

## 認知科学と実験言語学<sup>(\*)</sup>

城 生 佰太郎

【キーワード】：認知科学，脳神経科学，実験言語学，脳波，聴覚誘発脳磁界

【要旨】：従来の認知科学は，どちらかと言えば計算至上主義といった側面が強かった。しかし，ファジー的側面を有する人間行動の一環として営まれている自然言語を，計算モデルのみによって「説明」しようとするのは，いささか単純に過ぎはしまいか。そのような疑問から出発して，小稿ではこれにとって代わるべき案として，先ずは，主として脳神経科学の分野から，実験を主軸とする徹底した事実観察を行なうべきであることを主張し，このような実証的方法論による研究分野を，新たに実験言語学と命名することを提案するものである。

### 1. 認知科学と言語学との関わり

#### 1.1. 計算モデル論

認知科学は，認知心理学，人工知能，言語学を中心として，大脳生理学，哲学，文化人類学，社会学，教育学などにまたがる学際的な学問である。また，主たる方法論は，これまでのところ，錦見・中島・橋田（1987）などにも指摘されているように，何よりもまず，解明すべき認知過程の計算モデルを構築するところから出発し，次に現実のデータと，あらかじめ構築されたモデルとを照合することによって，理論の検証を行なうという形の，いわゆる演繹的な方法論が採られてきた。

ここから，当然のことながら，研究の比重もアルゴリズム，データ構造，メタファーなどといった方向へと置かれてきたわけであり，従って，言語学との接点も，主として意味論に限定されてきたというのが，これまでの経緯である。

#### 1.2. 認知意味論

言語による表現は，現実起こった事柄をありのままに反映しているのでは

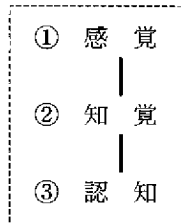
なく、むしろ私たち人間が認知した結果の所産であると考えるべきである。かくて、人間による認知に基づく意味の解明を目指す分野を、認知言語学 (cognitive linguistics) ないしは認知意味論 (cognitive semantics) と呼ぶ。

ところで、この分野における重鎮の一人である池上嘉彦 (1991) によれば、認知言語学は産声をあげてから日が浅いため、もっかのところ、まだまとまった「学派」は存在しないという。ただし、基本的な考え方は、従来から行なわれてきた意味論や記号論の延長線上にあるところから、特に際立った部分は、

- (1) 感覚・知覚・認知のレベル設定
- (2) カテゴリー化

の二点に求められよう。

このうち、前者における「3つのレベル」というのは、右のように図式化されるもので、例えば人の顔を見たときに、それが単なる造形であると受け止めるレベルを①の「感覚」、それが犬や猿の顔ではなく人間の顔であることがわかるレベルを②の「知覚」、さらに、それがAさんではなくてBさんだと区別できるレベルが、③の「認知」だということになる。



つまり、①では単に外界からの刺激に対して受動的であるに過ぎなかったものが、②から③へと進むにつれて能動的かつ主体的に変貌する、ということになる。哲学の方では、つとにピアース (Peirce) の主張した「第一次性」「第二次性」「第三次性」という記号論的概念があることが、諸家によって指摘されている。(池上、前掲書など)

次に、後者の「カテゴリー化」に関しては、新たに、体系の非対称性・曖昧性・重複・連続性などが、特に問題となってくる。これは、従来の、極端に単純化された二項対立のような図式に対する批判でもあり、ファジー理論が一般にもよく知られるようになった現在では、至極当然な帰結と思われる。

とりわけ、小論の筆者のように、一貫して実験データを中心とする実験音声学の研究に従事してきたために、現実の言語現象が有限であり、体系はあるにはあってもいびつで非対称性・曖昧性・重複などの錯綜したものであることを、イヤというほど思い知らされている者にとっては、今ごろになってようやく真剣に二項対立の呪縛から解放されようとしている現状を、むしろ齒痒くさえ思うフシがある。

しかし、その一方で、だからこそ「はじめにモデルありき」といった発想による、アルゴリズム、データ構造、メタファー…などといった方向への拡散だけで、カオス的な人間の自然言語を完璧に捕捉することができるのかということに対しては、一抹の不安を禁じ得ないのである。

### 1.3. 言語学における「再現可能性」をもとめて

今日では、ほとんどの科学において、「再現可能性」が不可欠な要素となっており、これに呼応して定量化、定性化などが要求されている。従って筆者は、言語学も科学を名乗るからには、原則的に上の条件を充足していなければならないものとする。

しかしながら、周知のように、言語学においてはこれまでのところ真に「再現可能性」、および「定量化」、「定性化」に耐え得るものは、音声科学のみである。しかも、その音声科学でさえ、生成文法の興隆とともに、あたかもこれに反比例するかのように、永らく研究人口の減少傾向が続いており、かわりに言語の生成・理解を可能とする認知・運用のメカニズムを、抽象的かつ思弁的なレベルで探る研究が、ますます活性化しているのが現状である。

くり返しになるが、言語のように高度に抽象化された記号を扱う言語学の分野では、一面で、思弁科学的側面を除去することは不当である。しかしながら、全体を鳥瞰的に見渡したばあいに、学問全体のバランス良い発展を目指すうえで、抽象的な研究と並行して実証的な研究を行なうこともまた、不可欠であることを主張しておきたい。

そこで、この点を克服するために暫定的に提案されるのが、次の方法論ということになる。

## 2. 実験言語学

### 2.1. 実験言語学における「実験」とは

筆者は、すでに城生佰太郎(1990)において、モデル論を中心とした現行の理論言語学のあり方を憂慮して、

自然科学の分野では、多くの科学者を動員した長期にわたる膨大な量の観察・実験の蓄積があったからこそ、現在の仮説中心の学説にも説得力があるのだということを忘れてはならない。ひるがえって、言語学を見ると、

残念ながら現状では自然科学に匹敵するような観察や実験の歴史があったとは、とうてい考えられないありさまである。… (同書, p.158)

と述べたあとで、実験と観察とを徹底した「実験言語学」という新たな分野の必要性を主張している。つまり、言語学の枠組みを大きく基礎研究と応用研究とに二分し、さらに前者を

- (1) 従来の理論的研究を中心とする抽象的な理論言語学
- (2) 実験を主とする、実証的かつ学際的統合科学としての実験言語学

とに下位区分し、(1)と(2)との間を行きつ戻りつしながら、理論的進展を図ろうとするものである。すでに心理学における「実験心理学」「認知心理学」「発達心理学」「社会心理学」…など多くの基礎部門と、「産業心理学」「環境心理学」「臨床心理学」「犯罪心理学」…などの応用部門との別、および、同じ基礎部門内における実験心理学、認知心理学、発達心理学…等々との、互いに分化しつつ補い合う関係で発展してきた事実が、右の枠組みを考える際には格好のモデルとなる。

また、この際に中核となる実験は、従来の実験音声学のように口唇から放射された後の過程のみを対象とするのではなしに、脳神経レベルにおける内的過程をも含めた包括的なものでなければならないと考える。従って、実験言語学で用いる「実験」の中身は、心理学における「実験心理学」のそれとは、全く異なる概念であるということになる。

ただし、現段階ではまだこのような構想における実験研究に、ほとんど着手していないので、小論ではほんのわずかな糸口だけを示して、問題の所在を明らかにする程度に留めざるを得ない。

## 2.2. 人間の脳に学ぶ

人工知能の研究が盛んに行なわれ出した当時、通産省の肝煎りで開発された「ヒトの脳に近く、学習や推論ができる」というふれこみの、いわゆる第五世代コンピュータには、熱い視線が注がれたものだった。しかし、この「非ノイマン型」のコンピュータも、結局のところ並列処理技術の開発という部分を除けばあまりパツとせず、あっけなく1992年に打ち切られてしまった。

情報工学者長尾真は、いみじくも次のように指摘している。

数学は連続量、無限という概念を導入することによって理論を単純化することに成功した。しかし、「地球は有限である」といわれるような時代になってきて、これまで近似的に無限としてとらえてきた対象を、ありのままの有限という形でとらえ、その挙動を説明することが必要となってきている。（「しごとの周辺」朝日新聞）

つまり、有限とは不連続なものであり、これに対処するためにはファジーとか、カオス理論に代表されるような、柔軟な情報処理こそが求められるということにほかならない。

仄聞するところによれば、いま最先端の第六世代コンピュータは、前世代で培われた「超並列超分散情報処理技術」と、不完全な情報でも処理できる「柔軟な情報処理技術」とを統合して、人間の脳の仕組みを模倣した「ニューロコンピュータ技術」を完成することをめざしているという。筆者にはこのあたりに、近い将来、実験言語学との接点が求められそうな気がしてならない。

### 3. 実験言語学による一事例

#### 3.1. context の重要性

実験言語学の研究対象は、音声のみに限らず、狭義の文法、意味、文字解釈、言語行動のパターン…など、広範におよぶはずのものである。しかしながら、現状ではもっとも捉えやすそうな音声に関する若干の事例を示して、将来の布石としておきたい。

「推論」というのは、従来の認知言語学でも注目されてきた一つの重要な課題であったが、聴覚レベルの実験を行なう際にも、例えば「聞き違い」という事例から、推論の重要性が確認できることがある。

日常卑近な例を一つ示せば、人気歌手、吉川晃司の歌う“GOOD NIGHT”という歌だが、聞いていると奇妙な歌詞に遭遇する。すなわち、

♪眠る君の夢の中で 踊り明かそう 踊り明かそう  
君と唄う吐息の中 幸せの予感があふれてゆく  
Ah〜 毎日の 便器の調子は  
明日から そう FINE おやすみの KISS  
GOOD NIGHT GOOD NIGHT

のように聞こえる。あみかけの部分「便器の調子は」というところが、どうにも腑に落ちないのである。そこで、歌詞カードを見てみると、なんと問題の部分は

できごと忘れ

となっているではないか。しかし、吉川晃司といえ、日本語を英語のように歌うということ、ファンならばだれでも知っている。だから、普段からその style に慣れ親しんでいるファンにとっては、

de ~ ki ~ got O ~ wa S ure ~

と、聞き取ることは、さほど難しいことではないのである。これこそ、まさに context の果たす役割の大きさを物語っている事例だといえよう。つまり、従来行なわれてきたように、発出された音波だけを音響分析するとか、筋電図やファイバースコープを用いて発声発語の生理のみを観察するといった実験音声学の方法だけでは、こうした現象の解明は難しいということである。

別言すれば、人間の自然言語理解という情報処理の中には、このように context に応じた、実に柔軟な selection が行なわれているのであり、従って、この動的 selection や一種の switching 機能そのものをフォローできなければ、真の意味での言語認知にかかわる問題は、解明されないということにほかならない。

すなわち、これら context の重要性に着目した、動的 selection そのものを追求するという新たな視点の設定により、従来の static な記述に終始していた言語学ではとかく見落とされがちであった、言語の dynamism を尊重するところの、動的記述が可能になるのである。

### 3.2. 聴覚情報処理機能の非対称性

人間の耳は、左右がまったく同じ働きをしているわけではない。このことは、Kimura (1961) などにはじまる dichotic listening test などの手法によって、従来、次のようにまとめられてきた。

左半球優位性 (右耳優位) —— 言語音

右半球優位性 (左耳優位) —— メロディー認知, 環境音, 高低弁別など

しかしながら、上の検査方法には

- (1) 被験者に口頭または筆記によって答えさせることによって、左右差を評価する必要がある
- (2) 使用できる音源の種類が制限される

などの限界があった。そこで、これを克服するために開発されたのが角田忠信氏の Key-tapping test であった。この検査法は、遅延フィードバック効果 (delayed auditory feedback, 略号 DAF) という現象を利用したもので、普通に話をする際に行なわれているフィードバック効果——すなわち、自分の声を聞きながら発話する——を、意図的に時間制御することによって達成される。

例えば、衛星中継によるテレビ番組で、リポーターが一時的に言語障害におちいってしまったかの印象を与えることがあるが、あれなども、自分自身の話し声が衛星回線を通して戻ってくるまでに時間がかかるために生じる、一種の遅延フィードバック効果にほかならない。従って、実験場面では、話者にマイクを持たせ、スピーカーから流れてくる自分自身の音声を遅延回路に通して、およそ0.2秒ほど遅らせてやると、とたんに話のテンポが乱れて、一時的な言語障害におちいってしまうことが確認できる。

先に述べた角田忠信氏の方法は、これを利用して、片方の耳に或る断続音  $\alpha$  を流し、これにやや遅れてもう一方の耳に妨害音  $\beta$  を、やはり断続音として流す。被験者には、 $\alpha$  にあわせてキーを叩かせる。その後、妨害音の  $\beta$  を徐々に大きくしてやると、ついにはこれに負けて、 $\alpha$  音の聞き取りができなくなってしまう臨界点が求められる。

このようにして得られた臨界点を、左右入れ替えて測定し、優劣を比較する。仮に、[ $\alpha$  が左・ $\beta$  が右]の方が、[ $\alpha$  が右・ $\beta$  が左]よりも大きな値を示したとすれば、 $\alpha$  音に対しては左耳優位、すなわち両耳の妨害競争では左耳の方が  $\alpha$  音を良く捉えている、と判定するのである。

ところで、大脳は脳梁 (のうりょう) と呼ばれる細い神経の束で左半球と右半球が結ばれており、そこで両半球の情報交換が行なわれている。そうして、体の左から入ってきた情報は右半球へ、反対に右側からの情報は左半球へと互いに交差して取められるので、結局のところ上の結果のように、左耳優位ということはずなわち大脳レベルでは右半球優位ということになる。

周知のように、角田氏は上の方法論に基づいて実験を行なった結果、人間の意識下では、音形に対応して左右両半球へのふるい分けを行なう、「音の自動選別機構」が存在することを仮定した。この路線をさらに敷衍したものが菊池吉晃（1988）であり、氏は、聴性誘発反応（auditory evoked potential, 略号 AEP）を用いた脳波実験を中心に、音の物理構造と AEP の左右差、およびその頭皮上の分布との関連から、「音の自動選別機構」の動作特性と脳内発生源の特定を行なっている。また、聴覚情報処理機能の左右非対称性については、

- (1) 言語音、こおろぎ・牛の鳴声、小川のせせらぎ、尺八・篠笛・薩摩琵琶は左半球優位
- (2) 純音（510Hz, 1010Hz, 8010Hz）、矩形波510Hz, white noise, pink noise, フルート、バイオリン、歪み母音は右半球優位

などが、明らかにされている。

なお、脳波レベルでは、このような高次の聴覚情報処理には、認知活動後300ms（1000分の300秒）に、P300と呼ばれる成分が現われることが確認されており、この点を手がかりとして脳内の活動部位に関するさまざまな研究が行なわれている。

### 3.3. 聴覚誘発脳磁界による知覚・認知の実験

脳の活動を調べるためには、脳が活動した時に生じる頭皮上の電位変化を測定すればよい。これがいわゆる伝統的な脳波検査法である。しかしながら、頭蓋骨（とうがいこつ）や、その中にたまっていて脳を守っている脳脊髄液などは、電気抵抗という観点からは落差が余りにも大きい。つまり、骨は抵抗が大きくて電気を通しにくい、一方、液体の方は抵抗が低く、電気を通しやすいために、結果としてこれらを通して得られた脳波に歪みが生じるという理屈になる。

さらに、脳波は主として頭皮に並行な皮質表面に限られており、大脳皮質につきものの溝や、しわにもぐり込んでいる皮質内部の脳波は、きわめて測定しにくいという欠点がある。

そこで、新たにこの欠を補うべく登場したのが脳磁界計測法である。原理はいたって簡単で、脳が活動すると微弱電流が流れる。電流が流れると、まわり



に磁場が生じる。そこで、この磁場を計測しようというわけである。

ただ、そうはいつでも、いざこれを検知するということになる、そう簡単には行かない。脳磁場というのは、きわめて微弱であり、地球が帯びているいわゆる「地磁気」の持つ磁力の、およそ十億分の一程度でしかないという。

しかしながら、技術革新のおかげで、SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) と呼ばれる、超伝導量子干渉素子をセンサーとする脳磁界計測装置 (Magnetoencephalography, 略号 MEG) によって、この難問が解決された。磁場を計測するので、頭蓋骨や脳脊髄液などの影響をまったく受けないばかりか、大脳皮質の奥深くに広がる溝や、しわの方が寧ろみごとに測定できるという強みが、この装置にはある。

林 実 (1990a, 1990b) や今田俊明ほか (1991) は、いずれもこのような手法を用いて人間の分節機構——すなわち、連続音声を母音や子音などの音素や、その集合である音節などの離散的な単位に解析する機構——を探究したもので、認知に関して、きわめて興味ある事実が報告されている。

例えば、前者においては

- (1) 聴覚誘発脳磁界 (Auditory Evoked Field) は、潜時100ms (1000分の100ミリ秒の潜伏時間) 前後に、N100m と呼ばれる、最も顕著な成分があらわれる
- (2) 無音部から子音部、子音部から母音部、母音部から子音部…というように、音響スペクトルの変化時点付近で最も重要な情報処理が行なわれている。つまり、単音よりも動的情報の方が、脳レベルでの認知度が高い

というようなことが指摘されている。また、後者はこの延長線上に展開された研究だが、サ [sa], ハ [ha] を刺激音とした単音節に関する聴覚誘発脳磁界の実験と、トーヒョー [toꞤçøꞤ], ヒューヒュー [çuꞤçuꞤ] など4語を刺激音とした、単語音声に関する聴覚誘発脳磁界の実験とを行なっている。なお、ここで無声摩擦子音が選ばれているのは、子音部の持続時間が比較的に長いために、発話速度をコントロールしやすいからである。

これらの結果から、

- (1) 単音節と、連続音声である単語とでは、誘発脳磁界の振幅とスペクトル変化量との間にズレが見られる
- (2) 母音から子音への「わたり」よりも、子音から母音への「わたり」の方

が、N100m と呼ばれる成分波が顕著に現われる

などの重要な指摘がおこなわれている。

## 4. 今後の展望

### 4.1. 活動電位の測定と脳マップの作成

SQUID を用いた MEG が誕生したのは、1970年代初頭だった。しかし、当時の装置はわずかにセンサーが1個という単チャンネル方式であったため、研究はそれほど進展しなかった。ところが、現在では百数十チャンネルのものも登場し、この分野の研究が長足に伸びている。

研究の深化に伴って、東京大学医学部音声言語研究施設の杉下守弘氏が指摘するように、一回一回で微妙に異なる測定条件をいかにして統制するかとか、空間解像力の低さなどに問題がないわけではないが、すでに次世代機として、functional MRI などという新鋭機も控えているという。従って、技術革新は逐次、困難な問題を解決してゆくことと期待される。

その一方で、陽電子消滅放射型断層装置 PET (Positron Emission Tomography) や、シングルフォトン消滅放射型コンピュータ断層装置 SPEC (Single Photon Emission Computed Tomography) など、放射性物質を体内に注入して、脳内の血流変化やブドウ糖の代謝、酸素の消費率などから、脳の活動部位を特定するのに、きわめて威力を発揮する方法論も開発されている。

これによって、ワシントン大学の Steven E. Petersen, Michael I. Posner, Marcus E. Raichle らが、被験者に絵を提示してその反応を調べたところ、名詞の処理は左側頭葉だが、動詞の処理は前頭葉の周辺が活性化されたということが明らかにされた。従って、今後の見通しとしては、それぞれ固有の反応を示す大脳領域が、かなり正確にマッピングできる可能性が濃厚となったといえよう。

こうした研究は、まだまだ端緒についたばかりだが、技術革新と地道なデータの積み重ねによって、その全貌が明らかとなる日がきっとやってくるに違いない。だからこそ、抽象的なモデル理論の構築の前に、私たちがまずやらなければならないことは、正確な事実観察の徹底にほかならないのである。

#### 4.2. 言語学との接点

例えば、先に示した聴覚誘発脳磁界による知覚・認知の実験をはじめとする聴覚情報処理に関する研究成果から、従来の音韻論では考えも及ばなかったような視点が開ける可能性がある。具体的に述べれば、現行の音韻論では母音(V)を境として、その前に置かれている子音(C)も、後ろに置かれている子音もまったく等価なものとして扱われてきたが、すくなくとも脳神経科学的レベルにおける認知反応としては、

- (1) CV と VC とは等価な関係ではなく、非対称である
- (2) 脳内における音韻化のプロセスは、つとめて動的である

などということが、窺知されるのである。従って、従来のどちらかといえば実験音声学寄りであった“laboratory phonology”などとは全く別個に、脳内における音韻化の動的プロセスそのものを実験によって探る、本格的な「実験音韻論」という研究分野が、実験言語学における音韻部門としては不可欠になる。

さらにまた、現状では

脳の中は直接覗くことができないので…

といった、一種の決まり文句ではじまる一部の文法論や意味論などに対して、脳神経科学レベルにおける認知の実態を実証的に探ることによって、客観的な側面からの定性化と定量化が期待できる。

以上を要するに、隣接科学を縦横に駆使した学際的な統合科学をめざす実験言語学の方法論は、従来の言語学におけるあらゆる部門に対して、新たな側面からさまざまなアイディアを提供し得る無限の可能性を秘めた、魅力ある分野であるということになる。

#### 【註】

(\*) 小稿は、1994年3月2日に東京工業大学で行なわれた講演内容を、文字化したものである。まだ着想の段階にあり、いろいろと不備も目立つが、当初、大修館の月刊『言語』編集部の求めに応じて、急遽、城生佰太郎(1994)としてまとめたところ、結果として、厳しい紙数制限が災いして、十分に意を尽くすことができなかったため、今回、このような形で、改めて完全原稿を公にすることとした。

なお当日、有益なコメントを頂戴した東京工業大学の赤堀侃司博士をはじめとして、城西短期大学の平澤洋一氏、東京工業大学の院生諸氏に感謝の意を表す。また、筆者を脳神経科学の分野に導いて下さった東京医科歯科大学の菊池吉晃博士をはじめとして、貴重な資料を提供して下さい下さった筑波大学基礎医学系の早川吉則博士、基本的な質問に快く応じて下さった東京大学医学部音声言語研究施設の杉下守弘博士にも深謝の意を表したい。

#### 【参考文献】

- 池上嘉彦 (1991) ジョージ・レイコフ『認知意味論』訳者解説, pp. 745-763, 紀国屋書店
- 今田俊明・小高知己・林 実・益子拓徳 (1991) 「14チャンネル SQUID 磁束計を用いた知覚・認知関連誘発磁界図の計測と解析」マグネティクス研究会資料 MAG-91-103, 社団法人電気学会
- 菊池吉晃 (1988) 「音の構造と聴覚系の左右性」*Audiology Japan*, 31, pp. 219-239
- 城生佰太郎 (1990) 『言語学は科学である』, 情報センター出版局
- (1994) 「実験言語学の提唱」, 『言語』23-8号, pp. 84-89, 大修館書店
- 錦見美貴子・中島秀之・橋田浩一 (1987) 「言語学習のモデル」『言語』16-4, pp. 31-37, 大修館書店
- 林 実 (1990-a) 「音節のスペクトル変化に対する聴性誘発磁界の検討」『日本生体磁気学会誌』13-1, pp. 135-136
- (1990-b) 「単語音声に対する聴性誘発磁界の検討」『日本音響学会講演論文集』(秋季), 1-7-13
- Kimura, D. (1961) : Cerebral dominance and perception of verbal stimuli. *Canadian Journal of Psychology*, 15 : 166-171