

98 GHz 連続波による観測的宇宙論

松尾 宏*・石黒 正人*・岡 保理佳子**・田原 博人***

1. はじめに

現在の銀河宇宙がいかんしてできたかという問いに対して確信を持って答えることはまだ誰もできない。それは 3K 宇宙背景放射があまりにも等方的であり、銀河の卵となり得る密度ゆらぎが見つからないからである。

ベンジャスとウィルソンによる 3K 放射の発見 (1965 年) 以来様々な角度スケールや周波数によりその非等方性を測る試みが行なわれている。しかしながら唯一測定にかかったのは我々銀河系の動きによるダイポール成分 (角度スケール 180 度) だけである。最近の Readhead らの報告¹⁾によると角度スケール 7.15' で $\Delta T/T < 2.1 \times 10^{-5}$ という値を得ており、銀河形成に対する最も強い制限を与えている²⁾。

2. NMA による 98 GHz Deep Survey

NMA での観測の特徴は、1) ミリ波であるということ、2) 干渉計を用いていること、の 2 点であろう。

まず図 1 を見てもらいたい。これは背景放射の様々な成分のスペクトルを重ねて示したものである。3K 宇宙背景放射 (CBR) は周波数約 200 GHz にピークを持つ

黒体放射である。一方近傍の背景放射成分として、我々銀河内の星間ダスト (ISD) やシンクロトロン放射成分、電波銀河あるいは IRAS 銀河の寄与がある。小角度非等方性の観測で問題なのは後者の銀河分布が一様でないために起こる見かけの非等方性 (コンフュージョン) である。実際 VLA を用いた 5 GHz での観測³⁾では電波銀河のコンフュージョンの影響が大きく電波銀河の光度-密度関係の精密なモデルを作らない限り観測精度を上げることができない。この点 NMA 98 GHz での観測は 3K 放射に対する電波銀河の平均的明るさが約 3 桁低く、一方 IRAS 銀河のダスト放射による影響もまだ低いレベルであるため $\Delta T/T < 1 \times 10^{-6}$ の感度をねらうことができる。

次に干渉計を用いることのメリットであるが、一度にイメージの情報が得られるため、同じ面積を持った単一鏡に比べる限られた領域をある感度レベルまでサーベイを行なう場合干渉計の方がより短い時間で完了する (サーベイ感度が高い)。また、干渉計は相関している信号だけに感度があるため相関のない大気放射や地上からの放射の影響を受けにくい。

空間分解能については最もコンパクトな D 配列の場合

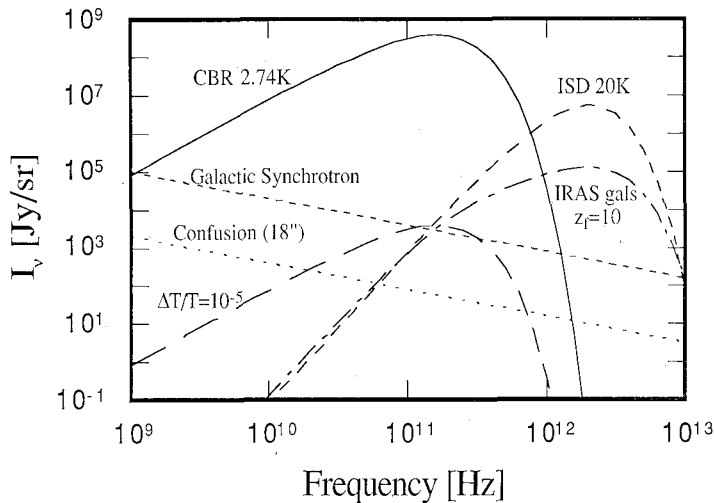


図 1 電波-赤外領域での背景放射スペクトル

表 1 98 GHz における 3K 非等方性上限値

角度スケール	10'' × 8''	13'' × 12''	16'' × 16''
$\Delta T/T$ 95% conf.	$< 7 \times 10^{-8}$	$< 6 \times 10^{-8}$	$< 8 \times 10^{-8}$

* 国立天文台 Hiroshi Matsuo, Masato Ishiguro, ** 埼玉大理 Rikako Okaho, *** 宇都宮大教育 Hiroto Tawara: Observational Cosmology at 98 GHz

約 $10''$ であり、赤方変位1以上での銀河スケールに対応している。このため Sunyaev-Zeldovich 効果⁵⁾あるいはダスト放射⁶⁾をプローブとして銀河形成時の宇宙を探ることができる。

今回試験的に行なった観測の視野は次のように選定した。1) 星間ダスト放射が弱いこと、2) 近傍に銀河あるいは銀河団のないこと、3) キャリブレーション天体が 2° 以内にあること、4) 赤緯が高いこと。この4条件を満たす領域として ($\alpha=16\text{ h }40\text{ m}$, $\delta=14^\circ0'$) を選び、1989年12月より観測を開始した。

グラビア写真 6-① にこれまでに得られた正味 20 時間のデータより作製した $4' \times 4'$ の領域の 2 次元強度分布を示す。干渉計では信号を相関処理することにより 2 次元のデータが得られるわけであるが、実際に天体の構造を反映しているのは素子望遠鏡の視野内 (図 3 (グラビア) のマップ中心から $30''$ の領域) に限られる。それより外の領域では受信機ノイズのみが現われるわけである。3K 放射の非等方性についても観測にかかるのであればマップ中心領域での構造として観測されるはずである。そこでマップ中心部 (3K 放射の構造+受信機ノイズ) と外周部 (受信機ノイズのみ) でその振幅にどの程度差があるかで 3K 放射の非等方性を測ることができる。

グラビア写真 6-① のデータ (分解能 $10'' \times 8''$) より求めた 98 GHz での非等方性の上限値を表 1 に示す。マップを作る段階でスムージングを行い (UV データにテーパをかけ)、得られたマップに上述の処理を行なうことにより 3 つの角度スケールでの情報を得た。

残念ながら、いずれの角度についてもこれまでに得られているデータではまだ宇宙論にきつい制限を与えることはできない。図 3 のマップ上でのノイズレベルは 3.6 mJy (1σ) で、実際に受かった天体は皆無であり、システムの感度を上げることによりまだまだ上限値を下げることもできることもわかる。

3. 3C123 のマッピング観測

Deep Survey の場合、新しく見つけた電波源が実在の天体か、何かの原因で生じた見かけのものかであるかを判定することは、強度限界のあたりでは重要な問題になる。電波源に相当する人為的な信号を観測データにいれて、それがどこまで検出されるかという方法もあるが、直接に実在の天体を観測して再現性を見ることが重要である。しかしながら、100 GHz という高周波数では直接比較できる過去の観測例がない。そこで周波数を下げて再現性を見るのに適した天体を探した。干渉計の視野 ($1'$) 内に強度の違う複数の天体が、分解できる程度に離れて分布していることは期待できないので、干渉計視野内にマルチ構造を持ち、しかも天体として興味あるものを探

した。こうして観測対象に選んだのが 3C123 である。

3C123 は我々の銀河系から 600 Mpc 離れたところ ($z=0.2177$) にある電波銀河でコアとホットスポット、ローブで構成された Z 字型構造を示している。我々はこの天体を 1989 年 12 月から 1990 年 3 月にかけて B, C, D の 3 配列で観測した。

観測の際の位相誤差を補正する手段として Self Calibration 処理が弱い天体でも有効に働くか否かもマップの感度を上げるためにポイントとなるが、3C123 ではホットスポットについてのこの処理が有効に働き、S/N が数 10% 向上した。グラビア写真 6-②, ③ に Cambridge 5-km 干渉計の結果⁶⁾ および我々の結果を示す。分解能の違いはあるが、構造をよく再現していることがわかる。コア (E) はそのスペクトルがミリ波までフラットで銀河中心核は活動的であること、ホットスポット (G) の強度は 100 GHz まで伸びていること等がわかった。マッピングの対応がよいので 10 mJy のポイントソースなら検出できていると考えられる。

4. 今後の課題

98 GHz Deep Survey の結果を見てもわかるように現在のシステムの感度では宇宙論に制限を与えるまでには到っていない。これまでの観測からシステムの感度を逆算するとシステム雑音温度が約 1000 K という結果になる。これには大気雑音、位相誤差、伝送ロス等様々な成分が起因している。一方、受信機雑音そのものは 200 K 以下でありまだその性能を生かしきれていない。3C123 の観測からもわかるように Self Calibration による位相補正を行わない場合、感度が 3 割程度落ちていくのは明らかである。

今後の方針としては、このような様々のロスを減らしていくとともに、受信機雑音の低減、バンド幅の拡大、集光面積の拡大 (アンテナ台数の増加)、積分時間の増加、等により $\Delta T/T$ の上限値をさらに 2 桁以上下げることを目指している。

References

- 1) Readhead, A. C. S., Lawrence, C. R., Myers, S. T., Sargent, W. L. W., Hardebeck, H. E., and Moffet, A. T. 1989, *Astrophys. J.*, **346**, 566.
- 2) Fukugita, M., Sugiyama, N., and Umemura, M. 1990, *Astrophys.*, **358**, 28.
- 3) Fomalont, E. B., Kellermann, K. I., Anderson, M. C., Weistrop, D., Wall, J. V., Windhorst, R. A., and Kristain, J. A. 1988, *Astron. J.*, **96**, 1187.
- 4) Ostriker, J. P., and Vishniac, E. T. 1986, *Astrophys. J.*, **306**, L51.
- 5) Bond, J. R., Carr, B. J., and Hogan, C. J. 1986, *Astrophys. J.*, **306**, 428.
- 6) Riley, J. M., and Pooley, G. G. 1978, *M.N.R.A.S.*, **183**, 245.