

アナログ教材を併用した地質図学実習

高橋雅紀¹⁾

1. はじめに

地質学の基本は地質図です。地学普及イベントなどでカラフルな地質図を展示すると、ほとんど初めて目にする地図なので、「この地図は何を表しているのだろうか?」と興味を持ってくださる方もいます。そんなときでも、しばらくは遠くから様子をみていて、どうにも解説して欲しい様子がうかがえてから近づいて質問を受けます。まずは何かに興味を抱き、自身の目でじっくり観察して対象との会話を試みる。地質図に限らず、身の回りの世界に対して能動的に関わる姿勢にならない限り、こちらがいくら説明しても耳にすら届きません。地学普及活動における最初のハードルは、こちら側にあるのではなく、あちら側にあるのかもしれない。

さて、最初のハードルを越えられた方に地質図の説明を求められると、さらに高いハードルが待っています。「地質図は植生や表土を剥がし、その下に存在している地層や岩石の分布を表した地図です。」との説明まではいいのですが、実際の地質図から読み取れる様々な情報を解説し出したとたん、ハードルではなく巨大な壁にぶつかってしまいます(第1図)。専門用語の置き換えなどはもってのほか。如何に感覚的に理解してもらうか、普及イベントに参加し始めた頃は、「どのように説明したらいいのか、何があったら理解してもらえるのか。」と自問する日々でした。

考えてみれば当たり前です。地球の表層は、さまざまな

地層や岩石によって構成されています。地層や岩石が三次元に広がっているのです。しかも、地層や岩石は地球史のある時点で形成されました。すなわち、時間の情報が加算されます。言い換えるならば、四次元の情報です。しかも、地層や岩石は、それらが形成されて以降の歴史を経てきました。褶曲したり断層によって分断されたり、隆起して浸食されたり後の火成活動によって変成作用を被ったりと、それらの重ね合わさった結果を、地表に沿ってばっさり切った断面が地質図です。四次元の情報を無理矢理二次元で表現しているのですから、地質図を読み解くことが簡単なはずはありません。

とくに、やっかいなハードルがあります。地表は平面ではないのです。すなわち、地層や岩石の分布を湾曲した地形面に投影したものが地質図なのです。地形が平坦ならば、地質図も断面図と同様に理解しやすいかもしれません。例えば、水平に何層も重なった地層(地層境界は平面)が傾いた場合を考えてみましょう。ショートケーキをどんな方向にカットしても、切り口にはスポンジケーキとクリーム of 平行な縞模様が現れます。平面と平面の交線は直線になるからです。

ところが、仮に波形のナイフでショートケーキを斜めにカットしたら、断面にはどのような模様が現れるのでしょうか。断面は波型に湾曲した曲面なので、特別な場合を除いて湾曲した縞模様が現れます。曲面と平面の交線は、特別な場合を除いて曲線になるからです。さらに、曲面と曲面



第1図 理解することが難しい地質図(「2010 地質情報展みと」にて)。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

キーワード: アナログ模型, 地質図, 地学教育

の交線はもっと複雑になるでしょう。起伏のある地域に褶曲している地層が分布している場合がこのケースになります。そして、断層に分断され、別の力によって違う方向に押しつぶされ、マグマが貫入して・・・と実際の地質はますます複雑です。カラフルで人目を引く地質図を読み解くことが難しいのは当たり前なのです。

この複雑な地質図を、専門家以外の方に理解してもらうのはほとんど不可能でしょう。それでも、地学普及活動などで必死に説明するのは、地質が私たちの生活に密着している、私たちの生命と財産を守るためには必須の分野だからです。さらに、地質図を読み解くことができれば、100年に満たない人の一生において、数万年とか数百万年、さらには数億年に及ぶ地球のダイナミックな一回限りの歴史を垣間見ることができるのです。地質学は、間違いなく、知的好奇心をくすぐる学問なのです。

さて、前置きが長くなりました。地質学普及活動に対する思い入れを熱く語ってしまいましたが、実際の作業となると、亀の歩みと言うより葉の上を這うカタツムリのようなものです。それでも、前に進むしかありません。今回は、その試みのひとつを紹介しましょう。

2. 発泡スチロールを用いた三次元アナログ教材

まず、教材のテーマを決める必要があります。地質学の基本である地質図が難しいのは、湾曲した地層の境界線が何を意味しているのかが分からないことが、最も大きな原因でしょう。地質研究者は山や川を調査して、露出している地層の構造(傾いている方向や角度など)を調べます。地表のほとんどは表土や植生に覆われているので、地層は限られた露頭にしか露出していません。そのため、見えないところは地質図学という幾何学に基づいて作図することになります。具体的には、傾いている地層面と湾曲している地表面との交線(露頭線という)を作図して、見えない部分の地下に埋もれている地層の分布図を描くわけです。露頭線を作図して色を塗った地図が地質図です。つまり、地質図の基本は露頭線を作図することなので、このことを体験するための教材を作ってみましょう。

教育現場等で容易に活用できるように、材料費が安く前準備に手間がかからない教材を作ってみました。材料はホームセンター等で販売されている10cm角の立方体の発泡スチロールです。ひとつ30円ほどで、カットして2個の教材が作れますから、1個(一人分)が15円程度と非常に安価です。工具として発泡スチロールカッターとマジック、あとは、型にするためスチロール板があれば十分

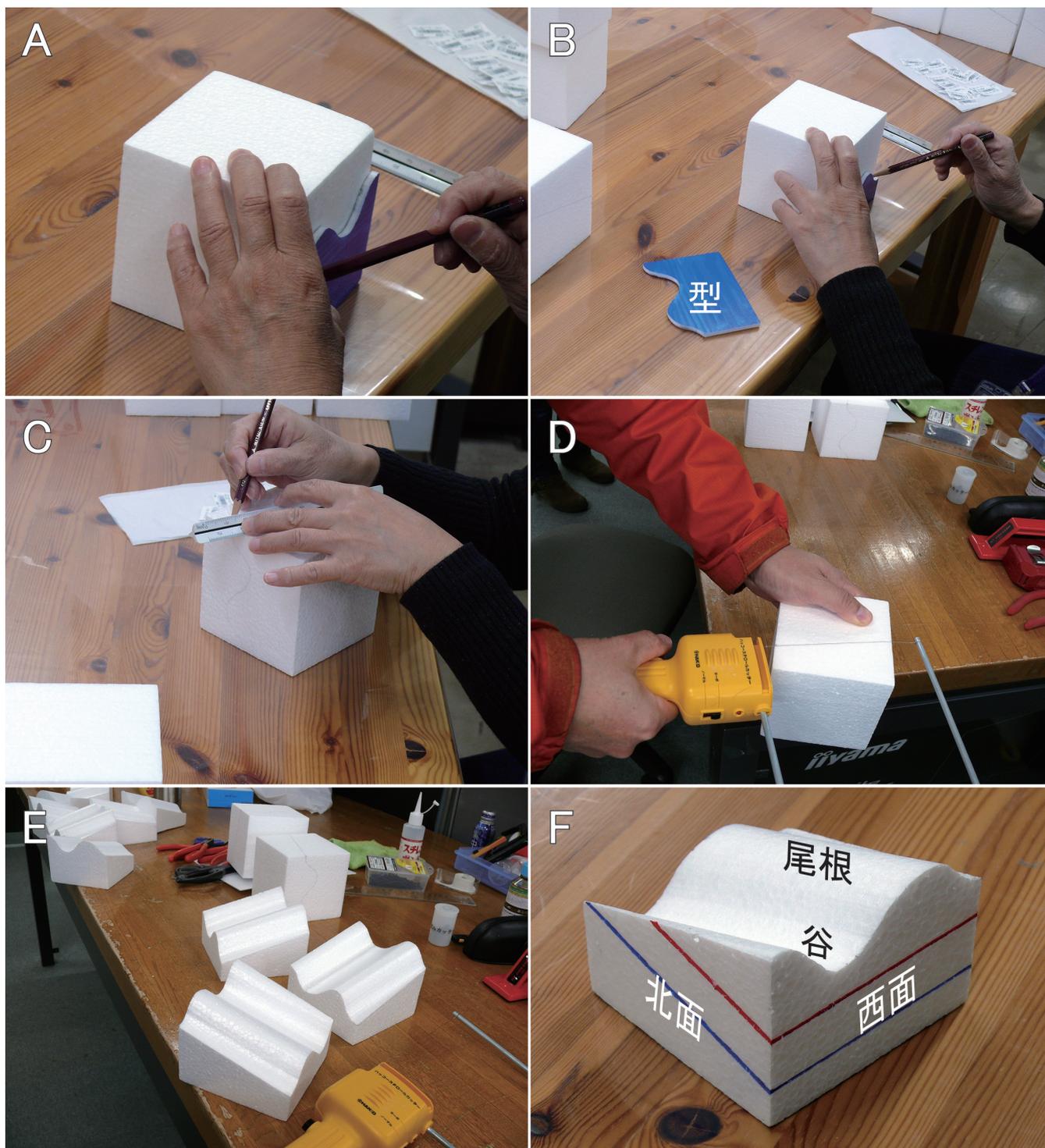
です。

まず、2種類の波形の型を使って、対面する2つの側面に地形断面を鉛筆で書き写します(第2図のA)。型は谷と尾根を再現するため、谷も尾根も傾斜しているようにするため2種類を用意します(第2図のB)。上手に作るとひとつの発泡スチロールの塊から、ほぼ同じ形の地形模型を切り取ることができます。波形の型が書き写せたら、それぞれの端点を定規で結べば地形の設計が完了(第2図のC)、あとは、スチロールカッターを用いて上手に切り取ります。

地形模型の製作で一番難しいのは、スチロールカッターによる切り取り作業です。コンセントにつないでスイッチを入れると電熱線が加熱し、発泡スチロールを溶かしながら切断します。このとき、鉛筆で描いた曲線に沿って、電熱線を平行に移動させながら切断します(第2図のD)。まず、発泡スチロールの側面に描いた直線と机のラインが平行になるように材料を机に押し当て、電熱線を平行移動させながら側面の曲線に沿って下げていきます。何度か繰り返せば、断面が滑らかな地形模型を切り取ることができるようになります(第2図のE)。

地形模型の切り抜き作業が終わったら、側面に赤と青のマジックで地層境界線を描きます。地層境界線の傾斜は第2図のFくらいがいいでしょう。尾根や谷の傾斜方向と反対側に傾斜するように描いた方が、最初の実習には適切と思います。このようにして、アナログ模型を使った地層境界線の描き方の実習用教材が完成しました。

さて、実習を始める前に、いくつか決めておいた方がいいことを説明しましょう。地図は一般的には上を北に合わせて描かれています。そこで、実習の際にみんなが同じ向きで模型を眺められるように、この地形模型も東西南北を決めておきましょう。私はいつも第2図のFの写真で、2色のマジック線が水平に描かれている面を西側に統一して使っています。したがって、傾斜している線が描かれている面は北側の面になります。すると、この地形模型は東西に延びた尾根と谷からなり、いずれも東に傾斜していることになります。一方、地層は西に傾斜しています。地層面と水平面との交線を走向(strike)といいます。この模型では地層は南北走向で西に20°くらいで傾斜していることになります。実は、図面を使った地質図学も同じ基準で作図作業を行うので、模型の地形や地層の向きも図面に合わせているのです。



第2図 発泡スチロールを使った地質図学体験用教材の作り方.

3. アナログ教材を用いた実習

早速、教材を用いた地学教育(地質図学実習)を行ってみましょう(第3図)。発泡スチロール製の地形模型は、側面に赤と青の地層境界線が直線で描かれています。ぐると一周まわって見れば、赤と青の地層面はいずれも平面で、傾斜方向も傾斜角も同じ(平行)であることが分かり

ます。地層は南北走向で西に傾斜していることを最初に確認してもらいます。

一方、湾曲した上面は地表面で、東に傾斜した尾根と谷があります。実際には、地質研究者は、水流によって表土が洗い流されている谷筋を調査して露出する地層を調べますが、ここでは実際には見えない側面(断面)に描かれている地層面をもとに、フリーハンドで露頭線を推定するこ



第3図 地質図学体験用教材を用いた露頭線作図体験の様子。A：地学オリンピック日本代表高校生たち，B：研究所の若手研究者を対象とした地質図学演習，C：茨城大学集中講義の際の実技，D：サイエンス・カフェ（第一回ジオ・サロン）でアナログ模型と格闘する一般の方々。

とになります。つまり、側面の赤と青の線を、上面の湾曲面に正しく描くよう指示します。

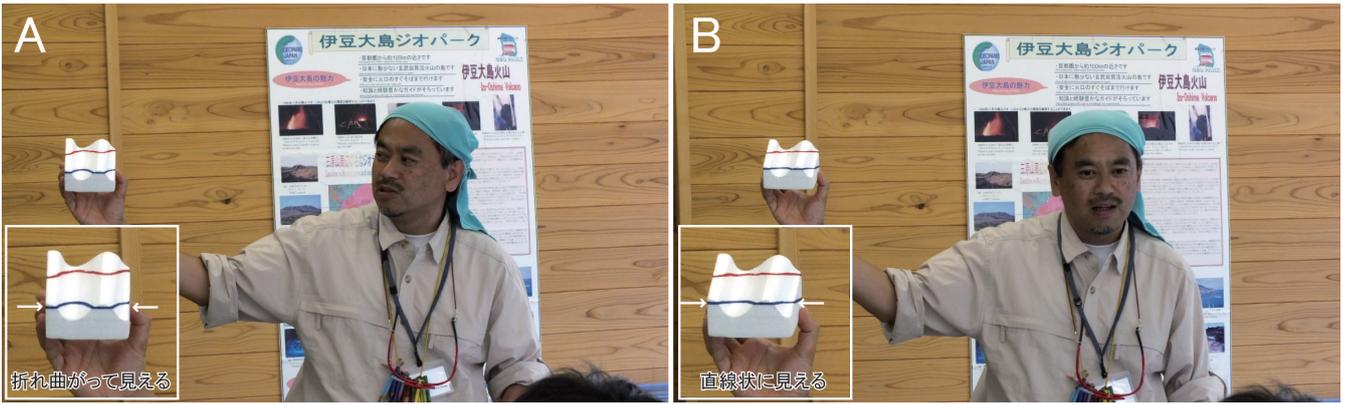
この実習は、最初は地球科学を専攻する理学部の学生や大学院生を対象とした集中講義で行いました。彼らは、一度は地質図学（幾何学）を習っていたようですが、模型を前に悪戦苦闘していました。「平面と曲面の交線は曲線になる。」と理屈では分かっているものの、その曲線をどのように描けばよいのか、なかなか手こずっていたようです。折角なので、研究所の若手研究者を集めた講義でも、このアナログ模型を配って露頭線の作図に挑戦してもらいました。大学で地質図学を学ばなかった地球物理系や地球化学系の研究者も、結構楽しみながら悪戦苦闘していました。それではと、一般市民を対象としたイベント（サイエンス・カフェ）でこの模型を配って挑戦してもらったところ、2時間のイベントの中で模型との格闘時間が最も盛り上がりました。つまり、アナログ模型を使った露頭線の作図実習は、学習ではなく体験型クイズであったわけです。

さて、早い人で5分、遅い人では20分近くも模型と格闘しますが、最後まで露頭線をきれいに描けない人も少なくありません。露頭線を描くことは平面（地層面）と曲面

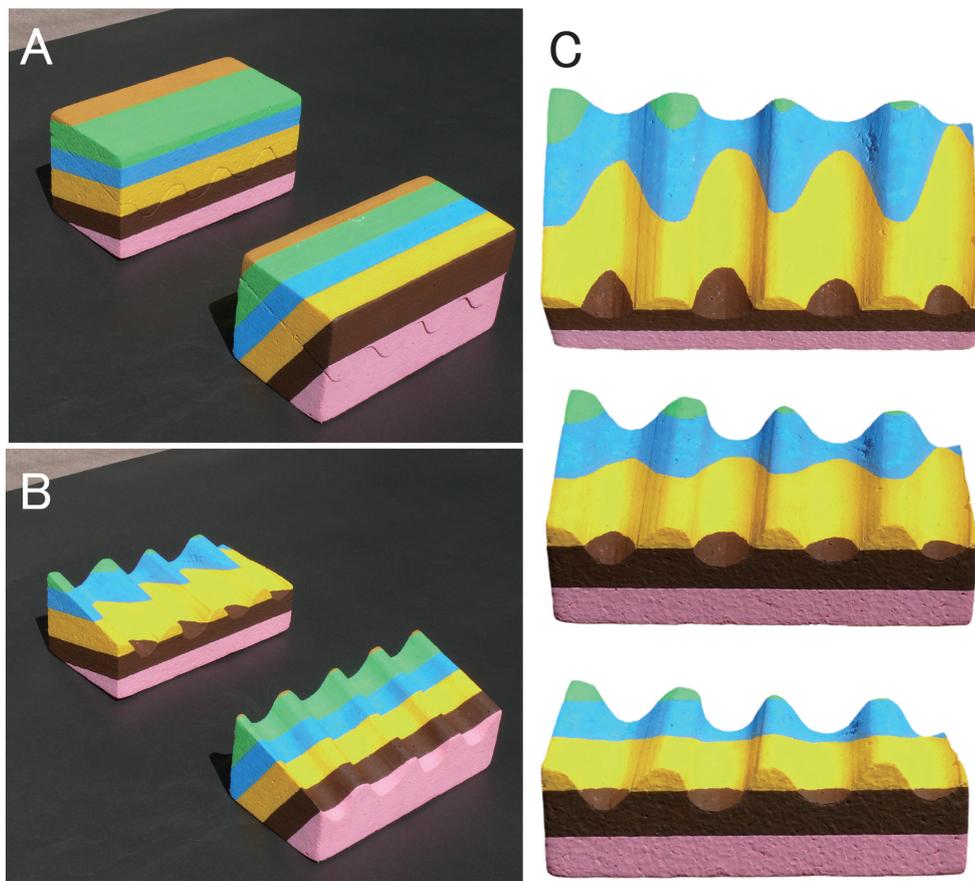
（地形面）の交線を描くこと、その交線は地表面（曲面）上では曲線（第4図のA）になりますが、その曲線は地層面（平面）上では直線（第4図のB）になるはずですが、そのことに気がつけば、露頭線をすばやくきれいに描くことができます。

具体的には、アナログ模型を片方の手に持って、できるだけ遠くなるように手を伸ばして観察します。つぎに、片目をつぶってもう片方の目で模型を観察し、適当に模型を動かしながら側面の赤線（ないし青線）が一直線になるように調整します。一直線に見えるその瞬間は、見ている片目が赤線（ないし青線）で表される地層面（平面）の中に位置していることになります。露頭線もこの平面の上に描かれるはずなので、もう片方の手に鉛筆を持って、一直線になるように模型の地表面をなぞっていけばいいわけです。あとは、マジックで滑らかになぞれば完成です。

ついでに、地層の傾斜が異なった場合の発泡スチロール模型も造ってみました（第5図）。同じ地形模型を2つ用意し、片方は傾斜が緩い場合（第5図のA上）、もう片方は傾斜が急な場合（第5図のA下）の模型です。対応する地層の厚さは2種類の模型で同じとし、地層境界線を描い



第4図 見る方向によって、湾曲具合が変わる露頭線。



第5図 地層の傾斜が緩い場合と急な場合のアナログ模型 (A, B)。地層面が平面の場合、ある方向から見ると地層の境界線（露頭線）が直線になる (C)。

た後、水性のアクリル絵の具で着色しました。ここで、それぞれの模型を分割すると傾斜した尾根と谷地形が現れ、湾曲した地形の表面には曲がりくねった地層が描かれています(第5図のB)。地層の傾斜が緩い場合、地表に現れた地層の境界線(露頭線)が大きく湾曲していますが、地層の傾斜が急な場合は湾曲具合が小さいことがわかります。

さらに極端なケースを考えてみましょう。地層が傾斜していない場合、すなわち水平な場合は、露頭線は等高線と平行になります。その模型を真上から見ると、地層は等高線と同じように、大きくうねっているはずですが、反対に、地層が90°傾斜している場合、つまり垂直な場合、露頭線は等高線等とは関係なくほとんど曲がりません。模型を上から見ると、地形の影響を受けずに直線状のきれいな縞模

様になるはずですが。

実は、地質研究者は地質図を見る際、まず等高線を見て大まかな地形を頭の中にイメージします。つぎに、地質図に表された地層の湾曲具合を見て、地層がどちら側に傾斜しているのか、地層の傾斜は緩いのか急なのかを判断しているのです。もし地表が平坦な水平面だとしたら、地層の傾斜が緩くても急でも、地質図は走向に平行な直線状の縞模様として表現されます。その結果、地質図を見ただけでは地層の傾斜が緩いのか急なのか分かりません。それどころか、地層がどちら側に傾斜しているのかすら、すぐには判断できないのです。地質研究者が瞬時に地質構造を理解できるように、地質図は湾曲した地形面に描きませんが、そのことが、地質研究者以外の方にはとって地質図が非常に難しくなってしまう原因なのです。

4. 幾何学に基づく地質図学実習

さて、ここまでは地質学のお勉強と言うよりは楽しい科学イベントですが、地質学を専門に学ぶ大学生や技術者には、より高度な地質図学実習を行っています(第6図)。「地層の走向と傾斜を使って地層面の等高線を描き、同じ標高の地形の等高線との交点を求め、それらを滑らかに結べば露頭線が作図出来ます。」といっても、これは結構高度な作業です。頭の中に傾斜した平面(地層面)と湾曲した地形面(曲面)をイメージし、その交線を想定しながら作図

するので、最初はなかなかうまくいきません。前述のアナログ地形模型を使った実習によって、ある程度の感覚的理解ができたあと、幾何学的作図作業を行う方が効果的であるのは、理解は頭の中だけでできるものではないことを物語っているのでしょう。まさに、「百聞は一見(一経験あるいは一体験)にしかず」といえます。

5. おわりに

とかく難解な地質学でも、アナログ模型を用いることにより、一般の方の地質に対する敷居を下げる効果だけでなく、地質を専門に学ぶ学生の指導においても効果的であると感じます。アナログ模型は毎回準備(製作)に手間がかかったり人数分の費用がかかるなど、初期投資が大きいデジタル教材とは異なる問題もあります。アナログ教材とデジタル教材にはそれぞれ一長一短あるので、目的に応じて使い分けることが大切でしょう。私一人で数百人を相手に指導することはできませんが、この記事を見て頂ければ、誰でも同じ模型を製作し、地学教育現場に活用することができると思います。100人の理科の先生が10個(300円)の材料で20人分の地形模型を製作して実習に活用して頂ければ、2,000人の子供達が楽しんでくれるでしょう。その結果、少しでも地質の敷居が下がり、地質学に対する関心が芽生えてくれたらと期待しています。



第6図 幾何学的に露頭線を作図して地質図を仕上げる地質図学実習の様子(地学オリンピック日本代表の高校生達)。

TAKAHASHI Masaki (2017) Practical training of geological mapping with analog teaching material.

(受付:2016年10月28日)