

研究論文

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 —

小嶋季輝*

A Study on “the Implementation Level”
of Cognitive Information Processing Theory in Teaching and Learning:
Socio-Informatic Applications of Redundancy Theory

Toshiki KOJIMA

1. 研究の背景と目的

教育とは、学ぶこと、あるいは、教えることを基礎とした、人間の営みである。この営みの中で展開される、学ぶことや教えることのみか、メカニズムを明らかにすることは、教育方法あるいは教育内容の選択及び教育場面における人間理解に貢献する。それゆえ、教授-学習過程のみか、メカニズム、学習過程のみか、メカニズムの解明は、教育学において、重要な研究テーマの1つとしてあげられる。本稿は、このテーマに対して、認知情報処理アプローチを用いて取り組むものである。

脳科学を応用した教育学の始祖として知られる Frank (1969) や教育場面でのコミュニケーションの分析にリダンダンシー理論 the Redundancy Theory を用いた Cube (1965) といった初期の教育サイバネティシャンたちは、学習者の認知情報処理に着目し、教育における情報処理の理論的応用の検討を行ってきた。しかし、ここでの応用は、処理される情報の入出力の確率的相関における、相関の強弱の操作に留まるものであった。

他方、Ланда (1962) は、アルゴリズムという形式で、認知情報処理過程を記述し、アルゴリズムの教授を利用した教育実践の検討を行った。思考方法の教授として、効果的で効率的な認知情報処理過程のアルゴリズムを教授者から学習者

*筑波大学大学院人間総合科学研究科学校教育学専攻（教育工学）

へと伝達することを目指したが、アルゴリズムの新たな担い手である学習者が教授者と同じように同じアルゴリズムを実行することは困難であった。

ところで、Marr (1982) によれば、認知情報処理のプロセスの記述には次の3つの水準があるという。1つは、「計算理論 Computational Theory の水準」で、この水準では「動作がある種の情報から別の情報への写像として特徴づけられ、この写像の抽象的特性が正確に定義され、手元にある課題に対してその理論が適切かつ十分であることが示される」。もう1つは、「表現とアルゴリズム Representation and Algorithm の水準」であり、ここでは「入力と出力の表現および入力を出力に変換するのに用いられるアルゴリズムが決定される」。最後の1つは、「実装 Implementation の水準」であり、「アルゴリズムと表現がどのようにして物理的に実装されるかについて、詳細に理解する（いわば詳細な計算機構造の）水準である」(引用者注: 引用元では「実現」と訳されている“implementation”をここでは「実装」と訳した。)

この水準を用いるなら、Frank や Cube による情報理論の応用は「計算理論の水準」に、Ланда のアルゴリズムを用いた実践は「表現とアルゴリズムの水準」に相当する。両者は情報の入出力の最適化を行う研究であり、その目的を共通点としていた。この点で、記述水準の異なる両者の発展は相互に利益をもたらすものとなったが、その処理過程をブラックボックスとして扱っていた点においても共通していた。

対して、「実装の水準」での認知情報処理の研究には、Gal'perin (1969) によるものが挙げられるかもしれない。Gal'perin は、アルゴリズムを実行している認知情報処理主体の内的過程を重視し、そのプロセスのホワイトボックス化を目指した。

しかしながら、アルゴリズムを実行する主体の性質を記述することは、アルゴリズムを「物理的に実装」することとは別の意味を有する。ここには、「表現とアルゴリズムの水準」で示された教育効果が反映されていないためである。ゆえに、実行と実装は分けて考える必要がある。

かつて、処方的 Prescriptive な教授理論の実現のため、「教授のアルゴリズム化」及び「アルゴリズムの教授・学習」からなる「教授・学習のアルゴリズム化」をすすめた駒林 (1989) は、そこに偏在する問題を考量し、「処方 (指令・指示) だけでは不足である」点、「学習者の状態の「診断」が必要である」点を指摘する

ことで、実装と実行の結合の有用性の提起を行った。しかしながら、現況において、両者の結合に成功している研究は、筆者の管見の限り、存在しない。

昨今の認知科学の発展に伴い、認知情報処理主体の内的過程のホワイトボックス化は着実に進んでいる。しかし、この実装の問題の解決を待たずしては、「計算理論の水準」や「表現とアルゴリズムの水準」の記述と、「実装の水準」での記述が相互の寄与をなすことはないであろう。改めて実装の検討を行う理由がここに存在する。

そして、この実装の問題の解決には、構文と意味の組み合わせが心的表象 Mental Representation を形成する、とする Fodor & Pylyshyn (1988) の研究が手がかりを与えてくれる。先述の Frank や Cube、さらに、Ланда においても、認知情報処理の記述は、情報工学的な情報を処理対象として記述していた。それゆえ、これらの認知情報処理には、処理のルールとしての構文は存在していたが、意味の処理を担う理論については言及することはかなわなかった。情報工学的な情報は、教育における認知情報処理の主体であり実装の対象となっている学習者の人間としての性質とは離れて、数理処理の記述言語により扱われる定量的単位であったためである。

よって、上記の点を踏まえれば、情報の意味を認知情報処理の理論に組み込むことが必要となる。本稿では、この必要性を、扱う情報の種類を変更することで、充足する。すなわち、情報工学的な情報から社会情報学的な情報への変更である。社会情報学は、コミュニケーション上の情報の意味を扱うことを目的としており、これまで、コミュニケーション上の情報を定量的に分析し、情報工学的な情報を扱ってきた認知情報処理に新たな知見を付与するものとして期待される。

以上のことから、本研究は、教育場面での学習者の認知情報処理における「計算理論の水準」及び「表現とアルゴリズムの水準」での研究成果を「実装の水準」に反映させることを目的とする。そして、この目的に鑑み、「実装の水準」への反映の具体的手続きとして、次節以降において、情報の数理处理的側面を扱う従来の情報工学的な情報による理論的基盤を礎として、情報の意味を扱う社会情報学的な情報を処理する認知情報処理アプローチを採用し、Cube によって提出されているリダンダンシー理論の社会情報学的応用の検討を行う。

2. 情報と意味と解釈

情報とは、何らかの媒介により成立したコミュニケーションにおいて、送り手から受け手へと伝達されるものである。

教授-学習場面においては、教授者が、教授という行為により、言語等の記号を用いた情報の送り手となり、学習者がその情報を受け取る受け手となる。また、質問等の行為により、教授者と学習者の送り手と受け手の立場が入れ替わることもある。

あるいは、送り手が確認出来ず、また、その送り手の同定が情報への寄与を行わない場合もある。例として、配布用印刷物が挙げられる。学習者は、配布物の内容を情報として受け取る。誰が作成した配布物か（配布物という媒介を利用した情報の送り手は誰か）ということは問題とする必要がない。配布物の内容が情報源（受け手が、受け取っているとみなす対象）であり、情報でもある。

また、先に示したような教授-学習においても、誰がもたらした情報かということが情報への寄与を行う（重要性や価値が変わる）こともあるが、内容を重視するのであれば、情報の送り手の同定を必要とせずに情報を受け取ることも可能である。それゆえ、教授の内容もまた、情報源であるとみなす。

コミュニケーションにおいて、情報の送り手には意図が存在する。教授の例では、教授という行為に情報の送り手の意図が込められており、配布物の例では、配布物の作成による情報の送り手の意図が配布物の内容自体に盛り込まれている。いずれにしても、意図は情報の中に反映されて存在し、情報源からその意図に気付けるか否かは受け手にかかっている。そして、何より、情報源の選択及び情報を受け取るか否かの決定は、情報の受け手に委ねられている。

それゆえ、学習の認知情報処理では、送信よりも、受信を捉えることが重要となってくる。受け取った内容が、処理される内容となるからである。

情報は、受け手が存在しない状態では（“nonsense”として）無意味であり、受け手の処理を経て初めて、（“meaningless”として）無意味であるか、（“meaningful”として）有意味であるかの意味が決まる。認知情報処理において処理の対象となる情報は、それを受け取り処理を担う主体と独立しては存在し得ないものといえる。

ところで、教授-学習において、教授者が教授を行うことは、学習者が学習を行うことを必ずしも意味しない（Smith, 1961）。

教授者が「教授者」の役割を担うこと、そして、学習者が「学習者」の役割を担うことにより教授-学習は成立する。しかし、実際の教育場面においては、教授者が「教授者」の役割を担っているが、学習者が「学習者」の役割を担っていない状況、あるいは、その逆の状況が散見されるであろう。教授者が「教授者」の役割を担うことと学習者が「学習者」の役割を担うことは、必ずしも同期して生じているわけではないのである。換言すれば、教授者が「教授者」の役割を担うことは、学習者に「学習者」させることを意味するものではない。

同様に、教授者が教える内容と学習者が学ぶ内容もまた、一致するとは限らない。教授者が「教授者」の役割を担い、教授を行うこととその内容に、教授者の意図が含まれるが、教授を行うという意図（「教授者」の役割を担うこと）が学習者に必ずしも反映されること（「学習者」させること）がないように、教授内容の意図も学習者に必ずしも反映されるものではない。

コミュニケーションにおいて、情報の送り手は、自身の意図した内容に基づき、伝達する情報を作成し、情報の伝達を行う（符号化）。そして、情報の伝達を経て、情報の受け手は、伝達された情報を受け取り、その情報に自分なりの解釈を行い、解釈した意味を情報から得ることとなる（復号化）。

教授者が教え（ようと意図してい）る内容は、符号化において、さらに、復号化において、それぞれ形を変える。そして、最終的な形は、学習者によって解釈された意味として定まる。ゆえに、学習者が学習する内容は、学習者が解釈した意味により決まるのである。

3. 社会情報学的な情報のリダグダンスー理論

学習者が学習する内容、すなわち、学習者が解釈した意味に、教授者の意図を反映させるためには、学習者の解釈における予期を教授に反映しておく必要がある。

コミュニケーションの成立の前提において、情報の送り手と受け手には共有するルールが存在する（Grice, 1975）。情報の送り手は、「このように解釈されるはずだ」という受け手の解釈への予期を、情報の受け手は、「このように意図しているはずだ」という送り手の意図への予期を、それぞれ有し、コミュニケーションに参加している。

このコミュニケーションに関して、リダグダンスー理論の立場から、意図の確率分布と、それに対する解釈（および意図の予期）の確率分布の一致を目指した

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）。

このリダンダンシーにより学習を表現する方法には2種類ある。まず第一は、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、これに対応する特定の知識が保持されており、ある入力情報が既に（有している情報であるがゆえに）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、ゆえに、その可逆的な理論表現は、本質において一致している。

Cubeにより論じられた教育サイバネティクスのリダンダンシー理論は、両者に言及した上で、主に、内部的に保持される情報について論じているが、本稿では、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リダンダンシーを減じることで、必要な認知情報処理をより少なく要求する情報であるといえる。教授により意図している本質的な情報と、それを学習者に意図通りに解釈してもらうための、学習の促進に結びつく情報（リダンダンシー）を選択的に認知情報処理すること（させること）が、教授—学習の成果に帰結する。

入力情報における平均情報量であるエントロピー Entropy という概念でこの情報の大きさを考える場合、それ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（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）。

この相対度数の変化に応じたエントロピーの変化において、そのエントロピーの差分がリダンダンシーである。このリダンダンシーの増加は、わかりやすさ（事象の生起確率の同定）を促している場合にあっても、情報の伝達という点においては、リダンダンシー自体には本質とする情報は含まないため、“meaningless”として無意味な情報であり、無意味な処理をもたらすことになる。

エントロピーとリダンダンシーの総和が実際に伝達される情報であり、よって、その総和が処理対象であるといえる。しかし、エントロピーとリダンダンシーの総和は一定ではない。人間に処理することが可能な情報量に上限が存在することは、容易に想像出来る。エントロピーとリダンダンシーは、その上限のある帯域内で両者の割合を決定しているといえる。ゆえに、エントロピーを減じることでそのわかりやすさに貢献しているリダンダンシーにおいては、有限の帯域内で、貢献度の低いリダンダンシー（リダンダンシーを加えることで伝えられるようになるエントロピーより情報量の大きいリダンダンシー）を減じることで、伝達され、処理される情報量の総和を減じることが可能であり、また、必要である。結果、伝達される情報の総和も上限に対して余裕のあるものとなる。

それゆえ、学習の効率を高める方略の1つとして、エントロピーの減少を最小限にとどめ、リダンダンシーの減少を最大限に行い、行わなくてはならない処理の総和を減じることが挙げられる。そして、このための具体的な課題への取り組みが、情報の送り手の意図と受け手の解釈における、Frank (1969) の情報適合化である。エントロピーの増加は、情報が持つであろう意味内容の増加を示すとともに、意図と解釈の乖離の可能性をも示す。しかし、この乖離の回避は、情報を（“meaningless”として）無意味なものとする。情報の送り手と受け手において共有されている情報（“meaningless”として無意味な情報）が、共有されていない情報（“meaningful”として有意味な情報）の意図と解釈の一致を促しているためである。それゆえ、単純にリダンダンシーを減じることは、学習効果の低下に結びつくといえる。

リダンダンシーの減少は、情報の伝達効率を高め、すなわち、学習の効率を高め、リダンダンシーの付与は、情報の意味の同定を助ける、すなわち、学習効果を高めるのである。

しかしながら、リダンダンシーを減じることで効率を高め、確保された帯域は、新たなエントロピーとリダンダンシーの伝達に利用可能なため、他の情報の伝達

に係る学習効果を高めることにも利用可能である。それゆえ、学習効果を（増加させることなく、）維持することを前提として、リダンダンシーを減じること、すなわち、解釈される意味を保つ範囲で効率を高めることについて、以降で論じる。

序節にて示したように、そのためには、情報の意味を扱う必要がある。これは、情報工学的な情報の確率分布の一致だけでは、論じきれない問題である。なぜなら、効果は、伝達され解釈された情報、すなわち、意味によって決まるが、効率性は、伝達される情報の量によって決まるためである。情報の概念は、両者を可換に、あるいは、包摂的に扱いは得る概念へと転換されなくてはならない。

従来 of 数理処理を扱う情報工学的な認知情報処理に係る研究は、無機的な対象と無機的なメカニズムの記述を行いがちであった。しかし、本来、教育にて扱われる対象は、有機的な対象であり、その過程のメカニズムも無機的な対象を扱ったものでないものが好ましいことは言うまでもないであろう。この点において、社会情報学は、コミュニケーション上の情報の意味を扱うことを目的としている。

辻 (2004) による「ことばは、その文字どおりの意味の内では何ごとかを語り伝えるのみではない。その外にあるコンテキストとのかかわりにおいて何ごとかを示し伝えるものでもあるのだ。」という指摘にもあるように、情報は、意味とイコールではなく、意味を指示し、共有を促すものである。「文字どおり」という定量的かつ無機的な情報を扱う研究だけでは、人間の営みを明らかにするために充分であるとはいえない。情報は、情報それ自体として存在するのではなく、扱う人間との有機的結合の想定において存在するのである。

ゆえに、これより、前記したリダンダンシー理論による社会情報学的な情報を対象とした応用を検討したい。

4. マルコフ情報源におけるリダンダンシー

ここでは、エントロピーとリダンダンシーを生じさせる情報源について論じる。情報源は、成立したコミュニケーション上で伝達される音声言語や文字（言語）といった解釈可能な情報を有する記号として存在する。この情報源の解釈のプロセスについて、社会情報学的な情報を扱うことにより、リダンダンシー理論の「実装の水準」を検討する。

厳密には、情報源と情報は異なるが、リダンダンシーが学習者内とコミュニケ

イシオン上の2つの記述法を有していたように、解釈後の情報（すなわち、学習者にとっての意味）とそれに対応する解釈未然の情報及びそれを有する情報源を同様に扱う。解釈の対象とならない情報の部分とそれに対応する情報源の部分は、“nonsense”として無意味であるためである。

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。始めに、その使用として、わからず、出来ないのは、ある言語が、使用において、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、その情報源は学習者に対して開かれているのである（Ryle, 1960）。

ゆえに、そのような情報源の備える性質（理解が可能である、あるいは、不可能であるという性質）、及び、それを構成する要素は、分析のレベルでは、学習者の認知機能に帰属し、本稿の議論の範疇となる。

まず、情報の伝達に発話が用いられた場合について考える。

情報源は音声言語を記号とする情報から成り、情報の送り手は、情報の受け手が行う解釈が自身の意図と一致することを目的とし、記号を組み合わせる。この記号の組み合わせは、音声言語の使用に伴う、共有されるルールに従う必要がある。多くの場合、そのルールは文法規則として、文脈に依存した言語単位の連言 Disjunction に秩序を齎す。記号の結合の範囲は、文法上は無限にあり、記号の選択においても、有限ではあるが、果てはない。しかしながら、それらを使用する人間が、時間及び空間に限定を受けていることから、同定不可能な記号の使用がされることはない（Chomsky, 1965）。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。

これらの点に関しては、文字言語記号においても同様のことがいえるであろう。文字言語による情報源もまた、情報の送り手と受け手が意図と解釈の一致のために、共有されるルールに従うであろうことから、文法規則による連言のマルコフ

情報源と見なし得る。

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、この語彙を用いたい。すなわち、それは、情報の受け手が現在の状態という1つの単位として捉える現象が、その後発する1単位として捉えうる現象へと影響を与える確率過程である。

このマルコフ情報源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)。

つまりは、伝達される情報内において連続性を持つ、先行する情報の解釈が後続する情報の解釈における予期を促すとともに、情報の伝達が、次の情報の伝達に対する予期を助けることとなる。さらに、情報の伝達の繰り返しが、「文脈」という、情報の送り手と受け手の間で新たに共有される意図と解釈のルールを生ずるのである。

記号を用い伝達される情報単位は、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、それら大小のルール同士の総和として情報が秩序づけられ構成されている。よって、記号を用い伝達される情報は、解釈によりチャンキングされるサイズによらず、その伝達される記号における連言の操作により、リダグダンシーを除することが可能である。

例言すれば、「学習者の学習の認知情報処理」という情報が与えられた際、情報の受け手が、「学習者」という語に「学習を行う主体」という解釈が行えるのであれば、「学習を行う主体の学習の認知情報処理」と元の情報は解釈される意味において同値であろう。それゆえ、意味に寄与しないトートロジーをなしているリダグダンシーを除去しても解釈は変わらず、行為が明確ないし不問であれば「学習者の認知情報処理」、主体が明確ないし不問であれば「学習の認知情報処理」とし

でも元情報と同じ解釈を導くことが可能である。このことは、解釈される意味を保存する、より少ない情報の伝達を行うことを意味する。これは、最短コード化、あるいは、コルモゴロフ複雑性 Kolmogorov Complexity といい、Ланда が、元情報を生成可能な元情報よりも情報量の少ないアルゴリズムを情報として伝達することで、実現しようとしていたものである。

しかしながら、このリダンダンシーの除去は、「学習者」という語について「学習を行う主体」という解釈が行える情報の受け手に対してのみ該当する。「学習者」と「学習」が独立、あるいは、それに準ずる低い関連性を有していると解釈する受け手にはこの減じ得るリダンダンシーは存在しない。

情報の送り手がリダンダンシーを減じたうえで符号化し、教授内容を伝達可能か、受け手が情報源から（リダンダンシーを排して）選択的に情報を受け取り復号化し、解釈した意味が妥当な学習内容となるか、全ては、受け手の解釈と解釈に利用されるルールに依存する。

共有されるルールとして、情報の受け手が体言止めを理解していなければ、解釈は、情報源において既にその存在をリダンダンシーとして排除されてしまっている文の終止を待ち続けるであろうし、形容詞（句）について、続く名詞を修飾していることを理解していなければ、先の例に見られるような、解釈される意味において重要な位置を占める主語や目的語に対して、不要な形容詞（句）をリダンダンシーとみなすことは出来ないであろう。このように、共有されているルールとして、対象記号の規則を知らないというだけで、リダンダンシーとして扱える情報は制限される。しかしながら、裏を返せば、情報の送り手と受け手でルールが共有されていることが確認出来ていれば、上記の各情報をリダンダンシーとして扱えるのである。

解釈された意味における（“meaningful”として）有意味さの程度から、文脈によっても同様に、リダンダンシーを減じることが可能である。

現在伝達されている情報が既知であり、それゆえ、これから伝達される情報も既知である可能性が、直近のこれまでに解釈してきた意味から推察される文脈においては、以降に伝達される情報はリダンダンシーとして排除される（小嶋, 2009）。

単純化した例をあげれば、「先ほども言ったように」から始まる情報源に関して、「先ほど」において、その意味について解釈を終えている情報の受け手にとっては、「先ほども言ったように」という情報以降は、リダンダンシーな情報となり、

解釈を必要としない。

文脈によるリダグダンスの除去には、情報に対して文脈が有効性を持つ範囲が問題となる。これは、リダグダンスであると情報の受け手にみなされている間は、受け手は情報源から情報を受け取らず、情報の伝達が生じることがないためである。情報の送り手が情報の伝達を実現するためには、何（どの情報）をリダグダンスとみなすのかという、情報の受け手が造る、文脈という新たなルールを共有しなくてはならないであろう。ここでの情報の伝達は、文脈というルールに従っていることになるのである。

先の音声言語や文字言語によるマルコフ過程は、文法規則というルールに従うことで、秩序を与えられていたが、その前提として、同じ言語（例えば、日本語）を使う文脈であるということが、（日本語の）文法規則というルールの使用を認めていた。このように、大小様々なルールによって、大小様々なマルコフ過程が存在し、それぞれの秩序に基づき、それぞれが対象とする範囲で、情報をリダグダンスとして扱うことを可能としている。

とはいえ、そこにて生じている現象において、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。すなわち、先行する情報を解釈し、かつ、ルールに照らすことによって、後続する情報が、欲しくない情報（リダグダンス）であることを推量するものであり、欲しい（“meaningful”として有意義な）情報であることを推量するものではない。それゆえ、欲しくないであろう情報（リダグダンス）を減じることで、間接的に、欲しいと思っっている（“meaningful”として有意義であろう）情報の割合を増やしていくことが、社会情報学的な情報のリダグダンス理論の機能である。

そして、マルコフ過程をそれぞれ秩序づける、情報の送り手と受け手が共有するルールと情報の受け手が造るルールの数が増加するほど、先行する情報の解釈から可能な、後続する情報の推量は困難になる。加えて、マルコフ過程において、諸過程内の時系列的あるいは内容的な近接性を失えば失うほど、その諸過程内の事象関連性が弱まる。さらに、マルコフ情報源として扱いて得ない（情報の連続性が受け手に認識されない）情報源の諸情報は、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と思われる。

5. まとめと今後の課題

昨今、認知科学の発展により、学習者の認知機能のメカニズムが明らかとされてきている。しかしながら、それらは、現象の説明の論拠となることは多いが、明らかとされたメカニズムを応用し、現象において有効性を示すところには進んでいない。

理論には、2種類の役割があり、担う役割によって満たすべき基準が異なり、それゆえ、両者は区別される必要がある。1つは、記述理論である。記述理論では、実際に生じている現象の機能を正確に模し、かつ、その現象を矛盾なく説明出来ることが求められる。いま1つは、処方理論である。処方理論では、記述理論に照らし、望ましい現象に導き、望ましくない現象を回避するべく、対処の方法を提出出来ることが求められる。

この両理論の区別において、学習者の認知機能について立てられた理論は、記述理論から処方理論への変換が未完であるといえる。換言すれば、学習者の認知機能のメカニズムについて、立てられた理論上で予測され、期待される効果を、実際の学習者に生じさせるための方法、すなわち、実際の学習者への理論の実装のための方法の確立がなされていないということである。

本稿では、学習者の認知情報処理における「計算理論の水準」及び「表現とアルゴリズムの水準」で蓄積されてきた研究成果を「実装の水準」に反映させるため、リダグダンシー理論の社会情報学的応用を検討した。

学習者が学ぶ内容は、教授者が教授する内容と同じものではなく、教授者という情報の送り手が伝達した情報を、情報の受け手である学習者が解釈した意味に基づく。教授-学習の認知情報処理では、認知情報処理に対応する現象の結果は、解釈された意味によって示されるのである。ゆえに、本研究は、数理処理の対象としてみなされがちな情報を、社会情報学にて扱われる、コミュニケーションにより生じる意味としての情報へと置き換えることを試みた。

従来の認知情報処理研究においては、情報処理と、情報処理として表現されている現象に乖離が存在し、理論上の認知情報処理表現と実際の現象上で見られる認知情報処理の結果との対応が困難であった。その点で、教授者が教授に利用する音声言語や文字といった記号を情報源として、解釈される意味を扱う認知情報処理を論じる本稿の試みは、実際の教育場面での現象への親和性を求めることが可能である。そして、この親和性ゆえに、本稿にてなされた論考は、実際の学習

者への理論の実装にとって、有望な方法論的里程標の1つとなるであろう。

しかしながら、本稿で論じた内容も、理論の実装のための方法の確立という点では、十分なものとはいえないであろう。内包している課題のうち、主要なものを挙げるならば、次の2点となる。それぞれ、リダグダンスー理論の応用の対象についての課題が1点、リダグダンスー理論自体が持つ課題が1点である。

本稿において、社会情報学的な情報の、減じられるリダグダンスーとその同定は、文脈を扱ってはいるものの、音声言語や文字言語という記号とそれが従う文法規則といったルールを主として理論化されている。しかし、実際の現象において存在するのは、情報の受け手が解釈する対象として、選択されることを待つ情報源だけではないであろう。

すなわち、音声言語を例に採るなら、発話を行為として捉えることが出来ていないということである。発話という行為は、時として、情報の受け手に音声言語という記号の持つ情報の解釈を強制するように、あるいは、情報の受け手を全く想定していない、ないし、情報を受け取られることさえ想定していないようになされることがある。

情報の送り手による、情報の伝達の行為としての能動性を扱っていない点が、第1の課題として存在する。

また、2点目として、リダグダンスー理論が扱うコミュニケーションの範囲にも、今一步の工夫が必要であろう。

例えば、情報の送り手が発話という方法を採るとき、「○○」という音声情報が伝達される。しかしながら、情報の送り手の意図は、「○○」だけではなく、「○○を（発話という方法で）伝える」というところまでが含まれる。情報の受け手は、この意図全般に対して予期を働かせて解釈を行わなければならない。現状において、この「を伝える」に関する部分について、情報の受け手の解釈を理論に反映することが出来ていない。すなわち、言語化して説明及び記述出来ないコミュニケーションに対して可用性を持たないという課題が存在するのである。

別稿に譲ることとなるが、改めて上記課題に取り組む必要があるであろう。

引用参考文献

Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. MIT Press.

(安井稔 (訳) (1970). 『文法理論の諸相』 研究社)

- Cube, F. v. (1965). *KYBERNETISCHE GRUNDLAGEN DES LERNENS UND LEHRENS*. Ernst Klett Verlag.
 (西村皓 & 井上坦 (訳) (1972). 『情報理論と教育学』慶応通信)
- Cube, F. v. (1982). *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens. 4., neubearbeitete Auflage*. Ernst Klett Verlag.
 (西村皓 (監訳) (1987). 『サイバネティクスと学習理論：教育への一つの試み』東洋館出版社)
- Fodor, J. A. & Pylyshyn, Z. W. (1988). Connectionism and Cognitive Architecture: A Critical Analysis. *Cognition*. vol. 34, no. 1, pp. 93–107
- Frank, H. G. (1969). *Kybernetische Grundlagen der Pädagogik: Eine Einführung in die Pädagogistik für Analytiker, Planer und Techniker des didaktischen Informationsumsatzes in der Industriegesellschaft. 2. völlig neubearbeitete und wesentlich erweiterte Auflage*. Baden-Baden: Agis-Verlag.
- 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
- Gal'perin, P. Ya. (1969). Stages in the development of mental acts. in Cole, M. & Maltzman, I. A. (eds.). *Handbook of Contemporary Soviet Psychology*. Basic Books. pp. 249–273
- Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. in Cole, P. & Morgan, J. (eds.). *Syntax and Semantics; Vol. 3*. Academic Press. pp. 41–58
- 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
- 駒林邦男 (1989). 「教育研究の処方化と、その問題点」『学校教育研究』 vol. 4, pp. 15–23
- Ланда, Л. Н. (1962). О кибернетическом подходе к теории обучения. Вопросы философии. № 9
 (駒林邦男 (訳) (1970). 「合理的思考方法の教授とアルゴリズムの問題」 in 長谷川淳, 駒林邦男, 宮本敏雄 (訳). 『サイバネティクスと教育学』明治図書)
- Marr, D. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. W. H. Freeman and Company.
 (乾敏郎 & 安藤広志 (訳) (1987). 『ビジョナー視覚の計算理論と脳内表現』産業図書)
- Miller, G. A. & Frick, F. C. (1949). STATISTICAL BEHAVIORISTICS AND SEQUENCES OF RESPONSES. *Psychological Review* vol. 56, no. 6, pp. 311–324
- 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
- Smith, B. O. (1961). A Concept of Teaching. in Smith, B. O. & Ennis, R. H. (eds.). *Language and Concepts in Education*. Rand McNally. pp. 86–101

- 辻大介 (2004). 「コミュニケーションとレトリック」 in 吉見俊哉&花田達朗 (編). 『社会情報学ハンドブック』東京大学出版 pp. 18-21
- 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)

A Study on “the Implementation Level”
of Cognitive Information Processing Theory in Teaching and Learning:
Socio-Informatic Applications of Redundancy Theory

Toshiki KOJIMA

In this paper, a method to implement cognitive information processing theories for learners is proposed for the purpose of linking these theories to practical implementation in education.

According to Marr’s three levels of description, cognitive processes can be described as “Computational Level,” “Representational and Algorithmic Level” and “Implementation Level.” Although the first two levels offer satisfactory theories, there are no theories to implement cognitive information processing theories in humans in the strictest sense of the word “implementation.”

It is necessary to investigate how to implement the theory of cognitive processing in order to maximize theoretical effectiveness in educational practice. However, requirements may not be satisfied due to undeveloped methods of implementation.

In consideration of the implementation of the theory of cognitive processing, this study proposes one solution, adoption of socio-informatic information for description of cognitive information processing in place of information used in information engineering. Information in information engineering which has been used in preceding studies related to cognitive information processing is the object processed as calculation and computing. On the other hand, in socio-informatics, information is used as meaning interpreted by the receiver of information in one on one communication.

By using meaning in cognitive information processing, theories will have similarities between theoretical description and a phenomenon in educational practice. This will result in linking the theories to practice in education.