition is nearly continuous (<0.6%).

The  $T_m$  at 135 GPa was determined to be 5900 K, which is more than 2100 K higher than the temperature considered for the core-mantle boundary (CMB) of about 3800 K. The eutectic temperatures of both MgO-MgSiO<sub>3</sub> and MgSiO<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> joins were also evaluated and found still higher than the CMB temperature. However, the solidus temperature is likely expected to reduce considerably in more realistic mantle compositions. So, the partial melts would be highly possible at the CMB. (臼井佑介)



Predicted melting curve of SiO<sub>2</sub>

## ❖ D-DIA 型変形装置を用いたかんらん石のせん断変形実験：上部マントルの流動方向の解明に向けて

地球のマントル・核を構成する物質が、対流によってどのような方向に流動しているのかを理解することは、“動的”な地球の進化を考える上で非常に重要です。地震学的に観測されているマントルでの地震波速度異方性は、流動によって生じた鉱物の結晶選択配向が主要な原因です。そのため、流動方向（せん断方向）と結晶選択配向の関係が分かれば、地震波速度異方性の観測結果から実際のマントルの流動方向を知ることができます。さらに、流動するマントル構成物質の粘性が分かれば、流動速度を見積もることも可能になります。

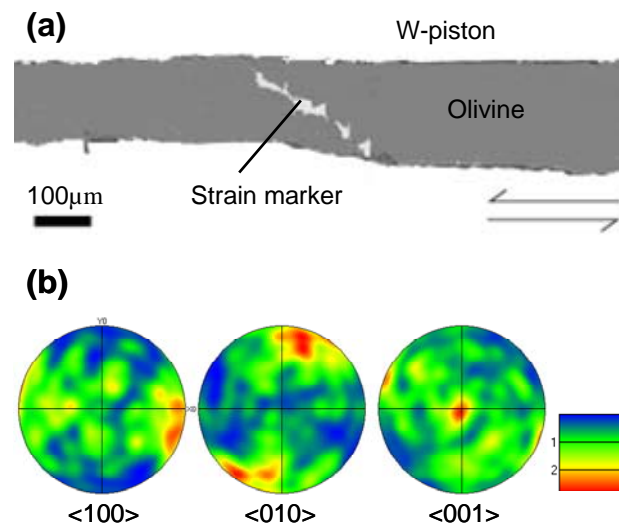
地球深部物質の結晶選択配向特性や粘性を理解するためには、地球深部の温度圧力条件下にて、その物質の変形実験を行う必要があります。地球科学的な変形実験は 1960 年以降盛んに行われてきましたが、温度圧力条件は地殻-最上部マントル条件（地下 <math>100\text{ km}</math>）に限られていました。21 世紀に入り D-DIA 型変形装置が開発されたことにより、上部マントル中部領域（地下 <math>300\text{ km}</math>）条件での変形実験も近年ようやく可能となりました。

結晶選択配向特性を理解する上で、実験において変形のせん断面と方向がそれぞれ単一（単純せん断変形）であるのが理想です。単純せん断の変形実験を行うためには、試料の上下に配置した変形用ピストンを精密に前進させる必要があります。このことが実験の難度を上げる要因となっています。そのため、試料体積の小さい D-DIA 型変形装置を用いた単純せん断変形実験はこれまでに殆ど行われてきませんでした。また、変形実験で信頼性のあるデータを得るためには、①実験において大きな歪を達成すること、②鉱物中の含水量をコントロールして実験を行うことも重要になってきます。しかし試料体積の問題から、これらの要件を満たした実験を行うことは非常に困難でした。

そこで私は、GRC に設置されている D-DIA 型変形装置“MADONNA-1500”を用いて、単純せん断変形実験の技術開発および上部マントル条件下でのかんらん石のせん断変形実験を行ってきました。現在のところ、最高で <math>7\text{ GPa} \cdot 1500^\circ\text{C}</math> の上部マントル中部領域条件におけるせん断変形実験に成功しています。大きなせん断歪を試料に加えることに

も成功しており、それにより変形により生じた結晶選択配向特性を明瞭に観察することが可能になっています（図参照）。さらには無水・含水条件それぞれでの条件において実験が行えるようになったため、温度圧力のみならず水に対しても強い依存性をもつことが知られている鉱物の結晶選択配向特性・粘性をより正確に評価できるようになってきました。

今後は、より高圧下でのせん断変形実験を目指していくとともに、放射光 X 線を用いた“その場観察”の変形実験・応力測定実験を行っていく予定です。とくに変形強度（流動粘性）を測定する上では、放射光施設での変形実験が必要不可欠となります。本年度夏には GRC の研究グループが中心となって SPring-8 に D-DIA 型変形装置を導入する予定となっています。マントルがどのように・どれくらいの速度で対流しているのか、ということを理解し、“動的な”全地球の進化像を得ることも夢では無くなってきています。（大内 智博）



(a) せん断変形したかんらん石多結晶試料の反射電子像の一例。変形により歪マーカ（変形前はせん断面に垂直）が約  $50^\circ$  回転している（せん断歪 120%に相当）。矢印はせん断方向を示す。

(b) 変形試料中のかんらん石粒子の結晶方位を極点図にプロットした一例。せん断方向・せん断面の法線方向に対応してそれぞれ<math>\langle 100 \rangle</math>・<math>\langle 010 \rangle</math>方向に集中が見られる。

## ➡ センター機器紹介⑩ ➡

### ❖ 顕微分光システム

昨年度、GRC に導入された顕微分光システム装

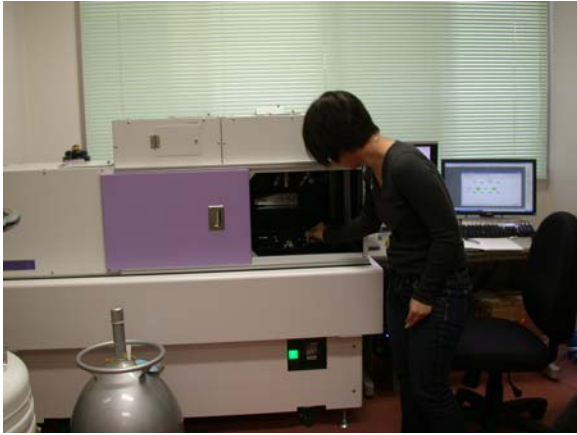


図 1. 顕微分光システム全体

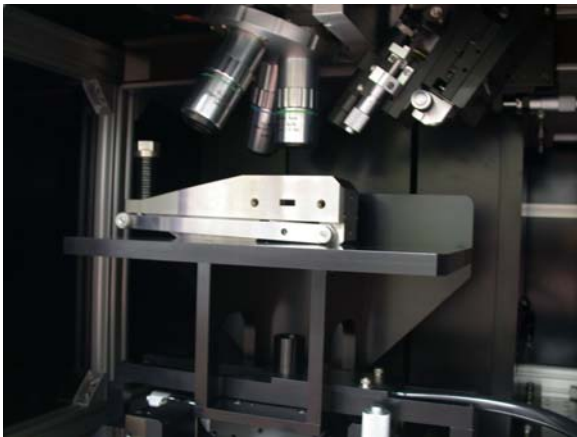


図 2. 試料室内部

置（フォトンデザイン社製 MARS800）（図 1）はレーザーと組み合わせることによりラマン分光測定装置として機能します。DAC 中試料の測定は通常試料の測定と比べいろいろの制約を受けますが、本装置はこの制約を低減するためのいろいろな機能が装備されており、DAC ラマン測定に大きなアドバンテージを持つ装置となっています。いくつかの特徴を挙げると、以下ようになります。

通常の落射照射と斜め照射が可能で両者を切り替えて使用することができます（図2）。この斜め照射によって、深さ方向の分解能を高め、ダイヤモンドから発生する強いラマン光と試料からのラマン光の分離に大きな効果をもたらします。もちろん、レーザー光のダイヤモンドによる反射も軽減します。

対物レンズもDAC専用に設計されています。DACに必須な超長作動距離は言うまでもなく、レンズのガラス材そのものも特殊な材質が用いられ、レンズからの蛍光が軽減されています。また、ダイヤモンドを通過することで生じる平行平面収差により解像力がかなり低下しますが、平行平面収差が補正されたレンズ設計となっており、解像力の低下が抑えられています。

空間分解能を向上させるために通常共焦点光学系が用いられますが、本装置では対物レンズの第 1 結像位置に空間フィルタを設置する本来の共焦点光学系をもっており、回折限界まで空間分解能を上げることができ、かつ、空間分解能を連続的に選択することができます。

また、励起レーザーとして 532nm と 473nm の 2 つの DPSS レーザーを組み合わせています。ラマン分光で一般的な励起レーザーは 532nm ですが、473nm はルビーの吸収波長に近く、ルビー蛍光圧力測定に有利（特に高圧領域）です。また、2 波長用いることにより、蛍光除去やラマン光であるかどうかの確認にも効果を発揮します。

以上のように、本装置は特に DAC 試料のラマン測定に大きな利点を有しています。特別推進研究においては地球下部マントルから中心核にいたる物質の構造や物性を解明することを目的としています。本装置は DAC 中におかれた高圧下のマントルや核物質の振動状態や結合状態を効率よく、精度よく測定することが可能です。また、地球を離れて太陽系の木星以遠には、多くの氷惑星や衛星などの氷天体が存在していますが、水素やメタンハイドレートはその構成成分と考えられています。これらの物質では氷のフレームワーク中での水素やメタンの振動状態は結晶構造や結晶内の相互作用に非常に敏感であり、高圧物性を知る上には重要な情報です。本装置を用いて、地球深部物質や氷天体物質に関する研究の推進が期待されます。

（平井寿子）

編集後記：美しかった護国神社の桜並木(下写真)も、いつの間にか葉桜になってしまいました(T. I. & Y. M.)



## 特別推進研究ニュース No. 3

### MgGeO<sub>3</sub>ポストペロヴスカイトの弾性、振動特性

MgGeO<sub>3</sub> は、地球下部マントルの主成分である MgSiO<sub>3</sub> の低圧アナログ物質としてよく用いられています。土屋と臼井らは、MgGeO<sub>3</sub> の弾性特性および格子振動特性を第一原理計算法により決定し、これらの性質について実際に両者がどの程度類似するのかを調べました。この結果、ペロヴスカイト相、ポストペロヴスカイト相ともに MgSiO<sub>3</sub> とよく似た弾性特性の特徴を持つこと、また相境界の勾配もほぼ同じであることが明らかになりました。一方で、相転移に伴う弾性波速度変化は MgSiO<sub>3</sub> の場合と異なり、P 波・S 波・バルク音速のすべてで負になることがわかりました。MgGeO<sub>3</sub> は CaIrO<sub>3</sub> などに比べれば珪酸塩のとてもよいアナログ物質と考えられていましたが、すべての性質に類似性があるというわけではないと結論できます (J. Geophys. Res., 2010.)。

### MADONNA による SD 実験の本格開始

GRC に導入されている MADONNA-1500 の D-DIA 型ガイドブロックは、極めて高い精度で高圧下での均等加圧が可能であることがわかりました。このような均等加圧は、特に焼結ダイヤモンドを第 2 段アンビルとして用いる実験で重要です。丹下らは、この装置および GRC に新たに導入された同型の MADONNA-II を用い、60GPa・2000K 領域での急冷実験を本格的に開始しました。これにより、下部マントル領域において、高精度な高温高圧実験が可能になることが期待されます。また MADONNA 型ガイドブロックは、本グループの PU 課題の一部として SPring-8 に設置され、X 線その場観察や超音波測定、またヒメダイヤを用いた超高压発生にも利用される予定です。

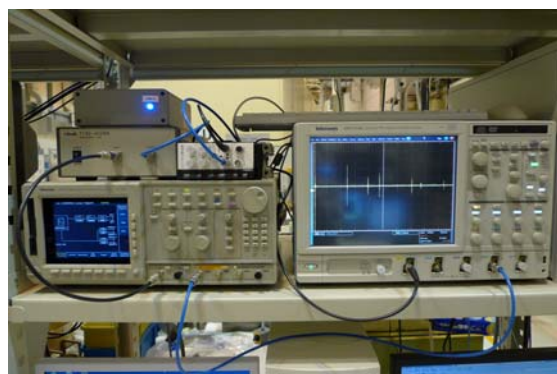
### Fe-Ni 合金の核領域での結晶構造

内核条件下の Fe の結晶構造は、地球深部科学の重要な未解決問題です。近年ダイヤモンドアンビル装置 (DAC) を用いて、Fe-Ni 合金が、230GPa・3400K という高温高圧条件下で、bcc 構造になるとする結果が報告されて議論を呼んでいます (Dubrovinsky et al., Science 2007)。桑山らは、この追試をおこなうべく、YLF レーザーおよび YAG ファイバーレーザーの 2 種類の加熱システムを用いて、同じ化学組成の試料で同様の温度圧力条件の実験を繰り返しおこないました。しかし、現在までのところ得られた相は hcp のみであり、上記の実験と異なる結果が得られています。DAC による核領域での実験では、大

きな温度勾配の存在が避けられず、より精度の高い実験に基づき、更なる検討が必要であると考えられます。

### 下部マントル条件下での弾性波速度測定

JASRI の肥後らは、超音波と放射光 X 線を組み合わせた弾性波測定システムを用い、弾性波の精密測定をマントル遷移層に対応する、20GPa・1700K 程度の圧力温度条件下まで可能にしてきました。肥後らは最近このシステムに更に改良を加えることにより、下部マントル上部に相当する圧力 25GPa 以上、温度 1500K 以上の高温高圧下での測定に成功しました。この技術と GRC の高圧下での高圧相合成技術を組み合わせることにより、下部マントルを構成する主要鉱物の弾性波測定の予備的実験がすすめられており、下部マントルの化学組成の制約が期待されます。



### NPD 合成における出発物質結晶度の影響

ヒメダイヤは、2 種類の特徴的な微細組織よりなり、その硬度や靱性強度にはこれらの組織が深く関係していると考えられます。大藤らは、様々なグラファイト多結晶体を出発物質としてヒメダイヤ合成を行い、出発物質の微細組織・結晶度がヒメダイヤの微細組織に及ぼす影響を調べました。その結果、出発物質のグラファイト多結晶体は均質ではなく、比較的大きいフレーク状の粒子と、その間を埋める結晶度の悪い微粒子よりなることがわかりました。ヒメダイヤ変換後は、異なる相転移プロセスにより、前者の粒子はラメラ状組織を、後者は等粒状組織を形成します。また、グラファイトの結晶度が悪いほど、細粒な組織を持つヒメダイヤが得られました。今後、出発物質を選択することで、より高硬度ヒメダイヤの合成が可能になると期待されます。