

測定値の解釈のしかたに関する縦断的分析

平賀伸夫*

寺谷敞介**

Nobuo HIRAGA Shousuke TERATANI

*教育実践総合センター

**東京学芸大学

I. はじめに

密度測定による金属同定は、理科における探究的な活動として、日本¹⁾ および海外²⁾ で広く行われている。通常、候補となるいくつかの金属と、金属ごとの密度の文献値を記した資料(密度表)が使用される。生徒は、密度の測定値と文献値との比較を通して金属を同定する。このとき、測定値には測定誤差が含まれるため、測定値と文献値が一致するとは限らない。金属を同定するには、同じものと判別できる測定値と文献値との不一致の限度、すなわち、同定可能な測定値の範囲(同定可能範囲)を設定する必要がある。

著者らは、中学1~3年生および大学1年生を対象に、同定可能範囲の設定のしかたを分析した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 同定可能範囲は主観的な誤差認識にもとづき設定される³⁾。
- (2) 同定可能範囲の設定のしかたは、同定のために参照する特定金属の密度(特定値)に依存するタイプ(特定値依存型)と、特定値と数値が隣接する密度(隣接値)に依存するタイプ(隣接値依存型)に区別できる⁴⁾。
- (3) 特定値依存型と隣接値依存型の特性の違いを数値化できる分析方法を開発した。特定値と隣接値との数値差を x 、その数値差に対して設定される同定可能範囲の下限値および上限値それぞれの平均値を y とすると、隣接値依存型は $y = a + b x$ 、特定値依存型は $y = c$ という関係式で示される。勾配 b および一定値 c は、隣接値依存型および特定値依存型の集団としての特性を示す値である⁵⁾。

これらの知見は、研究対象とした中学1~3年生と大学1年生のすべての学年で共通した。

本研究では、これまで未検討であった高等学校1~3年生について、同定可能範囲の調査を実施した。この調査により、中学1年生から大学1年生までのすべての学年の結果がそろう。特定値依存型と隣接値依存型の人数の比率、それぞれの特性を示す一定値 c および勾配 b を学年間で比較することで、同定可能範囲の設定のしかたを縦断的に分析した。

II. 高校生を対象とした調査

1. 対象生徒

高等学校2校で、調査を実施した。

・愛知教育大学附属高等学校

対象学年・生徒数：1年生(145名)、2年生(97名)、3年生(102名)。

調査時期：2003年10~12月。

・中部大学第一高等学校

対象学年・生徒数：2年生(80名)、3年生(77名)。

調査時期：2005年5月。

2. 調査方法

使用した質問紙を図1に示す。これまでに中学生、大学生に使用したものと同じである。

課題は、密度測定による金属の種類決定(同定)であった。学習資料として、密度の数値順に並べた密度表を提示し、「表にある金属のうちのどれかである」という条件の下で、亜鉛、鉛、ニッケルの同定可能範囲を質問した。それぞれの金属の特定値と隣接値との数値差(隣接密度差)は、亜鉛(-4.4, 0.8)、鉛(-0.8, 7.9)、ニッケル(-6.1, 2.5)であった。

質問は、「自信をもって何々だ」と結論できる測定値の範囲(以下、この結果を「自信あり」と略す)、「たぶん何々だ」と結論できる測定値の範囲(この結果を「たぶん」と略す)に分けて回答を求めた。

3. 結果と考察

(1) 同定可能範囲の分布

各高等学校、学年のそれぞれについて、金属ごと、自信の程度ごとに、回答された同定可能範囲の大きいものから順に番号 n をつけ、下から上へ積み上げ、同定可能範囲の分布を作成した。

同定可能範囲の分布のうち、愛知教育大学附属高等学校2年生(97名)の亜鉛の結果を図2に示す。黒線が「自信あり」、白線が「たぶん」の結果である。横軸は同定可能範囲であり、特定値との数値差で示した。縦軸は番号 n であり、人数に対応する。

「自信あり」では、特定値(図中の0)近くの頂上付近に、範囲のせまい、-側と+側が対称な分布、す

1. 密度を測定して、未知の金属①の種類を決定（同定）することになった。金属①は密度表（表I）にある金属のうちのどれかである。

表I

| 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 ³) | 2.7 | 7.1 | 7.9 | 8.8 | 10.5 | 11.3 | 19.2 |

(1) 「自信をもって亜鉛だ」と結論できる測定値の範囲を答えなさい（小数第1位まで）。

() g/cm³ から () g/cm³ の範囲まで

(2) 「たぶん亜鉛だ」と結論できる測定値の範囲を答えなさい（小数第1位まで）。

() g/cm³ から () g/cm³ の範囲まで

2. (表Iを用い、鉛について1と同じ質問をした)

3. (表IIIを用い、ニッケルについて1と同じ質問をした)

表III

| 金属名 | マグネシウム | アルミニウム | ニッケル | 鉛 | タングステン | 白金 |
|------------------------|--------|--------|------|------|--------|------|
| 密度(g/cm ³) | 1.7 | 2.7 | 8.8 | 11.3 | 19.2 | 21.4 |

図1 質問紙

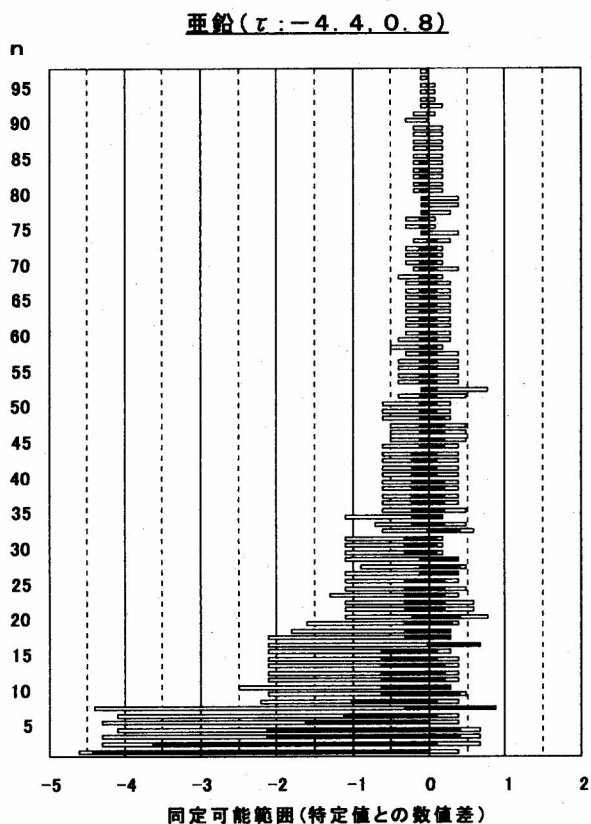


図2 同定可能範囲の分布
(愛知教育大学附属高等学校2年生、亜鉛の例)

なわち特定値依存型の分布がみられた。一方、すそ野には、隣接値方向へ広がる分布、すなわち隣接値依存型の分布がみられた。この分布は-側と+側の隣接密度差が異なるため、-側と+側が非対称となった。

「たぶん」についても、頂上付近に特定値依存型の分布が、すそ野に隣接値依存型の分布がみられた。「自信あり」に比べ、「たぶん」では特定値依存型の分布が広がりを持ち、隣接値依存型の分布の隣接値方向への広がりが顕著になった。

同定可能範囲の分布に、特定値依存型と隣接値依存型がみられた。また、「たぶん」という条件により、「自信あり」に比べて、特定値依存型の分布は-側と+側に対称に広がり、隣接値依存型の分布は隣接値方向に広がった。これらの特徴は、各高等学校、学年で共通してみられた。

(2) 特定値依存型と隣接値依存型の分類基準

特定値依存型と隣接値依存型の分類基準は、これまでと同様に、『特定値依存型の同定可能範囲は、特定金属の文献値に対して $\pm 0.5\text{gcm}^{-3}$ 以下であり、かつ、-側と+側が対称である』、『隣接値依存型の同定可能範囲は、特定金属の文献値に対して $\pm 0.5\text{gcm}^{-3}$ より大きい、または、-側と+側が非対称である』(特定値依存型以外)とした⁶⁾。

(3) 特定値依存型と隣接値依存型の人数比較

各高等学校、学年のそれぞれについて、金属ごと、自信の程度ごとに、特定値依存型と隣接値依存型の人数を算出した。結果を表1に示す。「自信あり」と「たぶん」の間で特定値依存型と隣接値依存型の人数を 2×2 のクロス表にし、各型の人数の偏りを直接確率計算(両側検定)で検定した。すべての高等学校、学年、金属で $p < 0.05$ となり、自信の程度の違いによる人数の偏りに有意差がみられた。自信の程度が低い場合、隣接値依存型が増加するといえる。

表1 特定値依存型と隣接値依存型の人数

愛知教育大学附属高等学校1年

| 金属 | 自信の程度 | 特定値依存型 | 隣接値依存型 | p 値 |
|------|-------|--------|--------|-------|
| 亜鉛 | 自信あり | 67 | 78 | 0.000 |
| | たぶん | 37 | 108 | |
| 鉛 | 自信あり | 62 | 83 | 0.000 |
| | たぶん | 31 | 114 | |
| ニッケル | 自信あり | 64 | 81 | 0.003 |
| | たぶん | 39 | 106 | |

愛知教育大学附属高等学校2年

| 金属 | 自信の程度 | 特定値依存型 | 隣接値依存型 | p 値 |
|------|-------|--------|--------|-------|
| 亜鉛 | 自信あり | 47 | 50 | 0.008 |
| | たぶん | 28 | 69 | |
| 鉛 | 自信あり | 42 | 55 | 0.002 |
| | たぶん | 21 | 76 | |
| ニッケル | 自信あり | 46 | 51 | 0.002 |
| | たぶん | 24 | 73 | |

愛知教育大学附属高等学校3年

| 金属 | 自信の程度 | 特定値依存型 | 隣接値依存型 | p 値 |
|------|-------|--------|--------|-------|
| 亜鉛 | 自信あり | 45 | 57 | 0.000 |
| | たぶん | 18 | 84 | |
| 鉛 | 自信あり | 37 | 65 | 0.012 |
| | たぶん | 20 | 82 | |
| ニッケル | 自信あり | 44 | 58 | 0.003 |
| | たぶん | 23 | 79 | |

中部大学第一高等学校2年

| 金属 | 自信の程度 | 特定値依存型 | 隣接値依存型 | p 値 |
|------|-------|--------|--------|-------|
| 亜鉛 | 自信あり | 41 | 39 | 0.000 |
| | たぶん | 14 | 66 | |
| 鉛 | 自信あり | 28 | 52 | 0.006 |
| | たぶん | 12 | 68 | |
| ニッケル | 自信あり | 26 | 54 | 0.026 |
| | たぶん | 13 | 67 | |

中部大学第一高等学校3年

| 金属 | 自信の程度 | 特定値依存型 | 隣接値依存型 | p 値 |
|------|-------|--------|--------|-------|
| 亜鉛 | 自信あり | 44 | 33 | 0.000 |
| | たぶん | 16 | 61 | |
| 鉛 | 自信あり | 37 | 40 | 0.001 |
| | たぶん | 16 | 61 | |
| ニッケル | 自信あり | 37 | 40 | 0.000 |
| | たぶん | 14 | 63 | |

(4) 特定値依存型と隣接値依存型の特性比較

各高等学校、学年のそれぞれについて、金属ごと、自信の程度ごとに、同定可能範囲の下限値および上限値と特定値との数値差（絶対値）の平均値（平均同定範囲）を算出した。

隣接密度差の絶対値を x 、平均同定範囲を y としたときの特定値依存型と隣接値依存型の関係式を求めた。愛知教育大学附属高等学校2年生（97名）の結果を図3に示す。

隣接値依存型の「自信あり」の回帰直線は $y = 0.20 + 0.08x$ となり、勾配の検定統計量 t ($df=4$) は 8.42 ($p<.01$) であった。「たぶん」のそれは $y = 0.29 + 0.19x$ となり、勾配の検定統計量 t ($df=4$) は 14.30 ($p<.001$) であった。いずれの場合も有意に直線関係を結論することができる。隣接値依存型は $y = a + bx$ の関係式で示される。「たぶん」の勾配 b は「自信あり」の2倍以上であり、隣接値依存型は「たぶん」という条件により、隣接値の影響をより強く受けるといえる。

特定値依存型の「自信あり」は $y = 0.11$ 、「たぶん」は $y = 0.31$ の x 軸に平行な直線となった。特定値依存型は $y = c$ の関係式で示される。平均値の99%信頼区間 ($df=5$) は、「自信あり」: 0.11 ± 0.03 、「たぶん」: 0.31 ± 0.06 であった。特定値依存型は「たぶん」という条件により、「自信あり」に比べて同定可能範囲を3倍程度に広げるといえる。

隣接値依存型は $y = a + bx$ 、特定値依存型は $y = c$ の関係式で示されること、「たぶん」という条件により、「自信あり」に比べて勾配 b 、一定値 c が増加することは、各高等学校、学年で共通してみられた。今回調査した他の高等学校、学年の勾配 b 、一定値 c は、Ⅲ章に示した。

Ⅲ. 同定可能範囲の縦断的分析

1. 調査対象

調査を実施した学校を表2に示す。中学1年から大学1年の各学年を対象に、合計11回実施した。以下、表に示した略称を用いて論を進める。高校2年から大学1年の各学年は、学年ごとに複数校で調査を実施したため、略称に番号をつけてある。番号は、年度内で調査時期が早い順とした。なお、調査結果を文献発表している場合、表中の文献欄に文献番号を記した。

2. 学年進行による特定値依存型の比率の変化

学年ごとに、特定値依存型の比率を比較した結果を図4に示す。「自信あり」では、学年間で比率がばらつくものの、学年進行にともなう特徴的な変化はみられなかった。「たぶん」についても同様であった。「自信あり」と「たぶん」を比較すると、各学年ともに、「自信あり」では特定値依存型の比率が大きく、「たぶん」では比率が減少した。

「自信あり」と「たぶん」の間の比率の変化は、結論に対する自信の程度が低い場合、特定値依存型が減少し、隣接値依存型が増加するという実態を示している。学年間の比較から、この実態は、中学1年生から大学1年生までかわらないといえる。

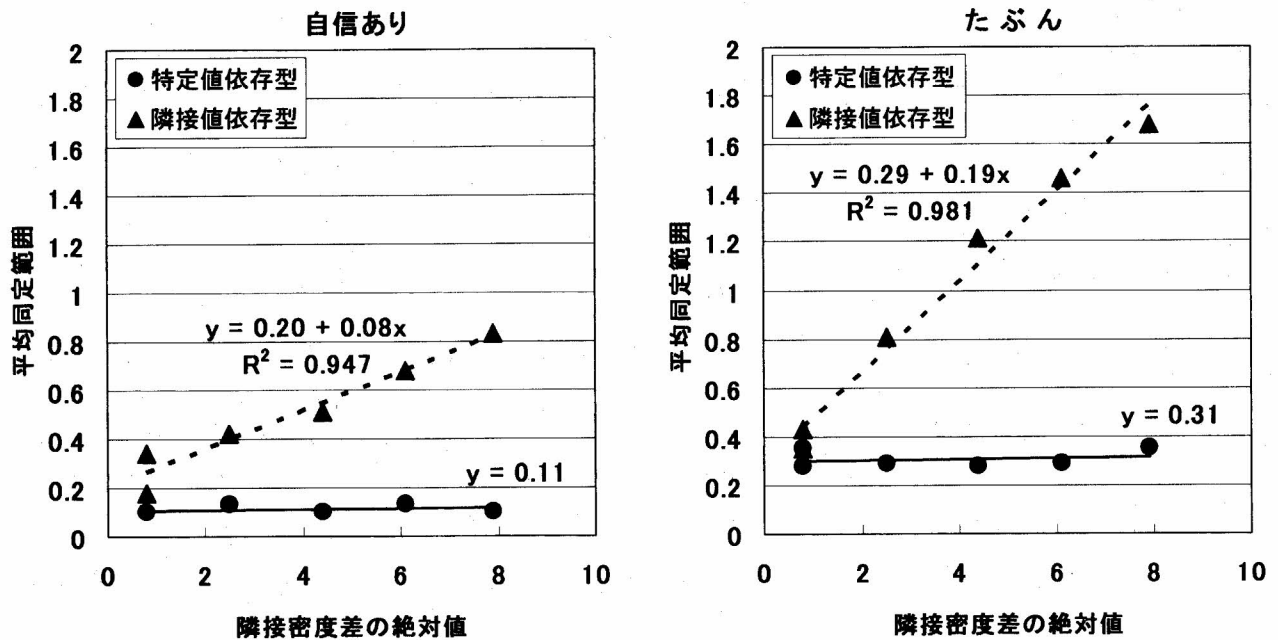


図3 特定値依存型と隣接値依存型の特性
(愛知教育大学附属高等学校2年生の例)

表2 調査を実施した学校

| 学校名・学年・人数 | 調査時期 | 文献 | 略称 |
|-----------------------------------|--------------|-------|-------|
| 東京学芸大学教育学部附属竹早中学校 1年生 82名 | 2000年 7月 | 文献 7) | 中学1年 |
| 東京都新宿区立落合第二中学校 2年生 133名 | 2001年 5～6月 | 文献 8) | 中学2年 |
| 東京学芸大学教育学部附属竹早中学校 3年生 160名 | 2001年 5月 | | 中学3年 |
| 愛知教育大学附属高等学校 1年生 145名 | 2003年 10～12月 | | 高校1年 |
| 中部大学第一高等学校 2年生 80名 | 2005年 5月 | | 高校2年① |
| 愛知教育大学附属高等学校 2年生 97名 | 2003年 10～12月 | | 高校2年② |
| 中部大学第一高等学校 3年生 77名 | 2005年 5月 | | 高校3年① |
| 愛知教育大学附属高等学校 3年生 102名 | 2003年 10～12月 | | 高校3年② |
| 愛知教育大学教育学部 1年生 ^{注1} 153名 | 2003年 4～7月 | 文献 9) | 大学1年① |
| 東京学芸大学教育学部 1年生 ^{注2} 119名 | 2001年 1月 | | 大学1年② |
| 東京学芸大学教育学部 1年生 ^{注2} 95名 | 2000年 1～2月 | 文献10) | 大学1年③ |

注1. 内訳は、初等・中等教員養成課程の数学および理科専攻(66名)、その他の教科専攻(38名)、障害児教育教員養成課程および養護教諭養成課程(9名)、環境教育課程(40名)であった。

注2. すべて、理科教育専攻であった。

3. 学年進行による特定値依存型の特性の変化

学年ごとに、特定値依存型の一定値 c を比較した結果を図5に示す。学年進行にともなう特徴的な変化はみられず、「自信あり」では0.1～0.2、「たぶん」では0.3程度であった。

「自信あり」と「たぶん」の間の一定値 c の変化は、結論に対する自信の程度が低い場合、特定値依存型は同定可能範囲を特定値に対して-側と+側に対称に広げるとい実態を示している。この実態は、中学1年生から大学1年生までかわらないといえる。

4. 学年進行による隣接値依存型の特性の変化

学年ごとに、隣接値依存型の勾配 b を比較した結果を図6に示す。「自信あり」と「たぶん」を比較すると、どの学年についても、「自信あり」に対して「たぶん」では勾配 b が増加した。

勾配 b の変化は、結論に対する自信の程度が低い場合、隣接値依存型は同定可能範囲を隣接値方向に広げるとい実態を示している。この実態は、中学1年生から大学1年生までかわらないといえる。

なお、図6より、「自信あり」と「たぶん」との勾

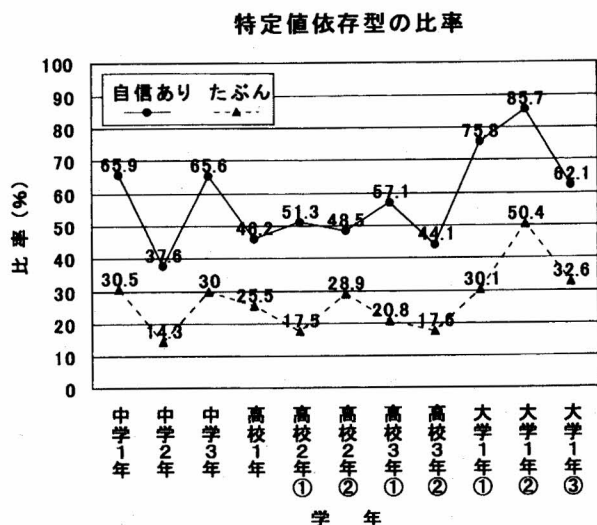


図4 学年ごとの特定値依存型の比率

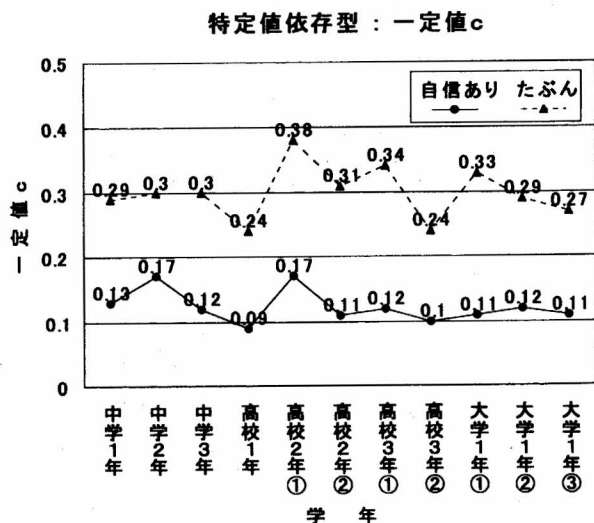


図5 学年ごとの特定値依存型の一定値c

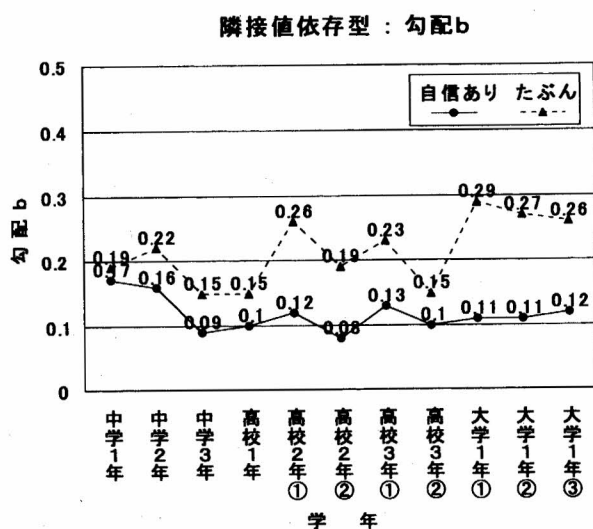


図6 学年ごとの隣接値依存型の勾配b

配bの差は、学年進行にともない大きくなるとみることが出来る。大学生が特に大きい。自信の程度の低下、すなわち、「たぶん」という言葉による勾配bへの影響が、学年進行にともない顕著になることが示唆される。これについては、「たぶん」の勾配bにばらつきがみられるため、今後、さらに詳しい検討が必要である。

IV. おわりに

密度測定による金属同定を題材として、同定の際の同定可能範囲の設定のしかたを、学年進行による変化の有無という視点から検討した。

これまで未検討であった高等学校1～3年生を対象に、同定可能範囲の設定のしかたを調査した。この調査により、中学1年生から大学1年生までのすべての学年の結果がそろった。各学年の結果を用い、特定値依存型と隣接値依存型の人数の比率、それぞれの特性を示す関係式（特定値依存型： $y = c$ 、隣接値依存型： $y = a + bx$ ）の一定値c、勾配bについて、学年進行による変化を検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 結論に対する自信の程度が低い場合、隣接値依存型が増加するという実態は、中学1年生から大学1年生までかわらない。
- (2) 結論に対する自信の程度が低い場合、特定値依存型が同定可能範囲を特定値に対して-側と+側に対称に広げるとい実態は、中学1年生から大学1年生までかわらない。
- (3) 結論に対する自信の程度が低い場合、隣接値依存型が同定可能範囲を隣接値方向に広げるとい実態は、中学1年生から大学1年生までかわらない。

隣接値に依存して同定可能範囲を設定する隣接値依存型は、文献値との不一致が大きい測定値にもとづき結論する。このような同定のしかたは、理科として望ましくない。特定値に依存して同定可能範囲を設定する特定値依存型についても、設定する同定可能範囲が「たぶん」という言葉に影響されるという点で望ましいとはいえない。しかし、今回の検討により、このような同定のしかたの実態は、中学1年生から大学1年生までかわらないことが示された。中学校、高等学校で行われている理科教育カリキュラムは、同定のしかたに影響を及ぼしていないといえる。

同定のしかた、測定値の解釈のしかたを身につけるという視点からのカリキュラム改善の検討、指導方法改善の検討¹¹⁾が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、調査にご協力いただいた、中部大学第一高等学校校長塩谷伸晴先生はじめ諸先生方、愛知教育大学附属高等学校校長遠西昭壽先生はじ

め諸先生方，東京都新宿区立落合第二中学校教諭大野浩史先生，ならびに，調査に参加してくれた学生，生徒のみなさんに謝意を表する。

参考文献

- 1) たとえば，次の文献がある。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。
- 2) たとえば，次の文献がある。Lechtanski, V.L.: *Inquiry-Based Experiments in Chemistry*, American Chemical Society, 3-13, Oxford University Press, 2000。
- 3) 平賀伸夫・寺谷徹介：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 -，東京学芸大学紀要 (第4部門)，53，63-70，2001。
- 4) 平賀伸夫・寺谷徹介：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。
- 5) 平賀伸夫・小島直久・寺谷徹介：密度測定による金属同定にみられる判断の分析 - 大学1年生に対する質問紙調査 -，科学教育研究，25 (4)，243-251，2001。
- 6) 同上書
- 7) 平賀伸夫・寺谷徹介：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。
- 8) 平賀伸夫：実験が科学的思考に及ぼす影響，日本教科教育学会全国大会論文集，28，91-94，2002。
- 9) 平賀伸夫：密度測定による金属同定にみられる判断の分析 (2) - 金属間の密度の差が大きい密度表を用いた場合 -，愛知教育大学教育実践総合センター紀要，7，263-270，2004。
- 10) 前掲書5)
- 11) 指導方法の具体的な改善策については，次の文献で提案した。平賀伸夫：理科教育における定量実験の扱い，理科の教育，52 (11)，12-15，2003。

(平成17年9月2日受理)