

言語の認知科学 第3回配布資料

担当：浅川伸一

2009年10月14日

1 失読失書

1.1 純粹失読

純粹失読とは、日常会話が可能で、発話理解も可能、書字にも障害がなく、物体認知にも障害が認められないにもかかわらず、印刷された文字だけ読めない症状を指す。典型的には、自分の書いた文字を直後に読むような課題でさえ困難である¹。読字過程だけが選択的に障害されるという意味で「純粹」失読と呼ばれる。日本語では、個々の文字の読みに障害がみられ、単語や文章でより障害が目立つ。読めない文字でも、字画をなぞることによって読めることが多く、なぞり読みと呼ばれる。純粹失読のこのような特徴を考えれば、読字過程は、他の高次脳機能とは独立して存在するモジュールによって処理されていることが示唆される。ここでモジュールとは機能単位という意味で用いたが、このモジュールは大脳皮質における機能局在を意味しているわけではない。既述のとおり脳内の複数部位が協調して一つの認知機能を実現していると考えべきであって、特定の認知機能の局在が単純に特定の脳内部位に還元可能だと考えるべきではない。

日本語との関連で言えば、仮名に選択的な障害を示す失読患者と、漢字に選択的な障害を示す失読症患者とが存在すると言う報告もある。仮名に選択的な障害を呈する失読症患者は式名呼称障害をも併発していることがある。すなわち、書記素と音韻との一対一の対応関係が存在する仮名と、同じく視覚情報と音韻との間に一対一対応関係が存在する式名呼称とで同一患者で障害が共起する。一方、書記素から音韻への一対一対応が存在しない漢字の読みに関しては、式名呼称障害と症状が共起するとは言えない。このことから、視覚情報処理から言語情報処理への共通の神経機序を有している可能性が考えられ、興味深い。

1.2 失読失書

失読と失書が一つの病巣によって同じに生じたものをいう。

読みは、音読と読解の両方が障害される。日本語では、仮名、漢字ともに読みが障害され、両者の間に差があることも少なくないが、いずれかが良好という一定の傾向は見出し

¹純粹失読症患者の読みは、逐次読み letter-by-letter reading になり、例えば英単語 read を R, E, A, D と非常にゆっくりと発話する。

がたい。なぞり読みの効果はない。書字障害と失語については障害や回復の程度は異なる場合がある。

失書は、左右の手に現れる。字形態の崩れは少ない。写字能力は保存されており、文字を一瞥して自分の字体による書き下ろしが可能である。

1.3 純粹失書

失書が独立して起こるか、他の高次脳機能障害を伴っていても、それによって書字障害を説明できないものをいいます。

失書は自発書字、書き取りのいずれでも現れます。単語はもちろん文字が書けないことが主体となります。

文字の想起・書き出しに時間がかかる、書きかけて迷う、通常では考え難い運筆または少しづつ書き加えながら書き上げるという所見がみられれば、最終的に書いても失書といえます。

1.4 その他の失書

失書の責任病巣として、エクスナーの書字中枢 Exner's writing center を挙げる研究者もいる。エクスナーの書字中枢は中前頭回であるとされるが、この部位に損傷がなく、他の部位に損傷があっても書字の障害が発生することもあり、研究者の見解は一致していない。

その他、hypergraphia, micrographia という症例も存在する。hypergraphia とは、ペンを持たせると際限なく字を書き続ける症状を言い、micrographia とは書字が極端に小さくなる症状をいう。いずれの症状も責任病巣はハッキリとしない。

2 表層失読，音韻失読，深層失読

読字過程の障害には 3 種類ある。音韻失読症 phonological dyslexia、表層失読症 surface dyslexia、深層失読症 deep dyslexia である。

音韻性失読症の患者は実在する単語は読むことができるし、非単語を書き取ることもできるし、復唱することもできるが、非単語を読むことができない。例えば must は読むことができても実際には存在しないが発音可能な単語 must を発音することができない。3.1 節で説明する二重経路モデルに照らして考えれば音韻失読は書記素から音韻へ変換（直接経路という）の障害と考えることができる。音韻性失読に選択的障害を持つ患者は、通常の単語であれば問題なく読めるので、一見すると失読患者ではないように見える。

表層失読の患者は、規則語や非単語を読むことができるが、低頻度の例外語を読むことができない（例えば yacht）。表層失読の患者は視覚性の誤り（dog を dot と言ったりする）もするが意味の誤りはない。健常者であれば、例え自分の知らない単語であって、綴りと音の一般的対応関係から、それらしい発音をすることができる。ところが表層失読の患者

はそれができない。表層失読はトライアングルモデルに沿って考えれば、意味への間接経路の障害と考えることができる。

深層失読の患者は音韻失読の患者と同じく非単語を読むことができない。このことに加えて、深層失読の患者は意味性の錯読を示す。例えば dog を cat と言ったりする。また、視覚性の誤りを示すことがある。ときには上記二つの混ぜ合わさった読みの誤り、たとえば sympathy を orchestra と言ったりする (おそらく sympathy と綴りの似ている symphony を介して)。この種の患者は、抽象語と具体語の成績にも差があることがある。具体語である「椅子」よりも抽象語である「真実」の読みの成績が悪い。3.1 節の二重経路モデルによる深層失読の説明では、書記素から音韻への直接経路の障害の他に意味経路の障害が加わったとされる。

3 二重経路モデル, トライアングルモデル, エキスパート混合モデル

次には古典的な読みのモデルである二重経路モデルを説明し、二重経路モデルへの批判から生まれたニューラルネットワークモデルであるトライアングルモデルを紹介する。そしてトライアングルモデルを用いた労働の分割問題 (3.2 参照) によって、どのように表層失読と音韻失読と捉えられるかを説明する。

3.1 二重経路モデルによる読みの障害の説明

印刷された文字を音読するを考える。Coltheart たち (Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993; Coltheart & Rastle, 1994) によって開発された記号处理的な読みのモデルである二重経路モデルでは、印刷文字を音韻へ変換するための明示的な規則に基づく直接経路と、規則にあてはまらない単語を読むための単語ベースのルックアップテーブルをもつ間接経路 (語彙経路) とから構成されている。

印刷された文字を読むときには、直接文字を音韻へと変換する直接経路と、例外語の語彙テーブルまたは意味を介して発話に至る間接的な経路との2つの経路を仮定するのが二重経路モデルである。

さまざまな議論はあるものの、心理学における論争の一つは、単一経路か二重経路かという議論ではなく、直接経路と間接経路の処理の違いに関してである。二重経路モデルとニューラルネットワークモデルであるトライアングルモデルとの違いは、二重経路モデルの特徴は明示的で記号处理的なルール (ルックアップテーブル) を用いることである。すなわち二重経路モデルでは2つの経路間の離散的なスイッチが仮定されている。

3.2 トライアングルモデルによる読みの障害の説明

二重経路モデルの批判から出発したモデルであるトライアングルモデルを見てみよう。トライアングルモデル (Plaut, McClelland, Seidenberg & Patterson, 1996) では明示的で

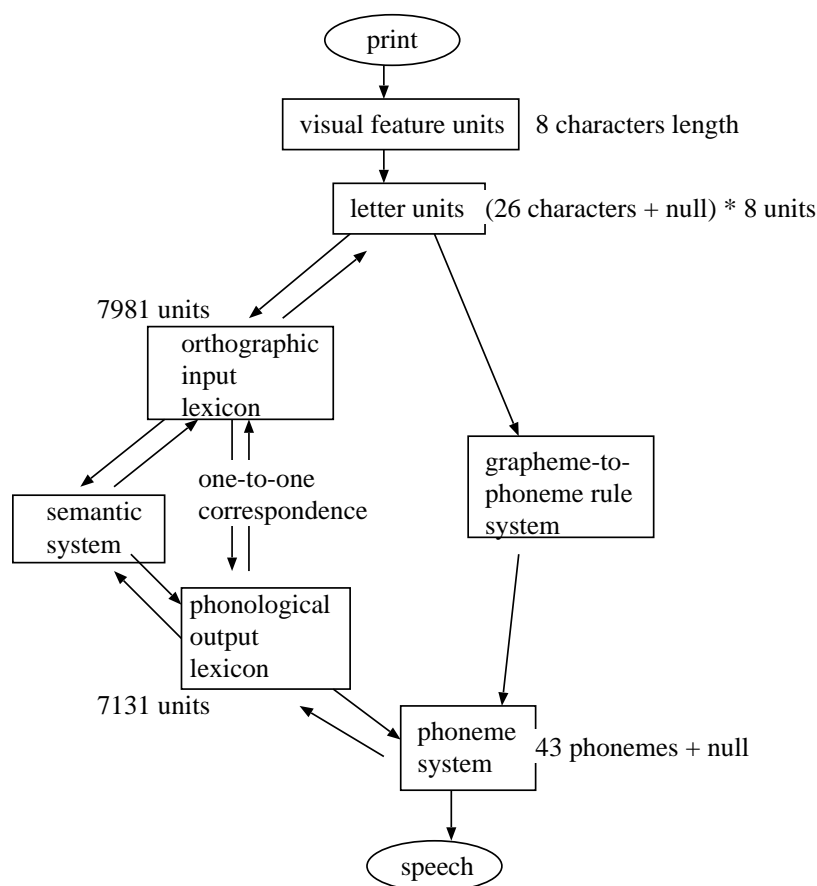


図 1: 二重経路モデル

記号処理的なルール (ルックアップテーブル) あるいはスイッチの存在を仮定しない。代わりに、トライアングルモデルでは同時的、相互作用的处理が仮定される。書記素、音韻、意味の情報は各ユニット群内/群間で分散表現されており、類似した単語は、ユニット群内の類似した活性パターンとして表現されている。

トライアングルモデルにおける直接経路では、多くの単語と発音規則が一致する規則語と高頻度の不規則語が学習される。一方、低頻度の不規則語は意味系に依存すると仮定される。従って直接経路は単語の頻度効果に、すなわち単語の統計情報 (生起確率) に敏感である。規則語および高頻度例外語と低頻度例外語との処理の違いには労働の分割 (division of labor) と呼ばれる作用が関与する。

対照的に規則に基づく二重経路モデルでは高頻度不規則語を扱うことが期待できない。さらに、2つの経路間の離散的なスイッチを持つ代わりに、トライアングルモデルでは同時的、相互作用的处理による、軟らかい労働の分割が行なわれる。

トライアングルモデルでは英語の単音節単語約 3000 語を読むことができる。onset, vowel, coda による単語表現初期のトライアングルモデル (Seidenberg & McClelland, 1989) では、

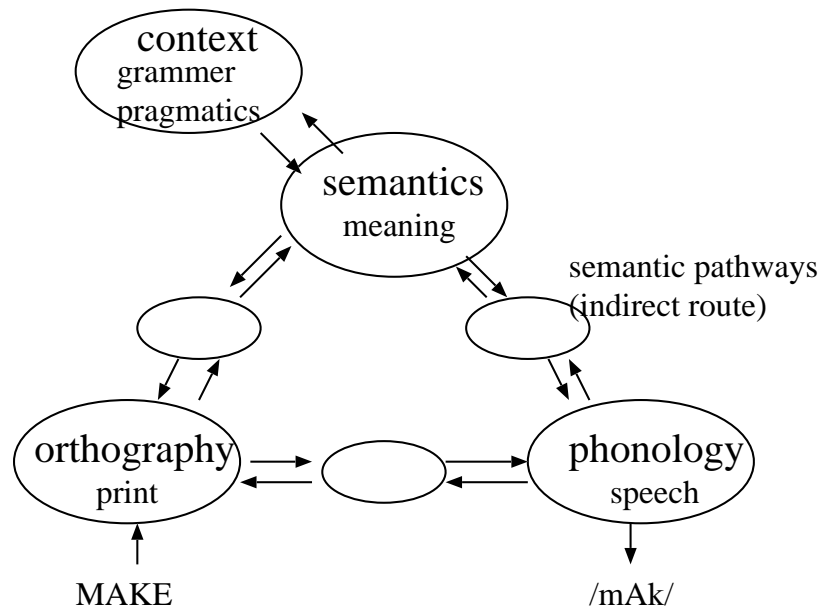


図 2: トライアングルモデル

非単語を読むことができなかったため、人間の読みのモデルとしては適当でないという批判を受けていた。Plautら(1996)では入力表現を工夫し、オンセット、母音、コーダという3つの部分から構成される母音中心表現と呼ばれる表現を用いている。この入力表現の工夫により非単語の読みについても人間と同程度の能力があることが示された。この例のようにニューラルネットワークモデルではネットワークに与える入力表現にどのような工夫を凝らすかが重要である場合が多い。Pluatら(1996)が用いた母音中心表現を自動的に学習させる試みもなされている(O'Reilly & Munakata, 2000)。

トライアングルモデルでは、次のような心理実験結果を説明することができた。

1. 1. 高頻度語の音読潜時は低頻度語の音読反応時間よりも速いこと、
2. 2. 規則語は例外語よりも音読反応時間が速いこと、
3. 3. 頻度効果との交互作用があること、すなわち規則語か例外語かの違いによる効果については、低頻度語の方が効果が大きく、高頻度語では効果が小さいこと、

などである。これに加えてトライアングルモデルでは、図2の実線で描かれた部分を実装し、図中の数字が描かれている部分を破壊することで音韻失読の症状が再現された。特に低頻度の例外語を規則化して発音する誤りが見られた。すなわち、音韻失読は直接経路への損傷の結果生じると見なすことができ、モデルの出力結果は患者の検査結果とも一致していることが示された。

トライアングルモデルはニューラルネットワークの特徴である相互作用をする。一旦書記素層へ入力された文字は、意味層を介する間接経路と音韻層に直接出力を送る直接経路

との両方の影響を受けるとされる。ある単語がどちらの経路をたどって読まれるかは、単語毎に、また、個人毎に異なると仮定されている。直接経路では規則語と高頻度語例外語とが処理され、低頻度例外語は間接経路である意味層のサポートを必要とする。このように単語毎に2つの経路の影響が異なって表現されることを労働の分割問題という。

表層失読は、この労働の分割問題によって説明される。労働の分割による説明では直接経路に損傷がある場合、間接経路を経由した読みは労働の分割の程度によって不完全な読みが生じるからである。

上記のようにトライアングルモデルによって、表層失読と音韻失読という二重乖離した失読症状を同一機構で説明することに成功したことがトライアングルモデルの特徴である。一方、二重経路モデルによる表層失読の説明では、なぜ表層失読患者に視覚性の誤りが生じるのかが不明確である。二重経路モデルにおいては、表層失読は直接経路の障害に加えて間接経路も障害されているという説明になり、複数の認知機能が同時に損傷を受けたと仮定せざるを得ないからである。

3.3 混合エキスパートネットワークモデルによる統合

ただし、トライアングルモデルでは労働の分割問題を実装しているわけではない。トライアングルモデルでは書記素層から音韻層への直接経路だけがシミュレートされただけであり、モデルで説明できない部分を労働の分割と読んでいただけである。

3.3.1 ニューラルネットワークモデルによる読みの再解釈

以上、トライアングルモデルの二重経路モデルに対する優位性を概説してきた。ここで、あらためてニューラルネットワークモデルに単語の読みを学習させることの意味を考えてみよう。ニューラルネットワークに単語の読みを学習させるということは、書記素から音韻への変換規則を学習させることである。低頻度例外語にエラーが大きいのは、他の大部分の単語に共通する書記素-音韻対応規則を学習し、その結果を適用しているからであって、ニューラルネットワークの見地からすれば正しい一般化と解釈することができる。すなわち、未学習のデータに対して、学習によって獲得した書記素-音韻対応規則を適用しているという意味である。むしろ、高頻度例外語は学習のしすぎ、すなわち過学習なのである。例外語と規則語との頻度効果の交互作用は、このような説明が可能である。そして、直接経路と間接経路との労働の分割問題は2つのネットワーク間の競合あるいは協調作用とみなすことができるだろう。

もし、書記素-音韻対応規則を学習し、例外語と規則語を自動的に分類して学習できるアルゴリズムが存在すれば、表層失読と音韻失読という神経心理学的症状を説明するための労働の分割問題を解決できるモデルになるだろう。この語彙の自動分類機構を実現するのがME(Mixture of experts) (以下 ME と略記) とよばれるニューラルネットワークモデルである。

ME とは入力データ空間をいくつかの小領域に分割し、その分割された各領域に対してひとつのニューラルネットワークを割り当てることによって、複雑な問題の解を求めるた

め手法である (Jacobs, Jordan, Nowlan & Hinton, 1991; Jordan & Jacobs, 1994)。複雑な問題を分割して小領域に区切ることによって、1つの大きなニューラルネットワークを学習させるよりも効率の良い学習をさせようというモデルである。ME における学習とは、入力空間を分割の仕方を発見させ、分割された各小領域に属するデータに対する最適な答えとを見つけ出すことである。このような手法を分割統治 divide-and-conquer と言ったりする。分割統治は科学における一般原理であるといつて良い。この分割統治を自動的に行ない学習させようというのが ME の発想である。

ME はローカルネットワークとゲートネットワークから成り立っている教師あり学習の一手法である。ローカルゲートネットワークは問題空間を分割するために用いられ、各エキスパートは分割された領域内での局所的な解を出力する。ME は階層的な問題空間の分割とエキスパートの割り当てが可能である。2 階層の場合の ME を図 3 に示した。

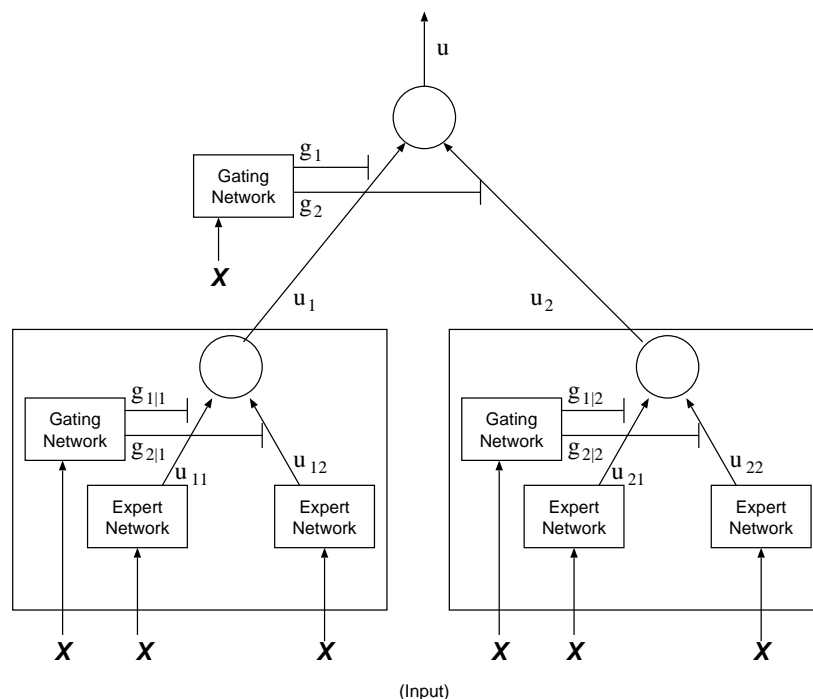


図 3: 2 段階の混合エキスパートネットワークモデル

トライアングルモデルは直接経路と意味層を介した間接経路という 2 つのエキスパートネットワークを持つ ME とみなすことができる。そして、トライアングルモデルにおける労働の分割問題は ME におけるゲートネットワークによる領域の分割そのものである。実際のトライアングルモデル (Plaut, McClelland, Seidenberg & Patterson, 1996) では、意味経路は実装されなかった。論文中では推定上の意味経路 putative semantic pathway を用いたとしか書かれていない。すなわち図 2 中の実線部分だけがシミュレートされただけである。図 2 の書記素から音韻へいたる直接経路は 3 層のネットワークであり、意味を

介した経路は5層のネットワークだと見なすことが出来る。この意味において ME においてソフトマックス関数により出力が混合されることと労働の分割問題は直接対応すると考えられる。さらに、意味層を介した間接経路のネットワークでは、例外語に特化した局在化した領域分割がなされていると考えれば、労働の分割問題が説明できる。 $\sigma^2 \rightarrow 0$ 分散パラメータが 0 各々の低頻度例外語ごとに限局された極限では、その単語のみに応答するルックアップテーブルと同一視できる。

すなわち ME モデルの観点からトライアングルモデルを解釈し直すとすれば、なぜ低頻度例外語は意味経路を通るのかを見通しよく説明することができる。さらに、意味経路にガウシアン関数の RBF 分散パラメータを持つ領域の分割を行なう適切なゲーティングネットワークをもつ ME により、二重経路モデルにおけるルックアップテーブルも、トライアングルモデルにおける労働の分割問題も統一的に記述できる。この意味において、二重経路モデルとトライアングルモデルの間に本質的な違いはない。両者の間に存在する違いとは、分散パラメータ σ^2 入力空間の領域分割の大きさという量的な問題に帰結され、本質的には二重経路モデルとトライアングルモデルは同じ ME という、より一般的な範疇のニューラルネットワークモデルとして同一視できるのである。紙面の都合上具体的なデータを示す余裕がなくなってしまったが、実際 ME は驚くほどよく動作し、現象を説明できる(浅川,2005)。

3.3.2 新しい視点の重要性

このようにみえてくると、ME を導入することで、失読症のモデルである二重経路とトライアングルモデルにおける直接経路と間接経路の処理の違いに関する論争は、より一般的な読みのモデルの一形態にすぎないということが導き出せる。二重経路モデルにおけるルックアップテーブルの存在も、トライアングルモデルにおける労働の分割問題も、ME による領域分割の仕方として記述可能である。すなわち混合エキスパートネットワークモデルにより、この論争に結着をつけることができると考えられる。

4 アトラクタネットによる深層失読のシミュレーション

最後に深層失読を扱ったモデルを紹介する。Plaut と Shallice(1996) はアトラクタネットと呼ばれるニューラルネットワークを使って意味性の錯読や視覚性の誤りと意味性の誤りとの混ぜ合わさった誤りの説明を試みた。ニューラルネットワークではユニットが相互に結合されている。この相互作用から生じる活性化パターン上で定義された空間の中で、ユニットの状態がある特定の状態に遷移することによって意味記憶の検索を表現する。すなわち単語が提示されてからその単語に対応する意味表現を検索するときに、ユニットの活性化値が意味空間上で遷移する。任意の初期値からある領域へと引き込まれることをアトラクタに吸引されたと言い、各単語毎に吸引領域が異なると考えるのである。

図 4 は、損傷前の吸引領域を実線で、損傷を受けて吸引領域が変化した様子を点線で模式的に表現したものである。cat を dog という意味性の誤りに加え、bog を dog と言い間

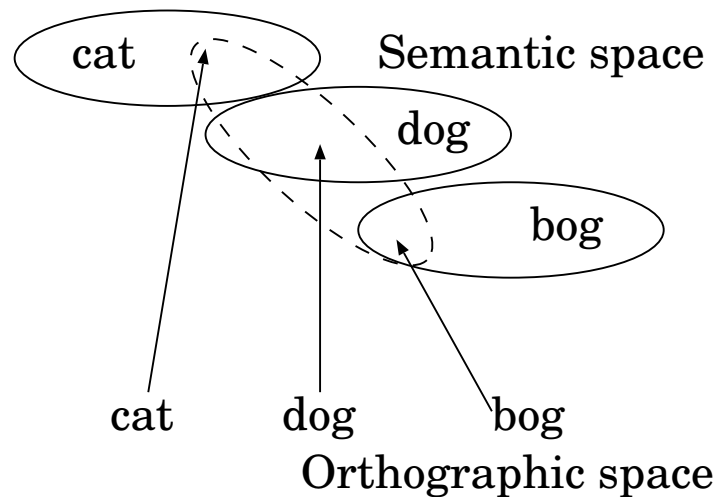


図 4: アトラクタネットによる意味記憶空間

違える視覚性の誤りも起こり得ることを示している。なお、アトラクタネットの考え方は Plaut ら (1996) にも取り入れられている。

このように Plaut らは意味記憶における障害によって深層失読の症状が再現できることを示した。彼らのシミュレーションでは、さらに意味記憶の構造を操作することで、具体語と抽象語との二重乖離の説明にも成功している (Plaut, McClelland & Seidenberg, 1995; Plaut, 2001)。具体語における意味表現は抽象語の意味表現に比べてより多くの特徴を持っているとして意味記憶を構成し、損傷の程度が軽度ならば具体語よりも抽象語の方がより損傷の程度が大きく、損傷が重篤な場合には反対に具体語の方が損傷されやすいという結果を示した。

5 二重乖離の原則，あるいは局在性仮説再考

二重乖離の原則によって脳内の認知的機能局在が論じられる。例えば 2 節で見たように、表層失読症患者は、非単語は読むことができるが、低頻度例外語を読むことができない。これに対して、音韻失読症患者は非単語は読めないが低頻度例外語は読むことができる。このようにある特定の認知機能 A だけに障害を示し、別の認知機能 B は正常に保たれている患者が存在し、逆に認知機能 B だけが選択的に障害され、認知機能 A は正常の範囲である患者も存在する場合、認知機能 A と認知機能 B とは二重に乖離しているという。二重乖離の現象が観察された場合、それぞれの認知機能に対応する脳内機構が存在し、それら脳内の認知機構は他方の影響を受けずに独立に機能すると主張するのが二重乖離の原則である (山鳥, 1985)。二重乖離の原則は神経心理学における基本原理とされてきた。二重乖離の原則の背後には、脳内の認知機能は完全に独立して営まれており、この機能的に独立した単位は脳内の他の部位とは単純な情報を伝えあうだけであるという認知機能の局在

性の強い仮定に基づいている (局在性仮説 locality assumption, Farah,1994)。

神経心理学の分野では機能局在性仮説が重要な役割を果たしてきた。機能局在性仮説とは、心の機能が独立した下位モジュールによって構成されているとする考え方である (Fodor, 1983)。そしてこのモジュール間では、比較的簡単な情報を伝達するにすぎない。各モジュールは情報論的にカプセル化 encapsulated されていて、あるモジュールの損傷が別のモジュールの機能に影響を与えることはほとんどなく、あるモジュールの損傷は比較的単純な一つの認知機能の低下として表出する、というのが局在性仮説である。

二重乖離を示す例は、上記の例外語と非単語の例ばかりでなく、日本語における仮名と漢字の乖離、意味記憶における生物と非生物の知識の乖離、具体語と抽象語の知識の乖離、自発話において名詞のみが損傷される失名辞失文法と助詞や冠詞が抜け落ちる機能的失文法との乖離、文章理解と文法性判断の乖離など、枚挙に暇がない。こうした認知機能の独立性と脳の画像診断結果との対応を考察することが認知神経心理学における確立された研究手法であった。

脳は複雑な相互作用をするシステムであるので、二重乖離の原則によって、ある認知機能の特別な要素と損傷の効果とを結びつけることは危険な作業だと考えられる。にもかかわらず、伝統的な神経心理学では患者の検査成績を文字通りの意味で解釈する傾向があった。例えば、視覚性の誤りは、視覚処理段階における障害であると解釈されてきた。換言すれば、神経心理学的な解釈の特徴は、脳における認知機能を、相互作用をする複雑なシステムとしてではなく、個別的な働きをする機能的構造体の個別の働き総和として解釈する傾向にあったのである。二重乖離の原則はきわめてナイーブな見方と言わざるを得ない。なぜなら脳の各部位は互いに密接に連結されており、脳内の特定の機能が損傷を受けた場合、他の部位に影響が及ばないという考える理由はほとんどないからである。

特定の認知機能の検査結果とその認知システムの障害の部位を特定することの関連は、かつて信じられていた程明らかな関係にはない。認知機能の局在を示す脳損傷患者のデータと、その認知機能を推論する伝統的な認知神経心理学的手法に疑問を投げかけている。本章で議論した内容は、二重乖離の原則を別の視点でとらえ直し、新たな解釈を提供すると言えよう。従来からの神経心理学的障害分類論に本質的な変更を迫っているように思われる。

引用文献

- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P. & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review*, 100(4), 589–608.
- Coltheart, M. & Rastle, K. (1994). Serial processing in reading aloud: Evidence for dual-route models of reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1197–1211.

- Farah, M. J. (1994). Neuropsychological inference with an interactive brain: A critique of the locality assumption. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 43–104.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. MIT press.
- Jacobs, R. A., Jordan, M. I., Nowlan, S. J. & Hinton, G. E. (1991). Adaptive mixtures of local experts. *Neural Computation*, 3, 79–87.
- Jordan, M. I. & Jacobs, R. A. (1994). Hierarchical mixtures of experts and the em algorithm. *Neural Computation*, 6, 181–214.
- O'Reilly, R. C. & Munakata, Y. (2000). *Computational Explorations in Cognitive Neuroscience: Understanding in mind by simulating the brain*. MIT Press.
- Plaut, D. C. (2001). A connectionist approach to word reading and acquired dyslexia: Extension to sequential processing. In M. H. Christiansen & N. Charter (Eds.), *Connectionist Psycholinguistics* chapter 8, (pp. 244–278). Westport, CT: Ablex Publishing.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L. & Seidenberg, M. S. (1995). Reading exception words and pseudowords: Are two routes really necessary? In J. P. Levy, D. Bairaktaris, J. A. Bullinaria & P. Cairns (Eds.), *Proceedings of the Second Neural Computation and Psychology Workshop*. London: University College London Press.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S. & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103, 56–115.
- Plaut, D. C. & Shallice, T. (1993). Deep dyslexia: A case study of connectionist neuropsychology. *Cognitive Neuropsychology*, 10(5), 377–500.
- Seidenberg, M. S. & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96(4), 523–568.
- 山鳥重 (1985). *神経心理学入門*. 東京: 医学書院.
- 浅川伸一 (2005). 英単語の読みにおける二重経路モデルとトライアングルモデルの統合の試み. *心理学研究*, 75(6), 523–529.