

氏 名 木 下 大 輔

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第670号

学位授与の日付 平成15年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Size and Spatial Distribution of Trans-Neptunian
Object

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 福島 登志夫
助教授 市川 伸一
助教授 渡部 潤一
助教授 中村 士 (国立天文台)
助教授 土居 守 (東京大学)

論文内容の要旨

Now we know that large number of minor bodies exist in the outer solar system. These objects are called TNOs (Trans-Neptunian Objects) or EKBOs (Edgeworth-Kuiper Belt Objects), and they are thought to be remnants of planetesimals from which the major objects in the solar system formed. Due to their large heliocentric distances, TNOs are least thermally affected by radiation from the Sun. Because of their primordial characteristics, it is important to know the basic properties of the TNOs, such as size distribution, spatial distribution and physical properties in order to understand the origin and evolution of the solar system. In particular, their orbital distribution depends on the formation and orbital evolution of the gas giant planets, the depletion of the proto-solar nebula. Also their size distribution keeps the history of accretional and collisional history of planetesimals.

In order to understand the early history of solar system, deep and wide-field imaging was carried out using the 8.2-m Subaru telescope with the prime focus camera "Suprime-Cam" to search for minor bodies beyond 50 AU from the Sun. A total of 1.4 deg² around the ecliptic, covering 2 degrees in latitude ($-1 < \beta < 1^\circ$), was searched down to the R-band limiting magnitude of $m_R = 26.1$, and 0.23 deg² near the invariable plane was searched down to the limiting magnitude of $m_{r'} = 28.0$. This survey area is larger than any previous work of comparable depth. 28 TNOs were detected, and 22 of them having semi-major axes $38 < a < 45$ AU received provisional designation in MPC. None of them has $a > 50$ AU, resulting in an upper limit of the sky-plane surface density of distant object of 3.3 deg⁻² for the limiting magnitude of $m_R = 25.2$ at 95% confidence level. The sensitivity and efficiency of our detection programme for slow moving object was measured using implanted artificial objects. The derived sky-plane surface density of TNO brighter than $m_R = 27.0$ and $R_H < 50$ AU is $\Sigma = 63.39 \pm 44.3$ deg⁻². The cumulative luminosity function was fitted by the broken power-law distribution with two power-law indices $\alpha = 0.72$ for magnitude range of $m_R < 24.00$ and $\alpha = 0.41$ for magnitude range of $m_R > 24.00$. Estimated power-law index of the size distribution for smaller objects is $q = 3.1$ for size range of $D < 200$ km, which is close to the value $q = 3.5$ for the catastrophic collisional cascade. In this thesis, the absence of objects beyond 50 AU in our datasets are reported and discuss the structure of the outer belt in our solar system, and the first evidence of broken power-law size distribution of TNO is also reported.

論文の審査結果の要旨

Trans-Neptunian Objects (TNO)は、1990年代に初めて発見された太陽系小天体の一群である。これらは太陽系の外縁部に存在し、比較的小天体であることから、熱的変成を受けず、太陽系初期の情報を保持している始源的天体と考えられている。さらに通常の惑星形成論における惑星の成長過程、すなわち微惑星が合体成長を繰り返して惑星へと成長していく過程で、その成長が何らかの原因で止まってしまった天体群かとも考えられており、太陽系形成初期にどのような物理過程が、いかなるタイムスケールで起こったかを示す貴重な手がかりを与える可能性があり、注目されている。

申請者は、TNOの基本的な性質である空間分布とサイズ分布に着目した。空間分布については、特に古典的TNO天体と呼ばれる一群について、軌道離心率や軌道傾斜角がやや大きいことを説明する3つのモデルを出発点に置いた。これらのモデルは、現在発見されている50天文単位以内の古典的TNOについてはよく説明できるが、それ以遠では、予想される軌道分布が違ってくる。遠方のTNOの空間分布を調べることで、個々のモデルの優劣が論じられ、結果として太陽系初期の生成過程に関する貴重な情報が得られる。また、サイズ分布については、大きなTNOが惑星成長の集積過程の産物とすれば、数十kmほどの小さなサイズになると衝突による破壊過程が卓越するはずであり、サイズ分布のべき乗則が、あるサイズで変化している可能性があると考えた。どちらも暗いTNOの分布を調べることで研究が進展する可能性が高かった。しかし、遠方に位置するか、或いは小さなサイズのTNOは極端に暗いため観測が困難であることから、これらの視点での研究はすすんでいなかった。

そこで、申請者はハワイにある国立天文台のすばる望遠鏡と主焦点カメラを用いて、地上観測としては最深かつ広視野の観測により、暗いTNOの探索を試みた。観測データから移動する暗いTNOを自動的に検出するソフトウェアを独自に開発し、28個の新TNO天体を発見するとともに、下記のような重要な結果を得た。

1. 黄道面および不変面近辺の探索でも、50天文単位よりも遠方でTNOが発見できなかった。これにより、空間分布を示すモデルのうち、外側で非常に薄い円盤分布をしているというモデルでは、その円盤の存在範囲が極めて限定されることになった。
2. 暗く、小さなTNOのサイズ分布を見ると、25等付近で分布に折れ曲がりを見いだした。この点は反射率4%を仮定すると、直径約80kmに相当するサイズであり、このサイズを境にして、その分布を決めている物理過程（集積か破壊か）が違っていることを強く示唆する。

申請者の研究結果は、TNOにおける空間分布に関しては、そのモデルに対して一定の制限を与えながら、今後の研究の方向性を決める上で重要なものであり、すばる望遠鏡の特長を十二分に生かした成果と評価できる。またサイズ分布に関しては、小さなサイズの部分で大きな天体とは異なるサイズ分布を持つ可能性を世界で初めて示し、その解釈を通じてTNOの物理的性質などの研究が進展する可能性を示したものであり、その科学的意義は非常に大きい。

以上のように、本論文は、従来、非常に遂行困難であったTNOの空間分布とサイズ分布について、その全容の解明に大きな一歩を踏み出した独自の研究であり、この分野で新しい地平を切り開いたものとして、非常に高く評価できる。