

近赤外線域における宇宙背景放射の再測定

佐野 圭 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

近赤外線域の宇宙背景放射には遠方の銀河から来る光や、未知の素粒子の崩壊によって放出される光などが含まれている可能性があり、宇宙の星生成史や、新たな放射過程を探るための重要な指標になると考えられている。この波長域には、太陽光が惑星間ダストに散乱された成分である黄道光や、銀河系内の星の光などの強い前景放射が存在しており、これらを高い精度で除去しなければ宇宙背景放射を検出することは困難である。

我々は COBE(COSmic Background Explorer) 衛星に搭載された観測装置 DIRBE(Diffuse Infrared Background Experiment) によって得られた全天マップを用いて J、K バンドにおいて宇宙背景放射の再測定を試みている。過去に DIRBE のデータを用いて宇宙背景放射を測定した研究の問題点として、星の光が星間ダストに散乱された成分である銀河拡散光を無視していたということがあった。我々は DIRBE の観測値を黄道光、銀河系内の星の光、銀河拡散光、および等方放射成分の重ね合わせとしてそれぞれの成分に分離した。その結果、それぞれの成分を非常に高い精度で分離することに成功した。求められた等方放射成分の輝度は系外銀河の積算光の輝度を上回り、黄道光のスペクトルに似る。このことは黄道光モデルで引き切れていない黄道光の成分が、等方放射成分に混入している可能性を示唆する。

1 Introduction

近赤外線域の宇宙背景放射には遠方の銀河から放射された光が記録されており、銀河の進化や宇宙大規模構造の成長を考察するための重要な情報が含まれている。地球大気からの放射を避けるため、宇宙空間から IRTS (Infrared Telescope in Space) のデータを用いた研究 (Matsumoto et al. 2005) や COBE 衛星の観測装置 The Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE) のデータを用いた研究 (Wright 2001 他) により、近赤外線域の宇宙背景放射の輝度が測定されてきた。いずれの測定値も、銀河カウントから予想される系外銀河の積算光の 3-10 倍にも達し、それを銀河カウントに基づく理論で説明することは難しい。この近赤外線域の宇宙背景放射の超過成分には第一世代星からの放射が寄与しているという議論もあるが、これまでに得られた宇宙背景放射の測定値は、TeV ガンマ線の観測 (Aharonian et al. 2006) から求められた宇宙背景放射の上限値をも上回る。一方で外惑星探査機パイオニアのデータを用いた Matsuoka et al. (2011) によると、宇宙可視光

背景放射の強度は、系外銀河の積算光の強度とほぼ一致している。このような状況で近赤外線域の超過成分が本当に宇宙背景放射の成分であるかを否かを明らかにすることは重要な課題となっている。

宇宙背景放射を測定するためには、その前景放射成分を高い精度で除去する必要がある。近赤外線域の宇宙背景放射の前景放射として、地球大気からの放射、太陽光が惑星間ダストに散乱された成分である黄道光、銀河系内の星からの直接光成分、銀河系内の星の光がダストに散乱された成分である銀河拡散光がある。このうち、地球大気からの放射は宇宙空間からの観測では無視できると考えられる。これまでの近赤外線域の宇宙背景放射を測定する研究では、この波長域の銀河拡散光は観測例が無く、無視されていた。しかし、近年 Tsumura et al.(2013) や Arai et al.(private communication) によって近赤外線域にも銀河拡散光が存在することが示されている。そこで我々は、全天にわたって高精度な観測がなされた COBE/DIRBE の J、K バンドのデータを再解析することによって、銀河拡散光の影響を評価した

上で、高い精度で宇宙背景放射を測定することを目指している。

2 Methods

高銀緯領域において、観測された輝度について次のモデルを考えた。

$$F_i(\text{Model}) = F_i(\text{star}) + F_i(\text{ZL}) + F_i(\text{DGL}) + F_i(\text{constant})$$

ここで、 i は観測したバンド (J, K バンド) を表し、 $F_i(\text{star})$, $F_i(\text{ZL})$, $F_i(\text{DGL})$, $F_i(\text{constant})$ はそれぞれのバンドにおける星光、黄道光 (ZL: Zodiacal Light)、銀河拡散光 (DGL: Diffuse Galactic Light)、一定値の輝度を表す。それぞれの成分は次のように表される。

$$F_i(\text{star}) = a_i \times F_i(2\text{MASS})$$

$$F_i(\text{ZL}) = b_i \times F_i(\text{ZL model})$$

$$F_i(\text{DGL}) = c_i \times F(\text{SFD})$$

ここで、 $F_i(2\text{MASS})$ は 2MASS (2 Micron All Sky Survey) の point source catalog の限界等級 (J = 15.8 mag, K = 14.3 mag) までの点源の積算光である。DIRBE と 2MASS ではそれぞれのバンドで、フィルターの response が異なるので、color correction を行って 2MASS における等級から DIRBE における等級に変換している。 $F_i(\text{ZL model})$ は DIRBE のデータをもとにして作られた黄道光モデル (Kelsall et al. 1998) から予想される黄道光の輝度である。 $F(\text{SFD})$ は Schlegel et al. (1998) によって作られた $100 \mu\text{m}$ 拡散放射マップの輝度である。星から出た光は星間ダストに散乱されて銀河拡散光になるだけでなく、ダストを暖めて遠赤外線放射を出す。したがって近赤外線のようなほぼ optically thin な波長では、銀河拡散光と遠赤外線拡散放射の輝度は線形に相関すると考えられるので、このモデルを仮定した。

J バンドで 5 mag より明るい星にマスクをした後、最小二乗法を用いて、DIRBE の各バンドでの輝度 $F_i(\text{DIRBE})$ とモデル輝度 $F_i(\text{Model})$ の差が最小になるように係数 a_i, b_i, c_i を決定した。さらに 2MASS の検出限界以下にある暗い星の積算光の輝度を TRI-LEGAL (TRIdimensional model of thE GALaxy) を用いて計算した。その値を最小二乗法で求めた

$F_i(\text{Model}) - F_i(\text{star}) - F_i(\text{ZL}) - F_i(\text{DGL})$ から差し引いたものを平均して、等方放射成分 $F_i(\text{Iso})$ とする。

3 Results and Discussion

それぞれの成分の分離過程を図 1 に示す。J, K どちらのバンドでも、星光、黄道光、銀河拡散光が非常に高い精度で分離されていることが分かる。特に $100 \mu\text{m}$ 拡散放射の輝度と、銀河拡散光の相関が現れたことによってこの波長域でも銀河拡散光が存在することが示された。 $F_i(\text{constant})$ から暗い星の成分を差し引いた $F_i(\text{Iso})$ の値は J, K バンドそれぞれで、 $51.3 \pm 15.0 \text{ nW/m}^2/\text{sr}$, $20.6 \pm 6.0 \text{ nW/m}^2/\text{sr}$ となった。ここでの誤差の値は統計誤差と黄道光モデル (Kelsall et al. 1998) の誤差を考慮している。これらの値は過去に DIRBE のデータから宇宙背景放射を求めた研究 (Cambresy et al. 2001) の結果と consistent である。本研究においても系外銀河の積算光を上回る等方放射成分があることが示唆される。一方、紫外線から可視光の波長において、ハッブル宇宙望遠鏡のデータから得られた等方放射成分のスペクトルは黄道光のスペクトルに似ていることが示唆されている (Kawara et al. private communication)。このことと近赤外線域の結果を組み合わせると、黄道光モデルで引ききれていなかった黄道光の成分が求められた等方放射成分に混入している疑いがある。従来の黄道光モデルでは黄道光の時間変動成分のみを考慮しているなどといった問題点があるため、さらに高精度な黄道光モデルを構築したり、黄道光モデルに依存しない宇宙背景放射の測定方法を模索していく必要があるだろう。

4 Conclusion

我々は COBE (COsmic Background Explorer) 衛星に搭載された観測装置 DIRBE (Diffuse Infrared Background Experiment) によって得られた全天マップを用いて J, K バンドにおいて宇宙背景放射の再測定を試みた。過去に DIRBE のデータを用いて宇宙背景放射を測定した研究の問題点として、星の光

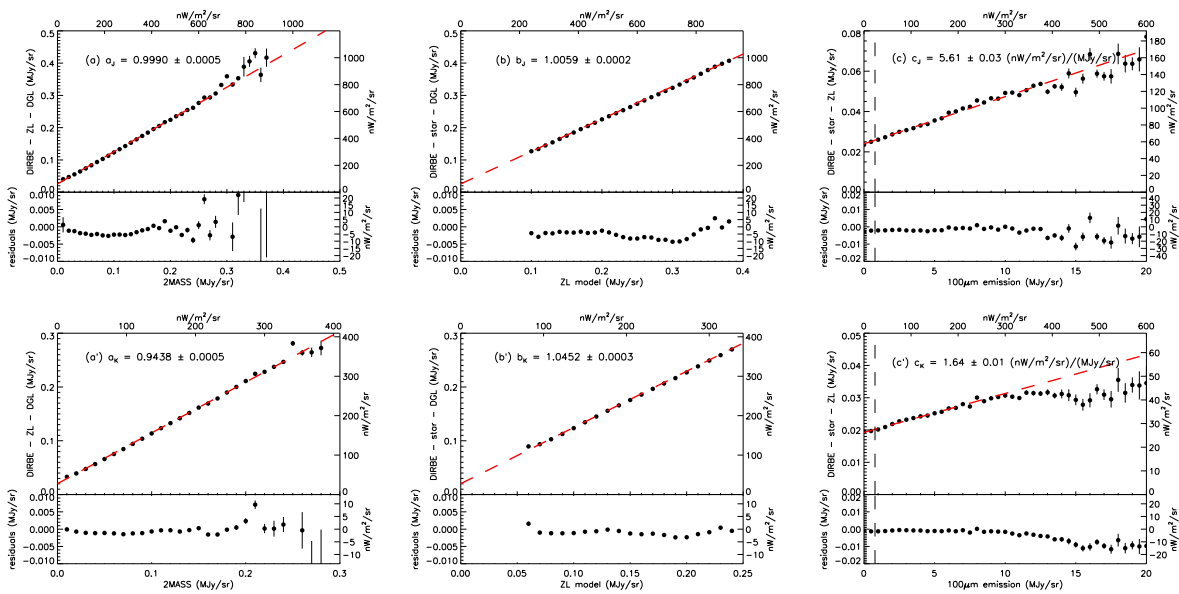


図 1: パネル (a),(a') はそれぞれ J, K バンドについて $F_i(2MASS)$ に対して $F_i(DIRBE) - F_i(ZL) - F_i(DGL)$ を描いたもの。パネル (b),(b') はそれぞれ J, K バンドについて $F_i(ZL model)$ に対する $F_i(DIRBE) - F_i(star) - F_i(DGL)$ を描いたもの。パネル (c),(c') はそれぞれ J, K バンドについて $F_i(SFD)$ に対する $F_i(DIRBE) - F_i(star) - F_i(ZL)$ を描いたもの。いずれのパネルでも黒点は横軸の適当な区間の平均値、赤破線は最小二乗法で求めたベストフィットの直線を表す。下部のパネルは観測値とモデル値との残差を表す。最小二乗法で求めた係数 a_i, b_i, c_i の誤差は統計誤差のみを含み、系統誤差を含まない。

が星間ダストに散乱された成分である銀河拡散光を無視していたということがあった。しかし、近年の研究により近赤外線域にも銀河拡散光が存在することが示唆されているため、宇宙背景放射を測定するためには銀河拡散光の寄与も正確に評価する必要がある。我々は DIRBE の観測値を黄道光、銀河系内の星の光、銀河拡散光、および等方放射成分の重ね合わせとしてそれぞれの成分に分離した。その結果、それぞれの成分を非常に高い精度で分離することに成功した。これによって J, K バンドにおいても銀河拡散光が存在することが示されたことになる。また、求められた等方放射成分の輝度は過去に行われた研究と同様に、系外銀河の積算光の輝度を上回り、黄道光のスペクトルに似る。このことは黄道光モデルで引き切れていない黄道光の成分が、等方放射成分に混入している可能性を示唆する。

Reference

- Matsumoto et al. 2005, ApJ,626,31
- Wright 2001, ApJ,553,538
- Aharonian et al. 2006, Nature,440,1018
- Matsuoka et al. 2011, ApJ,736,119
- Tsumura et al. 2013, PASJ,65,120
- Kelsall et al. 1998, ApJ,508,44
- Schlegel et al. 1998, ApJ,500,525
- Cambresy et al. 2001, ApJ,555,563