

リアリティモニタリングエラー経験の自己評価と 自発脳波の時間的変動の関連

柏原志保
(2020年10月5日受理)

Relation Between Self-reported Reality-monitoring Error Experience
and Temporal Fluctuation of Resting-state EEG

Shiho Kashihara

Abstract: Reality monitoring (RM) is the process of making attributional judgments about the source of a memory, in particular, to determine whether a memory is derived from internally generated or externally perceived information. This study examined the relation between self-reported RM in everyday life and temporal fluctuation of the resting-state EEG. A total of 169 undergraduates and graduates took part in the experiment, of whom data of 135 participants were analyzed. First, resting-state spontaneous EEG was recorded for five minutes in the eye-closed resting condition, and then the participants were asked to answer the 32-item Reality-Monitoring Error Experience Questionnaire (RMEEQ) in order to assess the degree to which they experience RM errors in everyday life. The results showed that the coefficient of variation of the beta peak frequency of the spontaneous oscillation at frontal area was larger for those who were more likely to report that they experience RM errors in daily life. On the other hand, the long-range temporal correlation (LRTC) of spontaneous EEG was not correlated with the RMEEQ score. Therefore, it is suggested that the unstable temporal variability of frontal beta oscillation in the resting-state EEG relates to RM measured by RMEEQ.

Key words: reality monitoring, resting-state EEG, temporal fluctuation

キーワード：リアリティモニタリング，自発脳波，時間的変動

1. 研究の背景と目的

日常生活において、「この話はAさんから聞いたのかBさんから聞いたのか」、「外出時に窓に鍵をかけたかかけようと思ったただけだったのか」、「今日服用分の薬を既に飲んだかどうか」などのように、思い出される出来事がいつ、どのように得られたのかについて、我々は記憶の情報源の認識・判断を行っている。こ

のように、記憶の起源（ソース）についての帰属判断を伴う一連のプロセスを、ソースモニタリングという (Johnson, Hashtroudi, & Lindsay, 1993)。Johnson et al. (1993) によれば、ソースには、ある出来事の空間的・時間的文脈や、色や形、音などの知覚の詳細に関する情報、認知的操作に関わる情報など、ある記憶を得た状況を特定する様々な情報が含まれる。

ソースモニタリングは、判断の対象となる記憶が内部的に生成されたものに由来するのか、外界の知覚によって獲得されるものに由来するのかという観点でいくつかの種類に分類されている (Johnson et al., 1993; 金城, 2001)。中でも特に、実際に見たり聞いたりして知覚された外部情報に由来する記憶と、自身の思考

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：宮谷真人（主任指導教員）、中條和光、
森永康子、中尾 敬

や想像による内部情報に由来する記憶の弁別・判断過程は、リアリティモニタリング (reality monitoring: RM) と呼ばれる (Johnson, 1988)。例えば、コンロの火を実際に消したことを確認したのか、火を消そうと考へたり火を消すところを想像したりしただけで実際には行っていないのかを判断するプロセスは、日常生活における RM の例である。

RM に関する研究では、主に実験課題のパフォーマンスを指標として RM 能力の検討が行われてきた。これまでに、ソース間の類似性 (e.g., Henkel & Franklin, 1998) や、発達による影響 (e.g., Sussman, 2001)、アルツハイマー病などの疾患の影響 (e.g., El Haj, Fasotti, & Allain, 2012; Fairfield & Mammarella, 2009) など、RM に関わる様々な要因が検討されている。RM の低下と関わる要因や特性が検討される中でも、特に統合失調症患者は RM エラーが生じやすいことが繰り返し示されており (e.g., Harvey, 1985)、幻聴などの統合失調症の陽性症状は、患者自身の思考や内声を他者が発話したものと誤って帰属するという RM の障害で説明できる可能性も示唆されている (自己モニタリング仮説: 浅井・丹野, 2010; Frith, 1987)。

また、RM の神経基盤についても、RM 課題中の脳活動を fMRI や EEG などの認知神経科学的手法を用いて測定することで、RM エラーなどのパフォーマンス指標と関連する脳活動の検討が進んでいる。これまでに多くの研究で、脳の前頭領域の機能不全が RM を損ない、RM エラーを生じさせる可能性が指摘されてきた (e.g., Johnson et al., 1993)。特に、内側前頭前皮質 (medial prefrontal cortex: mPFC) が RM 課題の遂行に重要な役割を果たすことが示唆されている (Simons, Garrison, & Johnson, 2017)。同様の傾向は統合失調症患者を対象とした研究でも確認されている。すなわち、統合失調症患者に対して RM 課題を実施した際に吻側 mPFC の活動が低下しており、mPFC 機能の障害は統合失調症の特徴の一つである可能性も示唆されている (Vinogradov, Luks, Schulman, & Simpson, 2008)。さらに、RM に関連する脳部位だけでなく、特定の周波数帯域の神経活動と RM の関連についてもいくつか示唆されている。そのうちの 1 つが、 β 帯域の神経活動である。特に前頭 β 帯域の活動はトップダウンの認知制御に関わるとされているほか (Engel & Fries, 2010)、 β 帯域の神経活動の変化には内的に生成される行為と外界に由来する行為の違いが反映される可能性も示唆されている (Khalighinejad, Schurger, Desantis, Zmigrod, & Haggard, 2018)。実際に、RM 課題中、自身で生成した情報と外的に得ら

れた情報とで mPFC における β 帯域の神経活動が異なることも明らかになっている (Subramaniam et al., 2019)。

このように、RM 課題を用いて実験的に RM 能力が検討されてきた一方で、近年では実験室実験による研究以外のアプローチとして、日常記憶研究の立場から日誌法や質問紙法を用いて RM を捉えようとする動きもある (e.g., Kemp, Burt, & Sheen, 2003; 中田・森田, 2014)。中田・森田 (2014) は、日常場面における RM エラー経験の傾向を主観評価によって評価するリアリティ・モニタリング・エラー経験質問紙 (Reality-Monitoring Error Experience Questionnaire: RMEEQ) を作成し、信頼性・妥当性の検討を行った。RMEEQ は、「昔の事柄について、実際にはなかったことを現実のことだと思い込んでいたことがある」といった日常生活で経験し得る多様な RM エラー経験について、普段どの程度経験するか主観評価を求める尺度であり、得点が高いほど普段の生活で RM エラーを経験していると個人が認識していることを意味する。RMEEQ と個人特性の関連については、RMEEQ 得点が解離性体験傾向と正に相関すること (中田・森田, 2014)、強迫神経症傾向のうち疑惑・強迫的思考傾向と正に相関すること (中田・森田, 2017) などが報告されている。これらの RMEEQ と関連する特性は、RM 能力の低さと解離性体験 (Hyman & Billings, 1998) や RM の確信度の低さと強迫性障害 (McNally, & Kohlbeck, 1993; レビューとして Lavallé, Brunelin, Bation, & Mondino, 2020) の関連が示されていることと一致する。

RM 課題を用いて厳密な条件統制のもとで RM に影響する要因を検討できる実験室的アプローチと比較して、RMEEQ のように日常記憶的アプローチによって研究を行う場合には、実験室場面と比較してより自然な日常場面における RM の実態を明らかにできるという利点がある。加えて、RMEEQ は回答者自身の記憶活動について主観的な自己評価を求める尺度であるため、個人が自分自身の RM 行動や能力をどのように認識しているか、自身の RM に関する主観評価を抜えること (中田・森田, 2014) も特筆すべき点である。RM を含むソースモニタリングは、単に記憶のソースの質の評価のみによって行われるものではなく、文脈や自身の記憶活動に関して個人が有する知識などに基づく複雑な判断の結果であると想定されている (Johnson et al., 1993)。したがって、自身の RM 行動やその能力の主観評価で明らかにされる個人の記憶活動に関する認識は RM の遂行にも影響を及ぼす 1 つの重要な要素であり、RM の詳細なメカニズムを明ら

かにしていく上で自身のRMに関する主観評価を検討することは非常に有用だと考えられる。しかしながら、RMEEQと解離傾向や強迫性傾向などの個人特性との関連がいくつか報告されているものの(中田・森田, 2014, 2017), 自身のRMに関する主観評価を扱った研究は未だ多くなく、日常場面におけるRM行動やその能力に関する自己評価がどのような心理的特性や神経活動における特性と関連するのかは明らかになっていない。

自身のRMに関する主観評価と関連する神経基盤を検討する際に有用なアプローチの一つが、自発的脳活動との関連を検討することである。近年の認知神経科学的研究では、外界からの刺激入力を伴わない安静時に計測される内因性の自発的脳活動と人間の心理的特性や認知機能との関わりが注目を集めている(宮内, 2013; 宮内・上原・寒・小池・飛松, 2012; Northoff, Duncan, & Hayes, 2010)。従来、外界からの刺激入力によらない脳活動はノイズとみなされ研究対象として扱われてこなかったが、最近では安静状態で記録される内因性の自発脳波と様々な精神疾患や個人特性との関連について検討が進められている(宮内, 2013)。内因性の自発的脳活動は、刺激によって誘発される外因性脳活動を調整し、その後の行動や反応に影響すると考えられている(レビューとして、Northoff, 2014; Northoff, Qin, & Nakao, 2010)。つまり、RM課題実施時の脳活動のように刺激によって誘発される外因性脳活動の個人差は、内因性脳活動に起因すると考えられる。したがって、本研究では、RMに関わる自己評価に関連する内因性の自発的脳活動の特徴を検討する。

脳波の定量化には様々な指標があるが、本研究では、特に自発脳波の時間的変動に関わる指標に着目する。脳は外界からの刺激を受けずとも、神経間での同期した電位変化が生じ、自発的に周期的な神経活動を示す(Buzsaki, 2006)。従来、脳波は特定の周波数の振幅などによって特徴づけられてきたが、近年では時間の経過に伴う変動の仕方にも注目が集まっている(e.g., Linkenkaer-Hansen et al., 2005)。我々の神経活動は内外からの刺激を受けて刻々と変化しており、それらの変動は神経活動の協調の遷移を反映していると言える。神経活動と様々な認知機能との関連が示されている中でも、記憶はシナプスの接続性の変化に依存しており、特にニューロン間の同期レベルによって影響を受ける現象の一つである(Hanslmayr, Axmacher, & Inman, 2019; Klimesch, 1996)。したがって、記憶のソースの弁別過程の一種であるRMにおいても、時間経過に伴う自発脳波の変動が重要な役割を果たす

可能性が考えられる。本研究では、時間的変動に焦点を当てた指標として、自己相関の持続性(long-range temporal correlation: LRTC; Linkenkaer-Hansen, Nikouline, Palva, & Ilmoniemi, 2001)と、ピーク周波数の変動(Wolff et al., 2019)の2つを取り上げる。

まず、LRTCは、近年心拍や脳波などの生体データに適用されるようになった指標の一つである。LRTCは、トレンド除去変動分析(detrended fluctuation analysis: DFA)などの定量化手法を用いて評価され(e.g., Hardstone et al., 2012; Linkenkaer-Hansen et al., 2001)、神経活動の変動における数秒から数分の期間の記憶の程度を反映していると考えられている(Linkenkaer-Hansen et al., 2001)。アルツハイマー病(Montez et al., 2009)や大うつ病(Linkenkaer-Hansen et al., 2005)など様々な精神疾患でLRTCの減弱が報告されており、例えば統合失調症の患者は健常者と比べて α 、 β 周波数帯域の振幅は変わらない一方で、LRTCは弱いことが報告されている(Nikulin, Jönsson, & Brismar, 2012)。LRTCは、神経ネットワークの興奮性と抑制性の結合のバランスから生起することが示されており(Poil, Hardstone, Mansvelder, & Linkenkaer-Hansen, 2012)、統合失調症患者で観察される弱いLRTCは、神経活動のランダムな変動の増加、すなわち神経活動がよりランダムで統合されていない状態に起因する可能性が提案されている(Nikulin et al., 2012)。

また、ピーク周波数の変動係数(coefficient of variation: CV)を算出することで時間の経過における自発脳波の変動を評価した研究もある(e.g., Wolff et al., 2019)。ピーク周波数とは特定の周波数帯域における優勢周波数であり、神経ネットワークへの入力増加に伴い増大する(Cohen, 2014)。また、低いピーク周波数は神経発火の閾値を低下させることから、発火タイミングの変動性を増加させることが示されている(Cohen, 2014)。ピーク周波数の算出にはいくつか方法があるが、Cohen(2014)は位相角の時系列を用いて、各瞬間の位相ピーク周波数の時間変化を計算する手法を提案している。ある周波数帯域のピーク周波数のCVはピーク周波数の時間的な変動の大きさを表しており、CVが大きいほど、その周波数帯域のピーク周波数が非定常であることを示している。Wolff et al.(2019)は、大うつ病性障害の患者を対象に安静時の脳波におけるピーク周波数の変動について検討し、大うつ病性障害の患者は健常者と比較して α 帯域のピーク周波数が小さく、ピーク周波数のCVは大きいことを示している。

以上から、RMに関わる自己評価は情報統合を要す

る記憶に関わる個人特性であり、統合失調症をはじめとする精神疾患の症状の背景としても想定されていることを踏まえると、安静状態で観察される自発脳波の時間的変動が日常的なRMに関する自己評価にも関与している可能性がある。そこで本研究では、日常生活場面でのRMエラー経験頻度の自己報告と、自発脳波の時間的変動との関連を検討した。特に本研究では、自発脳波の時間的変動を捉えるために、自発脳波のLRTCとピーク周波数の変動という2つの脳波指標を用いた。

先行研究の知見に基づき、本研究では、特に前頭領域の β 帯域の活動に焦点を当てることとした。RM能力の神経基盤を検討した先行研究で、内的に生成した情報の記録・想起時に前頭 β 帯域の活動がより強く減衰することが示唆されていること (Subramaniam et al., 2019) や、RM能力の障害が指摘されている統合失調症患者において β 帯域のLRTCが減弱していること (Nikulin et al., 2012) から、日常場面におけるRMの自己評価も、高周波帯域の活動と関連していると考えられる。以上を踏まえて、本研究の仮説は、前頭 β 帯域の波形の時間的変動、すなわち神経活動の不安定さが、日常場面におけるRMエラーの経験しやすさの自己評価と正に相関するとした。具体的には、RMエラー経験頻度と前頭 β 帯域のLRTCの指標が負に相関し、RMエラー経験頻度と前頭 β 帯域のピーク周波数のCVは正に相関すると予測した。

2. 方法

2.1 参加者

広島大学の大学生・大学院生169名が参加した。参加者は全員が日本語母語話者であり、心身ともに健康であること、実験開始3時間前からカフェインやアルコールの摂取はしていないことが確認された。全ての参加者から実験前に書面によるインフォームドコンセントを得た。なお、質問紙の回答に不備があった者、および取得した脳波データの前処理で過剰なアーティファクトが見られた者を除外した結果、分析対象は135名(男性63名、女性72名、平均20.8歳、 $SD = 2.5$)であった。脳波データは、LRTC算出用に20秒ごとに区切ったエポック数が前処理の結果10エポック未満、または、ピーク周波数算出用に5秒ごとに区切ったエポック数が前処理の結果100エポック未満だった場合に、分析から除外した。すべての分析対象者でLRTCとピーク周波数の両方が算出可能であった。

2.2 質問紙

リアリティ・モニタリング・エラー経験質問紙

日常場面におけるRMエラー経験の頻度を尋ねるために、中田・森田(2014)のリアリティ・モニタリング・エラー経験質問紙(Reality-Monitoring Error Experience Questionnaire: RMEEQ)を用いた。本尺度は1因子全32項目で構成されており、日常場面で経験され得るRMエラーを示した項目(e.g.「得意な分野の事柄について、実際には見たこと・聞いたことがないのに、既に見たこと・聞いたことがある」といふこと)について、ふだんの自分にどの程度該当するかを、5件法(5:非常によくある—1:まったくない)で回答するよう求めた。

2.3 手続き

電極装着後、閉眼安静時の自発脳波を5分間記録した。自発脳波の記録中は、実験室の照明を落とし、リラクセスして過ごすよう求めた。その後、自発脳波記録中の覚醒度や眠ってしまった期間がなかったか等の状態をチェックするための質問を含む質問紙への回答を求めた。

2.4 脳波の記録と解析

脳波は、銀-塩化銀アクティブ電極を配置した電極キャップ(actiCAP; Brain Products社)を用いて、10-10法に基づく頭皮上63部位(AF3, AF4, AF7, AF8, C1, C2, C3, C4, C5, C6, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, CPz, Cz, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6, Fp1, Fp2, FT10, FT7, FT8, FT9, Fz, FCz, O1, O2, Oz, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, PO10, PO3, PO4, PO7, PO8, PO9, POz, Pz, T7, T8, TP7, TP8)より記録した。基準電極は鼻尖に、接地電極はAFzに設置した。また、眼電図の測定のために右眼窩下にも皿電極を配置した。各電極のインピーダンスは20 k Ω 以下になるようにした。脳波および眼電図は、Brain Products社のアクティブ脳波計測システム(DC脳波計BP-01110)を用いてDC-250 Hz帯域幅で増幅し、サンプリング周波数1,000 Hzで記録した。

安静時脳波の前処理には、MATLAB9.4.0(Mathworks Inc.)で動作するEEGLABツールボックス(Delorme & Makeig, 2004)を用いた。眼電図の電極は除去した上で解析を行った。脳波データを250 Hzにダウンサンプリングした後、ハイパスフィルタ1 Hz、ローパスフィルタ50 Hzに設定された有限インパルス応答(FIR)フィルタを適用してフィルタリングした。全頭皮上電極の平均電位に再基準化し、artifact subspace reconstruction method (Mullen et al., 2015)と独立成分分析によりアーティファクトを除去した。

自己相関の持続性 LRTCの指標として、DFAの

スケーリング指数 (detrended fluctuation analysis exponent: DFAe; e.g., Hardstone et al., 2012; Linkenkaer-Hansen et al., 2001) を求めた。DFAe の算出には、75 %オーバーラップした20秒ごとのエポックに分けられた前処理後のデータを用いた。MATLAB の Neurophysiological Biomarker Toolbox (NBT; Hardstone et al., 2012) を使用して、電極ごとに β 帯域 (13–30 Hz) について DFAe を算出した。DFAe は0.5の時に神経活動がランダムな状態を意味し、DFAeが0.5より大きい時1に近いほど高い時間相関があることを示す。その後、前頭10電極 (F1, F2, F3, F4, Fz, FC1, FC2, FC3, FC4, FCz) を平均することで、前頭 β 帯域の DFAe を求め、以降の分析で使用した。

ピーク周波数 脳波データの前処理後、Cohen (2014) に従って、電極ごとに β 帯域 (13–30 Hz) のピーク周波数とその CV を求めた。データは5秒ごとのエポックに分け、周波数帯域を絞るために13–30 Hz のバンドパスフィルタを適用した。その際、周波数の上限・下限に15 %の遷移ゾーンを設定した。続いてデータをヒルベルト変換し、MATLAB の angle 関数によって位相角時系列を抽出した。そして、位相角時系列に時間微分を適用することで、瞬間的な周波数の時系列である周波数スライディング (Cohen, 2014) を算出した。その後、周波数スライディングに影響する非生理学的なノイズを減衰させるために、メディアンフィルタを適用した。なお、メディアンフィルタの計算回数は10回に設定した。

また、CV は、Wolff et al. (2019) に則り、 β ピーク周波数の不偏標準偏差を平均で除することによって算出した。その後、前頭10電極 (F1, F2, F3, F4, Fz, FC1, FC2, FC3, FC4, FCz) のピーク周波数とその CV を平均し、前頭 β ピーク周波数とその CV とした。

3. 結果

3.1 RMEEQ 合計点と脳波指標の記述統計量

RMEEQ について、5 と回答したものを4点、1 を0点として、0–128点の範囲でRM エラー経験が多少いほど高得点になるよう合計点を算出した。RMEEQ 合計点と自発脳波の各指標の記述統計量を Table 1 に示す。

3.2 RMEEQ 合計点と脳波指標の偏順位相関分析

RMEEQ 合計点と前頭 β 帯域の DFAe と前頭 β ピーク周波数の CV について、年齢、性別、BMI、閉眼安静時の覚醒度を統制した上で、偏順位相関分析を行った (Table 2)。その結果、RMEEQ 合計点と前頭

Table 1
RMEEQ 合計点、前頭 β 帯域 DFAe および前頭 β ピーク周波数とその CV の記述統計量

	RMEEQ 合計点	DFAe	ピーク周波数	CV
<i>M</i>	54.90	0.74	19.45	.009
<i>SD</i>	24.35	0.12	0.73	.002

Table 2
RMEEQ 合計点と前頭 β 帯域 DFAe およびピーク周波数とその CV の偏順位相関係数 (ρ)

	2	3	4
1. RMEEQ 合計点	-.046	.241**	.061
2. 前頭 β ピーク周波数	–	.132**	.055
3. 前頭 β ピーク周波数 CV		–	.001
4. 前頭 β 帯域 DFAe			–

注) 統制変数：年齢、性別、BMI、閉眼時覚醒度

**p < .01

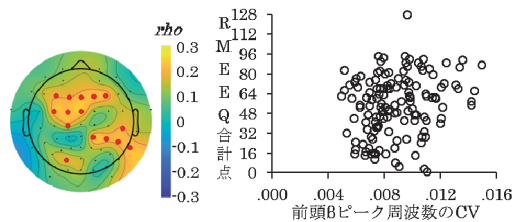


Figure 1. RMEEQ 合計点と各電極における β ピーク周波数の CV の偏順位相関係数を示したトポマップ (左; 年齢、性別、BMI、覚醒度を統制), および RMEEQ 合計点と前頭 β ピーク周波数の CV の散布図 (右)

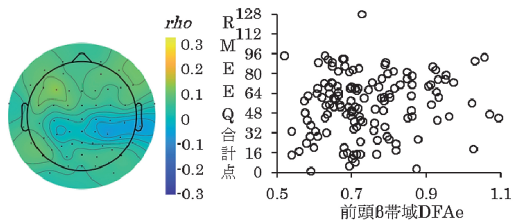


Figure 2. RMEEQ 合計点と各電極における β 帯域の DFAe の偏順位相関係数を示したトポマップ (左; 年齢、性別、BMI、覚醒度を統制), および RMEEQ 合計点と前頭 β 帯域の DFAe の散布図 (右)

β ピーク周波数の CV との間に有意な正の相関がみられた (partial $\rho = .241, p = .006$; Figure 1)。一方で、RMEEQ 合計点と LRTC の指標である前頭 β 帯域の DFAe の間 (Figure 2)、および前頭 β ピーク周波数の CV と前頭 β 帯域の DFAe の間には、有意な相関はみられなかった (それぞれ、partial $\rho = .061, p = .49$; partial $\rho = .001, p = .99$)。

4. 考察

本研究は、日常場面における RM エラーの経験頻度の自己報告と、閉眼安静時の自発脳波の時間的変動の関連について検討することを目的とした。本研究では、特に RM 能力との関連が多数示唆されている前頭 β 帯域に焦点を当て、閉眼安静時に取得された自発脳波の時間的変動の指標として LRTC とピーク周波数の変動を扱った。仮説として、自発脳波の前頭 β 帯域 LRTC は RM エラーの経験頻度の多さを示す RMEEQ と負に相関し、ピーク周波数の変動は RMEEQ と正に相関すると考えて検討を行った。

結果から、RMEEQ 合計点と閉眼安静時の前頭 β ピーク周波数の CV との間に正の相関がみられた。この結果は、日常場面において RM エラーを経験しやすいほど、 β 帯域ピーク周波数が不安定であることを示唆しており、本研究の仮説を支持するものである。ソースモニタリングが大うつ病性障害などの精神疾患患者において低下している (Degl'Innocenti & Bäckman, 1999) ことを考慮すると、本研究の結果は、大うつ病性障害の患者において α 帯域の自発脳波のピーク周波数がより変動しやすいことを示した Wolff et al. (2019) の結果とも整合的である。ピーク周波数の CV が大きいほど神経発火の閾値が非正常であることから (Cohen, 2014)、自発的脳活動におけるピーク周波数が変動しやすい、すなわち神経発火の閾値が変動しやすい人ほど、RM エラーを経験しやすくなると考えられる。

一方で、本研究では LRTC の指標と RMEEQ の間には有意な相関はみられず、安静時の自発脳波の LRTC と自身の RM 能力に関する自己評価の間には関連があるとは言えなかった。よって、本研究の仮説は自発脳波のピーク周波数の観点からは支持されたものの、自発脳波の LRTC の観点からは支持されないという結果になった。実在しない音声体験を訴える幻聴などの統合失調症の症状が RM の弱さに起因するという自己モニタリング仮説 (Frith, 1987) と、統合失調症患者における LRTC の弱さを報告した Nikulin et al. (2012) の結果を踏まえると、RM エラーが生じ

やすい人ほど弱い LRTC を示すことが予想できるが、本研究の結果からは、少なくとも神経活動の LRTC の弱さが RM エラーの経験しやすさに関わることは示されなかった。

同様に自発脳波の時間ダイナミクスを定量化しようとしているはずの β ピーク周波数の変動および LRTC と RMEEQ との関連に関するこれらの結果は、一見一貫しないように見える。このような結果が得られた原因として、自発脳波の時間的変動を扱うにあたり用いた 2 つの指標が測定しているものの違いが影響していると考えられる。LRTC は、神経活動の記憶の程度、つまりある時点の神経活動がそれ以前の神経活動の履歴にどの程度依存するのかを反映しており (Fedele et al., 2016; Linkenkaer-Hansen et al., 2001)、神経ネットワークの興奮性と抑制性の結合のバランスから生起する (Poil et al., 2012)。一方、ピーク周波数の CV は優勢周波数の時間的変動の大きさであり、神経発火の閾値の変動性を反映している (Cohen, 2014)。本研究において、これら 2 つの指標間には相関が見られなかったことも、これらが神経活動の異なる側面を表す指標であることを反映していると考えられる。

また、本研究では、前頭 β 帯域に焦点を絞って検討を行った。先行研究から、RM の神経基盤として mPFC が提案されているほか、前頭 β 帯域の神経活動はトップダウンの認知制御に関わる可能性が示唆されている (Engel & Fries, 2010)。RM の神経基盤に関するいくつかの先行研究では、mPFC を含む前頭 β 帯域の神経活動が記憶のソースによって影響を受けることが示唆されている (e.g., Subramaniam et al., 2019)。本研究でも、前頭 β 帯域の神経発火の閾値のばらつきが、日常場面における RM エラーの自己評価と正に相関することが示された。従来、前頭 β 帯域の神経活動と RM の関連は課題時の脳活動との関連で見出されてきたが、安静時の内因性脳活動である自発脳波においても同様の傾向が見られる可能性があるという点で、RM 研究の知見を拡張し得る。

本研究の問題点として、RMEEQ で測定されている RM に関する主観評価と、実際の RM 能力との乖離の可能性が挙げられる。本研究では RM エラー経験について参加者自身の主観報告により RM を評価したが、RM に関する自己評価が低い、すなわち日常生活で自分はよく RM エラーを経験すると考えている個人が、実際にソースモニタリングに失敗しているのかは不明である。メタ分析において、記憶効力感に表れるような記憶能力に関する自己評価と実際の課題パフォーマンスの間には概ね弱い相関しか見られないことが示唆されていることから (Beaudoin & Desrichard,

2011), RMEEQ と実際の RM 能力の関連についても押さえておく必要がある。今後は, RMEEQ を用いて RM に関する自己評価を測るとともに, RM 課題を用いて実際の RM 能力を測定し, RM 能力と自発脳波の時間ダイナミクスの関連についても検討していくべきだろう。なお, RM の障害が報告されている統合失調症患者が RM エラーに気付かず幻聴を訴えるように, RM エラーの生起を正しく認知できるかどうかは精神疾患やその傾向などの別の要因によっても左右される。今後 RMEEQ を用いて自身の RM に関する主観評価を求める際には, 参加者の個人特性も考慮した上で検討を行う必要がある。また, 実験室実験における実際の RM 能力との比較だけでなく, 幼少時の出来事のインタビュー調査などの工夫によってより日常生活場面に近い状況における実際の RM 能力も測定し, RM に関する自己評価と実際の RM 能力, それらに關与する神経活動の時間ダイナミクスを検討していくことで, RM というプロセスに關与する神経基盤の解明が進むと期待される。

【引用文献】

- 浅井 智久・丹野 義彦 (2010). 声の中の自己と他者— 幻聴の自己モニタリング仮説— 心理学研究, **81**, 247-261.
- Beaudoin, M., & Desrichard, O. (2011). Are memory self-efficacy and memory performance related? A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, **137**, 211-241.
- Buzsaki, G. (2006). *Rhythms of the brain*. New York: Oxford University Press.
- Cohen, M. X. (2014). Fluctuations in oscillation frequency control spike timing and coordinate neural networks. *Journal of Neuroscience*, **34**, 8988-8998.
- Degl'Innocenti, A., & Bäckman, L. (1999). Source memory in major depression. *Journal of Affective Disorders*, **54**, 205-209.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, **134**, 9-21.
- El Haj, M., Fasotti, L., & Allain, P. (2012). Source monitoring in Alzheimer's disease. *Brain and Cognition*, **80**, 185-191.
- Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations—Signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, **20**, 156-165.
- Fairfield, B., & Mammarella, N. (2009). The role of cognitive operations in reality monitoring: A study with healthy older adults and Alzheimer's-type dementia. *The Journal of General Psychology*, **136**, 21-40.
- Fedele, T., Blagovechtchenski, E., Nazarova, M., Iscan, Z., Moiseeva, V., & Nikulin, V. V. (2016). Long-range temporal correlations in the amplitude of alpha oscillations predict and reflect strength of intracortical facilitation: Combined TMS and EEG study. *Neuroscience*, **331**, 109-119.
- Frith, C. D. (1987). The positive and negative symptoms of schizophrenia reflect impairments in the perception and initiation of action. *Psychological Medicine*, **17**, 631-648.
- Hanslmayr, S., Axmacher, N., & Inman, C. S. (2019). Modulating human memory via entrainment of brain oscillations. *Trends in Neurosciences*, **42**, 485-499.
- Hardstone, R., Poil, S. S., Schiavone, G., Jansen, R., Nikulin, V. V., Mansvelder, H. D., & Linkenkaer-Hansen, K. (2012). Detrended fluctuation analysis: A scale-free view on neuronal oscillations. *Frontiers in Physiology*, **3**, 450.
- Harvey, P. D. (1985). Reality monitoring in mania and schizophrenia: The association of thought disorder and performance. *Journal of Nervous and Mental Disease*, **173**, 67-73.
- Henkel, L. A., & Franklin, N. (1998). Reality monitoring of physically similar and conceptually related objects. *Memory & Cognition*, **26**, 659-673.
- Hyman, I. E., & Billings, F. J. (1998). Individual differences and the creation of false childhood memories. *Memory*, **6**, 1-20.
- Johnson, M. K. (1988). Reality monitoring: An experimental phenomenological approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, **117**, 390-394.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, **114**, 3-28.
- Kemp, S., Burt, C. D., & Sheen, M. (2003). Remembering dreamt and actual experiences. *Applied Cognitive Psychology*, **17**, 577-591.
- Khalighinejad, N., Schurger, A., Desantis, A., Zmigrod, L., & Haggard, P. (2018). Precursor processes of human self-initiated action. *Neuroimage*, **165**, 35-47.

- 金城 光 (2001). ソース・モニタリング課題を中心としたソース・メモリ研究の動向と展望. *心理学研究*, **72**, 134-150.
- Klimesch, W. (1996). Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, **24**, 61-100.
- Lavallé, L., Brunelin, J., Bation, R., & Mondino, M. (2020). Review of source-monitoring processes in obsessive-compulsive disorder. *World Journal of Psychiatry*, **10**, 12-20.
- Linkenkaer-Hansen, K., Monto, S., Rytysälä, H., Suominen, K., Isometsä, E., & Kähkönen, S. (2005). Breakdown of long-range temporal correlations in theta oscillations in patients with major depressive disorder. *Journal of Neuroscience*, **25**, 10131-10137.
- Linkenkaer-Hansen, K., Nikouline, V. V., Palva, J. M., & Ilmoniemi, R. J. (2001). Long-range temporal correlations and scaling behavior in human brain oscillations. *Journal of Neuroscience*, **21**, 1370-1377.
- McNally, R. J., & Kohlbeck, P. A. (1993). Reality monitoring in obsessive-compulsive disorder. *Behaviour Research and Therapy*, **31**, 249-253.
- 宮内 哲 (2013). 脳を測る—改訂ヒトの脳機能の非侵襲的測定— *心理学評論*, **56**, 414-454.
- 宮内 哲・上原 平・寒 重之・小池 耕彦・飛松 省三 (2012). Default Mode Network と Resting State Network —fMRI による「脳の状態」の計測— *認知神経科学*, **14**, 1-7.
- Montez, T., Poil, S. S., Jones, B. F., Manshanden, I., Verbunt, J. P., van Dijk, B. W., ... Linkenkaer-Hansen, K. (2009). Altered temporal correlations in parietal alpha and prefrontal theta oscillations in early-stage Alzheimer disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106**, 1614-1619.
- Mullen, T. R., Kothe, C. A., Chi, Y. M., Ojeda, A., Kerth, T., Makeig, S., ... Cauwenberghs, G. (2015). Real-time neuroimaging and cognitive monitoring using wearable dry EEG. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **62**, 2553-2567.
- 中田 英利子・森田 泰介 (2014). リアリティ・モニタリング・エラー経験質問紙の開発と信頼性・妥当性の検討. *心理学研究*, **85**, 168-177.
- 中田 英利子・森田 泰介 (2017). 日常場面におけるリアリティ・モニタリング・エラー経験と強迫神経症傾向との関連性. *パーソナリティ研究*, **26**, 167-169.
- Nikulin, V. V., Jönsson, E. G., & Brismar, T. (2012). Attenuation of long-range temporal correlations in the amplitude dynamics of alpha and beta neuronal oscillations in patients with schizophrenia. *Neuroimage*, **61**, 162-169.
- Northoff, G. (2014). Are auditory hallucinations related to the brain's resting state activity? A 'neurophenomenal resting state hypothesis'. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, **12**, 189-195.
- Northoff, G., Duncan, N. W., & Hayes, D. J. (2010). The brain and its resting state activity—Experimental and methodological implications. *Progress in Neurobiology*, **92**, 593-600.
- Northoff, G., Qin, P., & Nakao, T. (2010). Rest-stimulus interaction in the brain: A review. *Trends in Neurosciences*, **33**, 277-284.
- Poil, S. S., Hardstone, R., Mansvellder, H. D., & Linkenkaer-Hansen, K. (2012). Critical-state dynamics of avalanches and oscillations jointly emerge from balanced excitation/inhibition in neuronal networks. *Journal of Neuroscience*, **32**, 9817-9823.
- Simons, J. S., Garrison, J. R., & Johnson, M. K. (2017). Brain mechanisms of reality monitoring. *Trends in Cognitive Sciences*, **21**, 462-473.
- Subramaniam, K., Hinkley, L. B., Mizuiru, D., Kothare, H., Cai, C., Garrett, C., ... Nagarajan, S. S. (2019). Beta-band activity in medial prefrontal cortex predicts source memory encoding and retrieval accuracy. *Scientific Reports*, **9**, 6814.
- Sussman, A. L. (2001). Reality monitoring of performed and imagined interactive events: Developmental and contextual effects. *Journal of Experimental Child Psychology*, **79**, 115-138.
- Vinogradov, S., Luks, T. L., Schulman, B. J., & Simpson, G. V. (2008). Deficit in a neural correlate of reality monitoring in schizophrenia patients. *Cerebral Cortex*, **18**, 2532-2539.
- Wolff, A., de la Salle, S., Sorgini, A., Lynn, E., Blier, P., Knott, V., & Northoff, G. (2019). Atypical temporal dynamics of resting state shapes stimulus-evoked activity in depression—An EEG study on rest-stimulus interaction. *Frontiers in Psychiatry*, **10**, 719.

【謝辞】

本実験の実施および実験データの解析に関して、実験実施に多大なるご尽力をいただいた、小林亮太さん、橋本淳也さん、本多樹さん、平本亮介さん、朱建宏さん、山本一希さん、原口優輔さん、岩佐康弘さん、河

原剛さん、庵野真代さん、中川莉沙さんに心より感謝申し上げます。

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)のCOIプログラムJPMJCE1311、およびJSPS科研費JP19J11638の支援を受けたものです。