



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

Development of Three-Dimensional Teaching Material on the Life of Stars

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-01-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 下井倉,ともみ, 井川,穂南, 土橋,一仁 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/00173478

恒星の一生に関する立体教材の開発

下井倉 ともみ*¹・井川 穂南*¹・土橋 一仁*²

宇宙地球科学分野

(2021年8月16日受理)

SHIMOIKURA, T., IKAWA, H. and DOBASHI, K.: Development of Three-Dimensional Teaching Material on the Life of Stars. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **73**: 133-138. (2021) ISSN 2434-9380

Abstract

Stars are born in dense interstellar gas called molecular clouds, and evolve sequentially from protostars to main-sequence stars, and then to red giants. Subsequent evolutionary process of stars depends on the stellar mass at their birth, and they will eventually finish their lives as a white dwarf, a neutron star, or a black hole. This is the life of stars. In this study, we have developed a three-dimensional teaching material on the life of stars using familiar daily necessities around us. The teaching material helps students understand the changes in size and surface temperature at each stage of stellar evolution as well as the differences in the evolutionary process depending on the mass of stars.

Keywords: astronomy, life of stars, science education

Department of Astronomy and Earth Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要 旨

恒星は、分子雲と呼ばれるガスが濃く密集した領域で誕生し、原始星、主系列星、赤色巨星へと順に進化していく。その後の進化の過程は誕生時の恒星の質量によって異なり、最終的には白色矮星や中性子星、ブラックホールとして一生を終える。これが「恒星の一生」である。本研究では、恒星の一生を立体的な模型で表現した教材を開発した。身近な材料で製作したこの教材には、進化段階毎の恒星の大きさや表面温度の変化が理解できるだけでなく、質量別の進化過程の違いもひと目で分かる、という特徴を持たせた。

キーワード: 天文学, 恒星の一生, 科学教育

*1 大妻女子大学 社会情報学部 環境情報学専攻 (102-0075 東京都千代田区三番町12番地)

*2 東京学芸大学 広域自然科学講座 宇宙地球科学分野 (184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1)

1. はじめに

恒星は、分子雲と呼ばれる星間ガスが濃く密集した領域で誕生する。誕生時の状態は原始星と呼ばれる。その後、核融合反応で輝く主系列星となり、外層が膨張して表面温度の下がる赤色巨星へ進化していく。赤色巨星後の進化の過程は、誕生時の恒星の質量によって異なり、最終的には白色矮星や中性子星、ブラックホールなどの状態で一生を終える。これが、「恒星の一生」である（例えば、中村 2009）。その進化過程の違いは、太陽の質量を基準として、(1) 太陽より質量の小さい恒星、(2) 太陽程度の質量の恒星、(3) 太陽質量の8倍から30倍程度の恒星、(4) 太陽質量の30倍以上の恒星、と4つに大別して考えることができる（例えば、谷口 2013）。

我々に最も身近な恒星は太陽である。現在の太陽は主系列星の段階にある。今後、太陽は赤色巨星を経た後、惑星状星雲となり、中心に白色矮星として残る一生をたどる（例えば、田近 2013）。太陽と同じく、夜空に輝く星は、そのほとんどが主系列星の段階にある。また、夏の夜空にはさそり座のアンタレス、冬の夜空にはオリオン座のベテルギウスなどの赤色巨星が輝く。恒星とは何か、赤色巨星とはどのような段階なのか、さらにはベテルギウスのような天体が今後どのような進化をたどるのかを知っていれば、星空を見る視点が広がるのではないだろうか。

しかし、「恒星には一生がある」という事実を認識している人は多くないと思われる。実際、筆者らの周囲の大学生に対して聞き取り調査を行ったところ、恒星には一生があることを知らない学生が多いことが分かった。また、それ以外にも、次のことが分かった。

- ① ブラックホールなどの用語自体は聞いたことがあっても、それがどのような天体か、また、どのような進化段階にあるのか知らない。
- ② 誕生時の質量によって進化の過程や終末が異なるということや、また、その質量によって恒星の寿命の長さに違いがあることを知らない。

これらの知識の欠如には、初等教育及び中等教育では宇宙や天体に関する学習の機会が少ないという現状が関係していると考えられる。学校教育では、恒星の一生については高等学校理科の地学分野で取り扱う（文部科学省 2018）。例えば、高等学校学習指導要領（理科）では、恒星について“恒星の性質と進化について理解すること”が明記されており、内容の取り扱いについては、“恒星の「性質」については、距離、絶対等級、半径、表面温度、スペクトル型及び質量を

扱うこと。恒星の「進化」については、HR図を扱い、質量により恒星の進化の速さ、恒星の終末及び生成元素が異なることも扱うこと。”と記載されている（文部科学省 2018）。しかし、これらの恒星の一生に関する内容は高等学校理科の地学分野のみで取り扱うため、高等学校で「地学基礎」や「地学」を履修した学生でない限り、恒星の一生に関する科学的な情報に触れる機会は皆無であると考えられる。

そこで、本研究では、地学の初学者を対象に、恒星の一生に関する教材製作に取り組んだ。恒星の一生に関する既存の教材は、天体画像やイラストを用いた解説が主である。筆者らは、恒星の一生を立体的に表現して視覚的にアプローチすることがその理解の助けになるのではないかと考えた。本研究では、誕生時の質量によって4タイプに分けた恒星の進化の過程を立体的な模型で表現した教材を製作した。これらの教材は、筆者の一人（井川）が卒業研究として開発に取り組んだものである（井川 2021）。

本論文の第2章では、教材の製作方法について述べる。第3章では、製作した教材と関連する他の教材との比較を行う。また、関連する高等学校の学習指導要領の内容について述べる。本論文のまとめを、第4章に示す。

2. 教材の製作

本研究で製作した教材の概要を図1に示す。図の左から順に、(1) 太陽より質量の小さい恒星、(2) 太陽程度の質量の恒星、(3) 太陽質量の8倍から30倍程度の恒星、(4) 太陽質量の30倍以上の恒星、の一生を示している。

恒星の寿命は誕生時の質量によって大きく異なる。その質量が大きい星ほど寿命は短く、小さい星ほど寿命は長い。図の上から下へかけては、星の誕生からその終末への時間の経過を表している。4タイプで比較をすることで、定性的ではあるが、質量によって恒星の寿命の長さに違いがあることがひと目で分かる教材の製作を目指した。

図2には、教材の全体の長さや各パーツの直径などの情報を示す。主系列星やブラックホールといった天体ごとにパーツを作り、それらを組み合わせてタイプごとに恒星の一生を表す模型を製作した。また、それぞれの上部先端にテグスの輪をつけることで、S字フック等で吊り下げて展示できるようにした。製作にあたり、発泡スチロール球や透明のアクリル棒など、身近でかつ安価に手に入る材料を使用した。以下、各パーツの製作について述べる。

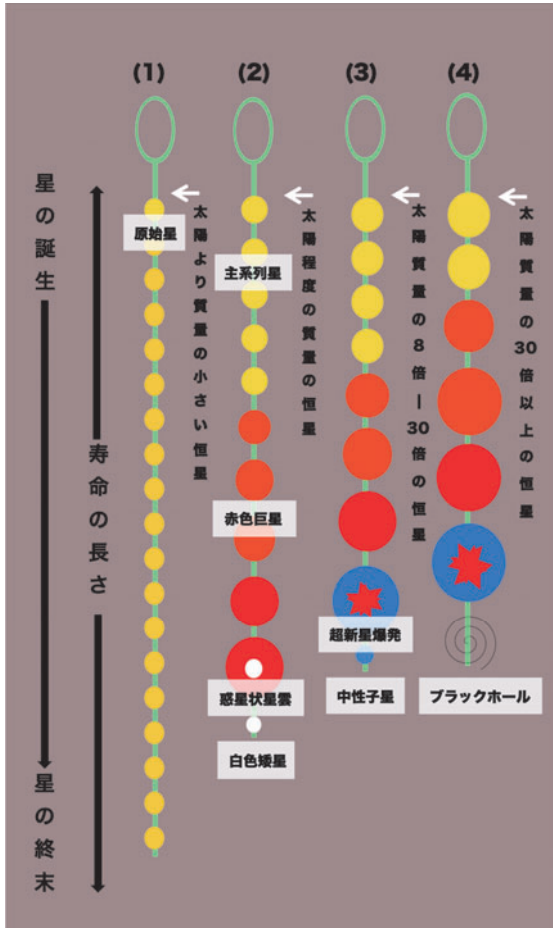


図1 教材の全体像

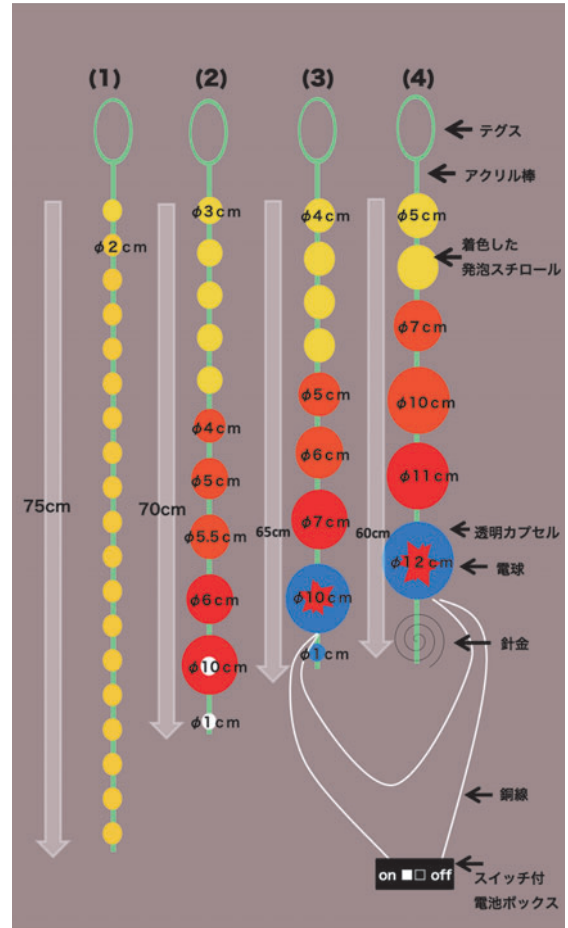


図2 教材の設計図

2. 1 原始星と主系列星の作成

原始星と主系列星を発泡スチロール球で作った。4タイプ別に直径が異なる発泡スチロール球を用いた。発泡スチロール球の表面全体にスチロールのりを均一に塗布し、その上にカラーサンドパウダーをまぶして着色した。主系列星から赤色巨星への変化を黄色からオレンジ色で表した。

2. 2 赤色巨星の作成

発泡スチロール球の表面全体を赤い羊毛フェルトで覆い、赤色巨星を作った。フェルトが重なっている部分を羊毛フェルト針で刺して滑らかな表面になるように成形した。

2. 3 超新星爆発の作成

プラスチック製の透明カプセル半球2つに直径1cm程度の穴をあけ、豆電球を入れて球体にし、超新星爆発を作った(図3)。爆発の様子を表現するためにカプセル内にラッピング用の緩衝材を入れた。また、図2で示したように配線で繋ぎ、電池を入れてスイッチ式で点灯する仕掛けを施した。

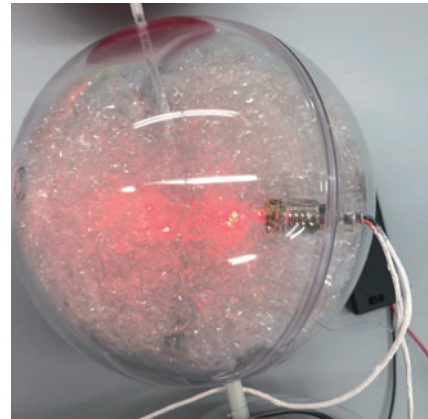


図3 超新星爆発

2. 4 惑星状星雲と中性子星の作成

直径1cmの発泡スチロール球の表面全体を水色のアクリル絵の具で塗り、中性子星を作った。また、半球型の発泡スチロールを赤色の絵の具で塗り、惑星状星雲を作った。惑星状星雲の中心には直径1cmの発泡スチロール球をアクリル棒で固定し、白色矮星とした(図4)。

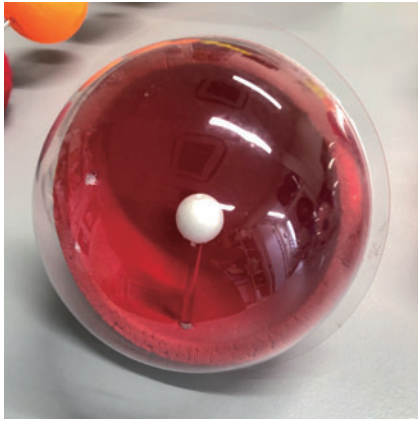


図4 惑星状星雲

2. 5 ブラックホールの作成

黒色の針金を渦巻き状に成形し、ブラックホールを模した。これを、直径10cmの透明の半球型カプセルに収まる程度の大きさになるように設置した(図5)。

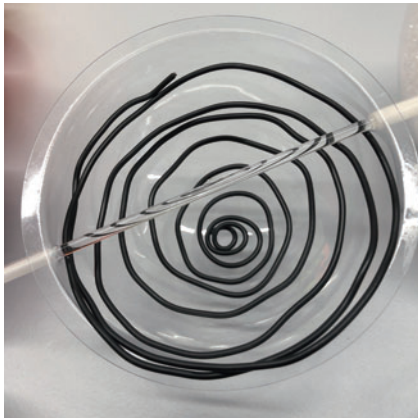


図5 ブラックホール

2. 6 組み立て

2.1から2.5で作成したパーツ全てに直径3mmの穴を開け、図1・図2に示した(1)~(4)別にアクリル棒を通した。最後に、各アクリル棒の上部先端に透明なテグスで作った輪を結び、教材を完成させた。

また、教材をより理解してもらうために、恒星の一生の概要をまとめた解説パネルも作成した。これを図6に示す。図の作成には、アメリカ航空宇宙局(NASA)や欧州宇宙機関(ESA)などの教育研究機関により提供されている画像を用いた。

3. 考察

3. 1 本教材の特徴

既存の教材では、恒星の一生に関する説明にヘルツシュプルング・ラッセル図(以後、HR図)がよく用いられる。HR図とは、縦軸に星の明るさ(絶対等級)、横軸に星の表面温度をとった恒星の散布図である。例えば、伊藤・高田(2015)は、主に高校生を対象にしたHR図を作成する教材を開発している。この教材は、高校地学分野で恒星の一生を系統的に学ぶのに適しているが、地学の初学者にはハードルが高い。また、科学館等ではHR図に関する展示物がある。例えば、国立科学博物館では、横幅3m、高さ2m程の大型のHR図が展示され、進化段階ごとの恒星の大きさと表面温度の変化が表現されている。しかし、展示物であっても、やはりHR図のみでは、ある恒星の一

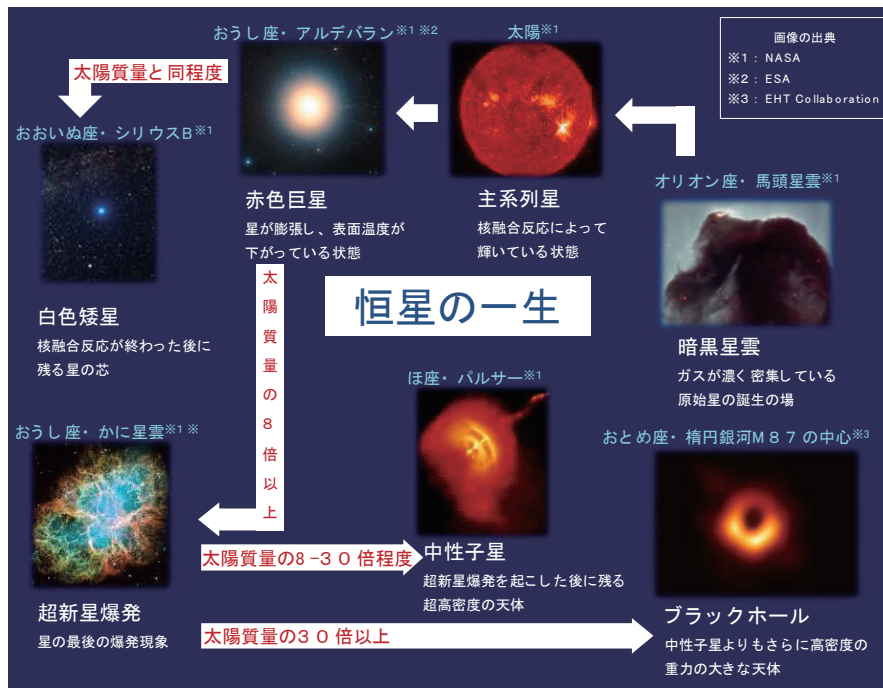


図6 恒星の一生についての解説図

生を追う場合，その恒星がどのようにHR図上を移動するのかは分かり難い。この理解のためにHR図の見方やスペクトル型といった用語を事前に学習する必要があり，HR図のみで恒星の一生を直感的に理解するのは難しい。

本研究の教材は，恒星の進化を質量別の4タイプに分けた。これにより，1タイプごとに恒星の一生を追うことが可能であり，また，4タイプを並べることで，比較することができる。進化段階ごとの恒星の大きさと表面温度の変化が理解できるだけでなく，質量別での過程の違いや寿命の長さが異なることがひと目で分かるのが特徴である。よって，本教材は，ある質量の星が一生を終えるまでの様子を，順を追って理解するのに適している。

また，本教材は軽量の素材で製作したため，気軽に持ち運ぶことができることも特徴である。例えば，本教材を用いて次のようなワークショップが考えられる。まずは本教材を用いて恒星の一生を説明する。その後，大きさの異なる発泡スチロール球を用意して本教材の簡易版を作成してもらおう。つまり，学習者自身に教材を作成してもらいながら学びを定着させることが可能である。

3. 2 恒星の一生を学ぶ

今回製作した教材の内容は，高校理科の「地学基礎」や「地学」の科目で学習する範囲に該当している。文部科学省が調査した高等学校理科の科目別履修状況（平成27年度）を表1に示す。この表から分かる通り，普通科・専門学科・総合学科全てを合わせた高校生の「地学基礎」と「地学」の履修率は，それぞれ26.9%，0.8%と，他の科目と比べて非常に低い。現状の履修率では，多くの高校生は，恒星の一生を学習する機会はほとんど皆無と言ってよい。また，このことは，多くの人々が星の一生を知る機会がないことを示している。

太陽は主系列星の段階にある恒星である。太陽以外にも，夜空にある星は，その多くが主系列星である。

上述の通り，恒星の一生について学ぶ機会が少ないことから，見上げた恒星について「夜空の星は太陽と同じ恒星である」，「内部では核融合反応が起きている」という科学的観点から星空を眺める人は少ないだろう。太陽を始めとする恒星が，その一生の間のどの進化段階にあるのか，また，その状態の星の内部や外層では何が起きているのか，さらに，北極星やシリウスといった馴染みのある恒星が最終的にどのように一生を終えるのかを理解することで，普段何気なく見ている星空に学術的な興味を見出すことができると考える。これには，恒星の一生を学び，理解する機会が重要である。例えば，オリオン座のベテルギウスは赤色巨星の段階にあり，超新星爆発を起こすのではないかと近年話題になっている。本教材で学んだ後であれば，このような天文学の話題をさらに深く知りたいと思う学習者が増えるかもしれない。

既存の教材では，恒星の一生については，主に，天体画像を用いた2次元の情報（例えば，図6に示した解説パネルなど）でなされることが多い。そのような説明に加えて，本研究の立体的な教材を用いることで，学習者の理解を深化させることができると思われる。実際，筆者らの所属する大妻女子大学において天文学に馴染みの薄い文系の学生16人に対して本教材を用いて恒星の一生を解説したところ（図7），14人の学生が「恒星の一生の概要を理解できた」と回答した。また，学生から「恒星の表面温度はそれぞれどの

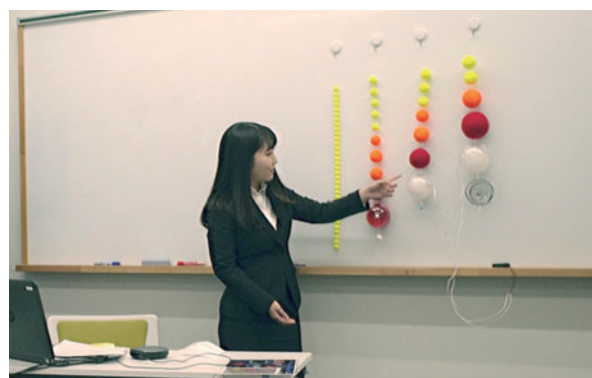


図7 教材を用いて大学生へ恒星の一生を解説している様子

表1 高等学校における理科の科目の履修状況
(文部科学省 平成27年度公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査の結果より)

	科学と人間生活	物理基礎	物理	化学基礎	化学	生物基礎	生物	地学基礎	地学	理科課題研究
普通科等	11.5%	65.6%	22.8%	93.4%	38.3%	94.3%	28.2%	34.6%	1.2%	0.7%
専門学科	82.2%	41.3%	1.7%	44.7%	2.1%	57.7%	2.5%	7.4%	0.0%	0.0%
総合学科	64.1%	28.2%	5.9%	66.7%	15.1%	80.0%	16.6%	22.5%	0.5%	0.7%
合計	33.1%	56.7%	16.2%	79.2%	27.5%	84.1%	20.9%	26.9%	0.8%	0.5%

程度か」といった物理的な観点からの質問も複数得ることができた。今後、本教材を活用して、学生や一般市民に宇宙に興味を持たせる機会を作っていきたいと考えている。

4. まとめ

本研究では、発泡スチロール球や透明の亚克力棒など、身近でかつ安価に手に入る材料を使用し、恒星の一生を解説するための教材を製作した。恒星がどのように進化し、その最期を迎えるかは誕生時の星の質量に関係している。本研究は、太陽の質量を基準として、(1) 太陽より小さい、(2) 太陽程度の質量、(3) 太陽質量の8倍から30倍程度、(4) 太陽質量の30倍以上、の4つの質量別の恒星がそれぞれどのような進化を辿るのかを理解できるように工夫した立体模型を製作した。

恒星の一生の内容は、高等学校理科の科目「地学基礎」と「地学」の範囲に該当しているが、これらの履修率は低い。このことは、多くの人にとって恒星の一生を学習する機会が少ないことを意味する。本研究で製作した教材は、地学や天文学に馴染みの薄い人に恒星の一生を教授する際にも、有効であると考えられる。

謝辞

本研究での教材開発にあたり、有益な意見を頂いた大妻女子大学社会情報学部の教員及び学生に、感謝致します。

引用文献

- 井川穂南 (2021), 「恒星の進化を理解する立体教材の制作」, 大妻女子大学社会情報学部 卒業論文, pp.1-20
- 伊藤信成・高田碧郎 (2015), 「星団に属さない恒星を用いたHR図描画教材の開発」, 地学教育, 第68巻, pp.69-91
- 文部科学省 (2015), 「平成27年公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査 (高等学校における科目の履修状況)」, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afildfile/2019/02/12/1413569_002_1.pdf, p.18
- 文部科学省 (2018), 「高等学校学習指導要領 (平成30年 告示) 解説 理科編 理数編」, https://www.mext.go.jp/content/1407073_06_1_2.pdf, pp.177-178, p.189
- 中村文隆 (2009), 「基礎から学ぶ天文学」, プレアデス出版, 長野
- 田近英一 (2013), 「惑星・太陽の大発見—46億年目の真実」, 新星出版社, 東京
- 谷口義明 (2013), 「宇宙のはじまりの星はどこにあるのか」, メディアファクトリー, 東京