

補助教材としての3D画像

岩本 壮太郎、*内川 義和、*岡野 真弓、*川北 一彦

Three dimensional image as a supplementary teaching materials

Soutarou IWAMOTO, *Yoshikazu UCHIKAWA, *Mayumi OKANO and
*Kazuhiko KAWAKITA

Abstract

It is very important to understand the structure of the human body three-dimensionally even for the medical treatment staff, not only the student who learns medical treatment. As occasion demands it is best if we can obtain the real preparations. It is impossible that everyone holds such a materials, although the model is effective material, as the method understanding morphological feature. Generally it is used the painted picture to the blackboard or the printing mater with supplemented in the lecture. However, the intention of the instructor that understands the substance is not necessarily transmitted to every student. It needs to reproduce it to the student to know the degree of the understanding of the student. We require the long time and labor to implement it. The plate of the three dimensional picture is the effective means that becomes comparatively the reign of the model. However, the three dimensions plate for instruction is not able to say that they are arranged sufficiently. We presented the method that makes an imitative three-dimensional plate from the plate of the two dimensions. Such a method is not only the specimen of the macroscopic specimens but be able to apply to the light microscopic specimen, X-ray image, and scanning electron microscopic image.

Key words : three dimensional image(3D) / teaching materials / imitated 3D image / light microscopy

キーワード：三次元画像（3D）/ 教材 / 擬似三次元画像 / 光学顕微鏡

緒言

コンピューターグラフィックス (CG) の発達によって random dot stereogram の作成が容易になったことが火付け役となり、3D (三次元) 立体視が再びブームとなって安価な3D画像の本が多数出回っている。視力の一時的あるいは永続的な回復効果が認められること^{1,2}もブームの再燃に一役かっているといえる。また、高次神経機能として3D認識の研究も広く進められている^{3,5}。

画像を取り扱うことが多い解剖学でもこうした手法を取り入れる試みは目新しいものではなく、昭和40年代には16mmスライド2枚を組み合わせ、スライドボックスを覗く画像が市販されていたこともある。こうした立体視の技法は、昭和30年代に青・赤二色の眼鏡を通してみる立体映画の流れを汲むものであったと思われる。眼科領域での立体視機能検査で用いられるTitmus Stereo Testは偏光フィルターを、New Stereo Test (Awaya)、TNO stereo testは赤緑眼鏡を用いた検査法である。今日でも

偏光フィルターや2色のカラー眼鏡を用いた図版の中に高度な内容が掲載されたもの⁶も出版されているが、高価であることや眼鏡の煩わしさもあり、あまり普及しているとはいえない。この2色法は図版が1枚ですむ利点はあるが、立体視しない場合は図版が紛らわしいという欠点もある。一方で裸眼の立体視は2枚の図版を用いる必要があるが、道具を必要としない点で使いやすさがある。実際こうした研究⁷や専門書も出版されている^{8,9}。一時期、2台の偏光プロジェクターと偏光眼鏡を用いた立体投影システムが生産されていたこともあるが生産中止に追い込まれたことがある。平成14年にはステレオ撮影のできるデジタルカメラ(立体視眼鏡付)がP社から、2台のプロジェクターと特殊なスクリーンを用いて裸眼立体視像を映写するシステムがH社から、裸眼で立体視が可能な液晶ディスプレイをS社が開発し、携帯電話の液晶ディスプレイとして発売を開始、普及型のディスプレイの量産も開始したと報道されている。こうした立体視の装置は高価であること、裸眼立体視は未経験者には訓練が必要となるので教育現場で活用することが難しかったが、大量生産に支えられ、身近に活用することが容易になると考えられる。とりわけ、裸眼立体視は安価かつ簡便な方法として評価できる。しかし、市販されている画像は必ずしも教員の意図と一致していないことが少なくない。そこで今回は3D画像を具体的に活用するために必要な要件について検討を加えた。

1. 裸眼立体視の訓練

3D画像は教授する側から見ると、立体的な構造を理解する上できわめて効率が高い教材といえるが、学生の側に立ってみるとかなりの理解度が伴わないと画像上の感動は得られても、画像から内容を理解してゆくことは難しいといえる。したがって、立体画像に過度の期待をすることはかえって学習内容の困難さを強調する結果にもなりかねない危険性も含んでいるが、知的欲求を引き出す補助的教材としての価値は高いと考えられる。

裸眼立体視はその見方によって、平行法と交叉法¹¹の2つに区分され、逆の方法で見ると立体的な位置関係が逆転する。一般的には平行法が広く用いられているが、この方法には大きな図版には用いることが出来ないという難点があり、交叉法は馴化することが難しいという欠点がある。立体視の原理の詳細については成書^{10,11}に委ねるが、まったくの初心者には平行法を修得させるためには、まず生理的複視(以後、複視と略す)を実感させなければならない。専門的には開散と呼ばれるこの感覚は一般的には平行視と同義で、両眼視するための機能であ

る輻輳(左右の眼の視軸を1点に合わせる)の解除を意味する。すなわち、眼球の外転に関与する外眼筋(外側直筋・上斜筋・下斜筋)を緊張させる感覚である。複視の状態になると近くにあるものの像が2つ認識されることになる。初心者のための立体視の訓練法は成書¹²に記載されているが簡単な例を示しておく。出典は明らかでないが、複視の可・不可は遺伝的な要因も関わっているとされており、著者らの経験でも2~4%程度、複視ができない学生が見受けられる。こうした学生の場合は、立体視用のレンズを透してみても立体像は構成されないようである。

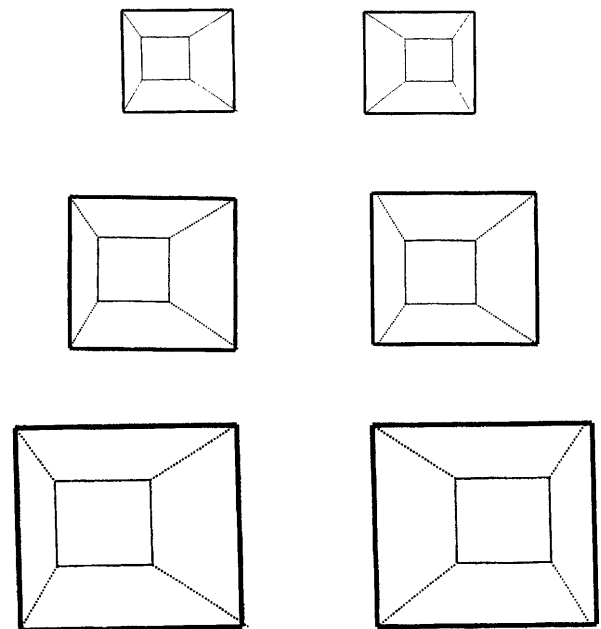


図1 立体視(平行法)の訓練用図版-1

1) 平行法: 2枚の図版を平行視し、「左右それぞれの視野に重複像が浮かび、中央側の左右の像が一つに重なる(融像)」という過程を本人がどこまで理解できたかについては、傍で判断することは難しい。立体視用にレンズを用いた装置も市販されているが、高価な装置でなくても2枚の図版の間に仕切りを置くことで、両眼の独立視を助けることはできる。安価な老眼鏡が市販されているので軽度(0.5~1.0)のものを利用することもできる。裸眼平行視を指示する言葉としては「遠くを見るような視線で見る」と表現することが多い。問題はこの開散の状態から輻輳へと徐々に移行する時点である。

次の段階では比較的近い2点を複視する段階を踏むことが望ましい。初心者では中央側の2点が近づくとともにまではいっても、融像しないうちに瞬きなどで振出し(開散)へ戻ってしまう、あるいは逆に通常の視覚(輻

輻輳)へと変わってしまうケースが少なくない。後に触れる交差法に慣れると、平行法よりも交叉法のほうが容易にできる者もいる。図1は2点間の距離を3段階のステップに作成してある。こうして順次、離れたものに慣れさせて行くことによって緩徐な輻輳の感覚を認識できる確率が高くなる。この方法で解決できない場合には左右の図版に着色し、赤緑眼鏡を用いることもできる。こうした図版はコンピューターで作成しておく、後述の交叉法の資料としても使用できるので推奨したい。

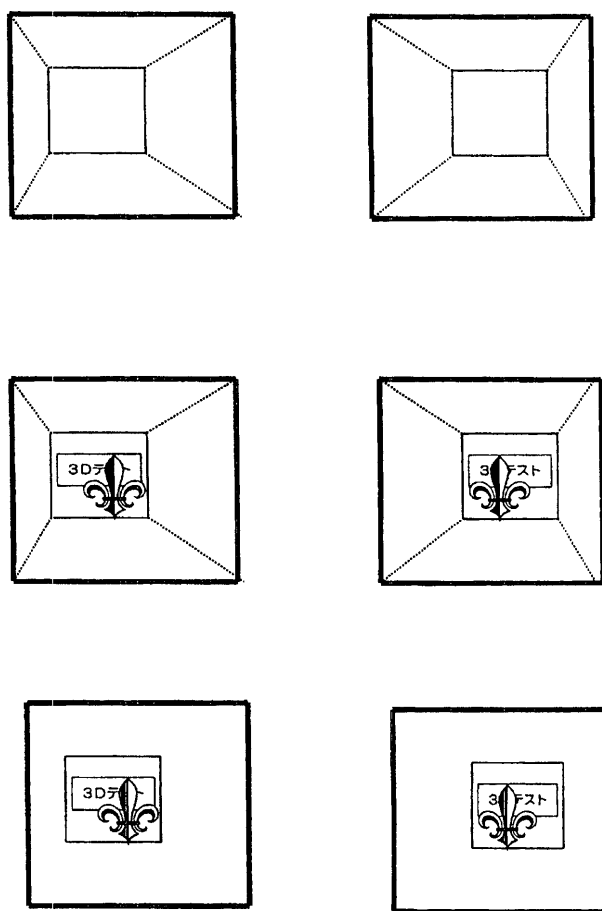


図2立体視(平行法)の訓練用図版- 2

複視から立体視への移行に慣れたら立体視への挑戦になる。図2は3段階の奥行きを認識させる図版で、奥行きを想定しやすい補助線(破線)をいれた奥行き2段の図(上段)、同じ図版の奥行き中央に紋章を挿入した奥行き3段のもの(中段)、中段のものから補助線を削除したもの(下段)の3段階になっている。下段の図で3つの奥行きが感受(認識)できるようならば、常時立体視は可能といえる。

2) 交叉法 : 交叉法では主として内側直筋の働きによる輻輳の機能を過剰に働かせることになる。この状態

は物体を徐々に眼に近づける時に起こる眼球の輻輳、いわゆる「寄り眼」の状態である。上述の平行法の図版をそのまま交叉法で見ると奥行きが逆になり、手前に突出した台形体として認識される。この図版の左右を入れ替えると交叉法用の図版になる。交叉法では機械的な補助具は製作が面倒であり、労多くして必ずしも効果をあげられないので薦められない。交叉法の訓練としては赤・青二色のセロファンを貼った眼鏡を使用する方法が簡便といえる。平行法で用いた図版を左右入れ替え、一方を赤、一方を青で描いた図版を凝視する。立体視できたら、その状態のままで黒で描いた同じ図版をすばやく入れ替える。この操作を何回か繰り返すことで外眼筋の感覚を記憶させる方法が最も簡単な方法である。この場合も平行法と同様、二つの図版の距離が狭いもの(図版が重なっても差し支えない)から徐々に距離を開いてゆく方法が効果的である。三角プリズムあるいはペンタプリズムを用いて平行法と交叉法の両方に使用できる補助具も作成してみたが、複視という点では有効だが、裸眼視とは外眼筋の使い方が異なる点、価格や数量を揃えなければならないことを考えると実用的とは言えない。交叉法が可能になると後述のモニターを使った画像や動画を立体視することも可能になる。

2. 資料作成法

ここまでに示した図版はコンピューター等で適当に作成したものであるが、実際に教材として使用する画像は精密な原図が必要である。以下に資料作成法の要点を紹介しておく。

1) 実写法 : 模型・実物標本を撮影して作成する方法で、さまざまな条件下での作成法が考えられる。

A 写真撮影(マクロ)

同一のカメラを2台揃えることができれば眼軸と同じ角度で撮影すれば完成である。1台で撮る場合には次の2通りの方法がある。a. 被写体を固定して、カメラを移動させる。b. カメラを固定して、被写体を回転(回旋)させる。いずれの方法でも撮影角度は7~8°が適正とされるが、著者らの経験では15°程度までは許容範囲といえる。これが30°程に開くと異常な凹凸として感受される。図3は骨格模型を撮影したものであるが、上段の像は約20°の角度で撮影してある。下段は約35°で撮影されており、立体像手前の胸骨の部分は焦点が合わないで眼に苦痛を感じるかもしれない。

資料にもよるが、表面観察に限定するならばカメラの絞りは開放し、焦点深度を浅くしたほうが強調される。図3上段はカメラの絞り22で撮影されているので、頸

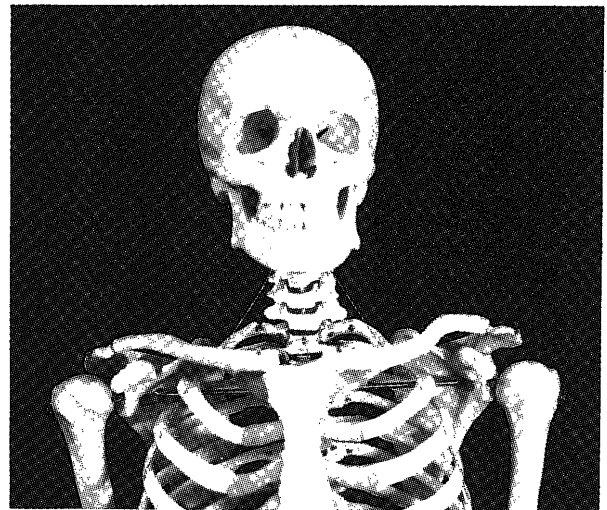
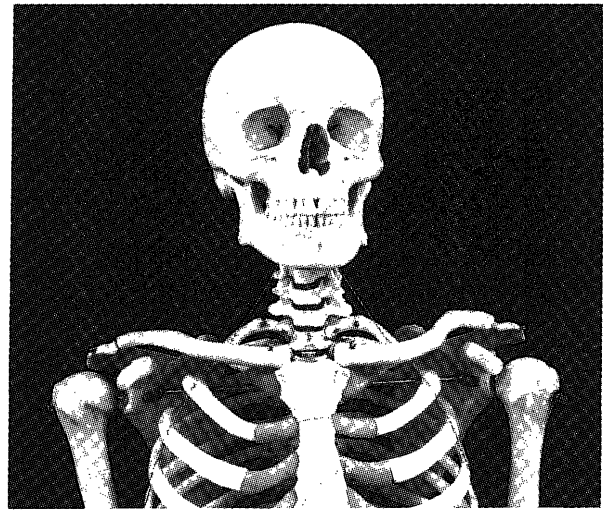


図3 骨格標本 (交叉法)

上段 : F 22, 1sec. 中段 : F 3.5, 1/100 sec. 下段 F 3.5, 1/100 sec.

椎、顔面、胸骨いずれも明瞭に観察できる。一方、中段の像はカメラ絞り3.5で撮影されているので頸椎は明瞭であるが、顔面と胸骨は焦点から大きくずれているため、いわゆる後ピン(後方に焦点が合っている状態)になっている。ちなみに両者のレンズ口径は14.7倍、光量は215倍である。資料にもよるが特定の部位を強調する場合には、可能な限り焦点深度を浅く撮るほうが効果的であり、シャッタースピードも速くできるので手ぶれなどの撮影ミスも少なくできる。

B 顕微鏡写真(ミクロ)

一般に光学顕微鏡標本は薄切標本(1~10 μ m)であるので立体視の必要はあまりないが、やや厚め(50~100 μ m)の標本の暗視野像や実体顕微鏡の観察等ではその効果を発揮する。

光学顕微鏡での撮影では a.移動法、b.傾斜法の2通りの方法がある。いずれの場合も解像度に難があり、焦点深度が浅すぎる高倍率像には向いていない。視野全体を対象とするならば、対物レンズで20倍程度を上限と考えてよいだろう。限られた部分に焦点を合わせるならば40倍程度までは可能である。

移動法は接眼視野を左右に使い分け、撮影部分が視野の右側に入るように1枚、そのまま、ステージを左側に平行移動し、接眼視野の左側に入るようにもう1枚を撮影する方法で、その原理については省略するが立体視が可能になる。

傾斜法はスライド(デッキ)ガラスの片側を0.2~1mm程度(カバーガラス2枚~スライドガラス1枚程度)浮かせて1枚、同様に反対側を浮かせてもう1枚を撮影することで、立体視用の撮影ができる。このとき重要なことは視野をできるだけ揃えることであるが、多少のずれは引き伸ばした画像をトリミングすることで解決できる。SEM(走査電子顕微鏡)では電子顕微鏡自体に傾斜撮影装置が付随している。

C 複写画像

コンピューターが発達して3D画像あるいは画像作成ソフトも多数市販されているが、それなりの技術がないと使いこなすことは難しい。ここでは上述の画像と同様に扱えるもののみを対象として、スキャナーでの取り込みについて触れてみた。この方法は当然、コピー機でも可能である。

a) 実写法：写真撮影と同様にスキャナーに実物を載せ、顕微鏡撮影の原理と同様に角度を変えて取り込むだけの簡単な方法である。比較的焦点深度が浅いので立体視にも適している。

b) 原図法：すでに3D用に撮影された写真や画像

をスキャナーで取り込むだけである。

D ビデオ画像

同種のカメラを2台揃えられれば問題ないが、カメラが1台しかない場合は写真撮影と同様に、1.カメラを固定して被写体を7~15度程度回転させて撮影する。2.被写体を固定してカメラの位置を同様の角度に移動させて撮影するなどの方法を使わなければならない。これらはいずれも静止画像として利用することになるが、いずれの場合も2台のビデオ再生装置とモニターテレビが必要になり、5インチ以下の小型モニター画面ならば平行法が使えるが、一般家庭で使われる14インチのモニターを使用するならば交叉法で見なければならないことになる。交叉法がマスターできると動画を観察することもできる。

図4は監視カメラを用いて映像を作成したものである。廉価製品(1万円以下)を用いているので、画素数は25万画素と多少画像は荒く球面収差も出てくるが、教

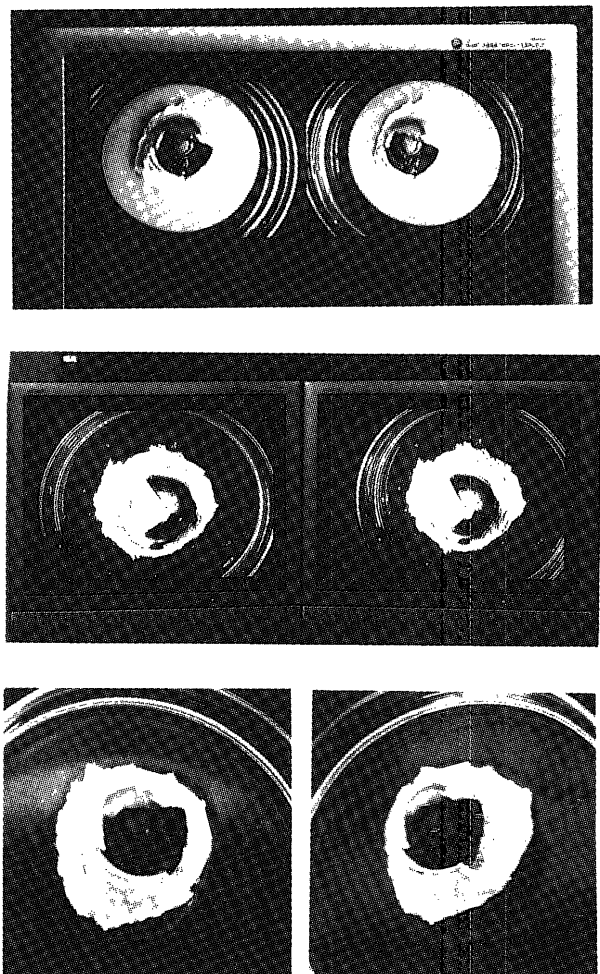


図4 豚の眼球(角膜・虹彩・水晶体)

上段：小型監視カメラと4分割装置で分割したモニター画面
下段：カメラによる実写(F5.6, 1sec.)

材の示説としては許容の範囲と考えられる。焦点距離の変更も可能であり近視設定、遠視設定ができる。またレンズの半面を覆うことで視野の設定（半側不可視）もでき、明暗調整機能が内蔵されているので、虹彩機能を付加すれば明暗順応の変化も具象化でき、眼の機能に関する様々な状況設定の示説に用いることができる。

E X線像

通常のX線は資格がないと撮影することはできないが、軟X線（ソフトックス）は研究用にしばしば用いられる。軟X線は薄切された資料を用いることが多いが、小動物を撮影する場合もある。X線はその特質上、フィルムに撮影される像は実物よりわずかに拡大し、若干歪んだ象になるが外から見えない部分の立体像が浮かび上がらせることができる。したがって、実験動物では生体内の変化を三次元的に追跡することが可能になる。ヒトの場合は被爆量が2倍になることから避けたい方法ではあるが、場合によってはきわめて有効な診断ツールとして利用することが可能になる^{7,13}。

F. 擬似3D画像

3D画像を実際に教育現場で活用しようとする、普通の図版（2D画像）を3D画像にできたらよいと思う場面が少なくない。絵どころのある人ならばそれも可能かもしれないが、それに費やす時間がないというのが現実である。全ての画像と言うわけには行かないが擬似的な3D画像を作成することもできるので紹介しておく。

図5上段は左眼用の原図¹⁴に対して、右眼用の図版は図版上の左側面部を85%に縮小したものを貼りあわせただけの簡単なもので、製作時間は5分に満たない簡単

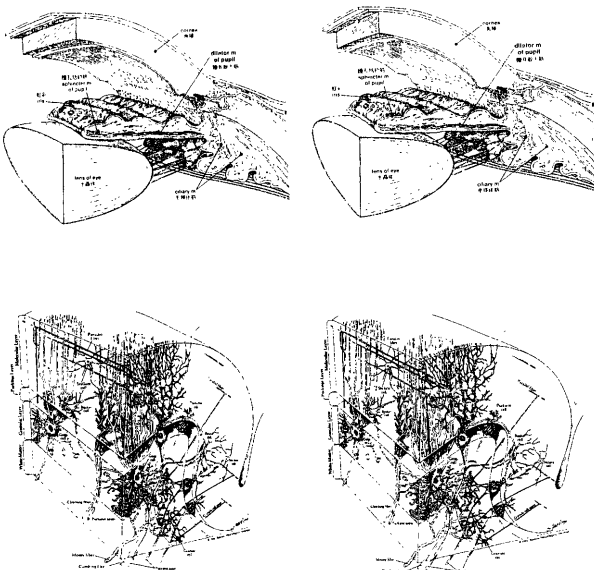


図5 毛様体部及び小脳皮質部の擬似立体像

な擬似3D像である。それでも、平面図と比べると若干の立体感を感じることができる。

下段は小脳皮質の細胞構築を示した模式図で右眼用の原図¹⁵に対して、左眼用の図版は左側面を115%に拡大、右側面を85%に縮小した図版で合成したものである。細胞の形状まで立体化させることはできないが、奥行き感を示す図版としては充分その役割を果たせる。

上述の図版はもともと、立体的に描かれたものなので簡単に擬似立体図版となるが、こうした擬似3D画像は表面構造の単調な半球状、例えば大脳半球の外側面などでは効果をあげることは難しく、突出部分が陥凹に見えたりする誤融像に導かれることもある。その一方で、奥行きを示す場合には効果的な図版になる。図6は脳底の図版であるが、構造を知っているものにとっては平面図であっても十分理解できるが、初学者にとっては前頭葉と側頭葉にある段差や脳幹部の突出などを理解することは難しい。そこでこの原図(上段)¹⁶から擬似3D像を作成した。

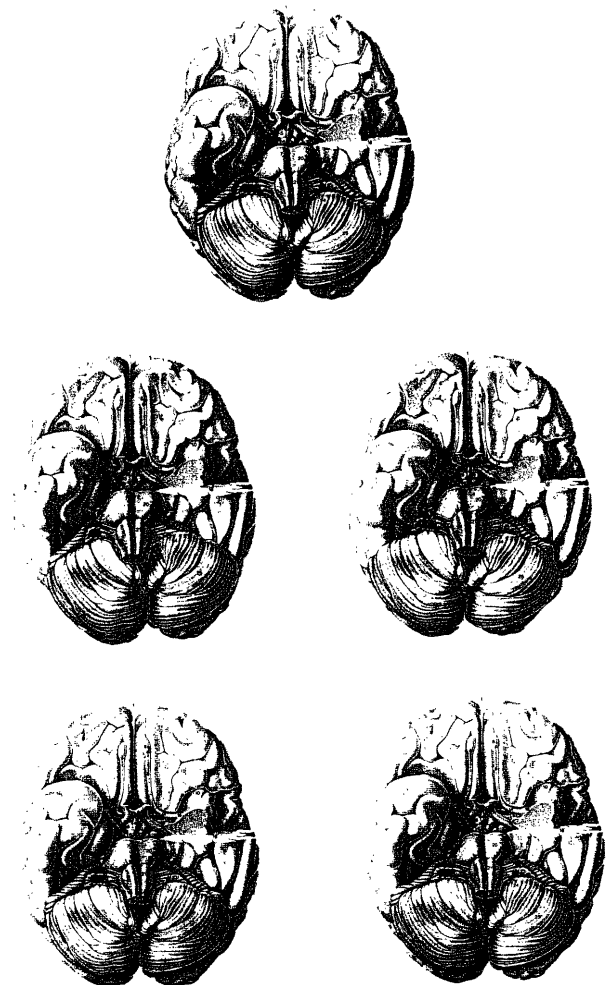


図6 脳底の擬似立体像

中段の図では全体の深度を6段階に分け、それぞれの段階に応じて横幅を1~8%拡大してある。すなわち、深いものから原図(100%)、視交叉周辺(101%)、側頭葉(102%)、小脳(104%)、橋(106%)、延髄(108%)を作成して切り抜き左眼用の図版では拡大した分だけ右側にはみ出し、右眼用の図版では左にはみ出すように深層から順に貼り付けて行く。浅層になるほど拡大率が大きいので下層の図版を覆い隠す形になる。多少の狂いや部分的な矛盾が生じるが、全体像としては問題ない。この図では明らかにそれぞれの層の深度が階段状に変化しているのが良くわかる。学生に創らせてみる場合にはこれくらい劇的なもののほうが達成感を持たせることができる。しかし、示説用の図版としては実体との差が大きすぎる。下段は層の間の拡大率を1%に減じ、右眼用の図版は中央から左側だけを、左眼用の図版は中央から右側だけをそれぞれ拡大図に変化させたものであり、自然な形に近い像を再現している。いずれも90分程度で作成できるので、学生に創らせる場合には右眼用と左眼用を分担すれば授業時間内に作成できる。最近のコピー器には横方向だけの縮小・拡大の機能を備えたものもあるのでコピー器でも作成が可能である。

本研究は平成14年度文部化学省科学研究費(基盤研究B「授業実践能力の向上を図る科学教育実践支援システム」課題番号13480038、研究者代表者：川北一彦)の一環として行われた。

引用文献

1. Kurita M : Free stereo view using Moving images brings eyesight the immediate effect. J.Intl. Soc. Life Info. Sci. 20 : 242-247, 2002
- 2 須佐見憲史 : 三次元ディスプレイと眼機能応答. 視覚の科学22 : 34-38, 2001
3. 渥美義賢, 高橋和巳, 他 : 両眼立体視の脳内処理過程 -fMRIによる研究. 臨床神経生理学29 : 164, 2001
4. 細島淳, 下條裕史, 辻川薫, 他 : 奥行き立体視の脳機能局在. 眼科臨床医報95 : 761-762, 2001
5. 立体視の脳機能局在 PET activation study 細島淳, 近江源次郎, 不二門尚 眼科臨床医報93 : 1097-1098 1999
6. M.C. Hirsch and T Kramer : Neuroanatomy(3D-stereoscopic atlas of the human brain) Springer-Verlag, Berlin, 1999
7. 熊本悦子, 藤井進 : 医用画像処理における工学的手法—両眼立体視の理論とその応用. : 映像情報Medical 34 : 450-453, 2002
8. 横地千仞 : 3d解剖アトラス. 医学書院. 東京. 1997
9. 加藤高明 : 3D Anatomy. 日本醫事新報社. 東京. 2000
10. 岩田美雪, 粟屋忍 : ステレオテスト. 視能矯正〈眼科MOOK 32〉. 金原出版. 東京. pp.93 - 102, 1987
11. 大山正 : 視覚心理学への招待. サイエンス社. pp.148-181, 2000
12. 弓削経一 : 視能矯正. 第3版. 金原出版. 東京. pp.335-336, 1998
13. 堀正明, 大久保敏之, 熊谷博司, 他 : 立体視可能な造影剤1回注入による二次元造影MR angiography. 臨床放射線 46 : 765-770, 2001
14. 高久史磨(監訳) : メローニ図解医学辞典. 第2版. 南江堂, 東京, p.285, 1998
15. Bloedel J R & Bracha V : Current concepts of Climbing fiber function. Anat.Rec.(New Anat.)1:p.119, 1998
16. 水野昇, 岩堀修明, 中村泰尚(訳) : 図説中枢神経系. 第2版. 医学書院, 東京, p.10, 1999