

# 恒星を理解するための教材統合の試み

— JPEG による実践報告 —

鈴木 文二 (埼玉県立春日部女子高校)

## 概要

デジタルカメラが普及し、教師、生徒が自らの手で、簡単に天体画像を得られるようになってきた。その測光精度は、従来の写真測光の精度レベルまで達している。マイクロフォトメーターや濃度測定ウェッジの焼き込みに代わるものは、パーソナルコンピューターであるが、これもすでに十分に普及している。これらの中で最も普及しているフォーマットは、JPEG などの圧縮画像である。PAOFITS は、その名のとおり FITS という天文界では比類なき特長を備えているフォーマットを教育現場に広げる活動を行ってきた。しかし、FITS にすべて依存するのではなく、複数の取り組みをしていく必要があるのではないかと。先進的な教材は注目されるが、広く利用されなくては、単なる「教育実験」で終わってしまう。

## 1 動機と目的

コンピューターネットワークの発達と機器の高度化にともなって、天文学の分野では、さまざまな新しい教材が開発されている。確かにそれらは児童、生徒の眼を輝かせるものとして魅力的ではあるが、それらの教材は小学校から高校までの特定の発達段階での、特別な目的に照準を合わせた感がある。そのため、個々の対象への知識、方法論の習得は深まるが、逆に階層性が逆転したりしてしまうこともある。例えば、HR 図やハッブル則の教材を用いて授業を行った生徒たちから、見慣れた星座を作る星がどのような空間的位置にあるのか、太陽系と銀河系の包含関係はどうなっているのか、改めて質問されるという事態に筆者は愕然とした。

## 2 教材群の組み立て

教師が自ら観察指導ができ、最も身近でありふれた素材に、多くの科学的な真実が含まれていることを確認したい。専門・専攻が理科以外、地学以外の教師でも取り扱える簡便性、さらに高度なテーマへと発展できる柔軟性を持たせる教材群を考える。このために博物学的に多くの対象をとりあげることなく、北斗七星とカシオペア座のみしかとりあげずに教材を作成してみた。コンパクトデジカメの夜景モードを使えば、星座を作る星ぼしは簡単に撮影ができる。その明るさを測定するときは、やはり JPEG がふさわしい。乾電池と発光ダイオードを使えば、青から赤までの擬似的な星を作ることもでき、比較光源としての活用もできる。本報告は作成した教材の一部を紹介するとともに、JPEG 測光の特徴について述べる。

なお、個々の恒星のデータは、SIMBAD(<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>) より引用した。

星座の見える位置は地球の自転によって変わる。そして星が見える位置は、一日、一年という時間で変化し、さらに数万年というスケールでは、地軸の変化によって見える位置が変わる。星座を作る星は数百光年以内の星であり、銀河系内において地球の近くの限られた星たちである。明るさと色は星の性質と密接な関係があり、例えば、カシオペア座は銀河面に位置する若い星ぼしで構成されている。また、星座を作る星ぼしの地球からの距離はそれぞれ異なり、星座は見かけ上の配列である。さらに数十万年というスケールでは、星の固有運動が顕著に見え、現在見られている星座の形は大きく変形し、相対距離の変化によって個々の星ぼしの明るさも変わる。そして星の進化は、もっと長いスケールで起こっている。

<例 1> 星座を作る星

年周視差の原理を屋上からの市街地観察実習によって確かめ、北斗七星とカシオペア座を作る恒星の距離を計算し(表 1)、距離の概略図を作る(図 1)。

	HD	名前	視差(mas)	光年	パーセク
1	95689	$\alpha$ UMa	26.38	123.6	37.91
2	95418	$\beta$ UMa	41.07	79.4	24.35
3	103287	$\gamma$ UMa	38.99	83.6	25.65
4	106591	$\delta$ UMa	40.05	81.4	24.97
5	112185	$\epsilon$ UMa	40.3	80.9	24.81
6	116656	$\zeta$ UMa	41.73	78.1	23.96
7	116657	80UMa	41.4	78.7	24.15
8	120315	$\eta$ UMa	32.39	100.6	30.87
11	432	$\beta$ Cas	59.89	54.4	16.70
12	3712	$\alpha$ Cas	14.27	228.5	70.08
13	5394	$\gamma$ Cas	5.32	612.8	187.97
14	8538	$\delta$ Cas	32.81	99.4	30.48
15	11415	$\epsilon$ Cas	7.38	441.7	135.50
16	4614	$\eta$ Cas	167.99	19.4	5.95
20	8890	$\alpha$ UMi	7.56	431.2	132.28

表 1 星座を作る恒星の距離を求める

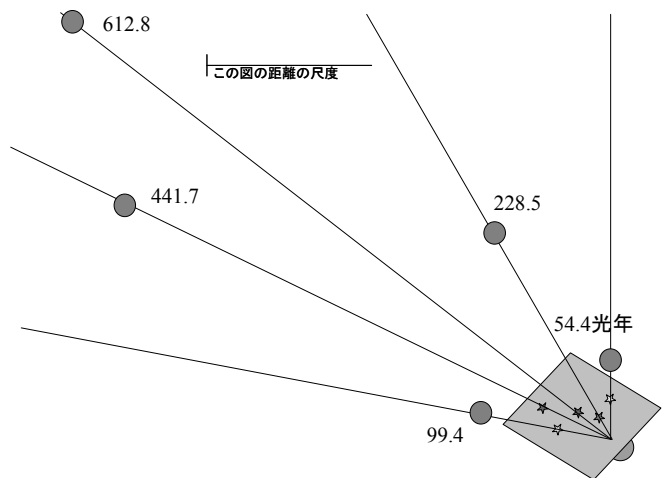


図 1 距離の概略図を作る

<例 2> 星の動きをみる

銀河の回転運動の存在から、近傍の恒星に固有運動(表 2)が見られることを作図(図 2)する。

名前	赤経	赤緯	視差	距離	固有運動( $\alpha$ )	固有運動( $\delta$ )	視線速度
			mas	光年	mas/yr	mas/yr	km/s
1 $\alpha$ UMa	110344	+614503	26.38	123.6	-136.46	-35.25	-8.9
2 $\beta$ UMa	110151	+562257	41.07	79.4	81.66	33.74	-12.0
3 $\gamma$ UMa	115350	+534141	38.99	83.6	107.76	11.16	-12.6
4 $\delta$ UMa	121526	+570158	40.05	81.4	103.56	7.81	-13.4
5 $\epsilon$ UMa	125402	+555735	40.3	80.9	111.74	-8.99	-9.3
6 $\zeta$ UMa	132356	+545531	41.73	78.1	121.23	-22.01	-5.6
7 80UMa	132356	+545917	41.4	78.7	120.35	-16.94	-9.3
8 $\eta$ UMa	134732	+491848	32.39	100.6	-121.23	-15.56	-10.9
11 $\beta$ Cas	000911	+590858	59.89	54.4	523.39	-180.42	11.3
12 $\alpha$ Cas	004031	+563214	14.27	228.5	50.38	-32.17	-3.8
13 $\gamma$ Cas	005643	+604300	5.32	612.8	25.65	-3.82	-6.8
14 $\delta$ Cas	012549	+601407	32.81	99.4	297.24	-49.49	6.7
15 $\epsilon$ Cas	015424	+634012	7.38	441.7	31.98	-18.66	-8.1
16 $\eta$ Cas	004906	+574855	167.99	19.4	1087.07	-559.73	10
20 $\alpha$ UMi	023149	-891551	7.56	431.2	44.22	-11.74	-17.9

表 2 星座を作る恒星の位置と運動

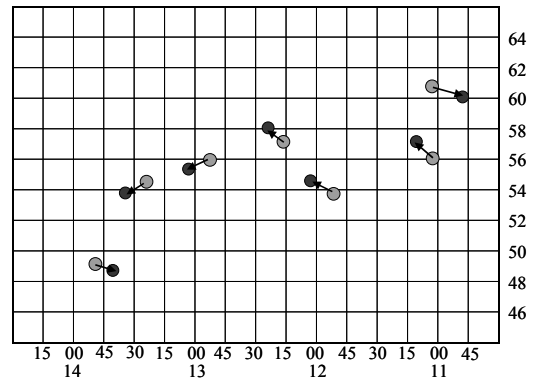


図 2 10 万年後の北斗七星の姿

<例 3> 明るさを測る

本校屋上で撮影した画像(図 3)から、星座を作る恒星の明るさを測る。撮影は半月が明るく輝き、肉眼ではかろうじて 2 等星が確認できる程度であった。星像の飽和の影響を調査するため、ピントを $\infty$ 、10m、および 3m に設定してみた。露出時間は 5 秒から 30 秒で、三脚を使った固定撮影である。カメラは EOS30D を使用し、セット付属のズームレンズを使用した。



図 3 カシオペア座

EOS 30D EF 17-85 F=4 ISO 800

測光はステライメージ Ver.5 を用いた。カシオペア座について、得られた測光結果とカタログ値との比較を表3に示す。表は、差分をわかりやすくするために  $\eta$  Cas でスケールリングしてある。ただし、この恒星は、他に比べて暗く、あまり適切ではなかったようである。

明るさ	星名	B	V	B-V	SP	5 sec. 3m		20sec. 3m		30sec. $\infty$	
						full=V	V=g	full=V	V=g	full=V	V=g
1	$\alpha$ Cas	3.43	2.25	1.18	K0III	2.61	2.52	2.70	2.80	2.67	2.71
2	$\beta$ Cas	2.61	2.27	0.34	F2III-IV v	2.65	2.45	2.81	2.68	2.69	2.78
3	$\gamma$ Cas	2.29	2.39	-0.10	B0IVpe	2.60	2.39	2.96	2.73	2.69	2.82
4	$\delta$ Cas	2.81	2.68	0.13	A5III-IV v	3.07	2.77	3.27	3.03	2.95	2.96
5	$\epsilon$ Cas	3.22	3.34	-0.12	B3III v	3.67	3.41	3.74	3.44	3.08	3.19
--	$\eta$ Cas	4.03	3.45	0.58	G0V	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45

表3 カシオペア座を作る恒星の測光結果、恒星はV等級の順に並べてある。カタログのV等級と取得画像のフルカラー測光値、および色分解したG画像で比較した。

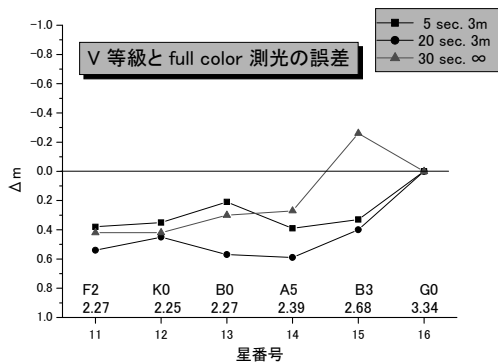


図4 フルカラー測光値とV等級

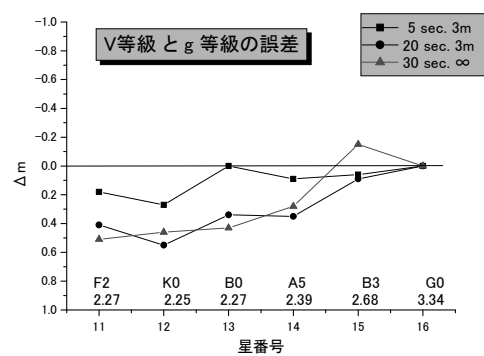


図5 色分解したG画像測光値とV等級

カシオペア座を作る恒星は、スペクトルでB型からK型までであり、フィルタシステムの工夫、システムの色補正が難しい対象である。これをJPEGフォーマットで敢えて測光した。最も安易な方法は、取得したフルカラー画像をそのまま測定することである(図4)。もちろん、これでは肉眼の光度測定並である。色分解したG画像からの測光(図5)では、わずか5秒の露出時間で、ピントをはずして3mに合わせたものは、カタログ値と比較して0.2等以下に収まっている。ところが、表3に示したデータを見ると「恒星の明るさの順番」が逆転している。むしろ、30秒露出で $\infty$ に合わせ、恒星が飽和してしまったものは、カタログ値とのズレは大きい、「恒星の明るさの順番」は逆転してない。表4は恒星の温度順(スペクトル型)で並べ、色分解したB、G画像から色指数を測定して、カタログ値と比較したものである。図6はそれを図示してみたものである。

温度	B	V	B-V	SP	5sec. 20sec. 30sec.			
					3m	3m	$\infty$	
1	$\gamma$ Cas	2.29	2.39	-0.10	B0IVpe	0.29	0.48	0.36
2	$\epsilon$ Cas	3.22	3.34	-0.12	B3III v	0.04	0.27	0.42
3	$\delta$ Cas	2.81	2.68	0.13	A5III-IV v	0.38	0.40	0.44
4	$\beta$ Cas	2.61	2.27	0.34	F2III-IV v	0.45	0.52	0.50
5	$\alpha$ Cas	3.43	2.25	1.18	K0III	0.67	0.82	0.72
--	$\eta$ Cas	4.03	3.45	0.58	G0V	0.58	0.58	0.58

表4 色分解したB、G画像の測光から求めた値とカタログ値との比較

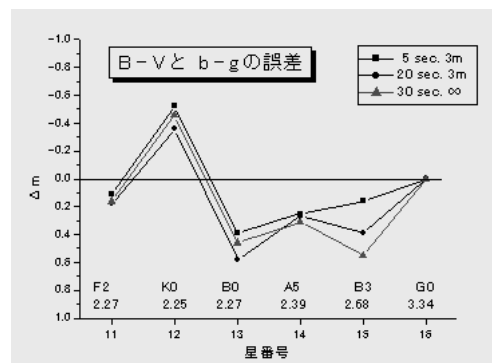


図6 B,G画像から求めた色指数の精度

もともとデジタルカメラの R,G,B の分光特性を考えると、B の感度が低く、R の感度が高いことが、あらためて確認できる。しかし、注目したいのは、「恒星の色指数の順番」が逆転していないのは、恒星が飽和している 30 秒露出、∞ のピント状態なのである。

「明るさ順」、「温度順」が測定から出ればよいと考えるならば、むしろごく普通に、日周運動で恒星が流れない程度で、30 秒程度で∞で撮影すればよいということになる。まさに、デジカメのナイトモードの世界そのままである。このような結果は、ソフトウェア独自の測光アルゴリズムにも依存するので、ただちに断定はできない。しかし、星像中心が飽和するほどの露出をかけたとき、出力値は RGB カラーのそれぞれの星像のすその部分の積分に依存しているわけである。そして、その結果が「順番」をくずさない出力となって出てきたのだろう。怪我の功名のようなものである。いくつかのカメラ、受光素子で確かめる必要がある。

ところで、このように明るい、しかも色の多彩な星座を作るような星を、冷却 CCD で、そして FITS で測定すれば、もっと良い精度で、納得できる結果が出てくるだろうか。標準フィルタシステムとのシステム係数を求める作業に膨大な時間と労力を費やすに違いない。

#### <例 4> 絶対等級と銀河座標 (未完)

まだ完成はしていないが、スペクトル型に合わせた発光ダイオードを絶対等級に合わせて用意し、銀河平面に星座をつくる恒星を適切に配置し、肉眼で見た星座を再現する工作を生徒ともに進めている。配置から銀河座標を逆に求める実習も可能である。さらに、そのことによって数百光年以内の恒星が星座を作っていることから、銀河系のスケールも実感できるものと考えている。

### 3 結論

FITS は、まだ特別な環境において、熟練した指導者が必要なフォーマットである。そして、それが真正資源を活用できる方法であることはご存知のとおりである。しかし、多くの教師・生徒が自らの手で撮影できる画像は JPEG である。先進的な実践を使って目指す「宇宙の認識」と、多くの教室で実践可能な「宇宙の認識」は、対象天体や方法は違っていても、同じゴールを目指していると考える。私たちは、単一な教材で成果をあげるのではなく、教材の連鎖によって(例えば、宇宙の距離はしご)、図 7 のように上部のレイヤーを構築してきた。しかし、自ら宇宙に触れる感動は、自らの眼(五感と置き換えてもよい)であろうし、教師が実験ワークシートを独自に工夫する意欲をかきたてるのは、自ら撮影した画像であろう。PAOFITS が天文学の教育・普及の中で、孤立しないためには、同じゴールを目指す、多様な方法といかに共生してくか、ではないだろうか。JPEG は、その目的と精度を限定することによって、効果的に教育現場で使うことができる。マカリィに JPEG 測光モードを取り入れてもよいのではないだろうか。

蛇足ながら、方法論と対象天体に特化していけば、それは研究者の世界そのものである。

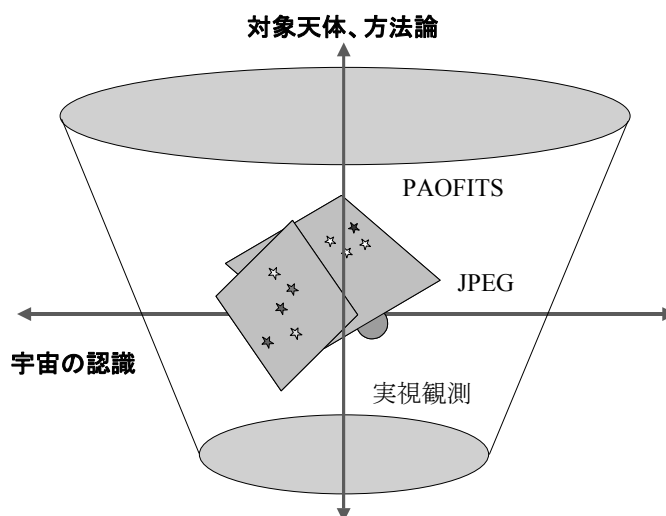


図 7 どこにあるのか PAOFITS 教材