

チンパンジーにおける空間的注意機能の発達 (1)

— 復帰抑制はみられるのか —*

松澤 正子・田中 正之・山本 真也

Development of Spatial Attention in Chimpanzees (*Pan troglodytes*) I: A study of 'Inhibition of Return'*

Masako MATSUZAWA, Masayuki TANAKA and Shinya YAMAMOTO

Inhibition of return (IOR) is the decreased tendency to orient toward a previously attended spatial location, possibly indicative of an attentional bias to novel locations. IOR is indexed by the increased latency in responding to a target at a previously cued position relative to its contralateral position. This phenomenon and the process of its development were examined in two 5-year-old chimpanzees, two adult chimpanzees, and two adult humans (control). The animals and humans were tested on two detection tasks: single-cue and double-cue tasks. In the single-cue task, after flashing a peripheral cue on the left or right side of a display, a target was presented at the ipsilateral or contralateral position with varying cue-target stimulus onset asynchrony. The double-cue task was identical to the single-cue task except that a central cue was flashed immediately after the peripheral cue presentation. In the single-cue task, latencies to the ipsilateral target were longer than to the contralateral target in child chimpanzees and adult humans, which is indicative of IOR. However, no IOR was found in adult chimpanzees, in which latencies to the ipsilateral target were shorter than to the contralateral target in the double cue task. These results suggest differences in the developmental course of spatial attention between humans and chimpanzees.

Key words : development (発達), chimpanzee (チンパンジー), spatial attention (空間的注意), inhibition of return (復帰抑制), latency (反応潜時)

問 題

誰かが何かを見ていると、その人は視線の先に注意に向けていると解釈されることが多い。しかし、視線とは独立な「注意」があることもまた事実である。例えばサッカー選手は、視線を正面に向けてあたかも前方に蹴りだす振りをしながら、側方の選手の動きに注意を向けてボールを左右に蹴ることによって、敵を出し抜いて攻撃をする。選手が側方に向けた注意は外から観察することができないため、敵を出し抜くことができるのである。このような外から見えない注意 (covert attention) が向けられた先は、視線を向けずとも視覚情報の処理速度が促進し (Eriksen & Hoffman,

1972; Hikosaka et al, 1993)、対象の識別が容易になされる (Bashinski & Bacharach, 1980; Nakayama & Mackenben, 1989) ことが明らかになっている。

ただし、外から見えない注意が外から見える運動と完全に独立であるとするのも早急である。Posner (1980) は、ある対象に向かって眼球運動をする際には、それに200msほど先立ってターゲットの位置に注意が移動し、その位置の視覚情報処理が促進することを証明している。また、サルの脳の活動を調べると、眼球運動と強く関連する領野の視覚応答性ニューロンは、その受容野の刺激が眼球運動のターゲットとなった場合にのみ、運動に先立って活動が高まりをみせる

*本研究は、平成16、17年度京都大学霊長類研究所の共同利用研究 (計画研究4-7, 3-4) として実施された。

(Wurtz & Goldberg, 1972)。先のサッカー選手の例でいえば、側方にボールを蹴り出す前に、そちらに注意を向けて情報を精査し、適切な運動を導いたということになるだろう。このように注意は、周囲にある対象に向かって働きかけるときに、その運動の方向を導く働きをもつのである。本研究は、注意の働きのこのような側面を特に「空間的注意」と呼び、比較認知発達の視点からその検討を行うものである。

復帰抑制

空間的注意のダイナミクスを示す現象の一つとして、「復帰抑制 (IOR: Inhibition of Return)」と呼ばれるものが知られている。復帰抑制とは、簡単に言うと「一度注意を向けたところに、再度注意が向くのを抑える働き」のことである。復帰抑制を初めて報告した Posner & Cohen (1984) の研究を紹介しよう。彼らが行ったのは視線を中央に固定したままの単純検出課題（固視点の右または左に呈示されるターゲットに気がついたら、なるべく速く速くボタンを押す）であり、ターゲットが呈示されてからボタンが押されるまでの反応潜時が計測された。その際、検出すべきターゲットの呈示に先立ち、さまざまなタイミングで、ターゲットと同じ位置か反対の位置にキュー（先行手がかり刺激）が与えられた。なお、キューの呈示位置はランダムで、キューはターゲットの呈示位置について何も予測しなかった。ところがこの実験の結果、キューとターゲットの間の時間間隔

(SOA: Stimulus Onset Asynchrony) が 0 ~ 200ms の範囲の場合には、キューと同側に現れたターゲットの検出反応潜時が反対側に現れた場合に比べて短い、SOA が 300~500ms の範囲では逆に、キューと同側に現れたときのほうが反応潜時が長くなることを見出されたのである (Fig. 1)。SOA が 200ms 以下のときの反応の促進は、注意がキューにひきつけられたために、その位置に現れたターゲットの検出が速まったと解釈できよう。一方、SOA が 300~500ms のときの反応の抑制はどのように解釈できるだろうか。Posner らはこれを、キューに向けられた注意は時間的推移によって自動的にそこから離れ、これが再度キュー位置に戻ることは抑制される傾向があるのだと解釈した。そして、このような注意の自動的な働きを復帰抑制と呼んだのである (Posner et al., 1985)。現在では、「復帰抑制は一度情報収集した場所を再度探索するのを防ぐことによって効率的に情報収集を行うための注意機能であるとして、適応上の意義が指摘されている (Klein, 1988; 2000)。

復帰抑制の個体発達

復帰抑制という注意機能の起源を探るため、さまざまな年齢の被験者を対象に復帰抑制の有無が検討されてきた。乳児を対象とした研究では、言語教示が不可能であるため、自発的な眼球運動の反応潜時を指標とした実験が行われている (Clohessy et al., 1991; Harman et al., 1992; Hood, 1993; Valenza et al., 1994)。例えば、Hood は、6ヶ月齢の乳児がモニターの中央に呈示された刺激を見たところで右か左に周辺キューを短時間呈示し、引き続きターゲットを呈示してしたところ、キューと同側に現れるターゲットに対する眼球運動の反応潜時が、反対側の場合に比べて長くなることを示した。乳児は短時間呈示のターゲットに対して目を動かすことはできない。復帰抑制という外から見えない注意機能が乳児期から働いていることが示唆された。また、Valenza et al. (1994) は生後1日の新生児に対して、被験者がモニター中央の刺激を見たところで、その右か左に周辺キューを 3 sec 呈示し、その後もう一度モニター中央に刺激を 2 sec 呈示し、その後ターゲットを今度は左右同時に呈示した。新生児はキューに対して目を動かす場合とそうで

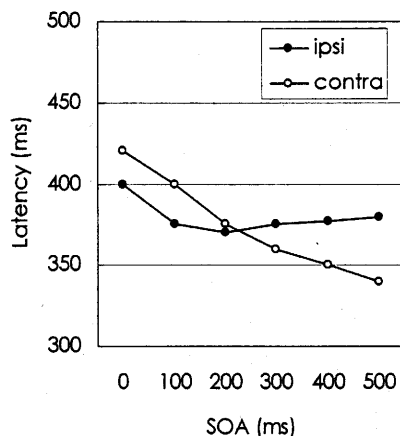


Figure 1. Posner(1984)の結果

キューの呈示後さまざまな時間間隔(SOA)で呈示されるターゲットの検出反応潜時が計測された。ターゲットの呈示位置がキューと同側の場合(ipsi)と反対側の場合(contra)を比較すると、短いSOAでは同側のターゲットの検出が速いが、長いSOAでは反対側のターゲットの検出が早い。後者の現象が「復帰抑制」と呼ばれている。

ない場合があったが、ターゲットに対しては、キューと反対側のものを選択して見る傾向が高く、また、その場合の眼球運動の反応潜時は同側のターゲットを選択した場合に比べて短かった。これらの結果は、復帰抑制が生後直後から機能していることを示しており、この機能の生得性や成人までの発達的な一貫性が指摘できる。

一方、幼児や児童を対象とする場合には言語指示が可能であるため、成人と同様の手続きを用いて、視点を固定させたボタン押し課題の実験が行われている。Brodeur & Enns (1997) の実験では6歳から10歳の子どもでは復帰抑制が見られず、復帰抑制機能の発達的な一貫性を疑問視している。また、MacPherson et al. (2003) では、5-10歳の子どもの場合、キューが周辺（右か左）に現れるだけの課題（シングル・キュー課題）では復帰抑制がみられないが、キューが周辺に現れた後に中央に再度現れる課題（ダブル・キュー課題）では復帰抑制がみられることを報告している。ダブル・キュー課題では、周辺キューに引き付けられた注意が、その後に見れる中央キューという外的な刺激によって（exogenously）引き離される。それに対し、シングル・キュー課題では内的なコントロールのみによって（endogenously）周辺キューから注意を離さなくてはならない（Briand et al., 2000; Pratt & Fischer, 2002）。MacPherson らは、子どもでは後者の力が弱いためにシングル・キューでは復帰抑制が観察されづらいことを指摘している。

比較認知・比較認知発達の視点

認知機能の起源を探るもう一つの視点は、系統発生的な変化、すなわちその認知能力がどのように進化してきたのかを明らかにすることである（友永・松沢, 2001）。この目的のために、ヒトと最も近縁な種であるチンパンジー（*Pan troglodytes*）の認知機能について、さまざまな角度から比較研究が行われてきている。ヒトとチンパンジーは共通の祖先をもち、約500万年前に分岐しそれぞれの進化を遂げてきた。比較認知研究は、この進化の過程で、それぞれの認知機能の特徴がどのように獲得され、あるいは失われてきたのかを明らかにする。例えば、チンパンジーの短期記憶容量は5であるとされ、ヒト記憶容量である 7 ± 2 とほぼ同じである（Kawai & Matsu-

zawa, 2001）。これはヒトとチンパンジーで同じ起源をもつ機能である可能性が高い。一方、チンパンジーの言語能力や抽象的思考力には限界がある。これらは、進化の過程でヒトがチンパンジーと分かれた後に獲得した認知機能と考えられる。逆に、物事の細部を瞬時に詳細に記憶する能力は、ヒトよりチンパンジーのほうが優れているようだ（松沢, 2006）。この能力はチンパンジーがヒトと分かれた後に獲得したのかもしれないが、ヒトがチンパンジーと分かれた後に失った能力である可能性も高い。つまり、ヒトは物事の細部まで記憶する能力を捨てて、むしろ物事を言語のような象徴的な記号で表象する道を選んできたのではないかと推測されるのである。ヒトとチンパンジーでは生息環境が異なり、それぞれの生息環境に適応すべく認知機能も進化を遂げてきた。チンパンジーを対象に知見を積み重ねることによって、ヒトのもつ認知機能の起源について理解が深まりつつある（Matsuzawa, 2003, for review）。

さらに、チンパンジーの個体発達をヒトの個体発達と比較する取り組みも行われ、比較認知発達アプローチと呼ばれている。身体運動機能、対象操作、道具使用などの対象認知について（竹下, 1999, for review）、ならびに、自己認知や模倣など社会的認知について（e.g. 井上, 1994; Myowa, 1996）、縦断的または横断的な研究がなされてきている。ここでもまた、ヒトとチンパンジーの発達の類似性や相違点が指摘され、発達の進化的基盤が明らかになりつつある。例えば、チンパンジーの社会的交渉を新生児期から観察し続けた友永（2005a）は、チンパンジーの乳児もヒトと同様、2ヶ月くらいになると他者と微笑み合う、見つめ合うなどの相互交渉を盛んに行うようになるが、ヒトの子どもで9ヶ月ごろに発達する3項関係の交渉がチンパンジーでは成立が遅れるか、ほとんど見られないことを報告している。3項関係とは自分-相手-モノの3者関係の認知のことで、相手の視線や指差しを手がかりに何かを見たり、自分の持っているものを相手に見せたりする行動として現れる。ヒトにおける3項関係認知は、個体発達の過程で環境との相互作用を通じて現れる遺伝プログラムとして、チンパンジーと分かれた後に進化したのだと推測できる。

空間的注意の比較認知

さて、空間的注意機能に関しては、友永らが主に成体チンパンジーを対象にさまざまな角度から検討を行ってきた。例えば、視野内の視覚探索において特定の特徴をもつ刺激に自動的に注意が引きつけられる現象（ポップアウト）を取り上げ、チンパンジーにおいてもヒトと類似した刺激に対してポップアウトが生じることを示している（Tomonaga, 1993）。また、視覚探索におけるターゲット検出反応潜時に与える先行キューの影響も調べた結果、キューの呈示位置がターゲットと一致する確率が高い場合には、一致した場合の反応の促進と不一致の場合の抑制の効果が報告されている（Tomonaga, 1997）。近年では、キューとして視線などの社会的な刺激を与えても、視線の向きとターゲットの位置が一致した場合に促進効果が得られることが示された（友永, 2005b）。チンパンジーが、確率についての知識や他者の視線方向などの情報に基づいて、自在に注意をコントロールする能力をもつことを示している。

一方、チンパンジーの空間的注意機能の発達に関するデータは極めて乏しく、先行研究はほとんど見当たらない。その理由の一つは、空間的注意機能の測定において一般的に用いられる反応潜時計測の実験手続きを適用可能な子どものチンパンジーが少なかったことが考えられる。幸いにも現在京都大学の霊長類研究所では、同研究所で生まれ、実の母親に育てられ、自発的に実験室実験に参加する幼児チンパンジーが育っている（田中・友永・松沢, 2002）。これを期にチンパンジー幼児の空間的注意機能についての知見を得ることは意義深い。数少ない研究の一つである友永（2005c）では、同研究所のチンパンジー幼児を対象に視線キューと周辺キューの影響を検討し、どちらのキューもターゲットに対する反応促進の効果を示したことを報告している。

しかし、チンパンジーにおける復帰抑制、およびその発達についてはまだ報告されておらず、上述のような先行研究を概観してもそれに対応するデータは見当たらない。復帰抑制は適応上の意義が高く、ヒトでは乳児期から生体まで広く観察される注意機能である。チンパンジーの復帰抑制機能についてデータを集め、その系統発生的起源を探る必要がある。

目的

本研究は、チンパンジーの復帰抑制の特徴とその発達について明らかにするために、幼児と成体を対象に、先行する周辺キューの位置ならびにキューとターゲットの呈示時間間隔（SOA）がターゲット検出反応潜時に与える影響を検討する。その際、周辺キューだけが現れる課題（シングル・キュー課題）と、周辺キューが現れた後に中央キューが現れる課題（ダブル・キュー課題）の両課題を用いて反応の計測を行い、中央キューによる注意の引き離しの効果についても同時に検討していく。

手続きは MacPherson et al. (2003) のヒトの子どもを対象とした実験をほぼ踏襲する。しかし、チンパンジー被験者の性質上、ヒトを対象とした先行研究と実験手続きに少し変更を加えた。MacPherson らの実験との大きな違いは、1) 先行研究では教示により中央に固定していた視線を本研究では固定しないこと、ならびに、2) ターゲットの検出はボタン押し反応ではなく押し続けていたボタンから手を離す反応を指標とすること、の2点である。なお、今回用いた実験手続き上でチンパンジーとヒトを直接比較するため、ヒト成人被験者に対しても全く同様の手続きで実験を行う。

方法

被験者

チンパンジー幼児2個体（Ayumu:オス、実験開始時5歳4ヶ月、Pal:メス、同開始時5歳1ヶ月）、チンパンジー成体2個体（Ai:メス、実験開始時29歳、Pan:メス、同開始時22歳）、ならびにヒト成体2人（ともに女性、TK:21歳、UK:28歳）が実験に参加した。チンパンジー4個体は、霊長類研究所内の環境エンリッチメントを施した野外放飼場および屋内居室にて、他の11個体とともに一群で暮らしており、これまでもさまざまな認知実験に参加してきている。ちなみに、AyumuとAi、PalとPanは親子であり、連れ添って実験室に来て、交代で課題を行った。なお、実験および飼育管理は京都大学霊長類研究所のサル類の飼育管理および使用に関する指針第2版（2002）にもとづき、霊長類研究所「霊長類を主とする実験動物の飼育と使用に関する委員会（サル委員会）」の承認を得て実施された。

装置

チンパンジー行動実験室 (1.8×1.8×2.0m) の壁面に設置されたタッチパネル付きモニター (TFT 液晶、15in.) と、その6 cm 下方の台の上に設置された点灯式スイッチを用いた (Fig. 2)。モニターの裏に万能給餌器を配置し、管を通じて点灯式スイッチの脇に給餌した。これらの装置はすべてパーソナルコンピュータを用いて制御した。また、モニター上方には、被験者の上半身が映るようにビデオカメラを設置した。

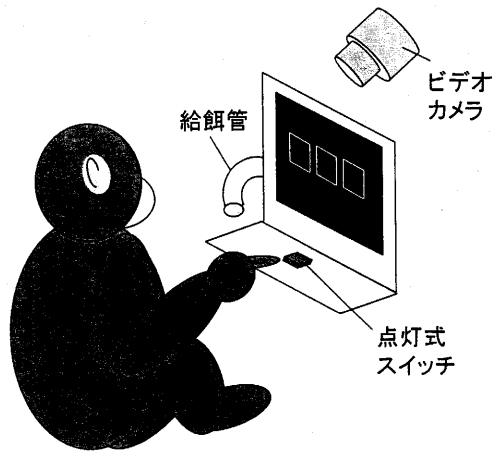


Figure 2. 実験装置と被験者の模式図

刺激

モニターは黒色背景とし、一辺6 cm の白線正方形3つを横に並べて表示し、それらの内部に刺激を呈示した。開始信号として一辺1.3cm の十字形を、周辺キューとして一辺6 cm の白線正方形のフラッシュを、中央キューとして直径1.5cm の白色円形を、そして、ターゲットとして一辺約5 cm の果物画像 (リンゴ、バナナなど) を用いた。また、強化刺激として1sec のチャイム音と食物報酬 (リンゴ片やレーズン) を用いた。

実験計画

被験者内3要因 (課題 [シングル・キュー/ダブル・キュー]、SOA [150/500/850ms]、位置 [同側/反対側])、被験者間1要因 (年齢 [チンパンジー幼児/チンパンジー成体/ヒト成体]) の4要因実験とした。

手続き

まず、モニター上に表示されている3つの正方

形のうち、中央の正方形内にビープ音とともに開始信号を呈示した。被験者がこれを合図にスイッチを押すと、押し続けて200ms後に右または左の正方形が周辺キューとして50msフラッシュした。シングル・キュー課題では、周辺キューの呈示後の時間間隔 (SOA, Stimulus Onset Asynchrony) が150、500、または800msのいずれかで、右または左の正方形にターゲットを呈示した (Fig. 3, 上)。ダブル・キュー課題ではこれに加え、周辺キュー呈示の75ms後に中央の正方形内に中央キューが50msフラッシュした (Fig. 3, 下)。両条件ともに、被験者がターゲ

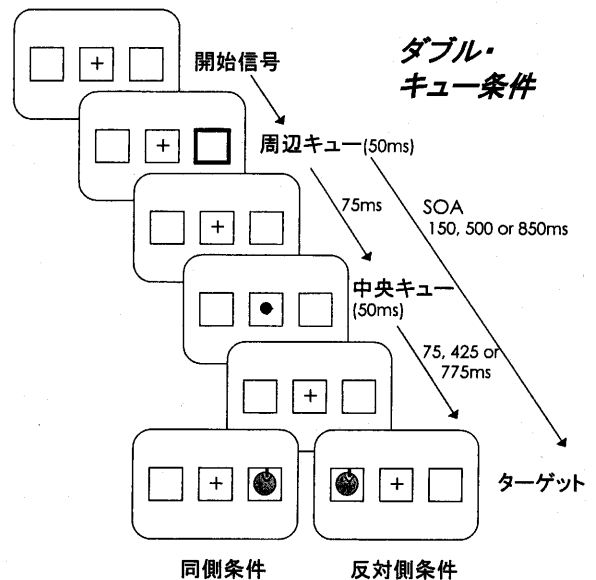
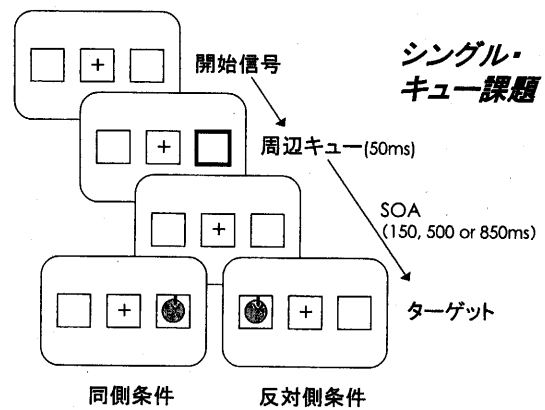


Figure 3. 実験手続きの模式図

被験者は開始信号を合図にスイッチを押すと、200ms後に周辺キューが現れ、引き続き、図に示すような一連の流れで刺激が呈示される。被験者はSOAの間もスイッチを押し続け、ターゲットを検出したらスイッチから手を離して画面のターゲットに触ると、強化刺激が与えられる。

ットを検出してこれに触ると、チャイム音とともに食物報酬が与えられた。なお、被験者にはターゲットが呈示されるまでスイッチを押し続けていることが求められており、ターゲットが現れる前にスイッチから手を離した場合には、その時点で試行を終了した。また、ターゲット呈示後3 sec以上経ってもターゲットに触らない場合にも、その時点で試行を終了した。

各実験条件はランダムイズして試行を繰り返した。またセッション中には、周辺キュー呈示後にターゲットを呈示しないキャッチ試行も挿入した。1セッションはエラー試行を含めて104試行とし、キャッチ試行はその間に8試行挿入した。チンパンジー幼児は6セッション、チンパンジー成体は4セッション、ヒト成体は1セッションを実施した。

なお、チンパンジー被験者のセッション中は、ビデオカメラを用いて手の動きと頭の動きを撮影し、これとモニターに出力されている刺激画面と合成した画像をビデオテープに記録した (Fig. 4)。課題への集中が困難なチンパンジー幼児についてのみ、実験終了後にビデオを再生し実験中の被験者の行動を確認し、試行中に頭がモニターの方を向いていない場合と、スイッチを押した手と反対の手でターゲットへの接触を行っている場合は、その試行を分析から除外した。ビデオ確認によって除外されたチンパンジー幼児の試行は47.0% (Ayumu:52.5%, Pal:41.5%) であった。

ターゲットが呈示されてから被験者がスイッチから手を離すまでの時間間隔を反応潜時として測

定した。この際、反応潜時が150ms未満の試行は、被験者がターゲットを検出する前に出現を予期して手を動かしたものとみなし、分析から除外した。これらの試行と、ターゲットが現れる前にスイッチから手を離したためにセッション中にエラーとなった試行を合わせてフライング試行とした。フライング試行の割合は、チンパンジー幼児0%、チンパンジー成体9.6% (Ai:7.6%, Pan:11.6%)、ヒト成体4.2% (TK:3.1%, UK:5.2%) であった。また、反応潜時が2 sec以上の試行については、課題以外の何らかの要因によって反応が遅れたものとみなし分析から除外した。これらの試行と、ターゲット呈示後3 sec以上経ってもターゲットに触らないためにセッション中にエラーとなった試行を合わせて、遅反応試行とした。遅反応試行の割合は、チンパンジー幼児0.5% (Ayumu:0%, Pal:0.9%)、チンパンジー成体0.1% (Ai:0.3%, Pan:0%)、ヒト成体0%であった。さらに、スイッチから手を離した後ターゲットに触るまでの時間間隔が2 sec以上のものも、手を動かし始めたときの目標がターゲットではない可能性があるため分析から除外した。このような試行の割合は、チンパンジー幼児3.2% (Ayumu:1.1%, Pal:4.9%)、チンパンジー成体1.2% (Ai:0%, Pan:2.4%)、ヒト成体0%であった。

以上のような手続きを経て、最終的にチンパンジー幼児平均283試行 (Ayumu:260試行、Pal:305試行)、チンパンジー成体平均333試行 (Ai:351試行、Pan:314試行)、ヒト平均91試行 (TK:92試行、UK:90試行) を分析の対象とした。

結果

チンパンジー幼児の反応潜時

2個体のチンパンジー幼児のシングル・キュー課題とダブル・キュー課題における平均反応潜時は、Ayumuがそれぞれ381ms (SD=76ms, median=370ms) と388ms (SD=75ms, median=389ms) であり、Palがそれぞれ467ms (SD=216ms, median=421ms) と430ms (SD=151ms, median=411ms) であり、課題間に大きな差はみられなかった。

各条件下の反応潜時のメディアンをFig. 5に示す。全般にSOAが長いほど反応潜時は短くなる傾向がみてとれる。しかし、シングル・キュー課



Figure 4. 記録されたビデオ画像の一例 (被験者:PAL)

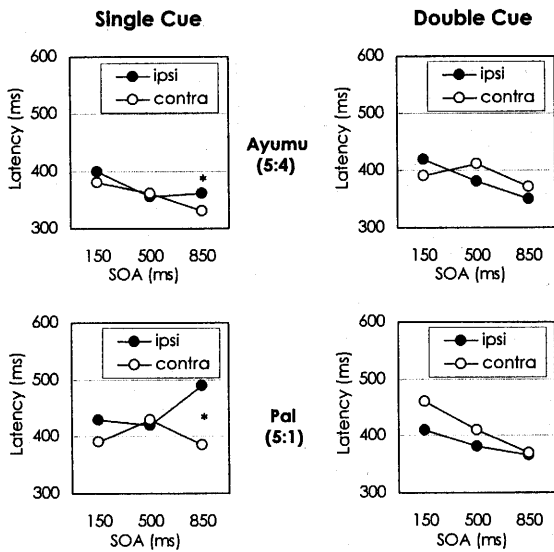


Figure 5. チンパンジー幼児2個体の各SOAにおける反応潜時のメディアン

左列がシングル・キュー課題、右列はダブル・キュー課題。上段はAyumu、下段はPalの結果。●は同側条件、○は反対側条件。*はメディアン検定で同側条件と反対側条件の反応潜時に有意な差が認められたことを示す。

題の同側条件では、SOA850msの試行においてに反応潜時が短くならないことが特徴的である。メディアン検定を用いて、各SOAの同側条件と反対側条件の反応潜時を比較したところ、両被験者ともSOA850msにおいて同側条件の反応潜時が反対側条件に比べて有意に長いことが認められた (Ayumu: $\chi^2(1)=4.46$, $p<.05$, Pal: $\chi^2(1)=3.92$, $p<.05$)。一方ダブル・キュー課題では、どちらの位置条件でもSOAが長いほど反応潜時は短くなる傾向が一貫しており、反応潜時に位置条件間の有意差は認められなかった。

チンパンジー成体の反応潜時

2個体のチンパンジー成体のシングル・キュー課題とダブル・キュー課題における平均反応潜時は、Aiがそれぞれ285ms (SD=112ms, median=270ms) と279ms (SD=108ms, median=260ms) であり、Panがそれぞれ352ms (SD=104ms, median=340ms) と332ms (SD=79ms, median=330ms) であった。

各条件下の反応潜時のメディアンをFig. 6に示す。Panでは幼児同様にSOAが長いほど反応潜時は短くなる傾向があったが、Aiでは反応潜時はSOA500msのときに最も短く、SOA850msでは多少長くなる傾向がみられる。両被験者とも一貫して、同側条件に比べて反対側条件のメディアン反

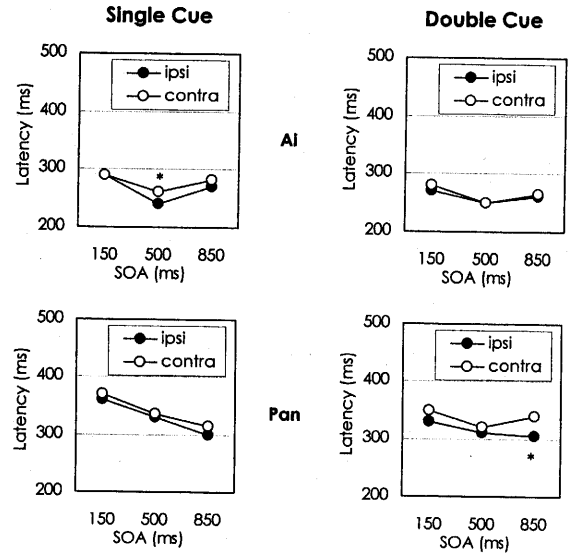


Figure 6. チンパンジー成体2個体の各SOAにおける反応潜時のメディアン

左列がシングル・キュー課題、右列はダブル・キュー課題。上段はAi、下段はPanの結果。●は同側条件、○は反対側条件。*はメディアン検定で同側条件と反対側条件の反応潜時に有意な差が認められたことを示す。

応潜時の値が高い傾向がみられた。メディアン検定の結果、Aiではシングル・キュー課題のSOA500msにおいて ($\chi^2(1)=5.06$, $p<.05$)、Panではダブル・キュー課題のSOA850msにおいて ($\chi^2(1)=4.09$, $p<.05$)、同側条件に比べて反対側条件の反応潜時が有意に長いことが示された。

ヒト成体の反応潜時

2名のヒト成体のシングル・キュー課題とダブル・キュー課題における平均反応潜時は、TKがそれぞれ335ms (SD=52ms, median=330ms) と312ms (SD=42ms, median=311ms) であり、UKがそれぞれ340ms (SD=46ms, median=331ms) と367ms (SD=88ms, median=346ms) であった。

それぞれの各条件下の反応潜時のメディアンをFig. 7に示す。シングル・キュー課題において、反対側条件ではSOAが長くなるにつれて反応潜時が短くなる傾向みられるが、同側条件ではSOA850msにおいて反応潜時が長くなるという、幼児チンパンジーと似た傾向がみられる。メディアン検定の結果、両被験者ともにSOA850msの同側条件の反応潜時が反対側条件に比べて有意に長いことが示された (TK: $\chi^2(1)=7.14$, $p<.05$, UK: $\chi^2(1)=4.67$, $p<.05$)。また、ダブル・キュー課題でも一貫して反対側条件に比べ同側条件の

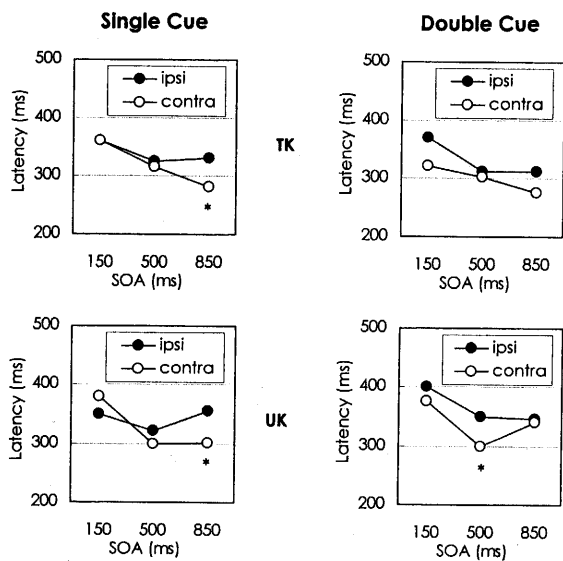


Figure 7. ヒト成体 2 名の各 SOA における反応潜時のメディアン

左列がシングルキュー課題、右列はダブルキュー課題。上段は被験者 TK、下段は被験者 UK の結果。●は同側条件、○は反対側条件。*はメディアン検定で同側条件と反対側条件の反応潜時に有意な差が認められたことを示す。

反応潜時のメディアンの値が高く、UK の SOA500ms においては有意差が認められた ($\chi^2(1)=9.00, p<.05$)。

考察

チンパンジー幼児の復帰抑制

チンパンジー幼児ではシングル・キュー課題において、反対側のターゲットより同側のターゲットに対する反応潜時が長くなる復帰抑制現象が観察された (Fig. 5)。つまり、一度周辺キューに向かった注意が時間の経過とともに自動的にキューから離れ、もとの位置へ戻ることを抑制する機能が働いたと解釈できる (Posner & Cohen, 1984; Posner et al., 1985)。また、SOA150ms と 500ms では同側条件と反対側条件に差がなく、SOA850ms の時点で差が現れたことから、この抑制機能がキューの呈示から 500~850ms 後に働き始めるものと考えられる。チンパンジー幼児の平均的な反応潜時は SOA が長くなるに従い短縮する傾向があり、これは、周辺キューの呈示後に少しずつ運動を始発するための準備が整うためであると考えられる。この点からいえば、SOA850ms のときに最も速い反応が期待される。にもかかわらず、シングル・キュー課題の同側

条件では、SOA850ms において反応潜時の増長傾向がみられた。これは、運動の準備ができていても、運動を方向付けるターゲットの処理が注意の復帰抑制の働きによって遅れるためと理解できる。

短い SOA で現れるターゲットに対しては、これまでヒトを対象とした研究の多くが、キューと同側のターゲットに対する反応の促進を報告してきた (e.g. Posner & Cohen, 1984; Klein, 1988)。また、同様の反応促進現象はチンパンジー幼児についても報告がなされている (友永, 2005c)。これは、周辺キューの呈示直後は注意がキューの位置に引き付けられたままなので、そこに現れるターゲットには素早く反応できるためと解釈されている。しかし本研究では、SOA150ms において同側と反対側のターゲットに対する反応潜時に差はなかった。今回の実験と類似の刺激を用いた MacPherson et al. (2003) の研究においても、短い SOA における反応促進が見られていないことから、結果の違いは周辺キューやターゲットの刺激の強さなどの実験手続きによるものと思われる。

ダブル・キュー課題では、復帰抑制を示す現象は観察されなかった。ヒトを対象とした実験から、ダブル・キュー条件では中央キューによって周辺キューから注意が引き離されるため、復帰抑制が働きやすいのではないかと予想されていた (Briand et al., 2000; Pratt & Fischer, 2002)。しかし、結果はこの予想に反するものであった。このことは、被験者の視線の位置と関連するかもしれない。幼児以上のヒトを対象とした先行研究では、言語指示によって眼球運動を統制することが可能であり、被験者は試行中に中央に視線を固定し続ける (Briand et al., 2000; MacPherson et al., 2003)。しかし、チンパンジーの実験ではこのような眼球運動の統制は不能であるため、中心キューの呈示の際にモニターの中央を見ていることよりも、他の位置を見ていることのほうが多い。この場合たとえモニターの中央であっても、被験者の視野にとっては周辺にすぎない。中心視と周辺視とは異なるシステムと機能を持つため、中央キューの効果は先行研究とは結果が異なった可能性がある。すなわち、中心視に与えられた中央キューは周辺から注意を引き離す効果をもつが、今回のように周辺視に与えられた中央キューは注

意を中央に引き付ける効果をもったのではないだろうか。だとすれば、注意の復帰抑制は中央キューの位置に対して働き、左右に現れるターゲットに対する注意の移動に差がなかったとしても不思議ではないだろう。

チンパンジー成体の復帰抑制

幼児と異なり、シングル・キューとダブル・キューのどちらの課題においても、長いSOAでの復帰抑制を示す結果は得られなかった (Fig. 6)。逆に、いくつかの条件では、長いSOAにもかかわらず同側のターゲットに対する反応潜時が反対側のターゲットに対してよりも有意に短かった。この結果は、もとのキューの位置への復帰の促進を示唆する。キュー位置への復帰の促進は、特殊な課題を行った場合にヒトでも観察されることがある (Tanaka & Shimojo, 1995)。ただし、本研究の結果と関連があるかどうかは現段階ではわからない。

チンパンジー成体と幼児の運動面の特性の違いが、結果と関連している可能性もある。成体は幼児に比べて、全体的な反応潜時が100msほど速く、運動系の成熟が伺われる。しかし、これは同時にフライング反応の増加を引き起こしているように見受けられる。キャッチ試行で手を離してしまうエラーの割合が、幼児では7%であったのに対し、成体では19%にのぼった。また、ターゲットが提示される前に反応してしまったり、反応潜時が150ms以下であったために予期によるフライング反応と同定された試行は、幼児では全く見られなかったが、成体では10%近い割合でみられた。そして、これらの多くはSOA850msの試行におけるものであった。成体がキューの呈示後1sec以上反応しないためには、運動系における特別な努力が必要なのかもしれない。SOA850msにおいてSOA500msのときより反応が遅い傾向がみられたことも、この解釈と一致する。このような運動系の問題が成体の復帰抑制現象を見出しづらくしている可能性もある。

同じ霊長類のサル (*Macaca mulatta*) の成体では、眼球運動課題において復帰抑制が報告されている (Dorris et al., 1999) ため、チンパンジー成体の復帰抑制の不在や復帰促進については、運動系の問題も含めて、今後様々な角度から慎重に議論していかなければいけないだろう。例えば、

本研究に参加したチンパンジー成体は2個体とも、これまでにさまざまな種類の認知課題を経験してきた。ヒトでは本実験の課題を繰り返すと、キューの効果は小さくなる傾向がみられることから、(personal observation)、チンパンジー成体被験者も経験によって、ターゲットと無関連なキューの情報の影響を受けないような何らかの学習がなされた可能性がある。このような経験の要因を除外するためには、経験の少ない個体のデータと比較してみる必要があるだろう。また、チンパンジー成体に対しては、幼児に行ったような記録ビデオによる試行中の行動チェックを行っていないため、同様の手続きで行うほうがよいだろう。あるいは、今回はスイッチから手を離す反応の潜時を指標としたが、実際にターゲットに触る反応の潜時と比較することによって、何かわかることがあるかもしれない。検証を続けていきたい。

ヒト成体の復帰抑制

ヒト成体の反応パターンは、チンパンジー成体よりもチンパンジー幼児に近かった (Fig. 7)。シングル・キュー課題では、SOA850msにおいて同側ターゲットへの反応潜時が短く、復帰抑制が示された。Posner & Cohen (1984) ではSOAが300~500msのときに復帰抑制が観察されていることと比べると、今回のデータでは復帰抑制の立ち上がりが遅いが、実験手続きの違いによるものであろう。ダブル・キュー課題では、1名の被験者のSOA500msにおいて復帰抑制が示された。シングル・キュー課題よりも短いSOAで復帰抑制が見られたことは、先行研究 (Briand et al., 2000; MacPherson et al., 2003) と一致し、中央キューの呈示によって復帰抑制が働き始めるタイミングが早くなったことを示唆する。ヒト成体では、なるべく速く反応するために視線がモニター中央付近に固定されていることが多かった。このことが、チンパンジーには見られなかった中央キューの効果を生じさせた可能性がある。しかし、SOA150msにおいて、注意がキューの位置に引き付けられている証拠が得られていないため、この中央キューの効果が注意の引き離しによるものなのかは疑問が残る。また、別の1名にはこのような効果が見られないので今後のさらなる検討を必要としよう。

まとめ

本研究の主要な発見は、チンパンジー幼児において復帰抑制が示されたことにある。チンパンジーがヒトと類同の空間的注意機能をもつことはこれまでも指摘されてきた (Tomonaga, 1993; 1997; 友永, 2005b; 2005c) が、本研究でもチンパンジー幼児の反応パターンはヒト成人の反応パターンと一致しており、復帰抑制についてもヒトと同様の機能をもつと言ってよいであろう。復帰抑制は、すでに探索した位置に注意が戻るのを抑制することによって、新しい情報を効率的に収集するための適応的な機能であると考えられている。ヒトもチンパンジーも幼児期以前からこの機能を使用している。この機能がヒトとチンパンジーで共通の起源を持つことが示唆された。

しかしながら、チンパンジー成体では復帰抑制の証拠は得られなかった。このことについては更なる検証が必要と考えられるが、もしチンパンジー成体に本当に復帰抑制がみられないとすれば、それもまた大変興味深い。幼児期にはヒトとチンパンジーが共通してもつ機能も、その後の発達過程で使用されたり、されなくなったりすることがあるのかもしれない。つまり、ヒトは成体になっても幼児と同様に復帰抑制機能を利用して、積極的に新奇なものの情報収集をし続ける。一方チンパンジーは、成体になるにしたがって復帰抑制機能を使用しなくなり、より彼らの適応上有利な別の機能を獲得していくのかもしれない。

引用文献

- Bashinski, H. S. & Bacharach, V. R. 1980 Enhancement of perceptual sensitivity as the result of selectively attending to spatial locations. *Perception & Psychophysics*, **28**, 241-248.
- Briand, K. A., Larrison, A. L., & Sereno, A. B. 2000 Inhibition of return in manual and saccadic response systems. *Perception and Psychophysics*, **62**, 1512-1524.
- Brodeur, D. A. & Enns, J. T. 1997 Covert visual orienting across the lifespan. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, **51**, 20-35.
- Clohesy, A. B., Posner, M. I., Rothbart, M. K., & Vecera, S. P. 1991 The development of inhibition of return in early infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **3**, 345-350.
- Dorris M. C., Taylor, T. L., Klein, R. M., & Munoz, D. P. 1999 Influence of previous visual stimulus or saccade on saccadic reaction times in monkey. *Journal of Neurophysiology*, **81**, 2429-2436.
- Eriksen, C. F. & Hoffman, J. E. 1972 Some characteristics of selective attention in visual perception determined by vocal reaction time. *Perception & Psychophysics*, **11**, 169-171.
- Harman, C., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. 1992 Spatial attention in 3-month-olds: Inhibition of return at 10° and 30° eccentricities. *Infant Behavior and Development*, **15**, 449.
- Hikosaka, O., Miyauchi, S., & Shimojo, S. 1993 Focal visual attention produces illusorytemporal order and motion sensation. *Vision Research*, **33**, 1219-1240.
- Hood, B. 1993 Inhibition of return produced by covert shifts of visual attention in 6-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, **16**, 245-254.
- 井上徳子 1994 チンパンジーにおける自己鏡映像認知—縦断的研究と横断的研究. *発達心理学研究*, **5**, 51-60.
- Kawai, N. & Matsuzawa, T. 2001 Numerical memory span in a chimpanzee. *Nature*. **403** (6765), 39-40.
- Klein, R. M. 1988 Inhibitory tagging system facilitates visual search. *Nature*, **334** (6181), 430-431
- Klein, R. M. 2000 Inhibition of return. *Trends in Cognitive Science*, **4**, 138-147.
- MacPherson A. C., Klein, R. M., & Moore, C. 2003 Inhibition of return in children and adolescents. *Journal of Experimental Child Psychology*, **85**, 337-351.
- Matsuzawa, T. 2003 The Ai project: historical and ecological contexts. *Animal Cognition*. **6**, 199-211.
- 松沢哲郎 2006 得たものと失ったもの. *発達*

- 105, 106-112.
- Myowa, M. 1996 Imitation of facial gestures by an infant chimpanzee. *Primates*, 37, 207-213.
- Nakayama, K. & Mackenben, M. 1989 Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, 29, 1631-1647.
- Posner, M. I. 1980 Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I. & Cohen, Y. 1984 Components of visual orienting. *Attention and Performance*, 10, 531-556.
- Posner, M. I., Rafal, R. D., Choate, L., & Vaughan, J. 1985 Inhibition of return: Neural Basis and function. *Cognitive Neuropsychology*, 2, 211-228.
- Pratt, J. & Fischer, M. H. 2002 Examining the role of the fixation cue in inhibition of return. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 56, 294-301.
- 竹下秀子 1999 心とことばの初期発達：霊長類の比較行動発達学 東京大学出版会
- 田中正之・友永雅己・松沢哲郎 2002 3組のチンパンジー母子の発達研究プロジェクトーチンパンジー発達研究への新たな試みー. *心理学評論*, 45, 296-308.
- Tanaka, Y. & Shimojo, S. 1995 Location vs feature: reaction time reveals dissociation between two visual functions. *Vision Research*, 36, 2125-2140.
- Tomonaga, M. 1993 A search for search asymmetry in chimpanzees (Pan troglodytes). *Perceptual and Motor Skills*, 76, 1287-1295.
- Tomonaga, M. 1997 Precuing the target location in visual searching by a chimpanzee (Pan troglodytes): Effects of precue validity. *Japanese Psychological Research*, 39, 200-211.
- 友永雅己 2005a 二つの革命ーチンパンジーの社会的認知の発達における二つの変化. *発達*, 100, 129-136.
- 友永雅己 2005b チンパンジーにおける視線手がかりによる注意のシフト 平成13-15年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2), 課題番号13610086) 研究成果報告書「社会的認知の知覚的基盤：比較認知からのアプローチ」、pp7-17.
- 友永雅己 2005c チンパンジー幼児における視線手がかりによる注意のシフト 平成13-15年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2), 課題番号13610086) 研究成果報告書「社会的認知の知覚的基盤：比較認知からのアプローチ」、pp24-29.
- 友永雅己・松沢哲郎 2001 認知システムの進化。(乾敏郎・安西祐一郎編 認知科学の新展開 1：認知発達と進化 所収) 岩波書店 pp.1-36.
- Valenza, E., Simion, F., & Umiltà, C. 1994 Inhibition of return in newborn infants. *Infant Behavior and Development*, 17, 293-302.
- Wurtz, R. & Goldberg, M. E. 1972 Activity of superior colliculus in behaving monkey. III. Cells discharging before eye movements. *Journal of Neurophysiology*, 35, 575-586.

(まつざわ まさこ 心理学科)

(たなか まさゆき 京都大学霊長類研究所)

(やまもと しんや 京都大学霊長類研究所)