

2013年度 惑星科学フロンティアセミナー 参加報告

木内 真人¹

9月17-20日に北海道ニセコいこいの村にて2013年惑星科学惑星科学フロンティアセミナーが開催されました。今年が8回目の開催で、「ニュートン」編集長の水谷仁氏を招待して「惑星内部構造」「衝突と破壊」というテーマで、二日間の集中講義形式で講演をして頂きました。

ここでは、惑星科学会から参加費補助を受けセミナーに参加させて頂いた者として、講義の内容やセミナー全体を通しての雰囲気などを報告いたします。

講演の全体の流れは以下のようなものでした。

1. 惑星内部構造論

- ・現在の標準モデルへの不満
- ・1960年代初頭の地球内部構造論
- ・水谷氏の博士論文紹介
- ・将来の惑星内部構造論

2. 岩石力学のスケーリング則

- ・界面導電現象
- ・超真空中の岩石強度
- ・岩石の破壊過程

3. 衝突現象のスケーリング則

- ・高速度衝突による圧力
- ・衝突破壊による破片サイズ分布・破片速度
- ・クレーターサイズのスケーリング則

4. 世界で最初の学会について

今回の講演は、水谷先生が東京大学大学院生時代(1964年～)から名古屋大学時代の間(～1987年)に行われた研究内容について主に紹介されるといった内容

でした。その理由としては、その後の宇宙科学研究所時代から現在までの活動は今回参加している方々にはよく知られているだろうから、というものでしたが、自分たちのように水谷先生のこれまでの業績を詳しく知らない世代にとっては、その後のお話も聞いてみたかったと思います。

ここからは講義のやや詳しい内容を紹介します。まず初日の前半は惑星の内部構造についてのお話でした。講義は、現在の地球モデルではPREMモデルが主に用いられているということへの水谷先生の不服から始まりました。このモデルでは相転移層の厚さが0となっていますが、現実には相転移には圧力・温度の幅があるので相転移層もある程度の深さ幅を持つはずですが、ここで水谷先生はご自身の博士論文を紹介されました。その内容は、地球の自由振動のデータと状態方程式を使うことで、より詳細な地球内部構造を推定したというものです。このモデルは観測データに近づくように



図1：講師の水谷仁氏。

1. 神戸大学大学院理学研究科
100s410s@stu.kobe-u.ac.jp

合わせたもので、PREMと比べて相転移層に深さの幅が見られます。このように、過去のご自身の研究と現在主流とされているモデルを比較した上で、内部構造論に関するこれからの課題についても述べられていました。この講義の中で個人的に印象に残った水谷先生の言葉は、これまでの研究活動の中で博士論文が最も力を注いだもので、非常に特別なものになっている、というものです。理由は、一つのテーマに対して最も長い時間取り組めたからと仰っていましたが、この言葉はこれから博士論文に取り組む(取り組んでいる)自分たち学生にとっては心に残るものがあったのではないのでしょうか。また学生時代のお話で、当時の指導教員である竹内均先生が話をすることでどんなことでも知っていたということに対して、学生だった水谷先生が対抗心を燃やしていたと仰っていたことも印象に残りました。

初日の後半は、岩石力学のスケーリング則についてのお話でした。講義は、界面導電現象という現象についてのお話から始まりました。界面導電現象とは、界面を形成している2相(液体/固体、液体/液体)に、界面に沿って相対運動させると2相間に電位差が生じるというものです。水谷先生がこの現象に興味を持ったきっかけは、松代群発地震(1965-1970)の際に観測された発光現象が、上記の現象が原因であるのではないかと考えたことによるそうです(地震前に強まった圧力が岩石の界面導電現象を引き起こし、電位を発生させた?)。これらのことが解明されれば将来的な地震予知につながるのでは、といった内容で非常に興味深いものでした。しかし、この現象を調べるうえで実験装置を開発し測定結果を用いて計算したところ、発光現象が起こるほどの電位は発生しないという結果になりました。ただこの実験から、発生する電位が岩石の破壊強度に影響を与えることがわかったそうです。これは地下水の岩石への浸透が、岩石の力学的性質に影響を与えるということに繋がります。その後の講義は、超真空下での岩石破壊実験から岩石の破壊強度の水蒸気圧依存性や歪速度依存性などのスケーリング則を得たという内容から、岩石破壊の統一理論へと広がっていきました。この理論は、岩石破壊は無数の小さなクラックの進展によるもので、クラックの進展は応力腐食現象として説明できるというものです。そして最後に、これらの岩石の破壊現象の性質と実際の地震

現象を結びつける研究が今後行われるべきだと締めくくられました。

次に二日目ですが、この日の講義は主に衝突現象のスケーリング則についてのお話でした。まず最初の話は、水谷先生が博士1年生のときに月の海の年齢を推定した際、クレーター直径に対して重力が反比例すると仮定したことにより年代の見積もりを誤ったというものでした(現在では直径は重力の $-1/6$ 乗もしくは $-1/4$ 乗に比例すると考えられている)。その後、コロラド大学にいた1976年ごろからクレーターのスケーリング則について調べはじめ、それまでの論文は限られた条件下の実験による経験則であり物理的意味に触れたものはなかったことから、より理論的なスケーリング則を作ることと考えられました。そのために、高速度衝突による衝撃圧力と衝撃波の減衰のモデル計算からLate-Stage Effective Energyというパラメータを導きました。もしこのパラメータが同じであれば、結果的に同じ現象が起こるという概念となっています。この概念を用いたスケーリングとHolsappleのスケーリングを比較すると、Holsappleのスケーリングは実験データに合致するパラメータを探し出したものであるのに対し、Mizutaniスケーリングは物理的意味が明確になっています。ここで水谷先生は、外国人のスケーリングをありがたがらずに、もっと自国の研究者の優秀なスケーリング(Mizutaniスケーリング)を使ってほしいと少し不満を述べられていました。その後Mizutaniスケーリングを用いた衝突破壊現象として破片のサイズ分布や破片速度についての説明が行われ、クレーターサイズのスケーリング則へと話は移っていきました。ここでは、自身が行われたクレーター形成実験と先行研究の結果から、クレーターのサイズもLate-Stage Effective Energyで統一的に表されることを示し、重力スケーリングと強度スケーリングをそれぞれ含めたクレーターサイズのスケーリング則を提案されました。続いてクレーターサイズに及ぼす重力の効果を考察したところ、クレーター直径は重力の $-1/6$ 乗に比例すると見積もられています。この結果によって、博士1年生のときの誤り(直径は重力に反比例するという推論)を直すことができた、という話をされてこの講義は締めくくられました。

ご自身の研究内容についての話はここまででお終いで、二日目の後半は世界で最初に開かれた学会につい

てのお話という、トリビアともいえる内容の講義となりました。15世紀後半から16世紀半ばのフランスの神学者で数学・物理の研究をしていたメルセンヌという人がいたそうで、この人はヨーロッパの学者たちの交流の中心となり、後のフランス科学院の前身ともいえる集まりを開いていたそうです。また、当時の学者たちが熱心に研究していたというサイクロイド曲線というものについても紹介がありました。この話の肝は、科学者の集まりは有益であることを最初に示したメルセンヌを例にとり、我々も学会やセミナーで活発な意見交換をして学問を楽しむべきだということでした。この講義の内容は、さすがニュートンの編集長だなと感じさせるものでした。

以上、長々と講義の内容を書き連ねましたが、水谷先生の講義の流れとお話の雰囲気が伝われば幸いです。二日間の講義を聴いて、水谷先生は非常に深い知識と経験が蓄積されている、まるで達人のような方だと感じました。また同時に、聴衆を話に聴きいらせてしまう不思議な魅力を兼ね備えた方だとも感じました。聴衆に対して、「自分は君らの生まれる前から地球惑星科学をやっている」と投げかけられた言葉がとても印象的でした。

講義全体の雰囲気にも触れておくと、常に質問が飛び交い、活発な議論が展開されるという模様でした。自分から見ると普段は貫録のある方々が、水谷先生に対しては何か子供のような雰囲気で質問を投げかけているようで、それだけを見ても水谷先生は凄い方なんだと感じました。時間的には二日間という比較的短い講義でしたが、非常に多くのことを学べました。また夜には分科会が開かれており、毎晩熱い議論が繰り広げられていたそうです(自分が参加した夜は手品を披露する方や、食べ物でピラミッドを造ることを生きがいに行っている方の発表だったのですが…)。

宿泊先であるニセコいこいの村は、北海道という環境も伴ってとても過ごしやすい環境でした。温泉は入り放題で食事は充実、また休憩時間は周辺の自然を満喫できる環境ということで、精神的にも安心な良い環境だったと思います。自分としては初めてのフロンティアセミナー参加だったのですが、同じ宿泊施設に数日間泊まり、普段は長い時間会えない方々と十分交流できる本当に良い機会であると感じました。

最後に、フロンティアセミナーを企画・運営してく

ださった世話人の方々、運営を手伝わられた方々、そして長時間の講義をしてくださった水谷仁氏に感謝申し上げます。また惑星科学会の援助でこのような貴重な機会を頂けたことに感謝いたします。