

氏 名	うし 牛 たに 谷 とも 智 かず 一
学位の種類	博 士 (文 学)
学位記番号	文 博 第 315 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	文 学 研 究 科 行 動 文 化 学 専 攻
学位論文題目	断片的視覚情報の統合過程に関する比較認知科学的研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 藤 田 和 生 助教授 板 倉 昭 二 助教授 友 永 雅 己

論 文 内 容 の 要 旨

感覚器官を通して我々が環境から手に入れることのできる情報は限定されており、それは実体に関する情報の時空間的な断片に過ぎない。しかし我々はそれらを統合して意味のある時空間の全体像を認識する。本論文は、我々が環境を認識するときに使用する最も主要な感覚である視覚について、そうした断片的情報の統合過程がどのように進化したのかを、比較認知科学的研究により明らかにしようとしたものである。

第1章では、断片的視覚情報の統合過程に関するこれまでの研究が論じられ、比較認知科学的アプローチの重要性が指摘されている。3次元空間内の視覚対象は、多くの場合、別の物体に一部分を隠蔽されている。そのためそれらから得られる一次的視覚像は物体の断片であるに過ぎないが、正常なヒトは、それらを統合してその視覚対象の全体像を知覚することができる。しかし、脳損傷患者の中には、このような統合機能だけが選択的に障害を受けるという症例がある。視覚的形態失認と呼ばれる障害を持つ患者は、視野・視力・色覚など基本的な視覚機能がほとんど損なわれていないにもかかわらず、単純な視覚対象を識別できないため、ほとんど盲人のように振舞う。こうした我々の日常生活を陰で支えている断片的情報の統合過程は、他のあらゆる認知的諸機能と同様、進化の産物である。それはどのように進化したのだろうか。我々ヒトが持つこのような知覚的体制化の働きは、他の動物にも共有されているのだろうか。これらの問いに答えるためには、現生のヒト以外の動物種に見られるこの機能の性質を明らかにし、比較することが必要である。

これまでの研究で、知覚的体制化の1機能である知覚的補間について、興味深い種差が報告されている。知覚的補間とは、部分的に隠蔽された図形の隠蔽部分を補って全体を認識する働きである。この働きは、類人猿・サル・マウスといった哺乳類には共有されている。鳥類でも、ニワトリでは肯定的な結果が得られている。ところが、心理学実験によく用いられるハトでは、繰り返し否定的な結果が報告されてきた。本研究では、この「ハト問題」に取り組み、空間的な統合過程に加えて、時間的な統合、さらにはそれらを合わせた時空間的な統合過程の分析を通じて、断片的視覚情報の統合過程の進化について論じた。

第2章では、オブジェクトの一体性知覚に関する4つの実験の結果が述べられた(実験1—1～4)。ここで問題とされたのは、従来の研究では、静止した刺激のみを用いていたことである。そこで、直接的に知覚される刺激の断片に共通の運動を付加することの効果が調べられた。棒図形の断片が帯の上下で同期して動くとき、ヒトは、帯に隠されている部分を補間して、1本の棒が動いていると知覚する。ハトが、オブジェクトの一体性知覚と呼ばれるこの認識を持つか否かが検討された。まず、ハトに1本の動く棒と2本の動く棒の同一見本あわせを学習させた。棒の中央部分を帯に隠された動く棒を見本として呈示してテストすると、ハトはこれに対して2本の棒を選択した(実験1—1)。さらにハトは、帯の「手前」を1本の棒が動くという条件では強固に2本の棒を選択する傾向を示し(実験1—2)、また、帯を斜め(実験1—3)、あるいは波形にして(実験1—4)、見えている断片部分が複雑にその形と大きさを変える条件でテストしても、やはり2本の棒を選択した。つまり、刺激断片に共通の運動があっても、ハトは補間しないことが示された。これらの実験結果から、少

なくとも2次元図形の補間に関しては、ハトはハト以外の動物と強いコントラストを示すことが確認された。

第3章では、採餌場面を模した、より自然的な実験状況をつくり、ハトが一部隠された物体の写真を知覚的に補間する可否かを3つの実験で調べている(実験2-1~3)。まず、食物・非食物写真を単独で呈示して、食物写真はつき、非食物の写真はつかないことを訓練した。次いで、画面に同時に複数の食物・非食物刺激を配置して、その中から食物だけを全て選んでつづくことを訓練した。テストでは、羽の写真を導入し、一部を羽に隠蔽された刺激と、その部分が欠損している刺激を、訓練刺激とともに呈示した(実験2-1)。もし、ハトが隠れた部分を知覚的に補間するなら、一部隠蔽された食物刺激を、一部欠損した食物刺激よりも優先してつづくと考えられた。しかし、ハトは、むしろ欠損刺激を優先してつづく傾向があった。この傾向は、羽を欠損刺激のすぐ隣に呈示しても(実験2-2)、隠蔽物体を羽から紙片に変えても(実験2-3)、変わらなかった。ハトは食物の写真をつつくという極めて生態学的妥当性の高い事態においても、隠蔽部分を補間したという証拠を示さなかった。従来の、及び第1章の研究結果と本章の結果を考え合わせると、おそらくハトは、空間的統合をおこなわない強い傾向を持つのではないかと思われる。

知覚的補間のような空間的統合以外にも、継時的に与えられる手がかりによる時間的統合もまた、断片的視覚情報から全体像を復元するのに役に立っていると考えられる。そこで、第4章では、運動の知覚的統合を取り上げ、ハトが視覚情報の時間的な統合をおこなうか否かを5実験によって検討した(実験3-1~5)。まず、標的となる光点が垂直運動しているか斜め運動しているかを、2つの色のいずれかを選択することにより報告する課題をハトに訓練した。テストでは、同期して運動する別の光点(付随光点)を呈示し、この報告がどのように変化するか調べた(実験3-1)。もしハトが2光点の運動を統合するならば、ハトは、標的光点の相対運動に対応する色を答えるであろうと予測される。しかし予測に反して、ハトは、絶対運動に対応する色を答える傾向を示した。刺激の大きさ・運動速度を半分にして、全体処理を容易にしても(実験3-2)、標的の運動のなめらかさを増しても(実験3-3)、付随光点を2個に増やしても(実験3-4)、結果は変わらなかった。しかし、標的光点と同期して運動する正方形の枠を呈示すると(実験3-5)、ハトの報告は、枠に対する相対的な運動になった。この結果から、ハトは、時間的統合をすることが示されたが、それは運動する物体が周囲を枠に囲まれているなどの場合に限られるのかもしれない。

継時的手がかりによって輪郭や表面が形成されるような統合は、時空間的統合といえる。第5章では、時空間的統合の1つである時空間的境界形成といわれる現象が、ハトの視知覚において実現されているか否かを調べた実験を報告した(実験4)。この現象は、ランダムに穴の空けられたパンチボードを通して運動するタイルを見るような事態である。穴の密度が薄い場合、タイルが静止しているとそのタイルの形状は認識が難しいが、適切な運動があると、我々ヒトはそれを容易に認識することができる。まずハトに、2ないし3種の充実図形の同一見本合わせを訓練した。次いで、見本刺激を高密度のランダムドットで構成されるものに変えた。しかし、運動条件、静止条件とも、ハトはこの見本合わせに大きな困難を示した。ハトは時空間的統合をしないのだろうか。ドット密度が高いと、統合すべき要素数が多すぎて全体を処理するのが難しいかもしれない。そこで密度を下げ、種々の密度の条件でテストをした。ハトの正答率はほとんどの条件では偶然レベルに近かったが、中程度の密度の場合に限り、統計的に有意に高い正答率を示した。全体的な正答率は低いものの、この結果は、チンパンジーやフサオマキザルで行われた先行研究の結果に良く類似していた。空間的統合の困難さと時間的統合の可能性は、2~4章の実験結果とも一致している。

最終章(第6章)では、本論文での実験と先行研究の知見をふまえて、どのように断片的視覚情報の統合過程が進化したのかに関するモデルを提示した。

爬虫類・鳥類・哺乳類は、共通して2つの視覚経路を有している。鳥類の解剖学的術語で言えば、1つは、対象の詳細な分析を可能にする毛帯系経路であり、もう1つは、瞬間的な判断と運動の処理に優れる丘体系経路である。哺乳類では、両方の経路が発達しているが、毛帯系経路が優位である。毛帯系経路が発達したのは、好気性代謝によって長時間の持続的運動が可能になり、対象の詳細な分析をする余裕と必要性から生じたと言われており、知覚的補間のような空間的統合は、この毛帯系経路の発達とともに進化したと考えられる。他方、爬虫類では、丘体系経路が優位である。鳥類は好気性代謝であるが、無気性代謝の爬虫類から進化したことと、飛翔による高速な情報処理の必要性から、丘体系経路優位を維持したのではないかと思われる。ハトが、空間的統合をせず、時間的統合をする、という本実験の結果は、この神経科学的知見と矛盾

しない。好気性代謝の鳥類は、捕食することや、捕食圧の減少などの進化圧が加わることによって、丘体系経路から毛帯系経路へと優先経路を変更する可能性がある。毛帯系経路が優位といわれるニワトリでは知覚的補間に肯定的な結果が報告されていることも、この説と合致している。

もし上記のモデルが正しいのであれば、好気性代謝の鳥類で、捕食性の種、あるいは地上性の種では、空間的統合が行われるが、飛行性で穀物食の鳥類では時間的統合が優位であると予測される。他方、爬虫類では時間的統合が優位であろうと予測される。今後、より広い適切な研究対象種の選定によってこのモデルを検証していくことが、断片的視覚情報の統合過程の進化を明らかにするために必要であろう。

論文審査の結果の要旨

我々は日常何の苦もなく、連続的かつまとまりのある外界を認識しているが、我々が実際に感覚器官から手に入れられる情報は、外界から時空間的に切り取られた断片に過ぎない。例えば冬枯れの木々を通して見る建物は、枝と枝の間から壁や窓の断片が見えるに過ぎないが、我々はそれらのつながりを仮定し、見えない部分を補って、建物の全容を把握する。ボールが衝突の裏側に入ると反対側から出てくると、同じボールだと仮定し、見えない運動を補って、ボールが衝突の裏を通過したと認識する。我々は時々刻々得られる断片的情報を、さまざまな仮説的制約条件のもとで処理し、時空間的に統合して、外界を認識している。

本論は、外界認識の基礎にあるこうした断片的情報の統合過程がいかに進化したのかを、比較認知科学的手法を用いて明らかにしようとした意欲的な試みである。

本論は6章からなる。第1章では、脳損傷患者の視覚認識を例にとって、この過程の本質的重要性が論じられる。ある種の失認患者は、刺激断片は認識できても意味ある全体を認識できない。これは極めて不適応に思われるが、実はハトでは似たような行動が報告されている。ハトは、図形の一部を隠蔽して提示すると、もとの図形を復元できない。知覚的補間と呼ばれるこの過程には大きな種差が存在し、補間的に認識することは、知覚系のデフォルトではないかもしれないという論者の指摘は重要で、我々が当然そうあるべきだと考えがちなヒトの外界認識様式が、実は進化の洗礼を受けた特殊型である可能性を示唆するものである。

続く4章で、ハトの断片的視覚情報の統合過程が、コンピュータ画面を用いた巧みな行動実験により、詳細に分析される。第2章では、オブジェクトの一体性知覚という現象がハトにも生じるか否かが4実験で検討された。これは、中央部分を細長い帯で隠した棒を左右に動かすと、上下にはみ出た部分がつながっていると認識する現象である。ところが、ハトはテストしたすべての条件で、そのような刺激を2本の分かれた棒と認識することが明らかにされた。ヒトでは4ヶ月の乳児にも見られるこの現象がハトでは生じないというこの事実は、ハトとヒトの基本的外界認識の違いを、さらに強固に示したものだといえる。

第3章では、食物写真を用いた3実験で補間的認識の可能性が再検討された。ハトは、食物と非食物の写真の中から食物だけを選んでつつくよう訓練された後、他の物体で一部分を隠された食物と、当該部分を画像処理で抹消した食物の写真でテストされた。隠された部分が補間されれば、前者を後者より先につつくだろう。しかし結果は逆であった。食物をつつくという究極的な生態学的妥当性のある場面においても、ハトは隠された部分を補間しなかった。反応の順序という指標に着目し、独創的な手続きで得られたこの新たな事実は、極めて価値の高いものであり、視覚認識におけるハトとヒトの違いをさらに決定的なものにしたといつてよい。

第4章では、時間的統合の可能性が4実験で検討された。例えば斜めに往復運動する光点の上下に水平運動する光点を付加すると、その相対運動が知覚され、最初の光点が上下運動して見える。光点の運動方向を報告させる課題をハトに訓練して調べたところ、ハトではそのような相対運動は知覚されなかったが、付随光点の代わりに光点を囲む枠を提示すると、ハトはその間の相対運動を知覚した。これはハトが複数の要素の運動を時間的に統合したことを示す。空間的な情報の統合が生じないハトにおいて、時間的な情報統合が生じることを示した意義は大きく、これが第6章で述べられる断片的情報の統合過程の進化仮説へと発展することとなる。

第5章では、時空間的に変化する情報から、明示されない輪郭を知覚する過程が分析された。ランダムに小さな穴の空け

られた板を通して、裏側のタイルの形状を見分ける課題をおこなったとしよう。穴の数が少なくタイルが静止しているとその形状はわからないが、一旦タイルが動き出すと、ヒトはその形状を明瞭に知覚する。論者は見本あわせを用いた課題で、ハトが同様の知覚をする可能性を示した。情報の統合過程の進化を考察する上では、この事実は極めて重要な意味を持つ。

第6章では、実験結果がまとめられ、脳の情報伝達経路の側面から、断片の情報の統合過程の進化に関する大胆な仮説が提示された。それは、哺乳類のような、好氣的代謝をおこない、持続的運動が可能な動物では、毛帯系経路による情報の詳細な分析が可能になり、空間的統合が進化した。他方鳥類は、好氣性代謝をおこなうが、無氣性代謝の爬虫類から進化したために、飛翔による高速な情報処理の必要性から、処理速度の速い丘体系経路優位を維持したのではないかという仮説である。これは、認識のありようを定める系統発生的制約と生活史的制約を巧みに織り込んだ興味深くかつ斬新な仮説であり、情報の統合過程の進化を明らかにするために必要な今後の研究を方向づけるという点で、極めて有用な説であると評価できる。

言語を持たない動物が世界をどのように認識しているかを調べるのは容易なことではない。巧妙でよく練られた多数の実験によって、ハトという動物から見た世界の一端を見事にあぶり出した論者の研究成果は、比較認知科学を大きく前進させるものである。ヒトにとってはあまりにも当然に思われる断片的視覚情報の統合過程が、実は大きな種差を持つものであるという事実は、ヒトから見た世界が究極のものであると考えるヒト中心の世界観を大きく揺るがすものである。最終章で提示された仮説も独創的なもので、比較認知的研究の今後の指針の1つにもなろう。

もちろん問題点もある。第1に、認識の進化を問題にするのであれば、多種の比較は必須の作業であるにもかかわらず、研究はすべてハトに限定されている。第2に、提示された仮説はやや大胆に過ぎるかもしれない、またその検証実験はおこなわれていない。第3に、実験はすべて2次元刺激を使用しているが、3次元刺激では異なる結果が得られるかもしれない。しかしこれらの問題の解決を迫るのは、限られた時間と動物実験の困難さを考えれば、課程博士研究には高望みであろうし、最終章で提示された指針に沿って論者がさらに前進を続けていく中で解決されていくべき問題であろう。何よりも、多数の長期実験を辛抱強くおこない、着実に一歩ずつ前進する論者の研究姿勢に賞賛を惜しむべきではないと思われる。

以上審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。2005年2月21日、調査委員3名が本論文とそれに関連したことがらについて口頭試問をおこなった結果、合格と認めた。