

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 31 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500724

研究課題名(和文) 運動が感情を育てる：運動経験の島皮質脳内ネットワークへの影響

研究課題名(英文) Effect of sport activities on brain network of insular cortex

研究代表者

小谷 泰則 (Kotani, Yasunori)

東京工業大学・社会理工学研究科・助教

研究者番号：40240759

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、脳イメージング技術の進歩により、脳内の島皮質と呼ばれる領域が「身体と感情」の統合に大きく関与していることがわかってきた。本研究では、脳イメージング技術を用いて運動経験が、感情と関連する島皮質脳内ネットワークにどのような影響を与えるかを検討することを目的とした。その結果、島皮質の中でも特に右の前方部分に存在する右前部島皮質の活動が、感情(快感情・不快感情)と相関を示すことを確認できた。また、島皮質が運動経験の有無と関連した活動をしめた。このことは、運動経験が脳活動に関与することを示していると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Recent studies identified that the insular cortex is a key brain region to unify peripheral information and emotional feelings. The present study aimed to reveal the effect of athletic experience on the brain network of insular cortex. We employed a delayed-feedback paradigm as an experimental task to evoke activity in the insular cortex and measured brain activations. As results, we could confirm the activation of the insular cortex, especially in the anterior part of the right insular cortex. The activity in the right anterior insular cortex showed correlation with emotional scores meaning that the region is related emotional processing. Furthermore, network analyses identified the brain regions that synchronized with the right anterior insular cortex. The analyses showed a significant effect of athletic experience on the insular cortex. The present results suggest that experiences of athletic activity could affect brain functions related to emotional processing.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：スポーツ心理学

1. 研究開始当初の背景

1990年代以降、機能的磁気共鳴映像法 (functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI) などの脳イメージング技術の進歩により、脳の活動を非侵襲的に (身体に大きな危険性を与えることなしに) 捉えることが可能になってきた。その結果、感情・情動といった心理的な反応に伴う脳の働きについても研究が進むようになってきており、例えば、身体の変化が感情に影響を与えるメカニズム、すなわち心と身体の関係についても明らかにされつつある。心理学では古典的な研究として「悲しいから泣くのか? 泣くから悲しいのか?」という命題が議論されているが、最近の fMRI の研究では、「泣く」という身体による反応が「悲しい」という心理的な反応を呼び起こしているのではないかといわれるようになってきている。このような身体と心との関係には、脳内の島皮質 (とうひしつ) と呼ばれる脳領域が大きく関与していることがわかっている。島皮質は、脳の外側溝と呼ばれる脳の側面に位置する溝の奥深くに隠れるように存在しており、「身体と感情」の統合に大きく関与していることが示されている。例えば、Craig (2002) は、末梢からの身体情報は、脳の左右両半球にある島皮質に情報が送られ、その後、右半球の右前部島皮質に転送されることによって感情が発生するとしている。

もし、身体の末梢からの情報が感情の惹起に影響を充てるのであれば、運動経験によって感情惹起のプロセスが影響を受ける可能性が考えられる。運動経験の長い被験者は末梢からの情報 (身体の気づき) がよい可能性もあり、島皮質の働きが運動経験の少ない被験者とは異なる可能性がある。

島皮質の活動については、被験者に対して何らかの運動反応課題を行わせ、運動反応の数秒後に反応の成否についてのフィードバック刺激 (結果の知識: knowledge of result) を与えるという遅延フィードバックパラダイムをとると島皮質の活動が高まることがわかっている (Kotani et al., 2009)。また脳波とその発生源を推定するダイポール解析を用いた研究においても、遅延フィードバック刺激の直前に SPN (stimulus-preceding negativity: 刺激先行陰性電位) と呼ばれる脳波が出現し、その発生源が島皮質であることが示されている (Böcker et al., 1994)。このようなことを考えると、遅延フィードバックパラダイムを用いることによって島皮質の活動を惹起させ、運動経験による違いを検討することが可能になるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、脳イメージング技術を用い運動経験が、感情と関連する島皮質脳内ネットワークにどのような影響を与えるかを検討することを目的とし、運動経験が脳の機能に影響を与えるのか否かを検討することを

目的とした。

実験ではまず、以下のことを目的とする。
(1) 遅延フィードバックパラダイムによって島皮質が活動するか確認する。

(2) 島皮質の活動が確認されたなら、島皮質の活動と同期する脳領域を確認する。

(3) 上記の実験及び分析にて確認された脳領域に対して運動経験が影響を与えるか確認する。

上記の (1) および (2) に対しては、正確な妥当性を検討するためにすでに先行研究において用いられている「時間評価課題」を用いて研究を行う。また、(2) に対しては応用性を高めるために、より現実の競技場面に近い、「テニスのサーブコース予測課題」を用いる。

3. 研究の方法

(1) 実験課題

実験課題は、遅延フィードバックパラダイムを用いた時間評価課題とした。また、運動経験の影響が反映されやすいように、テニスのサーブコース予測課題も遅延フィードバックパラダイムに該当するようパラダイムに修正を加えながら、実験課題として用いた。

時間評価課題

時間評価課題を用いた実験では、被験者はスクリーンに投影された指示刺激 (-、|、+) が消えた時点から 4 秒、6 秒、もしくは 8 秒が経過したと思ったならば右手人差し指でボタンを押すよう求められた。指示刺激が「-」の場合は 4 秒、「|」の場合は 6 秒、「+」の場合は 8 秒経過したと思ったならば、被験者は右手人差し指でボタンを押すよう指示された。ボタン押しから 3 秒後に時間評価が指定された秒数より早かったか (-)、指定された秒数であったか (|)、指定された秒数よりも遅かったか (+) という FB 刺激が与えられた。実験条件は以下の 2 つの条件を設けた。

・Feedback 条件: 時間評価を伴うボタン押しの 3 秒後に FB 刺激が呈示される条件

・NoFB 条件 (統制条件): FB 刺激が呈示されない条件

フィードバック刺激が与えられる条件と統制条件での脳活動を測定し、両者の差分を算出し、島皮質の活動が確認できるか検討を加えた。

テニスサーブ予測課題

さらに、運動経験の差異をより反映させやすくするために、テニスサーブの予測反応課題も実施した。この課題では、被験者はテニスサーブの動画を見て、ボールが被験者の右方向に来るか左方向に来るかを予測しボタン押しにて反応するように求められた。ボタン押しの数秒後に予測が正しかったかどうかについてフィードバック刺激を呈示するようにした。ただし、被験者のテニス経験が直

接パフォーマンスに反映されないように、サーブ映像の提示時間を操作し、実験課題の難易度をより難しくすることによって、テニス経験者・未経験者ともに正答率がほぼ 50% になるように調整した。課題では、テニスサーブの映像を操作し、映像からの手がかりとなる情報量を変化させ、「情報量・多」、「情報量・中」、「情報量・少」の 3 つの条件を設けた。

(2) 脳活動の測定

脳活動の測定については、時間評価課題には、fMRI 用いた測定と脳波を用いた別々の 2 つの実験を行った。テニスサーブ予測課題については、fMRI の実験のみを行った。

脳波の実験では、頭皮上 54 箇所から脳波を測定し(国際式 10-10 法) 脳波を加算平均することによって脳活動の時間的な変化を捉えることを目的とした。

また fMRI の測定では、フィードバック条件 > 統制条件の差分画像を算出し、島皮質の活動が遅延フィードバックパラダイムによって観察されるかを確認した。さらに、観察された島皮質と同期して活動する他の脳領域も特定し、島皮質と関連する脳ネットワークを同定した。

運動経験がどのように島皮質およびその関連領域に対して影響を与えるのかを検討するために、テニスサーブ予測課題中の島皮質およびその関連領域の活動と、運動群と非運動群の群間比較を行った。また、時間評価課題においては、島皮質の活動と被験者の内省報告(快-不快得点)との相関も調べた。

4. 研究成果

(1) 時間評価課題における結果

時間評価課題を用いて fMRI の実験を行ったところ、島皮質の活動を観察することができた。特に身体からの情報を最終的に感情の惹起に変換する役割に関与しているといわれている右前部島皮質の活動も同定することができた。さらに、前部帯状皮質(anterior cingulate cortex: ACC) の活動も同定することができた。右前部島皮質と前部帯状皮質は、腹側注意ネットワーク(ventral attention system)を構成するといわれており、顕著(salient)な刺激に対して注意を向けることから Salience Network と呼ばれている。右前部島皮質と前部帯状皮質の活動が同定されたことから、遅延フィードバックパラダイムによって腹側注意ネットワーク(もしくは Salience Network)の活動を惹起できたものと考えられる。

また、右前部島皮質の活動と同期して活動する脳領域を調べたところ、左中前頭回、中帯状皮質(MCC)、前部帯状皮質(ACC)の活動が右前部島皮質と同期して活動していることが示された。さらに右前部島皮質とともに Salience Network に属するといわれている前部帯状皮質(ACC)の活動と同期する脳

領域を調べたところ、左下後頭回、右上頭頂小葉、右中前頭回などの脳領域が前部帯状皮質の活動と同期していることが示された。

脳波の測定では、フィードバック刺激が提示される前に右前側頭部に陰性の電位が出現することが確認された。これは、情動価を持つ刺激の出現を予期した場合に観察できる刺激先行陰性電位(stimulus-preceding negativity: SPN)であると考えられる。SPN は、随伴性陰性変動(contingent negative variation: CNV)と同様に脳波基線の変動を示す緩電位(slow potential)であるが、CNV とは異なり、運動成分を含んでいないこと、また SPN の発生源が島皮質であるという報告もあることから(Böcker et al., 1994) SPN は島皮質の活動を一部反映しているものと考えられ、島皮質の経時的な活動変化を捉えるのに有効な電位であると考えられる。

この fMRI の結果と脳波の結果を利用して電流源推定(ダイポール解析)を行ったところ、右前部頭皮脂質の活動は左半球の島皮質の活動よりも時間的に先行して賦活することが明らかになった。

以上の結果より、遅延フィードバックパラダイムによって島皮質の中でも特に前部島皮質およびその活動を同期する脳領域の活動を惹起することが可能であることが確認された。また、島皮質の活動は右半球の島皮質の方が時間的に先行して賦活する可能性が指摘された。

(2) テニスサーブ予測課題における結果

遅延フィードバック課題が島皮質及び島皮質と同期する脳領域の活動を惹起することを確認した上で、テニスサーブ予測課題を用いて運動経験年数が島皮質の活動と関連するかについて検討を加えた。実験では、被験者の運動経験年数によって「運動群」と「非運動群」の 2 群に分け、脳活動に群間差が生じるかを検討した。

時間評価課題で検証したとおり、フィードバック刺激を付与することによって島皮質の活動を観察することができ、特に島皮質の活動は、予測が外れたとき(Error 試行の時)により大きな活動を示していた。さらに、島皮質の活動は、予測の結果がわかる前から活動しており、島皮質がパフォーマンスの「手応え」にも関係している可能性を示唆する結果となった。

運動経験の島皮質の活動に対する影響を調べたところ、非運動群は意思決定に必要な情報量が「中」から「多」に変化した場合に、島皮質の活動が増加することが示された。一方、運動群にはそのような影響は観察されなかった。その他の分析においても、非運動群が意思決定に必要な情報量によって島皮質の活動が左右されるのに対し、運動群は意思決定に必要な情報量変化しても島皮質の活動が一定である傾向にあった。

このことは、非運動群が環境からの情報に

よって島皮質の活動が変化し感情の惹起へとつながる傾向にあるのに対し、運動経験者は環境からの情報量の影響を受けにくく、感情の変化への影響が少なくなる傾向にあることを示唆しているものと思われる。また、これらの結果は右半球の前部島皮質において観察され、先行研究が示すとおり、右半球の注意や内的感覚への重要性を支持する結果となった。

運動の神経活動への影響は様々な効果が報告されているが、本研究においても運動経験者の方が、環境からの情報量の変化の影響を受けにくいことを示していた。非運動群は環境からの情報に敏感に反応することによって感情が惹起されるのに対し、運動群は環境からの情報に惑わされること少ない傾向にあった。両者の間にパフォーマンスの差がほぼ無いことを考えると、このことは、運動によって「動じない心」がはぐくまれることを示唆しており、運動が心理面への影響を与えることを示唆する結果となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Jun-ichiro Arai, Shigeru Kiryu and Yusuke Inoue, Motor and nonmotor component of event-brain potential in preparation of motor response, *Journal of Behavioral and Brain Science*, 査読有, 1, 234-241, 2011, DOI: 10.4236/jbbs.2011.14030

[学会発表](計 8 件)

Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Jun-ichiro Arai, Shigeru Kiryu, and Yusuke Inoue, Effect of unilateral stimulus presentation on neural systems of anterior insular cortex, 2013 Annual Meeting of the Organization of Human Brain Mapping, 2013, Abstract Book, Page 85; 2013 (June 16-20, 2013 in Seattle, USA at Washington State Convention Center)
Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Jun-ichiro Arai, Shigeru Kiryu and Yusuke Inoue, Activity in the insular cortex involved in anticipation of positive and negative feedback stimuli, 53rd Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research, *Psychophysiology*, 50, Supplement 1, S29, Firenze Fiera Congress & Exhibition Center, Florence, Italy, October 2-6, 2013.
小谷泰則, 大上淑美, 福原和伸, 島

本好平, 井田博史, 石井源信, 「失敗した手応えは成功した手応えよりも大きな脳活動を生じさせる」, *日本スポーツ心理学会第40回大会研究発表抄録集* p. 212-213, 2013 (日本体育大学・11月2-3日)

小谷泰則, 大上淑美, 新井潤一郎, 桐生茂, 井上優介, 「主観的情動と相関する右前部島皮質の活動」, 第31回日本生理心理学会大会(福井大学・福井・5月18日-19日) *生理心理学と精神生理学* 31-2, p. 139, 2013

Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Jun-ichiro Arai, Shigeru Kiryu and Yusuke Inoue, Neural systems of anterior insular cortex involved in anticipation of unilateral stimulus presentation, 52nd Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research, *Psychophysiology*, 49, Supplement 1, S41, New Orleans, USA, 2012 September 19, The Roosevelt New Orleans Hotel.

Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Jun-ichiro Arai, Shigeru Kiryu and Yusuke Inoue, Role of the right anterior insular cortex in anticipatory attention and emotion, 1st Congress of the Federation of Neuroscience Societies from Latin-America and the Caribbean, #3.3 Psychophysiology and the decline and fall of cold cognition, CD-Rom Abstract 3.3.3, 2012 (Mexico, Cancun, November 2-9, Gran Melia Cancun)

Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Jun-ichiro Arai, Shigeru Kiryu and Yusuke Inoue, Right anterior insular cortex modulates anticipatory attention network via anterior cingulate cortex, The 2012 International Neuropsychological Society Mid-Year Meeting/11th Nordic Meeting in Neuropsychology, Final Program with Abstracts, Page 18, 2012 (June 27-30, Oslo, Norway)

Yasunori Kotani, Yoshimi Ohgami, Tetsuji Tsukamoto, Shigeru Kiryu, and Yusuke Inoue, The Effect of Task Difficulty on Effective Connectivity of Right Anterior Insular Cortex, 17th Annual Meeting of the Organization of Human Brain Mapping, 2011, Abstract Book, Page 85; 2011 (June 26-30, 2011 in Québec City, Canada at the Centre des Congrès de Québec)

[図書](計 3 件)

小谷泰則、「やる気と脳科学(コラム , p39-40)」、西田保編著、「スポーツモチベーション」、大修館書店、2013、総ページ数：258p

小谷泰則、「スポーツにおける運動イメージと脳活動(第13章, p174-190)」、山崎勝男監修、「スポーツ精神生理学」、西村書店、2012、総ページ数：346p

小谷泰則、「感情の神経メカニズム(第7章 1-(2), p160-162)」、石井源信、楠本恭久、阿江美恵子編、「現場で生きるスポーツ心理学」、杏林書院、2012、総ページ数：248p

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小谷 泰則 (YASUNORI KOTANI)
東京工業大学・社会理工学研究科・助教
研究者番号：40240759

(2) 研究分担者

石井 源信 (ISHII MOTONOBU)
東京工業大学・名誉教授
研究者番号：20108202