

K7-82

すばる望遠鏡HSCデータを用いた小惑星探し

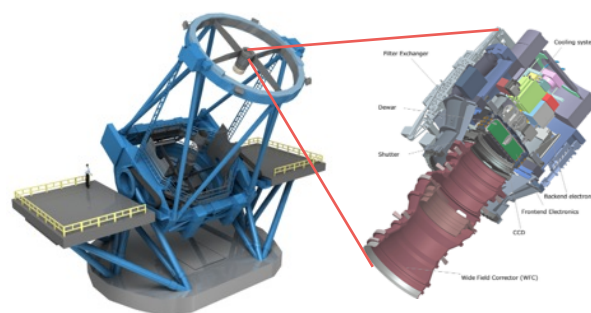
Finding New Asteroid using Hyper Suprime-Cam Observed by Subaru Telescope

○大井昂紀¹, 阿部新助²
*Takanori Ooi¹, Shinsuke Abe²

Hyper-SuprimeCam (HSC) is a high quality new digital camera which is mounted on a prime focus unit of the Subaru 8.2 meter telescope located at the summit of Mt. MaunaKea (4200m height) operating by National Astronomical Observatory of Japan. The HSC has 116 of newly developed CCD image sensors covering the large field of view (1.77 deg²) which is about 9 times of full moon diameter. The HSC, a deep and wide-angle imaging survey of the sky, can provide not only galaxies but also moving objects such as asteroids and comets in the solar system. Here, our newly discovered asteroids and their orbits will be shown in this presentation.

1. はじめに

小惑星 (asteroid) とは、地球と同様に太陽の周りを周回している惑星や衛星には属さない天体であり、その成分は岩石質である。小惑星はその軌道長半径によって分類されることが多く、メインベルト小惑星 (main asteroid belt), トロヤ群小惑星 (trojan asteroid), 地球近傍小惑星 (near-Earth asteroid) に分かれるに現在、発見されている小惑星は60万個余りにの上り、その9割強の小惑星がメインベルトと呼ばれ、火星と木星の間に存在している。

Figure 1. CG Image of Subaru^[1] and HSC^[2]

2. すばる望遠鏡とHyper Suprime-Cam

すばる望遠鏡は、1991年より観測が開始された大型光学赤外線望遠鏡である。日本の国立天文台が主となり運営し、その所在地はアメリカ合衆国ハワイ州ハワイ島のマウナケア山(標高4200m)山頂である。マウナケア山は、1年を通して天候が安定し、光害も少ないため、天体観測にとっても適した場所となっている。そのため、マウナケア山山頂にはすばる望遠鏡以外にも11カ国が運営する13の望遠鏡が建造されている。その中でもすばる望遠鏡は世界から高い評価を受けるほどの高解像度を持つ。その大きな一因としては、世界最大級である直径8.2m、厚さ20cmの単一主鏡を持っているらである。これほど大きな鏡は斜めにすると歪んでしまうため、鏡は261本のアクチュエータで支えられ、形が保たれるように制御されている。すばる望遠鏡は主焦点、カセグレン焦点、そして2つのナスマス焦点を持つ。主焦点は主鏡から反射した光が多く入ってくるので、視野を広く取れることが特徴である。しかし、主焦点の位置は主鏡から高さ約16mに位置しているために、大きく重い観測装置を設置することは難しい。

Hyper Suprime-Cam (HSC) はすばる望遠鏡の主焦点に取り付けることのできるデジタルカメラである。その2002年より国立天文台、民間企業、国内外の機関により開発がスタートし、2014年春より運用が開始されている。カメラは、レンズ、フィルター、シャッター、光センサーで構成されている。光センサーは新規開発された高感度CCDセンサーが使われている。CCDセンサーは116個が並べられ、合計約8億7000万画素を持つ。その視野は満月9個分(4.5°)と8mクラス以上の望遠鏡では世界最大の視野を誇る。限界等級約26等級までのHSCを用いて撮影を行えば、その副産物として多くの移動天体が見つかると思われる。

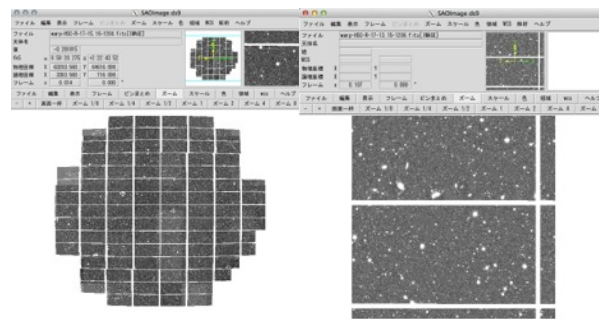


Figure 2. left: All date right: cut date

3. データの解析

Subaru-HSCで1セットに得られた画像データは容量は20GBと巨大なため、それを分割した小画像から新しい小惑星を探し出すことにする。小画像中にどれくらいの小惑星が映っているかを見積もるため、DS9という画像解析ソフトウェアを用いて、ブリンクすることで画像の中から移動天体を見つける。

ブリンクとは、ある時間間隔をおき複数回同じ視野を撮影した画像をパラパラ漫画のようにして見比べることで動きのある天体(小惑星)を探し出すという方法である。

ブリンクの結果としては、1セットの小画像から十数個の小惑星を見つけることができた。この小画像が約60セットで全データとなるため、1度の観測で100個以上の小惑星が映っていることになる。そのほとんどが新発見の小惑星だという可能性もある。

見つけた小惑星に行く解析の第 1 段階として、見つけた小惑星の座標、撮影された時間を記録することである。こうすることで、小惑星がどのくらいの見かけの速度で移動しているのか計算で求めることができる。

解析の第 2 段階として、太陽から小惑星までの距離を計算することである。

今、太陽、地球、そして小惑星が Figure 3. のような関係で太陽の周りを公転しているとすると、次のような 2 つの仮定をおく。

- ①地球と小惑星は太陽の周りを円軌道で公転する。
- ②小惑星が太陽離角 180° の衝方向にある。

ということである。そうすると、地球も小惑星も太陽の周りを公転していることから、ケプラーの第 2 法則より (1) 式が成り立つ。(1) 式を用いることで、太陽と小惑星までの距離 r [AU] を求めることができる。小惑星までの距離を横軸、小惑星の見かけの移動速度を縦軸とするとその関係は Figure 4. のように表される。

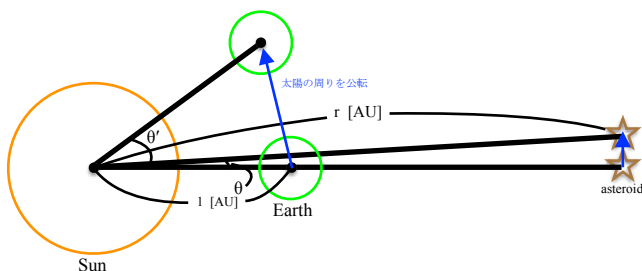


Figure 3. Relation of Sun, Earth, and Asteroid

ケプラーの第 2 法則

$$\frac{1}{2} r \sin \theta = \frac{1}{2} \sin \theta' \quad (1)$$

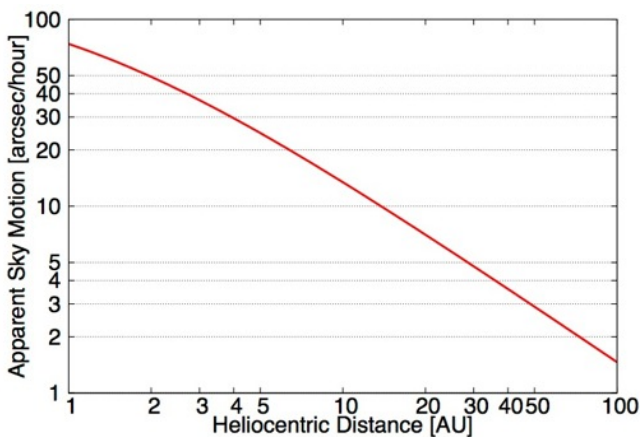


Figure 4. Apparent Sky Motion of Asteroid as a Function of Heliocentric Distance

4. データの補正

データ解析の第 2 段階で行っていた中には、小惑星は太陽の衝方向とすると仮定していた。しかし、衝方向の空を向いて望遠鏡が撮影を行っているとは限らない。小惑星が衝方向にないときは見かけの移動速度が変わるため、それを補正する必要がある。例えば、Figure 5. のように小惑星が太陽離角 90° の位置にありそれを観測していたとすると、そうすると、地球も小惑星も太陽の周りを公転していることから見かけの

移動速度はゼロとなり小惑星は移動していないように見える。このように衝方向でないときは補正する必要があるのだが、以下の (2) 式を用いて計算することで、衝方向にあるときの小惑星と同じみかけの速度へ補正することができる。補正前の見かけの速度を θ [arcsec/hour]、衝方向からの離角 θ_e [°] とすれば、補正後の見かけの速度 θ_c [arcsec/hour] は

$$\theta_c = \frac{\theta}{\cos \theta_e} \quad (0^\circ \leq \theta_e < 90^\circ)$$

$$\theta_c = -\frac{\theta}{\cos \theta_e} \quad (90^\circ < \theta_e \leq 180^\circ) \quad (2)$$

と表すことができる。

5. 解析結果

すばる望遠鏡の観測状況より、HSC はろくぶんぎ座に近い方向を向き、衝方向からの離角は 43 [°] であると推定された。ブリンクによって発見することのできた移動天体は 15 個であった。これらの移動天体の見かけの速度を (2) 式を用いて補正し、Figure 4. より移動天体まで距離を概算した。この結果を Table 1. にまとめた

Table 1. Distance to Asteroid

Apparent Sky Motion No.	Apparent Sky Motion [arcsec/hour]	Distance Asteroid [AU]	Apparent Sky Motion No.	Apparent Sky Motion [arcsec/hour]	Distance Asteroid [AU]
1	12.9	10.4	9	16.5	7.9
2	28.1	4.2	10	10.8	12.7
3	28.7	4.2	11	19.5	6.6
4	8.3	16.8	12	25.8	4.7
5	14.7	9.0	13	13.5	10
6	25.8	4.7	14	36.1	3.1
7	19.9	6.4	15	16.9	7.7
8	12.5	10.8			

6. 今後について

ここで紹介した小惑星の発見方法は、人の目を使いブリンクしながら調べるといものであった。すばるのような膨大なデータに対してこの方法で小惑星探しを進めていくには限界がある。今後は、プログラムを用いて新しい小惑星を画像の中から探し出すという方法に挑戦したいと考えている。ここで行ったデータの解析、補正も小惑星の軌道を求めるためのほんの一部分でしかないので、小惑星の軌道を求めるためにはどのような解析が必要なのか、どのような補正が必要なのかということ調べ、国際天文学連合の MPC (Minor Planet Center) に新しい小惑星を報告することを最終目標として、本研究を進めていきたい。

7. 参考文献

[1] National Astronomical Observatory of Japan
すばる望遠鏡、「すばる望遠鏡の仕様」
http://subarutelescope.org/Introduction/j_telescope.html

[2] NAOJ Advanced Technology Center
Project, 「Hyper Suprime-Cam」
http://atc.mtk.nao.ac.jp/E/Projects/HSC/indexE_HSC.html