

言語脳科学が切り開く言語学の未来

シンポジウム趣旨：

近年の脳科学の急速な発展により、言語を支える脳のメカニズムの実態が明らかになりつつある。言語学においても、多様な言語を対象に理論・記述の両面で研究が進展したことで、徐々に言語の実像が解明されつつある。しかしながら、脳科学実験の言語学的な意味づけや、実験に基づく言語理論の構築・改訂など、言語学と脳科学が生産的な関係を築くための課題は多い。本シンポジウムでは、言語脳科学の研究成果を概観した上で、脳科学が言語学にどのように貢献した（しうる）のか、今後の課題は何かについて議論を行う。さらに、言語学者と脳科学者の双方が、互いの分野に求めることについて議論することで、言語学と脳科学が協力して言語の研究を進める可能性についても検討する。

講演者及び講演題目：

1. 酒井 邦嘉（東京大学）「脳科学と言語学の共同研究について考える」
2. 梅島 奎立（東京大学）「新たな言語の獲得において多言語話者で増進した脳活動—MRI装置を用いた実証研究」
3. 中村 一創（東京大学・日本学術振興会）「理論言語学者が見た言語脳科学」
4. 太田 真理（九州大学）「言語学と脳科学の共同研究には何が足りないか？」

企画・司会：太田 真理（九州大学）

脳科学と言語学の共同研究について考える

On the joint research of brain science and linguistics

酒井 邦嘉 (東京大学大学院総合文化研究科)

自然科学で最も成功した物理学は、特に 20 世紀に飛躍的な発展を遂げた。その原動力は、理論物理学と実験物理学の協調によるところが大きい。例えば素粒子物理学では、新粒子の理論的な予言に基づいて、その物理的特性を備えた粒子が実際に検出された。また、アインシュタインの重力場方程式から予言された重力波は、百年もの長い試行錯誤を経て見事に観測されている。私は物理学科から物理学専攻に進んだので、そうした理論と実験の共同作業から大きな刺激を受けた。その後 1990 年代には、脳科学では fMRI (機能的磁気共鳴画像法) というイメージング技術が開発され、人間の高次脳機能を MRI 装置で厳密に測定できるようになった。そこで初めて、言語学による理論的な予言が実証できる時代が到来したのである。講演では、福井直樹氏のグループとの共同研究の成果を例に挙げながら、脳科学と言語学の共同研究における現状と展望について議論したい。

新たな言語の獲得において多言語話者で増進した脳活動：

MRI 装置を用いた実証研究

Enhanced brain activations for multilinguals while acquiring a new language —An MRI study

梅島 奎立 (東京大学大学院総合文化研究科)

本研究では、日本語を母語とする参加者に対し文法課題を用いて、カザフ語の音韻変化および文構造を新たに習得させた。また、全く傷をつけずに外部から脳組織を観察する方法である MRI (磁気共鳴画像法) を用いて、言語習得のプロセスを調べた。その結果、左脳の言語領野の活動が、三言語以上を習得していた群において、二言語のみ習得していた群よりも定量的に高くなった。これらの結果は、複数の言語の習得効果が累積することで、より深い獲得を可能にするという仮説「言語獲得の累積増進モデル」を支持する。言語学的仮説の検証に用いられる実験手法は数あるが、脳活動を調べることは、学習や記憶を含む脳機能一般と言語能力との関係の整理を促す。脳のシステム全体における言語能力の位置づけを探る試みは、言語学と神経科学双方の精緻化に必須である。

理論言語学者が見た言語脳科学

Neurolinguistics from the viewpoint of a theoretical linguist

中村 一創 (東京大学大学院人文社会系研究科・日本学術振興会)

本発表は、一理論言語学者から見た言語脳科学の魅力と改善点について述べ、理論言語学と言語脳科学との共同研究が今後言語学に大きなブレークスルーをもたらすことを主張する。まず、現在の2領域の状況を概括するために、Chomsky と Uriagereka という2人の代表的な理論言語学者の脳科学観を取り上げ、言語学と脳科学の研究ははまだ「統合」されるには至っていないものの、相補的に進歩していることを述べる。次に、中谷宇吉郎の比較科学論を取り上げながら、言語脳科学が言語学者にとって重要である理由の一つとして、実験が予測不可能かつ重要な結果をもたらす点を挙げ、一例として Kinno et al. (2009)の実験とそのインパクトについて概説する。最後に、脳科学の今ひとつの重要性として、計算論的神経科学による言語学への貢献の可能性を挙げ、併合(MERGE)の単純性は計算論的考察によって再考されるべきであることを示唆する。

1 現在の言語学と脳科学との関係

本発表は、理論言語学者である発表者から見た言語脳科学の魅力と改善点について述べ、言語脳科学が今後言語学に大きな飛躍をもたらすであろうことを主張する。

まず、現在の言語学と脳科学が置かれている状況について見てみよう。Chomsky (1986)は、言語学と脳科学との関係について、以下のように述べている。

(1) 脳科学と心の研究の相互依存関係は互恵的である。心の理論は、言語機能の初期状態 S_0 、および、言語機能の到達可能な各状態 S_1 の諸特性を決定付けることを目指しており、これに対して脳科学は、これらの状態の物理的具現化である脳のメカニズムを発見しようと努めている。つまり、これらの研究には共通の企てが存在しているのである。初期状態及び到達した状態における言語機能に関する正しい特徴付けを発見すること、そして、言語機能についての真理を発見することである。(Chomsky 1986: 217-218)

理論言語学と言語脳科学とは、異なる手法で同じ目標を目指しているのであり、理論物理学と実験物理学のように、相補的な関係にある(Marr 1982 参照)。

(2) この企てはいくつかのレベルにおいて進められる。つまり、心の理論において為される抽象的な特徴付けと脳科学において行われる具体的なメカニズムに関する探究である。原理的には、脳に関する発見は心の理論に影響を及ぼすべきであるし、またそれと同時に、言語機能の諸状態に関する抽象的な研究は、脳に関する理論によって説明されるべき諸特性を定式化することになり、脳のメカニズムを追究する試みにおいて不可欠な部分になるであろう。このような関係が確立され

る限りにおいて、心の研究、わけても、I 言語の研究は、自然科学の主流に同化していくことになるであろう。(Chomsky 1986: 218)

決して言語脳科学は理論言語学に従属した学問ではなく、ハッキング(1983)の言い方を借りれば「実験活動はそれ自身の生活をもっている」(295)。ただ同じ目標を目指す以上、両者の「統合」が望まれているが、Chomsky (2002)も指摘するように、「統合」への道筋は依然としてついていない。

現在までの言語脳科学の研究成果をまとめた Friederici (2017)に対する書評(Uriagereka 2019)の中で、Uriagereka は次のように述べている。

(3) Cognitive scientists cannot say how the mass or energy of the brain is related to the information it carries. Everyone expects that more activity in a given area means more information processing. No one has a clue whether it is more information or more articulated information, or more interconnected information, or whether, for that matter, the increased neuro-connectivity signifies something else entirely. (Uriagereka 2019)

Uriagereka は、言語学が扱う心の理論と言語脳科学の(物理的)脳に関する理論との間には概念的な隔たりがあり、両者がどのように関連付けられるべきかははっきりしないと考える。Uriagereka の発言は、言語学と脳科学が置かれている現状を正しく指摘している。

ただ、だからといって脳画像イメージングによる研究が何も明らかにしていないなどと考えるのは誤りである。Uriagereka は、統辞法の核である集合形成操作 MERGE が BA 44 野で行われる演算であるとの Friederici の発言に対し、こう述べている。

(4) How would one decide that whatever is going on at BA 44 is Merge, as opposed to, for instance, the processed phrase being assigned to an active memory buffer? Merge involves systematic and *phrasally complex* combinatorial information, which is why language recognizers routinely invoke such notions as a memory *stack*. As far as I can see, present-day observational technology does not seem capable of teasing apart these different components of syntax at work, so it seems to me premature to claim that the observables localize Merge. (Uriagereka 2019)

確かに BA 44 野の脳活動が、併合操作によって形成された句構造の処理によるものであり、併合操作とは無関係である可能性はある。しかし、そうだとすれば併合操作を脳科学的にどう説明すると言うのだろうか。例えば「記憶」のように、脳内での表現・局所化が解明されていない現象は存在するが(Gallistel and King 2009)、併合の場合は、併合と関連する処理に帰すことで単純な説明が得られる脳活動が多数の実験で確認されている。併合を未知の脳科学的要因に帰すことで得られるものは少なく、Uriagereka の発言は「懐疑のための懐疑」にしかならないように思われる。我々自然科学者にできるのは、今できる最良の説明をすることだけであり、真理を「確定」させることではない。脳科学実験は確かに言語学の進歩に貢献しているのである。

また、言語現象と脳活動との論理関係が解明されていないために、言語学は真の自然科学ではなく、脳科学こそが「真の証拠」を提供すると考えるのは誤りである。Chomsky (2004)は、この種の誤解をかつて化学に対して見られた誤謬と同種のものとしているが、化学が物理学的基盤を持っていなかった時代にも自然科学として成立していたのと同様、言語現象に対する最もエレガントな見方を提供してきた言語学も自然科学として成立するのである。上述の Uriagereka の場合と同様、自然科学者に出来るのは最良の説明を求めることであり、Chomsky も言うように「真の証拠」なるものは存在しないのである。

まとめると、言語学と脳科学との「統合」は現状ではなされていないものの、両者は別々の分野として時に協力しつつ、各々重要な成果を出していると言える。

2 言語学には言語脳科学が必要である(I)--中谷宇吉郎の比較科学論

では、理論言語学にとっての実験脳科学の意義とは何だろうか。参考になるのが、中谷宇吉郎(1959)による科学研究の分類である。中谷は、研究には警視庁型とアマゾン型の2種類があるとしている。警視庁型は、解答(=犯人)が存在することが、すでに確立された原理などから明らかな場合に、その解答を導くような研究である。一方でアマゾン型は、解答が存在するかどうかわからない場合に、アマゾンで新種を探すように解答を探し求める研究である。

生成文法の研究は当初、アマゾン型の研究が圧倒的に多かったように思われる。局所性、否定極性、数量詞移動など、全く予想されていなかった驚くべき現象が次々と報告された。これらの現象が80年代に原理とパラメータによるアプローチのもとで整理され、90年代に極小主義が提唱されると、研究の比重は警視庁型に移った¹。極小主義は80年代までに発見された数々の現象を、言語機能が物理学的な単純性を持っているとの考え方のもとで説明するアプローチであって、数学に対する数学基礎論の立ち位置を占めていると言える(黒田2009)。80年代までの諸現象は何らかの形で「原理的説明」を受けると仮定されており、何が最も単純な説明かが最重要課題となった。

しかし、中谷は警視庁型の研究はアマゾン型の研究と融合することで真に興味深い研究になるとしている。中谷が例としてあげているのは、1927年にノーベル物理学賞を受賞したチャールズ・ウィルソンによる霧箱の発明である。素粒子の可視化に使われる霧箱は当初、水蒸気の凝集を調べるために作られた装置だったが、装置の使用中に白い線が観察され、それが後にアルファ線の飛跡であることが判った。そしてウィルソンはこの発見をもとに装置を改良し続け、様々な放射線の飛跡を調べ、原子核研究のパイオニアとなったのである。

現在の極小主義統辞論を見ると、アマゾン型の研究が出現する可能性は低くなってきているようである。新たな現象は日々報告されているが、分野全体を揺るがすようなものは多くない。このような現状は記述的妥当性や説明的妥当性を満たす理論が完成しつつあることを意味しており、言語学者は容認度判断のデータだけでなく、生物学的・神経科学的な現象にも目を向ける必要があるように思われる。従って言語学的に大きな発見があるとすれば、最も期待できるのは脳科学実験ではなからうか。

¹もっとも、アマゾン型の研究と警視庁型の研究が大きく乖離するようになったという見方もできるかも知れない。黒田(2009)でも指摘されている通り、極小主義を記述的な装置の変化としてしか捉えなかった研究者も多かったためである。

一例として、酒井研究室で行われた実験研究である Kinno et al. (2009)を挙げよう。Kinno らは、失語症患者を(i)左下前頭回弁蓋部/三角部(L. F3op/F3t, BA 44/45)に膠腫のある患者、(ii)左運動前野外側部(L. LPMC, BA 6)に膠腫のある患者、(iii)その他の部位に膠腫のある患者の3つのグループに分け、それぞれに対し、能動文、受動文、かき混ぜ文の3種類の文の理解度をテストした。すると、L. F3op/F3t に膠腫のある患者は受動文とかき混ぜ文の理解に困難を示し、L. LPMC に膠腫のある患者はかき混ぜ文の理解に困難を示した。

(5)	膠腫のある部位	能動文	受動文	かき混ぜ文
(i)	L. F3op/F3t	ok	*	*
(ii)	L. LPMC	ok	ok	*
(iii)	その他	ok	ok	ok

これは理論言語学的には予想だにしない結果である。いずれの文型も併合の適用によって構築されるなら、3タイプの間には差が生じることはないはずである。一つの解釈として、併合とは別に何らかの線形順序形成操作が統辞論に関わっている可能性²が考えられるが、その場合でも受動文とかき混ぜ文の間の差異の説明など、興味深い問題がいくつも生じてくる。

もちろん、闇雲に実験を重ねてもこのような興味深い結果が出てくるわけではない。理論的な強力な予想を前提として始めて、予想を裏切る驚くべき結果が生じる。そのため、理論言語学に基づく深い予想から実験を行い、そこから理論にとって「都合の悪い」成果が次々と出てくれば、そして理論言語学者が言語脳科学の成果を積極的に吸収する努力をすれば、言語学もかつての活気を取り戻せるのではなかろうか。

3 言語学には言語脳科学が必要である(II)--神経計算論的妥当性

言語脳科学が今後言語学にとってより重要になると予測される第二の理由として、計算論的神経科学と言語学との関連が挙げられる。言語理論の妥当性は、次の3つの観点から評価されると考えられている。

- (6) a. 記述的妥当性
- b. 説明的妥当性
- c. 進化的妥当性

ただ、脳科学を考慮に入れると、新たな妥当性の基準を考える必要が出てくるかも知れない。Chomsky (1986, Ch.2)は、次のような指摘をしている。

²この点については Tanaka et al. (2019)も参照。なお、ここで言う線形順序構築操作はいわゆる外在化(Externalization)とは別物と考えるべきである。外在化は句構造を線形列に写す写像であって、そもそも句構造が形成されていないであろうブローカ失語の場合には機能しているか疑わしいためである。

(7) 獲得可能な I 言語の全く同じ集合を指定するという点で等価であるような 2 つの UG に関する理論を、脳の諸特性によって区別することが出来るかも知れない。例えば、一方の UG に関する理論は脳のメカニズムによって容易に説明することが出来る諸原理や変異の可能性を含んでいるのに対し、もう一方の理論はそうではないということもあるかも知れないのである。(218)

このような、言語理論が計算論的神経科学がもたらす神経系の計算システムによって実装可能であることを要求する基準を、神経計算論的妥当性(neurocomputational adequacy)と呼んでおこう。

実際、(6)の 3 つの妥当性だけでは優劣を評価しきれない仮説が存在する。例として、人間に固有な言語能力の核は、併合(MERGE)と呼ばれる集合形成操作であるとする説 T_{MERGE} を取り上げてみよう。併合は最も単純な集合形成操作であるとされ、時に Simplest MERGE などと呼ばれることもある。そして最も単純であるがゆえに、進化的妥当性を考慮した時に、現時点で最良の理論であると考えられている。

$$(8) \quad \begin{aligned} \text{MERGE}(a, b) &= \{a, b\} \\ \text{MERGE}(c, \{a, b\}) &= \{c, \{a, b\}\} \end{aligned}$$

このようにして出来た構造から支配(domination)や最小探索(Minimal Search)のような構造関係が派生的に定義される。

しかし、Chomsky (2021)自身指摘しているように、単純性は全体論的(holistic)な概念であり、何か固定された基準がアプリアリに存在しているわけではない。MERGE が最も単純な構造形成操作であるというのは、集合を基礎に置く評価尺度 V_S に立っているためである。逆に構造関係を基礎に置く評価尺度 V_R のもとで、構造関係から構造を派生的に定義する理論 T_C を考えることも出来る。

$$(9) \quad \begin{aligned} C(a, b) &= aCb \\ C(c, a) &= cCa \\ C(c, b) &= cCb \end{aligned}$$

「 xCy の時、 y は x を主辞(head)とする句の内部にある」などとすれば、併合によって直接定義されていた「句」の概念を、今度は派生的に導くことが出来る。

重要なのは、 T_{MERGE} と T_C のどちらがより単純か、という議論は殆ど意味をなさないことである³。C は 2 つの項の間に非対称的な関係を設ける演算であって、 V_R のもとでは最も単純な操作である⁴。公理系の異なるユークリッド幾何と非ユークリッド幾何との間に客観的・一般的な優劣がつけ

3 T_C と T_{MERGE} は経験的にいくつか異なる予測をするが(例えば T_C では語順・内心性の表現が可能になる、いわゆる First Merge の問題が生じない等)、それらは T_{MERGE} でも第三要因などに基づいて説明されてきたことであり、両者の間に決着をつけられるような差ではない。ただ、C と派生概念との関係付けの仕方によって、 T_C をより強力な理論にすることは可能である。

4 なお、 V_R のもとで MERGE を定義しようとする、R が支配(domination)関係に相当するような理論が出来上がるが、その場合、二項枝分かれ(binary branching)を維持しようとする、1 回の操作で 2 つの関係を構築

られないのと同様、これら2つの理論はおそらくいずれも(6)の妥当性の基準を満たしており、特定の評価基準に依らない限りどちらかを選択するのは難しい。そしてどの評価基準を選択するかに関するアプリアリな基準は存在しないのである。

しかし、MERGEとCとは形式的に異なるのであり、数学と違って、脳における計算の実装可能性で差がつくことは十分ありうる。具体的には、(10)と(11a)のどちらが神経システムにおける妥当な表現かが問題となるのである。

(10) $\{c, \{a, b\}\}$ (集合論的思考方 T_{MERGE})

(11) a. $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ (関係論的思考方 T_C)

b. $(a, b, c) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = (b, 0, a+b)$

(11a)は語彙項目の線形列(a, b, c)を、(11b)のように各要素とCの関係を持つ要素(の群)に写す行列であり、(9)と等価である。

Chomsky (1986)の示唆から30年以上経った現在でも、神経コーディングについての確かな理論は存在しないようである(Friederici 2017)。とはいえ、今後、神経科学が理論言語学にも最も貢献するのは計算論の領域であるように思われる。そして、第1節で述べた理論言語学と言語脳科学の「統合」のために最も重要なのも計算論である。

現在の学界において、「理論言語学はつまらなくなった」と閉塞感を感じている研究者も少なからずいるかもしれない。しかし、発表者にはむしろ現在の状況は「産みの苦しみ」であって、近い将来大きなブレークスルーがあってもおかしくないように感じられる。本発表は言語脳科学の領域からそうした雰囲気を感じ取ってもらうためのものであった。

参考文献

Chomsky, Noam (1986) *Knowledge of Language*. New York: Praeger. [福井直樹(編訳)『チョムスキー言語基礎論集』東京: 岩波書店, 2012.]

Chomsky, Noam (2002) *On Nature and Language*. Adriana Belletti and Luigi Rizzi (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.

Chomsky, Noam (2004) *The Generative Enterprise Revisited*. (discussions with Riny Huybregts, Henk van Riemsdijk, Naoki Fukui, and Mihoko Zushi). Berlin: De Gruyter Mouton.

Chomsky, Noam (2021) "Minimalism: Where Are We Now, and Where Can We Hope to Go." *Gengo Kenkyu* 160: 1-41.

Friederici, Angela (2017) *Language in Our Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

する必要があり、最も単純な操作ではなくなってしまう。一方で、 V_S のもとでCを基本的演算として定義するのは難しいように思われる。

Gallistel C. R. and Adam Philip King (2009) *Memory and computational brain*. Chichester: Wiley Blackwell.

ハッキング, イアン(1983)『表現と介入』渡辺博(訳), 東京: 筑摩書房, 2015.

Kinno, Ryuta, Yoshihiro Muragaki, Tomokatsu Hori, Takashi Maruyama, Mitsuru Kawamura, Kuniyoshi L. Sakai (2009) “Agrammatic comprehension caused by a glioma in the left frontal cortex.” *Brain and Language* 110: 71-80.

黒田成幸(2009)「数学と生成文法」*Sophia Linguistica* 56, 1-36.

Marr, David (1982) *Vision*. San Francisco: W. H. Freeman.

中谷宇吉郎(1959)『寺田寅彦—比較科学論--』東京: 新潮社.

Tanaka, Kyohei, Issu Nakamura, Shinri Ohta, Naoki Fukui, Mihoko Zushi, Hiroki Narita, and Kuniyoshi L. Sakai (2019) “Merge-generability as the key concept of human language: Evidence from neuroscience.” *Frontiers in Psychology* 10, 2673, 1-16.

Uriagereka, Juan (2019) “Kept in Mind.” *Inference* 4.

言語学と脳科学の共同研究には何が足りないか？

What is the missing link between linguistics and neuroscience?

太田 真理 (九州大学大学院人文科学研究院)

言語学と脳科学が共同研究を進めるためには、お互いの分野に対する理解が不可欠である。しかし、言語学・脳科学の研究が近年急速に進展した影響もあり、両者の相互理解が進んでいるとは言い難い状況である。本発表では、言語学・脳科学双方の研究に携わってきた研究者の目から見て、言語学と脳科学の共同研究に何が足りないのか、現状の課題について整理した上で、言語学と脳科学の共同研究を行う意義について議論し、言語学・脳科学の双方に貢献する共同研究の可能性についても検討したい。