

感覚的处理と認知的处理から成る言語情報処理モデル

－ コネクショニズムからの検証 －

石 崎 貴 士

(山形大学大学院教育実践研究科)

中 村 江 里

(山形大学大学院教育実践研究科 M2 院生)

菅 原 友 佳

(山形大学地域教育文化学部 4 年次生)

A Language Processing Model Consisting of Sensory Processing and Cognitive Processing
Verified from the Connectionist Perspective

Takashi ISHIZAKI

Eri NAKAMURA

Tomoka SUGAWARA

Ishizaki (2011) introduced an integrated model of memory and information processing, which consists of two serial units: sensory processing and cognitive processing units. In this model, all the inputs perceived are initially processed at the semantic level (sensory processing), and then some of the inputs are attended and processed as part of the function conventionally referred to as working memory (cognitive processing). This model has the following distinctive features. With regard to the domain specificity related to working memory, the model views cognitive processing as domain-free and sensory processing as domain-specific. Furthermore, with regard to the functional dissociation between the activation sites in the brain related to working memory, the model views the anterior cingulate cortex (ACC) as a monitor for sensory processing, and the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) as a monitor for cognitive processing. This study aims to verify this integrated model using computer simulations principled by connectionism. Connectionism is an approach to understanding human cognition in which information processing is viewed as a function of neural networks interconnected in the brain. In this study, referring to Ishizaki and Nakamura (2020), which simulated language learning of Japanese-English bilinguals from the connectionist perspective, ACC's monitoring function in sensory processing, which is considered as domain-specific and thus language-dependent, was verified. In addition, referring to Sugawara (2021), which simulated relative-pronoun learning of English native speakers from the connectionist perspective, DLPFC's monitoring function to fulfill higher-level cognitive tasks in cognitive processing, which is considered as domain-free, was also verified. The results of both simulations provided supporting evidence for ACC's monitoring function in sensory processing and DLPFC's monitoring function in cognitive processing.

[キーワード] 感覚的处理, 認知的处理, コネクショニズム, ACC, DLPFC

1 理論的背景

(1) 代案モデル提唱の経緯

認知心理学の分野で人間を一種の情報処理体と見なすモデルが台頭してきたのは 1960 年代からであるが、Atkinson & Shiffrin (1968) によって提唱された短期記憶と長期記憶による記憶の二重貯蔵モデルは、その草分け的な存在と言える。しかしながら、この二重貯蔵モデルの枠組みでは記憶と処理の間に生じるトレードオフ¹⁾が説明できない。そこで、Baddeley & Hitch (1974) は注意を有限な資源としてとらえ、記憶と処理にどれだけその資源を割り当てるかという枠組みを提唱し²⁾、トレードオフを説明した。この考えを応用したのが Baddeley の作動記憶モデルである (Baddeley 1986, 1992, 2000)。

しかし、この作動記憶の枠組みでは、知覚されてはいるものの意識的な注意を向けられていない (あるいは、注意を向ける前の) 非注意情報の処理については説明できない。ところが、非注意情報についても Lackner & Garret (1972) の両耳分離聴による実験³⁾や Tipper & Driver (1988) の負のプライミングによる実験⁴⁾などにより意味処理のレベルに達するかなり深い処理まで行われていることが報告されている。そこで石崎 (2011) では、従来の作動記憶に係わる処理とは別に、これらの非注意記憶の処理を加えた新たな言語情報処理モデルを提唱した。

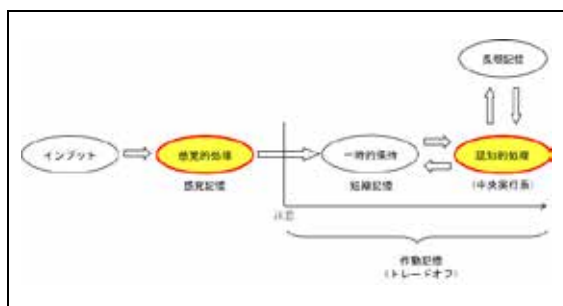


図1 感覚的処理と認知的処理から成る処理モデル (石崎 2011)

(2) 感覚的処理と認知的処理から成るモデル

このモデルでは、注意を向ける以前に刺激が知覚された時点で意味処理まで行ってしまう感覚的処理と、そこで処理されたものに注意を向け、意識を働かして行う、より高次の認知的処理という2つの独立した処理概念を想定している (図1を

参照)。

その際の言語情報処理過程では、まず言語情報がインプットとして知覚される。その時点で、情報は感覚記憶として非常に短い時間とどまると同時に意味的なレベルまで処理がなされる (感覚的処理)。感覚記憶のうち注意を向けられたもののみが短期記憶として一時的に保持され、そこで判断や推論といった、より高次の処理を受ける (認知的処理)。その際、適宜、長期記憶にある情報が引き出され、参照される。また、ここで処理されることで、情報は長期記憶の枠組みに体系付けられる。認知的処理は、従来の作動記憶における処理に該当するためトレードオフの影響を受けるが、感覚的処理は、知覚されてはいても意識的な注意を向けられていない感覚記憶においてなされるためトレードオフの枠組みからは独立している。

(3) 当該モデルの独創性

当該モデルの独創性としては、先述の作動記憶モデル (非注意情報の処理について説明できない) 以外にも、従来のモデルでは説明できない事象について説明が可能となる点が挙げられる。例えば、処理水準モデル (Craik & Lockhart 1972, Craik & Tulving 1975) では、処理を短期記憶 (作動記憶) に限定し、そこでの処理レベルが長期記憶へのリハーサルとしても機能するとしている。最も浅いレベルが形態的な処理で、次いで音韻的処理、意味的処理は最も深いレベルに位置づけられている。この処理レベルが、そのまま記憶の痕跡に反映され、より深いレベルの処理ほど再認率を高めるとしている。しかし、このモデルは処理を短期記憶 (作動記憶) に限定しているため、再生されない感覚記憶 (非注意情報) で最も深いレベルであるはずの意味的処理が行われていることを報告している先述の先行研究 (Lackner & Garret (1972) の両耳分離聴による実験や Tipper & Driver (1988) の負のプライミングによる実験) が説明できない。これに対し、感覚的処理と認知的処理から成る処理モデルであれば、感覚的処理 (感覚記憶における処理) についても意味的処理を認めているので説明が可能である。

また、処理の自動化モデル (Schneider & Shiffrin 1977, Shiffrin & Schneider 1977) は、処理自体を「制御的処理」から「自動的処理」へと変容していく連続体として捉えている。これらは、処理に要する「意識的注意」の量で区別され、

最初は意識的注意を向けなければならなかった制御的処理が、練習を重ねるうちに意識的注意を要しない自動的処理へと変容する。しかし、このモデルも、処理水準モデルと同様に処理を短期記憶（作動記憶）に限定しているため、この練習による処理形態の変容は、最初から意識的注意を必要としない感覚記憶での処理には通用しない。これに対し、感覚的処理と認知的処理から成る処理モデルでは、感覚的処理と認知的処理を、変容していく連続体ではなく、初めからそれぞれが独立したものとしてとらえている。そのため、意識的注意が向けられる前に行われる感覚記憶での処理（感覚的処理）についても説明が可能となる。

2 当該モデルを提唱する意義

(1) 処理領域の固有性をめぐる議論

このような感覚的処理と認知的処理から成る処理モデルを提唱する意義としては、これまで特に作動記憶についてなされてきた議論に対し、1つのソリューションを提案できることにある。作動記憶にかかわる処理については、その領域の固有性をめぐる議論がなされている。Daneman & Carpenter (1980) は、言語能力テストが個人の作動記憶容量を測定するリーディングスパンテストと相関を示したことから、同じ言語性の処理を共有しているためだとして作動記憶の処理領域の固有性を主張した。これに対し、Turner & Engle (1989) は、演算スパンテストによって測定した作動記憶容量でも言語能力テストとの間に相関が見られたとして処理領域の非固有性を主張した。しかし、Daneman & Tardif (1987) は、スパンテストと認知課題の処理領域がミスマッチなほど相関は弱くなるとして、これに反論している。しかし、どのようなシステムで相関にそのような違いが生じるのかについては説明されていない。

これについては、認知的処理と感覚的処理という2つの処理概念を導入すれば説明できる。スパンテストと認知課題は、共に認知的処理が関与しているために相関が見られたのだと説明できる。しかも、認知的処理を領域非固有とすれば、処理成分の領域が音読でも計算でも関係なく相関が見られる。さらに、感覚的処理を領域固有とすれば、認知的処理の前段階で行われる感覚的処理で同じ処理領域を共有している場合に相関が、さらに強くなることも説明できる。

(2) 脳内活性化部位をめぐる議論

作動記憶にかかわる脳内活性化部位としては、ニューロイメージングを用いて探索した先行研究により背外側前頭前野 (dorsolateral prefrontal cortex: DLPFC) と前帯状皮質 (anterior cingulate cortex: ACC) が指摘されている (荳阪 2002)。しかし、これらについては、より明確な機能分離を主張する研究もある。

例えば、MacDonald III et al. (2000) は DLPFC が注意の維持に、ACC が認知的葛藤場面のモニターに関与するとしている。一方、Smith and Jonides (1999) はストループ課題のように自動化された反応を抑制するのが ACC で、まだ自動化されていない制御的処理には DLPFC が抑制の機能を果たすとしている。これに対し、DLPFC と ACC の機能分離は自動的処理か制御的処理かでは説明できずとし、むしろ自動的処理においても制御的処理においても DLPFC と ACC は、ともに活性化しており、これらの活性化の度合いが処理の負担に応じて変化するという反証もある (ex. Bunge et al. 2000)。しかし、どのようなシステムで活性化の度合いにそのような違いが生じるのかについては説明されていない。

これについても、認知的処理と感覚的処理という2つの処理概念を導入すれば、同じ課題中に感覚的処理と認知的処理の並立が可能となるので、課題の違いを、制御的処理か自動的処理かではなく、含まれる感覚的処理と認知的処理の割合で説明できるようになる。また、脳内活性化部位の機能分離についても、感覚的処理に対するモニターには ACC が機能し、認知的処理に対するモニターには DLPFC が機能するとすれば、自動的処理か制御的処理かに関係なく、感覚的処理・認知的処理それぞれの割合に応じて ACC と DLPFC が共に活性化することに矛盾はなくなる。

3 コネクショニズムからの検証

前節では感覚的処理と認知的処理から成る処理モデルを提唱する意義について述べたが、当該モデルが実際の言語処理において機能しうるかどうかを直接的に検証することは、他の言語処理モデルと同様、大変困難である。そこで、本研究では、それを間接的に検証する手段の1つとしてコネクショニズムに基づいたシミュレーションによる検証を提案する。

(1) コネクショニズム

コネクショニズムは、人間の脳内の神経細胞がどのように働いているのか、その働きにヒントを得て考案された情報処理モデルのことで、心理学の分野では並列分散処理、工学系の分野では神経回路網とも呼ばれている。当該分野における諸研究 (ex. Rumelhart & McClelland 1986) では、一つ一つの神経細胞が行っている興奮と伝達というきわめて単純な作業を、脳内に構築されたネットワーク上で一斉に分散して行うことにより、従来は規則を適用してなされると考えられていた学習が、規則を適用することなく、神経細胞間の結合強度と個々の神経細胞の閾値を調整することのみで可能であることを、コンピュータを用いたシミュレーションによって実証してきた (守 1996)。

本研究では、このコネクショニズムをパイリンガルによる言語学習のシミュレーションに応用した石崎・中村 (2020) を参照して、感覚的処理における ACC のモニター機能についての検証を行い、さらに、コネクショニズムを英語母語話者による関係代名詞の学習シミュレーションに応用した菅原 (2021) を参照して、認知的処理における DLPFC のモニター機能について検証を行う。

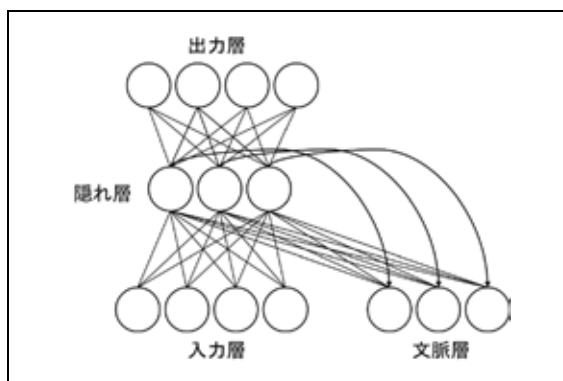


図2. 単純再帰ネットワークの構造
(Plunkett & Elman 1997: 152)

(2) ACC によるモニター機能の検証

石崎・中村 (2020) では、コネクショニズムの観点からパイリンガルによる言語学習のシミュレーションを行う際、Jeffrey Elman の考案した単純再帰ネットワークを用いた (Elman 1991, 1993)。単純再帰ネットワークは、入力層と出力層の間で内的表象を形成する隠れ層の状態を一時的に保持する文脈層を配していることに特徴がある。そのため信号を入力すると、その1つ前の信号が入力

されたときの隠れ層の状態を保持していた文脈層からの情報も隠れ層に入ってくるので、隠れ層では新しく入力された情報と文脈層からの情報とが混在することになる (図2を参照)。

この仕組みを利用することで、同じ信号 (例: B) を入力しても、1つ前に入力された信号が A であれば AB, A' であれば A'B というように隠れ層において区別できるようになる。加えて、単純再帰ネットワークでは出力として求められているものもパーセプトロン型のネットワークとは異なっている。つまり、特定の入力信号に対応する特定のパターンを出力信号として求めるのではなく、次に来る入力を予測させるのである。こうすることにより、単純再帰ネットワークでは語順のような時系列データの処理が可能となる。Elman (1991) の例で言えば、関係代名詞 (例: “who”) が入力された場合、1つ前に入力された信号が “boy” であれば出力として “lives (のような三人称単数の主語に対応する動詞)” を、“boys” であれば “live (のような三人称複数の主語に対応する動詞)” を予測させることになる (守 2001)。

石崎・中村 (2020) では、日本語と英語の違いが際立つ側面として今井 (2010) が主張する「言語カテゴリー」を学習の対象とした。言語カテゴリーは母語によって形成されるため、母語が異なれば言語カテゴリーも違ってくる。実際、異なる2つの状況 (動作) に対し、同じ表現 (動詞) を割り当てて対応する言語もあれば、違う表現 (動詞) を割り当てて対応する言語もある。例えば、日本語であれば①ボウルにリンゴを「入れる」、②窓にガラスを「はめる」というようにそれぞれ別の表現を割り当てているが、英語では①と②どちらも “put in” と表現される。逆に②窓にガラスを「はめる」と③タッパーにフタを「はめる」は、日本語では同じ表現を割り当てているが、英語では②は “put in”, ③は “put on” というようにそれぞれ別の表現を割り当てている。このように、同じ状況であっても言語によって知覚されるポイントが異なるため、ある言語では2つの状況の間に類似性が抽出できても、別の言語では類似性が抽出できないことを意味する。

シミュレーションでは、同じ場面 (状況) を共有しながらも日本語と英語で言語カテゴリーに違いが見られる用例を学習の対象とした。また、それらを文として提示するため、日本語にはない英

語における主語による動詞の語形変化（三単現の -s）や不定冠詞の用法（後に続く名詞が母音で始まる際に“a”を“an”に変化させる）についても学習の対象に加わった。

実験では、Plunkett たちによって開発された tlearn (Plunkett & Elman 1997, McLeod, Plunkett & Rolls 1998) をシミュレータとして用いた。tlearn は、Windows や Mac といった汎用性の高い OS 上で動作し、操作性にも優れているのみならずインターネット上で公開されているので、無料でダウンロードすることができる。また、操作方法についてもマニュアル（前掲）に詳しく解説されている。

実験の手続きとして、まずモノリンガルを想定し、日本語と英語それぞれをネットワークに学習させた。すると、日本語の文（8種類）については、各文 1,400 回の試行を経た段階で全ての日本語の文に対し正しい語順で次に来る単語を予測できるようになっていることがわかった。また、英語の文（8種類）についても、各文 1,300 回の試行を経た段階で全ての英語の文に対し正しい語順で次に来る単語を予測できるようになっていることがわかった。文法的な観点からすれば、英語の方が動詞における三単現の -s の有無や不定冠詞における a と an の使い分け等、日本語よりも課題が複雑なはずであるが、学習完了までに要した回数日本語と比べてほぼ差がなかったことは興味深い。

一方、バイリンガルを想定して日本語と英語を一緒に学習させた場合は、日本語文（8種類）と英語文（8種類）に対し、各文 100,000 回の試行を行ったが、日本語文と英語文の 16 種類全てについて正しい語順で次に来る単語を予測できるようになることはなかった。

感覚的処理と認知的処理から成る処理モデルでは、感覚的処理が処理領域の固有性を主張しているので言語依存とみなすことができる。それ故、感覚的処理が、このような言語の使い分けに寄与しているものと考えられる。また、ニューロイメージングを用いてバイリンガルの脳について調べた Abutalebi & Green (2008) によると、バイリンガルが一方の言語で話そうとする場合、もう一方の言語を使おうとする衝動を ACC が抑制していることが明らかになった。このように ACC が関与していることから、感覚的処理が寄与している

ことが考えられる。

そこで、ネットワークに ACC を想定したモニター機能を付加することを試みた。当該モデルでは ACC を感覚的処理に対するモニターと想定しているので、作動記憶の機能にかかわる隠れ層や文脈層を経由することなく、入力層から直接つながり出力層へと直接つながる新たな層として既存のネットワークとは別に付加することで設定した（図 3 を参照）。

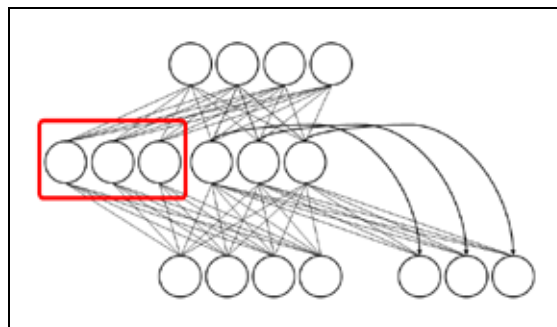


図 3. ACC の機能を付加した単純再帰ネットワーク（囲みの部分が ACC に該当）

この ACC の機能を想定した新たな層をネットワークに付加したところ、日本語文（8種類）と英語文（8種類）に対し、各文 77,000 回の試行を経た段階で日本語文と英語文 16 種類全てに対し正しい語順で次に来る単語を予測できるようになっていることがわかった。つまり、ネットワークに ACC を想定したモニター機能を付加することで、これまで完了させることができなかったバイリンガルの学習を完了させることができた。但し、モノリンガルと比べると 50 倍以上の試行数を要することもわかった。⁵⁾

(3) DLPFC によるモニター機能の検証

人間による認知的な発達段階（年齢）と言語習得の関係について、コネクショニズムの観点から検証を試みたものとして、Elman による一連の研究がある。Elman (1991) は、先述の単純再帰ネットワークを用いて英語の関係詞節を含んだ複文構造をコンピュータに学習させた。その際、予備実験の時点で、関係詞節を含まない単文と関係詞節を含む複文をランダムに提示していたのでは学習が達成されないことがわかったため、本実験では段階に沿った学習を導入した。まず第 1 段階では提示された 10,000 文すべてが関係詞節を含まない単文であった。第 2 段階では提示された 10,000

文のうちの25%が関係詞節を含む複文で、75%が単文であった。第3段階では10,000文のうちの半分が関係詞節を含む複文で、半分が単文であった。最後の第4段階では10,000文のうちの75%が関係詞節を含む複文で、25%が単文であった。トレーニングでは、各段階で10,000文それぞれに対し5回ずつの試行とそれに伴う結合強度の調整が繰り返されたので、各段階で50,000試行、段階全体では200,000試行となった。トレーニング終了後、結合強度を固定して、出力ユニットそれぞれの活性化の程度から正しい単語の生起する確率について調べたところ、ネットワークが関係詞節を正しく認識できていることが示された。

続くElman (1993)では、子どもたちが接する実際の言語環境が、必ずしも段階に応じたものに制約されてはいないという事実に着目した。そこで、ネットワークにおける文脈層の全ユニットの活性化値を、あるタイミングで強制的に中立的な0.5の値に調整することで、それまでの記憶が減衰する状態を再現できることを応用して、子どもの作動記憶におけるメモリースパンが発達に応じて増えていく過程をネットワーク上で再現した。シミュレーションの結果、この手続きに従えば、ネットワークは最初から関係詞節を含む複雑な文例が提示されても学習を達成できることがわかった。以上のことから、シミュレーションでは文脈層の機能制限によって再現したように、母語習得においては作動記憶におけるメモリースパンが発達に応じて増えていく認知的な発達段階それ自体が制約の役割を果たしている可能性が示唆された(Elman 2001)。また、この認知的な発達段階による制約の機能については、Elman (1991)のように易から難への段階的な入力刺激の提示によっても同様の機能を果たしうることも示唆された。しかし、このElmanによる一連の研究については他の研究者から反証も示されている(ex. Rohde & Plaut 1999)。

そこで菅原 (2021) は、Elman (1991) を別な観点から追検証した。その際、注目したのは段階の捉え方である。Elman (1991) では、関係詞節を含んだ複文が提示文中に占める割合によって易から難を規定していたが、菅原 (2021) は文の構造に着目し、易から難を①関係詞節を含まない単文(2文)、②主節の目的語に関係詞節が付く複文(3文)、③主節の主語に関係詞節が付く複文(6文)、

④主節の主語と目的語の両方に関係詞節が付く複文(9文) というように別の観点⁶⁾から規定した。シミュレーションは単純再帰ネットワークを用いて行い、シミュレータは石崎・中村 (2020) と同様にtlearnを使用した。

本実験の前に、Elman (1991) での予備実験を踏まえて、段階を考慮せずに①から④の全ての文例をランダムに提示してみた。各文15,000回の試行とそれに伴う結合強度と閾値の調整を繰り返した結果、Elman (1991) と同様、学習は達成されなかった。そこで、本実験では段階に応じた文例の提示を導入した。その際の手続きとして、第1段階では①(2文)のみを、第2段階では①(2文)と②(3文)を、第3段階では①(2文)と②(3文)と③(6文)を、第4段階では①(2文)と②(3文)と③(6文)と④(9文)をランダムに提示していくように設定した。当該の段階で各文15,000回の試行とそれに伴う結合強度と閾値の調整を繰り返した後、結合強度を固定して正しい予測ができていないか学習の達成状況を確認し、達成できていたら次の段階へと進めるようにした。シミュレーションの結果、第1段階と第2段階では学習を達成することができたが、第3段階では出力にエラーが発生し、学習を達成することができなかった。この結果はElman (1991) とは異なり、易から難への段階を規定し、段階に応じた提示をしていくだけでは学習を達成させることができないことを示唆している。

学習達成に向けての試みとして、先述の石崎・中村 (2020) と同様にACCを想定したモニター機能をネットワークに付加してシミュレーションを行ってみた。その結果、第1段階では学習を達成することができたが、第2段階の時点で、すでに出力にエラーが発生してしまい、最終段階まで学習を達成させることはできなかった。つまり、ACCのモニター機能を付加していない元のネットワークよりも悪い結果となってしまい、むしろ逆効果となってしまった。これは、ACCが感覚的処理に対するモニターであり、今回の課題は日本語と英語の使い分けのような言語に依存した領域固有のものではなく、より高次の認知的処理を要する領域非固有のものであったため、今回の課題にACCによる機能介入は適さなかったのかもしれない。

そこで、領域非固有の認知的処理に対するモニターであるDLPFCを想定したモニター機能を代わ

りに付加することにした。当該モデルでは、DLPFC を認知的処理に対するモニターと想定しているので、作動記憶の機能にかかわる隠れ層や文脈層を経由した情報に対して働くように、文脈層につながる隠れ層からつながり、出力層へとつながる新たな層を既存のネットワークとは別に付加することで設定した (図 4 を参照)。

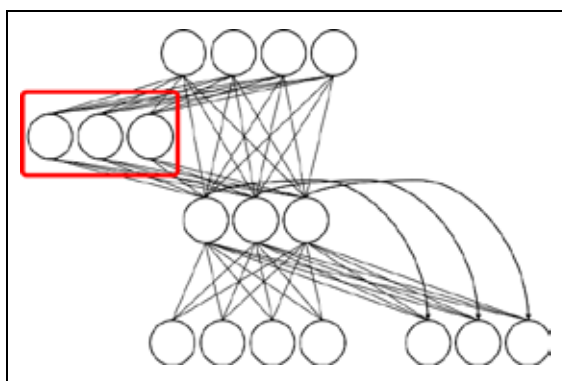


図 4. DLPFC の機能を付加した単純再帰ネットワーク (囲みの部分が DLPFC に該当)

この DLPFC を想定したモニター機能をネットワークに付加して学習をさせた結果、第 1 段階と第 2 段階で学習が達成されただけでなく、続く第 3 段階、さらには最終段階である第 4 段階についても学習を達成することができた。このことから、より高次の処理が要求される認知的課題のハードルを越えるためには、単に易から難への段階を規定して、段階に応じた文を提示していくだけでは不十分であり、DLPFC によるモニター機能を働かせる必要性が示唆された。⁷⁾

4 今後の課題

前節の研究事例は、いずれもコネクションニズムの視座から実験・検証を行い、感覚的処理と認知的処理から成る言語情報処理モデルについて、特に感覚的処理における ACC によるモニター機能と認知的処理における DLPFC によるモニター機能の機能分離という観点から支持証拠を提示している。しかしながら、このようなアプローチ自体が実験的な試みであると言えるため、これらの支持証拠のみで当該の処理モデルの一般化を主張するのは早計かもしれない。今後は、より広範な言語使用を加味した課題によるシミュレーションを行ったり、他の分析手法を取り入れたりするなど、より多角的な観点からの検証を積み上げていく必要が

ある。

注

* 本論文の執筆に当たっての役割分担として、まず石崎が素稿を執筆し、その後、中村・菅原それぞれが自らのかかわった研究に言及している箇所を中心に校閲を行った。

1) ここでいうトレードオフとは、例えばインターネットの情報入力画面で、相手からメールアドレスを聞いて、当該情報を入力する操作に手間取っていると、肝心のアドレスの方を忘れてしまうというように、処理に気を取られていると保持していたことを忘れてしまう (あるいはその逆の) 現象を言う。このような短期記憶の忘却は、保持時間の制約によるものではなく処理による干渉が原因だと考えられるため、情報の保持に焦点を絞っている Atkinson & Shiffrin (1968) の二重貯蔵モデルでは説明することができない。

2) Baddeley & Hitch (1974) では、参加者に推論課題 (文の正誤判断) と記名課題 (文字情報の保持) の両方を課す二重課題による実験を行った。その結果、正しく再生することを重視したグループでは統制時と比べて著しく正誤判断に時間を要し、正誤判断の速さを重視したグループでは正しく再生できた文字の数が統制時と比べて著しく減少した。この結果から、Baddeley と Hitch は保持と処理に共通して用いられる資源というものを想定し、この資源に限りがあるため保持に多くを費やすと処理がおぼつかなくなり、処理に多くを費やすと保持に支障をきたしてしまうと考えた。

3) Lackner & Garret (1972) の両耳分離聴による実験では、参加者の右耳と左耳とで異なる音声 (文) を提示した。その際、参加者には片方の耳 (注意耳) に流れる音声 (文) をパラフレーズするように求めた。パラフレーズする文の中には、単独では意味を特定できない曖昧文が混じっている。曖昧文とは、例えば “The spy put out the torch as our signal to attack” のように、この文単独では、たいまつを消すのか、たいまつを屋外へ出すのかを特定できないような文を指す。実験では、もう片方の耳 (非注意耳) に流す文の内容が、曖昧文の解釈にどのような影響を及ぼすかが調べられた。実際、曖昧文の解釈には偏りがある。どちらの解釈が一般的なのかは、非注意耳に曖昧文の解釈とは無関係な文を流すことで特定する。その

一般的な解釈 (R1 とする) をする割合が、非注意耳に同じ解釈の文脈を示す文 (R1) を提示した場合と別の解釈の文脈を示す文 (R2) を提示した場合とで、どのように変化するかを見た。その結果、非注意耳に R1 を提示した場合には R1 の解釈をする割合が高くなり、R2 を提示した場合には R1 の解釈をする割合に低下が見られた。しかも、実験参加者は非注意耳にどんな文が提示されていたのか覚えていないと実験後報告している。このように、曖昧文の解釈は明らかに非注意耳の文意に影響を受けていたことから、注意を向けられていない言語情報についても意味的な処理がなされていると考えられる。

4) 負のプライミングとは、先行して提示された無視すべき刺激が、その後、今度は注意すべき刺激として提示されると反応時間に遅れが生じる現象をさす。Tipper & Driver (1988) の実験では、参加者に2つの単語が一部重なるようにして書かれたカードが示された。単語は、1つは赤い字、もう1つは緑の字で書かれており、実験では、このようなカードが2枚ずつ順に示されていく。まず1枚示されたら、参加者は、赤い字で書かれた単語 (例: trumpet) そのものではなく、それが属すカテゴリー (例: music) を覚えておくよう指示される。次に、もう1枚示されたら、今度は、そのカードに赤い字で書かれた単語 (例: dog) が属すカテゴリー (例: animal) を、できるだけ早く口頭で答えるよう求められる。そして、その後で、前のカードのカテゴリーを再生するよう求められる。実験の結果、前のカードの無視すべき刺激 (緑の字で書かれた単語) が、後のカードの注意すべき刺激 (赤い字で書かれた単語) になっている場合 (この例で言えば dog)、前のカードの注意すべき刺激も無視すべき刺激も、後のカードの注意すべき刺激とは関連のない統制条件のときと比べて、統計上有意差が見られるほど反応時間に遅れが見られた。さらに、このような反応時間の遅れは、前のカードで示す刺激のみを、単語ではなく、その内容を表す絵にした場合でも、逆に、後のカードで示す刺激のみを、単語ではなく絵にした場合でも、同様に見られたことから、単に形式の一致によるものではなく、意味のレベルまで処理されていることがわかる。しかも、最後の試行で突然、これまでの指示と異なり、前のカードの無視すべき刺激は何だったかを尋ねる方法で、無視すべき

刺激の保持の程度を調べたところ、正しく答えられた割合は、統計的に見て偶然の域を出るものではなかった。以上のことから、注意を向けられていないため保持もされていない文字情報でも意味のレベルまで処理がなされていたと考えられる。

5) 本研究では、石崎・中村 (2020) にはない比較のための追検証として、後述の DLPFC を想定したモニター機能を付加したネットワークを用いて同様のシミュレーションを実施した。トレーニングでは各文 100,000 回の試行を行ったが、日本語文と英語文の 16 種類全てについて正しい語順で次に来る単語を予測できるようになることはなかった。このことから、言語の使い分けのような領域固有の感覚的処理のモニターとして ACC は機能するが、DLPFC は機能しないことが支持された。

6) また、Elman (1991) では各提示文を構成する要素は具体的な単語 (Mary, dogs, walk, chase, 等) であったが、菅原 (2021) では記号化された品詞 (S, Vi, Vt, O, R) であった。その際、簡略化として単数主語と複数主語を区別しなかったため、それらに対応する動詞の使い分け (三単現の -s の有無) が学習の対象から外れている。

7) 因みに、この DLPFC を想定したモニター機能を付加したネットワークについても、段階を考慮せずに①から④の全ての文例をランダムに提示してみた。各文 15000 回の試行とそれに伴う結合強度と閾値の調整を繰り返したところ、やはり学習は達成されなかった。このことから、DLPFC によるモニター機能を付加しても、段階に応じた提示は必要であることが示唆された。

引用文献

- Abutalebi, J., & Green, D. W. (2008) Control mechanisms in bilingual language production: Neural evidence from language switching studies. *Language and Cognitive Processes*, 23, 557-582.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968) Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Vol. 2 (pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1986) *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1992) Working memory. *Science*, 255,

- 556-559.
- Baddeley, A. (2000) The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974) Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Vol. 8 (pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B. & Gabrieli, J. D. E. (2000) A resource model of the neural basis of executive working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 97, 3573-3578.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, R. S. (1972) Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Craik, F. I. M. & Tulving, E. (1975) Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104, 268-294.
- Daneman, M. & Carpenter, P. A. (1980) Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Daneman, M. & Tardiff, T. (1987) Working memory and reading skill re-examined. In M. Coltheart, (Ed.), *Attention and Performance XII* (pp. 491-508). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Elman, J. L. (1991) Distributed representations, simple recurrent networks, and grammatical structure. *Machine Learning*, 7, 195-225.
- Elman, J. (1993) Learning and development in neural networks: The importance of starting small. *Cognition*, 48: 71-99.
- Elman, J. (2001) Connectionism and language acquisition. In M. Tomasello & E. Bates, Eds. *Language Development: The Essential Readings* (pp. 295-306). Malden, MA: Blackwell Publishers.
- 今井むつみ(2010)『ことばと思考』, 岩波書店.
- 石崎貴士(2011)『感覚的処理と認知的処理から成る言語情報処理モデルの検証: 応用言語学的観点からの考察』, 博士論文(東北大学)
- 石崎貴士・中村江里(2020)「ACCを想定した修正エルマンネット: その適用可能性についての追検証」, 『山形大学大学院教育実践研究科年報』, 第11号, 16-24.
- Lackner, J. R. & Garret, M. F. (1972) Resolving ambiguity: Effects of biasing context in the unattended ear. *Cognition*, 1, 359-372.
- MacDonald III, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A. & Carter, C. S. (2000) Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835-1838.
- McLeod, P., Plunkett, K. & Rolls, E. T. (1998) *Introduction to Connectionist Modeling of Cognitive Processes*. Oxford: Oxford University Press. (深谷澄男(監訳)(2005)『認知過程のコネクショニスト・モデル』, 北樹出版)
- 守一雄(1996)『やさしいPDPモデルの話: 文系読者のためのニューラルネットワーク理論入門』, 新曜社.
- 守一雄(2001)「単純再帰ネットワーク(エルマンネット)による文法の獲得」, 守一雄・都築誉史・楠見孝(編)『コネクショニストモデルと心理学: 脳のシミュレーションによる心の理解』, 北大路書房, pp. 26-37.
- 荻阪満里子(2002)『脳のメモ帳 ワーキングメモリ』, 新曜社.
- Plunkett, K., & Elman, J. L. (1997) *Exercises in Rethinking Innateness*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rohde, D. L. T., and Plaut, D. C. (1999) Language acquisition in the absence of explicit negative evidence: How important is starting small? *Cognition*, 72, 67-109.
- Rumelhart, D. E. & McClelland, J. L. (1986) On learning the past tenses of English verbs. In D. E. Rumelhart, J. L. McClelland & the PDP Research Group (Eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol. 2 (pp. 216-271). Cambridge, MA: MIT Press.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977) Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977) Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Smith, E. E. & Jonides, J. (1999) Storage and executive

processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.

菅原友佳 (2021) 『文構造の複雑さを考慮した段階的な学びの有効性について：Elman(1991)の再検証』, 山形大学地域教育文化学部卒業論文 (2021年1月29日提出予定) .

Tipper, S. P. & Driver, J. (1988) Negative priming between pictures and words in a selective attention task: Evidence for semantic processing of ignored stimuli. *Memory & Cognition*, 16, 64-70.

Turner, M. L. & Engle, R. W. (1989) Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28, 127-154.