

## 論文審査の結果の要旨

氏名 石橋之宏

本研究は、小惑星の光度曲線から形状、自転ベクトル、光学反射特性の分布等の情報が物理的要素をどこまで引き出せるか、そして得られた結果にはどのような不確定性が残るかを明らかにした。

本論文は、5章から構成されている。まず第1章では、小惑星の地上観測の概要をまとめている。

第2章では、小惑星の測光観測および光度曲線解析の結果を議論した。近地球型小惑星(4660) Nereus, (10302) 1989 ML, (1943) Anteros, (3361) Orpheusの測光観測を行った。これらの暗い小惑星の測光精度を上げるために観測波長域、観測時における望遠鏡の追尾移動量、測定方法に工夫を施した。欧州南天天文台(ESO)で行ったNereusに対する観測からは測光精度0.05等級の光度曲線を得た。

観測で得た光度曲線からその小惑星の物理量を求めるために、複数の経験式と仮定を用いて光度曲線の変換と補正を行う。実視等級から絶対等級(日心距離と地心距離が1AU, 位相角が0度の仮想的条件での等級)への変換と、3軸楕円体形状を仮定した幾何学断面積に基づく推定法による光度曲線のフィッティング、そして光度曲線振幅に対する位相角補正(Zappala et al., 1990)を行った。Nereusは他による色およびスペクトル観測の結果からC型小惑星の可能性を示唆されている。この仮定を用いてこれらの変換および補正操作を経た後に光度曲線からその小惑星の平均光度(Rバンド $18.22 \pm 0.06$ 絶対等級)と光度変化の振幅(3軸楕円体形状を仮定すると $0.58 \pm 0.03$ 等級), そして変光周期( $7.54 \pm 0.6$ 時間)を得た。それらよりNereusの自転周期( $15.1 \pm 1.2$ 時間), 平均直径(約1km), 3軸楕円体

を仮定した場合の形状軸比 ( $a/b=1.71 \pm 0.05$  ( $a_b_c$ ),  $c$ 軸は視線方向に垂直と仮定) などの基本的な物理量を得た。

第3章、第4章では数値計算モデルを用いて光度曲線の特徴、小惑星の物理パラメータと光度曲線との相関を調べた。第3章では数値計算のモデルを紹介して、第4章ではそれに基づく光度曲線と小惑星物理量との関係を議論している。光度曲線から物理情報を導出する過程で使用した経験式や仮定の妥当性を確かめて、観測から得られた結果がどう変わるか検討を行った。

天体の形状、自転ベクトル、表面の光学特性に関する情報から模擬光度曲線を作成するHasegawa et al. (2000)のモデルを改良した。光学反射特性関数にHapke (1984)のmacroscopic roughnessモデルを採用し、小惑星の光度曲線、小惑星の自転による光度変化と見かけの位置の変化による平均光度等の変化の双方の観測結果をよく説明できるモデルを構築した。

天体の基本形状を3軸楕円体を考えて、パラメータ空間内で模擬光度曲線を作成し、光度曲線の特徴を体系的に調べた。天体の自転による光度曲線の特徴ではその形や光度変化の振幅に加えて、本研究では光度変化の中で中間光度になる自転位相の間隔の2つの比に着目した $\phi_1/\phi_2$ パラメータをはじめて導入し、これらの値の変化を調査した。

位相角が0度の場合は、形状と自転軸の方向が光度曲線の形に影響を与え、形状比が大きくなるに伴い、光度曲線の振幅と $\phi_1/\phi_2$ は増加する。形状が3軸楕円体であれば形状比および自転軸の方向によらず、振幅と $\phi_1/\phi_2$ に常に一对一の関係が成り立つ。楕円体でない場合はこの一对一の関係を満たさない。これは天体の形状が楕円体かどうかを判別するのに有効である。クレーターがある場合、直径が天体の最短軸の0.5倍程度大きさのものから判別することが可能である。

位相角がある場合は、形状が3軸楕円体の場合でも、位相角が大きくなるにつれて振幅と $\phi_1/\phi_2$ の関係に分散が生じる。楕円体形状かどうかを判

定する場合，測光精度0.05等級では位相角10度程度まで利用できる。クレーターの有無を判別することも可能である。光度曲線の形は形状と自転軸，そしてHapke パラメーターに影響を受け，極大(小)光度を迎える自転位相が変化する。位相角が大きくなるにつれ，同じ形状であっても振幅の増加と $\phi_1/\phi_2$ の増加が見られる。また，平均光度が暗くなる。

また、Zappala et al. (1990)により提唱され広く使われている、光度変化の振幅の位相角依存性は、C型小惑星に関してはよく説明できる一方でS型小惑星については、Zappalaが観測から求めた傾向は当てはまらないことがわかった。

第5章ではモデル計算で明らかになった結果から観測で得たNereusの光度曲線に対して議論を行った。三軸楕円体を仮定して、自転軸を視線方向に対して垂直と仮定した場合のa/b軸比の範囲は1.6~1.8と求められた。観測で得た実視等級の光度曲線（自転周期は15.1時間を仮定）の $\phi_1/\phi_2$ と振幅の値からNereusの形状に関して考察を行った。Nereusの形状は単純な3軸楕円形状ではないことが明らかになった。クレーターによるものであると仮定するとその直径は形状の最短軸の1.5倍程度あるかなり大きなクレーターである。

これらは、重要な結果であり、本論文の成果は博士（理学）を与えるに十分な内容であると認められる。特に、光度曲線振幅の位相角依存性を改訂したことは、小惑星観測研究に大きな影響を与える成果である。

なお、本論文は安部正真（第1章、第2章）、高木靖彦（第1章、第2章）、水谷仁（第3章、第4章、第5章）の共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析・考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、博士（理学）を授与できると認める。