

解説



チンパンジーの認知と言語

チンパンジーにおける「数」の処理

チンパンジーはヒトと同じように数えているか†

友 永 雅 己††

1. はじめに

動物は物を数えることができるか？ この一見単純にも思える問いに答えることはわれわれ動物を対象とした実験心理学者にとって案外むずかしい。そもそも「数える」という行動の背後にはどのような「認知過程」が存在するのか？ この疑問について、ヒトを対象とした実験心理学的研究はどこまで答えてくれるのだろうか？

発達心理学では、こどもがある集合内の物を数えるためには、①「数詞」の間に安定した順序が確立されており（安定順序の原理）、②物と数詞の間の1対1の対応が可能で（1対1対応の原理）、かつ、③対応させた最後の数詞が集合内の物の個数であることを理解していなくてはならない（基数の原理）、という Gelman & Gallistel¹⁾ による計数原理が有名である。さらに彼らは上述の「数え方の原理」だけでなく、④数えるべき物についての抽象概念の形成と、⑤物を数える順序は物の個数とは無関連であるという二つの原理も示している。

動物が「数」をどのように処理しているのかという問いに対して、上述の5つの原理に基づいてその行動を分析した研究例は非常に少ない。また、上述の5つの原理を実際に外在的 (overt) な行動として訓練したものも皆無である。唯一 Rumbaugh ら²⁾ がこのようなことをチンパンジーに訓練しているのみである。

では実際、動物の「数える」という行動（計数行動）はどのような形で定義され、研究されているのだろうか？ 動物における「計数行動」に関する定義の代表的なものとして、事象のもつさま

ざまな物理特性（色、形、量、パターン、時間など）のうち「数的属性」のみを弁別手がかりとして利用することができれば、動物は「計数」を行っているともみなす、といったものがある³⁾。このような定義は非常に曖昧としたものである。もし動物が数的属性を手がかりとせざるをえない課題を適切に行えたとしても、そのときどのような処理過程が働いているのかは同定できない。

「数」という属性（情報）をヒトがいかに処理しているかという研究の端緒を開いたのはおそらく Kaufman ら⁴⁾ による実験であろう。彼らはおとなの被験者に対し、スクリーンに呈示された1~200個のドットの数を2種類の教示条件下で答えさせた。図-1にはドット数25までの正反応時間の値を示す。できるかぎり正確に答えるよう教示された場合、ドット数が1~4の間は、ドット数が増えても反応時間は増加せずほぼ平坦であった。Kaufman らは、このようにドットの数に関係なく一定の速さで数を同定する過程を即時把握 (subitizing) と呼んだ。一方ドット数が4以上になると、ドット数が増大するにつれて10付近まで反応時間が急激かつ直線的に増加した。このようにドットの数に対応して反応時間（あるいは誤答率）も単調増加する過程を計数 (counting) と呼んだ。この二つの過程は、その後数多くの研究において確認されている^{5)~7)}。

これに対し、できるかぎり速く答えるよう教示された場合は、反応時間は6付近で頭打ちとなり以後ほぼ1.5秒付近で安定した。Kaufman らは速度教示下でのこのような反応時間の傾向を推数 (estimating)* と呼んだ。彼らは、即時把握と推数を基本的には非常に類似した知覚的な過程である

† Chimpanzee's Understanding of Number: Comparative Psychology of Numerical Competence by Masaki TOMONAGA (Department of Psychology, Primate Research Institute, Kyoto University).

†† 京都大学霊長類研究所心理研究部門

* estimating という語はまだ定義がない。「推定」とすると意味が漠然となりすぎ、また「推量」とした場合、数的判断ではなく「量的判断」を示唆する可能性がある。本論文では「推数」という造語を便宜的に用いることにする。

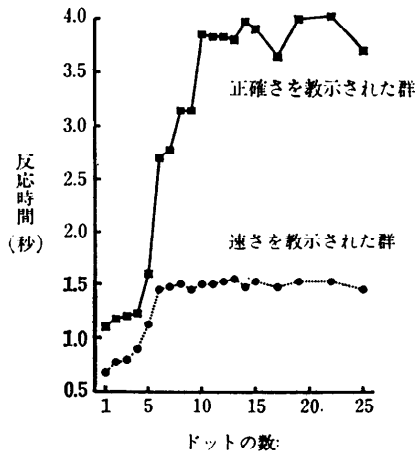


図-1 Kaufman ら⁹⁾によるドットの数と同定実験における正反応時間曲線。横軸はドットの数、縦軸は反応時間を示す。

と考えており、ドット数が6以下のときは即時把握として、6以上の場合は推数として発現すると主張している。両者の違いは、即時把握のほうが推数よりも正確に行われるという点である。

Kaufman らによって同定されたこれらの処理過程は、動物の「計数行動」を実験的に分析する際の一つの指標となりうるものであろう。

2. 動物は数えるか？

さて、どのような処理過程が働いているかは別として、非常に多くの場面において動物は刺激のもつ数的属性を手がかりとして行動することができる。その一つに、同時呈示された複数の集合内の物の数を比較判断するという相対的大小判断課題がある^{8),9)}。Dooley & Gill¹⁰⁾は二つの集合内の個数を比較させ、同時に呈示された「大きい」、「小さい」という意味をもつ記号に従っていずれかの集合を選択させるという条件性の相対大小判断をチンパンジーに訓練した。その結果、3と4の比較では90%の正答率を示したものの、3と5あるいは4と5の比較では偶然水準にまで正答率が低下した。さらに、Rumbaugh ら^{11)~13)}は、相対的大小判断課題において比較すべき集合を二つに分割した課題をチンパンジーで行った。彼らはチンパンジーの前に物が、[一つ入った皿+二つ入った皿]と[三つ入った皿+一つ入った皿]を呈示し、合計(summation)が多いほうを選択することを訓練した。チンパンジーはこの課題を合計7と合計8の比較においても80%近い正答率で

行うことができた。さらに2皿ずつの合計の比較だけでなく4皿ずつの合計の比較も可能であることが示されている。この結果は、非常に原始的ではあるが一種の「演算操作」をチンパンジーが行っていることを示唆している。

このような相対的大小判断課題に対して、複数呈示された集合のうち特定の「数」の物からなる集合を選択するよう要求する絶対的数判断課題も行われている^{14)~16)}。Hayes 夫妻ら¹⁷⁾はヴィキという名のチンパンジーに大小さまざまなドットが描かれたカードを2枚呈示して数の絶対判断を行っている。彼らの結果からは、ヴィキは「2」や「3」の絶対判断は可能だが「4」の判断は困難であることが示された。

これらの数判断課題では他の属性(色、形、配列パターン、密度など)は厳密に統制されており、動物が適切に行動するためには「数」を手がかりにせざるをえない状況が設定されている。したがって動物がこれらの課題において「数」を手がかりにしていたのは明らかである。しかしながら、動物が数をどのように処理しているのかについては不明な点が多い。Pepperberg¹⁸⁾は相対的大小判断課題では、動物は特定の数に対する「命名(labeling)」や「計数」を行う必要はないと主張している。さらに、Davis & Perusse¹⁹⁾もこのような相対大小判断を即時把握、計数、推数などとは別の「前」数処理過程として分類している。また、絶対判断においても選択すべき数は即時把握可能な「3」程度にとどまっており、「計数」を行う必要はないかもしれない。この種の数判断課題における処理過程は今後さらに検討する必要がある。

チンパンジーを被験体とした研究では、物と物との数を手がかりにした「見本合わせ」課題がいくつか行われている。これは、絶対判断課題の変形とみなすことができる。たとえば、先のHayes 夫妻ら¹⁷⁾はヴィキにまず複数のドットが描かれたカードを呈示し、選択肢として呈示された2枚のカードのうち同数のドットを含んだカードを選択するという課題を訓練した。その結果、ヴィキは選択肢が3と5、あるいは2と3の場合には80%以上の正答率を示したものの、3と4、4と5、5と6になると成績が偶然水準にまで低下することが示された。また、Woodruff & Premack²⁰⁾は異質な集合(たとえばカップと積み木など)を用

いて1から4までのマッチングの訓練に成功している。さらに、Boysen & Berntson²¹⁾は同様の課題の中で「数詞」の導入（アラビア数字の0から4）に成功している。

さらに、このような見本合わせの課題を進展させ、呈示された集合内の物の数に対応した「数詞」を選択させるという数の「命名 (labeling)」課題を行った研究もいくつかみられる。Ferster^{22), 23)}は、チンパンジーに1から7までの数を水平に並んだ三つのキランプのオン・オフのパターン、つまり2進法によって「表現」させることを試みた。たとえば、呈示された集合内の物の個数が2ならば「010」、5ならば「101」といった具合にキを操作し、ランプを点灯させるわけである。チンパンジーは1から7までの数を正しく答えることはできたものの、隣接する数がランダムな順で呈示された場合には成績は70%程度になったという。また、Pepperberg¹⁸⁾は1羽のオウムに物の個数を音声反応 (“one”, “two”, “three” など)で答えさせる訓練を行っている。その結果、6までの「命名」が可能であり、異質な物で構成された集合のうちの、特定の物の数を答えることも可能であったと報告している。同様の実験は京都大学霊長類研究所においても行われている^{24), 25)}。

一方、Capaldi & Miller²⁶⁾は、ラットを被験体として報酬—無報酬に関する特定の系列（たとえば報酬—報酬—報酬—無報酬）を用いて単一走路の走行訓練を行った。その結果、訓練を経るにつれて、4回目の走行速度が前3回に比べて著しく遅くなることが示された。この走行パターンは、走行間隔を変化させても、報酬の質を変化させても一定であったため、ラットが継時的に呈示される報酬の数（あるいは報酬を得た走行の回数）を「数えている」のだとCapaldiらは主張している。このような継時的に生じる事象の数を手がかりとする実験はチンパンジーなどの霊長類ではほとんど行われていない。

3. チンパンジーにおける「数」の命名 —京都大学霊長類研究所での研究—

筆者の属する京都大学霊長類研究所においてもチンパンジー・アイを被験体として、「数」の命名訓練が、1981年から松沢によって開始された^{27)~30)}。

「数詞」の導入場面では、まず見本刺激として具体物（たとえば赤い鉛筆）が一つあるいは二つ呈示された。アイは具体物が一つ呈示されたときには「1」を、二つ呈示されたときには「2」を選択するよう訓練された。このような手続きで1~6までの「数詞」が導入された^{27), 28)}。7以降の数詞に関しては、それまでの具体物にかわってCRT画面上に呈示された白色のドットの「数」をアイに答えさせるという訓練が室伏^{31), 32)}によって導入された。このドットを用いた場面ですら1~6の数についての再訓練が行われ、その後、7の導入^{31), 32)}、さらに松沢と板倉によって8・9の導入訓練が行われた^{25), 29), 30)}。現在、松沢によって「10」の訓練が進行中である。

アイの成績はドットの大きさ、密度、パターンを操作してもほとんど変化することがなく、ドットの「数」が手がかりとなっていたことが示唆される^{24), 31), 32)}。そこで、アイによる数の命名がいかなる処理過程のもとでなされているかを検討するため、図-2に、松沢および室伏の実験によって得られた、各訓練の最終段階での反応時間をドットの数の関数としてプロットしてみた^{24), 25), 29), 30)~32)}。参考までに同じ実験装置で行ったヒトでの実験のデータ（1~9）もあわせて示した^{29), 30)}。反応時間曲線からみるとアイの「数」処理過程は明らかに三つのフェーズに分けることができ、この傾向は各訓練段階を通して一貫して認められた。まったく同じ傾向は誤答率でみた場合にも認

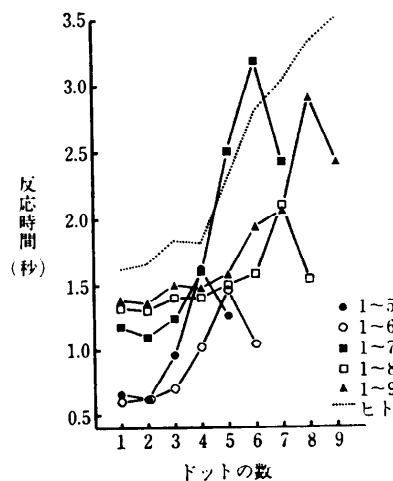


図-2 アイによるドットの数の「命名」場面における各訓練段階での平均正反応時間。最大数5~7までは室伏³¹⁾、8は板倉・松沢³¹⁾、9およびヒトのデータは松沢³⁰⁾のデータをもとにした。

められる^{27)~30)}。第一に、1~4 までの、反応時間がほとんど増大しないフェーズが認められる。これは図-1 に示したように Kaufman ら⁴⁾によって定義された即時把握に相当するものであろう。次に4 から各訓練段階での最大数より1小さい数までは、反応時間はほぼ直線的に増大している。このフェーズは計数に相当するものと考えられる。そして、最後に最大数のとき、反応時間は「最大数-1」のときよりも速くなる。松沢^{27)~30)}および室伏^{24), 31), 32)}は、最大数に対してアイは「相対的大小判断」を行っているのではないかと主張している。すなわち、アイは最大数が呈示された場合、「[最大数-1]より大きい」と判断していたのではないかというのである。このようなとき、アイは「目で数える」必要はない、と彼らは主張している。最大数呈示時にはアイは「最大数-1」以下との相対的な比較を行うのみで十分なのである。ただ残念なことに、この彼らの主張に対しては実験的検討がなされてはいない。いずれにせよ、最大数での反応時間の短縮および正答率の向上は、ヒトのように無限に広がる数の体系を有しているものとは異なり、最大数によって限定された、いわば「閉じた」数体系しかもたないアイに特有のものであり、アイが最大の基数を新たに一つずつ獲得していく過程を示している興味深いものである。

4. 最近の実験例

—序数の形成と“Counting in image”—

さて、以上のようにこれまでの動物における数的行動について京都大学霊長類研究所での実験も含めて簡単に紹介してきたが、この章では最近筆者らによって行われた二つの実験についてさらに紹介し、ヒトとチンパンジーの「数的能力」の比較へのさらなる足がかりとしたい。

a. 序数概念の形成

—アラビア数字を用いた系列学習—

これまで、われわれの研究所では相対的大小判断課題は行われてはこなかったが、アラビア数字を用いた「象徴的」相対大小判断は、アイが1~7までの数の命名を学習した直後に室伏によって行われた³¹⁾。この実験は、数を手がかりとした相対的大小判断というよりも、「数詞」の間の順序関係、すなわち、数のもつ「序数」としての機能

を訓練したものであった。

この実験の約3年後、筆者と松沢、板倉によってアラビア数字を用いた系列学習の実験が開始された^{29), 33), 34)}。近年、動物を被験体とした系列学習の研究が数多くなされている^{35)~37)}。基本的な手続きは、複数個の刺激が呈示され(たとえばA, B, C, D, E)、この刺激セットを特定の順序で選択していく(たとえばA→B→C→D→E)というものである(図-3)。この訓練はまさに、動物に「数詞」となりうる恣意的な刺激の間の安定した順序を学習させるものであり、「序数」の形成といってよいものである。動物ではこのような系列学習訓練によって刺激間に線形の関係(順序)が形成され、B→Dといった推移的な関係をも理解していることが実験の結果から明らかになっている^{35), 36)}。

われわれは、1~9の数字について、はじめから1→2→…→8→9といった序数系列全体を訓練するという方法をとらず、まず2→4や5→6といった2刺激からなる可能な系列(36種類)を訓練した。そして、このような部分集合に分割された系列をアイが「1→…→9」という一つの統合された線形の系列として認知しているかを調べるため、テストとしてそれまで呈示されたことのない3刺激の系列を呈示し、アイが三つの数字を「小」→「中」→「大」という順で正しく選択できるかを調べた。このテストの後、84種類の3刺激系列全てについて訓練を行った。その後、さらに4刺激系列による同様のテストも行った。これらのテストでは、アイは明らかに偶然水準よりも高い割合で正しい順序で数字を選択することができた



図-3 3刺激系列学習課題を遂行するアイ。刺激呈示画面には7, 8, 9が呈示されており、7→8→9の順で選択すれば正解となる。横で観察しているのは野生チンパンジーの研究者であるJ. Goodall博士(撮影は松沢哲郎)。

(3刺激系列テストで約40%, 4刺激系列テストで約55%)。この結果から、アイは部分集合を用いて訓練された序数系列を一つの統合された系列として認知している可能性が示唆された。

2刺激あるいは3刺激からなる系列が呈示されたとき、アイはその系列を「頭の中」にある1~9までの線形の系列と比較して、その系列内の最小の「数字」を判断しているのかもしれない。もしそうなら、呈示された系列内の最小数が大きいほどはじめての数字を選択するまでに「頭の中」で行う比較の回数が多くなり、反応時間が長くなるはずである^{36), 37)}。そこで、このことを調べるため、図-4にはアイの3刺激系列に対するはじめての数字を選択するまでに要した時間(初発反応時間)を、各刺激系列中の最小の数字および最小と中間の数字の間の距離の関数として示してみた。これを見ると、予測どおり最小の数字が大きくなるにつれて初発反応時間が長くなっている。さらに、初発反応時間は最小数と中間数の間の距離が大きくなるにつれて短くなる傾向がみられた。この結果は、アイが呈示された系列をまさに「系列的」に処理しているのではなく、まず全ての数字の間の順序関係を処理した上で初発反応を行っていたことをも示唆している。同様の傾向は4刺激系列の場合にも認められた。系列的に配列された刺激の間の距離に逆比例して反応時間が短くなるという現象は、「象徴距離効果」と呼ばれているものである^{38), 39)}。今回の結果もこの象徴距離効果と同じ効果が生じていたのではないかと考えられる。

次に、われわれは3刺激系列に一つあるいは二

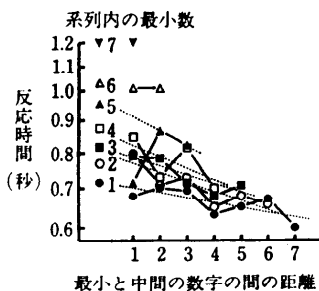


図-4 アイの全3刺激系列課題(84通りにおける)初発反応時間³⁶⁾。各実線は各系列における最小数ごとに結んである。横軸は最小数と中間数の間の系列上の距離を示す。したがって最小数1で距離の5のところプロットされた点は、1-6-7, 1-6-8, 1-6-9の3系列の平均値を示している。縦軸は反応時間(対数表示)。点線は各最小数ごとの反応時間曲線の回帰直線を示す。

つの新奇な刺激(白い四角形)を追加した系列をアイに与えた。ここではこの新奇刺激を「ワイルドカード」と呼ぶことにする。このワイルドカードはどの時点で選択してもよいようにした。われわれはアイがこのワイルドカードを系列反応中のどの時点で選択するかという点に興味を持った。図-5に、各選択時点でのワイルドカードの平均選択回数をそのときの前後の数字間の系列上での距離の関数として示した。たとえば、アイが距離が2離れている最小数と中間数の間で常にワイルドカードを選択していた場合(たとえば2→■→4→6など)そのときのワイルドカードの平均選択回数は1となる。この図から明らかなように、アイはワイルドカードを①最小数の直前で選択する傾向が強く、かつ②選択すべき数字の間の距離が大きいところでより頻繁に選択する傾向を示した。この結果はいかようにも解釈されるが、一つの有力な解釈として、アイは呈示された系列において欠落していた数字のかわりにワイルドカードを用いていたのかも知れない。もしそうなら、アイが一つの序数系列に従って系列反応を行っていた可能性がより強く示唆される。

ヒトの場合、数詞の間に安定した順序が形成されていなければ計数を行うことはできない(安定順序の原理)¹⁾。ここで紹介した序数形成の訓練によってアイの計数行動がどのように変化するか、あるいはしないのかについては今後さらに検討していく必要がある。

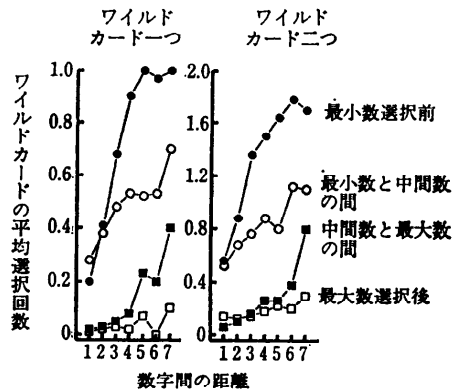


図-5 ワイルドカードを追加した3刺激系列における各選択時点でのワイルドカードの平均選択回数³⁴⁾。左はワイルドカードの数が1の場合、右はワイルドカードの数が2の場合の結果を示す。横軸には各選択時点での直前直後の刺激間の距離を示す。最小数選択前の場合「0」と最小数の間の距離を、最大数選択後の場合「10」と最大数の間の距離を便宜的に2数間の「距離」と定義した。

b. Counting in image

—短時間表示されたドットを数える—

これまでのアイによる物の数と数字との見本合わせ課題では、「数える」べき物の集合はアイがアラビア数字を選択するまでずっとと表示されていた。この場合、アイは数えるべき項目を「目で追って数える (visual counting)」ことができる。

しかし、ヒトの場合、数えるべき集合が非常に短時間表示された場合でも、それらのパターンを記憶してその視覚的なイメージの中で数えることができる^{40), 41)}。Mandler & Shebo⁴¹⁾ はこのような現象を mental counting と呼んでいる。そこで筆者らは、アイもこのようなイメージの中での計数が可能かどうかを調べることにした (この研究は松沢との共同研究としておこなわれた)。

われわれは、ドットパターンの表示時間を0.1秒と無制限 (数字を選択するまで) の2条件設定した。0.1秒条件のときは、刺激が消失した直後に画面全体にストライプパターンを表示して残像を防いだ (図-6)。

アイの結果を、4名の大学院生での実験の結果とあわせて図-7に示す。まずアイの誤答率を見ても、1~8までは表示条件間に差が認められない。しかし、最大数9に関しては両条件間に大きな差が認められた。無制限条件の場合は室伏や松沢による実験と同様、誤答率の減少がみられたものの、0.1秒条件では誤答率が逆に急激に増大した。一方、ヒトの場合は即時把握可能な数の付近では両表示条件間に差は認められないものの、ドット数が5以降の場合、0.1秒条件の成績のほうが悪くなる傾向が示された。

次にアイの反応時間を見ると、無制限条件ではこれまでの結果と同じく1~4付近の「即時把握」期、4~8 ([最大数-1]) までの「計数」期、そして最大数9での反応時間の短縮という三つのフェーズが明瞭に認められた。これに対し、0.1秒条件では6までは無制限条件とまったく同じ傾向を示したものの、6以降は反応時間が0.9秒付近で頭打ちになった。誤答率は先にみたように両条件では8まで差がないことから考えると非常に興味深い現象である。ヒトの場合、両条件間にまったく差がなく、4以降急速に反応時間の増分が大きくなるという計数特有の現象が明確に認められる。この結果はヒトにおける mental counting

の存在を示すものである。

アイとヒトの0.1秒条件での結果を比較した場合、そこには明瞭な違いが認められる。誤答率で



(a)



(b)

図-6 “Counting in image” 課題遂行中のアイ。(a)CRT画面左下にあるキーを押すとドットパターンが0.1秒間表示され、(b)刺激消失後、画面はストライプパターンでマスクされる。

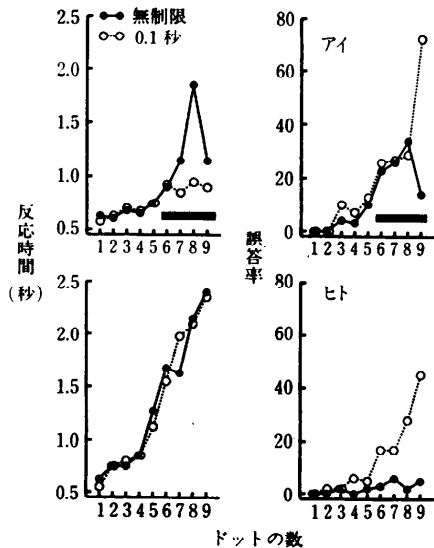


図-7 “Counting in image” 課題の結果。上はアイの、下はヒトの結果を示す。左には正反応時間を、右には誤答率を示す。

みるとアイとヒトの間には最大数を除いて大きな差がないにもかかわらず、アイの場合、6以降の反応時間曲線に Kaufman らの⁴⁾実験での速度指示条件でみられたような頭打ちの現象が認められた。0.1秒条件の場合、6までは無制限条件と同じく反応時間が単調増加を示していることから考えると、アイではドットパターンのイメージがパターン消失後0.9秒程度で失われるため、6までは mental counting が可能であったとしても6以降は Kaufman らの速度指示群と同様、推数をせざるをえなかったのかもしれない。これに対しヒトでは、誤答率との比較から、ドットパターンの視覚的イメージが刺激消失後1.5~2秒のうちに急速に失われることが示唆される。

この実験から、ヒトとチンパンジーの間に視覚イメージの操作に関する能力に違いがあることが示唆された。さらに、アイはこのような状況下では mental counting ではなく推数を行っていた可能性が示唆された。

5. ま と め

ここまでみてきたように、動物における数的行動の研究は近年活発に行われてはいるものの、実際に動物がどのような認知過程のもとで行動しているのかについてはいまだ不明瞭な部分が多い。しかしながら、われわれ京都大学霊長類研究所のグループがこの10年行ってきたチンパンジーの数的能力に関する研究から、チンパンジーに関してはかなりのことが明らかになりつつある。まず、①チンパンジーが数という物理的属性に対して任意に設定された記号(数詞)を対応づけることができるということ。②ヒトで認められるような即時把握、計数、推数といった認知過程がチンパンジーでも認められるということ。さらに、③基数として獲得された「数詞」の間に系列的関係を訓練した場合(序数形成)、ヒトの系列学習で認められる現象と類似した現象が認められるということ。これらの結果は、チンパンジーがかなりの数的能力をもっていることを示唆しているように思われる。

これらヒトとチンパンジーの間の類似性以上に、筆者の興味をより一層とらえたものは両者の間の違いである。なぜ最大数の命名ではアイは[最大数-1]よりも速くかつ正確に答えることが

できるのか? なぜアイは短時間呈示されたドットを「イメージ」の中で「数える」ことをしないのか? これらの問題については本論の中でも明確な答は得られてはいない。特に後者については「計数行動」のみならず、注意・記憶・イメージ操作・記号処理といった、より一般的な認知過程が大きく関与している。残念なことに、これらの認知過程に関するチンパンジーを対象とした実験研究はあまりなされておらず^{42)~44)}、いまだに分らないことが多い。

たとえば、近年のヒトにおける注意の研究では、処理容量(注意)をあまり消費しない「自動的(あるいは前注意的)」処理と、処理のための容量を必要とする「注意的」処理という二つの過程が、さまざまな知覚・認知課題の遂行において関与していることが示されてきている^{45)~49)}。もし、このような二つの過程が、アイの数命名行動にも関与していたと考えると、即時把握・計数という処理過程の分類は自動的・注意的処理にそれぞれ対応すると考えることもできる。ヒトの場合、注意的処理は訓練によって「自動的」になりうるということが知られている(たとえば車の運転とその熟達の過程を考えてみるとよい)⁴⁶⁾。これは処理の方略をかえることによって「認知的負担」を軽減していこうとする生物の側の能動的な働きかけである。これと同様のことは、当然アイの数の命名場面でも生じているはずである。注意的処理が要求される「計数」場面においても、アイが積極的にこのような認知的負担を軽減しようとするならば、いくつかの知覚的処理方略をとりうる可能性がある。一つは先の筆者らによる実験で認められた「推数」行動の発現であり、もう一つの可能性として、知覚的群化(grouping)があげられる⁵⁰⁾。もしドットが8つ呈示されたときにそのパターンが即時把握可能な程度の数で(たとえば2・3・3といった形で)群化されうるならば、アイはどのような処理を行うのだろうか? もし群化による「計数」が可能であることがなんらかの形で証明されたならば、それは群化された下位集合内の物の数を「合計」という新たな処理過程の発現を意味しないだろうか? もしそのようなことが起こりうるのなら、この種の課題は Rumbaugh ら^{11)~13)}による「合計」比較課題でみられたような原初的演算操作を検討するための一つのステッ

プになるであろう。

上に示した例は将来の研究の一つの方向性を示したにすぎない。筆者にとって、チンパンジーの数的能力の研究はそれ自体さらに検討されていくべき魅力ある問題であると同時に、チンパンジーを一つの包括的な情報処理システムとしてとらえ、その機能を明らかにし、ヒトの認知の起源を探っていく上で必要かつ重要なツールとなりうるものなのである。チンパンジーの数的能力は、それだけで完結しうる一つの独立の認知過程として存在するのではなく、さまざまな知覚・認知過程との間の相互作用の結果として生じてくるものである。

われわれは、チンパンジーの数的能力の背後に潜む広大な森の中にさらに歩を進めていかななくてはならない。

謝辞 本論文を作成するにあたり、京都大学霊長類研究所松沢哲郎助教授の助言を得た。なお、本論文で紹介した実験の一部は文部省科学研究費補助金（重点領域・脳の高次機能）およびブレインサイエンス財団の助成を受けた（代表者：松沢哲郎）。

参考文献

- 1) Gelman, R. and Gallistel, C. R.: *The Child's Understanding of Number*, Harvard University Press, Cambridge: MA (1978). [小林・中島(訳): 数の発達心理学—子どもの数の理解—, pp. 283, 田研出版, 東京 (1989)].
- 2) Rumbaugh, D. M., Washburn, D. A., Hopkins, W. D. and Savage-Rumbaugh, E. S.: Chimpanzee Counting and Rhesus Monkey Ordinality Judgements, pp. 701-702, In Ehara, A. et al. (Eds.): *Primate Today*, Elsevier, Amsterdam (1991).
- 3) Church, R. M. and Meck, W. H.: The Numerical Attribute of Stimuli, pp. 445-464, In Roitblat, H. L. et al. (Eds.): *Animal Cognition*, LEA, Hillsdale, NJ (1984).
- 4) Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W. and Volkman, J.: The Discrimination of Visual Number, *Amer. J. Psychol.*, 62, pp. 498-525 (1949).
- 5) Jensen, E. M., Reese, E. P. and Reese, T. W.: The Subitizing and Counting of Visually Presented Fields of Dots, *J. Psychol.*, 30, pp. 363-392 (1950).
- 6) Klahr, D.: Quantification Processes, pp. 3-34, In Chase, W. G. (Ed.) *Visual Information Processing*, Academic Press, NY (1973).
- 7) Svenson, O. and Sjoberg, K.: Speeds of Subitizing and Counting Processes in Different Age Groups, *J. Genet. Psychol.*, 142, pp. 203-211 (1983).
- 8) Thomas, R. K., Fowlkes, D. and Vickery, J. D.: Conceptual Numerosity Judgements by Squirrel Monkeys, *Amer. J. Psychol.*, 93, pp. 247-257 (1980).
- 9) Thomas, R. K. and Chase, L.: Relative Numerosity Judgements by Squirrel Monkeys, *Bull. Psychonom. Soc.*, 16, pp. 79-82 (1980).
- 10) Dooley, G. B. and Gill, T.: Mathematical Capabilities in Lana Chimpanzee, pp. 133-142, In Bourne, G. H. (Ed.) *Progress in Ape Research*, Academic Press, NY (1977).
- 11) Rumbaugh, D. M., Savage-Rumbaugh, E. S. and Hegel, M.: Summation in the Chimpanzee (*Pan troglodytes*). *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.*, 13, pp. 107-115 (1987).
- 12) Rumbaugh, D. M., Savage-Rumbaugh, E. S. and Pate, J. L.: Addendum to "Summation in the Chimpanzee (*Pan troglodytes*)."
J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process., 14, pp. 118-120 (1988).
- 13) Perussé, R. and Rumbaugh, D. M.: Summation in Chimpanzees (*Pan troglodytes*): Effects of Amounts, Number of Wells, and Finer Ratios, *Int. J. Primatol.*, 11, pp. 425-437 (1990).
- 14) Hicks, L. H.: An Analysis of Number-concept Formation in the Rhesus Monkey, *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 49, pp. 212-218 (1956).
- 15) Davis, H.: Discrimination of Number Three by a Raccoon (*Procyon lotor*), *Anim. Learn. Behav.*, 12, pp. 409-413 (1984).
- 16) Pastore, N.: Number Sense and "Counting" Ability in the Canary, *Z. Tierpsychol.*, 18, pp. 561-573 (1961).
- 17) Hayes, K. J. and Nissen, C. H.: Higher Mental Functions of a Home-raised Chimpanzee, pp. 59-115. In Schrier, A. M. and Stollnitz, F. (Eds.): *Behavior of Nonhuman Primates, Vol. 4*. Academic Press, NY. (1971).
- 18) Pepperberg, I. M.: Evidence for Conceptual Quantitative Abilities in the African Gray Parrot: Labelling of Cardinal Sets, *Ethol.*, 75, pp. 37-61 (1987).
- 19) Davis, H. and Perussé, R.: Numerical Competence in Animals: Definitional Issues, Current Evidence, and a New Research Agenda, *Behav. Brain Sci.*, 11, pp. 561-615 (1988).
- 20) Woodruff, G. and Premack, D.: Primitive Mathematical Concepts in the Chimpanzee: Proportionality and Numerosity, *Nature*, 293, pp. 568-570 (1981).
- 21) Boysen, S. T. and Berntson, G. G.: Numerical Competence in a Chimpanzee (*Pan troglodytes*), *J. Comp. Psychol.*, 103, pp. 23-31 (1989).
- 22) Ferster, C. B.: Arithmetic Behavior in Chimpanzees, *Sci. Amer.*, 210, May, pp. 2-9 (1964).

- 23) Ferster, C. B. and Hammer, C. E., Jr.: Synthesizing the Components of Arithmetic Behavior, pp. 634-676, In Honig, W. K. (Ed.), *Operant Behavior*, Appleton, NY (1966).
- 24) 室伏靖子: チンパンジーの論理的思考に関する実験的研究—具体的操作から形式的操作への移行—, 昭和63・平成元年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書(1990).
- 25) 板倉昭二, 松沢哲郎: チンパンジーにおける数概念, 日本心理学会第54回大会発表論文集, p. 623 (1990).
- 26) Capaldi, E. J. and Miller, D. J.: Counting in Rats: Its Functional Significance and the Independent Cognitive Processes That Constitute It, *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.*, 14, pp. 3-17 (1988).
- 27) Matsuzawa, T.: Use of Numbers by a Chimpanzee, *Nature*, 315, pp. 57-59 (1985).
- 28) Matsuzawa, T., Asano, T., Kubota, K. and Murofushi, K.: Acquisition and Generalization of Numerical Labeling by a Chimpanzee, pp. 416-430, In Taub, D. M. and King, F. A. (Eds.), *Current Perspectives in Primate Social Dynamics*, Van Nostrand Reinhold, NY (1986).
- 29) Matsuzawa, T., Itakura, S. and Tomonaga, M.: Use of Numbers by a Chimpanzee: A Further Study, pp. 317-320, In Ehara, A. et al. (Eds.) *Primateology today*, Elsevier, Amsterdam (1991).
- 30) 松沢哲郎: チンパンジーからみた世界, 220 p. 岩波書店, 東京 (1991).
- 31) 室伏靖子: チンパンジーにおける数概念の形成, 昭和61・62年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書(1987).
- 32) 室伏靖子: チンパンジーにおける数の学習, pp. 55-68. 末永俊郎他(編): 適応行動の基礎過程, 培風館, 東京 (1989).
- 33) 友永雅己, 板倉昭二, 松沢哲郎: チンパンジーにおける数系列の形成, p. 37., 日本動物心理学会第50回大会予稿集(1990).
- 34) 友永雅己, 松沢哲郎: チンパンジーにおける数系列の形成(II)—延長系列への転移, 反応時間分析, およびワイルドカード導入の効果について—, 日本心理学会第55回大会発表論文集(1991, 印刷中).
- 35) Terrace, H. S.: A Nonverbal Organism's Knowledge of Ordinal Position in a Serial Learning Task, *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.*, 12, pp. 203-214 (1986).
- 36) D'Amato, M. R. and Colombo, M.: Representation of Serial Order in Monkeys (*Cebus apella*), *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.*, 14, pp. 131-139 (1988).
- 37) Bever, T. G., Straub, R. O., Terrace, H. S. and Townsend, D. J.: The Comparative Study of Serially Integrated Behavior in Humans and Animals, pp. 51-93, In Jusczyk, P. W. and Klein, P. M. (Eds.): *The Nature of Thoughts: Essays in Honor of D. D. Hebb*. Erlbaum, Hillsdale: NJ (1980).
- 38) Moyer, R. S. and Landauer, T. K.: Time Required for Judgements of Numerical Inequality, *Nature*, 215, pp. 1519-1520 (1967).
- 39) D'Amato, M. R. and Colombo, M.: The Symbolic Distance Effect in Monkeys (*Cebus apella*), *Anim. Learn. Behav.*, 18, pp. 133-140.
- 40) Oyama, T., Kikuchi, T. and Ichihara, S.: Span of Attention, Backward Masking, and Reaction Time, *Percept. Psychophys.*, 29, pp. 106-112 (1981).
- 41) Mandler, G. and Shebo, B. J.: Subitizing: An Analysis of Its Component Processes, *J. Exp. Psychol. Gen.*, 111, pp. 1-22 (1982).
- 42) 藤田和生, 松沢哲郎: チンパンジーの表象能力—短期記憶再生と心的回転—, 霊長類研究, 5, pp. 58-74 (1989).
- 43) Fujita, K. and Matsuzawa, T. (1990): Delayed Figure Reconstruction by a Chimpanzee (*Pan troglodytes*) and Humans (*Homo sapiens*), *J. Comp. Psychol.*, 104, pp. 345-351.
- 44) 藤田和生: チンパンジーの記憶, 情報処理, Vol. 32, No. 11, pp. 1166~1174 (1991).
- 45) Schneider, W. and Shiffrin, R. M.: Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search, and Attention, *Psychol. Rev.*, 84, pp. 1-66 (1977).
- 46) Shiffrin, R. M. and Schneider, R. M.: Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending, and a General Theory, *Psychol. Rev.*, 84, pp. 127-190 (1977).
- 47) Posner, M. I. and Snyder, C. R. R.: Facilitation and Inhibition in the Processing of Signals, pp. 669-682, In Rabbitt, P. M. A. and Dornic, S. (Eds.): *Attention and Performance V*. Academic Press, NY (1975).
- 48) Posner, M. I.: Orienting of Attention, *Quart. J. Exp. Psychol.*, 32, pp. 3-25 (1980).
- 49) Treisman, A. and Paterson, R.: Emergent Features, Attention, and Object Perception, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 10, pp. 12-31 (1984).
- 50) van Oeffelen, M. P. and Vos, P. G.: Configurational Effects on the Enumeration of Dots: Counting by Groups, *Mem. Cognit.*, 10, pp. 396-404 (1982).

(平成3年9月18日受付)



友永 雅己

1964年生。大阪大学人間科学部卒業。大阪大学大学院人間科学研究科学術修士課程修了。現在京都大学霊長類研究所心理研究部門助手。専門: 実験心理学・比較心理学(特に霊長類の知覚・認知機能の実験的分析) 日本心理学会, 日本動物心理学会, 日本霊長類学会, 日本行動分析学会各会員。