

論文内容の要旨

論文題目: **Stacking image analysis of SDSS galaxies in far-infrared and its implications for the Galactic extinction map**
(遠赤外領域における SDSS 銀河のスタック解析と
銀河系減光地図への示唆)

氏名 柏木 俊哉

銀河系外から来る光は、銀河系内のダスト粒子によって散乱および吸収を受けるため、実際よりも暗く観測される。この現象は銀河系ダスト減光と呼ばれ、特に紫外から近赤外域でその効果が顕著である。銀河系天体の本来の明るさや色といったごく基本的な物理量は、あらかじめ銀河系ダスト減光の大きさを求め、これを補正してはじめて正しく知ることができる。そのため、銀河系ダスト減光地図は近赤外天文学における最も重要なデータの一つとなっている。

現在最も広く用いられている銀河系減光地図は、Schlegel, Finkbeiner, & Davies (1998、以下 SFD と表記) によって作成されたものである。しかし、SFD 地図は IRAS (Infrared Astronomical Satellite) によって測定された遠赤外領域のダスト放射量を元に作られており、ダスト減光を直接測定して得られたものではない。SFD はいくつかの仮定の下でダスト放射量から減光量の推定を行っており、その正当性は他の独立な観測結果との比較により検証する必要がある。

Yahata et al. (2007) は Sloan Digital Sky Survey Fourth Data Release (以下、SDSS DR4 と表記) の測光銀河カタログを用いて、SFD 地図の検証を行った。彼らは SDSS の観測領域を SFD 地図の減光量 A_{SFD} に応じて分割し、各領域で測定した SDSS 銀河の個数面密度 S_{gal} と A_{SFD} を比較した。SFD 地図の減光量が正しければ、 S_{gal} は A_{SFD} の大きい領域ほど減少するはずである。また SFD 地図を用いて銀河の等級を減光補正した上で個数面密度を測定すると、 S_{gal} は A_{SFD} によらず一定になると期待される。彼らの解析結果は、 r バンド減光量が 0.1 等より大きい領域においては期待通りの振る舞いを示したものの、減光量が 0.1 等より小さい領域では A_{SFD} の増加に伴って S_{gal} も増加するという、予想とは正反対のものであった。このことは、SFD 地図に何らかの系統誤差があることを示している。

SFD 地図は本質的には遠赤外放射の地図である。したがって、上記の解析で見られた S_{gal} と A_{SFD} の正の相関は、 S_{gal} とダスト減光量の相関としてだけではなく、 S_{gal} と遠赤外放射量の相関としても解釈することができる。このことから Yahata et al. (2007) は、銀河からの遠赤外光がダストによる放射として SFD 地図に混入していることが、SFD 地図に含まれている系統誤差の起源であるという仮説を提案している。ただし、SDSS 銀河の大部分は個々にその遠赤外光を検出することはできないため、彼らは SDSS 銀河の遠赤外光が SFD 地図に含まれていることを直接示したわけではない。また、銀河の遠赤外光に起因する系統誤差によって、銀河個数面密度の振る舞いがどの程度説明されるかについて、定量的な検証はなされていなかった。

本論文の 4 章では、SDSS DR7 の測光銀河を中心として SFD 地図をスタックすることにより、SFD 地図に混入した SDSS 銀河の遠赤外光を直接検出した。IRAS で検出された明るい銀河の寄与はすでに SFD 地図から差し引かれているため、ほとんどの SDSS 銀河の遠赤外光は個々には SFD 地図上で分解できない。しかし、可視域サーベイである SDSS は IRAS に比べて非常に深い感度を持つため、SDSS で分解された多数の銀河に対してスタック解析を行うことで、SDSS

銀河の平均的な遠赤外放射量を検出することができる。実際に、スタック解析の結果は SDSS 銀河の位置をピークに持つ、シグナル・ノイズ比にして 23 以上の明確なシグナルを示し、確かに SDSS 銀河の遠赤外放射が SFD 地図に含まれていることが確認された。また、SDSS 銀河の放射光の寄与は、SFD 地図の r バンド減光量に換算して 0.1 から 1 ミリ等級程度であり、この値は Yahata et al. (2007) の議論によるオーダー評価と整合している。

さらに 5 章では、スタック解析により測定された程度の SDSS 銀河の遠赤外放射が SFD 地図に混入することによって、銀河個数面密度の振る舞いが定量的に説明されるかを調べた。初めに我々は、SDSS DR7 の銀河カタログを用いて Yahata et al. (2007) と同様の銀河個数面密度の測定を行い、 S_{gal} と A_{SFD} の正の相関をより有意に確認した。

次に、SDSS 銀河の遠赤外光度と可視光度の比 (y) が対数正規分布に従うと仮定し、その平均と分散をモデルパラメータとして、SDSS 銀河の遠赤外光が減光地図に混入したときの銀河個数面密度の振る舞いを数値的・解析的手法により計算した。さらにこのモデル計算と、SDSS DR7 銀河の S_{gal} を比較し、観測結果を最も良く再現する y の平均・分散値を求めることで、 S_{gal} と A_{SFD} の正の相関を定量的に説明するために必要な SDSS 銀河の遠赤外放射量を制限した。得られた制限値は、スタック解析により直接測定した値と整合的であった。このことから我々は、Yahata et al. (2007) で提案された銀河遠赤外放射の混入という仮説によって、SFD 地図の系統誤差を定量的に説明し得ると結論した。

我々はさらに、上記の解析で得られた y の平均値を用いて各々の SDSS 銀河の遠赤外放射量を推定し、SFD 地図から直接差し引くことで、より正確な減光地図を作成することを試みた。しかし、この方法で補正した SFD 地図を用いて銀河個数面密度の測定を再度行ったところ、銀河個数面密度の振る舞いは大きくは改善しないことが分かった。この主な原因の一つには、我々の補正方法では銀河の形態や赤方偏移などに対する銀河遠赤外放射量の依存性を無視していることが考えられる。

最後に 6 章では、スタック解析を用いて、系外銀河に付随したダストの空間分布に対して示唆を与える方法を提案した。

ダスト粒子は主に星の進化過程で生成されるため、典型的には銀河円盤スケール内の星間空間に分布していると考えられる。しかし、Ménard et al. (2010、以下 MSFR と表記) は SDSS 銀河の空間分布と遠方クエーサーの色の角度相関を測定することにより、SDSS 銀河からおおよそ 10Mpc の大スケールにわたってクエーサーのダスト減光が起きていることを発見した。このスケールは典型的な銀河円盤のサイズを大きく超えており、銀河の星間空間からダストが放出され、銀河間空間にまで広く拡散していると考えるのが MSFR の結果に対する最も簡潔な解釈である。

我々は MSFR と同じ銀河サンプルに対してスタック解析を行い、SDSS 銀河を中心とした遠赤外放射のプロファイルを測定した。さらに我々が測定した遠赤外放射量と、MSFR が測定したダスト減光量の比を求め、銀河系における標準的なダスト組成モデルを採用することで、ダスト温度について $18 \pm 1 \text{ K}$ の制限値を得た。この値は典型的な星間ダストの温度に近いことから、MSFR によって測定されたダスト減光は、銀河間空間に広がったダストというよりもむしろ、銀河内の星間ダストが銀河同士の空間的相関により統計的に重なり合ったものとしても同等に説明できる可能性を示している。