

小惑星の宇宙風化作用によるカラー変化の解析

On the Proceedings of Comet Summer School 2009

野沢由依¹ (Yui Nozawa)、吉田二美² (Fumi Yoshida)、

Mansur Ibrahimov³

¹日本女子大学、²国立天文台、³Ulugh Beg Astronomical Institute

Abstract

This is a study for the time scale of the surface color change with the space weathering. For this purpose, we observe young family asteroids which are theoretically known their formation age, then compare the surface colors between old family members and young ones. The surface color of S-type asteroids gets redder by space weathering, because of a formation of micro iron particle in the surface layer. On the other hand, for the C-type asteroids, we still don't know how the space weathering changes their surface properties. We observed young S-type family: Iannini, old S-type family: Koronis, young C-type family: Veritas, and old C-type family: Themis. As a result, we confirmed the color change occurred on the surface of S-type asteroids due to the space weathering, but we could not confirm that of C-types.

1 はじめに

小惑星の宇宙風化作用による表面カラー変化のタイムスケールについて、研究を行った。S型小惑星の表面カラーは、宇宙風化作用によってより赤くなることが知られている。一方、C型小惑星においては、どのように表面特性が変化するかは知られていない。そこで、理論的に年齢の知られている若い族の小惑星と、古い族の小惑星の多色測光観測により表面カラーを比較し、表面年齢と表面カラー変化の関係を調べた。

2 小惑星

小惑星とは、太陽系小天体の中でもコマや尾がなく、岩石を主成分とした天体のことである。火星軌道と木星軌道の間にあるメインベルトにそのほとんどが分布しており、本研究で対象とした小惑星も

このメインベルトに含まれている。

(1) 小惑星の族

メインベルトの小惑星の中には軌道長半径・離心率・軌道傾斜角が似通った小惑星が存在している。これらの似通った軌道要素を持つ小惑星の集まりを族と呼ぶ。この族は、元は一つの天体だったものが衝突破壊によって砕かれて生き残った破片群であると考えられており、スペクトルやアルベドの観測からもそれを支持する結果が出ている。

(2) 表面スペクトルによる分類

小惑星は、表面スペクトル、すなわち表面組成の観点から分類がされている。中でも代表的なものは本研究で対象としたS型小惑星とC型小惑星である。

S 型小惑星は現在知られている小惑星のおよそ 17% を占め、比較的明るく見える。構造物質はスペクトルの形から、珪素質であることがわかっている。また、S 型小惑星と普通コンドライトのスペクトルの形を比較すると、吸収帯の位置が一致しているが、S 型小惑星の方が普通コンドライトよりも短波長側の反射率が低くなっている。そこで、宇宙風化作用により S 型小惑星の短波長側の反射率が下がった、と考えられるようになってきた。宇宙風化作用とは、宇宙空間で太陽風や微小隕石の衝突により天体の表面物質の色や明るさが変化することであるが、これにより、S 型小惑星のスペクトルは赤化する傾向にある、ということが知られている。

C 型小惑星は 75% 以上を占め、非常に黒っぽく、表面物質はそのスペクトルの相違から炭素質コンドライトではないかと考えられている。宇宙風化作用による色の変化はまだわかっていない。

3 観測概要

ウズベキスタンの Maidanak 天文台にある口径 60cm 望遠鏡と CCD カメラを使用し、B、V、R、I フィルターを用いた多色測光観測を行った。観測期間は 2007 年の一年間である。観測した小惑星は、S 型小惑星で若い族である Iannini 族 (約 500 万年前) と古い族である Koronis 族 (約 2~3 億年前)、C 型小惑星で若い族である Themis 族 (約 830 万年前) と古い族である Veritas 族 (約 2~3 億年前) である。小惑星の絶対較正には Landolt の測光標準星を使用した。

3 データの整約と解析

(1) 一次処理

撮像した生データから、IRAF を用いて dark 補正、flat 補正を行った。

(2) アパーチャー測光

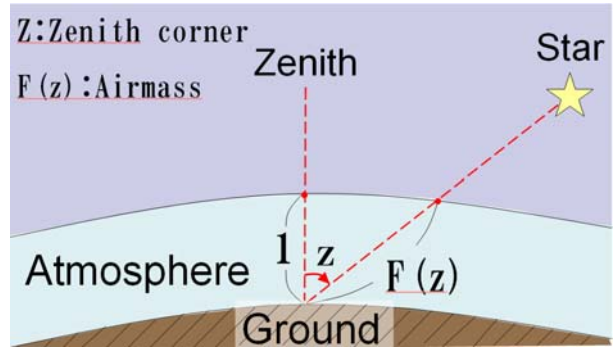


Fig.1 Definition of airmass.

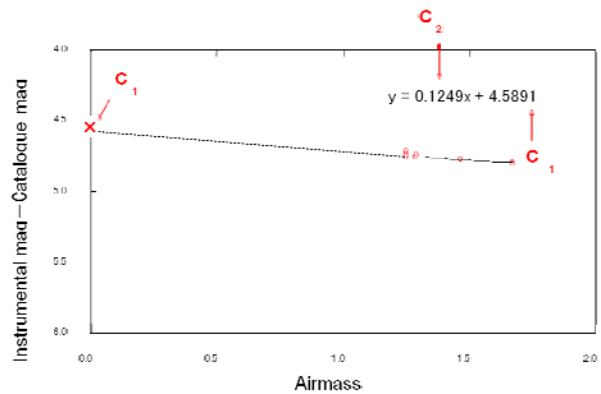


Fig.2 Determination of the coefficients of atmospheric extinction.

アパーチャー測光とは、星像を中心とする円形領域を考え、その中の光量を積分し、周囲の sky との差を測定することで光度を測る方法である。IRAF のタスク apphot を用いた。標準星のアパーチャーサイズを 14 秒角、小惑星のアパーチャーサイズを FWHM の 3 倍とした。

(3) 大気減光補正

天体の光は、大気層、すなわち Airmass (Fig.1 参照) の変化に伴い吸収量が変わり、等級が変化するため、吸収量を補正する必要がある。そこで、測光標準星から求めた大気減光係数 (Fig.2 参照) を使って補正を行った。補正式は、

$$\text{補正後の等級} = \text{補正前の等級} - C_1 - C_2 x$$

である。

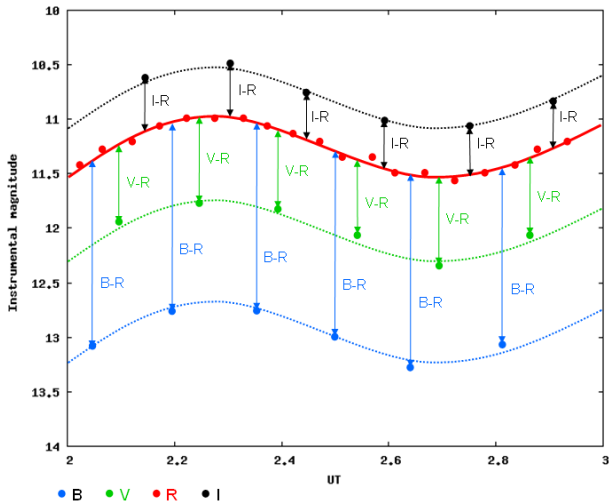


Fig.3 Time correction method.

(4) B-V, V-R, V-I の算出

一番感度の良い R バンドを基準とし、R バンドではさみながら RR-BB-RR-VV-RR-II-RR・・・と観測をした。R バンドでの光度変化が他のバンドでも同じであると考え、B、V、I バンドで観測した時間での R バンドの等級を外挿し、小惑星ごとに B-V、V-R、V-I を算出した (Fig.3 参照)。

(5) 太陽カラーの補正

小惑星の B-V、V-R、V-I の等級から太陽カラーを引くことで、小惑星の波長による反射率の違いを求めた。

4 結果

解析により求めたデータを 2 色図上にプロットした (Fig.4)。

まず、S 型小惑星である Iannini 族と Koronis 族とを比較すると、形成年代の古い Koronis 族は図の右上付近に分布しているのに対し、形成年代の若い Iannini 族は図の中心付近に位置していることがわかる。これは、S 型小惑星の表面スペクトルが長い年月をかけて赤い方向へと移行していることを示す。

次に、C 型小惑星である Themis 族と Veritas 族とを比較したところ、今回の結果からは双方に顕著な違いは見られなかった。よって、宇宙風化によりどのようにスペクトルが変化するかを知ることはできなかった。これは、カラー推定の際の誤差が大きかったことが原因であると考えられる。

5 議論

我々の 2 色図のカラー範囲は、Zellner の 2 色図 (Fig.5) と一致しなかった。これは、大気減光補正もしくは CCD の絶対較正が正しくないことが原因であると思われる。他の機器で取られたデータと比較するために、カラーを絶対較正し直す必要があり、現在そのためのデータを取得中である。

6 まとめ

S 型小惑星と C 型小惑星とで年齢によりどのように宇宙風化が進むかを調べた。その結果、S 型小惑星においては宇宙風化作用により小惑星表面のスペクトルが相対的に赤く変化することを確認した。これは隕石を使った実験とも一致している。しかし、C 型小惑星においては測定誤差が大きく顕著な変化が見られなかった。今後、測定誤差の大きな暗い小惑星を解析するために、大きな望遠鏡を用いて観測する必要がある。また、より多くの正確な C 型小惑星の観測データを得ることで、C 型小惑星の宇宙風化作用によるカラー変化を追求していく予定である。

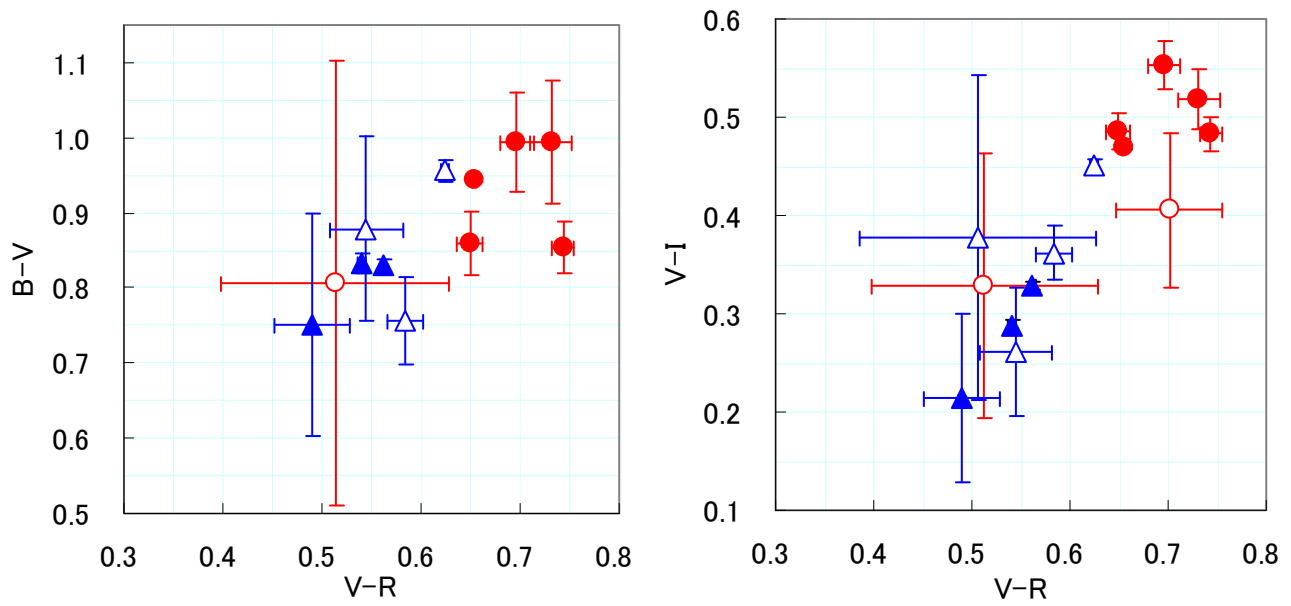


Fig.4 Colors of asteroid on V-R vs. B-V (left) and V-R vs. V-I (right) diagrams. \circ , \bullet , \triangle , and \blacktriangle denote Iannini-, Koronis-, Veritas-, and Themis-family asteroid, respectively.

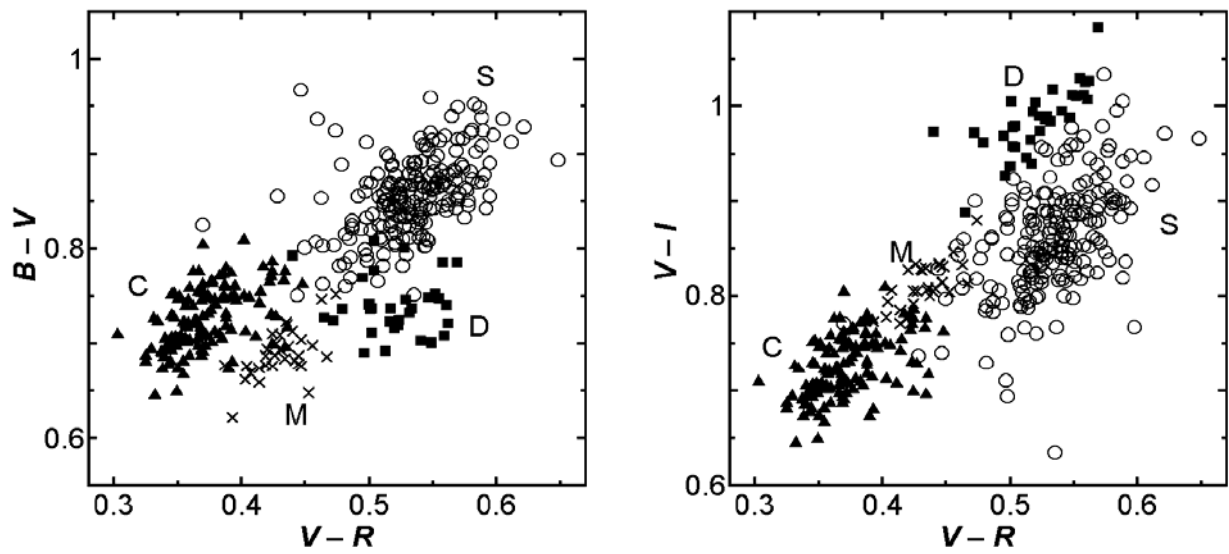


Fig.5 V-R vs. B-V (left) and V-R vs. V-I (right) diagrams. Zellner et al. 1985.