

アーカイブデータを用いた恒星の表面温度推定用教材の開発

伊藤 信成

Development of an Astronomical Learning Program for Estimating Stellar Surface Temperature using Astronomical Data Archive

Nobunari ITOH

Abstract

Astronomy is categorized into earth science for high school curriculum in Japan. Although absolute number of students who take earth science class is small, the number is gradually increasing due to the new official curriculum guidelines started on 2011. Therefore, it is important not only for students but teachers who are not good at teaching astronomy to provide appropriate learning materials for promoting a better understanding. Star color is one of the most essential characteristics. As stellar color difference can be easily detected by naked eyes and it gives us information for stellar temperature, the estimation of stellar surface temperature is thought to be a familiar theme to high school students. Then an astronomical learning program for estimating stellar surface temperature was developed using B , V , R_c , and I_c band archived image data opened by national astronomical observatory Japan. In this program, students can semi-automatically estimate stellar temperature by input the stellar brightness in each band into a spreadsheet contained a macro program. To evaluate the efficiency of the learning program, the trial practice of the program was carried out. As a result, the program got favorable response from over 90% of experimental participants. It is also found that the program is effective for students who have less learning about astronomy.

1. はじめに

近年、天文・宇宙分野では大型機器を用いた研究が進められ、多くの成果を上げている。研究成果が報道されたり、宇宙に関するテレビ番組が作成される等、一般市民も高い関心を寄せる分野となっている。一方で、高校における地学の開講率は、物理・化学・生物に比べると極端に低い¹⁾。

高校地学の履修者数の低レベルでの推移は、次代を担う研究者、技術者の減少だけではなく、宇宙科学を正しく理解し、その普及を支える市民の減少を招くことにもつながる。しかし、一方でH23年度の学習指導要領の改定により、基礎科目ではあるが多くの高校で理科3分野を履修することとなったため、地学の履修者はこれまでよりも増加している。履修者が増加傾向にあるこの時期に、効果的な教材を提供することは、天文教育・普及の観点から重要である。また、高校理科の3科目必修化に伴い、地学を専門としない教員が指導を行う場合が増えることが予想される。地学分野

では野外観察等が重要になるが、特に天文分野では、夜間観察が不可避であること、画像のみでは十分な情報を引き出すことはできないため解析が必要になること、そのような訓練を受けた教員は必ずしも多くないこと、等のため、知識伝達型の授業になり易い。このような教員を支援する面からも、効果的な教材の開発は不可避である。

このような問題意識の下、実習を通して現代天文学の基礎を体験し、その経験を学校現場で活かしてもらうことを目的に、教員養成系学部に所属する学生に対する天体観測実習を、東京大学木曾観測所の協力を得て2005年度より行っている²⁾。この実習では、単に天体観望に留まらず、解析や討論を通じ天体現象を解明する過程を重視しており、現在までに4大学の学生のべ300名が参加している。また、木曾観測所では1997年度から、天文学に強い関心を持つ高校生に対する体験学習プログラム「銀河学校」を年1回開講しており、これまで約400名の高校生が参加している。参加した生徒の中から天文研究者になった者もあり、

大きな成果を挙げている。さらに、SSHやSPPといった理数支援プログラムでも天文分野での取り組みが行われ、天文学会のジュニアセッション等でも、その活動が報告されている^{3,5)}。これらの経験を通じ、宇宙に興味・関心を持つ高校生～大学生に対し、ICTを用いた教材は有効であり、高校で地学の学習経験がなくとも内容に対する理解を得られるとの確信を得た。また、その考えに基づき、H23年度より高校生自身に興味を持ったテーマについて独力で実習を行うことができる自主学習型の天文解析体験教材の開発を進めている⁶⁾。その一環として、恒星の表面温度推定の教材開発を行った。

天文学で最も基本的な実習は等級の測定である。天体の等級を測定することにより、色指数(カラー)の算出やHR図の作成が可能となり、さらにそれをもとに星団の年齢推定や距離推定、星間吸収の検出など、天体の基本的な特性の多くを把握することができる。天体の明るさを等級という単位で表すことは小学校理科で学習するが、天体の明るさ(正しくは放射流束)と等級の関係については、高校の学習まで待たねばならない。高校においても、放射流束と等級の最も基本的な関係式であるポグソンの式の学習は、「地学基礎」ではなく、より専門性の高い「地学」の学習範囲となる⁷⁾。これは、ポグソンの式に対数関数が含まれるためである。対数関数は高校数学においては「数学II」で取り上げられるが、「地学基礎」を履修する生徒全てが選択するとは限らないため、授業の進捗を考慮して「地学基礎」からポグソンの式が除外されたものと判断できる。

一方、星の色も等級と並び最も基本的な観測量である。

星の色に違いがあることも小学校理科で学習するが、その要因については、やはり高校まで待たねばならない。ただし、高校「地学基礎」では太陽を例にとり、スペクトルを調べることで星の元素組成や温度がわかることを学習する。「地学基礎」の範囲では、スペクトル形状と温度の対応の詳細までは立ち入らないが、等級のように完全にブラックボックス化されることはない。また「地学」では、スペクトルの形状と恒星表面温度とのより詳細な解説が行われている。このように、波長ごとの放射流束^{*}と恒星の表面温度に関係があることが、定量評価の対象として高校理科で扱われるようになる。加えて、2章に詳細を示すが、観測装置から出力される天体からの信号は、放射流束に相当する値であり、そこから等級に変換されるのが一般的

* 高校教科書では「光度」あるいは「明るさ」と表現されている。

である。すなわち、恒星の表面温度推定を行おうとする場合、観測画像の測定値をそのまま用いることも可能であり、天文学の知識が十分でない生徒にとっても、実習を行いやすい領域である。

以上のような状況を鑑み、恒星の表面温度推定用教材を開発した。

2. 星の表面温度推定の原理

我々が地上で受け取る恒星からの波長 λ における放射流束 f_λ [$\text{Wm}^{-2} \text{nm}^{-1}$]は、恒星までの距離を r [m]とすれば、恒星の単位波長当りの光度を L_λ [Wnm^{-1}]と次式(1)の関係がある。

$$f_\lambda = \frac{L_\lambda}{4\pi r^2} \quad \dots (1)$$

さらに L_λ は恒星の半径を R とし、恒星からの放射が黒体放射で近似できるとすれば、

$$L_\lambda d\lambda = 4\pi R^2 B_\lambda(T) d\lambda \quad \dots (2)$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/k\lambda T} - 1} \quad \dots (3)$$

となる。ここで $B_\lambda(T)$ は黒体放射を表し、 h はプランク定数、 c は光速、 k はボルツマン定数を表す。また T は恒星の表面温度である。式(1)～(3)より、 f_λ が波長依存性を持つことがわかる。したがって分光観測を行えば波長毎の f_λ を推定することができ、式(3)を用いて恒星の表面温度を推定できるが、分光観測は撮像観測に比べ観測や較正が難しい。そこで、限られた波長での撮像観測データをもとに恒星の表面温度推定を試みる。いま、撮像観測の観測バンドの中心波長を λ_c 、バンド幅を $\Delta\lambda$ とすると、任意の星について観測装置から出力される単位時間あたりの信号量 N は、式(4)で表すことができる。

$$N = \int_{\lambda_c - \Delta\lambda/2}^{\lambda_c + \Delta\lambda/2} f_\lambda A_{tel} \tau_\lambda S'_\lambda d\lambda \quad \dots (4)$$

ここで、 A_{tel} 、 S'_λ はそれぞれ望遠鏡の有効面積、波長 λ での観測装置感度を示す。さらに、バンド内で f_λ の値を一定とみなすことができると仮定すれば、式(4)は式(5)のように整理することができる。

$$f_{\lambda_c} = \alpha_\lambda N \quad \dots (5)$$

なお、 α_λ は同一装置による観測であれば星に依らず一定となる値をまとめたものである。式(5)より、観測結果 N から個々の星の放射流束 f_λ を求めることができる。なお、 α_λ は観測バンドによって異なり、天候などの条件によっても変動するので、観測画像毎に求める必要があるが、観測画像内に等級既知の星があれば、その星の N を測定することにより、

α_λ を算出することができる。一方、式 (1) ~ (3) について整理すると、

$$f_{\lambda_c} = \frac{\beta}{\lambda_c^5 (e^{hc/k\lambda_c T} - 1)} \quad \dots (6)$$

となる。ここで β は同一星であればバンドに依らず一定となる値をまとめたものである。ただし、任意の恒星までの距離と恒星半径は不明なので、 β の絶対値を求めることはできない。しかし、式 (6) からわかるように、 β はスケール因子であり関数の形状を変えるものではない。したがって絶対値がわからなくても以降の解析の問題とはならない。

上記の議論より、恒星の表面温度推定の手順をまとめると、次のようになる。

1. 観測視野内に写っている等級既知の星を測光することで観測バンド毎に α_λ を推定し、その値を用いて予め天体画像の割り算を行った画像を用意しておく。
2. 画像内に写っている任意の星に対し、星の明るさの測定（測光）を行う。異なる波長での観測画像に対しても、同じ作業を行う。これにより、同一星に対する複数波長での f_λ が得られる。
3. 上記 2 の作業で得られた測定値をグラフ化する。様々な温度 T に対し式 (6) の値を計算し、測定結果と比較することで表面温度を推定する。

なお、本教材では 1. の作業は施した画像を受講生に提供し、2~3 の作業を体験してもらった。また実習に用いた観測波長は Johnson-Cousins の B , V , Rc , Ic の 4 バンドである⁹⁾。

3. 教材用データセット

3. 1. 使用データ

本研究では、東京大学木曾観測所で取得された可視 CCD カメラの撮像データから、教材に適したデータを抽出した。木曾観測所では 1999 年度から可視撮像装置である 2 KCCD カメラ⁹⁾が研究公開されている。その 2 KCCD カメラで取得されたデータは国立天文台で管理され、アーカイブデータとして公開されている¹⁰⁾。

教材として使用する画像データとしては、1) 同一領域で B , V , Rc , Ic の 4 バンドのデータがそろっていること、2) 画像内に等級既知の星があること、3) 実習に使うことができる十分な数の星が写っていること、4) 星間吸収の影響が少ないこと、以上の条件が必要である。これらの条件を満たす領域は複数領域存在するが、本教材では、この中から M 51 領域を選択した。選択領域の画像を図 1 に、画像の基本情報を表 1 に示す。図 1 からわかるように、この領域内には渦



図 1：教材に利用した M 51 領域。渦巻銀河 M 51 の周囲に恒星が 150 個程写っている。

表 1：恒星の表面温度推定用に選択した領域

		M 51 領域
赤経 (J 2000.0)		13 ^h 29 ^m 52 ^s
赤緯 (J 2000.0)		+47° 12' 00"
視野		24' × 30'
観測日		2008.Aug.03
積分 時間	B バンド	120 sec × 2
	V バンド	120 sec + 90 sec
	Rc バンド	120 sec + 90 sec
	Ic バンド	30 sec × 3

巻銀河 M 51 が写っており、単に星だけの領域に比べ実習者の興味を惹きやすい。また銀緯が +68.5° と銀河面から離れているため、温度推定の際に誤差要因となる星間吸収の影響が少ない領域である。また図 1 中には約 450 個の星が写っており、受講生が測定できる星の数としては十分である。

3. 2. 温度推定用マクロの作成

本教材は提供された画像データに対して、星の測光を行う作業と温度の推定を行う作業の 2 種の作業が必要となる。特に後者の作業においては式 (6) の計算が必要となるが、高校生にとってこの計算は非常に難易度が高い。本教材の目的は式 (6) の計算ではなく、1) 温度によってスペクトルの形状が変わること、2) 実測値とモデルを比較することによって恒星の表面温度の推定ができること、の 2 点である。そこで難しい作業は計算機が自動で行うようにし、受講生は温度変化によるスペクトル形状の変化のみに集中できるよう、Microsoft 社の Excel 2010 を用いてマクロを作成した。

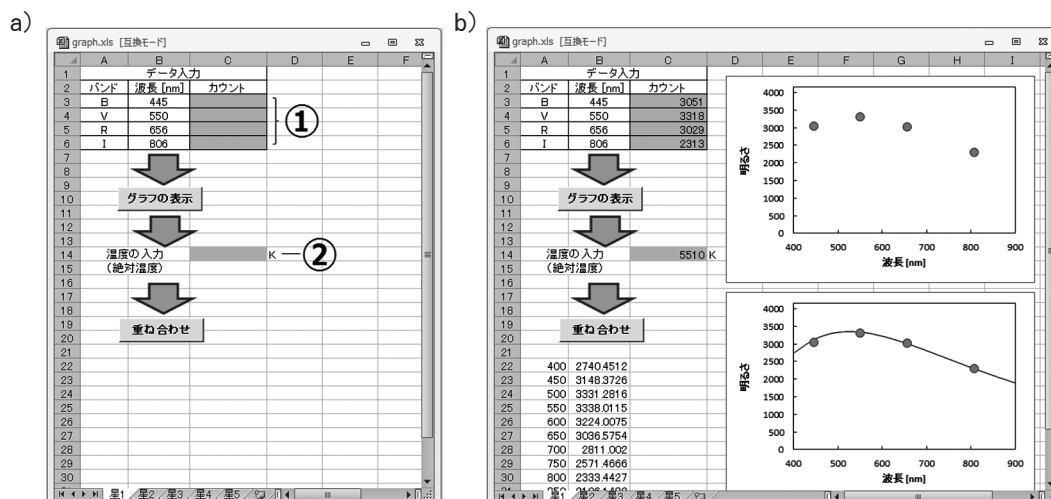


図 2: a) Excel で作成した表面温度推定用マクロの画面 b) マクロを用いて温度推定を行った例

作成したマクロの画面を図 2a に示す。このマクロでは、まず実習者が測定した B , V , R_c , I_c の各バンドでの星の測光値を図 2a の①部のセルに入力する。その後、下部の“グラフの表示” ボタンをクリックすると自動的に測定値のグラフが表示される。さらに表示されたグラフを参考に、恒星の表面温度を推定し、②のセルに温度を絶対温度で入力した後、“重ね合わせ”のボタンを押すと、式 (6) の β の値を自動的に計算し、測定値のグラフにレベル調整された温度 T での黒体放射のグラフを重ね合わせた新しいグラフが表示されるようになっている。実際のマクロ使用例を図 2b に載せる。図 2b の例では星の測光結果が $T=5510$ K の黒体放射の式と非常に良い一致を示していることがわかる。なお β の値は、各波長での測光値とモデル計算値の残差の 2 乗和が最小になるように決めている。

また、表面温度の入力とグラフの重ね合わせは繰り返し行えるようになっており、グラフの比較から入力した温度が適切でないと判断した場合には、温度を入力し直してグラフを再描画できるようになっている。

4. 実施例

本教材の有効性を検証するために、高校生に対する実習を行った。本教材は自主学習を念頭に開発したものであり、高校生が各自のペースで理解しながら進めていくことを理想としているが⁶⁾、試行の段階であるため、制作者の意図が正しく伝わっているかを確認する意味も込めて、大学教員立会いの下での実習とした。

実習は 2013 年 7 月 25、26、27 日の 3 日間、三重大学主催のサマーセミナーの 1 講座「天体画像解析入門」において行った。3 日間とも同一内容の講座を受講生

を入れ替えて行っており、実習者の総計は 37 名である。なお、参加者は全て三重県内の高校生であり、学年別の内訳は 1 年生 20 名、2 年生 10 名、3 年生 7 名であった。また高校での地学履修者はいなかった。学年別内訳からわかるように学習進度が異なる生徒が混在している集団に対する試行となっている。

4. 1. 実習の流れ

実習は午前・午後の 2 部構成で、午前は天文学一般の紹介を行い、午後の 3 時間 (13:00~16:00) を実習にあてた。

午後の最初の 1 時間は B , V , R_c の 3 バンドを用いてカラー画像の合成を行った。もともとの天体観測画像は単一波長で観測しているため色はついていない。そこで光の 3 原色に相当する波長の画像を重ね合わせることで色を再現していく。これは RGB 合成と呼ばれるデジタルカメラ等のカラー画像合成法と同じである。カラー画像合成には一般用に市販されている画像処理ソフト StellarImage (ver.6)[†] を用いた。異なる波長間での天体位置調整までの処理が終わっているので、カラー合成作業は原理の説明も含め 45 分程度で終了した。なお作業は 2 名を 1 グループとして、グループごとに計算機 1 台を使用した。StellarImage は生徒にとって初めて使うソフトであるが、使う機能を限定したため、特に困難なく作業をすすめることができた。なお、作成したカラー画像はプリントアウトして受講生に配布した。また画像の配布に際し、グループ間で画像の色調が異なっていることに受講生が気づいている。これはソフトにより色調を自由に変えるこ

[†] AstroArts 社製の天体画像合成ソフト

とができるためであるが、全く同じ画像データを用いても色調が変わることを説明し、単に色調だけから物理量を抽出することはできず、各波長での測定を行わなければならないことを説明した。

カラー画像合成後、恒星の表面温度推定を行った。まず、最初の45分で測定原理について説明した後、星の測光作業について30分説明した。星の測光には天体画像測定ソフトであるマカリィを用いた¹¹⁾。マカリィは天体観測画像のファイル形式として一般的なFITS画像ファイルを解析することができるソフトで、Windows上で動作し、天体の明るさを測る測光解析、天体位置解析、グラフ描画、画像同士の四則演算など、天体画像解析に必要な基本的な操作が行えるようになっている。また、天文教育普及目的であれば無償での利用が可能である。本実習では、恒星の明るさの測定に、マカリィの開口測光モードを用いた。開口測光は星などの点光源に対して用いられる測光法である。なお、マカリィも受講生にとっては初めてのソフトであったが、使用したのは開口測光モードのみで、その操作もマウスのみでできることから、操作に関して大きな困難はなかった。

最後の1時間で2.3節で紹介したマクロを用い、恒星の表面温度推定を行った。表面推定を行う際、まずは、カラー合成を行った画像で星の色を確認しながら、青っぽく見える星と赤っぽく見える星をそれぞれ1つずつ選択してもらい、そのスペクトルの形の比較および温度の推定を行った。各グループで選択した星は各々異なっていたが、この作業を通して、カラー画像上で青っぽく見える星は表面温度が高めであり、赤っぽく見える星は温度が低めであることを全グループで共有することができた。その後、温度と色の関係を確実な知識としてもらうため、教員側から恒星の表面温度を提示し、その温度に最も近い星をマカリィとExcelマクロを用いて画像内から探すというゲーム形式の測定を行った。測定を行っている様子を図3に示す。

提示された温度に近い星を抽出するためには、やみ

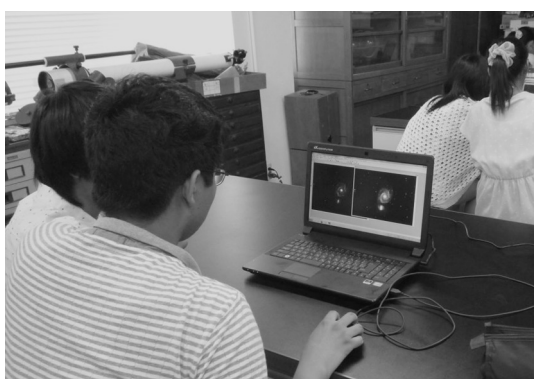


図3：実習中の様子

くもに測定を行うのではなく、星の色からある程度温度を推定の方が良い。実際、2~3回の提示を行った後には、それまでの測定から得た星の色と温度の経験則を用い、提示された温度に相当すると予想される色の星を選定し、グラフを作成するグループが現れるようになった。またその様子を見た他グループも追従するようになっていった。また、当初は1,000 K単位で温度を変化させ、そのグラフの変化で一喜一憂していた受講生が、経験を重ねるごとに精密な温度推定を図るようになり、最終的には10 Kの桁での温度推定を行うようになっていった。このような受講生の取組みから、単に無作為に選んだ星の表面温度を推定するのではなく、指定された温度の星を探す等の競技性を取り入れることで、スペクトルの形状と表面温度の関係を経験の中から効率的に習得していくことができることがわかった。この点は、教材を効果的に利用していくという観点から重要だと考える。

4. 2. 実習の効果

実習を終えた後に生徒に対してアンケート調査を行い、教材の有効性の検証を行った。

まず、実習全般についての満足度についての結果を図4に示す。全体の92%が非常に満足または満足と回答しており、好評であったことがわかる。満足度を学年別に見てみると、学年が上がるにつれて満足度が上がっていくことがわかる。これは学年間の知識量の差によるものであると考える。温度推定のプロセスはマクロを用いて半自動化しているとは言え、推定原理の部分には指数関数が含まれている。また、絶対温度やスペクトルと言った高校で学習する物理の知識も多少なりとも含まれることから、すでにそれらの知識を持つ高学年に比べ、1年生には難しく感じた可能性がある。なお、不満と回答した1年生は自由記述による回答から、教育学のセミナーと考えて参加したとのことであり、実習の内容そのものというよりは、セミナー申込み時のミスマッチによるものと判断できる。したがって、その例を除いて統計を取れば、1年生におい

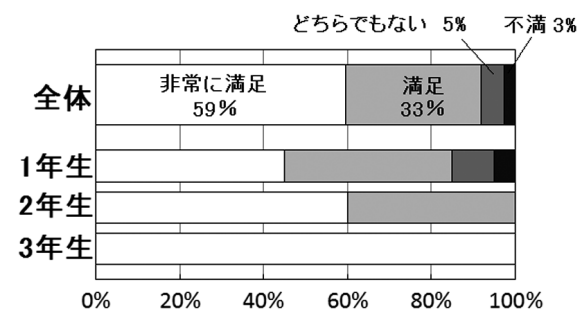


図4：実習の満足度調査の結果

でも9割が満足と回答しており、学年を問わず、教材としては十分な効果があるものと判断することができる。

次に、この実習の前後で天文学に対するイメージの変化があったかについて聞いたところ、変化があったと回答した受講者が78%、変化なしと回答した割合は22%であった。イメージの変化があったと回答した受講者に、自由記述方式で具体的なイメージ変化の内容を聞いたところ、次のような回答を得ることができた。

- ・意外と地道な作業がある。(3年)
- ・眺めるだけではなく温度等を計算している。(2年)
- ・文系科目かと思っていたが物理学が必要。(2年)
- ・画像から様々な意味を見出している。(2年)
- ・意外にデジタル化していた。(2年)
- ・様々な分野の知識が必要。(1年)
- ・観測だけではわからない事を科学的に調べる。(1年)
- ・数字で様々なことを割り出す。(1年)
- ・図や表にして調べている。(1年)
- ・自分想像よりも深いことをしていた。(1年)

以上の回答は、現代天文学の基盤として教材の内容以上に伝えたかった事柄であり、現代天文学に対する正しい認識を伝えるためには、単に座学として知識を伝えるだけではなく実習を経験することが重要であることがわかる。

最後に、カラー合成および温度推定についての感想を聞いた。カラー合成と温度推定のいずれの実習がより興味深かった聞いたところ、前者が65%、後者が30%であった。カラー合成について自由記述形式での回答からは、次のような感想が得られている。

- ・きれいな画像を合成できて良かった。
- ・自分好みの天体写真を作ることができた。
- ・色調が作成者によって変わることを知って驚いた。
- ・天体の本当の色とは何なのかわからなくなった。

この結果については、これまでの類似の実習からある程度予想していたものである。一方、温度推定についての感想では、次のような注目すべき回答を得ることができた。

- a) 星の画像を解析するだけでこんなにも多くのことがわかることがすごい。
- b) 一枚の画像からいろいろなことがわかることがとても面白かった。
- c) 光で温度がわかるなんて面白い。
- d) 色のすごさを知った。
- e) パソコンを使うことでいろいろなことが調べられる。
- f) 数字から宇宙のことを知ることができる。

g) 触ることができないものを研究することは大変とわかったが、それが楽しいと感じた。

h) 天文には物理や数学が必要なことがわかった。まずは高校での勉強をがんばる。

このうち、a)~d) は少ない情報から様々な知識を応用して推定を行う天文学の特徴を実感したことを表現したものと考えることができる。また、e)~g) は単に夜空を眺めるだけでなく、数字を用いた定量的な解析が行われていることを理解ものと判断する。さらにh) については、本実習を通じて高校の学習内容に意義を見出し、学習への強い動機付けを与えることができたものとする。今回行った1日の実習で、実習内容の科学的意味を十分理解したかは判断できないが、上記に示したような受講者の感想を踏まえて総合的に判断すれば、本教材の目的は十分達成されたものとする。

5. まとめ

H23年度の学習指導要領の改定により、基礎科目ではあるが多くの高校で理科3分野を履修することとなったため、地学の履修者はこれまでよりも増加している。履修者が増加傾向にあるこの時期に、効果的な教材を提供することは、天文教育・普及の観点から重要である。教員を支援する面からも、効果的な教材の開発は不可避である。星の色は等級と並び最も基本的な観測量であり、スペクトルをとることで表面温度の推定を行うことができる。そこで本論文では国立天文台から公開されているアーカイブデータを用い、*BVRcIc*の4バンドの撮像データを利用して星の表面温度を推定する教材を開発した。この教材では異なる波長で観測された星の明るさを表計算ソフトに入力することで半自動的に星の表面温度を推定できる。この教材の有効性を確認するため、高校1年生から3年生までの37名に対し、教材を使った実習を行った。その結果、92%の受講生が満足との回答を得ることができ、予め地学の知識を持たない生徒にも有効であることがわかった。また78%の参加者が実習前後で天文学に対するイメージが変化したと回答しており、自由記述からは現代天文学の基盤となる考え方を理解したことが伺える。これらの結果から、今回開発した教材は、学習効果が十分に期待できるものと言える。

参考文献

- 1) 平成20年度高等学校理科教員実態調査集計結果，科学技術振興機構，(2009)。

- 2) 山縣朋彦, 西浦慎悟: 研究施設を利用した天体観測・解析実習について, 文教大学教育学部紀要, **39**, pp.111–120, (2005).
- 3) 伊藤信成: 銀河学校, 天文教育, **12** (3), pp.5–9, (2000).
- 4) 西浦慎悟: 銀河学校 2003—この5年間で得られたモノ, 天文月報, **96** (1), pp.7–13, (2003).
- 5) 室井恭子, 志岐成友, 五島正光, 縣 秀彦, 渡部潤一: 理想のセミナーを求めて—君が天文学者になる4日間 4年間の実践のまとめ—, 天文月報, **96** (1), pp.14–20, (2003).
- 6) 伊藤信成, 山縣朋彦, 濱辺 勝, 西浦慎悟, 三戸洋之: 天文分野を対象とした自主学習型解析体験教材の開発 I, 三重大学教育学部紀要, **64**, pp.35–40, (2013)
- 7) 文部科学省: 学習指導要領,
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm
- 8) Bessell, M. S., UBVRI Passbands, Publication of Astronomical Society of the Pacific, **102**, pp.1181–1199, (1990)
- 9) Itoh, N. et al.: A very wide-field CCD camera for Kiso Schmidt Telescope, Publications of the National Astronomical Observatory of Japan, Vol.6 (No.2), pp. 41–48, (2001).
- 10) Baba, H., et al.: Development of the Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archive System, ADASS XI, eds. D. A. Bohlender, D. Durand, & T. H. Handley, ASP Conference Series, Vol.281, **298**, (2002).
- 11) Horaguchi, T., Furusho, R., and Agata, H.: FITS Image Analysis Software for Education: Makali'i, Astronomical Data Analysis Software and Systems XV, ASP Conf. Ser., 351 : 544, (2006)