

## 時間に関する2つの知識の使い分けへの 物理の授業及び直接的な教示の効果

内村 浩・松田 文子

Effects of physics lessons and direct instruction to suitable use of two kinds of knowledge about time

Hiroshi Uchimura and Fumiko Matsuda

高校生に同方向に等速直線運動する2つの動体の映像を見せ、その走行時間について比較判断させた。その結果、高校生の時間概念について次のような傾向が明らかになった。(1) 高校生の時間の比較判断において、「時間＝終了時刻－開始時刻」と「時間＝距離／速さ」の2つの知識の適切な使い分けが困難である。また、後者の知識のほうが活性化しやすい。(2) 高校物理における速さの学習は、運動刺激事態での時間の比較判断にはほとんど影響しなかった。(3) 動体刺激を提示しながら時間の比較判断について直接的に教示した場合は、「時間＝終了時刻－開始時刻」という知識の適用が活性化された。

キーワード： 認知発達，時間判断，高校生，物理

### 問題と目的

物理と数学の学習指導要領では、速さは異種の2つの量の割合として捉えられる数量、すなわち「単位時間当たりの移動距離」という考えで指導する内容として扱われている。例えば、小学校5年の算数では、「速さ」の単元で「速さ＝距離／時間」の関係概念が教えられ、この公式を用いた計算問題が扱われる。そして中学校理科の「物体の運動」の単元では「平均の速さ」が同様な考え方で教えられる。さらに高等学校になると、物理の「力と運動」の単元で「瞬間の速さ」が「経過時間を極限まで小さくしていったときの平均の速さ」として導入される。このような観点に基づいた「速さ」の教授方法については、松田・田中・原・松田(1995)と原・松田(1997)が、小学校5年の算数「速さ」の学習を取上げて、発達心理学の立場からその問題点と改善の方向性を示している。本研究では、高校生を対象にして、物理教育における学習不振対策という視点から検討してみたい。

さて、時間概念の発達に関する実験的研究をはじめて組織的に行なったのは、Piaget(1946a/1969, 1946b/1970)である。彼は様々な実験を行っているが、その代表的なものは、2つの動体(おもちゃの自動車など)が同方向に走るのを子どもに見せた後で、その走行時間を比較させるものである。その後、このような実験事態を用いて多くの追試がなされてきた(Fraisse, &

Vautrey, 1952a, 1952b ; Siegler, & Richards, 1979 ; Acredoro, & Schmid, 1981 ; Levin, 1977 ; Levin, 1983 ; Levin, & Globerson, 1984 ; Levin, & Simon, 1986)。また, Matsuda (1996) は, 2つの動体が同方向に走るという事態で時間判断課題と距離判断課題が等価になるような課題を作成し, 幼稚園児から小学5年生までを対象として調べている。そしてLan・松田 (1997) は, 空間の手がかりをできるだけ取り除いて課題の対称性をさらに高めた課題を用意して, 中学生を対象に実験を行った。さらに内村・松田・Lan (1997) と内村・Lan (2001) は, これと同様な実験事態を用いて高校生を対象に実験を行った。

これまでの研究の結果, 子どもがこのような事態で, どちらの走行時間が長いか (あるいは同じか) を正しく判断することは, Piaget (1946a/1969) の主張 (およそ8歳頃完成) よりもかなり年長まで困難であることが明らかになってきた。例えば, Matsuda (1996) 及びLan・松田 (1997) によれば, 一部の時間判断課題においては, 9~13歳児でも正答率が5割に満たず, 中学生ですら正答率が7割前後であり, まだほぼ完全な正答を行う大学生のレベルには達していなかった。また, 内村・松田・Lan (1997) と内村・Lan (2001) の研究によれば, 走行時間を正しく比較判断できない高校生が予想以上に多くおり, 刺激布置によっては正答率が5割程度でしかないことが明らかになった。

ところで, 2つの動体が同方向に運動する実験事態で特に走行時間の比較判断を誤りやすい刺激布置をこれまでの実験から取り出してみると, その多くは次の2つの場合であり, いずれも2つの走行時間が等しい場合であった。

- (a) 同時出発かつ同時到着で, 出発地点と到着地点のいずれか又は両方が等しくない場合。
- (b) 出発時点と到着時点が同じだけずれて, 距離も速さも等しい場合

これらの課題は, 時間の論理的判断のために用いられるべき知識の違いによって分類可能である (松田・原・Lan, 1998)。すなわち, (a)の課題は, 「時間=終了時刻-開始時刻」の知識 (以下これを $\alpha$ 知識とよぶ) があればその知識を用いて, また(b)の課題は, 「時間=距離/速さ」の知識 (以下これを $\beta$ 知識とよぶ) があればその知識を用いて, 論理的に正答を得ることができる課題である。例えば, 2つの動体が同時に出発して同時に到着するという(a)の課題についてみると, 「走行時間が等しい」という判断を下すためには次に示すような①~④の認知的プロセスが必要だと考えられる。

- ① 「2台の車が同時に出発した」と知覚する。
- ② 車が止るまでの間, ①の知覚を作業記憶内にとどめ置く。
- ③ 「2台の車が同時に到着した」と知覚する。
- ④ 「時間=終了時刻-開始時刻」であり「同時出発・同時到着なら走行時間は等しい」という知識を長期記憶から引出し, それを適用して論理的操作を行う (他方, 2つの動体と同じ距離を同じ速さで運動するという(b)の課題については, 「時間=距離/速さ」という知識とその論理的操作が必要である)。

では, 誤答がこれらのどのプロセスで生じやすいのだろうか。原・松田 (1997) によると, 小学生の場合, 上の①②③のプロセスで誤答が生じたのではなく, 主に④の論理的操作で誤答をしてい

ることが示唆された。また、高校生と小学生の時間判断のパターンを比較した谷村・内村・Lan・松田(1997)の研究によると、(a)小学生では到着地点の同異が判断パターンに影響を与えるのに対して、高校生ではそのような影響がないこと、(b)高校生の判断パターンに影響を与えるのは、時間に関する2つの知識の論理的使用であることが示唆された。高校生が $\alpha$ や $\beta$ を用いて時間を比較するための論理的操作の知識を持っていないとは考えがたいので、高校生にとって課題が難しい原因は、課題に応じて $\alpha$ と $\beta$ の2つの知識を適切に使い分けができないことにあると推測できる。そこで、本研究の目的の第1は、この点について明らかにすることである。

さて、前回の筆者らの研究(内村・松田・Lan, 1997; 内村・Lan, 2001)では、高校生の正答率が低かった要因の一つとして、学校での速さの学習による影響を挙げた。例えば、中学と高校の「運動」の学習では「速さ=距離/時間」の関係式とそれを用いた計算問題を繰り返し学習するが、このことが時間判断に際しての論理的判断に影響を及ぼしている可能性がある。もしそれが事実だとすれば、物理の「運動」の授業の前後で生徒の時間判断のパターンに変化がみられると予想される。本研究の目的の第2は、この点について明らかにすることである。

もしも学校での速さの学習が、運動刺激事態での2つの知識を使い分けたり、統合して論理的に操作することにほとんど転移しないとすれば、どのような教育的介入が、このような知識の使い分けと統合を可能にするだろうか。本研究の目的の第3は、この点について明らかにすることである。

## 方 法

### (1) 参加者

参加者は、地方都市の郊外に位置する公立高校の1年生38名、2年生8名の計46名である。1年生と2年生は別々のグループを構成して実験を行った。どちらのグループも高校で物理を学ぶのは1年目であり、物理の授業内容と担当教師は同じである。なお、参加者の中には、速さの関係概念の理解が十分でない生徒も多く含まれている。例えば、松田・田中・原・松田(1995)が小学5年生を対象に用いたテスト問題(26点満点)では、本研究の参加者の平均点は13.8であり、小学5年生(平均点14.1)と同程度であった。

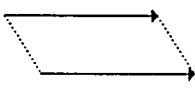
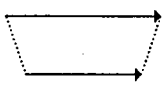
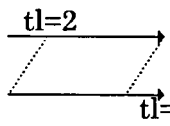
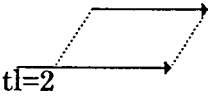
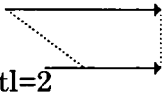
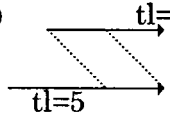
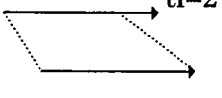
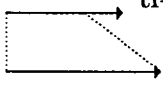
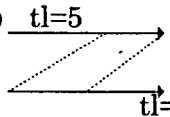
### (2) 装置

刺激は、パーソナルコンピュータ(Apple, PowerMac)と大型液晶プロジェクターを用いて、教室正面に吊るした大きなスクリーン(3.0m×3.0m)上に投影され、これをグループ全員が同時に観察した。

### (3) 刺激画面

刺激画面は谷村・松田(1998)で使用されたものを用いた。ただし、先行研究では刺激画面がCRTを使って提示されたのに対して、今回の実験ではプロジェクターを用いて大きなスクリーン上に提示されたことが大きく異なっている。ここではTable 1に示すような9種類の刺激画面が用意された。1つの刺激画面は、スクリーンの左から右を水平に等速で走る赤と緑の2台の自動車(上の自動車が赤色、下の自動車が緑色)で構成されている。自動車はすべて現れると同時に走り、止

Table 1 刺激画面

$\alpha\beta$ 課題		$\alpha$ 課題		$\beta$ 課題	
(1)	 t=8 (top) t=8 (bottom)	(1)	 t=8 (top) t=8 (bottom)	(1)	 tl=2 (top) t=8 (top) tl=2 (bottom) t=8 (bottom)
(2)	 tl=2 (left) t=6 (top) t=8 (bottom)	(2)	 tl=2 (left) t=6 (top) t=8 (bottom)	(2)	 tl=3 (top) t=6 (top) tl=5 (bottom) t=8 (bottom)
(3)	 tl=2 (top) t=8 (top) t=6 (bottom)	(3)	 tl=2 (top) t=8 (top) t=6 (bottom)	(3)	 tl=5 (top) t=8 (top) tl=3 (bottom) t=6 (bottom)

t = 移動時間(s)

tl = 出発・到着時間差(s)

移動距離の最大値 = 240 cm

移動距離の最小値 = 180 cm

1つの自動車の長さ = 50 cm

2つの走路間の距離 = 90 cm

注. 実線は運動の軌跡; 点線は同時刻の位置関係を示す.

まると同時に消えた。課題の構成は、 $\alpha\beta$  課題 ( $\alpha$  及び  $\beta$  のどちらを用いても適切な論理的比較が可能な課題),  $\alpha$  課題 ( $\alpha$  を用いて適切な論理的比較が可能な課題),  $\beta$  課題 ( $\beta$  を用いて適切な論理的比較が可能な課題) の 3 タイプ  $\times$  3 正答 (赤, 緑, 同) とした。

まず  $\alpha$  課題では, 2つの動体の出発時刻と到着時刻は少なくとも一つは同じであり, 走行距離と速さはどちらも異なる。したがって,  $\alpha$  課題 ( $\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3$ ) では  $\alpha$  知識「時間 = 終了時刻 - 開始時刻」を用いて次のような論理的比較が可能である。

$\alpha 1$ : 同時出発, 同時到着なら, 走行時間は等しい。

$\alpha 2$ : 同時に止るときには, 先に出発したほうが走行時間は長い。

$\alpha 3$ : 同時に出発するときには, あとに止ったほうが走行時間は長い。

一方,  $\beta$  課題では 2つの動体の走行距離と速さは少なくとも一つは同じであり, 出発時刻と到着時刻はどちらも異なる。したがって,  $\beta$  課題 ( $\beta 1, \beta 2, \beta 3$ ) では  $\beta$  知識「時間 = 距離 / 速さ」を用いて次のような論理的比較が可能である。

$\beta 1$ : 距離も速さも同じならば, 走行時間は等しい。

$\beta 2$ : 速さが等しいときは, 距離の長いほうが走行時間は長い。

$\beta 3$ : 距離が等しいときは, 速さの遅いほうが走行時間は長い。

また,  $\alpha\beta$  課題については, 2つの動体の出発時刻と到着時刻は少なくとも一つは同じであり,

かつ走行距離と速さについても少なくとも一つは同じである。したがって、 $\alpha\beta$ 課題 ( $\alpha\beta 1, \alpha\beta 2, \alpha\beta 3$ ) では $\alpha$ 知識または $\beta$ 知識のどちらを用いても適切な論理的比較が可能である。

いずれの課題においても、赤（上側）と緑（下側）の2台の車が左から右に等速直線運動した。最初に白色の走路が呈示され、その1秒後に一方あるいは両方の車が現れて動き始め、止まるとすぐに消えた。また、白色の走路は移動したあと黄色に変わり、黄色の移動距離は後に止まった車が消えた後も3秒間画面上に呈示された。これは移動距離の認知が正確に行なえるようにするためであった。

#### (4) 手続き

「運動」の授業に入る前に、物理の授業時間を使って、Table 1 の刺激画面を用いた実験を2セッション実施した。始めのセッション（これをセッション①aとする）では、9つの刺激画面について時間判断の解答のみを行った。被験者はスクリーンからの距離が3mから7mの範囲で、隣の被験者と60cm以上離れるような位置に座った。まず「画面に赤と緑の2台の自動車が出てきます。2台とも左から右に走りますので、その動きを最後まで見ていて、どちらの自動車の方が走っていた時間が長かったかを答えて下さい。赤の自動車の方が長い時間走ったかと思った時「赤」に○を、緑の自動車の方が長い時間走ったかと思った時は「緑」に○を、両方同じ時間走ったかと思った時は「同じ」に○を付けてください」と教示を与え、回答用紙への答の記入の仕方を説明した。課題の理解の徹底を図るために、本試行に入る前に、判断の大変易しい練習用画面を使って1回練習試行を行い、挙手をさせることによってすべての参加者が正答していることを確認した。9つの刺激画面の提示順序はランダムとした。

セッション①aの後、約1分間の休憩をはさんで、セッション①b（理由付き）を実施した。まず「今度はどうしてそう思ったのかについても回答用紙に書いて下さい」と教示し、回答用紙への記入の仕方を説明した。回答用紙には各刺激画面ごとに、「赤、緑、同じ」を答える回答欄の下にその判断理由を記入するスペースを設けてあった。9つの刺激画面の提示順序はランダム順序とした。各刺激画面は約1分30秒間隔で提示し、参加者が判断理由を記入する時間をつくった。なお、2つのセッションを通して、刺激画面に注意を集中しなかったことが誤答の原因になることを避けるために、参加者全員がスクリーンを注視するのを確認してから刺激画面を提示した。また、参加者から求めがあれば画面を再提示するようにした。実験に要した時間は約25分であった。以上の実験を行った次の授業から、「等速直線運動」「平均の速さ」「瞬間の速さ」についての授業を4時限行った。ここでは「物理 I B」の教科書（数研出版社，p.8-12）を使って、指導要領にできるだけ準拠した内容の授業を実施した。Figure 1はこのときの授業で使用した教科書の内容であるが、ここでは一貫して、速さを「単位時間あたりの移動距離」として捉えさせようとしていることが分かる。まず1時限目の授業では、等速直線運動をとりあげ、速さの単位が1秒または1時間あたりの移動距離で表せることと、「 $v = \text{移動距離} / \text{経過時間} = s / t$ 」「 $s = vt$ 」の関係式が成り立つことを教示した。次に、速さが一定でない運動をとりあげ、上述した速さの定義に基づいて「平均の速さ」について教示した。2時限目の授業では、体験的な学習を行わせるために、記録タイマーを使って自分の歩行運動を調べるという実習を取り入れた。ここでは位置及び平均の速さの時間

一定の速さで進んでいることがわかる。このように、一直線上を一定の速さで進む運動を **等速直線運動** という。

速さの単位には、1秒または1時間当たりの移動距離が用いられ、メートル毎秒(記号 m/s)、キロメートル毎時(記号 km/h)などで表される。

□例 1. 18 km/hは何 m/sか。(5.0 m/s)

等速直線運動では、速さが一定であるから、物体の移動距離は経過時間に比例する。

一定の速さ  $v$  (m/s) で時間  $t$  (s) の間に移動した距離を  $s$  (m) とすると、次の式が成り立つ。

$$v = \frac{\text{移動距離 } s}{\text{経過時間 } t}, \quad \text{これから } s = vt \quad (1)$$

$v$  (m/s) の速さで等速直線運動をしている自動車がある時刻に直線上の定点  $O$  から  $x_0$  (m) の位置にあり、 $t$  (s) 後に  $O$  からは

15  $s = x - x_0$  (m) の位置に進んだとする。このとき、移動距離は速さ  $v$  であるから、速さ  $v$  は次の式で表される。

$$v = \frac{x - x_0}{t} \quad (2)$$

移動距離  $s$  と経過時間  $t$  との関係を表すグラフ ( $s-t$  図) は、原点を通る直線になる。この直線の傾きは速さ  $v$  を表す(次ページ図3(a))。

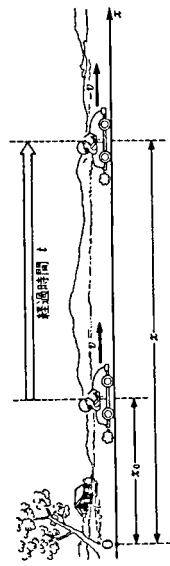


図2 等速直線運動の速さ

小球を落としたときの小球の落下の様子や、ボールを斜め上方に投げたときのボールの動きのように、地球上における物体の運動は17世紀初頭の科学者達によって調べられた。

この章では、まず物体の運動を表すための速度と加速度について学び、次に物体の運動の例として、加速度が一定である運動と、重力による落体の運動について学ぼう。

## I 物体の運動

### 1. 直線運動の速度

図1は、水平なエア・トラック上で滑走体を動かしたときの運動の様子を、一定の時間ごとに発光するフラッシュを当てて撮影した写真(ストロボ写真)である。

図1の(a)、(b)は、それぞれ像の間隔が等しいから、滑走体はそれぞれ

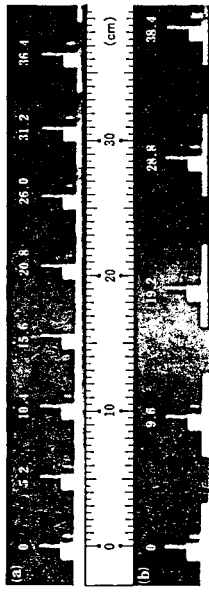


図1 水平なエア・トラック上での滑走体の運動 (a)、(b)ともに発光間隔0.10秒 (b)は(a)よりも滑走体の間隔が大きいため、(b)のほうが(a)よりも速く運動している。

Fig 1 - a 授業で使用した教科書(前半の2ページ分)

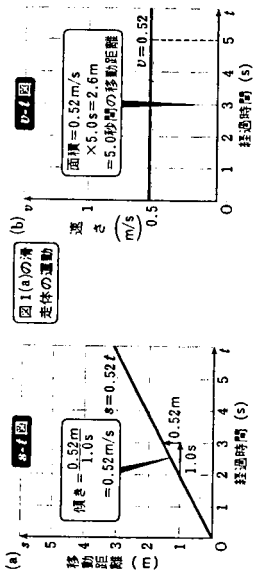


図3 等速直線運動のグラフ(図1(a)の滑走体の運動)

速さ  $v$  と経過時間  $t$  との関係を表すグラフ ( $v-t$  図) は、速さ  $v$  が一定であるから、 $t$  軸に平行な直線になり、この直線と  $t$  軸との間の面積(同図(b)の赤い影をつけた部分)は移動距離を表す。

問2. 一定の速さで走っている自動車がある高速道路を  $6.3 \text{ km}$  進むのに  $5 \text{ 分 } 50 \text{ 秒}$  かかった。自動車の速さは何  $\text{m/s}$  か。(18  $\text{m/s}$ )

### B 平均の速さ

図4は、おもりに引かれて、水平なエア・トラック上を運動する滑走体のストロボ写真である。像の間隔が広がっていくから、滑走体の速さが時間の経過につれて速くなっていくことがわかる。

このように速さが一定でない場合には、1秒当たりの平均の移動距離、すなわち平均の速さを考えたとよい。

$s$  (m) の距離を時間  $t$  (s) の間に進んだものとするとき、この間の平均の速さ  $\bar{v}$  (m/s) は、次の式で表される。

$$\bar{v} = \frac{\text{移動距離}}{\text{経過時間}} = \frac{s}{t} \quad (3)$$

図4で、CF間の移動距離  $s = 0.175 - 0.028 = 0.147 \text{ m}$ 、経過時間  $t = 0.10 \times 3 = 0.30 \text{ 秒}$  であるから、CF間の平均の速さ  $\bar{v} = \frac{0.147}{0.30} = 0.49 \text{ m/s}$  になる。

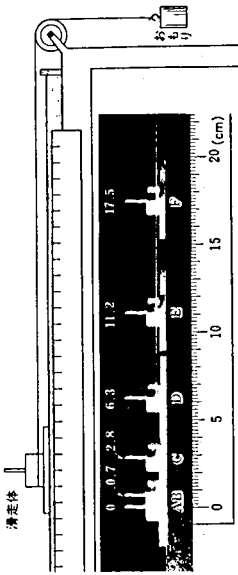


図4 エア・トラック上でのおもりに引かれた滑走体の運動(発光間隔0.10秒) 質量0.60kgの滑走体を使い、質量0.10kgのおもりを下げたときの結果である。

問3. 図4で、CD間、DE間およびEF間の平均の速さはそれぞれ何  $\text{m/s}$  か。(0.35  $\text{m/s}$ 、0.49  $\text{m/s}$ 、0.63  $\text{m/s}$ )

問4. 図5は、図4の滑走体の運動の  $s-t$  図である。CF間の平均の速さ0.49  $\text{m/s}$  は、 $s-t$  図で

5.  $HF'$  で表される。CE間、CD間というように経過時間を短くしていくと、平均の速さは直線  $CE'$ 、 $CD'$  の傾きとい

うように変わっていく。し

だいに点Cで引いた接線

CTの傾き  $\frac{HT}{CH}$  に近づい

10 ていく。したがって、点C

を通るときの(または、そ

の時刻における)瞬間の速

さは点Cで引いた接線の

傾きで表される。ふつう、

15 速さというときは、瞬間の

速さを指す。

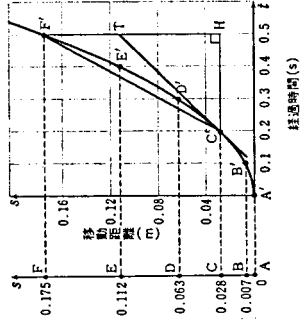


図5 図4の滑走体の運動の  $s-t$  図

Table 2 時間判断の学習の流れ

(1) α課題の学習

- ① 「答え合わせをしてみよう」…α課題（3問）の自己採点を行う
- ② 「これらの問題を解くためには、次のルールがつかえます」  
ルール1：時間＝終了時刻－開始時刻
- ③ 「では、このルールをつかって、もう一度やってみよう」  
「ここでは、車の出発時刻と到着時刻に注意して見て下さい」  
1画面を2回ずつ提示しながら解説を行う
- α1…「同時に出発して、同時に止ったから」→「時間は同じ」  
サブルール「同時出発、同時到着なら、走行時間は同じ」
- α2…「緑が先に出発して、同時に止ったから」→「緑の時間が長い」  
サブルール「同時に止るときには、先に出発したほうが走行時間が長い」
- α3…「同時に出発して、赤があとに止ったから」→「赤の時間が長い」  
サブルール「同時に出発するときには、あとに止ったほうが走行時間は長い」
- ④ 「このように出発時刻または到着時刻が同じ場合には、ルール1がつかえます」

(2) β課題の学習

- ① 「答え合わせをしてみよう」…β課題（3問）の自己採点を行う
- ② 「これらの問題を解くためには、次のルールがつかえます」  
ルール2：時間＝ $\frac{\text{距離}}{\text{速さ}}$
- ③ 「では、このルールをつかって、もう一度やってみよう」  
「ここでは、距離と速さに注意して見て下さい」  
1画面を2回ずつ提示しながら解説を行う
- β1…「距離と速さが共に等しいから」→「時間は同じ」  
サブルール「距離も速さも同じならば、走行時間は同じ」
- β2…「速さが同じで、緑の距離が長いから」→「緑の時間が長い」  
サブルール「速さが等しいときは、距離の長いほうが走行時間は長い」
- β3…「距離が同じで、赤の速さが遅いから」→「赤の時間が長い」  
サブルール「距離が等しいときは、速さの遅いほうが走行時間は長い」
- ④ 「このように距離または速さが同じ場合には、ルール2がつかえますね」

(3) αβ課題の学習

- ① 「答え合わせをしてみよう」…αβ課題（3問）の自己採点を行う
- ② 「これらの問題は、どちらのルールをつかっても解けます」
- ③ 「では、1問だけをもう一度やってみよう」  
αβ3の画面を2回提示しながら解説を行う  
「まず、車の出発時刻と到着時刻に注意して見よう」  
αβ3…「同時に出発して、赤があとに止ったから」→「赤の時間が長い」  
「つぎは、距離と速さに注意して見よう」  
αβ3…「距離が同じで、赤の速さが遅いから」→「赤の時間が長い」
- ④ 「このように、どちらのルールでもつかえるような場合もありますね」

(4) まとめ

- ① 「以上のように、自動車の走行時間をくらべるときには、問題によって上手に2つのルールを使い分けることが大切です」

注) 「 」は教師の発言内容を示す。



的变化を表すグラフを作成させた(テープに記録された打点の位置を読み取り、速さ＝距離／時間の式に代入して0.1秒毎の平均の速さを計算する)。3時限目の授業では、「瞬間の速さ」を「経過時間を極限まで小さくしていったときの平均の速さ」という考えに基づいて教えた。最後の4時限目の授業では、計算問題を解く練習をした。なお、4時限の授業を通して扱った速さに関する計算問題は、Figuer 1の問1～問3と問題集の計算問題約10問であった。例えば、Figuer 1の[問1]は、単位の換算の問題であるが「速さは単位時間の移動距離である」という定義を用いるものである。[問2]は「速さ＝移動距離／経過時間」の公式にそのまま数値を代入すれば解ける問題である。また[問3]は、 $\alpha$ と $\beta$ の知識の統合を含んでいる( $\alpha$ 知識を使って経過時間を求め、それを $\beta$ の関係式に代入して解答する)。

速さの授業を終えた次の授業時間を使って、セッション①bと同様な方法で、セッション②を行った。セッション②に引き続いて、この刺激画面を用いた時間判断の学習を実施した。Table 2に学習の流れを示す。ここでは、9つの刺激画面を $\alpha$ 課題、 $\beta$ 課題、 $\alpha\beta$ 課題の順にスクリーンに各々2回ずつ提示しながら、それぞれの刺激画面の正答を示し、2つの知識が時間判断にどのように使えるかということと、その使い分けが重要であることを教示した。この時間判断の学習に要した時間は13分間であった。この学習のすぐ後、セッション③(理由なし)を行った。さらに、時間判断の学習から2週間後に、セッション④a(理由付き)とセッション④b(反転課題、一部理由付き)を連続して実施した。セッション④bで用いた課題は、それまでの課題と基本的には同じであるが、9つの刺激画面の全てについて、車が右から左へ移動し(それ以前の課題では左から右に移動した)、かつ上下の車の動きが入替えてある。なお、各セッションにおける刺激画面の提示はそれぞれ異なるランダム順序とした。

## 結果と考察

Table 3は、各刺激画面に対する反応率である。

### (1) 2つの知識の使い分け

ここでは、Table 3のセッション①aとセッション①bの正答率をもとに検討する。まず $\alpha$ 課題では、正答率が3課題とも6割前後であり、比較的低い。一方、 $\beta$ 課題の正答率は、 $\beta 3$ を除けば8割前後であり、比較的高い。同様に $\alpha\beta$ 課題の正答率は、 $\alpha\beta 3$ を除けば9割前後であり、比較的高い。次に、誤答の傾向についてみると、いずれのセッションにおいても次のような傾向が認められた。まず、 $\alpha$ 課題の誤反応はすべて、「距離と速さが共に長いほうが時間が長い」としているものが多い。また、 $\beta 3$ 課題と $\alpha\beta 3$ 課題(両課題とも距離は同じ)の誤反応については、「同じ」とする者が多い。このことは、高校生が距離を基準にして時間判断している場合が多いことを示唆している。また、 $\beta 1$ 課題においては、早く出発しかつ遅く止まった方を「時間が長い」と判断する誤反応が多い。本実験課題は、出発・到着時点と距離・速さの目立ちやすさを直接比較できるような等価な課題でない。しかし、それにしても、上記の結果は、高校生の時間の比較判断において、 $\alpha\beta$ の2つの知識の使い分けが困難であり、かつ $\beta$ の知識のほうが活性化しやすいことを示

Table 3 刺激画面のセッション別反応率

画面	【セッション① a】 (判断)	【セッション① b】 (理由+判断)	【セッション②】 (理由+判断)	【セッション③】 (理由+判断)	【セッション④ a】 (理由+判断)	【セッション④ b】 (反転課題)
	赤 緑 同	赤 緑 同	赤 緑 同	赤 緑 同	赤 緑 同	赤 緑 同
$\alpha$ 1	37 11 (53)	28 12 (60)	30 2 (68)	11 7 (82)	6 9 (85)	9 6 (85)
$\alpha$ 2	33 (60) 7	30 (67) 4	27 (64) 9	16 (73) 11	6 (81) 13	(68) 17 15
$\alpha$ 3	(68) 28 4	(70) 26 4	(66) 23 11	(93) 5 2	(87) 9 4	9 (85) 6
$\beta$ 1	2 19 (79)	2 14 (84)	5 16 (80)	2 23 (75)	0 22 (78)	26 2 (72)
$\beta$ 2	5 (81) 14	5 (81) 14	7 (75) 18	16 (75) 9	9 (79) 13	(91) 6 2
$\beta$ 3	(38) 9 54	(42) 4 54	(46) 9 46	(46) 13 36	(17) 9 74	13 (53) 34
$\alpha \beta$ 1	12 12 (86)	4 4 (93)	2 5 (93)	0 5 (96)	12 0 (98)	6 0 (94)
$\alpha \beta$ 2	2 (89) 9	0 (98) 2	2 (93) 5	5 (84) 11	0 (98) 2	(87) 4 9
$\alpha \beta$ 3	(70) 5 25	(72) 4 25	(75) 0 25	(77) 2 21	(85) 2 13	0 (83) 17

↑ ↑  
速さの授業 時間判断の学習

注) ( ) は課題の正答率を示す

唆している。先に行った筆者らの実験（内村・松田・Lan, 1997 ; 内村・Lan, 2001）で高校生の正答率が低かったが、実験に参加した高校生にとって課題が難しい原因は、課題に応じて $\alpha$ と $\beta$ の2つの知識を適切に使い分けができないことにあると考えられる。

## (2) 物理での速さの学習による影響

Table 3をみると、授業後のセッション②の正答率は、授業前のセッション① a・① bとほぼ同等である。また、誤答の傾向についても、授業後のセッションでも授業前と全く同様な傾向を示している。以上の結果から、高校物理での速さの学習は運動刺激事態での時間比較にはほとんど影響しなかったことが分かる。すなわち、現行カリキュラムにおける速さの学習は、 $\alpha$ と $\beta$ の2つの知識を統合する内容を含んでいるにもかかわらず、運動刺激事態での2つの知識の使い分けにはほとんど転移しないと推測される。今回の授業で生徒は「速さ=距離/時間」の知識を繰り返し学び、それを使った計算問題や実習を何度も経験した。また、本研究の速さの授業は標準よりも多くの時間をさいている。したがって、授業後には $\beta$ の知識が活性化されて、 $\beta$ 課題の正答率が上がるか、あるいは $\alpha$ 課題では $\beta$ 知識を使って解こうとして誤答が増えるという可能性も考えられたのだが、今回の実験ではそれもみられなかった。学校で学んだ知識が日常生活に転移しにくいことは以前から指摘されてきたことではあるが、それにしても淋しい結果である。

この結果は、松田・田中・原・松田（1995）が指摘しているように、速さを単位時間当たりの大きさとして取り扱うことが子どもにとって不自然であることから生じているのではないだろうか。現行の指導要領では、Figuer 1の教科書でみられるように、速さが独立した量としてではなく、距離と時間に従属した大きさとして扱われている。高校の物理ではこの考えがさらに徹底して用いら

れる。例えば、日常経験では独立した量として捉えられているような「瞬間の速さ」についても、「速さ＝距離／時間」の関係概念に微分の考えを導入して理解させようとしている。こうした教授方法は、たしかに将来理工系に進む生徒のための数学的な素養としては大いに意義があるだろう。しかし、そうでない生徒や、特に速さの関係概念についての理解がまだ十分でない児童・生徒にとっては、かえって不都合なものではないだろうか。そのため、物理で扱う速さの概念がますます日常生活のイメージから遊離したものとして感じられるように思う。むしろ、松田・田中・原・松田（1995）が指摘したように、速さを「初めから存在している」（麻柄，1991，p.184）「物体の動きの激しさともいうべき量」（田中，1988）として意味づけ、時間と距離と速さの対等な3概念で1つの論理のシステムを構成するものとして位置付けるほうが、日常生活にもつなげやすいかもしれない。今後の研究では、2つの知識の使い分けがうまくできない高校生もかなりいるという実態をふまえて、物理教育における速さの教授の問題点とその改善策についてさらに検討していきたい。

### (3) 時間判断の直接的な教示による効果

まず $\alpha$ 課題についてみると、特に $\alpha 1$ と $\alpha 2$ では、時間判断の学習後に行った3つのセッションで、いずれも8割～9割の高い正答率を示しており、学習前に行った3つのセッション（正答率6割前後）のどれよりも正答率がかなり高い。 $\alpha 2$ 課題では、 $\alpha 1 \cdot \alpha 2$ ほどではないものの、学習後に行った3つのセッションはいずれも、学習前よりも高い正答率を示している。次に $\beta$ 課題についてみると、全体的にみて学習の前後で正答率にほとんど変化がみられない。ただし $\beta 3$ のセッション④aの正答率がかなり低く2割程度しかない。 $\alpha \beta$ 課題をみると、 $\alpha \beta 3$ では学習後に行った3つのセッションはいずれも、学習前に行ったどのセッションよりも高い正答率を示している。 $\alpha \beta 1$ では天井効果のためにあまり大きな差はみられないものの、学習後に行った3つのセッションはいずれも、学習前よりも高い正答率を示している。 $\alpha \beta 2$ については、学習後のセッションの正答率は学習前よりも高いとはいえない。

以上の結果から、動体刺激を用いた直接的な教示によって、 $\alpha$ 知識の適用が運動刺激事態における時間判断によく転移したと推測される。高校生ならば「時間＝終了時刻－開始時刻」の知識をすでに持っており、これを使って論理的操作を行うことは易しいことであろう。したがって、 $\alpha$ 知識が使えることに気付いた高校生は、この知識を用いた論理的操作をたやすく行えるようになったと考えられる。特に、正答率の向上が認められた4つの刺激画面（ $\alpha 1$ 、 $\alpha 3$ 、 $\alpha \beta 1$ 、 $\alpha \beta 3$ ）は、いずれも2台の車が同時に出発したものばかりであった。このような課題であれば、最初に「同時に出発した」と認知できれば、その後は到着時点の同異だけに注意を集中すれば論理的判断が可能なので、 $\alpha$ 知識の適用に気付いた者にとっては判断が非常に易しい問題となる。一方、出発時点が異なる他の課題については、「同時に出発しなかった」と認知した後も、速さの同異、距離の同異、到着時点の同異という3つの対象に同時に注意を集中しておく必要があるため、たとえ $\alpha$ 知識の適用に気付いた者にとっても依然として“判断がややこしい問題”となる。したがって、同時に出発する刺激画面の正答率が大きく向上したという結果は、 $\alpha$ 知識の適用が運動刺激事態における時間判断に転移したという上述の推測をよく支持するものである。一方、 $\beta$ 課題については、 $\beta$ 知識の適用を直接的に教示した後でも正答率の向上は認められなかった。このことから、高校生は特に教示

がなくても、 $\beta$ の知識を時間判断に適用しようとしていたと推測される。物理の速さの授業の前後で $\beta$ 課題の判断パターンに差が認められないことからみて、ほとんどの子どもたちは高校で速さについて学習する以前から、すでに時間判断に $\beta$ 知識を使用することには気付いていると考えられる。

ところで、 $\beta$ 3課題でセッション④aの正答率がかなり低かったことについて検討してみたい。この刺激画面は「同じ距離なら速さが遅いほうが時間が長い」というルールを適用して論理的判断を下すものであり、速さの違いの認知が正答に大きく影響する課題である。しかし、この課題では2つの動体の速さの比が3:4であり、速さに注意をよく集中して見ないとその違いに気付かない可能性がある。もしも「速さが同じ」と誤って認知した場合には「時間は同じ」とするのが論理的には正しい判断である。この次のセッション④bでは比較的高い正答率を示していることからみて、「同じ」と誤答した生徒の中には論理的に正しい判断をした者がかなり含まれていた可能性が大きい。

本研究の結果から、学校で教える速さの知識は、具体的な動体刺激を示しながら直接的に教示しないと、運動刺激事態での時間の比較判断にはなかなか転移しにくいことが示唆された。しかし言いかえれば、具体的な動体刺激を示しながら知識の論理的使用を教示すれば、容易にそうした知識の使い分けができるようになる可能性があることも示唆された。本研究の時間判断の学習に要した時間は13分であり、教科書を使った速さの学習(50分×4回)に比べれば、ごくわずかなものであった。しかし、時間と空間の概念に関する2つの知識を条件に応じて適切に使い分けるという教育的効果に関しては、直接的に教示したという条件を差し引いて考えてみても、こちらの方が格段に効果が大きかったといえるであろう。前回の筆者らの研究(内村・松田・Lan, 1997; 内村・Lan, 2001)では、物理(主に運動の単元)の学習成績と時間判断の正答率との間に正の相関が認められ、時間、距離、速さの関係概念の理解が不十分なことが運動の理解を妨げているのではないかという示唆が得られた。したがって、今後の研究では、時間と空間に関する論理的操作を促すような教育的支援の方法について検討し、物理の学習不振の解決につなげたい。

## 引用文献

- Acredolo, C., & Schmid, J. 1981 The understanding of relative speeds, distances, and durations of movement. *Developmental Psychology*, 17, 490-493.
- Fraisse, P., & Vautrey, P. 1952a La perception de l'espace, de la vitesse et du temps chez l'enfant de cinq ans. I -L'espace et la vitesse. *Enfance*, 5, 1-20.
- Fraisse, P., & Vautrey, P. 1952b La perception de l'espace, de la vitesse et du temps chez l'enfant de cinq ans. II -Le temps. *Enfance*, 5, 102-119.
- 原 和秀・松田文子 1997 児童における運動刺激の時間と距離の認知 ― 小学校5年算数「速さ」はなぜ難しいか 数学教育学論究, 68-68, 29-41.
- Lan, W.・松田文子 1997 中学生における2つの動体の時間と距離の比較判断 発達心理学研究, 8, 176-185.

- Levin, I. 1977 The development of time concepts in young children : Reasoning about duration. *Child Development*, 48, 435-444.
- Levin, I. 1983 The sequence in development of time, speed and distance concepts: Task analysis. *Cahiers de Psychologies*, 3, 371-374.
- Levin, I., & Globerson, T. 1984 The development of time concepts among advantaged and disadvantaged Israeli children. *Jurnal of Genetic Psychology*, 145, 117-125.
- Levin, I., & Simon, H. 1986 The nature of children's and adults' concepts of time, speed, and distance and their sequence in development: Analysis via circular motion. In I. Levin (Ed.), *Stage and structure*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation. Pp. 77-105
- 麻柄啓一 1991 科学的概念の発達. 丸野俊一 (編), 新・児童心理学講座: 5 概念と知識の発達 金子書房 Pp. 155-198.
- Matsuda, F. 1996 Duration, distance, and speed judgments of two moving objects by 4to 11 years olds. *Jurnal of Experimental Child Psychology*, 63, 286-311.
- 松田文子・原田ひろみ・六車周二 1992 平面走路上の2つの動体の走行時間, 走行距離, 速さの比較判断に関する発達の研究 (I) 鳴門教育大学研究紀要: 教育科学編第7号, 153-173.
- 松田文子・田中昭太郎・原和秀・松田伯彦 1995 時間, 距離, 速さの関係概念の形成が小学校5年算数「速さ」の理解に及ぼす影響 発達心理学研究, 6, 134-143.
- 松田文子・原和秀・Lan, W. 1998 2つの動体の走行時間, 走行距離, 速さの小学生による比較一走行時間の判断 教育心理学研究, 46, 41-51.
- Piaget, J. 1946a *La development de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France. (Translated by A. J. Pomerance (1969). *The child's conception of time*. London: Routledge & Kagan Paul.)
- Piaget, J. 1946b *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France. (Translated by G. E. T. Holloway & M. J. Mackenzie (1970). *The child's conception of movement and speed*. London : Routledge & Kagan Paul.)
- Sigler, R. S., & Richards, D, D. 1979 Development of time, speed, and distance concepts. *Developmental Psychology*, 15, 288-298.
- 田中昭太郎 1988 小学校5年算数「速さ」教材の開発 (1) : 現行速さ教材の分析と新教材の構成 鳴門教育大学学校教育研究センター紀要第2号, 鳴門教育大学, 1-9.
- 谷村亮・内村浩・Lan, W.・松田文子 1997 2つの動体刺激の時間の比較判断(1)一小学生と高校生の判断パターンの比較 中国四国心理学会論文集, 30, 53.
- 谷村亮・松田文子 1998 中学生における2つの動体刺激の時間の比較判断一論理的比較に用いる2つの知識 日本教育心理学会第40回総会発表論文集, 64.
- 谷村亮・内村浩・松田文子 1998 2つの動体刺激の時間の比較判断(2) 一論理的比較に用いる2つの知識 中国四国心理学会論文集, 31, 43.

内村 浩・松田文子・Lan, W. 1997 高校生における2つの動体の時間と距離の比較判断(i)一時間判断の場合 日本科学教育学会年会論文集, 21, 445-446.

内村 浩・Lan, W. 2001 高校生における2つの動体の時間と距離の比較判断 広島大学大学院教育学研究科紀要, 50, 387-394.

## 謝 辞

本研究は、故・谷村亮氏と一緒に行ったものです。谷村氏は本研究で使用した動体刺激のコンピュータ・プログラムを作成し、また高等学校での実験にも立ち会って下さいました。この場を借りて、谷村氏に厚く感謝するとともに、心からご冥福をお祈りいたします。本研究から得られた知見を今後の研究と教育実践に活かすことで、谷村氏への恩返しをしていきたいと思っています。