

論文の内容の要旨

論文題目 小惑星の光度曲線:観測とモデルの構築

氏名 石橋 之宏

太陽系内の小天体として代表的な小惑星は、地球近傍から海王星以遠に至るまで太陽系内に広く存在する天体であり、10 万に迫る数の小惑星がこれまでに発見報告されている。これらは惑星形成過程において惑星にまで成長しなかった天体や、母天体からの衝突破片であるため、太陽系の過去の情報を留めていると考えられている。このため小惑星の研究は、我々の太陽系が辿ってきた進化の過程を議論する際に有益な情報を与える。

小惑星を地球上などの遠方から観測すると、短い周期でその明るさが変化していることが容易に判る。小惑星は発光しないので、その表面で反射した太陽光線が観測者に届く。このため、太陽、小惑星、そして観測者の位置関係の変化によっても明るさが変わるが、それよりも短い時間スケールで周期的に明るさが変化するのは、小惑星がいびつな形状をしていることと、それが自転していることを表している。これまでに多くの小惑星の光度曲線が取得されているが、その曲線の概形はそれぞれ異なる。これは、小惑星の形状が実に多様であることを示唆している。

小惑星の素性、特に形状を知る目的の物理観測が、幾つもの手法によってこれまでになされてきた。しかし実際にその詳細な形状が明らかになった小惑星は全体の中のごく僅かである。これは、観測によって取得できるデータに制限があり、一回の観測だけでその形状を一意に決めることは不可能だからである。特定の一部の小惑星は観測機会が多くてデータが集まり易いが、多くの小惑星はそうではない。多くの小惑星の形状を知る為には、限られた少ない観測データを最大限活か

すことが必要である。小惑星の観測で最も多いのは、可視光域の撮像観測である。これは既知の小惑星の明るさや位置を調べる観測や、新しく小惑星を発見することが目的のサーベイ観測等において用いられている手法である。これらの観測からも、データ数が僅かな場合もあるが、光度曲線を得られる。よって本研究では、光度曲線を利用することにした。

本研究においては近地球型小惑星、その中でもとりわけ等の惑星探査の探査候補となる天体の地上観測を行った。欧州南天天文台(ESO)において(4660)Nereus の測光観測を行い、自転周期や変光の光度振幅をとらえた。この他、(10302)1989ML 等の小惑星の測光観測も行った。

小惑星の変光データから形状を求める方法は、既に多くの研究者によってなされてきているが、その殆どは、形状を三軸楕円体に制約し、光度は見かけの断面積に比例すると仮定し、観測時の位相角条件等に対して観測データを複数の手法で変換しているモデルである。本研究では、従来の多くの方法とは異なる観点に基づき、従来の方法がふまえている仮定をなるべく避けてより定量的に形状を決める方法を研究した。少ない観測情報からその形状を制約する為に、光度曲線を再現する数学モデルを用いて、光度曲線に強く影響を与える特定のパラメーターに着目したパラメーターサーベイを行った。

小惑星の光度を決める要因は、主に

- 太陽, 小惑星, そして観測者の位置
- 形状(大きさを含む)
- 自転ベクトル
- 表面の光学反射特性

の 4 つが挙げられる。ここで、最初の項目は観測条件であり、軌道が精度良く決まっている小惑星に関しては既知の情報である。この他の 3 項目が未知の情報である。本研究では、数学モデルは簡易なものとし、光度曲線に対してはその代表的な特徴にのみ着目することにして、限られた観測データを活かせるように配慮した。長谷川(2001)による、“Cometary Nucleus 3D Model” を一部改良した計算コードを用いた。このモデルは小惑星の形状を多面体の集合体(ポリゴン)で記述するので三軸楕円体に制限されない。しかし本研究ではまず三軸楕円体の形状を用いて議論を展開する。また、表面の光学反射特性は、月面等の固体惑星表面の反射特性を表現して広く用いられている Hapke モデルを使用する。

計算精度に関しては、地上観測データの精度より良い精度を要求した。即ち、誤差 0.01 等未満である。太陽-小惑星-観測者の位相角 0° の条件で球の形状を使用した場合、ポリゴンを眺める向きによる誤差を 0.0001 等以下にするためには、面数を 2000 以上にすればよいことが判った。位相角が 0° 以外の条件ではこれより精度が悪くなる。

はじめに位相角 0° の条件で、三軸楕円体の形状比や自転ベクトルの向きを変化させた場合の

光度曲線の変化を系統的に検討した。光度曲線の変化は、振幅の増減に着目すると、形状比を 0.1 変化させた場合と自転ベクトルの向きを黄緯方向に 10° 変化させた場合が概ね等しいことが判った。この際の振幅の変化量はおよそ 0.05 等級であり、小惑星の変光観測における代表的な測光誤差量と等価である。形状比による光度曲線の変化と自転軸の傾斜による光度曲線の変化を、光度曲線の概形から区別することは困難であることも判った。これらの結果は、従来の三軸楕円近似モデルと同程度の精度のものとなった。表面の光学反射則に関しては、位相角度 0° の条件では差異は殆ど見られず、光度曲線の振幅は本研究のモデルでは、表面の光学反射則のパラメータの違いによる影響は小さいことが判った。位相角依存性に関する調査は、平均光度の変化と、光度曲線の振幅の変化に関して行った。その結果はこれまでの経験則、位相角 30 度以下の低位相角においては合うものとなった。

本研究で使用した演繹的な手法は、従来の手法と同程度の精度で結果を得ることが判ったが、個々の要因との関係がよくわかるようになった。本研究の結果を利用して、少ない観測情報から小惑星の形状を制約し、その本質に迫るマップを示した。本研究で使用したモデルを使って、(4660)Nereus の光度曲線から形状比を求めることを試みた。自転軸の方向を制約することはできなかったが、三軸楕円体を仮定した場合の形状比として最適な範囲を制約することができた。これにより、このモデルが小惑星の変光曲線に対して適用可能であることを確認した。