

超短周期の回帰新星の理論光度曲線

加藤万里子 (慶応大学)、 斉尾英行 (東北大)、 蜂巢泉 (東京大学総合文化)

新星とは

新星は白色矮星と伴星からなる近接連星系で起こる爆発現象である。伴星は主系列星であることが多いが、赤色巨星の場合もある。伴星から白色矮星にふりそそいだガスがある臨界量をこえると、水素ガスの不安定核燃焼が突然はじまる。水素の外層は大きくふくれるので、光球温度が下がり、実視等級が上がる。光度がピークに達する頃からはげしい質量放出が起こる。ガスは外へ出ていくが、ガスの密度が下がるために、内側がすけて見えるようになり、光球面が時間とともに内側に移動し、光球の温度が上がる。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、その周期があまりに長いと、人類には1回きりの現象のように思える。回帰新星は何度も爆発が記録された新星である。周期が短いものでは、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、周期が1年の回帰新星 M31 N2008-12a がアンドロメダ銀河に発見された。爆発周期は約1年である (2008/12/16, 2009/12/02, 2011/10/23, 2012/10/19, 2013/11/28, 2014/10/02、2010年は爆発が検出されなかったが、観測しなかった期間が11月にある)。X線では2013年と2014年にSWIFT衛星で詳しく観測された。また過去にはROSAT(1992,1993)とチャンドラ衛星(2001)による観測があるが、角度分解能はよくない。可視光のスペクトルには水素の輝線などがあり、可視光が減光した後で超軟X線が強くなるなど、新星の特徴をそなえている。

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ル質量にとっ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。しかしこれまで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、可視光の立上りは計算できていない。そこで周期が1年程度の新星について、立上りから暗くなるまでの全体像を把握できるような進化の計算方法を開発し、光度曲線を計算したので報告する。

HR 図上の進化

図1に白色矮星の質量が $1.35M_{\odot}$ 、質量降着率が非常に大きい($2.5 \times 10^{-7}M_{\odot}\text{yr}^{-1}$) 場合の新星爆発を示した。新星爆発が起こる前は白色矮星は暗いので、図の一番下にいるが、水素の核燃焼が始まると、急に明るくなり上側へ移動する。はじめは白色矮星の表面に積もつ

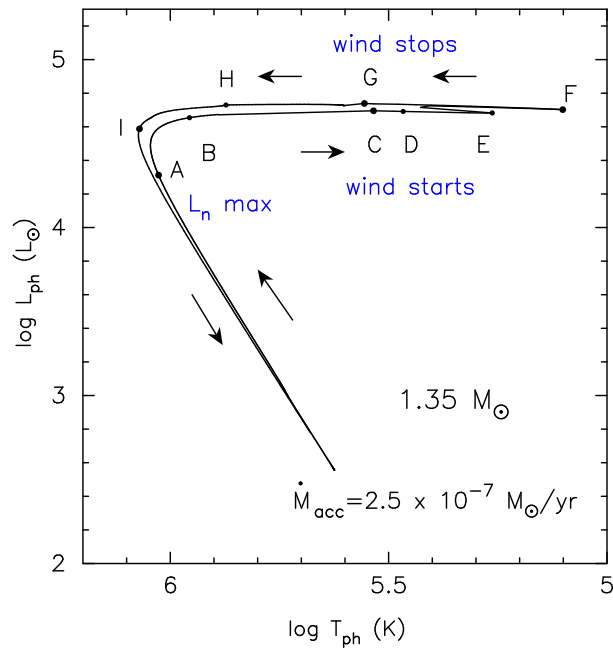


図 1: HR 図上での新星の進化。新星爆発前は最も下の位置にいて、水素の核融合反応が始まると点 A へ移動し明るくなる。その時点では表面温度が高いため、可視光では観測されない。その後白色矮星の周りのガスが膨張し、表面温度が低くなる。光球面の半径は点 F でもっとも大きい。質量放出はこのあたりから激しくなり、点 G まで続く。ガスが膨張すると、内側がすけてくるため、温度が高くなり、左へ移動する。点 I のあたりで、核反応が止まり、次第に暗くなる。

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 点付近から) ガスが大きく膨張する。点 B、C、D、E と移動し、点 F に達する。点 F 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、光球温度は上昇する。

このように理論的には、新星の光度はほぼ一定だが、ピーク以後は光球温度が上がるために可視光で減光する。それと同時に紫外線の光度が上がり、その後、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。

アンドロメダ銀河に現れた回帰新星 M31 N2008-12a では、可視光や r バンドでの明るさが 18 等を超えず、通常の新星と比べて 1-2 等暗い。これは図 1 の理論曲線で F 点の温度が非常に高いことと対応している。

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、光球面の内側のある領域でガスが加速されることによる。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。

図 2 は、周期がほぼ 1 年の回帰新星の光度変化を示した。白色矮星の質量は (a) $1.38M_{\odot}$ 、(b) $1.35M_{\odot}$ (c) $1.33M_{\odot}$ である。これより質量が小さいと、周期が 1 年より長くなる。新星

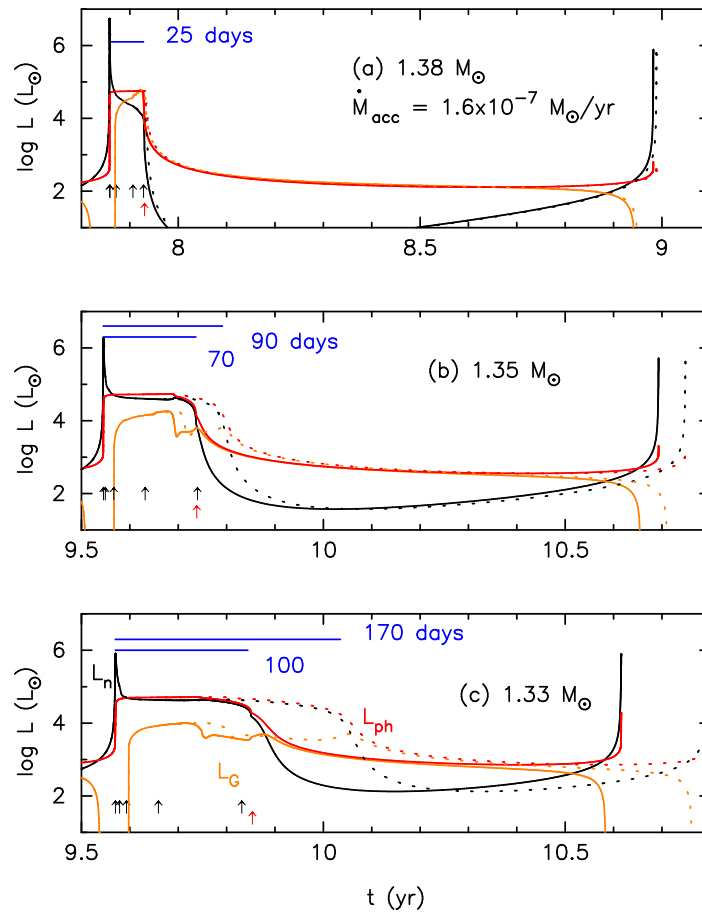


図 2: 新星の絶対光度の時間変化 (V 等級ではないことに注意)。白色矮星の質量と質量降着率はそれぞれ (a) $1.38M_{\odot}$ $1.6 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yr}$ 、(b) $1.35M_{\odot}$ $2.5 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yr}$ 、(c) $1.33M_{\odot}$ $3.3 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yr}$ 。赤線が絶対光度、黒線は水素の核融合反応で生成されたエネルギーフラックスで、絶対光度より大きい部分は、ガス層が膨張するときに吸収された。オレンジの線はガス層が膨張する (値が負のため図には書いてない) 時や沈下する時に出るエネルギーフラックスを示す。

爆発の期間はこの図でそれぞれ光度 L が大きい部分だが、可視光で見えるのは中ほどの部分で、ごく初期と後期では可視光は暗くて観測されず、超軟 X 線で明るい (初期の X 線は観測されていない)。1 年周期の新星 M31 N2008-12a は可視光での発見から X 線が暗くなるまでの期間が 18 日程度だったので、(a) に近い、つまり白色矮星は非常に重いと考えられる。新星爆発のごく初期には大量の核融合エネルギーが発生するが、その大部分は核反応領域のすぐ下を暖めることにより吸収されるため、外へ放出される光度はほぼ一定 (エディントン光度) である。この図では新星爆発が終わっても、光度があまり低くならない (X 線で明るい)。これは吸収された熱が放出されるためと質量降着率が非常に大きいため、重力エネルギーが熱になって光るからである。古典新星では爆発が終わるとすぐ暗くなる。

本稿は Kato, Saio, Hachisu (2014) submitted to ApJ. をもとにした。