

論文の内容の要旨

Diffuse Galactic Light in a high Galactic latitude cloud (高銀緯雲における銀河拡散光)

氏名 家中信幸

Diffuse Galactic Light (DGL) とは星の光が銀河系内の星間ダストによって散乱されたものである。DGL は 1930 年代から可視光において散乱星雲として観測されており、その後、遠赤外線観測で発見された「赤外線シラス」の対応天体であることが明らかになった。星間ダストを可視散乱光と遠赤外線熱放射の両方の波長で観測することによって、我々はダストの性質や星間放射場についての情報を得ることができる。しかしながら拡散光（いわゆる diffuse な光）の観測には通常の星や銀河などの点原の観測とは異なる解析手法が必要であり、これまでの DGL の観測例は少ない。過去の観測から DGL と遠赤外線の間には線形の相関がみられることが報告されている。しかし、はっきりとした線形の相関を示した観測例は 4 例 (Laureijs et al. (1987), Witt et al. (2008), Matsuoka et al. (2011), Brandt & Draine (2012)) のみであり、このうち Laureijs et al. (1987) 以外は複数の分子雲の観測結果、あるいは全天の数分の一にわたる広い観測領域を平均して得られた結果である。1 平方度程度の領域内における DGL と遠赤外線の相関を調べた研究としては、Laureijs et al. (1987) の他に、Guhathakurta & Tyson (1989) および Zagury et al. (1999) があるが、どちらも観測された領域内で DGL と遠赤外線の間にはっきりとした線形の相関をみることはできなかった。DGL の観測を困難にしている原因は、DGL よりも圧倒的に強い前景放射の存在である。地上からの観測では大気の子夜光 (Airglow)、黄道光 (Zodiacal light)、星の光が前景放射の成分となる。これまでの観測において線形の相関がみられなかった原因として、これらの前景放射の除去における誤差の影響が考えられる。

本論文では我々が東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡と、それに搭載された可視撮像装置 2KCCD をもちいて行った DGL の観測の結果について報告する。この観測の目標は、一つの分子雲の領域においてこれまでで最も精度よく可視拡散光の強度を測定し、遠赤外線との相関関係について調べることである。さらに、この観測で得られた結果を、過去の観測結果および DGL の理論モデルと比較することで、相関の傾き (DGL と遠赤外線の比) とダストの光学的厚みの関係、Extended red emission (ERE) と呼ばれるダストの photoluminescence の存在について考察を行った。

我々はまず高銀緯ダスト雲 MBM32 の一部および周辺領域を含む $45' \times 40'$ の領域について、 B, g, V, R -band での撮像観測を行った。DGL などの拡散光成分の輝度を測定する際には、星の測光のように周辺の領域をもちいた sky-subtraction ができないため、地球大気の光を差し引くことが必要となる。1 平方度程度の領域内では地球大気の光の空間変動はほぼ無視できるため、この成分は観測領域内で定数とみなすことができるが、フラットフィールドニングの誤差によって画像に傾斜ができてしまうような場合には、結果として DGL の測定値に大きな影響が生じることになる。そのため拡散光成分の輝度を測定する際には精度の良いフラットフィールドニングが必要不可欠である。そこで我々は、実際の観測に先立ってフラットフィールドニングの評価・補正を行った。評価の結果、木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡で通常用いられているフラット画像には 1 度あたり約 1% の勾配をもつ線形の傾斜があることが明らかになった。この傾斜を補正することによって、我々の観測ではフラットフィールドニングの誤差は 0.2% 程度に抑えられている。観測画像から DGL のみを抽出する過程においては、観測画像から星像のテンプレート (Point spread function) を作成し、このテンプレートをもちいて星像の裾野までを覆うようにマスクを施し、その後、*IRAS/DIRBE* 100 μm マップ (Schlegel et al. 1998) と同じ分解能となるように binning を行った。最終的に得られた可視拡散光の輝度 $S_\nu(\lambda)$ の測定誤差 (1σ) は全てのバンドにおいて 1kJy sr^{-1} 以下であり、これはこれまでの同種の観測と比較してもっとも小さい誤差である。

観測から得られた可視拡散光の輝度 $S_\nu(\lambda)$ と *IRAS/DIRBE* 100 μm の輝度 $S_\nu(100\mu\text{m})$ の間には図 1 のような相関が得られた。この図に直線をフィットすることで得られた線形相関の傾き $b(\lambda) = \Delta S_\nu(\lambda)/\Delta S_\nu(100\mu\text{m})$ は、 B, g, V, R -band においてそれぞれ $(1.6 \pm 0.1) \times 10^3$, $(2.2 \pm 0.1) \times 10^3$, $(4.0 \pm 0.3) \times 10^3$, and $(3.4 \pm 0.2) \times 10^3$ であった。これは、一つの分子雲の領域において同一の手法で $b(\lambda)$ を複数の波長で求めた、すなわち $b(\lambda)$ のスペクトルを得た、初めての結果である。

さらに、我々は過去の同種の観測結果を図 2 のようにまとめた。図 2 から、 $b(\lambda)$ の値が観測によって 2 倍程度ばらついていることが分かる。我々はこのばらつきの原因を、視線方向の光学的厚さ、ダスト温度、視線方向の銀経・銀緯という 3 つの面から調査した。

このうち、光学的厚さの影響については、 $b(\lambda)$ と $S_\nu^{ave}(100\mu\text{m})$ (相関の傾きを求めた場所での 100 μm 輝度の平均的な強度) の間に図 3 のような関係が見られた。 $b(\lambda)$ と $S_\nu^{ave}(100\mu\text{m})$ は逆相関の関係が見られる。これは、光学的に厚いダスト雲ほど $b(\lambda)$ の値が低くなることを意味している。モデル計算の結果、観測されている $b(\lambda)$ のばらつきは、光学的厚さとダストアルベドの変化によって説明可能であることも分かった。 $b(\lambda)$ と $S_\nu^{ave}(100\mu\text{m})$ が相関しているということは、DGL と遠赤外線の関係が観測されている遠赤外線強度の範囲で線形から外れていることを示唆しており、DGL を Extragalactic background light (EBL) 測定のために除去しようとする際にはこの非線型の効果を考慮しなければならない。実際に光学的厚みの効果を考慮して 2 次の曲線で DGL と遠赤外線の相関をフィットした結果、すべての波長において線形の相関を仮定した場合よりも EBL が小さく見積もられる方向へ結果が変化することが分かった。ダスト温度および銀経・銀緯については、サンプルの少なさの影響もあるが、相関はみられなかった。

ERE に関しては、これまでその存在を主張する大きな理由は、モデルによって予想される DGL のカラーが観測される DGL よりも青く、散乱光以外の赤い放射が観測に含まれているはずである、というものだった。しかし、これまでに提案されているモデルの中には観測された DGL のカラーを ERE 無しで再現できるものもあることが分かった。したがって、現時点においてはモデルとの比較で ERE の有無について結論を下すことはできず、より精度の高いモデルの構築が求められている。ただし、我々が今回の観測で得た $b(\lambda)$ のスペクトルの形状は、0.60 μm 付近で DGL のモデルに対して超過しており、ERE の存在を示唆している。

また、今回の観測結果は近年の観測結果と同じく DGL のカラーが $b(R)/b(B) \sim 2$ であることを支持して

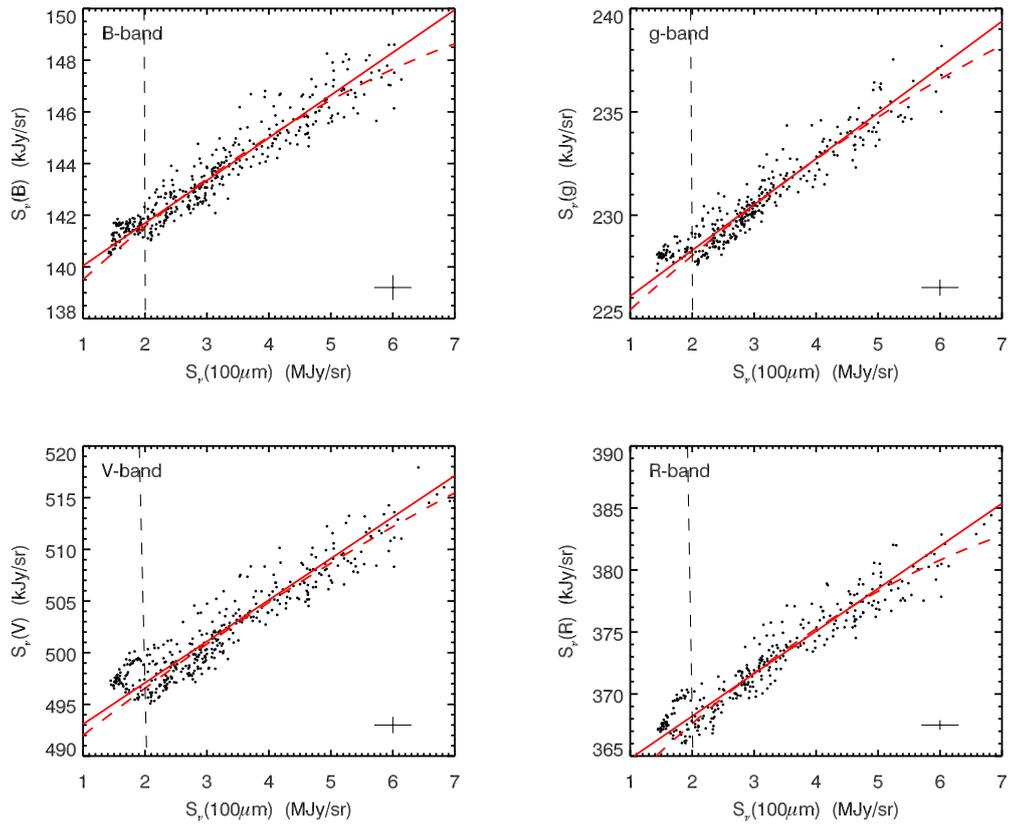


図1 DGL と $100 \mu\text{m}$ 輝度の相関。赤の直線が最小 χ^2 法によって得られた線形の関数。赤の破線は 2 次式で観測点をフィットしたもの。ただし 2 次のフィットに使用した観測点は $S_p(100\mu\text{m}) \geq 2.0 \text{ MJy sr}^{-1}$ 、すなわち黒の破線よりも右側の点に限っている。

いる。このカラーを再現できる散乱光のモデルが正しいとすれば、近赤外線における DGL の強度はこれまで考えられてきたよりも強いことが予想される。したがって、近赤外線での DGL の観測はモデルのテストとして、あるいはこの波長域での背景放射に対する新たな前景放射の成分として重要である。

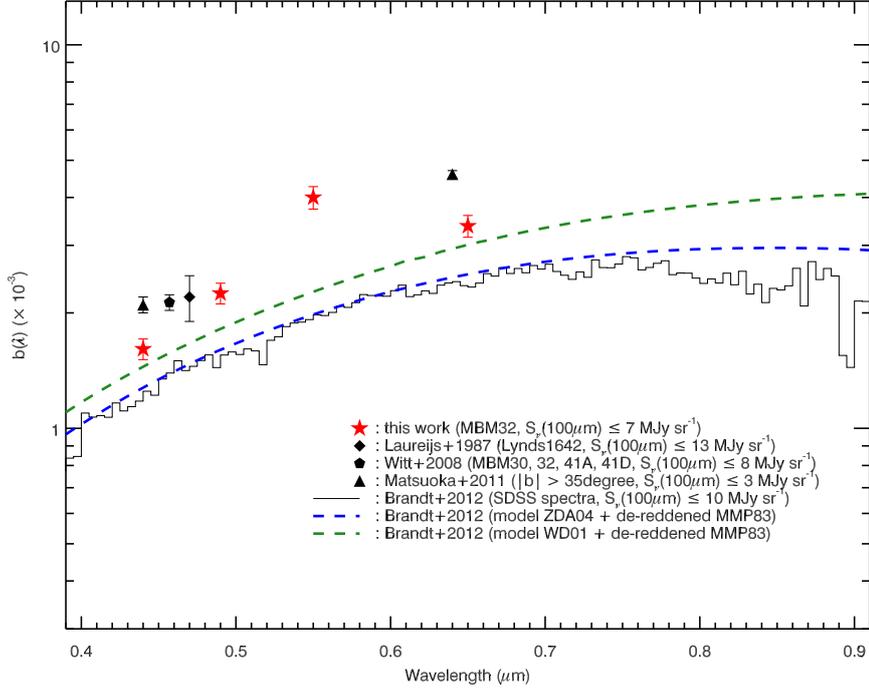


図2 各波長における相関の傾き $b(\lambda) = \Delta S_\nu(\lambda) / \Delta S_\nu(100\mu\text{m})$.

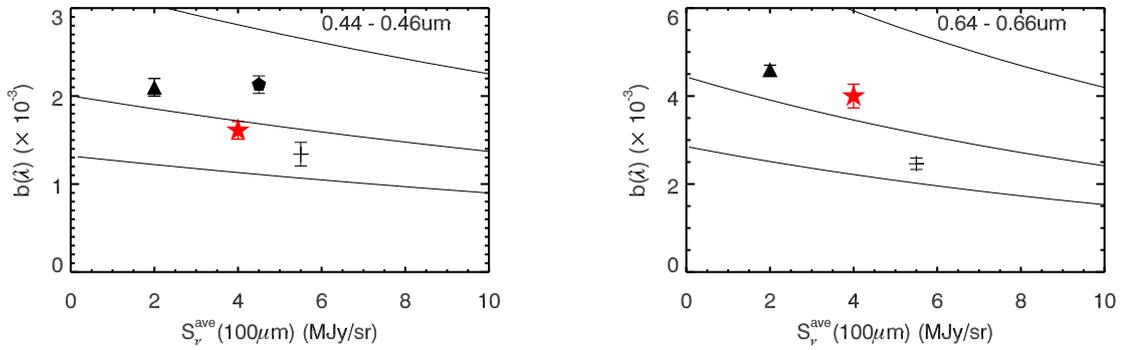


図3 相関の傾き $b(\lambda)$ と遠赤外線平均強度 $S_\nu^{\text{ave}}(100\mu\text{m})$ の関係。左が青い側の波長帯 (0.44 - 0.46 μm)、右が赤い側の波長帯 (0.64 - 0.66 μm) での図。分光によって得られているデータは上記の波長範囲での平均値を示している。プロットされた記号の示す観測例は図2と同じものになっている。曲線はモデル計算によって得られた結果を示しており、下からアルベドが $\omega_V = 0.6, 0.7, 0.8$ の場合を示している。