



Title	刺激の欠落によって生じる脳電位の特性に関する研究
Author(s)	石田, 友美
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105374
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (石田 友美)	
論文題名	刺激の欠落によって生じる脳電位の特性に関する研究
論文内容の要旨 起こるはずの事象が予期に反して起こらなかったとき、実際の感覚入力がないにも関わらず、脳は反応する。このときに生じる事象関連電位を「欠落刺激電位 (omitted stimulus potential: OSP)」と呼ぶ。本論文では、心理生理学的手法を用いてOSPの特性について検討した。本論文は7章から構成される。 第1章では、本論文の目的と全体の構成を示した。OSPは、感覚刺激の処理にかかわる脳電位を含まないために、実験参加者が何を予期していたかを純粋に反映する指標となる。近年は、計算論的枠組みで想定される予測誤差およびその処理を反映する成分として注目されている (Braga & Schönwiesner, 2022; Schröger et al., 2015)。しかし、刺激がないときの脳反応を計測することは技術的に難しく、OSPの基本的特性は十分には明らかになっていない。そこで本論文では、予期した刺激の物理的特徴がOSPに与える影響や、課題や欠落確率がOSPに与える影響を検討することを目的とした。 第2章では、先行研究を概観し、問題の所在を明らかにした。最初に、研究の歴史とともに、これまで明らかにされているOSPの基本特性を概説した。次に、これまで用いられてきた実験パラダイムや評価方法について紹介した。さらに、OSPに反映されると考えられる情報処理過程について論じた。最後に、本論文の目的を達成するために実施した4つの研究について簡潔に紹介した。 第3章では、予期した刺激の感覚モダリティおよび課題がOSPに及ぼす影響について検討した研究1について記述した。先行研究では、聴覚刺激が欠落したときの方が、視覚刺激が欠落したときよりも、OSPの頂点潜時が短くなることが示されている (Hernández & Hernández-Sánchez, 2017; Nittono, 2005; Simson et al., 1976)。欠落した刺激には、タイミングを示す物理的の手がかりがないため、検出するまでの時間が試行間・個人間でばらつきやすい。このため先行研究では、OSPが明瞭に記録できないことがあった。そこで本研究では、参加者の随意的なボタン押しの直後に提示される刺激がときどき欠落するという状況でOSPを記録した。この方法を用いると、自身の運動が、刺激が欠落するタイミングの手がかりとなるため、欠落後100 ms付近のoN1、150-200 ms付近のoN2、300-400 ms付近のoP3といった一連の成分を比較的安定して記録できる (Dercksen et al., 2020; SanMiguel et al., 2013)。参加者に1-2 s間隔でボタンを押すように求め、その直後に聴覚あるいは視覚刺激を提示した。20%の試行では刺激を提示せず、そのときの脳電位をOSPとして記録した。聴覚刺激と視覚刺激を異なるブロックで提示し、それぞれのブロックで得られたOSPを比較した。その結果、先行研究と同様、視覚刺激が欠落したときよりも、聴覚刺激が欠落したときの方が、oN1、oN2、oP3の頂点潜時が短くなった。また、刺激が提示されない理由について、「ボタン押しの間隔が一定でないため」と教示する課題関連条件と、「ランダムに欠落する」と教示する課題非関連条件を設け、欠落の課題関連性がOSPに及ぼす影響を検討した。その結果、どちらの感覚モダリティでも、課題非関連条件よりも課題関連条件で各成分の振幅が大きくなった。これらの結果から、OSPは、予期した刺激の感覚モダリティを反映し、課題の影響を受けることが示された。 第4章では、刺激の感覚モダリティとOSPの関係を再検討した研究2について記述した。研究1とは異なり、同じブロックの中で聴覚と視覚の刺激が提示されるようにした。提示される刺激が予測可能となるように、参加者のボタン押しの直後に聴覚あるいは視覚刺激を2回ずつ交互に提示し、12%の試行で刺激を提示しなかった。提示されるはずだった刺激のモダリティに基づいてOSPを算出した。その結果、oN1とoN2の頂点潜時は、視覚よりも聴覚で短くなり、頭皮上分布も両者で異なっていた。これらの結果から、覚醒や注意水準の違いといった剰余変数を統制しても、OSPは予期した刺激の感覚モダリティを反映することが示された。	

第5章では、刺激の欠落確率がOSPに及ぼす影響を検討した研究3について記述した。参加者のボタン押しの直後に聴覚刺激を提示し、10%から50%まで10%きざみで欠落確率を操作した。5つの確率条件をランダムな順序で実施し、条件間のOSPを比較した。その結果、oN1, oN2, oP3の振幅はいずれも欠落確率が低いほど大きくなる傾向が示された。初期成分（oN1, oN2）は、低確率（10%と20%）で最も大きく、中確率（30%と40%）でやや減衰し、高確率（50%）では消失した。一方、後期成分（oP3）は、10%で最大となり40%までは線形に減衰したのち、50%で反転し上昇に転じた。これらの結果から、OSPは刺激出現の確かさ（予測可能性）によって変動し、その効果は成分によって異なることが示された。

第6章では、OSPの初期成分が感覚野から生じるかをより厳密に検討した研究4について記述した。一次視覚野（V1）の活動を反映するレチノトピックな（網膜部位対応のある）電位が刺激の欠落時にも生じるかを調べるために、視覚刺激を上視野または下視野に2回ずつ交互に提示した。10%の試行で刺激を提示せず、提示されるはずだった刺激の位置に基づいてOSPを算出した。その結果、刺激に対しては、提示された視野位置に応じて電位の極性が反転するレチノトピックな誘発電位が得られた。しかし、刺激の欠落時には、そのようなレチノトピックな電位は生じなかった。ただし、下視野での欠落でのみ、160 ms付近に視覚ミスマッチ陰性電位が観察された。これらの結果から、OSPの発生にV1が寄与しているという証拠は得られなかったものの、提示されるはずだった刺激の空間位置がある程度反映されることが示された。

第7章では、OSPの特性について総合的に考察した。4つの研究から、OSPは感覚モダリティや空間位置といった刺激の物理的特徴を反映して質的に異なって生じること、さらに課題や欠落の確率によって振幅が変動することが明らかとなった。また、これらの変動パターンは初期と後期の成分で異なることも示された。これらの特性を予測符号化理論に照らして、OSPの反映する情報処理過程や機能的意義について議論した。最後に、本論文の限界と今後の研究の展望を述べた。本論文で提案する情報処理過程の一部は推測にとどまっており、いまだに明らかになっていないOSPの特性もある。今後、OSPの研究がさらに進めば、予測の神経基盤を検討する指標としてだけでなく、人が世界を解釈し知覚する心的過程の理解にも貢献すると期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (石 田 友 美)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	入戸野 宏
	副 査	教授	篠原 一光
	副 査	教授	八十島 安伸

論文審査の結果の要旨

起こるはずの事象が生じなかったとき、実際の感覚入力がないにも関わらず、脳は反応する。本論文は、このときに生じる脳波—欠落刺激電位 (omitted stimulus potential: OSP) —の特性を、実験心理学的手法を用いて詳細に検討したものであり、7 章から構成されている。

第 1 章では、本論文の目的と全体の構成が紹介されている。OSP は、感覚刺激の処理にかかわる脳電位を含まないために、実験参加者が何を予期していたかを純粋に反映する指標となるという視点から、本論文の意義が述べられている。

第 2 章では、先行研究について包括的なレビューを行い、問題の所在を明らかにしている。研究の歴史とともに、これまで明らかにされている OSP の基本特性を概説した。計測が難しい OSP を安定して記録するために、参加者の自発的なボタン押しに続いて刺激を提示・欠落させる手法を採用する理由が説明されている。

第 3 章から第 6 章まで、4 つの実験研究の結果を報告している。いずれも、大学生・大学院生（各実験につき 40 名程度）を対象に、頭皮上 34～64 部位から脳波を記録したものである。研究 1（第 3 章）と研究 2（第 4 章）では、予期した刺激の感覚モダリティ（聴覚 vs. 視覚）や課題の種類によって、OSP の出現形態がどのように異なるかを検討した。その結果、視覚刺激の欠落よりも聴覚刺激の欠落において oN1 や oN2 といった OSP 成分の潜時が短くなり、その頭皮上分布も異なること、欠落が課題に関連する場合に振幅が大きくなることが示された。研究 3（第 5 章）では、刺激の欠落確率（10%～50%）が OSP に及ぼす影響を調査した。欠落確率が低いほど OSP 振幅は増大する傾向が認められた。また、50%欠落では、初期成分（oN1, oN2）は消失するが、後期成分（oP3）は出現しつづけることから、OSP 成分間に機能的意義の違いがあることが示唆された。研究 4（第 6 章）では、OSP に一次感覚野が関与するかを検討した。視覚 OSP には、刺激提示時には見られる網膜部位対応による電位反転が認められなかったことから、一次感覚野が関与する証拠は得られなかった。しかし、その後の成分に、提示されるはずだった刺激の空間位置がある程度反映されていた。

第 7 章では、OSP の特性について総合的に考察している。上述の知見に基づいて、OSP は刺激のモダリティや空間位置、予測の確かさ、課題の文脈といった多角的な情報を反映して質的・量的に変化すると結論づけられた。OSP の特性を知るとは、人間が能動的に世界を解釈する心的プロセスの理解に寄与すると主張された。

以上のように、緻密な実験と分析を通じて一連の研究で得られた成果は、関連分野に貢献する堅実な知見であると評価できる。審査の結果、本論文は博士（人間科学）の学位を授与するにふさわしいと判定した。