

アンドロメダ銀河の回帰新星 M31N 2008-12a

加藤万里子 (慶応大学)

新星とは

新星は連星系中の白色矮星の表面で起こる爆発現象である。伴星は主系列星である場合が多いが、最近では伴星が赤色巨星のものもいくつかみつつかつてきている。伴星からガスが白色矮星にふりそそいでいる時期は静穏期で、白色矮星は非常に暗い。白色矮星の表面に積もったガスの質量がある臨界量をこえると、水素の核燃焼が突然はじまり、大きな核エネルギーが生成されるため、白色矮星は突然明るくなる。水素外層が大きくふくれるので、光球温度が下がり、可視光や赤外線での光度が上がる。このあたりからはげしい質量放出が起こる。ガスは外へ出ていくが、密度が下がるために、内側がすけて見えるようになり、光球温度が時間とともに上がる。新星爆発が終るころには水素外層の大部分が失なわれている。水素の殻燃焼が終ると星は暗くなり、新星爆発は終る。

超短周期の回帰新星

新星は周期的な現象であるが、爆発の間隔があまりに長いと、歴史上1回しか観測されない。理論的には白色矮星の質量が大きく、質量降着率が高い場合には、爆発と爆発の間隔が短い。何度も爆発が観測された新星を回帰新星という。爆発周期が短いものとして、U Sco の最短8年(1863、1906、1936、1979、1987、1999、2010)、RS Oph の9年(1898、1933、1958、1967、1985、2006)が知られていたが、最近、系外銀河の系統的観測が盛んに行われるようになり、周期がより短いものも報告されるようになった。M31N 1963-09c は5年(1963、1968、2001、2010、2015)、LMC 1968 (1968、1990、2002、2010、2916)も数年おきだし、ここで報告するもっとも短い周期の回帰新星 M31 N2008-12a は爆発周期が1年弱で、毎年観測されている(2008/12/16、2009/12/02、2010/11/20、2011/10/23、2012/10/19、2013/11/28、2014/10/02、2015/8/28)。注：2年前のこの研究会の報告では、『2010年の爆発は記録がないが、11月に観測がない時期があったため不明』と書いたが、その後、梶島富士夫・西山浩一の画像解析で爆発があったことがわかった)。X線では2013年から毎年Swift衛星で詳しく観測されている。この天体は非常に興味深いので、2016年の爆発をねらって、可視光、赤外線、X線の大がかりな観測チームを編成して待ちかまえていたのだが、11月18日時点でなぜかまだ爆発していない。また過去にはROSAT(1992,1993)とチャンドラ衛星(2001)による観測がある。図1に2015年の爆発の光度曲線を示した。

このように周期が極端に短い新星は、白色矮星の質量が非常に大きくてチャンドラセカール質量にとても近いと考えられるため、Ia型超新星の親天体として非常に貴重である。しかし理論的には数値計算の困難もあり、十分に研究されてきたとは言いがたい。また、これまで私たちが研究してきた新星の光度曲線は、可視光のピーク以後であり、ごく初期の

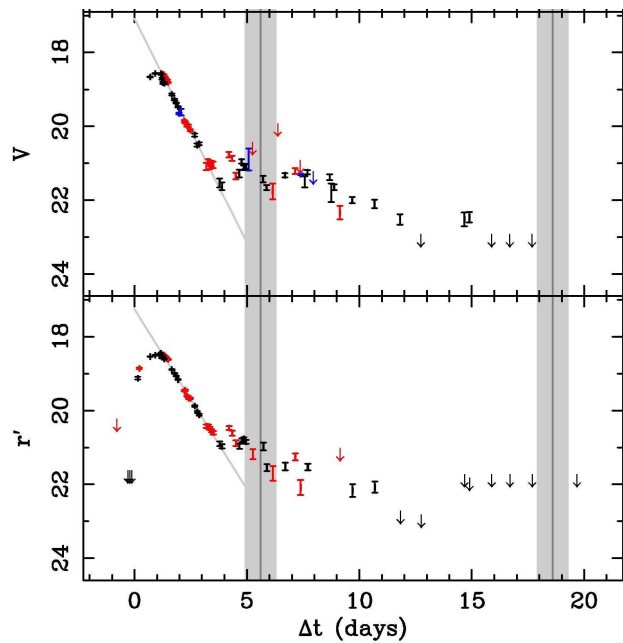


図 1: アンドロメダ銀河の回帰新星 M31 N2008-12a の光度曲線。この新星は、可視光や r バンドでの明るさが 18 等を超えず、通常の新星に比べて 1 – 2 等暗い。灰色線の間が超軟 X 線が観測された期間 (図は Darnley et al. 2016, ApJS より)。

立ち上がりや可視光の増光期間については詳しく計算できていない。ここでは爆発の全体像を把握できるような進化の計算方法を開発したので結果を報告する。

HR 図上の進化

図 2 には白色矮星の質量が $1.38M_{\odot}$ 、質量降着率 ($1.6 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) の場合の理論的な HR 図を示した。新星爆発が起こる前には白色矮星は暗いので、図の一番下 (A 点) にいるが、水素の核燃焼が始まると、急に明るくなる。初期には白色矮星の表面に積もったガスはほとんどふくれず、半径一定の線にそって明るくなる。その後 (B-C-F) ガスが大きく膨張する。F 点が可視光のピークに対応する。質量放出のためガスは外へ出ていくが、内部がすけて高温部分が見えてくるため、光球温度は上昇し、その後は左へ移動する。ピーク以後は新星の光度はほぼ一定だが、光球温度がしだいに上がるために可視光で減光し、紫外線で明るくなり、その後、紫外線が暗くなって超軟 X 線が強くなる。そのため、新星爆発の全体像を調べるためには、多波長観測が欠かせない。これまで多数の新星について、可視光、赤外線、紫外線、超軟 X 線の観測データが得られているので、わたしたちはそれを理論的な光度曲線と比べることにより、白色矮星の質量などを決定してきた。

新星風が起こる原因は、連続光による加速 (いわゆる continuum-driven) で、光球面より内側の領域でガスが加速される。白色矮星の表面で核反応により生成されたエネルギーフラックスが、光球にむかってガス中を流れる途中で、ところどころ流れにくい領域 (温度が 20 万度のところにある鉄の電離領域) があり、そこで光の流れがせき止められる時にガ

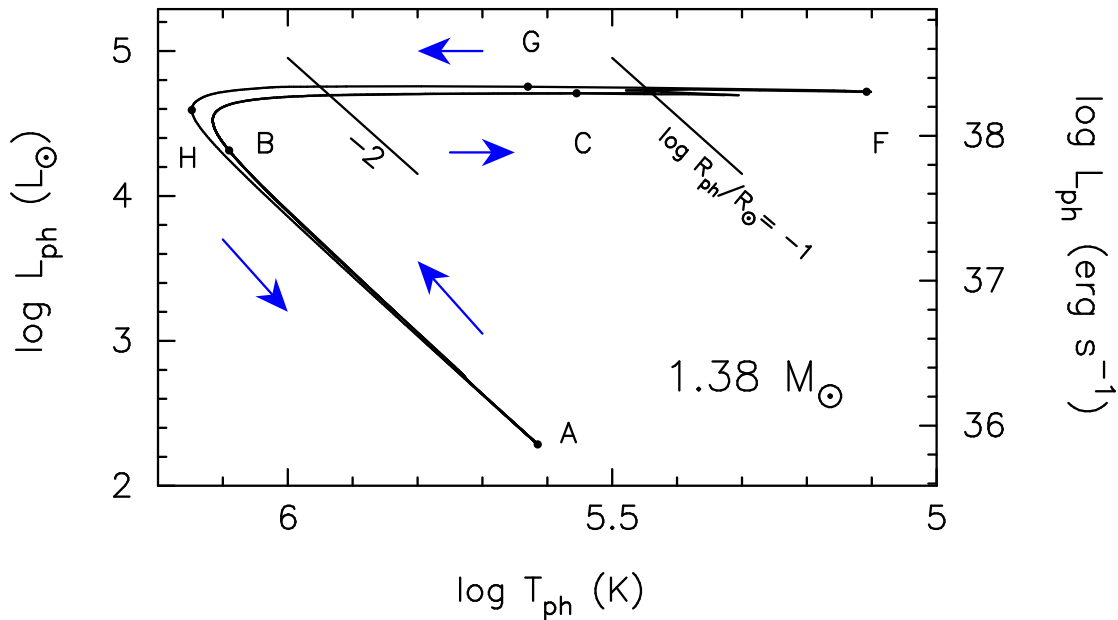


図 2: HR 図上での新星の進化。ここでは白色矮星表面の明るさと温度を示しているため、降着円盤や伴星の明るさは考慮していない。新星爆発が起こる前は、暗いので点 A にいる。水素の核融合反応が始まると突然明るくなり、点 B に移動する。この時点では表面温度が非常に高いので、可視光では観測されず超軟 X 線で明るくなる。その後ガスが膨張し、表面温度が低くなり、質量放出が始まる。光球面の半径は点 F でもっとも大きい。ただし典型的な古典新星と違って点 F の温度が非常に高い。質量放出はこのあたりから激しくなり、点 G まで続く。ガスが膨張して広がると内側がすけてくるため、温度が高くなり、左へ移動する。点 H をすこし過ぎたあたりで、核反応が止まり、その後は次第に暗くなる。(図は Kato, Saio & Hachisu, 2017 submitted より)

スを加速する。したがって新星風はガスの表面温度がその領域より低い場合に起こる。図 1 では点 C と G に対応し、それより低温度側で加速が起こる。

X 線フラッシュ

ところで図 2 では、ごく初期に B 点付近を通過する。この時期は表面温度が高いため、超軟 X 線で明るく、X 線フラッシュと言う。期間は短いですが X 線で十分明るく、X 線天文衛星で観測可能ではある。しかし爆発が可視光で発見される前の時期であるため、これまでどの新星でも検出されてこなかった。古典新星はいつどの方向に出るか分からないので、前もって観測計画を立てることができない。ところが、M31N 2008-12a は毎年秋に爆発するため、観測計画を立てることが可能である。そこで 2015 年 8 月から *Swift* 衛星で 6 時間おきに観測するという大計画を実施した。加藤の理論予測では、X 線フラッシュは可視光のピークの数日前に観測されるはずだったのである (Kato et al. 2015, ApJ, 808: 52)。ところが *Swift* 衛星で観測をはじめた 9 日間だったが、X 線で暗いまま、紫外線で明るくなり、可視光もピークに達したという報告が届いた。つまり加藤の予測は残念ながらはずれたわけである (Kato et al. 2016, ApJ, 830:40)。

そこで、数値計算方法を全面的に見直し、新しくモデルを計算しなおしたのが図 3 であ

る。M21N 2008-12a に近いパラメタとして、白色矮星質量 $1.38 M_{\odot}$ 、質量降着率 $1.6 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ を仮定した。爆発周期は約 1 年である。実線が超軟 X 線の光度変化であ、ごく初期 ($t = 0$) に X 線で明るい期間 (X-ray flash) があり、その後、X 線で暗くなる。この期間はガスが膨れて可視光で明るくなる時期に相当する。そのあとふたたび X 線で明るくなる (supersoft X-ray phase : SSS)。可視光の光度曲線は計算できていないので、示していないが、おそらく質量放出率のピークあたりが可視光のピークに相当すると思われる。つまり可視光のピークのあと、超軟 X 線 (SSS) が立ち上がるまでに 4 日程度、SSS の期間が 10 日弱で少し短い、定性的には観測の特徴を再現できていると考えられる。

X 線フラッシュはここでは可視光のピークより 2 週間ほど早い。これは回帰新星では爆発が弱いことと関係している。白色矮星の質量が大きいと一般的には爆発は強いが、回帰新星では質量降着率が非常に大きいので、白色矮星が温まっており、また静穏期の降着のさいの重力エネルギー解放も大きくて、水素ガスがたまっており、点火質量が小さい。それで新星爆発は弱く、図 2 で点 B 前後の膨張速度も早くない。それで回帰新星は可視光の減光 (図 2 の点 F-G) が早いにもかかわらず、それより前の進化はゆっくりしているのである。この計算では X 線フラッシュから可視光のピークまで約 2 週間あり、2015 年の観測結果 (ピーク前 9 日間は X 線で暗かった) に対応していると考えられる。

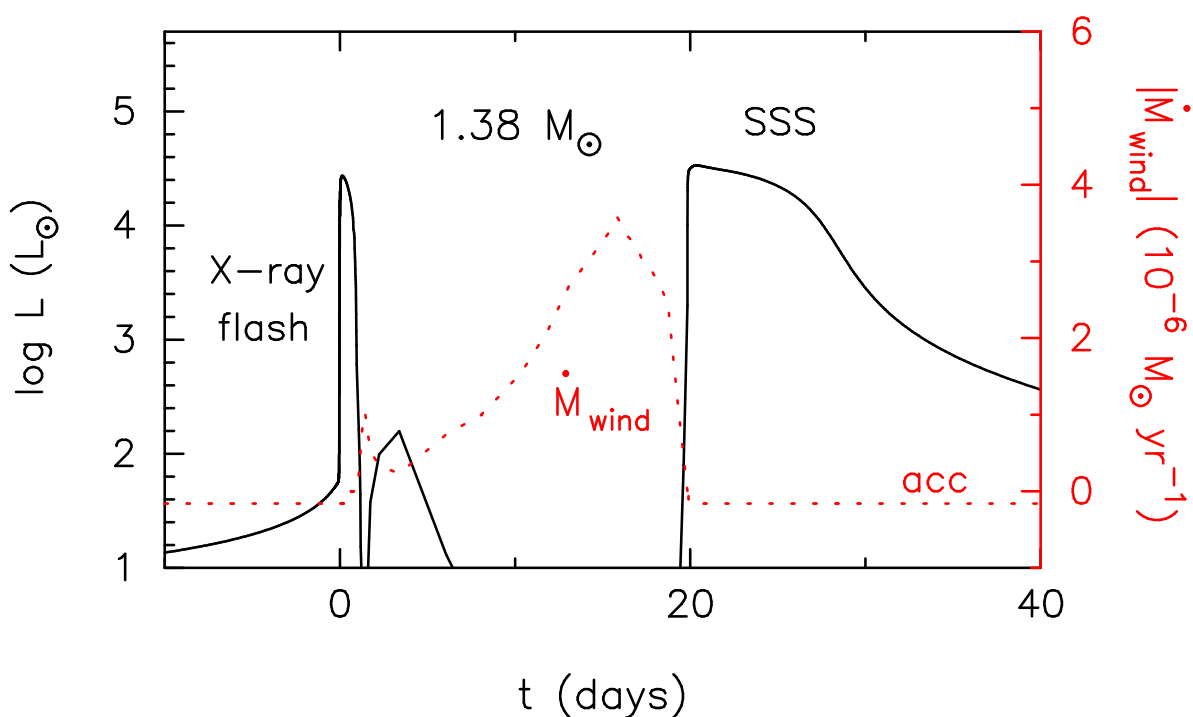


図 3: 非常に重い白色矮星でおこる新星の超軟 X 線光度の変化。新星爆発全体の期間は約 30 日で、そのごく初期 ($t = 0$) に X 線で明るい期間出す期間 X-ray flash) がある。可視光の光度曲線は書いてないが、質量放出率 (点線) のピークあたりが可視光のピークに相当する。白色矮星の質量は $1.38 M_{\odot}$ 、質量降着率は $1.6 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ (出典は図 2 と同じ)。

この研究は斉尾英行、蜂巢泉、M.Henze, M.J.Darnley 等との共同研究の成果である。