

特集：月の起源と進化

倉本 圭¹

この特集は、今年1月に宇宙研で行われた「第3回月の起源研究会」での講演内容の一部をまとめたものである。会のプログラムについては表1にまとめておいた。今回は50名弱の参加者を集め、プログラムの予定時間をたびたびオーバーするなど、活発な議論が行われた。

月の起源研究会は、LUNAR-A計画、SELENE計画と、我が国の月探査計画が実現に向け進んでいるなかで、日本での月科学の底辺を上げるとともに、新たな月のサイエンスを産み出すことを狙いとしている。今回の参加者の3割強が大学院生であり、また探査計画にはタッチしていない理論・実験分野から多数の参加者を得た。これは過去2回と同様の傾向である。

今回もいくつかの新しい月のサイエンスのアイデア・課題が示された。以下ではその概略を説明し、研究会で交わされた議論の紹介としたい。

今回の最も重要なキーワードは月潮汐進化だった。荒木は、最近宇宙研および国立天文台のグループが明らかにした月軌道・天文要素の詳しい潮汐進化モデルに基づき、月潮汐加熱の再検討を行った。その結果は、月内部での発熱が過去の評価よりもずっと大きい可能性を示している。特に月が堅い表層シェルをもつ構造の場合には、潮汐加熱率が著しく大きくなり、月内部が部分溶融した状態に長期間保たれる可能性がある。阿部は、月地殻形成の標準モデルであるマグマオーシャンからの斜長岩の浮上について検討し、自由冷却によ

る強い対流攪拌が起こっている場合には浮上が困難であり、なんらかの機構が対流冷却を妨げる必要があることを指摘した。潮汐加熱の発熱率は一般に月の歴史の初期ほど大きかったと考えられるので、潮汐加熱がマグマオーシャンの冷却を抑制し、斜長岩地殻の形成を促した可能性が示唆される。また反射スペクトル観測から月に類似した地殻を持つと推定されている水星も、かつては太陽からの強い潮汐加熱作用を受けた可能性がある。実際、現在の水星は太陽からの潮汐力の影響で自転周期と公転周期が整数比に落ち着いている。斜長岩的地殻の成因には、もしかすると潮汐加熱が本質的に重要なかもしれない(阿部)。また月の海の火成活動に対しても、従来の推定とは異なり、潮汐加熱は積極的な役割を果たしたかも知れない。今後、月内部の熱・分化史と月潮汐進化を結合させた研究が期待される。

過去に月が地球にかなり接近していたことは、一般に広く受け入れられている。しかしその証拠はそれほど多くないのも事実である。山路は、SELENE計画によって入手が期待されている高分解能地形カメラとレーダーサウンダーのデータを、構造地質学的手法によって解析することにより、過去の月潮汐軌道進化を復元する方法論を示した。榎森が紹介したように、月の平衡形状は、自己重力だけでなく、自転による遠心力や地球の及ぼす潮汐力の影響により、球から少し歪む。月地球間の距離に応じて、平衡形状は変化するので、月潮

¹北海道大学低温科学研究所

汐軌道進化に伴って月内部には応力が生じ、地殻が変形したと期待される。山路の方法はこの変形の量とパターンを、隕石重爆撃の影響の少ない海のデータから読み取ろうというものである。データが届く日が待ち遠しいが、それまでに月軌道と月リソスフィアの進化を結合した詳しいモデリングを進めておくことが重要であろう。

以上は月の進化についてだったが、月の起源についても惑星集積論、同位体年代学の方から新しい展開が見えている。田中は、巨大衝突によって形成された高温の周地球円盤から月が形成されるプロセスについて検討し、力学的にも物質科学

的にも特異な振る舞いを起こすと議論した。集積時間が極めて短いために、円盤の冷却よりも先に凝縮物がどんどん合体して原始月が形成されると考えられる。特に、月の化学を特徴づける揮発性物質の減少については、後期の凝縮物が潮汐作用によって地球に落下することで説明できるかも知れない。平田は、超高精度同位体分析技術の進歩によって得られた地球と月の形成に対する年代学的制約条件が、惑星形成論の描くシナリオとは必ずしも調和していないことを解説した。年代学的制約の固さにも問題が残されており、惑星形成論と宇宙同位体化学双方に対して課題を突きつけて

表1. 第3回月の起源研究会プログラム⁽¹⁾

日程：1997年1月23, 24日; 場所：宇宙科学研究所6F会議室

世話人：榎森啓元(東京工業大学), 安部正真(宇宙研), 倉本圭(東大気候センター)⁽²⁾

1日目		
13:00~13:20	問題提起	倉本圭
13:20~14:20	周地球円盤内における集積過程と月形成	田中秀和(東京工業大学)
14:20~15:20	同位体年代学からみた月形成のタイムスケール	平田岳史(東京工業大学)
15:30~16:00	月—地球系形成のタイムスケール：コメント	榎森啓元(東京工業大学)
16:00~17:00	月のナトリウム大気の観測	渡部潤一(国立天文台)
17:00~17:20	Lunar Transient Phenomena(月の異常現象)	柳澤正久(電気通信大学)
17:30~18:30	月のマグマオーシャンの分化について	阿部豊(東京大学)
18:45~21:00	懇親会	
2日目		
10:30~11:30	微惑星衝突と月の地殻進化	戸田康史(東京大学)
11:30~12:30	地球重力場内での月の平衡形状	榎森啓元(東京工業大学)
13:30~14:30	過去の潮汐作用による月内部応力, 内部発熱場	荒木博志(国立天文台)
14:30~15:30	月のテクトニクスと軌道進化	山路敦(京都大学)
15:30~16:30	総合討論	

(1)：当日の予定プログラム、実際の進行には多少の変更があった

(2)：当時の所属、現在の所属は北海道大学低温科学研究所

いる。

渡部は月の希薄大気の、柳澤は月面の発光現象の地上観測について紹介し、月が地上観測の対象として現在でも面白いテーマを持っていることを示した。こうした観測が月の起源と進化の解明にどれだけの寄与を持つかは未だ未知数であるが、現在の月に生起する過程にも、月の過去についての有用な情報が含まれているかも知れない。

月の起源と進化の問題は、日本の惑星科学界では初めて探査・理論・実験が三位一体となって挑戦することのできる、本格的テーマと言える。これまで通りの方法を踏襲するべきかどうかは検討の余地があるが、異なる方法論を持った研究者間のインターフェースとして、今後も同様の研究会の役割はますます重要になるであろう。(敬称略)

宿題形式での依頼に快く応じて頂きました講演・執筆者の方々に、この場をお借りして感謝いたします。