The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Merge とGa Ti Ga : 言語演算のリソース
Author(s)	野村, 泰幸
Citation	大阪大学世界言語研究センター論集. 2011, 5, p. 173-186
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/4551
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Merge と Ga Ti Ga
―言語演算のリソース―

野　村　泰　幸*
NOMURA Yasu-yuki

Abstract:

Merge and *Ga Ti Ga*:
Resource of Language Computation

In this paper we discuss how 'Merge', a mode of syntactic computation in the Minimalist tradition, could be handled within the framework of connectionist model. This problem setting means that this operation, originally conceptualized as a syntactic formalization on the computational level, can be re-capsulated on the algorithmic level in the sense of Marr's 'Vision'. In 2, Merge in the Chomskyan sense is explained based on the 'algebraic-like rule', and the evolutionary sense of this computation is considered. The 'logical problem of language evolution', i.e., Darwin's Problem, can be solved by assuming the simple operation such as Merge. In 3, we show recent works on infant's language acquisition skills. In the Marcus et al.'s experiment, they showed that infants have the ability to differentiate between three-syllable 'sentences' in a fixed pattern of ABA or ABB, and proposed that this ability consists of the 'algebraic-like rule'. In 4, based on the PLAYPEN model of Gasser and Colunga, one of the features of which is two-dimensional pattern recognition, we deduce the two-dimensional property of Merge. In conclusion, we suggest that the serial oder of three-syllable 'sentence' in the Marcus et al.'s experiment could be analysed in terms of the Merge operation, and the scenario of language evolution is sketched.

Keywords：connectionist model, language evolution, language learning, Merge, minimalism
キーワード：コネクショニスト・モデル，言語進化，言語学習，併合，極小的アプローチ

＊　大阪大学世界言語研究センター・教授

1．問題設定

‘Language Evolution: The Hardest Problem in Sciences?’ と題する序章において，Christiansen and Kirby 2003 は〈言語進化の基底に横たわるさまざまなシステムすべてを考慮しないまま，言語進化の問題を説明することは不可能と考えてよい理由がある〉と述べている。[1] 以後８年近くが経過しようとする現在，この主張はますます現実性と妥当性を示すようになってきた。Bickerton and Szathmáry 2009 で種々の考察が試みられているように，その範囲を統語論に限定してさえ，当の統語論は言うまでもなく，進化学や脳科学からも議論され，さらにはコンピュータによるモデル化など，学際融合的アプローチはますます盛んになってきている。この潮流の背景を成しているのは，ヒトを〈人〉たらしめている特質とはなにか，という根源的問題意識があることは言うまでもない。その解答の１つがコトバであることも，今では周知のことがらである。

適応進化の過程で，ホモ・サピエンスは音声記号によるコトバを個体間コミュニケーションの手段として使用するようになった。[2] コトバは脳という生体器官，正確には脳神経の間でやり取りされる化学物質が反応することにより生み出される特殊なコミュニケーション・コードである。[3] しかし，頭骨とは異なり，タンパク質からなる脳組織については，そもそも過去の遺物なるものが存在することはない。その意味で，言語の起源と進化に関する考古学的な手がかりを見いだすことができないのは当然である。そのため，この問題がとりわけ学際融合的なアプローチを必要としていることも与り，さまざまな分野の専門家がそれぞれの方法で言語の起源と進化に関する種々のテーマを追い求めているのが偽らざる現状である。ただ，はっきりしている点は，始源的（と推定される）ヒト言語と現在の地球上の自然言語との間には，それらを媒介するリンクがいまだ見いだされていないことである。

では，このミッシング・リンクを発見する手だてはそもそも存在するのだろうか。この問題に迫る方法の１つとして考えられるのは，情報通信や工学分野で活用されることの多い reverse engineering（逆解析法）という手法である。これは，たとえばあるハードウェアの仕組みが知りたいとき，その仕様書などが存在しないような場合は，それを分解することでその仕組みを知ろうとする手法を指し，それはハードウェアばかりでなく，ソフ

1　Christiansen, H. M., and S. Kirby 2003, 15. 参照。以下，とくに断らない限り，本稿で挙げる原文の訳はすべて筆者による。なお，「言語進化の基底に横たわるさまざまなシステム」とは，自然言語を構成するシステム（例：音声・音韻，統語，意味など）ばかりではなく，個体発生や系統発生に関わる生物学的システム（例：脳の進化，遺伝子の変異など），さらにはヒト集団としての社会的相互作用に関わるダイナミカル・システム（例：集団の動態学的分析など）など多岐に亘る領域を指している。生物としてのヒトがヒト系列の進化の過程で言語をどのようにして産み出し，使用し，さらにはヒト言語がどのようにしてヒト集団間に拡散あるいは収束するに至ったか，という問題（＝言語進化の問題）を考察する際には，こうした諸領域を射程において考察する必要があるとの趣旨である。ちなみに，章題の ‘the Hardest Problem’ は，心の哲学を専門とするオーストラリアの認知哲学者 D. Chalmers が「意識」の問題について用いた用語 ‘Hard Problem’ を意識したものである。

2　たとえば M.-Smith and Szathmáry 1995 参照。

3　関連文献は枚挙にいとまがないが，たとえば Spitzer 1996, Pulvermüller 2002, Friederici 2009 参照。

トウェアについても有効である。この手法に準拠するならば，言語の起源と進化を明らかにするためには，現在のヒト言語を解析することによってヒト言語の始源的な仕組みに〈逆に〉迫ることが有効な方法となる。その手がかりはヒト言語の演算方式を明らかにすることであり，そのリソースを脳神経組織に求めることが経験的にはもっとも生産的な解答に繋がると思われる。[4] そのリソースに近づくためのモデル回路としてコネクショニズムに拠って問題の在りどころを探ろう，というのが本稿の目的である。[5]

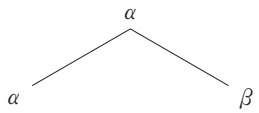
以下，２.では，言語演算の原始的操作と考えられる Merge（併合）の特性と言語進化上の意義を考察し，３.では，幼児の言語学習スキルに関する２つの実験を紹介しつつ，（変数ベースの）代数学的規則から見た学習メカニズムを取り上げ，４.では，人工言語の音節列と Merge との関連をコネクショニスト・モデルから捉え直し，５.で結論とする。

２．Merge と言語進化上の意義

ヒト言語の演算方式を探るうえで，その有効な手がかりと考えられるのは Chomsky 1995 で提起された Merge である。Merge は，統語対象である最大２つの要素 α，β をとり，それらを結合して１つの集合 $\{\alpha, \beta\}$ とする統語操作である。このとき，２つの要素のうちの１つが集合のラベルになる。これが Label（ラベル化）である。

図 A　Merge: $\{\alpha\}$ and $\{\beta\}$ → $\{\alpha \ \{\alpha, \beta\}\}$　　α，β：統語対象

↑
ラベル化



例：Merge { the } and { dog } → { the dog }

ここで注意すべきことは，統語対象の個々の「内容」ではなく，統語対象の間の「関係」が関わってくる，という点である。そのことは，図 A で，Merge による集合 $\{\alpha, \beta\}$ が第１次の関係（水平レベルでの組み合せ）を表しているのに対して，Label による集合 $\{\alpha$（または β）$\{\alpha, \beta\}\}$ は第２次の関係（垂直レベルでの組み合せ）を表示していることからも理解できる。つまり，Merge を第１次操作とすれば，Label は第２次（一般化すれば，高次）操作になる。これら２つの操作を繰り返して適用することで，ヒト言語のもっ

4　この問題については，Pulvermüller 2002 を引照しつつ野村 2010b で言及した。

5　「コネクショニズム」とは，広義には人間の認知活動（または人工知能）をコンピュータを用いてモデル化するアプローチの一つを指すが，狭義には局所的なネットワークを指す。例としては，Rumelhart や McClelland たちによる並列分散処理 PDP がよく知られているが，神経回路網の観点からコネクショニズムを捉える向きもあり，定義そのものが一定しているというわけではない。本稿では，局所的なネットワークの観点から考察している。最近の研究成果を踏まえた概説書としては W. Bechtel and A. Abrahamsen 2007 がある。

とも顕著な特性である内心的再帰構造が得られる。[6]

Merge は言語演算における原始的操作というばかりではない。これを措定する意義は，その存在が「言語進化の論理的問題」，別に「ダーウィンの問題」とも言われる問題に関わってくるからである。つまり，生物の長い進化過程において，ヒト言語のほうは比較的最近になって出現したと推測される。[7] しかし，生成文法の 50 年以上に亘るさまざまな研究成果からも明らかなように，ヒトの言語機能 Faculty of Language には高度な内的モジュール性が認められる。[8] 進化学から見れば，複雑なシステムは自然選択と適応を必要とする。そうであれば，言語機能のような（長い進化時間を要するはずの）複雑なシステムが，どのようにして短い進化時間内に出現することができたのか，説明が困難になる。すなわち，ここには論理的な矛盾が存在する。これが「言語進化の論理的問題」である。この問題を解くための鍵は，言語機能が単純なシステムをなすと仮定することである。[9] 言語機能が単純なシステムであれば，その原理や言語演算の形式や種類も限定されてくるはずで，それが Merge という操作となって出現したと推定される。つまり，Merge の本質を明らかにすることは言語機能というシステムへのもっとも有効なアプローチであり，したがって，「言語獲得の論理的問題」（いわゆる言語学上の「プラトンの問題」）ばかりでなく，「言語進化の論理的問題」の解明にも繋がるはずである。[10]

ところが，Minimalism（極小的アプローチ）に基づく言語分析のように，Merge を原始的な統語操作として取り上げる研究は多いものの，ヒトの認知的リソースから見た場合に，それがどのような性質の操作であるか，という問題を考察した研究は，筆者が知る限りでは見当たらない。[11] しかし，Marcus 2001 のいう「代数学的規則 algebraic-like rule」

6　再帰性は，X というタイプの句が同一タイプの句の内部に含まれていることを示す特性であるが，「内心的」再帰構造は Merge のみによって得られるわけではない。そのためには，Bare Phrase Structure（BPS）で言われるところの Label という操作が必要になる。Hornstein 2009 によると，Label とは，2 つの atom（原子的要素）を Concatenate で結合したときの出力を，一方の atom と同一タイプの atom とすることである。これがふたたび原子的要素として入力になると，結果として内心的で制約のない階層的再帰構造が生み出される。なお，Hornstein 2009 によると，Label こそは普遍文法 UG の中心的な革新部分をなす。

7　M.-Smith and Szathmáry 1995, 野村 2006 に所収の論文参照。

8　モジュール性とは，統語や音声，意味に関わる構成部門と，それらに特有と考えられるさまざまな原理や操作が互いに作用し合う様態を指している。たとえば統語領域に限っても，Merge のような統語対象の結合操作のほか，コピー操作や移動などがあり，さらには種々の制約が作用することで，文法的な記号列が得られる。

9　Hornstein 2009, 野村 2010a 参照。

10　野村 2004 参照。言語機能と Merge との関係について，Chomsky 2005b［再録 R. K. Larson et al., eds., 2010: 52］は次のように述べている。「概念的ないし語彙的〈原子〉からなるレキシコンに Merge を無限に適用することで，それは無限で離散的な構造化された表現を生み出す。つまり，もっとも単純に言えば，無限の Merge とは普遍文法，これは言語機能という遺伝的構成部門の一部であるが，この普遍文法内における唯一の再帰的操作のことで，それは（言語機能という：筆者注）〈認知器官〉が進化して産み出されたものなのだ。」ちなみに，筆者が知る限りでは，このような問題意識に立つ研究アプローチはミニマリスト・プログラム以外にはない。

11　心理学的な実在性という観点から見たとき，Merge はどのように理解されるべきか，という問題について，認知心理学の分野からははっきりとした疑惑が寄せられている。たとえば，「ミニマリスト統語論というものをどのくらいまともに受け取るべきだろうか？」という表題の短評で，Edelman and Christiansen 2003 はおおよそ次のように述べている。（ミニマリスト・プログラムも含めて）「生成文法の基本的な問題点は，それが心理学的研究に託されてこなかったこともあり，

という観点から見れば，Merge がじつは代数学的規則としての性質を有しているのではないか，ということに思い至るはずだろう。なぜなら，上述したように，Merge では α や β という統語対象の「内容」ではなく，対象間の「関係」が問題になってくるからである。そのことは（言語特有の性質と考えられている）内心的再帰構造と Label との関係からも見て取れる。

もし，Merge を一種の代数学的規則と見なすならば，そこから新たな問題が導かれる。すなわち，ある特定の時間的順序や空間的位置づけのもとで適用されるといった手続きからは独立しているという意味で，それが計算論的レベルでの演算であるならば，それをどのようにしてアルゴリズムのレベルで捉え直すか，という問題である。[12] この問題への手がかりを与えてくれるのが次節で紹介する Marcus et al. 1999 の実験であり，その実験結果から導かれる主張は，言語学習が（遷移確率に基づく統計的規則とともに）代数学的規則によって可能になるというものである。

３．２つの実験と人工言語の学習

Merge がヒトの認知機能のうちのどのような部分に由来するものか，という問題は Merge に言及したさまざまな研究を振り返ってみても判然としない。とは言え，この操作が原始的な統語操作であるとすれば，いわばその本質的な「すがた」はヒトの言語学習において出現するはずである。言語学習（または言語獲得）を認知機能の側面から研究するアプローチは認知科学，とくに認知心理学の分野ですでに多くの研究成果を挙げており，それらが貴重な手がかりを与えてくれる。[13] そこで，本節ではこの領域から問題を考察してみよう。

幼児の言語学習については，人工言語を用いた次の２つの実験がよく知られている。その１つ，Saffran, Aslin, and Newport 1996 の実験によると，生後８か月の幼児たちは人工言語の音連続に内在する統計的情報に敏感である。[14] 実験では最初に，幼児たちに２分間，次の音節列を聴かせた。

tibudopabikudaropigolatupabikutibudogolatudaropidaropitibudopabikugolatu

---

真に基本的な問題になりえていない。理由の１つは，生成文法において前提とされてきた基本的概念などをどのようにして検証可能な仮説に転換するか，が明確でないからだ。」彼らが投げかけた問いを Merge という概念に置き換えれば，それにどのような心理学的な実在性が認められるのか，ということにほかならない。この短評に対して，Phillips and Lasnik 2003 は次のように反論している。「生成文法の基本的構成概念を調べる実験室ベースの研究にはすでに長い歴史がある。（中略）優れた言語学研究ならどれにでも，注意深く組み立てられた資料や適切でコントロール可能な項目，信頼できる再現可能な結果が含まれている。それもつまりは，実験手法がいとも容易であり，せいぜいノート１冊ほどしか必要としないために，普通なら〈実験〉などとは言えないからだ」。

12　理論の水準については Marr 1982 以降，計算論，アルゴリズム，ハードウェアという３つの水準が区別されるようになった。野村 2010b 参照。

13　その代表的な古典的研究に Mehler and Dupoux 1990 がある。なお，本稿では言語獲得と言語学習を明確に区別することはしない。認知科学的な観点から，後者の用語を使用するに過ぎない。

14　以下の説明は一部 Marcus 2000 による。

この訓練段階で，幼児たちは，ある音節（例：pa）にはつねに別の音節（例：biku）が続き，他の音節（例：pi）では，特定の音節（例： gola）が続くのは ⅓ の確率で，ほかは daro や tibu が続くことに気づく。その後のテスト段階では，pigola や pabiku といった音を聴くと，幼児たちは pabiku という単語よりも pigola といった単語により長時間の関心を示すことが分かった。[15] この実験から，生後８か月の幼児には，特定の要素が別の要素に後続する頻度についての情報を引き出す能力があることが明らかになった。これは Gasser and Colunga 2000 の言う「内容特異的相関関係 content-specific correlation」の学習であり，同時に，ある特定の音節に他の特定の音節が先行または後続する確率が認識できるという点で，遷移確率による学習でもある。

次は，生後７か月の幼児たちを被験者にした Marcus G. F., S. Vijayan, S. Bandi Rao, and P. M. Vishton 1999 の実験である。訓練段階で，幼児たちに次のような子音と母音からなる一定のパタンを示す３音節の「文」を聞かせた。

・ga ga ti（AAB パタン）：第１音節と第２音節が同一で，第２音節と第３音節が異なる。
・ga ti ga（ABA パタン）：第１音節と第２音節が異なり，第１音節と第３音節が同一。

その後，テスト段階でこれらのパタンと同一のパタン，および異なるパタンを示す３音節の「文」を聴かせ，それらに対して幼児たちがそれぞれどう反応したかを調べた。その結果, 幼児たちは異なったパタンを示す音節列により長時間の関心を示すことが分かった。Marcus et al. 1999 によるこの実験で生後７か月の幼児たちが３音節内の規則性を区別できることが明らかになった。

これら２つの実験結果に基づき，Marcus 2000，Marcus 2001 は，言語学習の基礎には２つの学習メカニズムが存在すると述べている。１つは，Saffran et al. 1996 の実験が示すように，たとえば pa の直後に現れる要素は bi であるという内容特異的な相関関係を遷移確率に基づいて学習するメカニズムである。他の１つは，Marcus et al. 1999 の実験が示すように，ABA パタンのように第１音節が第２音節とは異なり，第３音節とは同じであるといった同一性または差異性をもとにした関係性を読み取る学習メカニズムである。たとえば，x，x，y という外部入力にさらされた幼児たちは，最初の２つの要素の間に成り立つ同一性という関係は，次の２つの要素の間に成り立つ差異性という関係と相関関係にあることを学習する。これは各音節が一種の変数 variable として作用し，さらに，その値（たとえば ga, ga, ti, ...）がなんであれ，値間の同一性または差異性によって判断される関係性である。それは記号的 symbolic な性質のもので，この規則性の学習はある種の代数学的規則によって説明されるというのが Marcus et al. 1999, Marcus 2001 の主張である。[16] この代数学的規則による学習という考え方が Merge についても該当することは前

15　こうした実験法では，刺激として与えられる音声は，たとえば点滅する光などと連動するかたちで与えられる。実験者は幼児がその光を見つめる時間を測定することで，幼児の関心の度合いを測定することができる。

16　同時に，この規則性はたとえば Elman のコネクショニズムの手法では説明できない，ということも主張の１つである。この主張に対しては，Science 284 号（1999 年）に Seidenberg and Elman 1999 ほかいくつかの反論が収載されている。なお，ここで「記号的 symbolic な性質」と

節で述べた。しかし，彼らの実験では要素連続の線形性（１次元性）が問われているのであり，そこには要素間の２次元性，つまりパタン学習という観点は取り入れられてはいない。[17] 次節ではこの問題を考察する。

４．３音節「文」に潜むパタン

Marcus et al. 1999 の実験では，３音節（例：ga ti ga）からなる線形連続は（人工言語の）「文」であり，それは変数を用いた代数学的な性質の規則 x y x によって生み出される，としている。ただし，この実験では文の内部構造が分析されているわけではなく，文を生み出す規則，つまり「文法」も音節間の関係による同一性または差異性に関わっているのみである。[18] その意味では，この実験は音節列の線形特性のみを分析したものと理解してよい。これに対して，自然言語の構造は階層的であり，非対称的である。学習メカニズムの解明という観点からみれば，自然言語のこうした特性が言語学習に反映すると考えるのが自然であろう。[19]

こうした観点から，本稿では以下，Marcus et al. 1999 の実験で用いられた３音節の「文」をニューラルネットワークにもとづくコネクショニスト・モデルから捉え直してみる。[20] そのモデルとは，要素の共起関係を２次元パタンに基づいて学習する PLAYPEN モデルであり，その要点は次のとおりである。[21]

ほとんどのコネクショニスト・モデルでは要素間の相関関係はウェイト weight で表される。[22] 次の図 B は内容特異的な規則性を学習するネットワークを表している。２つの要素を結びつける規則性は，パタン層のユニットを結合して相関関係層の単一のユニットに関係づけるウェイトで表示される。高次の規則性は相関関係層のユニットを結びつけるコ

いうのは，ある記号がある個体ないしそれに等しい類をコード化している，という意味合いで用いられている（Marcus 2001, 192）。たとえば，$y = x + a$ という数式は変数間の抽象的関係を表示しており，典型的な記号操作の一例である。認知過程に関する伝統的な考え方では記号操作によって心的表象をモデル化するが，この立場をシンボル主義と言い，Pylyshyn 1984 がその代表である。これに対して，Elman et al., 1996 によるコネクショニズムでは，直接的な記号やそれに基づく規則を前提とせず，ネットワーク内でのノードあるいはユニットの結合に基づいて表象を行う。この２つの立場は互いに対立する理論的アプローチを示している。

17 そのことに気づかせてくれるのは，Merge の性質として挙げられる「非対称性」である。Merge における「非対称性」については Boeckx 2008, Ch. 3 参照。

18 言語の学習メカニズムに関わる実験ではあるものの，Marcus et al. 1999 はこの実験で使用された実験材料（３音節列）にどのような言語学的意味合いが見て取れるか，という問題は考察していない。同論文，references and notes 7 参照。じつは，この点が本稿の議論の出発点であった。

19 野村 2009 では，Marcus et al. 1999 の実験で用いられた３音節の「文」を線形的な音節列としてではなく，Merge の観点から「２次元的な階層構造」として捉え直すことを試みた。

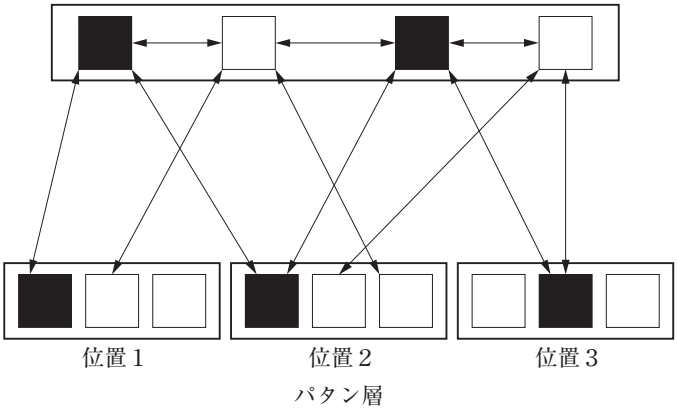
20 コネクショニスト・モデルが脳神経回路網のモデルから示唆を受けていることは知られているとおりである。情報の処理方式という観点から見るかぎり，Merge を時空間における処理手順から捉え直すことが必要になろう。

21 Gasser and Colunga 1999 参照。PLAYPEN モデルが従来のコネクショニスト・モデルと異なる点は，それが音韻素性の同一性や類似性，共通性を表すユニットを取り上げながら，２次元パタンに基づいていることである。

22 ウェイト weight とは２つのユニット間の結合の強さを表す変数を指し，通常は，−1 と +1 の間または 0 と 1 の間の数で示される。ウェイトはネットワークの学習トレーニングによって変化することもあるが，その値を保つことはある領域の知識を保持することに繋がる。

ネクションに与えられる強いウェイトで表される。

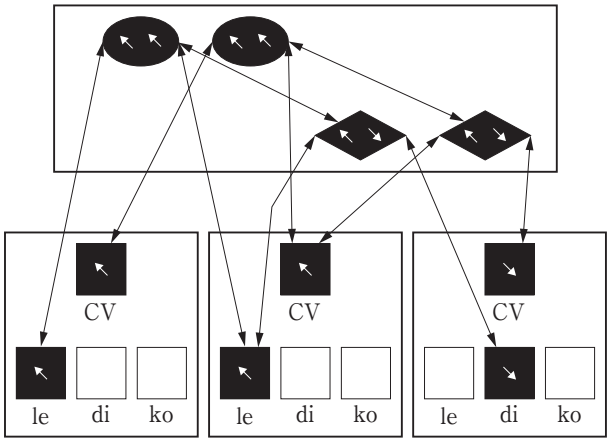
図 B



次に，Gasser and Colunga 1999 を基に Marcus et al. 1999 の実験を PLAYPEN モデルでシミュレートしたモデルを取り上げてみよう。最初に，３つのパタン AAB または ABA，または ABB のうちの１つについて，ネットワークを訓練させる。どの場合も訓練パタンの集合は４つの異なる音節列からなり，各音節はある一定の規則に従っている。図 C で，パタン層の活動（黒）ユニットは le le di というパタンが示されたとき，活性化するユニットであり，ここではその結果として活性化する相関関係層のうちの４つのユニットが示されている。相関関係層で，黒は活性化ユニットを表し，楕円は同一性を示すユニット，菱形は差異性を示すユニットである。矢印のアングルは可変であり，類似した要素では同方向のアングルを示し，異なる要素のときは互いに異方向のアングルを示す。また，10 のコネクションが訓練学習の間に強化され，そのなかで，相関関係層の４つのユニットを結びつける２つのコネクションが高次の相関関係を示している。

le le di というテストパタン（CV CV CV）では次のような活性化を見て取ることができる。すなわち，位置１で第１の音節 le が活性化され，位置２では第２の音節 le が活性化される。その結果，これら２つが相関関係層で同一性ユニットとして示される。それが左上の黒楕円で，同じアングルの２つの矢印で示される。位置３では第３の音節 di が活性化されるが，le とは異なるために，右下方向へのアングルの矢印で表されている。相関関係層では互いに異なる方向のアングルの矢印を対にした黒菱形ユニットで示されている。

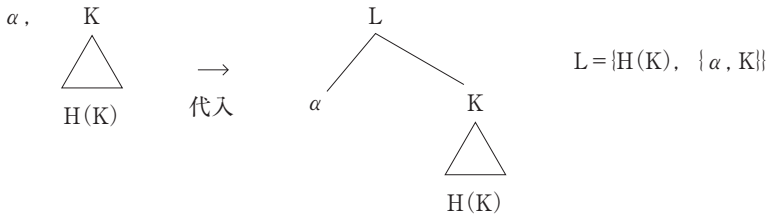
図Ｃ



いま，Merge を念頭におきながら，このネットワークを見てみよう。左の CV と中央の CV をそれぞれ結びつけるコネクションが Merge を表すとすれば，相関関係層の黒楕円は第２次の関係を表すもので，これが Label に相当する。一方，右の CV であるが，これは黒楕円とは黒菱形（２つのアングルは，矢印の方向が異なる）を媒介として結びついている。３番目の要素（位置３の di）はこの黒菱形のアングルを媒介にして相関関係層のユニット｛le; le｝と結びついている。これらは互いにコネクションで結びついていることから Merge に対応するが，「ミニマリスト・プログラム」（Chomsky 1995, 248f.）から見れば，これらは代入 substitution または付加 adjunction に相当する。

この２つの操作はともに移動 displacement を構成する統語操作であり，２つの統語対象 α と K が結合され，K が投射されて統語対象 L が形成される場合，K の投射の仕方により，代入と付加が区別される。[23] 代入操作では，統語対象 L が独立した範疇であり，L の項となるのは L，α，K（および K の中に含まれる項）である。

図Ｄ

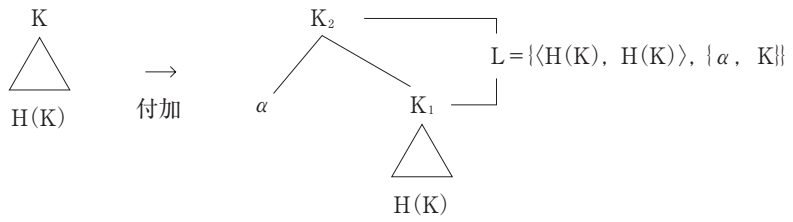


23　以下の記述は中村他 2001, 177f. に基づく。また，Chomsky 1995, 248f. 参照。

上記の図Ｃで相関関係層の黒楕円は第２次の関係を表すが，これが Label に相当する。図Ｄにおいては，これがＬに相当する。

これに対して，付加操作では，Ｋが投射されて統語対象Ｌが形成される場合，Ｌは２つの断片 segment からなる範疇として形成される。ここで２つの断片とは K_2 と K_1 であり，$L=[K_2, K_1]$ と表記される。

図Ｅ　α，



注意すべき点は，付加操作ではＬのラベルである〈H(K)，H(K)〉が項 term ではなく，この後の統語操作では「無視」されることである。したがって，Hornstein（2009, 89ff.）が述べているように，付加される要素については Label の対象にならない。[24] そのため，図Ｃとの対応関係は見いだせないように見えるかもしれない。しかし，コネクショニズムではユニット間の結合の強さをウェイトで捉えることを考えれば，この一見矛盾するように見える点は解決可能と思われる。すなわち，パタン層から相関関係相への結合のウェイトを小さくすることで，次のユニットへの結合が弱くなり，以後の処理過程では無視されるから，と見なすことができる。

以上のように分析し直すことが可能であれば，言語学習における幼児のタスクとは，Merge の対象となる２つの要素のうちの１番目の要素に着目するか，２番目の要素に着目するか，だけになる。[25] *n* 番目の要素に着目して，それを結合するという学習メカニズムからは次の可能性が導き出される。すなわち，言語演算のうち，生得的な統語操作としては Merge のほかには Label を措定すればよいということである。幼児のタスクが「着目」のみでよければ，結果としては脳のメモリ容量に過大な負担をかけなくて済むはずである。Gasser and Colunga 1999 の分析は，PLAYPEN モデルの応用例として Marcus et al. 1999 の結果をシミュレートしたに留まらず，（彼らはまったく意図しなかったであろうが，）Merge と Label という統語操作を（時間と空間という次元を取り入れた）コネクショニスト・モデルで解釈し直す１つの方向を示した例と見なすこともできるだろう。

24　この議論については野村 2010a 参照。

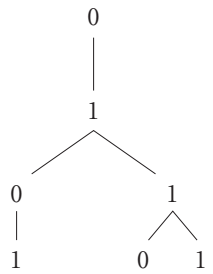
25　「１番目の要素に着目するか，２番目の要素に着目するか」は Head Parameter という用語で以前から述べられてきたものである，との指摘があった。本文の趣旨は，後か先か，という線形順序を述べたものに過ぎない。私見では，Merge については，結合される２つの統語対象のうちどちらが Head で，どちらが Complement か，という Chomsky 1981 の原理・変数理論で示された観点は存在しないと思われる。

５．おわりに　―言語演算のリソースと言語進化

本稿の議論は，Marcus et al. 1999 の実験で使用された３音節列の識別にどのような言語計算上の意味合いが見て取れるか，という問いに端を発したものであるが，その根底には，計算論のレベルにおける Merge はアルゴリズムのレベルではどう置き換えられるか，という問題意識があった。その解決の手がかりは，Marcus et al. 1999 の実験で用いられた人工言語の３音節「文」の学習の仕方に潜む（と推定される）パタン認識であるが，その推測の根拠を Gasser and Colunga 1999 のシミュレーションに探ったものである。Merge によって構成された要素集合にさらに要素が結合した結果，２次元パタンが生じるとすれば，それは Merge の繰り返しがパタン認識と無縁ではない可能性を示唆するものであり，広い意味での汎用的知識の１つである可能性も考えられるだろう。

もっとも，パタンのうち「非対称性」それ自体は自然界に遍在するものであり，その意味では，ヒト言語にのみ特有の性質とは言えない。[26] たとえば，音声または身振りを用いた言語表現それ自体は時間の流れに沿った１次元の線的配列をなした表出であるが，統語構造という観点から見れば，そこには自己相似形の埋め込みを見いだすことができる。たとえば Carnie et al. 2005 は文の樹構造にフィボナッチ数列類似の性質があることを指摘しており，Uriagereka（1998, 192–3）によると，次の書き換え規則 1a, b）がフィボナッチ数列を包含していることが理解できる。[27]

１）a. 0　→　1
　　b. 1　→　0 1



以上の試案を言語進化の面から捉え直してみるならば，以下のようなシナリオが思い浮かぶ。Bickerton 2009 が言うところの原始言語 protolanguage では「語彙範疇」のみの線

26 〈パタンに見られる「非対称性」それ自体は自然界に遍在するものであり，ヒト言語にのみ特有な性質とは言えない〉ことは，たとえば Chomsky 2005a で定式化されているように，「第３要因」の観点から，言い換えれば，言語の性質を自然界の物理的要因から捉え直す方向に沿ったものでもある。その意味では，生成文法の主張の一つであった言語の（厳密に言えば，統語論の）「自律性」についての主張は再検討されてよい。むしろ，「自律性」のテーゼは（かつての生成文法において）統語分析を推進するうえでの作業仮説であった，と見るのが適当であろう。

27 自然界における非対称性はフィボナッチ数列とも関連する。フィボナッチ数列とは，0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, ... と続く数列のことで，次の式で示される。
a. $n > 0$ に対して　$G(n) = n - G(G(n-1))$,
b. $G(0) = 0$.
自然言語とフィボナッチ数列との関連についてはさらに Piattelli-Palmarini, M., and J. Uriagereka 2008 を，自然言語における対称性については，たとえば Brody 2000 参照。詳しくは野村 2007 参照。

形結合であった。それと同時か，またはその後かは不明であるが，言語進化のある時点で「機能範疇」が創発した。その発生機序は現時点では不明であり，言語進化の第１の謎をなす。そこに，シンプルな言語演算が出現した。それが統語操作としての Merge であり，語彙範疇と機能範疇を結びつける操作となった。２つのモノを結ぶ手の動きと結び目の関係を考えると，Merge は前適応 preadaptation の一例であったかも知れない。[28] さらに，Hornstein 2009 の予測が正しいならば，Label がヒト言語の進化における革新的キーとなった。Label がどのようにして生じたかは言語進化の第２の謎である。推測するに，脳進化の過程でモノとモノとの「関係」を司る脳部位が発達した可能性も考えられる。[29] Label によって内心的再帰構造が生まれたことで，複雑な思考や表現も可能となった。個体レヴェルでは思考における象徴作用，つまりシンボル化が進行し，声道の解剖学的発達の結果，調音能力が象徴作用の外的顕在化 externalization を推し進めた。[30] そして，外的顕在化が個体群 population のレヴェルで適応的に作用した結果，個体間コミュニケーションがいっそう効率的になった。

本論冒頭の「問題設定」で触れたように，コトバが脳によって生み出されたのであれば，脳の進化を辿ることと言語進化の道筋を描くこととはパラレルな関係にあると言うべきであろう。言語機能の「設計図」に書き込まれるはずの Merge もそのリソース，すなわち物理的基盤に降り立って捉え直すことではじめて，「プラトンの問題」のみに留まらず，「ダーウィンの問題」の解決にも繋がるはずである。この意味で，reverse engineering の手法がもつ意義は小さくはないだろう。

〔謝　辞〕

匿名査読者（３名）より，貴重なコメントを頂きました。丁寧な査読，ならびに建設的な助言に心よりお礼申し上げます。それにも関わらず論述に至らざる点などがあれば，それらはすべて筆者の責任によるものです。

〔文　献〕

Bechtel, W., and A. Abrahamsen, 2002, *Connectionism and the Mind. Parallel Processing, Dynamics, and Evolution in Networks*. Second Edition. Blackwell; Oxford.

Bickerton, D., 2009, Syntax for non-syntacticians: A brief primer. In D. Bickerton, and E. Szathmáry (eds.), 2009, pp. 3–13.

Bickerton, D., and E. Szathmáry (eds.), 2009, *Biological Foundations and Origin of Syntax*. MIT

28 「前適応」とは進化生物学の用語であり，ある生物種が，以前から存在していた形質を，それとは関係をもたない別の機能のために用いることで適応進化することをいう。一例がディノサウルスの翼である。もともとは卵を孵化させるための羽毛であったものが，飛行のための手段として使用されるようになり，それが翼に進化した。これは S. Gould のいう，ゴシック建築のアーチとアーチに挟まれた柱上の三角小間 spandrel のような適応の副産物とは異なる。

29 語彙範疇と機能範疇に相当する単語に関連する脳部位については，たとえば Pulvermüller 2002, Ch. 4 参照。

30 シンボル化については Deacon 1997, 声道の解剖学的発達をめぐる最近の論考は Lieberman 2010 参照。

Press, Cambridge; MA.
Boeckx, C., 2008, *Bare Syntax*. Oxford University Press, Oxford.
Brody, M., 2000, Mirror theory: Syntactic representation in perfect syntax. *Linguistic Inquiry*, 31–1, pp. 29–56.
Carnie, A., D. Medeiros, and C. Boeckx, 2005, Some consequences of natural law in syntactic structure. Unpublished paper, University of Arizona and Harvard University.
Chomsky, N., 1995, *The Minimalist Program*. MIT Press, Cambridge; MA.
Chomsky, N., 2005a. Three factors in language design. *Linguistic Inquiry*, 36–1, pp. 1–22.
Chomsky, N., 2005b, Some simple evo devo theses: how true might they be for language? In R. K. Larson et al. (eds.), 2010, pp. 45–62.
Christiansen, M. H., and S. Kirby (eds.), 2003, *Language Evolution*. Oxford University Press, Oxford.
Deacon, T. W., 1997, *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*. W. W. Norton, New York.［金子隆芳（訳）『ヒトはいかにして人となったか―言語と脳の共進化』, 新曜社, 1999］
Edelman, S., and H. M. Christiansen, 2003, How seriously should we take Minimalist syntax? A comment on Lasnik. *Trends in Cognitive Sciences*, 7–2, pp. 60–61,
Friederici, A., 2009, Brain circuits of syntax. In D. Bickerton, and E. Szathmáry (eds.), 2009, pp. 239–251.
Gasser, M., and E. Colunga, 1997, Playpen: toward an architecture for modeling the development of spatial cognition. Indiana University Cognitive Science Program, Technical Report #195.
Gasser, M., and E. Colunga, 2000, Babies, variables, and relational correlations. Annual Conference of the Cognitive Science Society, 22, pp. 160–5.
Hornstein, N., 2009, *A Theory of Syntax. Minimal Operations and Universal Grammar*. Cambridge University Press, Cambridge; UK.
Larson, R. K., V. Déprez, and H. Yamakido (eds.), 2010, *The Evolution of Human Langauge. Biolinguistic Perspectives*. Cambridge University Press, Cambridge; UK.
Lieberman, P., 2010, The creative capacity of language, in what manner is it unique, and who had it? In R. K. Larson et al. (eds.), 2010, pp. 163–175.
Marcus, G. F., 2000, *Pabiku* and *Ga Ti Ga*: Two mechanisms infants use to learn about the world. *Current Directions in Psychological Science*, 2000, American Psychological Society, pp. 145–7.
Marcus, G. F., 2001, *The Algebraic Mind. Integrating Connectionism and Cognitive Science*. MIT Press, Cambridge; MA.
Marcus G. F., S. Vijayan, S. Bandi Rao, and P. M. Vishton, 1999, Rule learning by seven-month-old infants. *Science*, 283, pp. 77–80.
Marr, D., 1982, *Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. Freeman & Co., New York.［乾敏郎・安藤広志（訳）『ビジョン―視覚の計算理論と脳内表現』, 産業図書, 1987］
Maynard-Smith, J., and E. Szathmáry, 1995, *The Major Transitions in Evolution*. W. H. Freeman/Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.［長野敬（訳）『進化する階層―生命の発生から言語の誕生まで』, シュプリンガー・フェアラーク東京, 1997］
Mehler, J., and E. Dupoux, 1990, *Naître humain*. Editions Odile Jacob, Paris.［加藤晴久・増茂和男（訳）『赤ちゃんは知っている―認知科学のフロンティア』, 藤原書店, 1997］
中村捷・金子義明・菊池朗 , 2001,『生成文法の新展開　ミニマリスト・プログラム』, 研究社出版.
野村泰幸, 2004,『プラトンと考える　ことばの獲得　成長する文法・計算する言語器官』, くろしお出版.
野村泰幸, 2005a,「言語獲得と言語進化の交わるところ」,『科学』75–3, pp. 285–6.
野村泰幸, 2005b,「言語獲得から言語変化へ―普遍文法をめぐる新たな展開」,『月刊言語』34–12, pp. 72–6.
野村泰幸［編・訳・解説］, 2006,『言語進化とはなにか―ことばが生物学と出会うとき』, 大学教育出版.

野村泰幸, 2007,「併合（Merge）とフィボナッチ数列―ヒト言語における自己埋め込み構造―」, Sprache und Kultur 40, 大阪外国語大学ドイツ語研究室編, pp. 1–14.

野村泰幸, 2008,「普遍文法の本質とは何か―言語獲得からみた生成文法」,『月刊言語』37–11, pp. 21–7.

野村泰幸 2009,「ヒト幼児 , ワタボウシタマリン, 併合―言語獲得と再帰性―」,『大阪大学世界言語研究センター論集』第 1 号, pp. 89–102.

野村泰幸 2010a,［書評］Hornstein, Norbert: *A Theory of Syntax. Minimal Operations and Universal Grammar*. Cambridge University Press, Cambridge, 2009, ix＋194 pp.,『大阪大学世界言語研究センター論集』第 2 号, pp. 105–12.

野村泰幸 2010b, ［書評］Christiansen, M. H., C. Collins, and S. Edelman, eds.: *Language Universals*. Oxford University Press, Oxford, 2009, xiii＋294 pp.,『大阪大学世界言語研究センター論集』第 4 号 , pp. 159–166.

Phillips, C., and H. Lasnik, 2003, Linguistics and empirical evidence. Reply to Edelman and Christiansen. *Trends in Cognitive Sciences*, 7–2, pp. 61–2.

Piattelli-Palmarini, M., and J. Uriagereka, 2008, Still a bridge too far? Biolinguistic questions for grounding language on brains. *Physics of Life Reviews*, 5, pp. 207–24.

Pulvermüller, F., 2002, *The Neuroscience of Language. On Brain Circuits of Words and Serial Order*. Cambridge University Press, Cambridge; UK.

Pylyshyn, Z., 1984, *Computation and Cognition: Toward a Foundation for Cognitive Science*. MIT Press, Cambridge; MA.［信原幸広・佐伯眸（訳）『認知科学の計算理論』, 産業図書, 1988］

Saffran, J. R., R. N. Aslin, and E. L. Newport, 1996, Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274, pp. 1926–8.

Seidenberg, M. S., and J. L. Elman, 1999, Do infants learn grammar with algebra or statistics? *Science*, 284, pp. 434–5

Spitzer, M., 1996, *Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.［村井俊哉・山岸洋（訳）『脳―回路網のなかの精神』, 新曜社 , 2001］

Uriagereka, J., 1998, *Rhyme and Reason*. MIT Press, Cambridge; MA.

（2011. 01. 07 受理）