

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650135

研究課題名(和文)精神集中の認知神経科学

研究課題名(英文)Cognitive neuroscience of mental concentration

研究代表者

齋木 潤 (Saiki, Jun)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授

研究者番号：60283470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：精神集中の神経基盤を明らかにするために、集中状態を実験的に検討できる課題の創出と、集中状態の一つである瞑想時の脳波測定実験を行った。視覚探索課題のうち難易度の変動が少ない特徴探索課題を用い、反応時間時系列を解析した結果、反応時間の変動が長期的な時間相関を持つことが分かった。瞑想時の脳波測定実験においても、脳波の長範囲時間相関を解析した結果、瞑想時には、時間相関の値が上昇するのではなく、時間相関の時間的変動がレスト時に比べてより安定的になることが分かった。

研究成果の概要(英文)：To understand the neural basis of mental concentration, we developed a behavior paradigm, and measured EEG during meditation, one type of flow state. We employed a feature search task, known to have relatively small variability in task difficulty across trials, and found that time series of reaction time data contains significant long-range temporal correlation. EEG data during meditation showed that instead of increasing long-range temporal correlation, temporal fluctuation of the correlation is reduced compared with the rest period, suggesting that meditation makes our internal state more stable.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：感覚・知覚・注意 精神集中 反応時間 瞑想 脳波 時間相関

1. 研究開始当初の背景

「集中できない」というのは多くの人が持つ悩みであり、学習や仕事の効率を下げる要因でもある。最近では、子供たちの集中力がない、キレやすいなどともいわれ社会問題でもある。精神集中を妨げるストレス、環境などの外的要因や、覚醒水準のような基本的な生理的要因については多くの研究が行われ、重要な成果を挙げてきた。しかし、精神集中にとって最も重要な心理的要因は未解明で、それゆえ多くの人々の悩みは解消されていない。精神集中の内的機序を解明するうえで最大の障壁は、それが高度に主観的で実験的な操作になじまないように見えることである。このため、フロー体験を含む精神集中の研究は現象記述的なアプローチに終始してきた。これらは多くの有用な知見をもたらしているが、その神経基盤を明らかにし、多くの問題に対する有効な対策を切り開くためには、実験的な手法による定量的なアプローチが不可欠である。

心理学、認知科学においては操作的定義により主観現象の定量化を行う。例えば、注意の認知科学研究では、外的に与えられる手がかりに対する反応の変化を注意の指標と定義して研究が発展した。換言すれば、外的に操作可能で、再現可能性の高い現象を「注意」として抽出したといえる。一方、精神集中の定量的アプローチにおいて操作的手法はなじまない。なぜなら、集中の基盤となる内的過程は通常、外的操作に対して再現可能なふるまいをしないからである。従って、本研究のチャレンジは、認知科学の典型的実験手法である操作的手法を用いずにいかにして精神集中の定量的手法を開発するかという点にある。

2. 研究の目的

「精神集中」は日常生活の様々な側面で重要であるが、その心理学的、神経科学的基盤は不明である。本研究では、高度の集中時に生じるとされる心的努力を伴わずに効率的に作業できる状態（フロー体験）に着目し、従来の現象記述を乗り越え、集中状態を定量的に分析する手法を確立することを目指す。具体的には、課題遂行時の行動、生理、主観指標の試行間変動を時系列データとして、その変動特性から「エフォートなき注意」という特徴を持つ集中状態を見出す。この手法を用いて、fMRI 実験、脳波測定実験を行い、精神集中に関与する脳領域を同定し、脳活動の時間特性、ネットワーク特性を明らかにする。「精神集中の科学」を確立することにより、社会の生産性や、集中の困難な障害を持つ人々のケアを向上する道を開くことを目指す。

3. 研究の方法

この問題に対して、本研究は、半構造化された実験を用いて、行動指標、生理指標、主

観指標の多変量間の相関関係を分析することにより精神集中を定量化することを試みる。実験心理学、認知科学においては、通常、一人の協力者に多数の実験試行を実施するが、試行間の成績の変動は、誤差変動とみなされる。例外は、学習や疲労効果であり、時系列に沿った単調な変動をその指標にとる。しかし、主観的にはそれ以外に誤差ではない時系列的な変動がありうると感じられる。同じ課題を繰り返していても、効率よくできる期間と努力してもうまくできない期間がある。こうした課題成績の個人内変動の中に精神集中にあたるものが含まれるだろう。そのため、まず課題成績を時系列とみなし、その変動を解析し、従来の学習や疲労、ランダムな変動を除いたのちに残る変動因に着目する。しかし、行動指標のみでは、これが集中を反映しているかは不明である。このため、行動実験による研究と並行して瞑想状態の脳波測定を行い、高い集中の状態と考えられる瞑想時の脳活動の特徴を抽出することを試みる。具体的な研究方法は以下のとおりである。

(1) 課題遂行と主観的集中度の関連：精神集中の主観的指標を探るため、当初計画に沿って、視覚探索課題の中でも試行間の課題難易度の変動が小さいことが知られている特徴探索課題を多数回行い、その反応時間の時系列的変動を調べる実験を予備実験として実施した。100 試行のブロックごとにブロックでの主観的集中度評定を行い、集中度評定と視覚探索の成績の関係を検討した。

(2) 反応時間の時系列解析：上記の視覚探索課題の反応時間データを時系列として解析し、時系列の時間相関構造を検討した。反応時間の誤差変動は多くの実験で時間的に独立ではなく、時間相関を持つことが知られ、さらに長期的な相関の存在も報告されている。反応時間の時間相関構造を調べる手法の一つに、反応時間時系列をフーリエ変換してパワースペクトラムを得て、周波数とパワーの間の関数関係を評価するものがある。反応時間データに時間相関が存在しない場合は、この関数はフラットになるが、時間相関があると $1/f^{\beta}$ の形のべき関数となることが知られている。

(3) 瞑想時の脳波測定：実験課題を用いて集中状態を観測するという方法と並行して、瞑想経験を持つ実験協力者を対象として、瞑想時の脳活動測定を実施する。瞑想状態は一種のフロー状態であると言われており、この時の脳の状態を明らかにすることは重要であると考えた。従来、瞑想時にはレスト状態に比べて脳波のアルファ波の振幅が増大するといった報告があるが、研究間でこれらの結果は必ずしも一貫性がなく、瞑想時の脳状態についてはまだ不明な点が多い。本研究では、特に脳波の長範囲時間相関 (long-range temporal correlation, LRTC) に着目した。

Vipassana 瞑想の訓練を受け、多くの経験を

持つ6名に実験に参加してもらった。瞑想経験は、数百時間から数万時間と多岐にわたる。脳波測定室に簡易畳と座布団を設置して、通常の瞑想の姿勢が取れるような状態で、閉眼で瞑想をしてもらった。3種類の瞑想を実施した。第1は、集中瞑想(FA条件)で、ある対象(例えば呼吸)に集中して瞑想する手法であった。第2は、オープンモニタリング瞑想(OM条件)で、注意をあるところに集中させることなく「なすがまま」の状態を取る瞑想手法であった。第3は慈悲の瞑想(LK条件)で、瞑想中に生きとし生けるものに対して慈悲の念を抱く瞑想手法であった。実験では、この順番に3つの瞑想セッションを15分ずつ実施し、セッション間には短い休憩を取った。また最初と最後は、瞑想を行わずに単に閉眼するレストのセッションを15分ずつ行った。脳波測定は、拡張10-20法に基づいて29か所に電極を装着し、両耳朶を基準電極として計測した。両眼の左右、左目の上下にEOG計測用の電極も装着した。

4. 研究成果

(1)課題遂行と主観的集中度の関連：ブロック毎の主観的集中度と正答率、反応時間の標準偏差の間に関連が見られた。具体的には、集中度評定が高いほど正答率が高く、反応時間の標準偏差が小さくなったが、反応時間の標準偏差については、誤答試行を除去すると関連は消失することから、正答率の効果の副作用である可能性が示唆された。全体として、反応時間の平均、分散などの要約統計量と主観的集中度の間の関連は弱く、別の解析手法の開発が望まれる。

(2)反応時間の時系列解析：(1)で得られたデータに対して実験全体(1500試行)の反応時間時系列の例を図1に示す。この時系列データをフーリエ変換し、周波数とパワーを両対数グラフで表したのが図2である。このデータが示すように、反応時間時系列は時間相関を持ち、その時間相関はかなり長期にわたる可能性が示された。

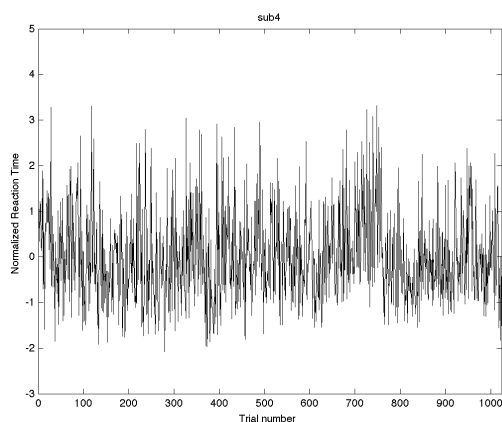


図1. 反応時間時系列の例

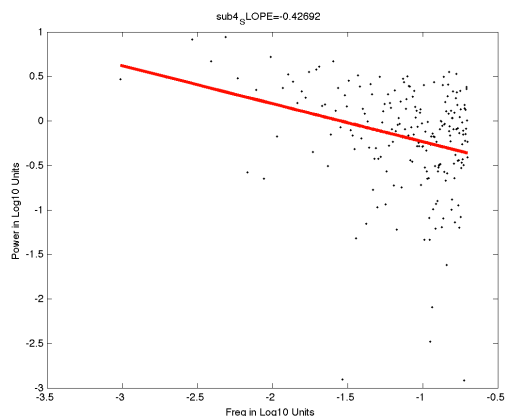


図2. 反応時間時系列の時間相関

(3)瞑想時の脳波測定：まず、先行研究でよく行われている脳波の周波数成分の瞑想条件による差異を検討した。図3は、ある協力者の5条件(レスト2回、FA,OM,LK条件)でのパワースペクトラムである。10hz近傍にアルファ波のピークが見られるが、その振幅はこの協力者に関して言えば、先行研究の報告とは逆にむしろレスト条件で高くなる傾向が見られた。しかし、この傾向は協力者間で一貫するものではなく、6名のデータを平均するとアルファ波を初めとして脳波の周波数成分の間に有意な差は認められなかった。

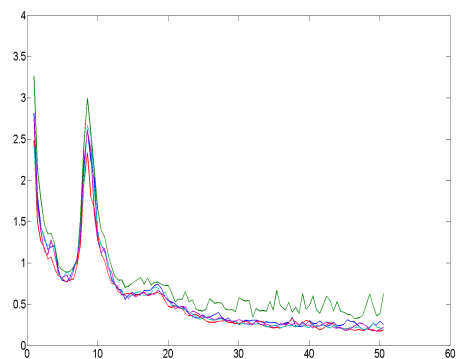


図3. 瞑想セッションごとのパワースペクトラムの例.

次に、LRTCの解析を行った。LRTCの計算手法はいくつかあるが、本研究では、detrended fluctuation analysis (DFA)という手法を用いた。この手法は、時系列信号が定常的ではない場合でも時間相関を精度よく推定できることが特徴で、脳波のLRTC解析を用いた研究においては、標準的な手法になりつつある。DFAによって推定される指標は通常0.5から1.0の間の値を取り、0.5は時間相関を持たない状態、値が1に近づくほど長期的な時間相関が強いことを示す。時間相関の強さは脳波の時系列信号がフラクタル的な自己

相似性を持つことを意味し、システムが強い相互作用を持つ状態であると考えられることができる。

図4にある協力者の LRTC 指標のトポグラフィを条件ごとに示した。全体に後頭・頭頂の電極において LRTC が高く、上段のレスト条件と比較すると OM, LK 条件において LRTC 指標の値が全般に上昇するのに対して、FA 上けんでは逆に低下していることがわかる。

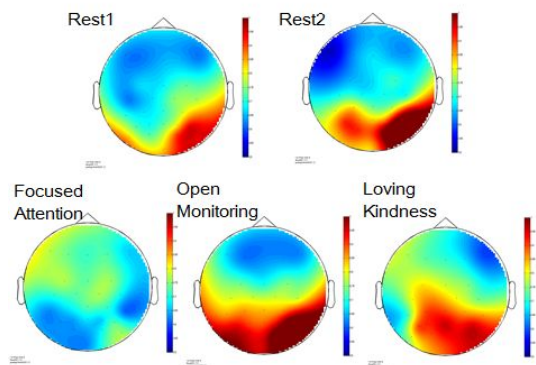


図4. 条件ごとの LRTC の指標のトポグラフィ

この結果は、OM, LK 瞑想条件においては、レスト時に比べて脳波の長範囲時間相関が高まり、システムとしてより相互作用の強い状態になっていると解釈できる。しかしながら、このパターンが協力者間で一貫しているかどうか評価すると、一貫性が見られないことが明らかになった。図5は前頭部中央の電極 (Fz) における LRTC 指標値の中央値を示したものであるが、条件間で有意な差は見られなかった。他の電極においても傾向は同様であった。

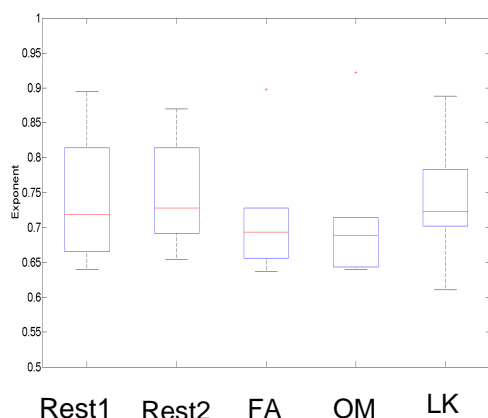


図5. 電極 Fz における LRTC 指標の中央値

この結果は、脳波の周波数成分の振幅と同様、LRTC に関して協力者間で一貫した条件間の差異は見出すことができなかったことを示している。

そこで、次に LRTC の時間変化に着目した

分析を行った。通常、LRTC 指標の推定においては、その値が定常であるという仮定を置くが、実際の脳活動においては、様々な要因によって時間相関が変化する可能性が考えられる。そこで、近年提案された時間的変動も含んだ LRTC の解析手法 (ATvDFA) を用いて LRTC の時間変化を検討した。図6に電極 Fz における ATvDFA を用いて推定した LRTC の時間変化の平均値を条件ごとにプロットした。5条件のうち、最初のレスト条件 (Rest1、青色の曲線) と、OM 条件 (水色の曲線) の間で変動係数が有意に異なることが示された。全般に、特に前頭の電極において、OM 条件においてレスト条件よりも LRTC 指標値の時間変動が小さくなる傾向が見られた。

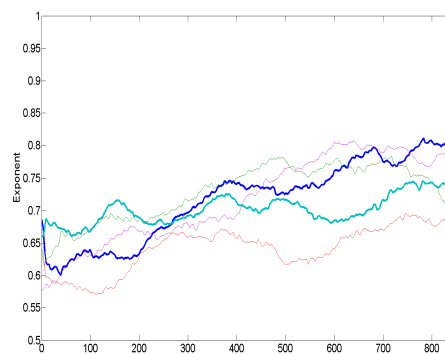


図6. 電極 Fz における LRTC の時間変化の推定値

当初は、瞑想をすることにより長範囲の時間相関が増加する、即ちより脳活動が相互作用的な状態に変化するという仮説を持って実験を始めたが、この仮説を支持する結果は得られなかった。条件間の LRTC 指標の値の差異は、協力者間で一貫性がなく、瞑想時に LRTC 指標が上昇するという傾向も示されなかった。一方、LRTC の時間変動を分析した結果、瞑想時、特に OM 瞑想時にレスト時に比べて LRTC の時間変動が小さくなることが明らかになった。このことは、瞑想による脳活動状態の変化は、脳活動がより相互作用的になるということではなく、ある相互作用状態を定常的に維持できる状態になるということであると解釈することができる。

(4) 高速シーン認識における遺伝子多型の効果: 当初計画以外の関連する研究成果として、シーン認識課題における遺伝子多型の効果を報告する。

神経伝達物質の機能と関連した遺伝子多型が様々な認知課題における行動指標と関連することが知られている。アセチルコリンのニコチン受容体の機能に関連することが知られている CHRNA4 遺伝子多型も従来様々な注意課題の成績と関連することが報告さ

れている。本研究では、CHRNA4 遺伝子多型が高速シーンカテゴリ認識課題の成績と関連するかどうかを検討した。自然画像を短時間呈示し、それが自然風景か人工物の風景かを判断する課題を行った(図7)。画像の処理時間を画像とマスク刺激の SOA によって操作し、13, 40, 67, 93ms の 4 条件を設定した。CHRNA4 遺伝子多型を各協力者について計測し、T アレル保持者(CT/TT 型)と非保持者(CC 型)の 2 群に分けてその成績を比較した。CT と TT を融合したのは、日本人の場合 TT 型の頻度が非常に低いためである。

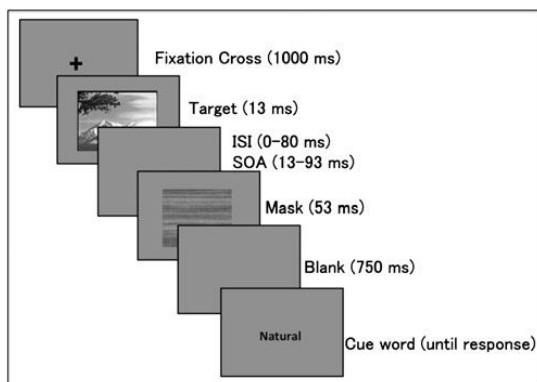


図7. シーンカテゴリ認識課題

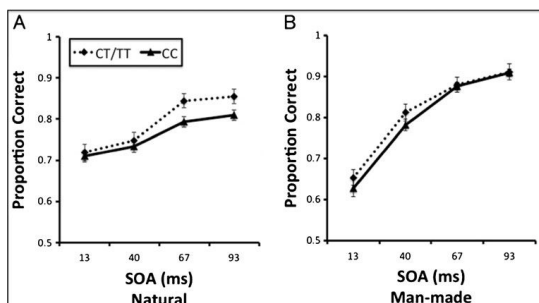


図8. CHRNA4 遺伝子多型とシーン認識成績

図8に示すように自然風景条件においてのみ SOA が長い条件において T アレル保持者のシーン認識成績が有意に高くなることが示された。この結果は、従来の CHRNA4 の注意機能への効果とは異なる側面を反映している可能性が高い。なぜなら、同じサンプルに対して典型的な注意課題である ANT 課題を実施したが、ANT 課題においては有意な多型の効果は見いだせず、ANT 課題とシーン課題の成績にも有意な相関がなかったからである。また、多型の効果が自然風景カテゴリにおいてのみ見られ、人工物カテゴリでは見られなかったことも一般的な選択的注意の効果として説明することは困難で、多型効果が刺激特性と関連していることを示している。

本研究は、精神集中の問題を直接扱ったものではないが、注意の問題は集中と密接に関連し、またアセチルコリンは、ノルエピネフリンと相互作用することによって集中状態、或いは覚醒水準のコントロールにも関与す

ると言われている。従って、アセチルコリンの機能に関連する遺伝子多型を用いて認知機能の個人差を検討する本研究は、将来的に精神集中の個人差研究へとつながっていく可能性がある。

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 6 件)

Banno, H., & Saiki, J. (2012). Calculation of the mean circle size does not circumvent the bottleneck of crowding. *Journal of Vision*, 12(11)13: 1-15. doi: 10.1167/12.11.13. 査読有

Ueda, Y., & Saiki, J. (2012). Characteristics of eye movements in 3 - D object learning: Comparison between within-modal and cross-modal object recognition. *Perception*, 41: 1289-1298. doi:10.1068/p7257. 査読有

Kondo, A., & Saiki, J. (2012). Feature-specific encoding flexibility in visual working memory. *PLoS ONE* 7(12): e50962. doi:10.1371/journal.pone.0050962. 査読有

Kikuno, Y., Matsunaga, T., & Saiki, J. (2013). Polymorphism in the CHRNA4 gene is associated with rapid scene categorization performance. *Attention Perception & Psychophysics*, 75: 1427-1437. DOI 10.3758/s13414-013-0486-1. 査読有

Yamashiro, H., Yamamoto, H., Mano, H., Umeda M., Higuchi, T., & Saiki, J. (2014). Activity in early visual areas predicts interindividual differences in binocular rivalry dynamics. *Journal of Neurophysiology*, 111, 1190-1202. DOI: 10.1152/jn.00509.2013. 査読有

Yokoyama, T., Noguchi, Y., Koga, H., Tachibana, R., Saiki, J., Kakigi, R., Kita, S. (2014). Multiple neural mechanisms for coloring words in synesthesia. *NeuroImage*, 94, 360-371. DOI:10.1016/j.neuroimage.2014.01.039. 査読有

[学会発表](計 9 件)

Saiki, J. Dynamic control of representations in visual working memory. International Congress of Psychology. 2012/07/24. Cape Town, South Africa.

Saiki, J. & Koga, H., Maintenance of feature conjunctions in visual working memory: Evidence from response time analysis and event-related potential. Vision Sciences Society 12th Annual Meeting, 2012/05/16, Naples, FL. USA.
Higuchi, Y., Ogawa, H., Ueda, Y., and Saiki, J. Object identities facilitate response to a target in spatio-temporal contextual cuing. Vision Sciences Society 12th Annual Meeting, 2012/05/13, Naples, FL. USA

Saiki, J. & Li, Q. Functional differences among EEG indices of visual working memory load in a dimension selective memory task. Society for Neuroscience Annual Meeting, 2012/10/17, New Orleans, LO. USA.

Higuchi, Y., Ueda, Y., Ogawa, H., & Saiki, J., "Task sets determine implicitly learned stimulus information in spatio-temporal contextual cueing," Vision Sciences Society 13th Annual Meeting, 2013/05/11, Naples, FL. USA.

Saiki, J., Ueda, Y., Chen, R., Kopecky, J., Rensink, R., Meyer, D., & Kitayama, S., Cultural differences in visual search with culturally neutral items. Vision Sciences Society 13th Annual Meeting, 2013/05/15, Naples, USA.

Saiki, J., Koga, H., Banno, H., & Yamamoto, H. Grapheme-Shitsukan synesthesia: Interaction of concurrent colour and shitsukan in synesthetic experiences. 9th International Conference on Cognitive Science (ICCS 2013). 2013/08/29 Kuching, Sarawak, Malaysia.

Otsuka S., Koch, C., Saiki, J. & Kawaguchi, J. Parallel learning of temporal order and sequencing of natural scenes based on unconscious/conscious processes: Evidence from visual statistical learning. The 54th Annual Meeting of The Psychonomic Society. 2013/11/15. Toronto, Canada.

Ueda, Y., Chen, R., Cramer, E., Rensink, R., & Saiki, J., " Cultural differences in visual search with items defined by higher-order features, " The 54th of Annual Meeting of Psychonomic Society, 2013/11/15 Toronto, Canada.

〔その他〕

ホームページ等

研究室ホームページ

<http://www.cv.jinkan.kyoto-u.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

齋木 潤 (Saiki Jun)

京都大学・大学院人間・環境学研究科・教授

研究者番号 : 60283470

〔図書〕(計 1 件)

齋木 潤(2014). 視覚認知の心理学 .
Clinical Neuroscience (分担執筆)
中外医学社.