

## 奥地拓生准教授インタビュー

日時：2008.08.25(月)14:00-15:30

訪問先：岡山大学地球物質科学センター（鳥取県三朝町）

インタビューア：中川正広、佐藤勝昭

研究課題：木星の海を地球に創る

---



Q: 領域終了後5年が経ち、フォローアップ評価を行っています。2月に総括、アドバイザーに集まっていただき、インタビューをする対象として指名していただきました。奥地先生はその6名の一人です。追跡評価では、さきがけ期間中にどのような研究の進展があったのか、終了後にその研究がどのように進展し現在の研究に結びついているのか、さきがけの運営の仕方など、お話しいただきたいのですが。先生は、超高压で、強い磁界で高温という極限に挑んでこられました。どういういきさつでこのような研究に取り組んでこられたのでしょうか。

A: 高压実験の分野は、地球科学の分野の中で日本が伝統的に強い分野です。実績もあり、世界に認められています。私は、東工大の博士論文で中心殻の水素が鉄に溶け込んでいる状態を研究しました。液体状態の中に dissolve している水素、これは、高压下でのみとらえることができるのです。川合タイプのマルチアンビルで、水素が逃げないように工夫して、泡をつくることでとらえることが出来たのです。この研究を通じて、水素はむずかしいがやりがいがあると展望をもったのです。当時、ほとんどこの関係の仕事は行われていませんでしたし・・・。

Q: そういうテーマは、指導教員に勧められたのですか。それともご自分で・・・。

A: 指導教員は、好きなようにやりなさいというタイプだったので、私が勝手に考えて決めました。

Q: 水素をどうやって見るのですか。

A: 水素は X 線解析が通じない。従って、NMR と中性子しかありません。当時、高压下での中性子というのはなかった。それで NMR をやったわけです。

Q: 中性子だと、なぜ相互作用が強いのですか。

A: それは、水素と質量が近いからです。

Q: 中性子は使えるようになったのですか？

A: 10年がかりでようやくビームは出るようになりました。装置もできた。これから測定です。

### ダイヤモンドセルを使って高压下で NMR

Q: NMR と DAC(ダイヤモンドアンビルセル)を組み合わせた仕事は過去にあったのですか？

A: NMR と DAC を組み合わせる仕事は過去にありましたが、1-2GPa 程度しかかけていません。NMR では、共鳴周波数の分解能と緩和とが重要な野ですが、一に感度、二に感度です。圧力と分解能のどちらもとなると、私の他にはありません。

Q: さきがけの予算で装置を開発されたのですね。

A: 高感度の回路を組むのにさきがけの予算を使いました。3000万、あとでもう少し頂きましたが、は丁度よい金額でした。もっと多く、例えば1億頂いたら市販の NMR 分光計を買ったでしょう。しかし、そういう装置だと、応用が利きません。3000万だと、いろいろ弄ってそれを伸ばすことができ

ます。お金が、十分でなかったから、すごく考えました。しかし、これも、領域会議でひたすら苛められたことが、工夫につながりました。

### NMR の感度を上げるためにダイヤモンドに孔をあけてコイルを通した

Q: どうやって、感度を上げたのですか。

A: 試料を増やせばよいのです。しかし、大きな試料を入れるには空間が大きくなって圧力がかけられない。もっと、圧力をかけるために強い DAC を作ればよいのです。それで、力のかかる DAC を作る工夫をしました。もう一つの工夫はコイルです。コイルをできるだけ試料に近づけたいので、いろいろ工夫しました。最終的には、ダイヤモンドに孔を開けて、そこにコイルの線を通すようにしました。これで、感度は 2 桁上がりました。

Q: ダイヤモンドに細孔をあけるのはどうするのですか。

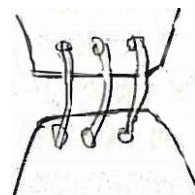
A: これは、さきがけの後、米国に滞在<sup>1</sup>したのですが、向こうには、専門の加工屋さんがいて、加工機があったので、レーザ加工でできたのです。向こうでいくつもダイヤモンドをつぶして、経験を積みました。この 1 月に同じ装置が日本にも入りましたので、いまは、東京の会社で加工してもらっています。

Q: いまではこの装置はどこまで完成したのですか。

A: 磁場 7T、周波数 300MHz まで行きました。線幅が磁場の不安定性でリミットされるころまで来ているので、これ以上分解能をあげても、仕方がないと思います。

Q: 強い磁界中で DAC で測定するには、いろいろ工夫されたのでしょうか。

A: この磁場ではダイヤモンドも磁化するので、影響を受けないように配置するかが工夫のしどころです。ガスケットもチタン合金は磁性をもつので、純度の高い銅ベリリウム合金を使っています。



### 氷の中の水素の動きが NMR でわかる

Q: 2 桁感度があがると何がわかるようになるのですか。

A: 氷に圧力をかけて原子間隔が短くなると、陽子が電子のように動き回って伝導に寄与する自由陽子状態となる超イオン伝導体相が出現します。自由陽子の動きを NMR で捕らえることができるようになるのです。天王星、海王星や最近見つかった 250 もの小惑星など氷の惑星がたくさんあります。こういう星の中では、陽子が動いて磁場を作っていると考えられているので、惑星科学としても重要なのです。

Q: 水素ハイドレードをやられたのは、どういうきっかけだったのですか。

A: 米国で固体の氷に圧力をかけて、NMR を見ていたのですが、スペクトルが変わらない。これは、圧力が変わらないからです。これ以上高圧にしようとするとうダイヤモンドが壊れるのです。ちょうどその頃、水素ハイドレードが水素貯蔵に好都合というので研究が盛んになっていました。比較的低い圧力で相変化するのでやってみたのです。すると、図に示すような鋭い共鳴線を見出した

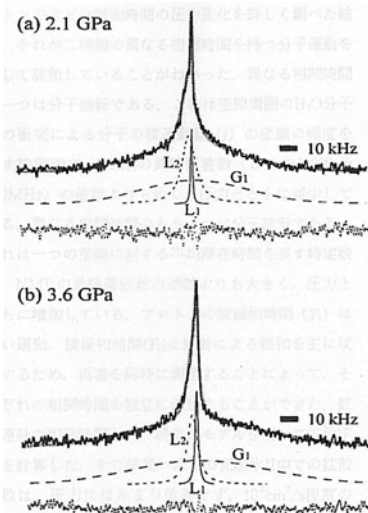


図 4: 共鳴周波数 200MHz で観測した、水素充填氷の高圧その場 NMR スペクトル [11, 14]。(a) は水素充填氷 II 相、(b) は水素充填氷 I 相を示す。それぞれの上段が観測されたスペクトルおよびフィッティングの結果を示す。中段はフィッティングに用いたピーク形状であり、G がガウス関数、L がローレンツ関数を示す。下段はフィッティングの残差である。

<sup>1</sup> 2003-2005 年に JSPS の海外特別研究員として、米国 Carnegie Institute of Washington に滞在。

のです。これは、水素分子がカゴの中で振動して分子とぶつかっているのと、カゴとカゴの間をかなりの速さで移動していることによるわけです。T1(縦緩和)と T2(横緩和)という 2つの緩和時間があるのですが、T1 はカゴの中の分子運動を表し、圧力とともに減少しますが、T2 は拡散を表し圧力とともに増加します。これらの解析から水素ハイドレドの拡散定数は  $D=10^{-8}\text{cm}^2/\text{s}$  という大きな値もち圧力にあまり依存しないことがわかりました。

Q: この研究は、ENEOS 水素基金の研究につながっているのですね。

A: 水素ハイドレドは低温でも水素拡散係数が高いので、金属ほどたくさんは貯蔵できませんが、金属のように温度を上げなくても水素を取り出せるという点でよいのです。また金属と違って、環境負荷がないのでそれも有利な点です。純粋な基礎研究だけでは研究費が取れる状況ではないので、実用につながる研究をやっておいて、よかったと思っています。

### 今後の展開、研究の副産物の展開

Q: 今後、どのように装置の改良を進めるおつもりですか。

A: あと一步、圧力を高めたいと思っています。そのためには、ダイヤモンドにあける孔をもっと高アスペクト比の細いものにしなければなりません。そこをいま進めています。

Q: 課題評価報告書には、研究の展開として、細胞のことや、プレートテクトニクスのことが書かれています。その後やっておられるのですか。

A: 細胞内の物質輸送を磁気共鳴イメージングでやりたいという思いはあります。さきがけで提案した木星の氷の話が一段落したら取り組んでみたいと思っています。べつに地球物理にこだわる必要はないと思っています。プレートの移動で地球内部に取り込まれ圧力下で氷になった場合、通常は地球内部の高温で蒸発してしまはずですが、高圧下では予想より融点が高いので凍っていたら、蒸発する際に爆発的に膨張して地震を引き起こす可能性があると考えたのですが、そういうサイドワークはダメと領域会議でアドバイザたちに厳しくしかれ、止めてしまいました。論文にもなっていません。

Q: 先生のご研究のライバルはあるのですか。また国際的位置づけは？

A: 氷は地球科学の研究としてはメジャーではありません。私たちと北大の 2 グループしかありません。国際的に評価されています。(Gordon Conference で受賞) 中性子を使った研究は、外国との争いになっています。今のところ欧州に対し劣勢ですが。これから進展するはずです。

Q: 最後にさきがけに対するご意見をください。

A: さきがけは、よい制度です。直すところはないです。私の科学者人生はさきがけ領域「状態と変革」に参加できたことで決まったと言っても過言ではありません。氷の地球惑星科学という意義を理解する人がほとんどいない状況で、私のような基礎研究に 3000 万以上もつけていただいたのですから、ありがたかったです。その上、さきがけ期間中にはほとんど publication もなかった私を、追跡評価インタビューの対象として選んでいただき、本当に感謝しています。国府田先生はすばらしい方で、今も同窓会が続いています。私も、海外滞在時以外は必ず出席しています。

### インタビューを終えて

実験室に案内され、さきがけで購入したポアの大きな 7T の超電導磁石、そこに入れるダイヤモンドアンビルセルの加圧機構、ダイヤモンドにあけた孔などを見せていただきました。また、NMR 測定のための回路や、インピーダンスマッチングのための小道具などを見せていただきました。たった一人で、信念をもって氷の中の水素の極限物性に挑んでおられる姿に感動を覚えました。