

A Re-brightening of the Radio Nebula associated with the 2004 December 27 giant flare from SGR 1806-20

Gelfand et al. 2005 preprint (astro-ph/0503269)

Abstract

The 2004 Dec. 27 giant γ -ray flare detected from the magnetar SGR 1806-20 created an expanding radio nebula which we have monitored with the Australia Telescope Compact Array and the Very Large Array. These data indicate that there was an increase in the observed flux ~ 25 days after the initial flare that lasted for ~ 8 days, which we believe is the result of ambient material swept-up and shocked by this radio nebula. For a distance to SGR 1806-20 of 15 kpc, using the properties of this rebrightening we infer that the initial blast wave was dominated by baryonic material of mass $M \gtrsim 10^{24.5}$ g. For an initial expansion velocity $v \sim 0.7c$ (as derived in an accompanying paper), we infer this material had an initial kinetic energy $E \gtrsim 10^{44.5}$ ergs. If this material originated from the magnetar itself, it may have emitted a burst of ultra-high energy ($E > 1$ TeV) neutrinos far brighter than that expected from other astrophysical sources.

- SGR1806-20 に付随した radio nebula の ATCA と VLA を使った追観測
- Initial flare の約25日後に radio flux の増光を観測。
- 超音速膨張球対称シェルモデルを用いると、自由膨張 \Rightarrow Sedov 期への遷移でフィット可能
- このモデルは ejecta が初期に $M > 10^{24.5}$ g, $E \geq 10^{44.5}$ ergs, $v \sim 0.7c$ だったことを示唆

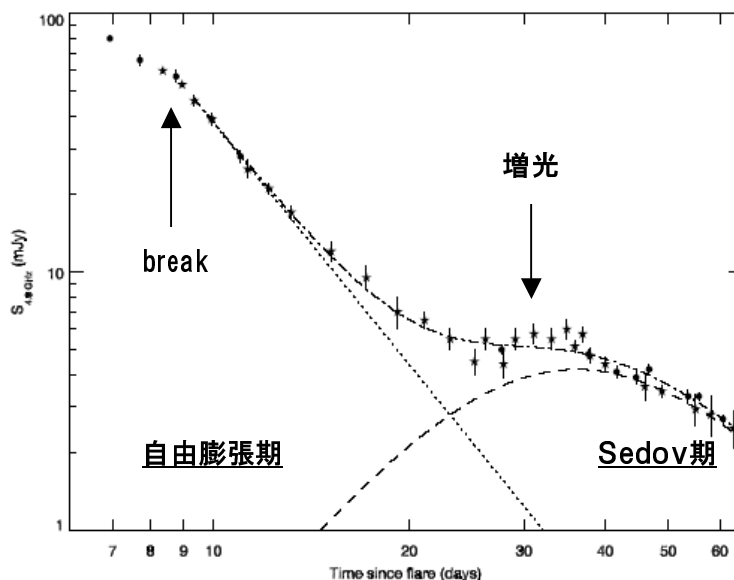


Fig1. The 4.8GHz light curve of the radio nebula associated with SGR1806 -20 up to day 62 after the giant flare

- Light curve の break 以降、flux が急激に減少。
- Initial flare の後 15 日目で、power law decay からの顕著なズレが現れる。
- 25 日目付近から約 8 日間の増光
- 33 日目付近で再び減少に転じるが、その power law index は明らかに減少。

☆ この light curve は超音速膨張する球対称シェルモデルで説明できる。

$$M = 6.6 f_{h...}^{0.57} \epsilon_{-1}^{-0.64} \epsilon_{B,-1}^{-0.37} n_{-2}^{0.20} v_{10}^{-0.32} d_{15}^{0.86} \times 10^{24} \text{ g, and}$$

$$E = 3.3 f_{h...}^{0.57} \epsilon_{-1}^{-0.64} \epsilon_{B,-1}^{-0.37} n_{-2}^{0.20} v_{10}^{1.68} d_{15}^{0.86} \times 10^{44} \text{ ergs.}$$

The Growth, Polarization, and Motion of the Radio Afterglow from the Giant Flare from SGR1806-20

Taylor et al.2005, preprint (astro-ph/0504363)

Abstract

The extraordinary giant flare (GF) of 2004 December 27 from the soft gamma repeater (SGR) 1806-20 was followed by a bright radio afterglow. We present an analysis of VLA observations of this radio afterglow from SGR 1806-20, consisting of previously reported 8.5 GHz data covering days 7 to 20 after the GF, plus new observations at 8.5 and 22 GHz from day 24 to 81. We detect motion in the flux centroid of the afterglow, at an average velocity of $0.26 \pm 0.03 c$ (assuming a distance of 15 kpc) at a position angle of -45° . This motion, in combination with the growth and polarization measurements, suggests an asymmetric outflow, mainly from one side of the magnetar. We find a deceleration in the expansion, from ~ 9 mas/day to < 5 mas/day. The time of deceleration is roughly coincident with the rebrightening in the radio light curve, as expected to result when the ejecta from the GF sweeps up enough of the external medium, and transitions from a coasting phase to the Sedov-Taylor regime. The radio afterglow is elongated and maintains a 2:1 axis ratio with an average position angle of -40° (north through east), oriented perpendicular to the average intrinsic linear polarization angle.

- SGR1806-20の Giant flare に付随した radio afterglow のVLAによる追観測の結果報告
- Afterglow の重心(flux centroid)の固有運動を detect ($V \sim 0.26 \pm 0.03c$)。
- Linear polarization とその時間変動を detect ($2.1\% \Rightarrow 1.1\% \Rightarrow 3.4\%$)。
- Radio nebula の膨張を確認($57\text{mas}(\text{day } 7) \Rightarrow 322\text{mas}(\text{day } 81)$)。
- Radio light curve の増光が生じる時期と、膨張速度が減少する時期はほぼ等しい。

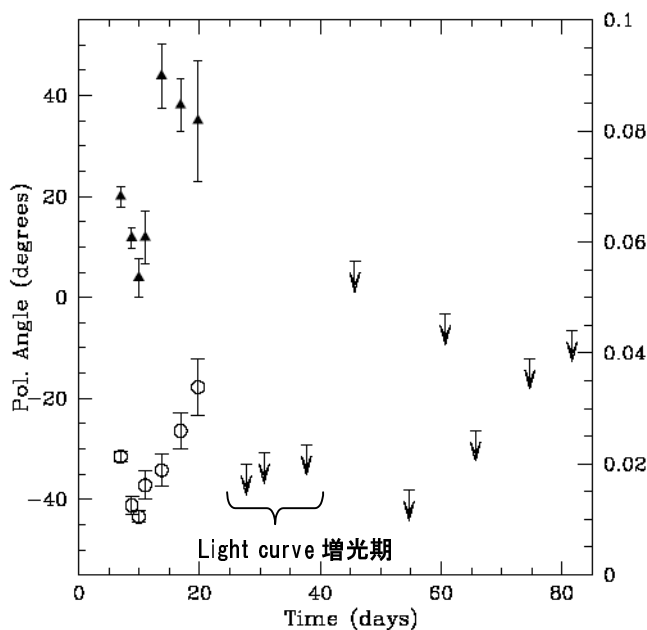


図 1. Linear polarization and polarization angle as a function of time at 8.5GHz.

- Giant Flare 後 20 日間は直線偏光を detect \Rightarrow Afterglow の非球対称性を示唆
- その後は upper limit のみを計測
- 7 日目: $2.1\% \Rightarrow$ 10 日目: 1.1% (減少)
- 10 日目: $1.1\% \Rightarrow$ 20 日目: 3.4% (増大)
- 偏向角もこの間、 4° から 40° に大きく増加
- Radio light curve の増光に伴い、直線偏光は急激に減少。

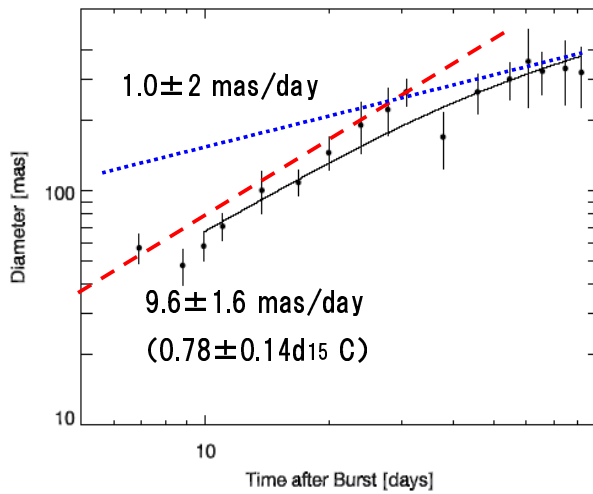


図2. Expansion of the radio afterglow as a function of time

- ・ 30日目付近を境に膨張速度が変化。(図の赤 dash、青 dot でフィット)
- ・ 9日目以降のデータを超音速膨張球状シェルモデルでフィット(実線)。

自由膨張期 ⇒ Sedov-Taylor 期

(これは light curve の増光を説明するモデルと同様。)

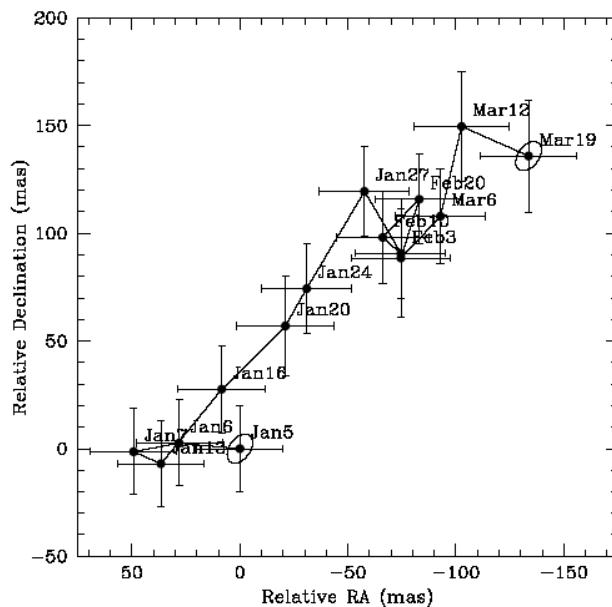


図3. The trajectory of the afterglow

- ・ radio afterglow の重心

⇒ 70 日間の観測で 200mas の shift 。

- ・ 3.0 ± 0.34 mas/day ($0.26 \pm 0.03C$) の動径方向への固有運動を持つ(x,y成分に分解し最小二乗フィット)。

DISCUSSION

- ・ source の固有運動の方向が major axis に沿っていることを発見

⇒ one-sided outflow なら自然に説明することが可能

⇒ フレアを引き起こす磁場の再構成(リコネクション)が大局的ではなく局所的に生じる

(≠ Thompson&Duncan のモデル)

- ・ 直線偏光から示唆される radio lobe の軸比は 2:1 ⇒ one-sided outflow を示唆。
- ・ 直線偏光の平均的な偏向角と major axis は垂直 (shock 面の random field で説明可能)。
- ・ one-sided outflow で初期の afterglow の質量を見積もると、非球対称ファクター $f_b=0.1$ となり、ambient density $n=0.1\text{g/cc}$ を代入すると

$$M=10^{24.5} \text{ g}、 E=10^{45} \text{ ergs}$$

が得られる。

Structure in the radio counterpart to the 2004 Dec 27 Giant flare from SGR1806-20 Fender et al.2005, preprint (astro-ph/0511214)

ABSTRACT

On Dec 27, 2004, the magnetar SGR 1806-20 underwent an enormous outburst resulting in the formation of an expanding, moving, and fading radio source. We report observations of this radio source with the Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network (MERLIN) and the Very Long Baseline Array (VLBA). The observations confirm the elongation and expansion already reported based on observations at lower angular resolutions, but suggest that at early epochs the structure is not consistent with the very simplest models such as a smooth flux distribution. In particular there appears to be significant structure on small angular scales, with $\sim 10\%$ of the radio flux arising on angular scales ≤ 100 milliarcsec. This structure may correspond to localised sites of particle acceleration during the early phases of expansion and interaction with the ambient medium.

- ・ SGR1806-20 に付随した radio afterglow の MERLIN と VLBA を使った追観測の結果報告
- ・ 特徴: Higher angular resolution (VLA よりも)。
- ・ VLA で観測された radio nebula の expansion と elongation を確認
- ・ VLA では解像できなかった小さいスケール (< 100marcsec) の構造を発見

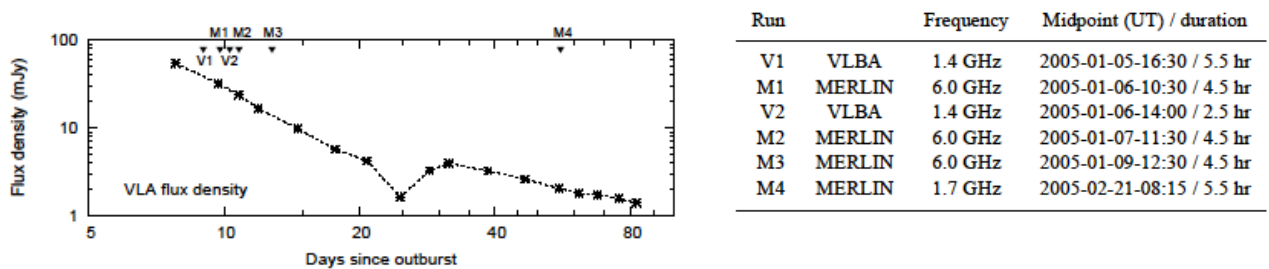


図1. (左)VLAの radio afterglow の light curve と MERLIN&VLBA の観測時期 (右)観測ログ

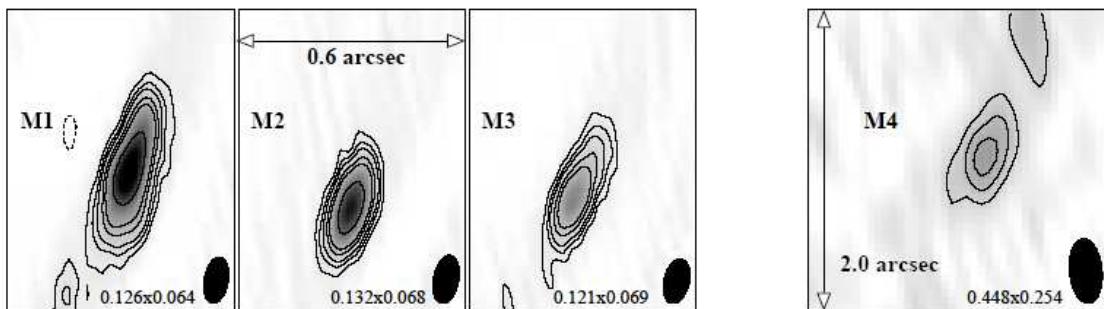


図2. Image of the radio source associated with the giant flare obtained with MERLIN (6GHz)

- ・ M1-M3 : radio nebula の引き伸ばされた構造を確認。
- ・ M1-M3 : nebulaの減光を確認(徐々に gray contour が薄くなっている。M4 は contour scale 小)

問題点

image plane 上での Gaussian fit で得られる peak flux と実際に観測された peak が一致しない。
 ⇒VLA の観測結果は Gaussian fit と観測値が一致。角度分解能を上げるとズレが生じる(表 2)。
 ⇒image が単純な Gaussian ではフィットできない。他の component の存在を示唆(M1-M4)。

Table 2. Fits to the MERLIN and VLBA observations.

- fitted peak と map peak の不一致
- 他の成分の存在を示唆

Epoch	map peak (mJy bm^{-1})	F_{comp} (mJy)	peak (mJy bm^{-1})	Image-plane Gaussian		
				integrated (mJy)	size (mas \times mas)	p.a. ($^{\circ}$)
M1	12.1 ± 0.3	30 ± 2 (6.1 GHz / A)	10.5 ± 0.4	29.4 ± 0.4	234×54	-16.6
M2	8.9 ± 0.3	21 ± 1 (6.1 GHz / A)	8.5 ± 0.4	14.9 ± 0.4	147×39	-20.3
M3	4.9 ± 0.3	21 ± 1 (6.1 GHz / A)	4.0 ± 0.2	11.1 ± 0.2	234×50	-23.5
M4	1.2 ± 0.1	6 ± 1 (1.4 GHz / V)	1.1 ± 0.1	3.3 ± 0.1	680×263	-36.8
V1	6.7 ± 0.2	117 ± 5 (1.4 GHz / A)	5.7 ± 0.4	63.4 ± 0.4	106×79	-49.3
V2	4.5 ± 0.2	91 ± 2 (1.4 GHz / A)	3.1 ± 0.3	54.7 ± 0.3	206×72	-43.1

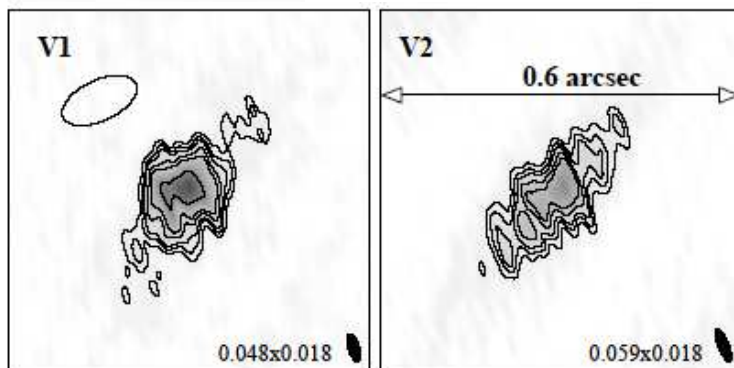


Fig 3. VLBA images (1.4 GHz) from epochs V1 & V2. Solid ellipses are the synthesized beams. Open ellipse at V1 is Gaussian fit to the VLA data at the same epoch.

- Radio nebula の引き伸ばされた構造と減光を確認。又、substructure を持つのは明らか。
- MERLIN の観測同様、measured peak flux と fitted peak flux は一致しない。

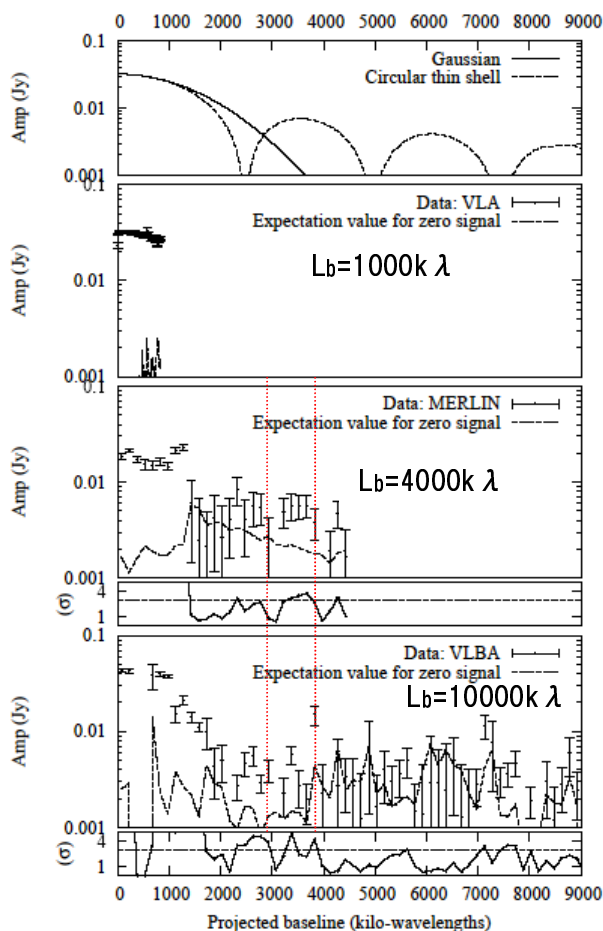


図 4. Visibility amplitude as a function of projected baseline distance.

☆ Gaussian と Circular thin model の比較 (上)

- G: 3500k λ 以上の構造の寄与を無視。
- C: substructure の寄与を考慮。

• VLA, MERLIN & VLBA の visibility amplitude

- 点線: zero signal
- MERLIN & VLBA 両データ共に 3000-4000k λ の範囲で、zero signal からの顕著なズレ。

↓

- ☆ measured flux に、Gaussian 成分とは異なる他の成分の寄与がある強い証拠。
- ☆ radio flux の 90% 以上は Gaussian でフィットできるような diffuse component で、残りの 10% 以下が角度 scale 100mas 以下の substructure に起因。
- ☆ substructure だけが熱的過程に従う。