

全天 X 線監視装置 MAXI による SN の検出率の見積もり

島ノ江 純、山岡 均 (九州大学)

2008 年 1 月 9 日、NASA のガンマ線観測衛星 Swift が超新星爆発 (SN 2008D) の瞬間を偶然とらえ、このとき同時に X 線アウトバースト (XRO 080109) として観測した。このように爆発の瞬間を観測したという例はこれまでに無く、未だに謎の多い超新星爆発のメカニズムの理解につながるのではないかと考えられている。しかし、この X 線アウトバーストの e-folding time は数百秒程度であり、上述の例のように検出することはかなり難しい。

そこで本研究では、このような突発現象を検出するのに有効な手段のひとつとして、全天 X 線監視装置 MAXI に着目した。XRO 080109 に関する論文のデータを参考にいくつかの仮定をし、MAXI で 1 年間に観測できる超新星爆発の数を見積もった。

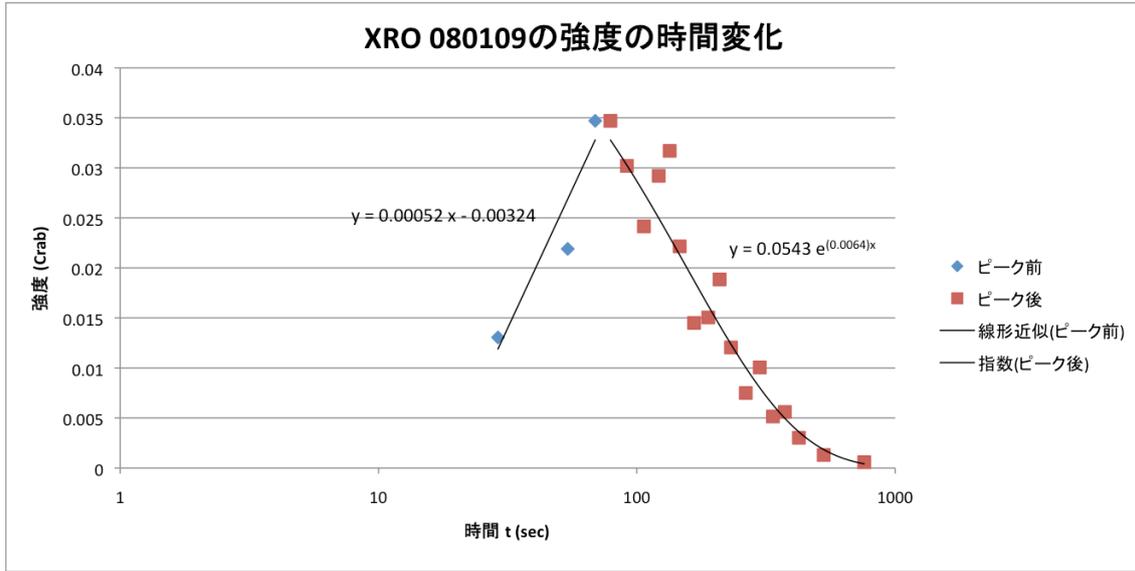
1 はじめに

2008 年 5 月に Nature に掲載された論文 “An extremely luminous X-ray outburst at the birth of a supernova” (A.M.Soderberg, E.Berger et al.) で議論されている X 線アウトバースト XRO 080109 のデータをもとに、MAXI による超新星爆発の検出率を見積もった。

特に今回、超新星爆発に付随して XRO も発生するものとして考察を進めた。(つまり “超新星爆発の検出” = “XRO の検出” とした。)

2 天体までの距離 r と検出可能な時間の割合 $f(r)$ の関係の導出

論文の SUPPLEMENTARY INFORMATION の Table 1. を用いて、XRO 080109 の強度の時間変化をグラフにした。(下図) その際、強度 (Unabsorbed Flux) の単位を $2 \times 10^{-8} \text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1} = 1\text{Crab}$ とした。



グラフより、XRO 080109 の強度を $n(t)$ (Crab) とすると、

$$n(t) = \begin{cases} 5.2 \times 10^{-4}t + 3.2 \times 10^{-3} & (t < 72) \\ 5.4 \times 10^{-2}e^{-6.4 \times 10^{-3}t} & (72 < t) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、この XRO(27Mpc) が x 倍近くにあるときの距離を r (Mpc) とすると、

$$x = \frac{27}{r} \quad (2)$$

であり、このときの強度を $N(t)$ とすると、

$$N(t) = x^2 n(t) \quad (3)$$

式 (??)、(??) より、

$$t = \begin{cases} \frac{N(t)/x^2 - 3.2 \times 10^{-3}}{5.2 \times 10^{-4}} & (t < 72) \\ \frac{1}{6.4 \times 10^{-3}} \ln \frac{5.4 \times 10^{-2}}{N(t)/x^2} & (72 < t) \end{cases} \quad (4)$$

MAXI が (ISS が) 地球の周りを一周したときの GSC(Gas Slit Camera) の検出限界は 10mCrab、SSC の検出限界は 30mCrab なので、

$$N(t) = \begin{cases} N_{GSC} = 1.0 \times 10^{-2} \\ N_{SSC} = 3.0 \times 10^{-2} \end{cases} \text{ (Crab)} \quad (5)$$

MAXI が地球を一周するのにかかる時間は約 90 分=5400 秒なので、XRO の検出可能時間の割合 $g(x)(\equiv f(r))$ は、GSC の場合、

$$g_{GSC}(x) = \frac{\left(\frac{1}{6.4 \times 10^{-3}} \ln \frac{5.4 \times 10^{-2}}{N_{GSC}/x^2} - \frac{N_{GSC}/x^2 - 3.2 \times 10^{-3}}{5.2 \times 10^{-4}} \right)}{5400} \quad (6)$$

= ...

$$= 5.78 \times 10^{-2} \ln x - \frac{3.56 \times 10^{-3}}{x^2} + 5.00 \times 10^{-2} \quad (7)$$

$$= -5.78 \times 10^{-2} \ln r - 4.88 \times 10^{-6} r^2 + 2.41 \times 10^{-1} \quad (8)$$

$$\equiv f_{GSC}(r) \quad (9)$$

同様にして、SSC(Solid State Camera) の場合は、

$$g_{SSC}(x) = \frac{\left(\frac{1}{6.4 \times 10^{-3}} \ln \frac{5.4 \times 10^{-2}}{N_{SSC}/x^2} - \frac{N_{SSC}/x^2 - 3.2 \times 10^{-3}}{5.2 \times 10^{-4}} \right)}{5400} \quad (10)$$

= ...

$$= 5.78 \times 10^{-2} \ln x - \frac{1.07 \times 10^{-2}}{x^2} + 1.81 \times 10^{-2} \quad (11)$$

$$= -5.78 \times 10^{-2} \ln r - 1.47 \times 10^{-5} r^2 + 2.09 \times 10^{-1} \quad (12)$$

$$\equiv f_{SSC}(r) \quad (13)$$

3 GSC、SSC の検出限界

それぞれの場合について

$$f(r) > 0 \quad (14)$$

を解けば、

$$r_{GSC} < 51 \equiv r_{GSC}^{lim} \quad (15)$$

$$r_{SSC} < 29 \equiv r_{SSC}^{lim} \quad (16)$$

4 1年間に検出できるSNの数の見積もり

はじめに、1(Mpc³)につき0.1個の銀河が存在し、1つの銀河に100年に1つの割合でSNが発生するという仮定をすると、SNの出現率 p は、

$$p = 0.001(\text{個}/\text{Mpc}^3 \cdot \text{yr}) \quad (17)$$

ここで Our Galaxy から距離 r (Mpc) だけ離れたところにある厚さ dr の球殻を考えると、その球殻中におけるSNの出現率は、

$$p \cdot 4\pi r^2 dr \quad (18)$$

一方、ある天体(点源)がGSC/SSCの視野(厚さ1.5°)に入ってから出るまでの時間は、

$$90(\text{分}) \times \frac{1.5}{360} = 0.375(\text{分}) \quad (19)$$

なので、 $r(\text{Mpc})$ の距離にある XRO を検出できる確率は、

$$\frac{f(r) \times 90 + 0.375 \times 2}{90} = f(r) + 8.3 \times 10^{-3} \quad (20)$$

よって、まず GSC の場合、1 年間に検出できる SN の数は、

$$\int_0^{r_{GSC}^{lim}} (f_{GSC}(r) + 8.3 \times 10^{-3}) p \cdot 4\pi r^2 dr = \dots \quad (21)$$

$$= 18.6(\text{個/yr}) \quad (22)$$

同様にして、SSC の場合は、

$$\int_0^{r_{SSC}^{lim}} (f_{SSC}(r) + 8.3 \times 10^{-3}) p \cdot 4\pi r^2 dr = \dots \quad (23)$$

$$= 3.5(\text{個/yr}) \quad (24)$$

5 まとめ

観測される超新星爆発がすべて SN 2008D と同じ XRO を伴っていると仮定すると、一年間に、GSC で 18.6 個、SSC で 3.5 個の超新星の検出が期待出来ることがわかった。

6 考察

今回得られた検出率が正しいとすると、今年になってすでにいくつかの超新星が MAXI によって発見されていてもおかしくない。(にもかかわらず、未だに検出されていない。) その原因として、

- 今回仮定した XRO が極端に明るかった。
- すべての超新星爆発が XRO を伴うわけではない。
- 検出器に入る X 線の角度による有効面積の変化などを考慮する必要がある。

の 3 つが挙げられる。

7 Future Work

- Our Galaxy から 30(Mpc) 以内の距離にあり、MAXI によってデータが得られている超新星を調べ、解析する。
- 検出器の有効面積などを考慮した上で、検出率をより信頼性のある値に近づける。