

# 大学における技術科機械領域の学習指導法 に関する認知心理学的考察

足立 明久・手島 光司

## A Trial Approach to the Teaching Method of Machinery Learning at University from the Standpoint of Cognitive Psychology

Akihisa ADACHI and Koji TESHIMA

*Received May 9, 1990*

**抄 録：** 本研究は大学における技術科機械領域の学習を通して，教員養成課程の学生が形成すべきであると考えられる知識構造や思考様式と，その学習指導法について，認知心理学的観点から考察したものである。本稿では，機械領域の基本的な問題をいくつか提示し，以下のような課題に関する認知心理学的所見を参考にして，最も有効な学習指導法を考察した。(1)問題のタイプに基づいた知識構造による問題解決。(2)原理や法則を節点とする意味的ネットワーク構造による問題の理解。(3)物理学の法則を適用した問題表現の形成。(4)自然科学の法則の理解を妨害する個人的な知識の克服。

結論として，創意工夫の能力などを重視する技術科教育の目標から考えるならば，大学教育においては，転移可能性が高く創造的思考の可能な知識構造や思考様式を，学生が形成するように援助することが重要であるといえる。

**索引語：** 学習指導法，機械領域の学習，問題解決，問題表現

**Abstract:** The purpose of this study is to propose a trial approach to the teaching method of the machinery learning in Industrial Arts Education at the university level. This study proposed some fundamental problems of the machinery learning and discussed the most effective teaching method with reference to the cognitive psychological studies on the following tasks: 1) Problem solving by cognitive structures based on the typology of problem; 2) Problem understanding by semantic networks based on the nodes of principles and rules; 3) Formation of problem representation using rules in physics; 4) Conquest of a personal knowledge which interferes with the understanding of laws in natural science.

**Key Words:** Teaching method, the machinery learning, problem solving, problem representation

## 目的と問題意識

本研究の目的は大学の技術科機械領域における学習指導法について、認知心理学的観点からその試案を提出することである。

一般に、人間は「自分が学んだように他者に教える」という行動傾向があることを仮定するならば、大学で技術科の学習課題を学んだ学生は、教師になってから「大学で自分が学んだように生徒に教える」傾向があると予測できるであろう。これに関する直接的な実証的研究は見あたらないが、近年の認知心理学的所見は人間の理解や、新たな知識の獲得をも含む広義の学習という心理過程が、過去の学習によって形成された既存の知識体系や行動様式と切り離せないことを示唆している。このことは学生が教師になってからも、過去の学習(すなわち大学での学習を通して形成した知識体系や思考様式)となんらかの関連性を持つような学習指導を行うことを暗示しているのである。

そこで本稿では、教員養成課程における技術科の学習課題を学生がいかに学習したかが、中学校の技術科教育における学習指導に基本的な影響を与えることになるだろうという問題意識から出発して、大学における技術科の学習指導はいかにあるべきかを考察することにした。特に、学生が大学の技術科で修得した知識体系や思考様式のあり方が、教師として自分が生徒の学習指導を行う場合に決定的な基盤となることを考えれば、この問題は避けて通れないであろう。このことに問題の焦点を絞るならば、学生にいかなる知識体系や思考様式を修得させるかが、大学における学習指導の重要なポイントとなる。したがって、本稿では学生が形成すべきであると思われる教科の知識体系や思考様式を中心にして考察を進めることにする。

ところで、中学の技術科教育の理念や目標については多様な見解がみられるが、「工夫し創造する能力」、「実践的な態度の育成」などを重視することについてはあまり異論がないように考えられる。そこで、この観点から大学教育における技術科の学習指導法を考察するならば、どのような知識体系や思考様式を、いかにして学生に修得させるのが望ましいことになるのか。

本稿では、機械学習の領域を取り上げて、以上の問題意識にそった学習指導法の試案を一つの事例として提出することにした。

## 方 法

認知心理学の領域では自然科学の理解や学習についても研究が蓄積されつつある。ここではその基本的構想を村山(1989)<sup>(1)</sup>に依拠し、そのなかで紹介されている下記の四つの課題に関する研究例を取り上げて、それを機械学習に適用した場合にはいかなる学習指導法が妥当なのかを、機械領域の基本的な問題を対象にして考察する。(1)問題のタイプに基づいた知識構造による問題解決。(2)原理や法則を節点とする意味的ネットワーク構造による問題解決。(3)物理学の法則を適用した問題表現の形成。(4)自然科学の法則の理解を妨害する個人的な知識の克服。

なお、ここで上記の認知心理学的所見を適用する理由は次のとおりである。すなわち、認知心理学は本稿で対象とする知識体系や思考様式の問題を直接研究の対象としており、特に技術科教育で重視される「工夫し創造する能力」が、どのような知識体系や思考様式と関連性が深いのかを、上記の認知心理学的所見は示唆しているからである。

## 本研究に適用する認知心理学的所見

### 1 問題のタイプに基づいた知識構造による問題解決——試験問題を解くためのハウツウ的解法知識

de Jong & Ferguson-Hessler (1986)<sup>(2)</sup>は大学生を対象に知識が「問題タイプ中心型」に構造化されているほうが、試験の成績がよいことを示した。彼らが使用した問題タイプという概念は実験の対象となった電磁気学についていえば、一つの主要な法則について一つのタイプの問題を対応させるという次元のものである。そして、それぞれのタイプの問題を解くために必要な知識を次のように分類した。(1)問題タイプの特徴(問題のタイプを識別するための知識)。(2)問題を解くために必要な宣言的知識(定義、原理、法則、公式など)。(3)問題を解くために必要な手続き的知識(法則や公式の適用の仕方、具体的な計算手続きなど)。

このように問題の表面的な特徴によってタイプ別にパターン化された知識は、いわゆる試験問題を解くためのハウツウ的解法知識として、一般的に受験対策では有用視されている。なぜならば、この解法の熟達者は問題のタイプを見分けることさえできれば、あとは一定のパターン化した手続きを自動的に踏むことによって、即座に問題解決ができるからである。しかし、こうした知識構造だけでは未知のタイプや複雑な問題に出会った場合に、まったく対応できなくなることも指摘されてきた<sup>(3)</sup>。ただし、複雑な環境に対応していくためには、比較的良好に起こる現象を予めパターン化しておき、それにすばやく対応していくことも有効であるから、人間はこうした知識構造によってある程度の適応能力を身につけることができると考えられる。したがって、これは初学者にとってはある程度まで必要な知識であるともいえる。また、技術教育の領域でも、いわゆる技能レベルを中心とした問題解決には問題タイプ中心型の知識構造も重要であり、現場の技能者やテクニシャンなどには、これに熟達することが要請されている側面もある。

### 2 原理や法則を節点とする意味的ネットワーク構造による問題の理解——専門家の知識構造

熟達者にも2通りある。それは上述のような「問題タイプ中心型」の知識構造の次元での熟達者と、複雑な問題にも対応していける柔軟な問題解決能力を有した熟達者、である<sup>(4)</sup>。そしてここでいう専門家とは後者をさすことにする。

それでは専門家の知識構造はどのようなものなのか。Simon & Simon (1978)<sup>(5)</sup>とLarkinら(1980)<sup>(6)</sup>の研究によって示されたことは、専門家と初学者との差異が、問題解決の場面に応じて、どのような公式をいかに適用するかという手続き的知識の有無によって説明できるということであった。そして、その手続き的知識の差が問題の理解の仕方にも影響を与えるのである。すなわち、専門家は問題の基礎にある原理や、そこから導き出される手続き的な知識に基づいて、問題の意味を理解し、それを表現できるが、初学者は問題の表面的な記述や用語を手がかりにした問題の理解の仕方しかできない。

こうした問題の理解の仕方に関する両者の知識構造の差異を明確に示したのが、Chiら(1981)<sup>(7)</sup>の研究であった。問題の理解の仕方に影響を与える知識構造は問題スキーマと呼ばれている。それは問題文のなかから問題解決に必要な情報を抜き出すこと、それらを相互に関係づけて問題状況の意味を解釈すること、そしてそれをもとにして問題を表現(表象を形成)すること、という機能を持っている<sup>(8)</sup>。Chiらによって示された、「斜面の問題」に関する初学者と専門家の問題スキーマの最も重要な差異は、斜面に直接関連する諸概念(これは両者に同様に見られる)の上位に、専門

家の場合には次のようなネットワーク構造が付加されていることである。それは斜面の問題の根底にある「力学の原理」と、そこから導かれた「エネルギー保存の法則」、「ニュートンの力の法則」、およびそれらを適用して解答するための手続き的知識や適用条件などが相互に関係づけられたものである。

つまり、初学者の問題スキーマは、問題の表面的な特徴（この場合は「斜面」）によって問題を分類したものであり、既述の「問題タイプ中心型」のスキーマと基本的には同じ次元のものであると考えられる。専門家の問題スキーマは、より根本的な原理、法則、概念などに関する意味的ネットワーク構造が十分に発達しており、専門家はそれと関連づけて問題から引き出した情報の意味を解釈し理解しようとする。したがって、専門家は斜面の問題を見ても、それを斜面の問題として把握するのではなく（現象の表面的な特徴によるタイプわけの次元を越えて）、そのより基礎にあるエネルギー保存の法則や運動方程式の問題として、それを翻訳し理解することができるのである。

ところで、抽象的レベルでの構造や原理が同じであっても、問題の表面的な記述の仕方（表面的な意味や文脈）が違えば、同じ問題とは見なされないという傾向が強い<sup>(9)</sup>。これは知識（スキーマ）の領域特殊性に起因するものであり、その転移の困難性を示唆している。学習指導においては、問題の把握の段階で既有スキーマの転移を促進させる工夫が必要となる。そのためには関連する問題の類似性の指摘や深いレベルでの共通性に関するヒントを与えることが有効である<sup>(10)</sup>。このような類似性や共通性を読み取れるような専門家の知識構造は、領域特殊性の制約はあっても比較的転移可能性は高いといえよう。また、知識の内容的側面は領域特殊であるが、方略的側面（手段・目標分析などの問題解決の一般的知識）は領域一般的であり、転移可能性も高いと考えられている。なお、創造的問題解決などにおける創造的思考はアナロジーによる同型性や共通性の認識に基づいて、新しい知識の構造を創造するというメカニズムによる場合が有効であるといわれている。

### 3 物理学の法則を適用した問題表現の形成

問題を解決するためには、問題スキーマによって問題の意味を解釈し理解するだけでなく、さらにそれを具体的な解答の仕方に結びつけるように、頭のなかに問題を表現していかなければならない。これは問題の解き方に関する知識構造に関連しているであろう。物理学の問題の場合には、その問題を解くために、物理学の法則や公式をどのように適用していけばよいのかを、的確に表現していかなければならない（Larkin, 1983, など参照）<sup>(11)</sup>。

### 4 自然科学の法則の理解を妨害する個人的な知識の克服

日常的な経験などに基づいて形成されてきた個人的な知識、いわゆる素朴概念が、自然科学の概念や法則を理解し学習する場合に、重大な障害になっていることが指摘されている。例えば、Clement (1982)<sup>(12)</sup>の研究は、力学の「慣性の法則」や「力の概念」が初学者には理解しにくいことを、以下のような観点から取り上げて問題視している。慣性の法則は「すべての物体は外力によってその状態を変えられないかぎり、静止または一直線上の等速運動の状態を続ける」ということである。また、「力の概念」は速度や運動の方向を変化させる場合に必要となる概念である。つまり、一直線上を等速で運動し続ける場合には「力は必要としない」のであるが、それらが素朴概念と矛盾する場合には理解されにくいのである。特に、物体が上へ上昇していくような問題では、典型的な誤答があらわれやすい。それは「運動方向には必ず力が働いている」という考え方に起因するものである。その考え方は「等速で動き続けている場合にも、その物体が運動し続けるように働きか

けている力が存在すると思ひ込む」ことにつながっていく。そして、この力は反対方向の力(例えば重力など)に逆らって運動し続けている物体の動きを説明するために、特に必要とされるのである。なぜならば、この力が反対方向の力よりも大きくなければ、物体は動かないと考えられるからである。

こうした考え方は自然法則に関する「慣性の法則」や「力の概念」などの理解を妨害し、自然科学の学習にとって重大な障害となっている。このような誤った考え方は自然科学の法則を学習していない人はもとより、学習した人々のなかにも典型的にあらわれてくる。この典型的な誤りを導き出すような素朴な概念は、多くの人々に共有されており、しかもなかなか変化しにくいものであるとすれば、自然科学の学習指導においては、この素朴概念を克服するような方法を工夫することが重要な課題となってくるのである。

これに関して、Johsua & Dupin (1987)<sup>(13)</sup>は一つのヒントを提供している。それは学習課題に関して学習者がすでに持っている素朴概念と、学習すべき自然科学の正しい概念とが、両立しうようなモデルを工夫することである。なぜならば、教師が正しい概念をその根拠を示しながら教えても、学習者にとってはそれが自分の既有知識と矛盾するかぎり、疑問が生じ、それを納得することはできなくなるからである。従来の認知心理学的所見の多くは「既有知識と切り離して、新しい情報を理解したり、新しい知識を獲得したりできない」ことを示唆しており、それは学習観や学習指導観に対しても影響を与えつつある。

## 機械領域の学習指導に関する考察

ここでは前述の課題ごとに機械領域の基本的な問題を設定して、既述の認知心理学的所見を参考にしながら、最も有効と考えられる学習指導法を考察することにしよう。

### 1 問題タイプに基づいた知識構造による問題解決

これは既述のように、初学者にとってはある程度有効な問題解決法である。また試験問題などの解法知識としても有効であろう。したがって、目的と適用範囲を明確化するならば、このような問題解決能力に必要な知識構造を形成させる指導も重要である。しかし同時に、その転移可能性が低いこともよく認識しておく必要がある。転移可能性や創造的思考能力を高めていくためには、次の課題である「原理や法則を節点とする意味的ネットワーク構造による問題の理解」が可能な方向に、知識構造を再構成させていくような指導が重要となる。ただし、はじめに原理や法則を抽象的な次元で学習しただけでは、それをいきなり現象へ適用することは困難であるから、現象的な問題に即応した問題タイプ中心型の問題解決の練習を行なうとともに、その現象的な問題の背後にある原理や法則などとの相互関連性に注目していくような学習方法が有効であると考えられる。

そのような前提のもとに、先ず「問題タイプ中心型」の問題解決に関する学習指導法を考えてみよう。ここでは中学校技術科の教員採用試験などの問題を参考にして、次のような機械領域の基本的な問題を作成した。そして、それぞれの問題に、de Jong らの研究例を適用して、「問題タイプ中心型」の知識構造を形成させるのに必要な学習指導の要点を表1～4のように整理した。

#### 1 梁の問題

長さ $L$ の両端を単純支持した梁の左端から $a$ の所に大きさ $W$ の垂直荷重が掛かっているとき、任意の位置 $x$ での梁にかかる剪断力と曲げモーメントを求めよ。(図1)

表1 問題タイプ1 (梁の問題)

- ① 問題タイプを見分けるための知識:  
単純支持梁の剪断力と曲げモーメントの分布
- ② 宣言的知識:  
単純支持梁の定義  
剪断力の定義  
曲げモーメントの定義
- ③ 手続き的知識:  
両端の反力  $R_a$ ,  $R_b$  を求める  
任意の位置  $x$  での反力と垂直荷重 (もしあれば) の差を剪断力に等しくおく  
任意の位置での反力のモーメントと垂直荷重 (もしあれば) のモーメントの差を曲げモーメントに等しくおく

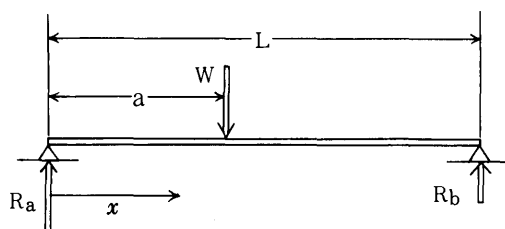


図1 梁の問題

## 2 梯子の問題

長さ  $L$ , 重さ  $Mg$  の梯子が滑らかな垂直壁と角  $\theta$  をなして立てかけてある時, 梯子が滑り落ちない最大角を求めよ。ただし, 梯子と地面の摩擦係数を  $\mu$  とする。(図2)

表2 問題タイプ2 (梯子の問題)

- ① 問題タイプを見分けるための知識  
物体と床との摩擦抵抗
- ② 宣言的知識  
滑らかな壁の定義  
摩擦抵抗の定義
- ③ 手続き的知識  
垂直壁からの抗力を定義する  
地面からの抗力を, 垂直方向と摩擦抗力に分ける  
梯子の重さとこれら抗力の釣合により, 抗力の大きさを求める  
角  $\theta$  と抗力との関係を, モーメントの釣合から求める

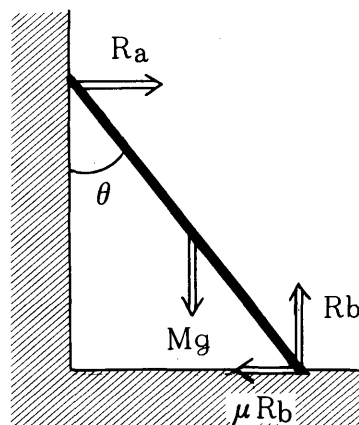


図2 梯子の問題

## 3 重心の問題

一様な密度の図3のような形状の板の重心を求めよ。

表3 問題タイプ3 (重心の問題)

|                                                           |
|-----------------------------------------------------------|
| ① 問題タイプを見分けるための知識                                         |
| 一様物質の重心                                                   |
| ② 宣言的知識                                                   |
| 1つの軸について分割された図形の断面一次モーメントの和は、同じ軸についてのその図形全体の断面一次モーメントに等しい |
| ③ 手続き的知識                                                  |
| $y_0 = (A_1 y_1 + A_2 y_2) / (A_1 + A_2)$                 |

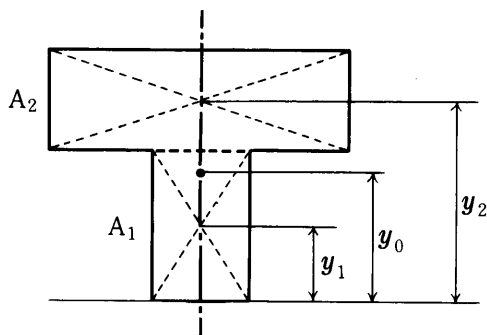


図3 重心の問題

#### 4 歯車の問題

ピッチ円の直径  $d_1$ 、および  $d_2$  の歯車を使って動力を伝達するとき、2つの歯車の回転速度とトルクの関係を示せ。(図4)

表4 問題タイプ4 (歯車の問題)

|                                                |
|------------------------------------------------|
| ① 問題タイプを見分けるための知識                              |
| 2つの歯車の回転速度比とトルク比                               |
| ② 宣言的知識                                        |
| 伝達される回転速度は原車と従者の歯車直径の比に比例し、伝達されるトルクはそれに逆比例する   |
| ③ 手続き的知識                                       |
| $n_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right) \cdot n_1$ |
| $T_2 = T_1 / (d_1/d_2)$                        |

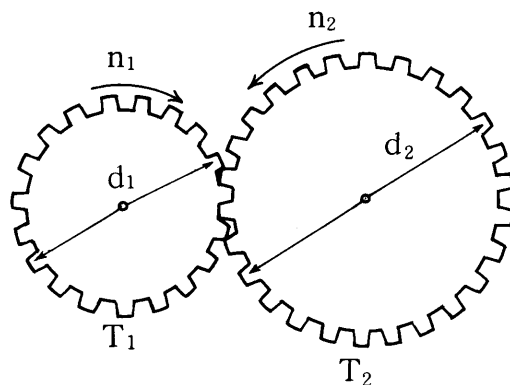


図4 歯車の問題

## 2 原理や法則を節点とする意味的ネットワーク構造による問題の理解

上記1～4の何れの問題にも共通して求められていることは、剛体に働く力とモーメント(回転させる力)の釣合を考えることである。すなわち、静止(速度ゼロ)をも含めて「等速直線運動をしている物体に作用する外力は釣り合っており、静止(回転速度ゼロ)をも含めて等角速度で回転している物体に作用するモーメントは釣り合っている」という力学の基本原則に基づいて考えれば、特に手続き的知識を持たなくてもこれらの問題を解くことができる。

このように考えると、専門家の知識の構造は次の図5のようになっていると思われる。

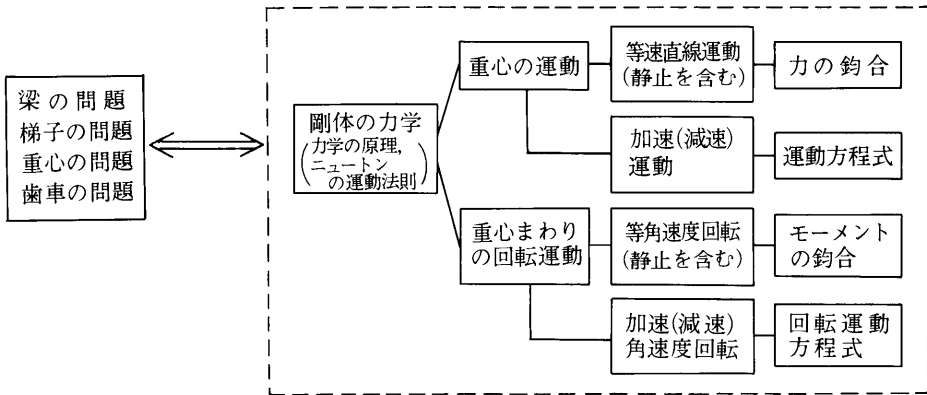


図5 専門家の問題スキーマと知識の構造

専門家の知識の構造は図の点線で囲まれたようになっている。つまり剛体の運動はその重心の運動と重心周りの回転運動に分けることができ、その各々の運動は、物体に働く力およびモーメントによってそれぞれ支配される。本文の例題では、物体はすべて静止あるいは等速回転運動をしているので、それに働く力およびモーメントの釣り合いを考えることによって解くことができる。

上記の例題は問題の表面的な特徴は異なっているが、図6のようにそれらの特徴を共通して説明しうる基本的な原理の上に成り立っている。すなわち、何れの問題でも物体が静止あるいは一定の速度で回転している場合であるので、作用する力の各方向ごとの和、および、考えるべき回転中心におけるモーメントの和がゼロになることから、未知の力および未知のモーメントをそれぞれ求めることができる。転移可能性や創造的思考能力を高めていくには、このような知識体系と思考様式を修得させるように、学習指導の方法を改善していかなければならないであろう。

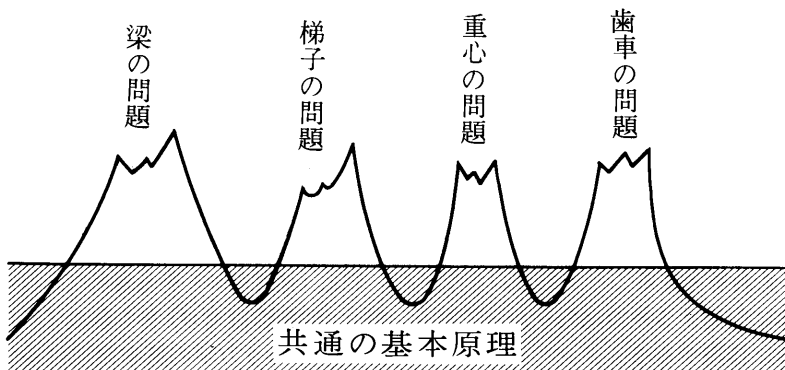


図6 問題タイプの特徴と基本原理の概念図

### 3 物理学の法則を利用した問題表現の形成

次に重要なのは問題の解き方に関する知識構造の形成である。そのためには、問題の意味に沿って、法則や公式をあてはめ、それによって解答を導き出せるように、問題を的確に表現する能力を養成しなければならない。

問題1の例では、梁は静止しているから、梁に掛かる力、すなわち、両端の支持点から梁が受ける抗力 $R_a$ と $R_b$ （正方向を上向きにとる）、および梁にかかる荷重 $W$ が釣り合っており、これらの力の和をゼロと置ける（ $R_a + R_b - W = 0$ ）。梁は回転していないから、任意の点の力のモーメントの和はゼロである。これを左端の点で考えると、 $W \cdot a - R_b \cdot L = 0$ となり、これより $R_b$ が梁の長さ、荷重点の位置および荷重の大きさを使って求められる。 $R_a$ は先の力の釣合から求められる。剪断力というのは、本来連続である物体を、その断面に平行な方向の力で断面を滑らそうとする力である。したがって、梁の問題の場合には、ある位置での仮想的な断面を考える。この断面の左の部分は右側の部分によって下方に働く剪断力を受けている筈である。つまりその力によって左側の梁が、支持点における抗力と荷重（ $x > a$ なら）とに釣り合っているわけである。このようにして、 $x < a$ では剪断力 $S = R_a$ 、 $x > a$ では $S = R_a - W = -R_b$ となる。一方左の部分が回転しないためには、その断面の左方にある力のモーメントに釣り合ったモーメントがその断面に働いていなければならない。時計回りを正とすると、このモーメントは $M$ は $x < a$ では $M = R_a \cdot x$ 、 $x > a$ では $M = R_a \cdot x - W(x - a)$ となる。もちろんこの問題は、梁の撓みを求めるための前段階の問題であり、したがって梁は本来剛体ではなく変形を伴う物体、弾性体、である。しかしながら、この問題で求められている解答の範囲内では、剛体として考えることができる。

その他の問題についても共通していることは、「物体が静止あるいは一定角速度で回転しているので、物体に働く力の各方向の成分および力のモーメントが釣り合っている」ことである。したがって、力とその大きさおよび作用点を正確に決めることができれば問題を解くことができる。

### 4 自然科学の法則の理解を妨害する個人的な知識の克服

物体が静止していても動いていてもそれが等速直線運動をしている場合には、運動力学的には同一であることが、初学者には理解しにくい点であり、ニュートンの運動法則を言葉の上で(宣言的知識として)知っていても、実際の問題に直面したときに正しく適用できない場合が見られる。たとえば、次のようなエレベーターの問題では、速度の時間変化および距離の時間変化はほぼ答え

表5 エレベーターの問題

エレベーターがある一定速度に達するまでは等加速度で上昇し、その後一定速度を保った後、目的とする階の直前で等加速度で減速し、目的とする階に停止する。この時の速度および上昇距離と時間との関係を表すグラフを描け。また、加速、定速、および減速上昇時にエレベーターを引っ張り上げているワイヤーに働く張力 $T$ の大きさとエレベーターの重量 $Mg$ の大きさの間の関係を示せ。(図7)

られるのに対し、エレベーターをひっぱり上げる力とエレベーターの重さの関係では、一定速度で上昇する際に両者が釣り合っているとは考え難いようである。上昇運動をしているかぎり、重力に打ち勝ってエレベーターをさらに引き上げるだけの上向きの力（釣り合うのに必要な力だけでなく、それ以上の力）が必ず存在すると信じているように思える。

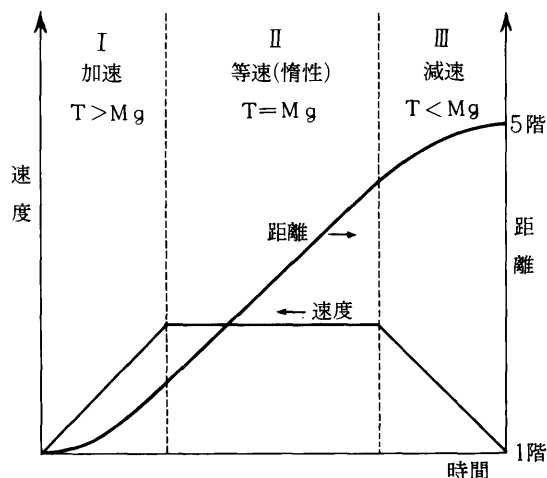


図7 エレベーターの問題

加速している間(I)ではエレベーターをひっぱり上げる力 $T$ はエレベーターの重量より大きく、等速で上昇している間(II)では、重量をひっぱり上げる力が釣り合ってトータル力はゼロであり、惰性で上昇している。減速している間(III)では、ひっぱり上げる力を重量よりも小さくしなければ、エレベーターは減速しない。

図7においては、IIの部分に誤りが多く見られる。素朴概念では等速で上昇し続ける物体自体に、それを動かし続けるための力が存在していると信じたい。そうしなければ物体は上昇しないし、またその力が重力よりも小さければ下へ落ちてしまうと思えるからである。したがって、ひっぱり上げる力と重量が釣り合うだけではエレベーターは静止した状態になるだけなので、さらに大きな力でひっぱり上げねばならないと考えるのである。静止している物体を動かしたり、一直線上の等速運動をしている物体を加速させたり、方向を変えさせたりするのは、外から力を与えねばならないが、一定の力がいったん与えられて、その物体が静止の状態から動き出したり、加速したりしたあとは、その外力はとり除かれているということを、どのようにすれば理解しやすくなるのであろうか。この場合、既述のように、われわれの日常的な知識と両立しうようなモデルを工夫することが重要となろう。ここでは図8のように「ボールをバットで打つ場面」を想定してみる。図8(a)はボールをバットで打つ瞬間、図8(b)は打たれたボールがバットから離れて飛んでいる状態、をそれぞれあらわしている。はじめにボールを動かす場合にはバットで打つという外力が必要であるが(図8(a))、ボールがバットから離れたあとは、バットで打つという外力は「とり除

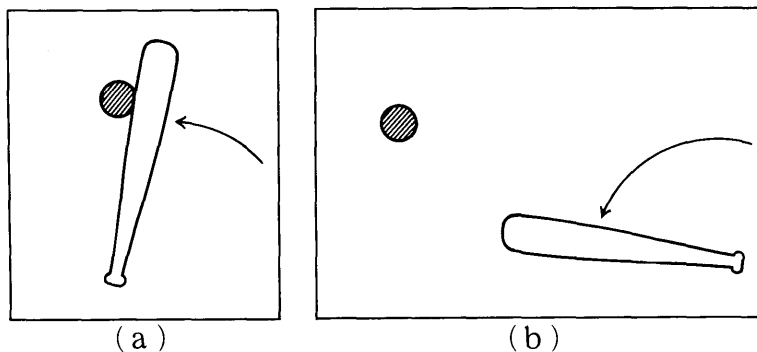


図8 ボールをバットで打つ場面

かれている」(その外力はそのボールの状態を変化させるために使われてしまった)。そしてバットから離れたボールは自分自身を動かす力を内蔵していないから、惰性で動き続けているにすぎないのである(図8(b))。

したがって、ボールが惰性でいつまでも一直線上を飛び続ける状態(いわゆる慣性の法則で記述できる状態)を持続させようとするれば、等速運動を減速させようとする外力(摩擦など)を打ち消しさえすればよい。そのためにはその外力と等しい力をなんらかの方法でボールに与えることが必要になるが、その外力以上の大きな力を与えると、ボールの等速運動の状態が変化させられて、ボールをどんどん加速させてしまうことになる。

「エレベーターの問題」では、このボールを上に向けて、バットで打ち上げた場合に置きかえることができよう。「静止しているエレベーターをひっぱり上げる」(図7のⅠ)ことは、図8(a)の「ボールをバットで打つ場面」に、「はじめに加速されたエレベーターが等速運動を行なう状態」(図7のⅡ)は、図8(b)の「ボールがバットから離れたあとは慣性で飛んでいる場面」にそれぞれ対応する。ボールに等速運動を続けさせるためには、それに抵抗する外力をとり除くだけの力が必要なごとく、エレベーターの等速運動を続けさせるためには、エレベーターの重量に等しい張力を与えるだけでよい。「エレベーターの減速場面」(図7のⅢ)は「ボールが落下する方向に変化する場面」に対応する。ここで重要な概念は「等速状態から減速状態に変化させる場合にも外力がまた必要となる」ということである。したがって、図7のⅢではひっぱり上げる力はエレベーターの重量よりも小さくする必要がある。

## 結論と今後の課題

大学での学習で形成した知識体系や思考様式は、卒業後教員となって、生徒の学習指導を行う場合の基盤となるであろう。特に、創意工夫の能力などを重視する技術科教育の目標から考えるならば、学生は大学においていかなる知識体系や思考様式を修得しておく必要があるのか。

結論としては、転移可能性が高くして創造的思考の可能な知識構造と思考様式を形成させるように、機械領域の学習指導を行う必要があるといえよう。学生がそのような知識構造と思考様式を自分自身で形成するのを援助するためには、現象への対症療法的な対応の仕方を教えるだけでは不十分であるし、また、現象の説明原理だけを抽象的に教えるだけでも不十分である。現象から原理を一般化する方法と、原理を現象へ適用する演繹的方法の両者が必要であり、その「相互の関係づけ」を実際の問題解決について数多く体験させることが重要となる。

今後の課題として次のことが考えられる。(1)本稿の試案を実証的に検証しつつ発展させていく必要がある。(2)機械学習で不可欠な自然法則の理解において、それと関連した素朴概念を克服するためのモデルを工夫することについては、今回は不十分であった。今後効果的な各種のモデルの開発を試みていく必要がある。

## 注

- (1) 村山 功 1989 自然科学の理解。鈴木宏昭・鈴木高士・村山 功・杉本 卓「教科理解の認知心理学」, 新曜社, 参照。
- (2) deJong, T. & Ferguson-Hesseler, M. G. 1986 Cognitive structures of good and poor novice problem

solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78, 279-386.

- (3) 大沢啓子 1982 熟達者—初心者—の差異. 波多野誼余夫(編)「学習と発達」(認知心理学講座4), 東京大学出版会, 参照.
- (4) 上掲(3)参照.
- (5) Simon, D. P. & Simon, H. A. 1978 Individual differences in solving physics problems. In R. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* Lawrence Erlbaum Associates.
- (6) Larkin, J. H., Mc Dermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. 1980 Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.
- (7) Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. 1981 categorization and representation of physics problems by experts and novices *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- (8) 上掲(1)参照.
- (9) Gick, M. L. & Holyoak, K. J. 1980 Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355, など参照.
- (10) 安西祐一郎 1982 問題解決の過程. 波多野誼余夫(編)「学習と発達」(認知心理学講座4), 東京大学出版会, p.84.

なお、転移については従来から「同一要素説」と「形式陶冶説」がある。これらは知識のタイプ(具体的か抽象的かなど)に焦点をあてているが、現在の研究例は知識の組織化の質が、転移のための最も重要や条件であることを示唆している(Gagné, E. D, 1985 *The cognitive psychology of school learning*. Little, Brown. pp. 151-152)。ほかに Royer, J. M. 1979 *Theories of the transfer of learning. Educational Psychologist* 14, 53-69, など参照。

- (11) Larkin, J. H. 1983 The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models*. Lawrence Erlbaum Associates.
- (12) Clement, J. 1982 Students' preconception in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- (13) Johsua, S. & Dupin, J. J. 1987 Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction*, 4, 117-135.