慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	バイオロジカルモーションの知覚に関わる脳内機構
Sub Title	Brain regions involved in perception of biological motion
Author	山本, 絵里子(Yamamoto, Eriko)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2009
Jtitle	哲學 No.121 (2009. 3) ,p.117- 131
JaLC DOI	
Abstract	Recognizing body movements of another person is a fundamental socio-cognitive skill which involves perceiving and adequately interpreting a number of cues from different sensory domains. One of them is visual motion. We can recognize various body movements such as instrumental and social actions when shown only a point-light display (biological motion). The term 'biological motion' refers to displays that consist of a number of small bright dots attached to the principal joints of a person's body (Johansson, 1973). In this article, we reviewed what brain regions are involved in visual processes of biological motion, based on recent neuroimaging studies.
Notes	特集：小嶋祥三君退職記念 投稿論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000121-0117

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

投稿論文

バイオロジカルモーションの知覚に関わる脳内機構

山　本　絵里子*

Brain Regions Involved in Perception of Biological Motion

Eriko Yamamoto

Recognizing body movements of another person is a fundamental socio-cognitive skill which involves perceiving and adequately interpreting a number of cues from different sensory domains. One of them is visual motion. We can recognize various body movements such as instrumental and social actions when shown only a point-light display (biological motion). The term 'biological motion' refers to displays that consist of a number of small bright dots attached to the principal joints of a person's body (Johansson, 1973). In this article, we reviewed what brain regions are involved in visual processes of biological motion, based on recent neuroimaging studies.

* 慶應義塾大学社会学研究科・日本学術振興会

ヒトは，日常生活の中で多くの動作を知覚し，動作から他者の意図や内的状態を理解する．また，求愛場面においても，ヒトは動作を一つの手がかりとして用いている(Brown, Cronk, Grochow, Jacobson, Liu, Popović, & Trivers, 2002)．このように，他者の動作の認知は，社会的認知能力の一つである．本論文では，バイオロジカルモーションを用いた脳機能画像研究から，動作の認知に関わる脳内機構について検討した．

1. バイオロジカルモーション

動作の認知に特有の脳賦活を検出するため，多くの先行研究はバイオロジカルモーションを刺激として用いている．バイオロジカルモーション（別名，ポイント・ライト・ウォーカー）とは，ヒトが動作を行うときの主要な関節（特に，肩，肘，手首，腰，膝，そして，足首），胸部，及び，頭部を，単一の光点に置き換えて作成された，関節に対応して運動する光点のまとまりである(Johansson, 1973)．観察者は，光点のまとまりが静止しているときには，ランダムに配置された光点として知覚するが，いざ光点のまとまりが動き始めたとき，即時に，ヒトの動作を知覚する(Johansson, 1973)．バイオロジカルモーションは，観察者に，多様な動作を知覚させるだけでなく(Dittrich, 1993)，動作に含まれる感情（嬉しさ，怒り，悲しみ，そして，嫌悪）(Atkinson, Dittrich, Gemmell, & Young, 2004; Dittrich, Troscianko, Lea, & Morgan, 1996; Troje, 2002a)，そして，性別(Troje, 2002b)を知覚させる．近年の脳機能研究においても，身体，筋肉，服，そして，背景などの複雑な要素が取り除かれたバイオロジカルモーションは，動作の認知に関与する脳部位を特定するための有用な刺激として用いられている．

2. バイオロジカルモーションを用いた脳機能研究

他者の動作の認知に関わる脳内機構はいかなるものか．現在，心理学に

おいても脳機能画像法を用いた認知機能の研究が盛んに行われている．脳における認知機能の局在と統合を観察することは，脳そして様々な認知機能を理解する上で，不可欠であると考えられている．脳機能画像法として，近赤外線分光法 (Near Infrared Spectrometer: NIRS), ポジトロン断層画像 (Positron Emission Tomography: PET), 磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) が使用されている．特に，Ogawa, Lee, Kay, & Tank (1990) による BOLD (blood oxygen level dependent) 効果の発見後，多くの機能的磁気共鳴画像 (functional MRI: fMRI) による脳機能研究は，BOLD 効果を基にしている．BOLD 効果とは神経活動に伴う局所脳血流の増加により，局所のデオキシヘモグロビンが相対的に減少するために起こる効果である．デオキシヘモグロビンは常磁性体であり，局所の静磁場を乱す要因であるが，神経活動による血流増加で相対的濃度が減少するため，見かけ上 MRI の信号が増加する．このように，内因性物質であるヘモグロビン (Hb) の酸化と還元化の変化に依存する MRI 信号強度変化が脳機能画像に用いられている (Ogawa et al., 1990)．本研究では，fMRI 研究を中心に，近年の脳機能研究の結果から，バイオロジカルモーションの知覚に関わる脳内機構について検討する．

3. バイオロジカルモーションの関連脳領域

先行研究は，実際の動作の観察時，及び，バイオロジカルモーションの観察時で，共通の部位が賦活することを示している．バイオロジカルモーションを用いた研究は，スクランブルモーション（バイオロジカルモーションにおける光点の空間的配置を崩した刺激）の観察時と比較して，バイオロジカルモーションの知覚時に，上側頭溝/上側頭回の賦活を報告している (Bonda, Petrides, Ostry, & Evans, 1996; Grèzes, Fonlupt, Bertenthal, Delon-Martin, Segebarth, & Decety, 2001; Grossman & Blake, 2001; Grossman, Donnell, Price, Pickens, Morgan, Neighbor, &

Blake, 2000; Vaina, Solomon, Chowdhury, Sinha, & Belliveau, 2001). 上側頭溝以外の部位では，MT 野 (Howard, Bramme, Wright, Woodruff, Bullmore, & Zeki, 1996)，紡錘状回顔領域 (Grossman & Blake, 2002) の視覚処理に関与する脳領域の関与が示唆されている．また，下頭頂葉 (Yamamoto, Someya, Troje, Ogawa, & Watanabe, in preparation), 前運動野 (Saygin, Wilson, Hagler, Bates, & Sereno, 2004), 小脳 (Bonda et al., 1996; Grèzes et al., 2001; Grossman et al., 2000), 舌状回 (Servos, Osu, Santi, & Kawato, 2002), 扁桃体 (Bonda et al., 1996) など，バイオロジカルモーションの知覚時には，複数の脳領域の賦活が報告されている．

MT 野

MT 野は運動刺激の弁別，躍動的な静止画像の知覚に関与しているだけでなく (Huk & Heeger, 2002; Kourtzi & Kanwisher, 2000; Orban, Dupont, De Bruyn, Vogels, Vandenberghe, & Mortelmans, 1995; Tootell, Reppas, Dale, Look, Sereno, Malach, Brady, & Rosen, 1995), MT 野内の特定領域が，バイオロジカルモーションの知覚に関与している可能性がある (Howard et al., 1996)．Howard et al. (1996) の研究では，被験者が，オプティカル・フロー刺激（被験者自身が前方に進んでいるように知覚させる複数の光点の運動刺激），コヒーレント運動刺激（視野内にランダムに呈示された複数の四角が一貫した方向に動く刺激），そして，バイオロジカルモーション刺激を観察している時の脳活動を測定した．これらの 3 種類の刺激に対する脳賦活を比較した結果，MT 領域内において，三つの刺激に対する賦活領域は完全に一致しなかった．三つの刺激に対する賦活領域の違いは，MT 領域内において，バイオロジカルモーションの運動処理に特有の機能部位が存在する可能性を示した．これらの結果，MT 野はバイオロジカルモーションの複雑な運動処理に関与している

可能性がある．

下側頭葉

下側頭葉は，顔や身体の静止画像の知覚や弁別に関与している可能性(Epstein & Kanwisher, 1998; Kanwisher, McDrmott, & Chun, 1997; Tanaka, 1993; Sung, Kamba, & Ogawa, 2007a, 2007b)，そして，バイオロジカルモーションにおける形態知覚に関与している可能性が報告されている(Grossman & Blake, 2002; Peelen, Wiggett, & Downing, 2006)．下側頭葉内には，顔に選択的に賦活を示す部位(Fusiform face area: FFA) (Kanwisher et al., 1997), 及び，身体に選択的に賦活を示す部位(Fusiform body area: FBA)の存在が報告されており(Peelen & Downing, 2005, 2007a; Schwarzlose, Baker, & Kanwisher, 2005)，バイオロジカルモーションの知覚におけるFBAの関与が報告されている(Peelen et al., 2006).

Grossman & Blake (2002)は，被験者がバイオロジカルモーションを観察しているときと，スクランブルモーションを観察しているときの脳賦活を比較し，バイオロジカルモーションの知覚時に，FFAに強い反応がみられることを報告した．また，Peelen et al. (2006)の研究では，バイオロジカルモーションの知覚時に，上側頭葉，FFA, FBAが賦活を示した．さらに，各部位のボクセルにおけるBOLD信号の反応パターンを分析(Peelen & Downing, 2007b)したところ，バイオロジカルモーションの知覚に関与するとされている上側頭葉の反応パターンと，FBAの反応パターンの相関は高いことが示された．この結果は，FBAが上側頭葉と連絡関係をもちながら，バイオロジカルモーションの処理に関与している可能性を示した．先行研究の結果から，下側頭葉は，バイオロジカルモーションの光点のまとまりからの身体などの形態の検出に関与している可能性がある．

上側頭葉

上側頭葉は光点群からの運動情報と形態情報の統合に関与している可能性がある．多くの先行研究は，上側頭葉がバイオロジカルモーションの知覚に関与している可能性を報告している (e.g. Bonda et al., 1996; Grèzes et al., 2001; Grossman & Blake, 2001; Saygin et al., 2004)．Grossman & Blake (2002) は，fMRI を用いて，スクランブルモーション，及び，3D モーションと比較して，バイオロジカルモーションの知覚時に，上側頭葉後部で BOLD 信号の有意な増加がみられたことを報告している．さらに，Grossman, Blake, & Kim (2004) は，ノイズの中からバイオロジカルモーションを検出する知覚学習を受けた後では，知覚学習を受ける前と比較して，バイオロジカルモーションの知覚時に，上側頭葉後部の BOLD 信号が増加することを報告した．また，山本・渡辺 (in preparation) は，NIRS を用いて，被験者が，スクランブルモーションを知覚しているときと比較して，バイオロジカルモーションを知覚しているときに，右上側頭葉後部から下頭頂葉領域が活動することを報告している（図1）．

先行研究は，ヒトの形態が知覚不可能なスクランブルモーションと比較して，ヒトの形態が知覚可能なバイオロジカルモーションに対して上側頭葉後部が賦活することから，上側頭葉領域は光点群の運動に基づく形態知覚に関与している可能性を報告している．しかし，Zacks, Swallow, Vettel, & McAvoy (2006) は，運動のまとまりが分節される時点に対応して，上側頭葉が賦活することを報告している．先行研究は，上側頭葉が，光点群からの運動情報と形態情報の統合に関与している可能性，さらに，バイオロジカルモーションにおける単一動作のような運動のまとまりの抽出（分節化）に関与している可能性を示した．

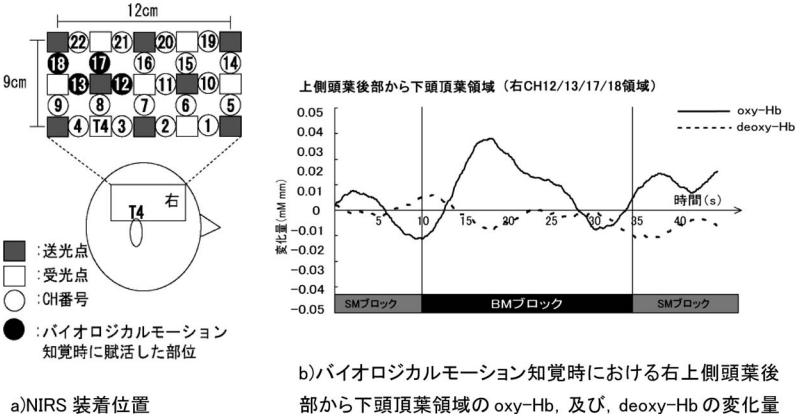

図 1.　バイオロジカルモーション知覚時における右上側頭葉後部から下頭頂葉領域の賦活（山本・渡辺 (in preparation) より引用）

右 CH12/13/17/18 領域は，上側頭葉後部，縁上回，及び，角回付近に位置し，スクランブルモーション知覚時と比較して，バイオロジカルモーション知覚時（BM ブロック）の間で賦活を示した ($F(1, 7) = 8.60$, $p < 0.05$)．SM ブロックはスクランブルモーション知覚時を表す．縦軸は変化量 (mM mm)，横軸は時間（秒）である．実線は oxy-Hb を表し，破線は deoxy-Hb を表している．4 つの CH において，被験者ごとに，BM ブロック前 10 秒から BM ブロック後 10 秒までの計測値を抜き出し，全被験者の移動平均 (5) 値を求めてグラフ化した．

下頭頂葉―下前頭葉（前運動野）

下頭頂葉は，自己の運動感覚と他者の動作を重ね合わせること，そして，その結果に基づいた自己と他者の動作の弁別に関与している可能性がある (Blakemore & Decety, 2001; Decety & Grèzes, 2006)．先行研究は，下頭頂葉が，他者の動作を知覚していときと，自分自身が動いているときの両条件で賦活すること報告している (Grèzes & Decety, 2001)．興味深いことに，Calvo-Merino, Glaser, Grèzes, Passingham, &d Haggard (2005) は，下頭頂葉が，被験者の運動感覚・運動表象に基づいて，異なる賦活を示すことを報告した．彼らは，被験者自身が実行可能な動作の観察時において，頭頂間溝に強い脳賦活を報告した (Calvo-Merino et

al., 2005). さらに，Grèzes, Frith, & Passingham (2004) の研究では，被験者は，ある行為者が箱を持ち上げる動作の動画刺激を観察し，行為者が予測した重さと一致した重さの箱を持ち上げているかどうか判断する課題を行った（重い箱だと予測して，重い箱を持ち上げているか，もしくは，軽い箱を持ち上げているか）．行為者には，被験者自身と他者の条件があった．課題中の脳活動を測定した結果，被験者が，他者の行動について判断したときと比較して，被験者自身の行動について判断したときに，左の頭頂間溝の活動に速い立ちあがりがみられた．この結果から，下頭頂葉は，自己の運動感覚と，観察している動作の運動感覚の照合処理に関与している可能性があげられる．

Yamamoto et al. (in preparation) は，バイオロジカルモーションの「感情状態動作」と「性別」に関する弁別課題遂行中の脳賦活の差をfMRI 測定により比較した．その結果，「性別弁別課題」と比較して「状態動作弁別課題」では左半球の頭頂葉と右半球の前頭領域に賦活がみられた（図 2）．これらの部位は自己の運動表象に関与している報告があることから，他者の状態動作の理解には，自己の運動表象・体性感覚が関与している可能性が示唆された．

また，他者の動作の理解には，前運動野も関与している可能性がある (Calvo-Merino et al., 2005). Calvo-Merino et al. (2005) は，被験者が，実行可能な動作を観察しているときと，実行不可能な動作を観察しているときに，脳活動を測定し，両条件の脳活動を比較した．その結果，前運動野は，実行可能な動作を観察している条件で，強い脳賦活を示した．さらに，前運動野において，他者の動作の観察時と比較して，自己の動作の観察時に，速い BOLD 信号の立ち上がりがみられた (Grèzes et al., 2004). この結果は，前運動野において，自己と他者の動作が異なる刺激として処理されている可能性を示す．上側頭溝より処理された情報が頭頂領域を介して前運動野に伝達される (Iacoboni, 2005) ことから，前運動野は，自

己と他者の動作の区別，及び動作の理解にかかわる一つの部位であると考えられる．

前運動野の賦活は，バイオロジカルモーションの知覚時においても，報告されている (Saygin et al., 2004)．Saygin et al. (2004) は，バイオロジカルモーションとスクランブルモーションの色判断課題時の脳活動を比較した結果，バイオロジカルモーションの知覚時に，左半球の下前頭溝と

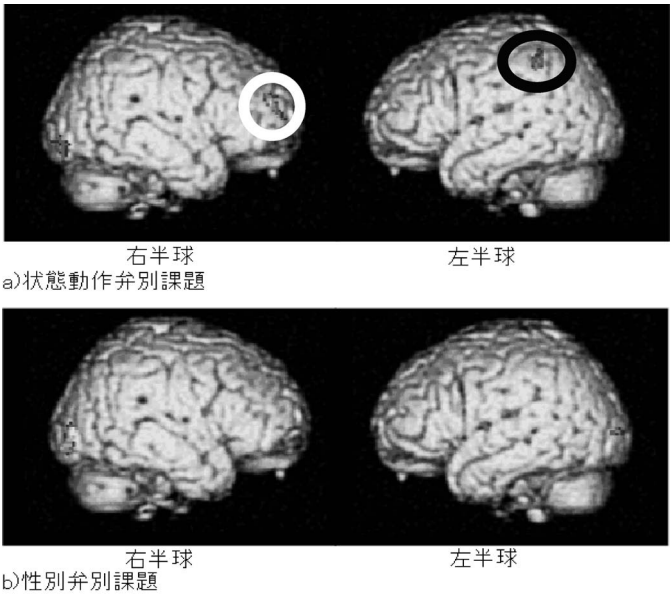

図2.「状態動作弁別課題」と「性別弁別課題」における脳賦活の差（Yamamoto et al., (in submitted) より引用）

統制条件では SM 刺激，テスト条件では BM 刺激が呈示された．実験で使用された 4 種類の BM 刺激は性別（男・女）もしくは感情状態動作（悲しい・楽しい）の 2 通りの分類が可能であった．被験者は状態動作を弁別する「状態動作弁別課題」と，性別を弁別する「性別弁別課題」を行い，この 2 条件における脳賦活（t 検定において $p < 0.001$ 以上のボクセル）を被験者内比較で検証した．両弁別課題の正答率と反応時間に有意差はなかったが，「性別弁別課題」と比較して「状態動作弁別課題」では左半球の頭頂葉（黒丸）と右半球の前頭領域（白丸）に賦活がみられた．

前運動野が賦活することを報告している．先行研究の結果から，前運動野と下頭頂葉は，バイオロジカルモーションにおいて，観察した動作と自己の運動感覚の照合，そして，観察した動作の理解に関与していると考えられる．

5. バイオロジカルモーション知覚の脳内機構

先行研究の結果から，バイオロジカルモーションの認知処理に，MT 野，下側頭葉，下頭頂葉，前運動野，特に，上側頭葉の関与が示された．Giese & Poggio (2003) は，上側頭溝/ 回内のモーションパターンニューロンが，視覚処理の腹側経路のニューロン（局所的な形態情報から全体の形態情報の処理）の入力，及び，視覚処理の背側経路のニューロン（局所的な運動情報から全体の運動情報の処理）の入力を，時間情報とともに統合し，モーションパターンを符号化（歩行，走る）していることを，ニューラルモデルから提唱した．そのモデルは，Peuskens, Vanrie, Verfaillie, & Orban (2005) の脳機能研究により支持されている．Peuskens et al. (2005) では，被験者が，バイオロジカルモーション刺激，ヒトの形態を維持したまま回転する刺激，まとまりある光点群の運動刺激，そして，一方向の運動刺激を知覚したときの脳活動を比較した．その結果，上側頭溝はバイオロジカルモーションの知覚時に賦活を示し，下側頭溝後部はヒトの形態を維持した回転する刺激の知覚時に賦活を示し，そして，MT 野はバイオロジカルモーション，及び，まとまりある光点群の運動刺激の知覚時に賦活を示した．これらの結果から，上側頭溝は，バイオロジカルモーションにおける運動する光点群からの動作知覚に，下側頭溝後部はヒトの形態知覚に，そして，MT は複雑な運動知覚に関与している可能性が示された．

fMRI を中心とした脳機能研究から，バイオロジカルモーションの光点群から知覚される形態は下側頭溝後部で，そして，光点群の運動は MT

野で処理される．また，刺激に含まれる形態と運動の情報は，上側頭溝において統合される可能性がある．さらに上側頭葉において統合された動作の視覚情報は，頭頂葉―前運動野間において，自己の運動表象・運動感覚とともに処理される．これらの脳部位が，バイオロジカルモーションの知覚，さらに動作の認知を担う脳内機構の一部であると考えられる．

6.　今後の展開

多くの脳機能画像研究では，バイオロジカルモーションの知覚で有意に BOLD 信号が増加する脳部位の特定に焦点を当て，バイオロジカルモーションに関与する可能性のある脳領域についての知見を報告していきた．しかし，バイオロジカルモーションの動作の違いによる脳賦活の差，複数の脳領域間の時間的関係性，及び，特定脳部位内の細分化された機能領野については明らかにされていない．Pair-wise-stimulus パラダイム（以下，PWS パラダイム）のような，刺激呈示の操作によって，時間的・空間的分解能を向上させたパラダイムを用いた研究が必要であると考える．PWS パラダイムは，二つの同じ刺激を，最適な刺激間間隔 (ISI) で連続して呈示すると，後続する刺激への BOLD 反応が抑制される現象を指標としている (Ogawa, Lee, Stepnoski, Chen, Zhu, & Ugurbil, 2000)．PWS パラダイムは，抑制現象を引き起こす最適 ISI から，複数の脳領域間の時間的関係性の検討，及び，抑制現象を引き起こす刺激要素の特定から，ある刺激に反応する特定脳部位内（BOLD 信号はある特定脳部位内の反応の総和）の，より細かな機能の検討を可能にする．今後，PWS パラダイムを用いて，実験を展開することで，よりダイナミックな，バイオロジカルモーションの知覚に関与する脳内機構を解明することができると考える．

謝　　辞

執筆者は，fMRI 実験における適切な助言，及び，ご指導をいただき，小嶋祥三教授（慶應義塾大学文学）に心より感謝いたします．また，本展望論文は，日本学術振興会特別研究員奨励費 (19・12006)，及び，慶應義塾大学グローバル COE（論理と感性の先端的教育拠点）の支援を受けた．

引用文献

Atkinson, A. P., Dittrich, W. H., Gemmell, A. J., & Young, A. W. (2004). Emotion perception from dynamic and static body expressions in point-light and full-light displays. *Perception*, **33**, 717–746.

Blakemore, S. J. & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience*, **2**, 561–567.

Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., & Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *Journal of Neuroscience*, **16**, 3737–3744.

Brown, W. M., Cronk, L., Grochow, K., Jacobson, A., Liu, C. K., Popović, Z. & Trivers, R. (2002). Dance reveals symmetry especially in young men. *Nature,* **438**, 1148–1150.

Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, **15**, 1243–1249.

Decety, J. & Grèzes, J. (2006). The power of simulation: Imagining one's own and other's behaviour. *Brain Research*, **1079**, 4–14.

Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, **22**, 15–22.

Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea, S. E., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, **25**, 727–738.

Epstein, R. & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature*, **391**, 598－601.

Giese, M. A. & Poggio, T. (2003). Neural mechanisms for the recognition of bi-

ological movements. *Nature Reviews Neuroscience*, **4**, 179–192.

Grèzes, J. & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human Brain Mapping*, **12**, 1–19.

Grèzes, J., Frith, C. D., & Passingham, R. E. (2004). Inferring false beliefs from the actions of oneself and others: an fMRI study. *Neuroimage*, **21**, 744–750.

Grèzes, J., Fonlupt, P., Bertenthal, B., Delon-Martin, C., Segebarth, C., & Decety, J. (2001). Does perception of biological motion rely on specific brain regions? *Neuroimage*, **13**, 775–785.

Grossman, E. D. & Blake, R. (2001). Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Research*, **41**, 1475–1482.

Grossman, E. D. & Blake, R. (2002). Brain Areas Active during Visual Perception of Biological Motion. *Neuron*, **35**, 1167–75.

Grossman, E. D., Blake, R., & Kim, C. Y. (2004). Learning to see biological motion: brain activity parallels behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **16**, 1669–1679.

Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., & Blake, R. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 711–720.

Howard, R. J., Brammer, M., Wright, I., Woodruff, P. W., Bullmore, E. T., & Zeki, S. (1996). A direct demonstration of functional specialization within motion-related visual and auditory cortex of the human brain. *Current Biology*, **6**, 1015–1019.

Huk, A. C. & Heeger, D. J. (2002). Pattern-motion responses in human visual cortex. *Nature Neuroscience*, **5**, 72–75.

Iacoboni, M. (2005). Neural mechanisms of imitation. *Current Opinion in Neurobiology*, **15**, 632–637.

Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, **14**, 201–211.

Kanwisher, N., McDrmott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, **17**, 4302－4311.

Kourtzi, Z. & Kanwisher, N. (2000) Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 48–

55.

Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., & Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **87**, 9868–9872.

Ogawa, S., Lee, T. M., Stepnoski, R., Chen, W., Zhu, X. H., & Ugurbil, K. (2000). An approach to probe some neural systems interaction by functional MRI at neural time scale down to milliseconds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **97**, 11026–11031.

Orban, G. A., Dupont, P., De Bruyn, B., Vogels, R., Vandenberghe, R., & Mortelmans, L. (1995). A motion area in human visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **92**, 993–997

Peelen, M. V. & Downing, P. E. (2005). Selectivity for the human body in the fusiform gyrus. *Journal of Neurophysiology*, **93**, 603–608.

Peelen, M. V. & Downing, P. E. (2007a). The neural basis of visual body perception. *Nature Reviews Neuroscience*, **8**, 636–648.

Peelen, M. V. & Downing, P. E. (2007b). Using multi-voxel pattern analysis of fMRI data to interpret overlapping functional activations. *Trends in Cognitive Science*, **11**, 4–5.

Peelen, M. V., Wiggett, A. J., & Downing, P. E. (2006). Patterns of fMRI activity dissociate overlapping functional brain areas that respond to biological motion. *Neuron*, **49**, 815–22.

Peuskens, H., Vanrie, J., Verfaillie, K., & Orban, G. A. (2005). Specificity of regions processing biological motion. *European Journal of Neuroscience*, **21**, 2864–2875.

Saygin, A. P., Wilson, S. M., Hagler, D. J. Jr., Bates, E., & Sereno, M. I. (2004). Point-light biological motion perception activates human premotor cortex. *Journal of Neuroscience*, **24**, 6181–6188.

Schwarzlose, R. F., Baker, C. I., & Kanwisher, N. (2005). Separate face and body selectivity on the fusiform gyrus. *Journal of Neuroscience*, **25**, 11055–11059.

Servos, P., Osu, R., Santi, A., & Kawato, M. (2002). The neural substrates of biological motion perception: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, **12**, 772–

782.

Sung, Y. W., Kamba, M., & Ogawa, S. (2007a). Progression of neuronal processing of visual objects. *Neuroreport*, **18**, 411–414.

Sung, Y. W., Kamba, M., & Ogawa, S. (2007b). An fMRI study of the functional distinction of neuronal circuits at the sites on ventral visual stream coactivated by visual stimuli of different objects. *Experimental Brain Research*, **181**, 657–663.

Tanaka, K. (1993). Neuronal mechanisms of object recognition. *Science*, **262**, 685－688.

Tootell, R. B., Reppas, J. B., Dale, A. M., Look, R. B., Sereno, M. I., Malach, R., Brady, T. J., & Rosen, B. R. (1995). Visual motion aftereffect in human cortical area MT revealed by functional magnetic resonance imaging. *Nature*, **375**, 139–141.

Troje, N. F. (2002a). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, **2**, 371–387.

Troje N. F. (2002b). The little difference: Fourier based gender classification from biological motion. In: *Dynamic Perception*, R. P. Würtz and M. Lappe (eds.), Aka Press, Berlin, pp. 115–120.

Vaina, L. M., Solomon, J., Chowdhury, S., Sinha, P., & Belliveau, J. W. (2001). Functional neuroanatomy of biological motion perception in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* **98**, 11656–11661.

Yamamoto, E., Someya, Y., Troje, N. F., Ogawa, S., & Watanabe, S. (in preparation). Differential activations between internal-state discrimination and gender discrimination from biological motion: a fMRI study.

山本絵里子・渡辺茂 (in preparation). バイオロジカルモーション知覚に関与する脳部位の検討：NIRS 研究.

Zacks, J. M., Swallow, K. M., Vettel, J. M., & McAvoy, M. P. (2006). Visual motion and the neural correlates of event perception. *Brain Research*, **1076**, 150–162.