

## 地球近傍ダストの起源

### Origin of Interplanetary Dust Particles in Near Earth Space

石黒正晃<sup>1)</sup>・Hongu Yang<sup>1)</sup> Yoonyoung Kim<sup>2)</sup> 臼井文彦<sup>3)</sup> 上野宗孝<sup>3)</sup> 向井正<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 韓国・ソウル大学 <sup>2)</sup> 韓国・梨花女子大学 <sup>3)</sup> JAXA <sup>4)</sup> 神戸大学

Masateru ISHIGURO<sup>1)</sup>, Hongu YANG<sup>1)</sup>, Yoonyoung KIM<sup>2)</sup>,

Fumihiko USUI<sup>3)</sup>, Munetaka UENO<sup>3)</sup> and Tadashi MUKAI<sup>4)</sup>

#### Abstract

We investigated the origin of interplanetary dust particles through the observation of Gegenschein using a handmade instrument, WIZARD, between March 2003 and November 2006. We found a narrow brightness enhancement superimposed on the smooth gradient of the Gegenschein at the exact position of the antisolar point. It is likely that the zero-phase peak (the so-called opposition effect) was caused by coherent backscattering and/or shadow-hiding effects on the rough surfaces of individual dust particles. We derived the geometric albedo of the smooth component of interplanetary dust, and obtained a geometric albedo of  $0.06 \pm 0.01$ . The derived albedo is in accordance with collected dark micrometeorites and observed cometary dust particles. In addition, we deduced the optical spectrum using data in SMOKA taken with SUBARU/FOCAS, and found that it is similar to those of C-type or B-type asteroids. Finally we concluded that chondritic particles are dominant near Earth space.

Key Words: Gegenschein, Interplanetary dust, Zodiacal light

#### 1 はじめに

黄道光とは、惑星間ダストによる太陽散乱光です。黄道光の中でも、特に後方散乱によって強められた反太陽方向に見える成分は、対日照と呼ばれています。本研究では、対日照の地上観測を通して、地球軌道に近い部分に現存する惑星間ダストの起源について調査しましたので、その結果について報告します<sup>1)</sup>。

#### 2 観測

私たちの研究グループでは、黄道光や対日照を観測する専用の観測装置WIZARDを開発しました(図1)。この観測装置は、視野 $46^\circ \times 92^\circ$ 、空間分解能1.4分角で、液体窒素冷却のCCDを用いています。国立天文台ハワイ観測所とNASA IRTFの支援を受けて、ハワイ・マウナケア山頂において、2003年3月から2006年11月までの45夜観測を実施しました。地上観測で得られる黄道光の明るさは、黄道光だけでなく、大気光、地球大気による散乱光、分解できない星や系外銀河、銀河系内拡がった成分などからなります。大気光成分を抑えるために、440-520nmで透過する色ガラスフィルターを用いました。地球大気による散乱光成分は、放射輸送方程式 (radiative transfer model)を用いて計算し、差し

引きしました。星や銀河系内の拡がった成分は、PIONEER 11号や星のカタログ(例:USNOカタログ)などを用いて、その明るさと誤差を推定しました。

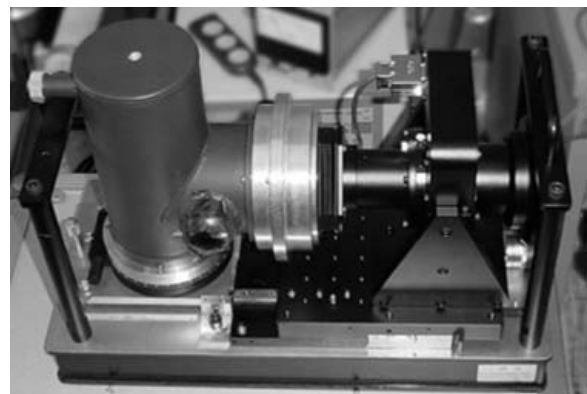


図1 WIZARD本体 左の筒状の容器は、液体窒素デューワーで、それに接するようにして2Kx4KCCDがおさまられています。

#### 4.2 対日照の形状と季節変化

図2に異なる季節に観測した対日照の画像を示します。対日照の輝度分布は、季節変化していることがわかります。しかし、対日照のもっとも明るい部分は、

いつも反太陽方向と一致していることがわかりました (図3)。

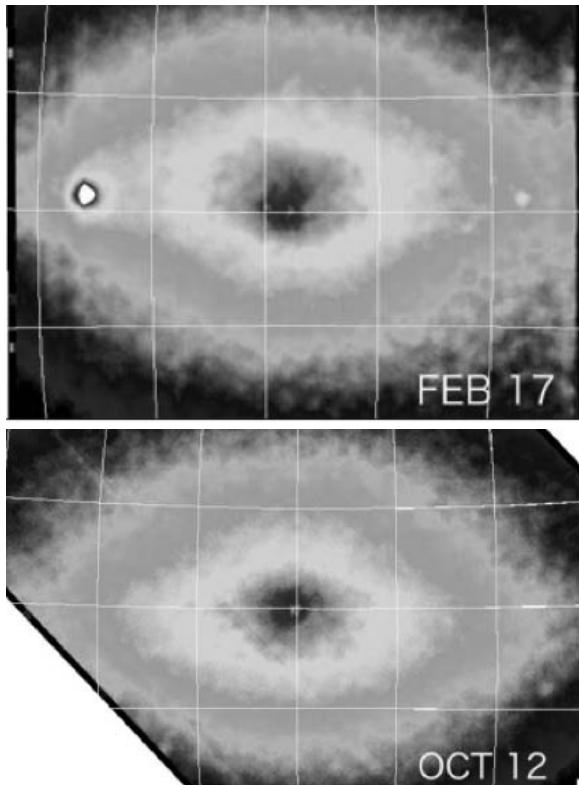


図2 対日照の観測画像 星や大気成分は差し引いています。上は2月17日、下は10月12日に観測しました。画面中央の横線は黄道面です。2月は黄道面より北側が、10月は黄道面より南側が明るく観測されました。ただし、対日照の最も明るい部分は、観測日によらず、反太陽方向と一致していました。

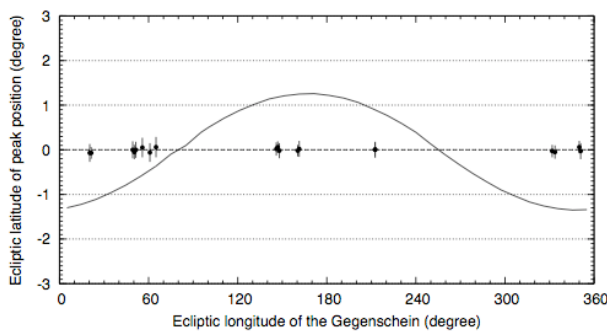


図3 対日照の最も明るい部分の南北方向のずれ  
過去の研究から、対日照の最も明るい部分は、季節変化すると考えられていました。図の曲線は、先行研究 (James et al. 1997<sup>2)</sup>) によって示唆されていた季節変化予想曲線です。私たちの高空間分解能観測によって、対日照のもっとも明るい部分は、季節変化せず、常に反太陽点と一致することがわかりました。

この形状の季節変化を説明するために、惑星間ダストの三次元空間分布モデルと、散乱位相関数を用いて、対日照の形状を再現しました。図4上は、赤外線観測によって得られた空間個数密度分布モデル<sup>3)</sup>と、Hong (1985)<sup>4)</sup>による散乱位相関数を用いて対日照の明るさを計算したものです。概ね、形状を再現することができますが、反太陽点部分だけ合わないことから、Hong (1985)より15%後方散乱成分を強くして再計算したものが図4下です。散乱位相関数を少し修正することによって、対日照の輝度分布の季節変化を正確に再現することができました。

このような反太陽方向で反射光強度が強くなる現象は、衝効果として知られています。月や小惑星、惑星リングなどで衝効果が観測されています。このような衝効果を起こす原因として、レゴリス層による光の干渉 (コヒーレント後方散乱) や、影効果等が提唱されています。惑星間ダストは光学的に薄いことから、このような衝効果が起きにくいと考えられていました。私たちの観測で、衝効果が観測されたことによって、惑星間ダストの大きさは、衝効果を起こすのに十分なくらいに大きいことが示唆されます。

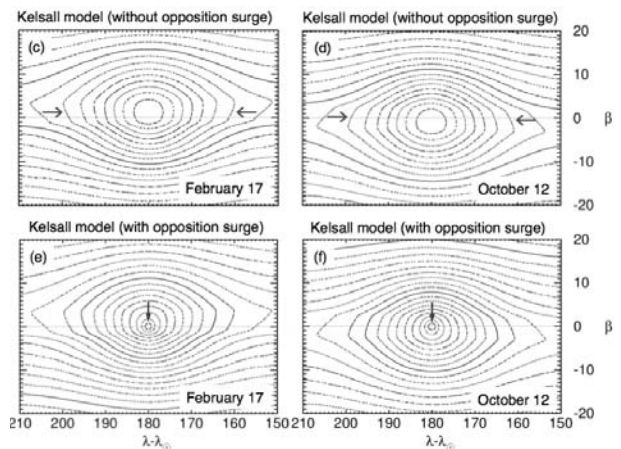


図4 惑星間ダストの形状モデル (上) 赤外線観測によって得られている空間個数密度分布とHong (1985)による散乱位相関数を用いて計算しました。(下) Hong (1985)より、15%後方散乱強度を強めた位相関数を使用しました。

## 5 ジオメトリックアルベド

太陽系小天体のアルベドは、位相角ゼロ度 (つまり反太陽点で観測) での完全ランベルト面における、入射光に対する反射光の割合として定義されています。つまり、私たちの観測量から、直接、惑星間ダストのジオメトリックアルベドを得ることができます。ダストの個数密度は赤外線観測で得られた量を用いました。

その結果、惑星間ダストのジオメトリックアルベドは、 $0.06 \pm 0.01$ となりました。

せんでした。

最近の研究で、惑星間ダストの起源として、S型小惑星が候補の1つとして挙げられています<sup>5)</sup>。S型小惑星のジオメトリックアルベドは、0.2よりも高く、私たちの研究結果と一致しません。私たちの導出したアルベドは、D, C, B, F型小惑星<sup>6)</sup>や彗星核に近い値になりました。

## 5 可視スペクトル

黄道光の可視波長域でのスペクトルについて、ほとんど観測例がありません。しかしながら、恵まれた観測サイトでの大型望遠鏡による分光観測によって、背景の夜光のスペクトルが副産物として得られています。その多くは、大気光による輝線です。私たちは、SMOKAにあるSubaru望遠鏡によって分光観測された観測データを用いて、夜光のスペクトルを調べました。輝線成分のほとんどない夜光の連続光成分を惑星間ダストによる散乱光と考えました。図5は、その連続光成分のスペクトルです。比較のため、太陽スペクトルで割り算しています。惑星間ダストの反射スペクトルは、C型やB型小惑星に似た結果になりました。ここでは、大気光に起因する連続光成分を考えていません。これは今後の研究課題です。

## 参考文献

- 1) Ishiguro, M., et al., submitted to ApJ
- 2) James, J. F., et al. 1997, MNRAS, 288, 1022
- 3) Kelsall, T., et al. 1998, ApJ, 508, 444)
- 4) Hong, S. S. 1985, A&A, 146, 675)
- 5) Tsumura, K., et al. 2010, ApJ, 719, 3946)
- 6) Usui, F., et al. 2011, PASJ, 63, 1117

(2013年1月14日受付, 2013年1月25日受理)

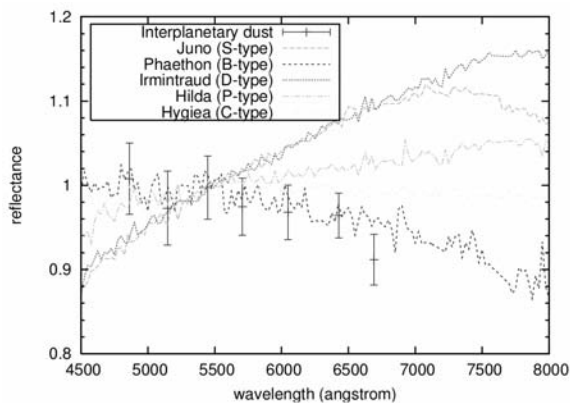


図5 夜空の連続光のスペクトル 太陽スペクトルで割り算しています。比較のため、典型的なS、B、D、P、C型小惑星の反射スペクトルを示しています。

## 6 まとめ

以上のように、惑星間ダストの光学特性は、低アルベド小惑星や彗星核のものと矛盾しない結果になりました。この結果は、地上で採取される惑星間ダストが炭素質コンドライト的な物性を持っているという測定結果と一致します。しかしながら、惑星間ダストが、彗星起源なのか小惑星起源かということは区別できま