

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01614

研究課題名（和文）適切な脳内ネットワークの切り替えを促す身体活動の効果

研究課題名（英文）The effect of physical activity on the switching function of the brain network

研究代表者

小谷 泰則（Kotani, Yasunori）

東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・助教

研究者番号：40240759

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：近年の脳研究により、「顕著性ネットワーク」と呼ばれる神経ネットワークが人間の「安静状態」と「活動状態」を切り替える役割をしていることが分かってきている。そこで本研究では、運動経験の有無によって顕著性ネットワークの働きに差があるのかを検討し、顕著性ネットワークから脳の他の領域への連結に、運動経験の長さ（年数）が影響を与えるか否かを明らかにすることを目的としてfMRIおよび脳波の実験を行った。実験の結果、運動経験の年数は顕著性ネットワークに直接影響を与えることはないものの、学習や運動に大きく関連する尾状核が顕著性ネットワークの影響を受ける際に、運動経験の長さが修飾的に関与することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動が人間の脳活動に影響を与えるという研究報告は多い。しかしながら、社会的には運動は血圧低下などの身体の健康増進に役に立つということは広く認識されているものの、脳の機能といった心の健康にも効果があることについては、広く社会に認知されているとは言いがたい。

本研究の成果である運動が脳活動、特に学習や自発運動と関係のある尾状核という脳領域に影響を与えているという事は、子供達の認知的発達から高齢者の認知症予防まで、運動が体の健康のみならず、心の健康にも重要である事を示している。このような結果は、運動の普及活動に科学的なエビデンスを与えるという社会的な意義があるものと思われる。

研究成果の概要（英文）：Recent neuroimaging studies revealed that the salience network in the human brain switches between the active state and the resting state of the brain. The present study aimed to elucidate the effect of physical activity on the switching function of the salience network. We conducted fMRI experiments and the EEG (electroencephalography) experiments to investigate if the sport experience (years of experience in the sport) would affect the activity of the salience network. Analyses of fMRI revealed that the sport experience affected the connectivity from the right anterior insula to the right caudate nucleus. This result suggests that sport experience could affect the connectivity of the brain networks.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：スポーツ心理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間の心に関する研究は、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 機能的磁気共鳴画像法) と呼ばれる装置のおかげで 1990 年代以降飛躍的に進歩した。この fMRI 装置は人間の脳活動を実際に「見える化」することができ、この fMRI ののおかげで脳のどこが人間の心の働きと関係しているかを明らかにすることができるようになった。fMRI の研究数は 2000 年以降飛躍的に増加し、研究のテーマは「脳のどこが活動するか」という研究から「脳の領域がお互いにどのように連携しながら活動するか」という脳のネットワークに関する研究テーマにシフトするようになってきた。その結果、脳の中には比較的大きな規模のネットワークが 3 つあり、その 3 つのネットワークの関係性によって、うつ症状を示したり、幻覚や幻聴という統合失調症の症状を示したりするのではないかという「トリプルネットワーク理論」が提唱されるようになった (Menon, 2011)。

3 つのネットワークとは、「デフォルトモードネットワーク (default mode network)」、「中央実行ネットワーク (central executive network)」、「顕著性ネットワーク (salience network)」のことを意味する。デフォルトモードネットワークは、人間が安静状態の時、すなわち「ボーッとしているとき」に活動するネットワークである。そのため、自分のことや他の人のこと、過去や未来のことをあれこれ夢想 (mental wondering) しているときに脳のデフォルトモードネットワークが活動すると言われている。

安静状態の脳ネットワークがあれば当然のことながら、何かに集中しているときに機能する脳のネットワークも存在する。細かく見ると視覚や聴覚、さらには筋を動かすための運動ネットワークなど様々なネットワークが存在する。このような特異的なネットワークの他に、より大きな規模のネットワークとして「中央実行ネットワーク (central executive network)」と呼ばれるネットワークが存在する (Seeley, et al., 2007; Sridharan, Levitin, & Menon, 2008)。中央実行ネットワークは、短期記憶と関連する前頭部分の脳領域や、注意と関連する頭頂部分の脳領域を中心とした脳領域から構成されている。短期記憶や注意は外界からの情報に注意を向け必要な情報を処理するために重要な機能であり、与えられた課題を集中してこなすためには、この中央実行ネットワークの活動が必要となる。

さらにもうひとつの大規模なネットワークとして、顕著性ネットワーク (salience network) と呼ばれるネットワークが存在する (Seeley, et al., 2007)。「顕著」とは英語で salient を意味し、重要で意味があり他と比べて目立った情報、すなわち「顕著」な情報を処理するネットワークであるとされている。この顕著性ネットワークが心と体をつなぐ非常に重要な働きをしていることが近年の研究結果から分かってきている。特に重要とされているのが、この顕著性ネットワークで中心的な役割を担っている島皮質 (とうひしつ) と呼ばれる脳領域である。島皮質は、体幹部分に迷路のように走っている迷走神経とよばれる神経を経由して身体からの情報を得ていると言われている (Craig, 2002)。送られてきた身体からの情報は島皮質の中でも右脳にある島皮質の前方の部分 (右前部島皮質) に送られ、そこで身体の状態を「意識」に変えると言われている (Critchley, 2005)。

これまで述べたように大規模なネットワークという観点で脳を見ると、(1)ボーとした安静状態に活動するデフォルトモードネットワーク、(2)課題を実行するためや集中した状態の時に活動する中央実行ネットワーク、さらに(3)意味のある重要な情報や身体からの情報を検知する顕著性ネットワークが存在することが分かってきた。さらに近年では、この 3 つのネットワークの関係性によって人間の心の状態が変化するという考え、すなわち「トリプルネットワーク理論」が提唱されるようになってきた (Menon, 2011)。例えば、過度にデフォルトモードネットワークの活動が優位な状態になると「うつ症状」のような状態になり、逆に過度に中央実行ネットワークが優位に活動する場合には、幻聴や幻視が発生するような統合失調症状態になるのではないかというモデルが提唱されている (Menon, 2011)。

このトリプルネットワーク理論において特に重要なことは、デフォルトモードネットワークと中央実行ネットワークとを切り替える役目をしているのが、体からの情報を意識化させる顕著性ネットワークであるということである (Bressler & Menon, 2010)。この顕著性ネットワークが知覚された外界からの刺激の重要性、さらには身体から得られた情報によって、2 つのネットワークの切り替え、すなわちアクティブな状態とデフォルト状態の切り替えを行っていると考えられる。さらに興味深いことに、この重要な役割をなす顕著性ネットワークには、情動と関係する扁桃体、さらには報酬と関係する腹側被蓋野とよばれる脳領域が含まれている。このことは、顕著性ネットワークが体の状態をモニターし、デフォルト状態と活動状態との切り替えを行い、さらには喜怒哀楽といった「情動」や「やる気」などにも大きな影響を与える可能性があることを意味している。

このような「体の状態をモニターしそれを意識化させる」という機能と「集中と安静を切り替えている」という 2 つの機能が顕著性ネットワークにあることを考えると、運動経験の差により脳の顕著性ネットワークの働きに差がある可能性が考えられる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、運動経験の有無によって顕著性ネットワークの働きに差があるのかを検討し、顕著性ネットワークから脳の他の領域 (活動状態時に賦活する実行系ネットワーク、安静状

態時に賦活するデフォルトモードネットワーク、その他の脳領域)への働きかけ(切り替え)に運動経験の有無が影響を与えるか否かを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

顕著性ネットワークによる切り替え機能に運動経験の差異が見られるか、特に、顕著性ネットワークの中でも身体からの情報を受け取る機能と切り替え機能に注目した。実験課題として遅延フィードバック・タイミング課題を用いた。この課題では、被験者に指定された秒数が経過したらボタンを押すように指示し、そのボタン押しから3秒遅延させた後にボタン押しの正誤に関するフィードバック情報を与えた。我々の先行研究より、この実験パラダイムでは、3秒間という遅延時間の間は運動や刺激知覚などと関係する脳活動が低下する一方で、顕著性ネットワークの活動が増加することがわかっている。そのため、この遅延時間の脳活動を中心に検討することとした。

実験では、functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI: 機能的磁気共鳴画像法)を用いて、実験を行い、さらに同様の実験パラダイムを用いて、事象関連電位(event-related potential: ERP)と呼ばれる脳波の実験も行った。fMRI実験・脳波実験ともに、実験課題は上で述べた遅延フィードバック・タイミング課題を用いた。実験では、まずfMRI実験において脳の活動部位を同定した。活動部位には顕著性ネットワークとして重要な役割をなす島皮質と前部帯状皮質(ACC)の活動を確認できた。さらに脳波実験においては、脳波を頭皮上の64部位から測定し、fMRI実験の結果をもとに、fMRI脳波統合ダイポール解析(fMRI constrained source analysis)を用いてfMRIと脳波のデータを結合させ、各脳領域の活動電位(ソース電位)をミリ秒単位で算出した。分析では特に顕著性ネットワークにおいて中心的な役割をなしている島皮質と前部帯状皮質(ACC)を中心に分析を行った。さらに得られたfMRIのデータを用いてネットワーク解析を行い、運動経験との関連性を検討した。ネットワーク解析では、gPPI(Generalized Psychophysiological Interaction)解析と呼ばれる手法を用いて分析を行った。

4. 研究成果

分析の結果、ボタン押しの前には、運動関連脳領域の賦活を確認できた。また、フィードバック刺激前の遅延時間では顕著性ネットワークにおいて中心的な役割をなすといわれている島皮質の活動を確認できた。また、fMRI脳波統合ダイポール解析の結果、島皮質と前部帯状皮質は、他の領域よりも早いタイミングで賦活していることが明らかになった。運動経験に関する分析では、顕著性ネットワークの中心領域である左前島皮質に運動経験(年数)との弱い負の相関が観察されたが有意ではなかった。一方、運動経験により体積が変化するとされている尾状核の活動において、運動経験との有意な負の相関が観察された。尾状核は右前部島皮質とも高い正の相関が認められた。そのため、尾状核を従属変数、運動経験(年数)と右前部島皮質の活動を独立変数とした重回帰分析を行ったところ、統計学的に有意な重回帰モデルとなった。

尾状核は、脳の奥深くに位置し、運動や認知活動、記憶、学習、睡眠、情動、言語など様々な機能と関連する重要な脳領域である。そのため、この尾状核の活動の異常は、アルツハイマー病、パーキンソン病、ADHD、統合失調症などの様々な障害と関連することが知られている。明らかにされた重回帰モデルでは、この尾状核の活動に右前部島皮質は正の影響(促進)を与えることが示された。このことは、島皮質によってモニターされた身体の状態が、尾状核の活動に影響を与える可能性を示唆している。また、長年の運動経験は尾状核の活動を抑制する可能性が示された(負の偏回帰係数)。これは、長期間の運動が尾状核の過活動の防止など、抑制的な機能を与えている可能性を示唆している。

長期間の運動経験が脳の機能を変化させることは多くの研究によってすでに明らかにされている。本研究はこれらの結果を支持する結果となり、運動経験は、島皮質などのネットワークの切り替え中枢に直接的に影響を与えるのではなく、島皮質の投射先となる脳領域、特に様々な機能と関連する尾状核に影響を与えることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 小谷泰則	4. 巻 Vol. 68
2. 論文標題 動機づけを高める秘密 -脳の中の3つのネットワーク-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 244-248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小谷泰則	4. 巻 84
2. 論文標題 「予測」を調べると心と体の関係が見えてくる 予測から見た心と体の相互作用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 心理学ワールド	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Nobukiyo Yoshida, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue	4. 巻 6
2. 論文標題 Anticipation process of the human brain measured by stimulus-preceding negativity (SPN)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 7-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7600/jpfsm.6.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Yoshimi Ohgami, Yasunori Kotani, Nobukiyo Yoshida, Akira Kunimatsu, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 Neural substrates of early and late SPN before face, word and symbol stimuli
3. 学会等名 The 58th Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Nobukiyo Yoshida, Akira Kunimatsu, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 Different roles of left and right anterior insula in anticipation of behavioral information and reward information
3. 学会等名 The 58th Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小谷泰則
2. 発表標題 脳の島皮質からみた「あがり」の機能仮説 脳と末梢の相互作用に関する文献研究
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会 第45回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Nobukiyo Yoshida, Akira Kunimatsu, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 fMRI constrained source analysis on stimulus-preceding negativity before face, word and symbol
3. 学会等名 2018 Annual Meeting of the Organization of Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimi Ohgami, Yasunori Kotani, Nobukiyo Yoshida, Akira Kunimatsu, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 Functional dissociation of left and right anterior insula in anticipation
3. 学会等名 2018 Annual Meeting of the Organization of Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大上淑美,小谷泰則,吉田宣清,國松 聡,桐生 茂,井上 優介
2. 発表標題 fMRI制限ソース分析によるSPN前期成分と後期成分の発生源の同定
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小谷泰則,大上淑美,吉田宣清,國松 聡,桐生 茂,井上 優介
2. 発表標題 顕著性および行動適応に関する前部島皮質の機能的左右差
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小谷泰則
2. 発表標題 こころと身体をつなぐ脳内の3つのネットワーク
3. 学会等名 日本養生学会第 19 回大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Nobukiyo Yoshida, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 Components of Stimulus-preceding negativity prior to voice, beep, and rhythmic sound
3. 学会等名 The 57th Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshimi Ohgami, Yasunori Kotani, Nobukiyo Yoshida, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 The contents of auditory stimulus affect brain regions involved in anticipation: An fMRI study
3. 学会等名 The 57th Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Nobukiyo Yoshida, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 Hemispheric difference in anticipation process of voice, beep, and rhythmic sound,
3. 学会等名 2017 Annual Meeting of the Organization of Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshimi Ohgami, Yasunori Kotani, Nobukiyo Yoshida, Shigeru Kiryu, Yusuke Inoue
2. 発表標題 Anticipation process for voice is faster than anticipation process for rhythmic sound
3. 学会等名 2017 Annual Meeting of the Organization of Human Brain Mapping (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大上淑美, 小谷泰則, 吉田宜清, 桐生茂, 井上優介
2. 発表標題 聴覚刺激による刺激先行陰性電位 (SPN) の前期成分と後期成分
3. 学会等名 第35回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	大上 淑美 (Ohgami Yoshimi) (30456264)	東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・研究員 (12608)	