大学院派遣研修報告書

所属校	東京都立高島高等学校	氏名	田川健太
派遣大学院	上越教育大学大学院学校教育研究科	専攻・コース	教科・領域教育専攻 自然系コース(理科)
研究テーマ	高等学校理科における測定値の取扱いに関する研究		
	- 教材の開発及び教師の測定値処理に対する意識 -		

I 研究の概要

1. はじめに

OECD による PISA 2003 でなされた調査のうち「不確実性」領域は今日の情報化社会においてますます重要性を増し、数学の内容においては統計や確率と最も関連している領域である。理科で統計や確率と最も関連が深いのは実験・観察における測定値の取り扱いであり、具体的には、真の値を測定しようとするときの誤差、及び個体差や変動がある事象の測定値(以下、事象差という。)の処理である。古くから誤差は避けられないことを認識させてその処理法を身につけさせることが重要であるという指摘があるが、未だ十分な指導法が確立されていない。よって、誤差または事象差をもとに適切な判断が下せる能力を育成する教材の開発を目指し、本研究を行った。

2. 誤差認知と授業形態及び教材開発の方針

誤差に関する理科教育学的研究はあまり多くないが、代表的な2者の研究について検討した。

西川ら(2000)は、振り子の周期とおもりの重さの関係を調べる実験を通して、測定回数を増やしても誤差認知力は高まらないことを示した。平賀ら(2000)は、密度から金属を同定する実験を通して、文献値と測定値の比較をする際の同定許

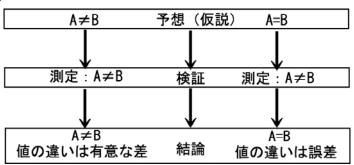


図1 理論負荷性による結論の違い

容範囲があり、特定値依存型と隣接値依存型が存在することを示した。

両者を比較すると、子どもたちは、文献値・理論値という"正解"と比較することで、誤差とは何かがよくわからないまま"正解との差"をすべて誤差と認識したり、またそのような"正解"を示さない場合は本来なら誤差の範疇にあるはずの差を有意な差と認識してしまうことがわかる(図1)。このことは Hanson が提唱する「観察の理論負荷性」によって裏付けられる。

他方、旧来の「事実の帰納型授業形態」から「仮説の演繹型授業形態」へシフトする必要性も訴えられている。今まで授業で行われていた多くの実験(事実の帰納型授業形態)は、教師による目的及び手順の説明に始まり、生徒による実験操作ののち、その結果から結論を帰納するという形態である。しかしこの形態では問題意識が希薄な上に実験の目的がはっきりしないままの"実験"であるため、生徒が行っているのは単なる"作業"であり、よそうなり仮説を検証するという本来的な意味の実験ではない。それに対し、生徒自身の問題意識から予想(仮説)を設定し、それを検証し結論を得、他への適用・一般化をする授業形態(仮説の演繹型授業形態)が科学における本来の実験であり、このような形態が望ましいと森(2003)は主張する。

この「仮説の演繹型授業形態」では、誤った予想(仮説)は実験を通して棄却され、改めて予想(仮説)を設定し直すことになる。しかし、先に述べたように結論は予想(仮説)の影響を大きく受け、誤った仮説が支持されてしまうことがある。たとえば「振り子の周期はおもりが重たい方が遅くなる」といった誤った仮説に対し、実験の結果重たいほうがわずかに遅いという結果が得られたとき、もはやそれを誤差とは認識できず、結局教師が「本当は

こうなのだ」と"正解"を押しつけることになる。正しい理解のためには、確率に基づいた判断が必要になるのである。

小学校や中学校では困難であるが、高等学校の場合は確率にもとづく統計的な判断ができる可能性がある。代表値として親しみのある平均値及び理解が容易である信頼区間を用いることができる教材で,人為的誤差が生じにくく事象差を取り扱う実験教材の開発を目指した。

3. 放射線測定器「はかるくん」を用いた測定

また、測定回数の増加に伴い信頼区間の幅は狭くなり、 精度が増す様子が本実験でも 確認できた(図2)。20回以

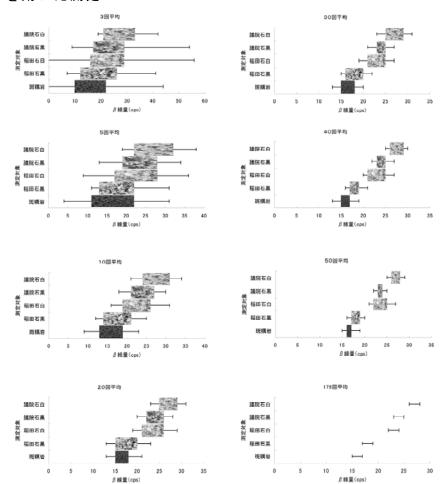


図2 測定回数による平均値分布の違い

上の測定は無意味だとする指摘もあるが、測定回数を増やせば平均値が収束し精度が増す様子を本実験を通じて体感することは重要である。「理科総合 A」において4時間配当で本実験と測定値処理を学習し今後の理科学習の礎とする教材を提案する。

4. アズキ不定根発現実験

アズキ不定根発現実験(Mitsuhashi, 1969)を高等学校の「生物 I 」の「植物の反応と調節」において実施することを検討した。本実験は、オーキシンの働きを学習する教材となるが、得られる測定値が本数という離散量であり人為的誤差が生じにくい。そのため、屈曲角や伸長量の測定より簡便で、測定時間が短縮できるため結果の吟味に十分な時間を割くことができる。また、アズキは播種により上胚軸が容易に得られ、上胚軸が太く取り扱いやすい、発芽が容易、食品としてよく知られているという点で優れているが、アズキを採用している教科書は少ない。

学校教材として用いる場合は材料入手が容易であることが要求される。園芸用のアズキ種子は春先以外は入手困難であるが食品用のアズキはスーパーマーケット等で年間を通して容易に入手できる。食品用アズキ種子は熱風で選別され表面が研磨されるため、園芸用より発芽が困難であると予想される。両者で発芽率を調べた結果違いは見られず(p=.84, ns), どちらも80%以上が発芽した。よって、アズキは日本全国で一年中使用することができる。

インドール酢酸 (IAA) と市 ボーキシン農薬 3種行に対 をでっよ見実験を をでっよ見実験を をでっよ見いが、 では、 をでいる。 をでっよ見とが、 では、 をでいる。 にいる。 にい。 にいる。

2,4-D のベトナム戦争での使用を題材に科学の役割と運用について考え、実際に IAA と2,4-D の作用を不定根数で検討する教材を提案する。この際、不定根数は平均値と 95%信頼

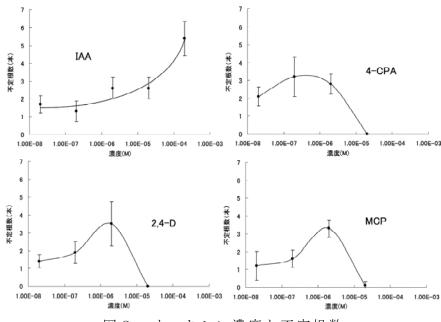


図3 オーキシン濃度と不定根数

区間で表現し、特に因果関係を認定するには相当の証拠がなければならないことを学ぶ教材 を提案する。

5. 理科教師の測定値処理に対する意識と測定値処理学習の可能性

測定値を取り扱う教材が現場に受け入れられるかどうかを検討するため、理科教師がもつ 統計や測定に対する意識や実践の現状を明らかにするために東京都立高等学校の理科教師を 対象に意識調査を行った。

有効数字は8割以上,誤差 は6割以上の理科教師が理科 で指導すべきだと考え、有効 数字を指導する際に誤差と指 数も併せて指導され、 誤差を 指導する際には有効数字と平 均が合わせて指導されている ことがわかった。また、高校 生にも誤差や統計についての 知識が必要ないと思う教師は 少なく, 誤差や統計を指導す るには時間が足りないと指摘 する理科教師が多かった。し かし誤差や統計について指導 するための時間を確保したい とする教師は少なかった。誤 差や統計の指導の必要性に対 し否定的でないものの, 時間 が足りず,他の事項より優先 度が低いため、現在の状況で は測定値のばらつきを処理す る授業は行われにくい状況で あると言える(図4)。

また,有効数字の理解に必要と思われる誤差と指数について,有効数字の指導ととも

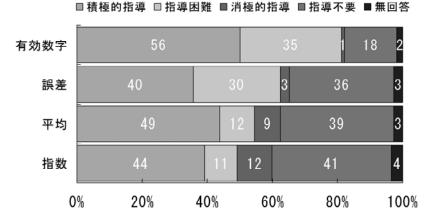


図4 理科教師の数学的内容の指導

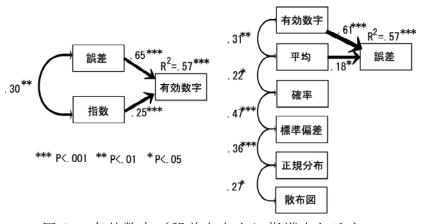


図5 有効数字/誤差とともに指導されるもの

に指導されているかを重回帰分析(強制投入法)で分析したところ、誤差、指数とも指導されていることが分かった。しかし、同様に誤差の理解に必要と思われる有効数字、平均、確率、標準偏差、正規分布、散布図について重回帰分析(強制投入法)を行ったところ、誤差とともに指導されているのは有効数字と平均のみであり、誤差の指導は十分とはいえないということが明らかになった(図5)。

測定値の取扱いが理科の授業に積極的に取り入れられるには、教員研修を通じて啓発することが必要である。高等学校理科教員を対象とする現職研修を東京都を例に検討したところ、都立学校二・三年次授業研究で測定の基礎を学び、選択課題研修のキャリアアップ研修 I で測定と教材例の検討を 8 時間配当で実施するのが望ましいと考える。

修士論文に関連する学会発表

田川健太,西山保子: 高等学校理科教師の測定値処理に関する意識調査,日本科学教育学会研究会研究報告, Vol. 19, No. 6, pp. 17-20 (2005).

田川健太, 西山保子: 高等学校理科実験における測定値の取扱いについて-教師の数学的内容の指導に関する意識と実態-,日本理科教育学会第55回全国大会論文集,p. 299 (2005).

田川健太,西山保子: 高等学校理科における測定値の取扱いに関する研究-放射線測定器「はかるくん」を用いた有意差判断教材の開発-,日本物理学会新潟支部第34回例会ポスター発表予稿集,p.2 (2005).

その他の学会発表

小池守,田川健太,松本克之,西山保子:濃度差による光の屈折現象の教材化,物理教育,Vol. 52, No. 4, pp. 323-324 (2004).

田川健太ほか: 電流学習における粒子水流模型の開発, 物理教育, Vol. 53, No. 4, pp.332-333 (2005).

II 学校等における研修成果の活用計画(授業活用・研修会計画など具体的に記入) 新教育大学大学院派遣研修の成果は、次の2点において授業活用する予定である。

第一に、開発した教材を授業で活用することで、生徒の測定値処理能力を向上させ、科学的判断力を育成することである。数値の評価に対する慎重な態度を育むことで、あらゆる事象において適切な判断を下す能力が育つことが期待される。これは将来の社会的リーダーだけでなく、一般市民にも必要な能力である。

第二に、習得した研究手法を活用し、総合的な学習の時間や課題研究などの生徒による探求的学習活動の指導を充実させることである。「調べ学習」「探求活動」などをより深化させ充実させるためには、文献調査の手法、目的・課題の設定方法、実験・調査の手法、結果の集計とその評価方法、レポート・論文の書き方などを適切に指導する必要がある。大学院における研究活動を通してこれらを体感した成果を、生徒に還元することは重要なことであると認識する。

また、本研修の成果の一部として、現職研修プログラムを提唱している。選択課題研修などで取り入れられることを期待すると同時に、講師等として要請があるときには積極的に協力し、成果の普及に努めたい。

大学院派遣研修成果活用状況

所 属 校	東京都立神津高等学校	氏 名	田川健太	
派遣大学院	上越教育大学大学院	専攻・コース	教科・領域教育専攻自然系コース理科	
研究主題 高等学校理科における測定値の取扱いに関する研究				

本研究で開発した教材は派遣当時所属していた学校の生徒を対象と想定したものである。現所属校は島しょにある学校で、小規模かつ生徒の学力格差が大きい。本教材を適用するには、学校の実態に合わせた教材の開発が必要となる。本研究において開発した教材を直ちに適用することはできないが、研究の過程で培った研究する態度・方法をもとに、現在の所属校で適用できる教材の開発を行っている。

測定結果から平均や95%信頼区間を算出しその結果をもとに議論する教材を本研究で開発したが、本校生徒の達成目標を「測定結果にはゆらぎがあることを認知する」と設定し、それが誤差によるものと事象差によるものの区別ができるようになることを目指している。

科目「生物 I」(第 3 学年 必修選択科目 5 名)において,植物ホルモンの作用に関する実験としてアズキ実生の不定根発現実験を行った。本実験において 1 個体ごとの不定根数にはばらつきがあるが,不定根数の平均はホルモン濃度に依存することが示された。これにより生徒は個体により結果にゆらぎがあることを認知し,さらに平均という統計処理を行うことにより科学的法則性が導き出せることを理解した。

また、科目「化学 I」(第 2 学年 必修選択科目 2 名)において、酸・塩基の反応に関する実験として食酢の中和滴定実験を行った。本実験において同一溶液のH+濃度の測定結果にゆらぎがあることが示された。これにより生徒は測定により結果に揺らぎがあることを認知し、さらに平均という統計処理を行うことにより真の値に近づくことを理解した。

以上の実践は測定値の取扱に関して研究時に設定した目標を達成しているとは言えないが, 本校生徒の実態に即した結果として見るならば,十分な成果である。

さらに、上述の授業以外においても、生徒の実態を科学的に把握した上での授業設計に努めている。研究授業ではない通常の授業を行う授業公開日においても、一般公開用の平易な学習指導案を配布し、常に自らを評価の目にさらすことにより自己研鑽に努めている。この姿勢が徐々に校内で浸透し、教員の意識改革につながることを期待する。

他方,数値の取扱いについては、生徒はもとより教員の意識向上も求められる。そのため、開発した教員研修プログラムを参考に、所属校教職員への働きかけを行っている。たとえば本校では授業評価アンケートを行っているが、本校は生徒数が少ないためアンケートの回収数が少ない。そのとき、得られた平均値だけで授業を評価するのは適切ではないことを伝え、意識向上に努めている。

現在のところ,各種委員会及び研修会への要請はないが,全国の学校等で成果が活用できるよう,学会において下記の通り発表した。

1. 田川健太・西山保子(2006): アズキ発根テストを用いた測定値処理に関する研究,日本理科 教育学会第56回全国大会(奈良教育大学).

本発表では、1で示したアズキ実生の不定根発現実験により測定値処理の基礎を学ぶことができることを示した。聴衆からは「科学的な考えの基礎となる教材でもあるが、食用アズキを播種するとアズキが生えてくるということに感動する生徒も多いはず。」との評価を受けた。

さらに,修士論文の一部を学術雑誌に投稿した。

2. 田川健太・西山保子(審査中): 東京都立高等学校理科教師の数学的内容に関する意識と指導の実態.

高等学校理科教師が理科の授業中に数学的内容について指導している実態を明らかにし、特に統計に関する内容に対して指導の困難さを感じていることを示した。この事実の公表により、理科の授業の在り方に今後大きな影響を与えると考えられる。

成果活用

1

所

属校

で

 \mathcal{O}

2

研

修

会での成果活用

成果を生かした研究授業等

3

本校で行われた島しょ教育研修で研究授業を行った。本研究授業は修士論文の内容を直接適用できるテーマではなかったが、大学院在学中に履修した科目で得られた成果を活用した。

- ·期日 平成18年10月25日 第5校時
- ・科目 「理科総合 B」(第1学年 必修科目)
- ・単元 「生物の多様性」

本研究授業の視点は、微生物の存在を認知する方法の有効性であった。認知する方法として、平板培地に培養した微生物のコロニーを観察することと、コロニーの走査型電子顕微鏡 (SEM)像を段階的に拡大した映像を見ることが試行された。ここで用いた SEM 像は、大学院の科目「生物教材研究」の授業中に撮影したもので、400倍から 10000倍まで段階的に拡大しながら撮影したものである。この画像をパソコンのプレゼンテーションソフトに導入しプロジェクタで投影した。

プレゼンテーションソフトを操作することにより、生徒はあたかも自身が SEM を操作しているように疑似体験することができた。このこととコロニーの実物を肉眼で観察することにより、コロニーが菌の集団であることと、培養が目に見えない微生物を可視化する有効な方法であることを生徒は理解した。

また、本研究授業の学習指導案作成にあたり、生徒の実態把握のために直接確率計算1×2による分析を行った。本方法も大学院で履修した科目「学校実践解析法」の成果である。教職員への本学習指導案配布により、少人数であっても統計的処理は可能であり、科学的分析に基づいた授業設計が可能であることを示すことができた。

このことを通じて、教職員に対し、大学院における研修が大変有意義であることを示すことができた。今まで研修に消極的であった教員からも、研究授業後の協議会で「大学院に行きたくなった」との意見が出された。

本研究において開発した教材は、本校での適用は困難であるが、他校では活用できる可能性が高い。そのため、学会及び学術雑誌での発表により今後もその普及に努める。

他方,本研究においては教員研修プログラムも開発しているので,東京都教職員研修センター等で活用されることを期待している。修士論文では,新たな選択課題研修の設置を提案している。生徒用に開発した教材をもとに,岩石の放射線測定を通して,測定値のゆらぎ,適切な測定回数,平均値や信頼区間などを学ぶための,夏季休業中に行われることを想定した全2回(午前1回,午後1回)の研修プログラムを開発した。

午前の回では、有効数字及び誤差に関する講義、放射線の基礎に関する講義及び放射線測定器の使い方の学習を行う。午前は測定に関する基本姿勢と午後の実験に備え知識を得ることを目標としている。午後の回では、身近な物体及び用意した花崗岩の放射線(β 線)を測定する。各々が 1 サンプルにつき 10 回ずつ測定した結果と、あらかじめ用意した 179 回測定した結果を比較し、測定回数を増やせば平均値が収束し、信頼区間も狭くなることを理解する。

本研修の実施により、教員が測定値とその処理について改めて見識を深め、結果の処理に重きを置いた新たなスタイルの授業ができる教員が東京都に増えることを期待する。

本研究の基礎になるのがカリキュラム開発であり、その培った視点を生かし、新しいカリキュラムの開発・検討に参画する。すでに教育課程委員会において本校の教育課程編成に参画しており、理科をはじめ、常に変化する生徒の実態に即した教育課程編成に助力している。

また、修士論文のあとがきにも記したが、理科教育そのものが新たな役割を担うようになり、本研究が今後の理科教育の在り方に一石を投じる考えでいる。相当に高度化した科学・技術は、その仕組みを理解するのが困難になっている。すなわち、「身近な科学・技術」ほどより難しいのである。その結果、科学・技術を専門家任せにしてしまう傾向が強くなり、市民は科学・技術から離れていってしまう。科学・技術そのものは専門家に任せてもよいかもしれないが、その成果利用に関しては全市民が吟味し批判しなければならない。科学・技術を批判・吟味するための基礎的能力として、数字を正しくとらえ、「騙されないための理科」「正しく判断するための理科」を実現するための叩き台として、本研究の成果が活用されることを期待する。

4

今後の活用計画等