

地学教育

第55巻 第1号(通巻 第276号)

2002年1月

目 次

原著論文

連星系のパソコンシミュレーション III. 分光連星の視線速度変化
.....中村泰久・細井淑子・小川 慎...(1~12)

Digitized Sky Survey を利用した「暗黒星雲博物館」の作成
—インターネットで閲覧できる暗黒星雲のデジタル図鑑—
.....上原 隼・土橋一仁・神鳥 亮・佐藤文男...(13~22)

学会記事(23~25)

日本地学教育学会

263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学教育学部地学教室内

平成 14 年度全国地学教育研究大会日本地学教育学会第 56 全国大会山口大会
申 込 書

申込日: 2002 年 月 日

◇参加申し込み			
氏 名			所 属
連絡先	[自宅] 〒		
	[勤務先] 〒		
	[e-mail]		
		TEL:	
		FAX:	
		TEL:	
		FAX:	
◇研究発表申し込み 〈締め切り: 4月30日〉			
発表題目			
キーワード			
共同発表者名	所 属	共同発表者名	所 属
1		3	
2		4	
研究分野	分科会: <input type="checkbox"/> 小学校 <input type="checkbox"/> 中学校 <input type="checkbox"/> 高校・大学・一般 <input type="checkbox"/> ポスターセッション <input type="checkbox"/> その他		
使用機器	<input type="checkbox"/> OHP <input type="checkbox"/> スライド映写機 <input type="checkbox"/> ビデオ (VHS) <input type="checkbox"/> 液晶プロジェクター (パソコンを使用する場合には、各自でパソコンをご持参下さい)		
◇見学旅行・懇親会の申し込み 〈定員に達した場合には受付を終了します〉			
<input type="checkbox"/> 懇親会 (5,000 円)			
<input type="checkbox"/> 見学旅行 A コース (25,000 円)			
<input type="checkbox"/> 見学旅行 B コース (5,000 円★) <input type="checkbox"/> 見学旅行 C コース (4,200 円★)			
<input type="checkbox"/> 見学旅行 D コース (5,500 円★) <input type="checkbox"/> 見学旅行 E コース (1,800 円★)			
★: バス代・昼食・入館料・入洞料等の費用を含めた金額です。			
◇振り込み金額	参加費 (要項集代金を含む)	4,000 円	
	懇親会 (5,000 円)		
	見学旅行	コース (A B C D E)	
	合計金額		円

※申込書の該当箇所を□にチェックして、郵送またはファックスで送付して下さい。
 郵送先: 〒753-8513 山口市吉田 1677-1 山口大学教育学部理科教育教室 池田幸夫
 Fax 送付先: 083-933-5357 (源田智子)
 ※申込書を送付後、代金を下記の郵便振替口座にご送金下さい。
 (口座番号: 01310-8-68369 口座名称: 日本地学教育学会第 56 回全国大会事務局)
 ※7 月 19 日以後の申し込み、大会当日の申し込みは、参加費が 4,500 円となります。

..... キリトリセン

要項集または見学旅行案内書のみ申し込み
 申込者氏名 TEL ()
 送り先 〒

	部 数	金 額
大会要項集 (1,500 円)		
見学旅行案内書 (800 円)		
送料 (310 円)		310 円
合計金額		

原著論文

連星系のパソコンシミュレーション III. 分光連星の視線速度変化

中村 泰久*1・細井 淑子*1・小川 慎*2

1. はじめに

ドップラー効果が果たしている天文学上の役割はきわめて大きい。この効果により、地球にいながらにしてスペクトル観測から天体の視線方向の速度が測定できるため、天体や宇宙の研究、解明に大いに役立っている。そもそも宇宙の膨張が発見されたのも、遠方の銀河のスペクトル線の赤方偏移の観測による。銀河のような広がりをもって観測される天体の場合には、それぞれの部分はその重心のまわりをどのように回転しているかなどの重要な情報が得られる。我々の太陽系が属する銀河系の構造が明らかになったのもこういった観測による。遠くの渦巻き銀河の回転則と見かけの明るさとの間の経験的な関係は、その銀河までの距離を推定する重要な役目を果たしている。また、銀河系中心のガス雲の運動などの視線速度観測から、中心核付近の構造を明らかにしようという研究も進んでいる。このシリーズで扱っている連星系の場合も、ドップラー効果が重要な役割を果たしているという点では例外ではない。

連星は2個の恒星がお互いのまわりを公転しているので、その公転面の向きによっては、我々から見て、連星系を構成している星の視線速度の周期的変化に伴うスペクトル線の偏移が観測されるようになる。このようにして単独の星ではなく連星であるとわかったものが“分光連星”である。ぎょしゃ座 α 星のカペラやペルセウス座 β 星のアルゴルなどは代表的な分光連星として知られている。今まで観測されている分光連星については、Batten *et al.* (1985) による分光連星カタログなどにまとめられている。この分光連星については、高校「地学IB」の教科書の中にも「視線速度変化の観測から恒星の質量が得られる」などの説明が与えられている。

そのような分光連星の視線速度の変化の様子を、2個の星が公転しあっている姿と併せてパソコン上で模

擬できれば、生徒や学生などの理解を助ける上で有益であろう。星を単純な球形で近似したモデルに基づいて、視線速度の変化の様子がわかるプログラムを簡単に作成することができる。しかし、このシリーズI(中村・小川, 1994)、II(小川・中村, 1995)で取り上げてきたプログラムに手を加えれば、はるかに精緻な視線速度曲線が得られる。とくに食連星系の場合、一方の星が徐々に隠されていく時に観測される視線速度の興味深いふるまいなどもリアルに模擬できる。

天体の見えている形状がわかり、そこでの見かけの明るさの分布もわかっている場合には、それぞれの部分がどのような視線速度をもつのかを知られば、その天体の視線速度を計算することができる。ロッシュモデルで形状を近似した連星系の場合には、IIにおいて見えている部分の両星の明るさの分布を求めたので、次にはその各部分の視線速度を知られば、全体としての視線速度を計算することができる。このIIIでは、ロッシュモデルに基づき視線速度の変化を計算するスキームに基づき、その様子を模擬するパソコンソフトについて記述してある。

なお、I, IIで述べたソフトをWindows版に改訂し、同時に表面上に斑点の存在する場合にも対応できるようにしたので、このことも補遺で紹介している。

2. 分光連星

2.1 分光連星と視線速度曲線

公転運動による視線速度変化をスペクトル観測により測定し、公転位相に対してプロットしたものが視線速度曲線である。実際に星の歪みが問題とされるのは近接連星系においてであり、しかもそのような近接連星系では、ほとんどの場合、軌道は円であるので、ここでは円軌道の場合のみを考えることとする。この場合、恒星の視線速度 v_r は次のように表される。

$$v_r = v_0 + K \sin \theta. \quad (1)$$

ここで、 v_0 は系全体の重心の視線速度、 θ は公転の位

*1 福島大学教育学部 *2 いわき市立小名浜第一中学校

相角である。Kは視線速度曲線の半振幅である。

視線速度曲線はとくに両星(添え字1,2で表す)の質量 M_1, M_2 の比 q に強く依存するので、連星系でもっとも重要なパラメータである質量比の決定は、基本的にはこの分光連星系の観測と解析によって得られる。しかし、構成する両星の観測波長帯での明るさにある程度以上の開きがある場合には、より明るい方の星のスペクトル線しか実質的には見られない。このような分光連星は単線分光連星と言われ、両星のスペクトルが見えており、同時に両星の視線速度がわかるような分光連星は二重線分光連星と呼ばれる。質量比がはっきり決められるのはこの後者の二重線連星の場合のみであるが、残念ながら現実には単線の場合の方がはるかに多い。

円軌道の場合、観測される公転周期 P と視線速度の最大値 K_1, K_2 との間に次の関係があることはすぐわかる:

$$K_{1,2} = \frac{2\pi a_{1,2} \sin i}{P} \quad (2)$$

ただし、 $a_{1,2}$ は系の重心から星1,星2の重心までの距離、 i は公転軌道面の傾斜角、 π は円周率である。言い換えると、視線速度曲線は連星系の質量比や軌道長半径などの情報を含んでおり、したがって解析によりこれらの値を知ることができる。

2.2 質量決定の原理

“連星であることを利用すると星の質量が求められる”ことについて、たとえば高校「地学IB」教科書では、「両星の質量を M_1, M_2 とし、両星の平均距離を a とすると、ケプラーの第3法則により

$$\frac{4\pi^2 a^3}{P^2} = G(M_1 + M_2) \quad (3)$$

であり(G は万有引力定数)、一般に連星の公転周期は観測から精度よく求めることができるので、 a が求められればよい」という説明がなされている。両星の平均距離 a が求められる場合としては、実視連星のようなケースもあるが、より一般的には、分光連星かつ食連星でもある連星系について知ることができる。二重線分光連星の場合は K_1, K_2 の両方が測定できるので、質量比 q が

$$q = \frac{M_2}{M_1} = \frac{K_1}{K_2} \quad (4)$$

としてわかる。また、(2)式と

$$a \sin i = a_1 \sin i + a_2 \sin i \quad (5)$$

より、もし i を決めることができれば a が求められ

る。そこで上のケプラーの第3法則の式により、 $M_1 + M_2$ がわかることになる。 q はすでにわかっているので M_1, M_2 がそれぞれ求められる。 i はIIで述べたように光度曲線の解析により決めることができる。ただし単線分光連星系の場合には、別手段で質量比 q などを推定しなければならない。

大まかにいうと測光観測・解析では連星系の相対的な量が、また分光観測では、観測値にたとえばkm/sというような単位が付くことからわかるように、絶対的な量がわかる。すなわち連星系の総量ともいえる。したがって、総量とその中での相対比によって個々の物理量が導かれ得るのであって、このことは天体物理学でもっとも基礎的で重要なことがらといえよう。

3. 連星の視線速度の計算スキーム

3.1 視線速度の計算

ロッシュモデルに基づくということは、成分星も公転と同期して(同じ角速度で)自転していると仮定することを意味する。つまり、各面素は系と共に回転する座標系上では静止している(たとえばWilson and Sofia, 1976; Antokhina and Cherepashchuk, 1994)。この場合、連星系の重心に対しての相対位置さえわかれば、両方の星の表面上の各部分がどのように視線方向の速度変化をしているかがわかる。

ある公転位相角 θ (測り方はIIと同じ)での系の重心に対しての各面素の視線速度 v_r を調べるために、星とともに回転する直交座標系を考える(図1)。原点

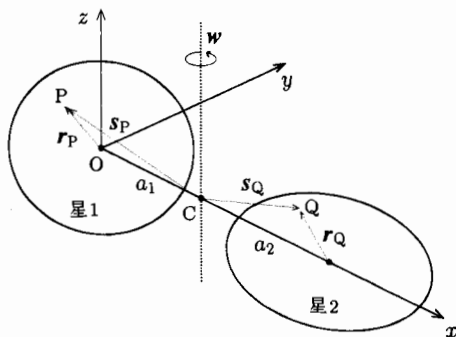


図1 視線速度計算のための座標系。座標系の原点は星1の重心であり、 x, y 面は公転面である。点Cは系の共通重心、点P, Qはそれぞれ星1, 2の表面上の点である。系の重心Cから星1, 2の重心までの距離が a_1, a_2 で示されている。各ベクトルの意味は本文参照。

は星1 (位相0の時に食される方)の重心に、 x, y 面は公転面に、 x 軸は星1と星2の重心を通るようにとり (星1から星2に向かう方を正の向きに)、 z 軸は公転軸に平行 (公転ベクトルの向きが正)にとる。すると、系全体の重心Cは $(a_1, 0, 0)$ に、星2の重心は $(a, 0, 0)$ に位置する:

$$a_1 = \frac{M_2}{M_1 + M_2} a, \quad (6)$$

$$a_2 = a - a_1.$$

星1の表面上のある点Pの座標を (x, y, z) とする。星1の重心から点Pまでの位置ベクトル \mathbf{r}_P の成分は $\mathbf{r}_P = (x, y, z)$ であり、系全体の重心Cから星1の重心までの位置ベクトル \mathbf{s}_1 の成分は $\mathbf{s}_1 = (-a_1, 0, 0)$ である。したがって、系の重心Cから点Pまでの位置ベクトル \mathbf{s}_P は

$$\mathbf{s}_P = (x - a_1, y, z) \quad (7)$$

と表される。星1の回転に伴う点Pの速度 \mathbf{v}_P は、公転ベクトルが $\boldsymbol{\omega} = (0, 0, \omega)$ であるので、

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_P &= \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{s}_P \\ &= (-\omega y, \omega x - \omega a_1, 0) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。公転位相角 θ のときの視線方向の単位ベクトル \mathbf{L} (向こう向きを正にとる)の成分 (l, m, n) は

$$\begin{aligned} l &= -\sin i \cos \theta, \\ m &= \sin i \sin \theta, \\ n &= \cos i \end{aligned} \quad (9)$$

である。すると点Pの視線速度の大きさ v_P は、遠ざかる向きが正であることに注意して、

$$\begin{aligned} v_P &= \mathbf{L} \cdot \mathbf{v}_P \\ &= \omega (mx - ly - ma_1) \end{aligned} \quad (10)$$

と表すことができる。

星2についてもほぼ同様に求めることができる。ある表面点Q (x, y, z) の星2の重心からの位置ベクトルを \mathbf{r}_Q とすると $\mathbf{r}_Q = (x - a, y, z)$ である。また、系の重心Cから星2の重心までの位置ベクトルは $\mathbf{s}_2 = (a_2, 0, 0)$ なので、系の重心Cから点Qまでの位置ベクトル \mathbf{s}_Q は

$$\mathbf{s}_Q = (x - a + a_2, y, z) \quad (11)$$

となる。回転運動に伴う点Qの速度 \mathbf{v}_Q は

$$\mathbf{v}_Q = (-\omega y, \omega x - \omega a + \omega a_2, 0) \quad (12)$$

となる。よって、点Qの視線速度の大きさ v_Q は

$$v_Q = \omega (mx - ma - ly + ma_2) \quad (13)$$

として求められる。

このようにして求められる v_P, v_Q を実際に

$$v = \frac{\int v_{rk} J_{\lambda} \cos \gamma dS}{J_{\lambda} \cos \gamma dS} \quad (14)$$

に代入する。ここで、 v_P, v_Q の具体的な値である v_{rk} はある面素の視線速度の大きさ、 J_{λ} は波長 λ でのその面素の放射の強度であり、 γ はその面素の法線と視線とのなす角である。積分はその位相において見えている両星の面素すべてについて実行する。

(10)式と(13)式を(14)式に代入して積分すると、

$$\begin{aligned} v_1 &= v_{c1}(\theta) + \frac{\omega \int (mx - ly) J_{\lambda} \cos \gamma dS}{L_1(\theta)}, \\ v_2 &= v_{c2}(\theta) + \frac{\omega \int (mx - ma - ly) J_{\lambda} \cos \gamma dS}{L_2(\theta)}, \end{aligned} \quad (15)$$

ただし、

$$\begin{aligned} v_{c1}(\theta) &= -\omega a_1 \sin i \sin \theta, \\ v_{c2}(\theta) &= \omega a_2 \sin i \sin \theta \end{aligned} \quad (16)$$

と求められる。この $v_{c1}(\theta), v_{c2}(\theta)$ は星1, 2の重心の視線速度の大きさであり、正弦曲線となっている。また、 $L_1(\theta), L_2(\theta)$ はその位相における星1, 2の波長 λ での明るさである。

3.2 プログラミングの実際

実際上の手順としては、光度変化を計算するプログラムにおいて、各公転位相での各面素ごとに J_{λ} を求めるのと同時に、上述の v_P と v_Q も計算する。そして、その位相において観測者から見える全面素について $J_{\lambda} \cos \gamma \Delta S$ (ΔS はその面素の面積)と $v_{rk} J_{\lambda} \cos \gamma \Delta S$ を加え合わせる。すなわち、

$$L(\theta) = \sum_k J_{\lambda k} \cos \gamma_k \Delta S_k, \quad (17)$$

$$v_{\text{rad}}(\theta) = \frac{\sum_k v_{rk} J_{\lambda k} \cos \gamma_k \Delta S_k}{L(\theta)} \quad (18)$$

である。

このようにして計算した v_{rad} を、位相角 θ に対してプロットすれば視線速度曲線が得られる。実際には、後述するように単位付きでプロットする。

このソフトはMicrosoft社 Visual Basic を使って作成しており、Windows 95, 98, Me などの上で動作する。

4. 視線速度計算プログラムと表示

4.1 使用法の実際

このソフトを走らせるためには、いくつかのパラメータの値の入力が必要となる。I, IIのソフトと本質的に違っているのは、視線速度が実際の値で測定されることとの関連で、今回はパラメータを実際の単位付

きの数値で入力しなければならないことである。

最初に2つの星の質量 M_1, M_2 を太陽質量 M_\odot 単位で与える。続いて、2星間の距離 a (単位は太陽半径 R_\odot) か、または公転周期 P を日単位で与える。すると a と P は次の式でお互いどうし関係付けられる：

$$\frac{a^3}{P^2} = 74.43(M_1 + M_2). \quad (19)$$

次には公転軌道面の傾斜角 i である。続いて以下のように、II で述べた測光効果を記述するいくつかの係数等の値を入力する。ただし q は、すでに両星の質量を与えたのでわかっている。

- 1) 連星系の型 (分離型; 半分離型; 接触型) の選択
- 2) 横半径 (赤道面上 y 軸方向の半径), あるいは接触度

このときには2星間距離を1とする相対半径 r_1, r_2 で入力する。接触型連星の場合には、接触度 (% 単位) で与える。

- 3) 両星の (極点での) 表面温度 T_1, T_2 (K)
- 4) 軌道面傾斜角 i ($^\circ$)
- 5) 反射率 A_1, A_2

6) 重力減光指数 α_1, α_2

7) 周辺減光係数 u_1, u_2

8) 観測波長 λ (nm) (あるいは V, B, U バンドの別)

これらを与えると計算が開始され、結果が位相ごとに順次表示されていく。なお今回の改訂では、太陽の黒点のような斑点の取り入れも可能なようにした。この場合には余分なパラメータの入力が必要となる (補遺参照)。

4.2 表示の実際

パソコン画面上での表示は次のようになっている。パラメータの入力欄は画面の左上の部分にまとめてある (図2)。ここに順次値などを入力する。画面の左下のウィンドウには与えられたパラメータをもつ2個の恒星の公転運動の様子が表示される。右上半分では、公転位相に対応した光度変化が、その下には視線速度が次々とプロットされていく。これにより公転の実際と観測される光度曲線、視線速度の対応が視覚的に理解できるようになっている。これらを見ることにより形状の見え方とその時の光度と視線速度が同時にわかるので、生徒や学生などが理解を深めやすいであ

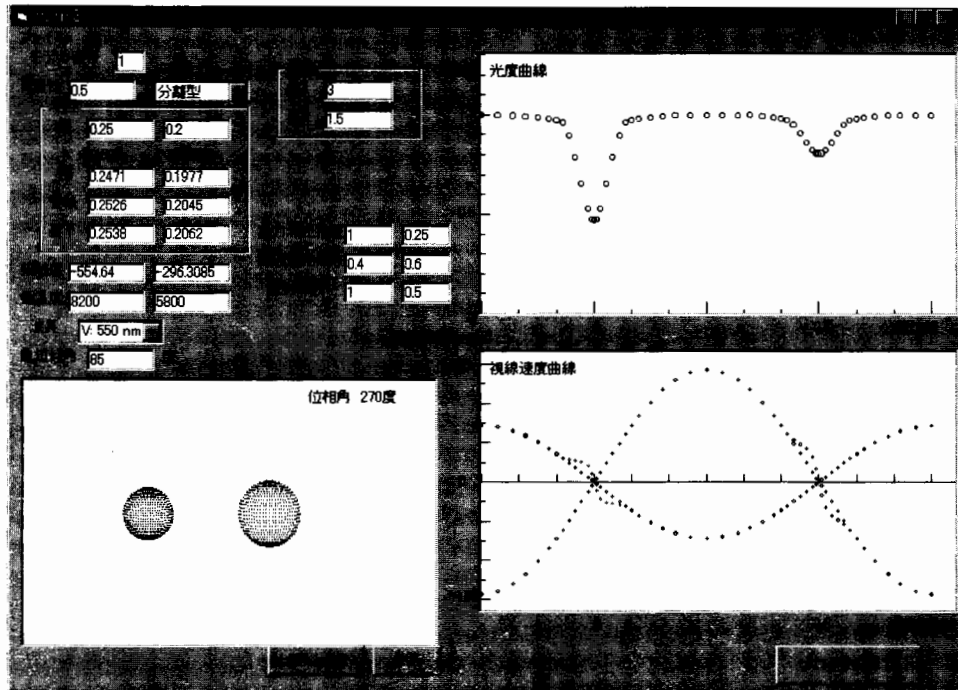


図2 実際のパソコン画面の例。左下のウィンドウには各位相での連星の形状、右上ウィンドウには光度曲線、その下のウィンドウに視線速度曲線がそれぞれ表示される。左上に諸パラメータを入力する。ここで表示されている結果は、球形に近い星どうしからなる分離型連星の視線速度曲線の例である。星1,2の表面温度の比は0.71となっている。

ろう。

4.3 計算結果の例示

視線速度曲線の計算結果の例を示す。とくにことわらない限り、星の質量は $M_1=3M_\odot$, $M_2=1.5M_\odot$ (すなわち $q=0.5$)、公転周期は $P=2.5$ 日 (したがって、 $a=10.0R_\odot$ である)、また、 $i=85.0^\circ$, $T_1=8,200$ K ととてある。さらに、 $A_1=1.0$, $A_2=0.5$, $\alpha_1=1.0$, $\alpha_2=0.25$, $u_1=0.4$, $u_2=0.6$ ととてある。星を質点で表した場合に予想されるもの (正弦曲線的) も比較のために同時に示してある。

まず最初は分離型連星の視線速度曲線についてである。形状が球形に近い場合 (図2) とやや歪みが目立つ場合 (図3) の2例を示している。星が食されている時を別とすると、どちらの場合も星を質点で表した場合に予想されるものとはほとんどずれてはいない。両星の表面温度の比はいずれも 0.71 である ($T_2=5,800$ K)。視線速度曲線は質量比 q に敏感であるので、そのことを図4に示した。 $M_1=M_2=3M_\odot$ と変えた以外は、すべて図2の場合と同じパラメータである (ただし、周期 P が同じなので、両星間の距離 a は大きくなっている)。

ここで注意を向けるべきは、図2と図4のように、

測光要素がほぼ同じならば光度曲線もほぼ同じであるが、それでも視線速度曲線は違う場合があることである。既述のように、光度曲線は相対的な変光の様子が示されたものなので、連星系の絶対量にはあまり依存しない。これに対して、視線速度曲線はその絶対値がそのまま効いてくる。これは、観測量がはじめから km/s という単位付きで求められるということに対応しており、視線速度は絶対量すなわち星の質量に大きく依存する (星の半径の絶対値には間接的にしか依存しない)。

次の図5, 6には半分離型連星の視線速度変化などの例が掲げている。分離型系の場合と違って、視線速度変化に正弦曲線からのずれが見られている。とくに食前後でのかなりの歪みは特徴的である。図5は星1が内部臨界ローブを満たしている場合である。表面温度比は 0.71 ととてある。一方、図6は星2が内部臨界ローブを満たしている場合であり、表面温度比はやはり 0.71 である。

正弦曲線からのずれが大きく現れる例として、接触型連星の視線速度曲線を形状などとともに例示した。内部臨界ローブに近い場合 (図7) と外部臨界ローブに近い場合 (図8) である (臨界ローブのことについて

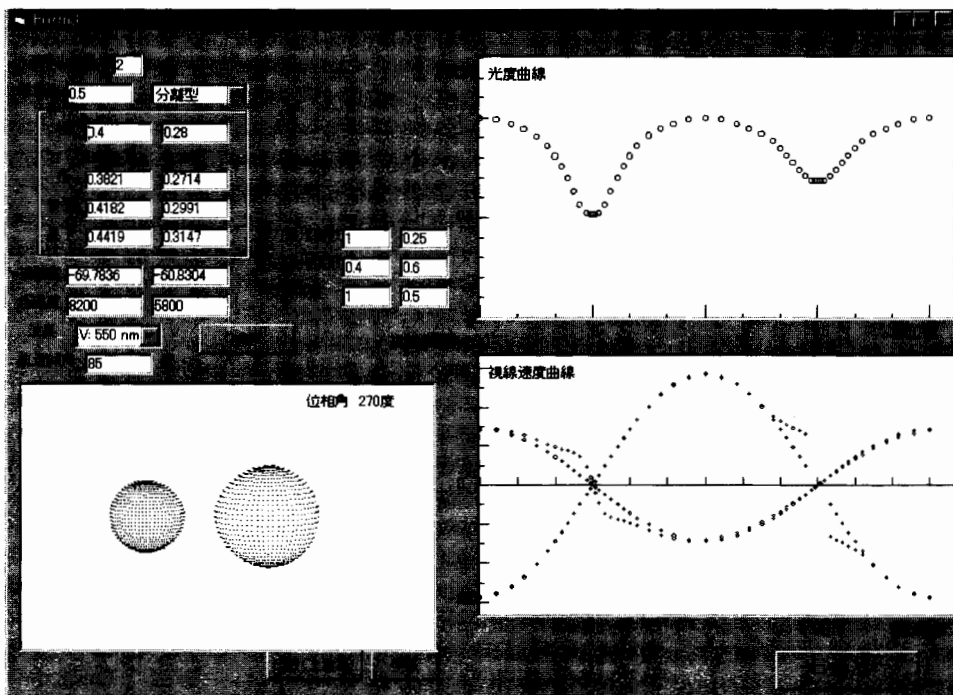


図3 分離型連星の視線速度曲線の例-2。両星とも形状の歪みが大きい場合である。表面温度比は 0.71 である。

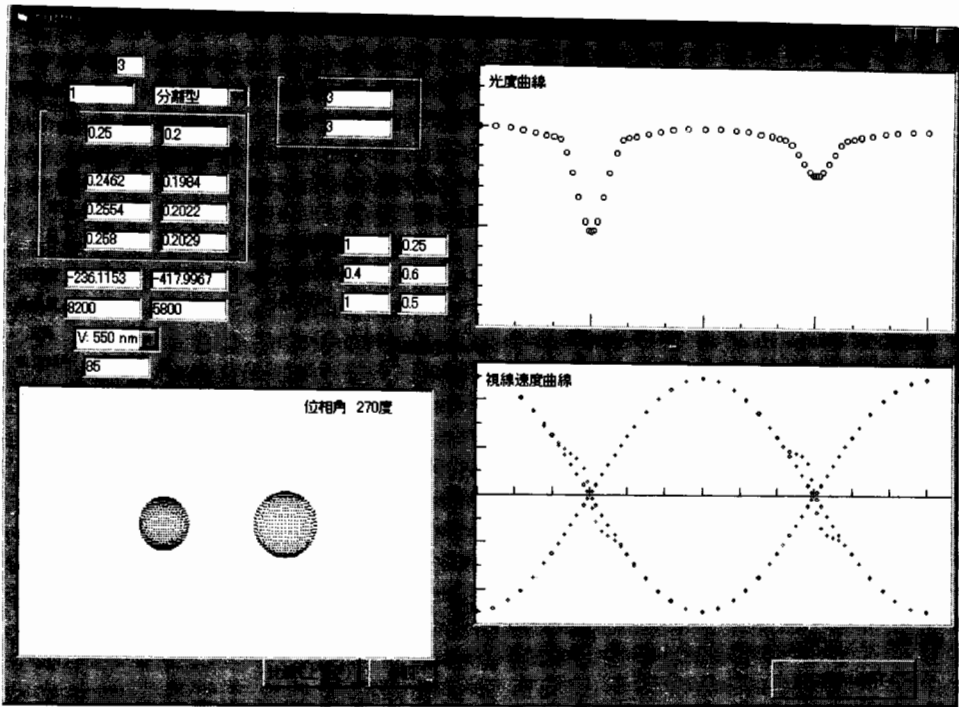


図4 分離型連星の視線速度曲線の例-3. 質量比を $q=1$ とした他は、図2と同じ測光パラメータである。

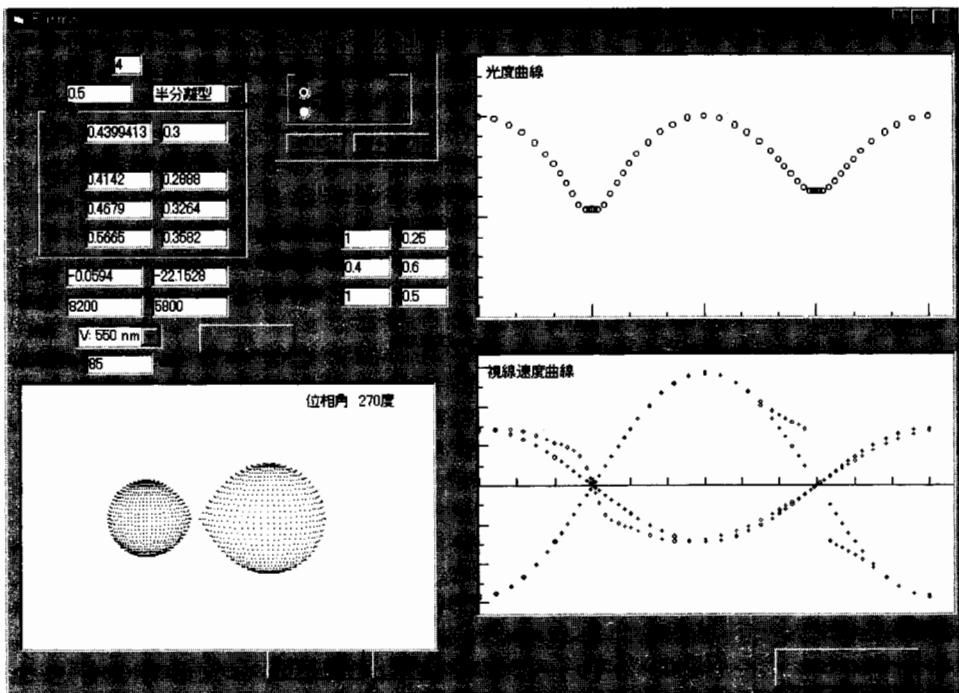


図5 半分離型連星の視線速度曲線の例-1. 星1が内部臨界ローブを満たしている場合. 表面温度比は0.71である。

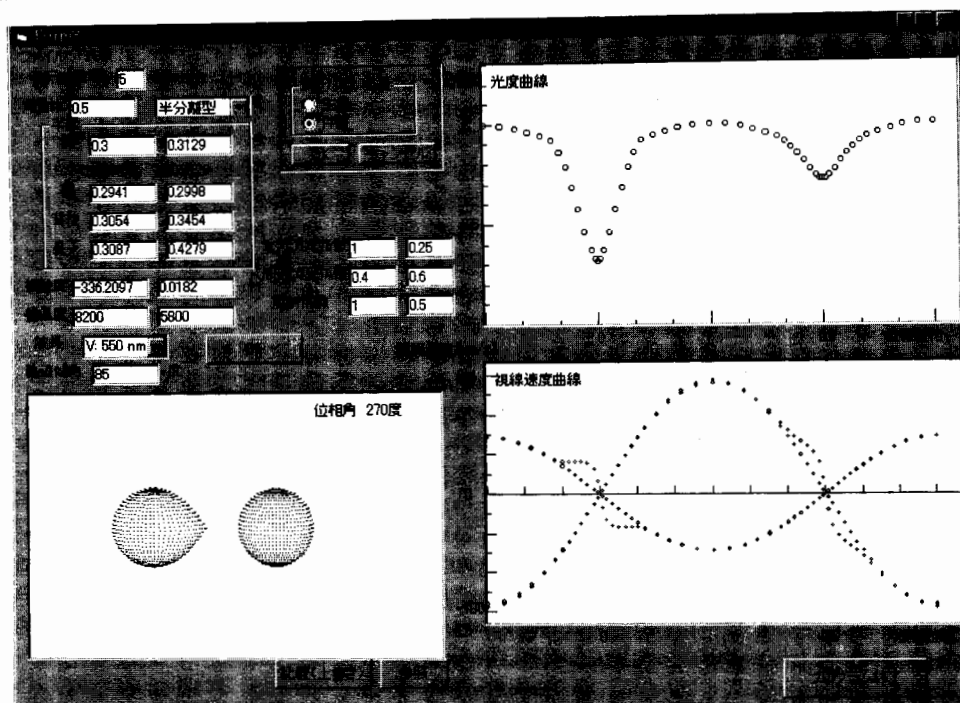


図6 半分離型連星の視線速度曲線の例-2. 星2が内部臨界ローブを満たしている場合である. 表面温度比はやはり0.71である.

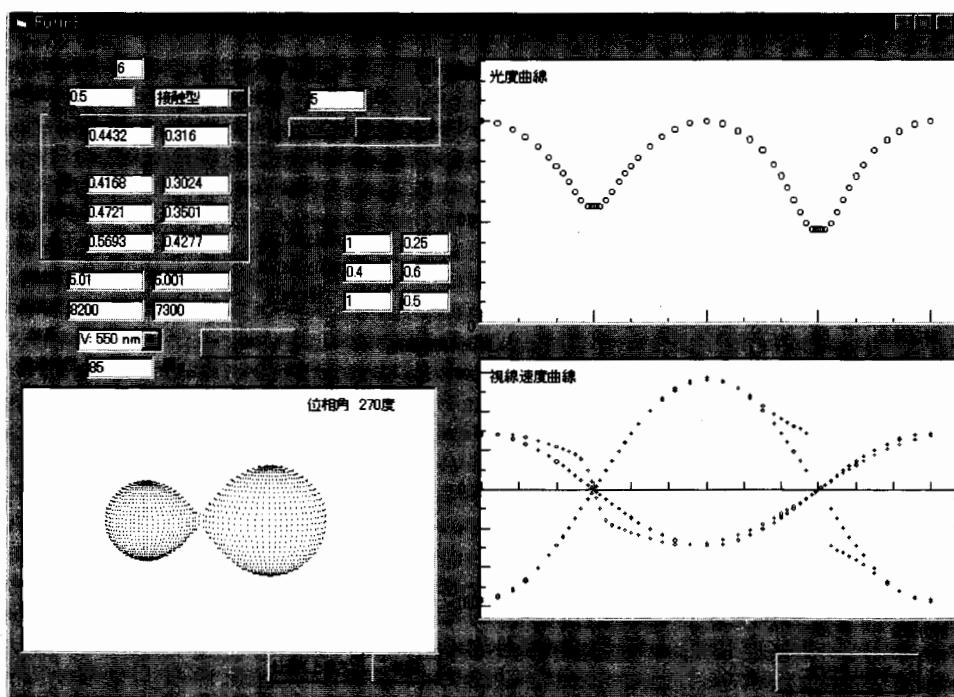


図7 接触型連星の視線速度曲線の例-1. 内部臨界ローブに近い場合. 表面温度比は0.89である.

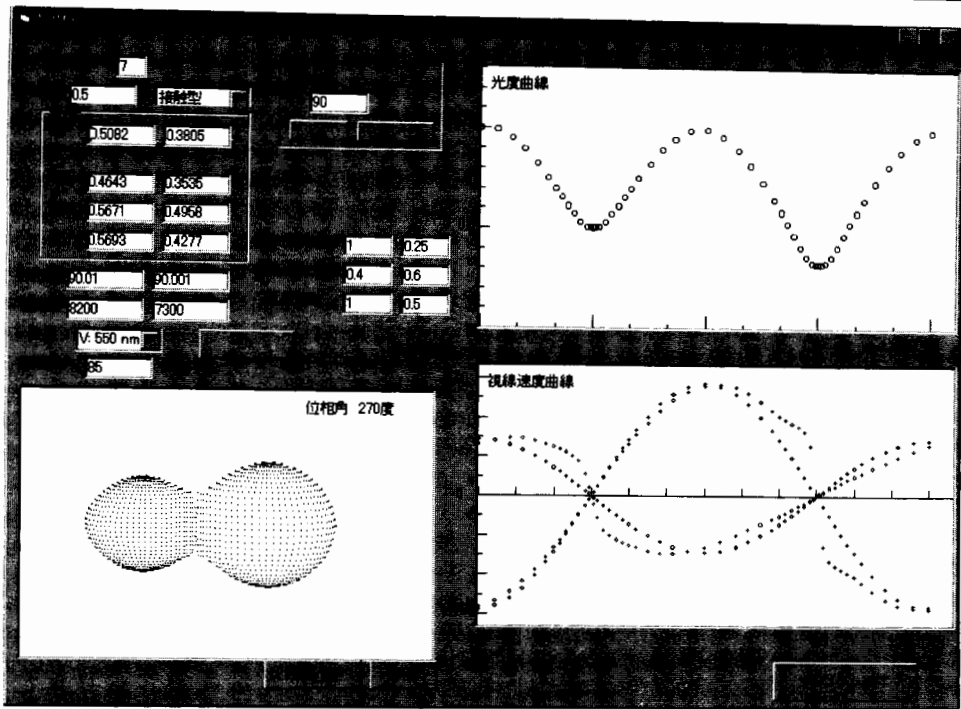


図8 接触型連星の視線速度曲線の例—2. 外部臨界ローブに近い場合. 表面温度比は図7と同じく0.89である.

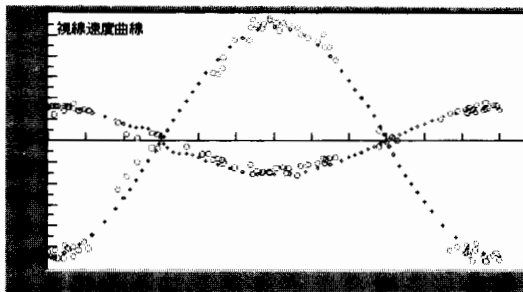


図9 観測データとの比較例. 大きめの丸で示されているのが食連星おうし座HU星の観測データで, 小さめの丸が計算された視線速度である.

てはI参照). 表面温度比はともに0.89 ($T_2=7,300$ K) である. 光度曲線の歪みも顕著であるが, 視線速度曲線の正弦曲線からのずれもたいへん明瞭である.

このソフトでの視線速度の計算性能の一端を示す意味で, 実際の例として, IIでも例に挙げた〈おうし座HU星〉という半分離型食連星の視線速度曲線を掲げる. 図9中の大きめの丸で示されているのが観測データで, 小さめの丸が今回計算した視線速度である. 採用した連星系のパラメータとしては既出版されたもの (Nakamura *et al.*, 1994) と同じで, $q=0.294$, 横半

径 $r_1=0.192$, 表面温度 $T_1=11,900$ K, $T_2=5,800$ K, $\alpha_1=1.0$, $A_1=1.0$, $u_1=0.36$, $\alpha_2=0.32$, $A_2=0.5$, $u_2=0.67$ であり, ただ i のみが 0.3° 小さくとってある (77.8° から 77.5° ; II参照). 質量は $M_1=4.2 M_\odot$, $M_2=1.2 M_\odot$, 公転周期は $P=2.0563$ 日である. 視線速度の観測データは Maxted *et al.* (1995) からとっている. 系全体の視線速度は $v_0=-9.9$ km/s である. 観測値と計算値の一致はたいへんよいことがわかって.

4.4 結果の比較など

計算結果は自分でファイル名をつけてしまっておくことも可能なので, 表示のために毎回同じような光度曲線, 視線速度曲線を計算しないで済むようになっている. 一連の計算後は, 計算した視線速度曲線を再度画面上に読み出して, いくつかの視線速度曲線を相互比較したりすることができる. このことによって使用者は, 恒星の質量や大きさ, 明るさの比, 形状, 傾斜角等により, 視線速度曲線の形がいろいろ変わっていく様子をよりはっきりつかむことができよう. さらに, パラメータによって視線速度変化への影響の仕方が違っており, したがって逆に視線速度曲線を解析すれば, その連星の分光要素がわかるのだということを理解してもらえるであろう. ここでは, その

計算の原理自体の理解よりはむしろ、理論的なモデルと実際の観測データとの比較から、連星を記述するパラメータを確かに求めることができることを把握することの方がより重要である。

5. 考 察

視線速度曲線計算のもととなるプログラムはIIでの光度曲線の表示にも使ったので、かなり細かく格子点に区切ってある。このためパソコンによっては、計算・表示にやや時間がかかりすぎるものもあろう。しかし、パソコンの計算速度の急激な進歩を考えると、今の段階であまり精度を落とすより、それなりのものを作っておく方がはるかに望ましいと考えた。

身近なコンピュータによるシミュレーションは、昨今のパソコンなどのめざましい性能の進展ぶりにより、強力な学習補助の役割を果たせるようになっていく。まだパソコンが低い機能しかなかった時代の考察(島貫他, 1987)において授業中の概念の学習という利用形態が示唆されたシミュレーションは、その後本誌でも、我々のI, IIは別としても、荻原(1989)、横尾他(1995)、岡本(1999a, 1999b)などが紹介されてきている。インターネットの利活用とともに、今後より

一層発展が期待できる分野であろう。

ここでの例は、使用した式などに関してはむしろIIの光度計算よりも生徒の理解できる範囲に近いであろう。教科書にも示されているように、質量が求まる原理はさほど複雑ではない。また、光度曲線から半径が導出されることなどは、すでに本誌でも紹介がある(西村・佐藤, 1987)。食連星である系はほとんどの場合、同時に分光連星系でもある。このことを利用して連星系を構成する星の質量が求められることは、天体物理学上でもっとも基本的な重要事項である。

上記のことを実例とともに示したが、このソフトによる学習を通じてそのことが十分実感されることを期待したい。また、恒星のいろいろなパラメータ、とくに恒星の質量によって同じ公転周期の連星系でも視線速度曲線の形が違うこと、質量の比によってもやはり違うこと、さらに、同じような光度曲線の場合でも系の質量によって視線速度曲線は大きく違うこと、したがって逆に視線速度曲線の解析から、それらの諸量についての情報が導かれ得ること、等々がわかってもらえると思う。地上での我々の知識が宇宙に実際に適用でき、宇宙の解明に具体的に役立っているという一つの例ともなっている。このソフトは、高校「地学」以

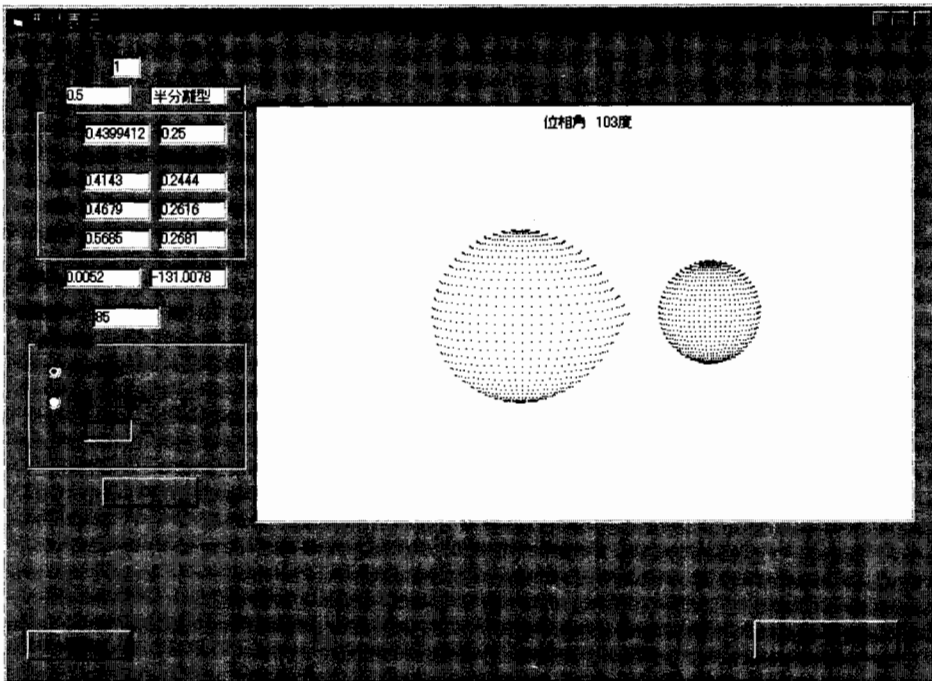


図10 Windows版の形状と公転運動の模擬ソフト I.

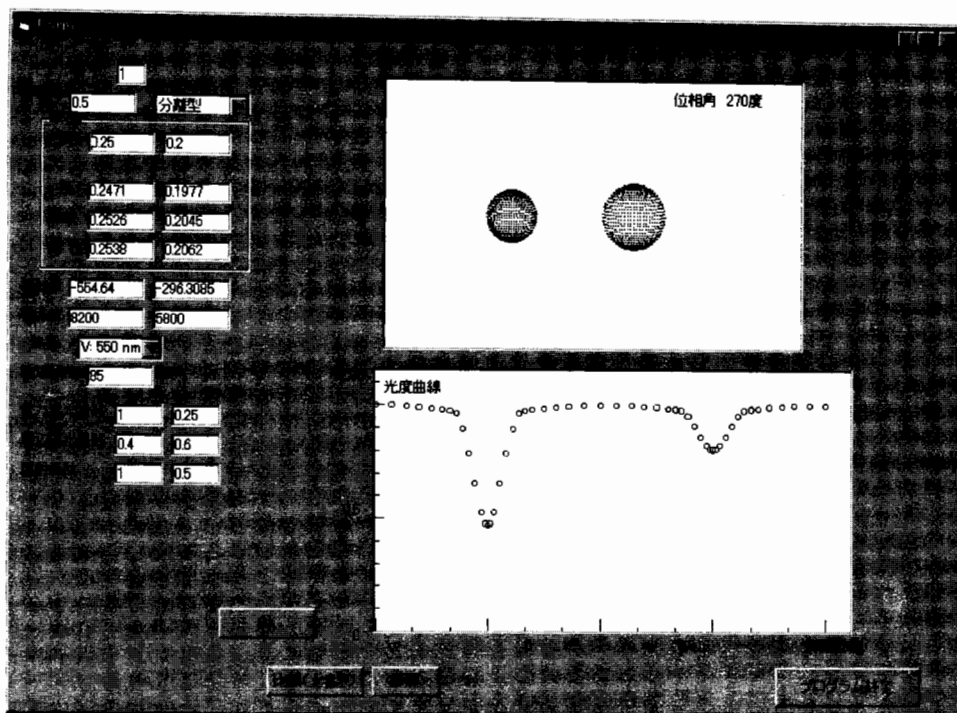


図 11 Windows 版の食連星の光度変化模擬ソフト II.

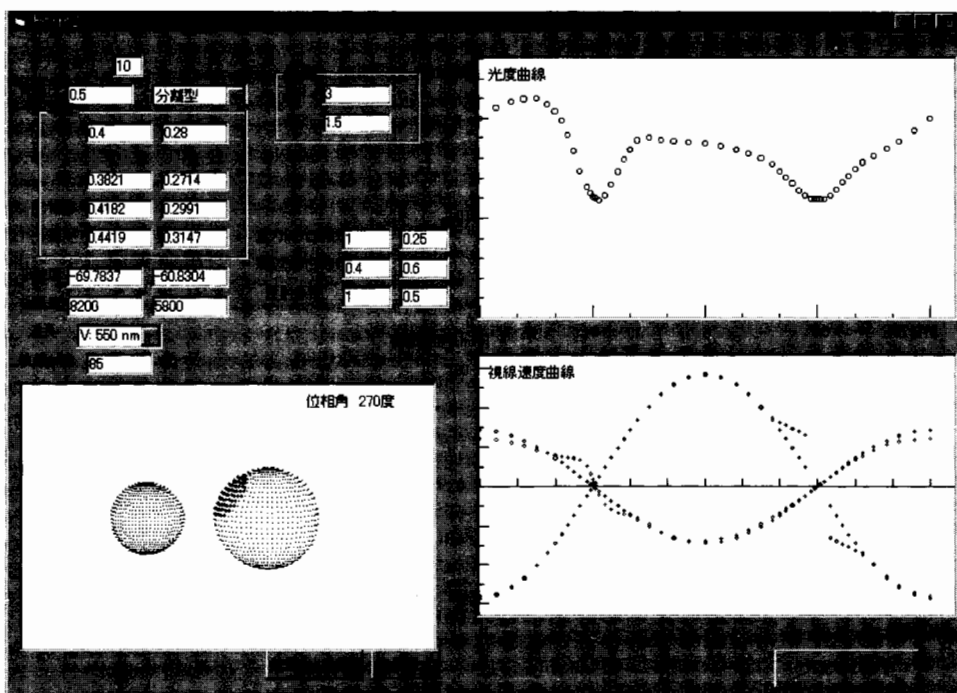


図 12 斑点の影響例。表面斑点（いまの場合は黒点）の存在は光度曲線にも視線速度曲線にも影響することがわかる。もとのモデルは図 3 と同じである。

外に天文好きの高校生や大学の一般教育、専門教育の場合、あるいは、適切な指導者いる場合には公共天文台等での活用も考えられよう。このソフトの実行版は I, II と同様に提供可能であるので著者まで連絡されたい。

補遺: Windows 化と表面斑点の導入

I. 連星系の形状と公転運動を模擬する Windows ソフト

II. 食連星の光度変化を模擬する Windows ソフト

I, II で紹介した連星系の形状と公転運動を模擬するソフトと食連星の光度変化を模擬するソフトはいずれも MS-DOS 版のもので、PC-98 系のみでしか動作しなかったが、今回併せて Windows 上で動作するよう改訂した。

改訂版の I, II のソフトの使用法は、ここで述べたものと基本的に同じである。今回 III のソフトを使えば公転の様子と光度変化も同時に示されるが、公転運動や光度変化の表示だけでよい場合には、それぞれのソフトを使う方が計算時間も短く、かつ、表示も大きくできており、より便利であろう。図 10, 11 にはそれぞれの画面の様子が示されている。

表面斑点の導入

恒星表面上に他の部分とは輝度の違った領域が存在することは太陽の黒点の例などでわかるが、恒星の中には、太陽などよりはるかに巨大な黒点があることが知られているものもある。たとえば連星系でいえば、りょうけん座 RS 星を代表とする一グループの恒星である。このような星の場合には、光度変化にも多大の影響を与えている。すなわち、そのような巨大黒点の位置、大きさ、輝度、移動の速さなどによって、観測時期ごとの光度曲線の様相が大きく違っている(北村, 1992; Sterken and Jaschek, 1996 など参照)。また、星によってはそのような黒点ではなくて、何らかの理由により他の部分よりむしろ明るい領域が存在するらしいこともわかっている。そのような場合は高温斑点あるいは熱斑と呼ばれるが、その場合も光度変化に(したがって、視線速度変化にも)影響が出る。

そのようなケースにも対応できるようにするために、次のようなパラメータを使って、斑点領域の影響を計算する機能を加えた:

- 1) 斑点の中心位置
- 2) 斑点の広がり
- 3) 斑点の相対温度比(対周囲)。

この斑点の影響は、公転図でも、光度曲線でも、視線

速度曲線でも取り込んで計算するようになっている(図 12 参照)。表面斑点がない場合(図 3)と比べてみると、その影響の具合がわかる。

文 献

- Antokhina, E. A. and Cherepashchuk, A. M. (1994): Synthesis of radial velocity curves of close binary systems. *Astron. Rep.*, **38**, 367-376.
- Batten, A. H., Fletcher, J. M. and MacCarthy, D. G. (1985): Eighth Catalogue of the Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems. (*Publ. Dominion Astrophys. Obs.*, **17**.) なお、Web 上でも閲覧できる (<http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/Cat?V/64>).
- 北村正利 (1992): 測光連星論。「宇宙物理学講座第 2 巻」, ごとう書房, 東京, 33 p.
- 北村正利・山崎篤磨 (1980): 恒星の世界。「新天文学講座第 3 巻, 小平桂一編」, 恒星社, 東京, 270 p, 第 3 章.
- Maxted, P. F. L., Hill, G. and Hilditch, R. W. (1995): Studies of early-type variable stars XIV. Spectroscopic orbit and absolute parameters of HU Tauri. *Astron. Astrophys.*, **301**, 141-148.
- 中村泰久・小川 慎 (1994): 連星系のパソコンシミュレーション I. 近接連星の形状と公転運動. *地学教育*, **47**, 163-171.
- Nakamura, Y., Yamasaki, A. and Ito, Y. (1994): A light-curve analysis of the eclipsing binary system HU Tauri. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **46**, 267-271.
- 西村彰洋・佐藤文男 (1987): 食連星ケフェウス座 U 星の光電測光と教材化. *地学教育*, **40**, 167-175.
- 小川 慎・中村泰久 (1995): 連星系のパソコンシミュレーション II. 食連星の光度変化. *地学教育*, **48**, 103-112.
- 荻原 彰 (1989): コンピューターシミュレーションを使った土石流・崖崩れに関する教材の開発. *地学教育*, **42**, 251-255.
- 岡本義雄 (1999a): パーソナルコンピュータによる津波の数値シミュレーション—奥尻島周辺海域—. *地学教育*, **52**, 53-62.
- 岡本義雄 (1999b): パーソナルコンピュータによる津波の数値シミュレーション—Linux を用いた広域格子—. *地学教育*, **52**, 177-190.
- 島貫 陸・浅井嘉平・浦野 弘・嘉村策磨・根岸 潔・丸山健人・水野孝雄 (1987): 地学教育において開発が望まれるコンピュータのソフトウェア. *地学教育*, **40**, 45-57.
- Sterken, S. and Jaschek, S. (eds.) (1996): *Light Curves of Variable Stars—A Pictorial Atlas*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 229 p.
- Wilson, R. E. and Sofia, S. (1976): Effects of tidal distortion of binary-star velocity curves and ellipsoidal variation. *Astrophys. J.*, **203**, 182-186.
- 横尾武夫・柴山元彦・福江 純 (1995): コリオリの巨視

的理解—コンピュータグラフィックを活用して—, 地
学教育, 48, 147-156.

中村泰久・細井淑子・小川 慎: 連星系のパソコンシミュレーション III. 分光連星の視線速度変化 地学
教育 55 巻 1 号, 1-12, 2002

〔キーワード〕 天文教育, 分光連星, 視線速度曲線, コンピュータ・シミュレーション, 学生実習, 高校地
学

〔要旨〕 公転軌道面と視線のなす角が比較的小さいために成分星の視線速度の周期的変化が観測されるよう
な分光連星について, その視線速度変化の原理とともに, 質量決定の原理を述べた. また, 実際に理論視
線速度曲線を計算し, 公転運動のモデル, ないしは食変光のモデルと同時に見ることができるようなパソ
コンソフトについて紹介する. これを利用することにより, 視線速度変化と連星系のモデルとの相互連
関, 諸パラメータとの関係をはっきり学ぶことができよう.

Yasuhisa NAKAMURA, Yoshiko HOSOI and Shin OGAWA: Simulation of Binary Systems on
Personal Computer III. Calculation of Radial-Velocity Curves of Spectroscopic Binaries. *Educat.*
Earth Sci., 55(1), 1-12, 2002

原著論文

Digitized Sky Survey を利用した 「暗黒星雲博物館」の作成

—インターネットで閲覧できる暗黒星雲のデジタル図鑑—

上原 隼*・土橋一仁*・神鳥 亮*・佐藤文男*

1. はじめに

現在、急速に普及しつつあるインターネットは、産業のみならず教育の分野にも貢献するところが大きい。学術研究のためにインターネットをいち早く取り入れた天文学界においても、インターネットは今や天文学の普及や教育を行うための重要な手段の一つとなっている。例えば、表1に示した国立天文台のホームページには、「すばる」望遠鏡などの最新の観測装置による天体写真が一般公開用として数多く掲載されている。また、アメリカ航空宇宙局(NASA)のホームページでは、「ハッブル宇宙望遠鏡」による美しい天体画像が公開されており、天文学の教育・普及活動が積極的になされている。これらのウェブサイトからインターネットを通じて発信される最新の科学データ(天体画像)には、学術的な価値もさることながら、画像そのものの美しさがあり、天文学の専門知識のない一般の人にも大きなインパクトを与えている。壮大な自然の姿には、時として見る者を圧倒する迫力や壮麗さがある。学校教育・社会教育において、このような自然の美しさや不思議さを伝え、興味を喚起するためには、正確で面白い科学データを美しく視覚化することが重要であろう。しかしながら、国内外の天文学の研究機関のホームページを見渡してみると、各研究機関そのものの紹介にとどまっているものが多く、天文学の教育・普及という観点は見落とされがちである。

ガスやダスト(宇宙塵)の塊である暗黒星雲は、太

陽のような恒星や地球のような惑星が生まれる「星の誕生の場」であり、銀河系の進化過程において重要な役割を果たしている(例えば、福井, 1998)。それゆえ、暗黒星雲は特に星形成の分野において、重要な研究対象となっている。しかしながら、暗黒星雲は、通常背景の星の減光として観測されるため、その光学写真は光を放つ他の天体(例えば、超新星残骸、電離水素領域や系外銀河)の場合と比べて、「美しい画像」とは言い難い。暗黒星雲は、より馴染みの薄い、イメージとして捉えにくい天体であると言える。暗黒星雲の光学的な画像を扱っている日本国内のホームページも、ほとんど見当たらない。

平成10年以来、我々の研究グループでは暗黒星雲の全天探査に取り組んでいる。これは、全天を網羅する光学写真のデータベースである Digitized Sky Survey I (Lasker, 1994; 以後, DSS) をスターカウント法で解析し、暗黒星雲の全天アトラスの作成を目的とする学術研究である。この研究により、かつてない広さで暗黒星雲の全体像を詳細に浮かび上がらせることができる。平成13年7月現在、学術研究の結果をまとめつつある。得られた暗黒星雲の画像は、科学的に精密で、かつ自然の神秘を感じさせる美しいものであり、イメージとして捉えにくい暗黒星雲の新しい教材として十分に役立つと期待される。

上記の研究で得られた暗黒星雲の画像を「暗黒星雲博物館」としてまとめ、インターネット上で公開する。暗黒星雲の新しい教材として、学校教育・社会教育の

表1 本文中で引用したウェブサイト

No.	サイト名	URL	コメント
1	Subaru Telescope, NAOJ	http://SubaruTelescope.org/j_index.html	国立天文台 すばる望遠鏡のウェブサイト
2	Hubble Site	http://hubble.stsci.edu/	ハッブル望遠鏡で撮影された画像を紹介するサイト
3	Digitized Sky Survey	http://www-gss.stsci.edu/Dss/dss_home.HTM	Digitized Sky Survey の情報が入手できる
4	東京学芸大学 天文学研究室 暗黒星雲博物館	http://astro.u-gakugei.ac.jp/DCM/index.html	本論文で制作した暗黒星雲博物館

* 東京学芸大学教育学部 2001年8月7日受付 2001年12月8日受理

場に提供することが目的である。この教材の特徴は、暗黒星雲の正確な分布をかかってない広さで描き出し、インターネットで手軽に閲覧できるようにした点である。本教材に先立ち、我々は同様の手法で暗黒星雲の減光量や質量を定量する大学の学部低学年向けの実験テーマも別途開発した(神鳥ほか, 2001)。本教材とセットで講義・演習を行うことにより、暗黒星雲のより深い理解を学生に持たせることができると考える。

暗黒星雲画像のもととなった光学写真データ(DSS)や、画像を得るための手法(スターカウント法)の概要を、第2章で述べる。第3章では、実際の暗黒星雲画像を得るまでの具体的な作業過程について述べる。インターネット上に公開したホームページ「暗黒星雲博物館」の概要を、第4章で紹介する。第5章では、実際に暗黒星雲博物館を教育の場で活用するための例について述べる。本論文のまとめを、第6章に示す。

2. スターカウントと DSS

2.1 スターカウント

夜空において、暗黒星雲は星の数の少ない、暗い領域として認識される(図1)。これは、暗黒星雲が背景の星の光を散乱・吸収し、減光を引き起こしているためである。暗黒星雲を定量的に探る方法の一つに、星の数を数えて減光量を調べる「スターカウント法」がある。

1923年、Max Wolfは暗黒星雲およびその近傍の領域に対してスターカウントを行い、暗黒星雲が引き起こす減光と、暗黒星雲までの距離を定量する方法を提案した。これは特にウォルフ図法(Wolf diagram method)と呼ばれ、減光量の分布や暗黒星雲の距離を求める手法として、今日まで広く用いられている(例えば、Cambresy, 1999)。図2にウォルフ図の例を示す。詳細は他書に譲るが(例えば、小暮, 1994)、図2

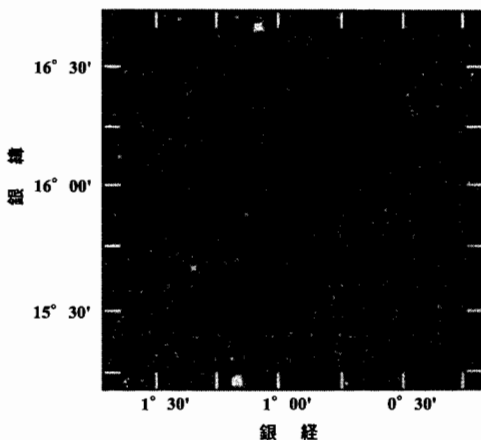


図1 可視光で見た暗黒星雲のイメージ。へびつかい座の暗黒星雲のひとつL31のDSS画像。図の中央左下から中央右上へ縦長にのびるフィラメント状の黒い部分が暗黒星雲L31である。

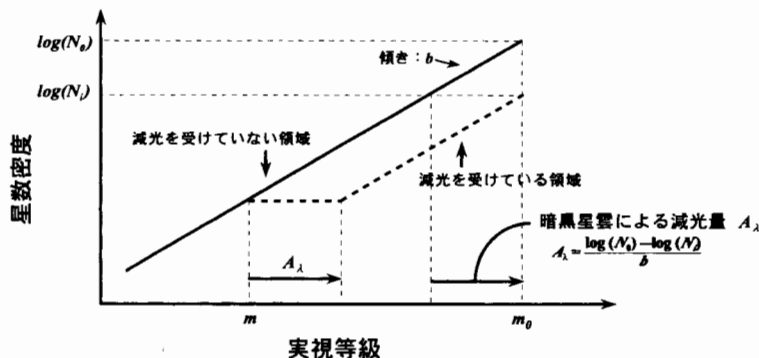


図2 ウォルフ図(模式図)。

ある実視等級(見かけの等級)よりも明るい星の星数密度(単位立体角あたりの星の数;単位は、個/ステラジアン)を、実視等級の関数として表したもの(対数スケール)。減光を受けていない領域(暗黒星雲のない部分)での星数密度は、実視等級と共に単調に増加する(実線)。実視等級で m に相当する距離にある暗黒星雲によって A_λ の減光を受けると、星数密度曲線は A_λ だけ暗い方 (m の大きい方) にシフトする(破線)。写真に写っている一番暗い星の等級 (m_0) において、暗黒星雲のある領域とその近傍で暗黒星雲がない領域での星数密度を N_1 および N_0 とし、星数密度曲線の傾きを b とすれば、減光量 $A_\lambda = \frac{\log(N_0) - \log(N_1)}{b}$ を算出することができる(神鳥ほか, 2001に加筆)。

において、暗黒星雲による減光を受けている領域での星数密度 N_i (単位立体角あたりの星の数; 個/ステラジアン), その暗黒星雲近傍で減光を受けていない領域での星数密度 N_0 . および, 星数密度の等級に対する傾きを測定すれば, 暗黒星雲による減光量 A_λ を求めることができる. このウォルフ図法の具体的な使用例については, 我々が以前に開発した実験教材 (神島ほか, 2001) を参考にして頂きたい.

第1章で述べた学術的な暗黒星雲の全天探査でも, このウォルフ図法を採用して減光量の分布を調べている. 天文学の教育・普及を目的とした「暗黒星雲博物館」では, 実際の星空の姿により近い星数密度分布 (図2の縦軸) で暗黒星雲の画像を紹介することにした. 減光量の分布図では, 星の数に関する情報が失われるため, 天の川を認識できない. また, オリジナルの星野写真 (DSS の生データ) のままでは, 天の川から離れた星の少ない領域の暗黒星雲を発見することは困難である. さらに, 暗黒星雲の手前にひときわ明るい星があった場合には, その星に目を奪われるため, 暗黒星雲の詳細な分布を見落としがちである. 暗黒星雲が散光星雲や電離水素領域に覆い隠されていることも, しばしばある. 暗黒星雲と天の川を1枚の画像の中で同時に表現するためには, 星野写真を星数密度に焼き直した分布図がもっとも効果的である.

2.2 Digitized Sky Survey

本研究では, 写真乾板の全天サーベイをデジタル化

したデータベース DSS に基づき, ほとんどの暗黒星雲が含まれる銀緯 $\pm 40^\circ$ 以内の全銀河面 (約 28,800 平方度) についての星数密度分布図を作成した. DSS は, 1949 年から 1960 年にかけて, アメリカのパロマー天文台の 1.2 m シュミット望遠鏡によって観測された “Palomar Sky Survey E plate (北天)” と, オーストラリアのサイディングスプリング天文台の 1.2 m UK シュミット望遠鏡によって観測された “SERC Southern Sky Survey and the SERC J & QV Equatorial extension (南天)” の写真乾板を, 高解像度 (1.7"/pixel) のスキャナーで取り込み, デジタル化したものである. デジタルデータは 101 枚の CD-ROM に収められており, オンラインでも公開されている (表 1).

DSS データが公開されているパロマー天文台の北天のプレートは, XE プレートとよばれる. プレートの総数は 935 枚で, 乳剤 103aE に red plex フィルターを使用して撮影された写真乾板である. 有効波長は $\sim 6,500 \text{ \AA}$ (R バンド), 限界等級は 20 等級である. 一方, サイディングスプリング天文台による南天のプレートは, S プレートと XV プレートの 2 種類がある. S プレートは, 総数が 606 枚で, 乳剤 IIIa-J に GG395 フィルターを使用して撮影された写真乾板である. 有効波長は $\sim 4,500 \text{ \AA}$ (B_j バンド), 限界等級は 23 等級である. XV プレートは, 銀緯 15° 以下の銀河面の明るい部分を補完している. プレートの総数は

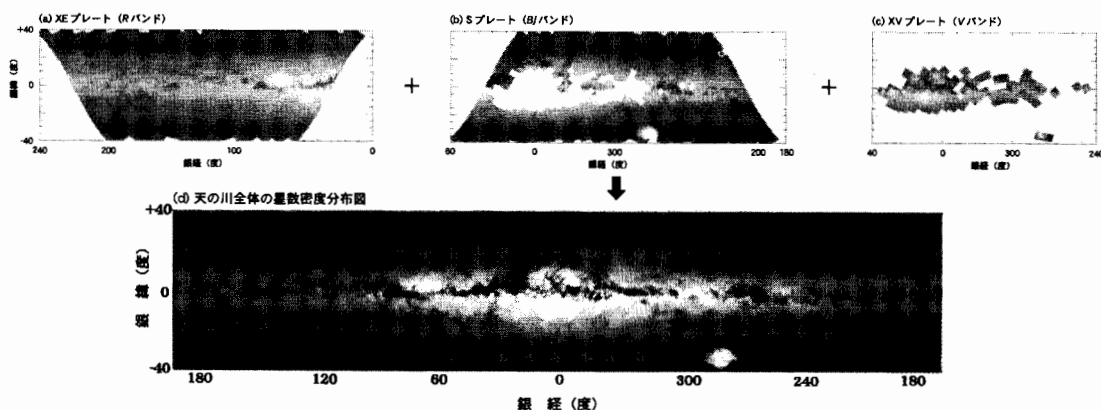


図3 各バンドのプレートがカバーする領域と天の川全体の暗黒星雲の分布.

3つのバンド (R , B_j , V) および, それらをモザイクしてひとつなぎにした星数密度分布図. 暗黒星雲は星の数の少ない暗い部分として認識される. (a) R バンドの XE プレートがカバーする星数密度分布図. 北天の銀緯 $\pm 40^\circ$ 以下をカバーしている. (b) B_j バンドの S プレートがカバーする星数密度分布図. 南天の銀緯 $\pm 40^\circ$ 以下をカバーしている. (c) V バンドの XV プレートがカバーする星数密度分布図. 南天の銀緯 15° 以下の銀河面の明るい部分を補完している. (d) すべてのバンドをひとつなぎにした天の川全体の星数密度分布図.

94 枚で、乳剤 II-aD に GG495 フィルターを使用して撮影された。有効波長は $\sim 5,660 \text{ \AA}$ (V バンド)、限界等級は 14 等級である。XE, S および XV プレートの天空での分布を図 3(a)~(c) に示す。

3. 暗黒星雲画像の作成

光学写真である DSS のデータから星数密度分布図を作るために、IDL (Interactive Data Language) と呼ばれるコンピュータ言語を用いて独自の画像処理ソフトウェアを作成した。このソフトを使用して、光学写真上での星の検出を行った。検出した個々の星について天空での座標を計算し、さらに光度較正を行った。天空を 2 分角のグリッド (格子) に分け、それぞれのマス目に入る星の数を計測し、銀緯 $\pm 40^\circ$ 以内の広大な範囲に及ぶ星数密度分布図を作成した。個々の処理過程の概要を以下に示す。

3.1 星の検出

星像が写っている DSS のプレート (イメージ) 毎に、星の位置とカウント値 (写真濃度) の積分値を測定した。星の写っていない領域でのカウント値 (Sky density) を測定し、その値から 3σ ノイズレベル以上の強度を持つ隣接したピクセルのグループを一つの星として検出した。星の位置の測定は、星のカウント値で重みを付けたピクセル座標を求め、赤道座標や銀河座標に変換した。個々の星について、星を構成するピクセルが持つカウント値の合計をその星の積分写真濃度 (黒み) として記録した。 3σ 以上のカウント値を持つピクセルのグループが 2 個以上のピークを持つ場合には、複数の星が接近しているものとして、個々のピークを星として分離し、同様の処理を行った。

3.2 光度較正

もともと写真乾板である DSS は、プレート毎に異なる感度特性を持つ。このため、検出した星の積分写真濃度を等級に変換するためには、両者 (濃度と等級) の関係をプレート毎に調べる必要がある。我々は、すでに等級の分かっている星を DSS プレート上で同定することにより、プレート毎の較正曲線を求めることにした。既知の星のデータは、北天の R バンドのプレートと南天の B_j バンドのプレートについては USNO-A2.0 カタログ (Monet, 1998) から、南天の V バンドのプレートには Tycho-2 カタログ (Høg *et al.*, 1998) と The Guide Star Photometric Catalog I (Lasker *et al.*, 1988) から取得した。これらのカタログに記載されている等級をもとに、プレート毎に等級対

写真濃度の関係をプロットし、両者の関係を 4 次の最小二乗法でフィットし、較正曲線とした。得られた較正曲線を用いて、検出した全ての星の等級を決定した。

3.3 星数密度分布図

銀河座標に沿って 2 分角の格子 (グリッド) を作り、各々の格子の中に含まれるある一定以下の等級 (しきい値) を持つ星の数を計測することにより、DSS プレート毎に星数密度分布図を作成した。等級のしきい値は、北天の R バンドと南天の B_j バンドのプレートでは 19 等、南天の V バンドのプレートでは 16 等とした。隣接するプレートの星数密度分布図をつなぎあわせ、3 種類のバンド (R, B_j, V) 毎にひとつながりの星数密度分布図を作成した。結果を図 3(a), (b), (c) に示す。ここで得られた星数密度分布図は、バンド毎にカバーしている天空での領域が異なり、また、星数密度分布図を作成する際に用いた等級のしきい値も異なる。北天をカバーする R バンドの星数密度分布図と、銀河中心方向以外の南天をカバーする B_j バンドの星数密度分布図は、天の赤道付近で約 6° の幅のオーバーラップを持つ。また、銀河中心方向をカバーする V バンドの星数密度分布図は、B_j バンドでカバーされている領域にすっぽり囲まれており、その間には約 2° のオーバーラップがある。天の川全体をカバーするひとつながりの星数密度分布図を作成するために、B_j バンドの星数密度を基準に、R および V バンドの星数密度を定数倍し、3 種類の星数密度分布図をつなぎ合わせた。定数倍する際の係数は B_j バンドと R バンド、および B_j バンドと V バンドの星数密度分布図がオーバーラップしている領域での (それぞれのバンドでの) 星数密度の比を測定して求めた。以上の結果、銀経: $0^\circ \sim 360^\circ$ 、銀緯: $-40^\circ \sim +40^\circ$ の広大な範囲をカバーする星数密度分布を描き出すことができた。結果を図 3(d) に示す。

図 3(d) の明るい部分 (例えば、銀河中心方向) は、星数密度の高い部分である。暗黒星雲は、星の数の少ない暗い部分として認識される。図 3(d) はだいぶ圧縮してあるが (1,282×382 ピクセル)、もともとの星数密度分布図は 2 分角という高い分解能で描かれている (フルスケールでの画素数は 10,800×2,400 ピクセル)。この高い分解能を実現したため、天空に広がる暗黒星雲の分布を細部に至るまで描き出すことができた。

4. 暗黒星雲博物館

4.1 暗黒星雲博物館の概要

作成した星数密度分布図をもとに、暗黒星雲の画像をインターネットで鑑賞できるホームページを作成し「暗黒星雲博物館」として公開した。2001年7月現在、下記の URL で見ることができる。

<http://astro.u-gakugei.ac.jp/DCM/index.html>

このホームページのメインページを図4に示す。メインページには、図3(d)に示した天の川全体の星数密度分布図を、解説文と共に掲載した。さらに、ページの左側に、このホームページ全体のメニューを付けた。メニューには、主だった暗黒星雲の幾つかを詳しく紹介するためページや、一般の閲覧者には馴染みの薄い専門用語を解説するページ、さらに、専門家のための参考文献集のページへのリンクをまとめた、ホー

ムページの構成図を図5に示す。幾つかの有名な暗黒星雲に関しては、図3(d)から星数密度分布図をフルスケール（1ピクセルが分解能程度）で切り出し、別のページに掲載した。これらの画像は、メニューの「暗黒星雲を見る」からたどれる。表2にまとめたように、現時点では、おうし座、はくちょう座、南のかんむり座、へびつかい座、おおかみ座、南の石炭袋、カメレオン座、りゅうこつ座、ほ座、おおいぬ座、およびオリオン座の合計11領域に分布する暗黒星雲の画像を公開している。画像のフォーマットは、ウェブブラウザ上でカラー画像を美しく表現できるJPEG形式を採用した。個々の暗黒星雲の画像には、解説文の他、星座や他の有名な天体と比較できるようにファインディングチャートも付加した。今後、同様の暗黒星雲の新しい画像を随時追加してゆく予定である。



図4 暗黒星雲博物館のメインページ。

インターネットから暗黒星雲博物館にアクセスしたときに最初に現れるメインページ (<http://astro.u-gakugei.ac.jp/DCM/index.html>)。図3(d)に示した全天の星数密度分布図を、暗黒星雲の一般的な解説文と共に掲載した。スクロールバーの左側のページは固定されており、常に暗黒星雲博物館の全てのメニューが表示されている。メニューには、主だった暗黒星雲を詳しく紹介するためページや、専門用語を解説するページ、さらに、参考文献集のページへのリンクをまとめた。メニューをクリックすることで、個々の暗黒星雲のページなどがスクロールバーの右側のページに表示される。

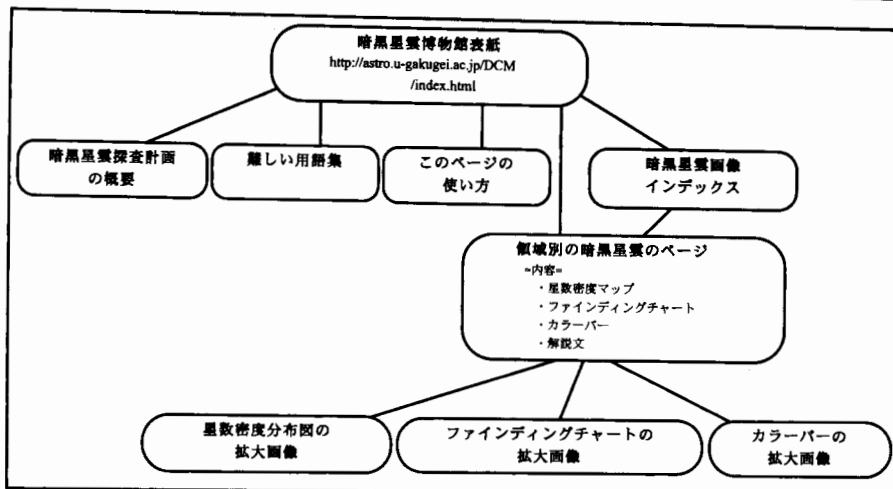


図5 暗黒星雲博物館のウェブサイトの構成図

表2 暗黒星雲博物館に含まれる暗黒星雲

暗黒星雲名	画像の中心座標		画像の大きさ △銀経×△銀緯
	銀経 (° ')	銀緯 (° ')	
おうし座暗黒星雲群	169 51	-14 18	27° × 28°
はくちょう座暗黒星雲群	93 00	+ 3 00	15° × 15°
南のかんむり座暗黒星雲群	1 00	-21 00	8° × 10°
へびつかい座暗黒星雲群	359 30	+17 30	23° × 15°
おおかみ座暗黒星雲群	341 00	+13 00	10° × 12°
南の石炭袋	303 12	- 0 39	11° × 7°
カメレオン座暗黒星雲群	300 30	-13 30	11° × 13°
りゅうこつ座暗黒星雲群	294 00	- 2 00	10° × 8°
ほ座暗黒星雲	266 30	+ 0 30	27° × 13°
おおいぬ座暗黒星雲群	224 30	- 2 37	11° × 9°
オリオン座暗黒星雲群	211 00	-13 30	24° × 17°

4.2 ホームページの利用方法

以下に「暗黒星雲博物館」の具体的な利用方法を紹介する。ウェブブラウザで「暗黒星雲博物館」にアクセスすると、図4の画面が現れる。図4の画面でスクロールバーの左側のページは固定されており、常に暗黒星雲博物館の全てのメニューが表示されている。メニューをクリックすることで、個々の暗黒星雲の説明や用語集がスクロールバーの右側のページに表示される。

暗黒星雲博物館の中で最も重要なページは、「領域別の暗黒星雲のページ」である。メニュー(図4)からこのページをたどるためには、「暗黒星雲を見る」の下にある「暗黒星雲の画像で選ぶ」をクリックする。すると、右側のページに、図6に示した「暗黒星雲画像のインデックス画面」が表示される。この中から見たい暗黒星雲を選んで、画像や名前部分をクリックすると、選択された暗黒星雲のページが表示される(例

えば、図7)。見たい暗黒星雲が決まっている場合には、メニューから「暗黒星雲の名前で選ぶ」の下に列挙されている暗黒星雲名から直接画像を選ぶこともできる。例えば、「オリオン座暗黒星雲群」を選んだ場合には、図7の画面が表示される。この画面には、オリオン座周辺の星数密度分布図(画面左側)、暗黒星雲や星座のファインディングチャート(画面右側)、および暗黒星雲の解説文(画面下側)が表示される。星数密度分布図の黒い箇所が、暗黒星雲が存在する部分である。暗黒星雲を同定しやすくするために、星数密度分布図とファインディングチャートは同一のスケールで表示してある。また、それぞれのイメージをクリックすると、フルスケールのイメージが得られる(図8, 9)。解説文章中には、「おうし座 T (T Tauri) 型星」や「クラインマン・ロウ(KL)天体」等といった専門用語も出てくる。一般の閲覧者に馴染みの薄い用語については、メニューに「難しい用語集」を設けたので、参照して頂きたい。

5. 暗黒星雲博物館の教育的活用例

暗黒星雲博物館は、小中学生から社会人までの幅広い年齢層の人が鑑賞し、暗黒星雲に慣れ親しんでもらうことを目的としている。暗黒星雲の分布を2分という高い角分解能で全銀河面に渡って詳細に描き出した例は今までなく、学術的にも価値が高い。一般家庭や学校教育の場から手軽にアクセスして、文字通り「本物」の暗黒星雲の不思議な姿を実感して頂きたい。

また、暗黒星雲博物館は高校生～大学低学年向けの

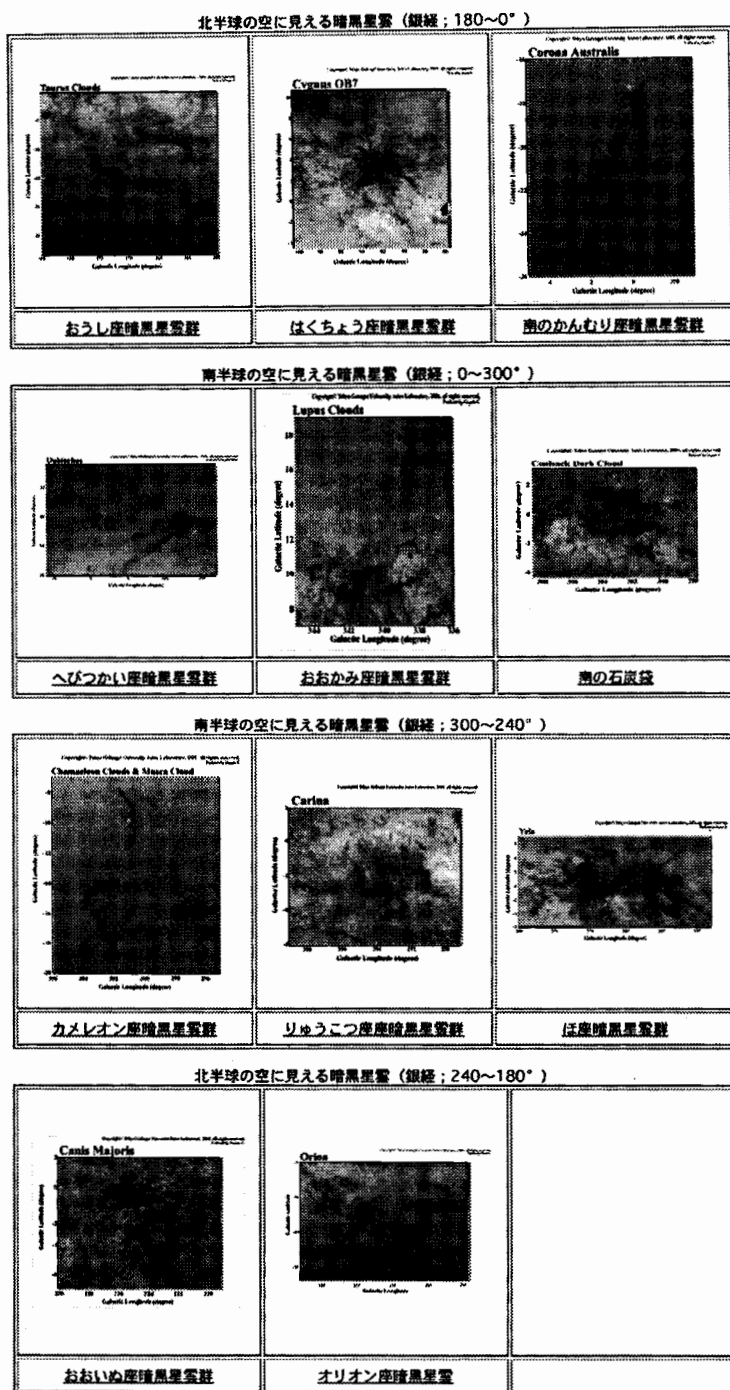


図6 暗黒星雲画像のインデックス。

暗黒星雲の星数密度分布図を領域別にまとめたインデックスである。図の中から見たい暗黒星雲を選んで、画像や名前の部分をクリックすると、選択された暗黒星雲のページが表示される。

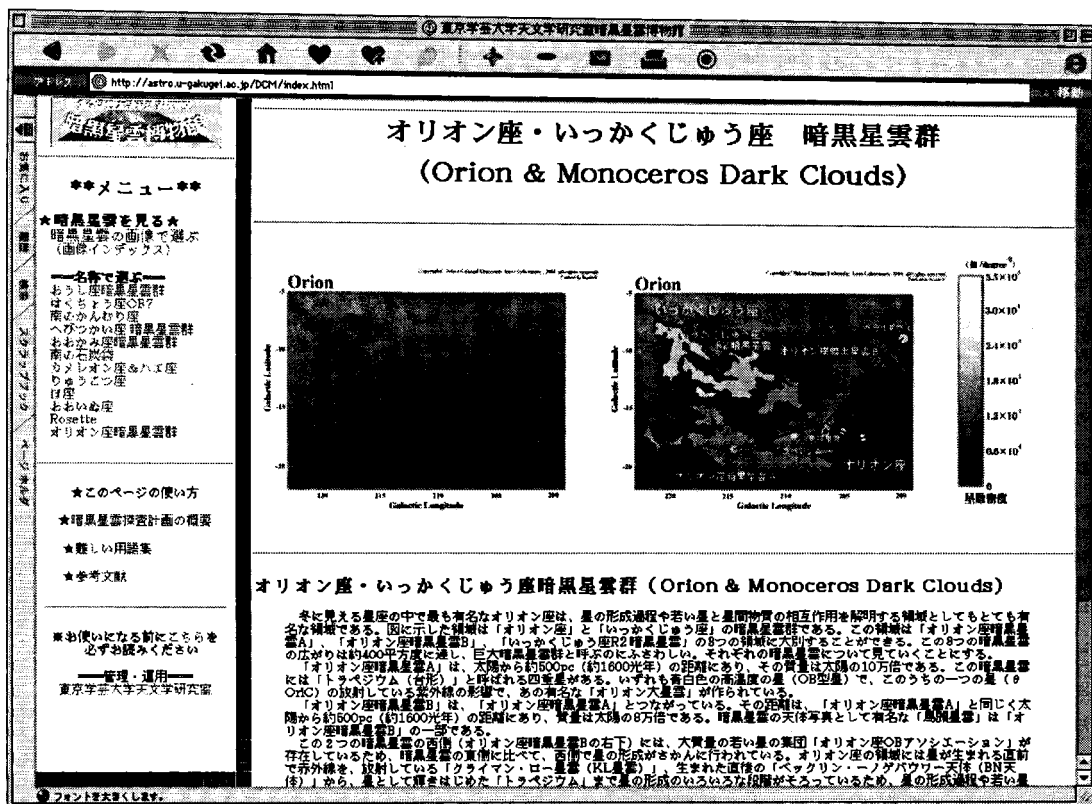


図7 オリオン座暗黒星雲群のページ。

図6のインデックスからこのページをたどると、星数密度分布図(図左側)や、暗黒星雲・星座のファインディングチャート(図右側)、および暗黒星雲の解説文(図下側)が現れる。星数密度分布やファインディングチャートは同一のスケールで表示してあり、それぞれのイメージをクリックすると、フルスケールのイメージが得られる(図8・9)。

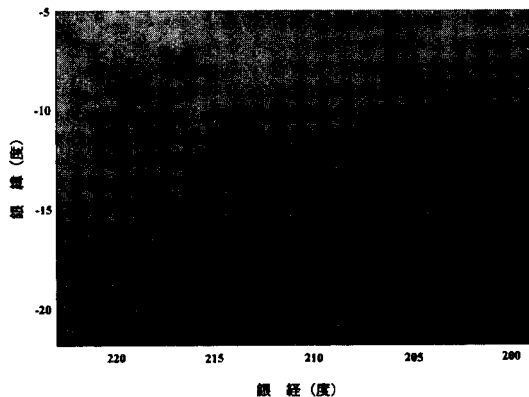


図8 オリオン座暗黒星雲群の星数密度分布図。

図7中の星数密度分布図をクリックすると、フルスケールの星数密度分布図(上図)が現れる。

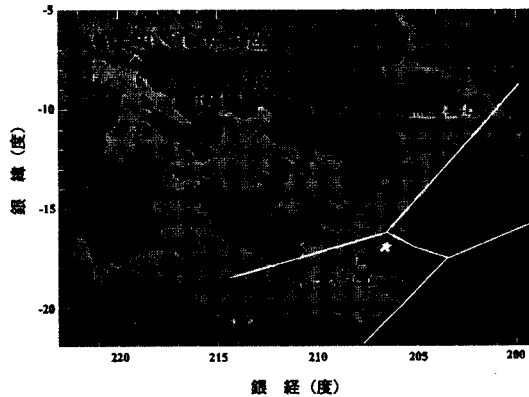


図9 オリオン座暗黒星雲群のファインディングチャート。

暗黒星雲の形状や名称、また星座の一部が表示されている。

授業にもそのまま活用できるよう、解説等を工夫した。今回(1999年)改訂された学習指導要領やその解説(2000年)の高等学校の地学の中では「恒星の性質と進化」に相当するところに暗黒星雲の記述が出てくる。また、現行の高等学校の地学IBの教科書では、「星間物質と星雲」、「星の誕生」というセクションで暗黒星雲を紹介している教科書が多い。このような授業を行う際に暗黒星雲博物館を利用すれば、生徒は暗黒星雲の具体的なイメージを容易に得られるであろう。また、ほとんどの教科書にはオリオン座の馬頭星雲が暗黒星雲の例として掲載されており、「暗黒星雲」=「馬頭星雲」といった感ずらある。暗黒星雲博物館に掲載されている様々な暗黒星雲を見れば、暗黒星雲がいかに多様性に満ちているかを実感することができるであろう。

6. まとめ

全天を網羅する光学写真のデータベースである Digitized Sky Survey I を利用して、天の川全域(銀緯 $\pm 40^\circ$ 以内の全銀河面)における星数密度分布を調べた。これをもとに、いくつかの暗黒星雲の画像を作成し、暗黒星雲の新しい教材としてインターネット上で公開した。暗黒星雲博物館と名付けたホームページ(<http://astro.u-gakugei.ac.jp/DCM/index.html>)に、得られた暗黒星雲の画像を解説文と共に掲載する。現実の暗黒星雲の正確な分布をかつてない広さで描き出し、インターネットで誰でも手軽に閲覧できるようにした点に、この教材の特徴がある。学校教育・社会教育の場で広く活用されることを望む。

謝 辞 東京学芸大学天文学研究室のウェブサーバー立ち上げにあたり、東京学芸大学大学院の喜久川功氏、蓮沼賢氏には有用な助言をいただきました。ここに感謝いたします。本研究は、平成11年度電気通信普及財団および平成10・11年度国立天文台共同

開発研究による資金的な援助を受けました。また、一部、文部科学省および学術振興会による科学研究費補助金(10147204, 11740122, 13640233)からも援助を受けました。ここに感謝いたします。

本研究で用いた Digitized Sky Survey I (DSS) は、U.S. Government grant (NAG W-2166) の助成を受けて Space Telescope Science Institute が製作したものです。

引用文献

- Cambresy, L. (1999): Mapping of the extinction in giant molecular clouds using optical star count. *Astron. Astrophys.*, **354**, 965-976.
- Høg, E., Bastian, U., Schwekendiek, P. and Wicenec, A. (1998): Progress on the Tycho-2 Catalogue from the Hipparcos Mission. *Modern Astrometry and Astrodynamics*, **25**.
- 福井康雄 (1998): 大宇宙誕生—「星のたまご」に見る宇宙のはじまりと終わり—, 光文社, 東京, 196 p.
- 神鳥 亮・土橋一仁・上原 隼・佐藤文男 (2001): インターネットを活用した天文教材の開発—The Digitized Sky Survey と暗黒星雲—. 地学教育, **54**, 61-73.
- 小暮智一 (1994): 星間物理学. 「宇宙物理学講座第3巻」, ごとう書房, 東京, 607 p.
- Lasker, B. M., Sturch, C. R., Lopez, C., Mallamas, A. D., McLaughlin, S. F., Russell, J. L., Wisniewski, W. Z., Gillespie, B. A., Jenkner, H., Siciliano, E. D., Kenny, D., Baumert, J. H., Goldberg, A. M., Henry, G. W., Kemper, E. and Siegel, M. J. (1988): The Guide Star Photometric Catalog. *Astrophys. J. Suppl.*, **68**, 1-90.
- Lasker, B. M. (1994): Digitization and Distribution of the Large Photometric Surveys. *American Astronomical Society Meeting*, **184**, 3501.
- 文部省 (2000): 高等学校学習指導要領解説 理科編地学 I・II.
- Monet, D. G. (1998): The 526,280,811 Objects In The USNO-A2.0 Catalog. *American Astronomical Society Meeting*, **193**, 12003.
- Wolf, M. (1923): Über der dunkeln Nebel NGC 6960. *Astronomische Nachrichten*, **219**, 108-115.

上原 隼・土橋一仁・神鳥 亮・佐藤文男: Digitized Sky Survey を利用した「暗黒星雲博物館」の作成
—インターネットで閲覧できる暗黒星雲のデジタル図鑑— 地学教育 55 巻 1 号, 13-22, 2002

〔キーワード〕 暗黒星雲, インターネット, 天文教材, Digitized Sky Survey I, スターカウント

〔要旨〕 光学写真のデータベースである Digitized Sky Survey I を利用し, 天の川全域 (銀緯 $\pm 40^\circ$ 以内の全銀河面) における暗黒星雲の分布を描き出した. 得られた暗黒星雲の画像を天文学の新しい教材としてインターネット上で公開する (<http://astro.u-gakugei.ac.jp/DCM/index.html>). 「暗黒星雲博物館」と名付けたこの教材の特徴は, 現実の暗黒星雲の正確な分布をかつてない広さで描き出し, インターネット上で誰でも手軽に閲覧できるようにした点にある. 学校教育・社会教育のみならず, 天文学の普及に役立つ教材となることを期待する.

Hayato UEHARA, Kazuhito DOBASHI, Ryo KANDORI and Fumio SATO: A Museum of Dark Clouds on the Internet. *Educat. Earth Sci.*, 55(1), 13-22, 2002


~~~~~  
学 会 記 事  
~~~~~

第3回常務委員会議事録

日 時：平成13年10月6日(土)15時～18時

場 所：慶應幼稚舎会議室

出席者：青野宏美，五島政一，渋谷 紘，高橋 修，
馬場勝良，松川正樹，宮下 治

議 題

1. 千葉大会の終了について
日本地学教育学会第55回全国大会(千葉大会)が無事終了したとの文書が，山崎良雄大会実行委員長から届いた。
2. 平成14年度以降の大会について
平成14年度開催予定の山口大学では，準備が順調に進んでいるとの報告があった。
また，平成15年度は，上越教育大学で開催される予定である。
3. 役員選挙日程について
役員選挙に関する公示を確認し，選挙管理委員

に青野宏美，高橋 修，松川正樹(委員長)，濱田浩美，および宮下 治の5名を決定した。

4. 入会者・退会者

入会者：高橋伸幸(宮城)

退会者：相馬文守(青森)，三宅輝武(岡山)

6. その他

韓国地球科学会会長より，日本地学教育学会との学術交流を希望する書類が届いた。

報 告

1. 各種常置委員会より
パソコン委員会では，特集号を企画している。
2. 評議員会について
評議員会の議事録について確認をした。
3. 寄贈交換図書について
4. その他
裁判についての経過報告があった。

平成 13 年度の学術奨励賞選考について

平成 13 年度の学術奨励賞は以下の通りに決まりました。

学会賞

今年度は、評議員からの推薦も依頼したが、候補者の応募がなく、該当者なしとした。次年度に向けて具体的な選考基準を規定する必要がある。

優秀論文賞

馬場勝良・松川正樹・小荒井千人・林 慶一・大久保 敦・伊藤 慎論文に決定

馬場勝良・松川正樹・小荒井千人・林 慶一・大久保 敦・伊藤 慎：足跡化石を基に動物を動かそう—恐竜の方法をゾウに応用して—。地学教育，第 53 巻，第 6 号（269 号），pp. 269-281，2000 年 11 月

<審査結果>

本論文で、筆者らは、東京都日野市の多摩川河床に分布する更新世の地層から、大型四肢動物の歩行跡を発見し、これらの足跡がほぼ南から北へ向かった 2 列のゾウの足跡であることを明らかにした。さらに筆者らは、これらの足跡化石を現生のゾウと比較して、その年齢や歩行速度を見積もった。この足跡化石は、ゾウの連続歩行跡として貴重であり、その学術的価値は高い。そのような素材を教材として応用するという視点からまとめ、地学教育の発展にも大きく寄与している。

1. ゾウだけではなく、恐竜やヒトの歩行跡を用いて「動」的な地学教材を求めた論文として、時代と種を越えた共通の法則に着目し、地域の自然教材を用いた独創的な生態復元を行ったこと。
2. 博物館に展示されているレプリカの足跡化石あるいは現生の動物やヒトを実験的に用いることにより、誰でもその足跡から歩行速度や歩いた様子を復元することが可能であること。
3. 地学教育の実験教材として、さまざまな時代の足跡化石や、現生のいろいろな動物の歩行跡を観察することによる発展が可能であること。

以上述べた理由により、本論文は優秀論文賞にふさわしいものである。

教育実践優秀賞

小荒井千人論文に決定

小荒井千人：機能形態学的解析に基づく二枚貝化石の生態復元に関する教材開発。地学教育，第 53 巻，第 5 号（268 号），pp. 209-217，2000 年 9 月

<審査結果>

本論文で、筆者は、現生二枚貝の生態を第四紀の化石二枚貝に取り入れ、化石種の機能形態を考察して、その古生態を復元する教材開発を行った。実際に、地学 IB を履修する高校 1 年生を対象に実践授業を行い、二枚貝化石の殻形態に着目して、おおまかな潜行速度と最大潜行深度を求めた。その結果、生徒は群集古生態を推定し、生活の様子を復元することに成功した。

1. 機能形態学的手法を用いた二枚貝化石の古生態を復元する教材開発にあたって、道具も物差し（ノギス）があればよいという簡便な手法で、二枚貝の潜る速さと深さから、生きていた当時の生態を復元できること。
2. 地学教育の「動」的な実習教材として、二枚貝の形態のみに着目してグループ分けするので、化石を同定

する必要が無く、誰でもその二枚目の形態や殻の特徴から科学的な手法に基づいて、地学実習が可能であること。

3. 地学教育の実習教材として、化石の採集から授業を行い、地層を観察することにより、より詳細な生態環境の復元図の作成が可能であること。

以上述べた理由により、本論文は優秀教育実践賞にふさわしいものである。



編集委員会より

定例編集委員会は、12月8日(土)午後に開かれました。原書論文1件、教育実践報告3件を審議し、原書論文1件、教育実践報告1件が受理されました。依然として投稿原稿が少ない状態が続いておりますので、ふるって投稿下さるようお願いいたします。

編集委員会としては分野による偏りの起こらないよう配慮してきましたが、本号は2論文がともに天文関係となりました。現在印刷可能な手持ちの原稿が少なく、やむを得ない状況でしたのでご理解下さい。

投稿規定は最新のものが53巻3号に、原稿送付状は53巻4号の巻末にありますので、ご利用下さい。投稿に際しては、連絡等の事務手続きの省力化のため、是非メールアドレスをご記入下さい。現在、編集事務のすべてを委員長が一人で行わなければならない状況なので、ご協力をお願いします。なお、投稿から査読結果をお送りするまでは査読者の選定・依頼・査読・返送と月1回の編集委員会のタイミングの関係で、2カ月ほどかかります。

地学教育 第55巻 第1号

平成14年1月21日印刷

平成14年1月26日発行

編集兼 日本地学教育学会
発行 者 代表 下野 洋

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学教育学部地学教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印刷所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 55, NO. 1

JANUARY, 2002

CONTENTS

Original Article

Simulation of Binary Systems on Personal Computer III. Calculation of
Radial-Velocity Curves of Spectroscopic Binaries

..... Yasuhisa NAKAMURA, Yoshiko HOSOI and Shin OGAWA... 1~12

A Museum of Dark Clouds on the Internet

..... Hayato UEHARA, Kazuhito DOBASHI, Ryo KANDORI and Fumio SATO...13~22

Proceedings of Society (23~25)

• All communications relating this Journal should be addressed to the
JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION

c/o Faculty of Education, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522, Japan