

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32641

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23389

研究課題名(和文) fNIRS計測の導入による脳活動データを利用した新たなポリグラフ検査法の確立

研究課題名(英文) Establishment of the new polygraph testing method using brain activity data with fNIRS

研究代表者

新岡 陽光(Niioka, Kiyomitsu)

中央大学・研究開発機構・専任研究員

研究者番号：50837367

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日本の犯罪捜査で実施されている隠匿情報検査(CIT)に脳機能計測法であるfNIRSを併用することで、CITの結果の評価基準の確立および実際に犯罪を実行した者に特有の反応パターンの探索することを試みた。そのための第一歩として、自律神経系反応と脳活動を同時計測する実験系の構築を行った。そして、両者の時間同期に成功し、自律神経系反応と脳血流動態反応の両方で、模擬窃盗を実行した者とそうではない者では異なる反応パターンが得られることを確かめた。また、そのような反応パターンに基づいた犯人と無実の者の個人レベルでの判別に向けた機械学習の応用可能性を検討した結果、90%程度の精度で判別できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本における隠匿情報検査(CIT)は、理論的基盤が確立され、科学的妥当性を持った犯罪捜査手法であると世界的に高い評価を受けている。現在は学術的文脈のみならず捜査現場の実施においても、標準的な検査結果の評価手法の確立が求められている。本研究では、現行のCITにおいて使用される自律神経系反応を脳血流動態反応と時間同期して計測することができることを示し、事件の犯人が自分に不利な情報を秘匿する際に生じる反応を認知神経科学的視点で説明することを可能にした。また、自律神経系反応と脳血流動態反応の両面からの標準的な結果の評価方法の確立に向けて、機械学習を利用した個人レベルでの判別可能性も示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The concealed information test (CIT) with autonomic responses has been conducted in criminal investigations in Japan. The aims of this study are to establish the evaluation methods for results in the concealed information test (CIT) and to search for response patterns specific to the participants in guilty group, who committed a mock crime. As a first step toward this goal, an experimental system to simultaneously measure autonomic responses and cerebral hemodynamic response were constructed. Then, this study confirmed that both autonomic responses and cerebral hemodynamic response showed different patterns between those who performed the mock crime and those who did not. This study also examined the applicability of machine learning for discrimination between guilty and innocent participants at the individual level based on such response patterns. As a result, machine learning could discriminate with about 90% accuracy.

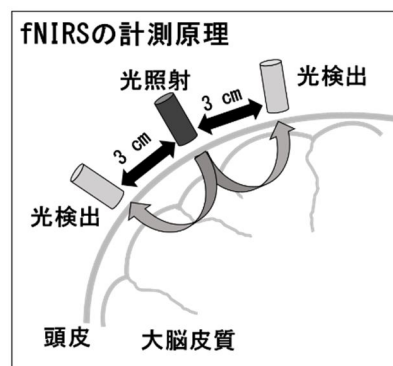
研究分野：心理学

キーワード：fNIRS 自律神経系反応 虚偽検出 隠匿情報検査 捜査心理学 機会学習

1. 研究開始当初の背景

日本の犯罪捜査において、被疑者が当該事件に関与しているかどうかを心拍、呼吸、汗腺活動といった末梢神経系反応に基づいて判断するポリグラフ鑑定が年間 5,000 件程度実施されている。日本では、隠匿情報検査 (concealed information test: CIT) と呼ばれる検査法を採用している。CIT では、犯罪事実に関連する 1 つの裁決質問と、犯罪事実とは無関係な複数の非裁決質問を用意し、質問セットを構成する。そして、裁決質問に対する生理反応が複数の非裁決質問と比較して異なるならば、犯罪事実に関連した情報を有していると判断される。このように、CIT では被疑者が犯罪事実に関する知識・記憶を持っているかどうかに関心が当てられる。無実の者は裁決質問と非裁決質問を区別することができないため、誤って犯人であると判断される冤罪のリスクが非常に低い。また、CIT において生じる生理反応については、これまでにすでに理論的根拠が証明されている。そのような特徴から、日本の CIT は実際に日本の公判で証拠採用される場合もあり、世界中からも高い評価を受けている。

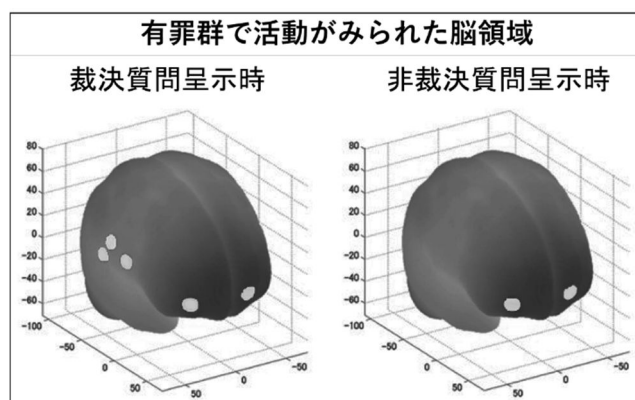
しかし、CIT の運用には解決すべき課題があった。それは、検査結果の評価基準が未確立であることである。現行の CIT では、検査官の目視によって判定がなされており、検査官の間でも判定の結果にばらつきが生じる可能性がある。警察庁でも、客観的な判定法の確立を喫緊の課題として掲げており、そのためには、現行の指標を解釈するための指針が必要である。このような CIT の課題を克服するために、本研究では CIT への応用に有利な特徴を持つ機能的近赤外分光法 (fNIRS) を活用する。fNIRS は生体透過性の高い近赤外光を頭蓋内に照射し、その反射光を検出して、光の強度変化を脳血流中の酸素化ヘモグロビン濃度の変化に変換する。そして、右図のようにプローブ間の領域の脳活動を非侵襲的に計測できる。fNIRS 計測は、一般的な実験室程度の広さの部屋があれば実施でき、頭の上にプローブを帽子のように被るだけで計測可能であることから被検査者への負担も小さい。このような実務場面に適用しやすいという fNIRS の特徴に着目して、fNIRS 計測は現行の CIT の限界を克服しうる可能性があるかと判断した。fNIRS 計測より得られた脳活動データを現行の指標を解釈するための指針として用いることで CIT の科学的信頼性・妥当性を向上させることができると考えられる。その際に、客観的な個人レベルでの判定法として機械学習の応用可能性に着目して検討を行った。



2. 研究の目的

これまでに、fNIRS を用いて脳活動と末梢神経系活動の同時計測を行い、両者の反応を体系的にまとめ上げた研究例はない。そのため、本研究は、現行の CIT の手法に fNIRS を導入し、生起する末梢神経系反応と脳血流動態反応の統合的な評価基準の確立を目指した。その際には、前提として、CIT 中の被疑者の自律神経系反応と脳血流動態反応を時間的に同期させて取得する必要がある。そこで、本研究では、時間情報に留意した自律神経系反応と脳血流動態反応の同時計測のための計測環境設計も志向した。また、本研究では、客観的な結果の評価基準の確立を目指し、個人レベルでの判定における機械学習の有効性に着目した。

これまでに Niiooka et al. (2018) では、fNIRS を用いて、模擬窃盗を実際に行った guilty 群と模擬窃盗を行わない innocent 群について日本における現行の CIT と同じ手続きの課題中の脳活動を計測した。その結果、右図に示されるように、有罪群においてのみ裁決質問呈示時に前頭領域および右側頭領域での有意な活動が認められた。また、非裁決質問呈示時にも、前頭領域での有意な活動が認められた。これらの領域は、罰に関する予期、有意刺激への定位反応といった自らにとって不利な情報を隠匿する心的機能と整合する領域であった。一方、無罪群では、裁決質問呈示時と非裁決質問呈示時のいずれについても活動が認められた領域はなかった。すなわち、有罪群と無罪群の間で CIT 課題中に異なる脳活動がみられることが確認された。



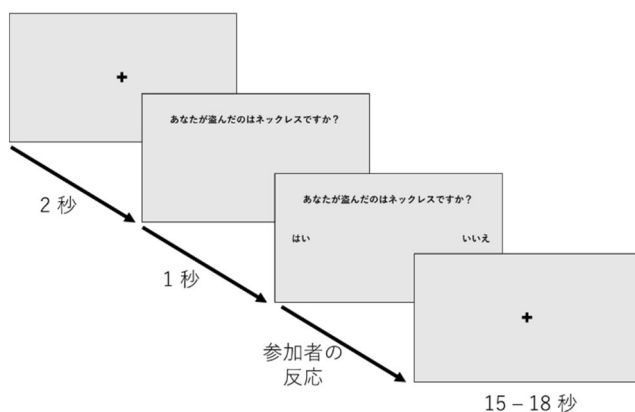
複数の参加者における平均値 (集団レベル) での裁決質問呈示時と非裁決質問呈示時の脳活動パターンの違いを示したこの知見は、自らに不利な情報を秘匿した場合の認知的メカニズムを

明らかにするうえではたしかに有益である。しかし、fNIRS を犯罪捜査における実際の CIT に応用することを見据えた場合、集団平均ではなく、個々の被験者が犯罪情報を知っているかどうかを検出できるかが重要になってくる。そのような個々の被験者の生理反応についての統計的有意性を検出することは、被験者間でばらつき（分散）が存在するため困難であり、それゆえ、捜査現場では捜査官による目視での判定に依拠している。本研究では、そのような個人レベルでの判別を可能にするアプローチとして、機械学習の応用可能性に着目した。

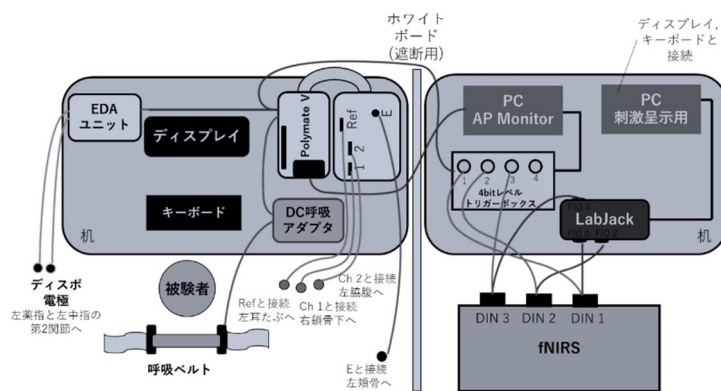
3. 研究の方法

それぞれの研究参加者を、模擬窃盗を行う guilty 群と模擬窃盗を行わない innocent 群のいずれかに割り当てて、日本の実務場面での現行の CIT と同様の手続きの課題を行ってもらい、その間の自律神経系反応と脳血流動態を計測した。guilty 群の参加者は、別室で5つの箱の中から任意で1つ選んでもらい、その中に入っているアイテム(ネックレス/ブローチ/ピアス/指輪/ブレスレット)を実験終了後まで隠し持つように教示されていた。

課題の構造については下図に示される通りである。各試行では、注視点を2.0秒間提示した後、ディスプレイの中央に模擬窃盗における盗品の内容に関する日本語の質問が提示された。その1秒後、「はい」と「いいえ」の文字が左右に表示された（左右、試行内でランダムに選択）。その後、参加者は「いいえ」と言って、対応するボタンを押した。試行間の間隔は15~18秒の中からランダムに選択された。1つの質問は5回提示され、5種類の盗品があるため、計25試行行われた。MATLAB R2020b (MathWorks, Natick, MA) 環境で動作する Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Kleiner, Brainard, & Pelli, 2007; Pelli, 1997) を使用した。実験刺激は制御され、反応はコンピュータ上で収集され、MATLAB プログラムによって提示された。



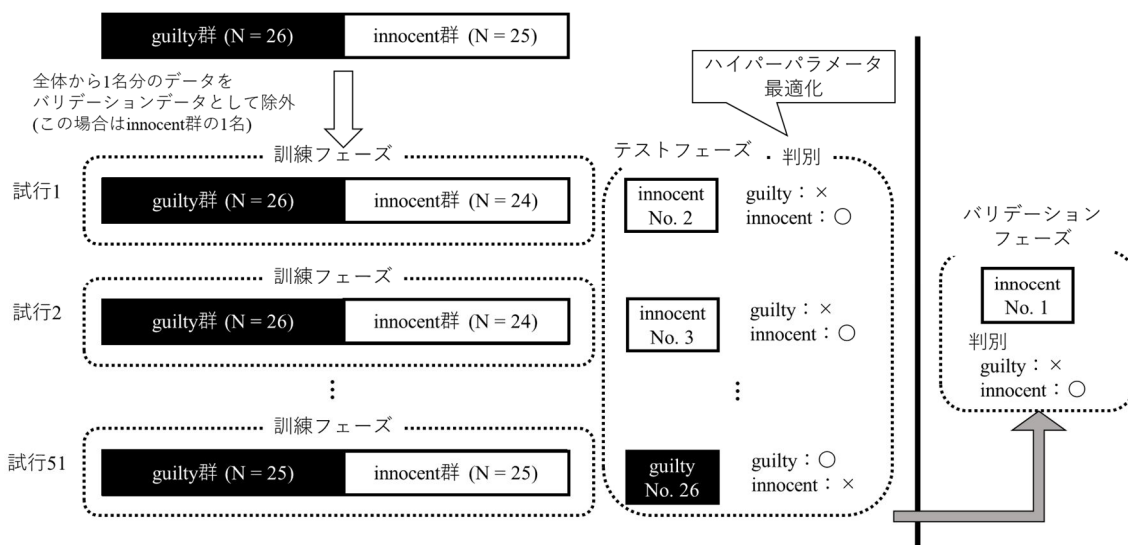
自律神経系反応としては、心拍、呼吸、汗腺活動(皮膚抵抗水準(SCL)および皮膚抵抗反応(SCR))を、生体信号収録装置 Polymate V(デジテック ス研究所)により計測した。Polymate V より取得された信号は、ソフトウェア「AP Monitor」がインストールされたパソコンを通してモニターされた。サンプリングレートは 500 Hz であった。血流動態反応の計測には、fNIRS 計測装置 ETG-4000(日立メディコ)を使用した。2 波長の近赤外光 (695 および 830 nm)



を用いて、52 チャンネルのプロープホルダーを用いて、前頭領域から側頭領域をカバーする大脳皮質の血流動態反応を計測した。得られた光学的データ(光の強度変化)は、修正ランベルトベール則に基づいて、脳血流動態反応データ(生体情報)に変換した。この方法により、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb)、総ヘモグロビン (total-Hb) の信号変化を反映した信号をミリモルミリ (mM*mm) 単位で計算することができる。サンプリングレートは 10Hz とした。自律神経系反応と脳血流動態反応の同時計測のために、下図に示されるような計測環境を設計した。刺激呈示用パソコンから、Psychophysics Toolbox を用いて作成した実験プログラムを稼働し、その際に、課題の開始トリガー、終了トリガー、タスクトリガーを、データ収録装置 T4(LabJack)を介してシリアル信号に変換した。Polymate V はアナログ信号しか受け付けられないため、4bit レベルトリガーボックス(ミユキ技研)を用いて、アナログ信号に変換した。以上により、Polymate V と ETG-4000 の時間同期を実現した。そして、Polymate V から第二誘導法による心拍の計測、DC 呼吸アダプタおよび呼吸ベルトを用いた呼吸運動の計測、EDA ユニットの用いた汗腺活動の計測、および、ETG-4000 による脳血流動態の計測を行った。実験用モニター、キーボードおよび Polymate V 以外は参加者の視野に入ることのないように、ホワイトボードを用いて遮蔽した。

収録されたデータの解析には、MATLAB R2020b (MathWorks, Natick, MA) を使用し、模擬窃盗を行った guilty 群とそうではない innocent 群の間で差があるかどうかを検討した。さらに、自律神経系反応と脳血流動態反応についての客観的評価法の確立のために、機械学習アルゴリズムを採用した。本研究では、まず、既存のデータについて、脳血流動態反応に基づいた個人レベル

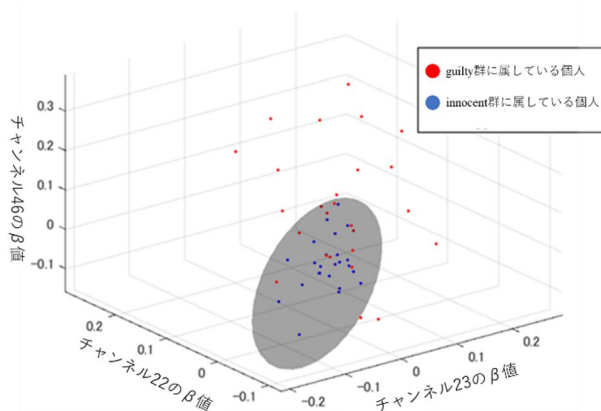
での判別を行った。fNIRS 信号の中でも oxy-Hb 信号は、局所脳血流動態反応の最も感度の高い指標であることが知られている(Cui, Bray, & Reiss, 2010; Homae et al., & Taga, 2007; Huppert et al., 2006)。そのため、本研究では、oxyHb の濃度変化を分析した。脳活動の指標として、Uga et al. (2014)で提案されている方法である、時間パラメータを最適化した血流動態反応関数(hemodynamic response function: HRF)を用いる一般線形モデル(general linear model: GLM)解析により得られた β 値(実測波形についてモデル波形との当てはまりの良さを反映したパラメータ)を使用した。特徴量として着目するチャンネルについては、Niioka et al. (2018)において guilty 群でのみ裁決質問呈示時に有意な活動が認められた、側頭領域における 3 つのチャンネルと前頭領域における 2 つのチャンネルの β 値を使用した。学習器には、これまでに 2 群判別での有効性が広く示されていた線形判別分析(LDA)とサポートベクターマシン(SVM)の 2 つを使用した。データセットを用いて学習したモデルに対してベイズ最適化アルゴリズムを実行し、検証損失を最小化する最適なハイパーパラメータを選択した。ハイパーパラメータを最適化する際の最小分類誤差を一般化するために、下図に示されるような一個抜き交差検証(leave-one-out cross validation)を行った。leave-one-out cross validation の繰り返しにおいて、全 52 名のデータの内の 1 名分をバリデーションデータとして除外し、残りの 51 人分で訓練フェーズおよびテストフェーズを行った。そして、51 回の訓練フェーズおよびテストフェーズによってハイパーパラメータの最適化を行うことで分類器を構築し、バリデーションデータについての判別を行わせた。全参加者について 1 回ずつ、guilty 群が innocent 群か未知であるバリデーションデータとして用いたため、バリデーションは 52 回行った。このような手続きにより、guilty 群の参加者を正しく guilty 群と判断する精度と、innocent 群の参加者を正しく innocent 群と判断する精度をそれぞれ算出した。



4. 研究成果

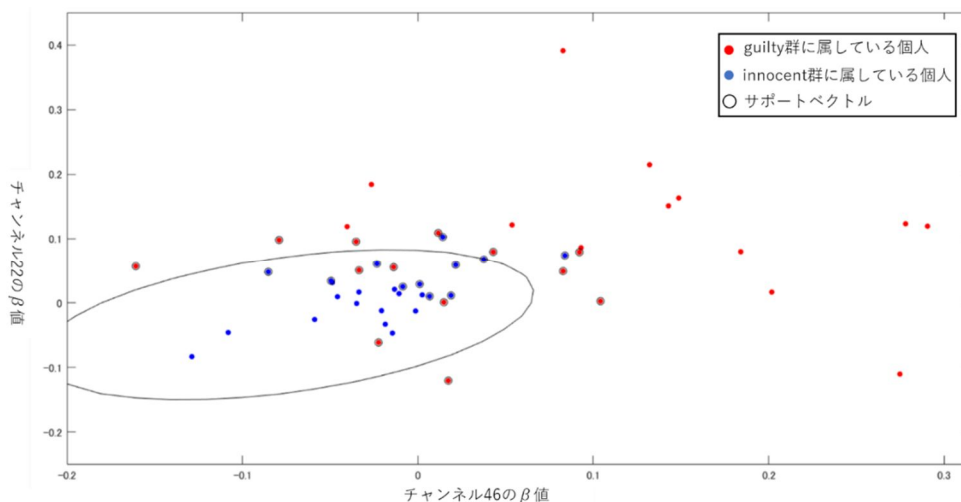
自律神経系反応については、実際に模擬窃盗を行った場合にはそうではない場合と比較して、裁決質問呈示時に心拍数の低下や呼吸運動の抑制が確認された。一方で、汗腺活動については、従来の CIT において広く確認されているような SCL および SCR の増加が確認できなかった。この点に関しては、今後、さらなる検証が必要であるといえる。一方で、脳血流動態反応については、実際に模擬窃盗を行った場合には、Niioka et al. (2018)と同様に右の側頭領域における活動が確認できた。今後、さらに実験参加者を増やし、自律神経系反応と脳血流動態反応の関係についてのモデル構築を行っていく必要があるだろう。

自律神経系反応と脳血流動態反応の関係についてのモデル構築を志向し、本研究では最初のステップとして、脳血流動態反応に関する個人レベルでの guilty / innocent の判別を機械学習アルゴリズムによって実装した。線形判別分析(LDA)を学習器とした場合に、右図に示されるように右側頭領域の 2 つのチャンネル(Ch 22 および Ch 23)と前頭領域の 1 チャンネル(Ch 46)を特徴量とし、3 軸上で評価した場合に、判別精度は最大となり、90.4%であった。群ごとでの精度については、guilty 群に属していた個人を正しく guilty であると判別できたのは 88.5%、innocent 群に属していた個人を正しく innocent であると判別で



きたのは 92.3%であった。

サポートベクターマシン(SVM)を学習器とした場合に、下図に示されるように右側頭領域の1つのチャンネル(Ch 22)と前頭領域の1チャンネル(Ch 46)を特徴量とし、2軸上で評価した場合に、判別精度は最大となり、88.5%であった。群ごとでの精度については、guilty群に属していた個人を正しく guilty であると判別できたのは 84.6%、innocent群に属していた個人を正しく innocent であると判別できたのは 92.3%であった。



以上をまとめると、本研究では現行の実務犯罪捜査場面で行われているような自律神経系反応に基づく CIT と脳血流動態反応に基づく新たな CIT の統合することに成功したといえる。自律神経系反応と脳血流動態反応の時間同期を実現したことで、今後は両者の直接的な比較・検討も可能となった。当初想定していたように、自律神経系反応の計測と fNIRS を用いた脳血流動態反応の計測は高い親和性があり、本研究をさらに発展させていくことによって、実務捜査場面における CIT で生じる生理反応の背後にあるメカニズムを明らかにしていくことが可能になるといえるだろう。

また、CIT の検査結果についての客観的な評価基準の確立という側面においても重要な知見を提供できたといえる。すなわち、これまでは捜査員の目視に基づいて目の前の被疑者が当該事件事実に関する記憶・認識を持っているかどうかを判断していたが、本研究により、機械学習による客観的な判別の可能性を示すことができた。本研究で示された個人レベルでの分類精度の高さは、日本における CIT と同様のパラダイムの下で取得された fNIRS データの LDA および SVM 解析が、65~95%と推定されるポリグラフの精度(Stem &, 2004)を上回る可能性を示唆しているといえる。本研究で特徴量として使用した脳血流動態反応に関しては、心理学的枠組みの中で理論的に説明可能であり、guilty 群において、情報を隠匿するという高次な認知処理や犯罪事実を知っているために生じる非随意的反応を反映した脳活動によって実現していると考えられる。そのため、強固な科学的エビデンスに基づいて、実務場面への応用が期待できるといえるだろう。今後は、自律神経系反応と脳血流動態反応の両者の関係性を精査し、学術的、実務的観点から研究を推進していく必要がある。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Shinozuka, K., Niioka, K., Tokuda, T., Kyutoku, Y., Okuno, K., Takahashi, T., & Dan, I.	4. 巻 15
2. 論文標題 Language Familiarity and Proficiency Leads to Differential Cortical Processing During Translation Between Distantly Related Languages	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2021.593108	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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 新岡陽光
2. 発表標題 「シン・ポリグラフ」0話 新指標への扉
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------