

論文の内容の要旨

論文題目 Study on the neural mechanism for biological motion perception
(バイオロジカルモーション知覚の神経機序に関する研究)

氏名 平井真洋

背景

我々は他者の意図を言語以外の情報からも理解し、それに適応した行動を選択する。こうした能力に関連した神経機序を解明することはコミュニケーションなど高次認知機能のメカニズムを理解する上で非常に重要である。しかしながら、これまでの研究では個々の認知機能に対応する脳部位を空間的に同定することに焦点がおかれ、時間的側面については十分に検討されていないのが現状である。我々人間は他者行為・意図に関する情報を短時間で読み取ることが可能であることを考慮すれば、処理領域の特定だけでなく処理の時間特性、発達的な側面を調べることも重要である。

目的

そこで本研究では、他者行為の知覚処理に関する神経機序の時間的特性、さらには発達の側面を明らかにすることを目的とする。具体的には、他者行為が10数個の光点運動のみから知覚可能なバイオロジカルモーション (Johansson 1973, 以下, BM) 知覚現象に着目し、BM知覚時の脳活動をヒト成人およびヒト乳児を対象に時間解像度よく計測した。

計測方法

本研究では64電極脳波計測装置を用いることにより事象関連電位 (event-related potential, 以下ERP) 計測を行った。ERPは、外的要因および内的要因により誘発される脳活動電位を、頭皮上に装着された電極間の電位差を求めることによりミリ秒単位で計測する手法である。本研究で用いる脳波計測装置は頭皮上への電極の装着が容易であるため、成人のみならず乳児を対象としたERP計測が可能である (図1B)。

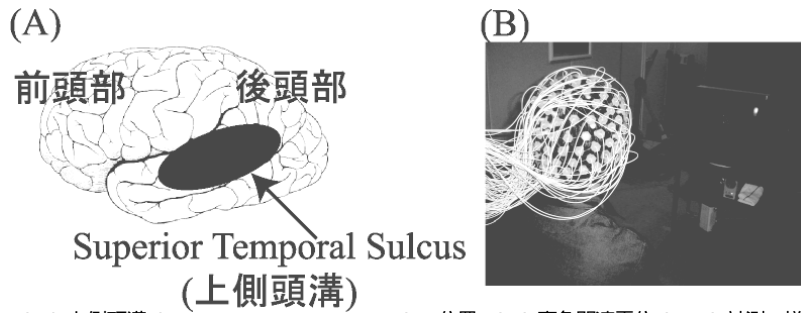


図1 (A) 上側頭溝 (Superior Temporal Sulcus, STS) の位置。(B) 事象関連電位 (ERP) 計測の様子。

実験

本論文では成人を対象とした4つの実験(実験1~4)および乳児を対象とした1つの実験(実験2)を行っている。

実験1ではBM知覚処理の時間特性について明らかにすることを目的としてERP計測を行った。成人12名を対象とし、BM刺激(図2A)および、コントロール刺激(図2B)を1000msec間ランダム順に250回ずつ提示した。コントロール刺激はBMと同じ光点数および速度ベクトルを持つが各光点の初期位置をランダム化したスクランブルモーション刺激(以下、SM)である。実験の結果、刺激提示後およそ200ms、240ms付近に二峰性の陰性成分(N200、N240)が両側後頭部電極(10-20法におけるT5/T6周辺電極)において見いだされた(図3A)。更に右半球では、それぞれの陰性成分の振幅に関して提示刺激間での違いが見られ、BM条件における振幅がSM条件よりも有意に増大した(図3A,B)。両刺激とも光点数および各光点運動の速度ベクトルは同一であるため、励起された振幅の違いは光点運動の空間構造の違いによるものと解釈でき、特にN200成分は先行研究により示されている一般的な運動視処理を反映し、N240はBM知覚処理を反映する成分であることが考察された。両陰性成分が確認されたT5/T6電極は上側頭溝(Superior Temporal Sulcus、以下STS、図1A)付近に位置しており、従来のBM知覚処理に関する脳機能イメージング研究の結果とも整合性が高い。以上に基づき、実験1ではBMの知覚処理は刺激提示後200msおよび240ms付近において二つの処理過程が関与するとの仮説を新たに示した。

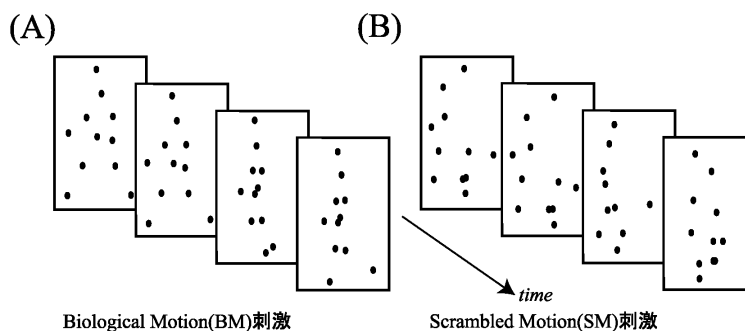


図2. 本研究で用いた提示刺激の最初の4フレーム。(A) バイオロジカルモーション (BM) 刺激。11個の光点運動のみからヒト歩行を知覚可能である。(B) スクランブルモーション (SM) 刺激。各光点の速度ベクトルは(A)と同一であるが初期位置をランダム化した刺激。ヒト歩行運動を知覚することには困難が伴う。

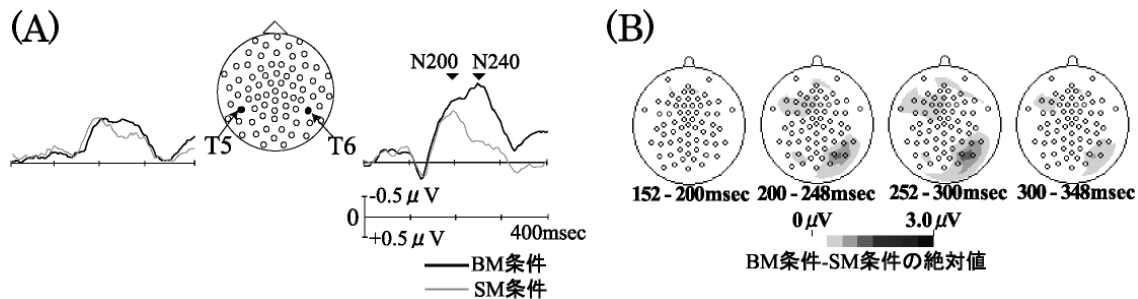


図3.(A) 実験1における全被験者のBM条件およびSM条件における平均ERP波形. 二峰性の陰性成分(N200, N240)を両側後頭部T5, T6電極周辺において検出した.(B) BM条件からSM条件の電位差マップ. 右後頭部200-300msにおいてBM条件で陰性方向の活動が強く見られた.

続く実験2では, 実験1より得られた陰性方向のERP成分を指標とし, BM知覚処理の発達の变化に関する神経機構を検討した. これまでにも, 乳児を対象としたBM刺激とSM刺激に関する弁別実験はいくつか存在するが, いずれも注視時間などの行動指標に基づくものであり, その神経機序については不明であった. 本実験は7名の8ヶ月児および14名の成人を対象に, 実験1で用いたBMおよびSM刺激を提示した際のERP計測を行った. 解析では, 実験1においてERP波形が提示刺激間で異なった200-300ms区間に注目し, 平均電位を求めた. その結果, 8ヶ月児の右半球におけるERP波形(図4A)は成人(図4C)のものと同様, 平均電位についても(図4B)成人と同様に(図4D)BM条件ではSM条件よりも有意に大きいことを新たに示した. 本実験により得られた結果は先行研究で得られている行動実験による結果と矛盾するものではないことから, BM知覚は生後8ヶ月の時点において成人と同様に処理されている可能性が支持された.

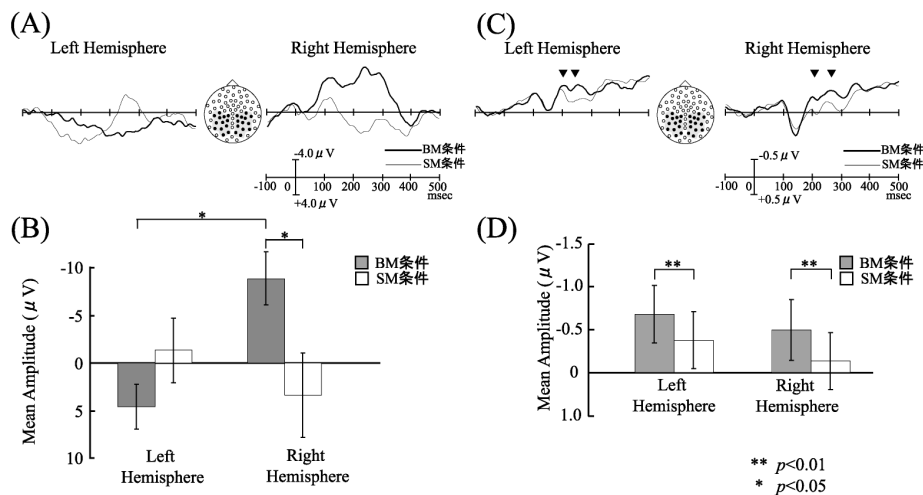


図4. 実験2における結果.(A) 8ヶ月群におけるBM条件およびSM条件における平均ERP波形.(B) 8ヶ月群におけるBM条件およびSM条件における200-300msの区間平均電位.(C) 成人におけるBM条件およびSM条件における平均ERP波形.(D) 成人におけるBM条件およびSM条件における200-300msの区間平均電位.

実験3では実験1により見出された二つの陰性成分がBMのどのような視覚属性により励起されたかを検討した. BM知覚は複数の光点運動情報からヒト歩行運動の形態を知覚可能な現象であることから, 局所的な光点運動(運動情報)と大域的なヒトの形態(形態情報)という2種類の情報を併せ持つことが考えられる. 本実験では運動情報と形態情報のどちらが実験1で見出された陰性方向の活動を促進させるかを検討するため, 各光点の時間的構造あるいは空間的構造をコントロールした刺激を用いた. 実験は14名の被験者を対象とし, 提示刺激は実験1で用いたBM刺激(図5Aa), SM刺激(図5Ab), BM刺激の各フレームの提示順序をスクランブルした刺激(図5Ac),

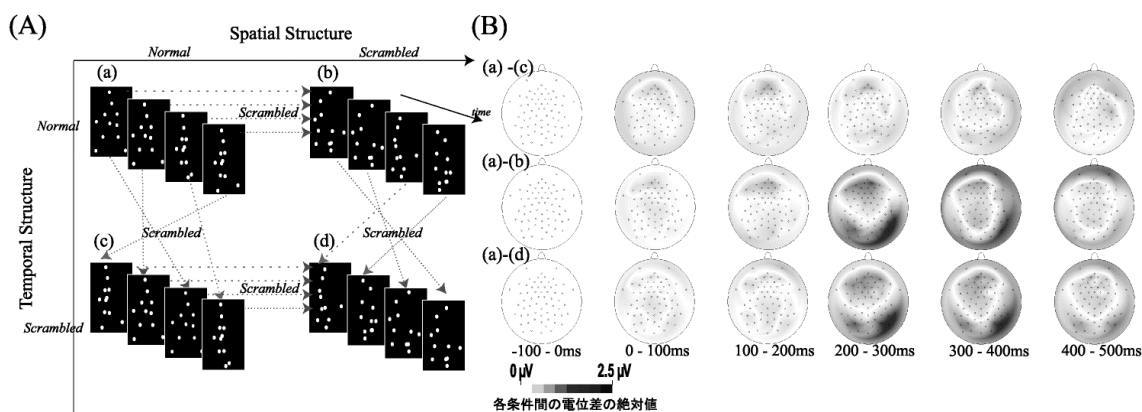


図5.(A)実験3で提示した4種類の刺激。(a):時空間構造がノーマルな刺激,(b):光点の空間構造をスクランブルしたもの,(c):(a)におけるフレームの提示順序をスクランブルしたもの,(d):光点の空間構造をスクランブルし,かつ各フレームの提示順序をスクランブルしたもの。(B)(a)刺激提示時の脳種から(b),(c)および(d)刺激提示時の脳活動の差分を求めた電位差マップ。空間構造がスクランブルされた場合((a)-(b)および(a)-(d))にのみ,電位差が後頭部領域において大きいことがわかる。

各光点の空間構造をスクランブルし,かつ各フレームの提示順序をスクランブルした刺激(図5Ad)の4種類であった。解析では,BM刺激を提示した際のERP波形を基準とし,他の条件との差分を検討した。その結果,空間構造をスクランブルした刺激が提示された場合にのみ後頭部における陰性方向の振幅が減少した(図5B)。これは局所的な光点の運動情報よりも大域的な形態情報が,後頭部領域(STS近傍の領域)の活動を促進させる可能性を示唆した。これは実験1で示した陰性方向の活動は光点の空間構造の処理を反映するとの仮説を支持する結果となった。

実験4ではBM知覚処理に関するアテンションの影響を検討した。これまで,BM知覚処理過程はアテンションによらず自動的な過程であるとの知見が示される一方,アテンションが関与する必要性を示唆する知見も示されている。しかしながらいずれの知見も行動指標に基づくものであり,その神経機序については明らかにされてこなかった。本実験では実験1により見出されたBM知覚処理過程を反映すると考えられる第二陰性成分(N240)を指標とし,その振幅がアテンションによりどのように変化するかを調べた。実験では,BM知覚処理にアテンションが関与するのであれば第二成分の振幅はアテンションによる影響を受けるが,関与しないのであれば変化が見られない,との作業仮説を立て検証した。提示刺激はBM刺激(図2A)およびSM刺激(図2B)についてそれぞれ4つの矩形と10点のランダムノイズを重ねた(図6A)ものを用いた。ただし,提示刺激は4つの矩形のうち一つが90度回転する場合と全く回転しない場合の2種類あった。被験者は運動種類弁別タスク(BM/SMを判別)と矩形方向弁別タスク(矩形方向変化/変化なしを判別)の2種類のタスクを課された。いずれの場合も提示される刺激は同一であり,アテンションを向ける対象のみが異なっていた。13名の被験者を対象に実験を行った結果,実験1と同様,刺激提示後200ms,330msに二峰性の陰性成分(N200,N330)をT5/T6周辺電極において見出した。特に後期成分に注目して解析を行った結果,アテンションを光点運動に向けた場合の第二成分の振幅はBM条件よりSM条件で小さくなったが,アテンションを矩形に向けた場合はBM条件とSM条件の振幅はほぼ同じとなった。つまり,第二成分はアテンションの影響を受けることが判明した。

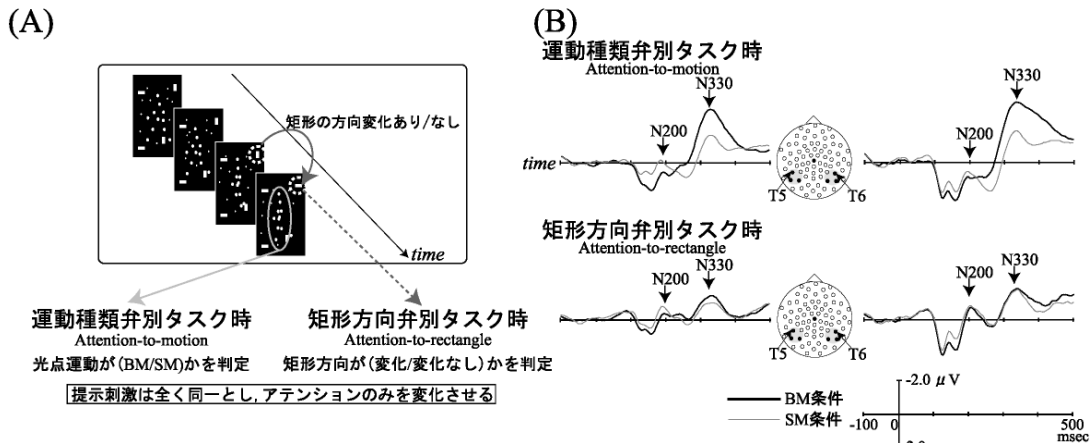


図6.(A)実験4で提示した刺激。運動種類弁別タスク時には提示刺激中の光点運動種類（BM/SM）を判別し、矩形方向弁別タスク時には矩形の方向変化の検出を行った。いずれのタスクにおいても提示刺激は同一であった。(B)全被験者のタスク別の平均ERP波形（後頭部領域のみを图示している）。

結論

本研究ではこれまで明らかにされてこなかったBM知覚時における脳活動の動的な側面に焦点をあて、ERP計測を行った。一連の実験の結果、BM知覚処理には少なくとも2つの処理過程が刺激提示後200-400ms以内に関与することが示唆された。特に刺激提示後200ms付近で見出された初期成分は光点の運動視処理を反映し、240~330ms付近で見出された後期成分はBM知覚処理過程、特に光点の空間的な構造処理を反映する可能性が示唆された。更に後期成分はアテンションによる振幅変調を受けることが示され、BM知覚処理過程にはアテンションが関与する可能性を神経活動のレベルより明らかにした。また、成人で発見したERP指標を乳児に適用することで、生後8ヶ月でBM知覚が成人と類似した様式で処理されていることを明らかにした。

本研究で得られた知見はヒト歩行運動知覚時の脳活動の動的側面を捉えたものであるが、これはヒト運動の一例に過ぎない。また、発達の側面をより詳細に検討するためには縦断研究などの手法を用いる必要が考えられる。今後は、より高次の情報（意図情報、感情情報など）を含むヒト運動がどのように処理されるか、また乳児の運動発達がBM知覚にどのように影響を与えるか、更には他の社会知覚処理に関連した成分と今回見出された成分がどのように関連するか、という多角的な観点から、他者行為知覚に関する脳の動的な処理過程について検討していきたい。