

教育心理学と実践活動

最近の認知研究からみた e-ラーニングの可能性

大 島 純

(静岡大学)

Contributions of Recent Cognitive Approaches to Research on E-Learning

Jun OSHIMA

(SHIZUOKA UNIVERSITY)

The present paper reviews 2 cognitive approaches to research on e-learning. One theme has to do with learning strategies in relation to self-regulated learning in e-learning environments. Findings from that type of research provide rich insights into how to scaffold learning activities so as to lead learners to improved performance. The second theme has to do with cognitive load theory, dealing with cognitive constraints existing in human cognitive architecture. Findings from this latter type of research suggest how it might be possible to overcome cognitive overload when learners face difficult task requirements. The present article also discusses disciplines that might support learners' activities in e-learning environments and issues for future research.

Key Words : e-learning, cognitive psychology, learning models, self-regulated learning, cognitive load theory

本稿では、現在初等教育から高等教育まで、その普及が著しい e-ラーニングについて、その効果的な利用のために展開されている認知心理学的研究の二つを概観する。その第一は e-ラーニング学習環境で学習者に要求される学習方略(自己制御学習)に関する研究である。この研究の成果は、e-ラーニング学習環境における学習成果を向上させる教育的支援のあり方(足場掛け)について有益な示唆を提供している。そして第二は、学習者の認知的アーキテクチャに言及した認知的負荷理論の発展である。e-ラーニング学習環境における課題要求と、それを実行するための学習者の心的資源の関係をシステムティックに分析する視座を提供している。それぞれの研究潮流を概観した上で、そうした研究アプローチが今後の e-ラーニングにおいてどのような意味を持っているのかについて著者なりの考察を加える。

キーワード：e-ラーニング、認知心理学、学習モデル、自己制御学習、認知的負荷理論

はじめに

教授・学習過程をその研究主題の一つとしてもつ教育心理学において、e-ラーニングも「ラーニング(学習)」である以上、その範疇から外れることはない。しかし植野(2005)でも概観されているように、その定義は非常に不明瞭で、どのような学習(モデル)を想定しているかが明らかではないことが多く、研究テーマとして取り扱いづらいというのも事実である。こうした研究者の感覚の背景には、「e-ラーニング・システム」と一般的にいられているモノの開発が、「本来どのような人間の学びを支援するためにテクノロジーを導入するのか」について熟考する前に導入されてきた経緯があり(大島, 1998; 佐伯, 1997)、より分析的な実践研究がそうした潮流に追いつけなかつ

たのも事実ではないだろうか。

このような背景を踏まえた上で、教育心理学者が e-ラーニングという領域に本腰を入れて研究を展開しようとするとき、どのようなアプローチの仕方が考えられるだろうか？ 大島・野島・波多野(2006)は、学習科学という研究領域における学習環境のデザイン・アプローチを含める形で、学習研究の世代間移行について述べている。特にその論考の中で第二世代と呼ばれる研究が、上述したような教育へのテクノロジー利用のバックグラウンド理論となりうる知見の宝庫であり、それを基に教育実践場面における理論の精錬が行われてきたということは重要な指摘である。第三世代の学習研究は、こうした第二世代の研究知見を踏まえた上で、より包括的に学習

環境を取り扱うことをテーマとし、学習科学(the learning sciences)という新たな領域として確立しつつある。この世代の研究者たちは、具体的な教室場面において、実現する学びを支援するためのテクノロジーを開発し、それを含んだ広い意味での授業実践を環境のデザインとして捉える。そのデザインの原則的知識を見出し、さらに精錬していくために繰り返し授業実践研究を行っていくのである(Collins, Joseph, & Bielaczyc, 2004; 大島, 2004)。

筆者は、こうした2世代にわたる研究アプローチの違いが併存していることが学習研究の強みであり、この世代間の対話が今後も学習研究を牽引し続けていくであろうと考えている。Dunbar (1993)などを代表とする、科学的な発見における推論のメカニズムを解明する研究で注目された、*in vitro* 研究と *in vivo* 研究の重要性にも匹敵するものであるといえるだろう。教育心理学者は、この2つのアプローチのどちらの研究にも関与できる。ただし、第三世代タイプの研究は学際的な特性をもたざるを得ず、心理学的アプローチだけで事が済むことはないの、それをどのように切り出して教育心理学的な実践研究となしうかについては、未だ確立されたパラダイムはないのかもしれない(一つの試みは、益川(2004)にみられる)。そこで、本稿で焦点化したいのは、第二世代のアプローチを用いてe-ラーニングの特性を的確に把握した研究である。これらの研究は、確固たる理論的なバックグラウンドを背景に、*in vitro* 研究からスタートする。しかし、それは *in vivo* 研究を念頭においており、e-ラーニングを支援するテクノロジーの開発などもターゲットとなる。

今回取り上げる学習者モデルは、電子媒体を教材として利用するe-ラーニングを想定した際、そうした学習環境が学習者自体に要求する認知的活動と、それを遂行するために学習者自身がもっていないとではない方略的知識に言及するものである。第三世代の研究アプローチでは、より社会構成主義的、あるいは実践コミュニティ・ベースの理論的バックグラウンドが注目されることが多い(植野, 2005)。しかし、そうした社会的な活動に従事する学習者としての個々の主体が、どのような個人的資源をもち合わせておけばよいのかについては、これまで厳密に検討されてこなかった。本稿で取り上げる2つの研究アプローチは、学習者自体のもつべきメタ認知的知識や、認知的アーキテクチャーの制約について検討したものであり、そもそも人間の学習の特性と「肌の合う」テクノロジーとはどのようなものかを検討するためには重要な研究アプローチで、かつ教育心理学者にその関与がさらに期待されているところでもある。

1. 自己制御学習とe-ラーニング(ハイパーメディア学習環境)

e-ラーニングに限らず、学習という実践におけるメタ認知的な側面の強化は教育心理学の大きなテーマの一つである。問題解決における方略的な知識の獲得を促進するためには、その獲得をどう制御するかという学習者自らがもつべき知識があり、それは自己制御学習方略(self-regulated learning strategies)と呼ばれている。学習における自己制御では、自らの学習についての問題意識を具体的な学習計画として実現し、適切な技能・知識を活用してそれを遂行、さらに適宜モニタリングを行いながら修正することができなくてはならない。また、広くは自らがその学習活動にどのように動機づけられているのかを認識したり、必要に応じて他者の助けをいかに借りるかも重要な方略的知識だと位置づけられている(e.g., Boekaerts, Pintrich, & Zeidner, 2000; Zimmerman & Schunk, 2001)。

e-ラーニング環境において、最近この自己制御学習の重要性がとみに叫ばれているのは、こうした学習方略の知識がe-ラーニング環境において学習効果をより顕著に左右することが明らかになってきたからである。e-ラーニング環境では、教材はマルチメディア化されたものが典型的であり、かつそこにはハイパーリンク構造が存在する(これをハイパーメディア学習環境と呼ぶ)。提供される情報は質・量ともに、伝統的な教科書と比較すると豊富となり、これまでにないリッチな情報環境を提供していることは間違いない。しかし多くの事例において、こうした情報リッチな学習環境において学習者の示すパフォーマンスは、研究者の期待とは裏腹に、概念的理解が深まらないというショッキングな結果を示すものが多い(Hartley, 2001; Jacobson & Archodidou, 2000; Narayanan & Hegarty, 1998; Shapiro, 2000)。

Azevedoらの研究グループ(たとえば, Azevedo, 2005)は、こうしたハイパーメディア学習環境においては、通常自己学習状況が想定されており、学習者の学習制御活動の質が内容理解に大きな影響を与えるものであることを明らかにした。彼らの研究は、まず、これまでの自己制御学習の研究をもとに、それがハイパーメディア学習環境で行われる場合の学習モデルを構築するところから始まった。ハイパーメディア学習環境での学習者モデルを構築するためには、少なくとも①先行知識や発達レベルといった学習者の特性、②ハイパーメディア環境の非線形的な要素特性、③それらを媒介する学習者の自己制御活動の相互関係を考えなければならない。

①の学習者の特性は、学習者の内的資源を適切に把握する測定手法の必要性を強調している。そして②の学習環境の非線形的特性については、たとえばMayerらの

研究からも明らかなように、マルチメディアあるいはマルチモーダルな学習環境(教材内容の提示方法)は、学習者の理解活動の基盤にある認知的なアーキテクチャーの特性を考慮して構成される必要があることがいくつかの原則としてわかっている(Mayer, 2003)。こうした知見を踏まえてもなお、これまで述べてきたようにハイパーメディア学習環境における概念的理解の向上が安定して見受けられないのは、やはり③の学習者の自己制御活動の個人差が存在するためと考える必要がある。このメタ認知的な活動自体がどのような下位ステップあるいは段階をもっているのかについては自己制御学習の研究で明らかになってきているが、問題はそれを、今回対象としているようなハイパーメディア学習環境という、より内容がリッチで非線形的な情報構造をもっている文脈の中でどのように支援するかであろう。

ハイパーメディア学習環境における学習者モデルの構築とともに、Azevedoらは、これまでのより構造化された課題における問題解決学習(e.g., Aleven & Koedinger, 2002)でその効果を発揮してきた「足場掛け(scaffolding)」という概念に着目し、それを援用して学習効果の向上を試みている。これまで学習者の自己制御活動を支援する外的な援助としては大きく2つが考えられてきた。一つは「固定された足場掛け(fixed scaffolding)」であり、もう一つは「適応的な足場掛け(adaptive scaffolding)」である。固定された足場掛けは、通常学習セッション前に行われる学習方略に関する講義式の支援を意味する。複雑なハイパーメディア学習環境においては自己制御学習が重要であり、それを実施するステップにはどのような下位課題が存在するのか、また、その進行をどのようにモニターするのかなどが、彼らの実験の場合は30分ほど教示される。これに対して適応的な足場掛けとは、人間のチューターが学習セッション中に必要に応じて、自己制御学習を促進するような支援を行うものである。学習者自らが、自分の学習活動の不備に気づき、それに対しての支援を求める場合もあれば、チューターが適宜学習者の進行状況をモニターしながら、支援を行う場合もある。こうした適応的な足場掛けによる支援については、今後知的チュータリング・システムの機能として開発されるべく、そのモデル化を試みているという目的もある。

Azevedoらの一連の研究では、複雑な概念的理解を必要とする課題として、心臓・肺を通る血液の循環システムについての理解や、環境の生態学的なモデルの理解に着目してきた。こうしたテーマに関するハイパーメディア学習環境(e.g., Microsoftのエンカルタ)を異なる年齢の学習者に提示し、そこで異なる「足場掛け」条件で学習を展開してもらいながら、学習活動のプロセスをプロトコ

ルの収集で分析すると同時に、事前・事後テスト・パラダイムを用いて、学習内容に対する学習者の獲得した心的モデル(mental models)の変化、宣言的知識(declarative knowledge)の増加、自己制御活動(learning processes)を、利用された自己制御学習方略から検討している。

彼らの研究の結果は次のように要約される。まず、2つの足場掛けのタイプの違いは、学習者の心的モデルの精緻化に異なる影響を与えていた(e.g., Azevedo, Guthrie, & Seibert, 2004)。大学生を対象とした場合、「適応的な足場掛け」条件における心的モデルの精緻化は著しいが、「固定された足場掛け」条件では逆に学習者のモデルの精緻化を妨害する場合もあることが示唆されている(Azevedo & Cromley, 2004)。さらに、こういった足場掛けの条件の違いは、発達段階によってもその効果の現れ方が異なり、高校生や中学生では「固定された足場掛け」条件でも、心的モデルに促進効果がみられている。一般的な統制条件としての「足場掛けなし」条件では、やはり予想どおり心的モデルの有意な促進はみられていない。

第2に、宣言的知識の向上においては、いずれの足場掛け条件も、大学生の被験者には有意な効果をもっていたことがわかっている。しかし、これも発達段階によって異なる効果が現れており、より低年齢の学習者においては、「適応的な足場掛け」条件においてのみ、宣言的知識の向上がみられている(Azevedo, Cromley, Winters, Moos, & Greene, 2005)。

第3には、彼らの開発したハイパーメディア学習環境における学習者の自己制御活動のモデルにみられる33の活動が、実際に学習者が学習活動を展開しているときにどれくらいの頻度で出現したかを条件間で比較検討している(Azevedo, Moos, Winters, Greene, Cromley, Olson, & Godbole-Chaudhuri, 2005)。これまでの内容理解の結果にもみられるように、足場掛けのない学習条件では、学習者の活動の中に自己制御学習活動の側面が現れる頻度は比較的少ないことがわかった。これは、自己制御活動ができない、あるいは活性化されないことによって、心的モデルの精緻化や宣言的知識の向上がみられないことを意味している。これに対して「固定された足場掛け」条件の学習者は、提示された内容の側面を取り扱うモニタリング活動を頻繁に行うが、自分自身の認知についての理解モニタリングはそれほど行わなかった。また、学習するトピック自体への関心は高く、モニタリング以外の自己学習方略(効果的あるいは非効果的なもの)を利用しようとする傾向を示した。これに対して「適応的な足場掛け」条件では、チューターをうまく利用することで、より豊富でかつ適切な自己制御学習方略の適用を学習者が試みていたという興味深い結果を示している。

こうしたハイパーメディア学習環境における学習者のもっている学習方略の特性と、それを支援する教授的介入の研究が進んでいることは、学習環境としての教材あるいは環境が、学習者との間にどのような相互依存関係をもつべきかについて、さらに深く研究を進めていくべきであることを示唆しているともいえよう。筆者はハイパーメディア学習環境における自己制御学習活動の重要性についての知見を総括的にみたときに、今後の発展の方向性として次のようなことを期待している。読者の誰もが想像することかもしれないが、第1の研究の発展方向性は、提供される環境の特性と学習者の方略的知識の相互依存性についてのより詳細な検討である。先に少し記述したが、環境として提供すべき電子教材が、そこで述べられている教材内容の概念的理解を促進するためにもつべき構造については原則的な指針が明らかにされている。たとえば、そうした教材デザインの原則は、今のところ学習者の自己制御学習方略などの個人特性を考慮したものではないようである。そこにどのような相互依存性があるのかをさらに実験的なアプローチで明らかにしていくことは、非常に有意義であると考えられる。

第2に、第1の点と関連するが、教材内容の理解を促進するために、自己制御学習活動を促進させることが目指され、そこで利用されている教授的介入である足場掛けの精緻化である。Azevedoらの一連の研究では、特に適応的な足場掛けと呼ばれる学習中に学習者に付き添うチューターが行う支援のあり方についての言及が未だ十分ではない。「適応的」であるということは、その場の状況を教授的介入者として判断し、そして行動を起こしているはずであり、その判断基準や支援方略などにも、自己制御活動を支援する教授介入方略がありうるであろうと考える。一つのヒントは、Chiらの一連の研究にみられる「自己説明活動 (self-explanation)」を通した理解の促進ではないだろうか。自己説明とはあくまで外的に観察可能な学習者の活動ではあるが、こうした「自己に説明させる」という活動を学習者にうまく教授することによって、自らの内容理解を促進するため、心的モデルにみられる誤りの修復や、さらなる構築が促進されるということが徐々に明らかになりつつある (Chi & Bassok, 1989; Chi, De Leeuw, Chiu, & Lavancher, 1994)。Renkl (1997), Renkl & Atkinson (2003) などの研究にみられる自己説明活動を通したより具体的な学習方略の教授介入研究などが参考にされることで、ハイパーメディア学習環境における自己制御学習を活性化して内容理解を促進できると考えられるだけでなく、自己制御学習活動自体の学習も促進可能であると考えられる。

第3に、内容理解を促進するだけでなく、内容をより

深く理解することを可能とする学習方略の獲得を促進する教授的介入の検討が必要であろう。そのときどきに、教授したい内容をより適切に学習者に理解させたいということは、現在でも教育現場に携わる多くの実践者や研究者がもっている望みではあるが、それを実現する方法が、「将来学習者が新しい学習場面で適切に理解を深めていくことができるようになる」ことを保証、あるいは期待するものとは限らない。ハイパーメディア学習環境に関する研究の問題意識には、この学習者としての成長に関する記述が今のところ明確ではないのである。「情報量が豊富で、かつ自ら学習していくことができれば、これまで以上に概念的理解が深まる」という命題について、それが真であるための条件を明確にするだけではなく、「より複雑でチャレンジングな学習であるからこそ、それに挑戦し努力することによって、将来学習者が新しい学習にチャレンジしなくてはならないときの準備ができる」という命題についてもその真偽を確かめようとするアプローチが必要なのである。

2. 認知的負荷理論と e-ラーニング (マルチメディア学習環境)

自己制御学習活動は、学習者の学習資源として高次なレベルを取り扱っていたといえる。これとは別に、より基本的な人間の認知的アーキテクチャーの問題を学習環境の研究として取り扱おうという試みをしているのが、「認知的負荷理論 (cognitive load theory)」である。学習状況で、学習者はその課題要求と自らの先行知識のレベルに合わせて、作業記憶の容量を適切に分割して利用しなくてはならない。こうした前提をもとに、その作業記憶にかかる認知的な負荷を教材や学習活動によって軽減することができないか、教授デザインとして検討する研究領域がある (Paas, Renkl, & Sweller, 2003)。

学習状況において学習者が認識する認知的負荷には次の3種類があると考えられている。まず、第1の負荷が「本質的な認知的負荷 (intrinsic cognitive load)」である。これは課題の基本的な要求事項によって生じる必要不可欠な認知的負荷であり、学習者はこの負荷を越えるだけのリソースをもっていないと、その課題を解決することはできない。課題解決に必要なさまざまな要素の複雑性 (通常、要素間の相互関連性) によって、認知的負荷の大きさは決定される。たとえば、画像編集ソフトの例を Paas et al. (2003) では取り上げているが、12個のファンクション・キーによる画像編集の個々の機能の一つずつ憶えることが課題として出される場合、12個と数が多いにしろ、一つずつ確実に学習していけばそれ自体の認知的負荷はさほど大きくない。こうした学習要素の間に重要な相互依存性がない場合、その学習の複雑性は高くはないと考え

る。ところが、それらの機能を使って、色のトーンを変えるであるとか、明るさ、コントラストを調整するであるとかといった課題が出されると、学習した機能を調整して利用しなくてはいけなくなる。要素間の相互依存性が重要となる課題要求では、学習者の認識する本質的な認知的負荷は急激に高くなる。

初期の研究では、こうした本質的な認知的負荷を教授・学習デザインによって軽減させることはできないと考えられてきた。それは「本質的」であり、課題自体がもっている要求なので、課題要求自体を変えずに負荷を軽減することは不可能であると考えられていた。しかし、最近の研究では、ここにも学習者の知識スキーマの自動化と構築による負荷の軽減の余地があり、それを教授・学習デザインとして適切に検討することも可能となるという考え方が強くなってきている。こうした発展的な考え方を踏まえてもなお、やはり学習初期における本質的な負荷についてはそれを軽視することはできず、どれほどの負荷が学習者に認識されるのかについて、教授・学習を設計する側がより正確に把握しておく必要性は変わらない。

第2の負荷が、教授デザイン研究でそのターゲットとされてきた「非本質的な認知的負荷 (extraneous or ineffective cognitive load)」である。実際に学習内容を理解していくためには本質的には関係ない活動を強いることによって学習者の中に生じる認知的負荷の総称である。たとえば、三角関数の公式を用いて図形の証明問題を解決することを考えてみよう。もし、三角関数をそうした図形の証明に適用して理解を深めることを目的とした学習であるとすると、本来は三角関数の公式を正確に記憶しておくことを要求するべきではない。もちろん、それを正確に記憶しておくことができること自体は別の学習の成果として非常に重要ではあるが、それを適用して図形の証明を考えさせる場合に、それを正確に憶えておかねばならない、あるいは必死で思い出させるという認知的負荷を学習者に強いることは「本質的」であるとは考えられないのである。また、よりe-ラーニング環境に近い例でいえば、情報がハイパー構造の中で構成されることによる弊害の一つに、大量の情報リソースがすぐには見つからない形で「どこかにある」という学習状況において、学習者に検索を強いることがある。これも、本来学習させたい内容から考えると、そのこと自体は「本質的」であるとは考えられないのである。ところが、こうした状況は通常の教室場面、あるいは学習状況ではよく見受けられる。また、そのこと自体が「本質的」な学習要素であると考えられているともいえる。こうした考え方に對して、認知的負荷理論の研究者は大いに異を唱えるの

である。

第3の種類は、「適切な認知的負荷 (germane or effective cognitive load)」と呼ばれるものである。通常の問題解決場面では、課題要求に基づく本質的な認知的負荷と非本質的な負荷によって学習者の作業記憶容量のほとんどは消費されてしまうかもしれない。認知的負荷理論に基づいて教授・学習デザインを試みる研究者たちは、非本質的な認知的負荷を軽減することによって、そこで生じる作業記憶の資源を学習中に学習者が自ら新しい情報を知識スキーマへと構築したり、あるいは自動化したりする認知的プロセスに配分するよう支援しようとしている。こうしたメタ認知的な側面が適切な認知的負荷と呼ばれるものである。具体例などの訓練を繰り返す中で、その理解が深まっていく根底には、知識のスキーマ化を支援する私たちの認知的アーキテクチャーとプロセスがあり、認知的負荷理論はそれを説明してくれるのである。先行知識の少ない領域では、課題要求に新規な要素が多く、その相互依存性も高ければ、本質的な認知的負荷は高くなってしまふ。しかし、非本質的な認知的負荷を取り去ることによって、そこで生まれる適切な認知的負荷があつて初めて、学習している内容を振り返り、理解を構築することが助けられているのである。一旦知識がスキーマ化されると、それを利用して課題を解決するときの本質的な負荷は軽減される。非本質的な負荷もなければ、以前よりも多くの適切な認知的負荷が期待される。そこで起こる振返りは、さらに知識のスキーマを自動化したり構築したりできる状況を生み出す。

数多くの実験を積み重ねてその実証性を確認してきた認知的負荷理論は、現在教授・学習活動をデザインする上で、次に示すような示唆を与えてくれるものとなっている。

(1) 認知的負荷を軽減する足場掛け

認知的負荷理論が、具体的な教授・学習活動のデザインについて取り扱っている興味深い問題の一つが、学習の系統性(sequencing)である。誰もが承知のように、伝統的な教授・学習活動のデザインでは、「基礎から応用へ」あるいは「シンプルなものから複雑なものへ」と課題要求の複雑性が徐々に増す学習の系統性が採用されてきた。

しかし、最近の学習研究の理論では、こうした「シンプルなものから複雑なものへ」という複雑性が増加する系統性のもつ学習効果に異を唱えることが多い。代表的な批判の理由の一つは、課題のもつ真正性である。そもそも教授目標が学習を通して理解させたい内容(別の言い方をすれば獲得させたい知識構造)を、深く理解されることによって新しい場面において転移させることを目指しているとすれば、そうした学習活動に最も適した課題とは、

知識が利用されるべき状況と同じくらい複雑でかつその全体像がみえていなくてはならないという。Collins, Brown, & Newman (1989) の認知的徒弟制度 (Cognitive Apprenticeship) や Schank, Berman, & Macpherson (1999) の目標に基づいたシナリオ (goal-based scenario), あるいは Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1997) のアンカーをつける教授法 (anchored instruction) などがあるような主張をしている。

こうした課題の真正性を問うことによって、知識構造が構築できていない初心者により現実的で複雑な課題を提示するということは、認知的負荷理論の推奨するところではないように解釈できる。すなわち、課題要求の複雑性があまりに高すぎて、本質的な認知的負荷が学習者の作業記憶の容量を超えてしまうと判断されるからである。ここに、日常の場面で生じる真正性の高い学習実践と、これまでの認知科学的な研究から明らかにされてきた人間の情報処理能力を規定するアーキテクチャーの仮定との不一致が現れるのであるが、実証的な根拠はこのいずれをも支持している。それでは、課題の真正性を重視しその全体的な要求を崩すことなく学習が展開されることを重視する全体課題アプローチ (whole-task approach) と、そこに生じる避け難い本質的な認知的負荷を主張する認知的負荷理論の考え方は、どのように融合可能なのであろうか？

実はこうした一見矛盾する知見の間には密接な関連性があり、決して排他的な解釈ではないということが、van Merriënboer, Kirschner, & Kester (2003) などの論考からわかってくる。彼らの述べている学習者の理解の向上に必要な課題のもつべき特性や、それを促進するための支援のあり方は、熟達化における「よく考えられた訓練 (deliberate training)」(Ericsson, Krampe, & Tesch-Roemer, 1993) を人間の認知の基盤であるアーキテクチャーの特性から解釈することにも値する。

van Merriënboer らの論考では、全体課題アプローチによる教授・学習活動のデザインは必ずしも認知的負荷を増加させるだけではないという。そうしたアプローチにおいても負荷をコントロールし、課題の全体性を提示することの学習効果と、認知的負荷を下げることによる学習可能性の向上を両立させることができると論じている。その方策の一つは、全体的な課題要求を維持したまま、それを達成するための条件をより簡素化することである (Reigeluth, 1999)。たとえば、何らかの関連文献をデータベースで探索しなければならない問題を想定して考えてみると (van Merriënboer et al., 2003), 課題要求の内容は次のように考えられる；①探索しなくてはならない論文のテーマあるいはコンセプトの明確性、②関連文献の総

数、③関連する記事が刊行される領域、あるいはそれらを含むデータベースの数、④探索のタイプ、⑤入力するキーワードの数。これらそれぞれの側面において、その条件をできる限りシンプルにすることで、課題の要求を変えることなく本質的な認知的負荷を軽減した課題のタイプを生成することができる。教授・学習活動のデザインにおける全体課題アプローチにおいて、こうした同じ課題要求による異なるレベルの条件の複雑性の分類を行っておくことは重要な課題分析であり、たとえば White & Frederiksen (1990) はこうした分類を問題セット (problem sets) と呼んでいる。このように、同じ課題要求がその条件の複雑性によって学習の系統性をもつことで、課題の真正性を維持したまま学習者に合った認知的負荷のレベルの課題から学習をスタートさせることができるのである。

(2) 具体例を用いた教授・学習

さらに認知的負荷理論が検討している問題の一つが、具体例 (worked-out problem) を用いた教授・学習のデザインである。通常の問題では、初期状態と目標状態が与えられ、初期状態から知識を活用しながらそれを目標状態へと変換していくことが学習者に求められる。利用される知識はこうした問題を提示される以前に、宣言的知識として教授される場合が多い。この初期に行われる「宣言的知識の獲得」と「問題解決学習」のちょうど中間に「具体例による学習」が挿入される場合がほとんどであろう。具体例の果たす役割は、宣言的知識を問題解決に利用可能な知識へと変換することを促進するものである。

こうした具体例の効果については、必ずしも普遍的ではなく、具体例を通して適切な知識の統合を行うことができる学習者とそうでない学習者がいることが明らかになっている。Chi らの研究にみられるような「具体例から何をどのように学ぼうとするのか？」という認知的方略の個人差があり、それを彼女らは自己説明という活動を通して検討している。たとえば Chi & Bassok (1989) は、同じように物理学のテキストを学習した大学生に、それに続いて具体例を学習させると、その後の学習成績の違いは具体例を学習している際の自己説明の頻度や質の違いで説明可能となることを示した。この結果が示していることは、同じように宣言的知識を学習した者でも、具体例を通してその宣言的知識の理解をどのように深めていくかについて、その方略的知識に個人差があり、その学習効果は必ずしも普遍的には現れないということである。これを受けて、自己説明活動を通してみられる学習者の認知的方略のカテゴリ分けや、それらを適切に訓練する研究が展開し成果を上げてきている (Renkl, 1997)。

こうした具体例を通した自己説明活動の重要性を支えている認知的資源が、認知的負荷理論でいわれる適切な認知的負荷なのである。具体例を通した学習の場合、その基盤となる宣言的知識を獲得できているとすれば、その課題の本質的な認知的負荷は高くはない。提示されている解法を、獲得している宣言的知識を利用して関連づけていけばよいのである。このために、適切な負荷として認知的資源が利用されることが期待されるのであるが、自己説明活動には個人差についての言及や、これまでの具体例を通した学習研究も示しているように (Renkl, Stark, Gruber, & Mandl, 1998), 学習者は余剰にある自分の認知的資源を自らの知識スキーマの構築や自動化に適用するとは限らない。すなわち、そうした学習者にとって具体例は「簡単ですぐわかる問題」でしかなく、「注意深くその意味を考え、自分の知識を活用してみる問題」としては認識されないこともある。

認知的負荷理論はこうした学習に対する姿勢に対して、課題要求を操作することで学習者の自主性を高めるという方策を考えている。その一つが完成課題 (completion task) である (van Merriënboer & Krammer, 1987 ; van Merriënboer & Paas, 1989)。完成課題とは、具体例の修正版として位置づけられ、具体例として提示される課題の解法が未完成のまま学習者に与えられる。学習者は、その部分的な解法を理解しながら、それを完成させるために自分の知識を活用するのである。完成課題は、通常の問題解決学習において提示される課題要求と、具体例の中で提示される課題の解法のミックスとも捉えられるが、そうすることで、学習者に対して主体的に問題に取り組ませるという通常の問題解決学習の特徴と、認知的な負荷を下げることでより自分の知識スキーマの構築や自動化を行うという2つの促進効果が期待されている (e.g., Paas, 1992 ; van Merriënboer, 1990 ; van Merriënboer & de Croock, 1992 ; van Merriënboer, Schuurman, de Croock, & Paas, 2002)。さらに、これらの研究のいくつかでは、課題の本質的、適切な認知的負荷を調節することで、足場掛けとしての具体例の系統性を検討している。

(3) 認知的負荷理論に基づいた教授・学習デザイン

これまで課題自体がもっている認知的負荷 (主に、本質的なものと適切なもの) をどのように調整して、学習者の学習活動を支援することができるかについて検討してきたが、さらに学習者は与えられた課題を解決していく際にそれに関連したさまざまな情報を必要としているのも事実である。これは、教授・学習をデザインしている側からみれば、課題を解決する際に学習者にもっておいてほしい先行知識や技能を意味する。本来それらすべてにおいて準備万端であってほしいが、学習者がそうであるこ

とはまれであるので、必要な場合はその情報を適宜提供しなくてはならない。ここで問題となるのが、そうした情報提供の仕方である。認知的負荷理論では、関連情報の提供の仕方一つで、学習者の認識する認知的負荷が基準値を超えて学習が不可能となるケースを予測することができる。

たとえば Kester, Kirschner, van Merriënboer, & Baumer (2001) は、課題解決に学習者が必要とする関連情報を2つに分類している。その一つは、「支援情報 (supportive information)」である。課題を解決する際に必要とされる知識スキーマのようなものであり、それ自身の構築に多大な認知的負荷を割かねばならないもので、学習者が課題を解決する以前に十分に理解し長期記憶に貯蔵し、必要なときに活性化させて利用すべき情報である。こうした情報は、課題解決が開始される以前に十分に学習者に理解させるように提供する必要がある。さもないと、課題解決中にその関連情報を初めて知る学習者は間違いなく認知的負荷のオーバーロードを経験することになる。もう一つは「手続き的情報 (procedural information)」と呼ばれるものである。この種の情報はそれを実行すること自体に学習者が大きな認知的負荷を認識するものではないため、必要なときに適宜提供することで課題の遂行を支援することが可能である。

これまで述べてきた認知的負荷理論の示唆する全体課題アプローチにおける足場掛けを、教授・学習活動のデザインの枠組みとしてまとめたものが Figure 1 である。

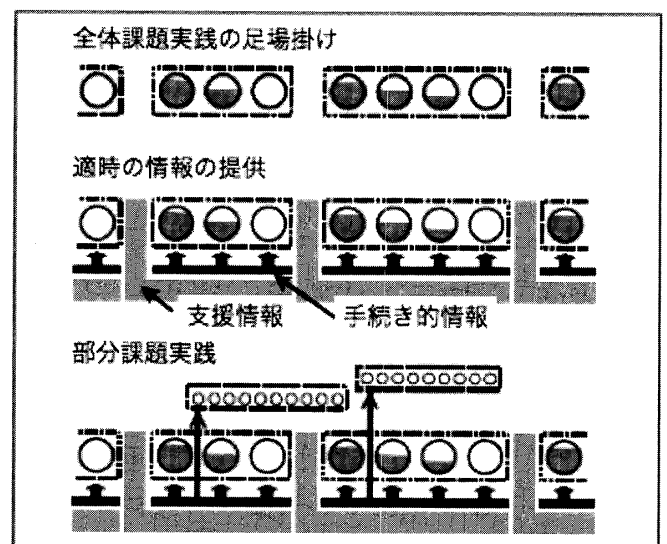


Figure 1 認知的負荷理論に基づいた教授・学習デザインの枠組み (van Merriënboer, Kirschner, & Kester, 2003)

上段のスキーマは、全体課題アプローチにおいて、同じレベルの課題 (破線で囲まれている課題群。課題一つひとつは

○で示されている)について、本質的な認知的負荷の軽減された課題の形態(○のグレーに塗られた領域が足場掛けの量を意味している)から徐々に支援が外されていき、最終的に支援なしで課題を解決するように系統性が設計されている。また、中段のスキーマにはさらに関連情報の提供のタイミングが付加されている。グレーのL字型の領域は支援情報を意味しており、新しいレベルの異なる負荷の課題群が提示される以前に必要な支援情報の学習が設定されているのがわかる。さらに、手続き的信息が各課題を解決する際に適宜提供されることになる(のこぎり型の上向きの矢印がそれを示している)。そして、最後に下段に示してあるのが、部分課題アプローチのスキーマである。これまでの論議で全体課題アプローチの優位性について主張してきたが、やはり重点的かつ自動化が要求される部分については、部分課題アプローチは必要とされ、有効であることもわかっている。

このように、認知的負荷理論は、学習者が学習活動を展開する際に与えられるあるいは自ら発見する課題自体がもつ認知的負荷と、彼ら自身もっている認知的資源との相互依存性について、これまで以上に詳細な検討を可能とする理論的枠組みを提供し、そこから得られた教授・学習活動のデザインの視点は、汎用性の高い教授学的なデザイン原則を導き出しているといつてよいだろう。特にe-ラーニング学習環境におけるインストラクショナル・デザインについて警笛を鳴らしていると思われる点は、課題解決に関連した情報を提供する時期についての示唆ではないだろうか？ これまで開発されてきたシステムの多くは、「タイムリーな情報提供」ということを重視してきたともいえるが、提供される情報のもたらす認知的負荷によっては学習を阻害することがあるという考えは、今後の開発において大きな着目点である。

たとえば、学習者がハイパーメディア学習環境において自己学習を展開することをもう一度考えてみると、自己制御学習方略の獲得やその精錬(あるいは自動化)には適切な認知的負荷が利用されると考えられる。しかし、多くのハイパーメディア学習環境の情報の提供の仕方、あるいは学習者自身がハイパー構造化された情報を必要に応じてサーフする活動から得られる情報の入手の仕方は、そのタイミングがすべて「手続き的信息」の提供に対応するタイミングで行われているともいえる。すなわち、本来であれば課題解決以前に十分な時間を取って学習することが期待されている関連情報すら、それが必要とされるタイミングで、システムから提供、あるいは学習者自らがリンクをクリックすることで探し出すというものである。こうした学習状況は不必要に学習者の認知的負荷を高めており、それによって、本来学習されることが

期待される内容に関する概念的理解や、それらを獲得する学習方略である自己制御学習方略を構築する資源が削減されていることになる。

さらに今後学習環境のデザインを考える上で参考となるのは、課題の提示形態によって、学習者の認識する本質的な認知的負荷と適切な認知的負荷を調節することで、主体的な学習活動に参加させながら、かつ支援から適切な理解を獲得させることが可能となるかもしれない点である。これまでの研究成果では、その効果に対してはポジティブな結果が多くみられているようではあるが、今後さらにハイパーメディア学習環境での検討が期待されるところである。

しかし、認知的負荷理論については、まだその実用性の面において、問題がないわけではない。特に今後基礎的な研究が期待されるのが、認知的負荷の測定手法である。現在のところ、頻繁に使われているのは学習者自身の自己評価であるが(Brüken, Plass, & Leutner, 2003; Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003), その評価手法の妥当性については未だ議論の余地はある。知的チューリング・システムなどに負荷評定を任せる場合に考えられることは、学習者が行う活動のログからの推論による負荷評価のアルゴリズムを考案することであるが、この可能性についても今後さらなる開発が期待されるところであろう。

おわりに

本稿では、最近注目されている学習に関する心理学的研究成果を踏まえて、広くは教授・学習活動のデザインにどのような示唆を得ることができるか、より特化した形では、新しい学習環境の一つとしてのe-ラーニング環境において何を今後検討していかなければならないかを限られた紙面で検討してきた。もちろん今回取り上げた2つの学習理論がすべてではないが、そのいずれもがこれまでとは異なる学習環境をターゲットに今後発展の可能性が十分に期待されるものであることは間違いない。国内における研究成果の発表は未だ限られているが、研究テーマの重要性、さらに理論の発展性の観点からみても、多くの研究者の注意を引きつけてやまない研究領域となると信じている。

引用文献

- Aleven, V., & Koedinger, K. (2002). An effective metacognitive strategy : Learning by doing and explaining with a computer-based cognitive tutor. *Cognitive Science*, 26, 147-181.
- Azevedo, R. (2005). Using hypermedia as a

- metacognitive tool for enhancing student learning? The role of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, **40**, 199-209.
- Azevedo, R., & Cromley, J. G. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students' learning with hypermedia? *Journal of Educational Psychology*, **96**, 523-535.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., Winters, F. I., Moos, D. C., & Greene, J. A. (2005). Adaptive human scaffolding facilitates adolescents' self-regulated learning with hypermedia. *Instructional Science*, **33**, 381-412.
- Azevedo, R., Guthrie, J. T., & Seibert, D. (2004). The role of self-regulated learning in fostering students' conceptual understanding of complex systems with hypermedia. *Journal of Educational Computing Research*, **30**, 87-111.
- Azevedo, R., Moos, D. C., Winters, F. I., Greene, J. A., Cromley, J. G., Olson, E. D., & Godbole-Chaudhuri, P. (2005). Why is externally-regulated learning more effective than self-regulated learning with hypermedia? In C-K. Looi, G. McCalla, B. Brewster, & J. Breuker (Eds.), *Artificial intelligence in education : Supporting learning through intelligent and socially informed technology* (pp. 41-48). Amsterdam : IOS Press.
- Boekaerts, M., Pintrich, P. R., & Zeidner, M. (Eds.) (2000). *Handbook of self-regulation*. New York : Academic Press.
- Brüken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, **38**, 53-61.
- Chi, M. T. H., & Bassok, M. (1989). Learning from examples via self-explanations. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction : Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 251-282). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. H. T., De Leeuw, N., Chiu, M. H., & Lavancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, **18**, 439-477.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (CTGV) (1997). *The jasper project : Lessons in curriculum, instruction, assessment and professional development*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship : Teaching the craft of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction : Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-493). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research : Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, **13**, 15-42.
- Dunbar, K. (1993). How scientists really reason : Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sternberg & J. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 365-369). Cambridge, MA : MIT Press.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Roemer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, **100**, 363-406.
- Hartley, K. (2001). Learning strategies and hypermedia instruction. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, **10**, 285-305.
- Jacobson, M., & Archodidou, A. (2000). The design of hypermedia tools for learning : Fostering conceptual change and transfer of complex scientific knowledge. *Journal of the Learning Sciences*, **9**, 149-199.
- Kester, L., Kirschner, P. A., van Merriënboer, J. J. G., & Baumer, A. (2001). Just-in-time information presentation and the acquisition of complex cognitive skills. *Computers in Human Behavior*, **17**, 373-391.
- 益川弘如 (2004). ノート共有吟味システム ReCo-Note を利用した大学生のための知識構成型協調学習活動支援 教育心理学研究, **52**, 331-343.
- Mayer, R. (2003). Learning environments : The case for evidence-based practice and issue-driven research. *Educational Psychology Review*, **15**, 359-373.
- Narayanan, N. H., & Hegarty, M. (1998). On designing comprehensible interactive hypermedia manuals. *International Journal of Human-Computer Studies*, **48**, 267-301.
- 大島 純 (1998). コンピュータ・ネットワークの学習環境としての可能性 佐伯 胖ほか(編) 講座・現代の教育 : 第8巻 情報とメディア (pp. 219-239) 岩波書店
- 大島 純 (2004). 最近の学習研究の方法論とその成果 教育システム情報学会誌, **21**, 157-167.

- 大島 純・野島久雄・波多野誼余夫(編) (2006). 教授・学習過程論—学習科学の展開— 放送大学教育振興会
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : A cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, **84**, 429-434.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design : Recent developments. *Educational Psychologist*, **38**, 1-4.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, **38**, 63-71.
- Reigeluth, C. M. (1999). The elaboration theory : Guidance for scope and sequence decisions. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models : A new paradigm of instructional theory*, Vol. 2 (pp. 425-453). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples : A study on individual differences. *Cognitive Science*, **21**, 1-29.
- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2003). Structuring the transition from example study to problem solving in cognitive skill acquisition : A cognitive load perspective. *Educational Psychologist*, **38**, 15-22.
- Renkl, A., Stark, R., Gruber, H., & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples : The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, **23**, 90-108.
- 佐伯 胖 (1997). 新・コンピュータと教育 岩波書店
- Schank, R. C., Berman, T. R., & Macpherson, K. A. (1999). Learning by doing. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models : A new paradigm of instructional theory* Vol. 2 (pp. 161-181). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Shapiro, A. (2000). The effect of interactive overviews on the development of conceptual structure in novices learning from hypermedia. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, **9**, 57-78.
- 植野真臣 (2005). 先端的 e-Learning の理論と実践 教育心理学年報, **44**, 126-137.
- van Merriënboer, J. J. G. (1990). Strategies for programming instruction in high school : Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, **6**, 265-287.
- van Merriënboer, J. J. G., & de Croock, M. B. M. (1992). Strategies for computer-based programming instruction : Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, **8**, 365-394.
- van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind : Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, **38**, 5-13.
- van Merriënboer, J. J. G., & Krammer, H. P. M. (1987). Instructional strategies and tactics for the design of introductory computer programming courses in high school. *Instructional Science*, **16**, 251-285.
- van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1989). Automation and schema acquisition in learning elementary computer programming : Implications for the design of practice. *Computers in Human Behavior*, **6**, 273-289.
- van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., de Croock, M. B. M., & Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training : Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, **12**, 11-37.
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1990). Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments. *Artificial Intelligence*, **42**, 99-157.
- Zimmerman, B., & Schunk, D. (Eds.) (2001). *Self-regulated learning and academic achievement* (2nd ed.). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.