

## 博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学  
研究科名 スポーツ科学研究科  
申請者氏名 平尾 貴大  
学位の種類 博士（スポーツ科学）  
論文題目 結果フィードバック予期の神経活動に関する電気生理学的研究  
—刺激前陰性電位を指標とした検討—  
An electrophysiological examination of neural activity during anticipation of  
feedback stimulus: Focusing on the stimulus-preceding negativity

論文審査員 主査 早稲田大学教授 正木 宏明 博士（人間科学）（早稲田大学）  
副査 早稲田大学教授 武藤 泰明 博士（スポーツ科学）（早稲田大学）  
副査 早稲田大学教授 川上 泰雄 博士（教育学）（東京大学）

本博士学位論文では、3実験を通して、結果フィードバック予期に関する神経活動について、事象関連電位(event-related potential: ERP)の刺激前陰性電位(stimulus-preceding negativity: SPN)を指標として調べた。SPNは結果を知らせるフィードバック信号の呈示前に生起する陰性緩電位変動であり、その主な発生源は島皮質(insula)に推定されている。本学位論文では意思決定課題を工夫したうえで、結果予期中の島皮質活動を調べた。また、学習の神経機序についても、外的フィードバックの情報処理の観点からSPN計測を通して検討した。

本博士学位論文の概要は以下の通りである。

第Ⅰ部では、結果予期の神経活動に関する従来の知見を概観し、SPN振幅に影響を与える諸要因について纏めた。例えば、(1)ギャンブリング課題では、意思決定とフィードバック呈示との間で機能する情動・動機づけプロセスがSPN振幅を増大させること、(2)パーキンソン病の患者ではSPNが小さく、ドーパミン作動性ニューロンを多く含む大脳基底核がSPN発現に関与していること、(3)SPN振幅が脳内報酬系活動を調べる有効な指標となり得ること、等を強調した。

第Ⅱ部（実験1）では、モンティ・ホール・ジレンマ (Monty Hall Dilemma: MHD)を課題に用いて、保守的な選択行動がSPN振幅を増大させることを示した。MHD課題では、3つの選択肢（その内「当たり」は1つ）に対して、意思決定の機会を2回与えるギャンブリング課題である。実験では、参加者が3つの中から1つの選択肢を選んだ後に、非選択の残り2つの中から「はずれ」を参加者に1つ開示する。次に、最初に選択した選択肢に固執するか（ステイ選択）、残り1つの選択肢に変更するか（チェンジ選択）、最終選択機会を参加者に与える。直観に反してMHD課題では、最終選択時の報酬獲得確率は、チェンジ選択時に66%、ステイ選択時に33%となる。しかしながら、二者択一の選択であるため、参加者の多くはチェンジ選択もステイ選択も共に確率50%と見積もり、最初意思決定に固執することが知られている。本実験でも同様の行動結果が認められ、SPNもステイ選択時に増大した。この結果は、認知バイアスによる主観的な信念が、客観的な報酬獲得確率とは独立して、結果予期中

の脳内報酬系活動を高めたことに起因したものと解釈された。本実験の結果は、NeuroReport誌で報告した。

第Ⅲ部（実験2）では、MHD課題でチェンジ選択の有利性を学習した際のSPNの振る舞いを調べた。実験では、参加者に対して報酬獲得状況を常時呈示し、MHD課題を反復遂行してもらった。その結果、参加者はチェンジ選択の有利性を学習することができた。実験1と異なり、SPNはステイ選択時よりもチェンジ選択時で大きくなり、学習に伴う情動・動機づけの変化を反映したものと解釈された。一方、時系列の分析では、選択行動に関わらず、学習に伴う前頭SPNの低振幅化が明らかとなった。SPN振幅が報酬予期に関する活動のみを反映するのであれば、学習に伴ってSPN振幅は増大するものと予測された。しかしながら、本実験の結果は予測と逆であった。SPNの低振幅化の機序を探るため、頭皮上64部位の脳波データから電流源推定を行った。その結果、学習に伴って右島皮質の活動が低下したことが示唆された。島皮質は顕著性ネットワークを構成する脳部位であり、課題遂行に必要な脳内ネットワークの切り替えを担っている。学習初期は、選択行動とその結果との間に連合が形成されていないため、顕著性ネットワークによってフィードバック処理に関与する脳領域を予期段階から賦活させる必要がある。一方、学習後は選択行動と結果との間に連合が形成されているため、脳領域を予め活動させる必要はない。SPNの振幅低下は、学習に伴う顕著性ネットワークの活動低下を反映したものと解釈された。本実験の結果は、Psychophysiology誌で報告した。

第Ⅳ部（実験3）では、時間評価課題を用いて長距離選手と短距離選手のSPNを比較し、内受容感覚の差異をフィードバック予期の視座から検討した。内受容感覚を測定するための心拍カウント課題の結果は、短距離選手よりも長距離選手で高い傾向にあり、長距離選手の内受容感覚の高さを支持するものであった。SPN振幅についても長距離選手のほうが短距離選手よりも大きかった。本実験の結果は、島皮質の担う内受容感覚の情報処理をSPNが反映し得ることを示している。島皮質は意思決定直前に、末梢からの身体内部情報を受容し、解釈し、その結果を他の脳領域に伝達することで、適切な意思決定を導くという。SPNの振る舞いは、結果予期段階において身体内部情報を顕著性の検出に活用していることを示唆するものである。

第Ⅴ部では、一連の実験から得られた知見を纏め、フィードバック予期に関する神経活動を包括的に考察した。本研究の実験結果から、SPNは島皮質の担う顕著性ネットワークと報酬系脳活動の複合によって生起する緩電位変動であると解釈された。SPNの頭皮上分布に知見の一致がみられないことについては、脳活動の統合様態が研究間で異なることに起因することを論じた。さらに、SPN振幅が内受容感覚によって変化するという新しい知見を得たことで、顕著性ネットワーク活動が身体内部情報によって調整され得ることを示した。SPNの機能的意義を検討した際に、内受容感覚にまで言及した研究はこれまで存在しておらず、本学位論文の独創性の高さの一つでもある。

総合的に評価して本博士学位論文は、博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

本学位論文の一部は、以下の学術論文で発表した。

**Hirao, T.,** Murphy, T. I., & Masaki, H. (2016). Stimulus-preceding negativity represents a conservative response tendency. *NeuroReport*, 27, 80–84. (査読有り)

**Hirao, T.**, Murphy, T. I., & Masaki, H. (2017). Brain activities associated with learning of the Monty Hall Dilemma task. *Psychophysiology*, 1–11. (査読有り)

以 上