

「あかり」アーカイブデータを用いた 赤外線面輝度解析

津村耕司 (東京都市大学)

Tsumura et al. 2013, PASJ 65, 119: 黄道光(ZL)、データリダクション
PASJ 65, 120: 銀河光(DGL)
PASJ 65, 121: 背景放射(EBL)

JAXA/ISAS赤外線グループ Webリリース

https://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/results/20131227_IRCSpec/index-j.html

「宇宙の明るさ」測定

「宇宙の明るさ(背景放射)」を観測して、宇宙全体の「光の量」を決める

→ まだ点源として観測できていない暗い天体からの寄与の合計がもとまる

$$\text{空の明るさ} = \text{太陽系内の明るさ(黄道光)} + \text{銀河系内の明るさ} + \text{背景放射}$$
$$\text{SKY} = \text{ZL} + \text{DGL} + \text{EBL}$$

面輝度観測において、前景光との分離は困難

特定の天体の観測データが必要なわけではない

地球大気が非常に明るいので、大気圏外からの観測が必須

→ 「あかり」のアーカイブデータが利用可能！

太陽系からの光(黄道光)

銀河系(天の川)からの光

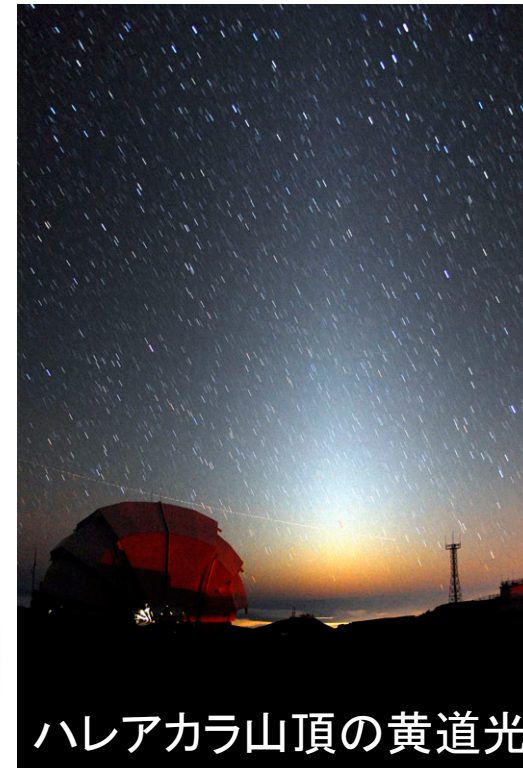
遠方宇宙からの光



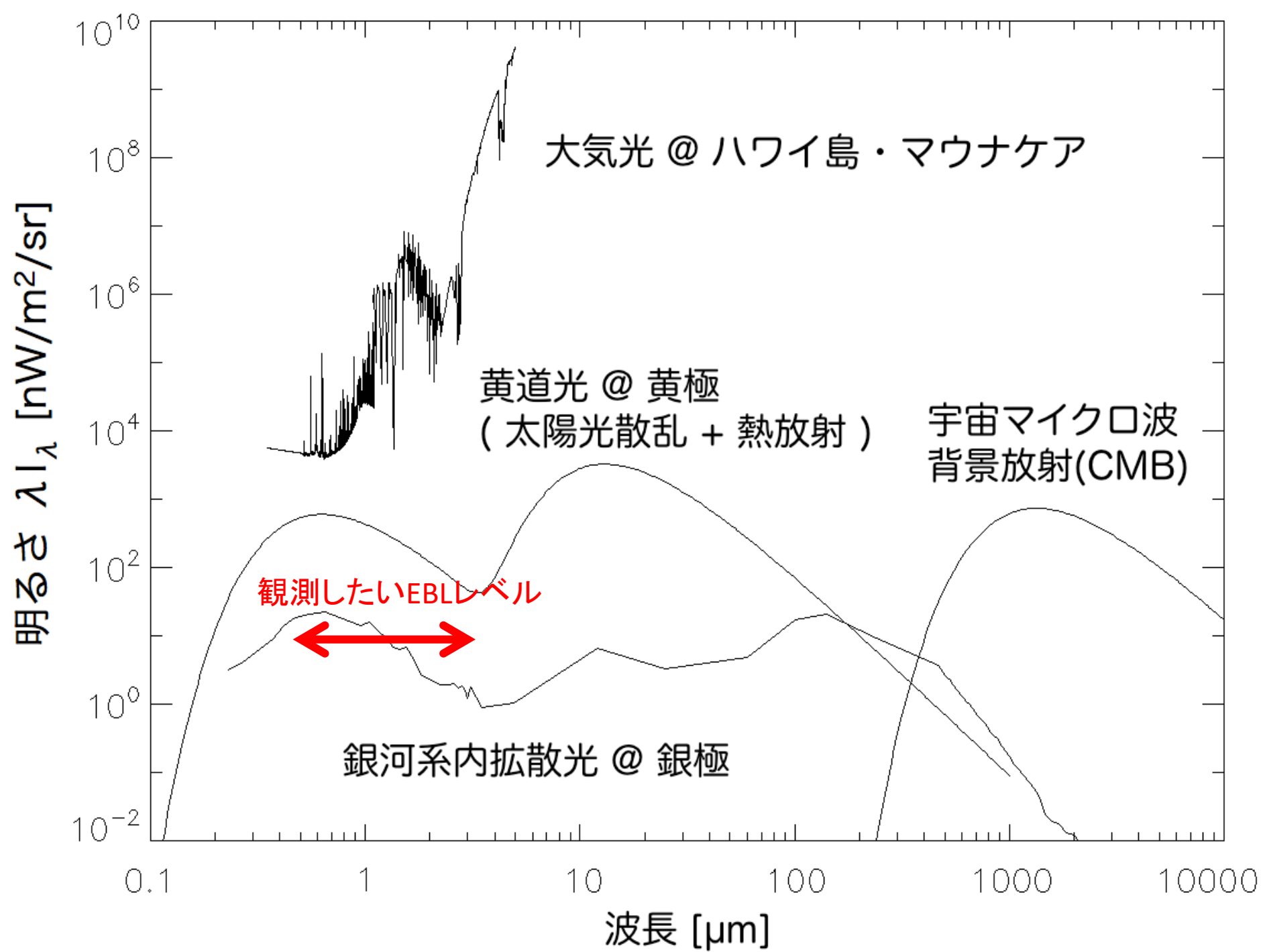
地球



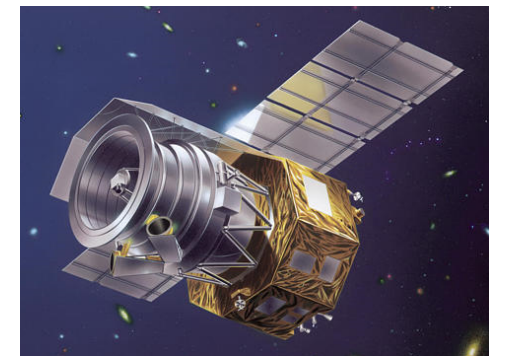
大型望遠鏡でも見えない
暗い天体からの光



ハレアカラ山頂の黄道光

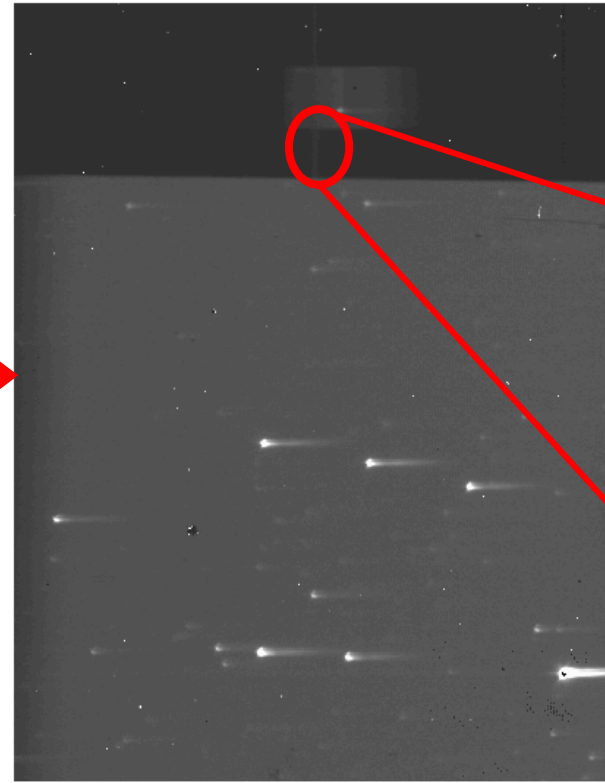
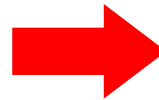
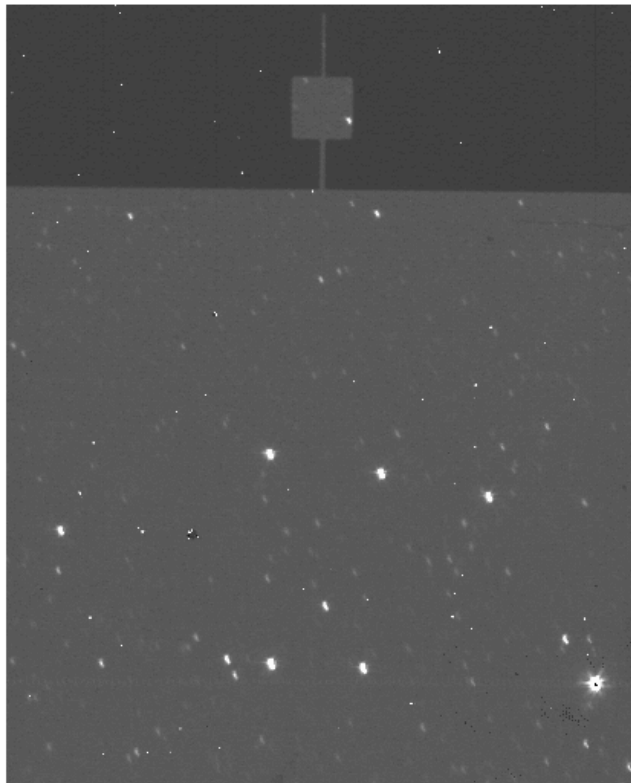


「あかり」 InfraRed Camera (IRC)

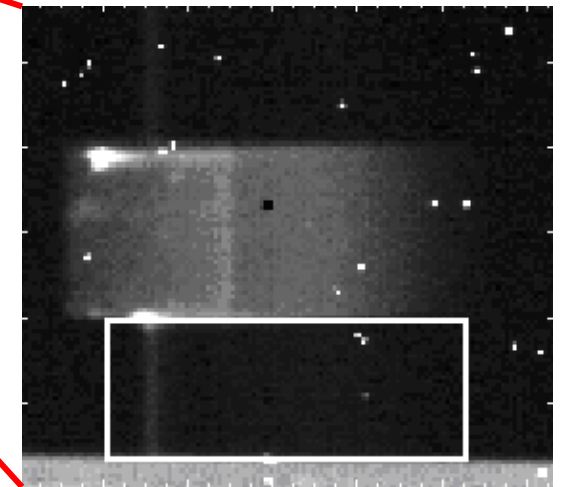


- 過去のIRTSと比べて高い空間分解能でより暗い点源(19mag)まで除去
 - 銀河系内の星によるコンタミの影響無し
 - コールドシャッターがないSpitzerでは得られないデータ
- スリット領域に着目することで、面輝度スペクトルが得られる

カメラ	NIR	MIR-S	MIR-L
検出器の種類	InSb	Si:As	Si:As
ピクセル数	512×412	256×256	256×256
撮像領域(分角)	9.5×10.0	9.1×10.0	10.3×10.2
ピクセル視野(秒角)	1.46	2.34	2.51×2.39

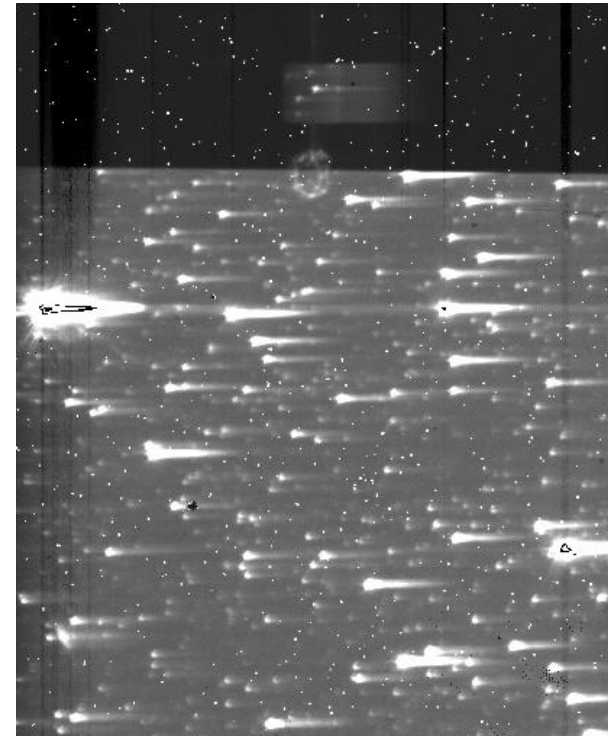
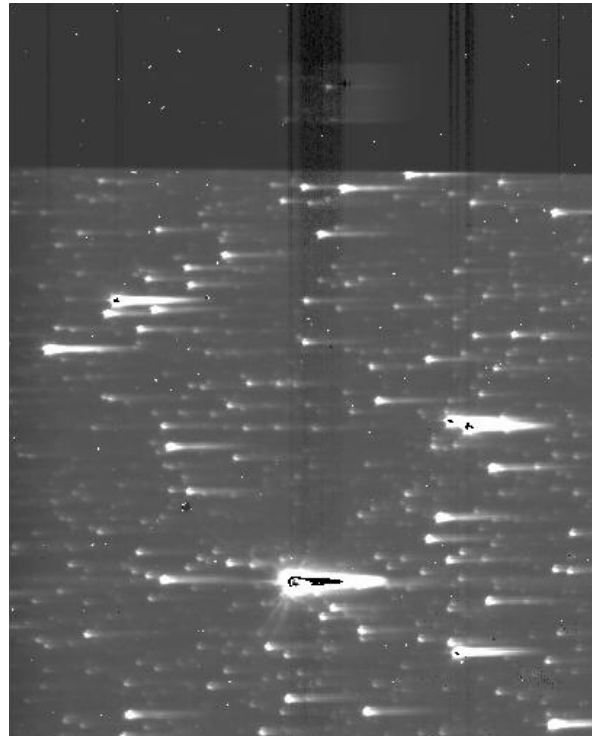
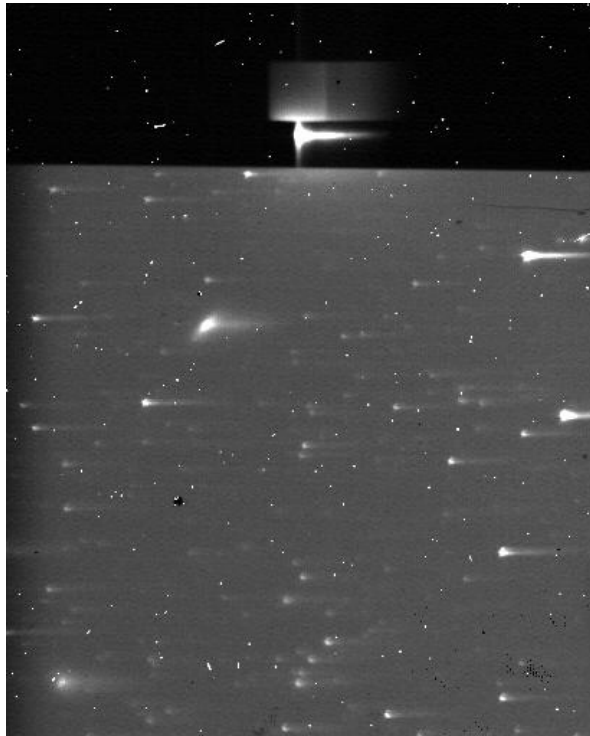


面輝度スリット分光



面輝度分光解析に用いたデータセット

- プリズム分光している公開データをDARTSから取得
 - Phase-1,2で地球光コンタミがない期間（2006年9月～2007年5月）
 - 全部で 349点
- これらのうち、使えないデータを除外
 - 迷光やコンタミによる汚染
 - 特定の領域を観測したデータ



SAAによる暗電流の増加

南大西洋異常帯 (South Atlantic Anomaly, SAA)では、荷電粒子の衝突確率が激増

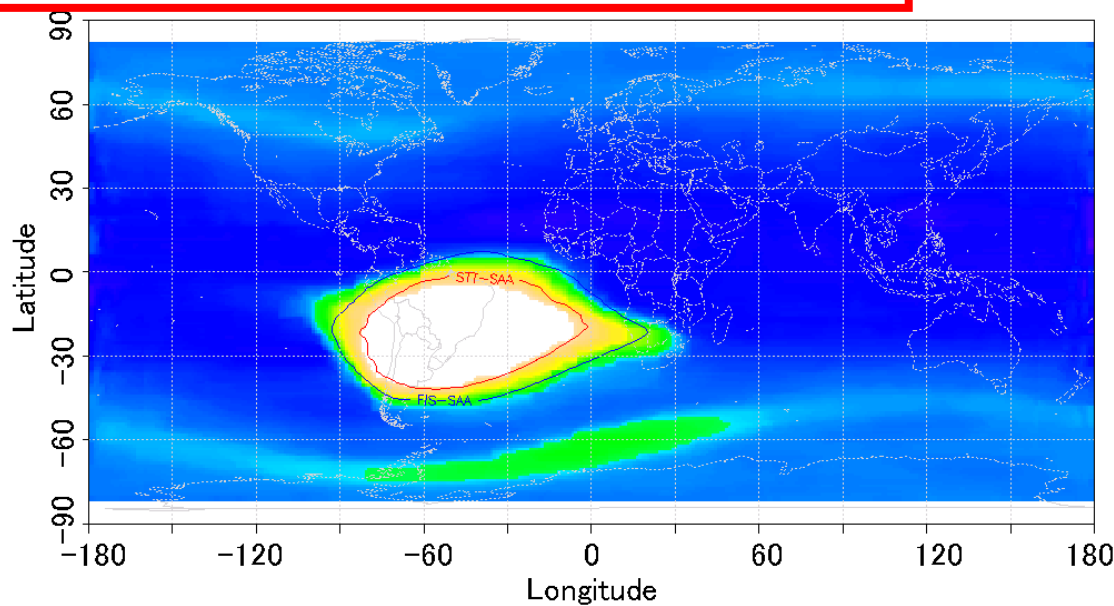


荷電粒子の衝突により、暗電流が増加する
検出器上の暗電流の分布の構造はSAA通過前後で異なる

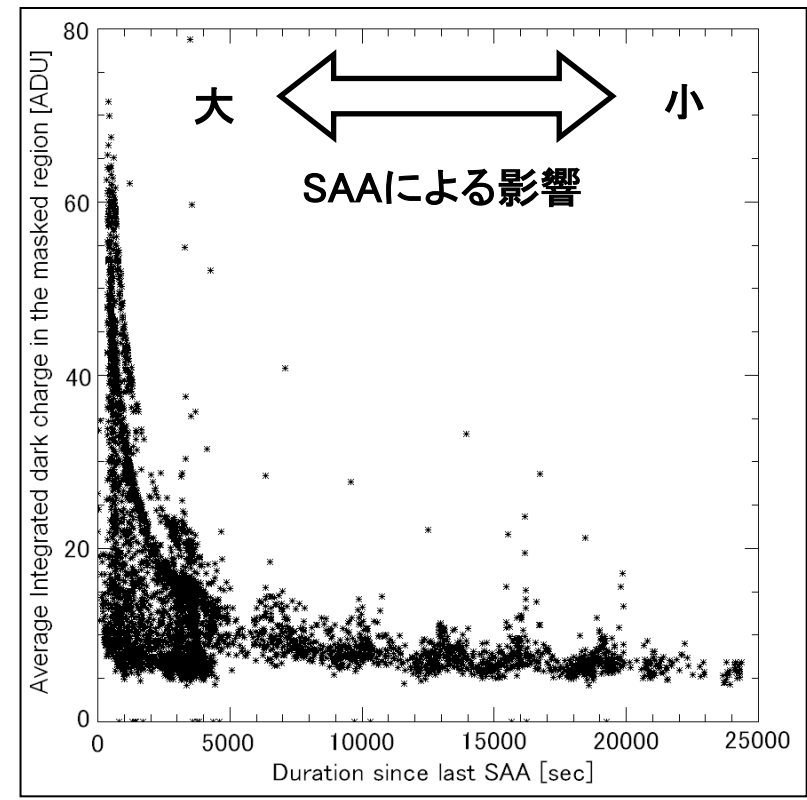
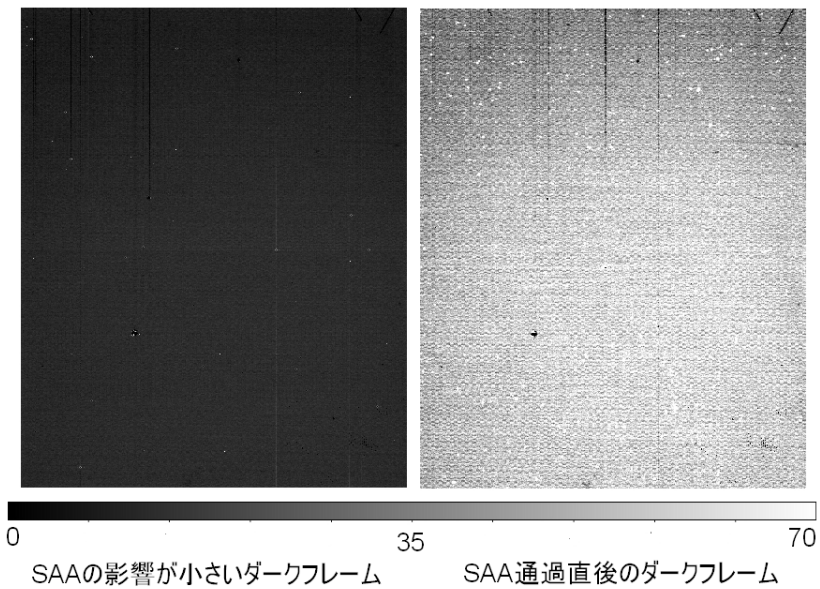


増加した暗電流の緩和時間は約10000秒(1周期以上)

拡散光のデータ解析において、SAA通過後の暗電流値の増加とその分布の補正が必要

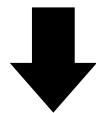


Doi et al. (2018)



マスク領域を用いたダークフレーム推定法

- 液体ヘリウム枯渇前(Phase-1,2)の全ダークフレーム約4500枚を解析
- マスク領域の暗電流値の平均と、各ピクセルの暗電流値の間に良い線形関係

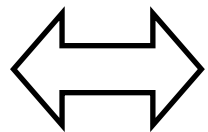


- この線形関係を利用して、**天文観測中であっても**、マスク領域の暗電流値から、ダークフレームを推定可能
(Tsumura & Wada 2011)

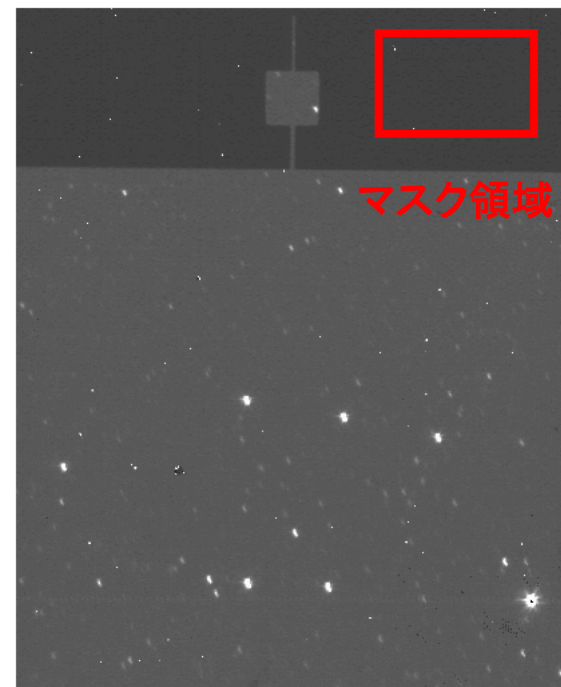
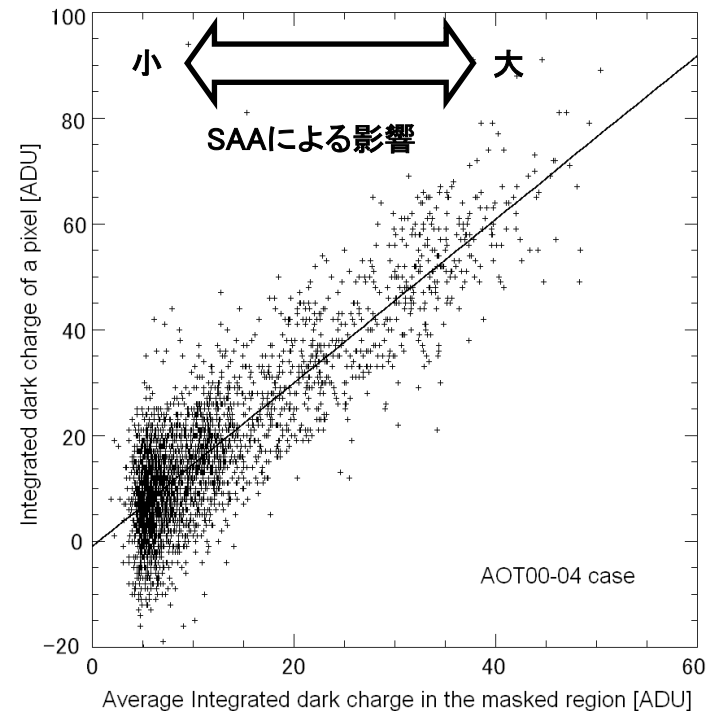
$$D_{ij} = A_{ij} \cdot C + B_{ij}$$

本手法

AOT00-04: 3463枚
AOT05: 1072枚



従来のSuperdark
約100枚

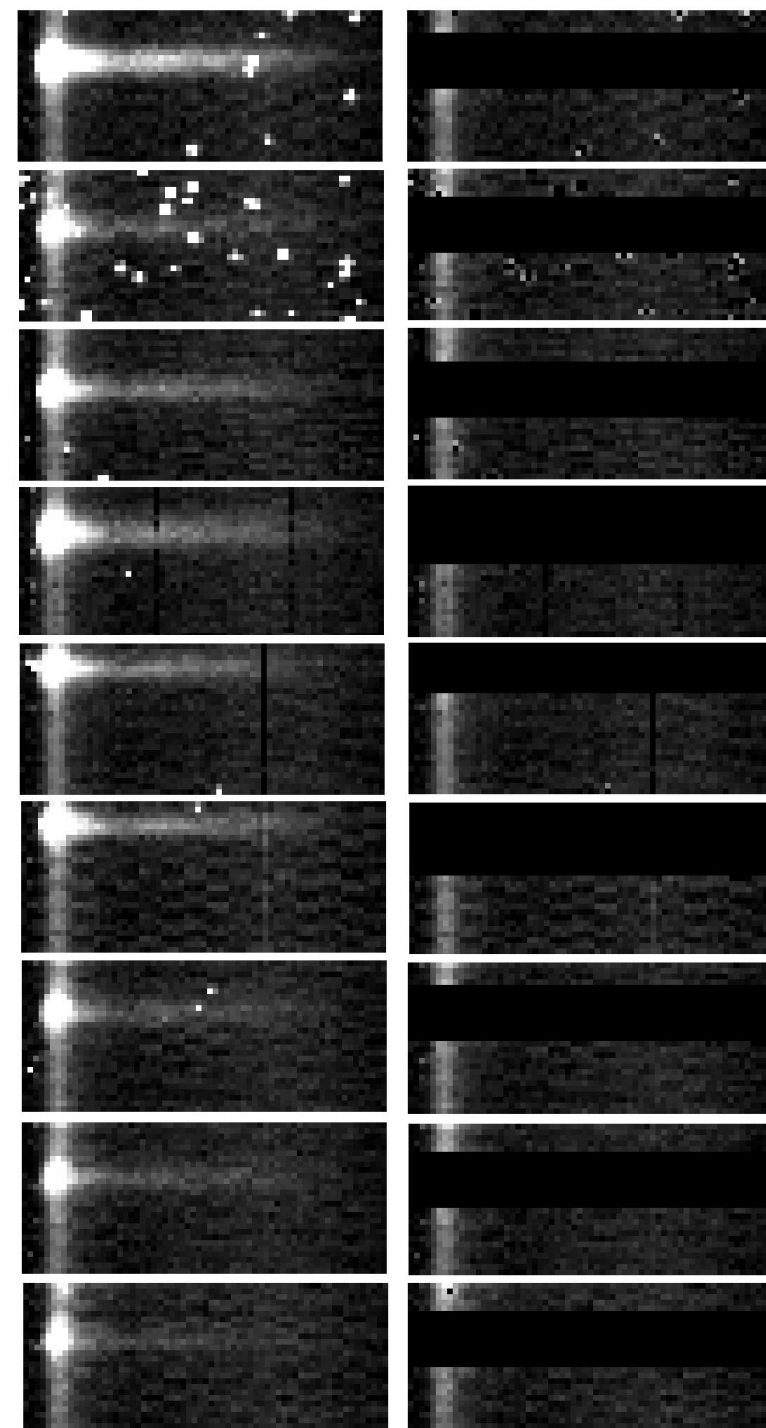
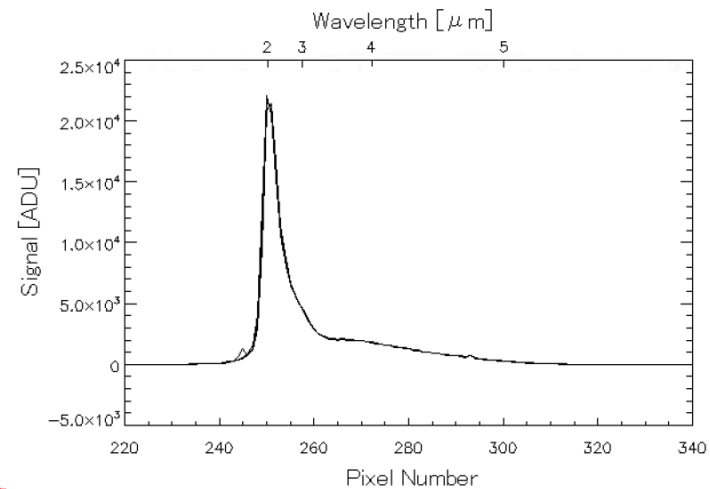
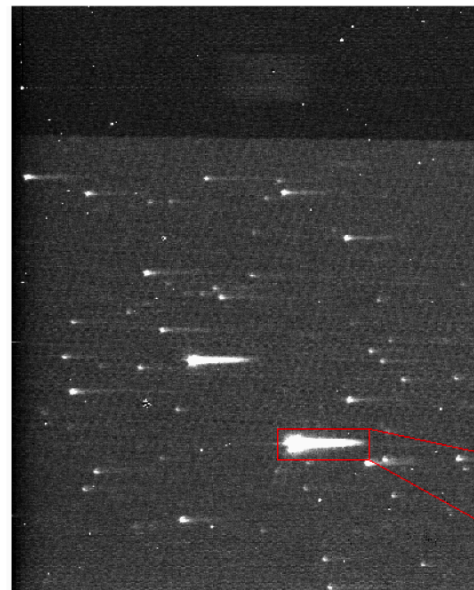


IRCデータリダクションパイプラインに、本手法によるダークフレームが正式採用

データリダクション

- スリット上の星はマスクして、星間空間のスペクトルを抽出
 - < 19 Vega等級@ $2\mu\text{m}$ の星を除去
- 宇宙線ヒットによるホットピクセルもマスク
- マスク後に足し合わせて1次元のスペクトルを得る
- キャリブレーションも標準星の分光データを用いて自分自身で行った

(a) Short Exposure



スペクトルと観測天域の分布

広い空にわたる空のスペクトルデータを取得

$$SKY = ZL + DGL + EBL$$

10 7 1 2

空間相関を利用して前景光分離

黄道光 (ZL) → 黄緯依存性

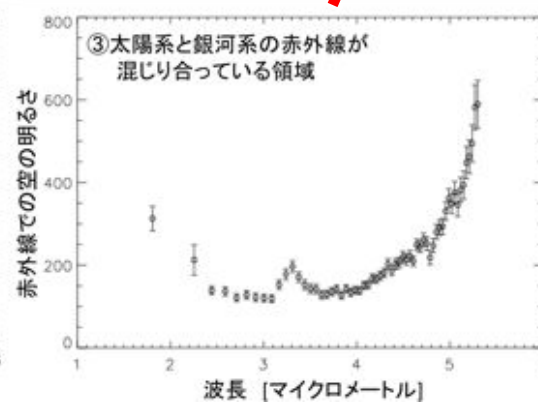
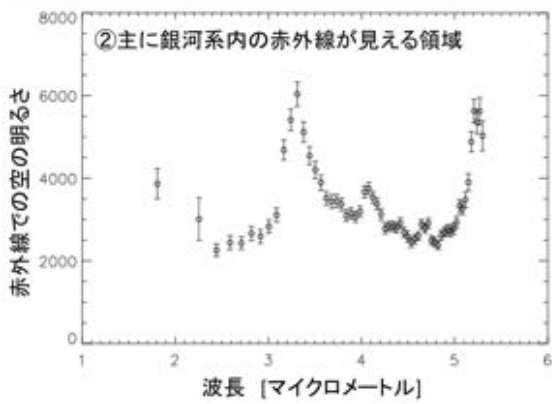
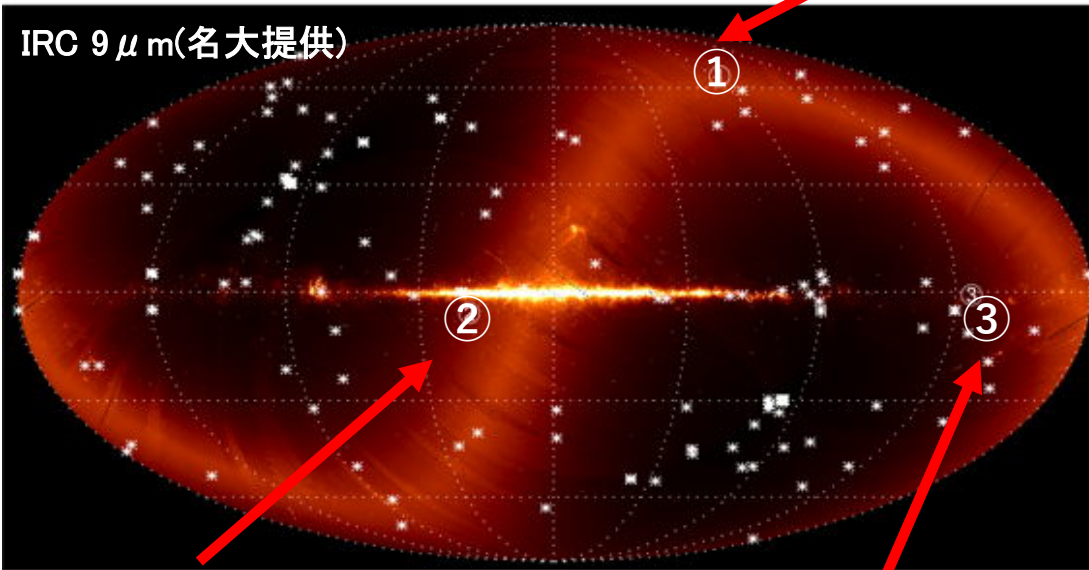
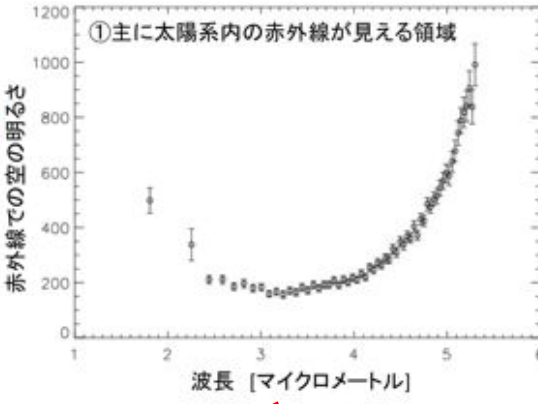
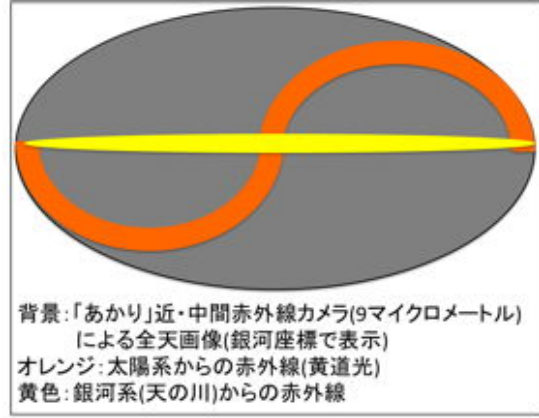
銀河光(DGL) → 銀緯依存性

背景光(EBL) → 一様分布

拡散光分光カタログの公開

http://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/Archive/Catalogues/IRC_diffuse_spec/

天域	データ数
① 「あかり」北黄極(NEP)領域	80
② Spitzer dark 領域	38
③ 銀緯5度以上の領域(①と②を除く)	56
④ 銀河面(-5度<銀緯<5度)領域	35
⑤ 銀緯-5度以下の領域	69



銀河光の分離

- 銀河光(DGL)：銀河系内のダストからの放射
→ ダストの量に相関

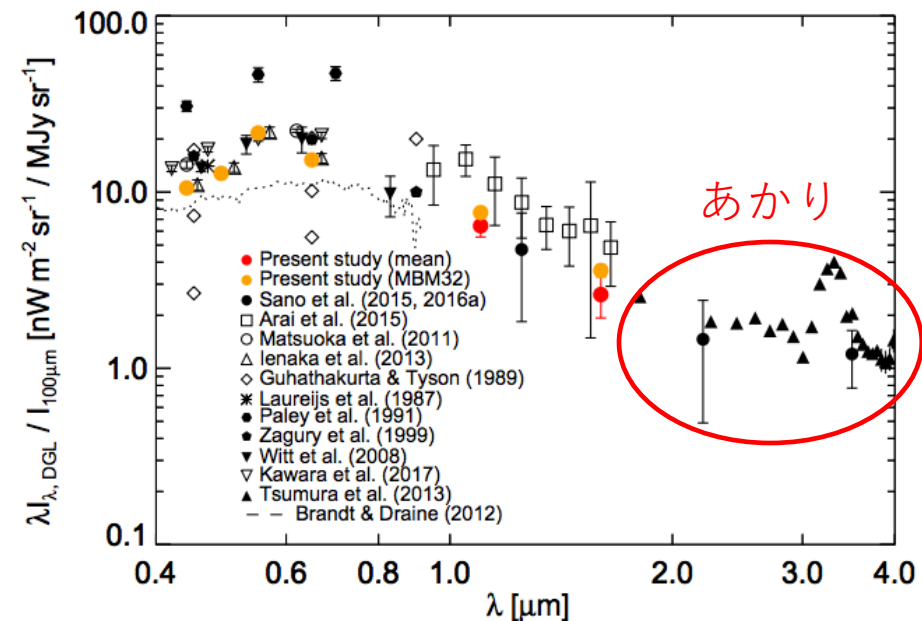
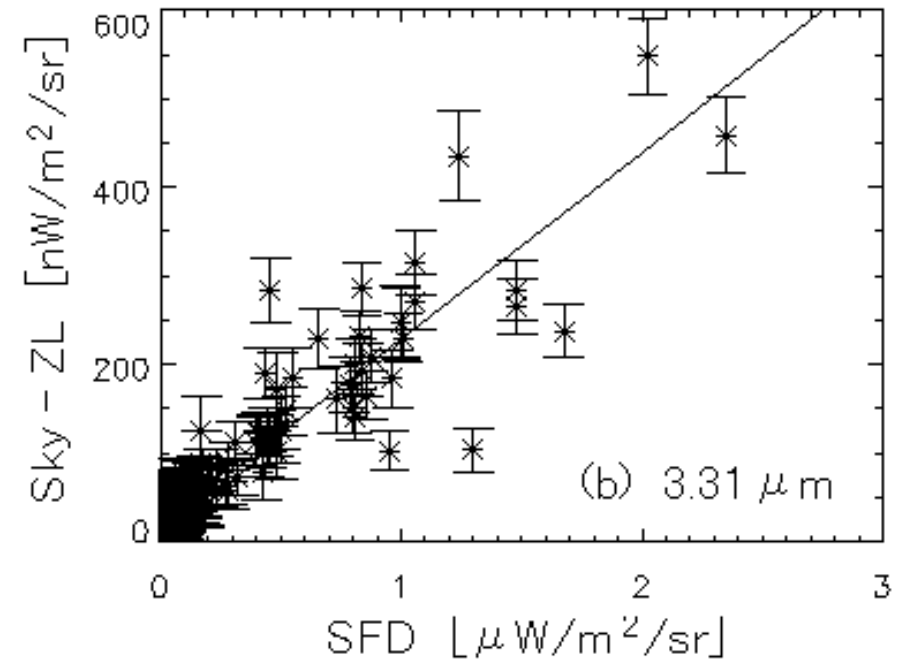
- Galactic dust \propto FIR(100 μ m)

$$SKY_{\lambda} = ZL_{\lambda} + DGL_{\lambda} + EBL_{\lambda}$$

$$SKY_{\lambda} - ZL_{\lambda} = DGL_{\lambda} + EBL_{\lambda}$$

$$= a_{\lambda} * I_{100\mu m} + b_{\lambda}$$

- 遠赤外線データとしては、SFDマップを利用
 - IRAS & COBEベース (Schlegel, Finkbeiner & Davis 1998)
- 各波長ごとに遠赤外線データと相関を取り、
近赤外線での銀河光を初めて抽出
- 得られた銀河光スペクトルを遠赤外線輝度でスケーリングする事で、各天域でのDGLが求まる

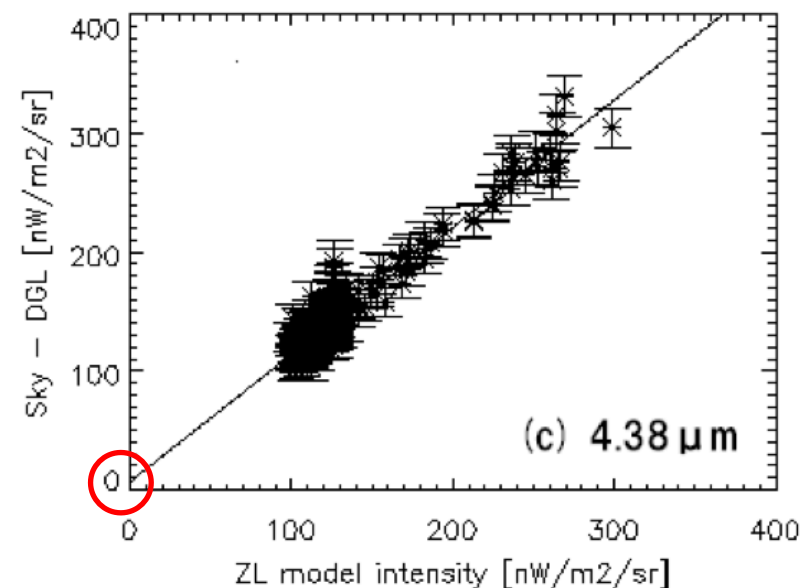
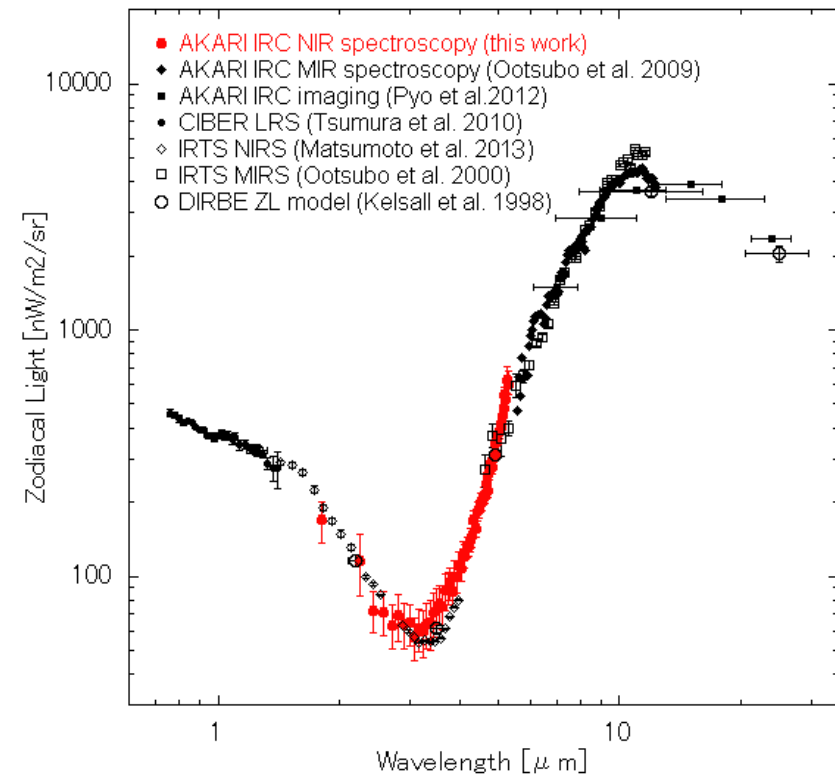


黄道光の分離

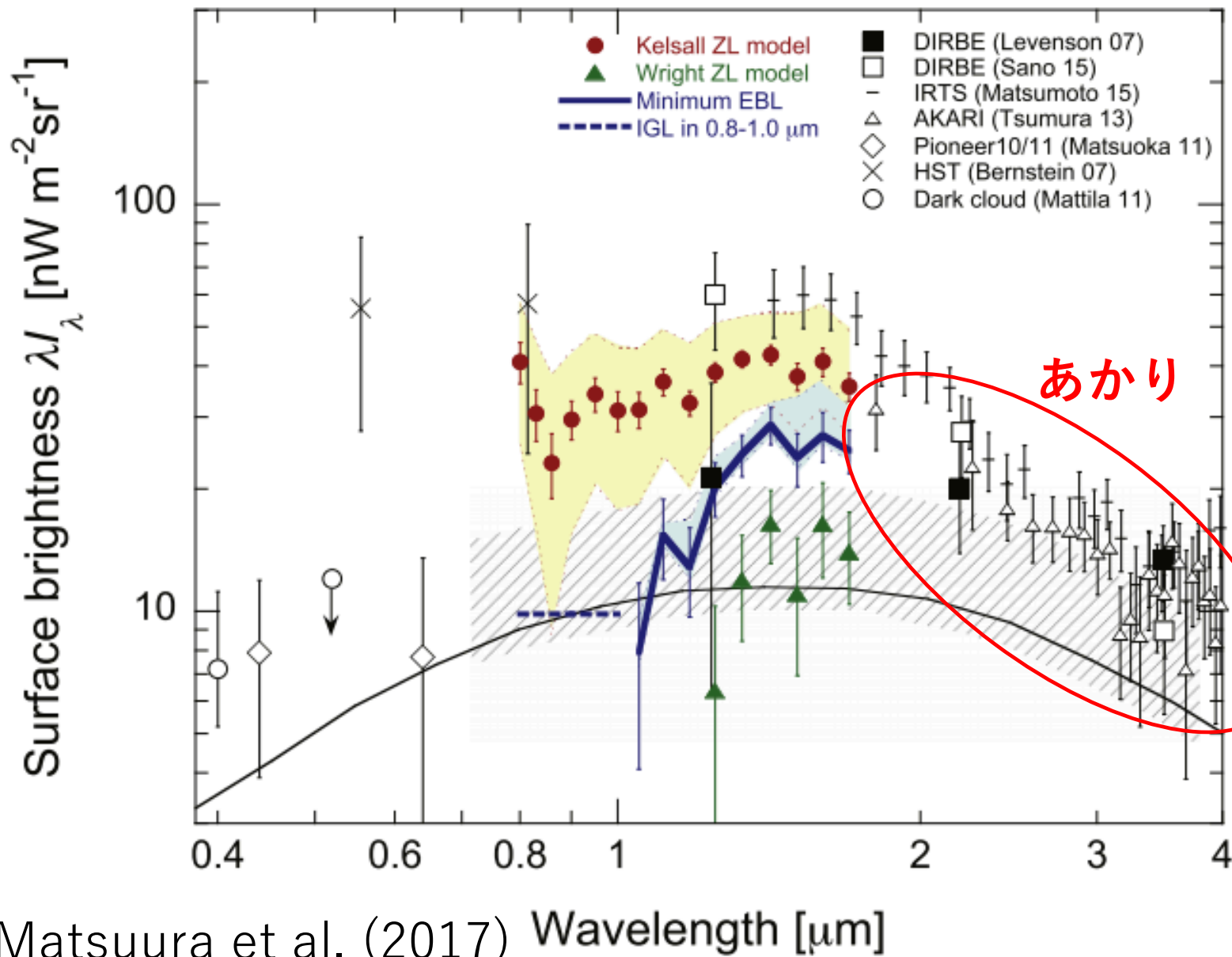
- 黄緯依存性を利用して黄道光スペクトルを抽出
 - 散乱光成分(<3 μm)と熱放射成分(>3 μm)を分離して評価
 - 高温成分(300K)の検出
 - サブミクロンサイズのダストの存在を確認

- 黄道光のモデル輝度(Kelsallモデル)との相関解析
(Kelsallモデル: COBE/DIRBEの観測に基づく黄道光モデル)

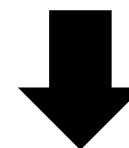
$$\begin{aligned} \text{SKY}_\lambda - \text{DGL}_\lambda &= \text{ZL}_\lambda + \text{EBL}_\lambda \\ &= c_\lambda * \text{DIRBE} + b_\lambda \end{aligned}$$



得られたEBLスペクトル



銀河の足し合わせからの
有意なEBLエクセスを確認

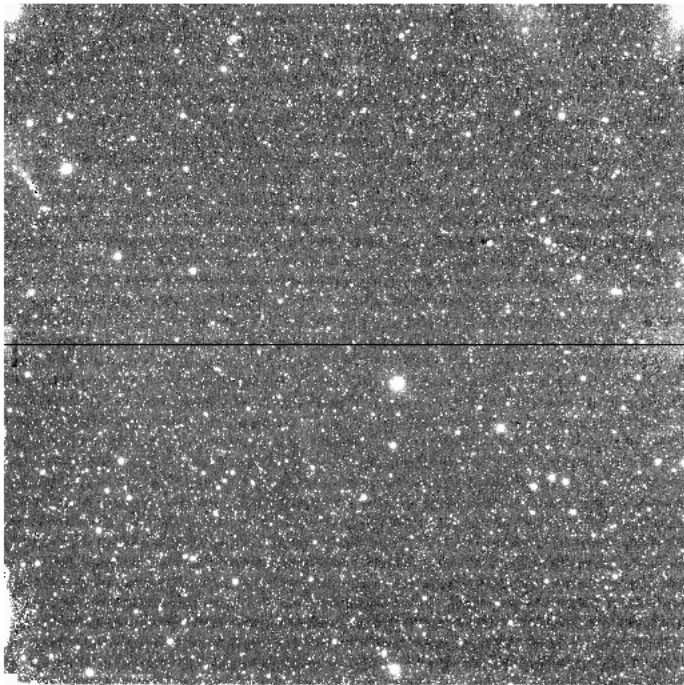


既知の天体とは異なる何
らかの光源の存在を示唆

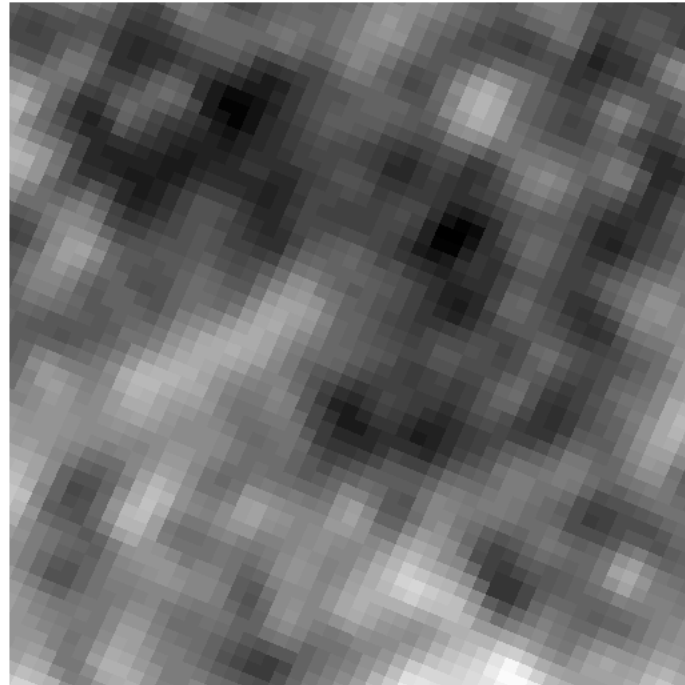
- Intra-halo light (Cooray+2012)
- ミニクエーサー (Matsumoto & Tsumura 2019)
- 未知の素粒子の崩壊 (Kohri+2017)

FISのより高解像度なデータによるDGL推定

- DGLは星間ダストによる星間輻射の散乱 → DGLは星間ダスト量に相関
- 星間ダスト量は今まで、SFDマップをベースにするのがスタンダード
 - SFDマップ: IRAS & COBEベース (Schlegel, Finkbeiner & Davis 1998)
- より空間解像度の高いあかりFISマップをベースにした手法を開発中



(a) CIBER 1.6 μm band



(b) SFD map



(c) AKARI Wide-L map

この経験からデータアーカイブへのコメント

- Science Ready な情報の公開を
 - ダークフレームの生成やキャリブレーションも自分自身で行った
 - 当時の自分は宇宙研のPDだった
 - 「中の人」に直接コンタクトが取れたので、データのありか、質、必要な解析を直接情報収集できた
 - これをドキュメントベースにするのはなかなか難しい
- 生データもあわせて公開を
 - 生データから出発して自分で安心できるやりたい解析ができた
 - 宇宙線除去、迷光除去などの特殊処理を自分の手で
 - 「中の人」とコンタクトを取れたのが大きい → helpdeskの充実を
- どんなデータを公開すれば良いかのインストラクションを
 - 成果データの公開の決定は自分自身で決めたはず
 - 公開用にデータを「きれいにする」のもそれなりに大変だった
 - そこは色々アドバイスをもらえたので助かった(readmeの書き方など)
 - 普通はこの作業は「めんどくさい」と思うので、そこのサポートも重要

まとめ

- 赤外線面輝度観測において、「あかり」アーカイブデータを活用
 - 特定の天体の観測ではなく、様々な天域のデータを広く解析するのに適していた
- 近赤外線での面輝度スペクトルを導出(Tsumura et al. 2013)
 - 空間分布の違いを利用して、空のスペクトルを
 - 太陽系成分(黄道光) ← COBEベースの黄道光モデルを基準にする
 - 銀河系成分(DGL) ← IRAS/COBEベースの遠赤外線マップを基準にする
 - 銀河系外成分(EBL) ← 残った空間的に一様な成分
 - 成分分離をすることに成功
 - 成果データを公開
- DGLの基準となる遠赤外線マップを、より空間解像度の高い「あかり」FISマップに置き換える手法の開発に取り組み中