

実習【超新星の明るさと銀河の距離の関係】

ティーチャーズガイド

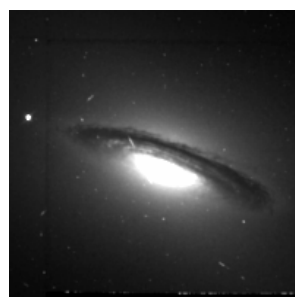
【教材のねらい】

遠い銀河までの距離を測る方法として使われるのが超新星爆発です。超新星爆発は非常に激しい現象なので、かなり遠いものでも出現を容易に検出できます。また、超新星爆発のうちI a型と呼ばれているものは、最も明るくなった時の絶対等級がどの場合も同じになるという性質があります。絶対等級がわかっているので、みかけの等級と比較することで超新星までの距離、つまり、その超新星が含まれる銀河までの距離を測る手がかりとすることができます。宇宙論的な遠い銀河の距離を測る手段です。

ここでは、I a型超新星の絶対等級を求めるとほぼ一定の値になること確かめる活動と絶対等級を既知として、実際の超新星の画像を測定して距離を決める活動の2セットを教材化しました。



SN1994d あり



なし (NASA・HSTによる)

【事前に学習しておくの良いこと】

事前に知識として知っているのが望ましいことは、銀河、超新星爆発の簡単な知識、みかけの等級、絶対等級の関係、対数の扱い方です。

観測した星のみかけの等級 m は、比較星の等級 m_0 と測光値により次のようになります。

$$m = m_0 - 2.5 \log \frac{l}{l_0} \quad \dots \dots l_0 : \text{比較星の測光値}, \quad l : \text{観測星の測光値}$$

これは、活動5-2で必要になります。

絶対等級 M 、みかけの等級 m 、距離 r の関係は次の通りです。

$$M = m + 5 \log \frac{R}{r} \quad \dots \dots R = 10 \text{ [pc]}$$

I a型超新星の極大光度の絶対等級は、リチャードソンらによると、 -19.46 です。

銀河の距離は主に後退速度 v のデータからハッブル則により換算しました。ハッブル定数はリチャードソンらが絶対等級算出に使用したのと同じ値を採用しました。

$$v = H_0 \times r \quad \dots \dots H_0 = 60 \text{ [km/s/Mpc]}$$

『超新星の明るさと銀河の距離の関係を探る - 1』

【ねらい】 Ia型超新星の絶対等級が -19.5 前後の値になることを見いだせればよい。

【授業展開例】 1時間の教室実習

1. SN2002boについて、光度変化のグラフから、極大光度(等級)を読みとります。
2. 1.の結果から絶対等級Mを計算します。
3. 1., 2.の手順を繰り返して、各超新星の絶対等級を求めます。
4. 求めた値について考察します。
5. 距離が未知のものについて距離を求めてみます。(時間があれば)

【設問の解答例】

設問1～3

銀河	距離[Mpc]	超新星	みかけの等級	求めた絶対等級
NGC3190	26.2	SN2002bo	13.6	-18.5
NGC3169	23.0	SN2003cg	14.4	-17.4
NGC5468	47.3	SN2002cr	14.2	-19.2
NGC7678	58.1	SN2002dp	15.0	-18.8
UGC10743	42.8	SN2002er	14.2	-19.0
NGC1309	35.6	SN2002fk	13.2	-19.6
NGC3987	75.8	SN2001V	13.8	-20.6
UGC11725	105.8	SN2001dl	16.2	-18.9
UGC10738	112.0	SN2001cp	15.8	-19.4
UGC1162	185.1	SN2001eh	16.4	-19.9
NGC1448	19.6	SN2001el	12.7	-18.8
UGC5129	67.0	SN2001fe	14.8	-19.3

[Mpc] は 100 万[pc]

光度曲線の読みとりは個人差がでて構いません。計算には対数表が必要になります。対数を計算できる電卓、表計算ソフトなどを使うと楽です。

超新星の数が多いので、3～4人の班で分担すると良いかもしれません。

設問4 絶対等級が -19 等台に集中していることがわかればいいです。平均値を求めておくと、設問5につながります。上の表で求めた平均は -19.2 です。

設問5 設問4で求めた絶対等級を利用して距離を計算します。 75 [Mpc] 前後の値が求めればいいでしょう。『超新星の明るさと銀河の距離の関係を探る - 2』も実施するなら、ここは省略します。

『超新星の明るさと銀河の距離の関係を探る - 2』

【ねらい】 Ia型超新星で遠い銀河の距離が測れることがわかればよい。

【授業展開】 2時間のパソコン教室での実習

1時間目

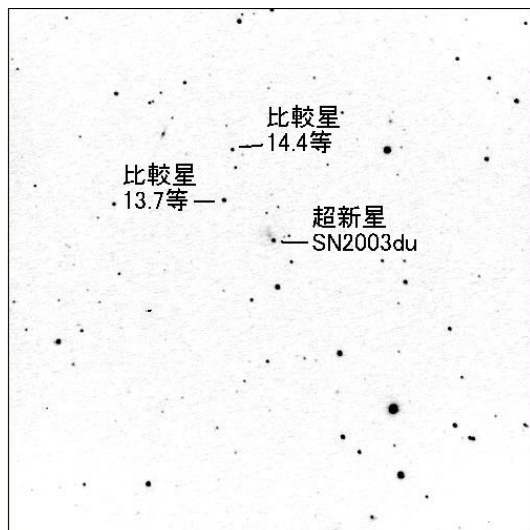
1. 画像の中から超新星と比較星を特定します。
2. 比較星と超新星の明るさをそれぞれ測光して記録します。
3. 測光値からみかけの等級を計算します。

2時間目

4. 求めたみかけの等級で光度曲線を作成し、極大光度(等級)を読みとります。
5. 極大時のみかけの等級と絶対等級の関係式から距離を算出します。
6. 求めた値について考察します。

【設問の解答例】

設問1



中央のぼうっとした銀河の中に超新星があります。画像の明るさをスライダバーの▲を使って調整すると銀河の光芒がわかりやすくなります。

設問2 比較星はどちらを使っても構いません。2つ使って平均を取るとより正確な値がとれます。

設問3 対数を含んだ計算は大変です。表計算ソフトなどを使うと良いでしょう。エクセルのファイルを用意しましたので、ご利用下さい。

設問4 光度曲線は5-1の各超新星の光度曲線を参考にできます。極大等級は

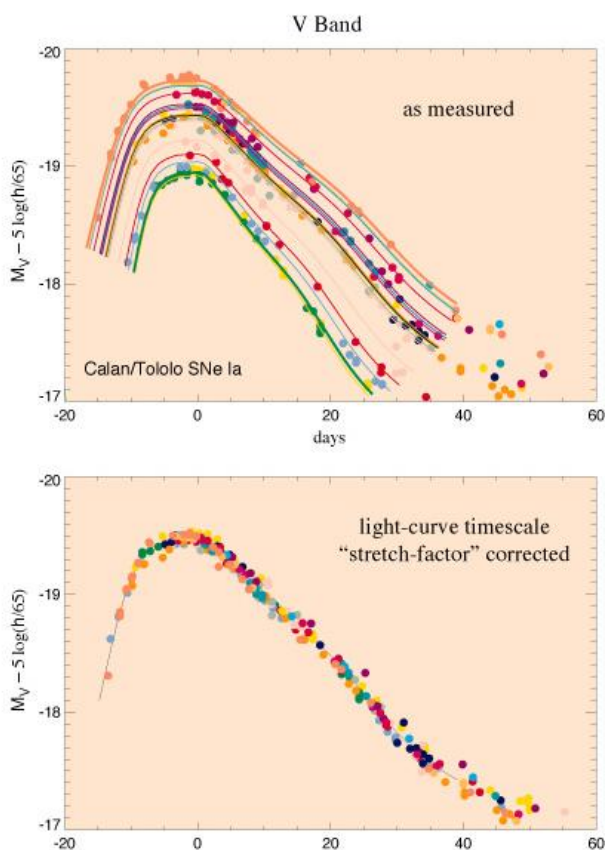
- 1 3. 2程度になればいいでしょう。

設問5 30-35 [Mpc] 前後の値ができれば、よいでしょう。

設問6 この値は SN2003du が観測された銀河 UGC9391 の後退速度 1921[km/s]からハッブル則で計算しました。

【超新星の極大光度】

Low Redshift Type Ia Template Lightcurves



(出典：<http://www-supernova.lbl.gov/>)

I a型超新星の極大光度は他の型のものに比べて安定していますが、左のグラフ（上）のように多少の個性があります。厳密に極大光度を決定するためには、光度曲線の減光部分に着目して曲線をあてはめ極大光度を読みとる作業をします。減光する速さによって極大光度が違っているからです。一般にゆっくり減光するものは極大光度が明るくなります。このことを配慮すると、左のグラフ（下）のように -19.5 にそろってきますが、そのような補正をしなければ暗いものと明るいものでその差は1等級にもなります。これが生徒が求める値がきれいに -19.5 にならない原因の一つです。今回はデータが多いので、個性が薄まって良い値に近づきますので、このあたりはあまり気にせず平均値を出してください。

もう一つ、生徒の計算結果が -19.5 に近づかない理由として、極大光度を読む際にどうしても観測点の最大値を読んでしまいがちになる点があげられます。1本のなめらかな曲線を想像しながら描いて、その曲線の最大値を読むように指導するとよい結果になります。もっとも、そのようなことを言わずに後で値について考察させる方法もあると思います。

【資料の出典】

- ・『超新星の明るさと銀河の距離の関係を探る - 1』

超新星光度曲線：Supernovae Home Page <http://www.astrosurf.com/snweb/>

銀河の後退速度：国立天文台／天文学データ解析計算センター 天文データセンター
カタログサービス Galaxy Redshift Catalog

銀河画像：国立天文台／天文学データ解析計算センター 天文データセンター
HST日本アーカイブ

絶対等級：Dean Richardson et.al, The Astronomical Journal,123:745-752,2002,Feb

・『超新星の明るさと銀河の距離の関係を探る - 2』

銀河の後退速度（距離）：国立天文台／天文学データ解析計算センター 天文データ
センター カタログサービス Galaxy Redshift Catalog

銀河画像：国立天文台／天文学データ解析計算センター 天文データセンター
HST日本アーカイブ

超新星画像：名寄市立木原天文台の佐野康男さんのご提供による

【参考】

学習指導要領上の位置づけ（新）

高校 地学Ⅰ (2) 大気・海洋と宇宙の構成

イ 宇宙の構成 (ウ) 銀河系と宇宙

地学Ⅱ (3) 宇宙の探究

イ 宇宙の広がり (ア) 天体の距離と質量 (イ) 宇宙の構造