

遠赤外線天文衛星 AKARI によるデータを用いたダストマップ作成

梨本 真志 (東北大学大学院 理学研究科)

Abstract

AKARI 全天データを利用し、銀河系内に広く分布するダストの全天マップを作成をする。銀河系内のダストマップとして Schlegel、Finkbeiner、Davis (SFD) によって 1998 年に発表されていたものや、Compiègne らによる DustEM などが広く知られているが、これらモデルのような既存モデルとの差別化のため、ダスト粒子サイズごとの温度進化をストカスティックに追って調べることにより、新たなダストモデルとして改良した。このモデルを基に AKARI データをフィッティングし、星間輻射場 (ISRF) 強度分布、ダスト柱密度分布マップを作成する。

以上のように作られたダストマップを宇宙論に繋げることが本研究の目指すところである。

1 Introduction

BICEP2 による原始重力波起源である宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) B モード偏光の発見が騒がれたが、これはダストによるものだという決着に落ち着いたのは記憶に新しい。このことから銀河系内のダストについて理解を深め、前景放射を正確に除去していくことが CMB の観測、ひいては初期宇宙の理解において重要な役割を担うことは言うまでもない。

時期を同じくして、昨年末、日本の遠赤外線天文衛星「AKARI」が観測した全天の遠赤外線データが公開された。IRAS 以来 21 年ぶりに刷新される遠赤外線での全天観測画像は、IRAS に比べ十倍程度の高い解像度を誇り、また IRAS では観測されなかった $100\mu\text{m}$ より長い波長帯を新たに観測することで、ダストについてより詳細な情報が得られることとなった。本研究では AKARI によって得られたこの詳細な遠赤外線データを用いて、全天でのダスト柱密度分布マップの作成を目指す。

本研究発表ではデータフィッティングの基となるダストモデルについて紹介する。さらに現段階での進捗状況、問題点をまとめ、今後の研究目標について述べる。

2 Methods

以下ではダストマップ作成にあたり用いる手法について述べる。

2.1 ダスト温度

まずダストのサイズごとの温度を求める。星間輻射場 (InterStellar Radiation Field: ISRF) からの光子がダストに衝突することで、光子の持つエネルギーがダストの熱エネルギーへと変わり、ダストが温度上昇する。温度上昇したダストは次の瞬間から放射し徐々に冷却されていく。次に光子が衝突し再度エネルギーが吸収されることで、衝突時にダストが持つエネルギーに光子の持つエネルギーが加算され新たな温度となる。この衝突、温度上昇、放射冷却のサイクルを長時間にわたってシミュレートすることで求まるダストのスペクトルの重ね合わせを熱放射のスペクトルとする。

ダスト温度を求める大筋は上述の通りであり、以下では具体的な計算過程について述べる。計算していくにあたりダストに関して以下の仮定を前提とする。

- ダストは半径 a の球体
- ダストは格子構造を持ったフォノン
- 放射、吸収に関しておおよそ黒体のように振る舞い、黒体からのズレを吸収係数で表す

- 放射係数と吸収係数は同値

光子が衝突して上昇する温度は光子のエネルギーとフォノンの内部エネルギーの増加分が等しくなるということから、

$$h\nu_{\text{ISRF}} = \frac{3}{5}\pi^4 N k_B \Delta T \left(\frac{\Delta T}{\Theta_D} \right)^3 \quad (1)$$

N はダストを構成する分子の粒子数、 Θ_D はデバイ温度である。上式を上昇温度 ΔT について解くと、

$$\Delta T = \left(\frac{5l^3 \Theta_D^3 \hbar c}{2\pi^4 a^3 k_B \lambda_{\text{ISRF}}} \right)^{1/4} \quad (2)$$

ここで l は格子定数であり、 $N = (4/3\pi a^3)/l^3$ として N を書き換えた。ダストを構成する分子を決めれば Θ_D 、 l は一意に決まるので、 a 、 λ_{ISRF} の 2 つのパラメータで ΔT を求めることができる。

次に放射冷却に関してだが、ダストは黒体放射から吸収係数分の補正を加えた放射をしていると考えられるので、プランク関数に吸収係数 Q_{abs} を掛けたものとダストの内部エネルギーの時間変化が等しくなるということから、

$$\begin{aligned} -\pi \int d\nu \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{Q_{\text{abs}}(a, \nu)}{\exp[h\nu/k_B T] - 1} 4\pi a^2 \\ = \frac{d}{dt} \left(\frac{3}{5}\pi^4 N k_B T \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 \right) \end{aligned} \quad (3)$$

左辺の負符号は放射によるエネルギー減少を、 π は放射の等方性を、 $4\pi a^2$ はダスト表面全体からの放射をそれぞれ表している。 Q_{abs} の周波数依存性を考慮し、ダスト温度をダストサイズごとの時間の関数として数値解を求める。

最後にどのくらいのエネルギーを持つ光子がどのくらいの時間間隔で衝突するのかを考える。単位時間当たりにダストの衝突する光子数 n_{ISRF} は以下の式で求めることができる。

$$n_{\text{ISRF}} = \frac{u_{\text{ISRF}} \times c \times \pi a^2}{h\nu_{\text{ISRF}}} \quad (4)$$

u_{ISRF} は ISRF のエネルギー密度である。時間間隔 dt を十分小さくにとって上式に掛けた $n_{\text{ISRF}} dt$ を光子がダストに吸収される確率分布関数とみなす。この確率分布関数を使ってモンテ・カルロシミュレーションを行うことで衝突過程を追う。

2.2 フィットティング

各 sky pixel 毎に ISRF の強度はその視線方向で一定だと仮定する。ISRF 強度とダストの柱密度をパラメータとして AKARI の持つ 65、90、140、160 μm の 4 バンドでフィッティングすることで ISRF 強度分布、ダスト柱密度分布マップを作成する。

3 これまでの研究と問題点

現状、研究が進んでいるのはダスト温度を求めるスペクトル作成の段階までである。ここまで計算を進めていく中で Q_{abs} の解釈を「衝突した光子のエネルギーの Q_{abs} 割が吸収される」としてではなく、「衝突した Q_{abs} 割の個数の光子がもれなくエネルギーを吸収される」としてきた。この解釈の違いによって (1) 式に Q_{abs} を掛けるべきか否かが決まってくるため検討が必要である。

また新たに作成したこのスペクトルの妥当性は十分に検証されなければならない。DustEM などの既存のものとの比較し、真に正しいスペクトルを描けているのか検証する必要がある。

4 今後の研究目標

上述した通り、スペクトルの検証がまだ進んでいないので、今後はまず DustEM との結果の比較を行い、ストカスティックに求めた自身のスペクトルの有効性について吟味していきたい。

スペクトルの検証が済んだ段階で AKARI データのフィッティングを行なっていく訳だが、本研究はダストマップ作成がゴールではなく、このダストマップを宇宙論理解のために活用することが目的である。具体的に考えているものとしては BICEP2 データとの比較・検証し、現在棄却されてしまった CMB B モード偏光についての再考、またその他 CMB 観測に対する前景放射除去としての活用することである。またダスト分布自体が初期宇宙論理解の一助となる可能性は十分ある。様々なデータと相関を取ることで何か見えてくるのではないかと期待している。

2015 年度 第 45 回 天文・天体物理若手夏の学校

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。