

國學院大學學術情報リポジトリ

作図した地質図を理解するためのコンピュータ3次元 地質図の提示

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-02-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 坂本, 正徳 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.57529/00001292

〔研究ノート〕

作図した地質図を理解するための コンピュータ 3次元地質図の提示

坂本 正徳

【要旨】

國學院大學人間開発学部初等教育学科の専門科目「理科実験・観察基礎論」の授業において、地質図を作図する授業を実施した。地層境界線の作図については手順通りに行うものであり、ほとんどの学生が正しく行うことができた。しかし、描いた境界線の両側の地層分布を確認すると、正答できた学生はわずかであった。作図した地質図の理解を促進するために、筆者が作成した3次元地質図作成ソフトウェアを利用して3次元地質図を提示した。数枚の3次元の地質図を地表面と側面が見える状態で、視点を変えながら連続して見ることで空間的な分布をわかりやすく示した。その結果、半数以上の学生は正答を導けるようになった。

【キーワード】

地質図 等高線 断面図 地層の広がり コンピュータ利用

1. はじめに

平成21年に人間開発学部が開設された初年度から初等教育学科の専門科目「理科実験・観察基礎論」という授業が始まった。当授業は小学校の教員になることを主たる目的とした初等教育学科の1年生と3年次編入生を対象とした授業である。平成21～24年度は4名の教員で、平成25年度からは5名の教員で担当し、教員の数で班分けをしている。1つの班の人数は、平成21、22年度は平均27名（1年生のみ）、平成23、24年度は平均31名（以降、1年生と3年次編入生）、平成25、26年度は平均25名となっている。半期の授業期間内に順番に授業を実施するので、一人の教員による授業機会は1班につき最大3回ずつとなる。筆者はこの授業において、地質学分野を担当している。

小学6年生の単元に「土地のつくりと変化」があり、その中で地層について学習する。地質構造を理解するために、小学校高学年の教科書では断面図が掲載され、その後の中学・高等学校においても、断面図が主に用いられている。断面図は地層の積み重なりがわかりやすく理解しやすい。しかし、断面図はある地点で観察できる垂直方向の様子を示したものである。地層の広がりや分布を考えるとときには、対象とする地域全体で考える必要がある。地域全体の地質の分布状況を地形面状に地図として表現したものが地質図である。

地層の広がりを学習するためには、野外で火山灰層のような広く薄く分布する特徴的な地層（鍵層）を見つけることから始めるのが理想である。地質図には地層の広がりが示され鍵層の分布が表現されるため、実際の地形上の分布と地図との対比から地質に対する理解を深めることができる。しかし、野外の授業を実施できる地域は限られているために地層の広がりを実地に観察できる機会は少ないのが現状である。

そのような状況の中で、筆者は「理科実験・観察基礎論」の授業において、地質図の理解を目的とした授業を行っている。本論では、地質図の理解を促すために、コンピュータによる3次元地質図を利用した成果を報告する。

2. 地層境界線の描画

当該授業における授業機会の内、地質図を扱うのは1回（90分）だけである。野外に出ることはなく、教室内で授業を行っている。授業の構成は次の通りである。

（1）地質図の作図原理の説明

岡本・堀（2003）にしたがって地質図を作図するための原理を解説する。平面的な境界によって分けられた2つの地層で構成される単純な地質構造について、第1図を見ながら次のような説明をした。①(a)の地点Aで2つの地層の境界部分が観察された。②2つの地層の境界面は地域全体にわたる(b)のような面である。問題を単純にするために、境界面を平面として考えている。そのとき、地層の境界面の等高線は平行線となる。③境界は1つだけであり、地域全体を上と下に2分する。上の部分と下の部分に分けて考えられるように、(a)の山体を、地点Aを通るように(b)の平面で切った状態を考えさせた。④境界は平面という形状であるが、地形に現れる地層の境界は、地形が複雑な形状であるために、(c)に表現されているように複雑な曲線となる。

（2）クリノメーターによる走向・傾斜の記録

3次元空間における平面はクリノメーターという器具を用いて、走向（面の水平方向の伸長方位）と傾斜（面の傾いている方向とその大きさ）に分けて記録でき、地図上に記号として表現することができる。この授業では、クリノメーターの操作方法に習熟するのが目的ではないが、野外で観察できる面（境界面）は再現可能な状態で記録できるものであることを理解する必要がある。測定練習用の板を用いて、操作および記録の練習を行った。

（3）地質図を描く問題の提示

地質図を描く問題（第2図）を地図上に地層の境界面の走向・傾斜の記号（図の中央部にある「 $\perp$ 」記号）を記入した状態で提示した。本問題の走向・傾斜は（1）で解説したものとは異なるものであり、改めてその意味を説明した（第3図）。

この問題における「走向・傾斜はN20E45E」とは、走向がN20E、傾斜が45Eであることを示している。N20Eの走向とは、地層の境界面の水平方向の伸長方位（走向）が北から20度東を指していることを示している。また、45Eの傾斜とは、その面が東へ45度傾いていることを示した

ものである。この境界面の特徴をとらえやすくするために、東へ下るように傾斜しているということを強調して説明している。

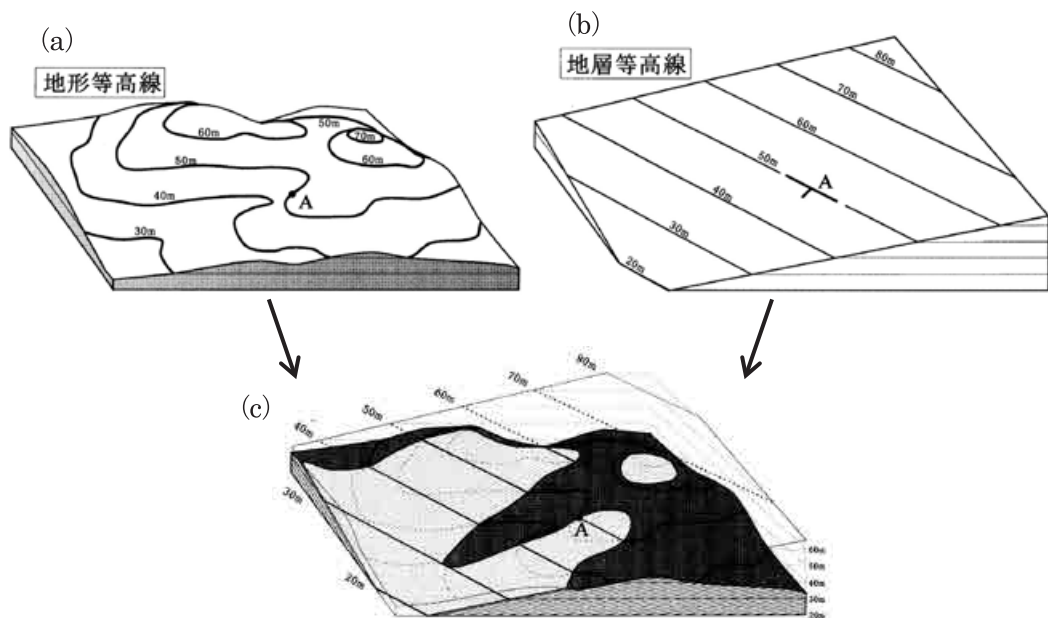
（４）地層境界線の描画

地層の境界面の等高線を描く手順、地層境界線を描く手順に分けて詳しく解説しながら描画を行った。授業者である筆者も大きく引き伸ばした地図を用いて、作図していく様子を見せながら進めた。

境界面の等高線は、走向の方向に直線を描き、傾斜の角度から平行線の間隔を計算によって求めて平行な線を描く。次に地形面の等高線と境界面の等高線において、同じ高さ同士の交点を見つけ出す。交点が少ない場合にはそれぞれの等高線をフリーハンドで補間した線を引き、同じ高さとなる点を見つける。その点をなめらかな曲線でつなぐことによって地層境界線を描くことができる。学生が描いた模範的な描画結果を第4図に示す。

（５）地質分布の把握

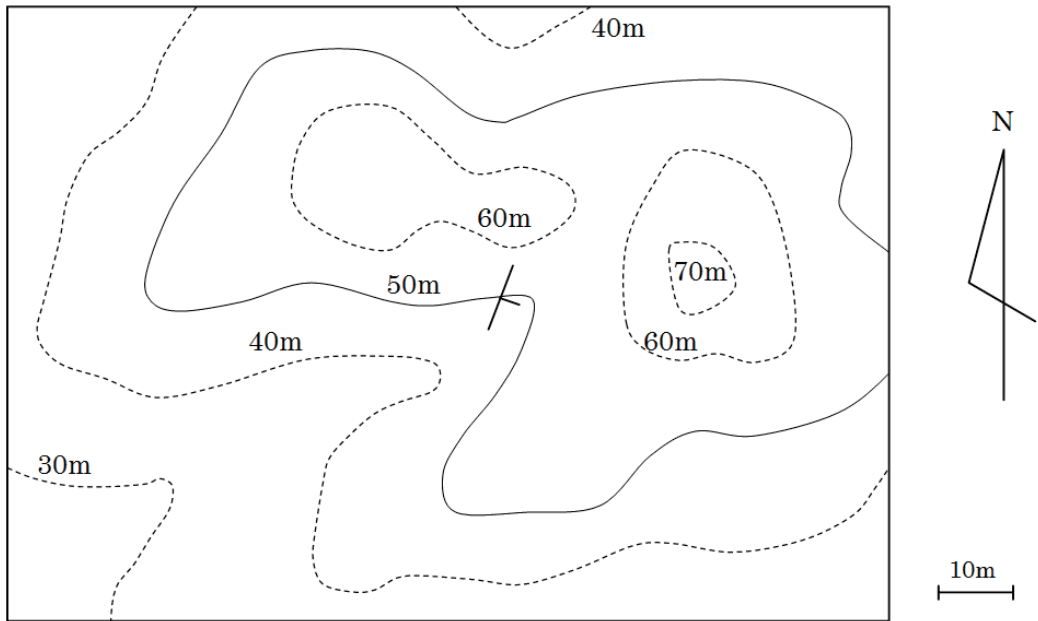
描いた地層境界線は地質分布の境界であり、対象となる地域に分布する地質を別々の色で塗り分ければ地質図が完成する。そのために、境界を挟んだ両側にどちらの地質が分布しているかを、問題文を再度確認し、地層の上下関係や境界面の傾きを確認した上で、地形図上に現れる地層を考えさせた。



第1図 地質図の作図

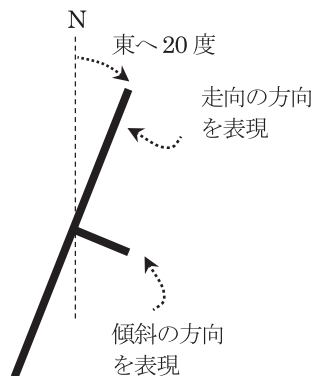
(a)は地形の等高線、(b)は地層の境界面を表す地層等高線である。(c)は(a)と(b)を合わせた図であり交わるところが曲線（地層境界線）となる。(c)において、白い部分が上の地層、黒い部分が下の地層の分布を示している。

【問題】地図中央の50m等高線上の地点で砂岩層と泥岩層の境界が観察された。その境界より上のほうには砂岩層があった。境界の走向・傾斜はN20E 45Eであった。



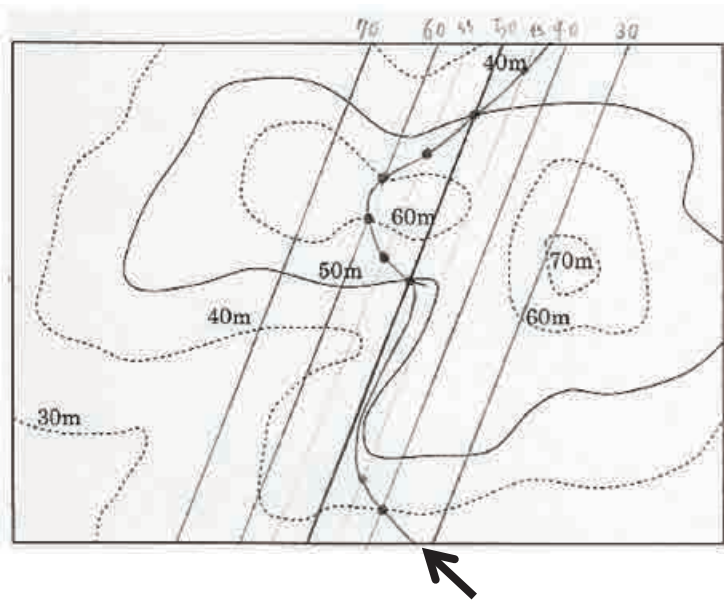
第2図 授業中に与えた問題

地形は岡本・堀（2003）のものをそのまま利用させていただいた。走向・傾斜は新たに設定して問題とした。



第3図 第2図の走向・傾斜

傾斜についてはその角度である「45」と記載するものであるが、今回は問題の図が煩雑になるために省略した。



第4図 地層境界線の作図

地層境界線は枠外に示した矢印のところの曲線である。交点となっている●印は、実線や点線の等高線同士の交点だけでなく、フリーハンドで補間したところ（45mや55mの高さ）にもつけられている。

3. 3次元的な地質分布への質問

地層境界線の描画については、作図例を提示しながら進めるため、描けない学生はいなかった。次に境界を挟んでの地質の分布の把握になるが、ここでつまづく学生が多い。

（1）分布についての質問

作図結果（第4図）から、地層境界線は図の中央にほぼ南北に縦断するために、2つの地層は東西に分かれて分布することになる。そこで、「東に分布するのは、上の地層（砂岩層）か、下の地層（泥岩層）か」という質問に対する答えを考えさせ、挙手によって回答を調べた。

正解は「東に分布するのは上の層」であるが、それぞれのクラスにおいて、上の層と答えたのは0～3名であり、ほとんどの学生は下の層と答えた。挙手の結果の記録はしておらず、1クラスの人数が年度によって異なっているが、総じて、正答数は1割であった。

平成26年度において、高等学校において地学の学習をしたものを先に挙手により確認した。その後に質問をした結果、正答したものの中に地学の学習をしたと挙手したものが含まれていた。

（2）誤答の理由

誤答であった学生に対し、なぜそのように考えたのか理由を聞いたところ、次のようなものがあった（箇条書き文中のカッコは筆者が注として補足したものである）。

【図に描いた線や数値を誤解したもの】

- 地層の等高線が東に向かって50m、40m、30mと下がっているのに、右側が泥岩層（下の地層）だと思った。
- 地層等高線の数字だけで判断してしまい、50mより左が上、右が下とってしまったので、右側が泥（下の地層）だと思ってしまった。
- 地層等高線の高さに騙されて、左の方が上だと勝手に思い込んでしまった。
- 地層等高線が左の方が高くなっていたので、左が砂（上の地層）だと思ってしまった。

【問題に使った地層の種類による思い込みによるもの】

- 泥のほうが高く積みあがりそうなイメージがあり、右のほうが高かったから。
- 上にかぶさっている方が軽い砂なのではないかと思ったからです。
- 重いものが下にあると思い込んでいるから。

【質問自身を理解していない、あるいは考えていないもの】

- 境界線の上部に何があるか分かっておらず適当に答えてしまいました。
- 左のほうが高く見えたからという感想で論理的な理由はありません。

以上が誤答の理由として挙げられたものである。正答をした中にも、地層の境界の傾斜を考えていなかったものがいた。偶然、正答となった理由は次のようなものであった。

- 東のほう（地形の標高が）高いので、上になるので砂岩（上の地層）だと思いました。

4. 3次元地質図作成ソフトの利用

地質図を作図した後、平成23年以前はコンピュータによる表示は行っていなかった。境界面に対する説明を繰り返すことや、板を使って境界と地層の位置関係を説明することによって、理解を進めることはできた。しかし、地質図を立体的に可視化したものではなかったため、その理解速度は遅く、説明に多くの時間を割かなければならなかった。

そこで、平成24年度より、コンピュータを利用し、3次元地質図を提示することとした。

（1）ソフトウェア

筆者は日本情報地質学会（2000）の講習会で利用するためにTerramod2000とGeomodel2000というプログラムを作成した。それらはMicrosoft Windows環境で動作するものであり、Terramod2000は曲面を推定できるプログラム、Geomodel2000は地質図を地表面と側面で描くことで3次元表示できるプログラムである。それら2つのプログラム開発環境はMicrosoft Visual Basic Ver.6である。

本研究では、Terramod2000を改編したTerramod-BS（坂本ほか, 2012）とGeomodel2000を利用した。OS環境はWindows VistaおよびWindows 7である。Terramod-BSおよびGeomodel2000ともにパッケージ化されており、開発環境がなくとも動作させることが可能である。

（2）3次元地質図を描く準備（データの作成）

（2 - a）地形面のデータ

授業で問題として与えた地形のデータを作成するために、地形図から等高線にそって標高を 269 点で読み取り、Terramod-BS を用いて地形面をコンピュータで用いることができる格子状のデータとして再現した。

（2 - b）地層の境界面のデータ

走向・傾斜は境界面の一部分を示している。境界面が平面であると仮定すれば、1 つの走向・傾斜データがあれば推定できる。Terramod-BS に走向・傾斜のデータを入力して、地層の境界面を格子データとして推定した。

（3）3 次元地質図の描画

Geomodel2000 は、地形面の格子データ、地層の境界面の格子データ、境界に対して上下にある地層（表示するときの色）、表示するときの視点位置、を入力する。地質図を描画する基本原理は次の通りである。

表示させる空間に 3 次元の格子を構成する。それぞれの格子点について、地層の境界面よりも上にあれば上の地層、下にあれば下の地層であると判別し、記録する。その記録結果を、地形面および側面について、地層に与えられた色で表現すれば 3 次元地質図となる。

（4）PowerPoint でのアニメーション効果

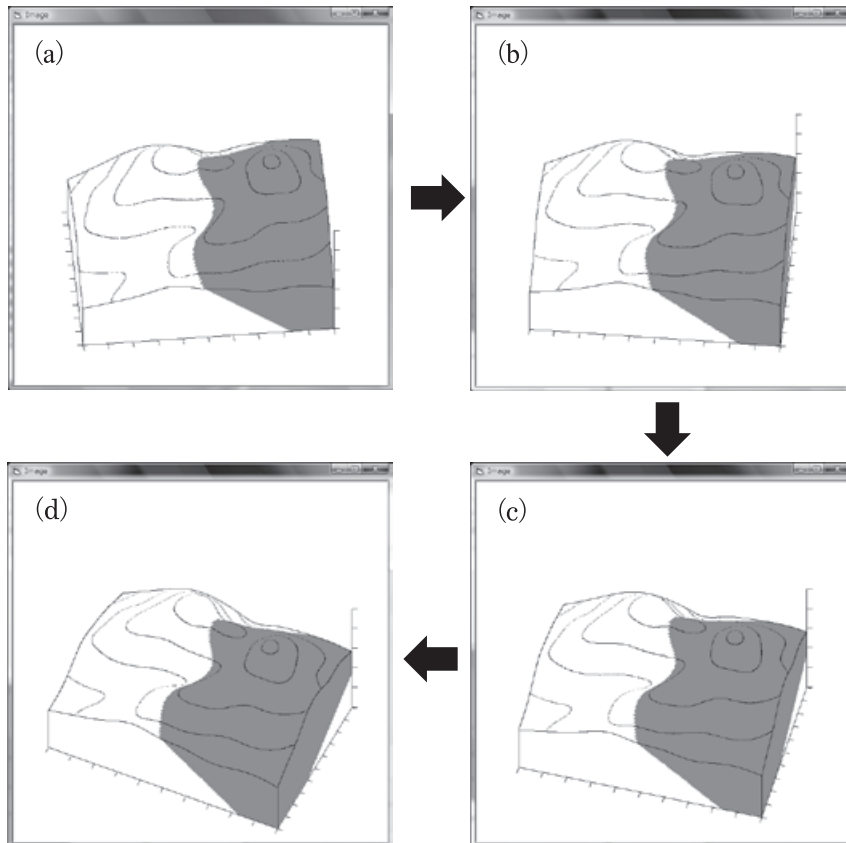
3 次元表示したものであっても、止まっていれば一方向からの描画だけになり、立体的なものとして認識されにくい。そこで、連続的に視点を変えながら見ることにした。Geomodel2000 にはリアルタイムに図を動かす機能はないために、プレゼンテーションソフトである Microsoft PowerPoint を利用した。

Geomodel2000 で対象地域を斜め上から俯瞰して数枚の地質図を描く。今回は地層の上下の分布構造がわかりやすい側面を表示できるような角度を選んで、方位を 10 度ずつ変えながら、図を 7 枚描いた（そのうち 4 枚を第 5 図に示す）。それらの図を PowerPoint のスライドに 1 枚ずつ貼り付け、スライドを 2 秒ずつで自動的に切り替わるようにして、対象地域を斜めから見渡すようなアニメーション効果を出した。

間に少しの間隔をとり、2 回繰り返すようにした。すべてのスライドを見終わるまでの長さは 1 分間である。

（5）3 次元地質図を見た後の反応

アニメーションスライドを見た後に、最初と同じ「東に分布するのは、上の地層（砂岩層）か、下の地層（泥岩層）か」という質問をして挙手により回答を確認したところ、半数以上の正答（東には砂岩（上の層）が分布する）があった。クラス全員とまではいかなかったが、クラスによっては挙手していないものが 1 ～ 2 名だけというところもあった。



第5図 Geomodel2000で描いた地質図の一例

視点の伏角（水平から下向き）を50度に固定して、北から時計回りで測った視点方位を195度から135度まで10度ずつ変更した7枚の図をアニメーション的に動かして3次元空間としての視認性を高めた。図は南側から眺めているので、上位となる灰色の部分が東に分布していることがわかる。この図では7枚のうち、(a)185度、(b)175度、(c)165度、(d)155度の視点方位のものを示す。

5. 考察

地質図は地形上にどのように地層が分布しているかを表している。さらに理解が進むと地形等高線と地層境界線の形状より地層の境界面の傾きが推定できるようになり、地下における地層の分布状況を推定することができるものである。

地質図に対する理解とは、対象地域の地表面の分布だけでなく、地下の様子も含めて3次元空間として認識することにある。この理解を助けるための研究はこれまでも行われている。

(1) 模型の利用

芝原ほか（2013）による砂絵教材は小学生にも作製可能な教材である。山体の側面を描いたと

ころに、地質体ごとに色砂を使って塗り分けをする。完成した側面地質図は一方向からの平面的なものであるが、それとともにコンピュータで描いた地表面の 3 次元地質図をリアルタイムに移動させて見ることによって、3 次元的広がり疑似体験させている。

学年が上がれば作製できる模型も高度なものを扱うことができる。岡山教育センター（2003）では、画用紙を使ってブロック模型を作製し、積み重ねることによって全体の地質構造を再現している。そのことによって、地質体としての空間分布およびそれらの間にできる境界を理解することができる。さらにその後、コンピュータで地表面の 3 次元地質図を見ることで理解を深めている。実物とコンピュータの映像という組み合わせの点では芝原ほか（2013）と同じであるが、模型が立体的になり、模型そのものによって地層の形状を理解することができる。

また、木川田（2009）では、透明なアクリル板を用いて模型を作り、内部構造を見ることができるような工夫をしている。これも平面的な地質図とともに、3 次元理解を促すために実物を使った研究である。

3 次元の模型はさまざまな角度から眺めることができるため、空間を把握するものとして適している。しかしながら、模型は作製のためにまとまった時間が必要であり、筆者がおこなっている時間が短い授業での採用は難しい。さらに、学生数が多くなると十分な数を準備するためにはかなりの労力を必要とし、コストもかかる。

（2）コンピュータによる 3 次元地質図の表示

先述した岡山県教育センター（2003）や芝原ほか（2014）で利用されたコンピュータによる地質図はカシミール 3D（<http://www.kashmir3d.com/>）を利用して地形に地質図を重ね合わせたものである。リアルタイムに視点や方位を変えることによって、地形の 3 次元的な広がりとともに色分けされた地質の分布を認識しやすくしている。しかしながら、その表示は地表面に限られている。色分けされて表現されたそれぞれの地層の重なりが地下でどのように続いているのか、その上下関係を表現することはできない。模型によって地層の広がりや上下関係を理解させた後の提示であるために、地表面だけの分布であっても地下の様子が想起できるものと考えられる。地質構造を理解するために、地層の上下関係を知ることは最低限必要な情報である。断面図はそれが直接的にわかりやすく表現されているがゆえに、地質を初めて学習する小学校の教科書にも掲載されていると推察される。上下関係だけでなく、地層の広がりを考えるときには境界面の形状も必要になる。境界面の形状およびそれを挟んで上下それぞれにどの地層が分布しているのかわかれば、地質構造の 3 次元的な全体像となる。

本論で提示したコンピュータでの表示は、地表面と側面（の断面）において、境界面の形状、上下の分布などもわかる 3 次元地質図であった。その表示によって地層の広がりを理解することができ、スライドを見てすぐに質問に対する正答が導くことができたものと考えられる。

現在、地質コンサルタント業界ではコンピュータによって 3 次元地質図を表現するのが通例となっている。高機能なものが多く、地層を 1 枚 1 枚重ねたり、半透明にして奥の方まで見通せる

ようにしたり、地形を削って地下の様子を見せたりするなど、さまざまな表現が試みられている。それらのシステムを本論の授業で利用することはできなかったが、今後、それらを利用することができるようになれば、さらに地質図の理解を促進できると考えられる。

6. おわりに

「理科実験・観察基礎論」の地質学分野の1回の授業において、地質図を描画した後に、コンピュータシステムを利用した地質図の立体表現を提示した。地表面の分布だけでなく地層の上下関係を示すことができたため、地質図として描いたものに対する理解を早めることが確かめられた。今後、コンピュータによる3次元表現は技術の発展とともに進化していく可能性を秘めているため、地質構造においてもさらに理解しやすい表現を工夫できるものと考えられる。

近年ではディスプレイの中に映し出すだけでなく、3-Dプリンタによって模型を作製することが可能になった。仮想的な空間への出力だけでなく、手に取れる模型として出力される。手作業で作製するのが難しい複雑な地質構造の模型も手軽に作製でき、地質構造を理解する方法の研究がさらに進むものと期待される。

最後に、拙文を精読いただいた査読者より、多くの有益なご意見をいただきました。ここに記して感謝いたします。

〔文献〕

- ・岡本 隆・堀 利栄（2003）地質図学演習 古今書院
- ・岡山県教育センター（2003）地学的な時間と空間の感覚を育てるための指導の工夫 研究紀要、第244号
- ・木川田敏晴（2009）地質図における理解力向上のための教材開発 北海道立教育研究所附属理科教育センター 研究紀要、第21号、pp.72-75
- ・坂本正徳・野々垣 進・升本眞二（2012）Terramod-BS：BS-Horizonを組み込んだ地層の境界面推定・表示 Visual Basicプログラム 情報地質、Vol.23、No.4、pp.169-178
- ・芝原暁彦・住田達哉・加藤碩一・大和田 朗・佐藤卓見（2013）3D模型と砂絵で楽しむ筑波山のジオー地質図を立体的に理解するための砂絵教材の開発とイベントでの活用－ GSJ地質ニュース、Vol.2、No.9、pp.279-281
- ・日本情報地質学会（2000）「空間情報部門」技術講習会テキスト（執筆者：塩野清治・升本眞二・坂本正徳）

（さかもとまさのり 國學院大學人間開発学部初等教育学科教授）