_{天文ソフトの活用【3】} ヘルツシュプルング・ラッセル図の描き方

~マカリィと Open Office Org を使って~ 西浦慎悟、柏木雄太(東京学芸大学・教育)

1. はじめに

三面ケ

ヘルツシュプルング・ラッセル (Hertzsprung-Russell=HR) 図は恒星の絶 対等級とスペクトル型の関係を示した図であ る。20世紀初めに、ヘルツシュプルング (Hertzsprung, E.)とラッセル(Russell, H. N.)によってそれぞれ独立に提唱されて以来、 HR 図は天文学の最も基本的かつ重要な概念 の一つとして、天文学の研究だけではなく、 高等学校地学の教科書でも取り上げられ続け ている。

例えば、昭和 48 年 4 月施行の高等学校学 習指導要領の地学では、恒星に関して、スペ クトル型や分光視差と併せて HR 図を扱うこ とと明記されている[1]。また先の地学 IB で は、恒星の放射と進化について HR 図を中心 に平易に扱うこととされ[2]、また現行の地学 」では、定性的な扱いにとどめるものの、恒 星の HR 図を中心に扱うことで恒星の性質・ 進化を学習することが謳われている[3]。さら に近年では、パソコンやインターネットの発 達・普及・低価格化に伴い、前述した内容に 加えてコンピュータやインターネットなどの 積極的活用も推奨されるようになってきた。

これを受けて、HR 図に関する演習・教材 開発も、表で与えられた等級・色をグラフ用 紙に単純にプロットするタイプのものから [例えば4、5、6、7および8で取り上げられ た各文献]、今では天体のデジタル画像をパソ コン上で分析することでHR 図を描くタイプ のものが主流となっているようだ[9、10、11]。 特に観測天文学に特有のfits 形式画像を高い 自由度で解析できるソフトウェア「マカリィ (Makali'i)」[12]の開発・公開以降は、これ を用いて天体画像の分析を行うケースが多く なってきた。特に PAOFITS WG は、アーカ イブ・データから入手した散開星団と球状星 団の fits 画像と前述したマカリィ、そしてマ クロ機能を用いた Microsoft Office Excel (以下、Excel) 用ワークシートと教材解説 書が一体となった極めて完成度の高い教材セ ットをインターネット上で公開している[13]。 これは、表計算ソフトを用いることで、マカ リィから得られた測定値から容易に HR 図を 描くことができる仕様となっている。

2. フリーソフトに対応したHR図描画教材

我々は、このような fits 画像とパソコンを 用いた星団の HR 図描画教材に、さらに、以 下のような特徴を実装することで、より自由 度の高い教材とする開発研究を試みている。 すなわち、i) 簡易な使用方法、ii) 高価な Excel ではなく、フリーソフトである Open Office Org Calc (以下、Calc) に対応したワークシ ートの導入、iii) 様々な金属量に対応した等 時曲線データの同時描画、iv) 多くの星団サ ンプル、の4点を重視した教材開発である。

本教材においても、天体の画像分析にはマ カリィの使用を前提とする。マカリィは天文 教育目的であれば、誰でも自由にダウンロー ドして使用できるフリーソフトとして公開さ れている[14]。また Open Office Org は、オ ープンソース方式で開発が進められているオ フィスソフトで、インターネットを通して、 無償で入手が可能である[15、16]。

上記 i) ii) について、まず fits 画像から得

天文教育 2010 年 5 月号 (Vol.22 No.3)

られた光の強度から、見かけ等級や色、絶対 等級を求めるために必要な計算式を、予め表 計算ソフト用のワークシート内に埋め込んで おく。そして、このワークシートの特定のセ ルに、光の強度の情報を入力することで、必 要な計算が一度にできるような仕様にした

(PAOFITS WG の教材も同様の仕様であ る)。ただし、マクロなど異なる表計算ソフト 間で、互換性が低下するような機能は使用し なかった。これによって Excel など他の表計 算ソフトへの対応を狙った。

iii) については、PAOFITS WG の教材に 倣って、Bertelli 他(1994)[17]が発表した 等時曲線を、ワークシートに埋め込んでおき、 これをグラフ化するように設定した。ただし 本教材では、幾つかの異なる金属量に対応し た等時曲線も用意しておき、マカリィによる 測定値と同時に表示することで、星団の年齢 と金属量についてもほぼ定量的な議論を行え るようにした。

最後の iv) については、アーカイブ・デー タから収集した画像データや、我々が独自に 取得した観測データを画像処理・等級較正す ることで対処する。現在我々は、NGC7788 をはじめ幾つかの散開星団のBおよび Vバン ドの fits 画像を用意している。ここからはこ の散開星団 NGC7788のBおよび Vバンドの fits 画像から HR 図を描くことを目標に話を 続けよう。

なお、本教材はマカリィの version 1.4a、 および Open Office Org 2.4.1 と 3.2.0、Excel 2002 SP3 での動作を確認している。

3. マカリィによる画像分析

ここでは、HR図を描くために必要な、マ カリィの機能を簡単に紹介しつつ、恒星の測 光方法を紹介する。

3.1 マカリィの起動と fits 画像の閲覧

マカリィは、インストール時にデスクトッ プに置かれるアイコンをダブル・左クリック することで起動する。メニューから「ファイ ル」 「開く」、もしくはアイコンの「開く」 でお好みの fits ファイルを指定することで、 画像を閲覧することができる(図1のa)。図 1は、マカリィで NGC7788の Vバンドの fits 画像を開いた状態である。

画像の拡大・縮小表示はメニュー中の「+」 「-」のアイコンで行う(図1のb)。

画像の表示レベルは「自動調整」のボタン (図1のc)を左クリックすることで最適の 表示をするはずだが、天体の画像によっては、 表示レベルの最大値と最小値をスライドバー か数値で指定しなければならないこともある だろう(図1のd)。また「対数」(図1のe) にチェックを入れて、このような表示レベル の調整を行うことで、明るい天体から暗い天 体まで、適度なコントラストで表示させるこ とも可能である。

HR 図を描く場合は、ある程度暗い恒星まで視認できる程度に調整すれば良いだろう。



図1 マカリィで fits 画像を開いた状態

36

3.2 測光の基本原理

今更ではあるが'測光'とは天体の明るさ を測定する作業である。こう言うと、fits 画 像では明るさが数値で記録されているため、 天体が写っている画素(ピクセルとも言う) の数値を足し合わせればいいのではないか? と思われがちであるが、実はそうではない。 画像の天体以外の場所には、一見何も存在し ないようであるが、実際には様々な現象に起 因する光が記録されている。つまり夜空は「真 っ暗」ではないのだ!これらはまとめてスカ イやスカイ成分、背景光成分などと呼ばれる (マカリィではSKY と表記されている)。従 って、天体の明るさを測定するためには、天 体が写っている画素の値を足し合わせるだけ ではなく、そこから一緒に写り込んでいるス カイの値を差し引く作業が必要となる。

図2を見て頂きたい。これは高さ方向に明 るさを表現した天体画像の模式図である。平 面全体がスカイ、中央の盛り上がりが天体を 意味している。天体の明るさを測定すること は、図中で濃いグレーで示した領域を測定す ることを意味する。しかし、実際には全体に スカイ(薄いグレー+白いドーナツ型部分) が混ざっているため、その明るさを天体周辺 部に設けたドーナツ型領域を測定することで 決め、これを差し引くことで天体の明るさを 求めるのである。



図2 天体画像の模式図

3.3 マカリィによる測光作業の基礎

かなり面倒に聞こえるが、勿論、マカリィ にはこれを簡単に行うための機能が実装され ている。測光したい fits 画像を開いた状態で、 メニューの「測光」アイコン(図1のf)を 左クリック欲しい。すると、小さなウィンド ウが開いて、開口測光か矩形測光か、と質問 してくる。ここでは恒星の普通の測光なので 「開口測光」を選択する。すると、図3のよ うな測光用のウィンドウが開く。





続いて測光用のウィンドウの「測光半径」 (図3のa)で「半自動」か「自動」を選ぶ。 「自動」を選んだ場合は「重心検索」を設定 する。ここは初期値のままでも良いだろう。

「半自動」を選んだ場合は「半径設定」(図 3 の b)の各設定値を入力する。半径設定で 入力する恒星径、SKY内径、SKY幅は図 2 中に記したように、どこまでを天体と見なす か?どこにSKY領域を設定するか?に関わ る値である。恒星径を小さくし過ぎると、天 体からの光の信号を数え落とすため、天体の 明るさは、本来よりも暗くなってしまう。ま たドーナツ型領域に他の天体が混入すると、 SKYを明るめに測定し、その結果天体の明る さは暗く出力されてしまう。

少し専門的なことだが、測光対象が恒星で

あれば、恒星径にはシーイング・サイズ(星 像の半値幅の値)の 2.5 から 3.5 倍程度の値 を設定するのが適当と考えられている。

これらを設定し終えたら、後はマウス・カ ーソルを測光したい恒星の上に持って行って 左クリックするだけである。先程の原理に従 って測定された恒星からの光の強度をはじめ、 様々な情報が、測光用ウィンドウ内に次々に 表示される。同時に天体画像の上に、実際に 恒星径、SKY 内径、SKY 幅に相当する円形 のマークが表示され、どの天体の測光が行わ れたかを確認することができる。図4は測光 作業中の様子である。

もしも測光するべき天体を間違えた場合は、 測光用ウィンドウ中の「一件削除」(図4のa) で最新の一つの結果を削除し、測光をやり直 すことができる。



図4 測光作業中の様子

また測光された天体の数が増えてくると、 円形マークが邪魔になってくる。この時には 「マーク」欄の「非表示」アイコン(図4の b)を左クリックすると、一時的にマークを 非表示にしてくれるため、天体画像が見やす くなる。もう一度左クリックすれば、再度、 円形のマークは表示される。 そして何よりも嬉しいのが、「テキスト出 カ」アイコン (図 4 の c) を左クリックする ことで、現在表示されている全ての測光結果 を、テキスト・ファイルに出力してくれるこ とだ(出力ファイルの拡張子は「CSV」とな る、以下このテキスト・ファイルを CSV フ ァイルと呼ぶ)。この CSV ファイルは、テキ ストとはいえ、Excel で容易に開いて、表計 算処理を施すことができる。

3.4 HR 図描画のための測光作業

さて、NGC7788 の HR 図の描画では、異 なる Bおよび Vバンドの2枚の画像間で、同 じ恒星を測光しなければならない。このよう な場合は、二つのバンドの fits 画像を同時に 開き、さらにマカリィのメニューから「ウィ ンドウ」 「左右に並べて表示」を選べば良 い、図5のように二つの画像それぞれに対し て測光用のウィンドウを開くことができるた め、両方の画像を見比べながら、同じ星に対 する測光作業が簡単にできる。勿論、測光結 果は別々の CSV ファイルに保存できる。



図5 二つの画像の測光作業の様子

天文教育 2010 年 5 月号(Vol.22 No.3)

またこの時には、測光する恒星の順番を、 二つの画像間で同じになるようにしておけば、 次節で述べるように、ワークシート間での、 単純なコピー&ペーストで簡単に HR 図を描 くことができる。また、見やすい HR 図を描 くためには、明るい恒星から暗い恒星までを まんべんなく測光しなければならないことに 注意されたい。

4. Open Office Org CalcによるHR図の描画

本節では、表計算ソフトを用いて、CSVフ ァイルから HR 図を描く方法を紹介する。

4.1 HR 図を描くための天文基礎知識

ここで、少し専門的な話をしておこう。面 倒に感じる方は、本節の最後のパラグラフま でスキップして頂いて構わない。

前節までで、我々はマカリィによって Bお よび Vバンドの散開星団 NGC7788 の恒星の 明るさを測定した。ところが、その時に保存 した CSV ファイルの中を覗くと、恒星の明 るさは等級ではない単なる数値で記録されて いる。この数値は、恒星の明るさに比例して いるため、この値が具体的に何等級に相当す るかが分かれば、恒星の等級は容易に計算で きる。波長帯 での CSV ファイル中の天体 の明るさを C、この天体の本来の等級を m(mag)とすると、定数 $m_{,0}$ (mag)を用いて、

 $m = m_{,0} - 2.5 \log C$ (1) となる。対数は常用対数で、 $m_{,0}$ (mag)は等 級のゼロ点またはゼロ点等級と呼ばれる値で あり、観測場所・装置、露光時間、観測日時、 気象条件などで異なる値になる。第2節末で 出てきた「等級較正」とは、この等級のゼロ 点を求める(複雑で面倒な)作業に他ならな い。そこで、まず NGC7788 の Bおよび Vバ ンド画像に対する等級のゼロ点を得る必要が あるが、等級較正の方法については、ここで は省略する。なお、我々の NGC7788 の fits 画像に対しては 24.52mag (*B*)、24.00mag (*V*) という値が得られた。

続いて見かけ等級 *m* (mag)から絶対等級 *M* (mag)を得るためには、天体までの距離 *d* (pc)と星間吸収 *A*₄(mag)の値が必要となり、 これらを用いて、

 $M = m + 5 - 5 \log d - A \tag{2}$ と表される。

また色とは、異なる二つの波長帯(ここで は *B、V*)での等級差なので、結局式(2)よ り、色 *B*-Vは、

$B - V = M_B - M_V$

 $=(m_B - m_V) - (A_B - A_V)$ (3)

となる。星間吸収は短波長側でより大きくなるため、大抵のケースで天体は、本来の色よりも *AB*-Avだけ赤く観測されることになる。この量は色超過と呼ばれ、*E*(*B*-*V*)で表され、

 $E(B-V) = A_B - A_V \tag{4}$

ここまでを簡単にまとめると、散開星団 NGC7788のBおよびVバンドのfits 画像か らそのHR図を描くためには、それぞれのfits 画像に対する等級のゼロ点と星間吸収量、そ してNGC7788までの距離、が必要となる。 ただし、それぞれの波長帯での星間吸収が分 からなくても、色超過の値が分かれば、教材 としては十分に機能する。なお本教材では、 NGC7788までの距離として2374pc、色超過 として0.48magを用いた[18]。

4.2 表計算ソフト用ワークシート

では早速、HR 図の描画を始めよう。図 6 は我々が作成した HR 図作成用のワークシー トを Calc で開いた画面である。

このワークシートに対して、まず図 6 の a の部分に、前述した NGC7788 までの「距離」、 「*B*バンド画像の等級のゼロ点」、「*V*バンド 画像の等級のゼロ点」、そして「色超過 *E*(*B* -*V*)」の値を入力する

天文教育 2010 年 5 月号 (Vol.22 No.3)

図 6 の b、c はそれぞれマカリィで測定した Bバンドおよび Vバンドの測光結果の入力部である。図 6 の d、e 部には式(1)が埋め込んであり、測光結果が入力されると、それぞれに Bおよび Vバンドの見かけ等級が出力される。またf部には式(2)、g部には式(3)、(4)が埋め込んであり、それぞれ Vバンドでの絶対等級と色 B-Vが出力される。つまりここで行うべきことは、a 部に数個のパラメータを入力することと、b、c 部に測光結果をペーストするだけである。



図 6 HR 図作成用ワークシートの測光データ 入力部



図7 Calc で CSV ファイルを開こうとした時 では次に、図 6 に入力すべき測光結果を

CSV ファイルからコピーして来ることにし よう。まず Calc で CSV ファイルを開く。た だし、Calc は初期状態では CSV ファイルに 対応していないため、図 7 のような「テキス トのインポート」というウィンドウが開かれ る。この場合、「区切りのオプション」で「区 切る」と「コンマ」にチェックを入れて「OK」 を左クリックすればよい(図 7 の a、b)。す ると図 8 のように CSV ファイルが開かれる。

8.	28 11	14	10	10	6	9. 10	12 H	马南	-4		- 6	42.40.6	16.4			0 6	1					
μ.	102.05	40			10	1833	8/1	1 = 1			82 125	.4.8	\$ 24	28 -0	€ □	2.1	1.1					
			Te.	x	- 1																	
	A 1,3	15		6		1	in l	120	1		324	A L	1.1	M. 1.	ALCONT OF	2	1.00	9		-		 U
r	1 11	2	1294	97	Sec.	N 194	200014	2062	636106	1128	12%	N9710 30		140	1640	1171	20052	1988077.71	EN. A.L.			
	2, 10	74.1	1345	. 1		57	23953	245.94	597 23	1574	1248	10	2	140	- 44	0.25	7	23922.51	EM .			
	2, 15	2	1341	- 5		87	13514	1128.73	296.79	1124	1341	10	- 2	140	310	2.28	- 8.0	11322 50	EM.			
÷	-12	8.1	1211	-1		<u>87</u>	99960	964.74	2895.44	1108	1211			140	554	-120	-8	91106.16	1.54			
	6 11	32	1221	1		÷	6200	35.20	218.02	1532	1221	- 30	- 9	140	1229	0.43	-63	732 19	EM .			
	7.95	9	1290			W	8277	M 33	211.4	1130	1210	90	2	140	3778	28.99	124.9	9660.39	EM.		а	
	0.11	20	1253	- 5		W	1630	16.0	36.32	1100	1273	50	- 2	140	630	5.99	227	1042.20	ENR .		, u	
÷	1.3	NE 1	ran)	-1		- N	4700	44.11	104.01	100	1300	- 10		140	1270	- 764	-11	3914.64	1.1	1	-	
	11 15	2	1262	- 2		÷	27375	279.12	661.9	1168	1382		- 2	145	- 441	110	- 23	20703-45	DA	/		
	12 15	60 1	1254	1		82.	14300	147.42	36.81	1160	1204	- 93	- 2	145	1783	1274	49.9	13054.64	EM /	/		
	12.11	53	(29)			92	7228	74.40	164.54	1153	1296	10	. 2	140	439	3.14	13.8	0021.64				
	14 11		1303	- 1		<u>- 8</u>	3429	3.2	76.55	1163	1303		- 3-	140	215	- 226	- 16.9	321576	24			
3	18, 15	ñ 1	194	-1		÷.	4104	11.00	112.29	116.6	194			ME	710	- 131	22.9	4991.30	61.6			
	17 11	67	1360	1		ŵ) -	2874	29.63	67.38	1167	1360	10	- 2	140	420	100		2577.45	Diff			
	18, 12	8.1	13=8	. 1		90	2258	23.26	-53.22	1226	1318	.90	- 2	140	451	3.22		1943.52	EM .			
	.2.3	25.1	300	- 5		思	3706	35.21		1235	1309	- 10	- 2	. 140	437	4.55	11.8	3264.05	EM			
	30.12	2.3	1300	-2		W	2308	4167	78.15	12.00	1300		-6	140	1778	16.36		21621	638 ····			
	22 13	12	1258	- 1		÷	0011	31 22	172.3	Dist.	1258	30	- 2	140	2690	18.53	77.4	5015.11	114			
	23 19	61 1	(27)	1		92	3730	38.40	97.5	1001	1271	90	- 2	140	7210	\$1.5	157.0	-1262.6	D4			
	24, 13	58.1	1290			97	3710	38.25	93.55	1258	1280	10		140	2967	27.96	80.8	7657.76	£16			
	2.3	5.	1200			2 ·	4735	50,922	120.12	1257	1200	- 8-	- 2	140	- 21	0.22	- 81	4017.52	ENR .			
÷	33	8-1 16-1	1104	-1		- N	4795.00	43.21	11116	1110	1194		- 5	140	- 2	0.75	-3	4163.991	110			
	28,12	W. 1	1177	18		87	E16E	\$3.57	185.52	1257	1577	92	- 2	140	XZ	2.61	10.1	\$912.11	EM8			
	28, 19	49.1	1179	. 6		90	5214	53.76	131.00	1349	1178	90	- 2	140	36	0.25	- 77	510876	EM			
	30,13	63 1	1163	13		2	10309	106.20	263.17	1268	1107		- 2	140	500		128	9921	EM			
	30.10	1	1122	-1		- E	100	100.00	35.09	1078	110		- 5	140	100	-72	18.9	860.34	614			
	E D	92	1182			97	333000	341.12	882.53	1202	1162	10	- 2	140	1114	7.36	- 58.4	32317 36	234			
	34.54	QE I	1160	18		947.	19509	163.71	407.3	1408	1950	- 10	- 2	540	4877	35.55	170.8	12140.95	EME .			
	8.2	43	1009			B	14297	147.39	3840		1309	10		140	60		-n	14331.64	EM.			
		74	1007	-1		÷	20002	295.07	226.77	974	1305		- 5	- 140	257	146	- 12	20104 72	CM			
	3 10	15	1388			10	8025	70.35	188.17	1116	1300	10	- 2	140	997	7.16	20.3	\$141.75	EM			
	30 9	97	1360	1		W	2524	35.33	014	207	1360	10	2	140	900	1.25	9.6	3406.91	C16			
	40.10	65 1	1327	- 1		8	4505	- 46.3	114.34	1066	1377	90	- 2	140	268	2.66	- 23	4436.96	EM			
	4.0		1225	- 2		- 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10	1/14	10.67	100.70	1113	12/9			140	900	-12	-23	7944.71	Charles -			
	43 13	64	1211	- 2		60	4319	44.53	109.42	1304	1211	30	- 2	140	767	5.43	218	1787 58	EM.			
	44 12	74. 1	1214			27	8853	68.59	161.95	1274	1214	10	2	140	1951	11.08	39.7	95.18.30	EMR .			
	45.17	9	(221	1		10	1334	11.91	38.73	1217	1721	- 10	- 2	140	715	6.11	93	1338.87	DA			
	8 12	81	1,216	-1		5-	3574	3,05	- 81.71	1256	1256	- 10		140	8/1	479		1109.09	1.10			
	5.3	2	18. 1981 -	1.4		20	< 300	32	- 1995	1400	12.00		- 5	- 15-	416	- 5.00	-03	0405.47	100			
		<u>.</u>					18. III.															

図 8 Calc で CSV ファイルを開いた状態

ここには、マカリィで行った恒星の測光作 業の全ての情報が表示されている。その中で、 我々の HR 図作成に必要なデータは、右端の 方のたった一列「測光結果」の部分(図8の a)だけである(前節の C に相当する値であ る)。この一列を丸ごとコピーして、Bバンド の測光結果であれば図6のb部、Vバンドで あれば c 部にペーストする。これで全ての作 業は完了であり、即座に図6のd、e、f、g 部に計算結果が表示される。

図6に示したHR図作成用のワークシート には、複数のシートを用意した(図6のh)。 最初のシートは前述したようにデータを入力 するためのものであり、最後のシートには等 時曲線のデータを入力してある。そして他の

天文教育 2010 年 5 月号(Vol.22 No.3)

シートには、図 9、10 のように、これらのシ ートからデータを読み込んで描かれた HR 図 と、異なる金属量(z=0.0004、0.0010、0.0040、 0.0080、0.0200、0.0500)に対する等時曲線 が表示されている。つまり予め HR 図と等時 曲線そのものを埋め込んであるのだ。

なお、ここで述べたようなワークシートの 作成は、表計算ソフトウェアに多少でも慣れ ていれば、誰にでも比較的簡単に作成できる だろう。



図 9 NGC7788のHR 図と金属量 z=0.0004の等時曲線。星団年齢は、0.3、1、3、10、30、100、 150 億年





2008年12月に本教材を用いた教育実践を 行った。対象は東京学芸大学教育学部自然環 境科学専攻 17名(1年生 11名、2年生以上 6 名)である。大学生2名1組に対してパソコン 1台を配し、各組に一つの星団の Bおよび V バンド画像を与えた。事前アンケートでは、 17 名中 15 名が天文に対する興味を「普通」 以下(5段階で3以下)と回答しており、ま た17名中10名がパーソナル・コンピュータ を用いた作業を「苦手」「やや苦手」(5 段階 で1および2)と回答していた。これらから は、今回の大学生達がパソコンを用いた天文 学の実験や演習に対して、予備知識が皆無で あることが覗える。なお実際の測光作業に入 る前に 30 分ほど基礎事項(星団と HR 図、 等級、色指数について)の説明を行った。ま た、この時には 3.4 で解説したような、二つ の画像を同時に開いて見比べながら測光する、 という方法を提示しなかったため、大学生達 は星団の画像をプリントアウトしたものを片 手に、測光が済んだ恒星にペンでマークを書 き込む、という効率の悪い方法で作業を進め ることになった。

それでも早い組は、作業開始 20 分程度で 100 個の恒星を測光し終え、HR 図の描画に 15 分、等時曲線との比較・考察に 20 分と、 ほぼ1時間で全工程を完了している。最終的 に全ての組が、何らかの考察を得るまでに約 2 時間を要した。これから、本教材は 2 限連 続で行う内容として丁度良いことが伺える。 また本実践への出席者には、恒星の進化など に関するレポート提出を課した。

事後アンケートは17名中12名からしか回 収できなかったが、半分の6名が「天文学へ の興味が増した」「やや増した」(5段階で5、 4)と回答しており、大学生の自己評価ではあ るが、12名全員が恒星の進化についての理解 が「普通」以上にできた(5段階で3以上) と回答している。本教材は、興味の喚起に加 えて、少なくとも短期的には天文学の学習に 関しても有効であると言えよう。ただし、長 期的な学習内容定着の効果については、授業 の構成上未確認である。また、詳細な事前授 業を望む回答も数件見られ、授業プログラム としてはまだまだ改善の余地がある。

最後に本教材作成に関して、度々インスピレーションを与えてくれた PAOFITS WG と、 観測を支えてくれた東京大学木曽観測所の皆様、そして本教材作成のきっかけを頂いた東京学芸大学の土橋一仁氏に心から感謝したい。

文 献

- [1] 文部省(1970)『高等学校学習指導要領(昭和45年10月)』.
- [2] 文部省(1989)『高等学校学習指導要領(平 成元年3月)』.
- [3] 文部省(1999)『高等学校学習指導要領(平 成 11 年 3 月)』.
- [4] 横尾武夫編(1988)『宇宙を解く-現代天 文学演習』,恒星社, pp.94-103.
- [5] 横尾武夫編(1993)『新・宇宙を解く-現 代天文学演習』,恒星社, pp.103-118.
- [6] 宇留野勝敏(1993)「高校での天文観察・ 実習の簡略化」,第7回天文教育研究会, pp.61-64.
- [7] 戎崎俊一(1995)『ゼミナール宇宙科学』, 東京大学出版会, pp.29-52.
- [8] 吉岡一男, 岡崎彰(1989)「HR 図による 指導について」, 第 3 回 天文教育研究会, pp.184-188.
- [9] 田中義洋, 縣秀彦, 小池邦昭 (2002)「中 学校における恒星の多様性に関する学習の 提案-ハッブル宇宙望遠鏡撮影画像を用い たHR図作成実習の評価-」, 地学教育, 55:135.
- [10] 富田晃彦他(2002)「天体までの距離と

年齢の推定」, 平成 14 年度サイエンス・パ ートナーシップ・プログラム集録. 40p.

- [11] 山田隆文(2003)「高校地学における観 測実習を軸とした授業展開」,第17回天 文教育研究会,pp.46-49.
- [12] Horaguchi, T., Furusho, R., and Agata, H. (2006) 'FITS Image Analysis Software for Education: Makali'i', Astronomical Data Analysis Software and Systems XV, ASP Conf. Ser., 351: 544.
- [13] PAOFITS WG 開発教材セット, http://paofits.nao.ac.jp/Materials/
- [14] マカリィ配布サイト、 http://makalii.mtk.nao.ac.jp/
- [15] Open Office Org 公式サイト (英語)、 http://www.openoffice.org/
- [16] Open Office Org 日本語プロジェクト、 http://ja.openoffice.org/
- [17] Bertelli, G., Bressan, A. Chiosi, C., Fagotto, F. & Nasi, E. (1994) 'Theoretical isochrones from models with new radiative opacities ', A&AS, 106 : 275.
- [18] Kharchenko. N. V., Piskunov. A. E., Roeser. S., Schilbach. E., Scholz. R. -D. (2005) 'Astrophysical parameters of Galactic open clusters', A&A, 438:1163.

天文教育 2010 年 5 月号(Vol.22 No.3)