

# 教科書分析から見る高等学校物理教育における表象変換の課題

## Issues of Conversion of Representations in High School Physics Education in Analysis of Textbooks

○鈴木速斗<sup>A</sup>, 和田一郎<sup>B</sup>, 森本信也<sup>B</sup>

SUZUKI, Hayato, WADA, Ichiro, MORIMOTO, Shinnya

横浜国立大学大学院<sup>A</sup>, 横浜国立大学<sup>B</sup>

Graduate School of Education, Yokohama National University, Yokohama National University

[要約] 本研究では、物理教育における課題を教科書分析によって顕在化していく。物理ではグラフや図、写真などの外部リソースを用いて思考していく。そこで、外部リソースが思考に及ぼす影響について考察していく。具体的には、和田らの提起する表象ネットワークモデルを援用し、高等学校物理基礎の教科書に示された外部リソースが表象ネットワークモデルに及ぼす影響について分析を行い、表象変換の課題を顕在化した。

結果として、外部リソースを読み取る視点によって、表象変換が異なること、表象と外部リソースを相互作用させることによって、より有機的に変換が促されることが明らかとなった。これらは教授方略の検討には有益な視点になると考えられる。

[キーワード] 物理教育, 表象変換, 相互作用, 教科書分析

### 1. 問題の所在と解決の視点

子どもは事象を捉えたり思考をしたりする過程において、多様な表象（心的な表現）を操作していくことで事象に対する概念の理解を深めていく。理科学習においては、表象の相互連関を活性化させることが重要であることを和田らは表象ネットワークモデル（図1）を用いて示している（和田ら，2010）。表象を3つの形式に分けて、それらを有機的に関連付けることにより、概念が構築されるということである。より具体的には、実験、観察など具体的な活動を通して事象を把握する活動的表象、イメージや図といった視覚的な

レベルで事象を把握する映像的表象、数式やことばなど非常に抽象的なレベルで事象を把握する記号的表象の3つの形式によって捉えられ、それらを有機的に相互連関させることによって認識を深め、知識を精緻化されていくことが表象ネットワークモデルにより明らかにされた。

また、Redishは、「物理教育では多くの異なる表象を取扱い、それらの形式を変換することは重要であるが、容易ではない」と指摘している（Redish, 2003）。つまり、実験、数式、グラフ、図など物理の事象を捉えるには多くの道具が存在し、それらの利用は事象のさまざまな側面のつながりを捉えるためには不可欠であるとする一方で、相互のつながりは簡単には捉えることはできないということである。このため、物理についての子どもたちの知識構造において、それらを構成する知識要素の結び付きは微弱であることが多く、精緻化された知識構造として機能することが困難になるのである（Redish, 2003）。

さらに、平成24年度から完全実施されている現行の高等学校学習指導要領「物理基礎」の目標

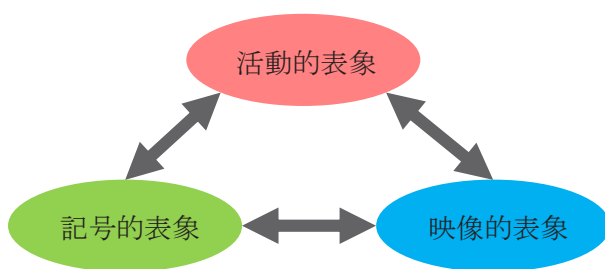


図1 表象ネットワークモデル

の解説には「観察、実験などを通して原理・法則を見いださせるとともに、基本的な概念を理解させること」、「物理の基本となる概念や原理・法則は抽象化された形で与えられているが、重要なことはそれらを単に記憶することではなく、それらを理解し活用する能力を身につけること」と示されている。すなわち、物理の学習では、概念や原理・法則を理解する際には事象を捉える様々な表象を結び付けて捉える必要があると言える。

以上ことから、物理教育では表象の形式を変換していく中で、それらの相互連関を活性化するための教授が必要になると言える。

表象を変換させるにあたり、そこには外的な要因が介在する。例えば、モデル図やグラフ、数式などの外部リソースから情報を読み取り、取り込むという、表象と外部リソースとの相互作用によって、思考は深化していく。それを表象ネットワークモデルにおいて、模式化したものが図2である。このように、表象の変換は、外部リソースと

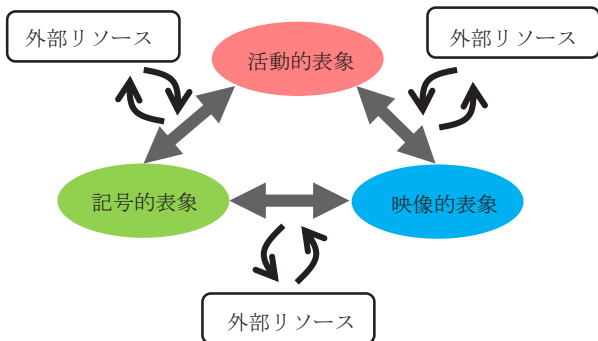


図2 外部リソースと表象変換

の相互作用によって促進されると考えられる。主な外部リソースとして、事象の観察を始め、グラフや図、写真などがあげられ、これらの多くは教科書に記されているものである。すなわち、教科書の構成や特徴を分析していくことで、表象変換に関わる具体的な要素とその影響を考察できると考えられる。本研究では高等学校物理基礎の教科書のうち、等加速度直線運動を扱っている箇所について4社の教科書を分析し、表象の変換過程でどのような影響を及ぼしているか検討した。

## 2. 教科書分析

等加速度直線運動におけるリソースとして、教科書では、ストロボ写真、グラフが取り上げられる。この2つのリソースと表象の変換の関係について考察していく。

### 2.1 活動レベルと映像レベルの変換過程

いずれの教科書も冒頭に物体の斜面運動についてのストロボ写真(図3)を用いている。これに示されている情報を読み取ることにより、時間が経つにつれて一定時間当たりの移動距離が変化している、あるいは速さが大きくなっているという事柄を活動、映像間で捉えることができる(図4)。つまり、観察した事象を映像的に捉え直すことを促す機能をすべての教科書が有していると考えられる。

また、 $v-t$  グラフについて、B社、C社、D社は

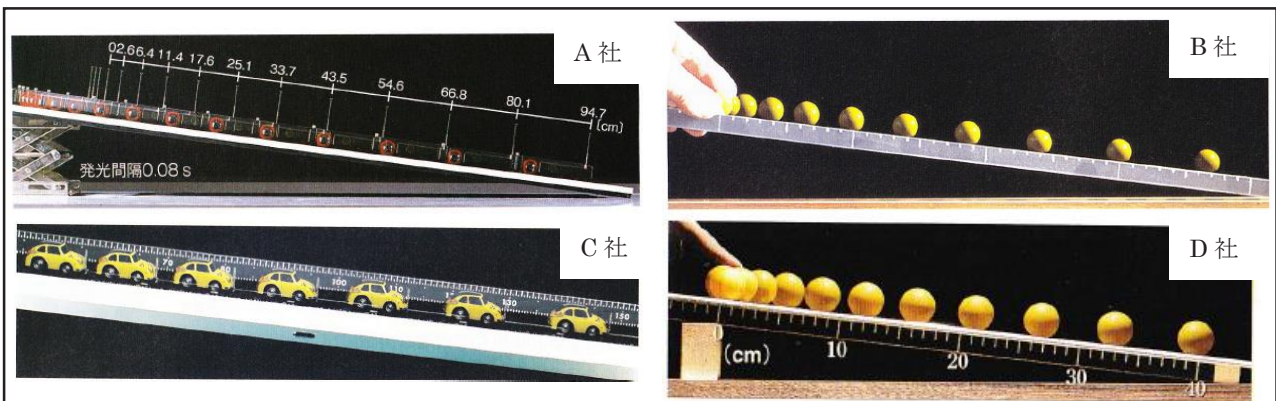


図3 教科書のストロボ写真

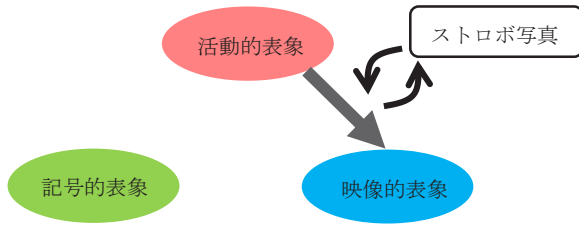


図4 ストロボ写真と活動—映像間の変換

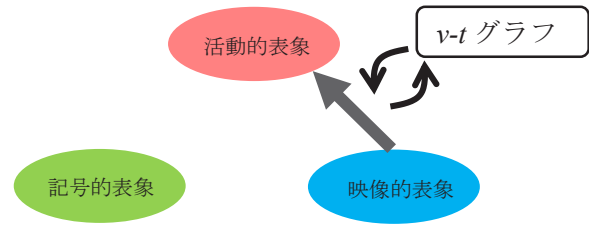


図6 v-t グラフと活動—映像間の変換

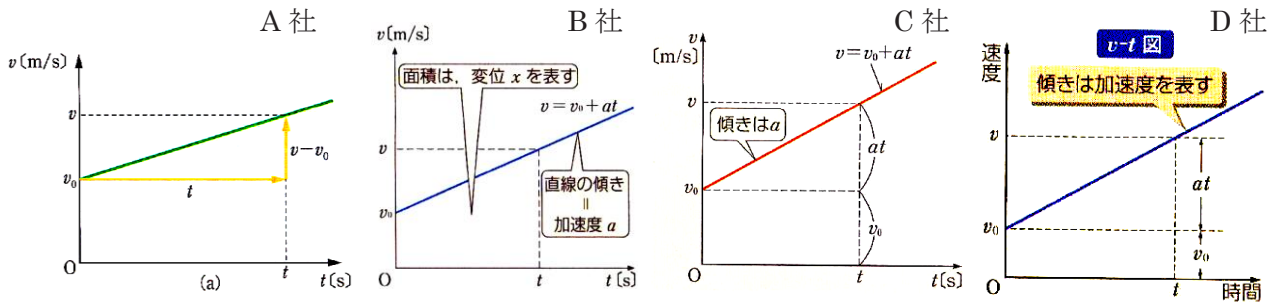


図5 加速度に関する v-t グラフ

$v=v_0+at$  という式を導入した後、グラフの傾きは加速度であるとグラフ中に示されていた (図5)。このことから、グラフ情報が観察事象における加速であることを示しており、活動レベルでグラフを捉える視点が与えられていると考えることができる (図6)。さらに、C社、D社に関しては  $v_0$  と  $at$  の示す意味をグラフ上に記している。そのため、このようなグラフ中の表記は、グラフを用いて速さの変化を捉えるための視点となり、これは次項で述べる、記号レベルから映像レベルへの変換が促されることになると考えられる。

## 2.2 映像レベルと記号レベルの変換過程

図3から、A社は、ストロボ写真に加え、変位の具体的な情報を同時に示していることがわかる。一方で、B社は目盛りのある斜面上を運動している様子が示されている。A社のようにストロボ写真中に数値を具体的に示すことは、事象と数値データを関係付けてより事象を抽象化して捉えることを可能とする。したがって、A社は映像レベルから記号レベルへの変換をより促しやすい示し方をしていると言える。また、C社、D社に関しても変位を容易に捉えやすいように目盛

りに具体的な数値が振られている。こうした提示は、映像レベルから記号レベルへの変換の要素となり得る (図7)。

グラフに関して、図5から、A社はグラフから速さの変化 ( $v-v_0$ ) と時間 ( $t$ ) という情報を抽出させるような表記となっており、その情報から傾きを求めている。そのグラフ表現から加速度を計算で求めており、ここでは映像レベルから記号レベルへの変換が行われることになると考えられる。それに対して、B社、C社、D社は  $v=v_0+at$  という式をもとに、グラフを示したうえで、グラフの形と式を対応付けて加速度 (傾き) を表していることがわかる。ここでは記号レベルから映像

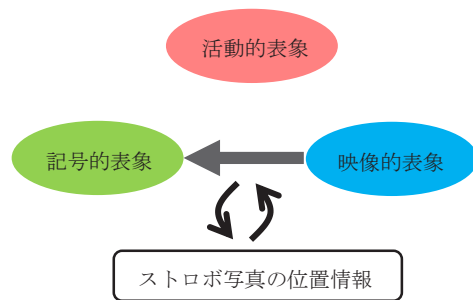


図7 ストロボ写真の位置情報と映像—記号間の変換

レベルへと変換が促されることになると考えられる (図8)。これらのことから、グラフに付随する情報によって、異なる解釈の視点が与えられ、表象変換のプロセスも異なってくるのがわかる。また、グラフで加速度について扱った後、このグラフから変位が面積であることも学習する。このことから、 $v-t$  グラフは多くの要素を含んでおり、読み取りの視点によって取り込む情報に違いが生じると言えよう。そのため、いずれの教科書も面積が変位であることを説明する際は図5と同じグラフを帯状に書き直している (図9)。

なお、A社は  $v=v_0+at$  の導出方法がB社、C社、D社と異なるため、図5にあるようにグラフの示し方が異なっていると考えられる。

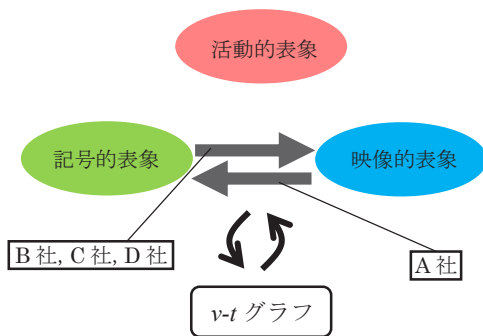


図8  $v-t$  グラフと映像—記号間の変換

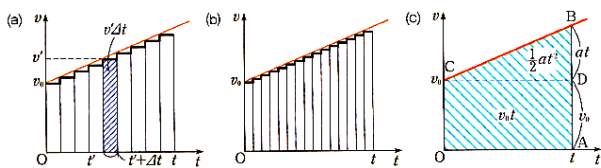


図9 面積について説明する際のグラフ(C社)

### 2.3 等加速度直線運動の概念の導出プロセスと表象変換

各教科書の等加速度直線運動の学習プロセスを表1に示した。4社いずれも、まず、導入において、ストロボ写真 (図3) を用いて台車の運動の様子を捉える (ただし、D社は実験をして事象を捉えてみる活動をストロボ写真の前に示している)。ストロボ写真から時間を追っていくごとに移動距離が大きくなること、すなわち、速さが徐々に大きくなることを視覚的に捉え、前述した図4に示したような表象変換が起こることになる。

このあと、A社は加速度の定義から、 $a=(v-v_0)/t$  として、式の変形から  $v=v_0+at$  という情報を得ている。これは単なる式の操作を意味しており、表象において、映像レベルから記号レベルの移行への影響は小さいと考えられる。つまり、何らかの視点を得られない限り、ストロボ写真と導出された式の関係性を捉えることはできない。ただし、 $v=v_0+at$  とグラフの傾きの関係については触れられており、グラフの介在によって、記号レベルと映像レベルでの表象の関係付けは行うことができる。しかし、ストロボ写真と  $v-t$  グラフについての表象を促すものの、ストロボ写真と  $v-t$  グラフ間では関係付けを行う視点をこれらは有していない (図10)。したがって、この関係付けを促す教授が必要となるであろう。

B社はストロボ写真のあと、速度は  $a$  ずつ大きくなるので  $a \text{ [m/s}^2\text{]} \times 1 \text{ [s]} = a \text{ [m/s]}$  と表記され、既知の知識を用いて  $v=v_0+at$  を導出している。し

表1 等加速度直線運動に関わる外部リソースと系統性

A社	B社	C社	D社
ストロボ写真 ↓ $v-t$ グラフの読み取り ↓ 等加速度直線運動の定義 ↓ $v=v_0+at$ の導出	ストロボ写真 ↓ 等加速度直線運動の定義 ↓ $v=v_0+at$ の導出 ↓ $v-t$ グラフの読み取り	ストロボ写真 ↓ 等加速度直線運動の定義 ↓ $v=v_0+at$ の導出 ↓ $v-t$ グラフの読み取り	実験 ↓ ストロボ写真 ↓ 等加速度直線運動の定義 ↓ $v=v_0+at$ の導出 ↓ $v-t$ グラフの読み取り

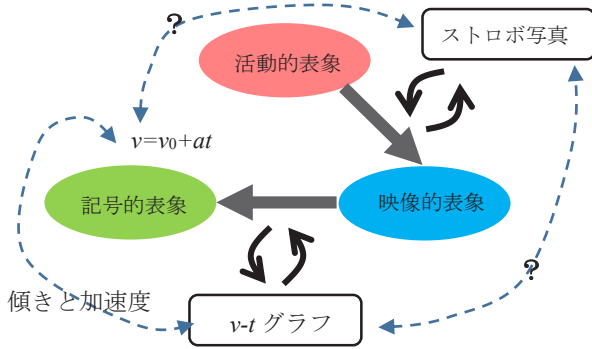


図 10 A社の外部リソースとの相互作用

しかし、この式をグラフで表しているものの、グラフにおける  $v_0$  および  $at$  の示すことについては考察する視点は与えられていない。

C社は  $a=\Delta v/\Delta t$  に  $\Delta t=t-t_0$  と  $\Delta v=v-v_0$  を代入して  $v=v_0+at$  を導いている。この式をグラフ化したものが、図5 (C社) である。グラフ上での  $v_0$  および  $at$  の示すことについて考察する視点が示されることになっている。

D社は、 $at$  は  $t$  [s] 後の増加した速さ、 $v_0$  は時刻0での速さであると実際の事象と対応付けて考えたうえで、式では  $v=v_0+at$  と表せ、さらに  $v_0$  と  $at$  のそれぞれについてグラフに対応させて示している。これは、実際の観察事象、あるいは、ストロボ写真や数値データなどに対応付けるための視点となり、有機的な表象変換を促すことにつながると考えられる。D社の外部リソースを用いた場合の表象プロセスを図11に示した。

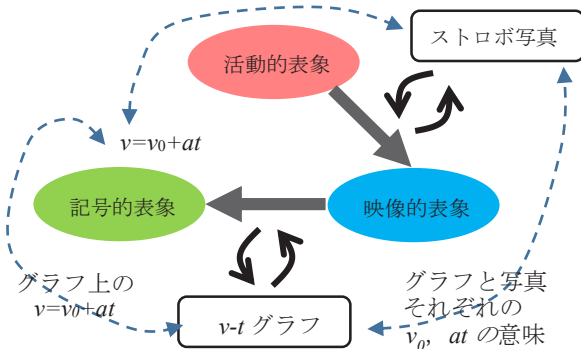


図 11 D社の外部リソースとの相互作用

表象の相互関連には表象変換に関わる要素が有機的に結びつく必要がある。上述したように、教科書には表象の相互関連に関わるリソースは十分にあるものの、教科書のプロセス通りでは一方向的な結び付きしか得られない。そのため、初めに扱う外部リソースと学習後の成果には乖離が生じてしまう恐れがある。例えば、活動レベルと映像レベル間の変換では、一つはストロボ写真が、もう一つはグラフが担うことになる。しかし、これらの外部リソースが結び付かない限り、表象間の相互関連は生じず、両者のリソースは別々のものとして処理されかねない。また、映像レベルと記号レベル間の変換では、同じ  $v-t$  グラフを扱ったとしても、グラフの見方や導出プロセスによって、表象の変換やそれによって得られる知見が異なることもある。さらにA社とD社のプロセスを比較すると、A社は  $v-t$  グラフとストロボ写真を対応付けたりグラフにおける  $v_0$ ,  $at$  の示す内容について考察したりする場面を設けることが望まれる。一方、D社はそれらの視点になり得る表記はされているものの、加速度の定義には触れていないため、その点は教授で扱う必要がある。

以上から、図12に示すように事象に関する様々な外部リソースについて、それらを結び付けることや、あるいは創り上げた知識について外部リソースとの相互作用を活性化するための方策についての検討が必要になってくる。

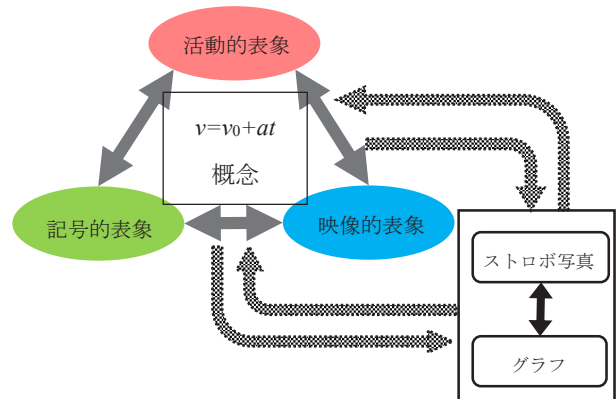


図 12 外部リソースと内的な思考の関係

### 3. 表象変換に関わる教授の視点

表象の変換やそれに伴う有機的な結び付きを促進するためには、教師による介在が不可欠である。ここでは、図 12 でのモデルを参考にして教授について提言をしていく。例えば、まず、記録タイマーを用いた実験を行い、得られたデータを処理するプロセスで、運動の様子を図で描いたり、グラフにしたりする活動を行う。この活動により、活動レベルから映像レベルへの表象の変換が生じやすくなると考えられる (図 13)。その中で、グラフからわかることや運動の様子、さらには数値データを関連付けて考察を行うのである。ここでは、「データのこの部分はグラフで言うところの部分を示している」といった具合に対応付けを行う。これによって、外部リソースが関連付き、表象の相互関連に作用すると考えられる。そして、加速度  $a$  の定義や、ある時間における速さ、速さの増し方などの視点を与えることで、 $v=v_0+at$  という式の導出が可能となる。さらに外部リソースと対応付けることで、表象が記号レベルから活動、

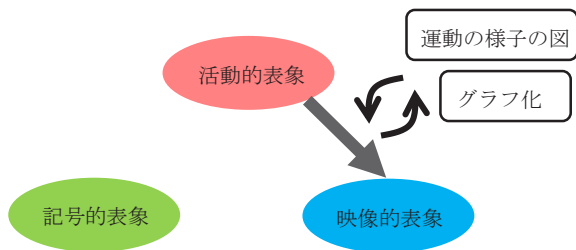


図 13 活動—映像間の表象変換

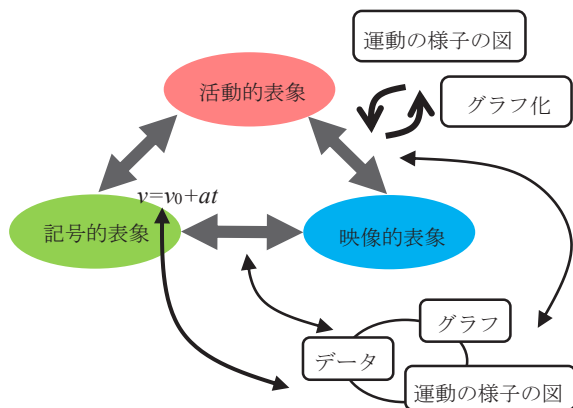


図 14 相互作用による概念構築

映像レベルへと相互関連が起こると考えられる (図 14)。なお、学習活動において他者との交流も行うことで外部リソースの多様性を増強させることは、重要な学習活動となろう。

### 4. おわりに

表象の変換因子は多様である。その因子、すなわち外部リソースを読み取り内的な思考に取り入れる際、読み取りの視点によって取り入れる情報が異なると言える。それにより、表象の変換経路が異なってくることを検討した。変換は一方だけでなく、双方向に促すことが相互関連に寄与する。そのためには、表象と外部リソースとの相互作用の活性化が不可欠である。このような知見から、今後は具体的な教授方略についてより詳細に検討をしていく。

### 引用および参考文献

- 國友正和ほか 10 名：物理基礎，数研出版，2011  
 三浦登ほか 13 名：物理基礎，東京書籍，2011  
 文部科学省：高等学校学習指導要領解説 理科編  
 理数編，実教出版，2009  
 Edward F. Redish：Teaching Physics with the  
 Physics Suite, pp.25-26,pp.46-47, Wiley &  
 Sons, Inc., 2003  
 佐藤文隆ほか 14 名：物理基礎，実教出版，2011  
 高木堅志郎ほか 17 名：物理基礎，啓林館，2011  
 和田一郎・森本信也：子どもの科学概念構築にお  
 ける表象の変換過程の分析とその教授論的展  
 開に関する研究—高等学校 化学「化学反応と  
 熱」の単元を事例に—, 理科教育学研究, Vol.51,  
 No.1, pp.117-127, 2010