

# 脳の科学 第 8 回

## 言語の病理とそのモデル

担当：浅川伸一

2009 年 12 月 04 日

### 1 ニューラルネットワークの損傷の解釈について

ニューラルネットワークを破壊することで言語を含むさまざまな認知機能の障害をコンピュータ上に再現できる。人間の認知機能とニューラルネットワークプログラムとを同一視し、かつ、ニューラルネットワークを部分的に破壊することと脳損傷を同一視することによって、近年の認知神経心理学は大きく変化してきた。

ニューラルネットワークを用いた脳損傷のシミュレーション研究では特定の認知機能を遂行するためのニューラルネットワークモデルをコンピュータプログラムとして実現し、構築されたニューラルネットワークの一部を破壊することによって対応する部位が損傷を受けたときに生ずる症状をプログラムの出力として表現することをめざしている。こうした研究はいわば人工脳損傷とも言える研究である。人間の言語活動を理解する上でも、あるいは実際の脳損傷患者の症状を理解するためにも、コンピュータを用いた人工脳損傷研究は重要だと考えられる。倫理上の制約から実際の人間の脳を破壊して実験を行なうことは不可能だからである。ニューラルネットワークによる人工脳損傷研究は、実際の脳損傷患者を扱う神経心理学に対して強力な道具を提供していると言える。

ニューラルネットワークは相互作用をする複雑なシステムとしての行動と、そのシステムが損傷したときの効果との関係を推論する手段を提供している。そのような推論が明示的で機能論的に検証できる、すなわちシミュレーションによる検証が可能になったことが重要なのである。

このときモデル化した現象が、脳内で対応する機能が存在するのかという疑問がある。脳の構成論的研究者の中には、情報論的必然性という概念を用いてこの分野の研究に理論的根拠を主張する人達もいる。情報論的必然性とは入出力関係が脳とモデルとの間で一致したとき、そのメカニズムも一致している可能性が高いというものである。入出力関係が複雑で巧妙であるほど、それを実現する情報処理の機構はそういくつもあらずが無いという主張で

ある。これにはさまざまな異論反論があるだろう。筆者もこの情報論的必然性に完全に同意しているわけではない。むしろ脳の構成論的研究の意義は、今までの神経心理学的証拠から導き出された脳観に疑問を投げかけ、新しい脳観を求めていることではないかと思う。今回はそうした従来のモデルへの批判のひとつ「局在性仮説」への批判をとりあげてみたい。

## 2 神経心理学における局在性仮説への批判

神経心理学の分野では機能局在性仮説 (locality assumption) 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ひと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。

だが、この局在性仮説は単純すぎる (Farah, 1994)。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、それ程明らかな関係にはない。

アービブ (Arbib, 1989) は次のように書いている。ニューラルネットワークの破壊実験、切除実験は重要な情報を与えてくれるが、その解釈には注意を要する。「ラジオから抵抗を取り外したらピーツという音が鳴ったからといって、その抵抗がピーの抑制中枢であるとはいえない。ほとんどの人は噂話が好きである、グループはある人がそのグループを離れると、その人の噂話をする。このときその人をそのグループの噂話抑制中枢とみなすようなものである。」

具体例を挙げてこのことを考察してみよう。

### 2.1 システムの等価性

下図のニューロン  $n_1$  とニューロン  $n_2$  はいずれもしきい値が 0 であるとし、入力そのまま出力となるとしよう。ニューロン  $n_3$  はニューロン  $n_1$  や  $n_2$  とは全く無関係にこの回路に信号を送っているとする。ニューロン  $n_4$  はしきい値が 1.5 であるので、二つ以上の入力があったときに活性化する。したがって  $x_3$  に入力がなければ、この回路全体の出力は  $x_1$  と  $x_2$  とが同時に入力されたときだけ活性化する。他方、もし  $x_3$  からの入力があれば、この回路の出力は、 $x_1$  または  $x_2$  からの入力があれば活性化する。すなわち  $n_3$  は、 $x_1$  と  $x_2$  とが AND 回路 (論理積) として動作するか OR 回路 (論理和) として動作するかを決定する制御ニューロンと見なすことができる。このシステ

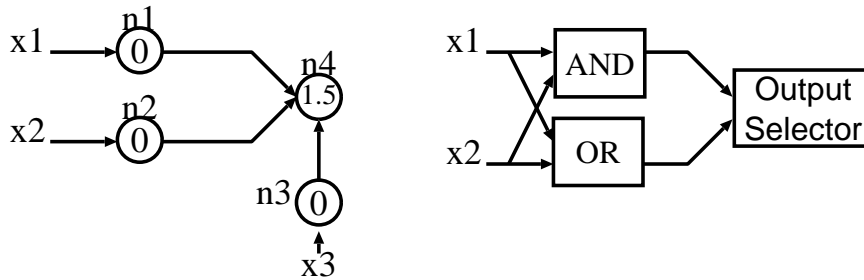


図 1: 同じ機能でも内部構造が異なる 2 つのシステム。入出力は両者とも同じなので、損傷実験をするか内部変数をモニターしないかぎり分離できない

ムを実験者が外から見ると、 $x_1$  と  $x_2$  はシステムへの入力ニューロンであることが分かるが、どこか別のサブシステムから来ている AND と OR を計算する別々のサブシステムがあり、そのどちらかをシステムの出力として選択する出力選択機があると思って、右のようなブロック回路を描くことも可能である。すなわち外部から観察している限りこの二つのシステムは分離不可能である。入出力は両者とも同じなので、損傷実験をするか内部変数をモニターしないかぎり分離できない。神経心理学は、こうした破壊を取り扱う研究分野であり、神経心理学的事実を考慮した構成論的研究であるニューラルネットワークは脳のメカニズムに迫る有力な研究手法であるといえることができる。

## 2.2 システムの構造と解釈

一つのシステムの行動が完全にわかったとしても、そのことから構造が一義的に決まるわけではない。システム  $S$  を分析して、それが行動的に二つのシステム  $S_1$  と  $S_2$  の結合とみなすことができ、またそのように分解するとシステム  $S$  がよく説明できるにしても、それをもってシステム  $S$  の構造を  $S_1$  と  $S_2$  の二つのシステムに機械的に分解することはできない。もし心をいくつかの心的過程に分解できたとしても、その心的過程を脳の別々の部位に帰することはできないし、その逆も成り立たない。観察された行動のもとにある内部交互作用の詳細を説明する前に、内部構造と状態についての解剖学と生理学に留意しなければならない。

ある機能がないからと言って、その脳部位が無活動であるとは言えない。何かの異常によってニューロン  $n_3$  が発火し続けるとニューロン  $n_4$  はいつても OR 回路になり、AND 回路にはならない。したがってある機能が働かないということは、その神経回路が働かないということではなくて、ある仕方では働かないということなのである。すべてのニューロンが活動し、大筋にお

いてすべての神経路が適切に結合していても、小さな結合やしきい値に異常があると異常行動となる。ラジオの「ピー音抑制」の例を考えればわかりやすいだろう。脳構造の意味づけは慎重に行なう必要がある。

### 2.3 まとめ

上記のようにシステムの評価、とりわけ破壊の効果をそのシステムの機能や性能と結びつけるには慎重な調査、観察が必要である。だが、驚くべきことにこのような認識が生まれたのは比較的最近になってからのことである。神経心理学は、言語野の存在を示したブローカ (Paul Broca, 1824-1880) 以来 100 年以上の歴史を持ち、膨大な数の観測データがあるにもかかわらず、ここに示したようなシステムの解釈に関する考察が行なわれるようになったのはここ数十年でしかない。これから多くのことがなされなければならないし、実り多き研究が盛んになることを望んでいる。

## 3 難読症 (Dyslexia) あるいは失読症 (Alexia)

文字の読みにおいて重要だと考えられているのが、角回 (ブロードマンの 39 野)、縁上回 (ブロードマンの 40 野) である。これらの領野の役割については、視覚性の言語刺激 (文字) を音韻に変換する際に重要な役割を果たすという説 (ウィルニッケやゲシュヴィンド) が一般的である。これに対して、視覚的に与えられた刺激、すなわち文字を読むという行為については、角回に文字の視覚心像が蓄えられているとするデジャリンの説がある。山鳥 (1985, p.240) によれば、左角回に損傷を生じると、発話困難がなく、しかも視覚認知機能は正常に保たれているにもかかわらず失読失書が起こる。一方、角回直下の白質 (繊維連絡) が犯されると、書字機能も保たれているにもかかわらず、書かれた文字を読むことができない純粹失読 (pure alexia) と呼ばれる症状が生じるとされている。ゲシュヴィンド (1965) によれば、角回は視覚文字—音韻変換の中継路ではなく、聴覚、視覚、触覚の連合野の中間に位置する「連合野相互の連合野」として、異種感覚記憶痕跡間の連合を営む領域であるとされている。もしこの仮説が正しいのならば角回は特定の感覚モダリティによらない抽象的な言語表象がこの領野で表象されていることになる。角回、縁上回を含む頭頂後頭連合野はフレツチッヒ (Flechsig) のいう髄鞘化の時期がもっとも遅い領域にあたる (Geschwind, 1965, 邦訳 p.56) ことから、霊長類、特にヒトにおいて特化した領野であるということが出来る。

PET を用いた脳の活性化を調べた研究では、言語課題によってブローカ野に相当する領域には活性化が見られることがほぼ合意が得られていると考えられる。しかし、日本語の処理においては、角回については活性化が見出さ

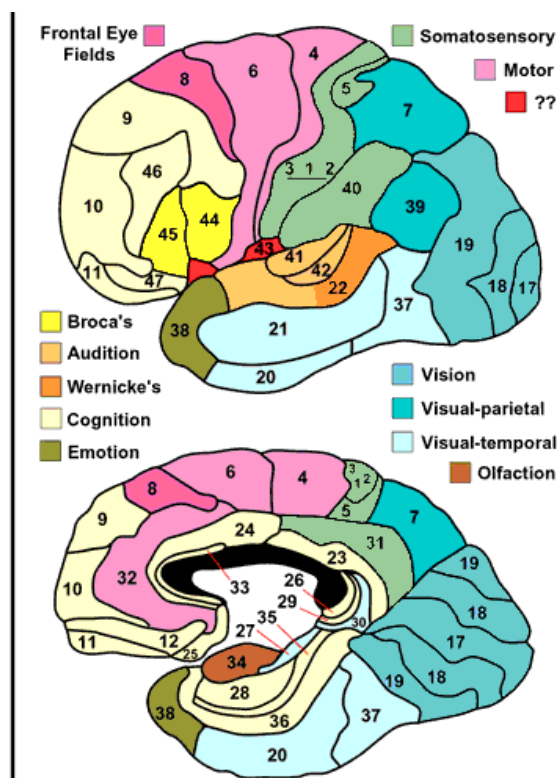


図 2: ブロードマンの脳地図

れていないという意見もあり (山鳥・河村, 2000, p.68-70), 脳損傷患者のデータと機能的脳画像研究のデータとの差異が問題となっている。

縁上回については, PET を用いた研究で音韻の貯蔵がなされているという報告がある (パウレス, フリス, フラッコウィック, Paulesu, Frith, and Frackowiak, 1993)。

### 3.1 漢字と仮名の乖離

日本語との関連で言及すべきは, 仮名と漢字の処理についてである。カタカナや平仮名は, 読みにおいて例外がほとんどない表層書記素 (transparent or shallow orthography) を持つ言語であり, 漢字は前後の文字によって発音が異なるという意味で, 深層書記素 (deep orthography) を持つ言語であるといえる。日本語に読みの処理においては未だに結論は出ていない状況である。先に述べた角回の役割について, 日本語との関連で言えば, 漢字と仮名の処理が乖離している可能性が報告されており, 角回の病変では仮名が, 側頭葉後下部の病変では漢字の処理が, 障害を受けるという報告がなされている。だが,

漢字仮名の乖離については疑問視する研究者もいる (Sugishita et al.,1992)。

## 4 失読症モデルの変遷

言語を司る脳の一部が障害を受けると言語行為に影響が表われる。そのなかで、今回は失読症を取り上げ、ニューラルネットワークによる説明モデルとその論争を紹介する。最初に 三種類の失読症を概説し、失読症を説明するモデルである二重経路モデルとトライアングルモデルとの間の論争を紹介したい。そして、エキスパート混合ネットワーク (Jacobs, Jordan, Nowlan & Hinton, 1991; Jordan & Jacobs, 1994) というモデルの観点から見れば、両者は統一的に解釈できることを示そう。

### 4.1 3 つの失読症

読みの障害には 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。

1. 音韻失読 (phonological dyslexia) 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。後述する、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の直接経路の障害と考えることができる。
2. 表層失読 (surface dyslexia) 表層失読の患者は、一貫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。表層失読は左側頭葉後下部であるという報告もあるが、一般に認められるには至っていない。
3. 深層失読 (deep dyslexia) 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錯読 (semantie paralexia) 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。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。

ここで、規則語と例外語との区別、一貫語と非一貫語との区別を明確にしておく必要がある。規則語とは書記素音韻対応規則 (GPC: Grapheme-to-Phoneme Corresponding rule) に合致する単語である。書記素音韻対応規則に合致しない単語を例外語と呼ぶ。たとえば yacht など。hint, mint, saint, feint, lint などは発音記号 /int/ を有しているので一貫語と呼び、一方 pint(発音記号は/páint/) は非一貫語と呼ばれる。例外語とは、その定義からして非一貫語でもある。すなわち、規則—不規則の概念と、一貫—非一貫の概念は独立ではない (Glushko, 1979, p.676)。英語やフランス語は不規則語が存在するので準規則的 quasi-regular な書記素系を持つ言語と言われることがある。以上の英単語の分類に加えて実在しない単語 (non-words) が音読成績によって 3 つの失読症は定義される。

音韻失読と表層失読の症状を説明するための心理学的モデルとしては、コルトハートら (Coltheart et al., 2001) による二重経路モデル (Dual Route Cascaded model) とプラウトら (Plaut et al., 1996) によるトライアングルモデル (Triangle model)、二重経路モデルをニューラルネットワークとして表現した CDP, CDP+がある。

## 4.2 二重経路モデルによる読みの障害の説明

コルトハートら (Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993; Coltheart & Rastle, 1994) によって開発された記号処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ルックアップテーブルをもつ間接経路とから構成されている。

二重経路モデルは単語と非単語との読みの反応潜時と語彙判定課題などの実験データを説明することができる。二重経路モデルの枠組によれば、ある特定の単語の読みは、書記素語彙目録 (orthographic lexicon) に登録されているルックアップテーブルにマッチする項目から、一対一対応を持つ音韻語彙目録を通して発話される。この経路を語彙経路 (lexical route) と呼ぶ。一方、非単語の読みは書記素音韻対応規則経路を介して音読される。このような 2 つの経路を仮定するのが二重経路モデルである。

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。

## 4.3 トライアングルモデルによる読みの障害の説明

これに対して、トライアングルモデル (Plaut, McClelland, Seidenberg & Patterson, 1996) では同時的、相互作用的処理が仮定される。書記素、音韻、

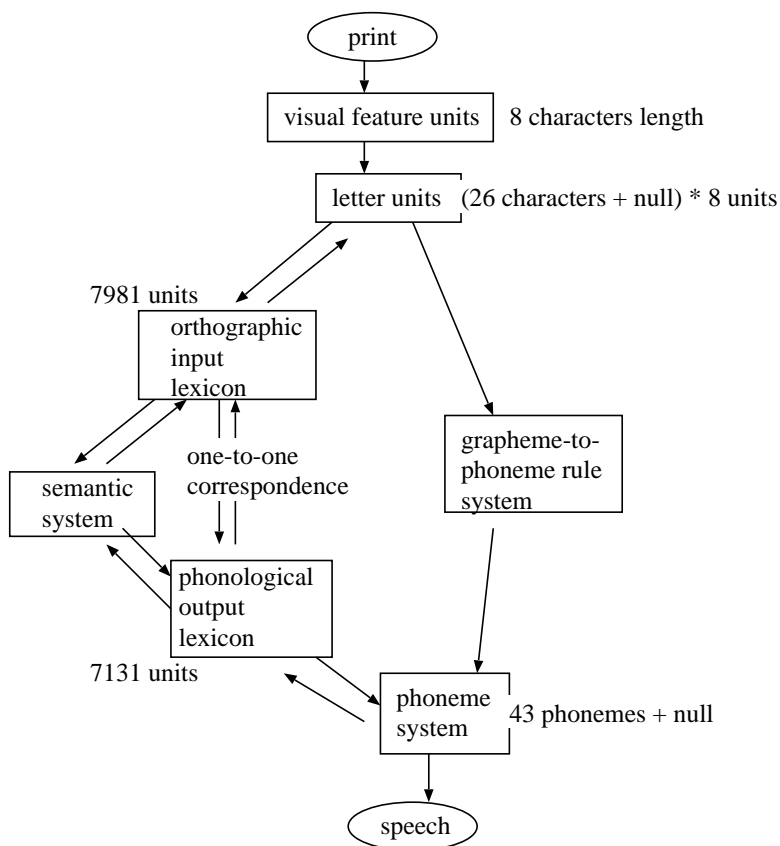


図 3: 二重経路モデルの模式図。書記素音韻対応規則経路 (GPC route) は一方方向の情報の流れしかないが、語彙経路は双方向であることに注意。コルトハートら (2001) p.213 より

意味の情報は各ユニット群内/群間で分散表現表現されており、類似した単語は、類似した活性パターンとして表現される。

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処理される。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。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と呼ばれる作用が関与する。

トライアングルモデルでは、図 4 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失読症患者の検査結果とも一致していた。

トライアングルモデルでは入力された文字は意味層を介する間接経路と音



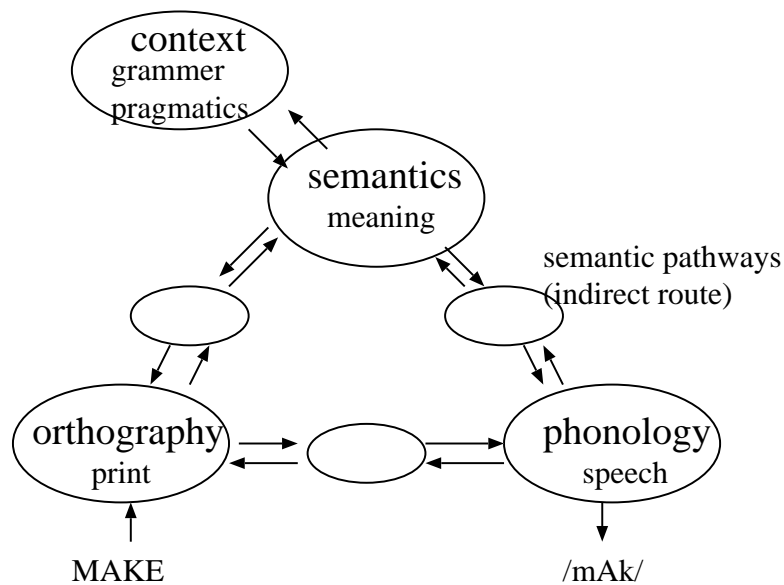


図 4: トライアングルモデルの模式図。書記素層から音韻層への直接経路は 3 層の、意味層経由の間接経路は 5 層のネットワークと見なせることに注意。この図はプラウトら (1996) のシミュレーション 1 に用いられたもので、他のシミュレーションではフィードバック結合なども用いられた。

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、単語毎に異なると仮定される。直接経路では規則語と高頻度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二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。労働の分割によれば、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。音韻性失読と表層失読という二重に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。

心理学における読みのモデルの論争とは、直接経路と間接経路の処理の違いに関してである。二重経路モデルの特徴は記号処理的な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 つの経路間のスイッチが仮定されている。

一方、トライングルモデルでは、そのようなルールあるいはスイッチの存在を仮定しない。代わりに、トライングルモデルでは同時的、相互作用的处理が仮定される。トライングルモデルにおける基本的なアイデアは語彙は3つの要素に分散表現されていると仮定することである。3つの要素とは書記素層、音韻層、意味層と呼ばれる。書記素層とは視覚提示された単語の表現を指し、音韻層とは音声単語の表現、意味層とは視覚や聴覚などの感覚入力に依存しない抽象的な表現である。

この論争については未だ決着がついていない。どちらのモデルも実際にコンピュータシミュレーションが可能であるという意味でコンピューショナル (computational) なモデルである。実際に、どちらのモデルも試してみることができる。二重経路モデルは

<http://www.maccs.mq.edu.au/~max/DRC/> から、

トライングルモデルは

<http://www.cnbc.cmu.edu/~plaut/> から入手できる。

深層失読のモデルとしてはヒントンとシャリス (Hinton and Shallice 1991) やプラウトとシャリス (Plaut and Shallice 1993) らのアトラクターネットワーク (attractor network) とよばれるニューラルネットワークモデルがある。

最後に二重経路モデルのニューラルネットワーク版である CDP+の図を示す。

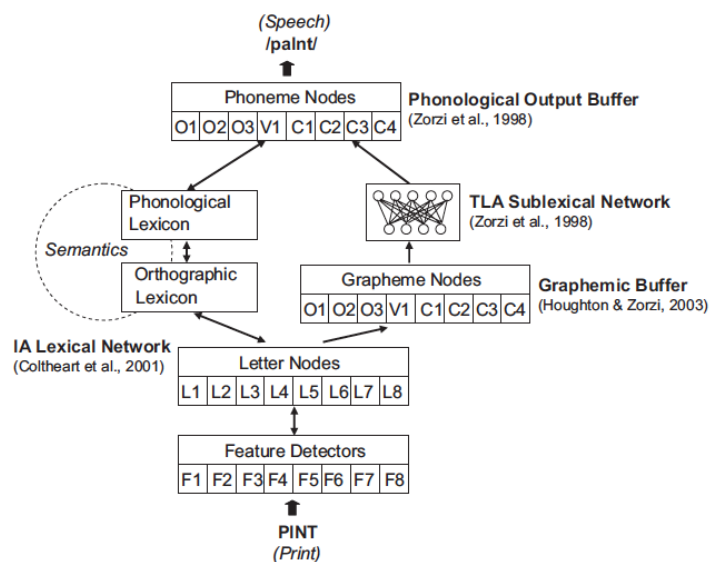


図 5: CDP+モデル

#### 4.4 エキスパート混合ネットワークによる統合

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呼んでいるだけである。

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、大部分の単語の読みに共通する書記素-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、すなわち過学習である。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作用とみなすことができる。

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、労働の分割問題を解決できるモデルになる。この語彙の自動分類機構を実現するのがエキスパート混合ネットワーク 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、複雑な問題を解くための手法である (Jacobs, Jordan, Nowlan & Hinton, 1991; Jordan & Jacobs, 1994)。ME における学習とは、入力空間を分割し、分割された各小領域に属する入力に対する最適な答えを見つけ出すことである。このような手法を分割統治と言ったりする。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、学習させようと言うのが ME の発想である。

ME はエキスパートネットワークとゲーティングネットワークから成り立っている。ゲーティング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 6 に示した。

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 におけるゲーティングネットワークによる領域の分割そのものである。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 により、二重経路モデルにおけるルックアップテー

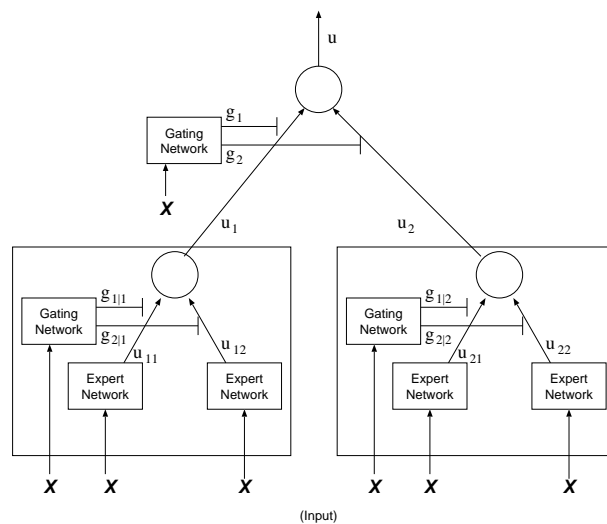


図 6: 2 段階のエキスパート混合ネットワーク。各エキスパートは単純なフィードフォワード型のネットワークであり、すべてのエキスパートは同じ入力を受け取り同じ数の出力ユニットを持っている。ゲーティングネットワークもフィードフォワード型のネットワークであり、エキスパートネットワークと同じ入力を受け取る。図中の  $g$  はゲーティングネットワークの出力 (確率) を表し、すべてのゲーティングネットワークの和は 1 となる。 $u$  はエキスパートの出力である。エキスパートネットワークの出力はゲーティングネットワークによって重み付けられた合成変量となる。

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、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。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。

#### 4.5 新しい視点の重要性

このようにみえてくると、エキスパート混合ネットワークによる統一した見解により、心理学における二重経路モデルとトライアングルモデルにおける直接経路と間接経路と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である ME の一形態にすぎないということが出来る。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、ME による領域分割として記述可能である。すなわち ME によ

り、論争に結着をつけることができるのではないだろうか。この例は、ガリレオがアリストテレスの物理学を覆し、コペルニクスがトレミーの理論を覆し、アインシュタインの理論がニュートンのそれを特殊な場合として含んでいたような、科学における論争の結着方法を思い起こさせる。すなわち、論争の争点となっている問題は、新しい理論 — 新しい世界観と呼んでもよい — によって統合された再解釈がなされるということが科学史においてしばしば起こっている。例えば、ガリレオがアリストテレスの物理学を覆し、アインシュタインの理論がニュートンのそれを特殊な場合として含んでいたように。同じようなことが二重経路とトライアングルモデルとの間の論争においても起こっていたと考えられる。このことは、伝統的な科学の知識体系に新しい世界観を導入し、既成事実を考え直すことがいかに大切かを教えてくれていると思えるのである。

## 5 発達性難読症

英語圏の人たちの間では、先天的に文字を読むことが困難な先天性（発達性）難読症（developmental dyslexia あるいは congenital dyslexia）と呼ばれる症状を示す人が人口の 20 % にまで達すると言われている（Shaywitz, 1996）。重篤な発話言語障害に関与する遺伝子が同定され、マスコミにぎわしたことは記憶に新しい（Lai et al., 2001）。純粋な意味での先天性難読症は、いわゆる知的能力とは無関係とされ、たとえば、トーマス・エジソン、アルバート・アインシュタイン、ウィンストン・チャーチル、アガサ・クリスティ、ジョージ・ワシントンなどが難読症であったという。パウレスら（Paulesu et al. 2001）によれば、印刷された文字（書記素 orthography）とその読み（音韻 phonology）との間にほぼ完全な一対一関係が存在するイタリアにおける難読症の発生率は英語圏の国の発症率の半分以下であるという。パウレスら（Paulesu et al., 1996）は PET を用いた実験で、難読症患者の賦活部位と統制群（健常者）の賦活部位に差が見られなかったと報告している。彼らの結果によれば、難読症患者と健常者との差位は、それらの部位の活性化の程度である。健常者の方が一貫して活性値が高かった。英語やフランス語のような、書記素と音韻との間に一定の規則性とその規則に従わない特殊な読みが存在する深層書記素（deep orthography）を持つ言語と、書記素と音韻の組合せに明確な規則が存在し、例外がほとんどない表層書記素（transparent or shallow orthography）を持つ言語との差位が、難読症の発生率と関係し、上記 3 つの言語間で、書記素から音韻への変換処理過程に関与する脳内部位は同一であることから、書記素を音韻へと変換する処理過程には、特定の言語よらない普遍的な処理機構が存在し、その処理機構の活性化の低下が難読症を引き起こしている可能性があると考えられる。

日本においては、発達性難読症の児童と学習障害（LD: learning disability）

や注意欠陥多動性障害 (ADHD: attention deficit hyperactivity disorder) との区別が曖昧であり, 言語の病理と発達障害とのどちらに分類するのが明確ではない。

## 引用文献

- Arbib, M. A. (1989). *The metaphorical Brain 2: Neuran Networks and Beyond*. John Wiley and sons. ニューラルネットワークと脳理論第2版, 金子隆芳訳, 1992, サイエンス社.
- 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.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). Drc: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204–256.
- 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.
- Geschwind, N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain*, 88, 237–294, 585–644. 高次脳機能の基礎, 河内十郎訳, 1984, 新曜社.
- Glushko, R. J. (1979). The organization and activation of orthographic knowledge in reading aloud. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 674–691.
- Hinton, G. E. & Shallice, T. (1991). Lesioning an attractor network: Investigations of acquired dyslexia. *Psychological Review*, 98(1), 74–95.
- 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.

- Lai, C. S. L., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F. & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, *413*, 519–523.
- Paulesu, E., Démonet, J., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Bruswick, N., Chappa, S., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, *291*, 2165–2167.
- Paulesu, E., Frith, C. & Frackowiak, R. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, *362*, 342–345.
- Perry, C., Ziegler, J. C. & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: The cdp+ model of reading aloud. *Psychological Review*, *114*(2), 273–315.
- 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.
- Shaywitz, S. E. (1996). Dyslexia. *Scientific American*, *275*, 98–104.
- Sugishita, M. (1992). A critical appraisal of neuropsychological correlates of japanese ideogram (kanji) and phonogram (kana) reading. *Brain*, *115*, 1563–1568.
- Zorzi, M., Houghton, G. & Butterworth, B. (1998). Two routes or one in reading aloud? a connectionist dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*(4), 1131–1161.
- 山鳥重 (1985). 神経心理学入門. 東京: 医学書院.
- 山鳥重 & 河村満 (2000). 神経心理学の挑戦. 東京: 医学書院.