

乳幼児期の言語発達を支える学習メカニズム：音声から意味へ

梶川祥世（玉川大学学術研究所）

今井むつみ（慶應義塾大学環境情報学部）

要旨

本稿では、乳幼児における単語音声の学習とそれに続く語意学習を概観し、その共通の特徴から言語発達を支える学習メカニズムについて考察した。音声学習では、まず単純なルールによって音素や単語といった情報を取り出し、次にそのアウトプットを使って、単純なルールでは扱えない情報を切り出すことのできる、より複雑なルールを作り上げる。このプロセスにより、母語の音声特徴に最適化した単語音声学習の方略を創出することができるのである。語意の学習では、子どもはことばの使われる状況の統計的分布情報と、領域普遍的にもっている認知的性向を基盤として、少ないインプットから語意学習バイアスを抽出する。そして、そのバイアスをどのような手がかりのもとで適用したり緩和したりすればいいのかを学習する。それは、いったん抽出された語意学習バイアスを使って新たに語彙を獲得することで、概念的知識や語意学習バイアス自体がさらに改訂されていく、という自己生成的なブートストラッピングプロセスである。このような学習能力こそが、言語使用を可能にするヒト固有の認知能力であるのかもしれない。

1.はじめに

人間の知的活動の基本的道具である言語を使用する能力は、どのように発達していくのか。誕生直後には話すことができず、ことばを理解することもできないように見える赤ちゃんが、2-3年のあいだにあつという間に周囲の人と会話ができるようになってしまうのは、どのようなメカニズムによるものか。この問題に対する答えの探究は、言語の起源や構造の理解に対する一つのアプローチであるとして、多くの研究成果が積み重ねられてきた。特に言語を話し始める以前の時期の言語知覚・認知に関する研究は、話し始めて以降の時期の研究に比べて立ち遅れていたが、ここ30年ほどのあいだに行動実験や脳活動測定などの手法が用いられるようになって、めざましい進展を遂げた。これらの一連の研究は、言語理解の基礎となる発達過程について様々な新しい知見をもたらしてきた。しかし同時に、乳児期の言語知覚・認知と、幼児期以降の語意や文法も含めた言語発達とのあいだに、理解のギャップが残されていることも明らかになってきたのである。この流れを受けて近年では、音声と語意・文法の学習をつなぐ領域に重点を置いた研究が行われはじめている。

多くの乳児の言語知覚・認知研究では、乳児にとっての言語は、意味を伴わない音パターンとして扱われてきた。意味をもつ単語を学習するためには、まずは単語を構成する音パターンを正しく聞きとり、それが別の文脈で別の人に発せられたときにも同じ単語とし

て認識できる必要がある。乳児は数音節の単語を識別できるだけでなく、連続する話しことばの流れの中から、単語を切り出し記憶することができるが[21, 22]、ここでの単語の処理は意味を伴うものではなく、あくまでも音声レベルでの処理と考えられている。一方で、幼児期には音パターンを正しく知覚・認知し、記憶できることが前提とされた上で、語意や文法の学習が論じられてきた傾向がある。これらの二つの言語発達のあいだには、音パターンを意味に結びつけ、単語を学習するという段階がある。ここには、音声と意味をどのようにして、効率的に結びつけるのか、また単語の音声パターンの知覚・表象と語意の学習は互いにどのように影響しあうのか、という問題が残されている。

こうした問題を踏まえつつ、本論文では、乳幼児期の単語音声の学習と語意学習の両方を含む言語発達を支える学習メカニズムについて論じる。端的に述べるならば、単語音声の学習と語意の学習の両方で、生得的な能力やバイアス（＝内的要因）を基礎として、そこに環境からの入力（＝外的要因）が与えられることで、個々の言語に特化した処理が形成されていく[1, 37]。本稿では今まで別個に扱われてきたためにほとんど言及されることのなかった、単語音声の学習と語意学習のメカニズムの共通性を考察し、乳幼児の言語発達を支えるメカニズムについて考えたい。時間的には単語音声の学習が先で語意の学習はその後なのだが、本稿では発達に逆行する形でまず語意の学習のメカニズムについて論じ、それとの共通性を見出すという観点から単語音声の学習について論考していくという形をとる。

2. 語意学習の謎

子どもは短い時間で非常に速い速度でことばを覚え、語彙を増やしていく。ことばを話し始める2歳前後から6歳の間、平均して一日6語、多い時期には10語も新しいことばを学習する。そして、大人が外国語を学ぶ場合と異なり、子どもは一つ一つの単語の意味（定義）を教えられなくても、日常生活の中で自然にことばを覚えてしまう。これはごくあたりまえに見えるが、実は非常にパラドキシカルな現象なのである。

そもそも一事例、あるいは限られた数の事例からことばの意味を推論することは論理的には不可能である。例えば大人が、にんじんを食べているウサギを指して「ほら、ウサギよ」と言ったとしよう。この時、指示対象は、にんじんかもしれないし、その動物の耳だけ、あるいはその動物の色、ひょっとしたら「柔らかさ」かもしれない。仮に指示対象が指さされた動物全体であることがうまくわかったとしても、例えば「ウサギ」ということばは自分の視点や状況に独立だということ--つまり、前から見ても後ろから見ても、この動物が飛び跳ねていても、檻に入っている、眠っていても「ウサギ」ということばは適用できるということ--は一事例の「指さし」から知ることはできない。仮にこのことが理解できたとしても、さらに残る問題がある。一事例に対する指さしでは、発話されたことばが指さされた対象に限定される固有名詞なのか、他の対象にも適用できる普通名詞なのか知ることはできないし、仮に他の対象に適用できるとしたら他のどの対象に適用でき、

どの対象にはできないのかもわからないのである。

これがまさに、日常生活の中でことばを覚える際に子どもが直面する問題である。つまり、新しいことばを聞いたとき、たいていの場合、そこにあるのは語の指示するカテゴリーに含まれる一事例にすぎないのである。ではどのようにして、子どもは語意を推論し、ことばを学習しているのだろうか？一事例から語意を推論する上で、目線、表情、ジェスチャーなどの社会的手がかりがかなり有効に使われていることは多くの研究で示されている[2, 42]。しかし、これらの手がかりは語が発話された状況で語の指示対象を同定するには役立つが、語の指示範囲の同定、つまりその語が他のどの対象には適用でき、どの対象にはできないかという般用の問題には役に立たない。では、子どもはどのようにしてこの問題を解決しているのだろうか。

このような論理的問題に対する答えとして、子どもは語の意味として考えうる仮説をすべて吟味するようなことを行っているわけではなく、ことばはどのような概念を指示するか、どのような基準で般用されやすいか、レキシコン（語彙）はどのような構造をもっているか、などについて、メタレベルで暗黙の知識を持っており、この知識（バイアス）が語意を推論するプロセスを制約しているのだ、という考えが近年多くの研究者によって提唱されている。

2.1. 語意の推論を制約する語意学習バイアス

では具体的にどのようなバイアスを子どもはもっているのだろうか。現在、事物全体バイアス、一事物一名称(相互排他性)バイアス、事物カテゴリーバイアスあるいは名詞カテゴリーバイアス、形状類似バイアスなどが指摘されている。

先ほど目線などの社会的手がかりでことばの指示対象がどこにあるかわかっても、ことばが指示するのが対象の全体なのか、色などの属性なのか、部分なのか、素材なのかを決定することができないと述べた。しかし、子どもは未知の対象にことばが付与されると、とりあえずそのことばは対象全体の名前なのだと想定する。これを**事物全体バイアス**という[30]。さらに、子どもは新しい名前はすでに名前を知っている事物ではなく、まだ名前を知らない、つまり名前がついていない事物に対応づけるバイアスを持つ。これは一つの事物に一つの名称というバイアスに起因していると考えられており、**一事物一名称バイアス**あるいは**相互排他性バイアス**[32]と呼ばれる。このバイアスは指さしなどの社会的手がかりがないときに、ことばの指示対象の同定に役立つ[13]。

般用に関しては、まず、般用をするべきか否かの決定と、般用をするなら何を基準にするのか、という問題がある。ことばには、カテゴリーを指示する普通名詞と、特定の個体の名前である固有名詞があり、当該のことばが普通名詞か固有名詞かは、英語なら文の表面的な形でわかる。普通名詞は“a”や“the”のような冠詞が必ず名詞を伴うが、固有名詞は“Fido”のように冠詞を伴わない裸の名詞句として現れるからである。しかし、日本語では固有名詞と普通名詞を区別する表面的な標はないため、ことばを般用するべきかど

うかをまず解決しなければならない。これに対して日本語児は、新奇な事物に未知のことばが付与されるのを聞くと、とりあえずそのことばはその事物が属するカテゴリーの名前だと考える。今井と針生 [18]によれば、未知の動物や人工物に「これはネケよ」というように未知のことばが導入されると、2 歳児も 4 歳児も、未知のことば「ネケ」を実験者が直接命名した対象以外にも拡張して用い、それは命名対象が動物の場合も人工物の場合も同様であった。つまり子どもは新奇な事物につけられた名前は固有名詞ではなく、普通名詞であってカテゴリーをさすと解釈したのである。これを**名詞カテゴリーバイアス**という[30]。

では、子どもは、当該のことばがどのようなカテゴリーを指示すると考えるのか。一般的にカテゴリーは「類似の事物の集まり」と定義される。しかし類似性というのはなかなかやっかいな概念で、色や形、大きさなど様々な知覚レベルにおける類似性、それらの知覚次元を複合した全体的類似性、イヌと骨のような日常的連合・連想関係に基づいた類似性、抽象的な構造の類似性などさまざまな基準での類似性が存在し、大人はそれぞれの類似性を文脈や状況によって使い分けている[15]。子どももカテゴリー分類において複数の種類の類似性を用いるが、中でも連想関係による類似性に基づいたカテゴリーを作ることが非常に好む [17, 31]。例えば、子どもにバナナの絵を見せ、さらにバナナと同じ上位カテゴリーに属するイチゴの絵と、バナナから連想されやすいサルの絵を見せて「これ（バナナ）と同じなのはどっち？」と尋ねると、多くの子どもはサルを選ぶ。しかしながら、子どもは事物の名前（カテゴリー名）を他の事物に般用する際には、「サルとサルの好きなもの」のような連想関係を基準とはしない。先ほど述べたように、子どもがまだ名前を知らない対象に未知のことばを導入し、子どもがそれをどのような対象に拡張して用いるかを調べると、彼らがことばの般用に際して重視するのは形状類似性であることがわかる。つまり 2 歳児でも、新たなことばが直接導入された対象と色や材質、大きさが違っても、形が似たものに、そのことばを拡張していくのである[18]。このことから、未知のことばに意味を付与し、その般用の範囲を推論する際、類似性が鍵となること、そして非常に選択的に形状の類似性に着目していることがわかる。これは**形状類似バイアス**[17, 28]と呼ばれる。

2.2. バイアスの適用制御

語意学習バイアスがあれば、一事例から語意を帰納推論する場合の論理的問題はすべて解決され、ことばの学習は保証されるのだろうか？答えは否である。そもそも上記の諸バイアスは「確率的にこうしたほうがうまくいく場合が多い」というバイアスであり、絶対的な法則ではない。さらにはこれらのバイアスをむやみに適用すると、ことばの学習が阻害される場合も出てくる。例えば相互排他性バイアスは多くの場合に誤りで、実際には一つの事物に複数の名称がつくことが多い。つまり、家で飼われているイヌには固有の名前（「ポチ」）がついているだろうし、それは「イヌ」であると同時にイヌの種類の名前（「チ

ワワ) で呼ぶこともできる。また、「ペット」でもあるし、「動物」でもある。従って語意学習バイアスは、ことばの学習の当初、子どもが覚える必要のある語がカテゴリーの階層構造において中間に位置する基礎レベルの語であるときには有用であるが、基礎レベル以外の語を学習するためにはその適用を制御されなければならない。

形状類似バイアスも同様に、適用を制御される必要がある。まず、形状類似バイアスを適用してよいのは個別性のある対象に限られる。物体の場合とは異なり、物質の名前の般用には物質の同一性が基準になり、形状が基準として考慮されてはならないからである[16]。また、ことばをカテゴリー名と見なす形状類似バイアスは、固有名詞の学習の妨げになりうる。これは、日本語を母語とする子どもには特に深刻な問題である。英語では固有名詞は普通名詞と文法上ではっきりと区別されているが、日本語ではこのような明確な手がかりがないためである。

相互排他性バイアス、名詞カテゴリーバイアス、形状類似バイアスのいずれも、これら語意学習バイアスと呼ばれるものは、子どもが学習することばが未知の基礎レベルの物体名に限られる場合うまく働くようである。しかし、基礎レベルの物体名はレキシコンの中の一部にすぎない。また、ことばはレキシコンの中で独立に存在するのではなく、他のことばと関係している。ことばの学習とは、当該のことばの意味を推論するだけでは不十分で、レキシコンの中に存在する他のことばとの関係の理解が含まなければならないのである。

つまり、ひとたび基礎レベルの物体名以外の語を含めてことばを学習しようと思ったら、語意学習バイアスに加えて、語意学習バイアスの適用を制御し、複数のバイアスと語意学習バイアス以外の制約リソースを適宜コーディネートできるようなメカニズムが働かなければならない。今井と針生は、2歳児にとってなじみがある動物あるいは人工物に未知のことばを導入し、子どもがこのことばをどのように般用するかを検討した(文献[18] Study 2)。この実験で、新しい名前の導入された物体がペンギンやクマなどの動物であったときには、子どもは新しい名前をその対象以外に拵げて使おうとはしなかった。つまり固有名詞と解釈したわけである。しかし、新しい名前を導入された物体がスプーンやカップなどの人工物であったとき、そのことばを固有名詞とはみなさなかった。未知の人工物に新しいことばが導入されれば、子どもは、基礎レベルカテゴリー名として解釈する。しかし今回、既知の人工物に新しいことばが導入された場合には、形以外の類似性も高い事物にのみことばを般用したのである。つまりこの場合、子どもは新しいことばを下位カテゴリー名とみなしたのである。

このように、子どもは普通名詞と固有名詞の区別を文法で明示的に表示されなくても、ことば(名詞)はすべて般用ができるわけではなく、特定の個に限定される名前、つまり固有名というものがあること、また、固有名は人や動物にはつけられるが、人工物(特にコップやボールなど日常に用いる小さな人工物)にはつかないことを知っており、その知識を用いてすでに(基礎レベルの)名前を知っている事物につけられた新たなことばの意

味推論を行っている。また、形状類似バイアスを適用してよいのは物体の名前のみで、物質の名前に適用すると誤りとなることも、子どもはすでに2歳の時点で理解している[16, 19]。これらを総合的に鑑みると、子どもは語意学習バイアスを制約として語意の推論を行っているが、これらのバイアスを適切に制御する機構も早い時期から併せ持っているといえるだろう。

2.3. 語意学習バイアスの生得性の問題：語意学習バイアスの Building Blocks としての領域普遍の認知バイアス

語意学習バイアスが生得的な知識として備わっているものなのかあるいは学習されたものなのかという問題に関しては、研究者の間で見解が大きく分かれている。実際、ことばの学習に特化したバイアスとされる語意学習バイアスも、その起源は領域普遍の人間の認知バイアスから発している可能性がある。例えば事物全体バイアスは、事物を部分や属性に分割せずに全体を一つの単位として扱うというものである。しかし、このように物理的な世界を事物単位でとらえるといったことは、既に3-4ヶ月の乳児にも見られる[40]。ここから、もともと我々は、世界を事物単位に認識するようなバイアスを備えており、それがことばと事物との対応づけにも持ちこまれたのが、このバイアスだとみなすことができる。また、相互排他性バイアスは、事物と語を一対一に対応づけようとするものだが、このようなストラテジーは、我々が知識や対象を整理しようとするとき一般的に用いているヒューリスティクスといえるだろう。

形状類似バイアスは、名詞カテゴリーバイアス、分類学的カテゴリーバイアスとともに、一般的に語意学習領域に固有のバイアスであると言われている。これは、子どもが形成するカテゴリーはラベルの般用文脈とラベルを含まない文脈で異なることに依拠している。つまり、子どもがラベル般用の文脈では形状次元だけに注目して一貫したカテゴリーを形成するのに対し、「同じものをいっしょにして」と言うなどしてラベルなしで自由にカテゴリーをつくるよう子どもに求めると、連想・連合的關係に基づいたカテゴリーをつくったり、複数の知覚次元を一貫性なく用いて離接的(disjunctive)なカテゴリーを形成したりする傾向が強い[17, 28, 31]。しかし、子どもがラベル般用の文脈と、一般的な分類の文脈で、異なるカテゴリーを形成するからといって、般用の文脈で用いるカテゴリー化の方法が初めから言語に固有のものとして備わっていたと言う必要はない。Eimas と Quinn[11]は、馴化-脱馴化パラダイム法で、生後3-4ヶ月の乳児がラベルなしでも、形状類似を手がかりに基礎レベルに近似したカテゴリーを形成できることを示している。すなわち、本来子どもが形状類似性に注目してカテゴリーを形成するのは、語を般用する文脈に限られたことではない。むしろ、人は物体を知覚する際に、さまざまな知覚次元の中でも形状次元に注目する[5]、類似したものをまとめてカテゴリーとしやすい、といった領域普遍の認知的傾向(cognitive disposition)を持つことが指摘されている。それに加え、先にも述べたように、類似性にはさまざまな種類があるが、その中でもことば(普通名詞)は、形状類似性に依

拠したカテゴリーと対応していることが多い。結果として、もともと持っていた領域普遍の認知的性向が、ことばを学習していく中で語意学習に対して強化され、形状類似バイアスが生まれると考えることもできる。実際、子どもが実生活においてもっとも目にしやすい事物の属性をインプットとしてコンピュータに与え、それぞれの事物にラベルをつけていった場合、学習がある程度進んで一定のサイズのレキシコンが構築されると形状類似バイアスを生み出すという接続ニストシステムがつけられている[39]。つまり、バイアス自体は生得的ではなく、環境中に潜在する手がかりの統計的な情報から規則性を抽出し、バイアスを作り上げる学習機構と生物学的に制約される知覚システムが、形状類似バイアスを創出している可能性が高い。

乳幼児が当初から（生得的に）分類学的カテゴリーバイアスを持ち、形状類似性は般用の基準として重視していないと主張する研究者たちも多く存在する[6, 30]。しかし、これらの研究者は乳幼児がどのようにして目に見えない本質的な属性（例えば DNA など）についての知識を持ちうるのかについて説明をしていない。また実際、3 歳児はなじみのある事物（例えばリンゴ）に新奇ラベルが付与され、形状が類似しているが同じ分類学的カテゴリーに属さない事物（風船）と、形状が類似していないが上位レベルで同じ分類学的カテゴリーに属す事物のどちらに、そのラベルが般用されるかを問われた課題で、圧倒的に前者に対してラベルを般用した[17]。そして子どもの年齢が増すにつれ、徐々に形状に頼る傾向は減少してゆき、本質的な内的属性に依拠してことばを般用するようになる。しかし、既存の知識がほとんどない事物の場合には大人でも形状類似バイアスを用いるのである。つまり、知識の増加に伴い形状類似バイアスは弱くなっていくが、領域に関する知識が不十分な場合のヒューリスティクスとしてこのバイアスは残されている。逆に言えば、形状類似バイアスは、概念知識が大人に比べて圧倒的に少ない幼児が一貫して入手可能な手がかり、つまり目にみえる知覚的な手がかりでことばを学習していくために、非常に役に立つバイアスなのである。このバイアスによって、幼児は基礎レベルのことばを中心にした語彙を持つことができる。そして構築した語彙を足がかりに概念知識を増やし、それを使ってバイアスを制御したり、複数のバイアスをコーディネートさせたり、さらに語彙と概念知識を豊かにしていく。この概念とことばの間の循環的成長プロセス、つまり**ブートストラッピングプロセス**が急速な語意学習の背後にあると筆者らは考えている[14, 15]。

3. 言語学習を支える学習機構：乳児による単語認識研究からの示唆

前節で議論したように、語意学習バイアスはよりシンプルな領域普遍の認知バイアスと言語インプットの相互作用の結果、形成されたと考えられる。しかし、第 4 節で述べたように語意学習バイアスが存在するだけでは、基礎レベルの事物カテゴリー名以外のことばの学習はできない。そのようなことばの学習のためには、複数の語意学習バイアスがそれぞれむやみに適用されるのではなく相互に調整されなければならない。同時にバイアスの適用や緩和には、世界に関する概念知識、（日本語ではあまり明示的に与えられないが）

文法からの手がかり，話者の視線や表情などの社会的手がかり，会話におけるプラグマティクスの知識など他の情報リソースも手がかりとして利用されなければならない．これだけのリソースを同時に考慮可能な人工知能システムをつくることは，個々のバイアスを学習させることよりもずっと困難なことであろう．複数のリソースを同時に考慮してその状況で最適な解を得るためには，それぞれのリソースをどのように重みづけるかを決定するアルゴリズムが組み込まなければならない．そしてこの重みづけも，一律な設定ではなく，状況ごとに（例えば子どものレキシコンに既存のことばや知識の種類や量によって）変化すべきものであるからである．

しかし，これだけ多くの要因が絡んだ環境の中で，何がどのように関連ある情報なのかを見抜き，それを自身の学習システムに組み込んでいく能力こそが人間の学習のもっとも特筆すべき特性なのである．そして重要なことにそのような能力は，すでに乳児期に連続的な発話の流れの中から意味づけの単位である単語を切り出すプロセスに見出されている．冒頭に述べたように，単語音声の学習と語意の学習には多くの共通点がある．特に(1)単語音声の学習も生得的な知覚システムを基盤とし，大きく制約されている，(2)インプット中の音声の統計的分布特性を抽出してルール化する，いわゆる統計的学習が大きな役割を果たす，(3)抽出した複数のルールを適切に制御することができる，(4)学習した結果を基盤にして学習システム自体をより精巧なシステムにブートストラップしていく，という語意学習を支えるメカニズムの特徴は，単語音声の学習においてすでにみられるものである．これらの点を軸に以下に単語音声の学習を概観する．

3.1 生得的な知覚能力による制約

単語音声を学習するためには，単語を構成する個々の音，すなわち音素を聞き分けることが必要である．誕生前から周囲の話し声はすでに聞こえており，誕生して間もない新生児は母語特有の韻律パターンなどについての知識をすでにいくらか獲得しているが[36]，音素に関しては生まれて半年から1年ほどかかって母語に合わせた知覚が形成される[25]．新生児が音素をどのくらい弁別できるのかを調べた研究によれば，/bi/と/di/の対比，すなわち1音節中の破裂子音の調音点の違いや，/ba/と/bi/の対比，すなわち母音の音色の違いを知覚することができる[3]．こうした音素の弁別は，音響的特徴の連続的な変化を，そのまま連続的に知覚するのではなく，ある境界地点から明確に2つのカテゴリーにわけて知覚することで行われている[10]．これはカテゴリー知覚 (categorical perception) と呼ばれ，新生児だけでなく，他の動物にもみられることから[26]，生得的な知覚能力として持つものであると考えられている．

3.2 統計的学習による母語特有の音素体系の抽出と単語の切り出し

カテゴリー知覚の能力が生得的に備わっているということは，音素のどの音響特徴に注意を向ければよいかという知識が事前に与えられているということである．この知覚能力

をもとに、乳児は周囲から聞こえてくる話しことばに含まれる音素の分布情報を手がかりとして、母語の音素体系を学習することができるのである。乳児期の初期には、母語の音素だけではなく非母語の音素も区別することができるが[4]、母音は 6 ヶ月ころまで、子音は 12 ヶ月ころまでという、誕生後非常に短い期間で、成人のレベルには及ばないながらも、母語の音素体系に対応した知覚が形成される[27, 35, 43]。成人において、音素の音響的特徴の知覚が母語の音素体系による影響を受ける現象 (Perceptual Magnet Effect) がある。具体的には、/r/という音素カテゴリーと//という音素カテゴリーの境界に近い音響的特徴をもつ/r/と//は、それぞれの音素の知覚空間に求心力が働くようなかたちで、実際の音響的差異よりもその差が際立って知覚される。Kuhl はこの現象が、すでに生後半年ころにはみられることを報告している[24]。また 1 歳ころには、母語に存在しない非母語の 2 つの音素の音響的な差異に対しては、母語の音素対立に対するのと同様の反応を示さなくなることが脳波計測によっても明らかにされている[7]。

乳児が音素の音響的特徴の分布情報にしたがって、音素体系を学習することは実験的にも確かめられている。有声と無声の対立である 2 つの音声/da/と/ta/にそれぞれ近い特徴をもった、音響的な差異の大きい 2 種類の音声を多く乳児に聞かせた場合と、/da/と/ta/の中間の特徴をもつ、音響的な差異の小さい 2 種類の音声を多く別の乳児に聞かせた場合、前者の条件でのみ、乳児は/da/と/ta/を区別できたのである[33]。この結果は、音響的特徴の分布が双峰性つまり二極的である場合に、乳児が 2 つの音声を区別することを学習し、分布が単峰性である場合には区別しないことを学習することを示唆している。実際に、乳児に対して話しかける親の発話を分析すると、大人と会話をするときよりも、母音どうしの違いを強調するような発音をしている[27]。そしてこのように明確な二極的入力によって、乳児の音素体系の学習が促進されるという証拠も報告され始めている[23, 29]。

さらに、切れ目のない連続的なスピーチを分節し、単語を切り出していくプロセスでも統計的学習が非常に重要な役割をすることがわかっている。生後 8 ヶ月の乳児は、音節の連続的な系列を短時間聞かされただけで、インプット中のそれぞれの音節の間の遷移確率を分析し、その統計的情報をもとにことばを切り出していく能力を持つことが報告されている[38]。例をあげれば、乳児は「い」という音節と「ぬ」という音節が隣り合う確率が、「ぬ」という音節と「わ」という音節が隣り合う確率よりも高いことから、「いぬわ」と連続して発声された音の系列から、「い」と「ぬ」は 1 つのチャンクにまとめられ、「ぬ」と「わ」のあいだは単位境界である可能性が高いという確率のルールに則って、「いぬ」という単語を切り出し学習することになる。

3.3 統計的学習における制約

ただ、統計的学習は強力な主要な学習メカニズムであるものの、これのみでは効率的に言語を学習することは不可能である。例えば先ほどの単語の切り出しの例の場合、「い」と「わ」が、あいだに不特定の 1 音節において隣接しあう頻度も音節の分布情報であるが、

このような情報に注意を向けたところで、効率的な単語学習をすることはできない。このような重要ではない分布情報は言語音声の中に無限に含まれており、やみくもにそれらの統計的学習を行っていても、いつまでたっても単語を学習できないことになる。統計的学習が言語発達に有効に働くためには、言語を使用する上で重要な情報へ注意を向けることが必要であり、このバイアスは、ほぼ生得的に備わっていると考えられている[12]。少なくともかなり発達初期の段階から、言語を含む環境全体のどこに注意を向けるかという潜在的な知識が基礎となって、統計的学習による言語特異的な情報の獲得を可能にしていくはずである。これは語意学習においても同様である。2.3 節で述べたように形状類似バイアス自体は名詞がどのような事物に結びつき、どのように般用されるかということに関する統計分布の情報から学習されることが Smith らのコネクショニストシミュレーションで示されているが、そのシミュレーションでは形、材質、堅固性などの知覚次元が初期設定されている[39]。多数存在する知覚次元の中で、そもそもそれらの次元に選択的に注目できる機構がなければ、統計的情報のみで形状類似バイアスを創発することはできない。

3.4 複数の手がかりのコーディネートとブートストラッピング

切れ目のないスピーチから単語を切り出していく上で、統計的な遷移確率の情報を乳児が手がかりとして用いていることはすでに述べたが、乳児は遷移確率の情報のみで単語の切り出しを行っているわけではない。Jusczyk は、英語を母語とする乳児はことばを音素列から切り分けていく際に、段階的に異なる統計的情報に頼るという考えを表明している[20]。第一の情報は、母語に特有のストレスパターンである。英語の場合には、語頭にストレスが来て後が弱くなる強弱パターンの語（例えば”king”）のほうが、その逆の弱強パターン（例えば”guitar”）よりも多い。乳児は当初（生後 7-8 ヶ月）、このストレスパターンにおける統計的分布情報に従い、ストレスの前でことばを区切る。当然、この段階では弱強パターンの語については誤りを犯すのだが、多くの単語はこの方略でうまく切り出せる。その結果、ある程度単語の切り出しに成功するようになると、今度は切り出した単語の中で音素を分析し、その特徴をさらに単語の切り出しの手がかりにする。たとえば英語の場合同じ音素でも単語の中に現れる場所によって（例えば/t/は”toy”のように語の最初に来る場合と”cricket”のように語尾に来る場合で）その特徴が微妙に異なる。子どもは生後 9 ヶ月くらいになるとこのルールを抽出し、単語の切り出しに用いる。同時に単語をまたがった系列の統計的分布情報も抽出するようになる。英語の場合、ある子音列（例えば/vt, /fh/）は語をまたがって起こりやすいが、別の子音列（例えば/ft/）はひとつの語の中で続いて起こりやすい。この音素系列の分布情報は生後 7 ヶ月児では用いることができないが、生後 10 ヶ月になるとこの情報を使えるようになる。つまり、乳児は非常に短い期間にこれらの統計分布情報を順次インプット中から抽出し、これら複数の手がかりを駆使してことばの切り出しを行うようになるのである。

このようにまず暫定的な単純なルールによってそのルールで扱える単語の切り出しを行

い、そのアウトプットを使って、単純なルールで扱えない単語を切り出すことのできる、より複雑な方略を作り上げて行く。このプロセスによって短期間に単語音声に母語の音声特徴に最適化した単語音声学習の方略を創出することができるのである。

この過程はまさに、少し後の時期に子どもがことばの意味を推論する際に見られるプロセスと並行するものである。子どもはインプットにおけることばの使われる状況の統計的分布情報と、非言語的に領域普遍的にもっている認知的性向を基盤として、短い期間に少ないインプットから語意学習バイアスを抽出し、それをどのような手がかりのもとで適用したり緩和したりすればいいのかも学んでいく。それは、いったん抽出された語意学習バイアスを使って、新たに語彙を獲得することで概念的知識や語意学習バイアス自体がさらに改訂されていくような循環的なプロセスである。このブートストラッピングによる自己成長的な学習過程こそが、基礎レベルの物体名のみでなく、物質名、下位、上位カテゴリ一名、固有名なども柔軟に学習することを可能にしているのである。

4. 単語音声学習から語意学習へ

乳幼児の言語学習において注目すべきもう一つの特徴は、学習が時系列的に非常にうまく制御されている点である。このことが端的に示されるのは、音声の学習と単語に意味を付与する語意学習の間の時間的コーディネートである。Stager と Werker は、14 ヶ月の子どもに“bih”という単語とおもちゃ A, “dih”という単語とおもちゃ B とを関連づけて学習させた後、“bih”という音声を流しながらおもちゃ B を見せたときの子どもの反応を調べた[41]。/bi//di/の区別自体は新生児でもできるし[3], 8 ヶ月児, 14 ヶ月児が区別できることも確かめられている。しかし、14 ヶ月児はこの課題でおもちゃとラベルのミスマッチに気づくことができなかつた。興味深いことに 8 ヶ月児はこの課題で音声が似ている別のラベルに変わったことに気づいた。つまり課題に成功したのである。14 ヶ月でも、変えられたラベルの音声がもとのラベルの音声と似ていない場合にはラベルのミスマッチに気づく。どうしてこのような現象が起こるのか。8 ヶ月児はそもそも音声ラベルが物体と同時に提示されていても物体に注目せず、音声の弁別のみ集中している集中している。したがって、8 ヶ月児が課題に成功したのは、ラベルと物体の結びつきが変わったことに気づいたのではなく、音が変わったことのみ気づいたからなのである。14 ヶ月になると音の弁別をすると同時にその音声をモノの名前と認識し、語と物体の結びつき、つまり語意学習を並行して行うようになる。しかし、14 ヶ月児はその二つのプロセスを同時に行うための情報処理がまだスムーズにできない。したがって、音の弁別のための認知負荷が高くなると、音声情報処理と語意学習の両方を並行して行うという情報処理ができなくなってしまうのではないかと考えられる。しかしそれからわずか 3-6 ヶ月後の 17-20 ヶ月になると言語処理能力が発達して、単語音声に含まれる/b/と/d/という詳細な違いに気づくと同時にそれぞれの語を別の物体に対応づけることができるようになる。

また、子どもが音素を学習し、単語音声を聞き取り、そこに意味を関連づけることがで

きるようになってくると、単語音声への注意の向け方は状況に対して適切に対応することもできるようになる。Dietrich らは、英語を母語とする乳児に単語音声を聞かせて、オランダ語の短母音/a/と長母音/aa/の区別ができるかどうかをテストしている。英語には母音の時間長を手がかりとする音素対立が存在しないので、すでに母語の音素体系が形成できている 1 歳前後の乳児は、2 つの単語音声/tak/と/taak/を区別しないはずである。だが実際には、音声のみを提示して聞き分ける能力をテストすると、英語を母語とする乳児でもオランダ語の短母音と長母音を含む 2 つの単語音声を区別することができたのである[8]。この課題での言語音声の処理は、音素や単語のレベルではなく、音響的特徴を生得的な知覚能力を使って処理しているレベルであると考えられる。ところが、同じ音声を使って、今度はおもちゃの写真を見せながら音声を聞かせる「単語学習」の課題を乳児に行わせたところ、オランダ語を母語とする乳児は、/tak/と/taak/の違いに気づいたが、英語を母語とする乳児は気づかなかった[9]。つまり乳児は、音声の学習時には弁別できる音素に対して、単語学習の際には、母語には存在しない音声特徴の対比に注目しないといった、状況に応じた注意の選択ができるようになるのである。

音声単語の学習から語意学習への時系列的な移行は、効果的な言語学習のしかたを考える上で非常に示唆に富むものである。子どもは当初、音声の学習と語意学習を同時に行うことはせず、言語学習の当初は音声単語の学習に専念する。母語の言語音声の韻律や音素、音素間の遷移確率などを抽出し、それらを手がかりにスピーチから単語を切り出すのに母語にとって最も効果的な方略を学習するためである。音声のレベルで単語の切り出しがスムーズにできるようになってはじめて、音声に対象を結びつけることに注意を向ける。つまり語意学習を始めるわけである。意味学習を伴わず音声レベルでスピーチから単語を切り出していくことに習熟すると、子どもは単語の音声情報処理と意味処理を同時に行うようになる。二つの処理を同時に行うことに慣れるまでに数ヶ月を要するが、数ヶ月後にはそれにも熟達する。音声と意味の連合学習の経験を積みながら、子どもは同時に語がどのような概念と対応しうるか、語がどのように般用されるのかということに関しても規則性を抽出し始める。これが語意学習バイアスである。そして語意学習バイアスの出現と同時期に（生後 18-20 ヶ月ころ）いわゆる「語彙爆発」が起こると考えられる。語彙爆発とは子どもの語彙が急速に増大する時期のことをさす。このころ子どもは、語というのはこういうものを指示対象にし、こういう種類の意味に対応するのだ、このような基準で他の対象に般用されるのだ、というトップダウンのメタセオリー（語意学習バイアス）に導かれ、一つ一つの語の意味を直接教えられることなく、ある状況で語が発話されるだけで即座にそのことばの意味を推測し、語意を学習するという段階に進んでいくのである。つまり、子どもは当初豊かすぎる情報量を持つインプットを、情報処理のウィンドウを狭めてその一部しか処理しないことで学習の足がかりをつくり、当該領域の学習が習熟すると徐々にウィンドウを広げていき、複数の処理を並行して行い、そのプロセスにさらに習熟するというサイクルによって驚くほど効果的に言語を学習していると考えられるのではないだろう。

うか[34].

5. 結論：乳幼児期の言語発達を支える学習メカニズム

本稿では乳幼児における単語音声の学習とそれに続く語意学習を概観し、その共通の特徴から言語学習を支える学習メカニズムについて考察した。この時間的に連続する二つの領域の学習から、言語学習は生得的な知覚システムとインプット中の規則性を抽出する統計的学習を基盤としているように思われる。しかし、音声学習と語意学習のどちらも、この二つの能力だけでは成り立たない。暫定的な単純なルールによって単語の切り出しを行い、そのアウトプットを使って、単純なルールで扱えない単語を切り出すことのできる、より複雑な方略を作り上げていく。このプロセスによって、短期間に母語の音声特徴に最適化した単語音声学習の方略を創出することができるのである。語意の学習では、子どもはインプットにおけることばの使われる状況の統計的分布情報と、非言語的に領域普遍的にもっている認知的性向を基盤として、短い期間に少ないインプットから語意学習バイアスを抽出し、それをどのような手がかりのもとで適用したり緩和したりすればいいのかも学んでいく。それは、いったん抽出された語意学習バイアスを使って、新たに語彙を獲得することで概念的知識や語意学習バイアス自体がさらに改訂されていくような自己生成的なブートストラッピングプロセスである。この驚くほど精緻で効果的な学習を生まれて1-2年の乳幼児がすでに行っているということは、このような学習能力そのものがヒトとそれ以外の動物を隔てる、生得的に備わったヒト固有の認知能力であるということなのかもしれない。

参考文献

- [1] Aslin, R. N., & Pisoni, D. B.: Some developmental processes in speech perception. In G. H. Yeni-Komshian, J. F. Kavanagh, & C. A. Ferguson Academic (Eds.) Child Phonology vol. 2 Perception, pp. 67-96 (Academic Press, New York, 1980).
- [2] Baldwin, D. A.: Infant's contribution to the achievement of joint reference. Child Development 62, 875-890 (1991).
- [3] Bertoncini, Bijeljic-Babic, R., Blumstein, S. E., & Mehler, J.: Discrimination in neonates of very short CVs. Journal of the Acoustical Society of America 82, 31-37 (1987).
- [4] Best, C. C., & McRoberts, G. W.: Infant perception of non-native consonant contrasts that adults assimilate in different ways. Language and Speech 46, 183-216 (2003).

- [5] Biederman, I.: Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review* 94, 115-147 (1987).
- [6] Bloom, P.: How children learn the meanings of words. (MIT Press, Cambridge, MA, 2000).
- [7] Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., & Naatanen, R.: Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience* 1, 351-353 (1998).
- [8] Dietrich, C., & Swingle, D.: Infants' processing of language-specific vowel information in context. Paper presented at BUCLD27, Boston, USA. November (2002).
- [9] Dietrich, C., Swingle, D., & Werker, J.: One-year-olds' language-specific phonological categorization in word learning: A cross-linguistic study. Paper presented at BUCLD29, Boston, USA. November (2004).
- [10] Eimas, P. D., & Miller, J. L.: Contextual effects in infant speech perception. *Science* 209, 1140-1141 (1980).
- [11] Eimas, P. D., & Quinn, P. C.: Studies on the formation of perceptually based basic-level categories in young infants. *Child Development* 65, 903-917 (1994).
- [12] Gerken, L., Wilson, R., & Lewis, W.: Infants can use distributional cues to form syntactic categories. *Journal of Child Language* 32, 249_268 (2005).
- [13] Haryu, E., & Imai, M.: Controlling the application of the mutual exclusivity assumption in the acquisition of lexical hierarchies. *Japanese Psychological Research* 41, 21-34 (1999).
- [14] 今井むつみ: ことばの学習のパラドックス. (共立出版, 東京, 1997).
- [15] 今井むつみ: 概念発達と言語発達における類似性の役割. 大西・鈴木 (編) 「類似からみた心」 pp.148-178 (共立出版, 東京, 2001).
- [16] Imai, M., & Gentner, D.: A crosslinguistic study of early word meaning: Universal ontology and linguistic influence. *Cognition* 62, 169-200 (1997).

- [17] Imai, M., Gentner, D., & Uchida, N.: Children's theory of word meanings: The role of shape similarity in early acquisition. *Cognitive Development* 9, 45-75 (1994).
- [18] Imai, M., & Haryu, E.: Learning proper nouns and common nouns without clues from syntax. *Child Development* 72, 787-802 (2001).
- [19] Imai, M., & Mazuka, R.: Re-evaluation of linguistic relativity: Language-specific categories and the role of universal ontological knowledge in the construal of individuation. In D. Gentner & S. Goldin-Meadow (Eds.), *Language in Mind: Advances in the issues of language and thought*, pp. 430-464 (MIT Press, Cambridge, MA, 2003).
- [20] Jusczyk, P. W.: How infants begin to extract words from speech. *Trends in Cognitive Sciences* 3, 323-328 (1999).
- [21] Jusczyk, P. W., & Aslin, R. N.: Infants' detection of the sound patterns of words in fluent speech. *Cognitive Psychology* 29, 1-23 (1995).
- [22] Jusczyk, P. W., & Hohne, E. A.: Infants' memory for spoken words. *Science* 277, 1984-1986 (1997).
- [23] Kajikawa, S., Sato, K., Kanechiku, K., Imai, M., & Haryu, E.: Infant discrimination of similar sounds in words: The more difficult to articulate, the more difficult to perceive? Poster presented at Xth International Congress for the Study of Child Language, Berlin, Germany (2005).
- [24] Kuhl, P. K.: Human adults and human infants show a "perceptual magnet effect" for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Perception & Psychophysics* 50, 93-107 (1991).
- [25] Kuhl, P. K.: Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature reviews neuroscience* 5, 831-843 (2004).
- [26] Kuhl, P. K., & Miller, J. D.: Speech perception by the chinchilla: Voice-voiceless distinction in alveolar plosive consonants. *Science* 90, 69-72 (1975).
- [27] Kuhl, P. K., Williams, K. A., Lacerda, F., Stevens, K. N., & Lindblom, B.: Linguistic experience alters phonetic perception in infants by 6 months of age. *Science* 255, 606-608 (1992).

- [28] Landau, B., Smith, L. B., & Jones, S. S.: The importance of shape in early lexical learning. *Cognitive Development* 3, 299-321 (1988).
- [29] Liu, H., Kuhl, P. K., & Tsao, F.: An association between mothers' speech clarity and infants' speech discrimination skills. *Developmental Science* 6, F1-F10 (2003).
- [30] Markman, E. M.: *Categorization and naming in children: Problems of induction*. (MIT Press, Cambridge, MA, 1989).
- [31] Markman, E. M., & Hutchinson, J. E.: Children's sensitivity to constraints on word meaning: Taxonomic versus thematic relations. *Cognitive Psychology* 16, 1-27 (1984).
- [32] Markman, E. M., & Wachtel, G. F.: Children's use of mutual exclusivity to constrain the meanings of words. *Cognitive Psychology* 20, 121-157 (1988).
- [33] Maye, J., Werker, J. F., & Gerken, L.: Infant sensitivity to distributional information can affect phonetic discrimination. *Cognition* 82, B101-B111 (2002).
- [34] Newport, E. L.: Maturation constraints on language learning. *Cognitive Science* 14, 11-28 (1990).
- [35] Polka, L., & Werker, J. F.: Developmental changes in perception of nonnative vowel contrasts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 20, 421-435 (1994).
- [36] Ramus, F., Hauser, M. D., Miller, C., Morris, D., & Mehler, J.: Language discrimination by human newborns and by cotton-top tamarin monkeys. *Science* 288, 349-351 (2000).
- [37] Saffran, J. R.: Constraints on statistical learning. *Journal of Memory and Language* 47, 172-196 (2002).
- [38] Saffran, J. R., Newport, E. L., & Aslin, R. N.: Statistical learning by 8-month-old infants. *Science* 274, 1926-1928 (1996).
- [39] Smith, L. B.: Self-organizing processes in learning to learn words: Development is not induction. In C. A. Nelson (Ed.), *Basic and applied perspectives on learning, cognition, and development (The Minnesota Symposia on Child Psychology, vol.28)*. (Lawrence Erlbaum

Associates, Hillsdale, NJ, 1995).

[40] Spelke, E. S.: Principles of object perception. *Cognitive Science* 14, 29-56 (1990).

[41] Stager, C. L., & Werker, J. F.: Infants listen for more phonetic detail in speech perception than in word-learning tasks. *Nature* 388, 381-382 (1997).

[42] Tomasello, M., & Akhtar, N.: Two-year-olds use pragmatic cues to differentiate reference to objects and actions. *Cognitive Development* 10, 201-224 (1995).

[43] Werker, J. F., & Tees, R. C.: Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development* 7, 49-63 (1984).