

博士論文要旨

Light Curve Studies of Type Ia Supernovae with a Multi-band Stretch Method at the Low- and Intermediate-Redshift Universe

(Multi-band Stretch 法を用いた低・中赤方偏移における Ia 型超新星の多波長光度曲線の研究)

氏名 高 梨 直 紘

天文学においてもっとも単純で、かつ重要な興味のひとつは天体までの距離を知ることである。宇宙空間に物差しを持って出られない以上、我々は様々な方法を用いて天体までの距離を推測するわけだが、我々の住む銀河系を越えた外に広がる宇宙にある天体までの距離を測る方法となると、その手段は限られてくる。いくつかあるそれらの手法は、いずれも天体までの距離に伴って変化する観測量によって、その距離を推測するという方法である。その中でも宇宙論的距離にある天体までの距離をもっとも精度良く推測する方法として知られているのが Ia 型超新星を用いる方法である。

Ia 型超新星とは、白色矮星がある条件下において爆発し、太陽の 100 億倍程度の明るさで輝く現象である。Ia 型超新星はどれも互いによく似た性質を示すことが知られており、最大光度での明るさのばらつきは 1 等程度であることが知られている。非常に明るく、その明るさが一様であるという性質を利用して、見かけの明るさから距離を求めることが行われている。Ia 型超新星程度の明るさを持つ天体としては銀河があるが、銀河はその明るさのばらつきが大きく、精度良い距離指標としての利用は難しい。

Ia 型超新星の明るさは、他の諸天体に比べれば相対的に一様ではあるが、必ずしも均質というわけではない。Ia 型超新星の中に見られる個性を補正し、より精度の高い距離指標として用いるための研究が 1990 年代初頭から活発に行われるようになってきた。よく知られている補正方法としては、Ia 型超新星の光度曲線と最大光度の間に認められる相関を利用して最大光度の明るさを補正する方法がある。この光度曲線に基づいた補正方法は、どのように光度曲線の情報をパラメータ化するかという点においていくつかの流儀があり、それぞれに一長一短がある。近年では多波長での測光観測および分光観測が主流となっており、これらの観測によって取得されたデータを最大限に活かす補正方法が必要とされている。

光度曲線に基づいて適切に最大光度が補正されても、宇宙論的距離にある Ia 型超新星までの距離を正確に推定するためには解決しなければならない問題がいくつかある。ひとつは、出現母銀河における微粒子（ダスト）による減光の問題である。一般に、超新星爆発によって放たれた光は我々の観測装置にたどり着くまでに、ダストや地球大気などによって減光を受けている。特に、ダストによる減光の補正を適切に行うことは、天文学における難しい課題のひとつである。幸い、我々の銀河系における減光に関しては Schlegel et al.(1998) に詳しく、これに従って補正できるが、Ia 型超新星の出現した銀河における減光を適切に補正することは困難を伴う。通常、ダストによる選択的減光の効果によって光は赤化し、この赤化量を測ってダストによる減光量を補正することが行われる。しかし、その赤化量を知るには、そもそも Ia 型超新星がどのような色をしているのかということを知らねばならず、簡単ではない。また、仮に Ia 型超新星の真の色がわかり、赤化量が正確に見積もれたとしても、銀河ごとにダストの性質が異なる可能性もあり、減光量への変換は単純ではない可能性がある。このように、ダスト補正には容易に系統誤差が入り込む余地があり、慎重に検討されるべき問題である。

このダストの補正問題に加え、宇宙論的距離にある天体を扱う際に注意が必要なのは、天体の進化についてである。遠方に出現した Ia 型超新星の見掛けの明るさを用いて距離を推測できるとする背景には、近傍と遠方で Ia 型超新星の性質は変化していないという前提がある。2007 年現在では、赤方偏移が 0.5 (約 50 億光年) 以上の遠方宇宙に出現した Ia 型超新星と、赤方偏移が 0.1 (約 10 億光年) 以下の近傍宇宙に出現した Ia 型超新星の測光的/分光的諸性質を比較した様々な先行研究では有意な進化は認められないと結論づけられている。しかし、遠方の Ia 型超新星の観測精度は近傍のそれに比べて劣るため、観測例が少ない中赤方偏移 (0.1~0.5) の宇宙に出現した Ia 型超新星を高い精度で観測し、進化の有無を確認する必要がある。

本論文では、これらの諸問題について近傍および中赤方偏移に出現した Ia 型超新星の多波長光度曲線を用いて検討を行った。論文は 2 部で構成されており、第 1 部では近傍 Ia 型超新星の、第 2 部では中赤方偏移 Ia 型超新星の多波長光度曲線を用い、標準光源としてどのような性質をもった Ia 型超新星を選ぶべきか、議論を行っている。

第 1 部では、まず既に報告されている 122 個の近傍 Ia 型超新星の多波長光度曲線を用いて、標準光源光度曲線の解析手法の開発を行った。具体的には、基本的に単波長光度曲線の解析に用いられる Stretch 法 (cf. Perlmutter et al. 1997) を多波長に拡張した Multi-band Stretch 法を初めて提案した。Multi-band Stretch 法は、先行研究において提案されている手法と比べ、Ia 型超新星の個性を反映しやすい点が新しい。本手法のために用いる超新星光度曲線のテンプレートも独自に作成し、それらのテンプレートが実際の光度曲線に良く合うことを示した。実際に本手法を用いて近傍 Ia 型超新星の多波長光度曲線を解析した結果、標準光源として適した Ia 型超新星のサンプルとしては、光度補正を行った見かけの青い Ia 型超新星と、光度補正を行った上で色補正を適用した楕円銀河に出現した Ia 型超新星のふたつがそれぞれ適当であることを、先行研究とは独立に示した。また、標準的な Ia 型超新星とは異なる測光的特性を持つ Ia 型超新星の存在も、測光的性質の側面から初めて指摘している。なお、第 1 部の内容については、Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 誌に投稿している。

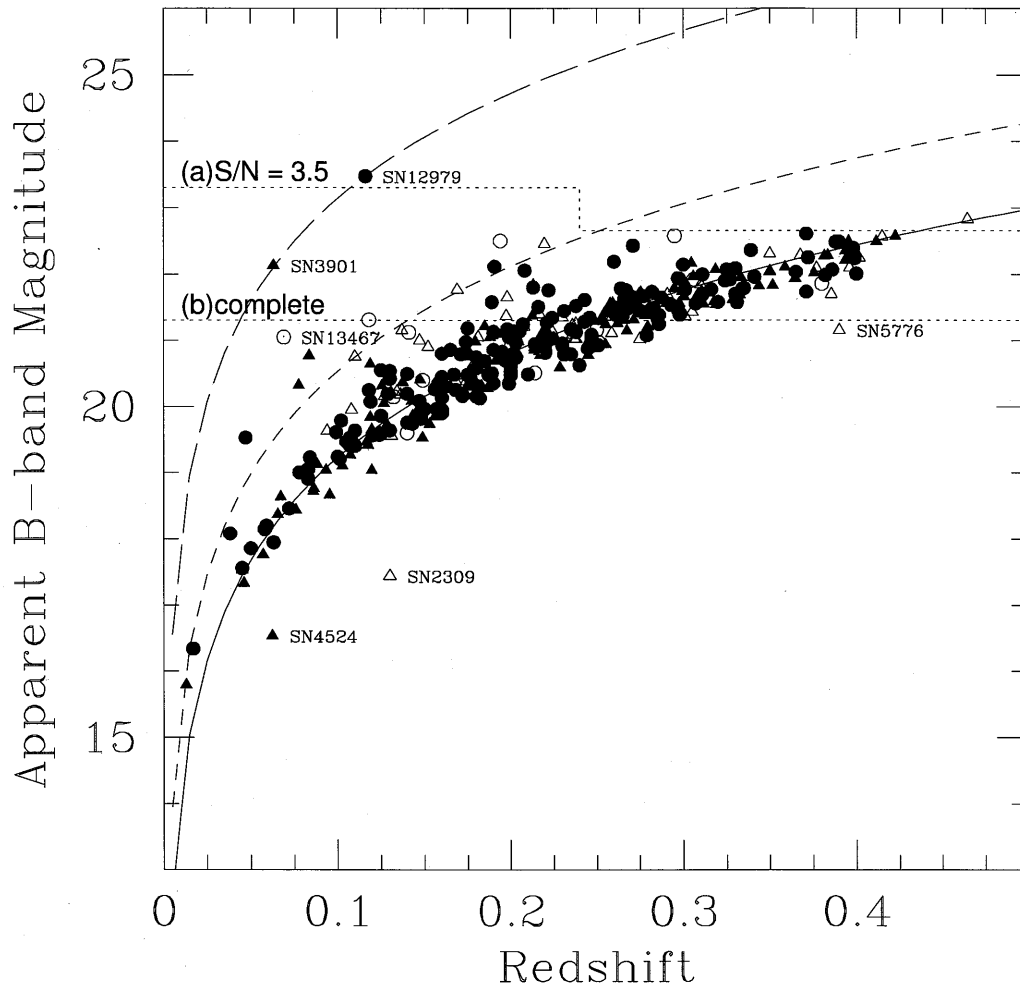


図1 SDSS 超新星の赤方偏移方向の分布を示した図。縦軸には見かけの B バンド等級である。▲は 2005 年、●は 2006 年に発見されたことを示しており、白抜きのは分光的には同定されていない Ia 型超新星である（信頼度は塗りつぶされた点に比べて相対的に低い、Ia 型超新星である確率が高い）。点線はそれぞれ (a)SDSS 望遠鏡の検出限界および (b) シミュレーションから推測された 100% 検出の限界等級を示している。短い破線は 2005 年の観測における色に基づいた観測バイアス、長い破線は 2006 年のものである。実線は絶対等級が-19 等の天体が各赤方偏移で何等級に相当するかを示した線で、大部分の SDSS 超新星はこの実線付近に分布していることがわかる。一方で、この実線を大きく上回るもの（暗い天体）が存在していることもわかる。

第2部では、Sloan Digital Sky Survey (SDSS)-II 超新星探索プロジェクトによって発見された中赤方偏移 Ia 型超新星 (以下 SDSS 超新星) の多波長光度曲線を用いて、標準光源として用いるべき Ia 型超新星の条件を検討した。SDSS-II 超新星探索プロジェクトはこれまでに不足していた赤方偏移 0.1~0.5 の Ia 型超新星の発見と追加観測を目的とした3カ年の国際プロジェクトで、我々もその一員として参加している。本論文では、このプロジェクトの最初の2年間 (2005-2006年) に発見された計373個の Ia 型超新星を利用しており、中赤方偏移の Ia 型超新星サンプルとしては世界で初めての大規模サンプルとなっている。なお、発見された各 Ia 型超新星の測光までは他のプロジェクトメンバーが行っており、個別の光度曲線の解析以降が私が独自に行った研究となる。

まず、第1部で述べた Multi-band Stretch 法を用いて SDSS 超新星の多波長光度曲線のパラメータ化を行い、SDSS 超新星を光度曲線の形に基づいて (1) "abnormal"、(2) "broad"、(3) "normal"、(4) "narrow" の4種類に分類し、それぞれの測光的性質についてまとめ、これら SDSS 超新星の間に進化が見られるかどうかについて検討を行った。その結果、ダストの影響を排除した "normal" な Ia 型超新星においては、BバンドおよびVバンドの最大光度では、赤方偏移が0.4までの範囲で、有意な進化は認められないことを初めて示した。また、遠方において "broad" に分類される Ia 型超新星が顕著に見られることも初めて発見し、これらが Ia 型超新星の進化の結果である可能性を指摘した。これらの結果をふまえ、"normal" な Ia 型超新星の Bバンドの最大光度を、どのように補正して使うべきか検討を行った。その結果、青い Ia 型超新星を光度補正したサンプルの分布のばらつきがもっとも小さく、またその物理学的背景が比較的明確であるとの理由から、距離指標として使うべきサンプルであることを、中遠方赤方偏移の大規模な Ia 型超新星のサンプルに基づき初めて提示した。以上の内容については、The Astrophysical Journal への投稿を予定している。

また、第1部および第2部における解析を通じ、母銀河におけるダストの性質についての研究も行った。超新星の色分布は、減光係数の波長依存性を銀河系のダストと同じ性質であると仮定して考えても矛盾のないことを確認した。また、減光係数の絶対値についても、超新星の真の色は必ずしも光度曲線の形に依存しないという前提の元では、やはり銀河系のダストと同じ性質を持つと考えても矛盾がないことを初めて指摘した。以上の内容についても、The Astrophysical Journal への投稿を予定している。