

琉球大学学術リポジトリ

学習情報処理モデルの主体論：
認知的省資源性を手がかりとして

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2016-09-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小嶋, 季輝, Kojima, Toshiki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/35107

学習情報処理モデルの主体論 —認知的省資源性を手がかりとして—

小嶋季輝*

Subject Theory of Learning Information Processing

Toshiki KOJIMA *

はじめに

学習情報処理に関する研究においては、その心理プロセスが表象システムではなく行為＝操作システムに依拠するとの提言が行われて久しい(Талызина, 1969)。このモデルの遂行論的転回は、主体論及び客体論、そして、コミュニケーション理論それぞれに理論構成の刷新を迫ることとなったが、一方で同時に、3者の統合的かつ総合的な理論構築の困難さをも示すことになった。

しかしながら、近年、このような統合理論構築の困難さを主体論への一元的な統合で乗り越えようとする試みが見られるようになってきている(e.g.: Glasersfeld, 1995)。そこでは、主体の諸特性に基づきコミュニケーション論が解体され、その対象も包含関係を持たない「主体にとっての客体」論(＝カップリング論)として定立されることとなる。

それゆえ、主体の諸特性を手がかりに理論的基礎を得ることが重要となるが、これまでの主要論点は、この試みの可否と是非を問うための中核概念への論及が中心となっている。そこで、体系的なモデル化及びその理論化を展望するため、本稿では、認知的操作を含む認知情報処理の担い手である学習の主体に対して、以下に示す課題のもと、その諸特性の同定を行うこととする。

まず、認知的操作のレパートリーを検討する必要がある。学習の主体の取り得る行為は、外的なもの、そして、内的なものを含み、様々である。

これらを管轄する認知情報処理上の操作範囲を明らかとすることが、認知的操作により学習の客体へアプローチする手立てを導出することに役立つ。学習モデル及び学習理論を豊かにすると考えられる。

選択された認知的操作は、必然的に脳の認知資源を消費する。それゆえ、次に、その消費のメカニズムが言及されなくてはならない。学習は、その主体という限定された系の中で生じる有限の生産行為であるため、学習の可能な水準はここから導かれる。

そして、認知資源の消費に係る認知情報処理の性質とその過程を考察する。必ずしも学習情報処理がリニアに進むと仮定している訳ではないが、学習の理論化のためには、そのモデルが、また、学習のモデル化のためには、その過程の記述がそれぞれ必要であると考えられるゆえである。

これらの課題の解決のため、以下の方法で研究を進める。

はじめに、認知的操作のレパートリーとして、調整方略と処理方略という2種類の認知方略について考察する。

続いて、認知情報処理に伴う認知資源の消費を、その主体における負荷という点から捉え、さらに、負荷を知覚的負荷と認知的負荷へと分けて検討を行う。

そのうえで、負荷を軽減するためのモデルとし

*琉球大学

て、リダンダンシー理論を取り上げ、同理論を用い、学習のマルコフ過程における情報適合化の問題を取り扱う。

しかし、前記の方法での考察は、条件から何が起こったか (done)、何が期待されるか (do) を説明しているにすぎない。その間の過程において、どこで何が起こっているか (doing) を説明する必要がある。ゆえに、「情報処理を行う」段階のみに言及するだけでは不十分であると考えられる。そこで、試験的にではあるが、「情報処理している」段階の考察にも取り組む。そのために、ヒューマンエラー研究の諸成果を利用する。

1. 認知方略

学習時に、学習者は方略を用いて課題に取り組む。認知情報処理において、採り得る方略は大きく分けて 2 種類である。処理の為の準備としての調整方略と、その効率化のための処理方略である。

(1) 調整方略

調整方略には、現在、自分の置かれている状況及び自身の状態の把握を行うモニタリングと、モニタリングで得られた情報を統合・処理し、認知的目標の修正とそのための認知的行為の選択を行うコントロールの存在が知られている (Flavell, J. H., 1979)。認知的行為には、処理方略の選択が挙げられるが、一方で、再度の調整方略の選択も含まれる。また、調整方略も処理方略も認知情報処理であり、処理方略という場合の「処理」は、認知情報処理という場合の「処理」とは概念上異なり、前者は特定の対象、後者は一般的対象 (情報全般) における処理を指している。

モニタリングとコントロールは、並列処理され、コントロールのモニタリング及びモニタリングのコントロールという処理過程をそれぞれ含み合う (Nelson & Narens, 1994)。これらは、メタ認知によるメタ認知的方略とも呼ばれる。ただし、ここでは、認知に対する認知方略として、メタ認知方略も認知方略の一種として取り扱う。

メタレベルでの内的モデルとオブジェクトレベルでの事象との関係における誤差の調整として、メタ認知のメカニズムが記述されており、両者は

不可分である (Nelson & Narens, 1990)。それゆえ、調整方略の機能目標も、いずれか一方に焦点化されるものではなく、モニタリングとコントロール双方によるサイクルの円滑化となろう。

では、双方によるサイクルの円滑化の条件とは、何であり、そこから伺い知れる調整方略に伴う認知情報処理上の特性とは、いかなるものであろうか。

まず、モニタリングにより獲得された情報がより精緻であれば、その情報に基づき、実行されるコントロールは、より妥当性を持つことは自明であるように思われる。しかしながら、実際にはそのように単純化することは出来ない。精緻なモニタリング情報に、応え得るコントロールのレパートリーが必要となるのである。高度なコントロールによる精緻なモニタリング情報の要求という、その逆に関する所もまた真であろう。つまるところ、モニタリングとコントロールの円滑化の前提には、両者の情報の提供・要求水準が均衡する状態、あるいは、その時の状況が精緻なモニタリングと高度なコントロールのいずれかを要求している際の他方がその要求に耐え得る、包括的に高い水準にある状態が必要である。前者は、理想的ではあるが、現実的ではない。よって、後者が前提条件と成り得るが、そのためには、日常場面での認知情報処理と、特定場面での認知情報処理の位相差が縮減されている必要がある。

このように、調整方略から認知特性を伺う試みにおいては、調整のみに言及するような特定場面の認知情報処理の範疇では論じきれず、処理方略をも含んだ情報処理過程への言及を要する。ゆえに、ひとまず、処理方略へと論を進めたい。

(2) 処理方略

処理方略においてもまた、2 種類の方略へと大別される。一方は、システムティクス (systematics) であり、他方は、ヒューリスティクス (heuristics) である (Chaiken, 1980)。

システムティクスでは、新たな情報の入力に応じて、既存の知識を変化させていく応化 (accommodation) の処理を行い、ヒューリスティクスでは、新たな情報の入力を既存の知識に加える同化 (assimilation) の処理を行う (Fiedler,

2000). 応化は、入力情報の分析及び再分析に応じて、知識の精緻化を行うため、刺激駆動型のボトムアップ処理の特徴を有する。一方の同化では、既存の知識へ入力情報を追加し、入力情報追加後の知識の汎用的利用を行うため、知識駆動型のトップダウン処理の特徴を有する。

応化と同化の両者を併せて、適応 (adaptation) と呼び (ibid.), それゆえ、処理方略は、適応機能を担うといえる。

いずれの適応機能を利用するかに関する、方略の選択は状況論的になされることになる (i.e.: 調整方略が処理方略を決定する) わけであるが、ここで問題となるのは、どのようにモニタリングされた場合に、どのような処理方略へコントロールされるのか、ということに関してであろう。

処理方略の持つ適応機能の特徴は前述の通りであるが、その選択上の特徴は次のように記述することが出来る (cf.: 伊藤・岡本, 2000; 伊藤, 2001). まず、入力情報の複雑さに関するモニタリングの結果と、自身の知識や能力や動機に関するモニタリングの結果 (あるいは、恒常的な主観) とが比較され、前者が後者を上回ると考えられる際には、ヒューリスティクスを、後者が前者を上回る際 (i.e.: 処理が可能である時、あるいは、処理に意欲的である時) には、システムティクスが優位に採用される。ヒューリスティクスの方が、処理に必要な資源を節約出来ると考えられるためである。また、処理方略の選択を迫られた状況が、既知 (i.e.: 経験済み) あるいは、類似か、それに準ずる状況であった場合、以前採用された方略が選択されやすく、ヒューリスティクスが優位となる。さらに、認知バイアスの影響が、モニタリング及びコントロールとそれが従う決定ルールに見られ (その上、既存の知識自体に存在するバイアスの影響も含み)、処理方略の選択を間接的に規定し得る。短絡化、複雑化、いずれの影響によっても、前述したヒューリスティクスの省資源性から、その選択は優位である。それゆえ、状況論的認知を上回る個人の意思等の、個人差の反映が強くなされる際に選択されることがシステムティクスの特徴ともいえる。

しかしながら、両者は二項対立で扱われたり、排他的に決定を受け付ける性質の処理過程ではな

く、条件により優位か否かが問われるものであると考えられる (e.g.: Chaiken, ibid.).

先の処理方略の選択に関わる認知情報処理の影響 (i.e.: 省資源性という優位選択の条件) について、作動記憶への負荷というモデルを用いて、行廣 (1991) が実験を行ったが、結果は芳しくなかった。その一因は、当該研究における「作動記憶への負荷」が、意図せず、複数の事象を説明する概念を内包してしまっていたことによるのではないかと推察される。つまりは、作動記憶の概念が、知覚と認知を判別していないと思われる。調整方略によって、短絡化を行い、無意識的なヒューリスティクスによる処理方略が選択された場合 (このヒューリスティクスを処理方略と呼んでもよいのなら)、情報による負荷は、外部刺激の処理という知覚レベルの情報処理であり、その処理によって、認知レベルでの情報処理を回避しているといえる。接近説や条件付け理論によって説明される処理の多くは、負荷が自覚されない (Bornstein & D'Agostino, 1992). 他方、無意識的知覚の認知的能動性は、認知的バイアスの惹起として、併存的に処理に付帯する (渡邊, 2009).

そこで、選択可能な方法として意識することは叶わないが、人の認知上の特性として、情報の負荷に対する潜在的メカニズムの存在に論を転じたい。

2. 負荷理論

負荷理論の立場から、多重情報の選択における知覚的負荷と認知情報処理過程における認知的負荷の存在が指摘されている。

(1) 知覚的負荷

知覚の際、配分可能な注意には限界があり、人間は、それらの対象を知覚可能な範囲で、選択的に注意を向ける。それゆえ、知覚に伴う情報処理には、この処理のための資源が消費され、それに対応するだけの負荷が生じる。

高い知覚的負荷にさらされる時には、初期選択的注意により、許容可能な範囲において現在の情報処理に関連する知覚情報を選択的に受け取り (= 無関連情報への干渉を生じさせ)、知覚的負荷

が低い時には、後期選択的注意により、知覚した情報に対して、その後、現在までに自身が行っていた情報処理と関連する情報の取捨選択（＝無関連情報における表象の抑制）がなされる（Lavie, 1995）（八木・菊地, 2003）。

初期選択的注意は、知覚情報の流入許容量に従うため、その選択された上限一杯の通信路容量の情報が入り、続く認知情報処理を受ける。一方、後期選択的注意は、知覚に伴う情報処理資源が事後処理としての知覚情報の取捨選択に対しても利用されることとなる。情報処理に必要な資源は、その処理対象ごとの容量及び特化する性質とが限定されている可能性が示唆され、認知情報処理の並列数や程度に応じた資源と、そして、知覚情報処理に要する資源との相互の影響関係が考えられる（室井, 2000）。

(2) 認知的負荷

続いて、知覚を経て入力された情報は、認知における情報処理を受ける。そして、ここでの情報処理に伴う資源の消費は、認知的負荷として、その認知機能に影響を及ぼすこととなる。

認知的負荷として、次の3つの負荷が検討されている。それらは、GCL（適切な認知的負荷：Germane Cognitive Load）、ICL（本質的な認知的負荷：Intrinsic Cognitive Load）、そして、ECL（非本質的な認知的負荷：Extraneous Cognitive Load）と呼ばれる（Kirschner, 2002）（Paas et al., 2003）。

GCLは、認知情報処理により、学習者の知識の構造化や処理方略の獲得を行う上で必要な認知的負荷であり、学習効果の向上に伴うワーキングメモリの消費である。また、ICLは、入力情報に伴う認知情報処理上の負荷の中で、対象となる情報を処理する際に必ず必要となるワーキングメモリの消費を表している。それらに対して、他方、ECLは、入力情報についての認知情報処理において、現在、取り組んでいる課題や目的との関連性が低く、非本質的な情報処理を行うことによって生じる認知的負荷である。

ここでは、認知的負荷により消費される資源として、ワーキングメモリの概念を用いている。ただし、いずれも原語（＝working memory）を同じくするが、先に参照した行廣（1991）論文にお

ける作動記憶とは、定義を異にすることを注記しておく。

学習を促進するGCLであっても、学習に不要なECLであっても、いずれもが学習の提示あるいは選択の方法等によって発生するものである。そして、ワーキングメモリの資源は、個人内において有限のものである。さらに、ICLは、入力情報の処理において、本質的な負荷であるため、このための資源は確実に確保される。それゆえ、留意として、ワーキングメモリに対する認知的過負荷とならぬように、GCL、ICL、ECLの3つの負荷のワーキングメモリにおける占有率及びそのバランスを管理しなくてはならない。

次に、これら、負荷に対して対処可能な認知情報処理上の性質を探ろうと思う。

3. 負荷軽減のモデルとしてのリダンダンシー理論

(1) リダンダンシー理論

リダンダンシー理論（the Redundancy Theory）からは、意図の確率分布と、それに対する予期の確率分布の一致を目指すために、リダンダントな（＝冗長な）情報を減じ、あるいは、添え、処理するモデルが提出されている（Cube, 1965）（Cube, 1982）。

リダンダンシーによる表現の方法には2種類がある。まず、学習者内部に、世界の写像として構成されるリダンダンシーについてである。これら内部に保持されている知識としてのリダンダンシーを蓄えていくことが学習であるとするリダンダンシー理論の表現が1つ目として考えられる。次に、学習者の既存の知識と照らし、対象となる知識に対して特定の知識が保持されており、ある入力情報が既に不要なものとして扱われるリダンダンシーについてである。学習の結果、コミュニケーション上の情報がリダンダンシーに富んだものとなっていくというリダンダンシー理論が残るもう1つとして存在する。両者は、同一の現象を説明する焦点が異なるだけであり、本質においては一致している。

先のCubeのリダンダンシー理論は、両者に言及した上で、主に、内的に保持される情報につい

て論じているが、ここでは、コミュニケーション上の情報に焦点化し、取りあげる。

人に認知情報処理されやすい情報とは、あらかじめ無意識的あるいは意識的に不要なりダンダンシーを減じることで（知覚的負荷を高めることにはなるが）、知覚情報処理後の認知的負荷を減じた情報であるといえる。本質的な負荷と学習の促進に結びつく負荷を選択的に学習情報処理することが、最大の目的となる。

入力情報における平均情報量であるエントロピーという概念でこれらの負荷を考える場合、その大きさは事象の生起する確率によって決まる。コミュニケーション理論（ここでは特に、Wienerによる、Shannonの情報理論のコミュニケーションに関する応用理論）でのエントロピーは、情報の伝達に含まれる各情報の起こりやすさと起こりにくさの度数が不明であるほど増大する、情報の不確定性を示す量と言える。つまり、数学的な相対度数であるその確率が1/2のとき、エントロピーは最大になり、いずれかの度数に偏りがあるほど、生起あるいは不生起といった、期待される結果が確定されていくため、エントロピーは減少する。確実に起こる事象が起こったとしても、既知のものを知ったというだけなので、新たに与えられた情報量はゼロということになる（Shannon, 1948）（Wiener, 1961）。特に、教授－学習の認知情報処理においては、情報処理に対応する現象の結果が解釈された意味によって示されることから、意味解釈のモデル創出が重要な論題の1つとなる（小嶋, 2011a）。

(2) マルコフ情報源

次に、このエントロピーを生じさせる情報源としての知識について論じる。

なぜ、情報源についての議論を、学習の主体である学習者の認知機能に焦点化し、論じている本稿にて取り扱うのか。それは、次の例示で説明出来る。

例えば、言語は、学習を行えば、程度の差こそあれ、習得することが可能である。はじめに、その使用として、わからず、出来ないのは、ある言語という知識が、わかり得ない、あるいは、出来得ないという性質を備えているためではない。学

習の結果、わかり、出来ることが可能であるわけであるから、その性質として、わかり得るもので、出来得るものであり、知識は学習者に対して開かれているのである。

ゆえに、そのような知識の備える性質及び、それを構成する構造は、分析のレベルでは、学習者の認知機能の議論の範疇となる。ここでは、小嶋（2011b）の知識論のカテゴリーを参考に検討を進める。

小嶋 (ibid.) では、「わかる」感覚の有無と実際の行為の可否に関する誤謬、及び、Ryle (1949) による Knowing That と Knowing How の区分を基礎としながら、知識について考察している。そして、Ryle の論の持つ意義とその限界を指摘し、概念の拡張を企図し、Broudy (1977) の Knowing With (= 自覚されないが状況に応じて遂行可能となる知識) に言及することで、獲得と使用における知識の諸側面を考察する。また、教育的談話等による知識の共約の際に用いられる言明の性質から、Knowing Know-How の概念を導いている。これら、感覚と行為遂行の水準の区別は、学習情報処理の情報源を捉えるうえで望ましいものである。

まず取り扱うのは、Knowing That (/Knowing Know-How) の形で表現される知識についてである。Knowing That (/Knowing Know-How) には、言明可能な命題としての性質がある。それゆえ、言明に伴うルールに従う必要があるが、多くの場合、それは文法規則として、文脈に依存した言語単位の連言に秩序を齎す。ここから、言語単位同士が確率的相関を持つことが想定可能であり、特に、先行する言語単位がその後の文法規則における言語単位選択のレパートリーを規定し、直前の言語単位ほど、後続する言語単位への規定力を強く持つため、これらにより構成される情報の情報源は、マルコフ情報源 (markov information source) と見なすことが出来る。

マルコフ情報源とは、マルコフ過程 (markov process) により表現される情報源である。マルコフ過程は、厳密には、続いて生起する事象の確率が、現在の事象の状態のみに依存し、それまでの事象の状態変化からの影響を受けない確率過程と定義される。しかしながら、ここでは、現象

記述のために、よりファジーな定義でもって、これらの語彙を用いたい。この理論面においては、Shannon (ibid.) が、情報源の連鎖構造における先行情報が続く情報に与える影響残余 (residue of influence) に言及し、マルコフ過程により、情報源の記述を試みる可能性の示唆を行った。そして、その示唆を受けた諸研究により、一連の行動における、その連続する行為群 (=シーケンス)、あるいは、入力される刺激と、それに後発する反応群 (もしくは、反応のシーケンス) にまで、応用の拡大が可能であることが確認されている (Miller & Frick, 1949) (Frick & Miller, 1951)。

Knowing That (/Knowing Know-How) における情報単位は、言語単位に限らず、より大きな単位による確率的相関が文脈を規定していることもあり、それら大小の規定因同士の総和として情報が構成されている。よって、Knowing That (/Knowing Know-How) の内容は、チャンキングのサイズによらず、その言明可能な命題における連言の操作により、リダンダンシーを除することが可能である。

Knowing How 及び Knowing With に関しては、構成する下位要素を含め行為 (遂行) には連続性が存在するため、その相互情報量は切り離すことは出来ないように感じられる。しかしながら、その見込みは単純確率のエントロピーとして、これらの知識を捉えた場合に関してのみ当てはまるものであり、実際には前後に伴う言明等の遂行レベルで作られ、Knowing That (/Knowing Know-How) で記述される文脈が、エルゴード性 (ergodicity: アンサンブル同士が独立しておらず、接している、あるいは、重なっている。それゆえ、突き詰めることにより、収束点を有する。) を持つ。単純化した例をあげれば、「知識 X を獲得する文脈」における出来事と、「知識 X を使用する文脈」における出来事に関して、出来事が継時的に生ずれば、文脈同士の一方的な連続性が同定されるが (i.e.: 時間的平均)、一方で、観察上、出来事が同時期に示されたとしても、後者が前者の前には生じ得ず、前者が後者の前提であるがゆえに文脈同士は、厳密に前者が後者に先行するはずであるという両文脈の持つ意味を解すれば、その連続性が同定されることになる (i.e.: 空間的平均)。ゆえに、

このエルゴード性により、遂行により実現が目指されている意図 (i.e.: ヒドゥンマルコフ情報源: hidden markov information source) の同定確率を高めることが可能である (Wiener, ibid.)。

ただし、記述可能な過程は、その要素が大小高低様々なレベルで存在し、記述の範囲は、文法上は無限にあり、語彙上においても、有限ではあるが、果てはない。しかしながら、それらを使用する生体が、さらに時間及び空間に限定を受けていることから、果てのない記述が現象に用いられることはない (Chomsky, 1965)。

つまり、現実場面からある 1 つの事象過程を切り離すことが出来た場合、その線型構造は、文脈を記述可能な Knowing That (/Knowing Know-How) に秩序付けられる。この線形構造は、確率的性質がインデックス (=時間) に依存しないというマルコフ連鎖 (markov chain) の性質 (=定常: stationary) により、インデックスの線型を変形し、情報源の有する確率的相関に関して得た線型である。

とはいえ、ここで現象上、指摘しておきたいことは、マルコフ過程での予測は、起こるであろうことの予測ではなく、起こり得るもののうちで、起こらないであろう確率の事象を排除する予測である。このコミュニケーション上の情報のリダンダンシーの除去が、結果として、生起の予測へと帰結するのである。

そして、これら単位として扱われるシーケンスの数が増加するほど、不生起の予測は困難になり、それゆえ、生起確率の予測も難しくなる。加えて、諸行為間の時系列的あるいは内容的な近接性を失えば失うほど、その諸行為間の事象関連性が弱まる。さらに、シーケンスとして記述され得ない行為群の諸行為は、予測因として機能し得ない。よって、長期的なマルコフ過程は成立し難い。

以上の考察により、一定の留保はあるものの、知識の持つ情報量が、そのリダンダンシーを対象として、負荷減少を目的とした方略を受け付けることが可能であることを示し得た。

4. 動的に記述される学習情報処理に関する試み

(1) 学習情報処理の静的過程と動的過程

本稿にてここまで取り上げた内容に鑑みれば、「学習情報処理を行う」という静的な学習情報処理過程の同定を行うことが出来たといえる。しかし、「学習情報処理をしている」という動的な学習情報処理過程の同定が出来たとはいえない。入力される(=受け取る)情報だけでなく、除された情報等も検討が必要であるように思われる。リダンダンシーの内容、特に、リダンダンシーとして処理されるであろう内容を規定するための研究上のツールがないのである。

これに対する解として、以下の有効性が検討される必要がある。

まず、本稿上述の負荷理論、リダンダンシー理論等により静的過程をクリアに記述出来るが、その一方、上記理論等で、進行している情報処理の動的過程を記述することは困難を極める。そこで、学習情報処理過程を全事象とすると、終了した処理過程において、静的過程の余事象として動的過程を位置づけることで、記述を可能たらしめることに期待を寄せるものである。すなわち、結果からの推定である。

ところで、成功裏に実行された情報処理では、要因の同定は困難なものとなる。失敗の内省よりも成功の内省は極端に少ないためである。ゆえに、エラーを生じた情報処理に対して、エラー発生原因としてならば、内省材料も得られ、同定が可能となるのではないか。よって、ヒューマンエラー(human error)研究を紐解き、そこから、学習者の認知情報処理の進行過程における性質を探ろうと思う。

ただし、結果から原因を推定する場合は、結果から導かれる論理的な必然性と実事象における原因と結果の因果的な必然性が区別されなくてはならない。例えば、

号砲は数秒後に窓を振動させる。しかし、振動する窓は砲撃が数秒前にあったことの申し分ない証拠かもしれないにしても、振動する窓が

数秒前に砲撃を起こしたわけではない。(Ryle, 1960=1997: 34)

ということがいえる。すなわち、砲撃が真であり、砲撃により振動する窓の性質が真であったときのみ、実際の窓の振動が真となっていたのであって、窓の振動が真であったことは、窓の振動する性質のみを真とするのである。

つまり、「情報処理している」段階でのヒューマンエラーから推定される必然性は、直接には、「情報処理している」段階での人のエラーを生じさせる性質のみしか担保しない。他方、進行する情報処理とその段階でのヒューマンエラーの性質から、同段階でのヒューマンエラーが導かれる。ゆえに、推定であるという点では、一定の譲歩を要するものの、「情報処理している」段階のヒューマンエラーの性質から、実際にヒューマンエラーを生じさせる情報処理の認知過程及び諸特性を考察することで、その同定とするという方法を採用。

(2) ヒューマンエラー

「エラーは、どのようにして生じるか」という問いには、2つの側面がある。1つは、エラー発生を促進する要因であり、いま1つは、エラー発生の機序である。前者は、「If anything can go wrong, it will.」というマーフィーの法則(Murphy's Law)にもあるように、エラーの発生を要求する状況が、学習者にエラーを生じさせるもので、先の問いには、エラー発生の原因になった物や状況を示し、回答する。後者においては、個体内でどのように情報処理が行われ、それが外界への作用として出たものがエラーと認められた時、どの段階がエラーを齎したかが問題となり、先の問いには、ある特定の処理過程が原因であったと答える。両者は、相互に結びついており、片側の説明に、その対となる側の説明が必要となることもある。むしろ、両側性の説明を要する方が多いであろう。しかしながら、本稿の趣旨に鑑み、ここでは、生体内の認知情報処理における論点からの機序を中心とした議論とする。そして、その説明の補助として、必要に応じて、状況論的要因に言及する。

エラーを含む情報処理を記述するために必要な

諸概念について、本稿では、主として、Reason (1990) を参考に、その概念及び分類を使用する。

ヒューマンエラーは、大きく分けて、スリップ (slip)、ラプス (lapse)、ミステイク (mistake) の3つに分類することが広く受け入れられている。順序は前後するが、その定義は、次の通りである。

まず、ミステイクとは、計画段階でのエラーを指し、さらに、その性質から、ルールベースミステイク (rule-based mistake) と知識ベースミステイク (knowledge-based mistake) へと区分される。ルールベースミステイクは、フィードフォワードによる制御モードに基づき、過去に成功を齎したルールを目的に照らして選択する際に生じるエラーである。一方の知識ベースミステイクは、フィードバックによる制御モードに基づき、逐次的に知識を駆使し、課題に応じる際に生じるエラーである。ルール及び推論結果を用いるこれらのミステイクにおいては、行為者の意図が反映されているため、行為者自身によってエラー検出を行うことが困難である。

次に、スリップとは、実行段階でのエラーを指す。これは、スキルベースのエラー (skill-based error) であるため、主に、意図を伴わない自動処理による制御モードに基づく。実行した結果が意図した計画と異なっているため、スリップの発生は容易に検出される。

そして、ラプスとは、考察段階でのエラーを指し、ミステイクとスリップの間に位置するエラーである。スリップ同様に、スキルベースのエラーであり、自動処理の制御モードに基づく。エラー検出は、意図された計画をその通りに進められなかったり、実行すべき行為群が実行不可能であったとき (実行可能で、実行されない場合を除き)、行われる。

これらを、前節までの静的な学習情報処理過程の性質と比すれば、次のように記述されよう。

計画段階におけるエラーであるミステイクは、方略とその組み合わせの決定に影響を与える。ルールベースミステイクは、認知方略の選択を、知識ベースミステイクは、認知方略の作成を、そして、それぞれの方略の組み合わせの選択を行う際に生じるエラーである。

計画段階と実行段階とを繋ぐ考察段階にあるラプスは、組み合わせられた方略の順序や進度、タイミング等の調整を含む系列化の際に生じるエラーといえる。

スリップは、実行段階におけるエラーであるが、これは、認知資源の不足や、負荷による認知の優先度の後退などから、考察段階によって作られた系列通りの順序、進度、タイミング等に従い実行することが適わなかったことを意味する。

さらに、これらの概念を用いることで、動的な学習情報処理過程の性質を捉えることが可能になる。

まず、ミステイクについて述べる。ルールベースミステイクは、適切なルールの誤用と不適切なルールの適用によって生じる。そして、両者を共に齎すものは、自身の置かれる学習の状況解釈の誤認と、自身が持ち、状況に対応可能なルールの適用範囲の誤認である。加えて、強いルール (e.g.: 使用される頻度が高いルール) を保持することもまた、不適切なルールの適用へと結びつく。いかなるエラーにおいてもいえることであるが、両者が同時に生じてエラーを起こしていることもある。メカニズムは1つではない。知識ベースミステイクは、不完全な知識と不適切な推論から生じる。不適切な推論は、ルールベースミステイク同様に、自身の置かれる状況の解釈の誤認から導かれる。一方で、不完全な知識を用いたのでは、状況解釈がいかにも正しくとも、結果は、エラーとなる。動的な処理過程においては、知識を用い推論を行った時間と、それにより選択された方略あるいはその行為を実行に移す時間に隔たりがあり、ゆえに、知識の完全性及び推論の適切さには、遅延が生じている。

次いで、ラプスについて述べる。ラプスは、シーケンスの無視や意図の喪失、あるいは、妨害、そして、ルーチンの干渉といった、多くの影響を受けることにより生ずる。シーケンスの無視とは、計画と異なるシーケンスの位置から開始されたり、計画と異なるシーケンスの位置で停止されたりすることであり、また、シーケンス内の計画に不要な項目の追加及び変更と必要な項目の省略である。意図の喪失は、シーケンスの中途において、計画時の意図を失い、そこで停止してしまう

ことを指す。(計画に必要であったとしても,) 当初の計画にない行為がシーケンスに挿入されることで、妨害として働き、本来の計画上の行為を実行し損なう。また、ルーチンの干渉では、実行中のシーケンスが、多用されるルーチン化されたシーケンスと類似している場合、ルーチン化されたシーケンスの侵入を受ける。ただし、シーケンス中の項目において分岐するため、その項目自体に関するスリップか、シーケンスにおけるルーチンの干渉かを区別することは出来ない。

最後に、スリップについて述べる。スリップは、習慣や過剰な自覚化を原因として、生じる。習慣化された行為を参照することで、普段と同様の行為を実行する時には、不注意となり、普段と異なる行為を実行する時には、普段の行為の侵入を受ける。そして、自動化され、1つの単位となっていた行為が、過剰な自覚化を受けることで、細分化され、その要素行為のすべてを統べる事が出来なくなるとなる。

ここからいえることは、第1に、静的過程における処理方略決定後にも、モニタリングとコントロールが動的過程での進行中の処理に対して、計画段階にまで遡り、影響を与えていることである。すなわち、認知方略の1つとして機能する調整方略は、進行中の処理において、認知方略をも調整する方略となる。

第2に、入力情報の受け取りに失敗していた場合、進行する情報処理過程においては、その修正のメカニズムを持たない。準ずる機能を期待するとすれば、既有経験と同質の範囲内における、既有ルールの適用のみである。

第3に、スキルベースのエラーでは、シーケンスや行為への注意の不足あるいは過剰によって、シーケンスや行為の実行が不可能となることや、異なったシーケンスや行為の実行となることが生じる。負荷に対する認知資源の余剰が、過剰な注意を齎すか否かは定かではないが、負荷による認知資源の枯渇が、不注意を齎すのは明らかである。進行中の情報処理においても、ECLは、管理すべき優先度が高く、計画された課題の程度 (i.e.: ICLもしくはGCL) 以上に変動的である。

第4に、立案される計画が、本来計画に必要な行為(あるいは、シーケンス)を含んでいる

程、外乱量に対して耐性を持つが、一方で、ルールやルーチンに関しては、そのような冗長性を持つことが、その利用の性質上、好ましいことではない。動的な情報処理過程においても、省資源性と堅牢さ(及び、堅牢さを支える柔軟さ)のトレードオフが問題となる。

以上、ヒューマンエラーを手がかりに、動的な情報処理過程の考察を行ってきた。このことにより、複雑性こそ増したものの、モデルの説明力はより高められた。しかしながら、本節の冒頭でも示したように、実際の動的な情報処理を捉え、現象学的な記述を行う術を、現在、我々は持ち合わせてはいない。対比し、検証される対象(=データ)が利用可能となるまで、この問題の真偽は一時保留される必要があるであろう。

おわりに

認知的負荷に関しては、その負荷を除ることが、必ずしも学習効果にとって最適な方略とは限らず、認知的負荷を課することで学習効果を上げようとするアプローチ (Load Application Approach) も存在する (柏原ら, 1994)。

他方、学習情報処理の量的情報処理の観点からの研究を概観すれば、1秒間あたりの情報の流入許容量は、10bitとも (Cube, 1965)、50bitとも考えられているもの (ヤグロム, 1961)、しかしながら、量の規模の同定はともかく、処理可能な情報に上限があることは容易に推察出来る。さらに、Кондрáтов (1963) によれば、人は1bitの情報を処理するために 1.0×10^{16} erg (1.0×10^{23} J) のエネルギーを消費するともいう。これらのことから明らかなように、分かりやすくしようとリダンダンシーを増加 (i.e.: 説明要素の付加によって冗長化) させると、それに応じて、学習者の負荷を増加することになることは否めない。

人は、選択・非選択によらず、省資源に認知情報処理を終えることを好む。その省資源なコード化のモデルとして、Cube (1982) での例を引用するならば、

テキスト AAAABBC はシャノンに従えば 1.38 ビット / 符号の平均情報を有している。その

際ひとつひとつの符号についてはAは $I_A = 0.81$ ビット、Bは $I_B = 1.81$ ビット、そしてCは $I_C = 2.81$ ビットになる(引用者注: テキストAAAABBCは、全7文字からなり、そのうち、Aが4つ、Bが2つ、Cが1つある。すなわち、Aの出現率は $4/7$ 、Bの出現率は $2/7$ 、Cの出現率は $1/7$ である。このときの情報量は、 $I_A = \log_2(7/4) \doteq 0.81$ ビット、 $I_B = \log_2(7/2) \doteq 1.81$ ビット、 $I_C = \log_2 7 \doteq 2.81$ ビットとなり、平均情報量は $0.81(4/7) + 1.81(2/7) + 2.81(1/7) \doteq 1.38$ ビット/符号となる)。もしこの情報を要素符号にコード化しなければならないとすれば、コード化はたとえば次の表示: A = 0, B = 10, C = 110 を取るであろう。実際はしかしCに対してはもっと短いコード化すなわちC = 11の表示が与えられるだろう。平均情報は第1のコード化の場合1.59ビットだが、第2の場合にはただ1.43ビットである(引用者注: テキストAAAABBCは、第1のコード化の場合、11桁の2進数になり、第2のコード化の場合、10桁の2進数になる。符号あたりの平均情報量は、符号数の7で割ればよい。なお、第1のコード化における平均情報量については、正しくは1.57ビットだと思われる)。(Cube, 1982 = 1987: 81-82)

と記述することも可能である。人の学習活動を、外界からの情報を取り込みつつ、コミュニケーション上のエントロピーを主観的に減少させていく過程と捉えると、この情報の最短コード化のプロセスが人の学習情報処理効率を高めていく上で非常に重要な考え方になると思われる。

実証的にも、学習時に齎される情報が既存のものとは一致するか否かによって、用いられる認知情報処理が異なることが確認されている(小嶋, 2009)。認知情報処理におけるリダンダンシー減少のプロセス及び方略の存在が伺えるものである。

ただし、本稿にて論じた中で、知覚的負荷においては、潜在的な処理としてしか記述し得なかった。そのため、知覚的負荷に対する方略を検討するならば、さらされる情報が、高負荷になるか、低負荷になるかという、その状況の選択あるいは

操作程度でしか有効性を示し得ない。しかしながら、この事実を肯定的に受け止めれば、ここから、内的プロセスが、取り巻く外界を含めた情報処理を行っている可能性、あるいは、その逆が示唆出来、個体レベルを超えた情報処理メカニズムの同定を予感させる。

そして、僅かではあるが、最後に、「情報処理している」段階における認知過程及び諸特性を探るため、ヒューマンエラー研究を参照した。これは、「情報処理している」段階でエラーが生じているということよりもむしろ、処理進行中においても、その段階でエラーに相当する事象が生起可能であるということに着目したものである。

以上、本稿における学習の主体における諸特性(及びその客体とコミュニケーションに対する諸特性)に関する成果、そして、先行する客対論における学習の客体における諸特性に関する諸成果、両者は、ともに認知情報処理(特に、学習情報処理)という共通の論点により考察が行われ、そのことにより、いまや、同一の俎上にて扱われることが可能となった。よって、認知情報処理を受ける性質と、認知情報処理を行う性質の相互作用の検討を行い、理論的統合を試みる事が次なる課題であると考えられる。

引用参考文献

- Borntein, R. F. & D'Agostino, P. R. (1992). Stimulus Recognition and the Mere Exposure Effect. *Journal of Personality and Social Psychology*. vol.63, no.4, pp.545-552.
- Broudy, H. S. (1977). Types of Knowledge and Purposes of Education. in Anderson, R. C., Spiro, R. J. & Montague, W. E. (eds.). *Schooling and the Acquisition of Knowledge*. Lawrence Erlbaum Associates. pp.1-17.
- Chaiken, S. (1980). Heuristic versus Systematic Information Processing and the Use of Source versus Message Cues in Persuasion. *Journal of Personality and Social Psychology* vol.39, no.5, pp.752-766.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press.
- Cube, F.v.(1965). *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens*. Ernst Klett Verlag.
- Cube, F.v.(1982). *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens, 4., neubearbeitete Auflage*. Ernst Klett Verlag. (西村皓 監訳 (1987)). 『サイバネティックス

- と学習理論：教育への一つの試み』東洋館出版社).
- Fiedler, K. (2000). Toward an Integrative Account of Affect and Social Cognition. in Forgas, J. P. (Ed.). *Feeling and Thinking: The Role of Affect in Social Cognition*. Cambridge University Press. pp.223-252.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-developmental Inquiry. *American Psychologist*. vol.34, pp.906-911.
- Frick, F. C. & Miller, G. A. (1951). A Statistical Description of Operant Conditioning. *The American Journal of Psychology*. vol.64, no.1, pp.20-36.
- Glaserfeld, E. v. (1995). *Radical Constructivism: A Way of Knowing and Learning*. N.Y.: Routledge/Falmer.
- 伊藤君男・岡本真一郎 (2000). 「説得的メッセージの情報処理に関する諸研究の展望：説得の二過程モデルからの検討」『人間文化：愛知学院大学人間文化研究所紀要』vol.15, pp.264-248.
- 伊藤美加 (2001). 「感情と情報処理方略」『京都大学大学院教育学研究科紀要』vol.47, pp.380-391.
- Яглом, И. М. (1961). Что такое теория информации. *Математика в школе*. No.3
- 柏原昭博・菅野昭博・松村浩一・平嶋宗・豊田純一(1994). 「認知的負荷の適用を指向した教授モデル：CLATとその実験的評価」『電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学』vol.94, no.23, pp.77-84.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive Load Theory: Implications of Cognitive Load Theory on the Design of the Design of Learning. *Learning and Instruction*. vol.12, pp.1-10.
- 小嶋季輝 (2009). 「高等学校普通教科「情報」における学習情報処理に関する研究：「共学習」場面への学習サイバネティクスのアプローチ」『教育情報研究』vol.24, no.4, pp.3-13.
- 小嶋季輝 (2011a). 「教授-学習における認知情報処理論の「実装の水準」に関する一考察：リダンダンシー理論の社会情報学的応用」『学校教育学研究紀要』no.4, pp.23-39.
- 小嶋季輝 (2011b). 「学習の客体としての知識，その基本的性質：知識の獲得状況を手がかりとして」『教育学系論集』vol.35, pp.15-26.
- Кондратов, А. М. (1963). *Число и мысль*. М.: Детгиз
- Lavie, N. (1995). Perceptual Load as a Necessary Condition for Selective Attention. *Journal of Experimental Psychology*. vol.21, no.3, pp.451-468.
- Miller, G. A. & Frick, F. C. (1949). Statistical Behavioristics and Sequences of Responses. *Psychological Review*. vol.56, no.6, pp.311-324.
- 室井みや (2000). 「選択的注意における知覚的負荷の影響：知覚的負荷とは？」『京都大学大学院教育学研究科紀要』vol.46, pp.183-195.
- Nelson, T. O. & Narens, L. (1990). Metamemory: A Theoretical Framework and New Findings. in Bower, G. (Ed.). *The Psychology of Learning and Motivation*. vol.26. Academic Press. pp.125-173.
- Nelson, T. O. & Narens, L. (1994). Why Investigate Metacognition? in Metcalfe, J. & Shimamura, A. P. (Eds.). *Metacognition: Knowing about Knowing*. MIT Press. pp.1-25.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychology*. vol.38, no.1, pp.1-4.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge. (林喜男 監訳 (1994). 『ヒューマンエラー：認知科学的アプローチ』海文堂出版.)
- Ryle, G (1949). *The Concept of Mind*. Hutchinson.
- Ryle, G. (1960). *Dilemmas*. Cambridge. (篠沢和久訳 (1997). 『ジレンマ』勁草書房.)
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. vol.27, pp.379-423.
- Талызина, Н. Ф. (1969). *Теоретические Проблемы Программированного Обучения*. Изд-во МГУ.
- 渡邊光雄 (2009). 「無意識的な知覚の認知的能動性」『教育方法学研究』vol.16, pp.25-43.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics: Or the Control and Communication in the Animal and the Machine, 2nd edition*. MIT Press. (池原止戈夫ら 訳 (1963), 『サイバネティクス 第2版』, 岩波書店.)
- 八木善彦・菊地正 (2003). 「ストループ様課題を用いた負の刺激反応適合性効果の検討」『基礎心理学研究』vol.22, no.1, pp.1-9.
- 行廣隆次 (1991). 「帰納推理課題における作動記憶負荷と処理方略の選択」『名古屋大学教育学部紀要. 教育心理学科』vol.38, pp.233-234.