

# 解説

## オートメーションと付き合うために 知っておくべきこと —— 認知的廃用性萎縮の課題 ——

What We Should Know When Utilizing Automation Systems :  
Issues on Cognitive Disuse Atrophy

三輪和久

### Abstract

現代社会は、あらゆる種類の自動化システムに支えられている。自動化システムに代表されるコンピュータによる作業支援は、作業遂行能力を向上させる一方で、過剰利便性の副作用が起こす課題を意識することも少なくはない。本稿では、過剰利便性の副作用としての課題遂行能力の退化を、人間機械系における過剰支援に伴う「認知的廃用性萎縮」と捉える。「廃用性萎縮」とは、長期にわたる身体動作支援において、特定の身体的機能を使わないことにより、筋肉等の機能が縮退する現象を指す。本稿で議論する過剰利便性の副作用の問題は、これらの萎縮が、身体的機能に限らず、認知的機能においても生じる可能性があることを意味する。本稿では、認知心理学や学習科学、教育心理学の領域で確立されてきた認知負荷理論と達成目標理論という二つの理論に基づき、認知的廃用性萎縮の背後にある人間の認知情報処理の諸特性を明らかにするとともに、その解決へ向かう土台を与える。

キーワード：自動化システム、認知的廃用性萎縮、支援ジレンマ、認知負荷理論、達成目標理論

### 1. はじめに

#### 1.1 第3の道具

人間は、人工物を道具として使用する力を持つことによって、万物の霊長に君臨するに至ったと言っても過言ではない。ナイフやハンマーは、古来から使用されてきた古典的な道具である。これらの道具は、人間の身体活動を拡張するために使用された。20世紀も後半に至ると、これらの人工物とは全く性質の異なる道具が日常にあふれるようになった。それが、コンピュータに代表される認知的人工物と呼ばれる道具である<sup>(1)</sup>。これらの道具は、情報を保持、表現、操作する機能を持ち、人間の認知的活動を支援するために用いられる。

近年、テクノロジーは更に発展し、お掃除ロボットや自動運転システムといった自律的に活動し、人間の課題遂行を代行する自動化システムが現れるようになる<sup>(2),(3)</sup>。これらの道具は、多くの点で先の二つのタイプの人工物とは大きく異なる性質を持ち、いわば第3世

代の道具と捉えることができる。まず第1に、認知的人工物においては、課題遂行の主役はユーザであり、人工物が担う機能はユーザの支援であった。そこでの課題遂行のパフォーマンスを決める最も重要な観点は、両者の相互作用であった。一方、自動化システムにおいては、課題遂行の主役はシステムとなる。自動化システムに対する人間の関与は、相互作用というよりも、監視といった側面が強くなる。第2点として、自動化システムは、これまでの人工物に比して、極めて複雑な情報処理を行い、ユーザはシステム内部で行われている処理を理解することが困難になっているということが挙げられる。これらの点は、第2世代の認知的人工物においても指摘されていたが、内部処理のブラックボックス化の程度は、その比ではない。

#### 1.2 認知的廃用性萎縮

現代社会は、あらゆる種類の自動化システムに支えられている。自動化システムに代表されるコンピュータによる作業支援は、作業遂行能力を向上させる一方で、過剰利便性の副作用が起こす課題を意識することも少なくはない。自動化システムというほど大きなものではないものの、認知処理を代行するシステムは、我々の日常にもあふれている。例えば、漢字の想起を代行するワー

三輪和久 正員 名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻  
E-mail miwa@is.nagoya-u.ac.jp  
Kazuhiisa MIWA, Member (Graduate School of Information Science, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-8601 Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.97 No.9 pp.782-787 2014年9月  
©電子情報通信学会 2014

プロを多用することによって漢字が思い出せなくなったり、また道順検索を代行するナビゲーション支援に慣れ親しむことにより、関連する地図を思い出すことに困難を覚えるようになったりといったことは、誰もが経験したことであろう。また、同種の機能萎縮が、時に大きな事故を引き起こす原因を作り出す危険性も指摘されている。

これらの遂行能力の低下は、過度な支援により人間の側の努力の程度が低下し、課題遂行能力が失われることによって生じる。その意味で、本稿では、これらの過剰利便性の副作用としての課題遂行能力の退化を、人間機械系における過剰支援に伴う「認知的廃用性萎縮」と捉える。「廃用性萎縮」とは、長期にわたる身体動作支援において、特定の身体的機能を使わないことにより、筋肉等の機能が縮退する現象を指す。ここで指摘されている過剰利便性の副作用の問題は、これらの萎縮が、身体的機能に限らず、認知的機能においても生じる可能性があることを意味する。

### 1.3 認知活動の二重性

認知的廃用性萎縮の背後にあるメカニズムを考えるにあたっては、課題に従事している際の認知活動の二重性を理解しなければならない。通常、ある課題に従事するということには、二つの目的がある。一つの目的は、当然のことながら、その課題を遂行することで、作業目標を達成することである。しかし、課題に従事することには、それ以外にもう一つの重要な意味がある。それは、その課題を遂行するための知識を学習したり、スキルを獲得したりすることである。「遂行」と「熟達」は、課題に従事することの主要な二つの目的である。ここで重要な点は、二つの認知的活動は、必ずしも同一ではないということである<sup>(4)</sup>。

例えば、ワープロで文章を書いているときのことを考えてみよう。作業目標の達成、すなわち原稿を完成するという目的から見れば、文脈に即して、適切な漢字を想起し、それを次々と文中に埋めてゆくことになる。これが、課題の「遂行」のための認知的活動である。一方で、漢字を記憶したり、自分で書いたりすることができるようになる、つまり漢字の読み書きにおける「熟達」を考えれば、想起時に音と訓の読みを暗唱したり、漢字の書き順を頭の中でなぞってみたり、熟語を思い出すことで他の漢字との結び付きを考えたりという認知活動が必要となる。これが、「熟達」のための認知的活動である。ところが、ワープロで文章を書くときには、後者の認知処理はほとんど行われぬ。我々は、ワープロが提示するリストの中から、当該の漢字を選択するだけである。作業の「遂行」という意味からは、それだけで十分なのである。ワープロに実装された仮名漢字変換は、前者の活動を遂行するためには極めて有用な支援を提供す

るが、一方で後者の活動をしばしば阻害することになる。その結果、漢字の想起や記述に関する認知的廃用性萎縮が起こるのである。

## 2. 支援ジレンマ

### 2.1 支援の保留と提供

「遂行」と「熟達」の二重性は、とりわけ学習支援の研究領域では、支援ジレンマ (Assistance Dilemma) として知られている<sup>(5)</sup>。なお、学習支援の領域では、熟達よりも学習という言葉が好んで用いられるので、以下では熟達を「学習」に置き換えて述べる。支援ジレンマとは、学習効果を最大化するために、どこまで支援を提供し、どこから支援を保留すればよいのかという支援バランスに関わるジレンマである。

Koedinger らは、Cognitive Tutor と呼ばれる知的学習支援システムを用いた長期間にわたる大規模な実践を通して<sup>(6)</sup>、学習支援の「保留」と「提供」に関する利益と損失を、表1のようにまとめている。支援を提供する利益に関しては、学習中の問題 (例題) の解決、すなわち課題の「遂行」が正確になり、支援環境とのコミュニケーションも効率化される。それに伴い、学習者の達成感も増大する。一方で、支援に依存することにより、課題の内容を吟味、省察する態度が低下し (表層的学習)、集中力が損なわれ、結果として深い認知処理を伴う長期記憶活動が消失し、「学習」が定着しない可能性が生まれる (成長機会の喪失)。一方で、支援を保留することは、支援の提供における「学習」の損失を補う可能性がある一方、課題の「遂行」に関わる困難、具体的には、エラーの増大や、それに伴う課題遂行の停滞、混乱による時間の浪費が生じて、更には失敗の繰り返しにより学習活動自体が停止してしまう危険性もある (失敗による挫折)。

ここで、表1を注意深く眺めると、四つのセルのそれぞれは、先に述べた課題の「遂行」、及び「学習」における利益と損失を示してくれることが分かる。例えば、

表1 支援の保留と提供の間に生じる支援ジレンマ 支援保留の利益 (左上) は、学習志向活動における利益、支援提供の損失 (右下) は、学習志向活動における損失を示し、支援提供の利益 (右上) は、遂行志向活動における利益、支援保留の損失 (左下) は、遂行志向活動における損失を示す。

	支援の保留	支援の提供
利益	<ul style="list-style-type: none"> <li>産出効果</li> <li>集中力の促進</li> <li>長期記憶の活動</li> <li>自律的解決の達成感</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>正確さ</li> <li>コミュニケーションの効率</li> <li>支援下での達成感</li> </ul>
損失	<ul style="list-style-type: none"> <li>エラーによる損失</li> <li>停滞、混乱、時間の浪費</li> <li>失敗による挫折</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表層的学習</li> <li>集中力の欠如</li> <li>長期記憶活動の消失</li> <li>成長機会の喪失</li> </ul>

支援の保留における損失に示された三つの項目、エラー、遂行時間、打ち切り等は、課題の「遂行」の成績として測定される項目であるのに対して、利益のセルに示された四つの項目を見てみると、産出効果（自分自身で解を産出する活動に従事することによって現れる効果）や長期記憶の活動は、一般に課題遂行の結果として得られた「学習」の効果として測定される項目である。

支援の程度を大きくして、課題の遂行成績を上げるとは、学習支援において重要なテーマであったが、表1は、話はそれほど単純ではないことを示している。すなわち、ここまでの議論は、支援を増大させると、問題解決のパフォーマンスは高くなり、課題の「遂行」に関わる認知的活動には正の効果が現れる一方で、知識の機械的適用などが増大し、「学習」を志向する活動が抑制される場合が生じる可能性があることを示している。更にそれが高じていけば、そこに認知的廃用性萎縮の問題が現れることになるのである。

図1は、ここまでの議論をまとめたものである。支援の程度を上げてゆくと、課題の遂行成績は上昇してゆく。一方、学習効果に関しては、ある一定のところで最大効果を示すとともに、それを超えると逆に効果は減少してゆくことになる。図1の右半分では、ジレンマは存在しないが、左半分で支援ジレンマが生じることになる。認知的廃用性萎縮は、図1で言えば、その左端の領域で生じる現象であると考えられる。

自動化システムは、人間の課題遂行を代行する。人間は作業から解放され、そこで必要とされることは、課題を遂行することではなく、課題を遂行する自動化システムの動作をモニタすることである。その意味において、図1の左端のレベルでの支援を行うことを意味する。そこでは、自動化システムの性能が十分に高い状況であれば、課題の「遂行」成績は十分に高くなるが、一方で人間の側の「学習」を志向する認知的活動は停止し、その

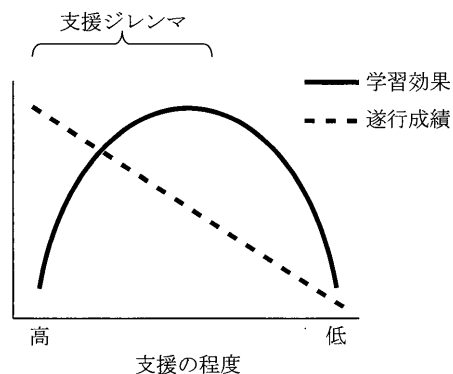


図1 学習効果と遂行成績を、支援の程度の間関数として示したグラフ 支援の程度を上げてゆくと、課題の遂行成績は上昇してゆく。一方、学習効果に関しては、ある一定のところで最大効果を示すとともに、それを超えると逆に効果は減少してゆくことになる。

状態が続くことによって、認知的廃用性萎縮が生まれる危険が増大するのである。

## 2.2 活動バランスの制御

究極的には、自動化システムは人間の活動を完全に代行することが期待される。一方で、現実場面においては、自動化システムの運用は、ある一定の条件を満たしている状況においてのみ限定的に許可されており、その条件を満たさなくなった時点で、システムから人間の側に、操作主体が移動することがほとんどである。オートメーション化が進む様々な領域においても、例えば、航空機の操縦や各種プラントの制御に至るまで、今後もこのような状況が続くものと思われる。

そのような状況において、支援の調整による「遂行」と「学習」という二つの活動のバランスは、極めて重要である。多くの場面で課題の「遂行」をシステムに委託していたとしても、同時に人間の能力が一定以上に保持されるべきであり、そのためには一定の「学習」活動が担保される必要がある。そこでは、「遂行」と「学習」という認知活動の二重性を踏まえて、双方の活動バランスを適切に制御するという視点が大切になってくると思われる。

この問題を考えるにあたって、以下では、認知負荷理論と達成目標理論という二つの理論を紹介する。前者は、主に学習科学や認知科学の分野で、後者は教育心理学などの分野で確立されてきた理論であり、主に人間の学習に関わる研究の文脈において検討が重ねられてきたものである。その上で、これらの理論は、認知的廃用性萎縮という課題を考えるにあたって、その議論の重要な土台を提供するものと考えられる<sup>(注1)</sup>。

## 3. 認知負荷理論

### 3.1 3種類の認知負荷

人間の記憶に関する理論は、それが作業記憶（若しくは、短期記憶）と長期記憶という、それぞれ性質が異なる二つのシステムから構成されているとしている。作業の「遂行」が適切に行われるためには、作業記憶にその処理のための十分な資源が存在することを必要とする。更に、「学習」が起こるためには、作業記憶上での処理を通してスキーマ等が生成され、知識の精緻化、一般化が行われて、それが長期記憶へ記録されることが必要となる。認知負荷理論（Cognitive Load Theory, 以下ではCLTと略す）では、限界のある作業記憶を、いかに効率良くこれらの活動に割り当てることができるかという点が議論されてきた。

(注1) 解説という性質上、以下では、必要最小限の参考文献を挙げるにとどめた。より完全な文献は、文献(7)が参考になる。

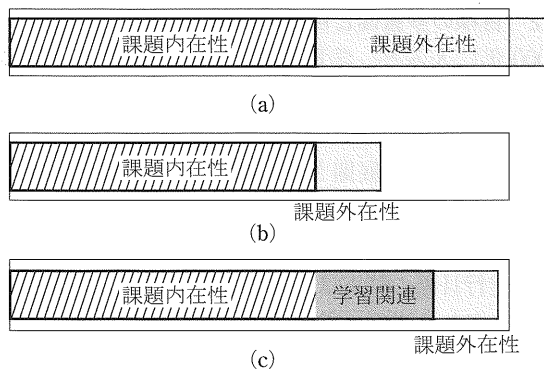


図2 課題内在性負荷，課題外在性負荷，学習関連負荷の関係  
四角の枠は，学習者の認知資源の限界を示す。

CLTでは，学習時の認知負荷を，三つのタイプに分類して考える<sup>(8),(9)</sup>。それらは，課題内在性負荷 (Intrinsic Load)，課題外在性負荷 (Extraneous Load)，そして学習関連負荷 (Germane Load) といった3種類の認知負荷である。課題内在性負荷とは，課題を遂行するために必要とされる基本的な認知負荷である。課題の困難度が大きくなるほど，また課題に対する学習者の熟達度が低いほど，この課題内在性負荷は高くなる。次に，課題外在性負荷は，学習に必要なでないにもかかわらず生じてしまう認知負荷である。課題外在性負荷が増加する最も深刻な原因は，教材デザインの不備である。例えば，関連する情報が適切に配置されていない場合は，学習者はそれらを関連付けるための探索が強いられたり，その探索に失敗して無関係な情報を関連付けたりすることにより，この課題外在性負荷が増大する。更に，学習関連負荷は，学習のために使われる認知資源であり，例えばスキーマの生成のために使われる認知資源はこれにあたる。

図2は，これら三つの認知負荷の関係を示したものである。(a)は，大きな課題外在性負荷が生じて，その結果，課題遂行のための認知負荷が，学習者の認知資源の限界を超えてしまった状態を示している。このような状況になると，学習者は多くのエラーを起こしたり，課題遂行に著しく時間がかかったりして，場合によっては課題遂行が不可能な状態になる。(b)は，課題外在性負荷を減少させて，全体の認知負荷が学習者の認知資源の限界内に収まっている状態である。このような状態では，学習者は課題遂行に困難を感じることなく，一般に高い課題遂行成績を示す。CLTでは，学習を促進するために，認知資源に余裕を作り出した状態で，(c)のように，学習関連負荷への割当が大きくなるように誘導することが重要であるとされる。

### 3.2 認知負荷の制御

Schnotz & Kürschner は，三つの認知負荷の関係を，

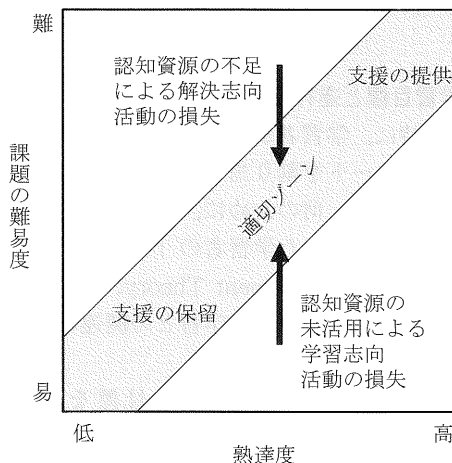


図3 課題の複雑度と学習者の熟達度に基づく支援の保留と提供の指針 左上のゾーンでは，学習者の熟達度に対して課題が複雑すぎる状況を示し，支援の提供が示唆される。逆に，右下のゾーンでは，逆の理由で，支援の保留が示唆される。

「学習者の熟達度」と「課題の難易度」を二つの軸とする平面の上で説明している<sup>(10)</sup>。図3は，彼らの枠組みに基づき，ここまでの議論を整理したものである。

図3の適切ゾーンは，課題の難易度に対する学習者の熟達度が適切で，最大の学習効果を発揮することができる領域を示している (図2(c)の状態に対応)。一方，図3の左上のゾーンは，学習者の熟達度に対して，課題が複雑すぎる状態を示している。課題が困難なため課題内在性負荷が増大し，そこに大きな課題外在性負荷が加わり，課題の「遂行」が困難な状態に陥っている。これは，前述の図2(a)の状態に対応する。この状態に対しては，支援の提供を行い，課題内在性負荷，及び課題外在性負荷を減少させ，課題を遂行するための活動を担保することが必要である。一方で，図3の右下のゾーンは，学習者の熟達度に対して，課題が簡単すぎる状態を示している。学習者の認知資源に余剰が生じている状態であり，図2(b)の状態に対応する。この場合には，支援を保留して学習者の認知負荷を増加させ，それに学習関連負荷を割り当てるように誘導し，「学習」を志向する活動を促進することが必要になる。

これらの議論は，「遂行」と「学習」という二つの活動を同時に遂行させるためには，課題の難易度と学習者の熟達度という二つの要因に応じた，支援バランスの制御が必要とされることを示している。CLTでは，実際に，そのための学習支援システムの設計原則を提案している<sup>(8)</sup>。また，例からの学習 (Learning by worked-out examples)<sup>(11)</sup>という学習支援方法の展開の歴史をたどると，そこに，学習科学の研究者が，この課題の難易度と学習者の熟達度に応じた支援バランスの調整というテーマをどのように展開させてきたのかの足跡が現れ興味深い<sup>(7)</sup>。

## 4. 達成目標理論

### 4.1 学習目標と遂行目標

課題遂行時に、学習者が「遂行」と「学習」のどちらの活動にエフォートを割り当てるかを決定付ける重要なもう一つの要因は、何のために、何を目指してその課題に従事するのかといった学習者の「目標」である。達成目標理論 (Goal Achievement Theory, 以下では GAT と略す) は、学習者の目標と学習との関連に関する重要な理論的見通しを与える。

GAT では、学習者が志向する目標を、学習目標 (Learning Goal) と遂行目標 (Performance Goal) に分ける<sup>(12)</sup>。GAT では、前者が学習を通して自分自身の能力の向上を追求するのに対して、後者は能力それ自体というよりも、自分の能力に関する良い評価を求めることとして定義されている。GAT において扱われてきたこれら二つの目標が、ジレンマ問題における遂行と学習という二つの活動に大きく関わると考えられる。まず、GAT における学習目標が、ジレンマ問題における学習志向活動に直接的に結び付くことは、その定義において了解可能であろう。一方、遂行目標に関しては、GAT においては他者からの優越に関する関心といった社会的要因が強調されるのに対して、ここでの支援ジレンマ問題における遂行志向活動は、それを前提としない。しかし、後者が深い学習よりも課題の遂行を重視するという意味で、本稿で扱う「遂行」を志向する活動に関連する目標であると考えすることは自然である。

GAT では、それぞれの目標が駆動する認知活動の特質、及びそれらが学習に及ぼす優劣に関して、膨大な実証研究が積み重ねられてきた。この学習目標と遂行目標の対置は、様々な文脈において検討されてきた。表 2 は、それらの関係をまとめたものである<sup>(7)</sup>。

表 2 学習目標と遂行目標の対置 それぞれの目標の対置は、それぞれ目標の異なる側面に焦点を当てつつも、似たような属性を抱いた目標群として分類できる。

学習目標・熟達目標 (Learning Goal/ Mastery Goal)	遂行目標 (Performance Goal)	学習を通して自分自身の能力の向上を追求するのに対して、後者は能力それ自体というよりも、自分の能力に関する良い評価を求める。
内在性目標 (Intrinsic Goal)	外在性目標 (Extrinsic Goal)	自身の興味や楽しみのために行動を行うのに対して、報酬を求めたり罰を避けるために行動を行う。
課題関与目標 (Task-involved Goal) 課題目標 (Task Goal)	自我関与目標 (Ego-involved Goal) 能力目標 (Ability Goal)	自己を基準として能力の評価を行うのに対して、他者との比較を通して自分の能力が高いことを示そうとする。

### 4.2 目標の多重性と目標の制御

2000 年に入ると、学習目標と遂行目標という軸に対して、成功追求 (Approach Status) と失敗回避 (Avoidance Status) という軸を加えた  $2 \times 2$  の四つの状態に基づく議論が展開されるようになった<sup>(13)</sup>。遂行目標において、前者は、高い得点を取ることを目指し、後者は、低い得点を取らないことを目指すことを意味している。遂行目標の弊害は、主に失敗回避において顕著に現れるとされ、遂行一成功追求目標に関しては、その有益性に言及される場合が少なくない。Harackiewicz らは、それまでに実施された実証研究のメタ分析から、遂行一成功追求目標は、ほとんどの研究で、課題遂行の向上に効果が見られたことを示している<sup>(14)</sup>。

更に近年では、学習者は、様々な次元から構成される複数の目標を持ち、それらの関係を調整しながら、学習に従事することが明らかになってきている。GAT においても、学習目標と遂行目標は、どちらか一方が選択され、いずれが学習に対して優越性を持つという相互背反的見方ではなく、両者のバランスが必要であるという方向に議論は展開されている。

GAT は、「遂行」と「学習」という二つの認知活動のバランスを制御する手段として、学習者の目標設定の誘導が有益であることを示唆する。GAT 研究全体から見れば、学習者の目標設定の誘導は必ずしも探求の関心の中心にあつたものではないが、幾つかの研究はこの点に言及している。一つは、教示により学習者の目標の誘導が可能であることを示すものである<sup>(15), (16)</sup>。これらの研究では、そこでの課題達成が、知識や技術の向上を促進するという点を強調すると学習者は学習目標志向になり、逆に他者との比較を意識させると学習者は遂行目標志向へ傾くことを示している。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、自動化システムに代表される、近年の高度支援システムの使用における過剰利便性の問題を、認知的廃用性萎縮の課題として議論した。そこでは、作業従事者の「遂行」と「学習」という認知活動の二重性に着目し、後者の認知活動の長期にわたる極端な減少が、認知的廃用性萎縮を生じさせる原因であることを指摘した。認知的廃用性萎縮の課題を克服するためには、二つの認知活動のバランス調整が重要である。

認知負荷理論と達成目標理論は、これらの二つの認知活動の制御に関する重要な手掛かりを与えるものである。両者は、それぞれ異なる立場から、廃用性萎縮の解決に対してアプローチすることができる可能性を示している。認知負荷理論は、学習環境のデザインの問題と一体となって論じられることが多く、それは必然的に、二つの認知的活動の関係を、環境の側、いわば学習者の外

因に基づいて議論する姿勢を生み出した。一方、達成目標理論は、その議論の起源の一部がパーソナリティ心理学に置かれたことから、学習者の側から、すなわち学習者の「内因」に基づくアプローチを展開していると考えられる。

最後に、では我々は、今後この認知的廃用性萎縮という課題とどのように向き合ってゆけばよいのだろうか。

まず考えなければならないことは、完全なオートメーションの技術が確立されれば、人間の側の能力を担保する必要がなくなるのであろうかという疑問である。認知的廃用性萎縮に関わる問題は、完全な技術が確立される途上に現れる、過渡的な現象にすぎないという考え方もあり得る。

しかし、人間は、そもそもその本来の性質として「操作好き」な生き物である。自動車運転などは、正にその好例である。実際、高齢者のQOLの向上を考えるにあたって、その運転寿命を延長することは重要なテーマの一つであると考えられるが、自分で運転したいという高齢者は少なくはない。つまり、認知的廃用性萎縮に関わる議論は、オートメーションの技術の高度化とは別の問題としてテーマ化され、検討されなければならないという点を確認しておくことは重要である。

では、認知的廃用性萎縮を防ぐ技術とはどのようなもので、遂行と熟達のバランスをとるオートメーションはいかにして実現されるのであろうか。残念ながら、我々はまだその解を見いだせてはいない。しかし、幾つかのヒントは持ち得る。

一つは、作業支援における「適応的」という概念を拡張することである。これまで、適応の目的は、課題遂行のパフォーマンスを最大化することであった。しかし、それに加えて、熟達（より控えめに言えば能力の維持）という観点に基づいて、適応という概念を再定義するのである。そのためには、遂行のパフォーマンスを多少犠牲にしても、支援の量や質を抑制し、人間の作業遂行の-effortを維持することが必要かもしれない。この点に関しては、本稿で紹介した認知負荷理論をはじめとして、認知心理学的、学習科学的研究の領域で、学習や熟達に関わり膨大に積み上げられてきた知見が、数多くのヒントを与えることだろう。そして、熟達に関わる認知的活動を促進させるもう一つの重要な観点は、目標である。達成目標理論で分類された二つの目標の設定に深く関わるのは、動機である。うまくなりたい、上達したいという動機は、学習目標を志向させることから、このような動機を与えるような支援の在り方を考えること

は重要である。これらの技術を考えるにあたっては、工学者と、認知心理学者や教育学者との連携が、今後ますます重要になってくると思われる。

## 文 献

- (1) D.A. Norman, "Cognitive artifacts," in *Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface*, J.M. Carroll (Ed.), pp. 17-38, Cambridge University Press, New York, 1991.
- (2) R. Parasuraman and V. Riley, "Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse," *Hum. Factors*, vol. 39, no. 2, pp. 230-253, 1997.
- (3) 前東晃礼, 三輪和久, 寺井 仁, "自動化システムの利用と信頼の役割," *認知科学*, vol. 21, pp. 100-112, 2014.
- (4) J. Sweller, "Cognitive load during problem solving: effects on learning," *Cogn. Sci.*, vol. 12, pp. 257-285, 1988.
- (5) K.R. Koedinger and V. Aleven, "Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors," *Educational Psychology Review*, vol. 19, pp. 239-264, 2007.
- (6) J.R. Anderson, A.T. Corbett, K.R. Koedinger, and R. Pelletier, "Cognitive tutors: lessons learned," *The Journal of the Learning Sciences*, vol. 4, pp. 167-207, 1995.
- (7) 三輪和久, 寺井 仁, 松室美紀, 前東晃礼, "学習支援の提供と保留のジレンマ解消問題," *教育心理学研究*, in press.
- (8) J. Sweller, J.J.G. Van Merriënboer, and F.G.W.C. Paas, "Cognitive architecture and instructional design," *Educational Psychology Review*, vol. 10, pp. 251-296, 1998.
- (9) J.J.G. Van Merriënboer and J. Sweller, "Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies," *Medical Education*, vol. 44, pp. 85-93, 2010.
- (10) W. Schnotz and K. Kürschner, "A reconsideration of cognitive load theory," *Educational Psychology Review*, vol. 19, pp. 469-508, 2007.
- (11) J. Sweller and G.A. Cooper, "The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra," *Cognition and Instruction*, vol. 2, pp. 59-89, 1985.
- (12) C.S. Dweck, "Motivational processes affecting learning," *American Psychologist*, vol. 41, pp. 1-9, 1986.
- (13) A.J. Elliot and H.A. McGregor, "A 2×2 achievement goal framework," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 80, pp. 501-519, 2001.
- (14) J.M. Harackiewicz, K.E. Barron, P.R. Pintrich, A.J. Elliot, and T.M. Thrash, "Revision of achievement goal theory: necessary and illuminating," *Journal of Educational Psychology*, vol. 94, pp. 638-645, 2002.
- (15) S. Graham and S. Golan, "Motivational influences on cognition: task involvement, ego involvement, and depth of information processing," *Journal of Educational Psychology*, vol. 83, pp. 187-194, 1991.
- (16) A.J. Elliot and J.M. Harackiewicz, "Approach and avoidance achievement goals and intrinsic motivation: a mediational analysis," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 70, pp. 461-475, 1996.

(平成 26 年 3 月 31 日受付 平成 26 年 4 月 22 日最終受付)



三輪 和久 (正員)

1984 名大・工・応用物理卒。1989 同大学院工学研究科情報工学専攻博士課程了。名大情報処理教育センター、同大学院人間情報学研究科を経て、現在、同大学院情報科学研究科教授。工博。2005, 2012 認知科学会論文賞, 2012 教育情報システム学会論文賞各受賞。