

# 琉球大学学術リポジトリ

## ACTによる問題解決過程のモデル化の研究 —認知科学の数学教育への応用—

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部附属教育実践研究指導センター 公開日: 2008-11-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 狩俣, 智, Karimata, Satoshi メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/8151">http://hdl.handle.net/20.500.12000/8151</a>

# ACTによる問題解決過程のモデル化の研究

— 認知科学の数学教育への応用 —

狩 俣 智\*

(1996年9月30日受理)

Andersonが開発した人間の認知モデルACTの数学教育への適用を試みた。

本論の第1節では、ACTの主要な構成要素、知識のコンパイル理論などを概観した。また、第2節では、中学生から採取した問題解決過程のプロトコルを、スキーマを表す宣言型符号化構造、手続きを表すプロダクション・ルール、などのACTの概念を使用して表現した。

## はじめに

本論の目的は、John R. Andersonによって開発されたACT (Adaptive Control of Thought) と呼ばれる認知のプロセスモデルを利用して中学生の実際の問題解決過程を記述することである。Andersonは、ACTを何度か修正して、ACT\*, ACTP, DCなどとして発表しているが、本論では、これらをACTとして総称することにした。

生徒の問題解決過程を記述する上で、ACTの枠組みは有効である。例えば、ACTを使用すると、学習者が獲得したスキーマを記述することが可能である。また、学習者の問題解決の軌跡——思考過程やそこで使用した知識——を記述することが可能である。本論では、まず、第1節で、認知モデルACTを概観する。第2節では、実際に、問題解決者(中学生)の問題解決過程をACTの枠組みを使用して記述する。

## 1 ACT理論の概観

### 1・1 ACTの基本的枠組みと主要な構成要素

ACTは、Andersonが提唱した認知過程モデルである、ACTには、認知システム内の流れを記述するプロセス・モデルが組み込まれている。その中心的概念はプロダクション・システムである。しかし、ACTは、伝統的な意味でのプロダクション・システムとは異なっている。たとえば、後述するように、宣言型の知識と手続き型の知識がシステム内に存在することや数値強度変数が各プロダクションに付随している点などが、伝統的なプロダクション・システムと大きく違う点である。すなわち、ACTには、さまざまな種類の記憶が含まれている——意味ネットワークの命題が記憶されている宣言的記憶(declarative memory)、システムによって実行される活動が記憶されているプロダクション記憶(production memory)、システムが現在扱える情報から構成されている作業記憶(working memory)がある。ここで、宣言的記憶、プロダクション記憶、作業記憶の区別は、人間の脳が、別々の生理的貯蔵庫に別れている

\*琉球大学教育学部(附属中学校)

という意味ではない。すなわち、ACTは人間の解剖学上の脳のモデルではなく、人間の認知過程における、入力から出力に至るまでの情報の変換に視点をおいた情報处理的枠組みのモデルである。

以下、ACTの主要な構成要素とその相互関係を概述する（図1参照）。

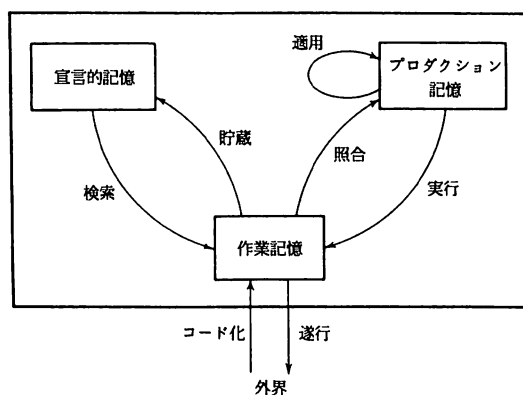
まず、コード化（encoding）は、外界についての情報を作業記憶に入れる過程である。遂行（performance）の過程は作業記憶中にある命令を行動に変換する。このコード化と遂行の過程は、認知システムが外界と相互交渉する過程である。

貯蔵（storage）は、作業記憶中の内容を、宣言的記憶中に恒久的な記録として創造し、宣言的記憶中の知識を強化する。

検索（retrieval）の過程は、宣言的記憶の中から情報を引き出してくる。照合（matching）とは、作業記憶中の情報をプロダクション・ルールの条件部分とつき合わせる過程である。実行（execution）とは、照合されたプロダクション・ルールの実行部分を作業記憶に入れる過程である。照合と実行の過程を、プロダクション適用（production application）という。

適用（application）は、適用することにより新しいプロダクションが学習される過程である。

図1 ACT\*の主要な構成要素と相互関連図



## 1・2 ACTの学習理論

ACT理論の中心問題は、人間の学習と知識

である。ACT理論によると、学習の段階は、知識の状態に応じて宣言的段階（declarative stage）と手続き的段階（procedural stage）の二つに分けられる。そして、その間の移行は、コンパイル（knowledge compile）というメカニズムによって漸進的に行われる。さらに学習が進んで、獲得された知識がより適応的になっていくプロセスは、一般化（generalization）、弁別（discrimination）、強化（strengthening）などの知識の調整（tunings）というメカニズムによって説明される。ここでは知識のコンパイルと調整について概観する。

### 1・2・1 知識のコンパイル

ACTは、宣言型知識を記憶する宣言的記憶と手続き型知識を記憶するプロダクション記憶とを持つ。知識のコンパイルは、これらの二つに関連づけられて定義される。知識のコンパイルのメカニズムは、新しいプロダクション・ルールを生成するためのメカニズムである。

知識のコンパイルには、合成（composition）と手続き化（proceduralization）がある。

合成は、ある問題を解決するとき適用される一連のプロダクション・ルールを一つのプロダクション・ルールに集約し、ひとつのプロダクション・ルールに一連のプロダクション・ルールと同様の効果を持たせる。

手続き化は、後述する解釈過程を通して使用される領域固有の宣言型情報を、一般的な解釈を実行するプロダクション・ルールに埋め込むことで、宣言的記憶からの想起を必要としない特殊化されたプロダクション・ルールをつくる。問題解決の経験を通しての人間の技能の向上は、この知識のコンパイルのメカニズムによって説明される。以下、知識のコンパイルについて説明する。

#### a) スキーマと一般的解釈手続き

Andersonは、初等幾何学の事実についての知識の宣言型符号化構造を表現する方法を考案している。すなわち、Andersonによれば、生

徒が、教科書などから、最初に、公理や定義や定理など——例えば、「定義：2辺の長さが等しい三角形を二等辺三角形という」——を読むとき、これらの知識は、最初に、表1のような知識の構造に符号化される。この知識の表現は、背景情報、条件、結論、コメントなどのスロットに分けて組織化されて1単位になっている。また、この知識の表現は、構成要素と構成要素の間関係によって構成されていて、構成要素は変数になり得る。すなわち、これらの全構成要素（全変数）に、観測値、デフォルト値等が与えられることによって、ACTは、ある三角形が二等辺三角形である等の結論を下すことができる。さらに、この知識の表現は、別の同型の知識の表現の中にその一部分として埋め込むことができる。このような理由から、表1のような知識の表現は、スキーマ（schema）と呼べるであろう。また、このような表現で表された知識は、解釈過程で幾通りにも使えるという意味で宣言型である。ACTにおいては、表1のような宣言型知識は、互いに連結されて巨大なネットワークを形成している。

表1 二等辺三角形の定義スキーマ

背景情報	$S_1$ は $\triangle XYZ$ の一边 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の一边 $S_3$ は $\triangle XYZ$ の一边
条件	$S_1$ と $S_2$ は合同
結論	$\triangle XYZ$ は二等辺三角形
コメント	二等辺三角形の定義

ACTが、実際の問題——例えば、ある三角形ABCが二等辺三角形であるかどうかを判断する——を解決しようとするとき、表1のスキーマは、直ちに使用できない。ACTは、次のP1、

P2、P3、P4のような一般的解釈手続き（interpretive）と呼ばれる知識を、このスキーマに、次のように適用して判断を下すことになる。

まず、ACTは、結論として「二等辺三角形」を言明にもつスキーマを、宣言的記憶から検索して作業記憶中に入れる——二等辺三角形スキーマが活性化する。その後、ACTは、P1のプロダクション・ルールを用いて、スキーマの適用を開始する。

P1：IF            ゴールがある陳述の証明で、  
                      かつ、その結論としてその言明  
                      をもつスキーマがあるならば、  
THEN            そのスキーマの背景情報が照合  
                      することを下位ゴールとして設  
                      定し、その後で、そのスキーマ  
                      の仮定の証明を下位ゴールとし  
                      て設定せよ。

すなわち、P1は、下位ゴールとして、問題とスキーマの背景情報が照合することを設定するであろう。次に、P2は、スキーマの背景情報の「 $S_1$ は $\triangle XYZ$ の一边」と「辺ABは $\triangle ABC$ の一边」の照合を行うであろう。（変数 $S_1$ には辺AB、変数 $\triangle XYZ$ には $\triangle ABC$ が与えられて照合が行われる。）

P2：IF            ゴールが陳述の集合と問題との  
                      照合であるならば、  
THEN            その集合の最初の陳述と問題が  
                      照合することを示せ。

P3は、「 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の一边」と「辺ACは $\triangle ABC$ の一边」、  
「 $S_3$ は $\triangle XYZ$ の一边」と「辺BCは $\triangle ABC$ の一边」の照合を2回の繰り返しにより行う。

P3：IF            ゴールが集合の中の一つの陳述  
                      と問題との照合であり、

かつ、その陳述と問題が照合することが示されたならば、  
THEN その集合の次の陳述と問題が照合することを示せ。

さらに、P4は、「 $S_1 \cong S_2$ 」の照合をゴールとして設定する。

P4 : IF        ゴールが陳述の集合と問題との照合であり、  
                 かつ、最後の陳述と問題との照合が示されたならば、  
THEN        次のゴールに移れ。

ACTは、最後に、問題中の情報「 $AB \cong AC$ 」から、仮定「 $S_1$ と $S_2$ は合同」を照合して、「 $\triangle ABC$ は二等辺三角形である」という結論を下す。

#### b) 手続き化

宣言型の知識とは、「二等辺三角形の底角は等しい」のように、それが何であるかについての知識をいう。手続き型の知識とは、「IF ゴールが、三角形の2つの角が等しいことを証明することであるならば、THEN 2つの辺が合同であることを下位ゴールとして設定せよ」のように、どのようにすればよいかについての知識である。ACT理論では、人間のすべての宣言型知識は巨大なネットワークとして概念化されている。また、手続き型知識は、プロダクション・ルールとして概念化されている。

宣言型知識は、知識をある特定の方法で使用するための言明ではないという意味で一般的である。一方、手続き型の知識は、ある特定の環境のもとで、特定の行為を実行するためにどう行うかについての言明であるという意味で特殊である。

ACT理論では、ACTが、最初に、定義や公理、定理などを読むとき、情報は、まず宣言型に符号化され、次に一般的な解釈手続きが、特定の環境の特徴に従ってこの情報を手続き型に

変換して利用する。そして、宣言型知識が特定の方法で何回も使用されるとACTの中に特定のプロダクション・ルールが生成・記憶される。例えば、表1の二等辺三角形の定義スキーマに、P1、P2、P3、P4が適用される過程を通して、ACTは、次の二等辺三角形をパターン認識するためのプロダクション・ルールP5を獲得するであろう。

P5 : IF        ゴールが、 $\triangle XYZ$ が二等辺三角形であることの判断で、  
                  $S_1$ は $\triangle XYZ$ の一边で、  
                 かつ、 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の一边で、  
                 かつ、 $S_3$ は $\triangle XYZ$ の一边で、  
                 かつ、 $S_1$ と $S_2$ は合同ならば、  
THEN         $\triangle XYZ$ は二等辺三角形であると判断せよ。

このようなプロダクション・ルールが、ACT内に一旦記憶されると、ACTは、解釈過程を経ずに直接そのプロダクション・ルールを使用するようになる。ACTが宣言型の知識を解釈手続きを通して使用する段階を前述した宣言的段階と言い、宣言的記憶からの知識の想起を省略して、特殊化されたプロダクション・ルールを直接使用する段階を手続き的段階と言う。

宣言的段階における問題解決では、ACTは与えられた情報を一般的解釈手続きプロダクション・ルールを使用して逐次、特殊化したプロダクション・ルールに変換していかねばならない。ACTのこのような処理は、時間がかかり、処理が進む間、ゴールや宣言型の知識や一般的解釈手続きプロダクション・ルールが作業記憶中に存在しなければならないために、作業記憶に著しい負荷をかける。しばしば観察されるように、学習者は、学習の初期において、覚えた公式や定理を何度も繰り返し言語化しながら問題解決をする。この現象は、学習者が、覚えた公式や知識を作業記憶中に留めておこうとしていることをしめしているからだと解釈される。

一方、学習が進んで、ACTがP5のような特

殊化したプロダクション・ルールを獲得すると、ACTは一般的解釈手続きプロダクションルールを使用せず、直接に獲得したプロダクション・ルールを使用するようになるため、処理に要する時間も短縮され、作業記憶にかかる負荷も軽減される。ACTにおいては、この種の知識の状態の変化を、手続き型コンパイルと呼んでいる。ACT理論では、生徒の問題解決過程における作業効率の漸進的な向上は、宣言型知識の解釈適用の段階から手続き型知識の直接適用段階への変化によるものとして解釈される。

以下、宣言的記憶に宣言型の知識として記憶されたASA公理が、手続き型の知識に変換されるプロセスを説明する。

表2 ASAスキーマ

---

<b>背景情報</b>	<p><math>S_1</math>は<math>\triangle XYZ</math>の1辺である。  <math>S_2</math>は<math>\triangle XYZ</math>の1辺である。  <math>S_3</math>は<math>\triangle XYZ</math>の1辺である。  <math>A_1</math>は<math>\triangle XYZ</math>の1つの角である。  <math>A_2</math>は<math>\triangle XYZ</math>の1つの角である。  <math>A_1</math>は<math>S_1</math>と<math>S_2</math>に挟まれた角である。  <math>A_2</math>は<math>S_2</math>と<math>S_3</math>に挟まれた角である。  <math>S_4</math>は<math>\triangle UVW</math>の1辺である。  <math>S_5</math>は<math>\triangle UVW</math>の1辺である。  <math>S_6</math>は<math>\triangle UVW</math>の1辺である。  <math>A_3</math>は<math>\triangle UVW</math>の1つの角である。  <math>A_4</math>は<math>\triangle UVW</math>の1つの角である。  <math>A_3</math>は<math>S_4</math>と<math>S_5</math>に挟まれた角である。  <math>A_4</math>は<math>S_5</math>と<math>S_6</math>に挟まれた角である。</p>
<b>仮定</b>	<p><math>S_2</math>と<math>S_5</math>は合同  <math>A_1</math>と<math>A_3</math>は合同  <math>A_2</math>と<math>A_4</math>は合同</p>
<b>結論</b>	<p><math>\triangle XYZ</math>と<math>\triangle UVW</math>は合同</p>
<b>コメント</b>	<p>これは、二角夾辺相等公理である</p>

---

宣言的記憶から呼び出された表2のASA公理スキーマに、P1の一般的解釈手続きが適用されると、次のP6のプロダクション・ルールが形成される。

P6 : IF            ゴールが $\triangle XYZ \cong \triangle UVW$ の証明することであり、  
                       かつ、 $\triangle XYZ \cong \triangle UVW$ を結論としてもつスキーマがあるならば、  
                       THEN このスキーマの背景情報が照合することを下位ゴールとして設定し、その後で、そのスキーマの仮定の証明を下位ゴールとして設定せよ。

次に、P2の一般的解釈手続きが適用されて、ACTは、次のP7のプロダクション・ルールを獲得する。

P7 : IF            ゴールが、このスキーマの背景情報の照合であるならば、  
                       THEN  $S_1$ は $\triangle XYZ$ の1辺であることを示せ。

さらに、P3の一般的解釈手続きが適用されて、ACTは、次のP8を獲得する。

P8 : IF            ゴールが、このスキーマの背景情報の照合であり、  
                       かつ、 $S_1$ は $\triangle XYZ$ の1辺であることが示されたならば、  
                       THEN  $S_2$ は $\triangle XYZ$ の1辺であることを示せ。

ACTは再度、P3の適用により、P9を獲得する。

P9 : IF            ゴールが、このスキーマの背景情報の照合であり、  
                       かつ、 $S_1$ は $\triangle XYZ$ の1辺であ

り、  
 かつ、 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の1辺であることが示されたならば、  
 THEN  $S_3$ は $\triangle XYZ$ の1辺であることを示せ。

同様なP3の解釈手続きの繰り返し適用とP4により、ACTは、P10を獲得する。

P10 : IF      ゴールがある $\triangle XYZ \cong \triangle UVW$ を証明することで、  
 かつ、 $S_1$ は $\triangle XYZ$ の1辺で、  
 かつ、 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の1辺で、  
 かつ、 $S_3$ は $\triangle XYZ$ の1辺で、  
 かつ、 $A_1$ は $\triangle XYZ$ の1角で、  
 かつ、 $A_2$ は $\triangle XYZ$ の1角で、  
 かつ、 $A_1$ は $S_1$ と $S_2$ に挟まれた角で、  
 かつ、 $A_2$ は $S_2$ と $S_3$ に挟まれた角で、  
 かつ、 $S_4$ は $\triangle UVW$ の1辺で、  
 かつ、 $S_5$ は $\triangle UVW$ の1辺で、  
 かつ、 $S_6$ は $\triangle UVW$ の1辺で、  
 かつ、 $A_3$ は $\triangle UVW$ の1角で、  
 かつ、 $A_4$ は $\triangle UVW$ の1角で、  
 かつ、 $A_3$ は $S_4$ と $S_5$ に挟まれた角で、  
 かつ、 $A_4$ は $S_5$ と $S_6$ に挟まれた角ならば、  
 THEN 次のことを照合する下位ゴールを設定せよ。  
 $S_2$ と $S_5$ は合同である。  
 $A_1$ と $A_3$ は合同である。  
 $A_2$ と $A_4$ は合同である。

ACTが、P10のようなプロダクション・ルールを、一旦プロダクション記憶に記憶してしまうと、ACTは、宣言的記憶からのSASスキーマの想起と一般的解釈手続きプロダクション・ルールによる解釈過程を経ずに、P10を直接使用して、SAS公理を利用できるようになる。初等幾

何の熟練者（例えば、中学校の数学教師など）は、P10のような特殊化したプロダクション・ルールで表現される手続き型の知識を有している——筆者の経験によると、SAS公理の使用が自動化する（SAS公理を想起しなくても、2つの三角形の合同条件を照合できる）までは、かなりの量の経験を要するように思える——この知識を用いて初等幾何の証明を行っている。

### c) 手続きの合成

手続きの合成とは、一つ一つ独立していたプロダクション・ルールが、何度も繰り返し使用されることにより、しだいに結びついて一つのまとまったプロダクションに変化するメカニズムをいう。すなわち、一連のプロダクション・ルールが一定の順序に何度も繰り返し適用されることにより、その一連の効果を達成する新しいプロダクション・ルールが形成される過程が知識の合成である。

例えば、次のP11とP12の2つのプロダクション・ルールが合成されてP13が形成される。

P11 : IF       $\triangle XYZ$ で $XY \cong XZ$ ならば、  
 THEN       $\triangle XYZ$ は二等辺三角形であると判断せよ。

P12 : IF       $\triangle XYZ$ が二等辺三角形ならば、  
 THEN       $\triangle XYZ$ の2つの底角は等しいと判断せよ。

P13 : IF       $\triangle XYZ$ で $XY \cong XZ$ ならば、  
 THEN       $\triangle XYZ$ は二等辺三角形で、  
 $\triangle XYZ$ の2つの底角は等しいと判断せよ。

連続して実行する二つのプロダクション・ルールP (a) , P (b) があるとこれらの条件部を、それぞれ、 $[C_1, C_2, C_3]$  ,  $[C_4, C_5]$  とし、実行部を、それぞれ、 $[A_1]$  ,  $[A_2]$  とする。  
 $A_1$ と $C_4$ が照合するとき、P (a) とP (b) の合成によるプロダクション・ルールP (c) の

条件部は  $[C_1, C_2, C_3, C_5]$  で、実行部は、 $[A_1, A_2]$  である。

表2 プロダクションの合成

P(a):  $C_1, C_2, C_3 \rightarrow A_1$

P(b):  $C_4, C_5 \rightarrow A_2$

---

P(c):  $C_1, C_2, C_3, C_5 \rightarrow A_2, A_1$

さて、一連の一般的解釈手続き P1, P2, P3, P4 が、一定の順に働き合成された場合、次の P14 のプロダクション・ルールが形成される。

P14 : IF      ゴールがある陳述の証明で、  
                  かつ、この陳述を結論として持つスキーマがあり、  
                  かつ、このスキーマが背景情報の最初の要素としてある陳述をもち、  
                  かつ、この陳述と問題が照合することが示されたならば、  
 THEN        この背景情報が照合することを下位ゴールとして設定し、  
                  そして、この下位ゴールのもとで、この背景情報の次の陳述と問題が照合することを示し、  
                  その後、そのスキーマの仮定の証明を行え。

合成過程は、以前に合成されたプロダクション・ルールにも適用できる。もし、P14 が 2 回の P3 の繰り返し適用を伴って合成されると、次の P15 のプロダクション・ルールが形成されるであろう。

P15 : IF      ゴールがある陳述の証明で、  
                  かつ、結論としてその陳述をもつスキーマがあり、  
                  かつ、この問題が、この陳述に

照合し、  
 かつ、このスキーマが背景情報の次の要素として別の陳述を持ち、  
 かつ、この問題は、この陳述に照合し、  
 かつ、このスキーマが背景情報の次の要素として別の陳述を持ち、  
 かつ、この問題は、この陳述に照合するならば、  
 THEN        この背景情報の照合を下位ゴールとして設定し、  
                  このゴールの中で、この背景情報の次の陳述の照合を下位ゴールとし、その後、そのスキーマの仮定の証明を行え。

### 1・2・2 知識の調整

知識のコンパイルを経て、さらに学習が進みより適応的になることが考えられる。Anderson によれば、これは知識の調整によって生じる。知識の調整には、一般化と弁別と強化がある。以下、一般化、弁別、強化の順に解説する。

#### a) 一般化

一般化とは、新しいプロダクション・ルールを獲得するための ACT のメカニズムである。Anderson は一般化をプロダクションの変更と考えている。一般化はプロダクション・ルールが作業記憶内に存在するときに行われる。一般化には、プロダクション・ルールの条件部と実行部に共通の定数が存在するとき定数が変数に置き換わる場合と、実行部が共通の 2 つのプロダクションから 2 つのプロダクションに共通する条件のみを条件部にした新しいプロダクションが形成される場合とがある。

まず最初は、定数が変数に置き換えられる一般化の例を簡単な問題を通して説明する。表 3 は、正 5 角形の定義のスキーマである。P16 は、この知識をコンパイルして得られる正 5 角形を



パターン認識するためのプロダクション・ルールである。ACTにおける一般化のメカニズムは、P16の条件部と実行部の定数「5」を変数「n」に置き換えることでより一般化したプロダクション・ルールP17を獲得する。P17の知識を獲得することにより、正8角形や、正21角形をも認識することができる。表4は、一般化によって得られた正n角形のスキーマである。このように、P16からP17が獲得される過程において、同時に、正n角形スキーマも獲得される。獲得されたP17は、ACTのプロダクション記憶内に記憶され、また、正n角形スキーマは、宣言的記憶内に保存されることになる。ただし、一般化が進んでも、P16や正5角形スキーマは、ACTのプロダクション記憶内や宣言的記憶内から消去されることはない。実際、競合する別の情報や矛盾する情報が一人の人間の記憶のなかに共存することがあるのは、このことにより説明できる。

表3 正5角形の定義スキーマ

背景情報	
	Mは平面上の図形
	Mは閉じている
	Mは外に凸である
	S <sub>1</sub> はMの一辺
	S <sub>2</sub> はMの一辺
	S <sub>3</sub> はMの一辺
	S <sub>4</sub> はMの一辺
	S <sub>5</sub> はMの一辺
条 件	
	S <sub>1</sub> ≅ S <sub>2</sub> ≅ S <sub>3</sub> ≅ S <sub>4</sub> ≅ S <sub>5</sub>
呼 び 名	
	Mは正5角形
コメント	
	これは、正5角形の定義である

P16 : IF 平面上の閉じた図形で、  
かつ、外に凸であり、

かつ、5個の辺を持ち、  
かつ、5個の辺の長さがすべて  
等しいならば、

THEN この図形は、正5角形と判断せよ。

P17 : IF 平面上の閉じた図形で、  
かつ、外に凸であり、  
かつ、n個の辺を持ち、  
かつ、n個の辺の長さがすべて  
等しいならば、

THEN この図形は、n角形と判断せよ。

表4 正n角形の定義スキーマ

背景情報	
	Mは平面上の図形
	Mは閉じている
	Mは外に凸である
	S <sub>1</sub> はMの一辺
	S <sub>2</sub> はMの一辺
	⋮
	S <sub>n</sub> はMの一辺
条 件	
	S <sub>1</sub> ≅ S <sub>2</sub> ≅ S <sub>3</sub> ≅ S <sub>4</sub> ≅ S <sub>5</sub> ≅ … ≅ S <sub>n</sub>
呼 び 名	
	Mは正n角形
コメント	
	これは、正n角形の定義である

もう一つの一般化を、次の仮説的な例を用いて、学習者が、どのようにして知識を獲得していくかについて述べる。

第1段階： 正5角形を提示して、「この図形は、正多角形です。この図形の特徴は、図形は外に凸で（外に凸の定義をする）、5つの辺があって辺の長さがすべて等しくなっていることで

す。」と説明した。

大きさや色のちがう正五角形を提示したら、それらを正多角形と判断することができるようになった。

第2段階： 正八角形を提示して、「この図形は、正多角形です。この図形の特徴は、図形は外に凸で、8つの辺があって辺の長さがすべて等しくなっていることです。」と説明した。

大きさや色のちがう正八角形を提示したら、それらを正多角形と判断することができるようになった。

第3段階： 正十角形を提示して、「これも正多角形ですか。」と質問したとき、生徒は、「はい、そうです。」と答えた。実際、生徒は正多角形の定義を質問されたとき、正しい定義を述べることができた。

上記の学習者の知識獲得の過程を、ACT理論で説明すると次のようになる。学習者は1段階で、P18の知識を獲得したであろう。

P18 : IF 平面上の閉じた図形で、  
かつ、外に凸であり、  
かつ、辺の数は5本で、  
かつ、辺の長さはすべて等しい  
ならば、  
THEN この図形は、正多角形と判断せよ。

2段階で、学習者は、P19の知識を獲得したであろう。

P19 : IF 平面上の閉じた図形で、  
かつ、外に凸であり、  
かつ、辺の数は8本で、  
かつ、辺の長さがすべて等しい  
ならば、

THEN この図形は、正多角形と判断せよ。

学習者は、実行部の等しい2つのプロダクション・ルールP18, P19を獲得した。この2つのプロダクションルールが、同時にACTシステムの作業記憶内に置かれることで、一般化のメカニズムが自動的に働き、条件部の共通の条件のみを条件部にした新しいプロダクション・ルールP20が獲得された。

P20 : IF 平面上の閉じた図形で、  
かつ、外に凸であり、  
かつ、辺の長さがすべて等しい  
ならば、  
THEN この図形は、正多角形と判断せよ。

すなわち、学習者は、多角形の特別な場合から、正多角形の定義の知識を獲得した。

一般化は条件部の条件の削除が行われる過程でもある。P20は、P18, P19よりも条件部の条件が減少している。すなわち、P20は、P18やP19よりも、広い場面に適用できるプロダクション・ルールである。表5は、学習者が、獲得した正多角形スキーマである。

実際の、正多角形の定義の指導においては、P20のような、言わば出来上がった知識を直接に教授するのが通常の方法であり、上記のようなまわりくどい方法はとらない。しかし、上記のような方法は、学習者の一般化する能力を促進する方法かもしれない。

表5 正多角形スキーマ

#### 背景情報

Mは平面上の図形  
Mは閉じた図形  
Mは外に凸である

#### 条件

Mのすべての辺の長さは等しい

## 呼び名

Mは正多角形

## コメント

これは、正多角形の定義である。

### b) 弁別

一般化によって、ある手続きを適用できる場面は広がる (increase)。弁別は、ある手続きを適用できる場面を限定する (restrict)。すなわち、あまりに一般的で、このため誤った状況で、あるプロダクション・ルールを適用して失敗したとき、適用領域の制限をする。ACTは、プロダクション・ルールの適用が成功した場合と失敗した場合との差を比較することで、そのプロダクション・ルールの条件部に、新たに条件を付加し、新しいプロダクション・ルールを獲得する。

次に、筆者が、二次方程式の解法を指導した経験から得た事例を通して、ACTの弁別メカニズムを解説する。

第1段階： 根号の意味と根号を含む式の計算法を教授した。特に、根号の中の値が負の数になり得ないことを教授した。

第2段階：  $ax^2 + bx + c = 0$  型の二次方程式の定義をした。

第3段階： 解の公式を導いた後に、解の公式の適用の仕方を教授し、適用の反復練習をさせた。

第4段階： 実数解を持たない二次方程式をあたえ、解の公式が適用できない (解を持たない) 二次方程式があることを教授した。

第5段階： 実数解を持つ二次方程式と、実数解を持たない二次方程式を、それぞれ、数題あたえ、この中から、実数解を持たない二次方程式を選び出させる作業をさせた。

学習者は、第3段階で、 $ax^2 + bx + c = 0$  型の二次方程式に解の公式を適用して、この二次方程式の解を求めることができるようになった。

すなわち、学習者は、第3段階で、次のP21の知識を獲得している。

P21 : IF ゴールが、 $ax^2 + bx + c = 0$  型の二次方程式の解を求めることならば、

THEN この二次方程式の解は、

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

として求めよ。

第4段階で、学習者は、実数解を持たない二次方程式に、解の公式を適用して根号の中が負の数になる結論を得た。学習者は、なぜそのような結論が得られるのかを質問してきた。筆者は、現実には、解を持たない二次方程式が多くあることを例をあげて説明し、解を持たない二次方程式に、解の公式を適用したため不合理な結論がでてきたと説明した。

第5段階は、解のない二次方程式と解のある二次方程式を分類する作業である。学習者は、最初の数題については、与えられた二次方程式に、解の公式の適用を次々に行い、解を持たない二次方程式を選び出した。しかし、終盤では、 $b^2 - 4ac$ の値のみを計算してその結果から二次方程式の解の有無を確かめるようになった。

この段階で、学習者は、P22の知識を獲得したと考えることができる。実際、学習者に二次方程式の解法の手順を述べるように質問をしたところ、「解の公式を適用する。もし $b^2 - 4ac$ を計算した値が、負の数になれば、解はないと答えればよい。」と述べる事ができた。

P22 : IF ゴールが、 $ax^2 + bx + c = 0$  型の二次方程式の解を求めることであり、かつ、 $b^2 - 4ac \geq 0$  が成り立つならば、

THEN この二次方程式の解は、

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

として求めよ。

すなわち、ACTは、P21をすべての二次方程式に適用しようとして失敗し、条件部に「 $b^2 - 4ac \geq 0$  が成り立つ」を付加した新しい知識P22を獲得した。この事例での弁別は、一般化における事例ほど自動的に進行していない。すなわち、弁別は、それが形成される過程で、かなり意識的に進行する特徴を持つかもしれない。

### c) 強化

強化とは、ACTシステム内で、よく適用されるプロダクション・ルールが、照合の際により優先度を増すようになるために、プロダクションルールの強度 (strength) を上げるというものである。ACTでは、プロダクション・ルールに強度変数が付随している。新しいプロダクション・ルールは、強度1でACTシステムに入る。そして、そのプロダクション・ルールが適用されるごとに、その強度は、自動的に強められる。そして、強度の大きいプロダクションルールほど優先的に使用される。また、あまり適用されないプロダクション・ルールの強度は、しだいに低下していく。

問題を決まり切ったやりかたで何度も解いていると、より簡単な方法で解決可能な別の問題に対してもそのやりかたを使って解こうとする機能的固定 (Luchins, 1942) は、この強化のメカニズムで説明できる。

### 1・3 本節の要約

ACTは、Andersonが開発した人間の情報処理過程のモデルである。Andersonは、ACTによって人間の認知過程を統一的にモデル化しようと考えた。ACTは伝統的な意味でのプロダクションシステムとは異なっている。例えば、ACTは、宣言型の長期記憶と手続き型のプロダクション記憶の二つを持っていて、宣言型知

識と手続き型知識は、知識の状態の変化として統一的に扱われている。すなわち、ACTにおいては、知識は、ネットワーク状の形をした宣言型知識とプロダクション・ルールの形をした手続き型知識の両方で表現される。学習の初期の段階においては、ACTは、宣言型知識を、一般的解釈手続きプロダクション・ルールで解釈して使用する。このような知識使用の段階を宣言的段階という。しかし、宣言型知識が使用される過程を通して、結果的に、一定の手続きを表現するプロダクション・ルールが生成される。このプロダクション・ルールには、使用した宣言型知識に含まれていた情報が埋め込まれている。宣言型知識を特定の方法で何度も使用すると、その時に生成されたプロダクション・ルールはプロダクション記憶に貯蔵される。すなわち、特殊化したプロダクション・ルールがACT内に保存されることになる。ACTが、このような特殊化したプロダクション・ルールを獲得すると、ACTは、宣言型知識の情報を、解釈過程を経ずに、特殊化したプロダクション・ルールを直接使用して情報処理を行うことができるようになる。このような知識使用の段階を手続き的段階という。特殊化した複数のプロダクション・ルールは、合成によって、同様の効果を持つ一つのプロダクション・ルールにまとめられてマクロ化することにより情報処理の効率を増していくが、作業記憶の容量との関係から無制限にはマクロ化しない。

学習がさらに進むと、さらに、合成、一般化、弁別などの知識の調整が働き、新しいプロダクション・ルールが生成される。ACTは、人間の「技能の向上」を、宣言的段階から手続き型段階への移行や、合成、一般化、弁別等の知識の調整の進行で説明する。

新しいプロダクション・ルールが獲得されると、学習者の中に、単に、プロダクション・ルールの個数が増えるだけではなく、同時に宣言的知識の構造にも影響が及び、ネットワーク構造に、新しい知識が追加されてネットワーク構造はより豊かにより構造化されたものになってい

く。

ACTは、新しいプロダクション・ルールの追加や新しい宣言型知識の追加によって学習をするが、古いプロダクション・ルールや古い宣言型知識を完全に消去することはしない。そうでないと、同じ人間の中に、互いに矛盾する情報や、競合する情報が存在することを説明できない。

## 2 ACTの数学教育への適用

本節では、ACTの宣言型符号化構造、プロダクション・ルール、証明木などを使用して中学生の問題解決過程を詳述する。宣言型符号化構造によって生徒が獲得したスキーマを視覚化できる。また、証明木は、生徒の推論のながれ——前向き推論か後ろ向き推論かなど——を目に見える形式にする。プロダクションは推論を直接的に推進する知識を示す。

### 2・1 プロトコルの採取・処理

生徒の問題解決過程をモデル化するためには、その生徒の実際の問題解決から得たプロトコルが必要である。本論では、中学生に、問題1を解かせてプロトコルを採取した。

まず、Sのプロトコルは一字一句そのまま筆写(transcript)される。そして、筆写されたプロトコルは分節化され、要約された後、コード化される。分節化というのはコード化できるように概ね単独なユニットに分けることであり、その手がかりは、文の終わり、フレーズ(句)、ポーズ(休止)あるいは、ひとつのアイディアの終了である。

要約とは、分節化されたプロトコルを問題局面ごとに大まかに把握するために整理するために行う。

コード化というのは、分節の内容を、別の表現形式に表現しなおすことである。

ACT理論で仮定されている知識の形式は、宣言型知識と手続き型知識であり、人間の知識は手続き型に変換されてはじめて行動に反映される。

宣言型知識は、宣言型符号化表現(declarative-coding-notation)で表現可能であり、また、手続き型知識は、プロダクション・ルール(production-rule)で表現可能である。さらに、問題解決者のプランニングと推論の軌跡は、証明木(proof-tree-notation)で表現可能である。

すなわち、私たちは、ACTに照らすことによって、Sの問題解決を、Sがたどる目標と下位目標の系列、Sが使用した重要なスキーマとプロダクションの集合を使用して理解することができる。

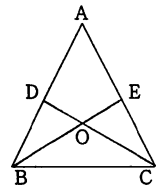
問題1  $\triangle ABC$ で $AB=AC$ ,

線分BEは $\angle B$ の2等分線

線分CDは $\angle C$ の2等分線

とするとき、

$BE=CD$ を証明しなさい。



※Oは実際には記されていない。

表1 Sの問題解決のプロトコル

1.  $\triangle ABC$ で… $AB=AC$
2. 二等辺三角形
3. 線分BEは $\angle B$ の2等分線
4. 線分CDは $\angle C$ の2等分線
5. とするとき
6.  $BE=CD$ を証明しなさい
8.  $BE=CD$ …
9. 二等辺三角形の底角は等しいので  
 $\angle B$ と $\angle C$ は等しい
10. BEは $\angle B$ を二等分するから  
 $\angle DBE = \angle CBE$
12. CDは $\angle C$ を二等分線するから  
 $\angle ECD = \angle BCD$
13.  $BE=CD$ を証明する…
14. …(5秒間)  
(「考えていることを声に出すように」  
と言って被験者の発語をうながす)
15. …(5秒間)  
(「考えていることを声に出すように」

と言って被験者の発語をうながす)

16. BEとCDの交点をOとおくと…
17. BOとOEを合わせるとBEで…
18. COとODを合わせるとCD…
19.  $\triangle OBC$ は二等辺三角形だからOBとOCは等しい。
21. あとはODとOEが等しければよい。
22. えーと… (5秒間)  
(「考えていることを声に出すように」  
と言って被験者の発語をうながす)
24.  $OD=OE$ 示すには $\triangle DOB \equiv \triangle EOC$ を示せばよい。
25. 合同条件は1辺と両端の角か2辺とその間の角だろう。
26. えーと、 $\triangle OBC$ は二等辺三角形だから $BO=CO$
27. また、対頂角は等しいから $\angle EOB = \angle DOC$
28.  $\angle EBO = \angle DCO$
29. 一辺とその両端の角が等しいから $\triangle DOB \equiv \triangle EOC$

表2 プロトコルの要約

- 
- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 第1段階：問題スキーマの獲得 (分節番号1-13) | $BE=CD$ (goal)<br>を証明したい。  |
| 第2段階：後ろ向き推論 (分節番号16-21)   | $BE=BO+OE$<br>$CD=CO+OD$ とすると、<br>$OB=OC$ だから<br>$OE=OC$ (subgoal 1)<br>示せばよい。               |
| 第3段階：後ろ向き推論 (分節番号24)      | $OE=OC$ (subgoal 1)<br>を示すには、<br>$\triangle DOB \equiv \triangle EOC$ (subgoal 2)<br>を示せばよい。 |
| 第4段階：前向き推論 (分節番号25-28)    | ASAによって<br>$\triangle DOB \equiv \triangle EOC$<br>が示された。                                    |
- 

## 2・2 Sの問題解決過程のシュミレーション

問題解決者Sが問題を読み始めて問題を解き終えるまでに5分52秒を要した。Sが問題読解に要した時間は1分30秒、問題解決に要した時間は4分22秒であった。

表2は、プロトコルの要約である。プロトコルの要約によれば、Sの問題解決全体は、大きく4つの段階に分けることができる。第1段階は、Sが問題を表現(問題を理解)する段階であり、Sが目標を確認する過程である。また、第2段階と第3段階は、Sが目標から後ろ向きに2つの下位目標を導出する過程である。第4段階は、Sが前提から前向きに下位目標を攻略する過程である。

Sは、問題説明文と図を照合しながら慎重に問題を読んだ(分節番号1-13)。Sが問題を読解して獲得した問題についてのスキーマ(問題についての全体像)は、表3のようなものだと考えることができる。ACT理論によれば、Sは獲得した問題スキーマは、宣言型に符号化されている。また、このスキーマには、問題説明で示されている以上の情報が埋め込まれている。ただし、分節番号13までの問題についてのスキーマには、問題解決へのアプローチプランの情報は含まれていない。ところで、Sは、表4の2等辺三角形についてのスキーマ、表5の2等分スキーマを使用して問題についてのスキーマを獲得している。

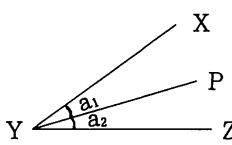
表3 問題スキーマ (宣言型符号化構造)

背景情報	$\triangle ABC$ は二等辺三角形 $\triangle ABC$ で $AB=AC$ $\angle B=\angle C$ $\angle DBE=\angle DBC=\frac{1}{2}\angle B$ $\angle ECD=\angle ECB=\frac{1}{2}\angle C$
証明陳述	$BE=CD$
方法	明確なアプローチプランなし

表4 2等辺三角形スキーマ

背景情報	$S_1$ は $\triangle XYZ$ の1辺 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の1辺 $S_3$ は $\triangle XYZ$ の1辺
条件	$S_1$ と $S_2$ は合同
結論	$\triangle XYZ$ は2等辺三角形
性質	$\angle Y$ と $\angle Z$ は合同
コメント	2等辺三角形の定義とその底角 2等辺三角形の底角は等しい

表5 角の2等分線スキーマ

背景情報	$\angle XYZ$ がある $\angle PYX=a_1$ $\angle PYZ=a_2$	
条件	$a_1=a_2$	

呼び名

PYは $\angle XYZ$ の2等分線

コメント

角の2等分線の定義

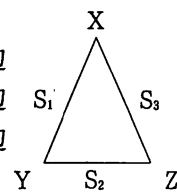
P1	IF $\triangle XYZ$ で $XY=XZ$ ならば, THEN $\triangle XYZ$ は2等辺三角形であり, $\angle Y=\angle Z$ と判断せよ
P2	IF $\angle XYZ$ があり, 線分PYが $\angle XYZ$ の2等分線ならば, THEN $\angle XYP$ と $\angle ZYP$ は等しいと判断せよ

Sは、背景情報と証明陳述との関係から、解決へのアプローチプランを探索し始めた。

まず、Sは、線分BEと線分CDの交点をOとして、 $BE=BO+OE$ 、 $CD=CO+OD$ と考えた(分節番号16-18)。

次に、 $\triangle OBC$ を二等辺三角形であると結論づけた上で、 $\triangle OBC$ が二等辺三角形であることを利用して $BO=CD$ を導出した(分節番号19)。Sは、表6のようなスキーマを持っている。

表6 2等辺三角形の条件スキーマ

背景情報	$S_1$ は $\triangle XYZ$ の1辺 $S_2$ は $\triangle XYZ$ の1辺 $S_3$ は $\triangle XYZ$ の1辺	
条件	$\angle Y$ と $\angle Z$ は合同	

結 論

$S_1$ と $S_3$ は合同

コメント

2等辺三角形になる条件である

P 3 IF  $\triangle XYZ$ で $\angle Y = \angle Z$ ならば,  
 THEN  $XY = XZ$ であり $\triangle XYZ$ は  
 2等辺三角形と判断せよ

Sは、 $BE = BO + OE$ 、 $CD = CO + OD$ と $BO = CO$ から、 $BE = CD$ であるための下位目標として、 $OE = OD$ を導出した。このとき、Sは、P 4のようなプロダクションを使用して後ろ向き推論を行っている。

推論の軌跡 1

$BE = CD$  (goal)

↓

$OE = OD$  (subgoal 1)

このとき、Sは、P 4のようなプロダクションを使用して後ろ向き推論を行っている。

P 4 IF  $X = Y$ を示すことが目標で、  
 $X = L + M$ 、 $Y = K + N$ であり、  
 $M = N$ が分かっているならば、  
 THEN  $L = K$ を示すことを下位目標として設定せよ

Sは、この時点で、解決への明確なアプローチプランを持ち得た。Sがこの時点で獲得している問題スキーマは表7の通りである。

表7 問題スキーマ (宣言型符号化構造)

背景情報

$\triangle ABC$ は二等辺三角形

$\triangle ABC$ で $AB = AC$

$\angle B = \angle C$

$\angle DBE = \angle DBC = \frac{1}{2} \angle B$

$\angle ECD = \angle ECB = \frac{1}{2} \angle C$

$\triangle OBC$ は二等辺三角形

$BE = BO + OE$

$CD = CO + OD$

$BO = CO$

証明陳述

$BE = CD$  (goal)

下位目標

$OE = OD$  (subgoal 1)

方 法

subgoal 1 を証明する

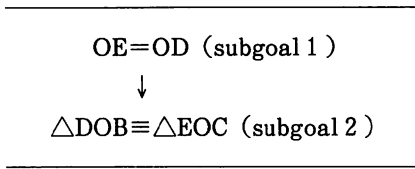
次にSは、下位目標 $OE = OD$ を証明するための下位目標として、後ろ向き推論を使用して、 $\triangle DOB \cong \triangle EOC$ を設定した。

Sは、P 5のようなプロダクション・ルールを既有知識として持っており、それをを用いて後ろ向き推論を行っている(分節番号24)。

P5 IF 2つの辺の長さが等しいことを証明することがゴールならば、  
 THEN 2つの辺を含む2つの三角形を発見してこれらが合同であることを証明せよ



推論の軌跡 2



この段階におけるSの問題についての知識のスキーマは、表8のように変化している。

表8 問題スキーマ (宣言型符号化構造)

背景情報

- $\triangle ABC$ は二等辺三角形
- $\triangle ABC$ で $AB=AC$
- $\angle B = \angle C$
- $\angle DBE = \angle DBC = \frac{1}{2} \angle B$
- $\angle ECD = \angle ECB = \frac{1}{2} \angle C$

- $\triangle OBC$ は二等辺三角形
- $BE = BO + OE$
- $CD = CO + OD$
- $BO = CO$

証明陳述

$BE = CD$  (goal)

下位目標 1

$OE = OD$  (subgoal 1)

下位目標 2

$\triangle DOB \equiv \triangle EOC$  (subgoal 2)

方 法

subgoal 2 を証明する

Sは、ここで(分節番号24)、合同条件のSSSの照合を棄却し、目標をSASかASAを照合することに絞り込んでいる。SはP7のようなプロダクションを使用していた。実際、筆者は、プロトコル採取後に、プロトコルを再生してSに聞かせ、「なぜ、SSSを調べなかったのか」と質問した。このとき、Sは、「等しい角が多い

ので3辺が等しいを用いる問題ではないことは何となくわかる」と答えている。

---

P6 IF 2つの三角形が合同であることを示すことが目標ならば,  
 THEN 合同条件SSS, SAS, ASAのいずれかが成り立つかどうかを検討せよ

---

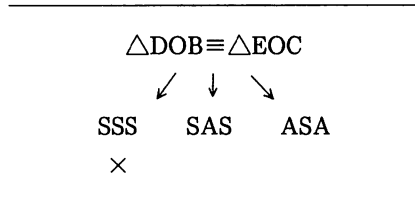


---

P7 IF 2つの三角形が合同であることを示すことが目標で,  
 合同条件SSS, SAS, ASAのいずれかが成り立つことを検討することが当面の目的であり,  
 問題スキーマの背景情報の中に角についての情報があるならば,  
 THEN SAS, ASAを優先して検討せよ

---

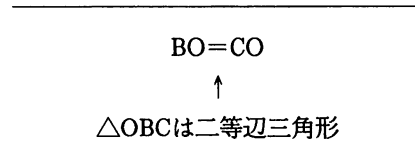
推論の軌跡 3 (枝刈り)



Sは、 $\triangle DOB \equiv \triangle EOC$ を証明するために、問題の背景情報をもとに前向き推論を開始した(分節番号25)。

まず、Sは、 $\triangle OBC$ は二等辺三角形を利用して、 $BO = CO$ を導出した。

推論の軌跡 4



次にSは、対頂角の性質を根拠にして、 $\angle EOB = \angle DOC$ を導出した。

---

P8 IF 2本の直線, LM, XYが点Oで交わっているならば,  
 THEN  $\angle LOY$ と $\angle XOM$ は対頂角であり,  
 $\angle LOY = \angle XOM$ と判断せよ

---

#### 推論の軌跡 5

---

$\angle EOB = \angle DOC$   
 ↑  
 対頂角は等しい

---

さらに、Sは、 $\angle DBE = \angle ECD$ を読み換えて $\angle OBE = \angle OCD$ を導出した。

#### 推論の軌跡 6

---

$\angle OBE = \angle OCD$   
 ↑  
 $\angle DBE = \angle ECD$

---

最後に、Sは、 $BO = CO$ ,  $\angle EOB = \angle DOC$ ,  $\angle OBE = \angle OCD$ によりASAを前向き推論によって導出し、 $\triangle DOB \cong \triangle EOC$  (subgoal 2)を攻略した。

#### 推論の軌跡 7

---

$\triangle DOB \cong \triangle EOC$  (subgoal 2)  
 ↑  
 ASA  
 ↗ ↑ ↘  
 $\angle DBE = \angle ECD$   $BO = CO$   $\angle EOB = \angle DOC$

---

#### おわりに

ACT —— 本論では、AndersonのACT, ACT\*, DCなどをACTとして総称している —— は人間の認知の情報処理のメカニズムを包括できる現在最も有力なモデルである(高野, 1994)と言われる。

ACTは人間の情報処理のメカニズムを解明することを主要な目的に開発されたものであるが数学教育の問題にアプローチする上で有益でもある。

例えば、問題解決に成功する生徒と失敗する生徒の推論(情報処理)をACTの枠組みで記述し比較することによって、問題解決に失敗する原因がどのような知識に依存しているかの示唆を得ることができる(狩俣, 1995)。また、数学の専門家の問題解決をACTの枠組で詳細に記述することによって、数学の問題解決における重要な方略などについての示唆を得ることができる(狩俣, 1994)。

本論の最後に、ACT理論が依って立つ主要な仮説を確認しておきたい(E. Wenger)。

この理論の第1の仮説は、人間の認知的機能はプロダクションルールの集合で表現可能であるというものである。

ACTの第2の中心的な仮説は、学習モデルのメカニズムに関するものである。このアイデアは、知識は、まず、はじめに、宣言型の知識として獲得され、経験を通して手続きに変換されたり再組織化されたりするというものである。また、知識は手続き型になってはじめて行動の中に有効に反映されるというものである。この基本的なメカニズムは知識のコンパイルと呼ばれている。

知識のコンパイルメカニズムの数学教育への重要な示唆は、スキルを習得させるための授業設計は、教師が例を示したり、説明したりする文脈よりも問題解決の文脈を取り入れる形で設計されるべきだということであろう。実際、問題解決の文脈において、生徒たちは、自分の宣言的知識を有効な手続き型知識(プロダクション)に変換するチャンスを得ることができるか

らである。

ACTの第3の仮説は、記憶の容量に関するものである。すなわち、ACTでは、知識が合成された後でも、個々の知識は消去されることなく、長期記憶の中に保存されるというものであり、長期記憶の容量には制限がないというものである。他方、反対に作業記憶には制限があり、したがって、そのことが、可能な新しいプロダクションの合成を制限しているというものである。

#### 引用文献

- Anderson.J.R. (1983). Acquisition of Proof Skills in Geometry. R.S.Michalski (Ed). (1983). Machine Learning. Tioga Publishiing Company.
- Anderson.J.R.(1987). Knowledge Compilation: General Learning Mechanism. R.S.Michalski (Ed). (1987). Machine Learning. Tioga Publishiing Company.
- Koedinger.K.R & Anderson.J.R. (1990). Abstract Planning and Perceptual Chunks:Elements of Expertise in Geometry. Cognitive Science. 14.511-550.1990.
- Wenger.E (著). 岡本俊雄・溝口理一郎 (監訳). (1990). 知的CIAシステム——知識の相互伝達への認知科学的アプローチ. オーム社.
- 高野陽太郎. (1994). 思考の心理学. 中島秀之・高野陽太郎・伊藤正雄. 岩波講座 認知科学 8 思考. 岩波書店.
- 狩俣智. (1994). ACTによる熟練者の問題解決研究. 琉球大学教育学部教育実践研究指導センター紀要. 1994. 第2号.
- 狩俣智. (1995). ACTによる中学生の問題解決研究. 琉球大学教育学部教育実践研究指導センター紀要. 1995. 第3号.