

地球深部の超高压研究—京都から松山へ

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター 入船徹男 (1978 年卒)

私が学生時代を過ごした 70 年代半の京都大学は、まだまだ学生運動が盛んな頃であった。特に教養部時代はほとんど授業に出た記憶がなく、連日のようにクラス討論やサークル活動、また自治会活動などに明け暮れていた。幸か不幸か紛争の余波で、3 回生段階で単位取得に無関係に、とりあえず教養部から理学部の専門課程への移行が可能になったため、多くの学友がそうであったように、私も語学や体育などの出席数が重要な教科の単位の多くを残したまま専門課程へ移行する有様であった。当時は午後からの授業に寝過ごすことも多かった。いまだに体育の授業の点呼に遅れる夢を見る。

学部に移行した 3 回生時からは、これではいかんと思ひ、少しは授業もでるようになった。とはいえ一部の講義以外はあまり身が入らず、特に農場に近い物理学教室での午後の量子力学演習などは、ヤギの声を聞きながら熟睡していた記憶しかない。それでも 3 回生時代は自分で、また友人たちと独自に勉強した。数学はスミルノフの教程を、また物理学もランダウやキッテルを中心に、かなりの本を読んだ。シッフの量子力学も原著で通読した。4 回生の課題研究 (卒論) では、地球物理系ということであったが、地震学や測地学、また海洋物理学や大気物理学・超高層物理学といった「主流」ではなく、あまり人のやっていないことを研究したいと考えた。

当時、島田充彦先生や行竹英雄先生が中心となり、高压実験を行っていることを知り、また京大では固体物性論を用いた高压下での物性の理論的研究の流れもあることも知って、超高压物性に基づく地球深部の探求に、新鮮さと魅力を感じた。そこで、卒論では高压実験をやりたいと考えたが、理学部には設備がなく、級友の田中章夫君 (現応用地質) とともに、毎週のように高槻市の阿武山地震観測所まで出かけることになった。

学部に入っても学生運動から逃れることができず、週 1 回出かける阿武山訪問は、遠足のようにもあり、大学での緊張感からほっと気が抜けるひと時であった。観測所の周囲には畑がつくられ、職員 (教員?) が昼間から農作業をしていた牧歌的雰囲気、強く印象に残っている。本学とは別世界の環境のなか、島田・行竹両先生とマンツーマンで実験や論文購読に集中できたのは大変幸いであった。

最初は装置に触らせてもらえず、島田先生らの紹介で F. Birch の 1952 年の地球内部物性の名論文や、A. E. Ringwood のマントル物質の相転移に関する論文を読むことになった。ようやく後期になり、確かフッ化アンモニウムの相転移実験を、ピストン-シリンダ型装置を用いておこなったと記憶している。しかしたいした結果は出せず、今の自分の学生にはとても恥ずかしくて見せられないレポートのような卒論を提出したに終わった。とは言え、京大地球物理で、高压実験や高压下での理論的研究の一端に触れることができたのは、その後の私の研究の原点となった。

この後、修士課程は当時超高压実験の拠点であった名大に入学したが、ここで熊沢峰夫先生のグループにおいて切磋琢磨できたこと、また、その後オーストラリア国立大学で、Ringwood 教授と一緒に仕事できたことは、私の研究生活において京大時代とともに、大きな財産となった。

熊沢先生の独創性は、いまだにとっても足元にも及ばないし、当時の名大の研究レベルの高さには正直大変驚いた。ここでも私は、あまり出来のいい学生ではなかったが、大学院入試では、語学 (当時は英語とドイツ語) だけは抜群の成績だったと、後でこっそり熊沢先生から教えていただいた。

先輩には現在東北大で COE 代表をしている大谷栄治氏をはじめ、壮々たるメンバーがいた。しかし熊沢先生と、その上に控えておられた島津康男先生 (それぞれ、陰では「天皇」、「神様」と称されていた) が、あまりにも偉大な存在であったため、外様の私などは少々委縮気味であった。

その後、諸般の事情により博士課程は北大に移ったが、ここは逆に大学院生の力が強く、自分の

力でテーマを設定して研究をすすめ、結果を論文に取りまとめる能力は、むしろ鍛えられたという気がする。

学位取得後は、半年ほど学振の研究者として名大で研究に従事したが、1984年末には中途辞退し、オーストラリア国立大の Ringwood 教授の研究室に研究者として赴任した。キャンベラにある同大学の地球科学研究所は、当時は世界の固体地球科学研究の中心の感が強く、非常に刺激的な研究生生活を送ることができた。Ringwood 教授からは、基礎科学とともに応用研究の重要さと、ポイントをとらえる大切さや、研究に対する姿勢を学ぶことができた。今、考えると、研究者として、また生活の面でも生まれたばかりの長女と妻、周囲にも良い友人に恵まれ、生活面でも最も充実した楽しい時期だったかもしれない。

その後 1987 年に北大で助手の職を得たが、旧態依然たる教室や研究室は肌にあわず、1年半で飛び出し、当時「若手の登竜門」とも称されていた愛媛大に移ることができたのは、私にとって大きな幸運だった。若手が生き生きと活躍している当時の愛媛大・地球科学教室で、私も旧帝大の呪縛から解き放たれて、自由に研究をすすめることができた。このような教室の運営に努力いただいた愛媛大の故桃井斉教授や、小松正幸教授（元理学部長・学長）をはじめとした当時の教授陣には、頭が下がる思いである。

1989年春に愛媛大に移ってからは、本格的に超高压実験を再開し、オーストラリア時代にやり残した沈み込むプレートを構成する様々な物質の相転移と密度変化の研究を、一段落させることができた。一方で 1990 年代からは、筑波の高エネルギー物理学研究所の放射光を利用した、「X線その場観察実験」に着手した。特に 1997 年に完成が予定されていた世界最大の放射光実験施設 SPring-8 における実験を想定しつつ、様々な実験技術や手法の開発を試みた。

1990 年代半ばからは、SPring-8 における 10 本の先行建設ビームラインの一つである高圧地球科学関連ビームラインの設置に協力し、1997 年秋からの利用開始に向け、装置の調整や試料部の開発に従事した。そして利用開始直後には、当初の長期的目標であったポスト・スピネル転移の X線その場観察実験にあっけなく成功した。高エネ研での実験の蓄積が活かされるとともに、愛媛大グループのチームワークの良さがこの快挙の秘訣であった。

この成果は、利用開始後わずか半年後の 1998 年 3 月にサイエンス誌に掲載され、SPring-8 全体としての最初の研究成果として大きく注目された。その後も SPring-8 にで得られた様々な成果をネイチャー誌などに発表し、現在では愛媛大チームは SPring-8 のパワーユーザーに認定され、ビームラインの運営やユーザー支援においても重要な貢献をおこなっている。

このような中、前学長の小松先生の後押しもあり、愛媛大学に小さいながら、省令の学内共同施設「地球深部ダイナミクス研究センター」を 2001 年春に立ち上げることができた。私を含め数名が理学部や工学部から移り、実験と数値計算を中心とした地球のマントルから核に至る超高压高温条件下での、物質の構造・物性・ダイナミクスの研究に取り組んでいる。また学部学生の教育は勿論のこと、大学院生や博士研究者などの若手研究者の育成にもあたっている。

本センターでは何度か尾池和夫先生にご講演にお越しいただいたが、その際強調されていた先生の人材育成の基本方針は、「放し飼い」とのこと。教育業務放棄の方便の匂いがしないでもないが、私の着任当時の愛媛大地球科学教室はこれと同じ方針であったし、私も若手研究者に対して全く同じ考えで接しているつもりであった。先生のお話をうかがって、我が意を得たりと感じ入った次第である。立ち上げから地球深部ダイナミクス研究センターに携わり、当初から万年(?)センター長を仰せつかっている私は、若手研究者の育成において、このような京大方式を基本としたいと内心考えている。

ところで最近 10 年近く私がはまっているのは、ダイヤモンドの合成である。超高压実験技術を利用して、ナノ・サイズのダイヤモンド結晶がぎっしりつまったナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) の合成に成功し、2003 年にネイチャー誌に発表した。NPD は通常の単結晶に比べても非常に硬い

ことがわかり、様々な用途への道が開かれつつある。当初は 1mm 程度以下の、かろうじて肉眼で見える程度の大きさであったが、今では 1cm 近い NPD の合成も可能になった。

この NPD の合成は、もとをたどれば 25 年前のオーストラリア国立大時代の失敗実験に端を発する。プレート物質の相転移を調べる実験において、高圧下で温度が急激に上昇し、試料は融けてしまったが、その周辺にキラリと光るガラスのような破片を見出した。グラファイトをカプセルとして用いていたので、ダイヤモンドだろうと考えたが、単結晶が成長したのかと思い、それ以上調べることはなかった。しかし単結晶ダイヤモンドは、触媒を用いてグラファイトとの相境界である 5 万気圧付近で合成するのが常識であり、グラファイトの「直接変換」で透明なダイヤモンドができたという報告はなく、ずっと気になっていた。

そこで、松山に赴任直後の 1990 年頃から学生とともに再現実験にとりかかった。しかし、色々と条件を変えても同じものはできず、あれは幻だったのかと、半ばあきらめかけた。そのうちに学生にも相手にされなくなり、一人で暇を見ては思いだしたように実験を続けていた。そうこうするうち、ようやく目的のものができたのが、更に 5 年を経過した 1995 年のことであった。その後、学生とともに生成条件の詳細を明らかにする実験を続け、2002 年に学会で発表した。これが単結晶ダイヤモンドの専門家の目にとまり、共同研究が開始された。

NPD 生成条件の解明には、特に何人かの女子学生が重要な働きをしてくれた。彼女らに敬意を表するとともに、愛媛の「媛」をとって、我々はこの NPD をヒメダイヤと称している。ちなみに「媛」は「彦」に対する女性を表す古語であり、愛媛はお姫様の国ではない。女性の神が治めた国であるとする日本書記の記載に由来する。ヒメダイヤは一方で、”**Highly Incompressible and Mechanically Endurable Diamond**” (超高硬度・高強度ダイヤモンド) の略でもある。

ヒメダイヤの大型化と応用を主要なターゲットとして、1 年前には世界最大の超高压合成装置となる BOTCHAN (Beyond Observable Toughness and Conceivable Hardness of Artificial Nano-diamond) を完成させた。愛媛大学の支援のもと新たな増築棟をつくっていただき、ここに世界最大の超高压変形装置 MADONNA (Multi Anvil Device ON Newer Applications) も設置した。この実験室は SOSEKI Lab と名付けられ、超高压を利用して未知の物質を生み出すことを目指している。ちなみに SOSEKI は「漱石」ではなく、新物質や宝石(石)を作り出す「創石」である。

ヒメダイヤは現在 1cm 程度のサイズまで合成可能になっており、また共同研究をすすめてきた住友電工から近く製品化される予定である。私としてはその高い硬度を利用して、新しい超高压装置に応用しようと研究をすすめている。定年まであと 10 年になってしまったが、この間は、まだまだこのヒメダイヤで楽しめそうである。

研究センター立ち上げからちょうど 10 年目を迎え、また 2 年前には地球科学分野のグローバル COE 拠点にも選出され、愛媛大学は実験と理論を基盤とした地球深部研究において、国内外でも一目おかれる存在になりつつある。また教員や研究員も大幅に増加し、多くの外国人研究者や留学生も抱えて研究教育にあたっている。そのルーツは、京大地物での高圧物性研究にあったといえよう。私自身が京大において学んだ自主独立と反骨精神、また自由な発想でこだわりの研究をすすめる点は、本センターの研究や運営においても生かされていると考えている。今後も松山から世界に向け、独創的・先端的な地球深部科学の発信を心がけたいものである。