

認知エキスパートの情報処理特性

筑波大学大学院 (博) 心理学研究科 比留間太白

筑波大学心理学系 海保 博之

Information processing characteristics of cognitive experts

Futoshi Hiruma and Hiroyuki Kaiho (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Tsukuba 305, Japan*)

Information processing characteristics of cognitive experts were reviewed, contrasting with those of novices. Three remarkable characteristics were extracted; automated information processing, great capacity of pattern recognition, and easy utilization of various types of knowledge. Characteristics of expertizing process were also discussed.

Key words : expert, expertise, information processing

1. 本稿の意図

人間のエキスパートに対する関心が復活してきている。そのきっかけになっているのが、一方では、エキスパート・システムの開発であり、他方では、人間の日常的、職業的行為—その多くは熟達化されている—への認知科学的関心の高まりである。本稿では、こうした背景を踏まえて、知覚、記憶、思考などの認知機能において優れた技能を有するエキスパートを、運動エキスパートと区別して、認知エキスパートと呼び、その認知的情報処理の特性を概観してみる。

心理学におけるエキスパート研究は、これまでもかなり活発に行なわれてきている。そのあたりについての最近の概観は、Chi, Glaser & Rees (1982), Lesgold (1984), Glaser (1985), 大沢 (1982) がある。本稿では、こうした概観を参考にしながら、最近の研究を中心に、認知エキスパートの情報処理特性を整理してみる。

取り上げる課題は、大きく二つに分かれる。一つは、認知エキスパートは、ノービスと比較して、どのような点で特徴的なのかを吟味すること、さらにその特徴を支えている情報処理のメカニズムはどのようなものが想定できるかを考えてみることである。

もう一つは、認知エキスパートは、どのような熟達化の過程を経て、そのようなエキスパートになったのかを吟味することである。

なお、本稿でエキスパートと言うときには、次のような熟達化の過程が前提とされている。

- 1) 長期間にわたり、類似の状況下で、類似または同一の限定された認知的情報処理を要求する課題にたずさわっている。
- 2) その結果として、情報処理の効率が格段に上がり、しかも処理の質も変化する。
- 3) しかも、その処理様式は、ほぼ定常状態で推移する。

2. エクスパートとノービスとの情報処理特性の違い

エキスパートの情報処理特性に関して、すでに大沢 (1982) は4個の特徴を、Glaser (1985) は24個の特徴を、それぞれ羅列的に指摘している。本稿では、それらを新たに三つの特徴に整理しなおして、ノービスとの比較研究を中心に概観してみる。それぞれ、最初に実証的な証拠をあげ、そのような結果をもたらす情報処理メカニズム、そして、研究課題の順に話を進めていく。

2.1 エキスパートの認知活動は自動化されている

一般に、あるパフォーマンスが、速い、正確、干渉に対して頑健、無意識的といった特徴を備えているときに、その認知活動は、自動化されていると考えることができる。以下、この四つの特徴について、エキスパートの情報処理特性を吟味してみる。

(a) 速くて、正確である

一般に、パフォーマンスにおいては、速さと正確さとは、トレード・オフする。しかし、エキスパートの場合は、このトレード・オフを克服しているのが、普通である。例えば、Wiedenbeck (1985) は、基本的なコンピュータ・プログラムの文法的な誤りを検出する時間、および機能的な意味を判断する時間を、ノービスとエキスパートとで比較し、エキスパートの方が圧倒的に速く、しかも、エラーが少ないことを見いだしている。ここで、ノービスとは、フォートランの授業を履修しているか、あるいは終えたばかりの者、エキスパートとは、仕事で実際にフォートランを使用している者である。

Akin & Rao (1985) は電子メール・システムの操作を課題とした研究の中でエラーについて検討している。エキスパート群として、電子メール・システムの管理をしている者、レギュラー群として、日常生活でシステムを使用している（メールを出す、メールを読む等）者が選ばれた。課題は通常操作であったにもかかわらず、エキスパート群の方がエラーが少ないという結果が得られた。

(b) 干渉課題に対して頑健である

エキスパートは同時に複数のことを難く行なってみせる。例えば、計算エキスパートであるDagbertは、バイオリンを弾きながら、23桁数字の立方根と5桁数字の積を求めたという (Hope, 1985)。

Hatano, Miyake & Binks (1977) は、ソロバン・エキスパートが計算をしている時に、簡単な質問（例えば、日本一の山は何ですか？）をする干渉課題を課し、その計算成績への影響を検討している。その結果、ソロバンを使った計算の場合には、計算成績は干渉課題がないときと変わらなかったことが示された。また、ソロバンを使わずに、暗算で計算を行なった場合には、計算成績が悪化したと報告している。

(c) 処理が無意識である

一般に、エキスパートは自己の認知過程について報告できないといわれる。

Anderson (1983) は幾何学図形の証明問題を解く被験者のプロトコル分析を行なっている。その中で、被験者が数回の試行を経ると、初期の試行でみられた内容がリハーサルされなくなることを報告してい

る。

自動化を支える情報処理メカニズム

情報処理の自動化を支えるのは、処理手順のマクロ化（処理単位が大きくなること、手順のチャンク化と言ってもよい）と、波多野 (1988) の言う表象系のモジュール化（限定された刺激のみで活性化される、作用が強制的、情動的に遮蔽されているなど）である。その結果として、速くて正確で頑健な認知処理が可能となり、課題の処理に対して注意配分を必要としなくなり、処理過程についての意識的な内省ができなくなる。

研究課題

処理手順のマクロ化にしても、表象系のモジュール化にしても、定型的な作業をする場合には、その利点は大きい。しかし、例えば、マン・マシン・インタフェース事態でしばしば発生するように、エキスパートは、定型化された課題とは異なった課題状況に直面することがある。こうした事態においても、適切な認知的情報処理ができるようにするためには、この自動化された処理の流れから脱出することが必要である。さもないと、緊急事態では重大事故につながる操作をしてしまう恐れがある。その脱出をトリガーするものは何か、脱出後の情報処理メカニズムは、どのようなものが想定されるか。これらは、実用的な意義のある研究課題である。

なお、干渉に対する頑健さは、これを支持する証拠とともに、支持しない証拠も報告されている。この点については、注意配分と課題の熟達化との関係を考慮しつつ、さらなる実証的な研究の蓄積が必要である。

2.2 エキスパートはパターン認識に優れている

パターン認識とは、時空間的な広がりを持った情報のなかから「本質的意味」を抽出することである。認知エキスパートは、このパターン認識の能力に優れていることを、次の形で示している。

(a) 直観的認識ができる。

一般に、エキスパートは直観的に場面、状況を把握し適切な行動がとれる。例えば、木村 (1983) は医師の直観的診断について言及している。それによると、診断を下すのに用いられる項目は、普通10個以上とかなり大量であるが、医師はごく短時間の直観的な判断に基づいて適切な診断を行なっていることを示している。

(b) 特徴抽出に優れている

「本質的意味」を構成している情報を取り出すこと（特徴抽出）は、パターン認識には必須である。エキスパートがこの特徴抽出に際だった能力を示す

ことが知られている。ここでも、医学に関連する実験から一つ引用してみる。

Myles-Worsley, Johnston, & Simons (1988) は、経験年数が、0年から22年にわたるX線技師を被験者として、次のような実験を行なっている。課題は顔写真(20枚)、異常部位が写ったX線写真(10枚)、正常な人のX線写真(10枚)を1枚1秒間提示し、提示後、再認するというものであった。顔写真の再認は被験者間で差がなかったが、異常部位が写ったX線写真の再認は経験年数が増えるにつれて向上し、経験年数が22年の者では顔写真の再認と変わらないレベルに達した。正常な人のX線写真は経験年数が増えるにつれて逆に再認成績がチャンス・レベルに低下した。この結果は、経験によって医学的に意味のある特徴の抽出能力が陶冶されることを示唆するものと言える。

優れたパターン認識を支える情報処理メカニズム

パターン認識のモデルには鑄型照合モデルと特徴抽出モデルとがある。鑄型照合という考えは、エキスパートが示す直観的認識のメカニズムを考える上でまた、特徴抽出は、言うまでもなくエキスパートの優れた特徴抽出能力をさせるメカニズムを考える上で、それぞれ示唆を与えてくれる。

まず、直感的認識を支えるメカニズムから、

直感的な認識が成立するためには、要素への分解、そして統合 (synthesis by analysis) よりは、むしろ、統合からの分析 (analysis by synthesis) による認識メカニズムを仮定する方が自然である。この統合を支えるのが、長期記憶に貯蔵されている鑄型である。入力情報を全体としてこの鑄型と瞬時に照合できることが、直感的認識の成立に他ならない。

次に優れた特徴抽出を支えるメカニズムについて、

定型的な課題状況では、課題の解決に有効な情報は、ほぼ決まっている。そうした状況で優れた特徴抽出ができるためには、二つのメカニズムが想定されなければならない。一つは、ノイズ、あるいは背景に埋もれている特徴を選択的に抽出するメカニズム、もう一つは、複数の(おおむねその数は多い)特徴の共変関係を抽出するメカニズムである。とりわけ、認知エキスパートの場合には、共変関係の抽出に優れているものと思われる。

研究課題

エキスパートの直感的認識を支えるものが、鑄型照合であるとして、この鑄型とは、一体どのようなものであり、エキスパートにはその鑄型をめぐってどのような特徴が見られるのであろうか。

ここで、鑄型とは、処理の単位としての手順のまとまり、知識のまとまりである。エキスパートが、

当該の認知課題に関して、こうした鑄型を、長期記憶のなかに多数貯蔵していることは、例えば、チェスのエキスパートでは推定5万個という数字をあげているSimon(1980)の研究などからもうかがうことができる。また、短時間の情報提示によるチャンク化能力を調べる実験でも、エキスパートが極めて高い能力を示すことから(例えば、大沢, 1982)間接的に知ることができる。

しかしながら、鑄型が多くなれば、入力された情報に対してそれを照合するコストが増えてくる。直観的な認識にほど遠い情報処理の過程が、そこでは展開されるはずである。事実は、そうではない。このパラドックスは、いかにしてエキスパートにおいて克服されているのであろうか。並列分散処理モデルが示唆を与えてくれるかもしれない。

エキスパートのパフォーマンスは文脈に依存しているといわれる(Dreyfus & Dreyfus, 1987)。このこともまた、特徴抽出に関してパラドックスに近い状況を提供する。つまり、特徴抽出とは、背景(文脈)から特定の情報を切り出すことである。文脈に依存しては、特徴抽出は不可能である。にもかかわらず、エキスパートの特徴抽出が特に優れているのはなぜなのか。鍵は、特徴間の共変関係の抽出にあると思われる。共変関係のなかに文脈が巧みに表現されているのではないか。

2.3 エキスパートの知識は多彩である

エキスパートは当該領域に関する多彩な知識を豊富に持っている。このことはLogan(1985)の次の一節に集約されている。

「例えば、音楽家は楽器のメーカーをたくさん知っており、楽器がどこで作られるとか、どこで買えば安く手に入るかということを知っている。また、他の音楽家についてもよく知っており、彼がやっている音楽であるとか、どのくらいの技量であるかといったことを知っている。さらに、自分のやっている音楽の歴史も知っている。(P. 369)」

(a) 手続き型知識も宣言型知識も

知識を大きく宣言型知識と手続き型知識とに分けてみたとき、エキスパートはどちらの知識も豊富であることが知られている。

Bateson, Alexander, & Murphy (1987) らは、技能水準の異なる学生を対象に、プログラミングに関係する4種の知識テストを行なった。4種のテストは次のようなものである。①プログラムの文法に関する知識を問う問題。②プログラミングに関する意味的知識を問う問題。③アルゴリズムを決めるときに使用される知識を問う課題。④特定の操作を実

際の実現するための知識を問う課題。これらの課題を宣言型知識と手続き型知識の区分に当てはめると、前の2つの課題が宣言型知識に、後の2つが手続き型知識に相当する。結果は全ての課題について、技能水準の高い学生が優れていることが示された。

また、Hope (1985) は計算エキスパートが、種々の計算方略を知っており、問題によって適切な方略を選択していること、また、ある数を他の数の積や積和にした形を多く記憶していると報告している。

(b) 統語的知識も、意味的知識も、シエマ的知識も、方略的知識も

Mayer (1988) はプログラミングの分野における、ノービスとエキスパートの差異をレビューしている。その中で、プログラミングに関する知識を、統語的、意味的、シエマ的、方略的の4種として捉え、ノービスとエキスパートとは、質的にも量的にも異なっていると主張する。すなわち、エキスパートは、速く、しかも正確にアクセスできる統語的知識を数多く持ち、プログラミングに関する一貫した意味的知識を持ち、豊富なシエマ的知識を持ち、そして、高次の、抽象的なプログラミングの計画（方略的知識）を持っているという。

多彩な知識を支える情報処理メカニズム

多彩な知識を支えるメカニズムの一つとして知識の構造化があげられる。例えば、Cooke & Schvaneveldt (1988) は、一般的なプログラミングの概念を対提示し、概念対の関係を評価させることにより、経験年数の多い被験者群の概念構造が経験年数の浅い被験者群に比べてより階層的に構造化されていることを報告している。エキスパートが持つ多彩な知識は、当該分野に適した形で構造化されることにより、所与の問題への理解を深め、速くかつ正確なパフォーマンスを支えるのである。

研究課題

エキスパートの知識が多彩であり、構造化されているとして、次にはその獲得、維持、運用が焦点となる。

エキスパートは長期間に渡る経験や訓練を経て多彩な知識を獲得するのであるが、はたして、長い時間をかけることだけが多彩な知識の獲得に主要な貢献をするのであろうか。エキスパートになる者には、何か特別な獲得方法、あるいは獲得環境がないのであろうか。

ノービスは、経験によって得られた新しい知識を既有知識と関連づけてたり、既有知識の内容の一部を変更したり、必要でなくなった知識を削除するといったことを通して、エキスパートへと近づいてい

くものと思われる。エキスパートといえども、知識の維持は行なわれているはずである。これはノービスと同様であるのか、それとも異質であるのか。

知識が獲得されるだけでは、エキスパートとはいえない。多彩な知識を円滑に、しかも適切に使用してこそエキスパートである。エキスパートになれば運用する知識が多くなる。運用する知識が多くなれば当然、その分、時間を要すると考えられるが (Anderson, 1974のファン効果参照)、エキスパートのパフォーマンスは速い。これは、一部は、知識の階層化によって解決されるのであろう。しかし、そればかりでなく知識を色々な形で操作すること自体の高速化といったことも生じているのではないだろうか。

3. 熟達化

ノービスが長期間にわたる経験や訓練を経てエキスパートになる過程を熟達化と呼ぶ。熟達化はそれを導く方法が予め与えられている場合と、与えられていない場合とに分けてみることができる。前項同様、それぞれについて実証的証拠、そのような結果をもたらす情報処理メカニズム、研究課題の順に話を進めていく。

3.1 方法が予め与えられている場合の熟達化

この型の熟達化の例として、物理学の試験問題を解く場合があげられる。前もって、方程式であるとか、作用反作用の法則などの知識が与えられており、これらを使って問題を解く。場合によっては、これらの知識をどのような問題に対して、どのように適用するかという知識まで与えられる。したがって、ここでは知識の運用が熟達化することになる。

Charness & Campbell (1988) は、彼らが考案した7段階の簡単な手順から成るアルゴリズムで、2桁数字を暗算で二乗するという課題を使って、この型の熟達化を検討している。5日間に渡って、このアルゴリズムを使用した暗算の訓練を行なったところ、暗算の計算速度の向上が見られた。さらに、この計算速度の向上は、実験に対する慣れやアルゴリズムの各段階の計算速度の向上では、わずか30%を説明するのみであることが示された。Charnessらは、残りの70%はアルゴリズムの運用（アルゴリズムの各段階で生ずる中間解の管理やアルゴリズムの各段階へのアクセス）に深く関わっていると述べている。

方法が予め与えられている場合の熟達化のメカニズム

この型の熟達化を説明するモデルとして、Anderson (1983) のACT*がある。この理論では、学習の進展（熟達化）を、知識状態の宣言的段階から手続き的段階への移行としてとらえている。宣言的段階では、「もし～ならば、～せよ」といったプロダクション・ルールで表現されている知識が、その度、解釈され、運用される。当然、そのための時間が必要となる。一方、手続き的段階の知識は、プロダクションの実行にあたり、解釈は不要となり、その結果、行為の実行は自動化される。Andersonは、宣言的段階から手続き的段階へのこうした移行過程を、知識のコンパイルと呼んで、次の二つの下位過程からなるとしている。一つは合成と呼ばれるもので、一連のプロダクション・ルールを一つにまとめる過程である。もう一つは手続き化と呼ばれる過程である。これは、プロダクション・ルール内の変数を、定数にする過程である。

手続き的段階に移行した知識には、さらに調整が行なわれる。これには三種類ある。一つは般化である。これは領域固有的でない一般的な知識を作り出すものである。二つめは分化である。これはより領域固有な知識を作り出すものである。三つめは強固化である。これは頻繁に使用される知識を優先的に扱えるようにすることである。

Andersonは以上のメカニズムによって、熟達化過程に見られるパフォーマンスの推移をシミュレートすることに成功している。

研究課題

ACT*は方法が与えられている場合の熟達化をよく説明する（例えば、Anderson, 1987）。しかし、批判も当然ながらある（例えば、佐伯・鈴木, 1987）。最近になって、熟達化の特徴の一つである処理速度の向上が、知識のコンパイルによって生ずるのではなく、個々の知識の処理速度が速くなることによって生ずるという知見もある（Carlson, Sullivan, & Schneider, 1989）。

また、ACT*は、次にあげるような事例をどう説明するのであろうか。我々は、普通、暗算をするとき、数字を繰り返しリハーサルしているが、優れた計算能力を示すソロバン・エキスパートはソロバンのイメージによって計算を遂行している（波多野, 1988）。また、計算エキスパートであるAitkenは、内省報告することができるような感覚的表象を使用しないで計算を行っていたという（Hunter, 1962）。

3.2 方法が予め与えられていない場合の熟達化

この型の熟達化がみられるのは、技能にかかわる知識を前もって明確に定義できないような分野であ

る。ノービスは「適切な」行動が要求されるのであるが、そのための基準が何であるのかわからない。このような状況の中で繰り返し行動する間に、「適切な」行動のための知識が潜在的あるいは意識的に獲得される。我々がごく普通に行なっている熟達化した日常的行為の多くや、医師や経営者などの意思決定などの高次の課題解決の多くも、この範疇に入る。

一つの事例として、Lewicki, Czyzewska, & Hoffman (1987) をあげてみる。この実験では、同一状況下である課題解決を繰り返すうちに、課題解決には直接関係していない、複雑なパターンを無意識のうちに獲得することが示された。

被験者には、CRT画面上の4つの象限の中から特定の数字を捜し出すという課題（単純課題）とCRT画面上に提示される6×6個の数字マトリックスの中から特定の数字を捜し出す課題（マトリックス探索課題）が課せられた。ここで、単純課題のターゲット位置のパターンはマトリックス探索課題のターゲットの位置と対応するように細工されている。もちろん、この対応は被験者に悟られない程度の複雑さが持たされていた。被験者は、初めに単純課題を6試行、次にマトリックス探索課題を1試行という順序で課題を繰り返し遂行していく。

このようにして、課題を延べ12時間にわたり、4,608回も繰り返したところ、被験者が単純課題のターゲット位置のパターンとマトリックス課題のターゲット位置との関係を「無意識に」獲得したことが示された。

方法が予め与えられていない場合の熟達化のメカニズム

Lewickiらの研究は、状況内から課題解決に有効な知識を抽出して、次のパフォーマンスを方向づけるメカニズムの存在を示唆する。しかも、抽出される知識は単純なものに限らず、意識的にそれが何であるかを探ることができないくらい複雑で、状況に組み込まれているものも含まれる。さらに、このメカニズムは、我々自身の意識とは関係なく、自動的に起動するようである。この自動性は、意識的な制御を受けていた操作が、意識的な制御を受けなくなるという、知識の運用の時点で現れるばかりでなく、知識の獲得に現れる点が特徴的である。

研究課題

ここでは、熟達化の形成に直接には関係しないように思える「状況」をどう扱うかが一番大きな問題となる。例えば、生田 (1987) は、「わざ」習得の過程での「わざ」世界の役割について触れている。「わざ」世界は直接には「わざ」そのものと関係がない、師匠の日常生活の世話であったり、他の弟子との会

話であったりする。伝統芸能の世界などでは、「わざ」の習得に、この「わざ」世界が重要視されている。その理由はどこにあるのか。「わざ」世界から抽出される構造は、「わざ」そのものとのような関係を持っているのか。ここには、「文化」のなかで熟達化をとらえる視点が必要とされよう(稲垣・波多野, 1989参照)。

4. まとめ

エキスパート研究は、その歴史の長さに見合う知見が蓄積されているとは、必ずしもいえない。解明されるべき問題やメカニズムが山積している。

その最大の原因は、エキスパート研究には膨大なコストがかかることがあげられる。ノービスとエキスパートとの比較研究を行なうにしても、十分な数のエキスパートを用意するのが難しい。また、熟達化過程の研究をするときには、問題は更に深刻となる。エキスパートになるには、年単位の日時がかかるのが普通だと言われているからである。もう一つの理由は、エキスパートは、本質的に領域固有であるので、たとえある領域のエキスパートの認知構造が解明されたとしても、その知見が別の領域のエキスパートに適用できるとは限らない。言い換えるならば、エキスパート研究はモノグラフ的なものとなりがちなのである(波多野, 1988)。

このような問題を抱えていてもなお、エキスパート研究を行なう意義は何か。

一つには、初めに述べたようにエキスパート・システム構築のための基礎資料を提供することがある。エキスパート・システムは特定分野について構築されることを由とするので、モノグラフ的な研究でも一向に構わない。

二つには、認知的な「特異者」を研究することから「普通者」の認知メカニズムの新たな側面が見えてくるという意義である。つまり、脳損傷患者や健忘症患者の研究と同様の(逆の)位置づけである。

引用文献

- Akin, O., & Rao, D.R. 1985 Efficient computer-user interface in electronic mail systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, **22**, 589-611.
- Anderson, J.R. 1974 Retrieval of propositional information from long-term memory. *Cognitive Psychology*, **6**, 451-474.
- Anderson, J.R. 1983 The architecture of cognition. Harvard university press.
- Anderson, J.R. 1987 Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, **94**, 192-210.
- Bateson, A.G., Alexander, R.A., & Murphy, M.D. 1987 Cognitive processing differences between novice and expert computer programmers. *International Journal of Man-Machine Studies*, **26**, 649-660.
- Carlson, R.A., Sullivan, M.A., & Schneider, W. 1989 Practice and working memory effects in building procedural skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 517-526.
- Charness, N., & Campbell J.I.D. 1988 Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General*, **117**, 115-129.
- Chi, M.T.H., Glaser, R., & Rees, E. 1982 Expertise in problem solving. In R.J. Sternberg (Ed.) "Advances in the Psychology of Human Intelligence Vol. 1" LEA.
- Cooke, N.J., & Schvaneveldt, R.W. 1988 Effects of computer programming experience on network representations of abstract programming concepts. *International Journal of Man-Machine Studies*, **29**, 407-427.
- Dreyfus, H.L., & Dreyfus, S.E. 1987 椋田直子訳 純粋人工知能批判 アスキー出版局.
- Glaser, R. 1985 The nature of expertise. Occasional Paper No. 107. The Ohio State University.
- 波多野諠余夫 1988 珠算式暗算における習熟：典型的熟達化の一事例、認知科学の発展 講談社、Pp. 141-160.
- Hatano, G., Miyake, Y., & Binks, M.G. 1977 Performance of expert abacus operators. *Cognition*, **5**, 57-71.
- Hope, J.A. 1985 Unravelling the mysteries of expert mental calculation. *Educational Studies in Mathematics*, **16**, 355-374.
- Hunter, I.M.L. 1962 An exceptional talent for calculative thinking. *British Journal of Psychology*, **53**, 243-258.
- 生田久美子 1987 「わざ」から知る 認知科学選書14 東京大学出版会
- 稲垣佳世子・波多野諠余夫 1989 人はいかに学か 一日常的認知の世界— 中公社書

- 木村栄一 1983 診断における論理と直観 別冊・数理科学「パターン認識」サイエンス社, Pp. 114-121.
- Lesgold, A.M. 1984 Acquiring expertise. In J.R. Anderson & S.M. Kosslyn (Eds.) "Tutorials in Learning and Memory: Essays in Honor of Gordon Bower" Freeman.
- Lewicki, P., Czyzewska, M., & Hoffman, H. 1987 Unconscious acquisition of complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **13**, 523-530.
- Logan, G.D. 1985 Skill and automaticity: Relations, implications, and future directions. *Canadian Journal of Psychology*, **39**, 367-386.
- Mayer, R.E. 1988 From novice to expert. In M. Helander (Ed.) "Handbook of Human-Computer Interaction" Elsevier Science Publishers B.V.
- Myles-Worsley, M., Johnston, W.A., & Simons, M. A. 1988 The influence of expertise on X-ray image processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **14**, 553-557.
- 大沢啓子 1982 熟達者—初心者の差異, 波多野諄余夫(編) 認知心理学講座4 「学習と発達」 東大出版会, Pp. 135-153.
- 佐伯 胖・鈴木宏昭 1987 心理学における「工学的」アプローチの可能性と限界, 大須賀節雄・佐伯 胖(共編) 知識工学講座3 「知識の獲得と学習」 オーム社, Pp. 15-52.
- Simon, H.A. 1980 Problem solving and education. In D.T. Tuma & F. Reif (Eds.) "Problem solving and Education: Issues in teaching and research" LEA, Pp. 81-96.
- Wiedenbeck, S. 1985 Novice/expert difference in programming skills. *International Journal of Man-Machine Studies*, **23**, 383-390.