関西学院大学リポジトリ
Kwansei Gakuin University Repository

社会的文脈におけるパフォーマンスモニタリングシステム：報酬予測誤差の特徴に関する検討

著者	石井 主税
URL	http://hdl.handle.net/10236/00030370

氏　　　名	**石　井　主　税**
学位の専攻 分野の名称	博　士（心理学）
学位記番号	甲文第213号（文部科学省への報告番号甲第761号）
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
学位授与年月日	2022年３月２日
学位論文題目	**社会的文脈におけるパフォーマンスモニタリングシステム：** **報酬予測誤差の特徴に関する検討**
論文審査委員	（主査）教　授　片　山　順　一
	（副査）教　授　佐　藤　暢　哉
	武　田　裕　司（国立研究開発法人産業技術総合研究所上級主任研究員）

論文内容の要旨

生体がある環境の中で適応的に生きていくためには，自己の行動やそれに付随して生じる結果を絶えず監視し，望ましくない状態が生じた時にはその後の行動を適切に調整しなければならない。ヒトの脳でモニタリングシステムがどのように働いているかに関する知見は事象関連脳電位（ERP）研究によって蓄積されてきた。望ましくない行動結果の呈示に対してフィードバック関連陰性電位（FRN）と呼ばれるERPが出現する。これまでの研究から，FRNは予測した結果と実際の結果の差として算出される報酬予測誤差を反映することが示唆されている。社会的生物であるヒトのモニタリングシステムを理解するためには，このシステムが社会的な文脈でいかに働くかを明らかにする必要がある。本研究の目的は，社会的文脈で行動調整を求められる課題を行った際に算出される報酬予測誤差の特徴を明らかにすることであった。

本論文は４部（12章）で構成されている。第１部の実験１では，先行研究（Holroyd & Krigolson, 2007）の追試により，FRNが時間評価課題での報酬予測誤差を反映することを確認した。（時間評価課題とは，指定された時間が経過したときにボタン押しを求め，その反応時間が求められた時間前後に設定された正答範囲内であれば成功として報酬が得られ，範囲外であれば失敗として報酬を失う課題である。）また，現在までの社会的要因を扱った研究から明らかになっているモニタリングシステムの働きについて概観し，算出される報酬予測誤差の特徴と行動調整過程の統合的理解が不十分である点を指摘した。

第２部における３つの実験の目的は，社会的文脈においてモニタリングシステムから算出される報酬予測誤差の特徴を明らかにすることであった。実験２では社会的文脈の１つの側面として他者の表情に着目した。実験結果は，社会的な刺激によって伝えられる自己の行動結果が社会的でない刺激によって伝えられるそれと同様の処理を受けていることを示した。実験３の目的は複数人で一緒に課題を行う際のシステムの働きを明らかにすることであった。被験者は３人で一緒に時間評価課題を行い，行動結果として集団レベルと個人レベルの成功・失敗を示す視覚刺激が呈示された。実験の結果，２人以上の成功である集団としての成功時であっても，個人のレベルで失敗しているとFRNが観察された。このことは，先行研究でのギャンブル課題と異なり課題遂行に行動調整を要するような状況では，集団に属していてもモニタリングシステムは基本的に個人の視点で行動結果を処理することを示唆している。さらに，集団の効果として，集団成員全員が同じ行動結果であった時に他の状況と比べて大きなFRNが惹起された。個人間の影響力を排した実験４では，集団レベルの効果は存在しなかった。これらの実験結果は，一緒に課題を行う人々の間に影響関係がある時

に限りモニタリングシステムが他者の行動結果からも報酬予測誤差を算出している可能性を示唆する。

第３部における２つの実験の目的は，他者の行動結果の観察から報酬予測誤差がどのように算出されるか明らかにすることであった。まず，実験５では他者の行動結果の観察から自己のそれと同じように報酬予測誤差が算出されているかどうか検証した。実験１の結果と類似して，予測に一致する他者の行動結果と比較して予測に反する他者の行動結果の観察により大きな FRN が惹起された。実験６の目的は，自己の行動結果の履歴が他者の行動結果の予測に，また他者の行動結果の履歴が自己の行動結果の予測に与える影響を明らかにすることであった。この目的のために，行為者と観察者の役割を交代する２人の被験者の課題難度を独立に操作した。実験結果として，他者の行動結果の予測は自己の行動結果の履歴によって影響を受けたが，自己の行動結果の予測は他者の行動結果の履歴から影響を受けなかった。

第４部は総合考察として，社会的文脈でシステムが算出する報酬予測誤差の特徴と今後の展望を論じた。結論として，モニタリングシステムは自己に影響力のある他者の行動結果を継続的に監視しているが，自己の行動結果やそれに関わる情報を優先的に処理・利用していることが明らかになった。

論 文 審 査 結 果 の 要 旨

生体は適応的に生きていくために，自己の行動結果を絶えずモニタし，その後の行動を適切に調整している。ヒト脳でのこのモニタリングシステムに関する知見は事象関連脳電位（ERP）を用いた研究によって蓄積されてきた。行動結果の呈示（フィードバック）が予測してない結果であるときにフィードバック関連陰性電位（FRN）と呼ばれる ERP が出現する。これまでの研究から，FRN は予測した結果と実際の結果との差として算出される報酬予測誤差を反映することが示されている。石井主税氏は，社会的な生物であるヒトのモニタリングシステムを理解するためには，そのシステムが社会的な文脈でいかに働くかを明らかにする必要があると主張する。これに関わる先行研究は皆無ではないもののまだ少なく，未解明な問題が多く残されている。石井氏は本学文学研究科博士課程後期課程において，社会的文脈で行動調整を求められる課題での FRN を検討する実験を系統的に積み上げることにより，そこでの報酬予測誤差の特徴を明らかにし，社会的文脈でのモニタリングシステムの働きについて検討してきた。

本博士論文は４部（12章）で構成されている。第１部では，関連する概念や先行研究の概説に加え，実験１で先行研究を追試することにより，FRN が本博士論文で主に使用する時間評価課題において報酬予測誤差を反映することを確認した。さらに，現在までの社会的要因を扱った研究から明らかになっているモニタリングシステムの働きについて論じ，算出される報酬予測誤差の特徴と行動調整過程の統合的理解が不十分である点を指摘した。

第２部における３つの実験で，社会的文脈においてモニタリングシステムから算出される報酬予測誤差の特徴を明らかにした。実験２では社会的文脈の一側面としてフィードバック刺激の社会性に着目し，他者の表情刺激によって伝えられる行動結果は社会的でない刺激によって伝えられるそれと同様の処理を受けていることを示した。実験３では複数人で同時に課題を行う際のシステムの働きを検討した。被験者は３人で同時に時間評価課題を行い，集団として２人以上の成功で報酬を得たが，２人以上の失敗で報酬を失った。行動結果として集団レベルと個人レベルでの成功・失敗を示す視覚刺激を呈示した。実験の結果，集団として課題に成功していても個人レベルでの失敗に対して FRN が出現した。この結果は，先行研究での多数決によるギャンブル課題時の結果とは異なっており，自身の行動調整によって成否が決まる課題状況では集団に属していてもモニタリングシステムは基本的に個人の視点で行動結果を処理することを示唆している。しかし，集団成員全員が同じ行動結果であった時には他の状況と比べて大きな FRN が惹起され，これは自己の

失敗に対するFRNと他者の失敗に対するFRNが重複したためと解釈された。実験４で，３人同時に同じ課題を行ったものの報酬は各個人の成績に依存させ個人間の影響を排したときは集団レベルの効果は観察されなかった。これらの実験結果は，一緒に課題を行う被験者間に影響関係がある時に限りモニタリングシステムが他者の行動結果からも報酬予測誤差を算出している可能性を示唆する。

第３部での２つの実験は他者の行動結果の観察から報酬予測誤差がどのように算出されるかを明らかにした。まず，実験５では他者の行動結果の観察から自己のそれと同じように報酬予測誤差が算出されているかどうか検証した。実験1の結果と同様に，予測に反する他者の行動結果に対してFRNが惹起された。実験６では，自己の行動結果の履歴が他者の行動結果の予測に，また他者の行動結果の履歴が自己の行動結果の予測に与える影響を検討した。実験結果は，他者の行動結果の予測は自己の行動結果の履歴によって影響を受けるが，自己の行動結果の予測は他者の行動結果の履歴から影響を受けないことを示した。

第４部は総合考察として，社会的文脈でシステムが算出する報酬予測誤差の特徴と今後の展望を論じている。結論として，モニタリングシステムは自己に影響力のある他者の行動結果を継続的に監視しているが，自己の行動結果やそれに関わる情報を優先的に処理・利用していることが明らかになった。

本博士論文において石井氏は，指標としたFRNの特性を生かした実験パラダイムを用いた実験を一つ一つ積み上げることによって社会的文脈におけるモニタリングシステムの特徴に迫った。特に，従来のFRN研究で主に用いられてきたギャンブリング課題ではなく，自身の行動調整によって課題の成否が決まる時間評価課題を用いることによって，報酬予測誤差が後の行動修正に直結する課題事態を選んだ。本研究で得られた集団の効果は，３人での多数決ギャンブル課題での結果とは異なっており，課題の種類によって社会的文脈でのモニタリングシステムの振る舞いが異なることが示され，今後の展開のきっかけを築いた。さらに，実験３，４では集団としての結果と個人としての結果を一目見てわかる刺激構成を考案した。時間分解能の高いERPにとって，毎試行同じタイミングで同じ過程が生じていることが必要条件となることから，フィードバックをどういう刺激で呈示するかは重要な問題である。また，実験６では，報酬予測誤差の大きさを操作するため，課題難度を操作することにより，予測を操作することに成功した。

ただし，石井氏自身も述べている通り，本論文では自己と他者の行動結果が互いの金銭損益に関して同じ方向に作用する文脈でのみ検討されている。個人間の関係には，他者の利益（損失）が自身の損失（利益）となる競争的な関係などもあり，今後は他者との関係性や，課題の性質による効果を検討してゆく必要がある。また，報酬予測誤差だけがモニタリングシステムを表すわけではない。社会的文脈におけるモニタリングシステムの働きを解明するためには，報酬予測誤差以外の要因にも目を向ける必要があろう。さらに，FRN振幅が反映する，報酬予測誤差以外の要因についてもさらなる検討が必要である。これらは氏の本研究の成果として明らかになった問題でもあり，氏の今後の研究課題であろう。今後の研究の発展が期待される。

なお，本論文に記載された実験のうち２つはすでに査読付きの国際誌（*NeuroReport, Scientific Reports*）に受理･掲載されており（他の実験も投稿準備中），これも氏の研究が高い評価に値することの証左であろう。

以上，本論文審査委員３名は論文を慎重に審査し，また2022年１月11日に実施した公開発表会および口頭試問の結果から判断して，石井主税氏が博士（心理学）の学位を授与されるにふさわしいとの結論に達しましたのでここに報告いたします。