

高校生における粒子観と論理的思考力との関わり

今井 靖*・坂本一光**

Yasushi IMAI and Ikko SAKAMOTO

The Relation between the Concept of Particle and
the Logical Thinking Ability of High School Students

〔キーワード：高校生の粒子観，高校生の論理的思考力，高校生の発達段階〕

1 はじめに

今年，平成6年4月より高等学校においても，新学習指導要領（1989）に基づく新しい教育課程がスタートした。理科においても新しい目標が設定され，科目構成も一新された。そして，従来の理科教育にはなかった新しい面が求められようとしている。

新指導要領における理科の目標は，

「自然に対する関心を高め，観察，実験などを行い，科学的に探求する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め，科学的な自然観を育成する。」

となっており，目標は従来と大きな違いはないように見受けられる。しかし実際には，科目の構成や目標は時代に即したものとなり，内容もこれまでよりも精選したものとなった。そして内容を弾力的にできるようになるなど大きな改訂がなされている。また，最近問題とされるようになってきた児童・生徒の理科離れの問題にも対応するように，配慮がなされている点も大きな特徴である。

今回の改訂の中心となった山極ら（1990）は，現在の理科の状況と課題について，次のような分析を行っている。

- (1) 理科は観察・実験などの直接経験を重視して行われるべきものであるのに，これまでの学校の授業においては観察・実験などが十分に行われず，自然の事象から離れた知識伝達型に偏ったものであった。そのため生徒が受け身の学習態度になり，主体的，積極的に探求する態度の育成が十分になされていなかった。
- (2) 理科の内容がややもすると，純科学的な，アカデミックな体系を中心としたものとなっており，日常生活や科学の応用などで体験できる事象から離れ，生徒にとっては興味，関心をもって学習がしにくいものとなっている。

(3) 科学技術によって支えられた日本社会は，今後科学の応用だけではなく基礎科学の面を一層重視する必要がある。そこでは，創造的な研究開発が期待されるので，科学や技術の面で能力や興味をもった生徒に対しての基礎的な自然科学能力も育成されなければいけない。

これらの課題や分析を踏まえて，

- (1) 観察や実験などの探求活動が十分行われるようにするため，学習指導要領の内容のより一層の精選が行われた。また，教科書の内容が高くなったり，広範囲な知識の羅列に陥らないよう，内容の取り扱いにおいて学習範囲の限定や歯止め事項が多くなされた。
- (2) 日常生活とのかかわりあいを中学校の指導要領でも重視しており，その発展としてIAを付した科目が新設された。
- (3) 観察・実験を重視し，科学的な思考力を育成するために，内容の中に探求活動や課題研究を位置付けた。などこれまでの指導要領と比べて大きな改訂がなされた。

そしてこれらに加えて，これまで行われてきた画一的な理科教育を，生徒の実態にあったものに改めていくことも今回の改訂では目指されている。これは，本来生徒一人一人の興味・関心は異なり，それぞれが異なった個性をもつという個性重視の観点に立ったものである。このことは，他のどの教科よりも理科の科目においてははっきりと示されている。理科を科学的にアカデミックに学び，将来さらに研究を深めていこうとする意志のある生徒に対しては，IBを付した科目を選択するようにさせ，将来理科で学んだことを直接必要とする分野に進まない生徒に対しては日常生活に密接につながったIAを付した科目を選択させるように構成されている。このように，選択性を設け生徒の自主性を尊重したのも今回の改訂の特徴である。

* 島根大学大学院教育学研究科（勤務先：島根県立松江商業高等学校）

** 島根大学教育学部理科研究室

このように、新しい学習指導要領は時代の要求に即しており、またこれからの時代を担う児童・生徒の育成に大きな期待をもって作られている。しかし、実際に学校現場において実施をする場合にはいろいろな課題があることも事実である。

その一つに I A の科目の内容の問題がある。この科目は目標として、

「日常生活と関係の深い事物・現象に関する探求活動を通して、科学的な見方や考え方を養うとともに事物・現象や応用についての理解を図り、科学技術の進歩と日常生活とのかかわりについて認識させる。」

を掲げ、日常生活とのかかわりを重視している。

これは、従来の科学の体系を系統的に学習する理科教育から、生徒が実際に生活をしている身近な所に根差した理科教育への変容を求めているのである。それは、前記の山極らの分析とそれに基づく改訂の要点にも見られるように、現在の理科教育が実生活からあまりにも掛け離れていることに対する反省に基づくものである。このことは現状に対する反省を元にしたものでよい方向へ進んでいるといえるが、実際に教科書が出揃ってみるとその内容があまりにも日常生活の重視に偏り、今度は逆に基礎的な科学の内容が簡単に扱われていることに危惧を感じざるをえない。

このことは、理科の科目の中でも特に化学において強く感じるところである。化学は日常生活に密接にかかわっており、I A の科目としては非常に適している。ところが化学は物質の性質や反応などを扱う科目であり、これは巨視的な見方をする内容と微視的な見方をする内容を持っている。そのため化学 I A の扱いのように巨視的な面を重視して物質の性質なり反応なりを語ることは、単に物質の性質の羅列となり、今回の学習指導要領改訂において批判されている知識の羅列につながる恐れがある。科学的思考は、実験・観察などを通して帰納的に得られた法則等をもとに、さまざまな事象にたいしてその法則を演繹的に応用し、多方面から総合的な考察を行っていくものであるが、今回の改訂ではそのような科学的態度が強く求められている。そこで、化学 I A における物質の扱いは単にその物質の性質を羅列的に扱うのではなく、その基本となる原子や分子などの粒子をもとにした微視的レベルでの思考も重視されなければいけないはずである。普遍的な粒子の存在が、巨視的な物質の性質や状態、反応を規定していることを生徒に認識させ、科学の普遍性を理解させなければならないと考える。

そこで、本研究では、高校生の粒子観の発達とそれにかかわる要因を究明し、新指導要領での化学教育におけ

る物質観を巨視的な側面と微視的な側面の両面から育成していくために、高校生の粒子観とそれにかかわる諸要因の調査を行い、化学の授業を行ううえでの基礎資料としたいと考えた。

2 粒子観と論理的思考力

子供達は、小学校、中学校、高校そして大学と成長するに従って、それぞれの成長段階に合うように構成された学習課程を学ぶことになっている。これはピアジェの発達論が大きな影響を与えており、それぞれの発達段階にはその段階に合った学習内容があることが前提とされている。

確かに生徒を指導する側から見ると、生徒の発達段階は重要な一面をもっていることは事実である。特に論理的思考力を必要とする、理科教育や数学教育においてはこの能力が重視されて、多くの研究がなされて来た。

しかし、最近の研究においては、発達段階だけで生徒の能力を規定することができるかという疑問が提起され、新しい動きが続けられている。これまでの認知主義に基づくピアジェの発達段階や、オスベルの概念構造モデルなどの成果を踏まえながらも、次のような新しい方向へと動きを見せている。

(1) 科学観の見直し

これまでに多くの科学者の手によって構築されて来た科学理論や法則は、帰納的プロセスによって生成された、すべての人に共通の客観的知識ではなく、科学者の固有の概念体系から生み出され個人の内部で生成された個人的な知識である。

(2) 学習者の見直し

学習者も一人一人が固有の概念体系をもっており、学習は個人のもつ概念体系に影響を受けたものとなるため、個人のもつ概念体系に多様性を生じる。

(3) 学習過程の見直し

学習者は、教師から得られた情報を彼らのもつ個人の概念体系と照らし合わせ、彼らの概念体系と一致するように加工して受容すると考えられる。

このような認識に立った理科教育は、misconceptions (Fisher,1983), alternative frameworks (Driver & Easley,1978), intuitive beliefs (McCloskey,1983), preconceptions (Anderson & Smith,1983), spontaneous reasoning (Viennot,1979), children's science (Osborne,Bell,&Gilbert,1983), naive beliefs (Caramazza,McCloskey,&Green,1981) などとさまざまに表現されているが、いずれも学習者一

人一人の認知構造の多様性を認めながら、その解明を目指している。

これらいわゆる構成主義とよばれる理科教育研究は、ピアジェの理論に基礎をおきながらそこから発展してきたものである。ピアジェの理論においては、論理的思考力が重視されているが、このことは対象となる内容に付随している様々な属性を切り捨てて、極めて簡単な抽象的論理として扱おうとする面を持っている。例えば、密度・圧力・速度などの関係概念はすべて、比例関係を包括する論理として一括に扱われてしまう。しかし、本来はこれらの概念はそれぞれが比例だけでなくさまざまな意味内容、例えばそれらが測定されたり計算されたりするときに付随してくる諸要素によって影響を受けており、一括して一つの論理として扱うことはできないことは幾つかの研究によって示されている。

構成主義の考え方はしたがって、ピアジェの理論をもとにしながら、学習者の認知構造を論理的思考力などの論理構造としてとらえるのではなく、学習者一人一人がもつ概念体系としてとらえようとする新しい方向へ向かってきている。

こういったことをふまえて考えると、高校生の粒子観も単なる論理的思考力によって形作られているのではなく、生徒がそれまでの経験をもとにそれぞれ固有に形成した概念体験の影響を受けていることが考えられる。そこで、この研究では理科教育研究の面からは、生徒の粒子観と論理的思考力や発達段階とのかかわりだけでなく、生徒が既に形成していると考えられる物質観、粒子観の一部も明らかにしたいと考えている。

3 調査目的

高校生の粒子観と論理的思考力、発達段階のかかわりを次の三つの視点から調査した。

- (1) 高校生がどのような粒子観を形成しているか実態を、質問紙法で調査し分析する。
- (2) 高校生の発達段階と論理的思考力の諸要素を質問紙法によって調査し、粒子観とのかかわりについて考察する。
- (3) 高校生のもつ既成の概念が、物質観や粒子観に対してどのような影響を与えているか考察する。

4 粒子観と論理的思考力の調査内容

4-1 調査対象

調査対象は、松江市内の職業高校の生徒である。2回の調査それぞれの内訳は、表1に示すとおりである。

93年12月調査では、3つの学年からそれぞれ3クラスずつの生徒を選び行った。94年5月の調査では、新入生の1年生全クラスを対象に調査を行った。

対象の学校は、商業系の学校であるため女生徒の割合が多く、全体の60%~65%を女子が占めている。また、学力的には島根県下の高校生では中程より少し上の集団である。理科に対する興味関心は、自分たちの進路に直接影響しないことから、学年を追うごとに減少する傾向が見られる。しかし、入学段階では十分に理科に対して興味関心をもっている集団である。

4-2 調査の時期

調査は2回行った。それぞれの時期は次のようになっている。

表1 調査日時・対象

1993年12月17日(金)調査
高校生調査対象内訳

1994年5月24日(火)
高校生調査対象内訳

(単位:人)

(単位:人)

	1年	2年	3年	合計
男子	47	33	33	113
女子	70	91	74	235
計	117	124	107	348

	1年
男子	108
女子	187
計	295

表2 粒子観の分類

カテゴリー	略号	特徴	抽象度
連続的説明段階	I群	物質の構成を粒子から説明することができず、該当の物質が連続的に統一的に広がっていると認識している。	↑ 低い ↓ 高い
前粒子的説明段階	II群	連続的な物質の中に、物質の粒子がところどころ浮かんでいる状態で連続的な物質と粒子が共存している。	
疑似粒子的説明段階	III群	ほぼ粒子によって物質が構成されていると説明できるが、粒子の間に他の物質や未知の物質の存在を想定している。	
粒子的説明段階	IV群	物質を構成しているのはその物質の粒子であると考え、粒子で物質を説明している。	

第1回調査

1993年12月17日

第2回調査

1994年5月24日

4-3 調査の方法と内容

調査は、分析に多変量解析を用いるため質問紙法を用いて行った。まず、調査方法の適否と設問の妥当性を検討するため予備調査を大学生に対して行い、その結果をもとに自作の粒子観の調査問題を資料1-1に示すものに決定した。

生徒の粒子観とそれに関わるいくつかの要素を調査するために、次の3つの調査を行った。

(1) 生徒の理科に対する態度の調査

SASを用いる

(2) 生徒の発達段階に関する調査

GALTを用いる

(3) 生徒の粒子観に関する調査

自作の問題を用いる

SASは、Science Attitude Scaleの略であり、Aiken, L.R.によって1979年に考案されたものである。なお、これによる結果等については別に報告する予定である。

GALTは、The Group Assessment of Logical Thinkingの略であり、Roadrangka, Vらによりピアジェの発達段階の調査を一斉に大量に処理できるように考案されたものである(以下GALTとする)。それまでの発達段階の調査は、面接法を中心としたものであったが、この調査方法では大量の被験者に一斉に調査ができる利点があり、その有効性については多くの研究報告

がある。

調査は、1993年の調査では被験者348名全員を一か所に集め、約50分をかけて一斉に調査を行った。1994年の調査では、40名ずつのクラスごとに50分をかけて調査を行った。

4-4 調査問題

調査問題は、資料1-1、1-2に示した問題を用いた。

粒子観の調査では、気体の空気、液体の水、固体の食塩についてそれぞれを構成する粒子の状況を4段階に分け、これを表3のように配列して選択させた。それぞれの段階は、物質の構成を粒子でとらえず連続的に認識している段階(連続的説明段階とする)から、連続的な物

表3

問題2、3、4

問題2・・・水の構成について

問題3・・・結晶の食塩の構成について

問題4・・・空気の構成について

	問題2	問題3	問題4
1 連続的説明段階	(1)	(1)	(1)
↓	↓	↓	↓
2 前粒子的説明段階	(4)	(4)	(4)
↓	↓	↓	↓
3 疑似粒子的説明段階	(2)	(2)	(2)
↓	↓	↓	↓
4 粒子論的説明段階	(3)	(3)	(3)

質の中に粒子が含まれている段階（前粒子的説明段階とする）、粒子を中心とした物質構成の中に他の未知物質などを想定している段階（疑似粒子的説明段階とする）、粒子のみによって物質が構成されていると説明できている段階（粒子的説明段階とする）までに分けた。これらの問題は、Osborneらによる液体、NovickやNussbaumらによる気体についての研究をもとに自作したものである。

GALTは、前出のようにRoadrangkaらによって作られたものであり、これを日本語版に訳したものである。これは武村らが1988年の文部省科学研究費に基づく研究で用いたものである。

5 調査の結果と分析

5-1 結果の処理方法

(1) 粒子観の調査

粒子観の調査の結果処理は、表2に示すような4群の分類を行った。これは、森本・森藤(1988)が粒子観の4群分類を行ったものを参考に、この分類のI群を連続的説明段階としたものである。

問題は、表3に示すように配列されており、すべて同じように粒子の認識段階が進んで行くように作った。

(2) 発達段階の調査

GALTは、それぞれの問題について正しい答えと正しい理由で1点を与えることとし、その得点で表4に示すように発達段階を、具体的操作期、移行期、形式的操作期とすることとした。また、6つの論理的操作能力はそれぞれ2点ずつ得点されるように構成されており、その合計が発達段階の総得点となるようになっている。

表4

GALTの得点について

「正しい答え」と「正しい理由」
両方で1点

保存	: 問題1、2	2点
比例	: 問題3、4	2点
条件統一	: 問題5、6	2点
確率	: 問題7、8	2点
相関	: 問題9、10	2点
場合の数	: 問題11、12	2点
	合計	12点

得点の段階への換算

- C 具体的操作期: 0~4点
- T 移行期: 5~7点
- F 形式的操作期: 8~12点

5-2 粒子観の調査結果と考察

5-2-1 空気についての結果

(1) '93年調査

図表1にあるように、4段階のうちでI群とIV群の割合は男・女、全体でもほとんど変わらない。しかし、III群の割合は女子が多くなっている。

(2) '94年調査

図表2にあるように、男子と女子では大きな違いが現れている。特に女子ではI群の割合が多く、IV群が男子に比較して少ない特徴をもっている。このことは、女子の方がこの時期では粒子の認識段階が遅れていることを示している。

(3) 両調査の比較とまとめ

'94年の調査は、新入生に対するものであり高校での理科の指導を本格的に受けていない段階での結果である。つまり、中学校終了段階の粒子の認識である。'93年の調査は3学年がすべて含まれているのでそのまま比較することはできない。そこで、1年だけを抽出して比較してみると、女子の結果が類似の傾向を示している。このことから、(2)で示した考察の正当性が補強された。

空気についての認識は、III群の割合が高く、I群も

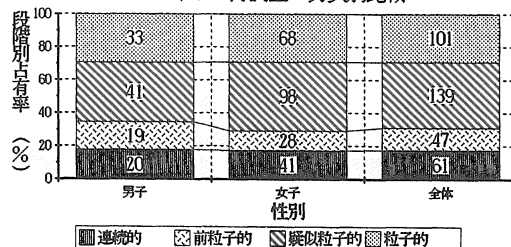
図表1 粒子の認識段階 空気
93年12月調査 男女比較

段階別人数	(単位:人)			
	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	20	19	41	33
女子	41	28	98	68
全体	61	47	139	101

段階別比率 (単位:%)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	17.7	16.8	36.3	29.2
女子	17.4	11.9	41.7	28.9
全体	17.5	13.5	39.9	29.0

粒子の認識段階 空気
93年12月調査 男女別比較



図表 2 粒子の認識段階 空気
94年5月調査 男女比較

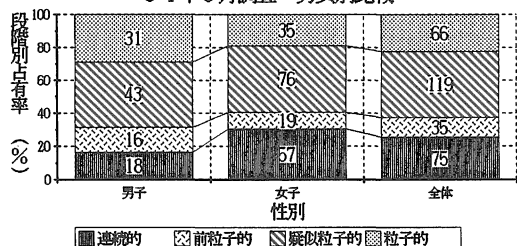
段階別人数 (単位:人)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	18	16	43	31
女子	57	19	76	35
全体	75	35	119	66

段階別比率 (単位:%)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	16.7	14.8	39.8	28.7
女子	30.5	10.2	40.6	18.7
全体	25.4	11.9	40.3	22.4

粒子の認識段階 空気
94年5月調査 男女別比較



図表 3 粒子の認識段階 水
93年12月調査 男女比較

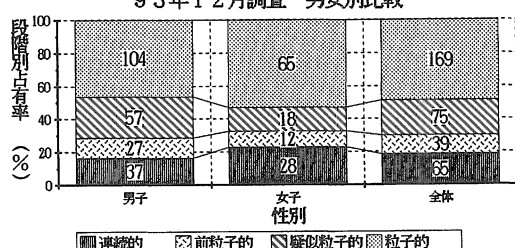
段階別人数 (単位:人)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	37	27	57	104
女子	28	12	18	65
全体	65	39	75	169

段階別比率 (単位:%)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	16.4	12.0	25.3	46.2
女子	22.8	9.8	14.6	52.8
全体	18.7	11.2	21.6	48.6

粒子の認識段階 水
93年12月調査 男女別比較



図表 4 粒子の認識段階 水
94年5月調査 男女比較

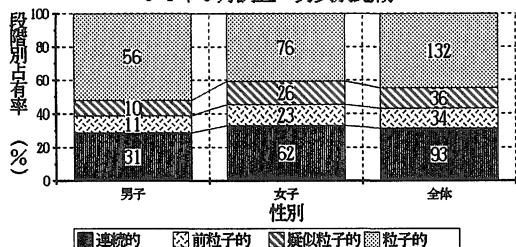
段階別人数 (単位:人)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	31	11	10	56
女子	62	23	26	76
全体	93	34	36	132

段階別比率 (単位:%)

	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	28.7	10.2	9.3	51.9
女子	33.2	12.3	13.9	40.6
全体	31.5	11.5	12.2	44.7

粒子の認識段階 水
94年5月調査 男女別比較



また高い割合を示しており、IV群の段階が低いことが分かる。このことから、空気は粒子としての認識ができにくい物質であるといえる。

5-2-2 水についての結果

(1) '93年調査

図表3にあるように、4段階のうちIV群の割合が空気に比べ大きく増加している。このことより粒子的な認識が増加していることが分かる。男女の比較では、この調査においては女子のIV群がわずかではあるが多いことが分かる。

(2) '94年調査

図表4にあるように、空気と同じく男子と女子では大きな違いが現れている。特に女子ではI群の割合が多く、IV群が男子に比較して少ない特徴もっている。このことは、空気と同じように水でも女子の方がこの時期では男子に比べて、粒子の認識段階が遅れていることを示している。

(3) 両調査の比較とまとめ

ここでも'93年の調査から1年だけを抽出して比較してみると、女子の結果が似たものとなった。このことから、(2)で示した考察が正しいことが示された。ま

図表5 粒子の認識段階 食塩
93年12月調査 男女比較

(単位：人)

段階別人数	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	12	10	36	55
女子	11	18	101	105
全体	23	28	137	160

(単位：%)

段階別比率	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	10.6	8.8	31.9	48.7
女子	4.7	7.7	43.0	44.7
全体	6.6	8.0	39.4	46.0

図表6 粒子の認識段階 食塩
94年5月調査 男女比較

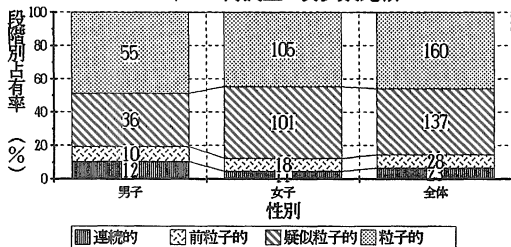
(単位：人)

段階別人数	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	4	8	43	53
女子	7	10	93	77
全体	11	18	136	130

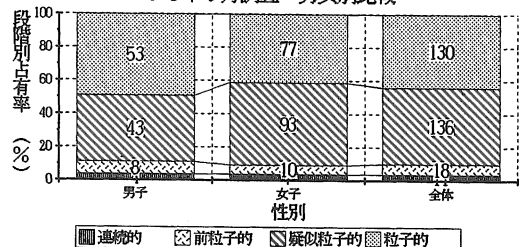
(単位：%)

段階別比率	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
男子	3.7	7.4	39.8	49.1
女子	3.7	5.3	49.7	41.2
全体	3.7	6.1	46.1	44.1

粒子の認識段階 食塩
93年12月調査 男女別比較



粒子の認識段階 食塩
94年5月調査 男女別比較



た、両方の調査を比較すると、全体、男女とも'94年のI群の割合が'93年の割合よりも多くなっていることが分かる。このことから、中学校段階での粒子認識は低いといえる。

水についての認識は、両調査を通じてIV群の割合が空気に比べて高くなっており、II群、III群が減少している。しかし、I群が一定の割合で減少していないことにも注目しなければいけない。このことから、水になると粒子的な認識が少しずつできるようになってきているが、まだ連続した考えをもつ者が残っていることもわかる。

5-2-3 食塩についての結果

(1) '93年調査

図表5にあるように、III群、IV群の割合がほとんどを占め、I群、II群はわずかになっている。男女では、わずかながら女子のIV群が少なくなっている。空気や水と比較すると、食塩でははるかに粒子としての認識が高くなっている。

(2) '94年調査

図表6にあるように、結果は'94年の調査とほとんど同じ結果を示している。III群、IV群の割合が非常に

高く、粒子としての認識ができるようになっている。ただ、III群のほうが割合的に多くなっているのが、'93年と少し異なる点である。男女の比較では、やはり女子のIV群の割合が少なくなっている。これは、空気や水と同じ傾向であり、この時期における女子の粒子認識が男子より遅れていることを示している。

(3) 両調査の比較とまとめ

両方の調査を比較すると、全体でも男女でも'94年のIII群の割合が'94年の割合よりもわずかではあるが多くなっている。このことから、中学校段階での食塩に対する粒子認識は、少し遅れているといえる。

食塩は、他の二つの物質に比べはるかに粒子としての認識ができていて物質であるといえる。

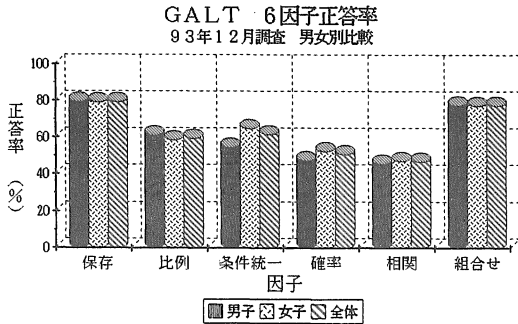
5-2-4 まとめ

空気、水、食塩の粒子としての認識を比較してみると、明らかに空気から水、食塩となるに従って粒子としての認識の割合が増している。このことは、気体として見えにくい空気や、液体の水は、固体の食塩よりも粒子としての認識ができにくいことを示している。つまり、物質の属性が粒子の認識に影響をしていると考えられる。

図表7 GAL T 6 因子正答率
93年12月調査 男女別比較

GAL T 6 因子正答率
93年12月調査 男女別比較 (単位: %)

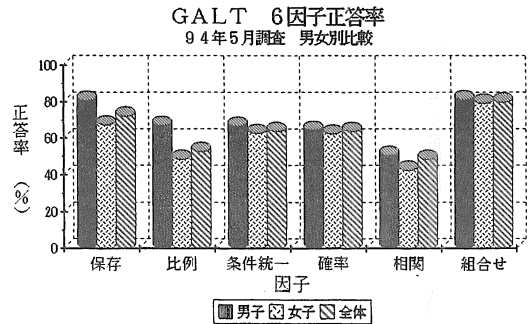
	保存	比例	条件統一	確率	相関	組合せ
男子	79.2	61.1	54.4	47.3	45.6	77.4
女子	78.9	58.3	64.7	52.3	47.0	77.0
全体	79.0	59.2	61.4	50.7	46.6	77.2



図表8 GAL T 6 因子正答率
94年5月調査 男女別比較

GAL T 6 因子正答率
94年5月調査 男女別比較 (単位: %)

	保存	比例	条件統一	確率	相関	組合せ
男子	80.6	67.1	66.7	64.4	50.5	81
女子	67.4	48.4	62.6	62.3	42.5	79.1
全体	72.2	52.6	63.7	63.8	48.4	79.7



5-3 発達段階の調査結果と考察

5-3-1 6つの能力についての結果

(1) '93年調査

図表7に示すように、保存、比例、条件統一、確率、相関、組合せの6つの能力別の得点の状況を比較すると、男女とも保存や組合せの能力では高い得点をあげている。逆に、相関や確率で50%を切るような正答率である。

男女での差はほとんどなく、わずかではあるが、条件統一において女子の正答が上回っているだけである。

(2) '94年調査

図表8に示すように、6つの能力の比較では、'93年と同様に相関の得点は非常に低くなっているが、全体としては正答の割合が増している。

男女では明らかな違いが見られる。男子の方が保存、比例などで女子と比較して正答率が大幅に高くなっている。

(3) 両調査の比較とまとめ

'93年の調査結果は3学年をまとめたものであり、'94年と直接に比較はできないが、発達段階は15歳を過ぎた時点で大きな変化を示さなくなるのではないかと考えられる。それは、3学年をまとめた'93年の調査の方が本来ならもっと成績がよくなければいけないはずであるが、かえって'94年の方が上回っていることから、この差は調査集団の能力差であって年齢差ではないのではないかと考えられるためである。

5-3-2 発達段階についての結果

表5は、GAL Tの得点の平均点を、調査別、学年、

学科、性別で比較したものである。この平均点からも、'94年の調査の方が成績がよいことが分かる。これは、GAL Tの調査結果の差が集団の能力差であることを示唆している。

(1) '93年調査

図表9は、発達段階を男女別に比較したものであるが、女子の方が形式的操作段階へ進んでいる割合が多いことがわかる。

全体としては、具体的操作段階に残っている割合は少なく、ほとんどが移行期から形式的操作段階へ進んでいる。

(2) '94年調査

図表10で男女を比べると男子の方が形式的操作段階へ進んでいる割合が多いことがわかる。

全体の傾向は'93年の調査と同じで、具体的操作段階に残っている割合は少ない。

(3) 両調査の比較

この結果からもやはり、発達段階は15歳である程度完成していることがうかがわれる。'93年と'94年と比較してみると、本来ならば3学年をまとめて調査した'93年の方がもっと形式的操作段階の割合が多くてもよいはずであるが、結果としてそうっていないことから、この差はやはり集団の能力差だと考えられる。

5-3-3 まとめ

発達段階と6つの能力について見ると、高校の段階ではどの学年もそう大きな違いがないことがわかる。どの時期でも、ほとんど移行期から形式的操作段階へ進んで

表5 GAL T発達段階

調査別得点平均

		93年12月調査	94年5月調査
全体		7.5	7.6
学 年	1年	7.6	
	2年	7.6	
	3年	7.2	
学 科	商業科	6.9	7.3
	情報処理科	8.6	8.7
	会計科		8.7
	国際経済科		7.4
性 別	男子	7.3	8.2
	女子	7.6	7.2

おり、具体的操作段階に残っている割合は少ないことがわかる。ただ、形式的操作段階へ至っている割合は、全体の50%程度であり、これは過去の多くのこの種の研究結果と一致している。

6 粒子観と発達段階についての考察とまとめ

6-1 粒子観と発達段階の関係

図表11, 12, 13は'94年の調査における、空気、水、

食塩それぞれについて、各粒子の認識段階における発達段階の割合を示したものである。'93年の結果もほぼ同様のものであったが、いずれの物質でも粒子的説明段階へ進んで行くほど形式的操作段階の割合が増していることがわかる。

そこで、これら粒子の認識段階と発達段階の関係について、多変量解析を用いてその説明関係を分析した。その結果が表6である。この表によれば、全体でも、学年別、学科、性別でも粒子の認識段階に対して、発達段階が説明要因として十分有効であることを示している。なかでも、水や食塩でその関係が強いことが示されているが、空気では関係が弱く、物質毎に異なる状況が示された。

6-2 まとめ

粒子観の調査、発達段階の調査、そしてそれらの分析を通して次の点が明らかとなった。

- ①物質の構成に関する粒子の認識は、気体の空気や液体の水のような物質では認識の段階が低く、固体の食塩では高くなっている。これは物質固有の属性の影響を大きく受けている。
- ②粒子の認識段階と発達段階の間には、十分に関わりが

図表9 GAL T発達段階

93年12月調査 男女別比較

段階別人数 (単位:人)

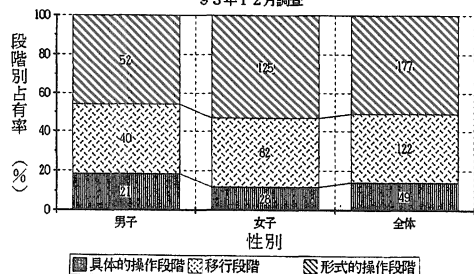
	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
男子	21	40	52
女子	28	82	125
全体	49	122	177

段階別比率 (単位:%)

	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
男子	18.6	35.4	46.0
女子	11.9	34.9	53.2
全体	14.1	35.1	50.9

発達段階 男女別比較

93年12月調査



図表10 GAL T発達段階

94年5月調査 男女別比較

段階別人数 (単位:人)

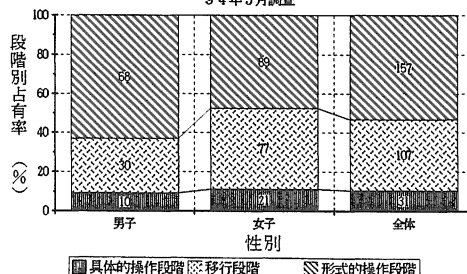
	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
男子	10	30	68
女子	21	77	89
全体	31	107	157

段階別比率 (単位:%)

	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
男子	9.3	27.8	63.0
女子	11.2	41.2	47.6
全体	10.5	36.3	53.2

発達段階 男女別比較

94年5月調査

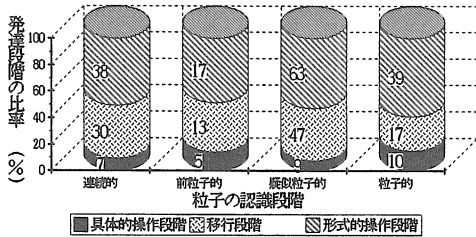


図表11 粒子の認識段階と発達段階の関係
94年5月調査 学年全体 空気

段階別人数 (単位:人)				
	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
具体的操作段階	7	5	9	10
移行段階	30	13	47	17
形式的操作段階	38	17	63	39

段階別比率 (単位:%)			
	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
連続的	9.3	40.0	50.7
前粒子的	14.3	37.1	48.6
疑似粒子的	7.6	39.5	52.9
粒子的	15.2	25.8	59.1

粒子の認識段階と発達段階の関係
94年5月調査 学年全体 空気

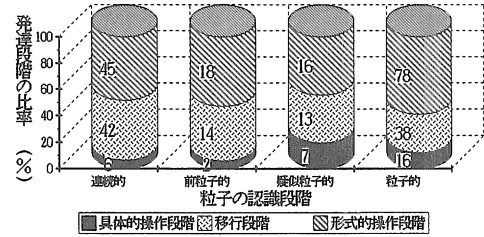


図表12 粒子の認識段階と発達段階の関係
94年5月調査 学年全体 水

段階別人数 (単位:人)				
	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
具体的操作段階	6	2	7	16
移行段階	42	14	13	38
形式的操作段階	45	18	16	78

段階別比率 (単位:%)			
	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
連続的	6.5	45.2	48.4
前粒子的	5.9	41.2	52.9
疑似粒子的	19.4	36.1	44.4
粒子的	12.1	28.8	59.1

粒子の認識段階と発達段階の関係
94年5月調査 学年全体 水



図表13 粒子の認識段階と発達段階の関係
94年5月調査 学年全体 食塩

段階別人数 (単位:人)				
	連続的	前粒子的	疑似粒子的	粒子的
具体的操作段階	4	3	12	12
移行段階	2	5	56	44
形式的操作段階	5	10	68	74

段階別比率 (単位:%)			
	具体的操作段階	移行段階	形式的操作段階
連続的	36.4	18.2	45.5
前粒子的	16.7	27.8	55.6
疑似粒子的	8.8	41.2	50.0
粒子的	9.2	33.8	56.9

粒子の認識段階と発達段階の関係
94年5月調査 学年全体 食塩

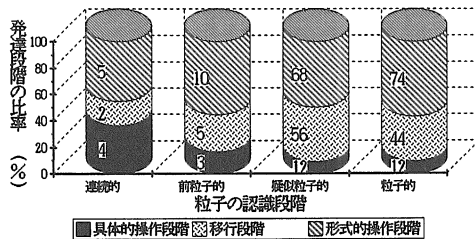


表6 粒子の認識段階に対する発達段階の説明関係

		空気	水	食塩
93年 12月 調査	全体	*	***	***
	1年		**	
	2年	*	***	**
	3年			***
	商業科 情報処理科	*	**	***
94年 5月 調査	男子	*	**	
	女子		**	**
	全体	*	**	**
	商業科 情報処理科	*	*	*
	会計科 国際経済科	*	**	
男子	**	*	**	
女子		*		

粒子の認識段階に対する
発達段階の説明における有意差

* 有意差 5%以下
** 有意差 1%以下
*** 有意差 0.1%以下

あることが示された。それは特に、固体の食塩などで強く現れており、物質ごとに関係の強さが異なる。

これらのことより、粒子の認識には発達段階が関係しているが、それがすべての要因ではなく、物質のもつ属性も影響を与えていることがわかる。このことは、物質に対する認識に、普遍的な粒子を用いずに、自分の経験や直感を用いるなど生徒が構成している概念体系を用いて認識をしていることを示していると考えられる。

7 おわりに

高校生の粒子観は、その発達段階とも関連をもっているが、それ以上に物質のもつ属性に影響を受けているようである。このことは予備調査として行った大学生に対する調査結果でもはっきりと表れている。高校での教育を終えた大学生でさえ、その20%の者が水を構成するものとして粒子を想定することができなかった。このことは、最近の構成主義的理科教育研究の多くが報告しているように、個人のもつ概念体系が学校教育によって容易に変化し得ないことを示している。学校教育で科学の体系を学んでも、彼らが固有にもつ概念体系は容易に変化を受けず、一定の教育を受けた後でも保持されてしまうのである。

学校教育は科学の体系の中から抽出された一部分を生徒に与えようとする。それに対して、生徒がそれぞれもつ概念体系は、直感や彼らの体験に基づくものであって、これを変容させ、科学の体系を学ばせて行くことが学校教育の役割である。そのために、どのような教授方法や過程を考えて行くか今いろいろと研究が進められているが、教育現場に立つ側からもそのような方法、手段を考えて行くことが必要であると考えられる。

ただ、そこでは、これまでのように科学の体系を通り一遍の方法で生徒に与えるのではなく、生徒の個性に応じた方法を考えるように注意しなければならない。それは、新学習指導要領の主旨の一つである個性の重視につながるものである。生徒一人一人がもつ異なった概念体系を認めそれを踏まえながら、普遍的な科学の体系を構築させることがこれから必要とされるのではないだろうか。

・謝辞

研究を進めるに当たり、多変量解析について懇切丁寧なご指導をいただきました島根大学教授伊藤俊彦先生に、厚くお礼を申し上げます。

8 参考文献

1) R. ドライヴァー, E. ゲスン&A. ティベルギェ

著, 内田正男監訳: 『子どもたちの自然理解と理科授業』, 東洋館出版社, P P. 158-180, (1993)

2) R. オズボーン&P. フライバーグ編, 森本信也, 堀哲夫訳: 『子ども達はいかに科学理論を構成するか』, 東洋館出版社, P P. 199-216 (1988)

3) 文部省: 『高等学校学習指導要領解説』, 実教出版(1989)

4) 山極隆, 江田稔編著: 『理科の内容と指導のポイント』, 学事出版, (1990)

5) Alan K Griffiths, Kirk R. Preston: Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules, Journal of Research in Science Teaching, Vol.29, No.6, PP.611-628, (1992)

6) 武村重和監訳: 『理科学習の心理学』, 東洋館出版社, P P. 133-166, (1993)

7) 森本信也, 森藤義孝: 『中学生における粒子概念の習得に関する基礎研究』, 日本理科教育学会研究紀要, V o l. 29, N o. 2, (1988)

8) 森本信也, 森藤義孝: 『中学生における粒子観の形成過程に関する基礎研究』, 日本理科教育学会研究紀要, V o l. 33, N o. 1, (1992)

9) Shimshon Novick & Joseph Nussbaum: Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, Science Education, Vol.65, No.2, pp.187-196(1981)

10) 菅民郎著: 『多変量解析の実践』, 現代数学社, (1993)

11) Aiken, L.R.: Attitude toward Mathematics and Science In Iranian Middle School, School Science and Mathematics LXXIX, PP.229-234, (1979)

12) Roadrangka, V., Yeany, R.H., & Padilla, M.J.: GALT, Group test of logical thinking, University of Georgia, Athens, GA (1982)

13) Betty L. & Bitner-Covin: A Measure of Logical Thinking Ability of 7th Through 12th Grade Students, Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (60th, Washington, DC, April, 23-25, 1987)

14) 日置光久, バビリオ・マンザーノ, 武村重和: 日米における中学校生徒の論理的思考に関する研究, 広島大学教育学部研究紀要, V o l. 37, P P. 66-72, (1988)

資料 1-1 粒子観の調査問題

2. ビーカーに純粋な水をそそぎました。この水を細かく見ていってその様子をくわしく書こうと思います。

次の図の中であなたが考えている水の細かいイメージと最も近いものに一つ○をして下さい。もし適当なものなければ、(5)の欄に自分のイメージで書いて説明して下さい。

(1) ()
 全体にもやもやとした水が広がり、粒子は見えない。

(2) ()
 水の粒子が、ほかのものの中に浮かんでいる。

(3) ()
 水の粒子だけがばらばらに並び、ほかには何も無い。

(4) ()
 粒子でないもやもやとした水の中に、粒子の水がところどころ浮かんでいる。

(5) () 自分の考え

名前	科目	学年	氏名
----	----	----	----

3. 食塩水（塩化ナトリウム水溶液）がビーカーに入っています。これを加熱していくと、水が完全に蒸発しました。あとには白い物質だけがビーカーの底に残りました。

この白い物質を細かく見ていって、その様子をくわしく書こうと思います。次の図の中で、あなたが考えているこの白い物質のイメージと最も近いものに、一つ○をして下さい。

(1) ()
 全体にもやもやとした粒子ではない塩化ナトリウムが広がり、粒子は見えない。

(2) ()
 粒子がばらばらに並んでいるのが見える。

(3) ()
 粒子が規則的に並んでいるのが見える。

(4) ()
 粒子ではないもやもやとした塩化ナトリウムの中に、粒子がところどころ浮かんでいるのが見える。

(5) () 自分の考え

4. 三角フラスコがふたをあけて、自然な状態で置いてあります。このフラスコにゴム栓をして中に空気を閉じこめました。

この空気を細かく見ていって、その様子をくわしく書こうと思います。次の図の中で、あなたが考えている空気の様子のイメージと最も近いものに一つ○をして下さい。もし適当なものなければ、(5)の欄に自分のイメージで書いて説明して下さい。

(1) ()
 全体にもやもやとした窒素や酸素などの空気の成分が広がり、粒子は見えない。

(2) ()
 窒素や酸素などの空気の成分粒子がばらばらにあり、あいだにほかのものが入っている。

(3) ()
 窒素や酸素などの空気の成分粒子がばらばらにあり、あいだには何も入っていない。

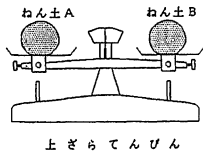
(4) ()
 粒子ではないもやもやとした窒素や酸素の中に、粒子の窒素や酸素がところどころ浮かんでいる。

(5) () 自分の考え

名前	科目	学年	氏名
----	----	----	----

資料1-2 GALTの調査問題

(1) たけし君はねん土で作った球を2つ持っています。2つのねん土の球A、Bは大きさも形も同じです。2つの球を上ざらてんびんではかると同じ重さです。



ねん土の球を上ざらてんびんからおろして、ねん土Bをせんべいのようにたいらにします。



次のうちのどれが正しいですか。

- ㉑ せんべいのような形の方が重い
- ㉒ 2つのねん土は同じ重さ
- ㉓ 丸い球の方が重い

その理由は次のうちのどれですか。

- ㉑ ねん土をつけ足したり取りさったりしなかったから
- ㉒ ねん土Bはせんべいのようにしたとき、面積が広がったから
- ㉓ たいらにすると重さが軽くなるから
- ㉔ 丸い球の方がねん土がぎっしりつまっているから

(3) 図のように小さなコップと大きなコップ、また小さなバケツと大きなバケツがあります。



大きなバケツには、大きなコップで9はい、小さなコップでは15はいの水が入ります。また、小さなバケツには、小さなコップで10はいの水が入ります。

では、小さなバケツには、大きなコップで何はいの水が入りますか。

- ㉑ 4はい
- ㉒ 5はい
- ㉓ 6はい
- ㉔ その他

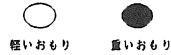
その理由は次のうちのどれですか。

- ㉑ 小さなバケツをいっぱいにするためには小さなコップでは5はい少なくてよい。だから、大きなコップでいっぱいにするときも、5はい少なくてよいから
- ㉒ 小さなコップで5はいと、大きなコップで3はいの水の量は同じだから
- ㉓ 小さなコップは大きなコップの半分の大さきである。だから同じバケツをいっぱいにするためには、小さなコップの半分の回数でよいから
- ㉔ 予想できない

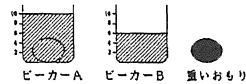
(2) けいこさんは2つのビーカーA、Bを持っています。2つのビーカーは大きさも形も同じです。それぞれのビーカーには同じ量の水が入っています。



けいこさんは同じかさの(同じ体積の)2つのおもりを持っています。1つのおもりは軽く、もう1つのおもりは重いものです。



けいこさんはビーカーAに軽いほうのおもりを入れました。そうすると、ビーカーAの水面は図のように上がりました。



重いほうのおもりをビーカーBに入ると、水面の高さはビーカーAとくらべてどうなるのでしょうか。

- ㉑ 水面の高さはビーカーAよりも高くなる
- ㉒ 水面の高さはビーカーAよりも低くなる
- ㉓ 水面の高さはビーカーAと同じになる

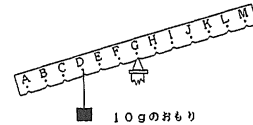
その理由は次のうちのどれですか。

- ㉑ おもりは同じ大きさなので、同じ水の量だけ増えるから
- ㉒ おもりが重くなれば、水面は高くなるから
- ㉓ 重いおもりは水を強くおすので、水面は低くなるから
- ㉔ おもりが重くなれば、水面は低くなるから

(4) たろう君は図のようなてんびんを持っています。



D点に10gのおもりをつりさげると次の図のようになりました。



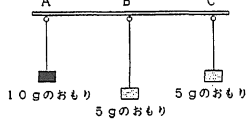
このてんびんをつり合わせるには、5gのおもりをどこにつりさげればよいですか。

- ㉑ J点
- ㉒ K点とL点の間
- ㉓ L点
- ㉔ L点とM点の間
- ㉕ M点

その理由は次のうちのどれですか。

- ㉑ 半分の重さのおもりだから、2倍のきよりの点につりさげればよいから
- ㉒ 10gのおもりと同じきよりにだけ反対側につりさげればよいから
- ㉓ おもりが小さいので、5gのおもりをさらに遠くにつりさげればよいから
- ㉔ てんびんをつり合わせるには、はしの方がより力を出せるから
- ㉕ おもりが軽くなればなるほど、より遠くにつりさげるべきだから

(5) ぼうに3本の糸A, B, Cをつきました。糸Aと糸Cは同じ長さで、糸Bはそれらよりも長くなっています。ひろみさんは、糸Bと糸Cに5gのおもりをつけ、糸Aには10gのおもりをつけてふりこを作りました。



ひろみさんは、糸の長さによって、ふりこの行きかえりする時間が変わるかどうかを調べようとしています。

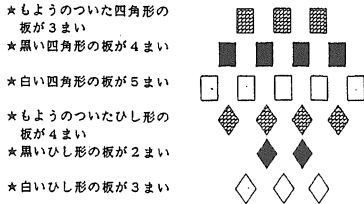
この実験をするためにはどのふりこを使ったらよいですか

- ㉑ ふりこAとふりこB
- ㉒ ふりこAとふりこC
- ㉓ ふりこBとふりこC
- ㉔ ふりこA, B, C
- ㉕ ふりこBだけでよい

その理由は次のうちのどれですか

- ① 糸の長さは同じで、おもりがちがわなければならないから
- ② 糸の長さもおもりの重さもちがわなければならないから
- ③ 全部のふりこを使って、すべての場合について調べなければならないから
- ④ 一番長いふりこBだけで調べればよい。なぜなら、実験で考えに入れるのは、おもりの重さではなく、糸の長さだけだから
- ⑤ 糸の長さによるちがいを調べるのだから、糸の長さのそいた他のことは同じにしておかなければならないから

(7) 中の見えないふくろに、次のものが入っています。



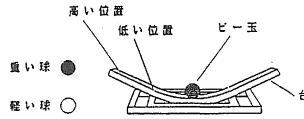
四角形の板、ひし形の板はそれぞれ大きさも形も同じです。いま、ふくろの中で、はじめに手にふれた板を取り出して、再び、それをふくろの中にもどしてやります。さて、ふくろの中から板を何回取り出せば、もようのついた板を1回取り出せると考えられますか。

- ㉑ 3回のうち1回
- ㉒ 4回のうち1回
- ㉓ 7回のうち1回
- ㉔ 21回のうち1回
- ㉕ その他

その理由は次のうちのどれですか。

- ① ふくろの中には21まいの板が入っている。1まいのもようのついた板がこれらの中から選ばれるから
- ② もようのついた7まいの板の中から1まいのもようのついた板が選ばれるから
- ③ 21まいの板のうち、7まいの板にもようがあるから
- ④ 四角形の板、ひし形の板にはそれぞれ白、黒、もようの3種類がある。もようがついているのは、その3種類のうちの1種類だから
- ⑤ 四角形の板の4分の1とひし形の板の9分の4に、もようがついているから

(6) よしお君は、図のような台と重い球、軽い球、それにビー玉を持っています。台の一番低いところにビー玉を置きました。



よしお君はちがう位置から球をころがすと、どれくらい遠くまでビー玉がころがっていくかを調べようとしていました。始めに軽い球を低い位置からころがすと、ビー玉に当たり、ビー玉は反対側に上がりました。



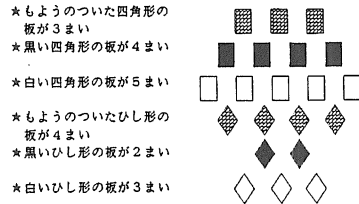
つぎに高い位置からどちらの球をころがせばよいですか。

- ㉑ 重い球
- ㉒ 軽い球

その理由は次のうちのどれですか。

- ① 軽い球を最後まで使うべきだから
- ② 始めに軽い球を使ったから、次は重い球を使うべきだから
- ③ 重い球はビー玉をより速くへはじきとばす力があるから
- ④ 正しくくくべるためには、軽い球を高い位置からころがすべきだから
- ⑤ 球の重さを考えなくてよいので、同じ球を使えばよいから

(8) 中の見えないふくろに、次のものが入っています。



四角形の板、ひし形の板はそれぞれ大きさも形も同じです。いま、ふくろの中で、はじめに手にふれた板を取り出して、再びそれをふくろの中にもどしてやります。さて、ふくろの中から板を何回取り出せば、もようのついたひし形の板、または白いひし形の板を1回取り出せると考えられますか。

- ㉑ 3回のうち1回
- ㉒ 9回のうち1回
- ㉓ 21回のうち1回
- ㉔ 21回のうち9回
- ㉕ その他

その理由は次のうちのどれですか。

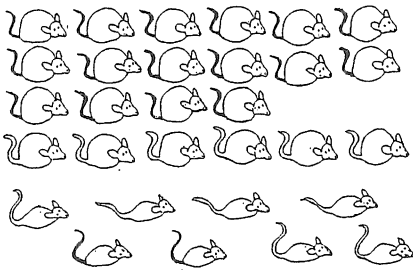
- ① 21まいの板のうち7まいは、もようがついているひし形か白いひし形の板だから
- ② もようのついた板の7分の4、また白い板の8分の3はひし形だから
- ③ 21まいの板のうち9まいはひし形だから
- ④ ふくろの中に入っている21まいの板の中から、1まいのひし形の板が選ばれるから
- ⑤ ふくろの中には9まいのひし形の板が入っている。これらの板の中から1まいが選ばれるから

(9) 細でつかまえたネズミを下の図に示しています。この図から、太ったネズミは黒いしっぽをもちやすく、やせたネズミは白いしっぽをもちやすいといえますか。

- ㉠ はい
- ㉡ いいえ

その理由は次のうちのどれですか。

- ① 太ったネズミの11分の8が黒いしっぽであり、やせたネズミの4分の3が白いしっぽだから
- ② 白いしっぽの太ったネズミもいれば、白いしっぽのやせたネズミもいるから
- ③ 30匹きのネズミのうちの18匹が黒いしっぽであり、12匹が白いしっぽだから
- ④ 太ったネズミがみんな黒いしっぽをもっているわけではないし、やせたネズミがみんな白いしっぽをもっているわけではないから
- ⑤ 白いしっぽのネズミの12分の6が太っているから

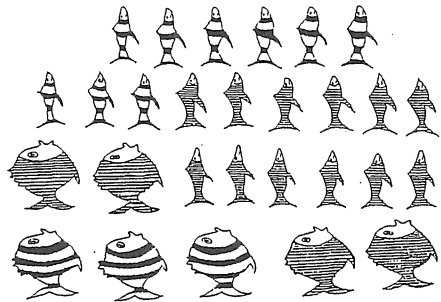


(10) 海でつつかさかなを下の図に示しています。この図から、大きなさかなは、小さなさかなよりも太いしほもようになりやすいといえますか。

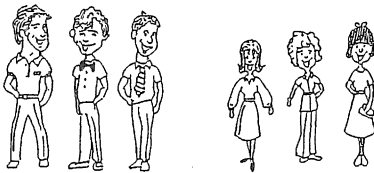
- ㉠ はい
- ㉡ いいえ

その理由は次のうちのどれですか。

- ① 太いしほもようの大きなさかなもあれば、細いしほもようの大きなさかなもいるから
- ② 大きなさかなの7分の3は太いしほもようだから
- ③ すべてのさかなの28分の12が太いしほもようであり、28分の16が細いしほもようだから
- ④ 大きなさかなの7分の3が太いしほもようであり、小さなさかなの21分の9が太いしほもようだから
- ⑤ 太いしほもようの小さなさかなもあれば、太いしほもようの大きなさかなもいるから



(11) 6人の子どもたちの中から学校委員を選び出すことになりました。立候補したのは、アキラ(ア)、イチロウ(イ)、ウメオ(ウ)の3名の男子と、カズコ(カ)、キョウコ(キ)、クミコ(ク)の3名の女子です。



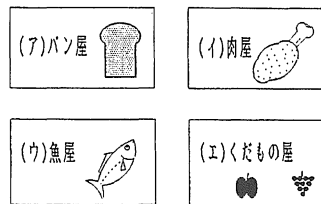
(ア) アキラ (イ) イチロウ (ウ) ウメオ (カ) カズコ (キ) キョウコ (ク) クミコ

男子1名と女子1名の2人を学校委員に選び出すことにします。どのような選び方があるでしょうか。例にならってすべての組み合わせを書きなさい。

(例) アキラとカズコを選ぶならば、ア-カと表します。

※ 答えは、回答用紙に書くこと

(12) 新しくできるスーパーマーケットでは、1階に4つの店が入ることになっています。4つの店は、パン屋(ア)、肉屋(イ)、魚屋(ウ)、くだもの屋(エ)です。



これらの店が、横に1列にならぶすべての順を書きなさい。

(例) パン屋-肉屋-魚屋-くだもの屋の順番ならば、ア-イ-ウ-エ と表します。

※ 答えは、回答用紙に書くこと