

ライトカーブ観測から迫る小惑星における 衝突イベント時期の推定

浦川 聖太郎

日本スペースガード協会

小惑星の可視測光観測から、小惑星の自転周期、形状、反射スペクトルタイプといった物理的特徴の推定が可能となる。とりわけ、小惑星がタンブリング運動を起こしている場合は、タンブリングの原因でなったであろう小惑星における衝突イベント時期の推定も可能となる。ここでは、地球接近天体 107P/(4015)Wilson-Harrington と 2012 TC₄ のライトカーブ観測から導いたそれぞれの小惑星の物理的特徴について報告する。また、すばる望遠鏡 HSC(Hyper Suprime-Cam) のアーカイブデータを用いた小惑星検出アプリ COIAS の開発について紹介する。

1 107P/(4015)Wilson-Harrington

彗星のようにダストやガスを放出する小惑星がメインベルト小惑星帯で発見されている。このような天体は、Main-Belt Comets(MBC) と呼ばれる。MBC は、彗星のような揮発性物質に富む天体がメインベルト小惑星帯に存在することを示唆する。MBC が彗星活動を起こす原因は、他天体衝突や、熱的な影響による揮発性物質の昇華と考えられている。一方、地球接近天体の中には、過去に彗星活動を示し、その後ダストやガスの放出が検出されず、見かけ上小惑星に遷移した天体(彗星・小惑星遷移天体/枯渇彗星核天体)がある。代表的な彗星・小惑星遷移天体に 107P/(4015)Wilson-Harrington(以下、W-H)がある。W-H は、1949 年に彗星として発見されたが、その後の回帰で存在を確認できず、1979 年に発見された小惑星 (4015) が W-H であると同定された。W-H の軌道力学的な起源は、木星族彗星である可能性が 4%、外側の小惑星帯である可能性が 65%と報告されている (Bottke et al. 2002)。従って、W-H は元来、外側の小惑星帯に存在した MBC のような天体であり、地球接近天体の軌道に進化した後、彗星活動を起こしたという仮説が成り立つ。彗星活動の原因が、他天体衝突であれば、自転運動に非主軸回転(タンブリング)運動が起こっていると思われる。我々は、2009 年から 2010 年にかけて国内外の 5 つの中小口径望遠鏡を用いて、W-H の可視測光観測を行い、そのライトカーブから自転状態や形状の推定を行った。その結果、ライトカーブには 6 回(あるいは 3 回)の光度ピークがあり、自転周期が 0.2979 日(あるいは 0.1490 日)であることが分かった。また、0.2979 日の周期と 3:1 の関係にある 0.0993 日の微小な光度変化を検出した。ライトカーブから次のようなモデルを提唱した (Urakawa et al. 2011)。

- 1)W-H はタンブリング運動をしており、その形状の三軸比は 1.0:1.0:1.6 の縦長の楕円体である。6 回の光度ピークはタンブリング運動を反映したものである。
- 2)W-H はタンブリング運動をしておらず、その形状の三軸比は 1.5:1.0:1.0 の横長の楕円体である。6 回のピークは形状を反映したものである。
- 3)W-H は衛星を伴っている。6 回のピークは衛星の存在を反映したものである。
- 4)W-H の自転周期は 0.1490 日である。3 回の光度ピークは表面の明るさの不均一性やクレーター状の地形を反映したものである。

また、W-Hの軌道は2030年代を見据えた次世代サンプルリターンミッションの候補天体ともなりえる。上記のようなモデルに制限を与える事に加え、探査計画を立案する上でも追加の地上観測が重要となる。W-Hは2022年から2023年に観測好機を迎える。特に、2023年1月には位相角が1.4度となり、光度位相関数の導出や偏光観測を実施する上でまたとない機会となる。2022年から観測キャンペーンを実施する事で、W-Hの物理状態の更なる解明を行う。

2 2011 TC₄

小惑星の地球衝突問題に対する取り組みは Planetary Defense あるいはスペースガードと呼ばれる。スペースガードでは、サーベイ観測により地球接近天体を発見することと並行して、一つ一つの地球接近天体の物理的特徴を解明することも重要である。近年発見される地球接近天体に、直径が小さく高速自転をしている小惑星(高速自転小惑星)がある。高速自転小惑星とは、自転周期がおおよそ2.2時間より短い小惑星である。小惑星の構造が重力のみで維持されていると仮定すると、高速自転小惑星はラブルパイルではなく一枚岩小惑星であると考えられる。一枚岩小惑星の成因の一つとして、母天体小惑星で起こった衝突イベントが考えられる。また、はやぶさ2拡張ミッションのターゲットである1998 KY₂₆も直径30m程度の高速自転小惑星であり、その物理状態の解明が期待されている。高速自転小惑星を調べることは、母天体で起こった衝突イベントの規模や時期の推定、ボルダーと比較した時の形状やサイズ分布の相違の解明、スペースガードにおける防災の観点で重要である。我々は、東京大学木曾観測所1.05m望遠鏡+Tomo-e Gozenカメラ(Sako et al. 2016)をはじめとする国内の5台の望遠鏡を用いて、高速自転小惑星である2011 TC₄(以下、TC4)の可視測光観測を実施した。その結果、TC4は小惑星の長軸を自転軸としたタンブリング運動をしており、自転周期が8.47分、歳差周期が12.25分であることがわかった(Urakawa et al. 2019, タンブリング小惑星の形状モデルコードを用いたLee et al. 2021では自転周期27.5070分、歳差周期8.47511分)。また、小惑星を弾性体とみなすことで、内部エネルギー散逸によりタンブリング運動が収束するまでの時間(ダンピング時間)や、反対に時間を遡ることでタンブリング運動の原因となった衝突イベントが発生した時期の推定を行った。その結果、TC4はおおよそ30万年以内前に衝突イベントを経験し、今後18-27万年で短軸を自転軸としたタンブリング運動に移行することが分かった。今後も、世界各地で継続的にサーベイ観測は実施される。特に、Tomo-e Gozenカメラではその高い時間分解能を生かして、高速自転小惑星やタンブリング運動をしている小惑星の発見が期待される。本研究の手法を用いることで、タンブリング運動をしている様々な小惑星の衝突イベント時期の推定が可能になる。

3 COIAS(コイアス。Comm On! Impacting ASteroids)

HSC(Hyper Suprime-Cam)は、口径8.2mのすばる望遠鏡に備え付けられた視野直径1.5度の広視野カメラである。HSCの観測データはアーカイブ化され、自由に使うことができる。HSCには数多くの未発見の小惑星が検出されているが、これまで効率的に位置測定と測光がなされていなかった。そこで、HSC用の小惑星検出アプリケーションCOIASの開発を行った。試験的なデータ解析の結果、COIASを用いることで黄道面付近を観測したHSCの約16平方度のデータから、4141個の新小惑星候補天体を検出した。COIASは、開発初期段階で多くの改良点がある。引き続きCOIASの改良を行ない新たな小惑星を効率的に発見することで、後世の太陽系天文学のレガシーとなるデータの創出を行いたいと考えている。