# 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

- センター長挨拶
- 🔷 センター構成
- NEWS & EVENTS:

Science誌に成果発表

米国科学アカデミー紀要に成果発表 日本鉱物科学会における受賞 協定に基づく海外学生の長期受け入れ 第2回インターンシップ(TEM分析)報告 第3回インターンシップ(X線その場観察) 報告

第2回YESAワークショップ開催報告 第9回GRC国際レクチャー開催案内 第31~34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
- ◆ 海外出張報告
- インターンシップ報告
- ◆ 最新の研究紹介
- 特別推進研究ニュース No. 2

# → センター長あいさつ



入舩 徹男

新年おめでとうござい ます。

昨年末の「坂の上の雲」 (第一部)に加え今年の大 河ドラマは「龍馬伝」と、

幕末~明治期の四国にスポットがあたっている昨 今です。前者は海軍経験者の故桃井 斉本学名誉教 授(鉱物学)の影響もあり、長く愛媛大地球科学 教員の間で必読文献となっていました。文庫本で 8 巻ある司馬遼太郎のこの著作は、私も愛媛大赴 任直後の20年前に挑戦しました。しかし、日本軍 の侵略美化とも受けとれる歴史観と、冗長に感じ られる日清・日露戦争場面の記述に嫌気がさし、 途中で投げ出してしまいました。

上記の放映でちょっとした四国ブームが起こることを予想して、また最近 GRC の若手の何人かが読んでいるのに触発され、昨年再度これに挑戦し、なんとか全巻読み終えることができました。秋山兄弟のような人材が、何故佐幕側で落ちぶれた伊予の小藩から輩出され、短期間のうちに日本を「列強」の仲間入りに導く働きをしたのか。明治という時代の特殊性はあるものの、この本から現代日本の状況を捉えなおすとともに、GRC の運営や今後にも通じるものを見い出すことができ、今回は大変興味深く読み進みました。

とりわけ気になったのは、明治期の主流である「薩長土肥」などと違い、人脈もコネもない伊予人が認められ、我が国にとって重要な働きをするに至ったのは何故かという点です。この点に関連して、私がこの本から読み取ったものは、日本語(母国語)の大切さとともに、早い時期に海外に出ることの重要性でした。

印象的な文章や言葉で、重要なポイントを相手に伝えるには、母国語をしっかり学ぶということが大事です。この点秋山兄弟も、松山での教育や子規・漱石などとの交流を通じて、実に的確な表現力を身に付けていたように思われます。また、それぞれのフランスや米・英での長期滞在を通じた、「中央(東京)」の常識を飛び越えた未知との遭遇が、その後の陸海軍の体制や戦略・戦術構築において、非常に重要な役割を果たしたようです。

GRC で国語を教えることは困難ですが、構成員の皆さんには是非自らも意識的に努力して、一層

の国語力・表現力を身につけていただきたいと思います。また GRC も国際化がすすみ、英語による会話が浸透しつつあるとはいえ、やはり海外での生活経験は重要です。今後増々グローバル化が進むのは時代の流れであり、若手も国内にこだわることなく、海外にも積極的に活路を見い出して欲しいものです。

幕末〜明治初期において、地方は人材の宝庫でした。GRC も四国にあって特徴ある先端的研究活動を展開するとともに、中央を飛び越えて世界を相手に戦える人材を育成したいと思います。本年もよろしくお願いいたします。

# **→** センターの構成 **→**

......

(H22.1.1現在)

#### ❖ 地球深部物質構造動態解析部門

入舩徹男(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)

Matthew L. Whitaker (COE研究員)

実平 武 (特別推進研究員)

國本健広(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)

助 教(採用予定)

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)

臼井佑介(COE研究員) 市川浩樹(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(PD研究員(GRC関連)) 採用予定(PD研究員(GRC関連))

#### ❖ 教育研究高度化支援室分室

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)

矢野春佳(技術補佐員)

Sabrina Whitaker (研究支援員)

#### ❖ 客員部門

客員教授 角谷 均(住友電気工業(株)

エレクトロニクス・材料研究所スペ゚シャリスト)

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)

客員准教授 鍵 裕之(東京大学大学院理

学系研究科准教授)

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)

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)

#### ❖ 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准教授)

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(大阪大学レーサ゛ーエネルキ゛ー学研究センタ ー准教授)

角谷 均(住友電気工業(株)エレクトロニクス・ 材料研究所スペ゚シャリスト)

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

研究拠点事務室 (3F)

日野さゆり (TL)

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)

COE事務室 (4F)

小野由紀子(事務補佐員)

宮本菜津子 (事務補佐員)

大熊 知 (事務補佐員)

兵頭 恵理(事務補佐員)

### → NEWS & EVENTS →

......



GRCの入船徹男センター長・新名亨ラボマネージャーと、バイロイト大学地球科学研究所 (BGI, ドイツ) のCatherine A. McCammon (キャサリン・マッキャモン)研究員・宮島延吉研究員らのグループは、大型放射光実験施設SPring-8の高圧地球科学ビームラインBL04B1の超高圧装置や、 GRCとBGIの各種分析装置を駆使し、地球マントルの仮想的岩石「パイロライト」の相変化や密度変化を、地球の深さ1200kmに至る高圧高温下で精密に決定することに成功しました。本研究の成果は、1月8日付けの米科学誌「Science」に掲載されています。

#### ❖ 米国科学アカデミー紀要に成果発表

GRCの土屋卓久教授と、日本学術振興会研究員の河合研志博士(現在パリ地球物理学研究所)は、第一原理電子状態計算法や地震波形インバージョンなどの手法を駆使し、地球のマントルと核の境界付近のD"(デイーダブルプライム)層付近の温度構造を制約しました。この結果この領域の温度として、3800±200K程度が最適であることが明らかになりました。また、地球の中心核から放出される熱流量の見積もりをおこない、固体地球の進化過程に関する重要な結論を得ました。本研究成果は、アメリカ科学アカデミー紀要(PNAS)の2009年12月29日号電子版に掲載されています。

#### ❖ 日本鉱物科学会における受賞

2009年9月8~10日札幌でおこなわれた日本鉱物科学会年会において、GRCの藤野清志教授らによる論文が論文賞に選ばれ、同学会の総会において授賞式がおこなわれました。また、本学会の最高賞である鉱物科学会賞には、GRC客員准教授である東大地殻化学実験施設の鍵裕之准教授が選出され、授賞講演をおこないました。更に、GRCで研究をすすめている理工学研究科の曽我部昭人氏と、鍵准教授のグループの一員である東大理学研究科の吉野徹氏が、優秀研究発表賞を受賞しました。

#### ❖ 協定に基づく海外学生の長期受け入れ

GRCでは従来より、海外からの長期的に特別研究 学生を受け入れていますが、本年度はエコールノ ルマル高等研から修士課程学生1名、中国地質大学 の修士課程学生2名、またバイロイト大学から博士 課程学生1名をそれぞれ数カ月~半年程度受け入 れ、長期的なインターンシップ教育を実施しまし た。これらの学生はいずれもGRCとの学術交流協定 締結先からの受け入れですが、これ以外にもエジ ンバラ大学などから長期滞在学生を受け入れ、そ れぞれGRCの高い実験・数値計算技術を学ぶととも に、共同研究を実施しています。このような海外 からの学生の長期滞在は、GRCで研究をすすめる本 学の学生にも大きな刺激となっています。

#### ◆ 第2回インターンシップ(TEM分析)報告

グローバルCOEプログラムの一環として、第2回インターンシップが2009年10月27日~30日の4日間、GRCで開催されました。講師は藤野清志GRC教授と、大藤弘明GRC助教で、GRCの若手を中心として連携先の東大や、中国地質大から長期滞在中の学生など、約20名が参加しました。インターンシップでは、TEM分析の基礎に関するレクチャーの後、9名の参加者には引き続く実習がおこなわれました。TEMは高圧下で合成された鉱物の微細組織の観察や、結晶構造・化学組成の分析に不可欠のものとなっており、今後も引き続き同様のプログラムを実施する予定です。

#### ❖ 第3回インターンシップ(X線その場観察)報告



2009年11月30日~12月4日に、グローバルCOEプログラムの一環として、高圧下でのX線その場観察に関するインターンシッププログラムがSPring-8の高温高圧実験ステーションBLO4B1にておこなわれました。プログラムでは、高輝度光科学研究センターの舟越賢一・肥後祐司両氏を講師として、主に初心者を対象とした、放射光とマルチアンビル装置を用いたその場観察実験に関す

る実習がおこなわれました。実習は、GRC の学生 や若手研究者を中心にドイツ、中国、アメリカ、 イタリア、フランス人など 14 名が参加し、国際的 な雰囲気でおこなわれました。

#### ❖ 第2回若手の会(YESA)ワークショップ報告

2009年9月28~29日に、GRCにおいて第2回若手の会ワークショップが開催されました。今回のテーマは「地震波観測とその解釈」であり、地震波観測における現状と問題点及び室内実験やシミュレーションなど他分野から得られるその解釈を議論しました。海洋研究開発機構、極地研、静岡大、東京大、東京工業大、東北大及び広島大から8名の若手研究者と、GRCから4名の計12名に研究成果を発表して頂き、今回のWSは実験やシミュレーションなどの分野が主であるGRCメンバーにとって地震学的な解釈について共通の認識を持ついい機会になりました。

#### ❖ 第9回GRC国際レクチャー

講演者: Dr. Catherine McCammon (Staff Scientist) (Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth)

日時:2010年2月9日 13:00-16:00 2009年2月10日 9:00-12:00

Lecture I:

"Transition metal chemistry and the Earth's interior"

LectureII:

"Oxygen fugacity and the Earth's interior"

#### ❖ GRC国際フロンティアセミナー

第31回

"Physical reasons for abandoning plastic deformation measures in plasticity and viscoplasticity theory"

講演者:Prof. Miles B. Rubin(Israel Inst. Tech.) 日時:2009年9月24日 11:00-12:00

#### 第32回

"Behavior of Xe-Si $0_2$  and Xe-Fe systems under the condition of the Earth's interior - Application to the "Missing Xenon Problem" -"

講演者: Prof. Takehiko Yagi (ISSP, Univ. Tokyo)

日時:2009年10月5日17:00-18:00

#### 第 33 回

"Let's creep! - Part II"

講演者: Prof. Yanbin Wang (GSECARS, Univ. Chicago)

日時:2010年1月14日 17:00-18:00

#### 第34回

"Effect of spin transitions on properties and dynamics of the lower mantle"

講演者: Dr. Catherine McCammon (Staff Scientist) (BGI, Univ. Bayreuth)

日時:2010年2月9日 17:00-18:00

# **→** 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)1月

- 1/22 "Synthesis and microstructure of nanopolyclystalline diamond under various pressure and temperature conditions" Saori Suga (MSc student, GRC)
  - "High Pressure and High Temperature Synthesis of Novel Crystalline C-N Materials" Leiming Fang (PhD student, GRC)
- 1/29 "Synthesis, physical properties, and applications of ultrahard nan-polycrystalline diamond (HIME-Dia): current status and future perspective" Tetsuo Irifune (Professor, GRC)
- 2/5 "Water content and miscible-immiscible
   phenomena on hydrous magma under high
   pressure"
   Toru Inoue (Professor, GRC)
- 2/12 "New phase transitions in the conditions of the mantle, core and further" Taku Tsuchiya (Professor, GRC)

- 2/19 "Phase ralations in pyrolite, harzburgite, and MORB: relations with seismic discontinuities in mantle transition zone and lower mantle"

  Norimasa Nishiyama (Associate Professor, GRC)
- 2/26 "Onset of thermal convection of a fluid with strongly temperature-dependent viscosity in a spherical shell" Masanori Kameyama (Associate Professor, GRC)
- 3/5 "Plume derived mantle heterogeneity beneath the Cameroon Volcanic Line, West Africa" Kyoko Matsukage (Global COE Associate Professor, GRC)
- 3/12 "Measurements of elastic velocities and elastic constants of nanopolycrystalline diamond by pulse method" Masaki Kimura (Assistant Professor, GRC)

#### ❖ 過去の講演

第 240 回 "Breakdown of majoritic garnet: mineral structure versus mineral chemistry" Dirk Spengler (Senior Research Fellow Center, Postdoctral Fellow)

2009.10.9

- 第 241 回 "Thermal distribution resulting from planetary core formation by iron rain in a magma ocean"

  Hiroki Ichikawa (COE Postdoctral Fellow, GRC) 2009.10.16
- 第 242 回 "Strength of single crystal of orthopyroxene under lithospheric conditions: implications for the strength of lithosphere"

  Tomohiro Ohuchi (COE Postdoctral Fellow, GRC) 2009.10.23
- 第 243 回 "Pressure-induced phase transitions in LiMO<sub>2</sub> (M=B, Al and Ga)"

  Li Lei (COE Postdoctral Fellow, GRC)

  2009.10.30
- 第 244 回 "Pressure-induced metalization and

phase transition in ZnTe, ZnS, GaAs and GaP"

Takehiro Kunimoto (PhD student, GRC) "Phase relation and an equation of state of  $Fe_2O_3$  at high pressure and temperature"

Kohei Wada (MSc student, GRC)

2009.11. 6

第 245 回 "Calculation of thermal conductivity by using first-principles simulations"

Naoya Yahata (MSc student, GRC)

"Technical developments toward synthesis of larger nanopolycrystalline diamond"

Futoshi Isobe (MSc student, GRC)

2009. 11. 13

第 246 回 "Technical development for deformation experiments at P-T conditions of the mantle transition zone"

Takaaki Kawazoe (COE Postdoctral Fellow, GRC) 2009.11.20

第 247 回 "Post-garnet transition in  $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$  grossular garnet: constraints on Caand Al-silicate hosts in the mantle transition zone"

Steeve Gréaux (COE Postdoctral Fellow, GRC) 2009.11.27

第 248 回 "Experimental study on rheology of olivine at deep upper mantle conditions"

Yu Nishihara (Senior Research Fellow, Senior Research Fellow Center, GRC) 2009.12.4

第 249 回 "Pressure dependence of water content of magma generated in the Earth interiors"

Akihito Sogabe (MSc student, GRC)

"In-situ X-ray diffraction study of high pressure phase transition in  $C_3N_4$ "

Yohei Kojima (MSc student, GRC)

2009. 12. 11

第 250 回 "Melting experiments of  ${
m MgSiO_3}$  perovskite using laser-heated diamond anvil cell"

Sayaka Murakami (PhD student, GRC)

"Numerical simulation of mantle convection with chemical heterogeneity and continental drift"

Masashi Fukuda (MSc student, GRC)
2009.12.25

第 251 回 "Polymerization of methane molecules and reaction between released hydrogen and olivine under the Earth's mantle conditions"

Ayako Shinozaki (PhD student, GRC)
"Elastic wave velocity measurement of natural serpentinite up to 8 GPa"

Mariko Nakamoto (MSc student, GRC)
2010. 1.15

# → 新人紹介 ·

.......

Matthew L Whitaker (COE 研究員)



Like many people I have met, Geology was not my first major when I was an undergraduate. It was actually my third. And fifth, but that is another story. After finishing my B.S. in Geological Sciences at the State University of New York at New Paltz, I went on to graduate school in the Department of Geosciences at Stony Brook University in Stony Brook, NY, USA. Again, like many people I have met, Mineral Physics was not my first field of graduate study either. After spending a few years working in the field of Experimental Petrology, I saw the proverbial light and began working on some fascinating problems in Mineral Physics with Baosheng Li.

My dissertation research focused on using state-of-the-art synchrotron-based experimental techniques to investigate the physical properties of iron/light-element alloys at extreme conditions of temperature and pressure, and using the results of these experiments to make some inferences about the Earth's core. For my dissertation research, I conducted static compression experiments in both Diamond Anvil Cells and Multi-Anvil Cells using synchrotron X-ray diffraction to try and bridge the gap commonly found between the results of the two types of experiments. The results of these experiments yielded the best agreement between DAC and MAC results that has been seen for these iron mineral phases.

The bulk of my research focused on the use a combination of synchrotron X-ray diffraction, X-radiographic imaging, ultrasonic interferometry in a multi-anvil apparatus; a state-of-the-art combination of techniques pioneered by my Ph.D. advisor, Baosheng. Using this technique, we can directly measure the acoustic velocities thermoelastic properties of materials at high and temperatures pressures; information which is not obtainable using other techniques, and is thus far not available for these important iron mineral phases.

I finished my Ph.D. in August, 2009, moved from the USA to Matsuyama at the end of August, and began working as a Global COE Post-Doctoral Fellow at the GRC on September 1, 2009. My work here will largely follow in the same vein as my graduate research, as I use the facilities uniquely available here and at SPring-8 to study how these iron/light-element phases behave at even higher pressures and temperatures, and in so doing I hope to shed some light on the possible compositions of terrestrial planetary cores. I am enjoying my time in Japan, and have found a few great places to sing Karaoke, which is my favorite pastime. I am looking forward to the rest of my time here and continuing to be at the forefront of scientific research being conducted at the Geodynamics Research Center.

## → 海外出張報告 →

#### ❖ 中国訪問記

相別 7日~16日の10日間、中国の4つの研究機関を訪問しました。今回の訪問は、中国地質大学(北京)の Shengrong Li 教授と中国地質大学(武漢)の Zhenmin Jin 教授の仲介で、中国の State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources の招待により実現したものです。訪問先は、中国地質大学(北京)地学資源学院、北京大学地球宇宙科学学院、中国地質大学(武漢)地球科学学院、それに中国科学院広州地球化学研究所の 4 研究機関でした。それら訪問先で講演を行うとともに、研究者・学生と交流してきました。

講演はいずれも、'Deep Earth Mineralogy'のタイトルのもと、GRC と GRC が取り組むグローバル COE の紹介をするとともに、私達がこれまで行ってきた研究の中から、「衝撃隕石中の天然ケイ酸塩イルメナイトとペロブスカイトの発見」および「下部マントルの MgSiO3ペロブスカイトにおけるFeAlO3置換一なぜ下部マントルで3価鉄は2価鉄より支配的か?ー」の話をしました。聴衆はそれぞれ、大学院生を主に教員・研究員、ポスドク、学部学生など30名から60名近くでした。学生は熱心に聴講し、分らないことには率直に質問していたことが印象的でした。GRC への関心も高く、講演後 GRC あるいは日本へ留学するにはどうしたらよいのか、などの質問もありました。

講演前後の話し合いや研究室を見ての印象ですが、北京と武漢の中国地質大学は今ではともに総合大学ですが、やはり伝統的に地学系の学院が高いレベルにあるようです。北京の地質大学(北京)は伝統的な分野を包括していますが、高圧関係の部門は今の所ありません。一方、武漢の地質大学はレオロジーや高圧関係の研究にも力を入れていました。また、地球化学関係の研究も盛んで、最新装置を揃えていました。

一方、北京大学では、GRC にポスドクでいた Xi Liu 教授や三朝の地球物質科学研究センターに研究員としていたことのある Xiang Wu 教授が中心になって、高圧関係の研究室を立ち上げていました。最後に訪問した広州の地球化学研究所では、副所長の Hongping He 教授が講演会等を取り仕切ってくれましたが、ここで、IMA (国際鉱物学連合)

で何度かお会いした研究所の元所長で IMA の会長もされた Xiande Xie 教授にお会いしました。研究所内の装置等は充実しており、特に地球化学関係の最新装置を揃えているのが、印象的でした。

今回の中国訪問は私にとって初めてのことであり、大学等の研究活動のみならず、一般社会にも関心がありました。私の率直な印象は、"中国は急速に変化している"というものでした。新しい建物や車が急速に増え、人々の生活も随分良くなっているようにみえます。その一方で、交通渋滞も急速に悪化し、人々の生活の格差も広がっているようにみえます。こうした問題を、中国が今後どのように解決していくかも、興味があります。

(藤野清志)



中国地質大学(北京)における講演会

#### ◆ APS, HPCAT, 16BM-B ビームラインにおける実験

10/20-10/28 にアメリカ、シカゴにある APS (Argonne Photon Source)、HPCAT (High Pressure Collaborative Access Team) の 16BM-B ビームラインにおいて、山田明寛 COE 研究員と実験を行ってきました。シカゴではすでに冬の始まりを感じさせる低い気温で、時々雨も降っていました。シカゴの人々からするとまだまだ問題ない気温なのだと思いますが、松山で生活する我々にとっては日本との気温の差もあり、つらいものでした。

私は 16BM-B ビームラインでの実験は初めてだったのですが、過去に実験を行ったことのある山田君や、またビームラインサイエンティストのChangyong Park 氏、GSECARS (GeoSoilEnviroCARS)の Yanbin Wang さん、Tony Yu さんなどの多くの人の助けによりスムーズに実験をすることが出来ました。特に、今回の実験の目的は、パリス-エジンバラセルを用いた弾性波速度測定を可能にする

という新しい技術のテストであり、事前情報はあったもののパリス-エジンバラセルでの実験自体初体験なため、出張前は本当にうまくいくのか疑問に思いながら行きましたが、最終的にはデータをとれるほど順調な実験でした。

私の実験の結果はさておき、今回の実験では、 特に日本での実験との違いを実感しました。特に、 ビームラインでの実験に携わる人数の多いことに は改めて感動し、ビームラインサイエンティスト だけでなく、テクニシャンの方など我々ユーザー がきちんと実験ができるように色々働いてくれる のには感動しました。一方で、機械などは最新の ものというわけではなく、人の力で研究を推進し ていることが伺えました。また実験場所も、限ら れた小さいスペースに、一人ですべての操作がで きるように色々なものがコンパクトにまとめられ ていたのが印象的でした(写真)。色々なウィンド ーが一つのパソコン上に集約されているので、始 めは混乱しましたが、慣れてみると非常に実験を 行いやすい環境だと思いました。

特に今回私は、APS に行く直前まで SPring-8のBL04B1 で実験をしていたため、それら 2 つのビームラインの違いを色々感じました。当然、装置、システムなど色々な面が違い、どちらが良いなどの気持ちはなく、異なる研究体制を実感することができたのがよかったと思います。また、これを機に新しい研究を始めるための議論などができたのが、大きな収穫だったと思います。しかしながら、次はできれば寒くない季節に訪れたいと思っています。(河野 義生)



# → インターンシップ報告 →

I came here at the middle of this September



from China University of Geosciences (Wuhan), and study here as an internship student. I am glad that I have the chance to study in GRC and meet so many kindly people. My research topic here is "Equation of state of antigorite and chlorite under high pressure and high temperature (HPHT) determined by in-situ X-ray diffraction", and Prof. Inoue is my supervisor.

During this internship, I went to Photon Factory (PF) to do my in-situ X-ray diffraction experiment for one week, and collected many diffraction data about antigorite and chlorite to draw the P-V-T path of these minerals, which is important because antigorite and chlorite are main hydrous minerals in subduction zones, and their equations of state control their stability field at HPHT. Previous data on P-V-T of antigorite and chlorite were measured at room temperature and high pressure, which can not represent the real situation in the earth's interior. This is my first experiment, and fortunately, the result is quite successful by the help of Inoue-sensei, Yamada-san and Sogabe-san.

After the experiment in PF, I attended the special internship program in Spring-8, to learn how to do synchrotron in situ X-ray diffraction experiment under high pressure and high pressure. From this program I learnt a lot, about the synchrotron X-ray system, about the way how to conduct an experiment well, and about the team work and communication. I am proud to be one member of Team 3. During this internship, Funakoshi-san arranged sightseeing in astronomical observatory in Harima, which is

really interesting, and after that, we had a small party to celebrate this internship, every one of us had big fun from that, and we appreciate this special internship indeed.

I like this beautiful and clean city, and my life here is enjoyable, people here are kindly and helpful. I hope next year I can come here and start my PhD course with these lovely people here. (Yang Cuiping)

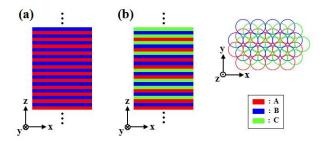
## → 最新の研究紹介 →

......

# ❖ 第一原理計算による地球内核における鉄の 構造探査

地球内核は、圧力が 330GPa 以上、温度が 5000~6000℃の超極限世界と考えられている。核は鉄ーニッケルー軽元素の合金であると考えられているが、その大部分が鉄で構成されているために、高温高圧下での純鉄の情報が非常に重要である。これまで数多くの高温高圧実験や第一原理計算による研究が行われているが、それらの結果から、内核における鉄は六方最密充填構造 (hcp) をとることが有力視されている。これに加えて二重六方最密充填構造、面心立方構造 (fcc)、体心立方構造など様々な候補が提案されてきたが、現段階では未だ明確な答えは出されていない。

我々は、これまでに開発を行っている構造探査 法の自由エネルギー面トレッキング法および多配 置サンプリング法の二つの手法を駆使して、地球 内核条件下における鉄の構造を第一原理的に探索 した。まず、自由エネルギー面トレッキング法を 使って、400GPaにおける鉄の構造探索を行ったと ころ、最安定構造の hcp と共に、積層パターンが hcpのABAB…とは異なるABCACABCBCAB…積層をも つ新たな準安定構造(複雑六方最密充填構造 chcp) が得られた。hcp と chcp とのエンタルピー の差(つまり OK におけるギブスの自由エネルギー の差) は 5mRy/atom であり、hcp と ABC…積層をと るfccとのエンタルピー差11mRy/atomの半分以下 となっていた。このことは、候補構造のひとつと 考えられている fcc よりも chcp のような複雑な積 層パターンをとる構造の方がエネルギー的に安定 であることを示している。これらの結果から、我々 は高温高圧下における鉄は規則だった一定の積層 パターンをとるのではなく、高温により積層欠陥 濃度が上昇し、結果的に積層無秩序構造(乱層構造)が出現するのではないかと予測した(図)。



(a) 六方最密充填構造(hcp)の模式図。ABAB…積層をとる。(b) 乱層構造の模式図。温度に依存して積層欠陥濃度が変化する。

この検証を行うために、現在乱層構造を hcp と fcc の混合構造とみなし、無秩序系の有限温度ギ ブスエネルギーを計算する多配置サンプリング法 を適用させて、各温度における積層無秩序度の決 定を試みている。その結果、常温ではほぼ完全な hcp が出現し、1000K でもほとんど変化はみられな いが、6000K では hcp 的な積層部分が全体の 58% 程度にまで減少することが明らかになってきた。 このことは、地球内核において鉄が大規模な乱層 構造をとる積層無秩序相となっている可能性を示 唆している。さらに我々は現在この乱層構造の弾 性定数テンソルを計算し、弾性特性が積層無秩序 化にともない異方的になっていく結果を得ている。 今後本研究により得られた鉄の構造安定性に対す るニッケルや軽元素の影響を調べていけば、地球 内核についての更なる知見を得ることができると 考えている。(石河 孝洋)

# ❖ DIA型変形装置を用いたマントル遷移層条件での地球深部物質の流動特性

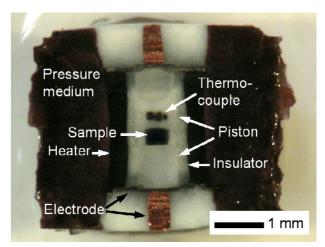
地球深部物質の粘性率は、沈み込むスラブの挙動や全地球規模のマントル対流のパターンを理解し、それにともなう地球の進化を解明するために重要です。また地球深部物質の結晶選択配向と変形の向きの関係を実験的に明らかにすることが出来れば、地震学的に観測されている地球深部の地震波速度異方性と比較することによってマントル対流の方向を明らかにすることが出来ます。

これまでの研究によって地下 410 km・510 km・660 km・2700 km においてマントルの主要構成鉱物が高圧結晶相へ相転移することが明らかになっており、これらの相転移にともなって地球深部物質の流動特性が大きく変化することが予想されて

います。この流動特性を明らかにするためには、 地球深部に相当する温度圧力条件において地球深 部物質の変形実験を行うことが必要です。しかし 変形実験に用いる DIA 型変形装置で発生すること が出来る圧力は、地球内部の高温条件下では地下 300 km に相当する 10 GPa に限られていました。

私は GRC のに導入されている DIA 型変形装置・MADONNA-1500 を用いて、従来の研究よりも遥かに深い条件において地球深部物質の変形実験を行うための技術開発を行いました。特に GRC で近年開発された新たな加圧方式をさらに発展させることにより、地下 600 km に相当するマントル遷移層の温度圧力条件(20 GPa・1700 K)において変形実験を行うことに成功しました(図)。これは流動特性に関する研究の対象領域が 2 倍に広がり、地下410 km・510 km の境界を境に地球深部物質の流動特性がどのように変化するかを明らかにする可能性が拓けたことを意味しています。

現在DIA型変形装置は世界に10機程度導入されていますが、GRC においてこの装置を用いた変形実験の高温下での最高発生圧力が大幅に更新されたことになります。また電界放出型電子顕微鏡を用いた後方散乱電子回折法により実験試料を分析することで、実験試料の結晶方位の決定にも成功しました。これによりマントル遷移層領域(410-660km)において地球深部物質の結晶選択配向と変形の向きの関係を実験的に明らかにすることが可能となりました。



変形実験の実験セルの断面図。

本年夏には GRC の研究グループが中心となって、SPring-8 に DIA 型変形装置を導入する予定です。 放射光 X 線を用いて変形中の試料の応力・変形速度を測定することにより、地球深部物質の粘性率を明らかにすることが出来ます。これにより地下

410 km・510 km の境界を境に地球深部物質の粘性率がどのように変化するのかを明らかにし、マントル対流に関する理解が飛躍的に進歩することが予想されます。本研究が進展することによりマントル対流に関する理解が進み、地球がどのように進化して現在の姿になり、今後どのように進化していくのかを解明することが期待されています。(川添貴章)

#### ❖ マントル条件下におけるメタンの分子重合

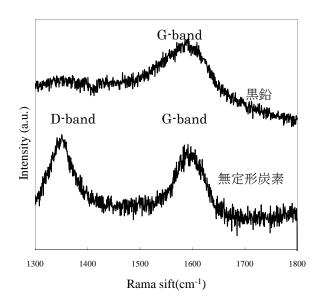
二酸化炭素や水、メタンなどの C-0-H 流体は、微量であっても鉱物の物性や融点に大きな影響を与えることから、マントルのダイナミクスに影響を与える物質であり、その存在や状態を理解することは重要である。 C-0-H 流体は、酸化還元状態によって組成が変化することが知られている。これまでは一般に、地球マントル内部は酸化的であると考えられてきたことから、マントル内の水や二酸化炭素の研究は多く行なわれてきた。近年になって、地球マントルは深部に向かうにつれて還元的になることが、実験データ、熱力学計算から示され、上部マントルの下部や遷移層で C-0-H 流体は水、メタンとして存在していると考えられるようになってきた。実際、ダイヤモンドの包有物中からメタンが見つかっている

メタンのマントル内での安定性、マントル構成 鉱物の物性や相転移に与える影響については明ら かになっていない。メタン単体の場合は、高温高 圧下で分子重合し、エタンが生成すること、3000K 以上の高温条件では炭素と水素に分解し、ダイヤ モンドが生成することが報告されているが、同様 の反応が、上部マントルの6割を占める代表的な 構成鉱物である、カンラン石が存在する条件で起 こるか分かっていない。そこで本研究では、カン ラン石が存在する条件下でメタンが安定に存在す るのか、もしくは分子重合してエタンなどの高次 炭化水素やダイヤモンドが生成するかを調べるこ とを明らかにすること、また、カンラン石の安定 性や結晶構造へのメタンの影響を明らかにするこ とを目的としてレーザー加熱ダイヤモンドアンビ ルセルを用いた高温高圧実験を 5.4-29.4GPa、 1600-2000K の範囲で行なった。出発物質はカンラ ン石とメタンである。加熱後、光学顕微鏡観察、 X線回折、ラマン分光、TEM-EDS を用いて室温高 圧下試料および回収試料の評価を行なった。

加熱後、加熱領域の黒色化が観察された。その

領域の X 線回折から、14.5GPa で wadsleyite が、19.5GPa で ringwoodite が、そして 29.4GPa で Mg-perovskiteと magnesiowustite が観察された。メタンが存在する条件下でもカンラン石の高圧相転移が起きることが示された。高圧下におけるラマン分光の測定から、メタンに加えて、エタン、ポリエチレンなどの高次炭化水素が観察された。さらに、回収試料のラマン分光測定からは、黒鉛、無定形炭素のスペクトルが観察された(図)。 EM-EDS による回収試料の観察からも黒鉛の生成が観察された。このことにより、カンラン石やその高圧相が存在する条件でも、メタンの分子重合が起きたことが示された。分子重合が進むと最終的に、メタンから全ての水素が放出され、炭素単体相が形成される。

本研究では、炭素単体相は、黒鉛や無定形炭素として生成したが、より高温高圧の条件ではダイヤモンドが生成すると考えられる。これまでC-0-H流体の酸化還元反応、すなわち二酸化炭素流体の還元やメタンの酸化によるダイヤモンドの生成は報告されてきたが、本研究の結果から、還元的なマントル深部でもメタンの分子重合によってダイヤモンドが生成する可能性が示された。(篠崎彩子)



回収試料のラマンスペクトル。上のスペクトルが黒鉛からの G-band と無定形炭素からの D-band, G-band。下のスペクトルが無定形炭素からの D-band, G-band。

編集後記:「事業仕分け」とゴミ仕分けの対応に 追われた年末年始でした(T.I & Y.M.)

......

# 特別推進研究ニュース No. 2

#### CMB の温度を制約

土屋教授は、マントル深部 D"層の横波速度構造を、第一原理計算で決定した MgSiO<sub>3</sub>ペロヴスカイトおよびポストペロヴスカイトの高温弾性特性を用いて再現し、これまで不確定性の大きかった核ーマントル境界の温度を 3800±200K と制約しました。またマントル深部で観測される大きな地震波速度不均質が主に温度異常のみで説明できることを示しました。本研究は地震学の専門家(河合研志学振特別研究員・現パリ地球物理学研究所)との共同研究として行われ、2009年12月29日付けの「米国科学アカデミー紀要(PNAS)」誌に発表されました。

#### Fe の新しい高温高圧安定構造

石河助教らは、第一原理計算法と構造探索法 (FEST) や自由エネルギー計算法 (多配置サンプリング法) を組み合わせた独自の手法を用いて、地球内核における純鉄の安定構造予測を行いました。その結果、地球内核に相当する数千 K の高温では、従来考えられてきた単純な最密充填構造よりも積層欠陥を無秩序に含む乱層構造が安定となることを見出しました。この結果は 2009 年 12 月に行われた米国地球物理学連合の秋季大会で発表され、極めて大きな反響を得ました。

#### 下部マントルにおける Fe 分配

入舩教授らは、マントルの代表的化学組成であるパイロライト組成に対し、共存する高圧相間の Fe の分配とその酸化状態に関して、マルチアンビル装置を用いて約50GPa, 2100Kの下部マントル領域まで詳細に決定しました。この結果、スピン転移に伴うと思われる Fe の分配係数の変化を見い出すとともに、パイロライトの密度が観測値とよく一致することを明らかにしました。本研究はバイロイト大学地球科学研究所との共同研究としておこなわれ、2010年1月8日付け(電子版は2009年12月3日)の「Science」誌に発表されました。

#### ヒメダイヤを用いた DAC 中のレーザー加熱

大藤助教らは、ヒメダイヤをDAC用のアンビルとして用いた場合のレーザー加熱効率を測定し、単結晶ダイヤモンドアンビルとの比較をおこないました。

この結果、ヒメダイヤの加熱効率が単結晶を上回り、100GPaを越える圧力下で比較的容易に5000K領域の加熱が可能であることが明らかになりました。この結果は、ヒメダイヤの熱伝導率が通常の単結晶に比べて1桁程度小さいことを反映したものと考えられ、より高圧下での高温実験へのヒメダイヤの応用が期待されます。この結果は高圧力科学の国際誌「High Pressure Research」に印刷中です。

#### ヒメダイヤの更なる大型化

GRC で研究をすすめる理工学研究科修士課程の磯部太志君らにより、BOTCHAN-6000 によるヒメダイヤ合成の第2段階として、従来の52mm 角アンビルを更に大きくした65mm 角アンビルを用い、圧力発生試験や合成方法の改良をおこなうことにより、直径・長さともに約8mmのこれまでで最大のクラック等のないヒメダイヤの合成に成功しました。合成はプレス荷重4000トン程度でおこなわれましたが、BOTCHANの能力をフルに活かすことにより更に1cm級のヒメダイヤ合成が期待され、新しい超高圧装置などへの応用がすすめられつつあります。関連する成果は「J. Phys. (Conf. Ser.)」に印刷中です。



#### SPring-8 におけるパワーユーザー採択

本特別推進研究の一層の推進をめざし、今秋から公募が始まった SPring-8 のパワーユーザー募集に、入舩教授を代表とする本研究の分担者などからなるグループが申請し、書類審査・ヒアリングを経て、採択の通知がありました。パワーユーザー制度は、SPring-8 において高い研究実績を有する研究グループに対し、優先的にビームタイムを配分するなどの優遇措置をおこなうものです。SPring-8 で研究をすすめる数百のグループのうち、これまでに4つのグループがパワーユーザーに指定されています。