

超強磁場中性子星（マグネター）の発見

Superstrong Magnetic Field (Magnetar)

天体の磁場の強さはどのようなものであろう。地球はほぼ1 Gauss, 太陽で1000 Gauss, 一番強い中性子星では 10^{12} Gauss程度と習った。よく太陽のような星や白色矮星が持っている磁場を凍結させたまま、大きさ10 kmの中性子星にまで縮めると中性子星の磁場になると説明されたりする。近い星であれば磁場を直接に測ることが可能である。太陽ではゼーマン効果で測るが、白色矮星ではサイクロトロン共鳴線から出す磁場が信頼がおける。中性子星の磁場には多くの場合パルサーの回転周期の変化を使うのが一般的である。その中性子星から 10^{15} Gaussの磁場が見つかった。

単独のパルサーは回転をゆるめる。それには角運動量を捨てる必要があるため、単独のパルサーは磁気双極子放射をしていると考えられている。周期と周期の変化率を測ることにより、回転エネルギーの放出量が計算される。代表的なパルサーであるかに星雲では周期、周期の変化率、周期の2次微分も使われて、放射エネルギーが高い精度で測定されている。実際、磁気双極子放射と考えて高い精度でつじつまを合わせることができる。つじつまが合うとは、年齢や現在の放射エネルギーを正しく説明が出来ることである。かに星雲は1054年に爆発したと距離が分かっているため、モデルを高い精度で検証することが出来ている。

現在までに約1000個のパルサーが知られているが、多くのパルサーで変化率まで測られて磁場や年齢が推定されている。図1に今までに測定されたパルサーの周期、その変化率、磁場の大きさを示す。多くの中性子星の磁場が 10^{11-13} Gaussに集中しているのがわかる¹⁾。これがいままでの中

性子星の磁場の一般的な理解である。

今回軟ガンマ線バーストリピーター（以後SGR）から発見したのは、右上に分布するマグネターと呼ばれるパルサーである^{2), 3)}。ASCA衛星は1994年に、SGR1806-20の活動が超新星の残骸の中の中性子星が起源であるときとめた。その時に、中心に発見されたX線源はパルサーであろうと予言した⁴⁾。残念ながらそのX線源からパルスを見つけることは出来なかった。RXTE衛星はその大きな有効面積に物を言わせてSGR1806-20を長時間観測し、ついにそこからパルスを発見し、ASCAチームに連絡してきた。ASCAはRXTEより3年前に観測をしていたので⁴⁾、わずかに速い周期でASCAのデータにもパルスが確認された（図2）。これで周期とその変化率が手に入ったことになる（図3）。こうなると年齢と磁場が計算できる。磁場は 8×10^{14} Gaussを示していた²⁾。ところで、SGRは4例が知られている。すぐにSGR1900+14と呼ばれるSGRの観測が行われた。今度はASCAが先に発見し、RXTEに連絡したのである³⁾。今回も磁場は 8×10^{14} Gaussとなり、従来の概念を破るものだった。残念ながら残り2つのSGRがパルサーであるかどうかは

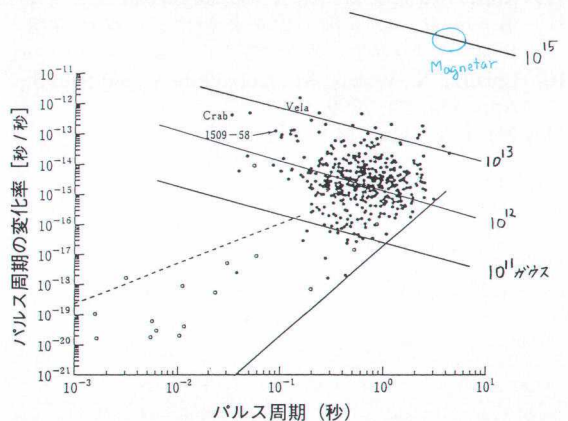


図1 中性子星パルサーの周期とその変化率（柴崎より）

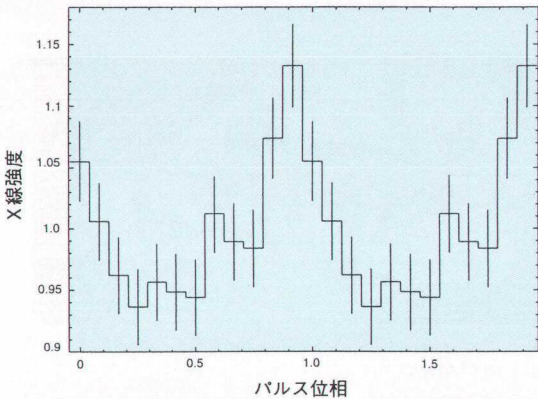


図2 SGR 1806-20のパルス発見。周期は7.47秒である。

まだこの原稿を書いている時点では十分なデータがない。しかしSGRが超強磁場をもった中性子星であることはこれでほぼ確実になったと考えられる。

この天体がmagnetar（マグネター）と呼ばれる理由としてあと2つの特徴を述べなければならない。SGRは超新星の残骸の中にあり、距離は良く分かっている。その距離から求められるこのX線パルサーの放射エネルギーを、周期とその変化率から推定される回転のエネルギーの減少分でまかなえないのである。回転のゆるみから生み出されるエネルギーは一桁も少ないのである。超新星の残骸の中にあることや、そのスペクトルからも連星になっている証拠は無い。角運動量を失う原因は磁気双極子放射であることは間違いないことと思われるが、放射エネルギーは回転のエネルギーでは不足するのである。この放射エネルギーの源となりうるのは磁場のエネルギーであろうとDuncanとThompsonがマグネターと名づけて予言した⁵⁾。回転エネルギーは 10^{45} エルグ程度であるが、磁場のエネルギーは現在でも 10^{47} エルグを持つ。このエネルギーの不足分を賄うとすると磁場を 10^4 年程度で減衰させれば良いことになる。もう一つ、バースト活動のエネルギーも当然この強い磁場から供給されていると思うのが自然だろう。

このマグネター：SGR1900+14が1998年の夏に巨大なバースト活動を行った。余りにも大きな活動であったがために、地球の夜側の電離層が変化し

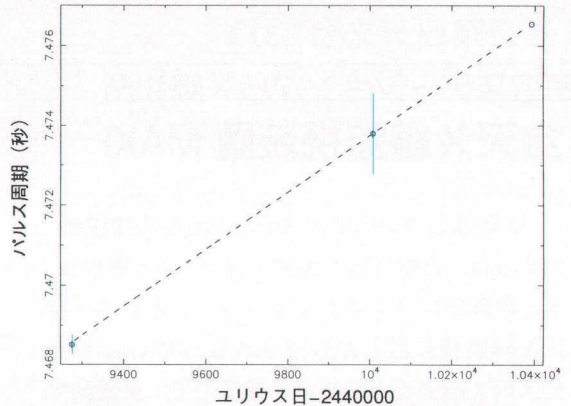


図3 SGR 1806-20のパルス周期の変化率。

たことがわかり（実際に短波通信などが乱れたようだ）、新聞やテレビでも報道された。ほぼ銀河中心に近い距離に位置する天体の活動が、具体的にわれわれの地球に影響を及ぼした点で注目された⁷⁾。我々が発見したのと同じ5.16秒の周期がバースト活動中に見られた⁶⁾。これでパルサーとSGR源が同じ天体であることがわかるが、距離から計算すると、ほぼ 10^{43-44} エルグのエネルギーがこの一発のバーストで解放されたと思われる。このエネルギーも磁場のエネルギーを何らかのきっかけで解放していると思われる。星の地震がきっかけとの説もある⁵⁾。

気になること2つ。最近マグネターとは独立に、これらとよく似た磁場を持った中性子星パルサーが発見されている。Anomalous X-ray Pulsars (AXPs)と呼ばれる⁷⁾。もう一つは、軟ガンマ線バーストは、どうもその最初の一撃は軟（soft）では無いようである⁶⁾。これらとの接点は興味のある問題であるが、紙面の都合で割愛した。

村上敏夫（宇宙科学研究所）

参考文献

- 1) 柴崎徳明, 1993, 中性子星とパルサー, 培風館
- 2) Kouveliotou C. et al., 1998, Nature, 393, 235
- 3) Murakami T. et al., 1999, ApJ, 510, L199
- 4) Murakami T. et al., 1994, Nature, 368, 127
- 5) Thompson C. and Duncan, R., 1996, APJ, 473, 322
- 6) Hurley K. et al., Nature, in press
- 7) Mereghetti S. and Stella, L., 1995, APJ, 442, L17