

3. 寄稿

3.1 惑星科学と結晶成長学

三浦均

私の現在の専門は「惑星科学／結晶成長学」である。しかし、このふたつの専門がどのように関連しているのか、初めての人には理解して頂けないことが多い。私自身、最初からこのふたつを自らの専門分野だと決めたわけではない。最初に、宇宙物理学の観点から惑星科学の研究に取り組み、その後、結晶成長学へと専門分野を広げたのである。一見、無関係に見えるかも知れないこれらふたつの専門分野に、私はどのような経緯でたどり着いたのか。今回、寄稿の機会を頂いたのを機に、自らの専門の成り立ちを振り返ってみたい。

高校生のときの得意科目は数学と物理だった。数学と物理では、基本原理を表すいくつかの公式を理解してしまえば、論理を誤り無く積み上げることで正答に至ることができる。特に物理は、大手予備校の全国模試で4位（現役生に限る）の得点を取ったことがある。このとき、高校の物理の授業では、まだ試験範囲を全て学び終えていなかったと思う。その一方で、記憶力を問う科目、つまり国語や英語、社会は大の苦手だった。英語などは、大学入試直前の模試で、200点満点中100点ほどしか得点できなかったことを覚えている。まさに絶望的である。そんな私の目にとまったのが、筑波大学の推薦入試制度であった。一般に、国立大の推薦入試では、内申点の平均が基準点を超えていないと受験資格がなかった。文系科目が絶望的な私の内申点は、当然のように基準点を下回っていた。しかし、筑波大学の場合、内申点の平均が基準点以下でも、いずれかの科目が飛び抜けていれば受験が可能であった。しかも、英語の試験は課されない。加えて、筑波大学では宇宙物理学専攻が設置されていたのが受験の決め手となった。宇宙物理学とは、地球上（もしくは地球からほど近い近宇宙）の経験や実験から導かれた物理法則を、より遠方、もしくは数10億年昔の宇宙に適用し、現在の宇宙の成り立ちを理解する学問である。ぼんやりと宇宙に興味を持っていた私は、このとき初めて、自分の得意科目を武器として研究者になるという可能性を意識したと思う。

無事に筑波大学に入学した私は、2000年4月、学部4年次のときに宇宙物理学研究室に配属された。研究室を率いるは、助教授の梅村雅之さん（現・筑波大学計算科学研究センター長）である。1993年に筑波大学に着任し、新しく宇宙物理学の研究室を立ち上げた新進気鋭の若手研究者であった。配属後、新メンバーを歓迎する飲み会を開催して頂いた。そのときの梅村さんの言葉は今も忘れられない。まだ研究のイロハも分かっていない我々学部四年生に向かって、「私を先生と呼ぶな」と言い放ったのだ。この言葉には、「君たちは私の学生ではなく、共同研究者だ。それくらいの気概を持って研究に励め」という激励の気持ちが込められていることをそのすぐあとに知った。「梅村先生」と呼べないのであるから、先輩の院生たちがそうしていたように「梅村さん」と呼ぶ他はない。大学の助教授を「さん」付けで呼ぶなど、学部生の私にとっては恐れ多いもいところであった。それでも恐る恐る「梅村さん」と呼び続けている内に、最初は雲の上の存在だと思っていた助教授に対して臆することなく意見を言えるようになったのだから不思議だ。それまでただの大人しい学生だった私が研究者としての自立心を養うことができたのは、梅村さんのこの言葉のおかげだと思っている。他の研究室の先生から「梅村研の学生は教員に対してずけずけとモノを言う」と言われたときは、誇らしく思ったものだ。この経験は、学生が指導教員を「さん」付けで呼ぶことが、学生の自立心を育てる上で極めて有効であることを教えてくれた。…であるにも関わらず、今年初めて受け持った学生たちには「私を先生と呼ぶな」と指導し忘れてしまった。今からでも「さん」付けで呼んでくれるようになってくれれば嬉しいのだが。

私の初めての研究テーマは、「石質隕石に含まれる直径 mm サイズの球状ケイ酸塩粒子の形成モデル」であった。一般的な石質隕石の断面図を眺めて見ると、mmサイズの丸い粒状の粒子が断面に数多く観察されることが分かる。この粒子のことを「コンドリュール」という。コンドリュールは、初期太陽系において、サブミクロンサイズの「塵」がくっつき合って mm サイズの「ダスト集合体」となったあと、何らかの物理過程によって加熱されて熔融し、表面

張力によって丸くなり、その後急冷凝固したものだと考えられている。1802年に Edward C. Howard によって観察・記載結果が発表され、1877年には H. C. Sorby によってその形成過程に関する考察が Nature 誌に発表された。コンドリュールは主にケイ酸塩、つまり、主要な岩石を構成する鉱物から成る。それが熔融したということは、化学組成にも依るが、約 2000 K まで加熱されたことを示している。思い出して欲しい。太陽から 1 天文単位 (約 1 億 5 千万 km) の距離にある地球は、大気による温室効果の助けを借りてさえ、その地表温度はたかだか 300 K 程度に過ぎない。隕石の起源である小惑星帯は、太陽からはさらに離れているのだ。低温環境の初期太陽系において、ケイ酸塩物質を加熱熔融せしめる物理現象は何か。またその結果、どのような性質を持ったコンドリュールが形成されるべきか。流体力学や化学反応速度論、気体分子運動論に輻射輸送理論など、様々な物理法則に基づいて論理を積み重ねて理論予測を行ない、実際のコンドリュールと比較した成果が、私の博士論文である。

私が結晶成長に興味を持ったきっかけは、とある学会で見たコンドリュール形成実験の動画だったように思う。コンドリュールはすでに凝固した状態で隕石に含まれている。従って、それがどのように凝固したのかについての直接的な情報は得られない。そこで精力的に行われたのが、室内でコンドリュールを再現する試みである。コンドリュール、もしくはそれに似た化学組成を持つ模擬物質を用意し、それを加熱炉で加熱して熔融させ、冷却凝固させるのである。1960年代の半ばから現在に至るまで、様々な手法・試料・凝固条件で再現実験が行われ、コンドリュールに見られる様々な凝固組織の再現に成功し、その形成条件が実験的に求められた。しかしながら、これらの実験はいずれも外部から観察できない加熱炉の中で行われた実験であり、やはり凝固中の物理過程について伺い知ることはできない。ところが、私がその学会で見た実験動画は、熔融した状態のケイ酸塩液滴が急冷し、結晶化する過程を「その場」観察したものだった。その動画では、ガスジェットによって浮遊したケイ酸塩液滴が、放射冷却によって、数秒という短時間で急冷する様子が示されていた。浮遊状態では容器との接触がないため、極めて結晶化が起りにくい。結果、液滴の温度が融点を下回っても結晶化が起らず、数 100 K もの過冷却状態が実現する。その後ようやく結晶化するのだが、その際に放出される結晶化潜熱の開放により、試料の温度が一瞬で数 100 K も上昇した。この現象を再輝現象、またはリカレンセンスという。このような大過冷却状態からの結晶化は、日常生活ではほとんど目にすることはない。例えば水を凍らせるときは、水は製氷容器に接しているため、接触面で容易に結晶化してしまうからである。結晶化という現象に対して、日常生活での経験に縛られていた私にとっては、目から鱗が落ちるような思いだった。宇宙空間での結晶化過程は、地上でのそれとは大きく異なり得るのである。この実験動画を発表したのが、東北大学の塚本勝男教授 (現・大阪大学客員教授) の研究グループだった。塚本先生は、光学顕微鏡を用いた結晶成長「その場」観察法を確立し、それを用いて様々な結晶の成長素過程の解明に取り組みされていた。筑波大学で学位を得たのち、京都でポスドク研究員をしていた私は、とある縁によって、塚本研究室の特任助教として採用されることになる。

結晶成長研究の面白いところは、世の中には結晶が普遍的に存在していることである。地球科学の観点で言えば、岩石に含まれている様々な鉱物のほとんどは結晶である。天文学では、星間空間ではほぼ非晶質だったケイ酸塩物質が、星・惑星系の形成に伴って結晶質へと変化することが知られている。隕石科学では、コンドリュールを含め、様々なケイ酸塩鉱物結晶の成因が議論されている。最近では、生命活動が関与することで作られる鉱物である「生体鉱物」の成因やその機能に注目が集まっている。これらの結晶の中には、その形成過程が解明されていないものが多い。しかし、極めて多様な結晶の成り立ちの背後には、共通となる基本原理が隠されているのだろう。

結晶成長の基本原理を数理・物理・化学的手法に基づいて解明し、それを地球惑星科学に応用する。それが、私がたどり着いた「惑星科学／結晶成長学」という分野である。