

宇宙可視光背景放射の測定

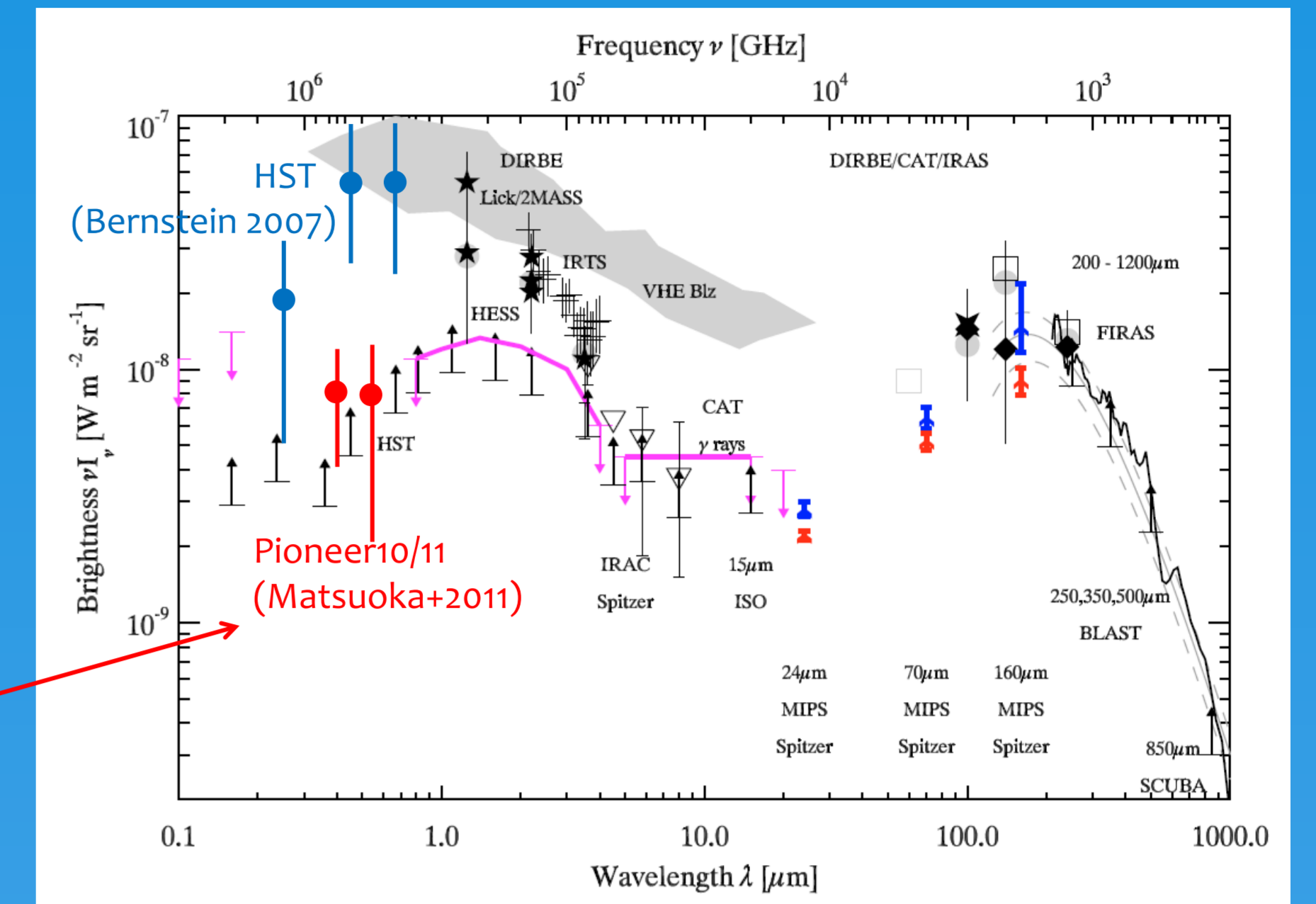
Cosmic Optical Background

家中信幸¹、川良公明¹、鮫島寛明¹、松岡良樹²、大藪進喜²、土井靖生¹、小笹隆司³
¹ 東京大学、² 名古屋大学、³ 北海道大学

1. Introduction

可視光背景放射(COB)は銀河系外からやってくるすべての可視光の総和である。COBには $z \sim 7$ から現在に至るまでに放射されたすべての紫外線および可視光が記録されており、COBの絶対値を測定することは宇宙空間に存在する可視光の総量を求めることである。COB測定は1960年代から行われてきたが、これまで確かな測定値は得られていなかった。近年のHSTやSubaru望遠鏡を用いた深宇宙の撮像探査によって、我々はすでに宇宙に存在する大部分の銀河を分解して捉えることができるようになったと考えられているが、過去のCOBの測定値は分解された銀河すべての明るさを足し合わせたものよりも最大で1桁以上も高い可能性が示唆されていた(右図)。我々はCOBの絶対値を精度よく測定することにより、COBの大部分がすでに個別の銀河として分解されて捉えることができるのか、それともより遠方の分解されていない多数の銀河、あるいは未知の放射源からの光がDiffuseな成分として存在しているのかを明らかにすることを目標に研究を行っている。

COB = Resolved galaxies + unresolved galaxies? + any unknown source?



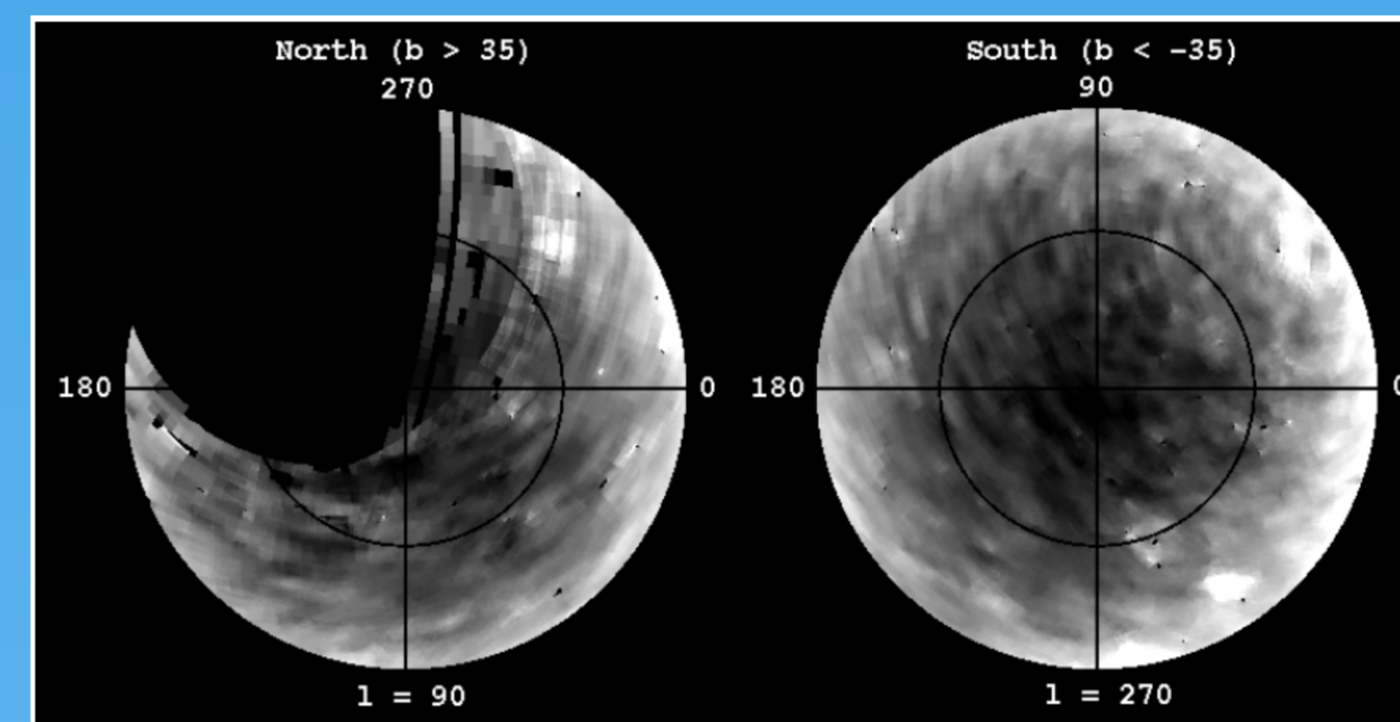
背景放射の測定値。上向き矢印で示された下限値は分解されて観測されている銀河の光の足し合わせから求めた値である。(Bethertmin+2010の図にBernstein 2007, Matsuoka+ 2011の結果を追加)

2. Method

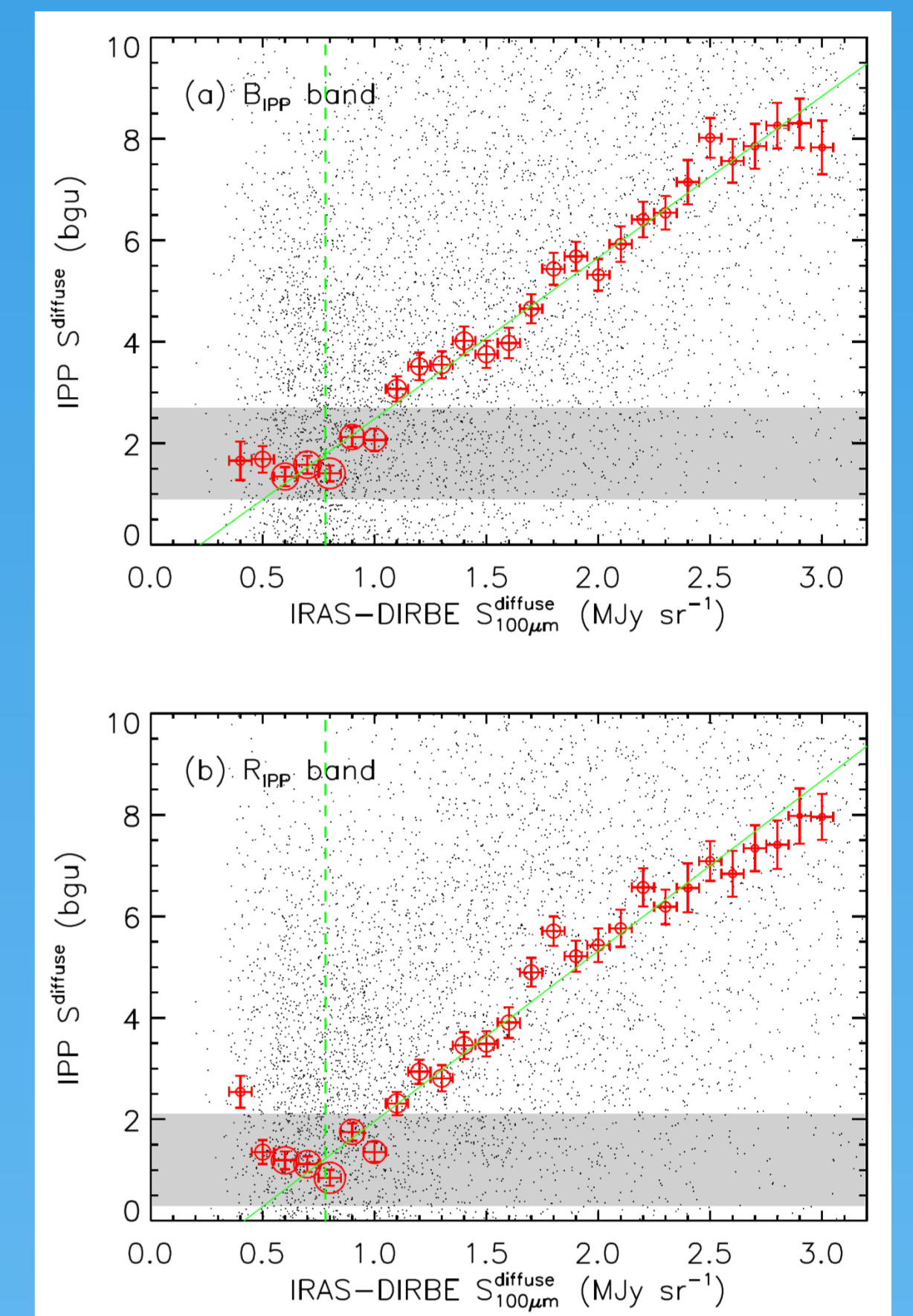
COBの測定には、CMB観測と同様に、直接観測される空の明るさから背景放射成分以外の全ての前景放射成分を取り除くことが必要となる。しかし、可視光領域においては前景放射成分が背景放射成分の100~1000倍の強度を持っており、これがCOBの測定を困難にしている要因である。主な前景放射の成分は地球大気(夜光、黄道光、銀河拡散光(DGL))である。我々は以下の3つのアプローチによって前景放射成分を分離しCOBの測定を試みている。

2.1. Observation from Pioneer 10/11

前景放射成分を分離する最も基本的で強力な手法は、前景放射が存在しない場所から観測を行うことである。Pioneer 10/11は黄道光の影響が無視できる太陽から3.3AU以上離れた場所からの観測を行っており、Toller(1983)はPioneer 10のデータを用いてCOBの検出を試みたが、銀河系の星からの光を正確に除去することが難しく20 nW/m²/srという上限値を得るにとどまった。我々はPioneer 10/11のデータを再解析し、当時に比べて精度の向上した全天カタログによって星の影響を除去し、さらにIRAS衛星による遠赤外線(100micrometers)のデータを利用することでDGLを除去する(DGL除去については2.2を参照)ことによって、世界で初めてCOBを検出することに成功した。明らかになったCOBの絶対値は $7.9 \pm 4.0 (@0.44 \mu\text{m})$, $7.7 \pm 5.8 (@0.66 \mu\text{m})$ nW/m²/srであり、この値は分解されて観測されているすべての銀河の光を足し合わせた値とほぼ等しい。この結果は、宇宙に満ちている可視光の起源を、私たち人類がすでにほぼ全て解き明かしてしまったことを示している。



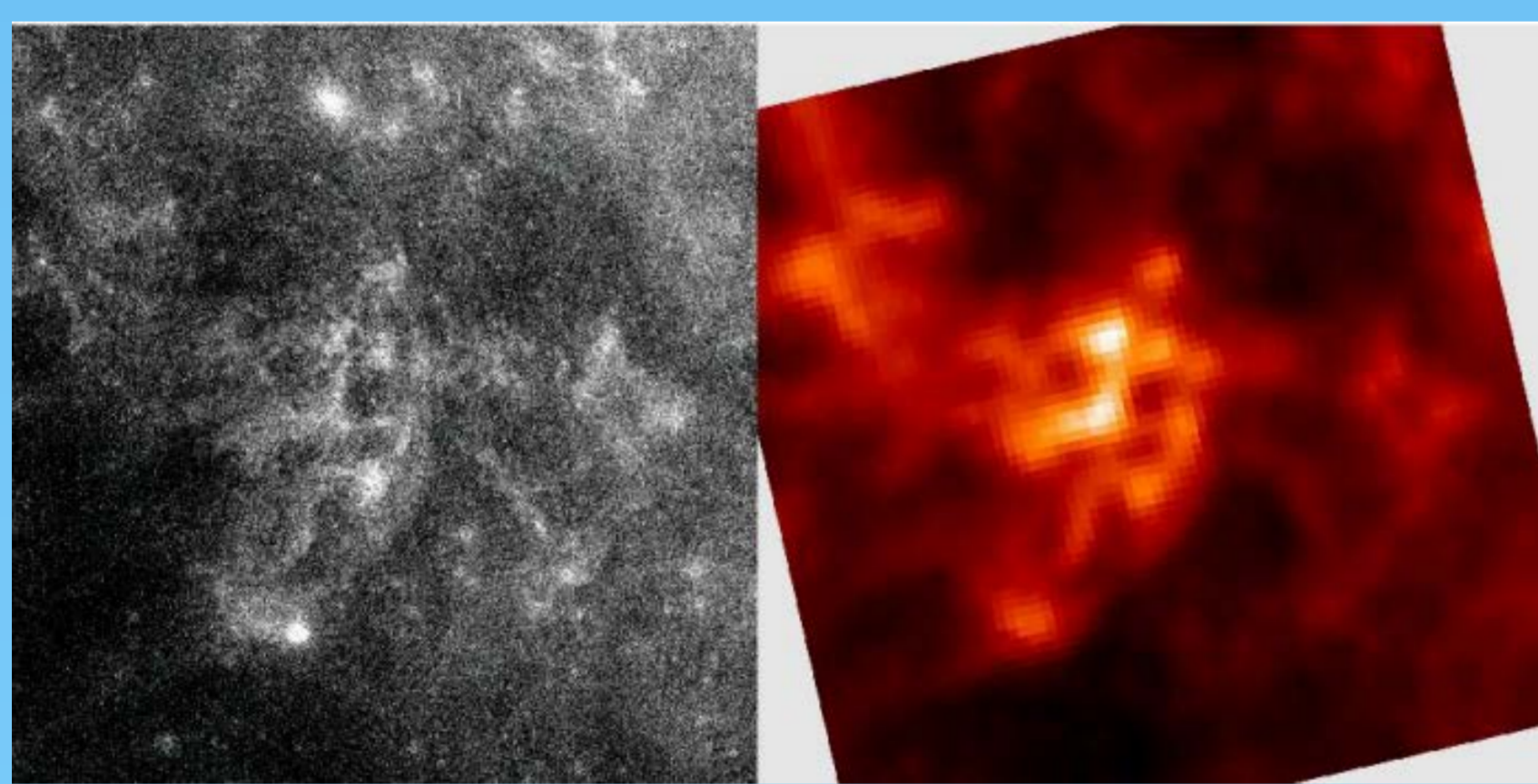
黄道光の外側から観測された空の輝度分布。観測波長は0.44micrometers、強度は130(黒)~330(白) nW/m²/srのロニアスケールで表示している。



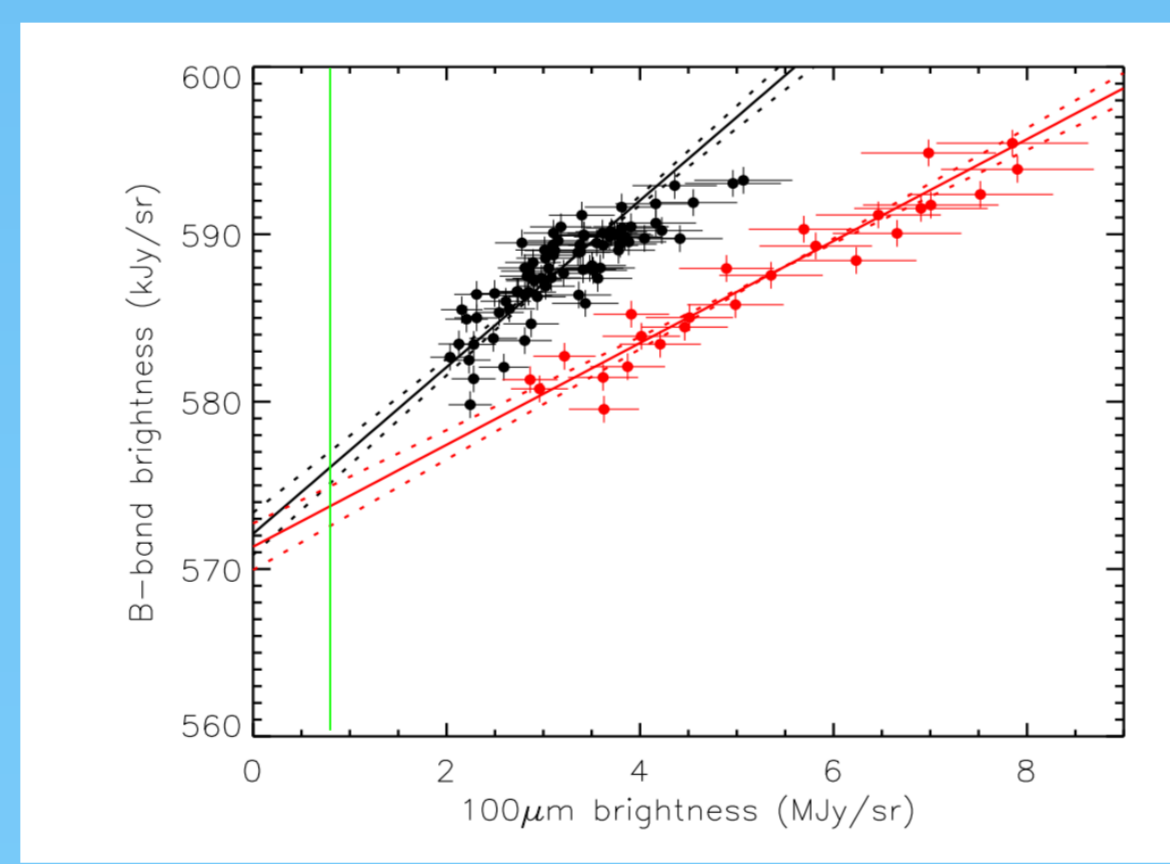
縦軸は観測された空の輝度から星の成分を差し引いたもの、横軸は100micrometersの輝度。赤のプロットは0.1MJy/srごとに平均した値で、円の大きさが含まれるデータ点の数を示している。緑の実線は直線をフィットさせたものである。この直線が100micrometersでの背景放射の強度(緑の破線)と交わるところがDGLのゼロ点であり、COBの強度を示している。灰色で示した部分がCOBの1sigmaの範囲である。

2.2. Dark cloud method

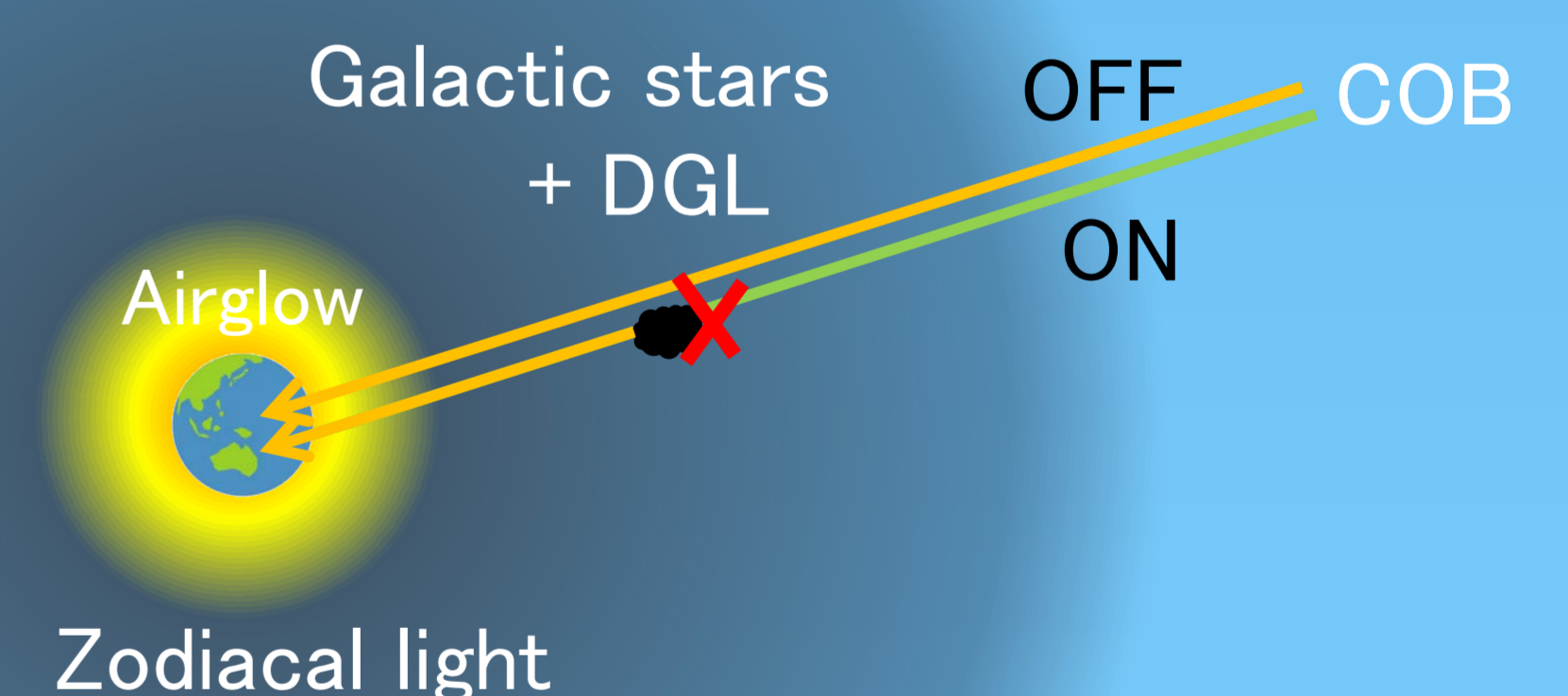
前景放射成分の分離のために我々が用いる2つ目の手法は暗黒星雲法(Dark cloud method)である。これは右図のように、背景放射成分を遮蔽する銀河系内の遮蔽体(ex. 暗黒星雲、分子雲)とその周辺のBlank skyの領域の輝度の差分を取ることで黄道光を分離する手法である。この手法の利点はモデルに依存せずに黄道光を除去できる点にある。また、DGLを除去するためには遠赤外線との相関関係を利用する。DGLは星の光が銀河系内のダストに散乱されたものであるが、ダストに照射された光は散乱されるだけでなく、一部がダストに吸収され遠赤外線として熱再放射される。したがってDGLと遠赤外線の間にはダストの量を介した相関が存在する(下図)。この相関を利用してDGLを除去することができる。



DGL@0.65micrometers(左)と遠赤外線@100micrometers(右)の比較。分子雲MBM32を含む、視野2° x 2°の領域。



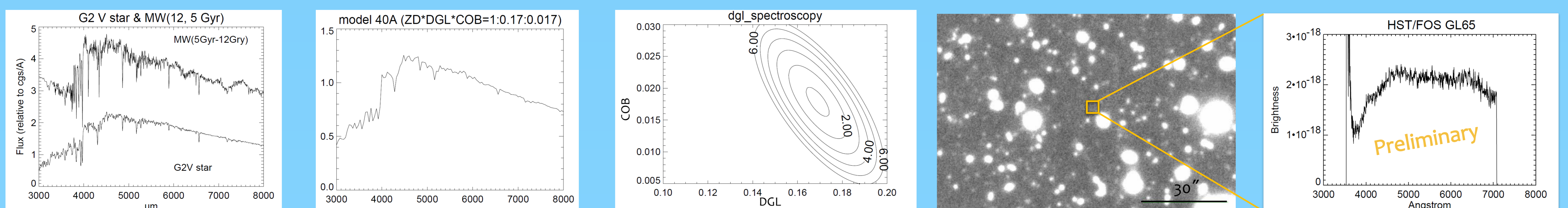
可視光と遠赤外線の相関。赤点が分子雲の領域、黒点が周辺のBlank skyの領域で、一つの点は10' x 10'の領域の平均値を表している。COBの強度は100micrometersの背景放射の強度(緑線)とそれぞれの領域のデータ点にフィットした直線の切片の差として表れる。この図から暫定的に見積もられるCOBの強度は $I_{\text{cob}} \leq 120$ nW/m²/srである。



暗黒星雲法の概念図。ONとOFFの視線の差分をとることにより、遮蔽体よりも手前側の前景放射成分を分離することができる。

2.3. HST night spectrum

最後に別のアプローチとして、我々は観測される空のスペクトルを用いてCOB測定する試みも行っている。この手法は、観測される夜空の可視光スペクトルに対して、黄道光とDGLのモデルスペクトルをfittingすることによりCOBの成分を分離するというものである。以下にシミュレーションの結果を示す。我々はHSTのFOSで取得されたハッブル・ディープ・フィールドのスペクトルに対してこの手法を適用することによって、COBを検出することを目指している。



DGL(上)と黄道光(下)のモデルスペクトル

黄道光, DGL, COB(定数)を1:0.17:0.017の割合で足し合わせた合成スペクトル。S/N=100となるようにノイズを加え、40Aの分解能になましている。

左図の合成スペクトルに対して元々のモデルスペクトルをフィットした際のchi2分布。DGLとCOBの強度が正しく求められていることがわかる。

HST/FOSによるハッブル・ディープ・フィールドの空のスペクトル。ただし、強度の校正は不完全なものである。アーチャーサイズは4.3" x 4.3"。