

実験データの科学的解釈に関する基礎研究

— 中学校段階の実験処理を通して —

岡本 英治 山下 雅文 小茂田聖士 葛岡 孝則
前原 俊信

1. はじめに —問題の所在と研究の目的—

文部科学省は、PISA2003の結果をもとに科学・理科に関する今後の改善の方向性として「科学的に解釈する力や表現する力の育成を目指した指導の充実」¹⁾をあげている。理科の授業では、観察や実験を通して自然の事物・現象の理解を深めていくことを目標としている。中学校段階においてもしばしば定量実験を行なって、実験結果をもとに自然の事物・現象の規則性や法則を導き出して内容の理解につなげている。定量実験では、得られた実験結果から結論に至るまでの過程で「実験結果の読み取り」である『科学的解釈』が重要となる。特にグラフを作成し、グラフの読みとりから規則性や法則を導く過程は、授業で多く用いられていることから、グラフの『科学的解釈』は大切である。

しかし、小・中学校教育課程実施状況調査によると、グラフ作成やグラフ等の資料から考察する課題に関して「あらかじめ横軸、縦軸等が指定されていない用紙に、適切な目盛りを付けて結果をまとめグラフを作成する問題や、グラフで示された測定結果をもとに考察する問題などに課題が見られる」²⁾として、「グラフ上にプロットした点を線で結ぶことは十分に定着していないため、実験結果の誤差に配慮しながらグラフを書き、グラフから規則性を発見するような指導の工夫が大切」³⁾と指摘している。また、高等学校教育課程実施状況調査においても「実験結果を基に考察したり、グラフに表現したりすることに課題」⁴⁾があり、「図や表などのデータを正しく読みとり、グラフ化、文章化するなど、科学的に解釈し、表現する力の育成」⁴⁾が必要であると指摘している。

そこで本研究は、学習者が定量実験を行ない、実験結果をもとに結論へ至るまでの過程において、どのような根拠をもとに科学的解釈を行なうのか明らかにして、科学的解釈を行なうために必要な力を育成するに

はどのような授業方略が必要であるのか具体的提案を行なうことを目的とした。

本年度は、中学生がグラフの作成や読み取りを行なうときに、どのような特徴、傾向や問題点があるのか、そのために必要な学習指導の視点は何かを明らかにすることとした。

2. 研究の方法

平成20年9月、当校の中学校3年生3クラス121名を対象に質問紙調査を実施した。質問紙は2枚からなり、1枚目（〔その1〕）を回答した後、2枚目（〔その2〕）を回答する形式で行なった。ただし、〔その2〕の回答をはじめた時点で〔その1〕の回答は変更できないこととした。回答時間は2枚で約25分間設けた。図1、2はA組で実施した質問紙である。

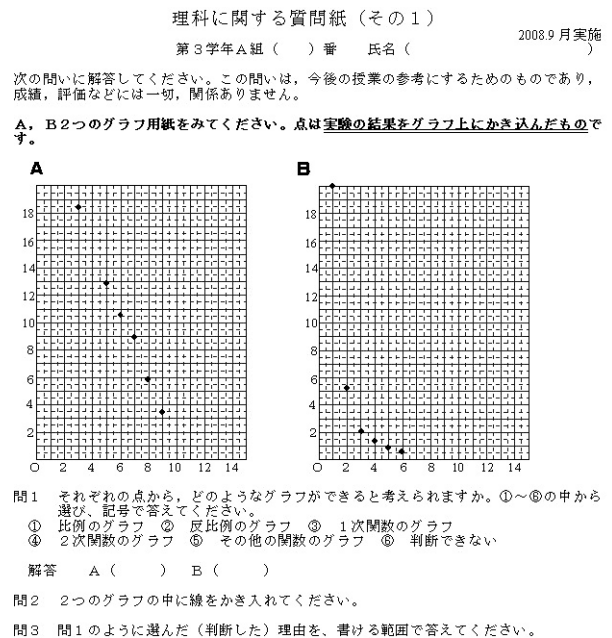
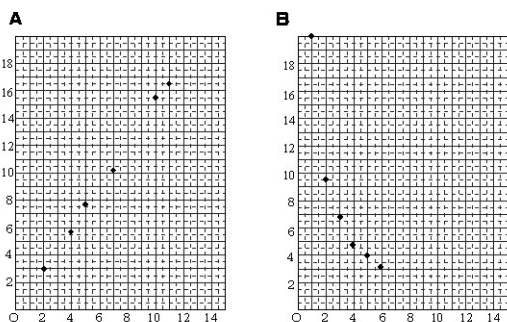


図1. A組で用いた質問紙〔その1〕

Eiji Okamoto, Masafumi Yamashita, Masashi Komoda, Takanori Tsutaoka, Toshinobu Maehara: Fundamental study of the scientific interpretation of the experimental data — in the processing by secondary school students —.

A, B 2つのグラフ用紙をみてください。点は実験の結果をグラフ上にかき込んだものです。



問1 それぞれの点から、どのようなグラフができると考えられますか。①～⑥の中から選び、記号で答えてください。

- ① 比例のグラフ ② 反比例のグラフ ③ 1次関数のグラフ
④ 2次関数のグラフ ⑤ その他の関数のグラフ ⑥ 判断できない

解答 A () B ()

問2 2つのグラフの中に線をかき入れてください。

問3 問1のように選んだ（判断した）理由を、書ける範囲で答えてください。

図2. A組で用いた質問紙〔その2〕

問題は、実験値としてグラフ上に点をプロットしたものを与えて、次のように構成した。

- ① グラフのデータは、どのような関数と読み取れるか、多岐選択肢の中から選んで答えさせた。
- ② 点を線で結ばせて、グラフを作成させた。
- ③ ①の選択肢から回答した根拠を自由記述で答えさせた。

問題内容はクラス毎に変えて行なった。A, B組は同一主旨の問題（ただし、与えた点に実験誤差を含んでいるか、いないかの違いを持たせた）。C組は、与えたデータの個数の違いで読み取りにどのような違い

がみられるか調査した。

3. 調査結果

表1は、特徴や傾向がみられたA組とC組の結果である。表中の数は人数を表している。（※クラスで問題を変えているため、クラス毎の集計とした。）表中の問題番号1Aとは、Aのグラフの間1の回答を表している。

① A組の調査結果

〔その1〕のBのグラフは、2乗に反比例する点をプロットして出題した。表1をみると、21名の生徒が反比例のグラフであると回答した。また8名の生徒が2次関数であると回答した。その判断理由を記述内容から分析してみると、右下がりの曲線の形であることから多くの生徒が反比例と判断している。2次関数と判断した生徒も、点の並びの形から下に凸になるグラフの左側の一部であると判断している（図3）。

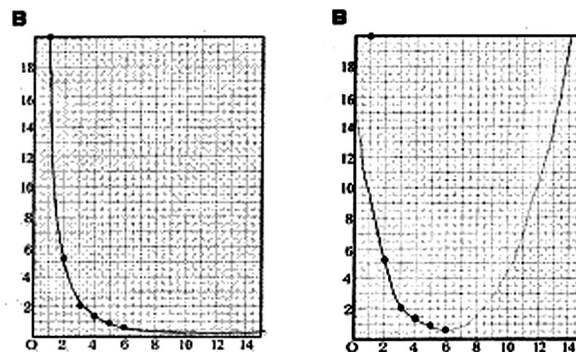


図3. 線を結ばせたときの回答例

表1. 選択肢から回答した関数（A組, C組の調査結果）

【A組の回答結果】（被験者41名）

	問題番号	回答番号					
		1 (比例)	2 (反比例)	3 (1次関数)	4 (2次関数)	5 (その他の関数)	6 (判断できない)
その1	1A	5	1	29	0	2	4
	1B	0	21	0	8	4	8
その2	1A	34	0	3	1	1	2
	1B	0	28	1	6	2	4

【C組の回答結果】（被験者40名）

	問題番号	回答番号					
		1 (比例)	2 (反比例)	3 (1次関数)	4 (2次関数)	5 (その他の関数)	6 (判断できない)
その1	1A	35	0	3	1	0	1
	1B	0	3	2	19	1	15
その2	1A	25	0	4	0	1	10
	1B	0	2	0	24	2	12

以下は、生徒がどのような根拠で考えたか記述した回答の一部を抜粋したものである。

〔反比例と回答した理由〕

- ・反比例のグラフの形に似ていたから
- ・曲線のグラフだから
- ・原点を通っていない。また直線にはなりそうにないから
- ・曲線にしかなりそうになかったし、2次関数なら原点を通るはずと思ったから

〔2次関数と回答した理由〕

- ・今までみてきたグラフの中で似ているなどと思ったグラフをかいた。
- ・形が放物線のようなから。
- ・xの値が2倍、3倍になっても、yの値は2倍、3倍になったり、1/2倍、1/3倍になったりしていないので、比例、反比例は違うと思ったから。あとは「かん」です。

〔その他の関数や判断できないと回答した理由〕

- ・反比例に近い形をしているが、値が同じにならない(判断できないと回答した者の記述より)
- ・値をみると比例、反比例ではなく、直線でないので1次関数でもなく、原点を通らないので2次関数でもない。しかし関数の形をしているので⑤。(その他の関数のグラフであると回答した者の記述より)

〔比例と回答した理由〕

- ・原点を通る直線が引けるから
- ・直線で結べて、なおかつ0点を通るから
- ・ $y = 1.5x$ の式にすべて当てはまるから

〔2次関数と回答した理由〕

- ・ $y = (1/2)x^2$ になっているから
- ・直線上にないので、曲線になると思ったから
- ・なんとなく or 勘

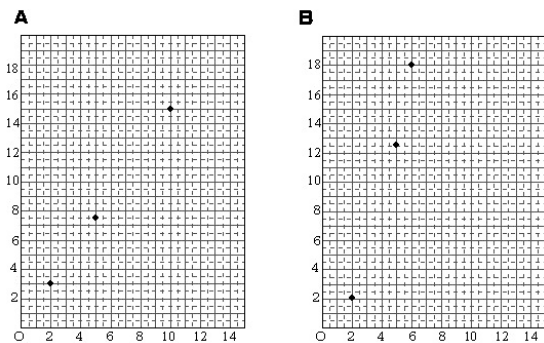
〔判断できないと回答した理由〕

- ・数値の変化がバラバラで見当がつかなかった

また問2でグラフ上に線をかき入れさせたとき、原点を通るように線をかき入れた生徒は、Aで36名、Bで31名であった(ただし、問1で関数として判断できないと答えた生徒も、問2でグラフに線をかき入れた生徒がいたことは分析にあたり考慮しなければならない点である)。例えば、Bのグラフでは図5のようになめらかに原点を通るように線を結ぶ生徒が多かった。また、右の形のように明らかに折れ曲がるような形で原点と線を結んだ生徒も8名いた。

②C組の調査結果

図4は、C組で用いた〔その1〕の問題の一部である。グラフには3つの点のみを与えた。



問1 それぞれの点から、どのようなグラフができると考えられますか。①～⑥の中から選り、記号で答えてください。

- ① 比例のグラフ ② 反比例のグラフ ③ 1次関数のグラフ
- ④ 2次関数のグラフ ⑤ その他の関数のグラフ ⑥ 判断できない

図4. C組に与えた〔その1〕の問題の一部

〔その1〕の3つの点のみでは、どのようなグラフであるか判断することはできない。しかし、表1をみるとAのグラフは35名の生徒が比例のグラフと回答した。また、Bのグラフも19名の生徒が2次関数のグラフと回答した。

以下は、生徒がどのような根拠で考えたか記述した回答の一部を抜粋したものである。

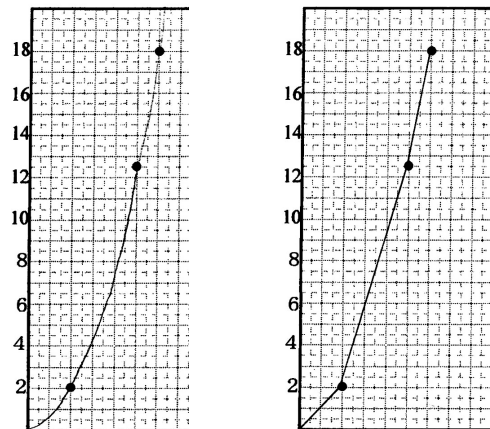


図5. 原点を線で結ぶ例

次に〔その2〕の問題を与えた。〔その2〕では、用紙1のデータにさらに3つの点を追加した。ただし、1つの点のみ実験値ということで関数の値から誤差の範囲でずらした点を与えた(図6)。

表1の結果をみると、Aのグラフでは〔その1〕のときよりも点の数を増やしたにも関わらず、判断できないという回答が大幅に増えた。ある生徒は、〔その1〕では「点どうしを0からの直線で結ぶことができるから」と判断していたが、〔その2〕では「点どうしを0からの直線または曲線で結ぶことができないから」と判断できない理由を述べている。また、別の生徒は、〔その1〕では「どの点をとっても比の値が同じだったから」と判断していたが、〔その2〕では「実験の結果なので規則的な点ではないから」と判断できない理由を述べている。

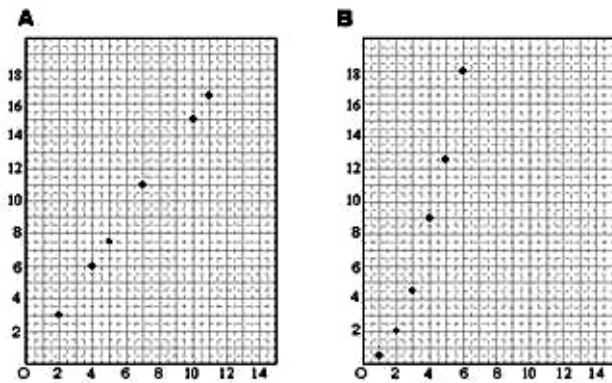


図6. C組に与えた〔その2〕の問題の一部

3. 調査結果の考察

本調査からグラフの作成、読み取りを行なう際、中学生にみられる傾向として、次のことが明らかになった。

- I どのようなグラフであるか判断するとき、学習者をもつ既知のグラフの「形」が影響を与える
- II 生徒は、原点に点があると想着て、原点を通るようにグラフをかいたり、読みとったりする傾向がみられる
- III すべてのデータが直線や曲線上にそろわないと判断がゆらく傾向がある

I は、生徒が判断を行なう際、比例、反比例、1次関数や2次関数といった数学で学習した既知のグラフの形のイメージが判断材料となり、数学の学習段階が大きな影響を与えていると考えられる。右下がりの曲線を反比例と回答した生徒が多いのは、調査段階で数学の学習として右下がりの曲線のグラフは反比例しか学習していないためである。言い換えれば、数学で未習の関数は判断しにくい（判断できない）と言える。ただし、9人の生徒がグラフの点から値を出して、関数の式にあてはめて判断を行なっていた。本調査はグラフのみを提示したが、実際の数値を与えて同様の調査を行なった場合、「形」だけでなく、数値をよりどころにして判断するものが増えるのではないかと考える。（今後、調査問題の内容を改良して数値を与えた場合の解釈が本調査と違いがあるか、比較したい。）

II は、生徒がデータの意味とその扱い方、グラフのかき方を十分に認識できていないことに要因があると考えられる。原点に点があると思いきり、3点のデータで予測、判断を行なったりすることは、得られたデータからグラフ化や科学的な分析を行なうという過程、そこには勝手な予測やデータの書き換えなどを行わないというデータ処理や科学的分析における姿勢やその方法の育成が十分でないといえる。また、中学校で扱う実験のほとんどが原点を通るグラフの結果

を扱っていることも、当然、グラフは原点からはじまるものだという生徒が思いこみをしている1つの要因に考えられる。

III は、IIと同じようにデータがどのようなものであるか、実験値のもつ測定の誤差の認識が生徒は十分に認識できていないと考えられる。数学での学習や理科などの演習問題では、真の値のみでグラフ化されたものが多く、直線や曲線上にすべての点がある。しかし、実験値には誤差が含まれる。実験値を扱うとき、誤差を考慮した分析や解釈が必要であり、得られた結果が測定の誤差の範囲にあるか見極めてグラフを作成し、科学的解釈を行なわなければならない。

I～IIIから、科学的解釈のもととなる「実験データの意味やその扱い方」の認識が十分でないことが明らかになった。

4. 定量実験でみられた生徒の特徴や傾向と問題点

質問紙調査により生徒は「実験データの意味やその扱い方」に課題があるのではないかと考えられた。そこで実際に定量実験を行い、生徒は実験データをどのようにとらえ、どのように集めているのか特徴を調べてみた。

定量実験「物体の高さと重力による位置エネルギーの関係調べる実験」を行なった。この実験は、図7のような仕事測定器を用いて、物体（おもり）をある高さから落として仕事測定器に加えられた仕事の大きさを、物体の持っていた位置エネルギーの大きさを調べるものである。物



図7. 実験装置

体を落とす高さを変えながら、物体の高さと位置エネルギーの関係調べる実験を行なった。図8は、各班から提出された実験データをグラフ上にプロットしたものである。

各班の実験結果のグラフ、生徒の活動の様子や生徒からの発問などをもとにして、定量実験での生徒のデータ収集に関して、次のような3つの特徴や傾向が明らかとなった。

- ① 実験の測定のとくに、値を正確に読みとらない（正確に読みとるように努めない）。
- ② 集めるデータの個数は、ばらつきがある。
- ③ 目的に沿ったデータの収集を行えないものもいる（班がある）。

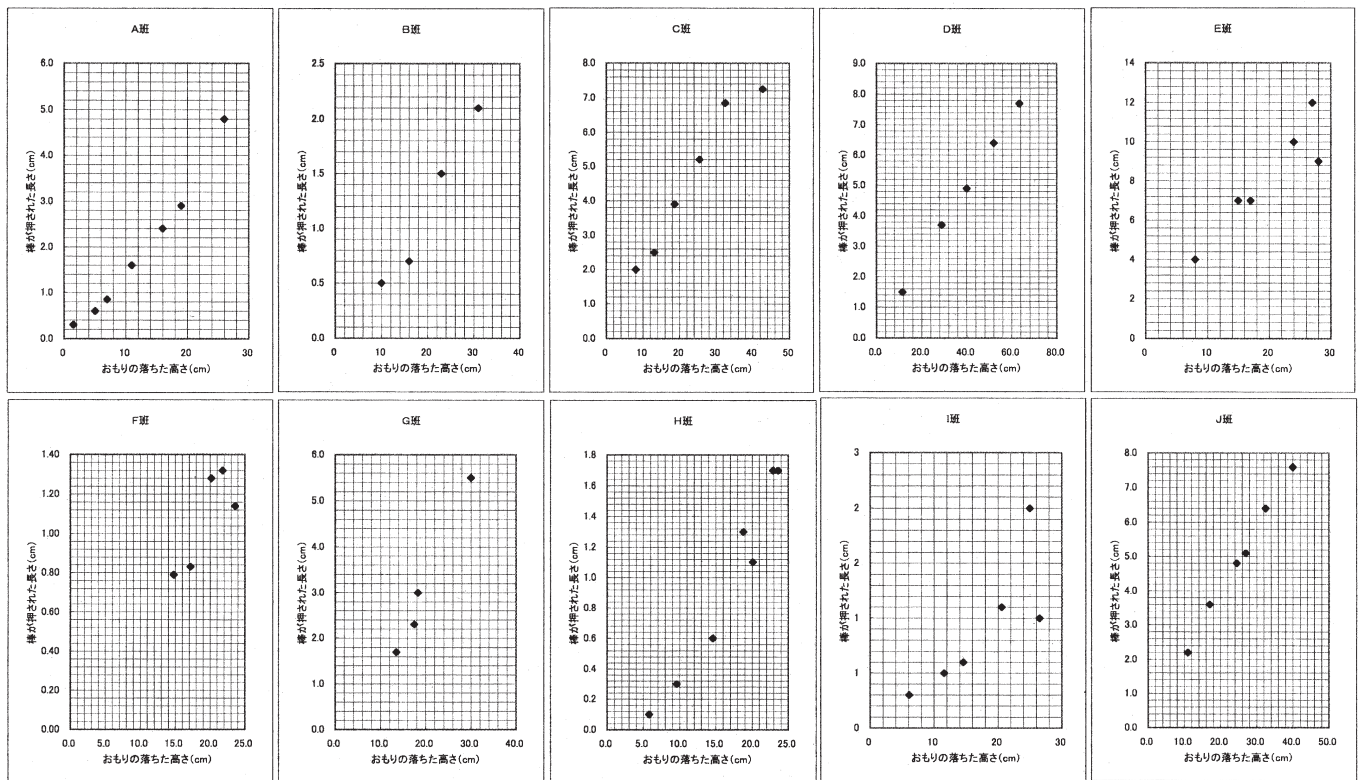


図8. 実験：位置エネルギーと高さの関係を調べる（実施日：平成20年11月14日）

①は、事前に定量実験であることを説明しても、実験器具の測定値の読み取りを正確に行わないグループがあった。特に表のEとIの班は、長さの測定を1cm刻みで読みとった。

②は、配布した記録用紙には7個の記録欄をつかった。しかし、各班が集めたデータ数をみると4～7個とばらついた（集めるデータ数に関しては、指示を出さずに行なった。）。

③は、F班の結果が示すように、データ数が多くても同じような箇所のデータのみを集めて、特定の箇所に点が集まり、全体の傾向がつかみにくくなった。

この結果から、科学的解釈を行なう根底となる「実験値（データ）の意味とその重要性」、「実験データの収集のしかた」など、生徒には実験値そのものに対する認識が十分でないことがわかった。

5. 終結 — 研究のまとめと今後の課題 —

本研究では、当校の生徒には「データの意味と重要性の認識」、「データの収集のしかた」、「データを分析、解釈する方法」がまだまだ十分に育成されていないことが明らかとなった。

生徒は、グラフの分析や解釈において「形」を根拠のよりどころにしていた。数学で学習した既知のグラフの「形」が判断に大きな影響を与えていた。この結果は当然であるといえる。しかし、「形」だけをより

どころにして判断すると、時として誤った分析や解釈を行なうことがあることを知らなければならない。実験結果の分析や解釈において、関数には様々なものがあり、そのことを考慮しながら関数を決定づけるための手段や方法を学習者に身につけさせることが必要である。中学校段階では、科学的、論理的な分析や解釈を行なう過程や方法を知ることにより主眼を置いた学習指導が求められる。また、データの意味と扱い方も十分に認識されていない。正確な実験データや必要とするデータの個数など、データの意味や扱い方を生徒にしっかり認識させるように努めなければならない。

単に活動や作業としての実験の楽しさを中心とした授業ではなく、データを収集し、データに基づいた科学的、論理的解釈を行ない、法則や規則性を導くその過程の『おもしろさ』を味わうことのできる授業を行う必要がある。そして、次のような視点を取り入れた学習指導が必要であると考えられる。

i 生徒に実験への意欲や姿勢・態度を持たせる

定量実験では、データの収集のための忍耐力や実験技能が不可欠である。実験への意欲の低下は、データを適切に扱わなかったり、実験回数を少なくしたりして、実験データの精度などに影響を及ぼす。「自らの手で正確な測定を行ない、適切なデータを集めことで科学的な規則性や法則を導くことができる」という実験の『おもしろさ』を生徒に実感させながら意欲づく

りを行なう必要がある。

ii 生徒に実験目的を把握させて、目的に沿った方法を考えさせる

目的意識を持たせることは、iの意欲、姿勢や態度を高めることにつながる。また意欲をもっている、目的に沿った方法を行わなければ必要とするデータは収集できない。実験目的をしっかりと把握させて、必要とするデータを収集するために自ら考えながら実験を行なう姿勢を養うことが大切である。

iii データの意味を認識させ、科学的分析や科学的解釈の手法を身につけさせる

中学生は科学の専門家ではないのだから、まずは実験のデータのもつ意味や重要性を認識させなければならない。そして科学的分析や科学的解釈を行なう手法や方法を指導して育成する必要がある。1つ1つの手法を知らせ、教えることから始めなければ科学的技能は身につかない。

今後は、提示した3つの学習指導の視点をもとに、データの扱い方や科学的解釈に関する力を育成できる授業方略を考えて、具体的な授業案をつくり、授業実施を行なうこととする。

引用文献

- 1) 文部科学省「読解力向上に関する指導資料—PISA調査（読解力）の結果分析と改善の方向—」, 2005.
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku/siryu/05122201.htm
- 2) 文部科学省「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査」, p.64, 2005.
- 3) 同上,p.67.
- 4) 文部科学省「平成17年度高等学校教育課程実施状況調査 結果のポイント」, p.,2007.
http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h17_h/h17_h/05001000040007003.pdf

参考文献

- 武村重和ら編「重要用語300の基礎知識 理科」, 2000, 明治図書.