

小学校理科授業における粒子概念の導入の新しい試み

— 教育実践特別演習の新設に向けてのパイロット授業の実施 —

福島 いずみ ・ 芝原 寛 泰

(洛南高等学校附属中学校)

(京都教育大学)

西村 彰 高 ・ 山田 鈴 子

(京都教育大学附属京都小学校) (京都教育大学附属京都小学校)

New Approach to Instruction of Particle Concept in Science Education of Elementary School

Izumi FUKUSHIMA, Hiroyasu SHIBAHARA, Akitaka NISHIMURA
and Suzuko YAMADA

2000年11月30日受理

抄録： 理科教育における粒子概念の導入について、新たな教材開発を含む授業実践を行った。小学校理科教育における粒子論の早期導入の試みとして、附属京都小学校において、6年生を対象に「水は動くの？」というテーマで授業を実施した。自然科学教育における粒子論の位置づけ、及び理科教育における粒子概念の適切な導入方法を検討し、さらに教育現場での実践的授業による検証を試みた。同時に、平成12年度より“実践的教育内容の充実”のため大学院において新設された「教育実践特別演習」科目の実施に向けて検討するため、先行的に実施されたプロジェクトの成果をまとめたものである。

キーワード：粒子論，ブラウン運動，小学校理科教育

1. はじめに

日本における「理科離れ」の原因をたどってみると、明治時代の開国以来、根本的には変わっていない科学教育のあり方につきあたるように思われる。当時、進んだ欧米の近代科学を性急に取り入れることによって、日本は近代産業の急速な発展を成し遂げた。ごく一部のエリートしか教育を受けられない状況の中で、欧米の科学技術に追いつくまでは、既成の知識をまるごと受け入れさせる科学教育の方法が、即効性があり確かに有効であった。しかし現在では、我が国の科学技術は欧米に比肩できるまでになり、新しいものを自ら生み出す必要性に迫られている。さらに生活の変化に伴い、科学的素養は生きていく上で大多数の人々にとって必要不可欠のものとなった。現在の科学教育は、大多数の人に理解しやすく、しかも創造性や独創性を育てるものでなければならない。いうまでもなく、近代科学はアリストテレス的自然観との2千年にもおよぶ、幾多のすぐれた人々の創造的で心躍るような知的戦いを通してようやく築き上げられたものであり、我々が自然に抱く素朴概念を否定することなくしては身につけられるものではない。にもかかわらず、じっくり考えたり、驚きや感動に浸る余裕もなく、日常的な実感とかけ離れた知識を児童・生徒におしつけるようなやり方が、現在の教育の中では余儀なくされている場合が多々あるのではないだろうか。今日、理科教育において最も大切なのは児童・生徒に対して、科学することの楽しさやおもしろさを経験させること、科学への興味を惹起させることである。楽しみながら、より興味を深められるような応用範囲の広い根本的な知識や、疑問を解決するときに役立つような科学的考え方を身につけることが、今、理科教育においてめざされるべきではないだろうか。

前述のように、自然科学の歴史で非常に長い年月を必要としたアリストテレス的自然観からの脱却は、物質を「連続体」とする見方から「粒子の集合」と捉える考え方への変化を基礎として成し遂げられたといえる。本研究は自然科学教育のなかでの粒子論の位置づけ、理科教育における粒子概念の適切な導入方法を検討し、さらに教育現場で実際に授業を実践して、早期導入の可能性の検証を試みたものである。

平成12年度より本学大学院において、「教育実践特別演習」が新設され実施されている。これは平成12年の大学改革において、大きな柱の一つである大学院での“現職教員受け入れの拡大”と“実践的教育内容の充実”を具体化するものとして、また附属学校と大学との連携を進める一環として準備が進められてきた。本研究は、平成12年度からの「教育実践特別演習」の実施を視野に入れて、平成10年～11年にわたり、附属京都小学校において大学教官（理科教育専修）と附属教官が連携して、また大学院生の協力を得て、主に小学校高学年の理科を対象に、先行的に授業（パイロット授業）を行い、調査した結果をまとめたものである。尚、平成11年度教育改革・改善プロジェクト（大学院新設予定科目「教育実践特別演習」のパイロット授業の実施）の一環として行われた事を付記する。

2. プロジェクトの概要

大学院における「教育実践特別演習」を想定したパイロット授業の実施を目的とした本研究は次の4段階を経を行った。

- 1) 理科教育の現状分析及び研究課題（授業テーマ）の設定（期間 平成10年4月～10月）
- 2) 大学における教材開発（期間 平成10年6月～平成11年3月）
- 3) 附属京都小学校における授業の実践（準備と実施を含む）（期間 平成11年4月～9月）
- 4) 授業分析（期間 平成11年9月～12月）

第1段階では、主に小学校、中学校における理科教育の問題点を探る中で、最も取り上げるべき授業テーマを検討した。第2段階では、授業テーマに沿った教材開発を行った。具体的には、粒子概念の導入を実現するための教材としてブラウン運動をとりあげ、さらに授業に用いる教材としての簡易的観察方法を考案した。第3段階では、附属京都小学校における小学校6年生を対象にした理科授業で、拡散とブラウン運動を中心とした粒子概念導入の実践的試みを行った。第4段階では、様々な授業記録をもとにして授業分析を行い、粒子論導入の是非について検討した。

3. 内容

3.1 理科教育の現状分析及研究課題（授業テーマ）の設定

我が国の小学校、中学校における理科教育の問題点としてとりあげられる、「理科嫌い」、「理科離れ」、「自然離れ」の現状について分析した。「理科教育において最も大切なのは何か」という自問の中で授業テーマを模索した。1. でも述べた様に児童・生徒が楽しみながら、より興味を深められるような応用範囲の広い根本的な知識や、疑問を解決するときに役立つような科学的考え方を身につけることが、理科教育において早期に重要である、という基本的な考え方に立った。そこで応用範囲が広く最も根本的な科学的概念である粒子概念、すなわち「すべての物は原子という小さな動き回る粒でできている」に注目した。これは自然を理解する上で最も大切な知識であり、したがって、理科教育において最も身につけさせたい概念である。現代の物質科学においても、原子・分子の種類、配列、結合状態にさかのぼって物性を考え、さらに原子レベルの制御のもとに新しい材料を創製することは常識化している。原子・分子の存在を前提にしたこのような自然科学の体系の中では、理科教育においても身近な現象を、原子・分子の概念をもとに説明すると合理的な場合が多い¹⁻³⁾。

現行指導要領⁴⁾では、中学校理科第1分野で原子・分子の粒子的モデルを導入して考察させ、微視的な見方・考え方を育てるとされている。一般にその学習の時期は中学2年生の3学期頃にあたり、観察・実験の技能の習得とともに、物質の融点・沸点・溶解度、気体の性質を調べ、物質の巨視的な見方や考え方を養うことが目的とされている。しかし状態変化は物質が粒子でできていること、また粒子の動きによる温度変化が関与しており、微視的な見方を導入する方が物質の様々な状態を統一的に捉えることができるばかりでなく、見た目に変化しても、ものは全体として増えることも減ることもないという「物質不滅」の概念に根拠を与えることになる。従って、学校教育においてできるだけ早い時期に物質が粒子でできているという見方を導入し、身の回りの様々な現象を粒子モデルでとらえることに慣れていくことが粒子概念－原子・分子概念の定着につながる。

本研究では粒子概念の学校教育への導入について、本学附属学校における過去の研究例⁵⁻¹¹⁾ および調査結果¹²⁻¹⁸⁾ をふまえ、より早期にかつ楽しく効果的に導入する方法¹⁹⁻²⁰⁾ について、教材および実践方法及び評価の面から検討した。

3.2 大学における教材開発

原子論（atomism）に基づく粒子概念導入のための教材開発を行う上で問題点として、①効果的教材が少な

い、②実験及び観察上の難しさとして、平衡状態がつかれない、対象が微小で扱いにくい、動きが微少で観察しにくい、③観察対象により、マクロなとらえ方とミクロ的イメージが切り離されてしまう、ことなどがあげられる。

①、②の解決策として、最初にインクの拡散実験をとりあげ、次にブラウン運動の観察を通して、水が動き回る粒であることに気づかせるための教材を工夫した。②の解決策については、以下の具体的な教材開発にところで述べる。また、マクロ的現象をミクロのレベルで起こっていることから考えさせることをねらいとして、ブラウン運動の観察の前にインクの拡散実験を設定した。実際に獲得した粒子概念を使ってマクロ的現象を考えることができるようになったかを確認するため、最終段階で気体の蒸発、膨張の実験を扱うことを考えた。

以下に行った教材開発の概略を述べる。

1) インクの拡散実験

500mlビーカーを2つ用意し、各々に室温の水および約80℃の熱水をいれる。対流を抑えるため、厚さ約5mmの発泡スチロール板で水面を覆った。インクを約1mlの醤油挿しにいれ、発泡スチロール板の中央の穴に固定する。安全のためインクの代わりに、水で薄めた食紅を用いることも可能である。また、ビーカーと机を断熱するため、ビーカーを発泡スチロール板の上に置いた。熱水と常温水の2種類のビーカーを区別するため、赤いビニールテープを熱水用のビーカーに貼りつけた。実験では同時に2種類のビーカー内にインクを静かに垂らし観察した。熱水に入れたインク液は瞬時の内に拡散し、冷水の方は下に沈む様子が観察できるが、授業では児童らに実験前にインクの拡散の様子を予想させ、実験後には3日後の様子を予想させた。

2) ブラウン運動の観察

1827年、植物の生殖を研究していたブラウンが、顕微鏡で花粉を観察しているとき、花粉からでてきた微粒子が不規則に動き回るのに気づいた。さらに実験、観察を繰り返し、十分細かくできて水に混ざるものなら、何でも動き回るということを発見した²²⁾。しかし、動く原因についてはその後長い間解明されなかった。1905年、アインシュタインは、周囲の分子の熱運動によって1μm程度の微粒子が動かされ乱雑な動きをするのが観測できるはずだとして、粒子運動の変位の統計分布をもとに、ブラウン運動を定量的に表現した^{23,24)}。この理論に基づいて、ペランが検証実験し²⁵⁾、さらに分子論的なパラメータ（アボガドロ数、分子の大きさ、分子の質量等）の決定が可能であることがわかり、原子・分子の存在が認められるに至り、量子力学、統計力学の誕生と発展のきっかけとなった。このブラウン運動の発見と原因究明の過程は、教育的にも示唆に富むもので、是非今の児童らにも体験させたいことである^{26,27)}。

小学校での授業に用いるためのブラウン運動観察の簡易的方法について考案した²⁸⁾。従来は、児童・生徒がそれぞれ個別に顕微鏡をのぞくため、個々の微粒子の動きについて、全員で具体的に話し合うことが難しかった。

しかし、図1のように、演示実験として顕微鏡に教材提示装置（小型CCDカメラを含む）を接続し、モニター（TV画面）に映し出すことにより、全員が同じ微粒子の動きを観察し、これをめぐって議論することが可能になる。プレバートの作り方と観察のポイントについて

は、すでに詳しく報告した²⁸⁾。ブラウン運動の観察ではカバーグラスや粘土を使って密封し、蒸発や対流を抑えることで、3.2の②で指摘した問題点を解決した。ブラウン運動を観察することができた材料は花粉、牛乳、墨・墨汁・絵の具、チョーク、軽石、ガラス、

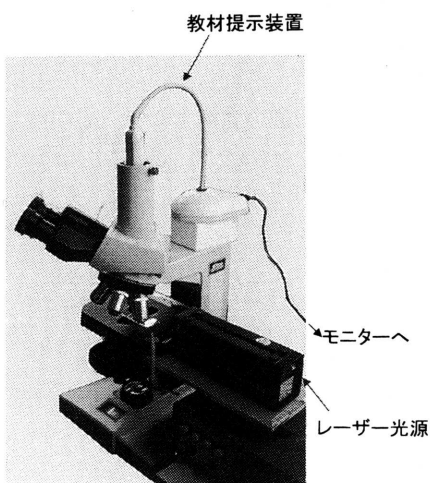


図1 ブラウン運動観察に用いた光学顕微鏡装置。CCDカメラを含む教材提示装置と、レーザー照射装置が取り付けられている。

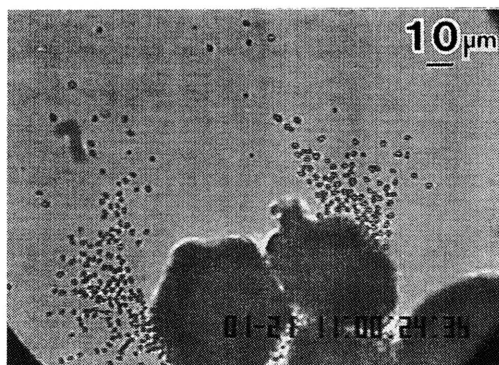


図2 パンジーの花粉から飛び出した微粒子のブラウン運動。観察時の直接倍率は600倍。

銀粒子（絵の具）、蛍光ペン、ラテックス（大きさをそろえた樹脂）である。図2にパンジーの花粉中の微粒子がブラウン運動している様子を示す。また、空気中でのブラウン運動を観察する（例えば、線香の煙を用いる）場合の簡単で確実な方法として、レーザー光をあてて観察することも検討した²⁸⁾。

3) 気体の蒸発、膨張の実験

図3のように、ビニール袋にエチルアルコールを入れて密閉したのち、上から沸騰直後の熱湯を注ぐ。実験上の注意として、熱湯を扱うため教師による演示実験の形で行うこと、アルコールへの引火の可能性があること、アルコールは飛散する可能性もあるのでエチルアルコールを用いること、熱湯を注ぎ続けると顕著な膨張が見られないこと等、いくつかの点について事前に検討し確認した。

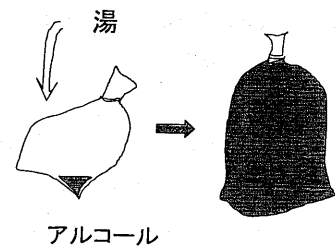


図3 アルコールの蒸発・膨張実験を示す模式図。

3.3 小学校における粒子概念導入の実践的研究

児童自身の内側に自然現象に対しての疑問や問題意識を醸成することによって、はじめて主体的に実験や観察を行うことができる。問題を追究し新たな予想をたて、これを実験によって確かめることにより、自らの概念を変容させていくという科学的な問題解決のプロセスを体験することが可能となる。附属京都小学校において6年生を対象に「水は動くの?」というテーマで5回の授業を実施した。授業中の児童と教師とのやりとりについては、ビデオカメラですべて記録し、また、毎時の学習ノートと共に、後に詳細な分析を行った。その結果、児童個人について、概念の変容が的確に捉えられた。授業実践の記録は、授業を行った大学院生の修士論文としても詳細にまとめられた²⁹⁾。以下に実施内容を述べる。授業は2クラスで行ったが、授業分析は主に6年ろ組の結果について行った。

①日 時 平成11年9月9日～9月30日

②*学年・組 京都教育大学附属京都小学校 第6学年 ろ組（男子18名、女子19名 計37名）

授業担当者 第1次、第2次 … 福島いずみ（京都教育大学大学院）

第3次 … 西村 彰高（京都教育大学附属京都小学校）

*学年・組 京都教育大学附属京都小学校 第6学年 は組（男子18名、女子19名 計37名）

授業担当者 第1次～第3次 … 西村 彰高（京都教育大学附属京都小学校）

③場 所 理科室

④単 元 名 水が動くの?

1) 学習指導案の作成 紙面の都合上、学習指導案から抜粋して以下に示す。

①教材観

直接的に分子の運動に着目させるため、まずマクロ的に観察できる水と湯の中でのインクの広がり方を取り上げる。次のブラウン運動の観察では、はじめに花粉の観察を取り上げる。生物由来のもの＝自立的に動く可能性のあるものから、自立的には動かないと思われる非生物へと観察対象を移していくことにより、動いているのはまわりの水の方だということに気づかせていく。そして、水は動き回る粒だという認識を利用すると、はじめの拡散の実験における水とお湯でのインクの広がり方の違い、および一度広がったものは沈まないことなどが解明できる。

学習指導要領³⁰⁾との関係では、4年生の「物質とエネルギー」における物質の温度による体積変化および水の三態変化、また5年生の「物質とエネルギー」におけるものの溶け方の学習時、または学習後、それらの現象に対する見方を深め、中学校での物質の学習における本格的な粒子概念導入の基礎をつくるものと位置づけられる。

②児童観

本学習を始めるにあたり、事前アンケートを実施した。集計の結果、「ものが溶けたとき重さは変わらないこと」を100%の子どもが認識している。また、80%が、「溶けたとき溶質が目に見えない小さな粒になって均一に溶媒に分散している」と想像している。また、空気の圧縮性と水の非圧縮性について85%が正確に予想している。一方、水や空気を粒としてイメージしていると思われる子どもは30%である。その中で空気の粒よりも水の粒の方を意識的に高い密度で描いたと思われるものは数名であった。調査より、ものが溶けるとき、溶質は小さな粒になっているというイメージを大多数の児童がもっているが、溶媒について明確に粒でできているというイメージを持っているものは極めて少数であることがわかった。

しかし、児童らは4年生で「水と大気の変化」の単元において、水の蒸発と水蒸気の冷却による霧の発生の実験に興味と驚きを持っておこなっており、その際、水蒸気がとても小さな肉眼では見えない水の粒であることを実感しているはずである。霧や雲は小さな水の粒がたくさん集まっているから見えるようになったこと、また雨は水の集まりがさらにたくさんになって重くなったから落ちてくることも学習している。そこから水が小さな水の粒の集まりであることに気づかせることができるだろう。また5年生のときには、食塩やホウ酸の水への溶解のようすをじっくりと観察し、別のものにおきかえた例え話をつくるという体験³¹⁾をしており、ひとつの現象を注意深く観察し、頭の中で再構成して表現することができるようになっていく。すなわち溶けたとき、溶質は目に見えない小さな粒になって溶液中に存在していることを学習している。そこで、インクの拡散の実験によって均一に広がるようすを目の当たりにすることで、溶液の均一性を実感でき、さらに3日間放置したものを見せ、極めて小さな粒は沈まないことを実感させることができる。この実感を基礎に、小さな粒はなぜ沈まないのかと問題を提起し、これを追求することができるだろう。具体的にはブラウン運動の観察により、水が粒でできていることとその粒の動きを推測させることができると考えられる。水が動き回る粒だというイメージを持てれば、水と湯での拡散の違いの理由を考えていくことができるだろう。

③指導観

冒頭にとりあげるインク拡散の実験について、事前のアンケートで児童らに、約3分後の状態について予想を立てさせた。それによれば、広がり方は、湯の方が速く広がる40%、水の方が速く広がる25%、どちらも同じ25%であった。また広がり方に関しては、水の方は、下に沈む、大きく広がる、広がらないの3タイプ、湯の方は、上にたまる、大きく広がる、広がらないの3タイプと、予想が分かれている。そこで、第1次では、それぞれ自分の予想とその根拠を学習ノートにかかせる。次に、3日間放置したらどうなるかを予想させ、3日間置いたものを児童らに提示する。結果を学習ノートに記入させ、水と湯でインクの広がる速さが違う理由、およびいったん広がったものはいつまで置いても沈まない理由について考えさせる。第2次では、花粉からでてきた微粒子のブラウン運動を観察させ、それが動く理由を考えさせる。第3次では、インクの拡散の実験を振り返り、水と湯では何が違うのかと問いかけ、温度と水分子の動きの激しさ（速度）との関連に気づかせていく。最終段階で、アルコールの気化について演示実験を行い、気体の膨張と粒子の動きに注目させた。

2) 単元の目標

インクの広がり方の違いに興味を持ち、ブラウン運動の観察をきっかけとして、水が動いていることや水が粒であることに気づき、水のしくみについて関心を持つ。

具体的な行動目標として、次の点があげられる。

- ①水と湯でのインクの広がり方を観察し、その違いを表現できる。
- ②花粉から出た微粒子が水中で動くのを観察し、動く理由を考え、発表できる。
- ③非生物の微粒子が何故動くのかに関心を持ち、水が動いていることに気づく。
- ④インクの広がり方の違いを水の動きと結びつけて説明したり、発表できる。

3) 指導計画（全5時）

- | | | |
|-----|-------------------------------------|-----|
| 第1次 | インクの広がり | 1時間 |
| 第2次 | 水の中で動くもの | 2時間 |
| | (i) 花粉を水の中に入れて観察しよう | |
| | (ii) 生きていないものを細かくして水の中に入れ詳しく観察しよう | |
| 第3次 | 水が動いている？ | 2時間 |
| | (i) インクの水と湯での広がり方の違いを思いだしてみよう。 | |
| | (ii) ビニール袋にアルコールをいれ、湯をかけたらどうなるか考えよう | |

表1に指導展開を示す。

表1 5時間にわたり行った授業の指導展開。

教師の働きかけ	学習の流れと児童の活動	指導上の留意点
導入 実験内容を説明し、予想とその理由を学習ノートにかかせる。 事前アンケートでの子どもたちの主な予想を黒板で紹介し、根拠があれば発表してもらう。 実験のやり方を説明する。 結果を学習ノートに記入させる。 結果を発表させ、違いを確認させる。	第1次 インクの広がり (1時間) 水とお湯に、インクをたらすとどうなるか。 予想を立て、そう考えた理由を学習ノートに書く。 ＜板書＞ ー児童らの予想 水 予想1 水 予想2 水 予想3 湯 予想1 湯 予想2 湯 予想3 実験のやり方の説明を聞き、2人1組で実験し、観察結果を学習ノートに書く ＜開始直後の様子＞ 水 湯 ＜5分後の様子＞ 水 湯 結果を発表する。	・問題への思い違いがあれば是正する。 ＜実験上の注意点＞ ・インクの温度をそれぞれの水温と同じにする。 ・対流を抑えるためビーカーの下に発泡スチロール板を敷き、発泡スチロールのふたをする。ふたにインク容器をはさむ。 ・熱湯（80℃）を使うのでやけどしないように注意し、湯のビーカーに印を付ける。 ・観察時間は10分程度

表1のつづき

・微粒子の動きを体で表現させる。	みんな、立って微粒子の動きをまねる。	・微粒子の動きを体で記憶させる。
・微粒子が動く原因を想像させる。	花粉の中の小さな粒は、水の中で、なぜ動くのだろう。理由を考えてみよう。	
・学習ノートに書かせ、発表させる。	★生きている説 「生きているから、違う動きををすると思う。」 ★水の動き説 「小さいから、水の動きで揺れているんだと思う。」 どうやったらそれらの説をを確かめられるか	
・仮説を確かめる方法を学習ノートに書かせ、発表させる。	★生きている説を確かめる方法 「熱して殺してしまうと動かなくなる。」 ★水の動き説を確かめる方法 「生きものじゃないものを見て、もし動いていたら水の動きのせいだとわかる。」	・児童の出した検証方法のうち論理が明快で、実現可能なものはやってみせる。 ・児童から出ない場合、生きていないものが動くかどうか見てみるという提案をする。
・生き物でないものを細かくして水に入れてみよう。	チョーク、ガラス、軽石など生きていないものを細かくしたものは水の中で動くだろうか。	
・もし動いていたらどうなるのかと問う。	(板書) 生きていないものが 動いていなければ→生きているから 動いていれば →水の動き	・何を明らかにしようとしているのかはっきりさせる。
・演示実験(チョーク、ガラス、軽石の粉などを水に入れて、顕微鏡観察させる。)	モニターでガラスや軽石の粉が動くのを観察する。 「動いてる。動いてる。」 「生きてなくても動くのか。」	・粒の小さいものしか動かないことに気づかせる。
・観察結果を学習ノートに書かせる。	「小さい粒だけ動いている。」 「ほんと、大きいのはほとんど動かないわ。」 「小さい方が軽いから、動かされやすいのかな。」	
・動いている理由を考えさせ、学習ノートに書かせる。	「水が動いているから。」 「水が動いているから、小さい粒なら動く。」 動いている理由を考え学習ノートに書く。	

表1のつづき

・インクの拡散実験を想起させ、水と湯での違いはどう説明できるか、学習ノートに書かせ、意見を発表させる。	＜板書＞ 生きているか生きていないかに関係なく、 粒が小さければ動く。 → 水が動いている。 インクが水の中で広がっていくことと、実験で分かったこととを、関係づけて説明してみよう。 拡散の様子を思い出し、その現象と水が動いていることを結びつけて考え、水と湯での広がり方の違いを説明する。(学習ノートに書き、提出する。)	
・インクの広がり の違いを出したのは何 かについて意見を発 表させる。 ・インクは粒なのか？ ・水は粒なのか？ ・討論をさせる。 ・動くのは水の粒で お湯ではその動きが 激しいという結論が 導かれたら、自分た ちの考えたことを体 で表現させてみる。 水の時とお湯のとき をやってみる。 ―― ・本当に温度が高か ったら、動きが激し いか実験してみよう。 ・ビニール袋にエタ ノールを入れ空気を 出して口をゴムで止	第3次 水が動いてる？ (2時間) 「水は動いている。湯は動きが激しいから、速く広がった。」 「水の中には流れがあって、水よりお湯の方がよく動いてる。」 「対流があるから。」 「インクを小さな粒と考えると、その粒が動いて広がった。お湯の方がよく動くから速く広がった。」 「インクの粒を水の粒が動かして広げた。」 「水の粒はお湯の方ではよく動くけど水ではちょっとしか動かないんだ。」 帽子をかぶった5～6人はインク役、その他の子どもは水の役になってそれぞれの動きを演ずる。 水の時、みんなは少しずつ動いてインク役の児童を押す。 お湯の時、みんなは激しく動き回り、インクに体当たりする。 ビニール袋にアルコールを入れ、湯をかけたらどうなると思うか。 「蒸発する。かさが増える。」 「ふくらむ。」「爆発する。」	・花粉やガラスの粒の動きを思い起こさせ、流れのような一方向への動きではなかったことを確認する。 ・水の動きを、4年で学習した対流や、外部の振動の影響と考えてしまいがちなので、観察しているのが顕微鏡の拡大像であり、極めて小さな動きであることを再確認する必要がある。 ・完全ではないが、上下の発泡スチロールによって対流はかなり抑えられることを説明する。(湯に銀の絵の具を混ぜ、フタの有無による対流の違いを観察させても良い。) ―― ・温度が上がると粒の動きが激しくなるとしたら、ビニール袋の中のアルコールはどうなるはずなのか、と考えさせる。

表1のつづき

このまま3日置いておいたらどうなると思うか予想させる。 3日置いたものを見せる。 どうしてそうなると思うか問いかける。	3日後を予想し、次の選択肢に手を挙げる。 ア. 湯の方のインクも沈む。 イ. 水の方のインクも全体に広がる。 ウ. どちらも今のままで変わらない。 <3日後> 「ウソー！信じられない。」 「水も時間がたてば自然に広がるのか。」 「お湯が冷めても広がったままなんだ。」 水とお湯で、インクの広がる速さがちがうのはなぜだろう。 考えたことを発表したり、意見を出し合う。 感想や考えたことを学習ノートに書き提出する。	・水の方も時間がたつと自然に全体に広がること、お湯の方は時間がたっても沈まないことを知らせる。(前もって用意しておく。)
導入 ・インクの実験を想起させ、その謎を探るため、水の中に他のものを入れてみよう。 ・花粉の顕微鏡像をモニターに表示する。(～150倍) ・花粉が膨潤する様子および、花粉から微粒子が出てくる様子をVTRで見せてから、この微粒子の動きをモニターに表示する。(～600倍) ・観察して気づいたことを学習ノートに記入させる。	第2次 水の中で動くもの(2時間) インクの実験を想起する。 花粉を水に入れて顕微鏡で見よう。 「花粉を水に入れたら、ふくらんで中から小さな粒がたくさん出てきたよ。」 花粉から出てきた小さな粒のようすをよく観察してみよう。 「ワー！、う、うごいてる。」 「生きているみたい。」 「水のゆれで動いてるのかな。」	・児童の目の前で花を分解し、花粉を取り出す。 ・11～5月頃はパンジー、6～10月はオシロイバナが観察に適している。これらの花粉は大きく(100μm)、水中で短時間で破裂しやすい(数分以内)。 ・全員が微粒子の動きに注目しているか確認する。 ・動きがランダムであること、一方向に流される動きでないことに気づかせる。

表1のつづき

めて見せる。		
・透明の桶に入れ、 上からお湯をかける。	実験をみる。 「ワー、ふくらんだ!」「すごい!」 「思った通りだ」	・30cm × 40cm のビニール 袋にエタノール 15cm ³ 位が 適量である。飛び散った時 の安全性からメタノールよ りエタノールの方がよい。
・みんなの意見を聞 いたり、実験を見て、 インクの広がりにつ いて考え直したこと を書かせる。	インクの広がり方について考えたことや、感想およ び評価（楽しかった度、わかった度）を学習ノート に書いて提出する。	
・最後に授業全体の 感想と評価を書かせ る。		

3.4 授業分析

授業分析を行うにあたり用いた調査方法及び資料について以下に示す。

1) 事前アンケートの実施

授業前の児童らの実態を探るため、授業に先立って、溶解、水に溶けているホウ酸の様子、水と空気の圧縮性の違い、水と空気のイメージ、およびインクの広がり方についての予想を描画法などによりアンケート調査した。

2) 学習ノートへの記入

学習内容に対する理解と反応を確かめ、見方・考え方の変容を調査するため、毎時間に学習ノートを作成し、これに図や説明、感想等を書き込ませ回収した。

3) 授業の記録

VTR により児童らの様子や発言を記録した。

評価の方法については、あくまでも児童の視点に立って理科授業のあり方を探るという立場³²⁾から、学習の姿を実態に即して明らかにするため、従来の統計学にもとづく数量的手法ではなく、児童ひとりひとりの変容を個人別に追いかける方法を試みた。児童らにおいて、「水」のとらえ方が、授業前の認識（事前アンケートの記述）から、第1次、第2次、第3次の授業によって、どのように変容していったかを、各授業における学習ノートの設問に対する記述と描画をもとに、児童ひとりひとりについて追跡し変容の時点と変化の内容を分析し、コメントの形で記述した。例として、5人の児童について、一覧表としてまとめたものを表2に示す。この記録はクラス全員（37人）についてまとめたが、典型例として抜粋した。表2の右側の「楽しさ」「理解度」とあるのは、児童らによる、この学習全体に対する自己評価で、以下のような5段階になっている。

この学習はおもしろかったですか（楽しさ） この学習の内容はわかりましたか（理解度）

- | | |
|------------|-------------|
| 5 とてもおもしろい | 5 とてもよくわかった |
| 4 おもしろい | 4 よくわかった |
| 3 どちらでもない | 3 どちらでもない |
| 2 つまらない | 2 わからなかった |
| 1 とてもつまらない | 1 全然わからなかった |

図4a～cに学習ノートに見られる記述の例を示す。この児童は、図4aに示すブラウン運動の観察では周囲の水を連続体としてとらえているが、図4bのアルコールの蒸発・膨張実験では、アルコール分子を粒子的にとらえている。さらに、図4cでは水の状態変化を粒子の運動の変化としてとらえ、連続体から粒子的概念に変容

していく様子がわかる。

図5に、児童らの水のとらえ方についての変容をまとめた。事前アンケートの水を拡大したイメージについての調査結果によると、35%が水を粒で表している。学校外での知識や水の三態変化の学習などを通して、既に粒のイメージがつくられている児童らも結構いることを示している。しかし、65%は連続体ととらえており、当然ながら全員が水は動かさない限り静止しているととらえている。したがってインクの拡散の実験後、なぜ湯の方が広がりやすいのかについては、ほとんどが説明できず、3名が水溶液と同じ理由だと答え、1名が対流を考え、1名が湯の方がすき間が大きいからそのすき間にインクがたくさん入るのだと答えただけであり、この段階で水の動きを考えたのは1名（対流）に留まった。次に花粉から出た微粒子、ガラスの粉の水中での動きを見て子どもたちの水のとらえ方は図5のように遷移した。次に図6には、インクの広がり方の違いが起こる理由についての説明内容の変化によって、その背後にある水のとらえ方を推察し、その遷移を追跡した結果をまとめた。図5、図6より、子どもたちの認識が授業を通じて「インクが広がるのはインクの粒が水に動かされるから」という認識に変容し、水が動くことに抵抗がなくなっていることがわかる。なお、図6のインクの広がる理由についての項目の中で「温度による」とあるのは、インクの説明における子どもの記述内容が混乱してはいるが、温度によって広がり方が違うということだけは理解したらしいと判断したものである。

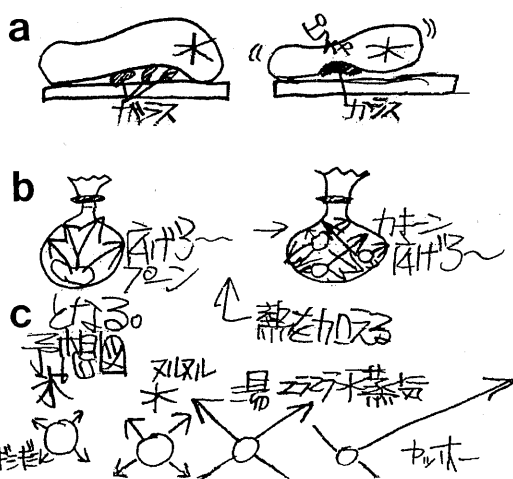


図4 学習ノートにみられる児童の記述。a) では水を連続体としてとらえているが、b) およびc) では、粒子的な概念が芽生えている。

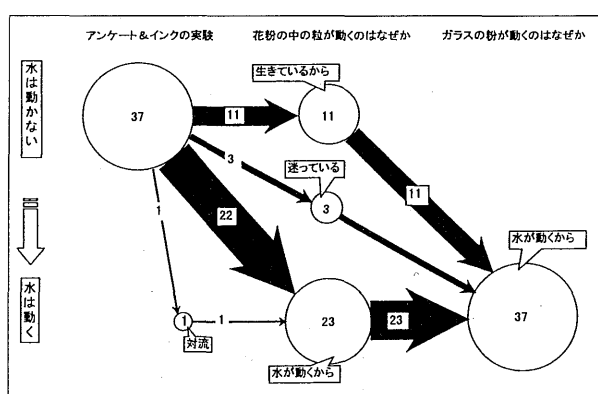


図5 花粉の微粒子およびガラス粉の観察後、水のとらえ方についてクラス全員（37名）の概念の変容を示す。

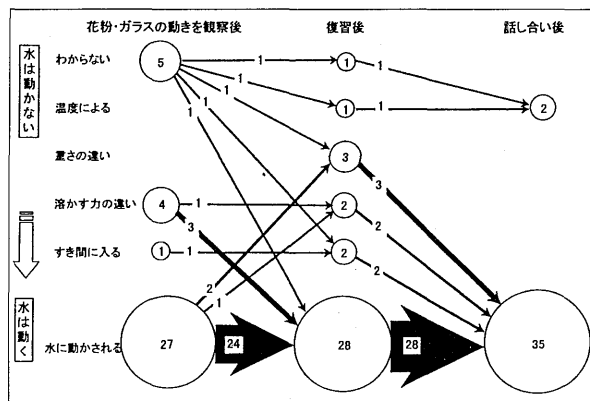


図6 インクのひろがり方を考える際にみられた、水のとらえ方に対する変容を示す。クラスの中での話し合いで大きく変容していく様子がわかる。

図6に示した「水に動かされる」の説明内容をさらに詳しく分類すると、「対流」を考えているもの、また説明の中に「水の粒の動き」という表現や水の粒の図があるもの、粒という表現はないが「水の動き」として一般的に表現しているものがある。次にこれらを区別してより詳しくその変容を追跡した結果、児童らがインクの広がる理由について、温度による重さの違いや溶解力の違い、また対流のようなマクロな流れによるという考えから、次第に、水が粒でありしかもそれが動いていること、そして温度が高いとその動きが激しくなるからであるという認識に遷移していることが分かった。水の粒という表現を使っていない児童らの中にも、そのように考えている児童が少なくないと思われる。多くの児童らが感想で述べているように、水に対する認識が「静止している連続体としての水」から「水は粒で、いつも動いている。温度が高いとその動きは激しくなる」のように変わっていることがわかった。

表2 授業中の児童のとらえ方、考え方の変容の様子をしめす。クラス全員について調査したが、その中から5人の児童について示す。

事前アンケート		第1次		第2次		第3次(1時間目)		第3次(2時間目)		授業後の感想	楽しさ	理解度	印象に残ったこと
児童	溶けたホウ酸の拡大図	水の拡大図	インクが広がる方の予想	インクが広がる方の観察	花粉中の粒が動く理由	ガラスの粉が動く理由	インクの広がりの説明	インクの広がりの説明(復習後)	インクの広がりの説明(話し合い後)				
B2			水一全体に溶け、3日後一両者とも中間状態になる	湯の方が溶けやすいが、溶けたものは温度が下がってそのままだ。水はだんだんと広がり最後には溶ける。	一つ一つは軽いから、水の中の小さな揺れでもすぐ動く。つまり水は目に見えないけどほんの少しずつ動いているのかな。	やっぱり、生きていないものも微妙に動いている。水に動きがあるから。	水の粒がインクの粒とくっつか取り回して、水の粒が動くからインクの粒も動きだしたように見えた。湯の方が先に広がったのはインクの粒が膨張して大きく広がって見えた。	お湯の方が水の流れが大きいから、流れにおされてインクが速く広がる。3日たった後も水も同じ流れになるから一定の濃さのまま両方変わらない。	水の流れではなく、水は小さな粒で、水では小さな揺れがあり、お湯では大きな揺れがある。3日たつと両方同じ揺れになるから、同じになる。	ふつうに見たら分からないけど、水に動きがあるなんて、知らなくてびっくりしたし不思議だった。	5	5	予想通りに、アルコールがふくらんでいくときと水の揺れがテレビ(モニター)で見えたとき
C5			水一全体に溶け、3日後一両者とも中間状態になる	ともおもしろかった。水のおもしろかった。	活動している。大きくなるため合体しようとしている。	大きいのは動いていない。水が揺れたから。	お湯の方が分解力が強いから、インクは熱に強いから、インクの1つ1つが溶けて、はねのけているから。	湯の方が振動が大きく、その振動でインクが散らばる。	みんなの話を聞いていると、「湯の方がブルブルが大きい」とかでまとまっていたので、自分の考えはあっていなかった。湯の方が振動が激しい。	花粉が生きていたみたいだったから、本当におもしろかった。とても楽しかった。	5	4	水の中にインクを入れたとき、花粉に水を加えたとき。
D1			水一全体に溶け、3日後一両者とも中間状態になる	こんな実験したことないの、すっごく楽しかった。	頭とおっぱがなくて、出てくるとき頭の向きがバラバラだから。	水が揺れているから。	小さな粒の間が広がっているのが湯であって、その中にインクの粒がくっついて、水は逆。	水の中にも小さな粒があって、インクを押している。でも、冷たい水の粒と粒の間は狭いからインクが入りにくいので、溶けにくい。お湯の中の粒と粒の間は広いから、インクが入りやすく溶けやすい。	水の中にも小さな粒があって、冷水だと小さく動いて、湯だと大きく動くから、湯の方が速く溶ける。	花粉やガラスや軽石などにも小さな粒があるから、ほかにも粒があるのかな。	4	4	花粉の小さな粒やガラスの粉などが微妙に動いていること
G3			水一全体に溶け、3日後一両者とも中間状態になる	水の方がインクが混ざるが遅く、お湯は速い。なぜお湯の方が速いのか興味を持った。	水が動いているから。	小さいのだけなぜ動くのかな。水が揺れているから。	水が動くから。	水も湯も動いている。湯の方が水より軽いから、動くスピードが速くなる。水の方が重いから動くスピードが遅くなる。だから、湯の方が速く広がる。水の方は広がりが遅くなる。	湯に入れたらアルコールを入れた袋が本当によく動いたので、湯は激しく動いているのだなと思った。水で袋を冷やすと袋が縮んで、水は激しく動いていないんだなと思った。だからインクは湯の方が広がりが速いんだなと思った。	インクは水や湯に溶け込むというより、混ざるという感じがわかってよかった。広がりが水と湯の違いもよく分かった。すっごく楽しかった。	5	5	花粉をテレビにうつしたとき、前後左右に動いていたこと
G4			水一全体に溶け、3日後一両者とも中間状態になる	水にインクを入れても混ざらないで、3日後には全体に広がったことが信じられない。	生きているものでも、小さければ動く。水が動いているから。	生きていてもいないけど、小さければ動く。水が動いているから。	水が動くから。	水や湯の中に小さな振動があって、それが湯の方が大きいと考えた。3日後は湯は冷めても、もう水に溶けているため、下にたまるとはなかった。	湯の中ではインクも湯も両方動くことが分かった。どうして、湯は激しく動き、水はあまり動かないのか？	ふだんいろんな所に使っている水が動いているなんて思いもしなかった。びっくりした。新しい知識を日常生活に結びつけて考えようとしている。	5	4	花粉に水を加えると中から小さい粒が出てきて、動くので驚いた。

児童らの授業に対する興味、関心度について、授業後のアンケートをもとにまとめた。第一次に行った「インクの広がり」の実験観察では、80%以上の児童が「予想外、不思議、おもしろい、楽しかった」という感想を述べ高い興味と関心を示した。第二次で行った花粉の微粒子等を用いたブラウン運動の観察には60%、第三次のアルコールの蒸発・膨張実験の観察には24%の児童が印象に残ったこととしてあげている。また、内容については84%の児童が「とてもよくわかった、よくわかった」と答え、児童自身も満足できる結果であったと判断される。感想として、謎を解いていくような授業展開が楽しかったと述べている児童もあった。

図7a～dに、附属京都小学校における授業の実際の様子を示す。図7aは、インクの拡散実験を観察している様子、図7bでは、モニターに映されたブラウン運動の様子を観察している様子を示している。図7cでは、水と湯における動きの違いを、身体で表現している。図7dは、教師による教卓でのアルコールの蒸発・膨張の演示実験を示している。

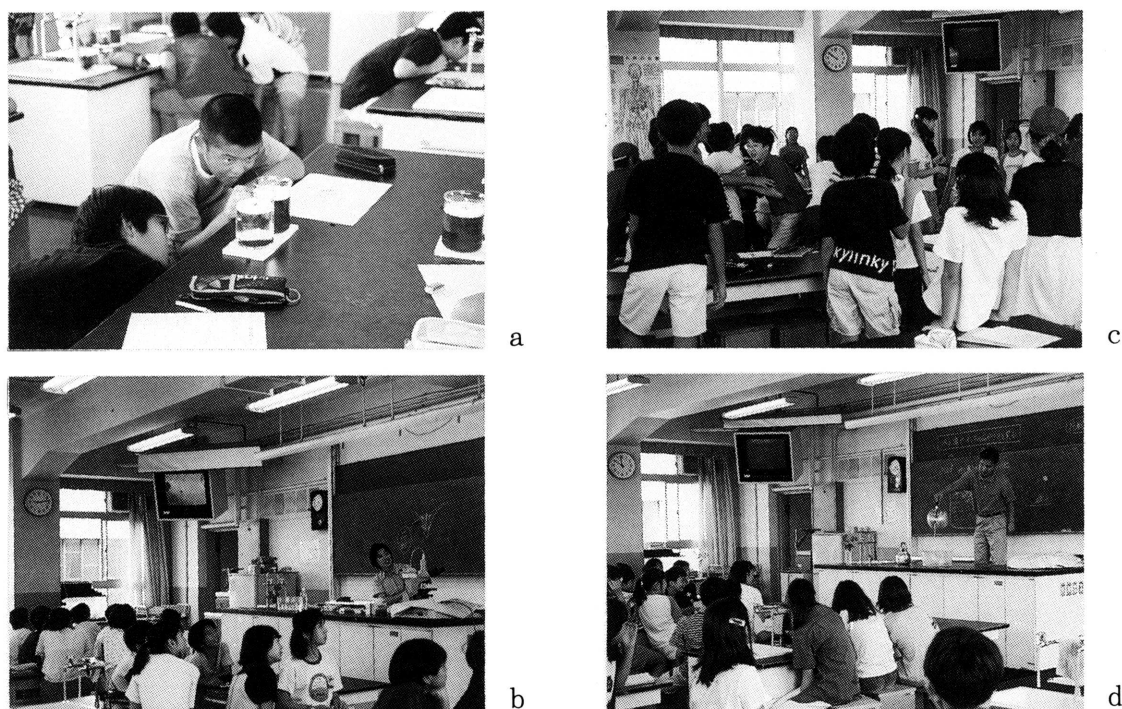


図7 a)～d) 授業風景

5. まとめ

プロジェクトとして教材開発から実践的な教育現場での活用まで行ったが、いくつかの問題点、解決すべき課題も明らかになった。例えば、児童らには目で見た現象を学習ノートに記述させたため、微粒子のランダムで微少な動きを、「動き」一般として抽象化してしまう傾向があり、そのため全く異なる動きであっても、学校知としての対流の概念と結びつけてしまう場面がみられた。また、今回の授業ではチョーク、ガラスを粉にしてブラウン運動の様子を見せ、インクも水も粒だと考えさせることができた。物質はすべて粒子でできていることをつかませることはできなかったが、そのきっかけをつくることができた。これをトピックスに終わらせることなく、今後の金属の熱膨張、燃焼など化学反応の学習等、様々な場面で継続的に物質は粒子でできていることを印象づけていく必要がある。さらに、学習ノートの記述を中心に評価したが、児童らの正直な気持ち、曖昧な表現や意味の通らない表現を確かめるためにも、対面調査などを行う必要がある。今回の授業実践により、小学校における粒子概念の導入の可能性が示された。今後、粒子概念の育成をめざす授業計画や教材の開発がさらに望まれる。

実施した授業は、小学校における粒子論の早期導入の試みとして、先駆的な実践内容を含んでいる。さらに詳細な分析を継続し、小学校における新しい理科教育のあり方をさぐるだけでなく、中学校、高等学校も視野にいたれた粒子概念の合理的な導入を研究する基礎としたい。周到な教材開発と、附属学校教官との綿密な打ち合わせ

を行えば「教育実践特別演習」の実施は、多くの成果が期待されることがわかった。

尚、プロジェクトの実施にあたり、京都教育大学理科部会の研究資料を提供して下さった附属桃山中学校前園律子先生に謝意を表します。

参考文献

- 1) 福島いずみ, 1999. 抗力の実在感について, フォーラム理科教育 No.1 pp73-75.
- 2) 福島いずみ, 芝原寛泰, 1999. 日本理科教育学会近畿支部大会要項, p48.
- 3) 福島いずみ, 芝原寛泰, 1999. 日本理科教育学会第49回全国大会 岐阜大会要項, p254.
- 4) 文部省, 1989. 中学校学習指導要領, 中学校指導書理科編
- 5) 京都教育大学理科教育部会, 1974. 科学概念の発達段階の研究 (Ⅰ) —粒子概念について (その1) —, 京都教育大学教育研究所所報 第20号 pp193-212.
- 6) 京都教育大学理科教育部会, 1975. 科学概念の発達段階の研究 (Ⅱ) —粒子概念について (その2) —, 京都教育大学教育研究所所報 第21号 pp160-176.
- 7) 京都教育大学理科教育部会, 1976. 科学概念の発達段階の研究 (Ⅲ) —粒子概念について (その3) —, 京都教育大学教育研究所所報 第22号 pp198-212.
- 8) 京都教育大学理科教育部会, 1977. 科学概念の発達段階の研究 (Ⅳ) —粒子概念について (その4) —, 京都教育大学教育研究所所報 第23号 pp72-89.
- 9) 京都教育大学理科教育部会, 1977. 粒子概念の発達段階を軸とした指導法の研究—理科の基礎的・基本的な内容観に立って—京都教育大学教育研究所所報 第24号 pp66-93.
- 10) 京都教育大学理科教育研究部会・化学分科会, 1985. 小・中・高校生における状態変化の粒子的とらえ方についての実態調査, 京都教育大学教育実践年報 第1号, pp1-10.
- 11) 前園律子, 1983. 粒子概念育成における一考察 —生徒の実態調査から—, 京都教育大学教育学部附属桃山中学校研究論集, pp12-20.
- 12) 板倉聖宣, 1971. 「もしも原子が見えたなら」(いたずらはかせのかぐくの本 7) 国土社
- 13) 古川千代男, 1989. 「物質の原子論」(プロジェクトサイエンスシリーズ5) コロナ社
- 14) 岩波書店編集部, 1955. 「科学の学校」岩波書店
- 15) 山内恭彦, 平田森三, 富山小太郎翻訳監修 1967. 「PSSC 物理上」岩波書店
- 16) 西田衣里, 林由香他, 1999. 日本理科教育学会近畿支部大会要項, pp49-50.
- 17) 新訂理科1分野上, 1996. 検定, 啓林館
- 18) 松井吉之助, 1987. 化学教育と原子・分子・イオン, 理科教室, 1987年2月号 p22-27.
- 19) 福島いずみ, 芝原寛泰, 1999. 分子・結晶模型の新しい作製方法—原子・分子概念の導入の具体案として—京都教育大学教育実践年報 第15号 pp89-103.
- 20) 芝原研究室, 1998. 第3回 青少年のための科学の祭典 京都大会 p50.
- 21) 芝原研究室, 1999. 第4回 青少年のための科学の祭典 京都大会 p40.
- 22) ロバート・ブラウン著, 伊藤篤子, 板倉聖宣訳, 1975. 仮説実験授業研究, 第I期, 第6集, pp29-45. 仮説社
- 23) 湯川秀樹監修, 1971. アインシュタイン選集1, pp201-264. 共立出版
- 24) 米沢登美子, 1986. 「ブラウン運動」(物理学 One Point 27) 共立出版
- 25) ジャン・ペラン著, 玉虫文一訳, 1978. 「原子」岩波文庫
- 26) 江沢洋, 1976. 「だれが原子をみたか」(岩波科学の本, 17巻) 岩波書店
- 27) 伊藤恵, 1998. 「ちいさな原子論者たち」(やまねこ文庫) 仮説社
- 28) 福島いずみ, 芝原寛泰, 1999. ブラウン運動の簡単な観察法, フォーラム理科教育 No.1 pp49-53.
- 29) 福島いずみ, 2000. 京都教育大学理科教育専修修士論文, 71pp
- 30) 文部省, 1989. 小学校学習指導要領, 小学校指導書理科編
- 31) 西村彰高, 1999. 科学的思考力を育てる理科学習, フォーラム理科教育 No.1 pp33-41.
- 32) 森本信也, 稲垣成哲編著 1999. 「理科における授業研究の進め方」pp72-147. 東洋館出版社