

資料

等速度と加速度の知覚と推測

—大学生と子供との比較—

山田英介* 塩見邦雄**

DIFFERENCES BETWEEN ADULT AND CHILD ON PERCEPTION AND
CONJECTURE OF CONSTANT VELOCITY AND ACCELERATION

Eisuke YAMADA AND Kunio SHIOMI

A moving train (target) disappeared behind a block and subjects were to predict when the target passed on a marker on the block. Three samples of subjects: nursery school children, second-grade primary school children, and university students were asked to participate in the experiment. Analysis of the results shows that the perception of constant velocity and acceleration of university students was direct and accurate, but in both groups of children perception was found to be inaccurate when the target moved with acceleration. It was therefore supposed that the concept of acceleration was lacking in children. It was however found that the perception became accurate after instructions on acceleration were given. It was supposed that children acquired the concept of acceleration only after being instructed. This shows that the concept of acceleration may be formed through instruction.

Key words: development of perception, velocity, acceleration, instruction effect

問 題

運動学的には「ある瞬間 dt において、速度の変化が dv である時、加速度 a は $a = dv/dt$ 」と定義され、加速度を定量的に表現する際には、この概念を必要とする。また、日常生活においても、人は自転車や自動車等の動き出しの運動を見たり、あるいは自ら乗ったりすることによって、日常経験的な意味での加速度の判断は、随時行われていると考えられる。

Piaget (1963) は、「時間」「運動」「速さ」に関する子供の認識発達についての研究を行っているが、その中で加速度を取り上げ、時間と距離との論理的関係から追究している。そこでは、斜面上加速度運動実験装置（傾いた軌道を数個の等区間に分け、その運動によって加速性についての理解を調べる装置）を用い通過する時の速さや所要時間の大小判断、一定時間に進む距離を予見的に示させるような実験によって、子供の加速性の理解を調べ、問題

の即時解決は11歳位にならないと、できないと結論づけている。また、Ravin (1972) は8歳から11歳までの被験児を対象に Piaget 実験の追試を行い、加速性の理解には形式操作が必要条件であるとし、Piaget と同様の見解を示した。（例えば、時間の変化の質問に対し、正解率が、8歳で7%、9歳で14%、10歳で55%、11歳で76%であった。）わが国では、子供の速さの概念形成に関する研究では、森 (1976)、山田 (1983) 等によってなされているが、「加速度」の概念形成に関する発達心理学的研究はほとんどない。その中で、竹前 (1984) は「加速度」の認識に関して、5歳児から15歳児の被験児を対象に Piaget 実験の追試を行い、子供の加速度の認識の仕方は Piaget とほぼ同様である、という結果を示した。（距離や時間の変化を問う質問に対し正解率が、12.5歳児で41%、14.5歳児で73%という低い値を示していた。）

これらの研究にはまだ残された問題がある。第1は、加速度の認識の発達に関するものである。人は加速度を判断する時に、「加速度＝速度÷時間、速度＝距離÷時間」、「物体の直接の加速度の量」、「一定時間の移動距離の変化の量」、「一定距離の所要時間の変化の量」等を手

- * 兵庫教育大学大学院 (Hyogo University of Education) (勤務先 長崎県野母小学校)
- ** 兵庫教育大学教育基礎講座 (Hyogo University of Education)

がかりにするものとする。しかし、人、場面、環境によって、どれを手がかりにして判断するかは一定ではなく、場合によっては、仮に「物体の直接の加速度の量」だけを手がかりにしても正しく加速度を認識することが可能であろう。[この見解を支持するものとして、情報統合理論 (Anderson, 1980) やルール評価研究 (Siegler, 1981) 等があり、Acredoro & Adams (1984) は情報統合理論の立場から、子供の「速さ」「距離」「時間」の関係の理解を調べ、速さに関する認識の優位次元として、移動距離と速さの関係、時間と移動距離の関係を、下位次元として、速さと時間の関係を指摘した。]そして、場面に応じて、4つの手がかりが行動的に模索され、その関係が理解され、加速度認識が高められていくものとする。そこで、先行研究が示している形式操作期に移行し、「加速度=速度÷時間」の関数関係を獲得しなければ加速度を認識できない、という考え方があるとすれば、問題があるだろう。関数関係を用いることのできない子供でも彼らのもつ主観的な加速度の手がかりを十分活用させることができるならば、加速度を正しく判断させることが可能ではないかと考える。

第2は研究方法に関する疑問である。子供の加速度認識の発達を調べる方法として Piaget の実験方法は十分妥当なものといえるだろうか。斜面を転がる球の継時比較や、スキーの場面の連想のみで、加速度が知覚できているのかどうかは疑問である。そこで、加速度がとらえやすい、実験という条件設定のもとで、子供の反応を探る必要があるだろう。

また、Piaget の距離や時間の変化を問う質問は、加速度の継時比較を前提としての質問であり、子供が持っていると思える、加速度の知識や推論を十分には引き出せていないのではないかと考える。

以上の考察から、本研究では加速度概念を関数関係で理解させるのではなく、子供の知覚にうって成り形成させるための方法を探ろうと試みた。そのためにまず第1点めとして、子供は加速度運動を知覚できるのかどうか、という子供の知覚の特徴を明らかにする必要がある。さらに、第2点めとして、知覚に基づいた概念形成方法を開発する必要がある。

第1点めの加速度運動の知覚の研究として、Gottsdanker (1955) は次のような実験を行った。被験者は加速度見越し器の水平に動くターゲットが黒い衝立の陰に消えて衝立上のマーカーを通過したと思った瞬間、タイマーのボタンを押す。被験者の評価時間をターゲットの移動時間と比較することによって知覚の正確さを調べ、知覚はターゲットの見えの平均速度に関係しているとし

た。また、Sekuler & Ganz (1963), Pantle & Sekuler (1968) 等の実験は加速度の知覚は正確であると主張している。そして、Rosenbaum (1975) の実験がある。Rosenbaum の基本的な考え方は次のとおりである。「等速度運動や加速度運動は物体の動きから直接的に知覚されるのだろうか。それとも、距離や時間の変化を手がかりにして間接的に知覚されるのだろうか。」、速度は「一定時間の位置の変化の割合」と定義され、加速度は「一定時間の位置の変化の割合の変化の割合」と定義される。そこで、もし観測者が速度、加速度を直接に知覚できないとすれば彼は速度、加速度の割合を推論するために、位置の情報や時間の情報が必要となる。この場合、観測者の推論の正確さは、速度、加速度が直接に知覚できるとする時よりも距離と時間の情報によって影響を受ける機会が大きくなる。つまり、前述したような実験場面で、観測者は見えの距離を動くターゲットの通過時間を求め、見えの距離に対する隠れた距離の割合から隠れた距離を動く時間を計算し、速度評価をする。(加速度評価の場合もこの方法に準じるが計算がやや複雑になる。)このような考え方を適用すると、隠れた距離に対する見えの距離の割合が非常に小さいなら、観測者の時間評価の正確さの精度が低下するだろう。しかし、観測者が物体の運動から直接的に速度、加速度を知覚するならば、実験場面で隠れた距離に対する見えの距離の割合には、観測者の時間評価の正確さの精度は影響を受けないだろう。この考えを図式で示す (FIG. 1)。

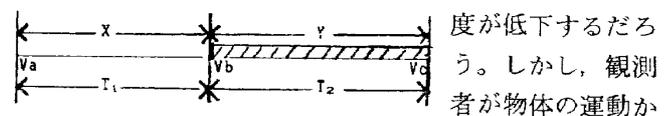


FIG. 1 等速度、加速度の知覚モデル

T_1 : ターゲットが見えはじめて隠れるまでの時間

T_2 : 観測者が評価したターゲットが隠れてからマーカーを通過するまでの時間

X : 見えの距離

Y : 隠れの距離

V_a : 見え始めの速度

V_b : 隠れる時の速度

V_c : マーカーにおける速度

の時間評価の正確さの精度は影響を受けないだろう。この考えを図式で示す (FIG. 1)。

FIG. 1 で、提示された加速度運動を観測者が加速度運動として知覚するならば、

$$X = V_a \cdot T_1 + 1/2(V_b - V_a)/T_1 \cdot T_1 \cdot T_1 = T_1(V_a + V_b)$$

$$Y = V_b \cdot T_2 + 1/2(V_c - V_b)/T_2 \cdot T_2 \cdot T_2 = T_2(V_b + V_c)$$

ここで、

$$Y/X = K(\text{一定距離}) = T_2(V_a + V_c)/T_1(V_a + V_b)$$

$$\therefore T_2 = k \cdot T_1(V_a + V_b)/(V_b + V_c)$$

$$\therefore \log T_2 = \log k + \log T_1 + \log(V_a + V_b)$$

$$- \log(V_b + V_c)$$

のモデル式が成立する。

しかし、提示された加速度運動を等速度運動として知覚するならば、

等速度運動なので $V_a = V_b = V_c$ である。

$$X = V_a \cdot T_1 \quad \therefore T_1 = X / V_a$$

$$Y = V_b \cdot T_2 \quad \therefore T_2 = Y / V_b$$

ここで、 $V_a = V_b = V_c$ なので、

$$T_2 / T_1 = Y / X = K \quad (\text{一定距離})$$

$\therefore \log T_2 = \log K + \log T_1$ のモデル式が成立する。

ここで、実際の実験場面でYの値をXの値よりもかなり大きくとった時に観測者の時間評価がどちらのモデルに適合しているかという分析方法によって、まず大まかに観測者の知覚モデルを設定することができる。

次に、観測者の加速度の知覚がどのくらい正確なのか、運動体の見えの距離に対する隠れの距離の割合が大きくなるにつれ、知覚の正確さ(精度とする)が減少していくのかどうか、それとも、精度は一定水準を維持していくのか、という問題の分析方法であるが、これは、観測者の評価した時間が実際のターゲットの移動時間にどの程度一致するのかを次式を使用して調べる。

$$\text{精度} = (T_o - |T_o - T_s|) / T_o$$

T_s : 観測者が評価した時間

T_o : 実際のターゲットの移動時間

この値は、 $T_s = T_o$ の時に1.0となるものである。そして、この精度が見えの距離に対する隠れの距離の割合に影響を受けているのかどうかを調べることによって観測者の知覚の正確さが決定できる。

Rosenbaum はこのような分析方法を用いて、成人を対象に研究を行い、成人は加速度運動を知覚できるとしている。そこで、本研究では、幼児、小学生、大学生の加速度の知覚の発達を考察することによって、子供の加速度の知覚の特徴を明らかにしたい。次に、第2点めの概念形成の方法については、後述するような教示を実施して、その形成を試みたい。

調査方法

1 被験者

被験者は大学生22名(平均年齢19.3歳)、小学2年生の児童29名(平均年齢7.6歳)幼稚園児31名(平均年齢5.2歳)である。男女の比率はほぼ半々である。

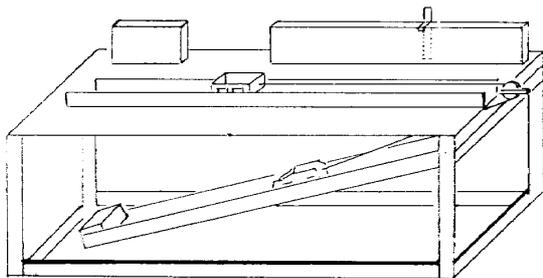


FIG. 2 等速度、及び加速度の知覚を調べる実験装置

2 実験装置

FIG. 2 に示したような装置を用いて実施した。この装置は、直線軌道として模型の列車のレール(長さ150 cm, 幅7 cm, 高さ1 cm)を、運動体として黒色に白色の縦線が4本入っている列車の模型(縦4 cm, 横7 cm, 高さ2 cm)を用いた。この運動体は下側の水平直線軌道を等速度運動する電動の列車や、下側の斜面直線軌道を加速度運動するミニカー(180 g)とナイロン糸で連動し、等速度運動や加速度運動を何回でも再現できるようにした。また、下側の軌道やミニカー等は白色のカバーで見えないようにした。バックは白壁で統一。運動体の等速度の大きさを37.02 cm/s, 加速度の大きさを加速度1は32.06 cm/ss, 加速度2は76.34 cm/ssとした。速度、加速度の値はRosenbaumに準じた。一定距離でターゲットを隠すために黒い衝立(高さ35.0 cm × 幅3.5 cm × 長さ192.4 cm)を用いた。また、運動体の動き出しを見せないようにするために、黒い衝立(35.0 cm × 3.5 cm × 10 cm)を用いた。白いプラスチックのマーカー(幅1.5 cm × 高さ7.5 cm)を一方の衝立の端の上に取り付けた。被験者の評価時間を記録するためにデジタルタイマーを使用した。また、列車のレールとの摩擦音を消去するために、レールにナイロンテープを貼り、被験者にヘッドホンを使用した。

3 実験手続

実験は、知覚の特質を調べるための事前テスト、概念形成を図るための教示、及び教示の効果を調べるための事後テストからなる。

(1) 事前テスト(等速度、加速度の継時比較による判断)

本研究においては先に示した実験装置を用い、事前テストを実施した。これは速度見越し器の加速度版の装置である。水平直線軌道を右側から左側へ動く列車の模型をターゲットとし、被験者を装置の軌道の前、ターゲットが隠れ始めるところの正面の位置に1.5 m 離れて座らせ、実験者が装置のそばで次のような教示を行った。「よく見て下さい。列車が右のほうから左のほうへ動いていきます。」(実際に、走らせる。)
「この列車は衝立の陰に隠れても動いていきます。白い印の所に列車が来たなと思ったらスイッチを押して下さい。」(実際に押させる。)
実験者はタイマーによって見越し時間の記録をした。ターゲットの動きの見えの距離、隠れの距離の組合わせをTABLE 1 のようにした。一番短い見えの距離はターゲットの半径である。隠れの距離は見えの距離よりも大きくとってあるが、推定が極端に低下するのを避け、あまり大きくはとらなかった。見えの距離と隠れの距離の組合わせは9通りで、それぞれの速度、加速度で9 × 3 の提示がなされた。幼児、小2児童については、集中力の

TABLE 1 見えの距離, 隠れの距離の組合わせ

組合わせ記号	見えの距離	隠れの距離
A	3.5cm	21.0cm
B	3.5	42.0
C	3.5	63.0
D	7.0	21.0
E	7.0	42.0
F	7.0	63.0
G	35.0	21.0
H	35.0	42.0
I	35.0	63.0

TABLE 2 教示の質問

質問問題番号	質問内容
問題1	列車はスタートの部分を通る時と、ゴールの部分を通る時とでは、どちらが速いですか。
問題2	時間と速度の情報から距離を求める問題 はい、という時、列車が『ビューン』といく時と、『ノロノロ』といく時では、どちらの列車が遠くまでいきますか。それでは、軌道(レール)の最初(スタート)のところと最後(ゴール)のところのスピードでは、どちらが速くまでいきますか。
問題3	速度と距離の情報から時間を求める問題 列車が『ビューン』といく時と、『ノロノロ』といく時とでは、目的地(次の駅、あそこ、などと例を示す)に着くのに時間がかからないのはどちらですか。それでは軌道の最初のところと最後のところのスピードでは、どちらが時間がかかりませんか。

※アンダーラインは2変量を示す。

持続時間を考え、距離の組合わせを1つ(TABLE 1のG)としたので1×3の提示がなされた。そして、それぞれの試行を3回ずつ行った。

次に、等速度運動と加速度運動について、運動体を継時的に比較観察させ次の質問を行った。

問題1《列車がスタートの部分を通る時と、ゴールの部分を通る時とではどちらが速いですか。》

つまり、子供が等速度概念、加速度概念で知覚しているのかどうかを調べるためである。

また、Piagetと同様の質問をして子供の加速性の理解を調べた。

問題2《列車がスタートの部分を通る時とゴールの部分を通る時とでは、「はい」という時、どちらが遠くまで行きますか。それとも同じですか。》

問題3《列車がスタートの部分を通る時とゴールの部分を通る時とでは、どちらが時間が長くかかりますか。それとも同じですか。》

(2) 教示(瞬間速度の比較を媒介とした等速度概念、加速度概念の教示)

教示としてのスリット(のぞき窓)の効果と、質問用語の効果とを調べた。手順は、スリットの効果、質問用語の効果の順である。

(a) スリットの効果

軌道に黒い衝立のカバーをかぶせ等速度運動、加速度運動それぞれにおいて、子供に運動体の瞬間の速さの比

較を行わせる。そして、スタートの部分とゴールの部分のスリットを通過する時の瞬間速度の大きさを被験者に質問し、「等速度運動は速さが同じだが、加速度運動は速くなっている」という運動状態の弁別をせざるをえない状況に立たせる。

次に、3つのスリットを通して、ターゲットの運動を観察させ、等速度と加速度の運動状態の弁別をさせる。

子供が正反応すれば教示は1回で終了するが、もし誤反応をすれば、最初からもう1度だけ繰り返す。

(b) 質問用語の効果

幼児にとっては、瞬間速度をイメージするプロトタイプ用語とおもえる、「ビューン」や「ノロノロ」等を使った質問(TABLE 2)をすることによって、加速度の判断に効果があると考えた。

質問紙(TABLE 2)の内容は加速度の概念で距離や時間の問題に正答できるかどうかを調べるものである。ここで、問題1'は問題1に、問題2'は問題2に、問題3'は問題3にそれぞれ対応する(質問内容は同じだが質問用語の表現の仕方が変わっているので、質問問題番号にダッシュを記した。)

子供が、正反応すれば教示は1回で終了するが、もし誤反応すれば、質問をもう1度だけ繰り返す。

(3) 事後テスト(教示の効果)

教示の効果を調べるために実施した。事後テストの実験手続はほぼ事前テストと同じである。今回の実験では、被験者の加速度の反応時間の精度が向上するかどうか、の事後テストは省略し、加速度運動を継時的に比較観察させて質問問題をだし、子供の回答の内容を分析することにより、加速度概念が形成されたかどうかを判断した。質問紙の内容は加速度の概念で距離や時間の質問に正解できるかどうかを調べるものである。質問は、事前テストの問題1、問題2、問題3の3つの質問と同じものである。

結果と考察

結果と考察を、

- 1 大学生の加速度運動に対する知覚モデル
- 2 大学生の等速度及び、加速度の知覚の精度
- 3 加速度の知覚の発達差
- 4 教示の効果

の4点に分け、それぞれについて示すと次のようになる。

1 大学生の加速度運動に対する知覚

被験者(大学生)は、本研究で提示した運動を加速度運動として知覚しているのかどうかを明らかにするために、次のような分析を試みた。

TABLE 3 分散分析表；加速度知覚のモデル適合
(モデル1)

SV	SS	DF	MS	F
全体	15.27	398		
回帰	12.01	3	4.00	473.12***
残差	3.26	395	0.01	
部分				
log T ₁				11.28***
log Va+Vb				311.31***
log Vb+Vc				279.81***

*** p<.001

注：標準偏回帰係数は次のようであった。

log T₁ = 0.15
 log (Va+Vb) = 2.16
 log (Vb+Vc) = 1.71

モデル1,

$$T_2/T_1 = k(Va+Vb)/(Vb+Vc)$$

(見えの距離 = k × 隠れの距離として、計算した。: kは定数)

モデル2,

$$T_2/T_1 = k(\text{一定})$$
T₁: ターゲットが見えはじめて隠れるまでの時間T₂: 被験者が評価した、ターゲットが隠れてからマーカーを通過するまでの時間

Va: 見えはじめの速度

Vb: 隠れる時の速度

Vc: マーカー通過時の速度

もし、被験者が加速度運動として知覚している場合には、モデル1が成立する(モデル2も成立)。一方、等速運動として知覚している場合には、モデル2のみが成立するので、(Va+Vb)、(Vb+Vc)、T₁を重回帰の従属変数、T₂を重回帰の独立変数とみて被験者のそれぞれの時間評価:T₂(大学生、9つの距離の組み合わせ、加速度1と2)についての重回帰分析を試みた。重回帰分析(TABLE 3)の分析結果から、モデル1及びモデル2は全体としてみると回帰有意、モデル適合であることが分かった。大学生は運動を加速度運動として知覚し、時間評価をしていることがわかる。(要因がモデル1の時、重相関係数 R=0.89, 決定係数 R²=0.79, 自由度調整済 R²=0.78であった。また、モデル1とモデル2の相関は0.799であった。)

2 大学生の等速度及び、加速度の知覚の精度

結果は、被験者の知覚は直接であり、正確であることを支持している。被験者の目はターゲットが隠れて動いている間も、あたかもターゲットが見えているかのようにターゲットについて動いている。被験者はターゲットが隠れるまでの動きを引き伸ばしていくような方法で知覚している。このような結論は次のような分析から得られた。

被験者の評価した時間が実際のターゲットの移動時間

TABLE 4 単回帰分析表；加速度の知覚の精度を左右する要因分析

要因	重相関係数 R	決定係数 R ²	自由度調整済 R ²
OA	0.17	0.03	0.01
ED	0.48	0.23	0.20
HD	0.56	0.31	0.29
ED+HD	0.74	0.54	0.51

にどの程度一致するのかわかるために精度を、

$$\text{精度} = (T_o - |T_o - T_s|) / T_o$$

T_s: 被験者の評価時間T_o: 実際のターゲットの移動時間

を用いて算出した。この値は、T_s=T_oの時、1.00となるものである。

そして、見えの距離に対する隠れの距離の割合の値(例えば見えの距離、3.5cm, 隠れの距離、21.0cmの時、割合の値は21.0÷3.5で6である)を説明変数、被験者の等速度、加速度の精度を目的変数として回帰分析を行った。Rosenbaumの仮説によると、速度、加速度の知覚が直接でなかったなら、見えの距離に対する隠れの距離の割合が大きくなると、知覚の精度は大きく影響を受けて低下する、としている。本実験では、距離の割合と知覚の精度の変化との相関は、0.19(等速度)、0.09(加速度)とかなり低い。これは、知覚が直接的であり、正確であることを示唆するものだろう。

また、次のような分析も、知覚が直接であり、正確であることを意味するだろう。被験者の評価時間と、実際のターゲットの通過時間との間で、それぞれの距離の組み合わせ(9つ)での回帰分析を行った。これは、一次回帰分析であり、隠れの距離が長くなると、ターゲットの移動時間も長くなるが、それにつれて被験者の評価時間が長くなっていくかどうかを調べたものである。

評価時間と通過時間との相関は0.91(9つの距離の組み合わせ、大学生、加速度1)、0.88(9つの距離の組み合わせ、大学生、加速度2)、0.91(9つの距離の組み合わせ、大学生、等速度)であり、それぞれ危険率0.1%でこれらの値は有意であった。この高い相関は被験者の等速度、加速度の知覚が直接であり、正確であることを結論づけるだろう。以上のような結果は、Rosenbaumの結果とほぼ同様であり、等速度、加速度の知覚の直接さ、正確さを支持するものであった。

次に、精度を目的変数、実際の等速度(加速度0として取り扱う)、加速度1、2、(OA)、見えの距離(ED)、隠れの距離(HD)、見えの距離と隠れの距離の和(ED+HD)を説明変数として、単回帰分析を行った。この分析により速度、加速度の知覚の精度を左右する要因を調べた。その結果をTABLE 4に示す。

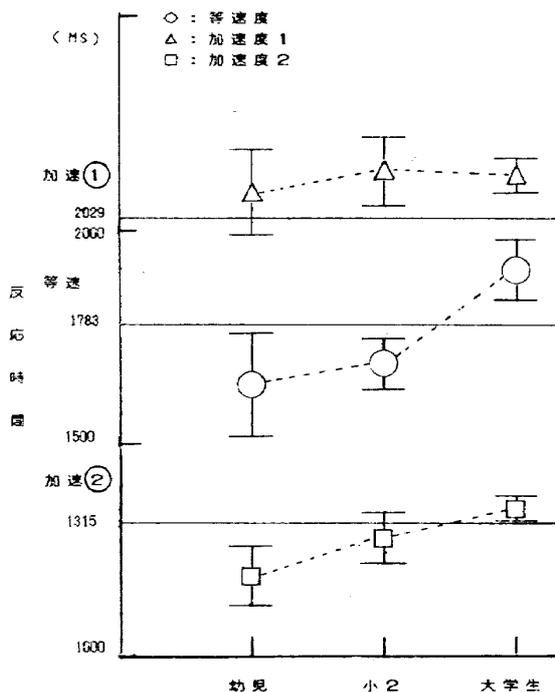


FIG. 3 ターゲットの移動時間の実測値(実線)に対する評価時間の発達的变化

TABLE 4 の結果から次のようなことが考察できる。まず、見えの距離と隠れの距離との和、(ED+HD) が被験者の精度の値の変化をよく説明している、ということがわかる。次に、隠れの距離、見えの距離も被験者の精度の変化をやや説明しており、知覚の精度を左右する要因とみることができよう。しかし、加速度の実測値は精度の変化をわずかし説明できないので主要因ではないようである。

3 加速度の知覚の発達差

FIG. 3 は等速度、加速度 1, 2 におけるターゲットの移動時間の実測値に対する被験者の評価時間の平均値を表わす (TABLE 1 の距離の組合せ G)。FIG. 3 の考察を、各速度で 3 グループ間の平均値の差についての分散分析と合わせて行うと次のようになる。

(1) 等速度について

この評価時間の 3 グループ間の平均値の差について分散分析を行うと、 $F(2,79)=23.16$ で有意な差がみられた ($p<.01$)。そこで、さらに各グループ間相互の平均値の差の検定を LSD 法で行うと、大学生と小 2 間、大学生と幼児間に、共に $p<.01$ で有意差があった。しかし、小 2 と幼児間には有意差はなかった。

幼児、小 2 には尚早反応者が多いのである。これは子供の中には等速度運動 (一定の速さで動く運動) の知覚が欠如しているものが少なからずいることを示唆するものだろう。実際、等速度運動の継時比較の質問では、同じ速さで動いている、という概念が理解できていない子供

が半数近くいたことからもうなずける。大学生には、標準反応者が多い。やや遅れぎみの反応を示しているが、これはゆとりを持って反応した結果であろう。また、等速度運動の継時比較の質問では全員正解だった。つまり、等速度の概念で知覚していることを示している。

(2) 加速度 1 について

平均値では被験者間に差はない。(3 群間の平均値の差について分散分析を行うと、 $F(2,79)=1.02$, $p>.10$ であった)。等速度、加速度 2 に比べてややスピードが遅いので差がでにくかったものと思われる。しかし、反応時間の SD をみると幼児、小 2 共に大きく、尚早反応者、遅延反応者が多い。これは、子供の加速度の知覚の不完全さを表わしているものと思われる。子供の加速度の定性概念の欠如がこういう反応を引き起こしたものと考えられる。大学生には、標準反応者が多い。反応時間の SD も小さくなっている。加速度概念で知覚しているものと考えられる。[各グループの SD はそれぞれ次のとおりであった。大学生=81.73, 小 2=155.26, 幼児=195.79]

(3) 加速度 2 について

反応時間の平均値では、幼児、小 2 共に尚早反応を示している。これは、子供の加速度の知覚の不完全さを表わしているものと思える。加速度概念の欠如がその原因として考えられる。幼児、小 2、大学生の順に反応時間の SD が小さくなっている (各グループの SD は、それぞれ次のとおりであった。幼児=144.54, 小 2=110.88, 大学生=59.80)。これは、加速度の知覚の発達段階を示しているものと考えられる。大学生においては、標準反応者が多く、反応時間の SD も小さくなっている。これら 3 群間の平均値の差について分散分析を行うと、 $F(2,79)=19.38$ で、グループ間に有意な差がみられた ($p<.01$)。さらに、各グループ間相互の平均値の差の検定を LSD 法で行うと、幼児と小 2 間、幼児と大学生間に、共に $p<.01$ で有意差があった。

(4) 等速度、加速度 1, 加速度 2 の全般について

発達段階の傾向をよく表わしている速度の種類を順にあげていくと、1, 加速度 2, 2, 等速度 1, 3, 加速度 1 の順であった。速度、加速度の知覚の発達段階の傾向をよく表わす要因として、加速度の大きさ、等速度の大きさが考えられ、特に、加速度の大きさが、その第 1 要因だと考えられようである。

4 教示の効果

スリットの効果、質問用語の効果が表われた。

(1) スリットの効果

質問問題 1 において、等速度運動と加速度運動を被験者に観察させ、それぞれ、スタート、ゴールの部分の速

TABLE 5-1 被験者の継時比較での等速度の判断

幼児			小2			大学生		
	正	誤		正	誤		正	誤
事前	15	0	事前	9	0	事前	22	0
事後	16	0	事後	20	0	事後	0	0

TABLE 5-2 被験者の継時比較での加速度の判断

幼児			小2			大学生		
	正	誤		正	誤		正	誤
事前	12	0	事前	13	0	事前	22	0
事後	19	0	事後	16	0	事後	0	0

さのテストの弁別を、継時的に行わせた時、事前テスト、事後テストにおける被験者の回答は、TABLE 5-1, 5-2 のようになる。

回答数と母集団間の有意差をみるために、 χ^2 検定を行った。その結果次のようなことが明らかになった。

事前テストにおいて Piaget のいう突然の加速（つまり、最初が速い）の子供の回答が得られた。そして、突然の加速の後は同じ速さで継続していつている、という子供の回答が大半を占めていた。だが、瞬間比較（教示）において、スタートの部分のスリットで、列車の4本の白線がはっきり見えると主張し、ゴールの部分のスリットでも白線が4本、やはりスタートの部分と同じようにはっきり見えると主張して速さが同じであることを確認した。そこで、スリットを全部取り去り、継時的に速さの比較（事後テスト）を行うとほとんど全員の児童は正反応できた。教示の効果で等速度の定性概念（速さが一定）を獲得したものと考えられる。それぞれの被験者の事前-事後テスト間での χ^2 検定の結果は次のようであった。幼児 ($\chi^2=21.57$, $df=1$, $P<.01$)。小2 ($\chi^2=30.53$, $df=1$, $P<.01$)。大学生 ($\chi^2=0.00$, $df=1$, $P>.05$)。

加速度の判断についても、等速度の判断と同様のことがいえる。事前テストにおいて、Piaget のいう突然の加速（最初が速い）の子供の回答が得られた。また、最初が速くそれから後は同じ速さである、という回答や、最後の部分だけ速く、最後の部分に到達するまでは同じ速さである、という回答が大半を占めていた。このように速い、より速い、という子供の回答は得られたが、速さが増加していく、速くなっていく、速さが変化していつているというような反応は幼児にはみられず、小2 児童に数名（7名）みられた程度であった。しかし、子供は、瞬間比較（教示）において、スタートの部分のスリットで、列車の模様の白線が4本、はっきり見えると主張し、ゴールの部分のスリットでは、列車の白線が全く見えないと主張し、速さが変化していること（速さが増加していること）を確認した。そして、まん中のスリットを通過

TABLE 6-1 加速性の理解を調べる質問に対する被験者の回答

問2（時間と速度から距離を求める問題）

幼児			小2			大学生		
	正	誤		正	誤		正	誤
事前	2	0	事前	25	0	事前	22	0
事後	28	1	事後	4	0	事後	0	0

TABLE 6-2 加速性の理解を調べる質問に対する被験者の回答

問3（速度と距離から時間を求める問題）

幼児			小2			大学生		
	正	誤		正	誤		正	誤
事前	1	0	事前	16	0	事前	22	0
事後	28	2	事後	13	0	事後	0	0

する時の瞬間速度をスタートの部分、ゴールの部分の瞬間速度と比較する観察を通して、真ん中を通過する時の列車の瞬間速度は、スタートの部分より速く、ゴールの部分より遅い、という子供の回答が多数得られた。そこで、スリットを全部取り去り、継時的に速さの比較観察（事後テスト）を行うとほとんど全員の子供が正反応できた。教示の効果で、加速度の定性概念を獲得できたものとする。それぞれの被験者の事前-事後テスト間での χ^2 検定の結果は次のようであった。幼児 ($\chi^2=27.40$, $df=1$, $P<.01$)。小2 ($\chi^2=16.76$, $df=1$, $P<.01$)。大学生 ($\chi^2=0.00$, $df=1$, $P>.05$)。

(2) 質問用語の効果

質問用語の効果があらわれた。TABLE 6-1, 6-2 に事前テスト、事後テストにおけるそれぞれの被験者の回答の正、誤を示す。

被験者の正答率と事前、事後テスト間の有意差をみるために、 χ^2 検定を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

問題2では幼児と小2 児童の事前、事後テスト間に有意差がみられた。幼児 ($\chi^2=50.63$, $df=1$, $P<.01$)。小2 ($\chi^2=4.30$, $df=1$, $P<.05$)。大学生 ($\chi^2=0.00$, $df=1$, $P>.05$)。

幼児、小2 児童は、瞬間速度の大小を意味する「ビューーン」や「ノロノロ」を使った質問によって加速度概念で距離の質問に正解することができた。事前テストでの子供の具体的回答をあげると「レールの最初でも、最後まで列車の進む距離は同じだ」、「レールの真ん中が長く、最初も最後まで同じ距離」「最初が長い」等の意味の回答が多かった。これは加速度と空間距離の関係が完全に切りはなされ、目の前のレールの長さのみで判断した誤答であろう。事後テストでの子供の具体的回答をあげると

『ビューン』といくのは自動車で遠くまでいく、「ノロノロ」は亀さんでちょっとしかいかない、だから、レールのゴールの方の列車が遠くまでいく」等である。

問題3でも問題2と同様のことがいえる。幼児、小2児童ともに、事前、事後テスト間に1%水準で有意差がみられた。幼児 ($\chi^2=50.63$, $df=1$, $P<.01$)。小2 ($\chi^2=16.76$, $df=1$, $P<.01$)。大学生 ($\chi^2=0.00$, $df=1$, $P>.05$)。

幼児、小2児童は「ビューン」、「ノロノロ」を使った質問によって加速度概念で時間の質問に正解することができた。事前テストでの具体的回答をあげると「時間は同じ」「真ん中が時間が長くはしっこは時間が短い」「最初が時間が長い」等であった。これは加速度と時間を切りはなした判断、Piaget のいう時間と距離の混同(カップー運動効果)の誤答だろう。事後テストでの具体的回答をあげると『ビューン』は自動車で速いから、あそこまでいくのに時間がちょっとしかかからない。『ノロノロ』は亀さんみたいでのろいから、時間がいっぱいかかる。」等であった。Piaget は「速いと時間も短い」という幼児特有の試行を次のように説明している。「8才以下の子供は論理思考が困難であり、運動速度に加えて距離が共存する状況での時間評価は、more is more のルールにより、速い速度の運動体は持続時間も長いと判断する。」(カップー運動効果)、これに対して、Cohen & Cooper (1962) は電気機関車の実験で遅い機関車が速い機関車と同じ時間で短い距離を運動する時には、遅いほうが多くの時間を要すると判断する、(反カップー運動効果)としている。本研究ではCohen & Cooperの実験と類似した結果が得られた。Piagetの加速度実験ではただ1つの運動体のみを比較実験であったのに対し、Cohen & Cooperの実験や本研究の実験は、2つの運動体の比較実験であったこと(本研究では等速度運動と加速度運動の比較実験であったこと)が同じような結果を得た原因だと考える。結論として、「子供は、『瞬間速度』を意味するプロトタイプの質問用語と『瞬間速度』の変化率として知覚にうったえる教示によって加速度概念で距離や時間の質問に正解することができた。」ということができるであろう。

参考文献

- Acredolo, C. & Adams, A. 1984 On the understanding of the relationships between speed, duration, and distance, *Child Development*, 55, 2151—2159.
- Anderson, N.H. 1980 Information integration theory in developmental psychology. In F. Wilkening, J. Becker. & T. Trabasso. (Eds.) *Information*

integration by children. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

Cohen, J. & Cooper, P. 1962 New phenomena in apparent duration, distance and speed. *Nature*, 196, 1233—1234.

Gottsdanker, R.M. 1955 A further study of prediction of motion. *American Journal of Psychology*, 68, 432—437.

森一夫・出野務 1976 速度概念の獲得による論理的思考の形成について 理科の教育, 25, 64—65.

Pantle A.J. & Sekuler, R.W. 1968 Velocity-sensitive elements in human vision, Initial psychophysical evidence. *Vision Research*, 8, 445—450.

Piaget, J. 1970 *The Child's conception of movement and speed*. (Trs. G.E.T. Holloway & M.J. Mackenzie) London: Routledge & Kegan Paul.

Ravin, J.R. 1972 The Development of the concept of acceleration in elementary school children. *Journal of Reserch in Science Teaching*, 93, 201—206.

Rosenbaum, A. 1975 Perception and extrapolation of velocity and acceleration. *Journal of Experimental Psychology; Human Perception and Performance*, 14, 395—403.

真田順平・高野文彦 1978 基礎課程物理学 培風館

Sekuler, R.W. & Ganz, L. 1963 Aftereffect of seen motion with a stabilized retinal image. *Science*, 139, 419—420.

Siegler, R.S. 1981 Developmental sequences within and between concepts, *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46 (2, whole No. 189).

Siegler, R.S. & Richards, D.D. 1979 Development of time, speed, and distance concepts. *Developmental Psychology*, 15, 288—296.

竹前進 1984 子供の「加速度」の認識に関するピアジェ実験の一考察 日本理科教育学会研究紀要, 25, 71—77.

山田正夫 1983 子供の「速さ」の認識に関するピアジェ実験についての一考察 日本理科教育学会紀要 23, 125—132.

(1985年11月5日受稿)