

超新星爆発からの赤外線放射

長尾 崇史 (京都大学大学院 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

Abstract

超新星爆発がどのようにして起るかについて、その物理機構には未だ不明な点が多い。例えば、超新星爆発を起こす星が、爆発直前にどのような進化を経て爆発するのかということは未だ良くわかっていない。この事を知る上で、超新星爆発を起こした星の星周物質を理解することは大切である。星周物質は超新星爆発を起こす前の親星の質量放出の情報を持っているからである。本発表では Tanaka et al. 2012 の紹介を行う。この論文では、超新星爆発における赤外線放射機構を詳細に考え、観測と比較することで、これまでほとんど調べられていなかった超新星爆発の中期段階 (爆発後 10 年 ~ 100 年) の観測から超新星の親星に関する情報を引き出した。具体的には、星間物質、星周物質、衝撃波、新しく作られたダストからの赤外線放射の機構のモデルを仮定し、観測結果との比較を行った。その結果、赤外線で見つかった超新星 1978K の爆発前の親星の質量放出率が $10^{-4}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ であったことがわかった。

1 イントロダクション

重力崩壊型超新星爆発は重い星 ($10M_{\odot}$ 以上の星) の中心コアが進化の最後に重力崩壊を起こすことによって生じると考えられている。しかし、超新星を起こす星がどのような進化を経て爆発を起こすかということは未だ謎である (eg. Maeda, K. et al. 2014)。そこで Tanaka et al. 2012 では、超新星爆発における赤外線放射機構を詳細に考え、観測と比較することで、これまでほとんど調べられていなかった超新星爆発の中期段階の観測から超新星の親星に関する情報を引き出すことを考えている。具体的には、星間物質、星周物質、衝撃波、新しく作られたダストからの赤外線放射の機構のモデルを仮定し、観測結果との比較することで、星周物質の情報を引き出した。星周物質は親星の爆発前の質量放出で作られているので、さらに星周物質の情報から親星時代の質量放出率を推定した。

2 観測

6 つの重力崩壊型超新星爆発 (SNe 1909A, 1917A, 1951H, 1962M, 1968D, 1978K) について AKARI (別名 IRIS, InfraRed Imaging Surveyor) (Murakami et al. 2007) の IRC (N3 ($3.2\mu\text{m}$), N4 ($4.1\mu\text{m}$),

S7 ($7.0\mu\text{m}$), S11 ($11.0\mu\text{m}$), L15 ($15.0\mu\text{m}$), L24 ($24.0\mu\text{m}$)) と Spitzer Space Telescope の MIPS ($24\mu\text{m}$) のアーカイブ撮像データを使った。この 6 つの超新星のうち赤外線放射が受かっていた SN1978K についてのみ以後考える。電波の SED (Smith et al. 2007) から推定されるシンクロトロン放射の分を差し引いて、ダストからの赤外線光度を見積もってやると $1.5 \times 10^{39} \text{ ergs}^{-1}$ であった。この観測されたダストからの赤外線の起源を次章で考える。

3 赤外線放射の起源

中期段階の超新星のダストからの赤外線放射は 4 つの起源が考えられる。星周物質のダストからの赤外線放射、星間物質のダストからの赤外線放射、新しく作られたダストからの赤外線放射、衝撃波内のダストの赤外線放射。爆発から 30 年経った SN1978K に関して、Dwek (1983) の理論モデルに基づいて、以下それぞれについて考える。

3.1 星周物質のダスト

星周物質は超新星爆発からの光で温められて光っていると考えられている。星周物質の分布の違いに

より出てくる赤外線の光度も変わってくる。それを利用して星周物質の情報を引き出すことを考える。星周物質は超新星の親星時代に質量放出によって超新星の周りに掃きためられたガスとダストで作られている。星周物質からの赤外線放射を見積もるために、親星の質量放出を単純化して考える。爆発直前のある一定の期間、一定の速度で、一定の放出率で質量放出を起こすとする。この3つのパラメータを決めてやると超新星の周りの星周物質の密度分布が分かる。例えば、このパラメータを変えると図1のように星周物質の質量分布が決まる。このような分布の星周物質からの赤外線の光度は、超新星から受け取ったエネルギーをすべて、輻射平衡の温度の黒体放射で放出するとして見積もれる。そのようにして計算した結果、爆発後30年では、パラメータをいじっても、今回観測されているSN1978Kの赤外線光度を説明できるほど光らないことが分かった。パラメータの違う2つの場合の赤外線光度の計算結果を図2に示す。

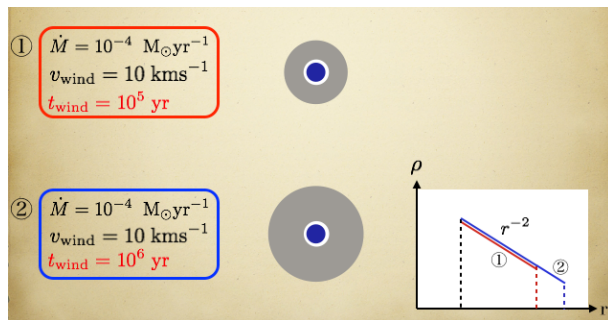


図 1: 星周物質の密度分布。質量放出率 ($10^{-4}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) と質量放出時のダストの速度 (10 km s^{-1}) を同じにし、質量放出の期間を① 10^5 yr と② 10^6 yr の2つの場合の密度分布を表している。

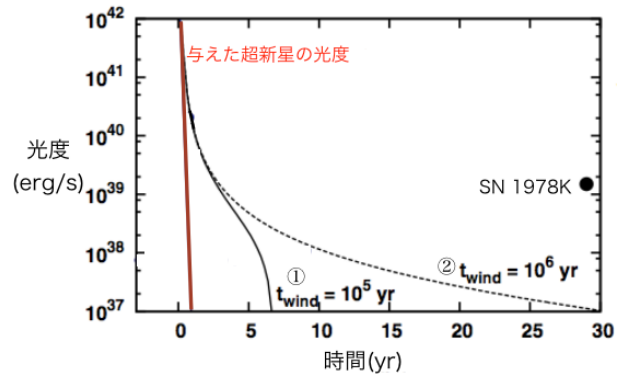


図 2: 星周物質からの赤外線光度。図1と同じパラメータの値を使っている。質量放出率 ($10^{-4}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) と質量放出時のダストの速度 (10 km s^{-1}) を同じにし、質量放出の期間を① 10^5 yr と② 10^6 yr の2つの場合の星周物質からの赤外線光度。

3.2 星間物質のダスト

星周物質と同じように星間物質は超新星の光で温められて光っている。星間物質の分布は一樣だと仮定し、同様にどのくらいの赤外線光度になるかを計算した。星間物質の密度を 0.1 cm^{-3} と 1.0 cm^{-3} の場合の計算結果を図3に示す。星間物質の密度を変えても、今回の赤外線光度をすべて説明することはできなかった。

3.3 新しく作られたダスト

新しく作られたダストは、超新星爆発で作られた放射性元素が出すエネルギーをもらって光ると考えられる。SN1978Kは爆発から30年経っており、新しく作られたダストが光る主なエネルギー源は ^{44}Ti である。典型的な重力崩壊型の超新星爆発で、爆発後30年の ^{44}Ti から得られるエネルギーは $10^{36} - 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$ である。 ^{44}Ti の出すエネルギーをすべてもらい、赤

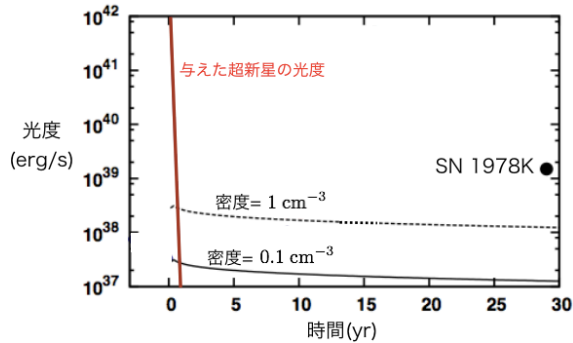


図 3: 星間物質からの赤外線光度。密度が 0.1cm^{-3} と 1.0cm^{-3} の場合の星間物質からの赤外線光度。

外線で光ったとしても今回観測された SN1978K の赤外線光度 ($1.5 \times 10^{39}\text{erg s}^{-1}$) を説明することはできない。

3.4 衝撃波内のダスト

衝撃波は星周物質を掃き集めて、ダストの量を増やしていく。そのダストが衝撃波内で加熱され赤外線放射を出す。なので星周物質の質量分布、衝撃波の進む距離によって衝撃波内のダストからの赤外線の光度は変わる。星周物質の密度分布は親星時代の質量放出率が $10^{-4}M_{\odot}\text{ yr}^{-1}$ とし、その速度を 10km s^{-1} とした。衝撃波の進む速度は 5000km s^{-1} とし、超新星爆発からの経過時間は 30 年である。これらとダスト破壊を考慮して、衝撃波内のダストの量を見積もり、ダスト温度を 230K と仮定して、ダストからの赤外線光度を計算した。計算した赤外線光度は $4 \times 10^{39}\text{erg s}^{-1}$ となった。これは今回観測した赤外線光度を十分説明でき、逆に一番合うパラメータとして親星時代の質量放出率が $10^{-4}M_{\odot}\text{ yr}^{-1}$ と推定された。

4 結果

今回観測した超新星 SN1987K からの赤外線放射の起源としては、前節の議論より衝撃波内のダストからの赤外線放射であると推定された。また観測された赤外線の放射を説明する為には超新星の親星時代の質量降着率が $10^{-4}M_{\odot}\text{ yr}^{-1}$ でなければならないこともわかった。今後このような情報が多くの超新星で分かるようになれば、超新星爆発を起こす直前の星の進化について一般的な事が言えるようになると思われる。

5 自身の研究としての今後の展望

Tanaka et al. 2012 で用いたモデルでは、輻射輸送の取り扱い、星周物質の初期構造などの単純化を行っている。これらは、超新星爆発からの赤外線放射に大きく影響を与え、星周物質の性質の見積もりに影響してくると思われる。例えば、今回は親星の質量放出率を一定と仮定したので星周物質の密度分布を r^{-2} で減るような分布として扱った。しかし突発的な質量放出が予想されるような高密度シェルがあるような系を示唆する観測 (eg. Fox et al 2010) もあり、それぞれの系に合った密度分布で考える必要がある。我々はこれらの効果を新たに組み込むことを考えている。また、これまでは星周物質のダストの研究は赤外域での理論・観測研究に限られてきたが、星周物質の構造やダストの組成により可視域にも大事な情報が含まれると考えられる。さらに偏光により新たな情報が得られると考えられる。今後は、多波長・多モード観測を念頭に置いた輻射輸送モデルを構築し、観測との包括的な比較から星周物質の性質を解明することを目標にしたいと考えている。

Reference

- Tanaka, M., Nozawa, T., Sakon, I., et al. 2012, ApJ, 749, 173
 Dwek, E. 1983, ApJ, 274, 175
 Murakami, H., Baba, H., Barthel, P., et al. et al. 2007, PASJ, 59, 369

2014 年度 第 44 回 天文・天体物理若手夏の学校

Maeda, K., Katsuda, S., Bamba, A., et al. 2014, ApJ, 785, 95

Smith, I. A., Ryder, S. D., Böttcher, M., et al. 2007, ApJ, 669, 1130

Fox, D. O., Chevalier, A. R., Dwek, E., et al. 2010, ApJ, 725, 1768