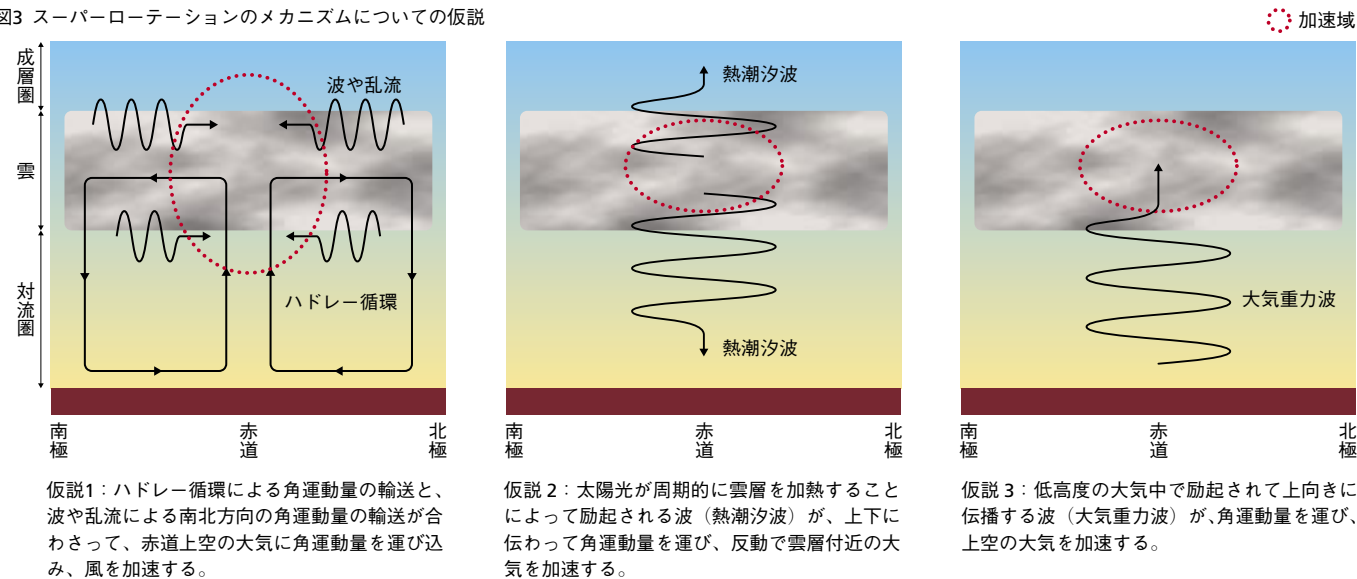


図3 スーパーローテーションのメカニズムについての仮説



ハワイの山頂から金星の大気を探る

佐川英夫

東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻／宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部・博士課程2年生

2005年12月、私たち金星観測グループは、ハワイ島マウナケア山頂に滞在し、金星観測の新しいアプローチを試みた。

この地は、年間を通して大気中の水蒸気量が低いため、湿気の多い日本国内と比較して、大気の透過率が高い。また、標高4200mをこえる山頂部では、雲が眼下を流れることになり、文字通り「満天」の星空が頭上に広がる。天体観測の最適地であるこのマウナケア山頂部には、日本の国立天文台が運用するすばる望遠鏡を含め、世界各国が所有するさまざまなタイプの望遠鏡が悠然と並んでいる。

私たちの観測は、すばる望遠鏡とハワイ大学所有の赤外望遠鏡IRTFを利用して行われた。これまでも、国内の望遠鏡を使って、同様の観測を行っている。それでも、金星に望遠鏡を向け、モニター画面に金星画像の第一報が映し出されると、毎回、新鮮な興奮を覚える。この瞬間が、地上観測のいちばんの醍醐味なのではないだろうか。

今回の観測の目的は、マウナケア山頂の良好かつ安定した観測環境を利用し、高い空間分解能で、金星の雲層の微細構造や、大気光の発光分布を探ることにあった。地上観測では、地球大気を隔てて観測を行うため、地球大気の揺らぎ（シーイング）の影響で像がにじんでしまうという問題を避けられない。その影響を最小限におさえるため、シーイングの影響の少ないマウナケア山頂に観測地を移し、さらに、シーイングが時間変動しない程度（数10ミリ秒）のきわめて短い露出のデータを取得した。

現在、このような過程を経て取得した大量のデータセットの中から、よりシャープな画像の解析的な抽出を試みている最中

である。大気揺らぎの影響を完全に補正することができれば、金星雲層上での空間分解能は約50kmにまで達し、過去に見られたことがないような超微細構造の可視化を期待できる。

また、今回はすばる望遠鏡を使った中間赤外領域（波長10μm帯）での観測とIRTFを利用した近赤外観測（波長1～2μm帯）を同時に行った。金星大気から射出される熱放射を、光学的な厚みが異なる複数の波長で観測することにより、金星大気の鉛直情報を引き出すことが狙いであった。この観測の直前には、野辺山ミリ波干渉計による観測（波長3mm帯）も行っており、近赤外からミリ波にかけの広い波長域で、ほぼ同時期の金星画像が得られている。この二つの観測結果を比較することにより、単一波長での観測では測定できない物理現象が見えてくる可能性が高く、新たな発見もありうる。

金星が地球にふたたび近づく地上観測の好期は1年半後になるが、今後も観測波長や解析方法を工夫しながら、プラネットCによる衛星探査とはまた別のアプローチで、金星大気の謎の解明に取り組んでいきたい。



惑星上で吹く風は自転と同程度に遅いと予想される。たとえば地球の偏西風は30 m/秒程度で、これは赤道での自転速度460 m/秒の1割にも達していない。

しかし、金星の風はこのような予想とはまったく違っていた。1974年にアメリカの探査機マリナー10号が連続撮影した画像では、雲はどこでも自転と同じ方向に100 m/秒もの速さで流れ、約4地球日で1周していたのである（図2）。これは大気が地面の60倍もの速さで回転していることを意味する。

金星にこのような風が吹いていることは、実はフランスのアマチュア天文家が1957年に先に発見していたらしい。しかし同じころ、地上からのレーダー観測により金星の自転速度が大変遅いことがわかったため、4日で1周する風など非現実的であると決めつけられて、長らく無視されていたのである。

この不思議な風は「スーパーローテーション（超回転）」あるいは「4日循環」と呼ばれている。その後、着陸機が大気中を降下しながら観測したところ、風は高度65 kmくらいまで高さとともに強くなっている。大気には粘性（ねばっこさ）があり、地面との間で摩擦が働くので、特別なしくみが働かないかぎり、このような風の分布は徐々に知らされてしまい、最終的には自転速度と大差ない風速に落ち着くはずである。

地球を基準に考えると不思議な風であるが、スーパーローテーションは土星の衛星タイタンでも生じていることが、ボイジャー1号や最近のホイヘンス着陸機などによる観測から明らかになっている。タイタンは1.5気圧の窒素の大気を持ち、金星と違って極寒の世界だが、ゆっくりとした自転（周期16地球日）の10倍の速さの風が吹いているらしい。宇宙全体で見ればスーパーローテーションもありふれた大気循環の一つと考えたほうがよさそうである。

スーパーローテーションの発見以来、それを理論的に説明しようと、多くの気象学者が努力を傾けてきた（図3）。広く認められたシナリオはないが、有望な仮

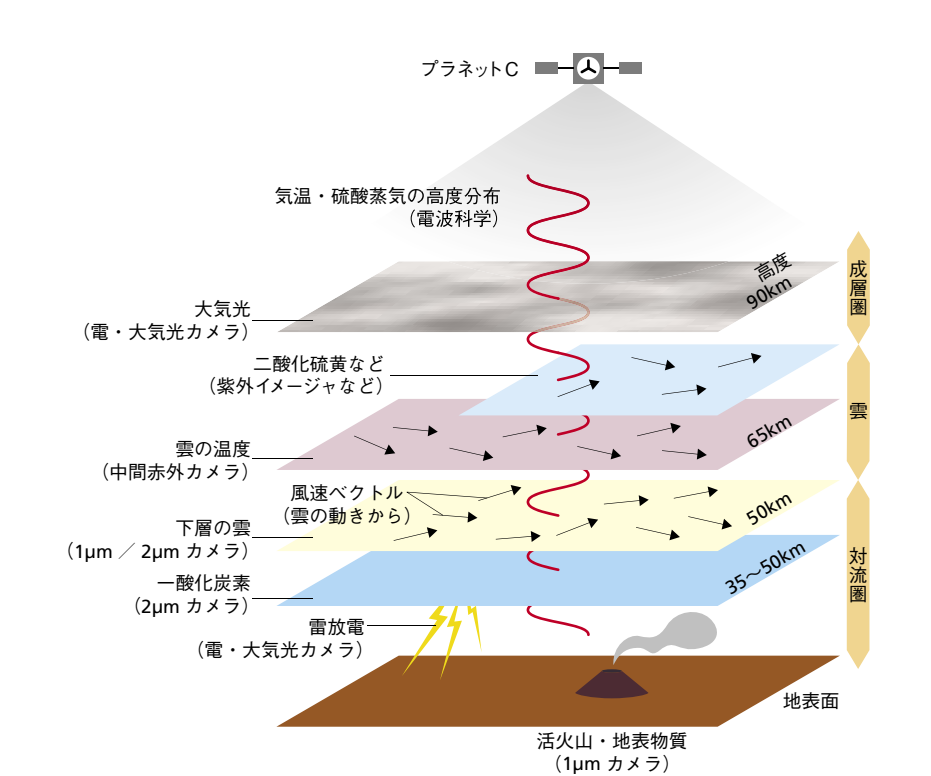


図4 プラネットCによる3次元的な金星大気観測のイメージ

説としては、①ハドレー循環と水平方向に伝わる波や乱流との共同作業により、赤道域の大気が加速される、②雲層の中で励起される波が上下に伝わって大気を加速する、③低高度で励起されて上向きに伝播する波が大気を加速する、がある。しかし、数値シミュレーションではスーパーローテーションの再現はむずかしく、地球・火星型の循環と金星・タイタン型の循環を分ける要因が何なのか、まだわかっていない。

金星大気が南北・上下方向にどのように循環しているのかも未知である。地球のハドレー循環やフェレル循環のような循環が上下に積み重なっているという予想もある。熱容量が大きい（熱しにくく冷めにくい）地表近くの大気は、まるで海洋のように、何十年もかけてゆっくりと循環しているのかもしれない。

日本の金星探査計画

金星気象に謎が多い最大の要因は観測データが限られていることである。地球気象学でそうだったように、まず「何が起きているか」を見なければ始まらない

い。たとえば、どのような波や乱流（傾圧不安定波、偏西風の蛇行、積乱雲など）が生じているのか、南北・上下方向の循環はどうなっているのか、ジェット気流のようなものがあるかどうか、スーパーローテーションの速さがどう時間変化しているか、などである。

地球では、たくさんの測候所を配置することで理解が進んできたが、金星ではそうはいかない。では、地球でも活躍している気象衛星ではどうか？ しかし金星は上空を厚い雲がおおっているため、大気圏の大部分は観測不可能だった。ところが近年、新たな可能性が拓けてきた。1980年代から1990年代にかけて、雲の下の大気や地表面まで外から透視できる赤外線（波長1.0、1.7、2.3μm*など）が相次いで発見されたのである。

*1μm（マイクロメートル）=1000分の1mm

金星の地面や低高度の大気からは熱が赤外線として放射されている。そのほとんどは大気や雲に吸収されてしまうが、上にあげたような特定の波長の赤外線は、大気中を通り抜け、上空の雲の中で何度も散乱されたあと、宇宙空間にもれ