

# 行為における予期と結果との認知的ミスマッチに関する研究

足 立 信 夫

パナソニック株式会社 先端技術研究所

## Study on cognitive mismatch between action-based expectations and outcomes

Shinobu ADACHI

Advanced Technology Research Laboratory, Panasonic Corporation

**Abstract:** Many people have experienced problems and frustrations with unexpected responses when operating computers or appliances. An objective index of such problems was developed using brain potential responses. Event-related potentials from expected and unexpected visual stimuli that were presented after voluntary actions were recorded and compared, in order to identify the specific components that reflect the cognitive mismatch between action-based expectations and outcomes. Results indicated that a late positive potential (LPP) in a latency range of 500–700 ms was elicited to a cognitive mismatch, regardless of the choice of action, task instructions about the occurrence, or the type of expectation. Moreover, the amplitude of the potential decreased after several repetitions of the cognitive mismatch. Based on these results, a model of brain potential responses to cognitive mismatch is suggested. Furthermore, a practical application (i.e. usability testing) of the LPP was indicated. This study has increased the basic knowledge about objectively measuring of cognitive mismatch.

**Key Words:** Event-related potential, Cognitive mismatch, Late positive potential, Action effect

### 第1章 序論

機器を操作していて、思った通りに機器が動作せずに“使いにくさ”を感じた経験は誰もが持っている。本研究では、そのような使いにくさを反映する客観的な指標の探索を目指す。予期と結果とが一致しない場合を“認知的ミスマッチ”と定義し、行為遂行状況で発生する認知的ミスマッチに関連した脳電位反応（事象関連電位、event-related potential: ERP）を検討する。

機器操作などのインタフェース場面では、ある目標を達成するためにメンタルモデルに基づいて特定の行為を選択・実行し、行為後に生じる事象（機器動作）を知覚・認知して予期と一致していたかを評価し、次の行為を計画するというサイクルが存在する（Norman, 1986）。ユーザのメンタルモデルが実際の機器動作と一致していれば、このサイクルは中断せずに継続するが、一致していなければ作業を中断してメンタルモデルを修正する必要が生じる。このような予期と結果とのミスマッチは主観的にも体験されるが、それを客観的に測定することができれば、機器の使いにくさの

指標として利用できると考えられる。

脳波の一種であるERPは、時間分解能が高く、比較的簡便に計測可能という特長を有し、インタフェース場面におけるユーザの認知状態を測定するツールとして注目されている (Nittono, Hamada, & Hori, 2003)。自発的な行為によって得た事象に対するERPの従来研究により、行為における予測／予期の効果として、行為後の刺激に対する感覚誘発電位の振幅減少と (Bäss, Widmann, Roye, Schröger, & Jacobsen, 2009; Bäss, Jacobsen, & Schröger, 2008; McCarthy & Donchin, 1976; Schafer, Amochaev, & Russell, 1981; Schafer & Marcus, 1973)、予期と一致しなかったときの逸脱関連成分の振幅増大が報告されている (McCarthy & Donchin, 1976; Nittono & Ullsperger, 2000; Nittono et al., 2003; Nittono, 2004; Nittono, 2005; Nittono, 2006)。しかし、インタフェース場面を想定しつつ、予期に基づいて選択・実行した行為の結果に対するERPを測定した研究はなかった。

序論では、行為後の認知的ミスマッチの発生状況や測定意義、ミスマッチに関連した事象関連電位の従来研究についてまとめた。

## 第2章 認知的ミスマッチに対する特徴的な事象関連電位の探索 (研究1)

研究1では、予期と結果とのミスマッチに対する、特徴的なERPの有無について検討した。

手がかり刺激の“L”または“R”に対してマウスクリックの左右を選択させ、直後に行為選択に対応する行為後刺激を呈示した。不一致試行として、まれに行為選択とは異なる行為後刺激を呈示した ( $p = .20$ )。行為後刺激の種類によらずミスマッチに共通するERPを探索するために、行為後刺激の内容を変えて2つの実験を実施した。

実験1では、行為後刺激として選択された行為の正誤を示す“○”または“×”の記号を呈示した。実験2では、選択された行為の左右を示す“Left”または“Right”の文字列を呈示した。その結果、両実験に共通して不一致試行に対して潜時500–700 msの後期陽性電位 (late positive potential:

LPP) が観察された。

研究1により、行為選択状況において認知的ミスマッチに関連してLPPが惹起される可能性を示せた。

## 第3章 行為選択と課題教示の有無が後期陽性電位に及ぼす影響 (研究2)

研究2では、LPP生起の要因を絞り込むために、行為選択の有無および不一致試行に対する課題教示の有無がLPPに及ぼす影響について検討した。

研究1の実験2のパラダイムをベースに、行為選択あり／なしと課題教示あり／なしの4条件 (固定条件、選択条件、固定+計数条件、選択+計数条件) を設定し、条件ごとのLPPを比較した。等頻度で“L”または“R”の手がかり刺激を呈示し、ボタン押しをさせ、行為後刺激としてボタン押しの直後に手がかり刺激に対応した“left”または“right”の文字列を呈示した。不一致試行として、まれに手がかり刺激とは逆の行為後刺激を呈示した ( $p = .20$ )。手がかり刺激に関わらず常に中央のボタンを押す固定条件と、手がかり刺激に応じて左右のボタンを選択する選択条件を設けた。最初に、不一致試行の発生を知らせない教示なし条件 (固定条件、選択条件) を実施し、その後で不一致試行の発生を事前に教示し、その発生回数をメンタルカウントさせる計数条件 (固定+計数条件、選択+計数条件) を実施した。その結果、全ての条件で不一致試行に対して潜時500–700 msの頭頂部 (Pz) 優勢のLPPが惹起された。行為選択なしの2条件と比較して、行為選択ありの2条件ではLPP振幅が有意に増大した。また、教示なし条件と比較して、計数条件では頭頂部 (Pz) と後頭部 (Oz) においてLPP振幅が有意に増大した。

研究2により、行為選択の有無および課題教示の有無に関わらず、LPPは手がかり刺激に基づく予期と結果とのミスマッチを反映することが明らかになった。また、LPPはP3 (P3b) 成分と陽性徐波 (positive slow wave: PSW) から構成される複合波である可能性が示唆された。

## 第4章 予期の種類が後期陽性電位に及ぼす影響 (研究3)

研究3では、LPPが反映するミスマッチのレベルについて検討した。

リモコンでTV番組を選択する状況を想定し、手がかり刺激で提示した3つの選択肢から参加者に好きなものをボタンで選択させ、選択に対応する画像を提示した。知覚的な予期と概念的な予期を切り分けるために、全ての試行において実際のTV映像をキャプチャした新奇なTVキャプチャ画像を用いた。そして、3タイプの手がかり刺激を用いて予期の種類を操作した。知覚的にも概念的にも行為後刺激の予期ができる手がかり刺激として、行為後刺激で提示する画像の縮小版のサムネイル画像を用いた（サムネイル画像条件）。概念的にのみ予期ができる手がかり刺激としてTV番組のカテゴリー名を用いた（カテゴリー名条件）。また、予期ができない統制として“?”を用いた（手がかりなし条件）。不一致試行として、まれにボタン押しによって選ばれなかった残りの2つの選択肢のどちらかに対応する画像を提示した ( $p = .20$ )。その結果、参加者が自発的に選んだ選択肢とは一致しないTVキャプチャ画像が提示された場合に、一致する場合と比較して振幅の大きな頭頂部優勢のLPP（潜時500–700 ms）が惹起された。サムネイル画像条件およびカテゴリー名条件の両条件において惹起されたことから、LPPは概念的予期とのミスマッチを反映することが明らかになった。また、サムネイル画像条件の不一致試行では、LPPに先行してP3成分が増大した。このP3成分は、知覚的予期と行為後刺激との顕著なミスマッチを反映するP3（P3a）成分であると考えられる。

研究3より、概念的予期とのミスマッチに対してLPPが、知覚的予期との顕著なミスマッチを反映してP3（P3a）成分がそれぞれ惹起されることが示せた。

## 第5章 ミスマッチの繰り返しが後期陽性電位に及ぼす影響 (研究4)

研究4では、認知的ミスマッチを反映するLPPの性質を調べるために、研究2の選択条件（教示なし条件）と選択+計数条件（計数条件）のデータを再分析し、不一致試行の繰り返しがLPPに及ぼす影響について検討した。

不一致試行が含まれる11試行から110試行を、11試行から44試行（Early）、45試行から77試行（Middle）、78試行から110試行（Late）の3段階に分割し、段階ごとの少数試行データを加算平均して、LPPの時系列変化について調べた。その結果、教示なし条件のLPP振幅は、Earlyと比較してLateにおいて有意に減少した。これに対して、計数条件のLPP振幅は変化しなかった。このことから、教示なし条件と計数条件で不一致試行に対して生起するLPPは、試行の繰り返しに伴う振幅変化特性が異なるといえる。

研究4から、認知的ミスマッチを反映するLPPは、メンタルモデルの更新によって比較的すみやかに減衰する性質があることが明らかになった。

## 第6章 総合考察

本研究では、機器操作などのインタフェース場面で発生する認知的ミスマッチの客観的指標を採る基礎研究として、認知的ミスマッチを反映する脳電位反応の有無およびその性質について検討した。4つの研究を行い、行為選択の有無、課題教示の有無、および行為後刺激に対する予期の種類によらずに、認知的ミスマッチに対して潜時500–700 msのLPPが惹起されることを明らかにした。また、その反応強度は認知的ミスマッチを数回経験するだけで減衰することがわかった。以上の結果をまとめて、認知的ミスマッチに対する脳電位反応のモデルを提案した。また、LPPの使いやすさ評価への応用例について説明した。最後に、今後の展望について述べた。本研究により、認知的ミスマッチを客観的に測定する方法に関する基礎的知見が得られた。

## 引用文献

- Bäss, P., Jacobsen, T., & Schröger, E. (2008). Suppression of the auditory N1 event-related potential component with unpredictable self-initiated tones: Evidence for internal forward models with dynamic stimulation. *International Journal of Psychophysiology*, **70**, 137–143.
- Bäss P., Widmann A., Roye A., Schröger E., & Jacobsen T. (2009). Attenuated human auditory middle latency response and evoked 40-Hz response to self-initiated sounds. *European Journal of Neuroscience*, **29**, 1514–1521.
- McCarthy, G., & Donchin, E. (1976). The effects of temporal and event uncertainty in determining the waveforms of the auditory event related potential (ERP). *Psychophysiology*, **13**, 581–590.
- Nittono, H. (2004). The action-perception paradigm: A new perspective in cognitive neuroscience. *International Congress Series*, **1270**, 26–31.
- Nittono, H. (2005). Missing-stimulus potentials associated with a disruption of human-computer interaction. *Psychologia*, **48**, 93–101.
- Nittono, H. (2006). Voluntary stimulus production enhances deviance processing in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, **59**, 15–21.
- Nittono, H., Hamada, A., & Hori, T. (2003). Brain potentials after clicking a mouse: A new psychophysiological approach to human-computer interaction. *Human Factors*, **45**, 591–599.
- Nittono, H., & Ullsperger, P. (2000). Event-related potentials in a self-paced novelty oddball task. *Neuroreport*, **11**, 1861–1864.
- Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. In: Norman, D. A., & Draper, S. W. (Eds.), *User Centered System Design*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. pp. 31–61.
- Schafer, E. W. P., Amochaev, A., & Russell, M. J. (1981). Knowledge of stimulus timing attenuates human evoked cortical potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **52**, 9–17.
- Schafer, E. W. P., & Marcus, M. M. (1973). Self-stimulation alters human sensory brain responses. *Science*, **181**, 175–177.

# Study on cognitive mismatch between action-based expectations and outcomes

Shinobu ADACHI

Advanced Technology Research Laboratory, Panasonic Corporation

## Abstract:

Many people have experienced problems and frustrations with unexpected responses when operating computers or appliances. An objective index of such problems was developed using brain potential responses. Event-related potentials from expected and unexpected visual stimuli that were presented after voluntary actions were recorded and compared, in order to identify the specific components that reflect the cognitive mismatch between action-based expectations and outcomes. Results indicated that a late positive potential (LPP) in a latency range of 500–700 ms was elicited to a cognitive mismatch, regardless of the choice of action, task instructions about the occurrence, or the type of expectation. Moreover, the amplitude of the potential decreased after several repetitions of the cognitive mismatch. Based on these results, a model of brain potential responses to cognitive mismatch is suggested. Furthermore, a practical application (i.e. usability testing) of the LPP was indicated. This study has increased the basic knowledge about objectively measuring of cognitive mismatch.

**Keywords:** Event-related potential, Cognitive mismatch, Late positive potential, Action effect