

「あかり」中間赤外線全天サーベイデータからの暗い天体の検出方法の 確立

中道 恵一郎 (名古屋大学大学院 理学研究科)

Abstract

我々は「あかり」中間赤外線全天サーベイデータ (波長 $9\ \mu\text{m}$ 帯および $18\ \mu\text{m}$ 帯) から暗い天体を検出し、新しいカタログの作成を行っている。「あかり」は、太陽同期軌道で 1 年 4 ヶ月にわたり全天をスキャン観測し、同じ領域を 3 季節にわたり平均 6 回以上観測した。公開済みの「あかり」中間赤外線点源カタログ (PSC) では、1 回のスキャン画像から天体を抜き出し、同じ座標を見ている他のスキャン画像を用いて、検出した天体の信頼性を確認していた。本研究では、複数のスキャン画像を重ねあわせて深い画像を作成 (スタッキング) し、PSC に含まれる天体より暗い天体を検出する。しかし、この方法ではスタッキングの精度と検出天体の信頼性を確認する方法が問題となる。そこでまず、全スキャン画像を重ねあわせて画像を作成し、天体検出を行い、次に全スキャンを半年ごとに分けてスタックした画像から検出天体の測光を行い、十分な精度で位置・フラックスが再現できるものを、信頼性のある検出天体とした。本研究では、星形成領域 Cepheus B 周囲の $6^\circ \times 6^\circ$ の領域を用いて、検出天体数と信頼性を最大にできる検出方法を確立する。その結果、従来の「あかり」中間赤外線 PSC に対して検出限界が約 2 倍に向上し、同じ領域で PSC の約 2 倍の数の天体を検出できた。今後、この方法を全天データに対し適用する計画である。

1 Introduction

我々は「あかり」の中間赤外線全天サーベイマップから、公開済みの点源カタログ (PSC ; Ishihara et al. (2010)) には載っていない暗い天体の検出を行っている。PSC は、あるスキャン画像で検出した天体が同じ座標を観測した別のスキャン画像でも検出できるかどうか確かめることで、検出した天体の信頼性を確認していた。そのため、PSC は天体の信頼性が高いものの、一枚のスキャン画像の検出限界以下の暗い天体を検出できなかった。より暗い天体を検出するためには、複数のスキャン画像をスタッキングして作成した画像に対して、天体の検出を行う。 n 回の観測によりシグナル-ノイズ比は \sqrt{n} 倍改善されるため、その分暗い天体の検出が可能になる。しかし、この方法では画像に対する天体の検出を一回しか行わないため、天体の信頼性の確保が難しい。そのため、天体の信頼性を評価する方法を確立することと、信頼性が高い天体をより多く検出できるパラメータを調査することが課題となる。本研究では、星形成領域 Cepheus B 周囲 $6^\circ \times 6^\circ$ の領域をサン

プルとして用い、天体検出パラメータの最適化と信頼性確保の方法の検証を行う。最終的には全天に適用し、新しいカタログを作成する計画である。

2 Methods

天体の検出には、Source Extractor ver 2.8.6 (Bertin et al. 2000) を用いる。天体を検出する際の基本的なパラメータは threshold と N_{pix} の二つである。画像のある部分において、threshold (閾値) 以上のカウント値を持ったピクセルが、あるピクセル数 (N_{pix}) 以上隣接している場合に天体とみなす (図 1)。この threshold の値は天体候補の周りの領域で測定した、背景のノイズレベル (σ) を単位としている。本研究では threshold を $2.0 \sim 5.0\sigma$ 、 N_{pix} を 2~5 まで変化させて、その中で最適なパラメータを求める。

検出した天体の信頼性を評価するために、天体を検出した位置と同じ座標で、季節ごとのスキャン画像をスタッキングした画像に対して測光し、フラックスを再現できるかをチェックする。フラックスを再

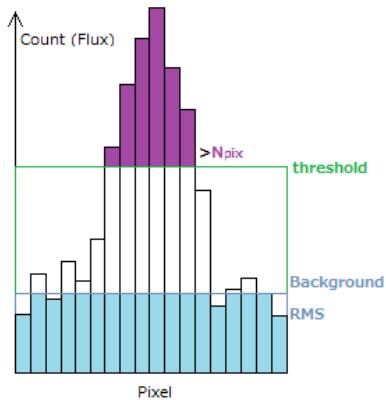


図 1: 天体検出の模式図。横軸にピクセル、縦軸にカウント数を示している。threshold 以上のカウント数を持つピクセルが一定数 (N_{pix}) 以上隣接している時に天体とみなす。

現できる場合に信頼できる検出と考え、検出天体内、信頼できる天体の割合を信頼性と定義する。

検出天体の明るさに対するヒストグラムを書き、属している検出天体の数が最大となる bin を検出限界と定義する。この bin で信頼性と検出天体数が最大となるように、threshold と N_{pix} を最適化する。

3 Results

図 2, 3 に $N_{\text{pix}} = 2$ の場合の各 threshold での検出天体の明るさに対するヒストグラムを書く。グラフから検出天体数と信頼性を評価するための検出限界を求めると、例えば threshold が 4σ では $9 \mu\text{m}$ 帯の検出限界は 0.06 Jy 程度、 $18 \mu\text{m}$ 帯の検出限界は 0.12 Jy 程度となる。

各検出パラメータでの検出限界における検出天体数とその信頼性を図 4, 5 に示す。検出天体数と信頼性が最大になるのは threshold= 4.0σ , $N_{\text{pix}}=2$ の時である。

表 1 に最適としたパラメータでの検出天体数、信頼性、検出限界の値を示す。検出天体数は同じ領域の PSC に対して 2 倍、検出限界は同じようにして求めた PSC の 2 分の 1 倍、信頼性はいずれも 95% 以上となった。このパラメータで検出した天体の分布を図 6, 7 に示す。PSC で検出できなかった目視で分

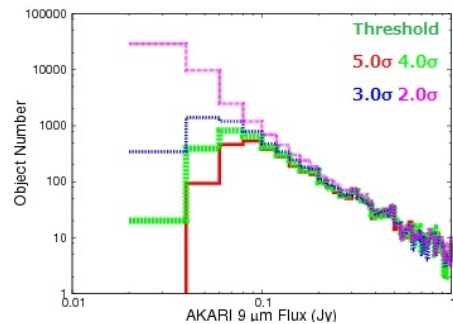


図 2: 「あかり」 $9 \mu\text{m}$ 帯で検出した天体数の明るさごとの分布。色ごとに threshold の値を変化させている。 $N_{\text{pix}} = 2$ の場合を示す。

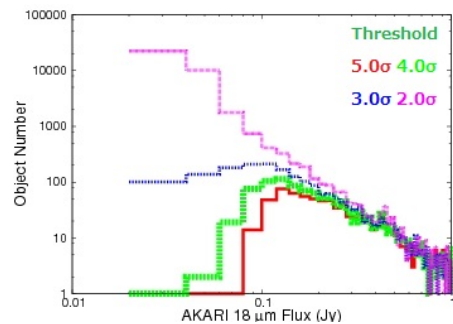


図 3: 図 2 と同じ。ただし「あかり」 $18 \mu\text{m}$ 帯に対する結果。

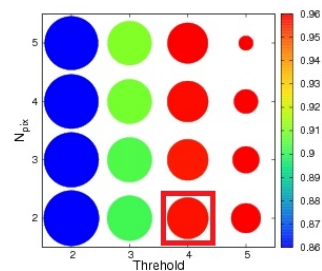


図 4: 「あかり」 $9 \mu\text{m}$ 帯において、threshold, N_{pix} のパラメータを変化させたときの信頼性と検出天体数。検出限界の bin に入る天体の信頼性をカラスケールで、検出天体数を円の大きさで表す。

かる天体を検出できている。

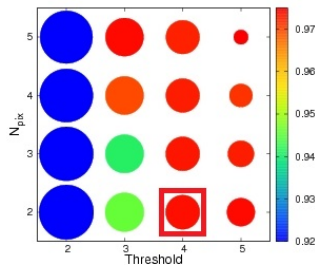


図 5: 図 4 と同じ。ただし「あかり」18 μm 帯に対する結果

表 1: 各波長帯における検出天体数、信頼性、検出限界の値

波長帯	9 μm 帯	18 μm 帯
検出天体数	4341	1266
信頼性	0.958	0.974
検出限界 (Jy)	0.06	0.12

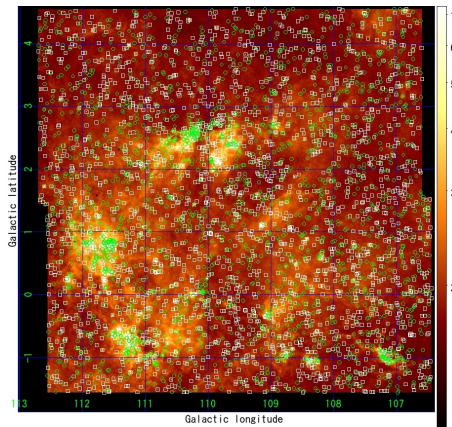


図 6: 「あかり」9 μm 帯における Cepheus B の画像に 9 μm 帯で検出した天体を重ねた。白い四角が PSC 天体、緑の丸が本研究で新しく検出した天体を示す。カラーバーの単位は MJy/sr である。

4 Discussion

最適パラメータで検出した天体の Reliability と Completeness を、リファレンスとして WISE カタログ (Wright et al. 2010) を用いて確認する。Reliability は、あるフラックスの bin において検出した天体がどれだけ WISE カタログの天体とマッチングできたかで表し、Completeness はあるフラックスの bin

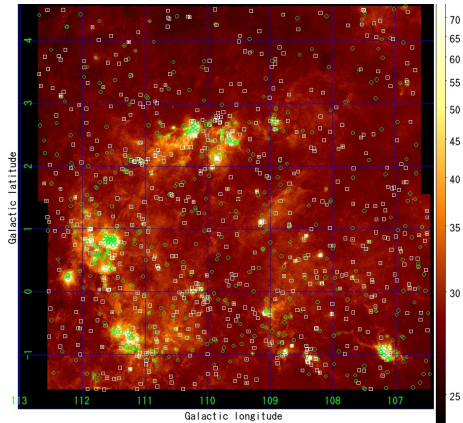


図 7: 図 6 と同じ。ただし「あかり」18 μm 帯に対する結果

において検出できるはずの WISE 天体のうち、どれだけ検出できたかで表現する。「あかり」9 μm 帯に対して WISE の 12 μm 帯 (W3 バンド)、「あかり」18 μm 帯に対して WISE の 22 μm 帯 (W4 バンド) の天体を用いる。WISE カタログとのマッチングは、距離のみで行っており、最も近い天体同士を同じ天体とみなす。

マッチングできた天体における「あかり」と WISE のフラックスの比較を図 8, 9 に示す。直線に沿って分布しているため、マッチングはうまくいっていると思われる。また、線に沿って分布しているのは星であり、「あかり」と WISE の波長帯の微妙な違いにより、それ以外の若い星やコンパクト HII 領域がその周りにばらけて分布していると考えられる。

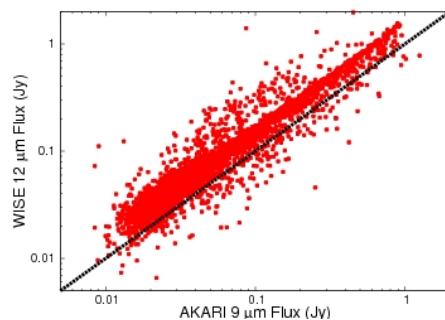


図 8: 「あかり」9 μm 帯と WISE 12 μm 帯のフラックスを比較した図。

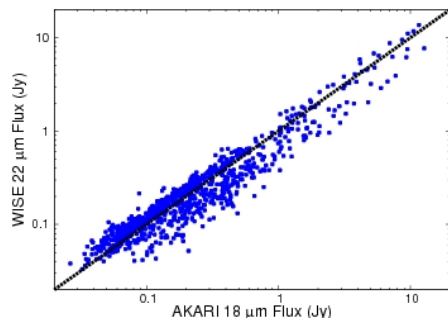


図 9: 「あかり」18 μm 帯と WISE 22 μm 帯のフラックスを比較した図。

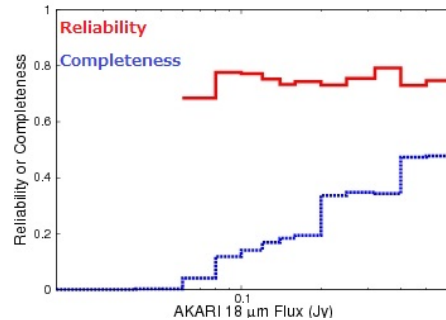


図 11: 図 8 と同じ。ただし「あかり」18 μm 帯に対する結果

図 10, 11 に WISE カタログをリファレンスとして求めた、Reliability と Completeness を示す。Completeness が低い値となっているが、両波長帯とも、リファレンスとしているカタログから広がっている天体を除くと、フラックスが高い bin では 100%に近い値となる。

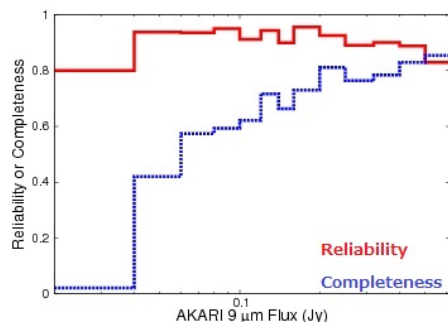


図 10: WISE カタログを利用して評価した「あかり」9 μm 帯検出天体の Reliability(赤)と Completeness(青)のフラックス依存性。

節でフラックスが再現できるかをチェックした。検出限界付近で検出天体数とその信頼性が最大になるパラメータを選んだところ、 $\text{threshold}=4.0\sigma$, $N_{\text{pix}}=2$ という結果になった。このパラメータで検出した天体は、9 μm 帯で 4341 個、18 μm 帯で 1266 個となった。検出数は「あかり」PSC の天体数と比べると約 2 倍になり、9 μm 帯の検出限界は 0.06 Jy、18 μm 帯の検出限界は 0.12 Jy となり、PSC の検出限界の約 2 分の 1 となった。今後は、背景の値が異なるいくつかの領域において、このパラメータを適用できるかを調べ、全天に対して適用し、新しいカタログを作成することを計画している。

Reference

- Bertin, E., and Arnouts, S. 2000, *A&A*, 117, 393
- Ishihara, D., et al. 2010, *A&A*, 514, A1
- Wright, E. L., et al. 2010, *AJ*, 140, 1868

5 Summery

スキャン画像の一枚一枚を独立した測定データとして扱った PSC は、天体の信頼性は高いが暗い天体を検出できていない。そこで、複数のスキャン画像を重ねあわせて作成した画像から、暗い天体を検出した。まずは星形成領域 Cepheus B を用いて、天体を検出する方法の最適化を行った。検出天体の信頼性を確認するため、季節ごとの画像を作成し、異なる季