

ミニシンポジウム2

中枢系の心理生理学はどこへいくのか

— 予期と予測の観点から —

企画・司会 入戸野 宏 (広島大学大学院総合科学研究科)

中枢系の心理生理学を取り巻く現在の状況は、次のように要約できるだろう。まず、測定技術は成熟し、さらなる進化を遂げている。これに伴い、発表される論文数は増加し、研究の実施から出版に至るまでのプロセスも迅速化している。また、ここ数年間の新興国（特に中国）の成長は顕著であり、発表論文数ですら日本は追い越されている感がある。このような現状において、注目される面白い研究をするためには、何が必要だろうか？

社会心理学者の Abraham Tesser によると、仮説や理論には S アイデアと B アイデアがあるという (Tesser, 2000)。S アイデアは世界に対するほとんど官能的 (sensual) ともいえる新しい見方を提供してくれるが、B アイデアはありふれた退屈 (boring) な見方であり心を動かされない。前者は明快な論理とデータに裏打ちされているが、後者は直感に頼りすぎて理論的深みにかける。

心理生理学の魅力のひとつは“見えないもの (心) を見えるように実体化してくれる”という“見える化 (visualization)”の技術にある。心理—行動—生理の相関関係を実証し、その背後にある仕組みを明快に説明する理論があれば、それは心理生理学における S アイデアになるだろう。

心理生理学の技術を使って何をすればよいのか？そのような根源的問いに答えるヒントを得るために、今回のシンポジウムを企画した。現在もっとも活躍している若手・中堅の研究者に、それぞれの研究関心と将来の展望を語っていただいた。共通するテーマとして、“予期と予測”という概念を取り上げた。

予期と予測は、認知心理学・認知科学における中心概念の一つであり、心理生理学の分野でもなじみが深い。事象関連電位が認知研究に使われるようになったのは、P300 や CNV (contingent negative variation) といった成分の発見がきっかけになっている (Sutton et al., 1965; Walter et al., 1964)。これらの成分が *Science* や *Nature* といった一般科学誌に発表されたのは、目に見えない予期や予測を見える化した功績が大

きいだろう。

木村元洋先生は、視覚刺激の変化に関連した脳電位についての研究で国際的に高い評価を受けている。今回は“感覚・知覚における予期”について、予測できる規則的な感覚事象を視覚システムがいかに効率的に符号化しているかを、事象関連電位のデータに基づいてご紹介いただいた。

小野田慶一先生は、ラットの脳波・事象関連電位からスタートし、現在は脳磁図や fMRI を用いて幅広い研究を行っている。今回は“情動事象の予期”について、予期が破綻したモデルとしてのうつ病患者・うつ傾向者の例にも触れつつ、fMRI のデータに基づいて話題提供していただいた。

佐藤徳先生は、質問紙研究から事象関連電位までこなすオールラウンドプレーヤーである。今回は“行為における予期”について、行為結果の予測と実際の結果との一致／不一致が“ある行為を自己が行っているという感覚 (sense of agency)”を決めるという研究をご紹介いただき、生理指標の利用可能性についてご提案いただいた。

指定討論は沖田庸嵩先生に依頼した。事象関連電位を中心とした長年の研究経験から、それぞれの話題提供についてコメントをいただいた。

3 人の演者の発表は、自らの豊富な研究成果に基づいたものであり、充実していた。全体討論の時間が十分に取れなかったのが残念であったが、質の高いシンポジウムであったといえる。

引用文献

- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, **150**, 1187-1188.
- Tesser, A. (2000). Theories and hypotheses. In R. J. Sternberg (Ed.), *Guide to publishing in psychology journals*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 58-80.
- Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C., & Winter, A. L. (1964). Contingent negative variation: An electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, **203**, 380-384.

※演者の好意により、発表スライドを Web 上で公開しました (<http://home.hiroshima-u.ac.jp/erp>)。

視覚システムにおける規則性の自動的保持

- 視覚ミスマッチ陰性電位を用いた検討 -

○木村 元洋

(日本学術振興会・名古屋大学大学院環境学研究所)

筆者は、事象関連脳電位 (ERP) を指標とした実験研究を通し、ヒトの視覚的注意・記憶メカニズムの実証的理解を目指してきた。本ミニシンポジウムでは、「予期・予測」に着目して行った最近の 4 つの実験について紹介するとともに、今後、心理生理学分野において興味深い研究を行っていくために必要と思われる視点についての私見を述べる。

1. はじめに

変化・逸脱事象に対する受動的な注意捕捉に関する情報処理モデル (Näätänen, 1992; Schröger, 1997; Winkler, 2007) によると、我々の感覚システムは、現時点で入力された感覚刺激表象 (R) と、それ以前までの感覚刺激系列から抽出された記憶表象 (R') を常に自動的に比較照合している。このような情報処理を仮定した場合、感覚刺激系列中に含まれるどのような情報までが R' に自動的に保持されるのかが興味深い問題となる。

この問題に関し、これまで二つの仮説が提唱されている: (1) 感覚記憶痕跡仮説 (Näätänen, 1992), (2) 規則性仮説 (Schröger, 2007; Winkler, 2007)。感覚記憶痕跡仮説は、古典的な記憶の三段階モデル (Atkinson & Shiffrin, 1968) に基づくものであり、R' には、先行する感覚刺激系列において反復的に呈示された刺激の静的な特徴が自動的に保持されるとされる。一方、規則性仮説は、脳の予期的符号化に注目した近年の計算論的・認知神経科学的理論 (e.g., Bar, 2007; Friston, 2005) と整合するものであり、R' には、静的な刺激特徴だけでなく、感覚刺激系列中に内在する動的な規則性 (ルール) も自動的に保持されているとされる。

筆者はこの問題の解明にあたり、視覚システムにおける R' の特性を高い精度で指標しうる ERP 成分、すなわち R-R' 間のミスマッチを反映する ERP 成分をまず同定し (実験 1)、同定された ERP 成分を指標として R' の特性を検討する (実験 2-4)、という流れで研究を進めてきた。

2. 実験的検討

(実験 1) これまで、視覚における R-R' 間のミスマッチを反映すると考えられてきた逸脱関連陰性電位 (DRN) は、実は二つの ERP 成分からなり、その後半の成分のみが R-R' 間のミスマッチを反映する視覚ミスマッチ陰性電位 (vMMN) である (Kimura, Katayama, Ohira, & Schröger, 2009)。

(実験 2-4) 静的刺激特徴だけでなく、様々な動的規則性が R' に自動的に保持される: 「刺激 A は刺激 A に後続される (AA)」という単純な具体的ルール (Kimura, Schröger, Czigler, & Ohira, 2009), 「刺激 A の 4 回の呈示後に刺激 B が呈示される (AAAAB)」という複雑な具体的ルール (Kimura, Widmann, & Schröger, in preparation), および「ある刺激 X の後には同じ刺激 X が呈示される (XX)」という抽象的ルール (Kimura, Stefanics, & Czigler, in preparation)。

(まとめ) R' は、規則性表象・予測モデルと呼びうる、高次でダイナミックな記憶表象である。このような記憶表象の存在から、意図せずとも記憶をもとに予測モデルをたて、環境に合わせてそのモデルを随時更新し、変化に富んだ環境での適応を達成しているダイナミックな視覚システムの姿が見えてくる。

3. おわりに

近年、脳 (心) に関する研究はその複雑さを急激に増している。そのような状況の中、心理生理学分野で興味深い研究を行っていくには今何が重要だろうか。筆者は、(1) 「脳 (心) とは何か」についての大胆にして包括的なアイデア (言い換えれば、入野先生が紹介された Tesser の「S アイデア」。本ミニシンポジウムのテーマである「予期・予測」も、この S アイデアの一つといえるだろう)、(2) その大胆な S アイデアに基づく緻密な実験 (目的にかなったクレバーなデザイン・ソリッドな指標・適切なデータ解析からなる実験)、(3) その S アイデアを橋渡しとして、脳 (心) に関する研究全体を概観することで見えてくる還元的な実験結果の解釈 (すなわち、限られた研究分野内だけでなく、研究分野間での整合性も考慮された解釈)、という三つの点を心がけて研究を進めることで、自分にとっても他人にとっても面白い研究を目指していきたい。

情動価を伴う将来予期の神経機序と うつ病における認知

小野田慶一（島根大学医学部）

我々は日常において様々な環境の変化にさらされているが、受動的にその変化を受け取るだけでなく、次に何が起こるか予期して生活している。しかし、このような予期機能はストレス関連疾患においてうまく機能していないことが指摘されている。うつ病では、将来のポジティブな情動事象を過小評価し、ネガティブなものを過大評価する認知的なバイアスが報告されている。本発表では、情動価を伴う将来予期の神経機序に関する健常者の知見を紹介し、さらに予期機能が破綻したモデルとしてうつ病を取り上げ、そのメカニズムについて検討した。

予期は、生存適応や感情制御の文脈において非常に重要である。まず、情動的な予期の効果を検討するために、予期された情動画像の処理と予期不可能であったときの処理の差異をMEGにより検討した。情動事象に対する視覚誘発磁場の振幅は、予期不可能であった場合よりも予期された場合において低減していた。この結果は、到来する刺激の内容が不快と予期される場合には刺激の入力を抑制することで、不快感情の喚起を抑制している可能性を示唆している。このような効果を得るためには予期区間からなんらかの準備が脳内において進行していると考えられる。Bastiaansenら(1999)の予期的注意モデルでは、前頭前野による選択的注意が視床のゲート機構を制御し、予期されるモダリティの視床-皮質の回路を活性化させるとしている。このモデルに一致して、 α 帯域の脱同期を指標としたMEG実験やfMRI実験によって、前頭前野・視床・視覚野が情動予期場面で準備的活動を示すことを明らかにした。さらにfMRIのデータからは扁桃体や前帯状回などの辺縁系領域の活動も不快予期に関連して認められた。これらの領域間の関連を検討するため、探索的にパス解析を行ったところ、辺縁系から前頭前野、前頭前野から知覚領域へと影響が及ぶモデルが得られた。この結果は、辺縁系の情動反応が警告信号として機能し、それを受けて前頭前野が知覚領域における準備的活動を制御している可能性を示唆している。

うつ病患者を対象に情動予期課題を行ったところ、右腹外側前頭前野の活動が対照健常者よりも亢進して

おり、さらにより重症であるほど、その活動が亢進していた。うつ病は前頭前野機能の低下を一般的には示すのに対し、情動予期場面ではその活動を亢進させるという結果は、うつ病の将来予期に関する認知バイアスを脳科学的視点から示したといえる。

他方、うつ病では将来のポジティブな事象を過小評価する傾向も存在する。将来のポジティブな事象として遅延を伴う報酬を扱い、強化学習モデルに基づき研究を進めた。まず、遅延報酬課題を用いて将来の見通しである割引率 γ とうつ傾向の関連を検討した。割引率 γ は0から1の間の値をとり、小さいほど将来の報酬を割り引いて評価することを意味する。この割引率 γ とうつ傾向には負の相関があり、高うつ傾向者ほど、将来の報酬を過小評価することが行動的に示された。次に、遅延報酬課題遂行時の脳活動をfMRIにより検討した。長期大報酬を選択した試行では、短期小報酬を選択した試行よりも内側及び背外側前頭前野、線条体の活動が亢進していたため、長期の報酬予測には前頭-基底核回路が関与していると考えられる。さらに個人特有の割引率 γ と前頭-基底核回路の関連を検討した。割引率 γ から推定される内的な報酬価と関連する領域を解剖学的に定義された線条体内において検討したところ、割引率 γ が高い人は背側線条体が、低い人は腹側線条体が長期報酬予測と関連していることが明らかとなった。この結果は、長期の報酬予測を行うためには、線条体の背側部がより重要であることを示している。

次に、うつ病患者とその対照健常者を対象に遅延報酬課題遂行中の脳活動をfMRIにより測定した。長期報酬予測に対する背外側前頭前野と線条体背側部の活動は、対照健常者よりもうつ病患者で低下していた。この結果は、背側の前頭-基底核回路が機能していないために、うつ病では将来のポジティブな事象に対する過小評価が生じている可能性を示唆している。

うつ病患者を対象とした研究から、情動価を伴う将来事象の予期に関連する前頭前野機能がネガティブな予期では亢進し、ポジティブな予期では低下したことが示された。これがうつ病における将来に対する認知バイアスの神経学的な基盤と考えられる。これらの研究は、精神疾患における病態の理解を目指したものである。今後は、治療の評価やその事前予測の観点からの研究が重要となると考えられる。

Agency 感の成立要因について —身体化された自己から言語制作される自己へ—

○佐藤 徳 (富山大学人間発達科学部)

目 的

エージェンシー感とは、自分がある行為や結果の原因となっているという感覚のことである (Gallagher, 2000)。エージェンシー感成立に関する仮説には、順モデルによる動作の感覚結果の予測を重視する立場 (e.g., Sato & Yasuda, 2005) と事後的な推論を重視する立場 (e.g., Wegner, 2002) とがある。後者では、他に考えられる理由がなければ、先行する思考と結果が一致した場合に、その行為者や作者は自分だと解釈されるという。本研究では、両仮説の妥当性を検証する。

方 法

研究対象 31 名の右利きの大学生 (男性 15 名・女性 16 名) が参加した。対象者の平均年齢は 21.26 歳であった。実験の趣旨に関する説明の後、全対象者から書面によるインフォームドコンセントを得た。実験計画 順モデルによる感覚結果の予測可能性 (高・低)×プライムと実際の結果の概念的 consistency (一致・不一致・中立) の 2 要因計画であり、いずれも対象者内要因とした。

手続き エージェンシー判断課題 実験に先立ち、対象者は実験用の PC に 2 台のモニターと反応キーが接続されていることを確認するように求められた。1 台は対象者の正面にあり、もう 1 台は実験者の正面にあり、実験中はカーテンにより仕切られ、対象者から隠された。対象者は 1 台の PC が双方の反応キーにより操作可能であることを確認し、実験中に実験者がキーを押すことがあると信じさせられた。なお、実際には実験者は一切キーを押さなかった。

各試行では、まず、プライム刺激として、「青」、「赤」、「直」(結果と無関連な中立刺激) のいずれかの文字を 30 ms モニター中央に呈示し、その後、マスク刺激として「岩」という文字を 100 ms モニター中央に呈示した。その後、ターゲット刺激として、「@」「#」のいずれかを 50 ms 呈示した。対象者は、「@」が見えたら右の人差し指で右のボタンを、「#」が見えたら左の人差し指で左のボタンを押すように

求められた。対象者は、実験者がキーを押す場合もあることを告げられた。刺激と反応の関係は対象者間でカウンターバランスした。キー押し後の 250 ms 後に赤い丸か、青い丸を 500 ms 呈示した。次の試行は 1 s 後に始まった。

予測可能性高条件では、右のキーを押したら 75% の確率で青い丸、左のキーを押したら 75% の確率で赤い丸が出るという具合に、反応により結果が予測できた。他方、予測可能性低条件では、対応関係は 50% とし、反応により結果を予測できないようにした。また、一致条件ではプライム刺激と結果が一致し (「青」と出た後に青い丸が出る)、不一致条件では両者が一致しなかった。中立条件では、中立刺激をプライム刺激として呈示した。各条件を 40 試行からなる異なるブロックとして実施し、各 2 回、ランダムな順で行った。各ブロック後、対象者は、エージェンシー感について、「0. まったく自分でない」から「100. 完全に自分だ」の間で回答するように求められた。

結 果

エージェンシー感について繰り返しのある分散分析を実施したところ、予測可能性の主効果 ($F(1, 30)=197.47, p<.0001$)、一致性の主効果 ($F(1.83, 54.89)=79.31, p<.0001$)、両者の交互作用 ($F(1.88, 56.39)=60.84, p<.0001$) とともに有意であった。予測可能性高条件では一致条件におけるエージェンシー感が不一致条件におけるそれと比較して極めて高いが、予測可能性低条件ではその差はわずかであった。

考 察

エージェンシー感の成立には、順モデルによる予測と感覚結果の consistency がより基礎的な寄与を行っていると考えられるが、先行する思考と結果との概念的 consistency も必要であることが示唆された。

なお、本シンポジウムでは、本研究を含む、いくつかの研究を紹介し、Agency 感が感覚運動レベルと概念レベルの少なくとも 2 層からなること、より大きく、自己は身体化された自己から言語制作される自己へと、前者を基盤にしつつも多層的に成り立っていることを論じ、生理研究への示唆をいくつか論じた。