



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	金属同定における中学生の判断に関する研究(2) : 測定値と文献値との差についての認識( fulltext )
Author(s)	平賀,伸夫; 寺谷,徹介
Citation	東京学芸大学紀要 . 第 4 部門 , 数学・自然科学, 53: 63-70
Issue Date	2001-08-00
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2309/35932">http://hdl.handle.net/2309/35932</a>
Publisher	東京学芸大学紀要出版委員会
Rights	

## 金属同定における中学生の判断に関する研究 (2) —測定値と文献値との差についての認識—

平賀 伸夫\*・寺谷 徹介\*\*

化学科\*\*

(2001年3月30日受理)

HIRAGA, N., TERATANI, S. : The decision-making of junior high school students regarding the identification of elements by density (2) —Recognition of the difference between measured value and reference value—. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Sect. 4, 53 : 63-70 (2001) ISSN 0371-6813

### Abstract

The purpose of this research is to clarify the decision-making of junior high school students in the identification of elements by density. By using a questionnaire and interviews, the following points were clarified. (1) Junior high school students neither know the definition of statistical errors and systematic errors nor how to discriminate those errors from experimental mistakes. Thus many of these students are apt to believe that even simple mistakes, e. g., calculation mistakes, clerical errors, etc. are experimental errors. (2) In the identification of elements by density, each students chose an allowable range of the density values to determine the identification of elements based on his error recognition. (3) A few students firmly believed even simple mistakes to be error. However, many of other students did not have a clear understanding of why they chose the ranges they did, or even the difference between errors and mistakes. Therefore, it is necessary that they be taught how to discriminate between errors and mistakes.

(in Japanese)

**Key words** : identification, density, decision-making, measured value, mistake, error

*Department of Chemistry, Tokyo Gakugei University, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan.*

### 1 問題の所在

物質同定は、既習の物性を活用し結論できるため、中学校理科授業における単元終了後の探究学習としてよく行われる。未知の気体 (川越, 1993; 横野, 1995) や粉末 (佐藤, 1980a) を用いた実践は、水に溶けるかどうか、溶けたとき酸性かアルカリ性か等の定性的な実験の結果を総合して物質を同定する事例である。一

方、定量的な実験により得られた測定値から物質を同定する実践もある。液体の沸点 (佐藤, 1980b), 粉末の溶解度 (佐藤, 1980c), 液体の密度 (佐藤, 1980d) や金属の密度 (湊, 1980; Lechtanski, V. L., 2000) 等、扱われる物性は多様である。

定量的な実験に基づく物質同定は、測定値と物性の文献値との比較によりなされる。このとき、測定値には測定誤差 (偶然誤差と系統誤差) が含まれるため、

\* 東京学芸大学教育学部附属竹早中学校 (112-0002 文京区小石川4-2-1)

\*\* 東京学芸大学 (184-8501 小金井市貫井北町4-1-1)

測定値と文献値が一致するとは限らない。物質を同定するためには、測定値と文献値が一致するとみなせるかどうかの判断が必要となる。

著者らは、密度測定による金属同定にみられる判断を検討してきた。中学生が行う測定の場合、測定値には、測定誤差の他、「間違い」(飯塚, 1976)に分類される、誤操作、測定値の読み違い、記録違い等が含まれることもある。授業観察及び金属同定後に作成されたレポートの記述内容の照合を通して、実験操作上の「間違い」により測定値と文献値との大きな不一致が生じた場合でも、中学生はその測定値に基づき金属を同定するという実態が明らかになった。この実態から、「中学生は、測定値を吟味せずに、測定値と文献値との差をすべて誤差として処理し、物質名を結論するのが常である。」とみなした。そして、偶然誤差と系統誤差を「客観的誤差」と呼ぶのに対して、中学生のいう誤差、すなわち、客観的誤差を知らないし、「間違い」との区別もつかないような学習段階の誤差を「主観的誤差」と名づけ、中学生が同定可能とする測定値の範囲の調査結果に基づき、主観的誤差の特徴を考察した(平賀・寺谷, 2000)。

この検討で使用した質問紙には誤差という用語を用いなかったし、回答においても誤差についての記述を求めなかった。本研究では、中学生が同定可能な範囲を回答したとき、誤差を考えたのか、あるいは、他の要因が存在したのかについて、質問紙調査及び面接調査により検討した。

現行の小・中学校学習指導要領(文部省, 1989ab)では、理科及び算数・数学で誤差の学習は位置づけられていない。誤差を考えて同定可能な範囲を回答した場合、中学生は誤差をどのようなものだと認識しているのだろうか。面接を通して、中学生が認識する誤差の具体的な内容についても調査した。

## 2 密度測定による金属同定の概要

調査対象の中学生は、すでに、密度測定による金属同定を行っている。候補となる金属とその文献値を表にしたもの(密度表)を配布した上で、未知の金属の密度を測定し、金属を同定した。

測定器具は、体積測定として100cm<sup>3</sup>メスシリンダー(最小目盛り1cm<sup>3</sup>)を、質量測定として電子てんびん(最小表示0.1g)を用い、アルキメデス法で密度を求めた。

## 3 調査方法及び結果

### 3.1 質問紙調査①

#### 3.1.1 目的

同定可能な範囲を認めた理由を調査する。

#### 3.1.2 調査の実施

先に、文献値の提示のしかたが同定可能な範囲に与える影響を調査した(平賀, 寺谷, 2001)。この調査は、東京学芸大学教育学部附属竹早中学校1年生(平成12年度入学)に対して、候補の金属とその密度の文献値を数値順に並べた表で提示した群(数値順群)と物質名順に並べた表で提示した群(物質名順群)に分け、7月に実施した。本研究の調査は、その3ヶ月後の10月に、数値順群(82名)に対して実施した。

用いた質問紙①を図1に示す。質問紙①は1~3の小問から構成されている。小問1, 2は、先の調査で使用した質問紙の一部である。先の調査を思い出すために入れたものであり、今回の分析からは除外した。小問3が本研究の調査の目的であり、同定可能な範囲を認めた理由を質問した。

#### 3.1.3 調査結果

結果を表1に示す。82名中、半数以上の48名が「測定値には誤差が含まれるから」のように、「誤差」という用語を記述した。しかし、そのほとんどが、誤差の具体的な内容までは記述しなかった。「誤差」という用語を用いず、具体的な内容を記述した28名については、金属表面についたさび、電子てんびんの若干のくると等の測定誤差と考えられる内容のみを記述した生徒がいる一方、メスシリンダーの目盛りの読み違いや計算間違い等の「間違い」に分類される内容や「実験ミス」などの言葉を記述する生徒もいた。

### 3.2 質問紙調査②

#### 3.2.1 目的

中学生のいう「誤差」の具体的な内容を調査する。

#### 3.2.2 調査の実施

質問紙調査①実施日の数日後に、調査①で「誤差」という用語を記述した48名の中から、無作為に40名を抽出し、図2の質問紙②を用いた調査を実施した。質問紙②は「誤差」の具体的な内容を自由に記述する形式とした。

## 調 査 問 題

年 組 番 氏名 ( )

種類の分からない金属①がある。金属①の密度を測定する実験を行い、その実験結果から『金属①の種類を決定しよう』という課題が出された。このとき、表1に示す密度表が配られ、「金属①は、表1にある金属のうちのどれかである」という指示が出された。ただし、表1にある金属はすべて白銀色で見た目には区別がつかない。

表1

金 属 名	アルミニウム	亜鉛	鉄	ニッケル	銀	鉛	タングステン
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.7	7.1	7.9	8.8	10.5	11.3	19.2

- (1) あなたが「自信を持って亜鉛だ」と結論できる実験結果（測定した密度の値）の範囲を教えてください（小数第1位まで）。  
 ( ) g/cm<sup>3</sup>から ( ) g/cm<sup>3</sup>の範囲まで
- (2) あなたが「たぶん亜鉛だ」と結論できる実験結果（測定した密度の値）の範囲を教えてください（小数第1位まで）。  
 ( ) g/cm<sup>3</sup>から ( ) g/cm<sup>3</sup>の範囲まで
- (3) (1) や (2) で答えた範囲のうちの両方（あるいはどちらか）は、密度の数値（7.1）から差を設けたと思います。あなたが差を設けた理由を教えてください。

図1 質問紙①

表1 質問紙調査①の結果（82名）

記 述 内 容	人 数
「誤差」という言葉を記述	48
具体的な内容を記述	28
意味不明、記述なし	6

## 調 査 問 題

年 組 番 氏名 ( )

「金属の密度を求めることで、その金属の種類を決定しよう」という課題に対して、みんなは、密度の測定値と文献値がぴったり一致しなくても、金属の種類を決定できると答えました。その理由として、あなたは「測定値には誤差が含まれるから」と答えました。

さて質問です。金属の密度を測定する実験について、あなたが誤差と考える具体的な内容を教えてください。

図2 質問紙②

## 3. 2. 3 調査結果

40名中、4名は記述なしであった。36名の記述内容を集計（複数回答）した結果を表2に示す。内容は多岐にわたった。測定誤差に分類されるものの他、質量測定時に金属がぬれていた、計算間違い等の「間違い」に分類される内容を回答する生徒がみられた。これらの内容は、質問紙調査①の結果（表1）の「具体的な内容を記述」に分類した内容と類似した。

回答のうち、メスシリンダーの目盛りの読みとりについての記述が最も多かった。この中で、具体例を記述した生徒の内容をみると、「1目盛りの10分の1まで読みとるときの個人による差」のような測定誤差（個人差）に分類されるものと、「1目盛りの10分の1まで読みとらなかつた」、「1目盛り間違えて読んだ」等の間違い（読み違い）に分類されるものに二分された。

## 3. 3 面接調査

## 3. 3. 1 目的

メスシリンダーの目盛りの読みとりに関して、中学生が誤差だと認識する内容を調査する。

## 3. 3. 2 調査の実施

面接調査は、質問紙調査①で「誤差」という言葉を記述した48名のうち、質問紙調査②を実施しなかつた8名と、質問紙調査②でメスシリンダーの目盛りの読みとりについて記述した生徒30名から無作為に抽出した12名の合計20名に対して実施した。時期は、質問紙調査①を実施後、2～3週間であった。

最低限質問する内容として、質問をあらかじめ用意した（図3）。質問1で、メスシリンダーの目盛りの読みとりについて、個人差のみを誤差と答えるか、1目盛りの10分の1まで測らなかつたことや読み違い等の

表2 質問紙調査②の結果  
(40名, 内4名は記述なし, 複数回答)

記述内容	人数
○金属関連	
さびがついていた	4
手あかがついていた	2
空洞があいていた	1
不純物が入っていた	1
合計	10
○質量関連	
電子天秤にもくるいはある	7
ほこりをいっしょにはかつた	6
金属がぬれたままはかつた	5
容器の質量を引き忘れた	2
合計	20
○体積関連	
メスシリンダーの目盛りを読み違えた	30
メスシリンダーの壁の水滴が落ちてきた	6
金属を入れるときに水がはねた	4
ゴミやほこりが入った	3
気泡が入った	3
はかっている途中で水が蒸発した	2
合計	48
○計算関連	
計算間違いをした	7
四捨五入をした	5
合計	12

- (調査①を提示して) この調査をおぼえていますか。みんなは、測定値が亜鉛の密度7.1と一致しなくても、亜鉛と結論できると答えました。あなたは、結論できる理由として、測定値には誤差があるからと答えました。今日は、その誤差の具体的なところを聞かせてください。体積測定として、メスシリンダーを使用しました。メスシリンダーの目盛りを読みとるとき、どのような誤差が考えられますか。  
<個人差についてのみ答えた場合は2へ、読み違いを含めて答えた場合は3へ>
- ①36ccの線を37ccと勘違いして読んだというのは誤差に入りますか。  
②1目盛りの10分の1まではからなかつたというのは誤差に入りますか。
- ①目分量で10分の1まで読みとるときの操作のとき、隣の人の読みと自分の読みが違うということがあります。こういった個人による差は誤差には入りますか。  
②(答えた間違いによる事例を例にして) これは本当に誤差ですか。

図3 面接調査の内容

<p>教師：(略)メスシリンダーの目盛りを読みとるとき、どんな誤差が考えられる？〈質問1〉</p> <p>生徒A：ええと…、線と線の間…、そう…、10分の1まではかりますよね。目盛りの線がないから目のよさでちょっと違ってくるんじゃないかと…。</p> <p>教師：36ccの線を37ccと勘違いして読んだというのは誤差に入る？〈質問2①〉</p> <p>生徒A：それは誤差じゃないと思う。なんていうか…、失敗じゃないかな。</p> <p>教師：1目盛りの10分の1まではからなかったというのは？〈質問2②〉</p> <p>生徒A：それも失敗。</p> <p>教師：じゃあ、そのデータを使って結論しちゃいけない？</p> <p>生徒A：もう一度実験しないと行けないけど…、気がつかないから…。(密度の文献値と測定値が)かけはなれてたら分かるけど…。</p> <p>教師：気がつく方法はないかな。</p> <p>生徒A：何回かはかってみればいい。</p>
<p>教師：(略)メスシリンダーの目盛りを読みとるとき、どんな誤差が考えられる？〈質問1〉</p> <p>生徒B：水面の二重線…、二重になりますよね、上を読んじゃったとか…。</p> <p>教師：他にある？</p> <p>生徒B：…目盛りふってないから、目盛りの数え間違いもある。</p> <p>教師：12と13の線を間違えたとか？</p> <p>生徒B：そう。</p> <p>教師：それも誤差？</p> <p>生徒B：誤差。</p> <p>教師：(略)個人による差は誤差にはいる？〈質問3①〉</p> <p>生徒B：それも誤差じゃないかな…。誤差っていっぱいある。</p> <p>教師：いっぱいというと…種類が？</p> <p>生徒B：そう。</p> <p>教師：他の種類は？</p> <p>生徒B：…例えば、…金属入れるとき水が飛び跳ねたとか…。ええと、…そのくらい。</p> <p>教師：水が飛び跳ねたというのは本当に誤差かなあ？〈質問3②〉</p> <p>生徒B：誤差には違いないと思う。</p>
<p>教師：(略)メスシリンダーの目盛りを読みとるとき、どんな誤差が考えられる？〈質問1〉</p> <p>生徒C：水がはねたり。目盛りを読むとき、そのまましか読まなかったり。</p> <p>教師：10分の1まで読まないってこと？</p> <p>生徒C：そうです。あと、引き算間違えちゃったりとか。水面の上側読んじゃったとか。…もともとから金属に水がついてたというのもあると思います。</p> <p>教師：(略)個人による差は誤差にはいる？〈質問3①〉</p> <p>生徒C：小さいけど誤差には入ります。と…思うんですけど…。わからなくなってきた。</p> <p>教師：例えば、引き算間違えたというのは本当に誤差かなあ？〈質問3②〉</p> <p>生徒C：…って思ってたけど、…実験ミスとも言うけど、…誤差って何ですか？</p> <p>教師：ええと、…引き算間違いが誤差かどうか、疑問感じるの？</p> <p>生徒C：うん。</p>

図4 面接の概要(「…」は無言をあらわす。また、わかりにくい箇所は加筆してある。)

表3 面接調査の結果 (20名)

	質問開始時	質問終了時
個人差についてのみ誤差だと認識する生徒	9名	9名
読み違いは誤差だと認識する生徒	11名	2名
読み違いは誤差だということに疑問を感じる生徒		9名

「間違い」の内容まで誤差と答えるかに注目し、生徒を分類した。その後、個人差のみを誤差と答えた生徒には、「間違い」に分類される内容を提示し、この内容が誤差に入るかを聞いた(質問2)。「間違い」に分類される内容まで誤差と答えた生徒には、個人差による誤差を提示し、この内容が誤差に入るかを聞き、その後、再度「間違い」の内容が誤差に入るかを質問した(質問3)。質問2と3はともに、ゆさぶり<sup>注1)</sup>をかけるための質問である。ゆさぶりによる影響をみることで、質問1で答えた誤差の認識の強さを調べた。

なお、面接に際しては、はじめに録音してよいかを聞き、承諾の場合には録音しながら実施した。

### 3. 3. 3 調査結果

面接の概要を図4に示す。生徒A(男子)は個人差のみを誤差と認識する生徒である。ゆさぶり(質問2)にも影響されず、複数回の測定の必要性まで述べた。生徒B(男子)は「間違い」に分類される内容を含めて誤差と認識する生徒である。ゆさぶり(質問3)にも影響されず、「間違い」も誤差であるという認識で終始一貫していた。一方、「間違い」に分類される内容を含めて誤差と認識する生徒の中には、ゆさぶりにより、自分の認識に疑問を抱く生徒もいた。生徒C(女子)はこのような生徒の例である。面接後半では自分の認識に疑問を抱き、誤差とは何かを教師に質問している。

これらの生徒の人数を表3に示す。質問1で個人差のみを誤差と認識する生徒は9名であり、このうち、質問2に影響される生徒はいなかった。質問1で「間違い」に分類される内容まで誤差と認識する生徒は11名であり、このうち、質問3に影響されなかった生徒が2名、自分の認識に疑問をもった生徒が9名であった。

## 4 総合的考察

### 4. 1 金属同定にみられる中学生の誤差認識

同定可能な範囲を認めた理由を調べた質問紙調査①の結果(表1)において、半数以上の生徒は「誤差」という用語を用いた。その他の生徒は、誤差という用

語を用いず、具体的な内容を記述した。その中には、測定誤差と考えられる内容の他、「間違い」に分類される内容が含まれた。誤差という用語を中学生はどのように認識しているのかを調べた質問紙調査②の結果(表2)においても、測定誤差の他、「間違い」に分類される内容も誤差と認識する生徒がいた。さらに、面接調査の結果(表3)により、「間違い」の内容まで誤差と認識する生徒の人数は無視できる数ではなく、全体に対してほぼ半数いることがわかった。

著者らは前報(平賀・寺谷, 2000)において、偶然誤差と系統誤差を「客観的誤差」と呼ぶのに対して、中学生が認識する誤差を「主観的誤差」と名付けた。主観的誤差は、「客観的誤差を知らないし、間違いとの区別もつかないような学習段階の誤差」とした。今回の調査結果では、「間違い」まで誤差と認識する生徒がほぼ半数いた。このことから、中学生は測定誤差(偶然誤差と系統誤差、すなわち客観的誤差)と「間違い」の区別がつかない学習段階にあると考えるのは妥当であり、主観的誤差は「間違い」を含むといえる。また、主観的誤差は「間違い」を含むという実態を質問紙調査①の結果(表1)に適用すると、「具体的な内容を記述」の欄に「間違い」の内容が含まれていることから、「具体的な内容を記述」した生徒の回答は主観的誤差とみなせる。「誤差」という用語を記述した生徒を加えると、ほぼ全員が、同定可能な範囲を認めた理由は主観的誤差であることになる。前報(平賀・寺谷, 2000)で指摘した「中学生は、測定値を吟味せずに、測定値と文献値との差をすべて誤差として処理し、物質名を結論するのが常である。」ことを支持する結果だといえる。

### 4. 2 中学生の誤差認識と理科授業との関係

中学生が認識する誤差に「間違い」が含まれるという実態は、学校教育における誤差の扱いにより生じたものと考えられる。誤差についての指導としては、高等学校(阪路, 1993)や大学(竹内・福島, 1992; 寺島, 1992; 寺島, 1994)の事例があるが、中学校での事例は少ない(塚原, 1973)。このことは、現行の小・中学校学習指導要領(文部省, 1989ab)において、誤

差についての記述はないため、当然のことではある。

誤差と深く関連するグラフ作成における中学校理科教科書の記述をみると、誤差という用語のないもの(細矢他, 1997; 霜田他, 1997; 戸田他, 1997)と、「測定値には、測定する人や器具によって、多少の誤差がある。」(上田他, 1997)のように、誤差という用語のあるものがある。また、「測定値には本当の値との差(誤差)があることを考えて、点の結び方が直線か曲線かを判断する。直線と判断したときには、ものさしの辺の上下に点が平均に散らばるようにして直線かく。」(竹内他, 1996)のように、誤差についての若干の説明をしているものもある。しかし、これについても、誤差はどのようにして生じるのか、なぜ上下に点が平均に散らばるようにしなければいけないのかについての説明はない。つまり、中学生は、誤差の具体的な内容を知らないまま、定量的な実験を行うことになる。

さらに、例えば、金属を熱したときの質量変化を調べる定量的な実験について、「実験6から得られる生徒のデータは、実験技能の未熟さや、加熱方法・時間、金属粉末の新しさなどの違いから、バラツキが多い。このため、生徒のデータから、規則性を発見させることは難しい。そこで、ここでは教科書に示されている実験結果を使って、考えさせるようにする。」(東京書籍株式会社, 1997)という説明がある。この実験については、定量的な扱いの不適切さが指摘されている(西川・下村, 1998)。しかし、定量実験であるにも関わらず、得られた測定値から考察しないという授業展開は、他の定量実験についてもみられる。

中学校における定量的な実験は、得られた測定値に基づき考えるのではなく、定量的な実験を体験することに重点がおかれていると考えることができる。誤差の指導をせず、定量的な実験は体験のみにとどまるという理科教育の現状が、「間違い」まで誤差と認識するという実態を生み出したと考えられる。

#### 4. 3 理科授業への示唆

測定値に再現性と普遍性を求めること、信頼できる測定値に基づき判断することは、科学の基本的な態度である。この基本ができていないし、学校教育において重視されていないといえる。英国では、中等教育終了資格試験であるGCSE (General Certificate of Secondary Education)において、探究過程を評価する。その中で、測定値の信頼性も評価基準の一つとされている(Southern Examining Group, 1993)。日本においても、「測定値をよく吟味し、失敗したときには、その原因を取り除いて再実験する

よう、普段から指導しておきたい。」(江田・小森, 1995)とあるように、測定値の信頼性を吟味する態度の重要性を指摘する声はある。しかし、誤差とは何かを知らず、再現性のある測定値を得ることを要求しない定量実験をくり返すという現状では、多くのことは期待できない。

測定値の信頼性を吟味するためには、ある程度の誤差に関する学習を位置づける必要があると考える。誤差についての指導としては、誤差分布、平均値の意味、信頼区間等があげられる。発達段階にあわせた位置づけが必要である。

今回の調査結果を踏まえると、中学校においては、誤差と「間違い」は違うこと、「間違い」を含んだ測定値から考察してはいけないことを認識させる必要があると考える。図4の生徒Aの主観的誤差は、客観的誤差に近いものとみなせる。一方、生徒B、Cの主観的誤差は、「間違い」を含むものである。しかし、その中には、生徒Bのような「間違い」も誤差だという認識が強固である生徒は少なく、生徒Cのように、客観的誤差の提示というゆさぶりにより、認識を変えうる状態にある生徒の方が多い。このことから、誤差と「間違い」は違うことは、中学1年生という学習段階で理解可能であり、また、適切であると考えられる。

さらに、誤差と「間違い」の違いを理解したとしても、「間違い」に気づかない生徒の対策も講じる必要がある。図4の生徒Aの発言にもあるように、「間違い」に気づくためには、複数回の測定を行う必要がある。複数回の測定が行えるように、授業展開を配慮すべきであろう。また、学校教育で通常行われる一斉授業の特色を生かし、各班の測定値の平均をとる、他の班との大きな不一致が生じた場合には、「間違い」の有無についてクラス全体で吟味する時間を位置づけることも、一つの方法であると考えられる。

#### 5. まとめ

密度測定による金属同定にみられる中学1年生の判断の実態を検討し、以下の知見を得た。

- (1) 中学1年生は、測定誤差(偶然誤差と系統誤差)を知らないし、不適切な実験操作等による間違いとの区別もつかないような学習段階にある。そのため、計算間違いや記録違いといった間違いまで誤差と認識する生徒がいる。
- (2) 密度測定による金属同定において、同定可能な測定値の範囲は、各自が認識する誤差に基づいて設定される。間違いも誤差だと認識している生徒の



- 場合、間違いを含んだ測定値から金属を同定する。
- (3) 間違いも誤差だという認識が強固な生徒は少なく、多くの生徒はこの認識を変えうる状態にある。誤差と間違いは違うことは、中学1年生という学習段階で理解可能であり、また、適切であると考ええる。

## 注

- 1) ゆさぶりという用語は、「発問の一つの機能であり、既成の思考・論理に衝撃を加える作用」(白銀, 1994)の意味で用いた。

## 参考文献

- 江田 稔・小森栄治：4. 理科の思考力・判断力の指導と評価, 北尾倫彦編「中学校思考力・判断力 —その考え方と指導と評価—」, 237-252, 図書文化, 1995.
- 阪路 裕：「誤差」を考えさせよう, 物理教育, 41 (4), 408-409, 1993.
- 平賀伸夫・寺谷敏介：物質同定時にみられる判断の実態 —誤差認識に注目して—, 科学教育研究, 24 (4), 217-225, 2000.
- 平賀伸夫・寺谷敏介：金属同定における中学生の判断に関する研究(1) —学習資料が判断に与える影響—, 東京学芸大学紀要 (第4部門), 53, 53-61, 2001.
- 細矢治夫他：中学理科1分野上, 35, 教育出版, 1997.
- 飯塚幸三：3. 測定の精密さと正確さ(Ⅱ), 日本化学会編「化学総説No. 10 化学における精密測定」, 103-113, 東京大学出版会, 1976.
- 川越哲朗：問題を解決していく学習の実践例 —仮説を検証していく授業を通して—, 理科の教育, 42 (10), 29-31, 1993.
- Lechtanski, V. L. : Inquiry-Based Experiments in Chemistry, American Chemical Society, 3-13, Oxford University Press, 2000.
- 湊 昭雄：1. 第1学年における事例 —固体の密度を測定する—, 大野正雄・佐久間光一・武田一美・湊昭雄共編「理科パフォーマンステスト —中学校第1分野—」, 204-216, 東洋館出版社, 1980.
- 文部省：小学校学習指導要領, 大蔵省印刷局, 1989a.
- 文部省：中学校学習指導要領, 大蔵省印刷局, 1989b.
- 西川 純・下村博志：銅粉酸化実験の改良, 科学教育研究, 22 (2), 87-95, 1998.
- 佐藤喜一：1. 3種類の白色粉末を見分ける, 大野正雄・佐久間光一・武田一美・湊昭雄共編「理科パフォーマンステスト —中学校第1分野—」, 54-56, 東洋館出版社, 1980a.
- 佐藤喜一：6. 物質の沸点を測定する, 同上書, 70-73, 東洋館出版社, 1980b.
- 佐藤喜一：7. 物質の溶解度を測る方法を工夫する, 同上書, 74-77, 東洋館出版社, 1980c.
- 佐藤喜一：3. ビーカーの中の液体を密度で同定する, 同上書, 59-62, 東洋館出版社, 1980d.
- 霜田光一他：中学校理科1分野上, 72, 学校図書, 1997.
- 白銀一彦：ゆさぶり, 奥田真丈・河野重男監修「現代学校教育大辞典6」, 385-386, ぎょうせい, 1994.
- Southern Examining Group : GCSE Coursework Booklet, 9, 1993.
- 竹内敬人他：新訂理科1分野上, 55, 新興出版社啓林館, 1996.
- 竹内義雄・福島春子：平均値の標準誤差  $\sigma/\sqrt{n}$  の導入についての試み —パソコンを用いて—, 物理教育, 40 (3), 165-167, 1992.
- 寺島 浩：有効数字の決め方とその指導, 物理教育, 40 (4), 289-292, 1992.
- 寺島 浩：誤差の実験に基づいた測定値取り扱いの指導, 物理教育, 42 (1), 14-17, 1994.
- 戸田盛和他：新版中学校理科1分野上, 63, 大日本図書, 1997.
- 東京書籍株式会社：新編新しい科学1分野上指導書, 270, 東京書籍, 1997.
- 塚原澄夫：理科授業における測定と誤差<中学校>, 理科の教育, 20 (8), 539-542, 1973.
- 上田誠也他：新編新しい科学1分野上, 42, 東京書籍, 1997.
- 横野 誠：身のまわりの物質を使った気体の発生, 中学校理科教育実践講座刊行会編「SCIRE 中学校理科教育実践講座 第2巻 生活の中から学ぶ身のまわりの化学と物理」, 60-65, ニチブン, 1995.