

### 地球の深部の状態を再現し 地球の構造や誕生の謎に迫る

愛媛大 地球深部ダイナミクス研究センター 入船徹男研究室

ロケット技術の進歩によって宇宙旅行も夢ではなくなった現代においても、地中を深く掘り下げ、地球の内部を直接見ることはまだ実現していない。この見えない世界を、理論と実験の両面から研究し、解明しようとしているのが、愛媛大地球深部ダイナミクス研究センターだ。このセンターの研究の中でも、センター長の入船徹男教授は、地球深部の高温高压の状態を特別な装置によって再現し、物質の構造や成分の変化などを分析することによって、地球内部の謎に迫っている。

#### フローチャートで分かる入船研究室

##### 大学院生の 主な出身分野

地球科学

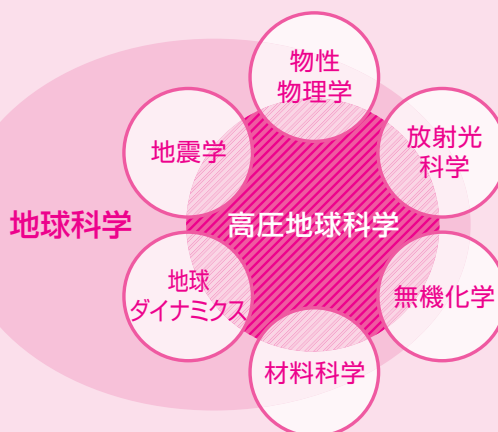
物理学

材料科学

など

◎大学院生の出身学部は理学部が多い。博士課程では、工学系の出身者や外国人も多い。他に、中国、フランスなど諸外国からの研究員が在籍する。

##### 研究にかかわる 学問分野と研究内容



◎高压地球科学は地球科学の1分野であり、その研究成果は、地球のダイナミクスの解明、地球や宇宙の成り立ちの解明など、地球科学の他分野に大きな影響を与える。高温高压状態での物質の動きを分析することから、物性物理学との関連が深く、材料科学や無機化学などの知識も必要となる。

##### 研究成果と 社会のかかわり

新事実の解明

製品への利用

他分野への  
情報提供

など

◎高压地球科学での成果は、他分野の成果と照らし合わせて、地球深部の解明に活用されることが多々ある。実験過程で生まれた新しいダイヤモンドの合成技術は、工業製品に利用されている。

## 未知の世界に突き進む好奇心と粘り強さ

高圧地球科学が求める学生像

新しいものを面白いと感じる好奇心

最後までやり通す粘り強さ

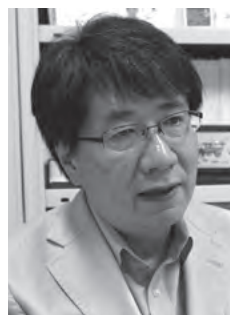
研究成果を世に伝える語学力・表現力

地球科学は誰も見たことのない世界を研究する分野であり、未知のものや新しい発見を面白いと感じる好奇心が何よりも大切だと思います。研究では、準備に2、3日かかる実験を月に10数回行うこともあります。そんな状況でも集中力を持続できるのは、「美しいものを見たい」「新しいことを見付けたい」という好奇心が強くなるからだと思うのです。

また、この分野に限らず、得意なことが2つ以上あると大きな強みになります。得意なもの1つでは、いつかそれを超える人が出てきます。でも、2つ以上あれば、両方とも超える人はなかなか出てこないでしょう。私は仏像を彫れるほど手先が器用で、文学の分野への進学を考えるほど語学が得意でした。それは実験や論文に生かされ、私がこの世界で生きていけるという自信に結び付きました。何か1つに決めてしまわず、得意なことは何でもとことん追究していくとよいと思います。

### 高校生へのメッセージ

高校時代はいろいろな勉強をすることが大事です。論文を書くにしても、成果を周囲に納得させるだけの文章力が必要ですし、論文作成や学会での研究発表はほとんど英語です。実験は体力仕事で、見たものを美しい、すごいと感じる感受性がなければ、せっかくの成果を見逃してしまうかもしれません。文章力、語学力、体力、感受性……それらの基礎は高校段階で身に付くもので、意味のない勉強はありません。好きなことにこだわりを持って取り組むことも大事ですが、視野を広く、幅広く学んでほしいと思います。



入船徹男 教授

いりふね・てつお 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター長。グローバルCOE「地球深部物質学拠点」拠点リーダー。北海道大学大学院理学部助教授、同教授などを経て現職。2008年度アメリカ地球物理学連合フェロー。国際高圧力学会会長。主な受賞歴に、07年度フンボルト賞(独)。著書に『ダイヤモンド号で行く地底旅行』(新日本出版社)がある。

### 研究概要

## 高温高圧状態で地球内部を再現し見えない地中を解明

地球の半径は約6400kmで、内部は地殻(深さ約30km)、マントル(深さ約30〜2900km)、核の3つの部分で構成されています。

深度が深くなるほど、温度と圧力は上昇し、マントルの底では3000〜4000℃、136万気圧、核の中心では5000℃、360万気圧もの高温高圧となります。また、マントルは主にかんらん石、輝石、ざくろ石で、核は主に鉄とニッケルで構成されています。

地球内部は理論上、このように考えられているのですが、本当にそうなのかを直接見て確かめることは出来ません。そこで、私たちは特別な装置を使って地球内部の温度と圧力を再現し、その条件下で物質がどのように振る舞い、構造がどのように変化するかを分析して、地球内部を解明しようとしています。理論が実証されれば、地球の形成過程、地殻変動や地震のメカニズムなどを解明するための重要な情報となり、ひ

いては太陽系の形成過程の解明にもつながります。

地球科学の研究方法には観測、調査、シミュレーションなどがありますが、実験によって見えない地球内部を見えるようにして研究するのが高圧地球科学なのです。

### 研究内容

## 技術の進歩により精度の高い分析が可能に

実験に用いる再現装置は2種類あります。1つは最も硬い鉱物であるダイヤモンドを利用したもので、先を尖らせた2つの

ダイヤモンドの先端を向かい合わせにし、試料を挟み込んで圧力をかけます。領域が非常に狭く、300万気圧にもなるため、高温を加えれば核の状態を再現できます。しかし、圧力の変化や空間の勾配に試料の状態が左右されやすく、精度が落ちるのが難点です。

もう1つは、超硬合金などで作ったセルに試料を入れ、大型の機械で温度と圧力をかける方法です。一定量の試料を入れられるので、精度よく再現できます。ただし、現在の技

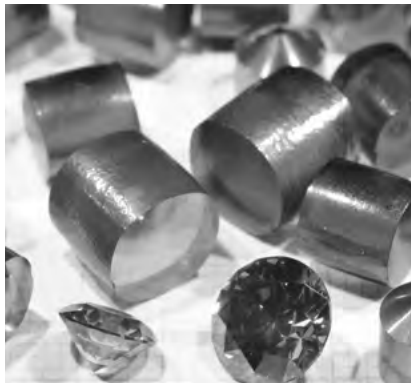
術では上限が90万気圧ほどであり、核と同じ温度と気圧を再現できません。そのため、この2つの方法を併用して分析を進めています。

いずれの場合も、試料は装置に覆われて直接見ることは出来ず、高温高圧下で相転移や密度変化した試料を常温常圧にしてから分析をしました。しかし、1997年、兵庫県に大型放射光施設「Spring8」が出来たことにより、放射光やエックス線を当てて高温高圧下の試料をその場で見られる「その場観察」が可能となりました。より精緻な分析が実現し、私たちの研究室では、マントル下部の状態に相当する2000℃かつ60万気圧での「その場観察」に成功しました。マントル構造や海洋プレート物質の解明の大きな手掛かりとなるもので、現在も研究を進めています。

地球内部の解明に加え、人工ダイヤモンドの合成にも力を入れていきます。実は、30代の頃、実験で高圧を出すのに失敗し、想定以上の高温が出た時、試料の炭素のカプセルがダイヤモンドのような透明のものに変化していることに気付きました。キ

ラリと光ったものは何だったのか。私はどうしても確かめたくて、条件の再現を試みました。失敗した実験なので記録もなく、記憶を頼りに試行錯誤した結果、ダイヤモンドが合成できる高温高圧条件を発見したのです。しかも、普通のダイヤモンドは単結晶なのですが、私が合成したものは多結晶であり、天然やこれまでの人工物をしのぐ世界一硬いダイヤモンドだったのです。

世界で最も硬い素材は、より高温高圧状態に耐えられるセルとなります。今までのセルでは90万気圧ほどが最高でしたが、このダイヤモンドならば150万気圧は耐えられるのではないかと考えています。これにセルに使い、高温高圧装置での実験



研究室で合成したダイヤモンド。愛媛大にちなんで、ヒメダイヤと名付けた

を始めたところです。また、この合成方法を応用して、ざくろ石多結晶体などの合成も模索しています。

自分たちで素材を開発し、地球深部に更に迫る実験をする。ここできか出来ない研究をしていることに大いに意義を感じています。

## 研究の展望

### 技術の進歩と共に新たな研究を開いていく

高校時代、化学部の部長を務めていた私は、部員と共に工業排水を採取して分析をし、文化祭で発表しました。また、物作りが好きで、望遠鏡を作ったり、仏像を彫ったりしていました。地球科学の中でも、実験が中心となる高圧地球科学を選んだのは、科学への興味と自分の得意を生かせる分野だと考えたからです。

地球内部はまだ謎に満ちています。技術の進歩により、予想もしていなかった発見があり、それまでの理論が覆されることもあります。自分の手で一つひとつ解明していくところが研究の醍醐味です。これからも好奇心を持ち続け、追究していきたいと思います。

## 用語解説

**1 超硬合金**  
硬質の金属炭化物の粉末から作られる合金のこと。極めて硬度が高く、高温下でもその低下が少ないことが特徴。主に切削工具に使われる。

**2 セル**  
実験対象となる試料を入れる容器のこと。

**3 相転移**  
物質の状態(相)が、温度や圧力など外的要因によって変化すること。例えば水(液相)が、温度によって氷(固相)や水蒸気(気相)になることを相転移という。

**4 Spring8**  
兵庫県の播磨科学公園都市にある世界最高性能の放射光を生み出す大型放射光施設。国内外の産学官の研究者などに開かれた共同利用施設でもある。放射光とは、電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波のこと。ナノテクノロジー、バイオテクノロジーなど幅広い研究分野に利用されている。

**5 単結晶、多結晶**  
単結晶は1粒の結晶が大きく成長したもの。一方、多結晶は、多数の小さな単結晶の集合体のことをいう。



# 世界一硬い人工ダイヤモンドの大型化に挑む



磯部太志さん

いそべ・ふとし 愛媛大大学院理工学研究科博士後期課程3年。愛媛県立川之江<sup>かわのゑ</sup>高校卒業

**Q** なぜこの分野に進んだのですか

**A** 小さい頃から生き物が好きで、生物の研究者になりたいと思います。地元の愛媛大理学部生物地球圏科学科（\*）に進みました。ところが、2年生進学時の学科の振り分けで、希望する学科に進めなかったのです。他に興味のある分野は何かと探した時に出合ったのが、人工ダイヤモンドの研究をしている入船先生の研究室でした。ダイヤモンドは誰でも知っている

鉱物で、研究テーマとしてとっつきやすく、また私は実験が好きなので、研究を進める上でも合っていると思います。この分野に進みました。

**Q** 現在の研究内容を教えてください

**A** 4年生の時から人工ダイヤモンドの合成の研究をしています。最初は合成方法の改良から始めました。ダイヤモンドが合成できる温度と圧力は分かっていたのですが、それでは小さいものしか出来なかつたため、温度と圧力の条件を変えたり、セルの素材を変えたりと、条件をさまざまに変えて、実験を繰り返しました。

大学院に進むと、世界最大の大型超高压合成装置が本学に導入され、本格的にダイヤモンドの大型化に取り組まれました。実験は地道な作業の繰り返しです。準備に2、3日、実験自体もセルを装置に設置し、高温高压をかけ、冷やして回収するまでに約4時間かかるので、実験できるのは週1、2回です。出来た合成物を見て、なぜ割れたのか、なぜ完全にダイヤモンドにならなかったのかなど、失敗の要因を推測します。失

敗が続くと諦めたくなるのですが、条件さえ合えば絶対に出来ると信じて改良を重ねました。

私が研究を始めた頃は直径4mmだったものを、次は5mm、それが成功したら6.5mm、8mmと徐々に大きくして、2010年、ついに直径1cmの合成ダイヤモンドが出来ました。

この成果は学会でも高く評価されました。共同研究先の企業からは、このダイヤモンドを使った超精密加工用の切削工具が発売されました。自分が研究・開発したものが社会に役立つと思うと、感慨深いものがあります。

現在は更なる大型化と安定化を目指して、研究に取り組んでいます。

**Q** 高校生へのメッセージをお願いします

**A** 私は高校時代、好きな生物の研究者になればいいなと漠然と思っていただけでした。しかし、「好きだ」という思いを大切に、その時々で道を選んできた結果、研究者になることが出来ました。得意なことや好きなことを一生懸命に続けることが大切だと思います。

また、英語の勉強はしっかりしておいた方がよいです。研究のために英語の文献を読むことが多いですし、論文は英語で書きます。学会での発表も英語で行います。研究者には英語力が必要とされるので、高校時代に基礎を身に付けておいた方がよいと思います。

## 私の高校時代

### 理科の実験で探究心が深まった

●高校時代の出来事で心に残っていることの1つは、理科の実験です。理科の授業に力を入れていた学校だったので、例えば、コオロギに墨汁を注射し、それを異物として食作用を起こす白血球の動きを観察したり、ウシの眼球を解剖して角膜や水晶体を取り出したりしました。小さい頃から生き物を飼うことが好きで、理科の中でも生物が得意だった私は、実験を通してますます生物への関心を深めていき、生物地球圏科学科に進みました。

また、実験の楽しさや面白さを知っていたことは、実験を多く行う入船先生の研究室を選び、研究で何度実験に失敗しても粘り強く取り組む姿勢につながったのではないかと思います。途中で生物の研究から外れることになりましたが、結果的に、特許を取れるような技術を開発できました。今の研究を続けられている根源には、高校時代の経験があると思うのです。

\*生物地球圏科学科は2005年度に改組し、現在は生物学科、地球科学科