

遠赤外背景放射の観測

松本 敏雄*・早川 幸男*・村上 浩・松尾 宏*
佐藤 紳司*・A. E. Lange**・P. L. Richards**

Observation of the far-infrared background radiation

By

Toshio MATSUMOTO, Satio HAYAKAWA, Hiroshi MURAKAMI,
Hiroshi MATSUO, Shinji SATO, Andrew E. Lange, Paul L. Richards

Abstract: The result of the observation of the far-infrared background with the submillimeter radiometer onboard a K-9 M-80 rocket is presented, focusing on the short wavelength channels. It is found that the surface brightness in the 102, 137, and 262 μm bands shows a clear correlation with the column density of galactic neutral hydrogen. At 102 μm , the observed surface brightness can be explained with the sum of this galactic emission, that is, the thermal emission of the interstellar dust and the thermal emission of the interplanetary dust. At 137 μm , there remains an isotropic emission component, however, its origin is not certain yet.

概 要

K-9 M-80号機に搭載したサブミリメートル放射計の観測結果について、特に短波長側に重点をおいて報告する。102 μm 、137 μm 、262 μm の3つの波長帯での表面輝度の空間分布が銀河系内の中性水素の柱密度とよい相関があることが見出された。102 μm 帯ではこの銀河成分—星間塵の熱放射成分—と惑星間空間塵の熱放射成分によって観測値を説明できる。137 μm 帯ではこれ以外に一様に広がった放射成分が残るが、その起源については今のところ不明である。

* 名古屋大学理学部.

** カリフォルニア大学.

1. はじめに

1989年2月に打ち上げられた観測ロケット K-9 M-80 号機に我々はサブミリ波放射計を搭載し、視野 7.6° で波長 $100\mu\text{m}$ から 1mm までの6つの波長域での空の表面輝度を測定した。図1に観測された空の領域での平均的表面輝度を示す。長波長側の3つの波長帯(ch. 1, 2, 3)では宇宙背景放射から期待される 2.74K の黒体放射より空が明るいことが一つの特徴である[1]。一方短波長側の三つの波長帯(ch. 4, 5, 6)は銀河系内の星間空間塵の熱放射から予想されるスペクトルと定性的に一致する。図1に於ては塵の温度 $\sim 20\text{K}$ 、塵の放射率が波長の2乗に反比例する場合について予想されるスペクトルが実線で示されている。長波長側でのスペクトル、その黒体からのずれについては既に報告をしているので、ここでは主として最近明らかになった短波長側の放射成分の起源について報告する。

2. 表面輝度の空間分布, スペクトル

図1は空の平均的明るさであるが、観測中放射計はロケットのプリセッションに応じて空のスキャンを行なっている。スキャンされた空は天頂を通る半径 $15.7^\circ \pm 1^\circ$ の円周上であり、その中心は銀河座標(l, b)で表わすと

$$l = 203.2 \pm 15^\circ, b = 34.9 \pm 1.5^\circ$$

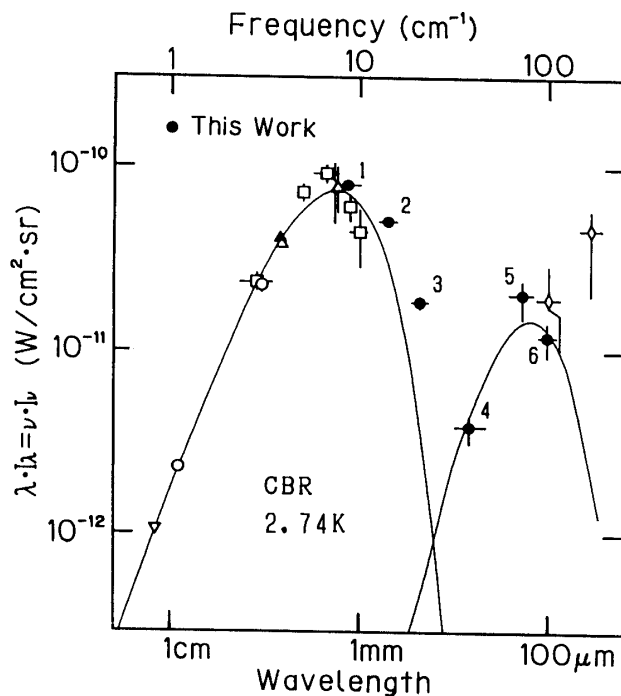


図1 K-9 M-80 号機によって観測された空の表面輝度の平均値を示す。黒丸が我々の観測であり数字はチャンネル番号を表わす。

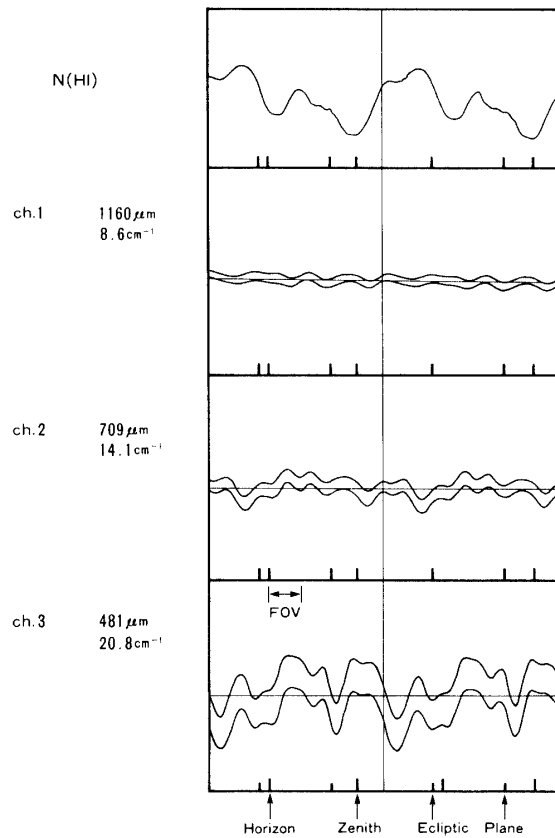


図2 長波長側の3つのチャンネルについて、プリセッション周期ごとに重ね合わせた結果を示す。一番上の図は銀河内の中性水素の柱密度, $N(\text{HI})$ を示している。データの幅は検出器の雑音を表わし、系統誤差は含まれていない。天頂、地平線に一番近づいた点、黄直面を横切る点、ビームの大きさ(FOV)が示されている。

であった。

プリセッションの周期は約10秒であったため、信号が安定に得られている期間について信号を重ね合わせ、その空間分布を求めた。又銀河内の物質との相関を見るため、視線方向での中性水素の柱密度, $N(\text{HI})$, を求めてこれと比較した。図2は長波長側の3つの波長帯についての結果を示したものでプリセッション周期2回分を表わしている。図中、データにつけられている幅は統計誤差—検出器の雑音を示しており、系統誤差は含まれていない。図2からわかるように観測された空の表面輝度は、ほぼ検出器の雑音のゆらぎの範囲内であり、 $N(\text{HI})$ 、地平線座標、黄道座標、等との相関はみられない。これはこの3つの波長帯の表面輝度が宇宙論的起源であることを意味している。

図3に短波長側の3つの波長帯について図2と同様な処理をした結果を示す。明らかに図2と異なって、 $N(\text{HI})$ との強い相関があることがわかる。これは星間塵が中性水素の量

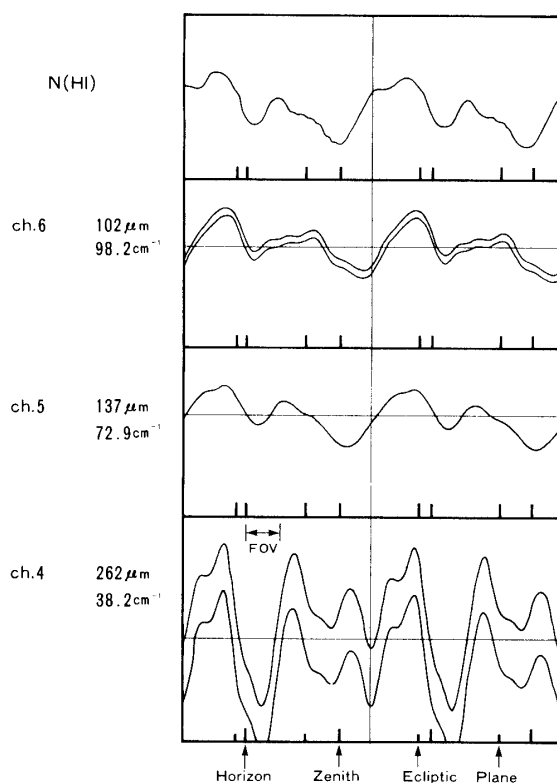


図3 図2と同様なものを短波長側の3つのチャンネルについて示した。

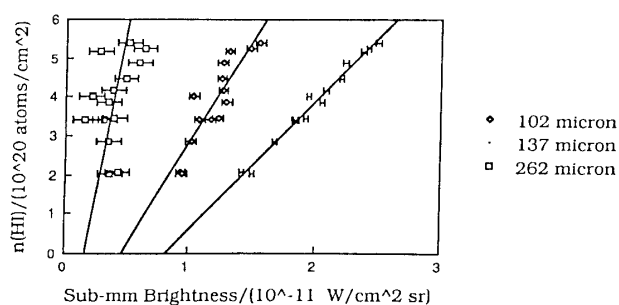


図4 短波長側の3つのチャンネルについて中性水素の柱密度と表面輝度の相関を示す。

に対して常に一定の割合で星間空間に存在していることを示唆し、これまでの諸観測とも矛盾しない。これをより定量的に示すために $N(\text{HI})$ と表面輝度との相関図を図4に示す。ch.5と6では相関がよく直線で近似できる。ch.4はS/Nが十分ではないためそれほどはっきりはしていないが相関があることは確かである。この3つの波長帯について観測された表面輝度中の銀河成分(星間塵の熱放射)が中性水素の柱密度, $N(\text{HI})$, に比例すると

表1 $I_\nu/N(\text{HI})$ ($\text{MJy}^{-1}\text{sr}^{-1}/10^{20}\text{H}$)

K-9M-80		
ch. 6 ($102\mu\text{m}$)	ch. 5 ($137\mu\text{m}$)	ch. 4 ($262\mu\text{m}$)
0.65 ± 0.14	1.4 ± 0.3	0.5 ± 0.25
IRAS ($100\mu\text{m}$)		
0.64 ± 0.11	Terebey and Fich	$l \sim 125^\circ, b < 10^\circ$
0.42 ± 0.08	''	$l \sim 215^\circ, b < 10^\circ$
1.4 ± 0.2	Boulager and Perault	$27.5^\circ < b < 32.5^\circ$
1.1 ± 0.1	''	$-32.5^\circ < b < -27.5^\circ$
0.92 ± 0.14	''	$b > 50^\circ$
0.79 ± 0.06	''	$b < -50^\circ$

仮定するとその比を求めることができる。図4の直線はその結果であり、表1は $I_\nu/N(\text{HI})$ の値を示している。又、これから観測された表面輝度の中で銀河成分がどれだけの部分を占めるかを知ることができる。得られた結果は、塵の温度 $T_d \sim 19 \pm 3 \text{ K}$ 、塵の放射率 $\epsilon \propto \lambda^{-2}$ とすると観測値をよく再現できることがわかった。この結果は塵の量が中性水素の量に比例するだけでなく、塵をあたためる放射場が高銀緯で極めて一様であることを示している。

赤外天文衛星 IRAS も同様な観測を行っており、中性水素の柱密度と赤外表面輝度との間に相関があることは既に知られていた。100 μ での最近の結果を表1に示す。Terebey and Fich[2]は我々の結果とよく一致しているが、Boulager and Perault[3]の値は我々よりかなり大きく、又方向によって値がばらついているのが特徴的である。今後のもっと広い空の領域での観測が望まれる。

観測された表面輝度の中で銀河成分以外のものを次に考える。図4で明らかなように $I_\nu/N(\text{HI})$ を一定とした時にデータ点をフィットした直線は原点を通らない。これは銀河成分以外にかなり一様な放射成分が存在していることを意味する。その一つは惑星間空間塵からの熱放射成分である。図4に於てch.5とch.6は直線からデータ点がゆらいでいるが、そのゆらぎには明らかに相関がある。このゆらぎはch.6の一様成分を全て惑星間空間塵の熱放射とし、グレイ・ボディーのレーリー・ジーンズ側のスペクトルとした時によく説明できる。

ch.6はこのように既知の放射成分で観測された表面輝度の全てを説明することが可能であるがch.5については事情が異なる。惑星間空間塵の熱放射成分は10 μm 付近にそのピークを持ち、長波長側ではレーリー・ジーンズ則に従って急激にその放射率が減少するため、ch.5への影響が小さくなる。この結果、ch.5には既知の放射成分では説明できない一様成分がどうしても残ってしまう。

ch.4はS/Nが悪いため、ch.5や6への様な解析はできないが一様成分についての上限值を求めることができる。この値は長波長側からの宇宙背景放射の寄与について上限値を与えるものであり、スペクトルのゆがみを説明するモデルに於て重要な役割りを果たす。

表2 短波長側の3チャンネルについて観測された空の平均的表面輝度を各成分に分離した結果を示す。
単位は $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

	ch. 4	ch. 5	ch. 6
観測値	4.6 ± 0.88	20.0 ± 2.4	12.3 ± 2.8
星間塵	2.5 ± 1.3	11.7 ± 1.9	7.5 ± 2.0
惑星間塵	0.5 ± 0.15	3.0 ± 0.8	48 ± 1.3
一様成分	1.0 ± 1.6	5.3 ± 2.2	---

表2に短波長側の3つの波長帯に於て観測された表面輝度が各放射成分にどのように振り分けられたかを示す。ここでは系統誤差を含めた 1σ の誤差が示されている。

ch. 5に見出された一様成分については今のところその起源は明らかでない。銀河系外からの背景放射である可能性も否定はできず、今後一層の観測が望まれる。一方IRASは $100\mu\text{m}$ ではあるが同様な一様成分を観測している。Boulanger and Perault[3]によれば $(3.6 \pm 0.9) \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ の一様成分が残る。これは我々がch. 6で惑星間空間塵の熱放射成分に帰したものよりやや小さな値であり、ch. 5の一様成分よりはやや暗い。IRASはこのような拡散成分を観測するのに適した装置ではないため、この一様成分が装置自身によるものである可能性も残っているが、我々の結果と比較して大変興味深い。我々がch. 6の惑星間空間塵の熱放射成分を過大評価していることも考えられ、この場合IRASの結果と矛盾しないこともありうるためである。

3. おわりに

K-9 M-80号機によるサブミリ波観測は3K宇宙背景放射の観測に重要な結果をもたらしたが、 $100\mu\text{m}$ - $300\mu\text{m}$ の波長域についても星間塵の熱放射、背景放射、等について興味深いデータを与えた。とりわけ $137\mu\text{m}$ で観測された一様成分は宇宙論的起源であることも考えられる点で重要である。この一様成分が遠方の銀河の赤外光を重ね合わせた宇宙背景放射を考えると、IRASで観測された銀河から予想されるより約10倍空が明るいことに相当する。これは、宇宙初期に遠赤外領域に膨大なエネルギーが放出されていることを示唆しており、銀河形成、宇宙の進化に重大な問題を投げかける。今回の結果は限られた空の領域での観測であり、未だ結論を出すことはできない。空間分布、スペクトル、等についてのより詳しい観測が望まれる。現在計画中のS-520-10, S-520-11号機によってできるだけの確認を行うべく装置の設計、製作を急いでいる。

参考文献

- [1] T. Matsumoto et al. 1988, Ap. J., **329**, 567-571.
- [2] S. Terebey and N. Fich 1986, Ap. J., **309**, L 73-L 77.
- [3] F. Boulanger and M. Ferault 1988, Ap. J., **330**, 964-985.