

# AKARI FIS データを用いた系外銀河のスタック解析

岡部 泰三 (東京大学大学院 理学系研究科)

## Abstract

SDSS 銀河を中心とした AKARI 遠赤外線全天マップのスタック解析を 65, 90, 140 $\mu\text{m}$  で行う。スタック解析によって得られるダスト赤外放射のプロファイルには、中心銀河からの寄与 (シングルターム) だけでなくその銀河と空間的にクラスタリングしている銀河の寄与 (クラスタリングターム) も含まれる。そこで銀河の角度相関関数と AKARI の点拡がり関数 (Point Spread Function:PSF) をもとにした理論モデルによりプロファイルフィットを行い、各成分からの寄与を可視光等級 ( $m_r$ ) の関数として見積もった。クラスタリングタームは SDSS の角度相関関数から予測されるものと同程度であるが、さらなる定量的な説明をするには銀河の色や赤方偏移依存性を考慮に入れることが必要不可欠である。さらに AKARI の 65, 90, 140 $\mu\text{m}$  の各波長で解析を行い、ダストの赤外線放射効率をかけた修正黒体放射でフィットすることで 30K という平均ダスト温度を得た。これは個々に測定されている典型的な SDSS 銀河のダスト温度と同程度であった。

## 1 Introduction

ダストは銀河形成及び銀河の化学進化を調べる上で重要な情報を持つ。ダストは星生成活動と関連する紫外光及び可視光を吸収散乱し、星からの光のおよそ半分を赤外線です再放射する (Lutz 2014)。

しかしながら赤外線での観測における制限から赤外線です非常に明るい銀河を除いて、個々の銀河からの赤外線放射を検出するのは非常に難しい。そしてそれらのサンプルは赤外線が明るい銀河を見ている点で、必然的にバイアスされたものになってしまう。そこでよりバイアスの少ない形で銀河からの赤外線放射を特徴付けるために、統計的な検出をおこなうスタック解析が有用となる。

実際、Kashiwagi, Yahata, & Suto. (2013) (以下 KYS13) は SDSS 銀河 (York et al. 2000) を中心として Schlegel, Finkbeiner, Davis の三者によって作成されたダスト減光マップ (Schlegel, et al. 1998, hereafter SFD) をスタックしている。SFD マップは赤外線衛星 IRAS(100 $\mu\text{m}$ ) と COBE による二つのデータを基に作成されており、基本的には赤外線の強度マップとなっている。KYS13 はもともと SFD マップに存在するアノマリー (Yahata et al. 2007; Kashiwagi et al. 2015) を、銀河からの赤外線放射で説明することを目標としていた。結果として彼らは銀河からの赤外線放射を統計的に検出することに成功した。し

かし IRAS の分解能は悪く (FWHM  $\sim 6'$ ) さらなる定量的な解析をすることは困難であった。

そこで本研究では AKARI に搭載された、観測器 Far-Infrared Surveyor (FIS) による遠赤外線全天マップを用いて同様のスタック解析を行う。AKARI の分解能は IRAS に比べて 6 倍程度改善されており (FWHM  $\sim 1'$ )、より定量的な解析を行うことができるようになった。また 65, 90, 140 $\mu\text{m}$  の各波長でそれぞれ解析を行い、修正黒体放射でフィッティングすることによってダスト温度を求めることも可能になった。

## 2 Data:

### SDSS DR7 and AKARI FIS

本研究では可視光サーベイである SDSS の DR7 データ (Abazajian et al. 2009) と、赤外線衛星 AKARI (Kawada et al. 2007) に搭載された FIS によるデータを用いる。

FIS は 65, 90, 140, 160 $\mu\text{m}$  に観測波長帯を持っており、その全天マップからは黄道光は Gorjian, Wright, & Chary (2000) に従って差し引かれており、0 点の較正は COBE/DIRBE データを用いて行われている (Takita et al. 2015)。点拡がり関数 (Point Spread Function: PSF) は Cohen et al. (1999) による標準

星をスタックして測定されており、FWHM にしておよそ  $1'$  である (Arimatsu et al. 2014)。

銀河は可視光サーベイである SDSS の DR7 から選んだ。SDSS で銀河と特定された “GALAXY” の中でも、信頼性の低いものは全て取り除いて解析には用いなかった (Yahata et al. 2007)。また銀河の可視光等級は銀河と星の分離が良い精度で行うことができる  $15.5 < m_r < 20.5$  に制限してそれ以外は用いなかった。結果としておよそ  $10^7$  個の銀河をスタックに用いた。

### 3 Results

実際に SDSS 銀河を AKARI マップでスタックした結果を図 1 に示す。SDSS 銀河を中心として、 $20'' \times 20''$  の領域を AKARI のスキャン方向を上にしてスタックした。200MJy/sr 以上の非常に明るい銀河を含む領域はスタックしなかった。また系内銀河および、黄道光の引き残りからくるフォアグラウンドは、別途テンプレートを作成し差し引いた。

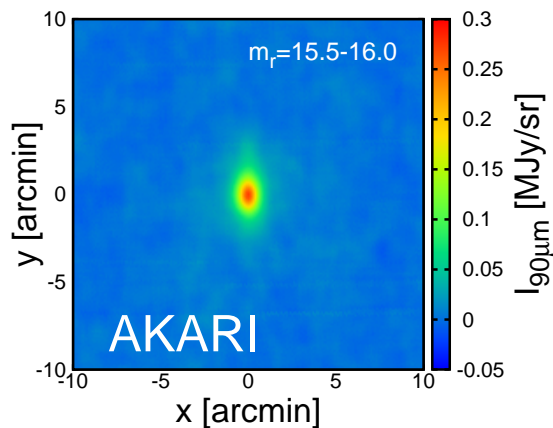


図 1: AKARI による SDSS 銀河 ( $15.5 < m_r < 16.0$ ) のスタック結果。SDSS 銀河を中心として、 $20'' \times 20''$  の領域を AKARI のスキャン方向を上にしてスタックした。系内銀河ダスト、黄道光の引き残りからくるフォアグラウンドは取り除いている。

次に  $15.5 < m_r < 20.5$  を 10 個のビンにわけそれぞれで同様のスタックを行った。その後 KYS13 で採用されているモデルフィッティングを行うことで、このシグナルを (1) 中心銀河からの寄与 (シングル

ターム) と (2) その銀河と空間的にクラスタリングしている銀河の寄与 (クラスタリングターム) の二つに分離した。結果を図 2 に示す。赤と青のシンボルがフィットにより得られたそれぞれシングルターム、クラスタリングタームを表す。赤のラインはシンボルをべきでフィットしたものであり、エラーバーは 1000 サブサンプルにわけてジャックナイフ法を用いてつけている。

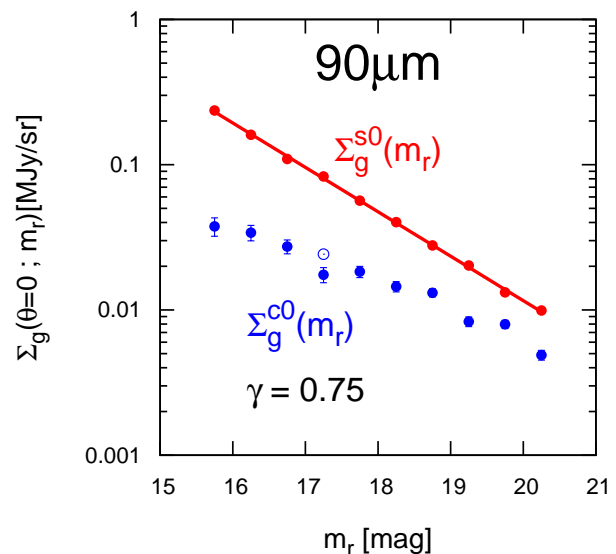


図 2: 可視光等級 ( $m_r$ ) に対する赤外線放射の各寄与。赤と青のシンボルがフィットにより得られたそれぞれシングルターム、クラスタリングタームを表す。エラーバーは 1000 サブサンプルにわけてジャックナイフ法を用いてつけている。

これを見るとシングルタームからの寄与をより正確に捉えることができているとわかる。KYS13 では IRAS の分解能が悪いせいで、クラスタリングタームに埋もれたシングルタームを検出するのが難しかった。これは AKARI の分解能のおかげであると言える。

## 4 Discussion

### 4.1 Clustering Term Predicted from SDSS Galaxies

クラスタリングタームは SDSS の角度相関関数のデータを用いることで、そのうちの SDSS 銀河からの寄与を計算することができる。結果を図 3 に示す。黒のシンボルがスタックから求めたもの、黒線が角度相関関数が図られている  $15.5 < m_r < 20.5$  を用いて計算したものをそれぞれ表している。

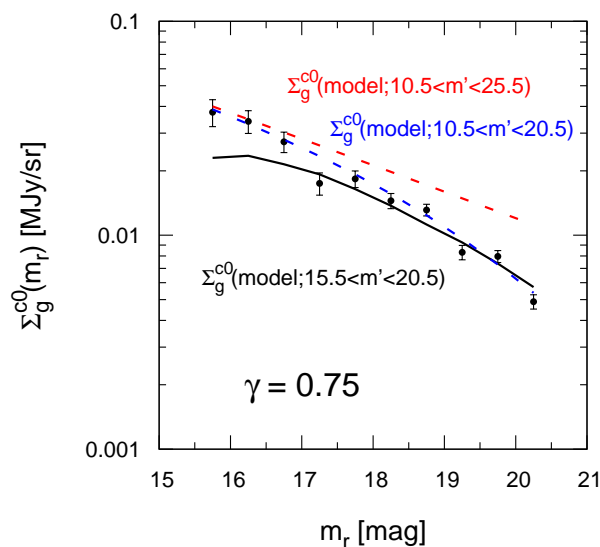


図 3: クラスタリングタームのうち SDSS 銀河からの寄与。黒のシンボルがスタックから求めたもの。黒線が角度相関関数が図られている  $15.5 < m_r < 20.5$  を用いて計算したものを。赤と青の線は  $m_r$  を外挿して計算したものを。

この図を見るとスタックから求めたクラスタリングタームは、SDSS 銀河からの寄与でほぼ説明できていることがわかる。そればかりか  $m_r$  を外挿した結果 (赤線) を見ると、SDSS からの寄与がスタック結果を上回っている。これは銀河を色や赤方偏移に分けて、さらなる定量的な解析を行う必要があることを示している。

### 4.2 Mean Dust Temperature of SDSS Galaxies

AKARI の 65, 90, 140 $\mu\text{m}$  の各波長で解析を行い、それぞれの波長で銀河のフラックスを求めることで、スペクトルエネルギー分布 (Spectral Energy Distribution: SED) を計算した。結果を図 4 に示す (黒のソリッドシンボル)。

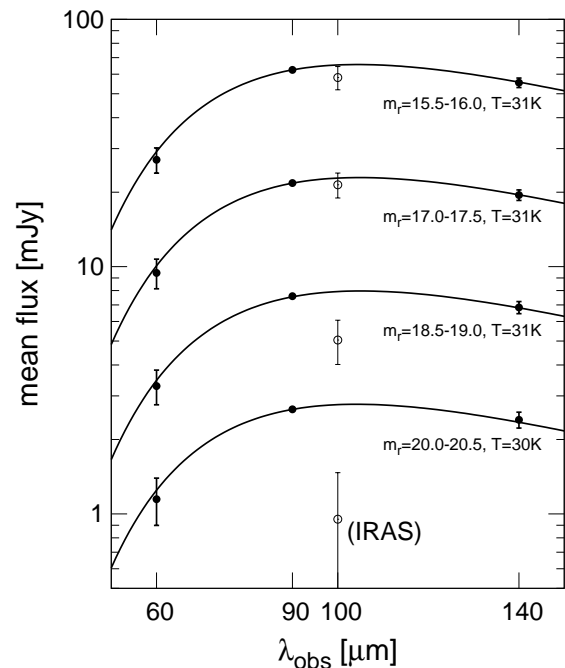


図 4: スタック解析によって求めた、SDSS 銀河の赤外線領域におけるスペクトルエネルギー分布 (Spectral Energy Distribution: SED)。黒線は修正黒体放射でフィットしたもの。

これをダストの赤外線放射効率をかけた修正黒体放射でフィットすることで 30K という平均ダスト温度を得た。これは個々に測定されている典型的な SDSS 銀河のダスト温度と同程度であった (Hwang et al. 2010)。ただしここでも銀河の赤方偏移は無視しているため、将来的にはそれらの影響も考慮する必要がある。

## 5 Summary and Conclusion

AKARIによる赤外線全天マップを用いて、SDSS 銀河をスタックした。これによって  $90\mu\text{m}$  において  $\sim 3\text{mJy}$  までの銀河からの赤外線放射を、統計的に検出することに成功した。スタックで得られたシグナルを中心銀河からの寄与と中心銀河に付随する寄与の二つに分解したところ、分解能の改善により中心銀河からの寄与を正しく見積もれることがわかった。またスタックから求めたクラスタリングタームは SDSS 銀河からの寄与でほぼ説明でき、さらなる定量的な解析には銀河の色や赤方偏移を考慮する必要があることを示唆している。また  $65, 90, 140\mu\text{m}$  で解析を繰り返すことで銀河の平均ダスト温度を求めた。結果は  $30\text{K}$  で個々に測定されている SDSS 銀河のダスト温度と同程度であった。

## Acknowledgement

東京大学リーディング大学院 (ALPS) からのご支援に感謝いたします。

## Reference

Abazajian, K., et al. 2009, ApJS, 182, 543

Arimatsu, K., Doi, Y., Wada, T., Takita, S., Kawada, M., Matsuura, S., Ootsubo, T., & Kataza, H. 2014, PASJ, 66, 47

Cohen, M., Walker, R. G., Carter, B., Hammersley, P., Kidger, M., & Noguchi, K. 1999, AJ, 117, 1864

Connolly, A. J., et al. 2002, ApJ, 579, 42

Dodelson, S., et al. 2002, ApJ, 572, 140

Doi, Y., et al. 2015 PASJ, 67, 50

Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J. E., Doi, M., Shimasaku, K. & Schneider, D. P. 1996, AJ, 111, 1748

Gorjina, V., Wright, E. L., & Chary, R. R. 2000 ApJ, 536, 550

Gunn, J. E., et al. 1998, AJ, 116, 3040

Gunn, J. E., et al. 2006, AJ, 131, 2332

Hogg, D. W., Finkbeiner, D. P., Schlegel, D. J. & Gunn, J. E. 2001, AJ, 122, 2129

Hwang, H. S., et al. 2010, MNRAS, 409, 75

Ivezić, Ž., et al. 2004, Astronomische Nachrichten, 325, 583

Kashiwagi, T., Yahata, K., & Suto, Y. 2013 PASJ, 65, 43 (KYS13)

Kashiwagi, T., Suto, Y., Taruya, A., Kayo, I., Nishimichi, T., & Yahata, K. 2015 ApJ, 799, 132

Kashiwagi, T., & Suto, Y. 2015 MNRAS, 451, 4162.

Kawada, M., et al. 2007, PASJ, 59, 389

Lutz, D. 2014, ARA&A, 52, 373

Matsuura, S., et al. 2010, ApJ, 737, 2

Menard, B., Scranton, R., Fukugita, M., & Richards, G. 2010, MNRAS, 405, 1025

Murakami, H., et al. 2007, PASJ, 59, 369

Padmanabhan, N., et al. 2008, ApJ, 674, 1217

Pier, J. R., Munn, J. A., Hindsley, R. B., Hennessy, G. S., Kent, S. M., Lupton, R. H., & Ivezić, Ž. 2003, AJ, 125, 1559

Rowlands, K., et al. 2012, MNRAS, 419, 2545

Schlegel, D., Finkbeiner, D., & Davis, M. 1998 AJ, 500, 525

Scranton, R., et al. 2002, ApJ, 579, 48

Skibba, R. A., et al. 2009, MNRAS, 317, 55

Smith, J. A., et al. 2002, AJ, 123, 2121

Smith, M.W.L., et al. 2012, ApJ, 748, 123

Stoughton, C., et al. 2002, AJ, 123, 485

Takita, S. et al. 2015 PASJ, 67, 51

Tucker, D. L., et al. 2006, Astronomische Nachrichten, 327 821

Yahata, K., Yonehara, A., Suto, Y., Turner, E.L., Broadhurst, T., & Finkbeiner, D. 2007, PASJ, 59, 205

Yasuda, N., et al. 2001, AJ, 122, 1104

York, D. G., et al. 2000, AJ, 120, 1579