

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.grc.ehime-u.ac.jp/>

目 次

- ◆ センター長挨拶
- ◆ センター構成
- ◆ NEWS & EVENTS:
 - HPR誌ヒメダイヤ特集号を出版
 - ローマ大学地球科学科と学術協定締結
 - GRC卒業生などからマスクの支援
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ ALUMNIレポート No. 22
- ◆ 最新の研究紹介
- 先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)

◆ センター長あいさつ ◆



入船 徹男

3月末に「Happy・リタイアメント」を迎える予定でしたが、退職関係のほとんどのイベントがキャンセルになってしまいました。新年度開始早々には、全国的に非常事態宣言がだされ、気持ちの整理もつ

かないうちに大学もロックダウンに。連休をはさんで3週間ほどは自宅でテレワークを試みましたが、雑用以外は仕事にならないことがわかり、ときどき隙をみて研究室へ。2か月近くこのような生活を送りましたが、6月19日からは本学もかなりの制限が緩和されるに至りました。

退職とはいえ、本学教員として居残り、引き続きGRCセンター長も引き受けることになっており、当初は従来とあまり変わらない生活を想定していました。しかし今回のコロナ禍のおかげで、図らずもこの間、完全退職の疑似体験をすることができました。自粛生活の中こっそり早朝海釣りに出かけたり、料理や庭仕事にも挑戦したりしましたが、それも3週間が限度であることがわかりまし

た。一日に一度は研究室に顔を出さないと体調がすぐれなくなるのは、すでに病気かもしれません。それでもこれを機会に、(当たり前ですが)休日には休みをとり平日も6時半には帰ると、「新しい生活様式」を確立することができたように思います。

2月末に開催できた唯一の退職関係イベントの最終講義では、話の最後に私の今後5年間についての予告編(エピソードX)をお話ししました。今年度は、引き続き新たに学生を引き受けるつもりで、またいくつかの国際会議での講演も予定していましたが、残念ながらいずれもとりやめに。少しは社会貢献も頑張ろうと、講演会やイベントなどの計画もすすめていましたが、これらも延期や事実上立ち消えになっており、早々に出鼻をくじかれた格好です。不本意ながら、エピソードX計画は最初から大幅に変更を迫られそうです。

今後もコロナ禍の第二波・第三波が想定される中、GRCの活動も大きく変わらざるを得ない状況です。特にPRIUSにおける共同利用・共同研究活動、とりわけ共同利用に関しては、これまでの活動に様々な制約がつくことは不可避であり、それに対応する新たな取り組み・工夫が必要になります。

折しも本年度末にはGRC設立20年を迎え、今後の10年の方向を決める「あり方検討委員会」の活動が昨年度から開始されました。また、再来年度からの法人化第4期の開始にあたり、本年度はGRC/PRIUSの中・長期的計画の取り纏めを戦略的にすすめる必要があります。コロナ禍という予想外の状況変化を積極的に捉え、これを一つの契機としてGRCの「新しい活動様式」と、更なる発展への道筋をつけることができればと考えています。

◆ センターの構成 ◆

(R2. 6. 1現在)

- ❖ 超高压合成部門
 - 入船徹男 (特別荣誉教授) (R2. 4. 1~)
 - 大藤弘明 (教授)
 - 大内智博 (准教授) (R2. 4. 1~)
 - 西 真之 (准教授) (R2. 4. 1~)

Steeve Gréaux (助 教)
國本健広 (特定研究員)
Youmo Zhou (特定研究員)
近藤 望 (特定研究員)

❖ 数値計算部門

土屋卓久 (教 授)
亀山真典 (教 授)
土屋 旬 (准教授)
出倉春彦 (講 師)
Sebastian Ritterbex (特定研究員)

❖ 物性測定部門

西原 遊 (准教授)
河野義生 (准教授)
境 毅 (准教授) (R2. 4. 1~)
大平 格 (WPI研究員)

❖ 超高压材料科学部門

内藤俊雄 (教授：理工学研究科兼任)
松下正史 (教授：理工学研究科兼任)
(R2. 4. 1~)
石川史太郎 (准教授：理工学研究科兼任)
山本 貴 (准教授：理工学研究科兼任)

❖ 教育研究高度化支援室 (連携部門)

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)
白石千容 (研究補助員)

❖ 客員部門

客員教授 Yanbin Wang (シカゴ大学GSECARS
代表・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名誉教授)
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/
高压実験室長)
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 (東京大学名誉教授)
客員教授 舟越賢一 (CROSS中性子科学セ
ンター利用研究促進部門次長)
客員教授 平井寿子 (立正大学地球環境科
学部特任教授)
客員教授 井上 徹 (広島大学大学院先進
理工系科学研究科教授) (R2. 4. 1~)
客員准教授 丹下慶範 ((公財) 高輝度光科
学研究センター回折・散乱推
進室主幹研究員)
客員准教授 西山宣正 (住友電気工業(株)
アドバンストマテリアル研究
所主席)

❖ 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

研究支援課・研究拠点第2チーム
十河幸子 (副課長)
和田まどか (事務職員)
宮本菜津子 (事務補佐員)
上田瑠美 (研究補助員)
八城めぐみ (研究補助員)
濱田愛子 (事務補佐員)

◆ NEWS & EVENTS ◆

❖ HPR 誌ヒメダイヤ特集号を出版



先進超高压科学研究拠点 (PRIUS) と新学術領
域研究「核—マントル共進化」(領域代表：土屋
卓久 GRC 教授) の技術開発班 (計画研究代表：
入船徹男 GRC センター長) との共催により、昨
年 3 月に開催された国際ワークショップ (NPD-
2019) における発表内容が、High Pressure
Research (HPR) 誌の特集号として 2020 年 3 月
に発行されました。HPR 誌は Taylor & Francis
社が発行する国際誌で、本特集号は「Nano-
Polycrystalline Diamond: Synthesis and
applications」をタイトルとして、ヒメダイヤの
合成と応用に関連する原著論文 18 編が収録さ
れるとともに、入船センター長によるヒメダイ
ヤ合成の歴史が Preface として掲載されています。

❖ ローマ大学地球科学科と学術協定締結



ローマ・ラ・サビエンツァ大学(通称ローマ大学)は、イタリアでトップレベルの長い歴史を持つ総合大学です。同大学の地球科学科には、以前 GRC 博士研究員であった Vincenzo Stagno 博士が教員を務めており、PRIUS を通じた共同研究や人材交流をすすめていました。このたび、GRC とローマ大学地球科学科の一層の交流強化を目指して、学术交流協定を締結することになり、令和2年2月には同博士が GRC を訪れて協定書の交換を行いました。GRC と部局間学术交流協定を締結しているのは、今回のローマ大学を含めて9機関となります。

❖ GRC 卒業生などからマスクの支援

3月から深刻になったコロナ禍のため、GRC のある松山においてもマスク不足におちいりました。このことを知った元 GRC 博士研究員や GRC で学位を取得した元博士課程学生など約10名が、第一波の山を越えた中国などからそれぞれマスクを送付してくれました。その総数は3000枚を越え、GRC 構成員に配布するとともに、残りは第二波に備えてセンター長室に備蓄しています。GRC では卒業生などの alumni 活動も重視していますが、今回はそのネットワークが活かされたものであり、GRC 卒業生との結束が一層強化されました。



◆ 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)

7月

7/17 “New high-pressure phases in the Al_2O_3 - SiO_2 system: Phase relations and crystal structures”
Dr. Youmo Zhou (Postdoctoral fellow, GRC)

7/31 “Ultrahigh pressure structures of amorphous oxides investigated by the opposed type double-stage cell apparatus”
Dr. Itaru Ohira (WPI Postdoctoral fellow, GRC/ELSI-ES)

8月

8/7 “Sound velocities of subducted basaltic crust in the deep mantle”
Dr. Steeve Gréaux (Assistant professor, GRC/ELSI-ES)

8/14 “First principles investigation of hydrous

phases in Earth’s interiors”

Dr. Jun Tsuchiya (Associate professor, GRC/ELSI-ES)

8/21 “Thermal conductivity of Super Earth’s mantle”
Dr. Haruhiko Dekura (Lecturer, GRC)

8/28 “Rheology of bcc-iron at high-pressure and -temperature”
Dr. Yu Nishihara (Associate professor, GRC)

9月

9/4 “Deep water cycle and core hydration”
Dr. Masayuki Nishi (Associate professor, GRC)

9/11 “Thermal and chemical interactions between the core and mantle”
Dr. Taku Tsuchiya (Professor, GRC/ELSI-ES)

❖ 過去の講演

第530回 “A raman spectroscopic study on carbon in a magma ocean during the core formation of terrestrial planets”
Dr. Hideharu Kuwahara (JSPS Postdoctoral fellow, GRC) 2020. 2. 14

第531回 “High-pressure generation technique in a 6-8-2 type multi anvil apparatus”
Dr. Takehiro Kunimoto (Postdoctoral fellow, GRC) 2020. 2. 21

◆ ALUMNI レポート② ◆

❖ 岡山大学惑星物質研究所

特任助教, 桑原秀治

2020年4月より岡山大学惑星物質研究所の惑星基礎物質科学部門に異動致しました桑原秀治です。GRCでは2016年7月から2020年3月までの約4年という長い期間、大変お世話になりました。振り返るとこの期間はちょうど土屋卓久教授が代表を務める新学術領域研究がある等、多くの研究集会を通じて学外の方とも知り合うことができたのは非常に幸運でした。何人かの方とは現在も継続して共同研究を



させていただいております。GRCにきた当時は入船徹男教授を始めとした教員の方々の迫力ある研究業績を見て大変驚くとともに（精神衛生上良くないので今では全く考えないようにしました）、素晴らしい環境で研究できる機会を得たことを大変嬉しく感じたことを覚えております。

そもそも私がGRCを知ったのは学生時代に東京大学物性研究所の後藤弘匡さんにご紹介いただき、来所したことがきっかけです。もともと地球型惑星の大気海洋の起源と進化に興味があり、理論・実験両面から思いつく限りの研究テーマを捻り出し、予備的な結果を見せてはセミナーでいじめられて多くの問題点を指摘されて、ダメにするという劣等学生生活を送っておりました。博士課程2年半ばに入って、よりシンプルな問題設定で大気海洋の起源に制約を加えたいと考えるようになりました。当時の研究グループでは比較惑星学（地球と他天体の違いから地球の起源と進化を考察する）がキーワードでしたので、私もこの視点から未分化な炭素質隕石と比較して異常に枯渇した地球表層やマントルの塩素（重要な海洋成分のひとつ）に着目しました。地球がコンドライト物質から形成されたとしたら、揮発性元素である塩素は地球形成中に核に取り込まれたか、宇宙空間に散逸したはずで、私は高圧実験により塩素が核に取り込まれた可能性を検討し、この問題に制約を加えられると考えました。幸運にも当時、私がいた研究棟の隣に物性研究所があり、指導教員である杉田精司教授に頼み込んで、八木健彦名誉教授の研究室で実験させてもらえないか交渉し、その後学振が通ったこともあって高圧下での金属鉄-ケイ酸塩液相間の塩素分配実験を始めることができました。物性研で高圧実験を行っていく過程で、分析のために試料量を確保しつつ、より高圧下で実験を行いたいことを共同研究者である後藤さんに相談したところ、GRCを紹介していただきました。早速、入船教授、新名講師に相談したところ、共同利用研究として受け入れていただき、なんとか論文にまとめることができました(Kuwahara et al., 2017, G-cubed)。その後、ポスドクとしてGRCに移り、ここでも気の向くまま自由に研究をさせていただき、一部は論文として発表することができました(Kuwahara et al., 2018, PEPI; 2019, EPSL; 2019, GRL)。

多くの方がご存知とは思いますが私が4月から勤務することになりました岡山大学惑星物質研究所は鳥取県三朝町というとても豊かな自然のある、静かで研究に集中できる環境にあります。私はここで芳野極教授、山崎大輔准教授、辻野典秀助教らの高圧実験グループに加わり、マイペースに研究を始めております。とりあえずはGRC所属時と同様に地球型惑星内部の揮発性元素分布に関する実験を中心に研究を行っていく予定です。惑星物質研究所の研究環境も大変素晴らしく、GRCで学んだことを活かしながら「明日は明日の風が吹く」

精神で気楽に三朝での研究生活を楽しまたいと思います。皆様、今後とも宜しくお願い致します。

❖ 九州大学大学院理学研究院

助教、坪川祐美子

2020年3月末までの2年間、日本学術振興会特別研究員としてGRCでお世話になりました、坪川祐美子です。この度4月1日付で九州大学に着任し、久保友明先生と同じ部門にて、これまで



に引き続き地球内部のレオロジーについての実験研究を進め発展させる機会をいただきました。松山の地に滞在したのは2年間だけではありませんが、20年以上過ごした地元横浜と比べ、私にとっては風土や生活環境が非常に過ごしやすかったです。この度、そんな松山を離れ更に西へと移動を進めることとなりました。

ここで、私がおります九州大学の伊都キャンパス、そして地球内部物質分野の研究室について紹介させていただきたいと思います。伊都キャンパスは福岡空港から電車とバスで約1時間の場所であり、3つの地区のキャンパスからの総合移転が2018年に完了したばかりの新キャンパスです。272haという広大な敷地を持ち（単一キャンパスの敷地面積では全国1位）、3つに分かれたゾーン内の1つであるセンターゾーンは、昨年9月に開催されました日本鉱物科学会年会の会場にもなりました。私がお世話になっております地球内部物質学分野の実験室には、私がGRCで使用してもらっていたMADONNAと同じD-DIA型の変形装置や、より高い圧力条件下での変形実験が可能なD-111型変形装置が設置されています。また、学内共同利用施設（超顕微解析研究センター）では、複数台の透過型電子顕微鏡をはじめとする各種装置の利用が開放されているなど、周囲には非常に充実した研究設備が揃っております。これまで私はGRCで、海洋プレートの沈み込み現象について高温高圧変形実験から調べてきましたが、九州大学では研究対象をより深部まで拡大し、沈み込み後のプレートの変形挙動についてもその詳細を明らかにしていきたいと考えています。今年の春は新型コロナウイルス感染拡大の影響で、私は着任して間もなく在宅勤務の指示を受け出勤を控えられる思いをした時もありましたが、現在は（感染への対策をとりながら）実験室での研究活動を徐々に再開してきております。

こちらのニュースレターには2年前、新人紹介として初めて寄稿（No. 51）させていただいた時の

ことを思い出し、私が GRC で過ごした 2 年間で本当にあつという間であったと改めて感じています。私は博士号を取得してすぐ、特別研究員として GRC で研究を行う機会を頂いたのですが、その時初めて高圧変形実験や放射光を用いた測定の技術を学びました。当時全く経験のなかった私に、一からご指導くださった大内先生をはじめ、GRC では多くの方々にお世話になりました。この場を借りて、改めて感謝申し上げます。私は大学院生の途中まで変成岩岩石学を学んでいた時期があったのですが、当時の私には想像もつかないほど、この数年間で研究内容や手法の変化があったと思います。短い期間ではありましたが、GRC で世界最高峰の実験装置・実験技術と第一線で活躍されている研究者の方々に囲まれ、研究活動に取り組む機会を頂いたことは、非常に貴重な経験でした。そして現在は、GRC で学びましたレオロジー分野の研究を続けより発展させていけるよう、励んで参る所存です。

最後になりますが、GRC に在籍期間中は、多大なご厚情、そしてご指導を賜り誠にありがとうございました。4 月より所属は変わりましたが、学会・シンポジウムや PRIUS での来所など、今後も皆様にお世話になることが多いと思います。どうぞよろしくお願いたします。

❖ 中国地震局地震予測研究所

研究員, XU Chaowen



I graduated from Geodynamics Research Center (GRC) in Sept. 2019. I started my doctoral course on Oct. 2016 under the guidance of Prof. Toru Inoue. My research topic is the phase relations of Al-bearing dense

hydrous phases up to the uppermost lower mantle conditions and sound velocities of DHMS, which was supported by JSPS funding. My results showed that Al could hugely increase the thermal stability regions of DHMS and that the velocity of DHMS were much lower than nominal anhydrous minerals, which may explain the observed lower velocity layers in some typical regions of subduction zone.

GRC is one of the state-of-the-art platforms in high pressure earth science. I didnot only learn the method to explore the unknown questions but also developed collaborative research with GRC members. I published three papers and attended international conferences during my Ph. D. study,

such as JpGU, AGU and IMA. I also enjoyed my daily living in a foreign country and was cherished by everyone I met. Therefore, I would like to express my gratitude to my beloved GRC members for useful suggestions and help for my daily life during my doctoral special course.

I found the postdoctoral position in Institute of Earthquake Forecasting (IEF) of the China Earthquake Administration (CEA) after graduation, which is originated from the CEA Center for Analysis and Prediction (officially founded in 1980) and is one of the five national institutions of CEA. The Institute is focusing on the theory, methodology, techniques, and application countermeasures of earthquake forecast based on geology, geodesy, geochemistry, space electro-magnetism, remote sensing, and seismology. The United Laboratory of High Pressure Physics and Earthquake Science of IEF has large volume press, diamond anvil cell and VASP software. I can use these facilities to conduct high pressure research. The institute has the mission about short-term (shorter than annual scale) test of earthquake forecast models and schemes. Combined with the target of institute, my task here is to measure the sound velocities of minerals and rocks at high pressure condition as well as to perform the high pressure experiment about water-rock reaction within these two years with my PI Professor Ying Li. The result will help to understand the mineral physics, structure and the how gas generated in the deep earth, which is of great value to estimate some parameters need to forecast the earthquake in fault zones.

Although I left GRC for almost one year, I missed GRC members and wanted to do some collaborative research in the future. Therefore, I have applied PRIUS program this year, however, I cannot go to GRC due to the virus in this period of time. I hope everything goes well with GRC members.



▶ 最新の研究紹介 ▶

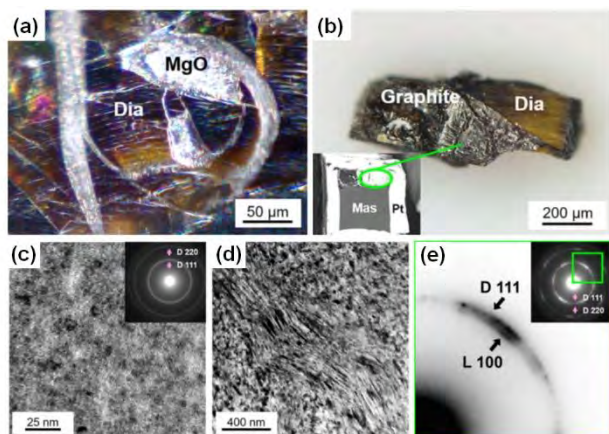
❖ 有機化合物からのヒメダイヤモンド合成

愛媛大学・GRC で生み出されたナノ多結晶ダイヤモンド (NPD, 通称“ヒメダイヤモンド”) は、単結晶ダイヤモンドを凌ぐ高い硬度と優れた透光性を示すため、切削工具などの工業用途はもとより、新

しい超高压発生装置や放射光 X 線吸収実験、中性子回折実験などの学術用途においても重宝され、今やその需要は海外の研究機関にまで広がっている。通常、NPD の合成は出発物質のグラファイトの多結晶体に 15 GPa、2300°C 程度の圧力温度を印加し、直接ダイヤモンドへ変換（相転移）させることにより行われている。ところが最近、我々は出発物質に有機化合物のステアリン酸 ($C_{18}H_{36}O_2$) を用いた場合、これらの条件よりも 1000°C 以上も低い温度条件において NPD が得られることを偶然見出したのでここに紹介したい。

きっかけは、当時学部 4 年生だった川村英彰くん（現・博士課程 1 年）に取り組んでもらっていた C-H-O 流体共存下におけるマグネサイト ($MgCO_3$) の高温高压安定性を調べる研究の中で、彼が偶然、黄褐色で透光性のある小片（図 a, b）を実験回収試料の中に見つけたことであった。XRD や TEM 観察で調べてみると、その小片は粒径 10 nm 程の極めて細粒な等粒状ダイヤモンドより構成され、グラファイトの直接変換により合成される NPD とそっくりな微細組織を有することが分かった（図 c-e）。さらに実験を重ねて調べてゆくと、この NPD 様のダイヤモンドは、試料カプセル中に C-H-O 流体を生じさせるためにマグネサイトとともに封入したステアリン酸が変化したものであることが分かってきた。ステアリン酸は高温高压下では分解して、メタンと水の混合流体（C-H-O 流体）と炭素に分解し ($C_{18}H_{36}O_2 \rightarrow 8CH_4 + 2H_2O + 10C$)、 ~ 13 GPa、800°C 以上の圧力温度条件では炭素はダイヤモンドとして結晶化したと考えられる。

ちなみに、10 GPa では 1600°C まで温度を上げても短冊状のグラファイトの集合体が準安定的に生じるのみで、ダイヤモンドの生成は確認できなかった。



さらに興味深いことに、ステアリン酸のみを金属カプセルに封入した場合、得られたダイヤモンドは常に白色不透明で、全体としては NPD 様の微細組織を有するものの、数 μm 程度の空隙が内部に多数散在していた。これらの空隙は、ステアリン酸の分解により生じた揮発性成分（流体）に由来するものと推測される。カプセル中にマグネサイトを共存させた場合は、マグネサイトの分解で生じたペリクレス (MgO) の加水反応（ブルーサイト

($Mg(OH)_2$) が生成) によってそれらの流体成分が消費されるため、空隙を伴わない透光性を有する NPD が合成されたと考えられる (CH_4 成分については、炭素と水素に分解し、後者は拡散によりカプセル外へ放出されたのかもしれない)。

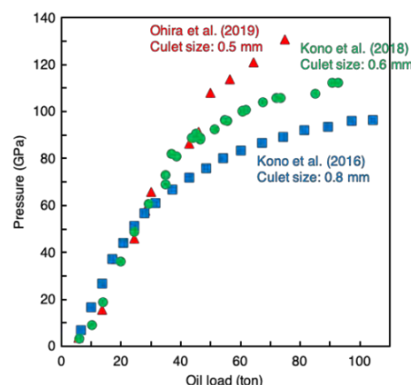
本研究における NPD の合成温度条件は、従来のグラファイトを出発物質とした場合と比べて 1000°C 以上も低温である。これは、ステアリン酸の熱分解によって生じた初期生成物が極めて結晶性の低いアモルファス様の炭素で、その中に多量に含まれるダングリングボンドや構造欠陥が核形成サイトとなり、ダイヤモンド化に必要な活性化エネルギーを大幅に低下させたためと考えられる。より詳細については、論文 (Kawamura and Ohfuji, 2020, High Press. Res., 40, 162-174) をご覧いただきたい。

今後、よりマイルドな条件でダイヤモンド化を起こすような有機系出発物質を探索し、合成条件やレシピの最適化を進めれば、NPD のさらなる大型化や実用・応用の可能性をさらに広げることができるかもしれない。(大藤弘明)

❖ 超高压下の非晶質物質の動径分布関数測定

酸化物ガラスやケイ酸塩ガラス、金属ガラス、非晶質カーボンなどの非晶質物質の高圧下における構造変化の理解は、物理学、地球科学、材料科学などの幅広い科学技術分野において重要な課題である。しかしながら、非晶質物質の動径分布関数測定を高圧下で行うことは非常に困難であり、特に 100GPa 以上の超高压下における非晶質物質の動径分布関数測定はいまだ挑戦的な実験課題として残されている。その困難さの原因の 1 つとして、非晶質物質からの X 線回折強度が非常に弱いことが挙げられる。十分な強度の X 線信号を得るためには、十分大きい試料を用いることが必要である。もう 1 つの原因は、超高压実験で一般的に用いられているダイヤモンドアンビルセルの試料は非常に小さいことである。ダイヤモンドアンビルセルを用いた開拓的な実験も数例報告されているが、X 線回折測定 of Q 範囲が非常に狭い範囲に限定されるなどの問題は残されている。

この困難を克服するための高圧実験技術として、我々は対向型二段式大容量セルを開発した (Kono et al., 2016, PNAS, 113, 3436-3441)。対向型二段式大容量セルは、パリエジンバラ型高压プレス的一段目超硬アンビルで高压セルを加圧し、さらにその高压セルの内部にキュレットサイズ



の大きいダイヤモンドアンビルを二段目アンビルとして設置することにより、通常のダイヤモンドアンビルセル実験よりも数十～数百倍大きい試料を用いて、一般的な大試料プレス実験よりも格段に高い 100GPa 以上の超高压下に加圧することに成功した (図)。この対向型二段式大容量セルと非晶質物質の動径分布関数測定を組み合わせることにより、我々は超高压下における非晶質物質の構造研究を推進している。最初の論文である Kono et al. (2016) では、最高 92GPa の超高压下において GeO₂ ガラスの動径分布関数測定に成功し、酸化物ガラスのプロトタイプである GeO₂ ガラスにおいて 6 配位以上の超高压構造への構造変化を世界で初めて発見した。さらに、その後の改良により、100GPa 以上の超高压下におけるケイ酸塩ガラスの構造測定にも成功している (Kono et al., 2018, 115, 1742-1747; Ohira et al., 2019, *Geochem. Persp. Lett.*, 10, 41-45)。特に、Ohira et al.

(2019) では、地球の核-マントル境界と同等の圧力 131 GPa までの超高压下においてケイ酸塩ガラスの動径分布関数測定に成功しており、ケイ酸塩マグマのアナログ物質であるケイ酸塩ガラスについて、マントル最深部の超高压下における構造変化を研究することが可能となっている。

対向型二段式大容量セルを用いた超高压実験と、それと組み合わせた非晶質物質の動径分布関数測定は、地球深部科学のみでなく、その他幅広い分野における非晶質物質の構造転移 (ポリアモルフィズム) の研究に大きく貢献すると考えられる。さらに、対向型二段式大容量セルの開発により可能となった大試料の超高压実験は、非晶質物質の動径分布関数測定以外にも、その他放射光 X 線測定 (例えば、X 線トモグラフィ、X 線非弾性散乱) や、高压中性子実験などの幅広い高压科学研究に大きく貢献すると考えている。(河野義生)

共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

❖ PRIUS 利用者の声



私は、ヒメダイヤを高圧中性子回折実験に使用する研究のために PRIUS を利用しています

す。中性子回折は、X線回折に比べるとはるかに大容量の試料が必要になるため、大型・高硬度・透明 (光学的にも中性子的にも) といった条件を備えるヒメダイヤは、高圧中性子回折実験にとって理想的な材料と言えます。中性子回折実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC の PLANET という高圧中性子回折ビームラインで行います。PLANET では、徹底的なバックグラウンド対策により、高強度かつ低バックグラウンドを同時に実現しており、そのデータの質は世界の他の高圧中性子ビームラインを圧倒しています。ここに世界最高硬度のヒメダイヤを使ったダイヤモンドアンビルセルを持ってくれば、高圧中性子回折の到達圧力として世界最高記録を作れるに違いないと確信し、5年ほど前から研究を始めました。

本研究は、高圧中性子回折実験では標準的に使用されるパリ-エジンバラセルを開発した S. Klotz 博士と共同で行っています。ヒメダイヤを用いたダイヤモンドアンビルセルの形状も、パリ-エジンバラセルにならったものになっています。これまで最高で 82 GPa までの圧力に到達し

(Komatsu et al., *HPR*, 40, 184-193, 2020)、世界最高圧力である 94 GPa には及ばないものの、得られたデータの質は構造解析に耐えうるレベルで、サイエンティフィックな結果を得られるところまであと一歩です。

また最近、博士課程学生の山下恵史郎君が中心となって、多結晶というヒメダイヤの特性を活かした単結晶中性子回折用の新たな高压セルも開発しました。通常の単結晶ダイヤモンドを利用すると、微小な単結晶試料からの回折スポットに、アンビルからの大量のスポットが混じってしまい、単結晶中性子回折データの解析が困難になるのですが、ヒメダイヤだとアンビルからの散乱は弱いデバイリングのみとなるため、試料からの回折スポットを容易に分離できます。すでにフランスの中性子施設 ILL で開発した高压セルを用いた単結晶中性子回折実験を進めており、結果は一部、*High Press. Res.* 誌にて報告しています (Yamashita et al. *HPR*, 40, 88-95, 2020)。今後ヒメダイヤを使った高压セルは、高压下单結晶中性子回折実験のスタンダードになると期待しています。ご興味をお持ちの方は、ぜひご一報ください。

(小松一生：東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設准教授)

❖ PRIUS 利用者の声

私たちのグループは、動的超高压を興味の中心に据えて研究を展開しています。超高压の発生方法には、ビル棟に収まるほどの大型のものからテーブルトップのものまで様々ですが、ハイパワー

のパルスレーザーを使用します。いわゆる“レーザーショック”と呼ばれる方法で、テラパスカル圧力の高エネルギー密度環境が探索できることで知られています。最近では特に分子解離や溶融、超高速の構造相転移などを含む、単純なプラズマ状態からかけ離れたWarm Dense Matter (WDM) と呼ばれる物質状態を理解するための研究を進めています。またWDMの学理的理解を新たな加工技術に応用しようとする大型のプロジェクトも開始しました。このような展開にはレーザー技術の進歩はもちろん、X線自由電子レーザーの利用が大きな役割を果たしています。WDMが境界領域の学術であること、放射光施設に頻繁に出入りするようになったことなどから、静的超高压や惑星科学の研究者の方々との交流が増えていたところでもあり、PRIUSへの応募は導かれるような自然な流れだったように思います。

個人的には、いつの頃からか極限高圧力環境下の炭素について興味を持って研究を続けてきました。炭素とその結晶状態（ダイヤモンド）に見られるユニークさは、極超高压の極限環境、動的な極端条件ではどのように変化するのか。これまで調べられてこなかったミクロな状態はどのようなものなのか。そして、ナノチューブやグラフェンに並ぶインパクトがあるかはわかりませんが、常に注目されてきた炭素の多形を新たに発見することはできるか、などなど。レーザーショックを高度に制御できるX線自由電子レーザーの研究プラットフォームでこれらに挑戦しています。そしてこの炭素に関する研究に、PRIUSで供給いただいているナノ多結晶ダイヤモンドNPDが重要な役割を果たしています。ごく最近、レーザーショックで衝撃融解ギリギリの700万気圧まで圧縮されたNPDの、フェムト秒時間分解X線回折観察に成功し、特異な変形の様子が解明されつつあります。

いい年齢になってきたせいか、やればやるほど知りたいことが増えてくる今の状態をまだ楽しめている一方で、自分だけでやれることは本当に限られていることを実感します。NPDは良い例でしょうか。これを読んでくださる皆様のご理解とご協力が得られますよう、精進したいと思っています。 (尾崎典雅：大阪大学大学院工学研究科准教授(右端))



❖ PRIUS 利用者の声

私が専門とする高圧下のX線吸収分光(XAS)測定では、X線の透過能が高いダイヤモンドをアンビルとしたダイヤモンドアンビルセル(DAC)が主力の圧力装置です。市販のダイヤモンドは単結晶なので、X線エネルギーをスキャンするとアンビルがどこかでBragg回折を起こし、試料のXASプロファイルに「グリッチ」と呼ばれるスパイク上のノイズが重畳します。私が高圧下のXAS測定に着手した2000年以前から、このグリッチは技術的な大問題でした。私の場合も、これから相転移！というタイミングに限ってグリッチが顔を出しました。DACの角度を何度も微調整してグリッチを逃がさねばならず、試行錯誤で時間を浪費するのが当時のルーティンでした。一方、多結晶ダイヤモンドの焼結体であるヒメダイヤ(NPD)はX線エネルギーによらずBragg回折が生じるので、グリッチは出ません。これを入船徹男先生と住友電工の角谷均博士に説明したところ、XASへのNPDの活用を快諾頂きました。記録を確認すると2009年5月にインバー合金の磁気EXAFSを測定した実験が、NPDのXAS利用の世界初の実験になりました。ここで改めて両先生に感謝申し上げます。その後、NPDのXAS利用が欧州のESRFを中心に世界に広がったことは、皆さんご存知の通りです。最近研究室の学生も「グリッチって何？」の状態となり、私がNPDの有り難さを伝えきれていないようです。しかし、現在はもうNPDとXASから新しい高圧物性を学生と共に開拓するフェーズなのでしょう。

XASは吸収原子の電子状態だけでなくその周りの原子配置もプローブする特徴があるので、高圧物性研究でも強力な実験手法の一つです。現在の高圧下XAS測定の技術的課題として、①TPaに達する超高压領域でのXAS測定、②測定可能な吸収端を低エネルギー側に拡張すること、同様に③高エネルギー側へ拡張すること、が挙げられます。このうち、①と②はNPDの2段式DACを使えば実現可能です。そこで2段式DACの第一人者であるGRCの境毅博士との共同研究として5d遷移金属を試料にした新しい実験が始動しました。既に300GPaを超えるXAS測定に成功し、5d軌道の圧力変化も捉えつつありますので、その成果をこの紙面でも紹介できることを願っています。(石松直樹：広島大学大学院先進理工系科学研究科助教)

編集後記：第一波は無事乗り切りましたが、気を緩めずに第二波に備えたいところです。(T. I & Y. M.)