

粉体中に正断層モデルを形成する 組み立て式地層変形モデル実験装置の考案

山下 清次*・川村 教一*・金田 皓樹*

Formation of Normal Faults in Powder Utilizing the Prefabricated Experimental Apparatus for Educational Use

YAMASHITA, Seiji*; KAWAMURA, Norihito*; KANETA, Koki*

Abstract

The authors developed a prefabricated model experiment device of deformation in powder for educational use. The device consisted of model beds and basement blocks. When the dip angle of top plane of the basement blocks is set in 60 or 45 degrees, normal faults are well formed. When dip angle is set in 30 degree, Graben with fault scarps is made.

キーワード：地層変形，正断層，褶曲，モデル実験装置

Keywords: deformation of bed, normal fault, folding, model experiment device

1. はじめに

地層の変形の学習として、中学校理科「(2) 大地の成り立ちと変化 イ 地層の重なりと過去の様子」では、断層や褶曲に触れることとなっている(文部科学省, 2008b)。また、小学校理科第6学年の「(4) 土地のつくりと変化」の学習指導要領解説においては断層による土地の変化が挙げられている(文部科学省, 2008a)。川村・山下(2015)で述べたように、断層について正しく理解することは、地震の成因、断層地形と地震災害のリスクを考えさせる上で極めて重要であると考えられる。

さて、地層が変形する様子を観察することは一般に困難である。褶曲は過去の地殻変動の結果として観察できるものであるし、断層が形成される現象を観察することは震災に見舞われた土地を除いて、教師・児童生徒いずれも困難である。このため、褶曲や断層の学習に際し、野外学習地あるいは視聴覚教材による露頭での地質構造の観察にとどまることが大半であると考えられる。そのような状況を改善する一つの方法としてモデル実験教材の利用があるが、川村・山下(2015)は、モデル実験を地層の変形の学習において活用する際、児童生徒に対する地層変形概念獲得のための教材としての効果が不明確である点、実験装置を設計する際の入手可能な材料の制

限、既存のモデル実験装置は一般的に逆断層を形成するものであり、正断層は逆断層と比べ再現性が劣るという3つの課題を挙げた。これらのうち、2つ目の課題については、川村・山下(2015)において、安価な材料で製作する組み立て式実験装置を開発することにより解決を図った。組み立て式である実験装置の利点は、材料の入手が容易である点、実験装置の大きさを自由に設計できる点、実験後の清掃が容易である点である。

ところで、大学などにおける学生地学実験として、いわゆるサンドボックス実験(例えばHubbert, 1951)において正断層形成が行われているようで、実験の様子を撮影した動画ファイルを動画サイトにおいて閲覧することができる。筆者らは、このような実験動画のうち、米国のVirginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech) のMuseum of GeoscienceのWebサイトに掲載されているThe GeoModelsのモデル実験集(<http://www.outreach.geos.vt.edu/museum/TheGeoModels.html>)の、“Basin inversion with semi-cohesive fill”の実験(<https://www.youtube.com/watch?v=xfYzfX196rA>, 2015年11月18日閲覧)で、基盤岩上面の形状がV字形にされていることに注目した。筆者らは、この基盤岩の形状を川村・山下(2015)の実験装置に採用して実験したところ、モデル地層を変形させて正断層を再現性高く形成させることができた(山下・川村, 2015)。本報においてはこの実験について

* 秋田大学教育文化学部
Faculty of Education and Human Studies, Akita University

装置の工夫、方法、結果を詳述する。

2. 本実験装置の特徴

(1) 基本構造

実験装置の基本構造は、逆断層や褶曲（背斜）を再現する組み立て式モデル実験装置（川村・山下，2015；以下、圧縮型実験装置）とほぼ同様である。製作材料は本章で述べるが、おおよそ次のような構造である。

モデル地層（以下、地層）を実験装置の側面から観察するため、実験装置側面は透明な板（透明塩ビ板もしくはアクリル板）2枚で構成する。透明な板に挟まれる装置の底部および壁（片側のみ）には、角材をそれぞれ1本ずつ使用する。もう一方の壁は開放する点が、スライドケースを用いた実験装置（岡本，1999，2000）とは異なる。組み立ての際にはこれら角材を2枚の透明な側面板ではさみ、ダブルクリップあるいはC型クランプで固定する（図1）。このような基本構造は、横山（2012）による津波モデル実験装置の組み立て方法を、断層モデル実験装置に応用したものである（川村・山下，2015）。

(2) 圧縮型実験装置との変更点

1) 地層引張の仕組み

正断層を再現するためには地層を引張する必要があるため、圧縮型実験装置を引張型に変更する必要がある。しかし、非固結の地層を引張することは困難である。そこで、実験装置内の地層（非固結）の下位にあらかじめ水平方向に2分割した基盤岩層（固結層に相当）を設ける。これらの基盤岩層を左右に引き離すことにより、基盤岩層上位の地層が左右に引張される。

2) 堆積空間の拡大に伴う地層構成物質の補充

圧縮型実験装置では実験操作開始前の装置内部全体が堆積空間となりうるもので、実験では地層圧縮操作の前にあらかじめ地層を水平に堆積させておく。これに対し引張型の実験装置では、堆積空間はV字状にした基盤岩層上面の内側のみであり、比較的狭い。前項目で述べたように2分割した基盤岩層を左右に離すように操作すると、基盤岩上面の「V字」の内側の堆積空間は水平方向に拡大する。地層構成物質の体積が不変であれば、堆積空間が拡大し続けると地層の層厚は平均的に薄くなり、地層上面が低くなる。実験では、基盤岩層を任意の距離だけ引き離したのち、地層構成物質を補充して、新しい地層を重ねる。

(3) 機能

以上のことをもとに、本実験装置の機能を次のようにまとめることができる。

モデル基盤岩を引き離していくと、基盤岩上に堆積している非固結の地層がゆっくと沈降し、その際に正断

層が形成されるなどの地層の変形が起ることが期待できる。

3. 実験装置の製作

(1) 材料

本実験装置を製作するにあたり使用した主な材料は表1の通りで、圧縮型実験装置との違いは、基盤岩モデルとなる板材の追加である。なお図2は今回製作した引張型実験装置の設計図である。

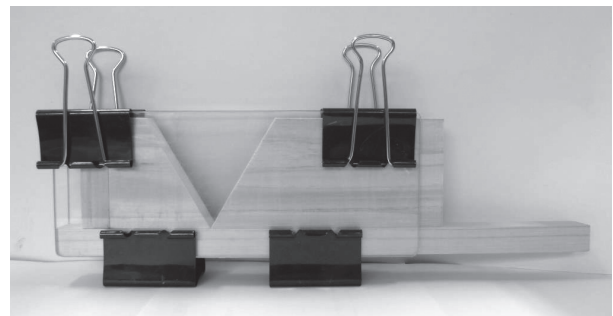


図1 引張型地層変形モデル実験装置の外観

表1 引張型地層変形モデル実験装置製作材料

材 料	寸 法	数 量
角 材 (A : 壁部)	15mm × 15mm × 60mm	1 本
角 材 (B : 底部)	15mm × 15mm × 300mm	1 本
塩ビ板 (厚さ 3 mm)	80mm × 200mm	2 枚
板材 (基盤岩モデル)	60mm × 150mm × 15mm	1 枚
ダブルクリップ	挟口50mm	4 個

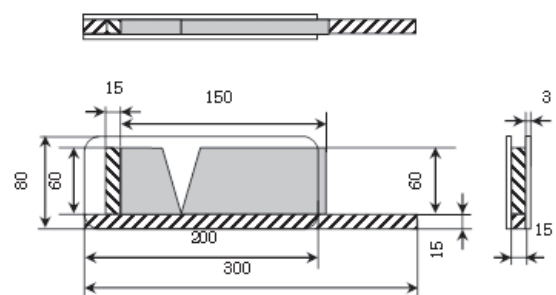


図2 引張型地層変形モデル実験装置設計図
(単位 mm) 上：平面図，下：正面図，右：側面図

4. 実験手順

(1) 実験装置の組み立て

角材（底部、壁部）と塩ビ板が接する部分にはビニールテープを貼っておく。角材は図2の正面図のようにL字形に組み合わせる。2枚の側面板で挟んだ上、ダブルクリップ（あるいはC型クランプ）で固定する（川村・

山下, 2015)。

(2) 水平な地層の材料と形成方法

材料は、川村・山下 (2015) の圧縮型実験装置と同様である。サンドボックス実験では地層に砂を用いるが(例えば Hubbert, 1951), 入手しやすい材料で地層を形成するため、材料は岡本 (1999, 2000) を参考にした。実験装置内の左右 2 枚の基盤岩層に挟まれた「V 字形」の堆積空間に白色と茶色の細粒の粉末を用いて水平な地層を作る。岡本 (1999, 2000) は白色の地層に小麦粉を使用しているが、児童生徒に小麦粉アレルギーを持つものが予想される場合は、図画工作用に販売されているシルトサイズの焼石膏 (吉野石膏製) や珪砂を粉碎したシルトサイズの白色の岩石粉 (北日本産業製, 商品名: ファインサンド, 平均粒径 10 ~ 14 μm) を使用する。茶色の地層にはココアパウダー (森永製菓製, 商品名: 純ココア) を使用する。

地層を作る際の手順は、先にも述べたように川村・山下 (2015) と異なる。

本報では、ファインサンドを用いた実験について述べる。実験では、白色の地層は厚さ 10mm 程度、茶色の層は厚さ数 mm 程度とし、4 枚の白色層中に 3 枚の茶色層を挟在するように製作することとした (図 3)。これら 7 枚の地層の実験前の層厚は、約 70mm となる。圧縮型実験装置では岡本 (1999, 2000) と同じように、スプーンで実験装置内に粉末をまんべんなく敷き詰め、上から板材で軽く叩くようにして、層理面が水平になるよう整形したが、この手順は不要である。

(3) 地層の変形

実験装置側面の開放側 (図 1 中の右側) にあるモデル基盤岩 (引き板) を水平方向に引くことにより、基盤岩の上位の地層を重力により下方に移動させ、地層を変形させる。

モデル実験装置を教材として用いるとき、実験の際に一気に押し板を動かすのではなく、段階的に地層変形の様子を観察させ、小さな変化にも気づきやすくする工夫が考えられた (川村・山下, 2015)。このことから本実験では、モデル基盤岩 (右側) の木片の移動距離約 1 cm ごとに地層変形の様子などを観察することとした。モデル基盤岩を引いた距離が 6 cm になったら操作を終了し、変形したモデル地層の様子を観察する。

5. 堆積物供給の有無と地層変形の様子

(1) 実験の目的

ここでは、基盤岩上面の「V 字形」内側の堆積空間への堆積物供給の有無が地層の変形に違いをもたらすのか、もたらされるとすれば、理科の教材用として適切な

のはいずれかを明らかにするために実験を行った。

(2) 実験条件

図 1 に示した装置を用い、ファインサンドとココアパウダーを地層の材料とした。基盤岩上面の「V 字形」部分斜面の水平面とのなす角度は、60 度で行った。前章 (3) で述べたように、基盤岩層を水平に 6 cm 引く操作を行った。

(3) 結果

1) 堆積物を供給しない場合

この場合、基盤岩層を引き出すことによって地層の層厚が平均的に薄くなるとともに、地層上部に裂かが生じる。地層中に正断層は形成されるものの、地層変形としては裂かが顕著である。

2) 堆積物を供給する場合

これは、先に述べた The GeoModels による実験方法である。この場合の実験手順では、基盤岩層を水平に 1 cm 引いたところで止め、層厚が薄くなってできた凹地に元の層厚と同じになるまで地層構成物質 (ココアパウダーおよびファインサンド) の補充を行い堆積物とする。その後、再び基盤岩層の水平移動を 1 cm 行い、移動距離が 6cm になるまで堆積物補充を繰り返す。このようにした場合、正断層などの地層変形が見られるが、1) で見られたような地層の裂かはあまり形成されない。

3) 結果の比較

堆積物を供給しない方が実験の手順は簡潔で所要時間は短い。しかし、堆積物を供給し、層厚を比較的厚くした方が断層形成には適している。堆積物供給がない場合は、裂かが顕著な地層変形であり、断層に着目させようとする教材としては、やや不向きである。

6. 基盤岩上面の形状と地層変形の様子

(1) 実験の目的

ここでは、基盤岩上面の「V 字形」部分斜面の角度と地層変形の様子に差異があるのか、あるとすれば、理科の教材用として適切な角度はいくらかを明らかにするため、角度の異なる基盤岩層を用いて実験を行った。

(2) 実験条件

図 1 に示した装置を用い、4 (2) に示した、モデル地層の材料で実験した。基盤岩上面の「V 字形」部分斜面の水平面とのなす角度は、30 度、45 度、60 度、75 度で行った。なお、実験装置の長さが短く、15 度では堆積空間を設けることが不可能である。前章 (3) で述べたように、基盤岩層を水平に引く操作および堆積物の供給を行った。

(3) 結果

1) 傾斜角 30 度

7枚の地層を形成し、基盤岩層（引き板）を1, 2…6 cm引いたところ図3 (a) のようになった。

図3 (a) 1 cm は引き板を1 cm引いた時点の様子を示している。側面から見ると、基盤岩層を1 cm引いたところで中央やや右側（引き板側）部分に2条の正断層ができ、断層間の地層が相対的に下方に5 mm程度移動、断層で挟まれた区間の地表が陥没して地溝を形成している。また、断層面と地表面の交線付近では比高5 mm程度の断層崖が生じていることがわかる。断層の傾斜角は75～85度程度で、地溝の内側に向かって傾斜している。

その後、引き板をさらに1 cm引いたときの様子（図3 (a) 2 cm）では、垂直変位量が数 mmの2条の正断層が、既存の断層周辺に形成され、これらに伴って断層間の区間がさらに数 mm程度陥没する。さらに引き板を1 cm程度引くごとに同様の地層・地形の変形が見られる。

2) 傾斜角 45 度

前項目同様に実験したところ図3 (b) のようになった。

図3 (b) 1 cm は引き板を1 cm引いた時点のようすを示している。引き板を1 cm引いたところで中央付近に垂直変位量5 mm程度の1条の正断層ができ、断層の引き板側部分の地層が相対的に下方に数～5 mm移動する。断層の傾斜角は垂直に近い。その後、引き板の移動量約3 cmまでは引き板側の沈降が進み、断層は垂直変位量が1～2 mmと比較的小さな変位の断層しか形成されないが、引き板の移動量4～6 cmでは当初形成された断層よりも引き板側に、垂直変位量数 mmの正断層が数条形成される。この間、当初形成された断層よりも引き板側の地層の沈降が進む。

3) 傾斜角 60 度

実験結果を図3 (c) に示す。

引き板を1 cm引いたところで中央付近に垂直変位量数 mm程度の2条の正断層ができ、断層の引き板側部分の地層が相対的に下方に約2 cm移動する。断層の傾斜角は垂直に近い。その後、引き板の移動量6 cmまで1 cm引くたびに垂直変位量数～5 mmの最大2条の正断層が、当初形成された断層よりも引き板側に形成される。断層の傾斜角はほぼ垂直である。この間、引き板直上の地層の沈降が進む。

4) 傾斜角 75 度

実験結果を図3 (d) に示す。

引き板を1 cm引いたところで「V字形」内側に垂直変位量数 mm程度の3条の正断層ができ、地層が下方に約2 cm移動する。断層の傾斜角は75度程度で、引き板の斜面の角度とほぼ同じである。その後、引き板の移動量6 cmまで1 cm引くたびに垂直変位量数 mm～10 mm弱の数条の正断層が引き板側に形成される。断層

の傾斜角はやはり75度程度である。この間、引き板側の地層の沈降が進む。断層面と地表面の交線付近に断層崖が生じることがあるが、引き板を移動させるたびに常に形成されるわけではない。

(4) 比較

各条件での実験結果の概要を表2にまとめる。傾斜角30度では堆積空間が広いので、実験準備のために水平な地層をセットするのに比較的時間がかかる。一方、傾斜角75度では堆積空間が狭いため地層セットは短時間で済むが、基盤岩間の間隔が狭いため、水平な地層を製作しにくい。傾斜角45度、もしくは60度の場合が地層を製作しやすい。また、地層変形の再現性の点からは、傾斜角60度では必ず、動かした基盤岩側に土地の沈降、断層崖、正断層を再現することができる。

以上のことから傾斜角60度で行う実験が、準備の容易さ、再現性の良さから推奨されるが、準備に手間をかけることができる例えば演習実験であれば、傾斜角30度で行う実験も問題はないと考える。

表2 基盤岩上面の角度を変えて行った地層変形実験のまとめ

表中*を付した項目は基盤岩1 cm移動ごとの結果

基盤岩上面角	正断層数*	垂直変位量* [mm]	断層傾斜角 [度]	断層崖	地層セットの時間	地層セットの難易
30度	2～3	数～5	75～85	明瞭	要する	易
45度	1～3	1～数	ほぼ垂直	明瞭	要しない	易
60度	1～2	数～5	ほぼ垂直	不明瞭	要しない	易
75度	2～3	数～10弱	75程度	不明瞭	要しない	難

7. 課題

今回開発したモデル実験装置を教材として活用するためには、小・中・高校教員が演習実験において利用する際や、中学生や高校生が生徒実験で利用する際に、比較的簡単、短時間で準備ができることが必要となる。教材として普及するときの実験手順をさらに検討したい。また、本教材を利用してどのような効果があるのかについて、教育実践を重ねて明らかにする必要がある。

謝辞

本研究の費用の一部は、平成27年度秋田大学教育実践研究支援プロジェクト経費によった。ご支援くださった関係各位に感謝する。

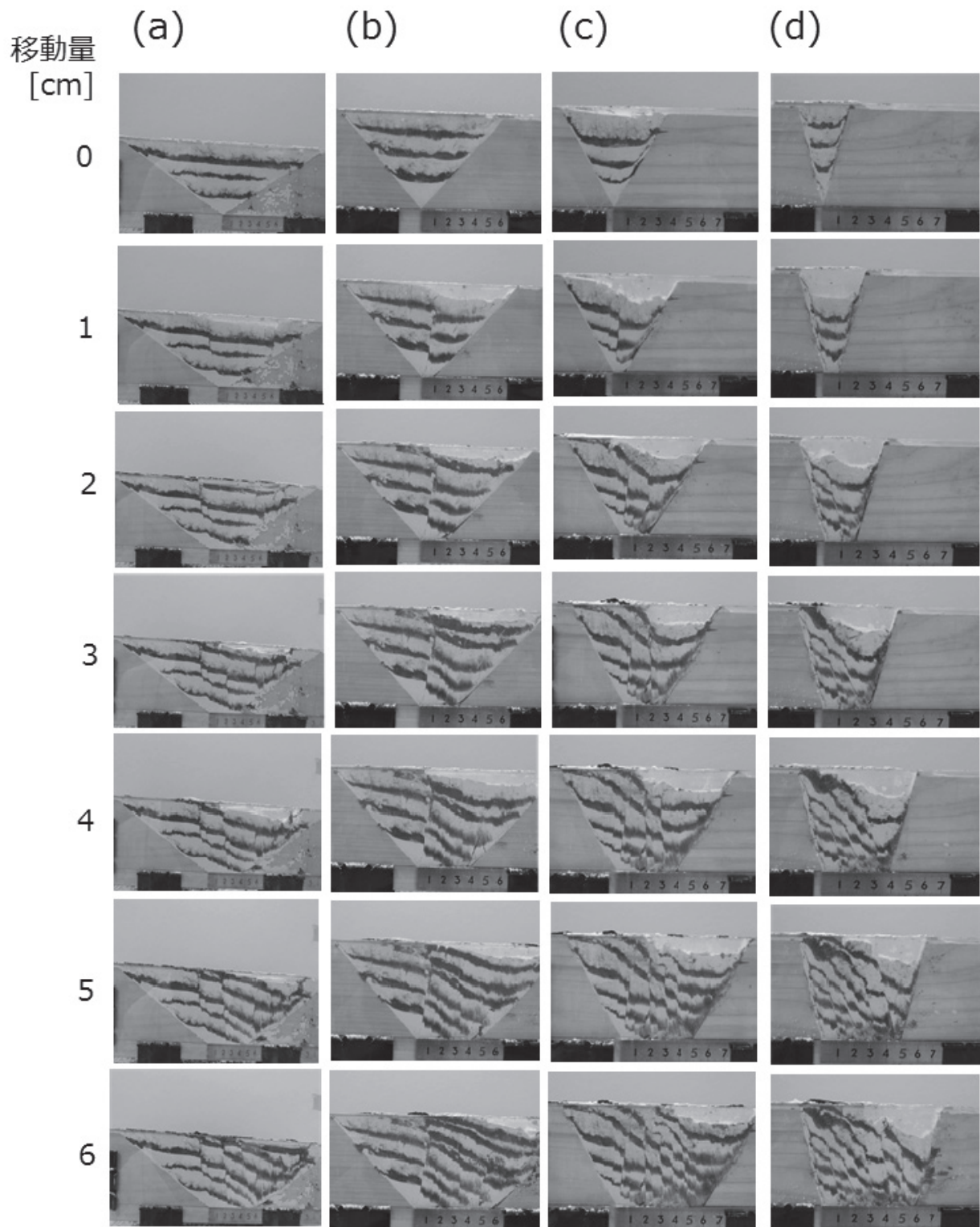


図3 ファインサンドとココアパウダーの地層変形モデル実験

(a) 基盤岩上面傾斜角 30 度, (b) 45 度, (c) 60 度, (d) 75 度

引用及び参考文献

- Hubbert, M. K. (1951) : Mechanical basis for certain familiar geologic structures. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 62, 355-372.
- 川村教一・山下清次 (2015) : 児童生徒が持つ地層変形概念 : 組立て式地層変形モデル実験装置による粉体の変形実験結果をもとにして. *秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要*, 37, 37-45.
- 文部科学省 (2008a) : 小学校学習指導要領解説理科編. 大日本図書, 東京, 105p.
- 文部科学省 (2008b) : 中学校学習指導要領解説理科編. 大日本図書, 東京, 149p.
- 文部科学省 (2009) : 高等学校学習指導要領解説理科編理数編. 実教出版, 東京, 232p.
- 岡本義雄 (1999) : ココアと小麦粉で断層を作ろう. *なみふる*, 13, 7.
- 岡本義雄 (2000) : 小麦粉を用いた断層モデル実験. *大阪と科学教育*, 14, 13-16.
- 山下清次・川村教一 (2015) : 簡易正断層形成モデル実験装置の考案. *日本理科教育学会第54回東北支部大会論文集*, 30.
- 横山 光 (2012) : 自然災害を再現する実験教材の工夫・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*, 24, 76-81.