

図6 月の南極域の日照率（国立天文台の野田寛大助教が作成）
赤は日照率80 %以上（矢印の先）、緑が70 %~80 %、水色が60 %~70 %、青が0 %。

とだろう。さらに観測点を増やして600万点あまりのデータから作成したのが図5左の地形図である。2008年末までに計測された高度データ数はクレメンタイン探査機のデータより1桁以上増え、1200万点を超えた。

極域に氷はあるか 月の自転軸は黄道面に対してほぼ直交しているため、極域のクレーター内部には、太陽光が当たらない永久日陰が存在する。この領域には、彗星の衝突などで蒸発した水蒸気が氷として凝縮している可能性が指摘されている。また、極域では地球と同様に夏と冬が半年ずつ続き、さらに標高の高いクレーターの縁など山の頂上では、冬の間でも太陽の日が照り続ける日照率の高い場所があると推測されていた。

月面は、昼夜とも2週間続くため、赤道付近では夜の-160℃から昼の100℃以上まで温度変化が非常に大きい。極域の日照時間の長い場所では温度変化が小さく、太陽エネルギーも使えるので月面の

活動拠点としては望ましい。しかも氷を利用することができれば、有人活動にも有利である。

これまでは正確な地形データがなかったため、日照率や永久日陰の分布の正しい計算ができなかった。「かぐや」は極軌道をとるため極域ではレーザー高度計の観測点が多く、高解像度でデータを取得できた。これから求めた日照率の分布が図6である。日照率が80 %を超える赤色で示された地域は非常に限られている。解析に用いた空間分解能（北緯85度で500 m×500 m）では永久日照地域はなく、最大の日照率は北極域で89 %、南極域で86 %であった。

「かぐや」の高分解能地形カメラは高い感度を有している。クレーターの永久日陰の中にも、時期によっては縁で反射した光が中を照らす時期がある。それをねらって撮像を行うと、これまで全くわからなかった永久日陰のクレーター内部の様子が明らかになった。図7は、月の南極にあるシャクルトンクレーターの

内部である。もし氷が表面に存在するならば、反射率の高い領域として検出できるはずであるが、この図には見られない。永久日陰の氷は、存在したとしても、表層の下に隠れているのであろう。

月の裏側がより見えてきた 「かぐや」が月の表側を飛んでいるときには、地球から直接、衛星の追跡を行う。「かぐや」が月の裏側において、リレー衛星が「かぐや」と地球の双方から通信できる時、リレー衛星を経由した重力測定を行う。昨年未までに月の裏側ほぼ全域の重力場データを取得することができた（図5右）。

その結果、月の裏側では、これまで曖昧だった重力異常が明瞭に見えるようになった。裏側の円環状の重力分布は、地形図に見られる衝突盆地に対応している。データを解析すると、重力と地形との相関関係が非常に高くなったことがわかった。これは、裏側の高地については、衝突地形が表面付近の地殻でよく支えられていることを示している（図2）。

これまでの解析から、表側に比べて裏側の地殻は衝突地形が形成されたときに、かなり速く冷えて固くなっていたのではないかと想定できる。おそらく、月の冷却速度が表側と裏側では異なっていたと考えられる。

より詳しく、より深く

「かぐや」による地形・重力探査の結果は、2009年2月に米サイエンス誌に掲載されて、注目を集めてきている。月の地形と重力という、最も基本的な物理量

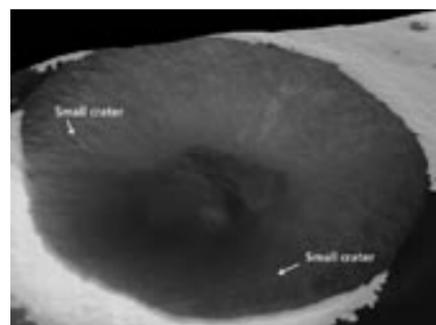


図7 月の南極にあるシャクルトンクレーターの地形カメラによる画像。カメラ撮像の主任研究者はJAXAの春山純一助教である。

の正確な分布図を日本が作り上げたことの意義は大きい。また、地形カメラや鉱物分布を調べるカメラも、月全球の詳細なデータを初めて取得している。これにより、月の地殻の様子が明らかになりつつある。今後は、高度計のデータを地形カメラによる高解像度の地形データと統合することで、月全体にわたる高精度地形図を作る計画である。

月の進化を解き明かす上で、金属コアの密度、大きさといった基本量がまだ明らかになっていない。「かぐや」の成功を受けて、月着陸探査を行い、月震計ネットワークによる月震測定や月の自転運動の変動の詳細測定により、コアのサイズや状態を調べる計画が進んでいる。国立天文台は、JAXAと協力して月着陸探査を推進していく予定である。さらに、火星や木星の探査も将来は実現したいと考えている。



佐々木 晶（ささき・しょう）
新しい分野に飛び込むのは勇気が必要ですが、その発展期を体験できる喜びがあります。私が大学院に進学したときには、日本では惑星科学の研究者は数が少なく地球外の天体を探査した経験はありませんでした。「のぞみ」「はやぶさ」「かぐや」と太陽系探査に関わるなかで、私の研究分野は、当初の惑星形成から、大気、ダスト、火星、小惑星、月へと広がりました。その後、宇宙風化作用（天体の反射スペクトル変化）の研究で評価されて、小惑星に名前（shosasaki）が付けられました。現在では、将来の月・火星着陸探査、木星系探査などの計画立案にも関わっています。

歴史ある最北の研究所

—国立天文台水沢キャンパス

佐々木 晶

岩手県奥州市水沢区。ここに総研大でもっとも北にあるキャンパスがある。国立天文台水沢キャンパスは、もともとは緯度観測所と呼ばれ、今から100年以上前の1899年に創設された歴史ある研究機関である。それはまだ、東北大学が創設される前のことである。「かぐや」の重力・地形研究を担っている国立天文台のRISE（ライズ）月探査プロジェクトはこの水沢キャンパスを本拠地としている。

19世紀末、国際共同で星の運動を追跡して地球回転の変化を研究するプロジェクトが動きはじめた。世界中のほぼ同じ緯度帯に望遠鏡を置いて、星の運動を観測するのだ。日本では水沢が選ばれ、臨時緯度観測所が設立された。金沢生まれの天文学者、木村栄（きむら・ひさし）が所長として赴任し、観測を開始した。

数年後、木村は、理論的にこれまで考慮されていなかったZ項を導入すると、世界中の観測データの緯度変化をよく説明できることを発見した。これは、明治期の日本が初めて天文学・地球物理学の分野で成し遂げた大きな成果で、国際的にも高く評価された。その後も常設の緯度観測所として、地球回転などの観測が続けられた。

1980年代に入ると、VLBI（本記参照）観測をプロジェクトの中心に据えることになり、国立天文台発足時に合併することになった。現在、キャンパスの中には直径10 mと20 mの2台の電波望遠鏡がある。20 m望遠鏡は、同型のものが石垣島、鹿児島、小笠原父島にあり、VLBIネットワークとして活躍している。この電波望遠鏡群により星までの正確な距離を求めて銀河系の地図を作るのがVERAプロジェクトであり、月探査とともに、水沢の2本の柱を構成している。「かぐや」のVLBI観測でも、このネットワークは活躍している。

初代所長、木村栄の名前は月面のクレーター（Kimura Crater）として残っており、「かぐや」が詳細な画像を取得している。このクレーターが命名されたのは1970年、奇しくもZ項の原因が地球内部の流体核にあることが明らかになった年であった。また、水沢をしばしば訪れた京都大学の天文学者、山本一清の名前も月面にある（Yamamoto Crater）。月面に名を残している日本人は10人程度と少ない。そのうち2人が水沢に深い関わりのある研究者であることは興味深い。

緯度観測所の初代の建物と、1921年に建てられた旧本館は、2007年に耐震改修工事が行われ、一般に公開されている。平泉や盛岡を訪問される機会があれば、ぜひ立ち寄っていただきたい。



左は1899年に建てられた臨時緯度観測所。現在は「木村記念館」として公開されている。右は緯度観測所旧本館。宮沢賢治がアイデアを育んだとされる。現在は奥州市の「奥州宇宙遊学館」として、天文学・宇宙科学の一般普及の場として利用されている。