

Q25. 人工衛星に向かってレーザービームを射て……

私の通う大学の隣に、通信に関する大きな研究所があります。研究所の案内をみると、測地学の研究もやっているそうです。夜になると、ときどき緑色の光が見えることがあります（カラー口絵 25 の代わりに海上保安庁下里 SLR 局の写真をご覧ください [Fig2.jpg \(900×675\) \(jpn.org\)](#)）。あれは何の実験をしているのですか。

A25. あなたの大学は東京都小金井市の東京学芸大学、お隣さんは情報通信研究機構ですね。緑色の光はレーザー光線（ものすごくエネルギーが高く、ものすごく波長がそろった、直進性の高いビーム）のパルス（一瞬の光）を発射しているのです。緑色なのは、講演会などでポインターとしてよく使われる赤色のレーザーと種類が異なり、光の波長が短いからです。コーナ・キューブ・リフレクターという特殊な鏡をつけた人工衛星に、望遠鏡をぴったり向けてレーザー光を発射すると、衛星に命中した光が鏡で反射されて、ふたたび望遠鏡に戻ってきます。光の往復時間を測ることによって、望遠鏡と人工衛星の間の距離を測っているのです。これを衛星レーザー測距、略して SLR (Satellite Laser Ranging) と呼びます。本当は昼もやっているのですが、暗くなると目立って、遠くから見えることがあるのです。

SLR は衛星の軌道を決めるための高精度な方法です。昔から正確な軌道が必要な人工衛星には、しばしば反射鏡が取り付けられ、SLR によって軌道が決定されてきました。SLR による衛星までの距離測定によって、軌道だけではなく、地球の重力や回転の時間的な変動、地上局の位置やその変化（**Q&A33,34** などで説明するような、地殻変動に伴う位置の変化）まで決めることができます。このような注目すべきデータが、続々と出てくるようになりました。

日本の測地衛星あじさいをはじめ、SLR 衛星は球形で、多くの反射鏡が表面に配置されています（カラー口絵 25）。光を反射するのが唯一の仕事なので、通信アンテナも太陽電池もなにもついていません。ただし、大気などの抵抗の影響が小さくなるように、サイズのわりに重く、フランスのスターレットは直径 24cm で質量 47 kg、アメリカのラジオスは直径 60 cm で質量 407 kg です。地球の重力の分布が単純でないので（**Q&A28**）、衛星軌道は完全な円にすることはできませんが、それでも、これらの SLR 衛星の軌道はできるだけ円軌道に近くなるように設計されています。

衛星を飛ばす高さの選定は重要な問題です。高度が低いと、反射されたレーザーパルスが強くて観測が簡単になります。そのうえ、地表付近の重力の強弱分布（**Q&A12** 「重力異常」）に反応して、衛星の軌道が大きく変化します。ですから、SLR で軌道の分析をすると、重力異常の細部まで調べることが可能になります。その反面、大気が濃い低高度では、空気抵抗も考慮しなくてはならないので、分析が複雑になります。実際には、高度 800 km から高度 2 万 km くらいまでのさまざまな衛星が、目的に応じて使われています。

SLRの地上局は、レーザーパルスを作って送る部分、帰ってきたレーザーパルスを検出する部分、往復時間を測り距離を算出する部分に分けられます。1980年代以降世界中のSLR局による観測が活発に行われ、超長基線電波干渉法VLBI(Q&A24)とともにプレート運動のデータを提供してきました。わが国でも海上保安庁の和歌山県の下里局が、日本のSLR局の草分けとして観測をはじめ、現在も活躍しています。SLRでもVLBIと同じくらいの高精度で、地上局の位置や地球回転の変化を求めることができます。でも、SLRがその特長を発揮するのは、地球の重心の位置や地球の重力の強弱分布をグローバルかつ精密に決める場合です。



カラー口絵 25 の代わりに、SLR 用に打ち上げられたあじさい衛星 (JAXA 提供)

衛星は地球の引力に引かれて軌道運動をしています。したがって、SLR で決めた軌道の中心 (正確に言うと楕円軌道の焦点。Q&A28 の「楕円の書き方」を参照してください) が地球の重心になり、SLR の地上局と地球重心の位置関係を直接求めることができます。

地球の重心が季節とともにふらふら南北に動くことが発見されたのは、1990 年代初頭で、その原因もだいぶ究明されてきました。北半球の冬にはシベリアに高気圧が発達し、また緯度の高い地域には雪が積もります。また植物が枯れて水分の蒸散が低調になり、かつ寒くて土壌の水分の蒸発量も減り、それらの効果で土壌中の水分が増えます。このような作用が重なって、1 月は 7 月に比べて北半球は「重く」なり、その分地球全体の重心が北に 1 cm 弱といったわずかな量ですが、ずれるのです (図 25-1)。南半球の冬になると、逆に北半球に集まっていた陸水や大気「重し」は南に移動して、地球の重心は南にずれます。実際には、単純な質量の移動だけではなく、質量に対する地球の弾性変形も起こります。北半球と南半球で冬になったほうがわずかに縮み、夏になったほうがわずかに膨張するといった変形が、

世界中にばらまいた GPS の観測によって検出されています。積雪荷重による日本列島の変形(Q&A35)の全地球版ですね。

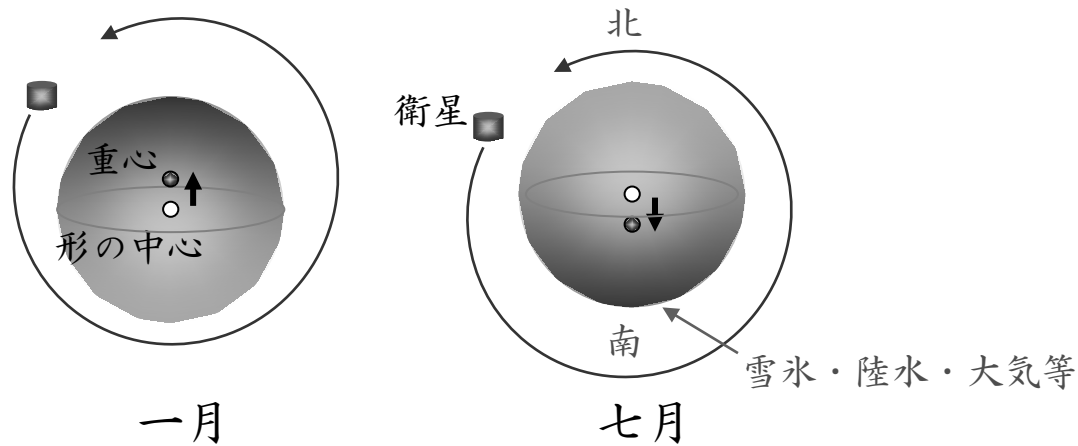


図 25-1 季節の移り変わりにより、大気や陸水が北半球と南半球の間を行き来するため、地球の重心も季節によってわずかに南北に移動する。この現象は SLR 衛星の軌道の中心の移動として観測できる。重くなる側を暗い色で表している。

重力に緯度や経度による強弱(Q&A11)があると、衛星の軌道は徐々に変化してゆきます(Q&A30)。衛星重力ミッション(Q&A28)は、比較的低い衛星を使って重力場の細かい異常を測ることを目的とした計画です。SLR はそのような細かい重力異常を調べるのは苦手です。しかし、衛星軌道のゆっくりした変化から、地球の重力場の大局的な姿や、その時間変化を測ることは得意です。

SLR にはすでに、20 年以上の観測の歴史があり、その間の地球重力場の変化も検出されています。地球重力場の中でも遠心力によって張り出した赤道部分(Q&A4)から J_2 項と呼ばれる重力成分が生まれます。この項があるために、衛星の軌道「面」が地球の自転軸のまわりをゆっくりと回ります(「昇交点経度が変化する」といいます)。Q&A41 で説明する「歳差運動」と同じです。その速さから J_2 項を、またその速さの変化から J_2 項の変化を求めることができます。 J_2 項は SLR の観測によって、少しずつ小さくなっていることが明らかになりました(といっても J_2 項の大きさの 1 億分の 1 の桁が毎年変わる程度)。地球では最終氷期がおわって、かつて氷におおわれていた極に近い地域が、現在隆起しつつあります(Q&A37「ポスト・グレイシャル・リバウンド」)。そのため、地球全体で見ると、赤道の張り出しが相対的に小さくなりつつあるのです。

さてこの J_2 項、その減少が 1998 年に突然止まってしまい、研究者の間で大きな話題になりました。「温暖化による急速な山岳氷河の融解で、低緯度海域の海水が増えた」とか、「地球の中心核にある溶けた鉄の対流パターンが変わった」とか、様々な説が飛び交っていますが、まだ決着はついていません。

(H)