

すざく衛星によるガンマ線未同定天体HESS J1841-055の観測

河島 久実子 (京都大学)

1. HESS J1841-055のこれまでの観測

HESS J1841-055 (以降HESS J1841) はチェレンコフ光を用いたTeVガンマ線望遠鏡HESSによって発見された、1度角に広がった天体である[1]。図1 (左) はHESSによるTeVガンマ線イメージである。近年Fermi衛星によってGeVガンマ線も検出されているが [2], ほかの波長での対応天体はよく分かっていない。対応天体の有力候補は、日本のX線天文衛星あすかが発見したG26.6-0.1 (以降G26.6) である。あすかで得た2.0-7.0 keVのX線イメージを図1 (右) に示す。左側にあるAX J1841.0-0536は明るいX線連星系で、その右下にG26.6が 0.2° くらいに広がっている。硬いスペクトル (光子指数 $\Gamma \sim 1.3$) を持っていることから、G26.6は非熱的超新星残骸の候補ではないかと考えられている [3]。ただし、電波帯域で対応天体が見つからないことなど謎が残っている。我々は日本のX線天文衛星すざくを用いた観測を行い、この領域を詳しく調べた。

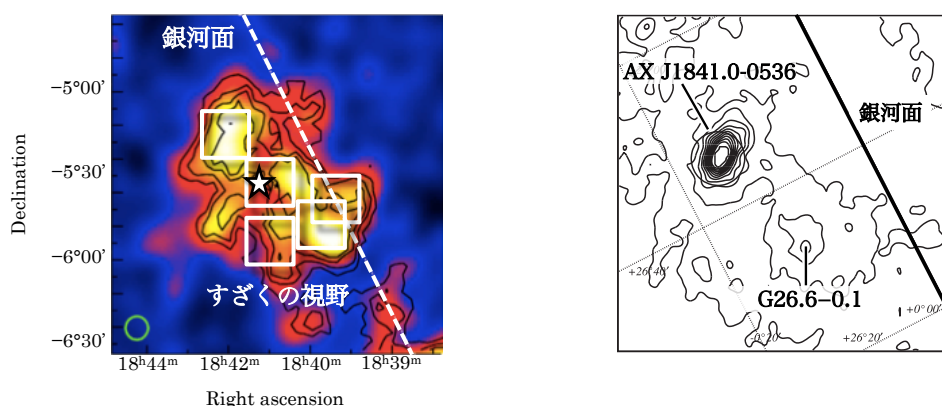


図1 (左) HESSによるTeVガンマ線イメージ [1]。星印はAX J1841.0-0536の位置。白色の四角はすざくで観測した領域。
(右) HESS J1841-055領域をあすか衛星で観測したX線イメージ (2.0-7.0 keV) [2]。

2. すざく衛星による観測

すざく衛星での観測領域は図1 (左) の白色の四角で示したとおりである。我々は2011年に4ポインティングの観測を行い、2010年に観測した1視野も合わせて解析した。1視野あたりの有効観測時間は ~ 50 ksである。図2 (左) および (右) はすざくで観測したX線イメージで、エネルギーバンドはそれぞれ0.5-2.0 keV, 2.0-8.0 keVである。両バンドで明るい天体は大質量X線連星系AX J1841.0-0536で、昨年度の夏の学校およびPASJに論文として報告した [4][5]。

ソフトバンドでは中央に広がった放射がある。これをソースAと呼ぶことにする。一方ハードバンドでは広がった構造は見えず、代わりに比較的コンパクトな2つの構造が見える。一つは点源であったが、もう片方はやや広がっていた。これをソースBと呼ぶことにする。あすか衛星で発見した非熱的天体G26.6はこのような複数の天体の重なり合ったものであったと考えられる。

2.1. ソフトバンドの観測：ソースA

図3はバックグラウンドを引いたソースAのスペクトルである。マグネシウムとシリコンの輝線が見えるので、熱的放射であると考えられる。熱平衡プラズマモデルでフィットした結果を表1に示す。吸収柱密度 N_{H} は $(1.4 \pm 0.2) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 、温度 kT は $0.6 \pm 0.1 \text{ keV}$ であった。

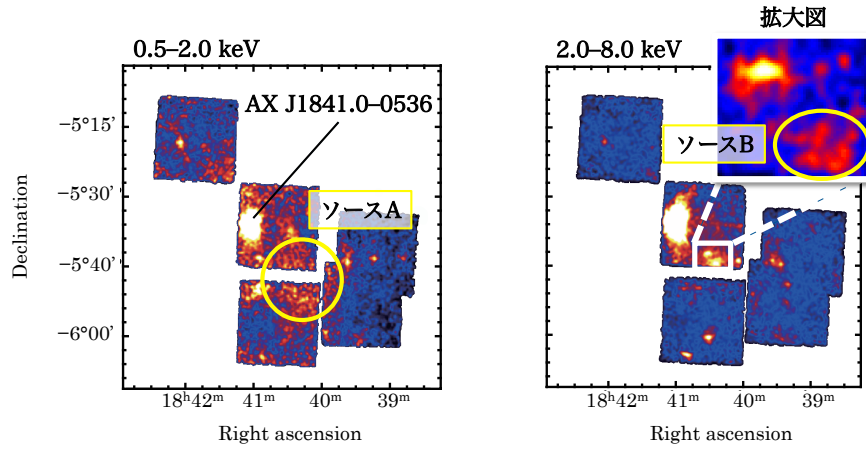


図2 (左) すぐで観測したHESS J1841-055領域のX線イメージ。エネルギーバンドは0.5-2.0 keV。広がった放射ソースA (黄色い円で囲んだところ) が見える。(右) (中央)と同じだが、エネルギーバンドは2.0-8.0 keV。広がった放射は見えず、比較的コンパクトな2つの天体がある。一つは点源と考えられるが、もう一方はやや広がっている (ソースB; 黄色い楕円で囲んだところ)。

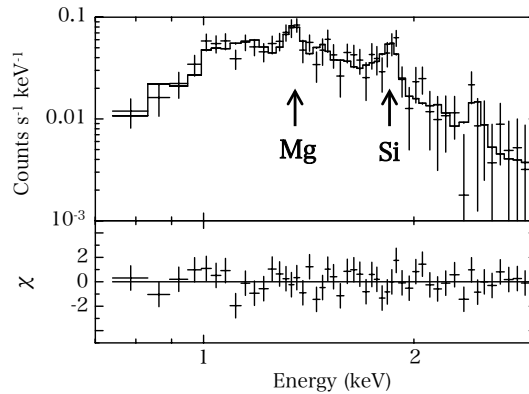


図3 バックグラウンドを引いたソースAのスペクトル。熱平衡プラズマモデルでフィットした。

2.2. ハードバンドの観測：ソースB

図4 (左) は、図2 (右) の楕円で囲んだ領域から取得したスペクトルで、バックグラウンドは引いてある。吸収を受けた連続X線でフィットしたところ、6 keV付近に輝線のような構造が見つかった。このエネルギーに強い輝線はないので、赤方偏移した鉄輝線ではないかと考えられる。そこで赤方偏移を考慮した熱平衡プラズマモデルでフィットしたところ、図4 (右) のようにうまくスペクトルを再現することができ、赤方偏移の値は0.1と求まった。吸収柱密度 N_H は $(13 \pm 6) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と非常に大きい。温度 kT は4.5 keVであった。ベストフィットのパラメータの値を表1に示す。

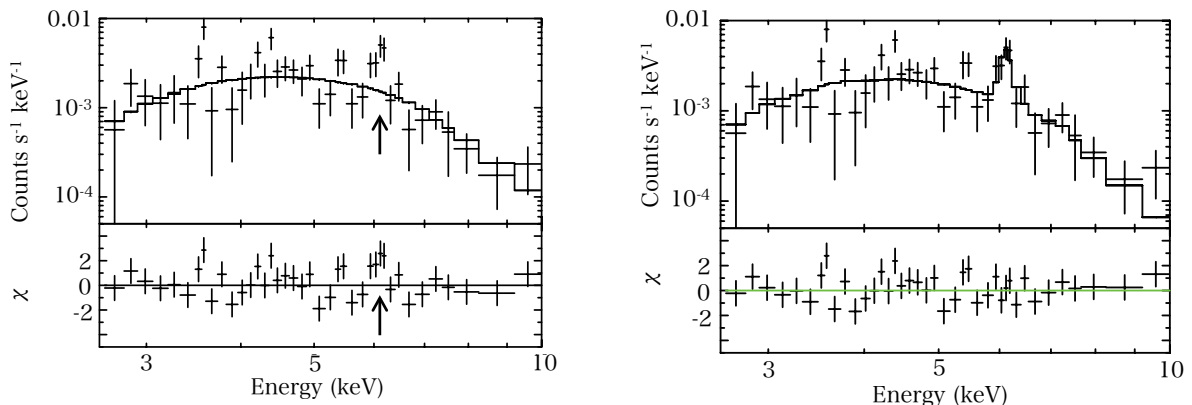


図4 (左) バックグラウンドを引いたソースBのスペクトル。吸収を受けた連続X線でフィットしたところ、 $6.1 \pm 0.05 \text{ keV}$ に残差が残った。(右) (左)と同じだが、赤方偏移を考慮した熱平衡プラズマモデルでフィットした。

表1 ソースAとソースBのスペクトルをそれぞれ吸収を受けた熱平衡プラズマモデルでフィットした結果。*

パラメータ	ソースA	ソースB
吸収:		
柱密度 N_H (10^{22} cm $^{-2}$)	1.4±0.2	13±6
熱平衡プラズマ(CIE):		
温度 kT (keV)	0.6±0.1	4.5±2.4
元素組成量 (solar)	—	0.45±0.23
Mg (solar)	0.9±0.3	—
Si (solar)	0.6±0.3	—
赤方偏移 z	—	0.10±0.01
フラックス [†] (10^{-13} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$)	0.98	3.7
χ^2 /d.o.f.	35/45	45/35

* エラーは90% confidence level

[†] 2.0–10 keVでの観測値

3. 議論

我々はすざくを用いてHESS J1841–055領域の観測を行い、ソフトバンドで広がった放射（ソースA）とハードバンドで比較的コンパクトな天体（ソースB）を発見した。

ソースAの吸収量から距離を3 kpcとすると大きさは6 pc程度となり、この値を使うと電子密度と熱エネルギーはそれぞれ $n_e=0.2$ cm $^{-3}$, $E=4\times 10^{48}$ ergと求まる。温度や大きさから超新星残骸あるいは星団が可能性として考えられる。しかし可視・赤外の観測からこの位置に星団は報告されていないため、超新星残骸の可能性が高い。

周囲の環境を知るため、ソースAから半径15分角の円の中にある電波天体をSIMBAD¹を用いて調べた。すると、天体を取り囲むように電波源やHII領域があり、中央付近にはB型星が2つあることが分かった。図5に示すように、ソースAは電波天体の空洞の中に存在している。我々の観測ではプラズマは低密度であった。大質量星の星風などで希薄になった星間空間中で超新星爆発が起こったのかもしれない。また電波シェルは未発見だが、電波源が多いために見えていないのかもしれない。

ソースBは赤方偏移した鉄輝線を付随しており、大きな吸収柱密度をもつ。電波観測によれば、銀河系の N_{H1} と N_{H2} の値はそれぞれ、 $N_{H1}\sim 2\times 10^{22}$ cm $^{-2}$ [6], $N_{H2}\sim 2\times 10^{22}$ cm $^{-2}$ [7]である。したがって N_H の値は $N_H=N_{H1}+2N_{H2}\sim 6\times 10^{22}$ cm $^{-2}$ となる。ソースBの吸収量はこの値よりも大きく、系外天体であると考えられる。また点源よりも広がっていることから、銀河団である可能性が高い。

ソースBが銀河団だとすると、銀河面上で見つかった極めてめずらしい銀河団サンプルになる。銀河面上では可視光などでは見えないからだ。特に銀河中心に近い銀河団は、これまで2例しか報告されていない。いずれもX線で発見されている。本研究を含めた3天体の位置と吸収量をまとめると、

XMMUJ183225.4–103645 [8]	$(l, b) = (21.3^\circ, -0.7^\circ)$	$N_H=8\times 10^{22}$ cm $^{-2}$
AX J1859.0+0333 [9]	$(l, b) = (36.974^\circ, -0.076^\circ)$	$N_H=9\times 10^{22}$ cm $^{-2}$
ソースB	$(l, b) = (26.6^\circ, -0.1^\circ)$	$N_H=14\times 10^{22}$ cm $^{-2}$

となる。まだ3例しかないが、銀経方向では銀河中心に近いほど、銀緯方向では銀河面に近いほど吸収量が多いことが分かる。銀河団は全天で1万個以上見つかったので、銀経の絶対値が60度、銀緯の絶対値が1度以内の銀河面では、100個以上の銀河団が存在していると考えられる。銀河団は自分自身でX線を吸収しないので、測定された吸収量は天の川銀河の吸収量を測定したことになる。銀河面上の銀河団サンプルを増やしていくことで、将来的には銀河円盤の、特に銀河中心に近いところで物質量がどのように分布しているか測定が可能になるだろう。

¹ <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

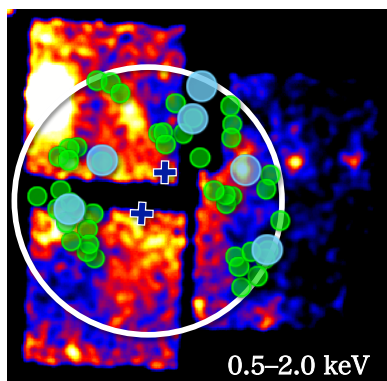


図5 すざくによる0.5-2.0 keVのX線イメージとソースA周辺の電波ソース。白色の丸はソースAの中心から半径15分角の円で、この円の中にある電波天体をSIMBADを用いて調べた。緑色と水色の円はそれぞれ、電波源（連続波）とHII領域の場所を示す。青色の十字はB型星の位置。

次にHESS J1841-055とX線天体との対応を考える。HESS天体のピークとソースBが近くに位置していてどちらも広がっていることから、対応している最も有力な候補だと考えられる。ソースBが超新星残骸であれば、TeVガンマ線はソースBで加速された荷電粒子が起源だと考えられる。ただしソースBのスペクトルからは非熱的放射が見えなかったことから、TeVガンマ線放射の起源は電子よりも陽子である可能性が高い。定量的な検討を今後行う。

参考文献

- [1] Aharonian, F. et al. 2008, A&A, 477, 353
- [2] Neronov, A. & Semikoz, D. V. 2010, arXiv:1011.0210 [astro-ph.HE]
- [3] Bamba, A. et al. 2003, ApJ, 589, 253
- [4] 2012年度 第42回天文・天体物理若手夏の学校 集録
http://www.astro-wakate.org/ss2011/web/ss11_proceedings/proceeding/compact_12a.pdf
- [5] Nobukawa, K. K. et al. 2012, PASJ, 64, in press
- [6] Dickey, J. M., & Lockman, F. J. 1990, ARA&A, 28, 215
- [7] Dame, T. M., Hartmann, Dap., & Thaddeus, P. 2001, ApJ, 547, 792
- [8] Nevalainen, J. et al. 2001, A&A, 374, 66
- [9] Yamauchi, S. et al. 2011, PASJ, 63, 957