

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23830125

研究課題名（和文）：視覚における非意図的な時間文脈ベースの予測に関する脳内情報処理モデルの構築

研究課題名（英文）：Building an information processing model for the unintentional temporal-context-based prediction in vision

研究代表者

木村 元洋（KIMURA MOTOHIRO）

産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号：70612183

研究成果の概要（和文）：我々の脳は、視覚的なオブジェクトの時間的文脈（動きや変化のパターン）からルールを抽出し、そのオブジェクトが次にどのように変化するかを意図に問わず自動的に予測している：“非意図的な時間文脈ベースの予測”。本研究は、この非意図的な予測の脳内情報処理メカニズムを解明することを主目的とした。脳波の一種である事象関連脳電位を用いた実験を通し、この予測を反映する二種類の脳活動の同定に成功した：(1) 予測された事象と実際の事象が不一致の際に生起する、視覚皮質－前頭前野に発生源をもつ視覚ミスマッチ陰性電位、および(2) 予測された事象と実際の事象が一致した際に生じる、視覚皮質に発生源をもつ視覚誘発電位の増強および抑制。これらの結果は、この非意図的な予測が視覚皮質－前頭前野間の双方向性のネットワークにより達成されている可能性を示唆している。

研究成果の概要（英文）：Our brain automatically predicts forthcoming events by extracting sequential rules embedded in the temporal context (i.e., pattern of movements or changes) of a visual object: “unintentional temporal-context-based prediction”. The main purpose of this study was to investigate the neural mechanisms of this unintentional prediction. By conducting experiments using event-related brain potentials (ERPs) that are measured with electroencephalogram (EEG), two types of brain activities that reflect this unintentional prediction were identified: (1) visual mismatch negativity (generated from the visual and prefrontal areas) that is emerged when a current visual event is incongruent with predicted visual events, and (2) enhancement and suppression of visual evoked potentials (generated from the visual areas) that occur when a current visual event is congruent with predicted visual events. These results support the idea that this unintentional prediction may be implemented by a bi-directional cortical network that includes the visual and prefrontal areas.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：実験心理学

キーワード：予測，視覚，事象関連脳電位，脳波

1. 研究開始当初の背景

“備えあれば憂いなし”という諺があるが、これは脳の情報処理についてもよく当ては

まる。生物が環境に適応する上で最も重要な機能の一つが“予測”である。我々を取り巻く環境には常に様々な事象が生起している

が、脳の処理資源には限界があり、それらすべてを同時に処理することはできない。我々の脳は、この処理資源の限界を補うべく、環境中に起こりそうな事象を様々な方法で予測するという方略をとっている (e.g., Bar, 2007; Schubotz, 2007)。

視覚環境における適応の根底にも様々なタイプの予測機構が働いている。例えば、我々を取り巻く視覚環境には、常時膨大な数の視覚オブジェクトが存在し、その多くはその見えを時々刻々と変化させている (人や動物、車、飛んでくるボールなど)。これまでの研究から、我々の脳には、視覚オブジェクトが次にどのように変化するかを、意図に関わらず自動的に予測する機構が備わっていることが示唆されている (e.g., Hubbard, 2005) (“非意図的な時間文脈ベースの予測”とよぶ)。この非意図的な予測機構は、そのオブジェクトの現時点までの時間文脈 (すなわち、そのオブジェクトの現時点までの動きや変化のパターン) から規則性・ルールを抽出し、それを基に予測モデルを形成することで、そのオブジェクトが次にどのように変化するかを、意図に関わらず自動的に予測する。このような予測機構の働きにより、予測と一致するオブジェクトの変化 (すなわち、新奇な情報をもたらさない無意味な変化) に対する不必要な処理資源の配分の回避、および予測と一致しないオブジェクトの変化 (すなわち、何か新奇な情報をもたらすような有意義な変化) に対する選択的な処理資源を配分が可能になると考えられている (e.g., Kimura et al., 2011)。

これまで研究代表者は、認知心理学 (反応時間や正答率などの行動反応) および生理心理学 (脳波の一種である事象関連脳電位 (event-related brain potential: ERP) などの脳・生理反応) の手法を用いた実験研究を軸に、この非意図的な予測に関わる研究を行ってきた。ERP は、外的あるいは内的な事象に関連して生じる脳の一過性の電位変動である。機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) やポジトロン断層法 (positron emission tomography: PET) といった他の生理指標に比べ時間分解能が非常に高いのが特徴であり、脳活動の推移をミリ秒単位で分析できるという利点を持つ。研究代表者のこれまでの研究から、視覚ミスマッチ陰性電位 (visual mismatch negativity: VMMN) とよばれる ERP 成分が、この非意図的な予測に関係している可能性が示唆されている。例えば、頻度の異なる二種類の視覚刺激 (Standard 刺激 80%, Deviant 刺激 20%) をランダムな順序で観察者に呈示し (SSSSDSSSDSSSSD; オドボール系列とよぶ)、Standard 刺激および Deviant 刺激に対する ERP を比較すると、Deviant 刺

激に対し、刺激呈示後 150-400 ms 付近にピークをもつ後側頭部優位の VMMN が観察できる (e.g., Kimura et al., 2008, 2009, 2010)。VMMN は、オドボール系列が観察者の課題に関係していない場合であっても自動的に出現することから (Czigler, 2002; Czigler et al., 2006; Kimura et al., 2008, 2010)、非意図的な予測と実際の事象が一致しない場合に生じる予測ミスマッチ反応を反映している可能性が高い (Kimura et al., 2011)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、非意図的な時間文脈ベースの予測に関する脳内情報処理モデルを提案することであった。研究開始当初、この予測に関わる神経ネットワークや情報処理メカニズムについてはほとんどわかっていなかった。そこで研究代表者は、(1) VMMN が本当に予測エラー反応を反映する ERP 成分なのかをさらに厳密に検討すること (“VMMN は予測ミスマッチ反応か?”)、(2) 予測との一致時に生じる ERP 成分を新たに同定すること (“予測マッチ反応の同定”)、そして (3) VMMN の脳内発生源を推定し、その発生源間の時間的関係性を検討すること (“VMMN の脳内発生源の推定”) を通し、(4) 非意図的な時間文脈ベースの予測に関する仮説的な脳内情報処理モデルを提案することを試みた (“仮説的情報処理モデル”)。

3. 研究の方法

(1) VMMN は予測ミスマッチ反応か?

VMMN は、オドボール系列における Deviant 刺激に対して非常に頑健に出現する。しかし、この ERP 成分が本当に非意図的な予測とのミスマッチを反映しているのかについては、更なる検討が必要であった。なぜなら、オドボール系列における Deviant 刺激に対する VMMN は、予測ミスマッチ反応ではなく、標準刺激に関する記憶とのミスマッチ反応であるという解釈も可能だからである。そこで、二種類の視覚刺激を規則的に交互呈示し (Regular 刺激)、予測できないタイミングで刺激を反復させる (Irregular 刺激) という刺激系列を用いた実験を行った (ABABABABAABABBB)。もし VMMN が予測ミスマッチを反映するのであれば、VMMN は Irregular 刺激に対しても観察されるはずである。一方、VMMN が記憶ミスマッチを反映するのであれば、Irregular 刺激に対しては観察されないはずである。

大学生・大学院生 12 名 (女性 10 名、平均年齢 22.1 歳) が実験に参加した。刺激には、人物 4 種 (男女各 2 名)、表情 2 種 (恐怖顔・笑顔)、眼鏡 2 種 (あり・なし)、顔の方向 2 種 (正立・倒立) の組み合わせによる

32種の顔刺激を用いた。正立条件では正立の、倒立条件では倒立の恐怖顔刺激と笑顔刺激を規則的に交互呈示し (Fearful Regular 刺激および Happy Regular 刺激, 各 43.75%), 時々これらの刺激を反復させた (Fearful Irregular 刺激および Happy Irregular 刺激, 各 6.25%)。すべての条件で, 刺激の持続時間は 250 ms, 刺激オンセット間隔は 500 ms とした。実験参加者の課題は, 稀に呈示される眼鏡をかけた顔刺激に対するボタン押しであった (顔表情自体は課題非関連)。

脳波は鼻尖を基準として頭皮上 25 部位より記録した (サンプリング 500 Hz, フィルター 1-30 Hz)。刺激呈示前 100 ms から呈示後 500 ms までの 600 ms 区間を, 呈示前 100 ms 区間の平均電位を基準として加算平均処理した。VMMN 出現の有無を検討するため, 正立・倒立条件および Fearful 刺激・Happy 刺激条件ごとに, Irregular 刺激に対する ERP 波形から Regular 刺激に対する ERP 波形を引き算して差分波形を求めた (Irregular - Regular)。

(2) 予測マッチ反応の同定

VMMN が非意図的な予測とのミスマッチ反応を反映する ERP 成分であることが示唆されてきた一方, 予測とのマッチ反応を反映する ERP 成分についてはこれまで全く検討されていない。非意図的な予測に関する包括的な脳内情報処理モデルを構築するうえでは, 予測ミスマッチ反応だけでなく, 予測マッチ反応を同定することも重要である。そこで, 二種類の視覚刺激系列を用いた実験を行った: レギュラー系列およびランダム系列。レギュラー系列では, 方位の異なる 11 種類のバー配列刺激を規則的な順序 (回転) で呈示し (Regular 刺激), 時々逆回転させた (Irregular 刺激)。ランダム系列では, 同様の 11 種類のバー配列刺激をランダム順に呈示した (Control 刺激)。これら三種類の刺激に対する ERP 波形を算出した後, 予測マッチ反応を反映する ERP 成分を同定するため, Regular 刺激に対する ERP 波形から Control 刺激に対する ERP 波形を引き算して差分波形を求めた。また, 予測ミスマッチ反応 (VMMN) の再現性を確かめるべく, Irregular 刺激に対する ERP 波形から Control 刺激に対する ERP 波形を引き算して差分波形を求めた。レギュラー系列にはルールが存在するため, Irregular 刺激に対しては予測ミスマッチ反応が, Regular 刺激に対しては予測マッチ反応が生じるはずである。一方, ランダム系列にはルール自体が存在しないため, Control 刺激に対しては予測ミスマッチ反応もマッチ反応も生じえない。ゆえに, 予測ミスマッチ反応 (VMMN) は Irregular vs. Control の比較で, 予測マッチ反応は Regular vs.

Control の比較で抽出されるはずである。

大学生・大学院生 22 名 (女性 4 名, 平均年齢 21.5 歳) が実験に参加した。実験参加者が中心視野に常時呈示されている刺激の突然のサイズ変化を検出する課題を行っている間, 周辺視野にレギュラー系列およびランダム系列を異なるブロックで呈示した。レギュラー系列では, 方位の異なる 11 種類のバー配列刺激 (水平から右まわりに 5.0°, 21.4°, 37.7°, 54.1°, 70.5°, 86.8°, 103.2°, 119.5°, 135.9°, 152.3°, 168.6°) を規則的な順序 (32.7°ステップで回転) で呈示し (Regular 刺激, 90.9%), 時々逆回転させた (Irregular 刺激, 9.1%)。ランダム系列では, 同様の 11 種類のバー配列刺激をランダム順に呈示した (Control 刺激, 各 9.1%)。刺激の持続時間は 250 ms, 刺激オンセット間隔は 500 ms とした。

脳波は鼻尖を基準として頭皮上 26 部位より記録した (サンプリング 1000 Hz, フィルター 1-30 Hz)。刺激呈示前 100 ms から呈示後 500 ms までの 600 ms 区間を, 呈示前 100 ms 区間の平均電位を基準として加算平均処理した。Irregular, Regular, および Control 刺激それぞれに対する ERP 波形を算出した後, 予測マッチ反応を反映する ERP 成分を抽出するため, Regular 刺激に対する ERP 波形から Control 刺激に対する ERP 波形を引き算して差分波形を求めた (Regular - Control)。また, Irregular 刺激に対する ERP 波形から Control 刺激に対する ERP 波形を引き算して差分波形を求め (Irregular - Control), 予測ミスマッチ反応 (VMMN) が観察できるかどうかについても検討した。

(3) VMMN の脳内発生源の推定

研究(1)における顔刺激を用いた実験で得られた VMMN の脳内発生源を, 標準化低分解能脳電磁気トモグラフィ (standardized low-resolution brain electromagnetic tomography: sLORETA; Pascual-Marqui, 2002) を用いて推定した。sLORETA は, 標準化電流密度分布と三層球体モデル (Talairach & Tournoux 1988) に基づき, 脳波の電流源密度の 3 次元分布を算出し, 皮質における発生源に関する単一の解を得る方法である。本研究では, 発生源間の時間関係を検討するため, 正立条件における Fearful Irregular 刺激に対する VMMN については, 初期 (250-290 ms), 中期 (290-330 ms), 後期 (330-370 ms) の三つの区間について, 正立条件における Happy Irregular 刺激に対する VMMN については, 初期 (300-340 ms) と後期 (340-380 ms) の二つの区間について, それぞれの発生源を推定した。

(4) 仮説的情報処理モデル

研究(1)~(3)で得られた知見と、感覚事象の予測に関するこれまでの神経科学的・心理学的知見や計算論的知見を統合することで、非意図的な時間文脈ベースの予測に関する仮説的な脳内情報処理モデルを構築した。

4. 研究成果

(1) VMMN は予測ミスマッチ反応か？

図 1A に、正立条件における Fearful Irregular 刺激と Fearful Regular 刺激に対する ERP 波形、および Fearful Irregular 刺激 - Fearful Regular 刺激の差分波形を示した(電極: 右後側頭部位 (P08))。Fearful Regular 刺激に対する ERP 波形に比べ、Fearful Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 220-400 ms 付近でより陰性にシフトした。図 1B に、倒立条件における Fearful Irregular 刺激と Fearful Regular 刺激に対する ERP 波形、および Fearful Irregular 刺激 - Fearful Regular 刺激の差分波形を示した(電極: 右後側頭部位 (P08))。Fearful Regular 刺激に対する ERP 波形に比べ、Fearful Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 300-400 ms 付近でより陰性にシフトした。図 1C に、正立条件における Happy Irregular 刺激と Happy Regular 刺激に対する ERP 波形、および Happy Irregular 刺激 - Happy Regular 刺激の差分波形を示した(電極: 頭頂後頭部位 (POz))。Happy Regular 刺激に対する ERP 波形に比べ、Happy Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 300-400 ms 付近でより陰性にシフトした。図 1D に、倒立条件における Happy Irregular 刺激と Happy Regular 刺激に対する ERP 波形、および Happy Irregular 刺激 - Happy Regular 刺激の差分波形を示した(電極: 頭頂後頭部位 (POz))。Happy Regular 刺激に対する ERP 波形に比べ、Happy Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 360-400 ms 付近でより陰性にシフトした。これらの陰性シフトの潜時や頭皮上分布は、これまでの研究で報告されてきた VMMN と高く一致するものであった。

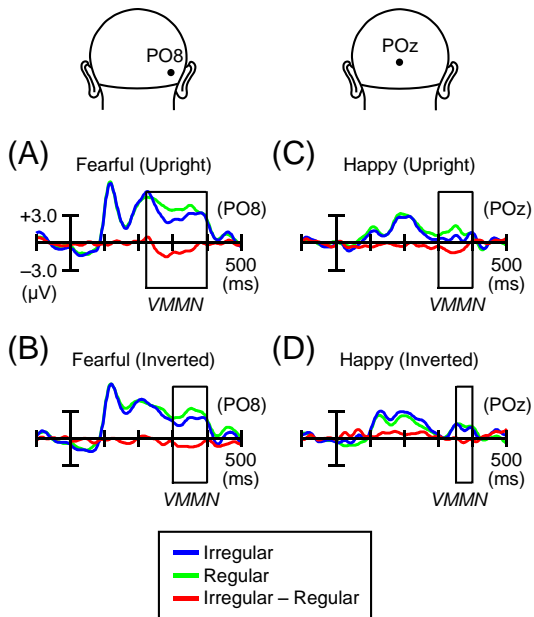


図1. (A) 正立条件におけるFearful Irregular刺激とFearful Regular刺激に対するERP波形、およびFearful Irregular刺激 - Fearful Regular刺激の差分波形(電極: 右後側頭部位 (P08))。 (B) 倒立条件におけるFearful Irregular刺激とFearful Regular刺激に対するERP波形、およびFearful Irregular刺激 - Fearful Regular刺激の差分波形(電極: 右後側頭部位 (P08))。 (C) 正立条件におけるHappy Irregular刺激とHappy Regular刺激に対するERP波形、およびHappy Irregular刺激 - Happy Regular刺激の差分波形(電極: 頭頂後頭部位 (POz))。 (D) 倒立条件におけるHappy Irregular刺激とHappy Regular刺激に対するERP波形、およびHappy Irregular刺激 - Happy Regular刺激の差分波形(電極: 頭頂後頭部位 (POz))。

る ERP 波形、および Happy Irregular 刺激 - Happy Regular 刺激の差分波形を示した(電極: 頭頂後頭部位 (POz))。Happy Regular 刺激に対する ERP 波形に比べ、Happy Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 300-400 ms 付近でより陰性にシフトした。図 1D に、倒立条件における Happy Irregular 刺激と Happy Regular 刺激に対する ERP 波形、および Happy Irregular 刺激 - Happy Regular 刺激の差分波形を示した(電極: 頭頂後頭部位 (POz))。Happy Regular 刺激に対する ERP 波形に比べ、Happy Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 360-400 ms 付近でより陰性にシフトした。これらの陰性シフトの潜時や頭皮上分布は、これまでの研究で報告されてきた VMMN と高く一致するものであった。

これらの結果は、VMMN が記憶とのミスマッチ反応ではなく、非意図的な時間文脈ベースの予測とのミスマッチ反応を反映する ERP 成分であることを示している。

(2) 予測マッチ反応の同定

図 2A に、Irregular 刺激と Control 刺激に対する ERP 波形、および Irregular 刺激 - Control 刺激の差分波形を示した(電極: 右後側頭部位 (P08))。Control 刺激に対する ERP 波形に比べ、Irregular 刺激に対する ERP 波形は、刺激呈示後 275 ms 付近でより陰性にシフトした (VMMN)。また図 2B に、Regular 刺激と Control 刺激に対する ERP 波形、および Regular 刺激 - Control 刺激の差分波形を示した(電極: 右後側頭部位 (P08) および中心部位 (Cz))。Control 刺激に対する ERP 波形に比べ、Regular 刺激に対する ERP 波形は、P08 部位において、刺激呈示後 90 ms 付近でより陽性に、185 ms 付近でより陰性にシフトした: P1 および N1 成分の増大。また Cz 部位において、刺激呈示後 220 ms 付近でより陰性にシフトした: P2 成分の減衰。

これらの結果は、非意図的な時間文脈ベースの予測とのミスマッチ反応は VMMN の出現に反映されること、マッチ反応は視覚誘発電位 (visual evoked potentials: VEPs) の増大 (P1 および N1 成分) および減衰 (P2 成分) に反映されることを示している。

(3) VMMN の脳内発生源の推定

図 3A に、sLORETA を用いて推定した、正立条件における Fearful Irregular 刺激に対する VMMN の初期 (250-290 ms)、中期 (290-330 ms)、後期 (330-370 ms) それぞれの脳内発生源を示した。初期においては、側頭皮質 (紡錘状回や下側頭回など)、前頭前野 (内側部前頭眼窩野や外側部下側頭回など)、および帯状皮質 (前部) などに発生源が認められた。中期においては、前頭前野と帯状皮質に発生源が認められた。後期においては、前頭前野

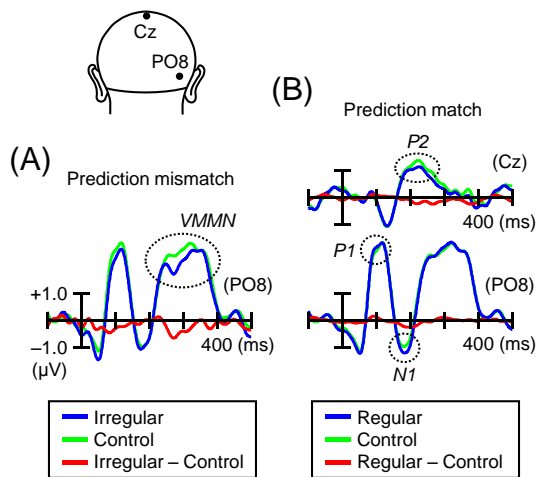


図2. (A) Irregular刺激とControl刺激に対するERP波形、およびIrregular - Controlの差分波形(電極: 右後側頭部位(PO8))。 (B) Regular刺激とControl刺激に対するERP波形、およびRegular - Controlの差分波形(電極: 右後側頭部位(PO8)および中心部位(Cz))。

と帯状皮質に加え、後頭皮質(下後頭回や中後頭回など)に発生源が認められた。また図3Bに、正立条件におけるHappy Irregular刺激に対するVMMNの初期(300-340 ms)と後期(340-380 ms)それぞれの脳内発生源を示

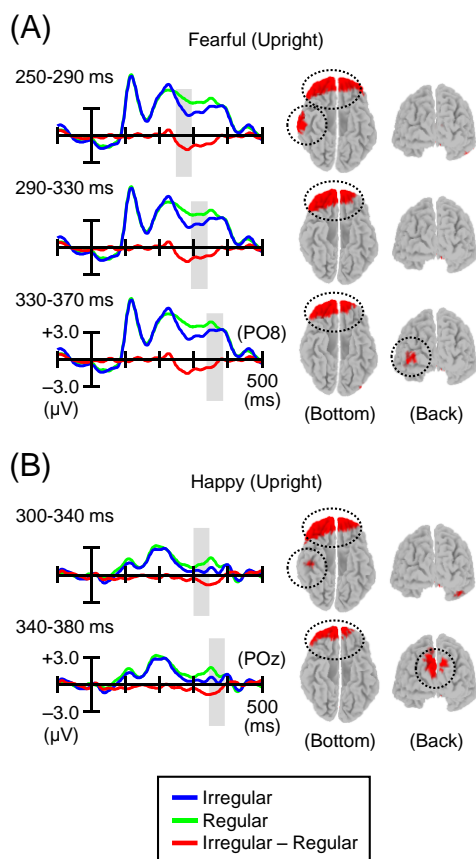


図3. (A) sLORETAを用いて推定した、正立条件におけるFearful Irregular刺激に対するVMMNの初期(250-290 ms)、中期(290-330 ms)、後期(330-370 ms)それぞれの脳内発生源。(B) sLORETAを用いて推定した、正立条件におけるHappy Irregular刺激に対するVMMNの初期(300-340 ms)と後期(340-380 ms)それぞれの脳内発生源。

した。初期においては、側頭皮質(紡錘状回や下側頭回など)、前頭前野(内側部前頭眼窩野や外側部下側頭回など)、および帯状皮質(前部)などに発生源が認められた。後期においては、前頭前野に加え、後頭皮質(楔部など)に発生源が認められた。

これらの結果は、VMMNに反映される予測ミスマッチ反応が、視覚皮質-前頭前野間の双方向性の情報伝達に関係している可能性を示唆している。

(4) 仮説的情報処理モデル

研究(1)~(3)で得られた知見と、感覚事象の予測に関するこれまでの神経科学的・心理学的知見(e.g., Bar, 2007; Blakemore et al., 2000; Brunia, 1999; Gomez et al., 2004; Kveraga et al., 2007; Schubotz, 2007; Summerfield & Egner, 2009; Wilson & Knoblich, 2005) および計算論的知見(e.g., Friston, 2003, 2005; Friston et al., 2006)を統合することで、非意図的な時間文脈ベースの予測に関する仮説的な脳内情報処理モデルを構築した(図4)。

この仮説モデルでは、非意図的な時間文脈ベースの予測が、以下に示す一連のプロセスの繰り返しにより達成されていることが表現されている: (1) 前頭前野における予測信号の生成, (2) 前頭前野から視覚皮質への予測信号のフィードバック, (3) 視覚皮質における予測された事象と実際の事象の比較照合, (4) 視覚皮質における不一致時の予測エラー信号の生成, (5) 視覚皮質から前頭前野への予測エラー信号のフィードフォワード, (6) 前頭前野における予測モデルの修正, (1') 前頭前野における新たな予測信号の生成。このようなプロセスが繰り返され、正確な予測モデルが出来上がるにつれて、視覚皮質から前頭前野へのエラー信号のフィードフォワードはなくなり、視覚皮質における感覚処理の促進と抑制パターンが現れる。

(5) まとめ

研究(1)~(2)から、非意図的な時間文脈ベースの予測を反映する二種類の脳活動が同定

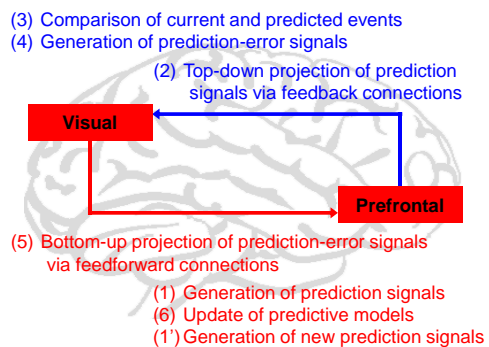


図4. 視覚における非意図的な時間文脈ベースの予測に関する仮説的な脳内情報処理モデル。

された：(1) 予測された事象と実際の事象が不一致の際に生起する VMMN, および (2) 予測された事象と実際の事象が一致した際に生じる, 視覚皮質に発生源を VEPs の増強 (P1/N1) および抑制 (P2)。さらに研究 (3) において, VMMN の発生源推定について検討した結果, VMMN に反映される予測ミスマッチ反応が, 視覚皮質-前頭前野間の双方向性の情報伝達に関係している可能性が示唆された。これらの知見に基づき, 非意図的な時間文脈ベースの予測が, 視覚皮質と前頭前野の双方向性のネットワークにより達成されているという仮説的な脳内処理モデルを提案した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件 : 査読あり)

- ① Kimura, M., & Takeda, Y. (in press). Task difficulty affects the predictive process indexed by visual mismatch negativity. *Frontiers in Human Neuroscience*.
- ② Kimura, M. (2012). Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *International Journal of Psychophysiology*, 83, 144-155. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2011.11.010
- ③ Kimura, M., Kondo, H., Ohira, H., & Schröger, E. (2012). Unintentional temporal context-based prediction of emotional faces: An electrophysiological study. *Cerebral Cortex*, 22, 1774-1785. DOI: 10.1093/cercor/bhr244

[学会発表] (計 3 件)

- ① 木村元洋・武田裕司, 視覚ミスマッチ陰性電位が反映する逸脱検出は知覚的負荷の影響をうける, 第 31 回日本生理心理学会大会, 2013 年 5 月 18 日, 福井大学 (福井県)
- ② 木村元洋・武田裕司, 事象関連脳電位を用いた視覚的注意状態の評価, 日本基礎心理学会第 31 回大会, 2012 年 11 月 4 日, 九州大学 (福岡県)
- ③ 木村元洋・武田裕司, 事象関連脳電位を用いた視覚的注意状態の評価: 初期逸脱関連成分は課題への注意資源配分量の評価指標となるか? 日本心理学会第 76 回大会, 2012 年 9 月 13 日, 専修大学 (東京都)

[その他]

ホームページ

<http://staff.aist.go.jp/m.kimura/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村元洋 (KIMURA MOTOHIRO)

産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号 : 70612183

(2) 研究協力者

武田裕司 (TAKEDA YUJI)

産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号 : 10357410

大平英樹 (HIDEKI OHIRA)

名古屋大学大学院・環境学研究科・教授

研究者番号 : 90221837

ERICH SCHRÖGER

ライプツィヒ大学・心理学科・教授