The large-scale 2-mm mapping observation of the SZ effect towards the most luminous X-ray cluster RXJ1347-1145

小松 英一郎, 北山 哲, 須藤 靖, 服部 誠, 川辺 良平,
久野 成夫, 松尾 宏, Sabine Schindler, 吉川 耕司

Scientific Justification

スニヤエフ-ゼルドヴィッチ効果 (Zel'dovich & Sunyaev 1969, 以下 SZ) は、銀河団中の高温電子ガスによる逆コンプトン散乱によって、宇宙背景放射 (CMB) のスペクトルが変形を受ける現象である。そのスペクトル特性により、レイリージーンズ領域では CMB の輝度が減少し、ウイーン領域では増加する。我々の目的は、全天で最も明るい X 線銀河団 RXJ1347-1145 による SZ を NOBA を用いて波長 2 mm (150 GHz) で観測し、$1'.9 \times 1'.9$ というこれまでミリ波 SZ の観測では達成されたことのない大規模な視野でマッピングする事である。

- **RXJ1347-1145**
  $z = 0.451$ にあるこの銀河団は、我々の共同研究者によって発見された (Schindler et al. 1997)。高温 (~ 10 keV) かつ、電子密度が典型的な銀河団の 10 倍程度 (~ 0.1 cm^{-3}) あり、現在全天で最大の SZ が期待できる銀河団である。さらにコア半径が約 $8''$ と小さく、NOBA のビームサイズ (FWHM=$12''$) でマッピングを行うのに最適である。

我々は、1998 年 5 月 31 日, 6 月 1 日に JCMT/SCUBA を用いて波長 850 μm (350 GHz) で同様にマッピング観測を行った。視野 $2'.7$、ビームサイズは FWHM=$15''$ で十分な分解能を持っており、SZ による CMB 輝度上昇の世界初検出に堂々と成功した (Komatsu et al. 1998)。また、それに先駆けて 1998 年 3 月 3-15 日に野辺山にて 21, 43 GHz のクロススキャンによるラディアルプロファイリングを試み、輝度減少の検出にも成功している。そして今回我々は、NOBA を用いて SZ によるミリ波帯の CMB 輝度下降の大規模マッピング観測にふみきることにした。現在ミリ波での SZ 観測は SuZIE (Holzapfel et al. 1997)、Diabolo (Désert et al. 1998) 等で行われているが、$0'.5 - 2'$ という低分解能に加え視野も狭く、マッピングには不向きである。銀河団による SZ 観測はあらゆる波長帯において常に電波源の混入という危険性を伴っており (Cooray et al. 1998, Smail, Ivison & Blain 1997, Komatsu et al. 1998)、高分解能での観測が不可欠である。広視野のマッピングからは SZ のプロファイルの情報を高い S/N で引き出す事ができるのも特筆すべき点であり、我々は実際に SCUBA において同様の手法で SZ のプロファイリングに成功している。この観測に成功する事はすなわち、世界最大規模、最高分解能でのミリ波 SZ マップ及びプロファイルを手にいれることを意味している。そのとき、ボロメータによるディープサーベイは SCUBA にのみ可能なのではなく、国内の高感度ボロメータの開発技術も欧米諸国にひけをとらず極めて優秀であることを世界中が知ることになるだろう。

以前より、SZ の観測は銀河団及び観測的宇宙論の研究に大きな重要性をもつことが指摘されてきた。とりわけ、SZ を多波長で観測することが決定的に重要である。

(1) 大域的ハッブル定数の測定
X 線観測と電波での SZ 観測を組み合わせ、$\Omega_0,\ \lambda_0$ を与えることで H_0 を 1 Gpc 以上のスケールにおいて求めることが可能である (Kobayashi, Sasaki & Suto 1996)。我々は 21, 43, 350 GHz のデータを用いて $H_0 = 41 \pm 11$ km/sec/Mpc ($\Omega_0 = 1,\ \lambda_0 = 0$) を得ている。

(2) 銀河団の固有運動の測定
レイリージーンズからウイーン領域までをカバーする多波長で SZ を観測することにより、銀河団の固有運動による SZ を電子ガスの熱的運動起源の SZ から分離でき、視線方向の速度を求めることができる (Sunyaev & Zel'dovich 1980)。我々の現在の結果は、1σ 上限値で 4000 km/sec である。

我々はすでにSCUBAによってウイーン領域でのSZを精度良く検出できているので、今回NOBAで150 GHzのSZを観測し、21, 43 GHzのデータと組み合わせることによって固有運動の絶対値を明らかにすることができる。SZによる固有運動測定はまだ成功していないため、極めて重要な観測である。

NOBAは1行×1列のラスタースキャンで$37''.1 \times 37''.1$のマップを得ることが可能である。我々は3行×3列のラスタースキャンを行い、$1'.9 \times 1'.9$の視野を観測する。公表されているNOBAの1ボロメータあたりのノイズレベル$1\sigma = 45\ \mathrm{mJy}\sqrt{\mathrm{sec}}$は、完璧な天候条件でなければ達成できない。野辺山の2月以降の観測から評価された実効的なノイズレベルは$1\sigma = 100\ \mathrm{mJy}\sqrt{\mathrm{sec}}$であり、今回の視野のマッピング観測では1時間で$1\sigma = 16$ mJy/beamを達成しうる。マップの中心9ピクセルでの4σ検出のためには$1\sigma = 1.6$ mJy/beamが必要であり(図1)、積分時間は$(16/1.6)^2 = 100$時間となる。

1日あたりの要求時間は本観測(5時間)+チューニング(30分)+ スカイディッピング(10分)+ポインティング(30分)+ キャリブレーション観測(50分)=7時間であり、合計7 × 20(日)=140時間を要求する。ここで再度強調するが、我々の手法の大きな利点は、マップ上の各ピクセルのS/Nが1以下であってもプロファイルにすることでS/Nを飛躍的に向上できるところにあり、たとえ晴天率が5割程度であったとしても、プロファイルを描くことによりS/Nの良い結果が期待できる(図1)。

- References

Zel'dovich, Ya. B. & Sunyaev, R. A., *Astrophys. Space. Sci.* **4**, 301 (1969)
Schindler, S. *et al.*, *Astron. Astrophys.* **317**, 646 (1997)
Komatsu, E. *et al.*, *Nature*, submitted (1998)
Holzapfel, W. L. *et al.*, *Astrophys. J.* **481**, 35 (1997)
Désert, F. X. *et al.*, astro-ph/9808270
Cooray, A. R. *et al.*, *Astron. J.* **115**, 1693 (1998)
Smail, I., Ivison, R. J. & Blain, A. W., *Astrophys. J.* **490**, L5 (1997)
Kobayashi, S., Sasaki, S. & Suto, Y., *Publ. Astron. Soc. Jpn.* **48**, L107 (1996)
Sunyaev, R. A. & Zel'dovich, Ya. B., *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **190**, 413 (1980)

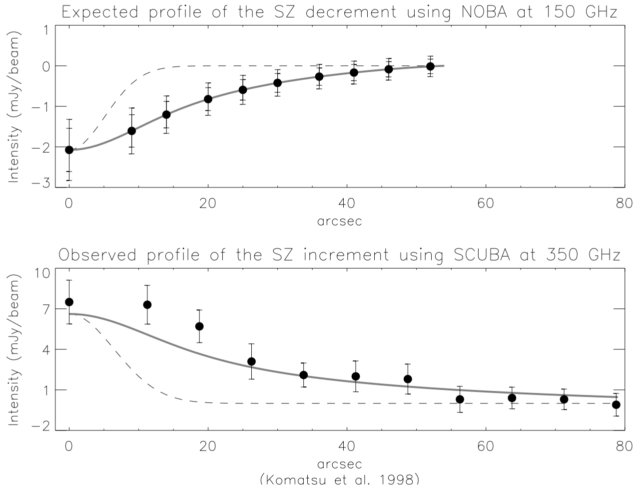

図1: 上図: NOBAの観測で期待されるデータとノイズの評価。実線はX線観測より期待されるSZのモデルプロファイル、破線はPSF(FWHM=12″)。中心から55″をベースラインとしている。丸がNOBAマップから得られるデータ点で、エラーバーは小さいほうからそれぞれ晴天率100%, 50%。
下図: SCUBAの観測結果(Komatsu et al. 1998)。実線はX線観測より期待されるSZプロファイル、破線はPSF(FWHM=15″)。丸はSCUBAマップより得たデータ点で、エラーは1σ。