



Diffuse Galactic Light と 遠赤外線放射の相関

東京大学・天文センター D1 家中信幸

川良公明、浅見奈緒子、鮫島寛明、清水孝則（東京大学）

松岡良樹（名古屋大学）、大藪進喜（ISAS/JAXA）

山本哲生（北海道大学）



Diffuse Galactic Light

- DGL(Diffuse Galactic Light)

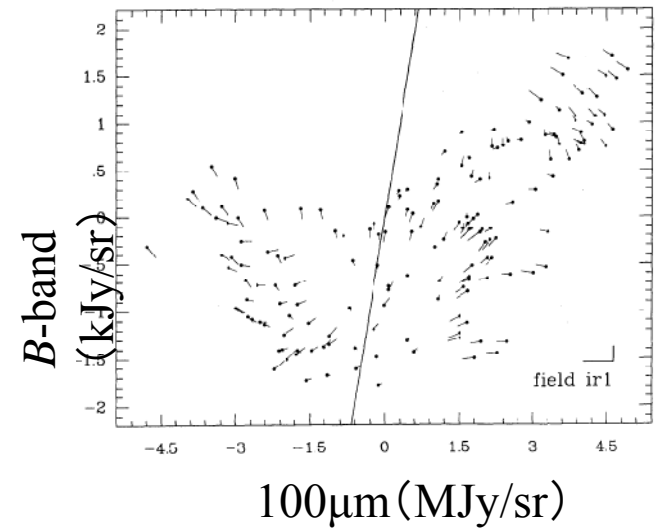
- 1930年代 星間空間からの拡がった可視光成分があることがわかる
‘optical cirrus’
- DGL は ISRF (interstellar radiation field) が星間空間のダストで散乱されたもの

- 遠赤外線熱放射

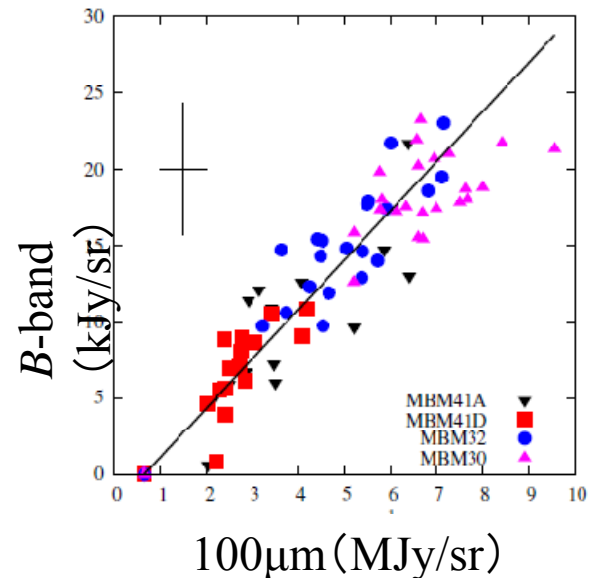
- IRAS衛星による観測によって遠赤外線にも拡がった成分が発見された
‘IR cirrus’ (Low et al. 1984)
- IR cirrus は DGL と対応して観測されることがその後わかってきた

過去のDGLの観測

- Guhathakurta & Tyson (1989)
 - IR cirrus に対応する DGL が見られる
 - 遠赤外線とDGLの強度の間に弱い相関？



- Witt et al. (2008)
 - 高銀緯分子雲について遠赤外線とDGLを比較





本研究の目的

- これまでに行われた研究では
 - 遠赤外線の比較的強い部分(分子雲の中心など)でを主に観測していた
 - 相関の係数の大きさ等を物理的に解釈することはあまりおこなわれていない
- 本研究では
 - 遠赤外線の比較的強い部分から、ダストの少ない領域までを広く観測しDGLと遠赤外線の相関を調べた。
 - 観測された相関が既存のダストの光学特性モデルや、ISRFのモデルを用いて再現できるかを確認した。

観測の概要

- 観測装置

- Kiso Schmidt 105cm (FOV: 50' × 50')

- 観測時期

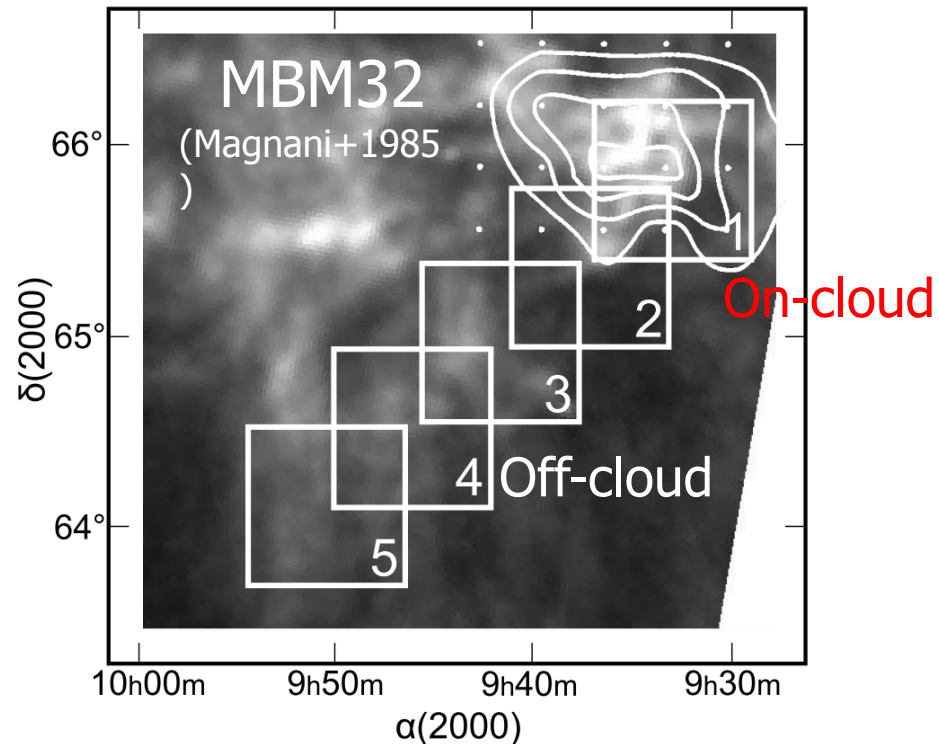
- 2008.4 - 2009.11

- 観測領域

- Lockman Hole の付近
- 分子雲 MBM32 を含む

B,R-band

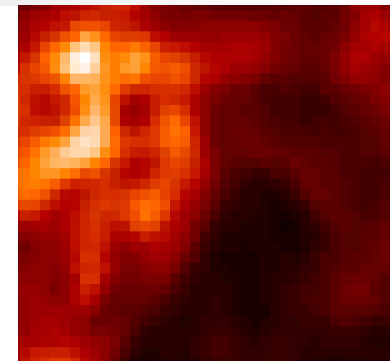
900sec (300 × 3)



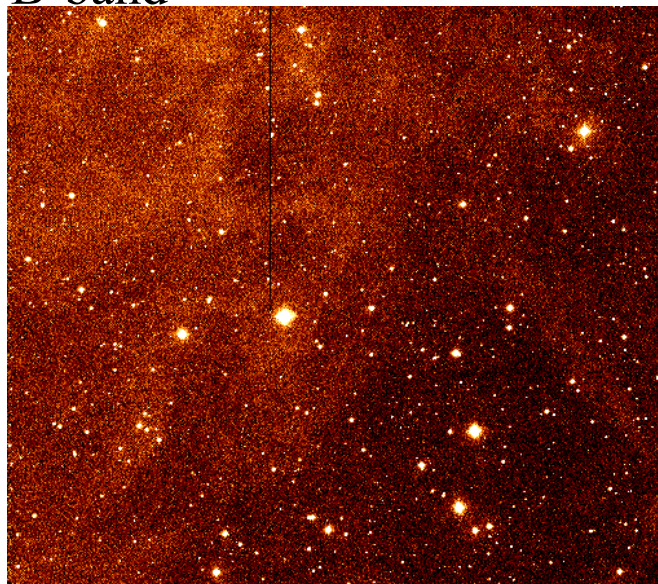
観測結果

IRAS
100um

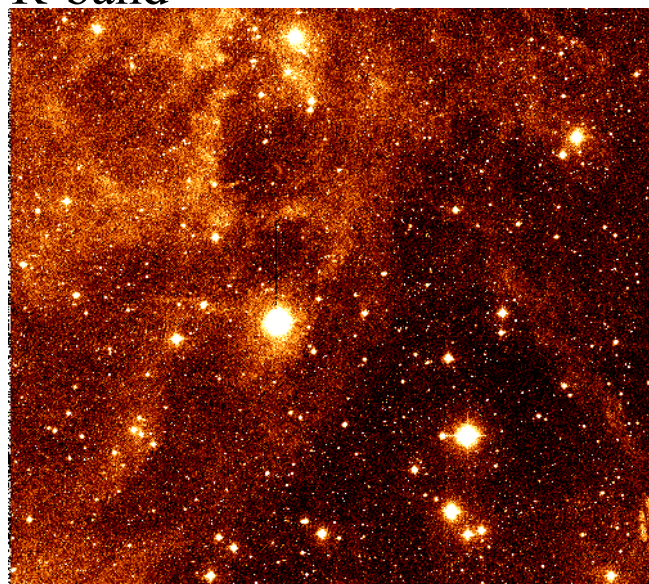
- 観測例
 - On-cloudの領域



B-band

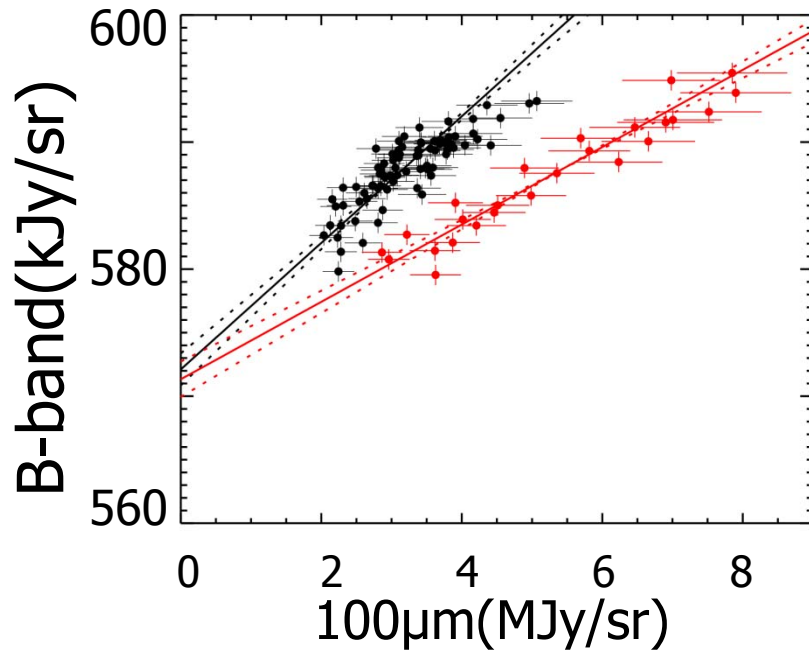


R-band

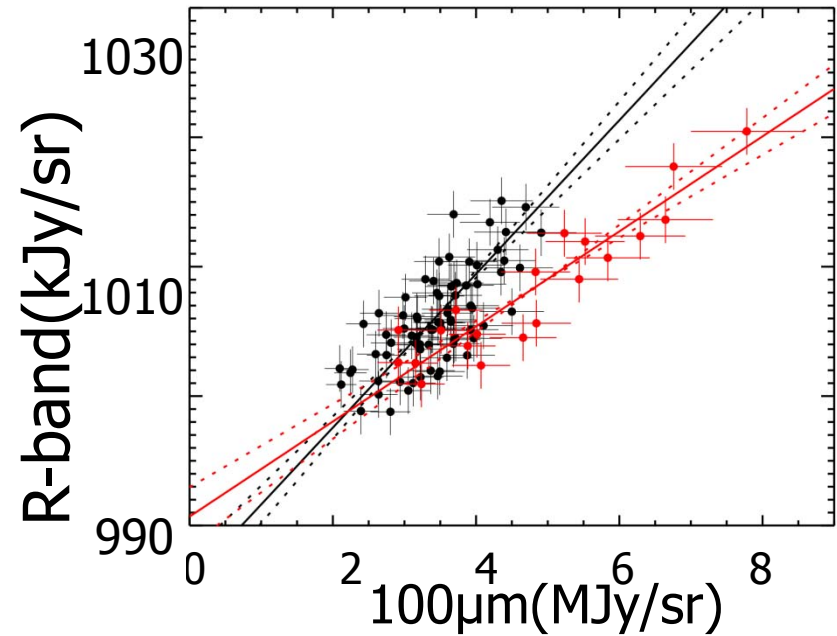


DGL vs. Far-IR

B-band



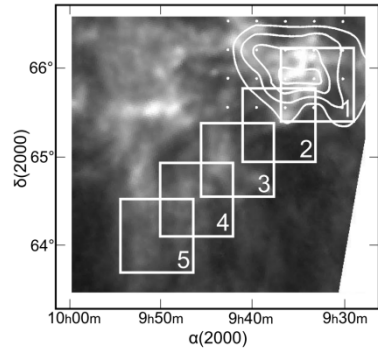
R-band



赤はon-cloudのサンプル、黒はoff-cloudのサンプル
(100μmは*IRAS*のデータ)

ただし、この結果はFlatfieldingに非常に影響される

フラットフィールドディングの精度



1%

0.5%

DomeFlat

-0.5%

-1%

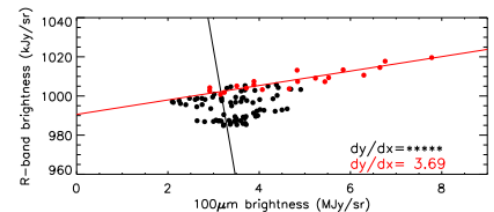
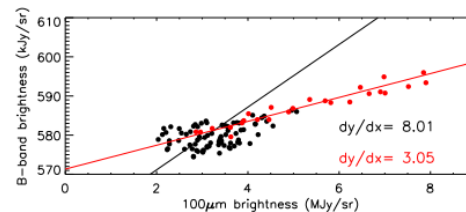
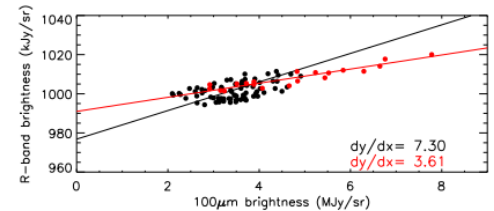
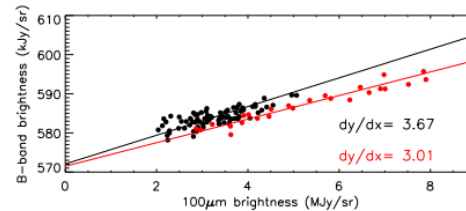
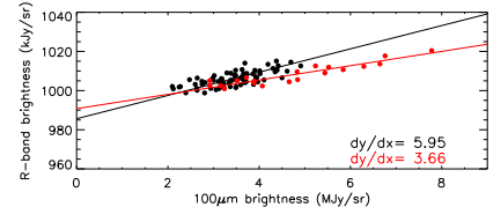
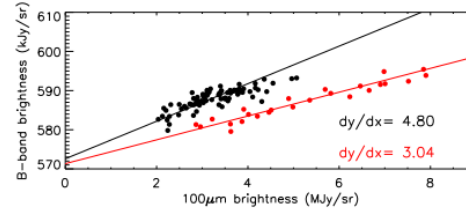
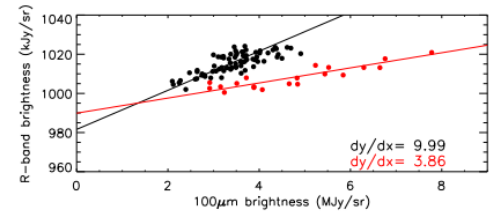
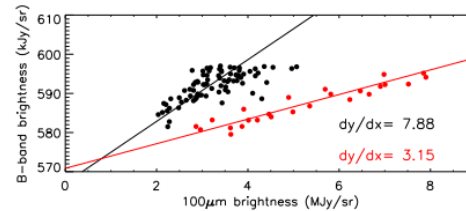
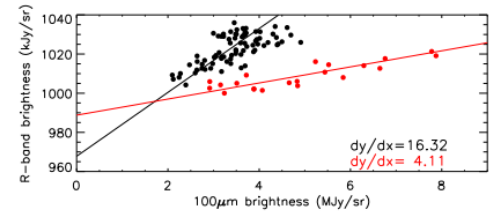
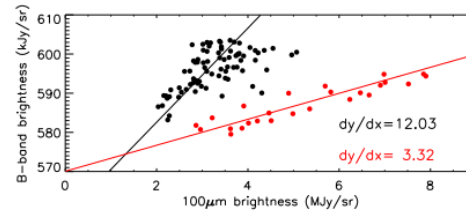
一方向の傾斜した
誤差がある場合

Twilight Flatとの差は
~0.3%程度 (B-band)

Flatfieldingの誤差は
0.5%以下と考えられる

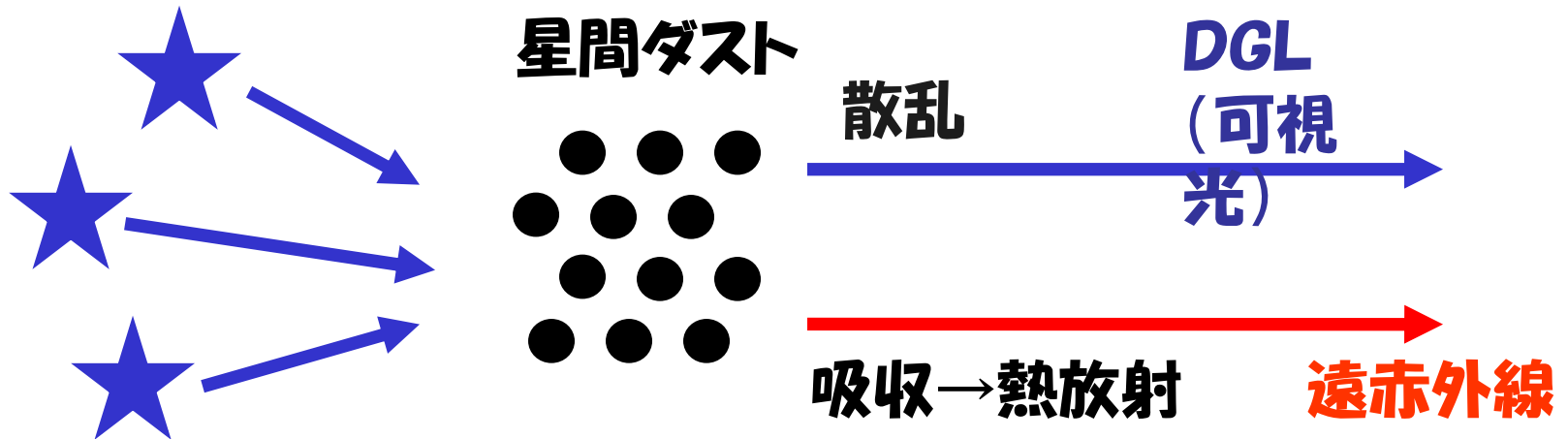
B-band

R-band



モデルとの比較

■ 星間ダストと星間放射場



- ・星間ダストはDGLを生じさせるだけでなく、遠赤外線も放射する
- ・DGLと遠赤外線の間にはダストの量を通して相関があるはず

Off-cloud 領域の相関

DGL

$$I = \frac{\gamma}{1-\gamma} L [1 - e^{-(1-\gamma)\sigma_{\text{opt}} N_{\text{H}}}] \quad \text{Henyeey (1937)}$$

γ : アルベド σ : 減光断面積 (cm^2/Hatom) N_{H} : 水素柱密度

L : 星間放射場

光学的に薄い場合 ($\sigma N_{\text{H}} \ll 1$)

$$I = \gamma \sigma_{\text{opt}} N_{\text{H}} L$$

遠赤外線 (熱放射)

$$F = \sigma_{\text{fir}} N_{\text{H}} B(T_{\text{d}})$$

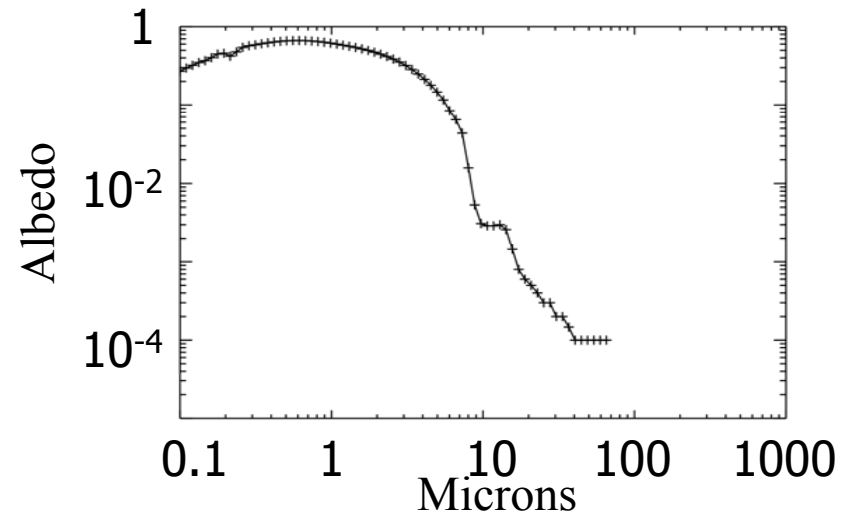
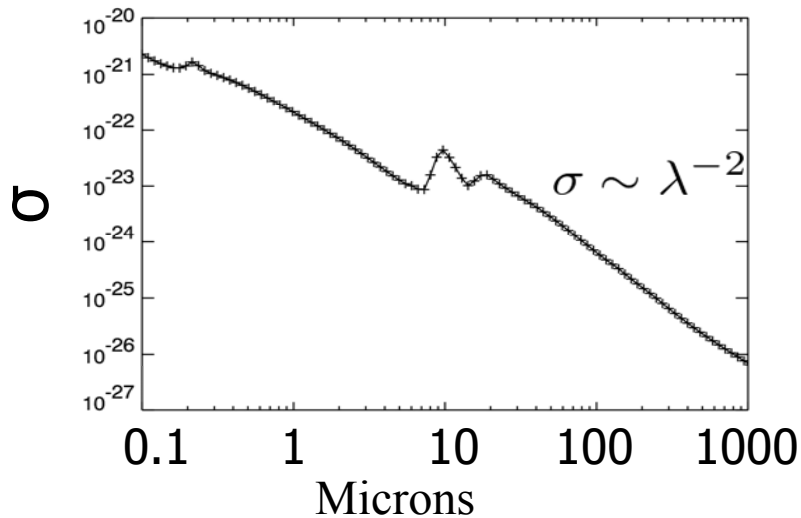
$$I = \frac{\gamma \sigma_{\text{opt}} L}{\sigma_{\text{fir}} B(T_{\text{d}})} F$$

ダストの温度が一定であれば
線形の相関が予想される

減光断面積、アルベド

σ : 断面積 γ : アルベド

Li & Draine (2001), Draine (2003)のダストモデルを使う



星間放射場

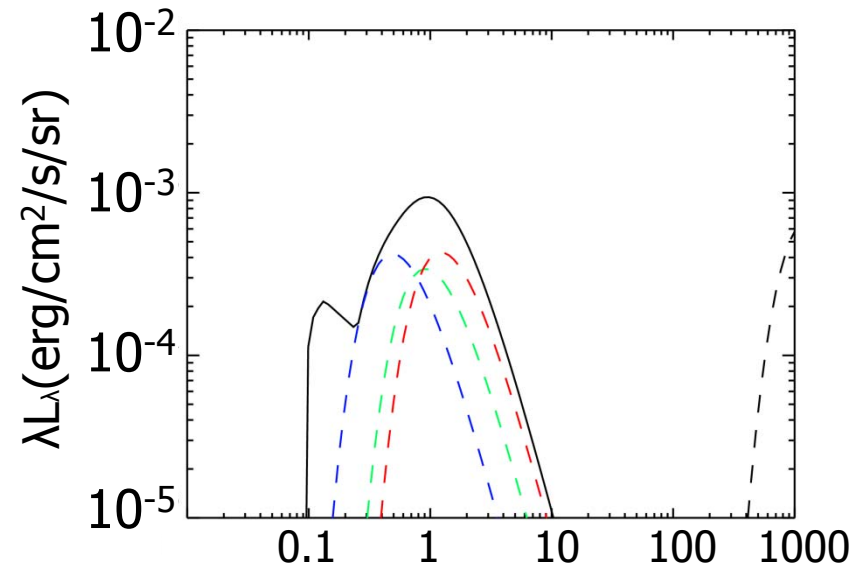
L: 星間輻射場

SEDの形状はMathis, Metzger & Panagia (1983)

$$L = \chi_{MMP} \left\{ cu_{\lambda}^{UV} + \sum_{i=1}^3 4\pi W_i B_{\lambda}(T_i) \right\}$$

$$(T_1, T_2, T_3) = (7500K, 4000K, 3000K)$$

$$(W_1, W_2, W_3) = (10^{-14}, 10^{-13}, 4 \times 10^{-13})$$



絶対強度はエネルギー平衡から決まる

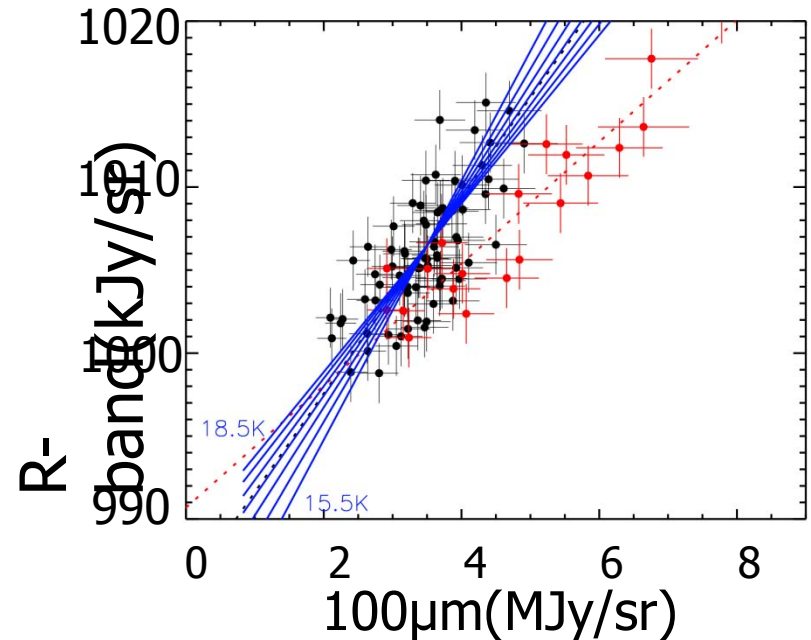
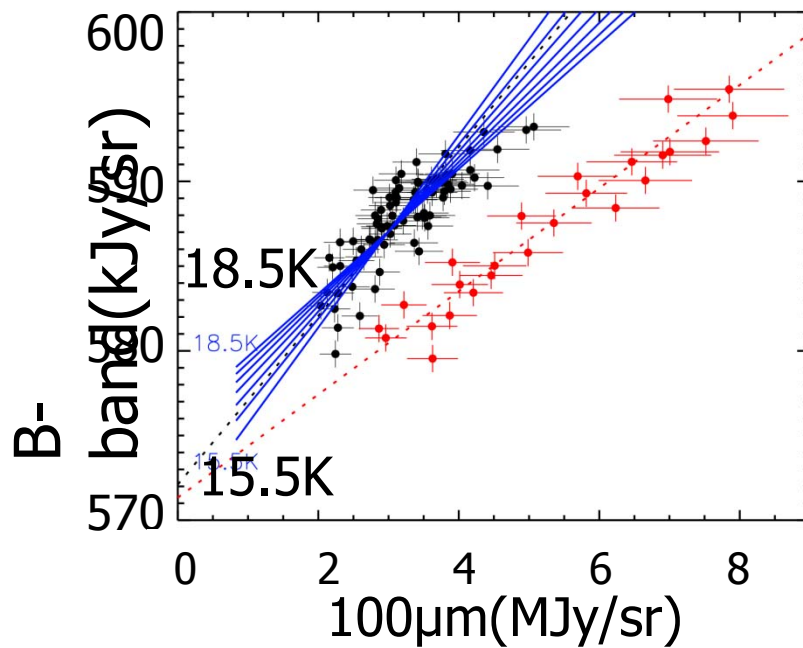
ダストが受け取るエネルギー

ダストが放射するエネルギー

$$\int_0^{\infty} (1 - \gamma_{\lambda}) \sigma_{\lambda} L d\lambda = \int_0^{\infty} (1 - \gamma_{\lambda}) \sigma_{\lambda} 4\pi B_{\lambda}(T_d) d\lambda$$

観測との比較

ダスト粒子のエネルギー平衡から予想される相関
(15.5~18.5Kまで0.5Kごと)



16-17Kのダストによって相関は説明される
(±0.5%の誤差を考えると14-19K)

On-cloud 領域の相関

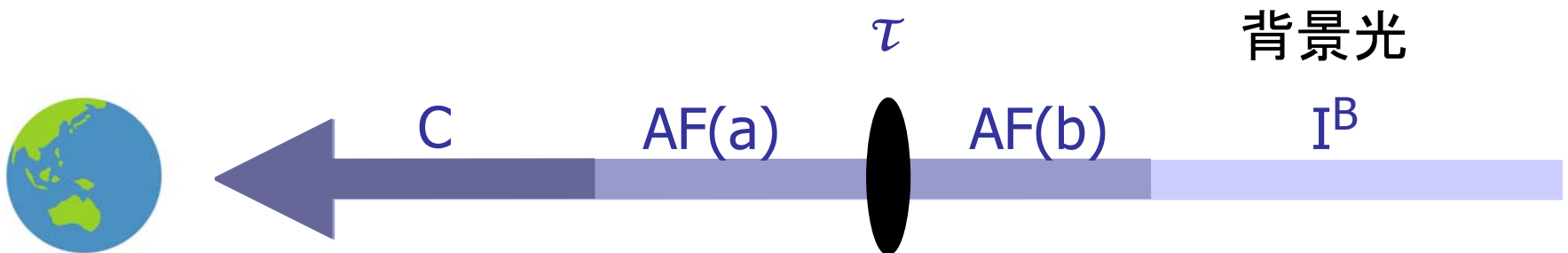
- 分子雲が背景の光を遮蔽する効果によって説明する
周辺の空での輝度 (off-cloud)

$$I_{\text{off}} = C + A[F(a)+F(b)] + I^{\text{B}}$$

分子雲での輝度 (on-cloud)

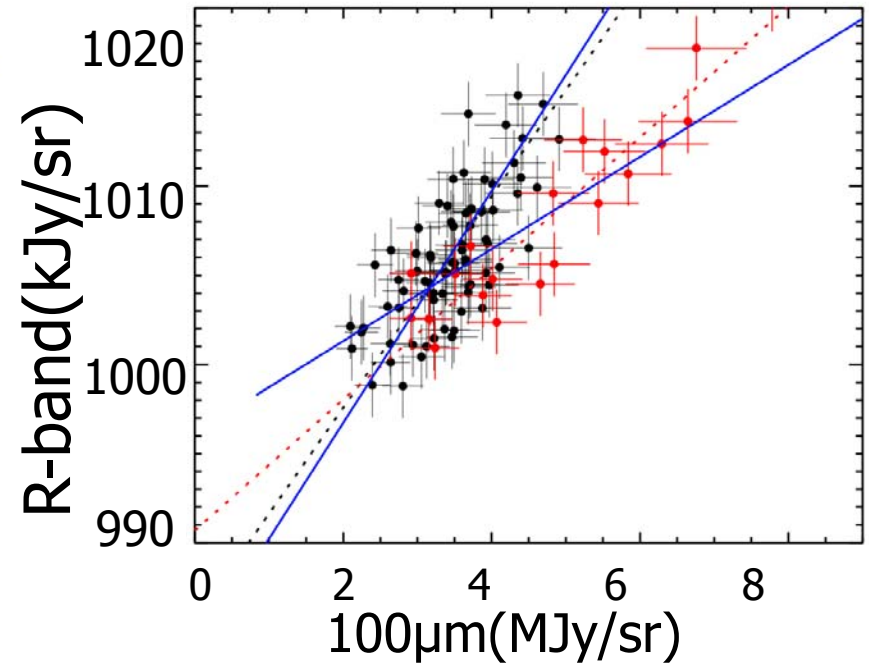
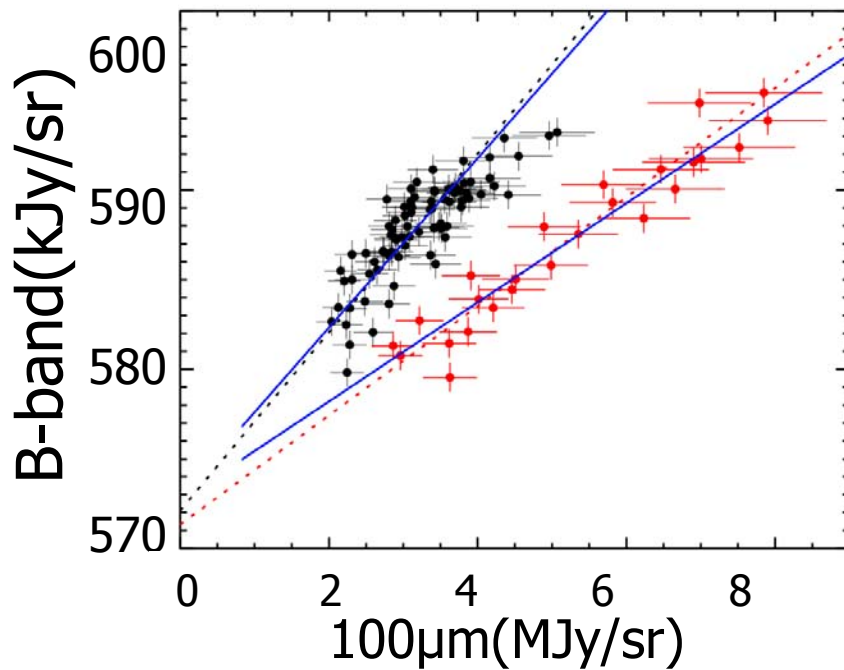
$$I_{\text{on}} = C + A[\underline{t+(1-t)e^{-\tau}}][F(a)+F(b)] + I^{\text{B}} e^{-\tau}$$

$$t = F(a) / [F(a)+F(b)]$$



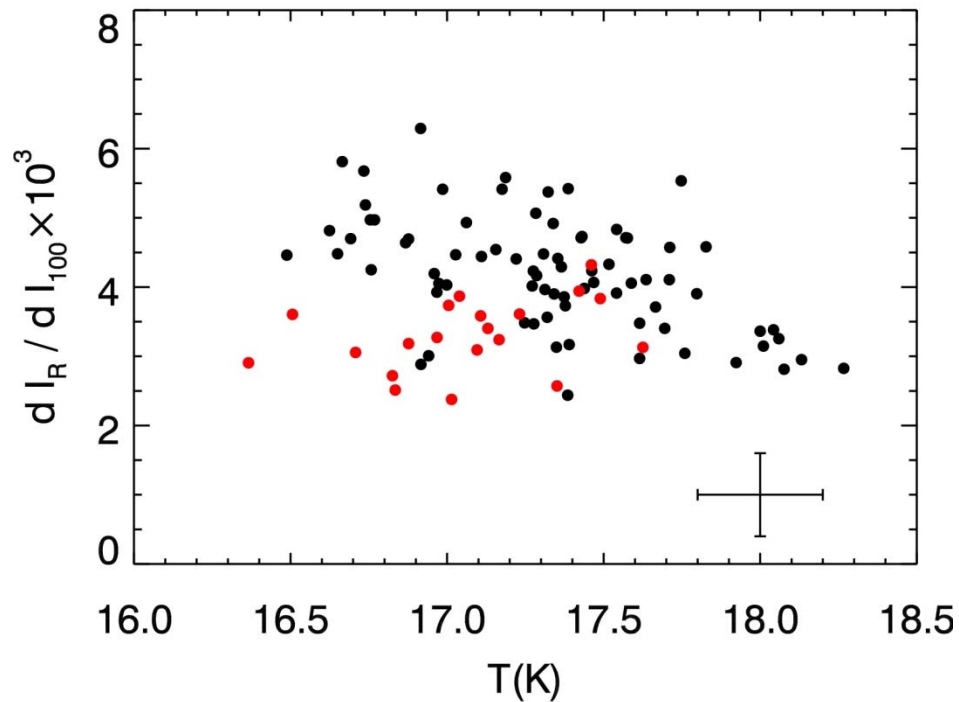
観測との比較

- $T_d=16.5\text{K}$, $A_v=0.4$, $t=0.1$ のモデル



ダストの温度

60 μm と100 μm からダストの温度を見積もってみると
を仮定 $\sigma_\lambda N_H B(\lambda, T_d)$, $\sigma_\lambda \propto \lambda^{-2}$





分子雲の減光量

可視光の観測からスターカウントの
解析によって得られた減光量

$$A_v = 0.4 \pm 0.2 \text{ mag}$$

遠赤外線強度からの推定(Witt+ 2008)

$$A_v = 0.35 \text{ mag}$$

ダストの温度、分子雲の減光量
ともにモデルとの比較から予想される値とよく一致する



まとめ

- 高銀緯の分子雲を可視光で撮像し、遠赤外線との比較を行った
- その結果、DGLと遠赤外線の間には線形の相関が観測された
- 分子雲の領域では、DGL/遠赤外線の比は他の領域に比べて小さくなることが分かった。
- Draine & Li (2003) のダストモデルおよび、Mathis (1983) の星間放射場のSEDを用いて、観測された相関は矛盾無く説明できる
- ただし相関からダスト温度や減光量に制限をつけることは難しい。
 - Flatfieldingの精度が一番の問題