

地学教材の特性と開発の視点

林 慶一^o（甲南大学理工学部）

要約：地学では物理・化学・生物とは異なり，生徒に実際の事物・現象と直接対峙させて観察・実験をさせることが難しい場合が少なくない．このため，実際の事物・現象の代わりに，モデルを用いたり，専門家が収集した既存のデータから出発するという，他分野にはあまり見られない教材が多い．これら地学に特徴的な教材について，それらの利点・欠点と利用・開発に当たっての視点を述べる．

はじめに

本特別公開セッションでは，所属学会に対して従来の議論をふまえて新しい教材の具体的な提案が求められている．本論でも，筆者の専門である地質・古生物分野の教材を提案することも可能である．しかし，他の専門学会とは異なる性格の日本地学教育学会を代表する立場での発表内容としては適切ではないように思われた．そこで，他学会から新教材の提案が予定されていることをふまえて，日本地学教育学会としてのふさわしい関わり方として，地学教材の特性およびその利用・開発の視点について議論したい．

1．地学教育議論の問題点

まず最初に 地学教材について議論をする前に，地学（地球科学・宇宙科学）がどのような特性を持った学問分野であるかを考えたい．その理由は，地学教育の議論には次のような問題があるからである．

(1) 広すぎる地学のとらえ方

一つ目の問題は，物理・化学・生物と比べたとき，「地学」はその概念自体に，地学の研究者・教師の間でも，背景とする専門分野や個人的経験な

どによって大きな幅があるということである．このことは，それぞれの分野内での研究に止まる限りはそれほど問題にならないかも知れないが，地学全般にわたる教育のあり方を考えた時，地学の存立自体を危うくするからである．たとえば，地震など物理学に近い領域は物理教育の中に，岩石など化学に近い領域は化学教育に，古生物など生物学に近い領域は生物教育に，地形・地質など地理と関連のある領域は地理教育にそれぞれ分割編入すればよいという考え方はこれまでに何度も提案されている．実際にもこのような分割は可能であり，地学設立の機会が無かった国々では，このような分割状態が現在でも続いている．しかし，このような形では地学の特性が出せないばかりか，物理・化学・生物・地理の間で地学の重要な内容が欠落したり，扱われても軽視されて質的に貧弱になりやすい．地球をシステムとして統一的に考えることが将来に向かってますます必要になってきている現在，将来の教育の目指すべき方向ではない．このような逆戻りの議論を防ぐためにも，「地学」の存立を保証する独自の基本概念が地学教育では必要である．

「地学」の概念は，歴史的に見た場合にも大きな幅と変化があった．それは，地学関連の科学のめざましい発展を教育にいかに関与させるかという地学教育の努力の歴史でもあった．そこからは学ぶべきものがたくさんあると考えられ，「地学」の基本概念の考察には，歴史的な視点も欠かすことはできない．

(2) 蓄積のない議論

もう一つの問題として 教育の議論に関しては，科学者であってもしばしば個人的な経験と考え方に基づく見解に終始し，他者の見解や過去の諸見

解と比較した上で自己のオリジナルな見解を主張するという、科学的な議論の方法がとられていない場面が非常に多いということがある。地学教育の議論を繰り返すやその場限りの議論で終わらせるのではなく、研究や証拠を基盤とした議論にし、積み重ねて発展させていくには、現在と過去の多様な見解とそれらの歴史の変遷を振り返ることが不可欠である。とはいえ、この作業を一人一人が個人で行うとすれば、文献レビューだけでも非常に広い範囲に及ぶため膨大な時間と労力を費やさねばならない。そこで、次のような研究・文献によってこの困難を大幅に軽減することができる。

物理・化学・生物と並ぶ現在の姿の地学は、世界に先がけて日本で1947年に発足した。この前後の経緯を理解しておくことは「地学とは何か？」を考える上で極めて重要であるが、当時の事情は、小林(1962, 1979), 関(1982), 渡部(1983), 地学教育史委員会・渡部(1987)などに詳しくまとめられている。また、地学が成立した後の経緯については、学習指導要領の改訂など行政面から見た地学教育の歴史が、小林(1977a, b), 竹越(1993), 三輪(2001)に述べられている。本論の内容に直接関わる「地学とは何か？」というテーマに関しては、渡部(1967)などがあるが、その歴史については、馬場ほか(1994a)が戦後の学会誌、単行本、科学研究報告書などの文献を網羅してまとめており、詳しく知ることができる。同研究では、文献の引用・列挙に止まらず、それらの抄録も別途作成して(馬場ほか, 1994b), それまでに出されていたほとんどの見解の概要を整理し、それらの明示された資料に基づいて、時代的な特徴と変遷が明らかにされている。さらに、その背景についても国内・国外の学会・教育界・社会等の諸側面から分析されている。

2. 科学としての地学の特徴と地学教材の特徴

これらの「地学」の基本概念に関する研究をふまえて、現在の新しい地球観・宇宙観やそれをもたらした研究とその背後にある新しいパラダイム

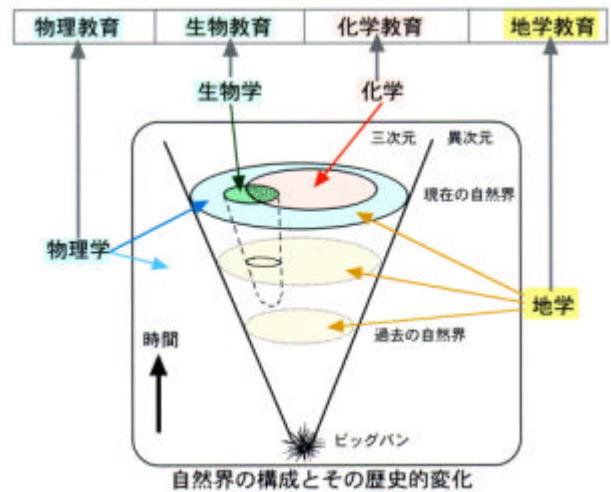


図1 自然界の中での地学の扱う領域と理科教育の中での地学境界の位置づけ(林(1996a)を一部改変)

下の枠の中の図は、時間軸を加えるために現在の三次元の自然界を二次元の円盤に落とし表している。地学は、物理学とともに現在の自然界全体を研究対象としている。しかし、要素還元の方法をとる物理学とは異なり総合的なシステムとして扱うという特徴を持っているところに特徴がある。また、過去の自然界を証拠に基づいて研究するという、他の分野にはほとんど見られない際だった特徴を持っている。これによって自然科学の中でも自然界の歴史を明らかにする重要な分野となっている。

も考慮して、「地学とは何か？」を改めて考え直したのが、松川・林(1994)及び林・松川(1994)である。その中で主張された「地学」は、図1の下部の枠の中に示されたようなものである。

自然科学の諸科学を研究対象から見ると、物理学が現在の自然界の中のあるあらゆる事物・現象を対象としているのに対して、化学はその中の物質を対象とし、生物はさらに狭い範囲の生物を対象としているという違いがあるといえる。この観点からは、地学は物理学と同様現在の自然界の全範囲を対象としているが、物理学が現在の事象を純粋になるまで還元してそこに見られる普遍的な法則や原理を解明しようとするのに対して、地学は事象を総合的にとらえて自然界のしくみを明らかにしようとする分野で、逆の方向を目指している。自然は部分から成り立っているが、部分の寄せ集めではなくシステムをなしているので、地学の視点がなければ自然は理解できない。これは地学の存在を主張できる大きな特徴である。

しかし、地学をより特徴付けるのは、自然界の

成り立ちの歴史を、自然界がそれ自身の中に残した記録に基づいて解明しようとするところにある。現在の自然は、宇宙と地球の歴史の中で、物理法則に従った必然的過程とともにおびただしい偶然の出来事を通して形成されてきたものである。この歴史を明らかにしなければ、現在の自然界を理解することは絶対にできない。したがって、この特徴は地学の存在を主張するのに最も効果的であると考えられる。

これらが現在の地学の考え方を代表するものといえるかどうかは、提唱者が判断することではないが、近年松井（2002）が地球や宇宙や生命から文明にまで至る長年の思索の結果、これに類似した図を提示したことは、この考え方が間違っただけではないことを示しているように思われる。

（1）時間と空間

この考え方に基づけば、教育分野としての地学は原子レベルのミクロの世界から広大な宇宙の構成までを扱い、また、それらが長大な時間を通して信じがたいほどの変化をすることを学ぶことができる、ロマンに満ちた魅力的な領域であると言える。実際にも、大学入試での科目の制約がなければ、高校の理科の選択では地学を選択したいという生徒が多いという話は現場の教育者からはよく聞かれるし、具体的に数値で示した根拠も林（1996b）が示している。

しかし一方で、この空間と時間のスケールの大きさは、実際の事象を実験室内で再現して観察・実験を行うことを、特に高校までの実験設備では不可能にしてしまっていることが多い。このため、魅力的なストーリーから興味を持たせることができたとしても、生徒自身が行う観察・実験からそのストーリーを実証的に組み立てようとする、大きな壁に突き当たることになる。

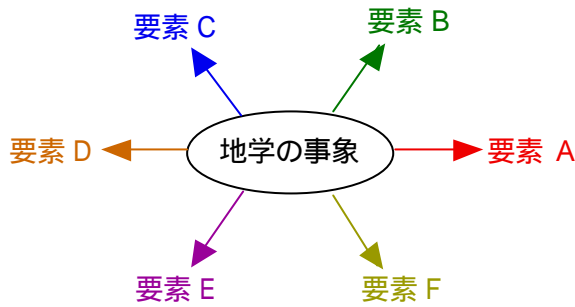
そこで 地学教育の多くの先人の努力によって、

これまでも様々な教材が、直接の観察・実験に代わるものとして考案され、広く使われてきた。筆者もこれらの教材をユーザーとして利用し、自身でも新たな教材の開発を行ってきた。ところが、これらの教材を使っているうちに、生徒たちがこれらの教材を通して理解を深められるという利点は大きいものの、一部に適切とは言い難い理解をしているケースもあることに気がついた。そして、それらの中には実際の事象を直接観察したり、直接実験していたならば明らかに生じなかったであろう、モデルやデータによる教材であるがために生じたと推定されるケースがかなりあることがわかった。本論ではこのような現象の分析・考察を通して、モデルやデータを用いた教材の特性を考察し、利用の段階だけでなく、開発の段階での工夫すべき点や注意点などを明らかにする。

なお、本研究の一部は日本堆積学会（林，2002a）および日本理科教育学会（林，2002b）で口頭発表し、林（2003）に一部記述した内容を発展させたものである。

（2）複合性

地学が対象とする事物・現象（以下、「事象」と省略）は、上記のように時間・空間のスケールが大きいというだけでなく、多くの要素が複雑に絡んだ複合的な事象であるというのがもう一つの特徴である。この複雑さ・複合性のために、一つの事象から観測や調査の方法によって異なる性質の要素がいくつも抽出されることになる（図2）。これらはそのいずれもが真実であると言えるが、一方でそれはその事象のある側面であって、それ単独ではその事象の本質あるいは全体像を理解することは難しいと言える。



それ故、実際の地学の研究では、これらのとらえやすい比較的単純な要素に一旦は分解して調べはするものの、同時に他の要素との関連を重視し、常に総合的な見方にフィードバックさせ続ける。このような地学分野の研究の特徴は、高校レベル

図2 地学の事象とそこから引き出される要素（林（2003）より引用）

地学の事象は一般に多くの要素から成り立っている。たとえば「地震」という現象は、伝統的には震度、マグニチュードのようなスカラーで表される要素や震源のような座標値で表される要素、さらに地震計の記録に残される地震波のような時系列のデータなど、様々な要素から成り立っている。

しかし最近では、震源よりも震源域を重視することで地下の断層面の面積との関係でマグニチュードを説明するようになってきている例からも明らかのように、これらの要素は科学研究の進展によって、比重が変わったり、新しいものが加わることもあり、固定的なものではない。

の教育でも必要とされる。物理や化学の場合は、このようなフィードバックは研究段階では必要な場合もあるであろうが、少なくとも高校までの段階では全く出てこない。調べたい要素以外は極力分離・排除して、単一の要素に絞り込んで原理や法則を抽出して調べる。途中で分離された他の要素と合わせて改めて総合的に考えることはほとんど行われないうちでよい。

もし、総合化へのフィードバックを行わなければ、地学の事象を対象とした教材であっても、行き着くところは物理学・化学あるいは生物学であろう。この意味で、木村（2003）が指摘したように、地学は物理学・化学・生物とは並列関係にはないというのが正しい。（ただし、自然史を研究している筆者には、生物学のかなりの領域もまた、物理学・化学と並列ではないように見える。）

ところで、このようなフィードバックは、実物教材の場合には、図2の要素すべてが視認できるかどうかは別として目前に実在し、普通はそのうちのいくつかは認識できるので、総合的に考えることの必要性は自明か、それほどでなくても容易に理解される。仮に当面はいくつかの要素に焦点を当てて調べるとしても、他の要素をいずれ合わせて考えなければ、その事象を本当に理解することにはならないだろうということが生徒や教師にも感覚的にも分かる。しかし、次に述べるモデル教材やデータ教材では、これらの要素の一部あるいは多くが見えなくなってしまうため、大きな危険が潜んでいる。モデル教材とデータ教材は、林（2003）で明らかにされたように実際の事象との関係が大きく異なるので、以下では分けて議論する。

2. モデル教材の特性と開発の視点

モデル教材とは、実際には観察・実験の難しい事象を、別物で模して再現した教材であると定義できる。

(1) モデル教材の特性

モデル教材の利点は、空間・時間スケールを縮小したり、視覚的にとらえやすくすることで、事象の本質的な部分を把握しやすくなるというところにある。その反面、実物にはなくてモデルだけが持つ要素が、教師と児童・生徒に様々な誤解を生み出す危険性がある。

歌代・海野（1982）や小林・恩藤（1988）などの実験書や教科書から、モデル教材に分類できるものをいくつか挙げたのが表1である。

ここでは、広く知られている「マグマからできる火成岩」の実験を例として取り上げて、モデル教材の利点と欠点を具体的に示す。この実験は、プレパラート上に置いたサリチル酸フェニルをアルコールランプ等で加熱して融解させ、それが冷えていく過程で結晶が鮮やかに晶出・成長する様子を肉眼または顕微鏡下で観察するものとして従

来から広く知られている。しかし、サリチル酸フェニルは親油性であり、後処理や顕微鏡への付着などの問題もあり、ここでは水溶性のチオ硫酸ナトリウムを用いた例を示す(図3)。この実験は、マグマの冷却に伴う鉱物の晶出・成長の過程を理解

表 1 種々のモデル実験における実際の事象とモデルの要素
より詳細な実験方法・モデルの素材等については各実験書・教科書を参照。

させるのには優れた教材である。また、白熱電球などを用いて冷却速度を遅くして、できる結晶の大きさが大きくなる様子などを観察させることで、火山岩と深成岩の組織の違いの原因を推測させるアナロジーとしても極めて効果的な実験である。

実験内容	実際の事象	モデル
堆積実験(デルタ)	海洋, 砂, 泥	水槽, 砂, 泥
褶曲実験	地層	工作用粘土など
断層実験	断層	切断された素材
化石のレプリカ	化石	石膏
噴火のモデル実験(熔岩ドーム)	粘性の大きいマグマ	砂糖に濃硫酸
マグマからできる火成岩	マグマ, 鉱物, 火成岩	サリチル酸フェニル水溶液, 同結晶
海陸風	陸, 海, 空気	砂, 水, 空気
前線	寒気, 暖気	水, 油
フーコー振り子	地球, 振り子	回転台, 振り子

しかし、融解したチオ硫酸ナトリウムの液体が一定の融点で同じチオ硫酸ナトリウムの固体になっていくこの過程は、マグマの中からマグマとは異なる成分の鉱物が晶出し、その結果マグマの性質が変化し、それがさらに晶出する鉱物の種類を変えていく過程とは大きく異なる。このマグマの結晶分化作用を理解している教師であれば、もちろんこのモデルの有効性とともに関界や欠点も理解できるから、適切な利用の仕方・配慮が可能であろう。また、結晶分化作用を学習する高校地学でこの実験を行う場合は、生徒も限られた側面でのアナロジーとしてとらえることが可能である。しかし、結晶分化作用を全く学習しない小・中学校でこの実験を行う場合(実際はほとんど中学校



で行われているようである)は、高校の場合以上に教師はモデルと実際の違いを意識して、そのことを生徒に伝わるよう配慮する必要があるはずである。ところが、現在の小・中学校では理科教員であっても高校で地学を選択していない人が大部

図 3 スライドガラス上で結晶させたチオ硫酸ナトリウムの結晶を偏光顕微鏡で観察したもの
写真右側は、周辺部であるため急冷されて小さい結晶となる。写真左側は、内部でゆっくり冷えていくため大きい結晶となる。実際にはこれらの結晶のできていく様子が、鏡下で1? 2分の間に観察できる。

分である。大学でも教員養成系の学部では、教職科目を重視し専門科目を削減する傾向が強まっているため、このような高校地学の内容の補充をすることすら難しくなっている。このような事情から結晶分化作用という概念を教える側も持っていないため、火成岩の生成メカニズムについて、本当の現象を理解するためのはずの実験を通して、逆に本質的な誤りを含んだ理解が広がることになっている。

(2) モデル教材の利用と開発の視点

モデル教材は、実際の事象との類似性が高いことが要求されるが、それは図2に示した実際の事象の A? F の要素とできるだけ多くの要素をモデルが共有しているということである。実物にはあるにもかかわらずモデルに欠けている要素は、その存在をモデルを用いて教えることは原理的に不可能である。このような場合、開発者はそのモデルにはどのような要素が欠けているかを明確に述

べた注意を利用解説書につけるべきである。これは改めて書くほどのことでもないように思われるが、筆者が実際に市販されている実験教具のマニュアルや実験書の解説で確認したところ、利点ばかりが強調され（最近では他に安全に対する配慮も充実されているが）、これらの点がほとんどふれられていないことが判明した。特に小・中学校では、上記のように教員も実際の事象をきちんと観察・調査した経験がないことも多いので、この説明がない場合、先生もモデルには含まれていない要素があることを知らないまま、生徒と同様にモデルを実物と同一視して単純な現象と見なしてしまう危険がある。

一方で、モデルは実際の事象とは異なるがそれ自体が一つの紛れもない実物であるので、実際の事象には見られない要素をモデルは持っている。しかし、生徒にはこれを判別できない場合も多く、モデルだけに見られた現象を実物でも同じように起こっていると見なしてしまうことがある。モデルの最大の利点である類推機能によって、結果的にモデルの含んでいる誤りがそのまま、誤りを含む概念を形成することにつながる。これについても、生徒だけでなく、実際の事象になじみのない教師の場合でも起こる。これを防止するためには、開発者はやはり利用解説書で誤解を招き易いところ、つまりモデルの欠点について注意を喚起すべきである。

このような利用時の問題の議論をふまえると、予めモデル教材の開発の過程で、誤概念の形成の原因となるようなモデルのみが持っている要素をできるだけ取り除き、モデルに欠けている要素を可能な限り取り入れていくことがより根本的な解決になることが分かる。モデル教材の開発では、教えるのに困難を感じた要素をモデル化することから出発するため、それが成功すると教材化も完成したと考えやすい。しかし、モデル化に成功した要素以外の他の要素についても引き続き開発を継続し、可能な限りモデルの要素を実際の事象の要素に近づける工夫が望まれる。このような工夫

が入念になされているほど優れたモデルになる。具体例として、Hannula(2003)が学部レベルでの科学の方法の教育用に、従来からある地下水のモデルを改良したものがある。これは実際の米国の乾燥地域の堆積物と同じ堆積物を用いて地下構造と地形の縮小模型を作り、これに水を浸み込ませることで実際には見ることのできない地下水の動態を示すもので、実際に近い優れたモデルとなっている。

しかし、モデルの要素の多くを実際の要素に近づけたからと言って、モデルの正当性が高まるとも言えない。残されたたった一つの要素がモデルとしての正当性を著しく低下させる場合もあるからである。ここでは具体的に示すため、上記のHannula(2003)と近い領域で、やはり実物と同じ素材を用いて作られた縮小モデルの例を挙げる。現在我が国の小学校で「流れる水のはたらき」を調べるために教科書等で広く例示されている、校庭に斜面を作って水を流す「流水実験」である。これは、実際の川と同じく砂や泥や礫でできた地面に、川と同じく水を流すということからモデルとしての正しさが当然のこのように受け入れられている。しかし、実際には蛇行する流れの外側と内側での流速の差は非常に小さく、実際の河川のような大きな差は認められない。その結果蛇行部の外側での河岸の侵食も、内側でのポイントバーの堆積もほとんど起こることはない。したがって、実際の河川で起こっている現象のモデルにはほとんどならない。これは林(2002b)が示したように、流体力学的なモデルの正当性を示すレイノルズ数に、数千? 数万倍の数値の差があり、全く異なる流れであるからである。実際、教育現場では教科書に書かれているような侵食や堆積が起こらず、教師と児童がこのモデルを前に当惑している現実も報告されている。学校現場ではこのような大がかりな実験はかなり熱心な先生でなければなかなか行わないようであるが、行ったことが無駄になるばかりか、生徒が当惑し、先生の技能の不足とも見られかねない。実際の事象とモデ

ルを科学的にきちんと比較することの大切さを示す例である。

この実験で大きな違いが出たのは、実際の河川では、水の流れは元々は重力の位置エネルギーにより下へ向かって流れ出したものであるが、勾配の極めて緩やかな蛇行河川に到達したころには、水の流れは位置エネルギーから転化した運動エネルギーが大きな割合を占めており、慣性の法則に沿って運動方向を保ち続けようとし、蛇行部で河岸にぶつかると反射して大きく方向が変わるのに対して、モデルでは位置エネルギーが直接水の流れを支配し、斜面を最短距離で流れ下ろうとするからである。この種の検証はある程度の専門知識を要するので、モデル教材の開発者は、それが自分の専門分野でない限りは、それぞれの分野の専門家に厳しい検証を依頼することが必要である。

さて、このような検証によりモデルに不適切な要素が含まれていることが明らかになった場合には、モデルの改良が必要である。この場合の改良とは、実際の事象の要素にモデルの要素をできるだけ近づけることであると言える。この流水実験の類の例として、Lillquist & Kinner (2002)による流水台を使った「地表の変化の実験」や、池田(2001)による「山地の解体と沖積扇状地の発達の実験」などがある。前者は流量、傾斜を変化させたり、植生の有無やダム建設で分水嶺付近の山地の地形の変化がどのように異なってくるかを理解させるために考案されたものである。後者は砂山にシャワーをかけ続けて山地を徐々に解体し、斜面を刻む谷の深さや河床勾配の変化、土石流による扇状地の形成の過程などを調べるために考案された研究用のモデルである。

モデルの改良が難しい場合もある。ここに示した河川のモデルは、専門家にとっても小さいスケールで行うことは難しいので、改良の方法はなさそうである。しかし、この場合でもそのモデルをもう一度観察してみると、予想外の他の現象のモデルとして転用できることもある。失敗したモデルと類似の現象が、自然界では別のところで起

こっているということはよくあるからである。小学校の流水実験のモデルは、このような検討をすると、重力がより直接的に運搬営力となっている土石流のモデルとしては有効であることに気づく。

3. データ教材の特性と開発の視点

データ教材という言葉はあまり一般的ではないので、ここでは、一過性の事象や長期にわたる観測・調査を必要とする事象あるいは高度な観測機器を必要とするため、専門家や研究期間によって観測されたデータを用いた教材、と定義する。

(1) データ教材の特性

海野(1982)、小林・恩藤(1988)や教科書などに一般的に見られる観察・実験から、データを基礎とした教材をいくつか挙げると表2のようになる。

表2 種々のデータ教材における利用されたデータと抜け落ちた要素

より詳細な実験方法・モデルの素材等については各実験書・教科書を参照。

実験内容	利用されたデータ	抜け落ちた要素
地質柱状図から地質断面図を作る	分類された岩相と層厚	分類基準として用いられた以外のすべての情報
氷期と間氷期の海岸線を求める	等高線、海水準変動量	その時代以降の侵食と堆積による地形の変化
P-S 時から地震の震源を求める	P-S 時、観測地の位置	地震断層、...
昭和新山の成長を調べる	三松ダイヤグラム	地形の変化以外の情報、熔岩の性質、...
ある期間の水準点変動から地殻変動を調べる	水準点の地理データ、変動量	地震時の変動、平時の変動、水平方向の運動
衛星画像から雲の動きを調べる	(赤外画像) 地表と雲の温度分布	雲の高度・厚さ
天気図を描く	場所、風向、風速、天気、気圧、気温、高・低気圧・前線	観測点間の詳細な情報
惑星の軌道を求める	惑星の黄径、日心黄径、年月日	ほとんどなし
HR 図を作る	絶対等級、スペクトル型	距離

ここでは、これらのうちから「P-S 時から地震の震源を求める」教材を例として取り上げて、データ教材の利点と欠点を具体的に示す。この実験は、観測地点の地震計に記録されたP-S時から大森公式を用いて震源距離を求め、これを半径とする地下半球を、3 地点から描き、震央と震源の深さを求めるという、周知の実習である。この実習は3 地点の地理データと各地点でのP-S時の数値さえあればできるにもかかわらず、ちょうど中・高校生程度の幾何学の知識を用いて地図の上に作図することで見事に震源を求められる魅力的な教材である。この実習は任意の地震について可能なので、地域に影響を与えた地震のデータを取り寄せて生徒の興味をより高めることのできるオリジナルの教材を作ることにもできる。また、いくつかの震源を組み合わせることで沈み込むプレートの様子や内陸の浅発地震の発生場所を確認する教材に発展させることもできる。たとえ観測データが自分自身で得たものでなくても、また正確な時刻を記録できなかった時代のやや古い求め方であったとしても、生徒に十分な達成感と理解を与えられる優れた教材である。

データ教材は、このように、直接の収集が難しい質の高い情報を、各方面から収集・保管して、比較的手軽に利用できる、という利点がある。また、データはモデルのように保管にスペースをあまり必要としないので、大量に保管でき、個々の生徒への配布も容易であるという利点もある。

しかし、ある種類のデータは多様な側面をもつ地学の事象のうち的一面だけを示すことが多く、少ない種類のデータをもとにした教材は偏った概念を生みやすい、という欠点がデータ教材にはある。この「震源を求める」実習は、地震波の発生源を点として求めるため、地震のエネルギーと震動がその一点で発生したというイメージをすべての生徒に非常に強く与えてしまう。また、このイメージは、震源から遠くなるほど地震の揺れは小さくなるという素朴な考え方にもつながる。しか

し、震源で何が起きているかについては1960年代半ばに断層運動であることが解明され、地震のエネルギーと震動は地震断層全体から生み出されるものであることが現在では明らかになってい

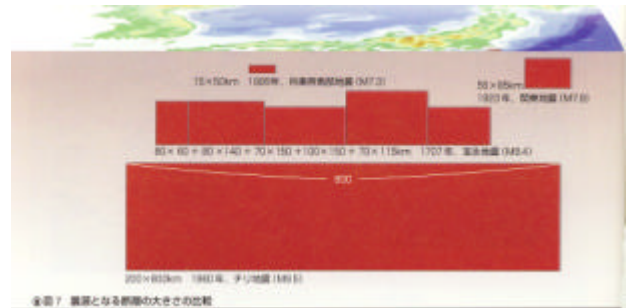


図4 地震の規模と断層の大きさ（東京書籍「地学」より引用）

る。そして、大きな被害を出す巨大地震になればこの断層の面積も巨大であり、その中の最初に破壊が起こった点である震源からの距離よりも、地震断層全体から見るの方が重要になってくる。図4の1995年兵庫県南部地震でも震源は地震断層全体から見れば南西に偏っていたし、1707年の宝永地震は実際にはいくつもの同時発生であったし、1960年のチリ地震では、地震断層は800kmも延びており震源の位置よりも地震断層の大きさと広がりの方が重要であることは明らかである。地震に関するこれからの教育では、震源とともに地震断層を教えることが重要となってくるであろう。

これは図2で言えば、要素AやBの面から見たのが震源であったとすると、地震断層は要素DやFの面からの見方であるということが出来る。実際はこの両方面から見ることで、事象そのものをより総合的に把握できることになる。

もっとも、地学の事象にも複合的ではなく極少数の要素のみから成り立っているものもあるので、そのような場合はその要素に関する少ない種類のデータのみでその事象をほぼ正しく把握することができる。表2に示した「惑星の軌道を求める」という実習は高校地学では一般的であるが、これは宇宙空間の中でほとんど万有引力だけで維持されている単純な運動であるので、観測年月日、惑星の黄径、日心黄径という3種のデータだけでほ

ば完全にその様子を説明することができる。少数の物理法則でほぼ説明できてしまう事象に関する教材にはこのようなものが比較的多いが、これらは物理教育の中に入れても違和感はあまり無いようにも見える。

(2) データ教材の利用と開発の視点

上記のように、データ教材の欠点は一面的なデータから偏った概念を生じる危険性が高いことにあるので、利用と開発に当たってはこの点に留意しなければならない。具体的には、目前の教材から一度離れて、事象そのものを多面的に見て、偏りの少ない概念を形成するには他にどのような見方が必要か、それには、どのような教材が必要かを検討する必要がある。その方法としては、別の見方を提供できる異なる種類のデータを加えることや、別の見方につながる映像やモデルなどの他の教材と組み合わせることなどが考えられる。

ここで例に挙げた地震については、岩石破壊実験の映像や、コンニャクによるモデル実験などを組み合わせるのが効果的である。ちなみに、日本地震学会がこれらを含めた教育用ビデオを作成し、広く配布したことは他の専門学会にとっても教育への貢献の方法として参考になる。

4. 中間的な性格の教材

地学教材を実物教材以外にモデル教材、データ教材と分類し、それぞれの代表的なものを表1, 2に示したが、実際にはこれら三者の中間的な性格を持つ教材も多い。図5はこれらを三角ダイアグラム上に示したものである。

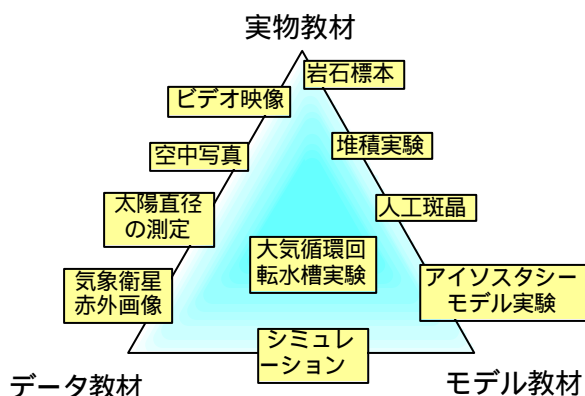


図5 実物教材・データ教材・モデル教材の中間

このダイアグラムの中に各教材を位置付けることで、教材の特性が明瞭となる。そして、中間的な教材には両極の教材の利点がともに含まれており、それらを補完的に用いることでよりすぐれた教材に改善することが可能となる。また、逆に両極の教材の限界や欠点も併せ持っていることになり、実際に教育現場で利用されることになった場合の不都合をある程度予見することもできる。この予見に基づいて、誤概念の形成や偏った見方が生じるのを防止するための事前の対策を考えることも可能となる。

たとえば、近年増えてきたコンピュータを用いたシミュレーション教材は、様々なデータを与えてコンピュータの中に作られたモデルを動かすものが多く、それは本論で主に議論したモデル教材とデータ教材の中間的なものと見なされる。これは、モデル教材の時間・空間スケールを縮小したり、視覚的にとらえやすくすることで、事象の本質的な部分を把握し易くするという利点と、データ教材の直接の収集が難しい質の高い情報を、各方面から大量に収集・保管して、比較的手軽に利用できるという利点の両方を併せ持っている。しかし、モデル教材のモデルに取り込めなかった要素が誤概念を作り出したり、データ教材の一面的な見方が偏った概念を作り出すという欠点も併せ持っている。コンピュータシミュレーションの場合は、主要な要素のみでモデルを構築し、副次的な要素は無視することが多い。しかし、現実には副次的と見られている要素が時として大きく全体をかえてしまう瞬間もある。

一般に教材の評価は、従来はその教材に関する高い専門的知識・能力を持った研究者・教師でなければ難しかった。しかし、図5の三角ダイアグラムの中に位置づけることによってはるかに容易になると考えられる。なお、この図を利用するためには、実物教材の利点と欠点も議論しておく必要がある。最後にこの点を若干補足しておく。

実物はそれ自体には誤りや偏りは含まれていない(これらは人の頭の中に生じるので)、どんな

扱い方も許されるということなどが利点である。しかし、生徒・児童を実物に対峙させてみると、それだけではほとんど誰も何もできない。地学の実物はあまりにも複雑で、どのような点に注目し、何から取りかかればよいのか、どのように取り組めばよいのかが分からないからである。したがって、実物を扱う場合は予め効果的な調べ方（研究方法）を、その原理とともに充分教えて理解させておく必要がある。たとえば、化石を調べる場合に、機能形態学の研究方法を教えることは有益と考えられるが、実際にそれが高校生に対しても十分可能であり、大きな効果が上がっていることが明らかにされている(林,1991;海野ほか,1993)。また、地層の野外観察でも、教師の側に実物を前にした時の自信がないことが、野外に実際に出かけることをためらわせているという報告もある(宮下,1999)が、東京学芸大学附属研究会理科部会世田谷地区(1995)が、小学校・中学校・高等学校の各レベルでの地層の調べ方とそれを支える知識・理論の必要性とその具体的な例を示している。現在の小・中学校理科の教科書観察実験の一般的な展開法となっている、調べ方も教えずに考えてみよう、調べてみようというやり方では、せっかくの実物を教材としてもそこから科学の本当の面白さも内容も理論もほとんど学ぶことはできない。これは、子供にとっても、研究者と同じように観察が理論に支えられているからである。

おわりに

地学教育創成期に見られた専門研究者の積極的な関わり(坪井,1961;小林,1962;藤本,1962;日本地学教育学会,1964;渡部,1967;竹内,1970など)が、本合同大会や学校科目「地学」関連学会協議会などに見られるように現在再び見られるようになってきている。これを発展・継続させて、教育制度面・学術面での具体的な成果にまで持っていくことが大切である。そのためには地学の内部での多様性は面白さの源でもあり生かしていかなければならないが、外に対しては地学としての

統一性がどうしてもある程度は必要である。本論はそのような統一性をより強固にしていくために、分野を超えて共有できる理念の議論と教材の共通性の議論を提供したものである。

また、専門の研究者が地学教育に関わる形態は、従来は多くの場合小・中・高校の教育内容・方法への間接的関与にとどまり、直接担当している大学・大学院の地学教育に関してはあまり積極的ではなかった。これは、日本地学教育学会の「地学教育」誌を見ると、大学教員の著者は1/3程度で、2003年の15論文で大学レベルの教育に関するものは2論文だけであることから言える。しかし、高等教育がより普及し大学の数の多い米国では、地学教育の雑誌である Journal of Geoscience Education 誌に掲載されている論文の著者の大多数が大学の教員であり、論文のほぼ半数は大学の学部・大学院レベルでの地学教育に関するカリキュラム開発や教材開発・評価法などに関するものである。このような日米の違いは、日本では高等学校以下の教員がより積極的に研究を行っているからでもあるが、日本の大学では科学研究のみで教育面での研究があまりされていないからという見方も可能である。しかし、学問の高度化と、大学の大量化の中で、研究とともにこれからは教育も重視しなければならなくなるのは、米国の大学の先例でも明らかであろう。

参考: 地学教育学会「地学教育」誌への投稿については学会の Web サイト <http://www.soc.nii.ac.jp/jsese/> を参照。

引用文献

- 池田 宏(2001):地形を見る目。古今書院。
歌代 勤・海野和二郎〔監修〕(1982):図解 実験観察大事典 地学。東京書籍。
海野和二郎, 上田誠也, 鎮西清高, 島崎邦彦, 中村保夫, 饒村 曜, 吉岡一男, 吉川 真, 林 慶一, 半田 孝, 藤本正樹, 茂木秀二, 吉永順一(1993-2003):地学 B(高等学校用文部省検定済み教科書)。東京書籍。
木村龍治(2003):地学教育に対する私見。地久惑星科学関連学会 2003 年合同大会特別公開セッション講演要旨・特別寄

- 稿, 2-3.
- 小林貞一(1962):日本地学教育学会の思い出と将来への私の希望. 地学教育, no. 48, 1.
- 小林貞一(1979):地学教育刷新の五年史(その1, その2およびその3). 地学教育, 35, 137-146; 161-198; 197-210.
- 小林 学(1977a):地学教育の将来像を求めて 高等学校における地学の成立と展望. 地学教育, 30, 9-14.
- 小林 学(1977b):高等学校地学の変遷とその総合化. 地学教育, 30, 73-82.
- 小林 学・恩藤知典・山際 隆〔編集〕(1988):地学観察実験ハンドブック. 朝倉書店.
- 関利一郎(1982):地学教育の発達小史. In 地学教育の新しい展開(関利一郎著), 1-28, 東洋館出版社.
- 竹内 均(1970):地学を興味深い学科にする方法. 地学教育, 23, 89-90.
- 竹越 智(1993):戦後の地学教育 1 小・中学校, 高等学校の地学教育. 日本の地質学 100 年(日本地質学会編著), 545-558.
- 地学教育史委員会・渡部景隆(1987):日本地学教育史の展望. 地学教育, 40, 97-117.
- 鎮西清高・島崎邦彦・木村龍治・縣 秀彦・池田 正, 大路樹生・加藤昌典・James J. Mori・田中義洋・坪田幸政・饒村 曜・林 慶一・半田 孝・前川寛和・吉岡一男・吉川 真(2003-2004):地学 (高等学校用文部省検定済み教科書). 東京書籍.
- 坪井忠二(1961):新しい地学の目標. 地学教育, no.39, 2
- 東京学芸大学附属研究会理科部会世田谷地区(1995):小学校・中学校・高等学校における地質の野外実習の指導と考察. 東京学芸大学附属学校研究紀要, 22, 99-123.
- 日本地学教育学会(1964):地学教育に関する懇談会における関係各分野の学者の地学教育に対する意見. 地学教育基礎講座 1, 20-22, ダイヤモンド社.
- 馬場勝良・松川正樹・藤井英一・宮下 治・林 慶一・相場博明・坪内秀樹・田中義洋・平山勝美(1994):地学は学校教育の中でどのように扱われてきたのか?地学教育の目標や理念の歴史?. 地学教育, 47, 21-30.
- 馬場勝良・松川正樹・藤井英一・宮下 治・林 慶一・相場博明・坪内秀樹・田中義洋・平山勝美(1994b):地学の目標や理念に関する文献と抄録. 地学教育, 47, 49-62.
- 林 慶一(1991):化石を用いた探究活動の方法?高校への機能形態学的考察法の導入?. 東京学芸大学附属学校研究紀要, 18, 177-191.
- 林 慶一・松川正樹(1994):地学教育の目標の具体化?小・中・高校と次第に拡大されていく自然観. 地学教育, 47, 3-9.
- 林 慶一(1996a):高校での必修は独立の物化生地か, 総合化か?. 地学教育, 49, 200-202.
- 林 慶一(1996b):大学入試における地学の扱われ方の現状と問題点. 地学雑誌, 105, 723-727.
- 林 慶一(2002a):小・中・高の理科教育における堆積学関連の内容とその問題点. 日本堆積学会 2002 年秋の研究集会講演要旨集, 7-10.
- 林 慶一(2002b):大学の基礎地学実験の課題とその改善への方向性. 平成 14 年度日本理科教育学会近畿支部大会講演要旨集, p. 48.
- 林 慶一(2003):理科教材・教具を利用するための視点-地学. In CD-ROM 版中学校理科教育実践講座 理論編 3 (編集代表:木谷要治ほか 3 名), ニチブン.
- 藤本治義(1962):高校理科地学の目標. 地学教育, no. 47, 2-3.
- 松井孝典(2002):宇宙から見る生命と文明. 日本放送出版協会.
- 松川正樹・林 慶一(1994):地学とはどのような科学か?地学教育の目標を考えるために?. 地学教育, 47, 31-42.
- 宮下 治(1999):地学野外実習の実施上の課題とその改善に向けて-東京都公立学校の実態調査から-. 地学教育, 52, 63-71.
- 三輪洋次(2001):中学校学習指導要領の変遷と改訂の要点. 地学教育, 54, 157-180.
- 渡部景隆(1967):初期中等教育に期待される地学の目標と系統. 地学教育, 20, 74-78.
- 渡部景隆(1983):地学の成立と地学教育の将来像-藤本名誉会長追悼の辞にかえて. 地学教育, 36, 25-37.
- Nannula, A. K. (2003): Revising geology labs o explicitly use the scientific method. Jour of Geoscience. Education, 51, 194-200
- Lillquist, D. K. & Kinner, W. P. (2002): Stream tables and watershed geomorphology education. Jour of Geoscience. Education, 50, 853-593.
-
- 林 慶一: kihayasi@konan-u.ac.jp