

日本心理学会第 72 回ワークショップ

事象関連電位をどう使うか -若手研究者からの提言 (5) -

2008 年 9 月 20 日 (土) 13:00-15:00

北海道大学 E301 教室

企画趣旨説明

東京工業大学 小谷泰則

この一連のワークショップでは、事象関連電位 (ERP) の研究を始めたばかりの人や、これから始めようとしている人、実際に研究しているがなにか行き詰まりを感じる人などを対象に、その魅力や楽しさを伝えることを目指してきた。今回のワークショップでは、「事象関連電位のメリットとデメリット -fMRI、NIRS、心血管系指標と比較して-」と題して、事象関連電位の測定について、fMRI (磁気共鳴画像法) や NIRS (近赤外線分光法)、さらに心血管系指標による自律神経機能の解析などと比較しながら、事象関連電位を測定することのメリットとデメリットについて 4 名の研究者から話題を提供してもらい議論する。さらには事象関連電位とその他の生理指標を組み合わせて測定することの有効性についても検討する。ワークショップでは、事象関連電位とその他の生理指標の測定経験を持つ 4 名の研究者から話題を提供してもらい、各指標の時間的分解能、空間的分解能、測定・分析の利便性・妥当性についてデータの紹介を交えながら各研究者の意見を紹介してもらおう。

企画者：東京工業大学 小谷泰則

企画者：北海道大学 片山順一

司会者：東京工業大学 小谷泰則

話題提供者：東京工業大学 大上淑美

話題提供者：山梨県環境科学研究所 石田光男

話題提供者：金沢大学 宮地弘一郎

話題提供者：カリフォルニア大学デービス校 George R. Mangun

指定討論者：広島大学 入野野宏

刺激先行陰性電位 (SPN) に対する片側刺激の影響 : fMRI と EEG を用いて
The contralateral effect of unilateral feedback stimulus on the
stimulus-preceding negativity (SPN) : fMRI and EEG studies

東京工業大学 社会理工学研究科
大上淑美

1. 予期と Gating Model

予期・予測は人間の行動を迅速になおかつ的確に行わせるという機能を持っている。この予期・予測と関係している脳機能を説明するモデルのひとつに Gating Model がある (Skinner & Yingling, 1977)。Gating Model では、出現が予期される知覚刺激に対して、視床が情報処理に必要な大脳皮質へのゲートの開閉を調整していると説明している。例えば、視覚刺激であれば視床から大脳皮質の視覚領域へ、聴覚刺激であれば視床から大脳皮質の聴覚領域への情報伝達の経路が、事前に賦活することによって情報処理を促進すると考えられている。

2. 予期・予測と関連する事象関連電位

こういった予期や予測と関係する事象関連電位としては、SPN (Stimulus-preceding Negativity) と呼ばれる電位が存在する (Van Boxtel & Böcker, 2004 のレビュー論文参照)。SPN は、緩電位の種類であり、刺激提示が予測される場合に脳波基線が緩やかに陰性側へ変動する現象である。例えば、被験者にボタン押しなどの運動をさせた後に、その運動に関するフィードバック刺激 (FB) を与えると、FB の前に SPN が観察される。SPN の特徴としては、1) 予期準備に伴って出現し刺激呈示前の脳活動を反映する、2) ボタン押し運動の後に出現するため運動とは関係していない、3) 頭皮上の分布では右半球優位になる、という点が上げられる。そのため、SPN は知覚予期や情動予期と関連していると考えられている (Brunia & van Boxtel, 2004; Ohgami et al., 2004)。

3. 刺激側と SPN

SPN が知覚刺激の予期を反映していることについては、先行研究で既に明らかにされているものの、Gating Model に示されているような視床の機能が SPN と関連があるかを示した研究はない。そのため、本研究では、視覚刺激と聴覚

刺激を用い、左側右側どちらかの片側一方に FB 刺激が呈示されるように知覚刺激の操作を行い、それに伴う脳活動について脳波と fMRI を用いて測定した。

もし Gating Model が存在するのであれば、左側あるいは右側一方のみにフィードバック刺激を呈示した場合、対側の SPN 電位が優位に増加すると考えられる。本研究では、Gating Model の存在を確認するため、刺激呈示側と反対側に脳活動の増加があるか否かについて検討することを研究の目的とし、脳波測定と fMRI 測定を行った。

実験では、時間評価課題を用いた。時間評価課題では、指示刺激が呈示され、指定された秒数（4 秒）が経過したと思ったら右手人差し、その後 3 秒後に、ボタン押しが指定された秒数よりも早かったか遅かったかの FB 情報が呈示された。本実験では、視覚刺激と聴覚刺激を FB 刺激として用い、片側一方の刺激の影響を見るために、視覚条件ではモニターの端に視覚 FB 刺激を提示し、聴覚条件は、イヤホンやヘッドフォンを使用し左側右側のどちらかの耳に聴覚刺激を呈示した。

SPN（脳波）を測定した結果、視覚条件・左側 FB 刺激呈示の時に、右半球側頭部から後頭部にかけて SPN の振幅が高まり、有意な左右差が得られた。また、視覚条件・右側 FB 刺激呈示の時は、左半球側頭部から後頭部にかけて振幅が増加したが、右半球にも振幅の増大が観察された。聴覚条件の場合は、左側 FB 刺激呈示の時に、右半球側頭付近に振幅が増大した。聴覚・右側 FB 刺激呈示の時は、左半球ではなく右半球側頭付近に振幅の増大が観察されたが、左側 FB 刺激呈示の時と比べると左半球の活動も増加していた。視覚条件と聴覚条件ともに右側 FB 刺激呈示時に、右半球に活動が観察されたが、これは SPN の右半球優位性という特徴が現れているものと考えられ、この SPN の右半球優位性により左右差がマスクされたのではないかと考えられる。また、fMRI を用いた実験の結果においても視床が活動が観察され、Gating Model を指示する結果となった。

EEG と fMRI を用いたマルチモーダルな研究について

EEG と fMRI の測定機材に関する違いについては、一般的に fMRI は空間分解に優れ、脳波は時間分解能に優れているといわれている。利便性については、fMRI は装置が大掛かりで、非磁性体のものではないと利用できないことから、EEG の方が心拍や眼球電位、筋電位も容易に同時に測定することが可能である。しかし、本研究で示した視床の活動などは、脳波では捉えることができず fMRI

などと組み合わせたマルチモーダルな研究が必要となる。このような複合的な研究では、脳波の分析と同時に fMRI の分析も必要になるなど、ふたつの測定手法を使いこなすには相当の時間と労力そして知識が必要になる。そのため、長期的な視野に立った研究の展開が必要になると考えられる。

ストレス研究における ERP の同時計測の適用
山梨県環境科学研究所・環境生理学研究室
石田 光男

精神的ストレスに関する研究には、自律神経系指標がしばしば適用されている。本研究では、心臓血管系反応の個体差を中枢神経活動から評価するため、ERP の同時計測を適用してきた。本報告においてその方法論と適用例を紹介する。

1. ストレス研究における ERP の適用意義

ストレス状況に直面した場合、後続するストレス反応には個体差があることは知られている。これまでストレス対処型 [6]、タイプ A 行動特性 [9] など性格特性、また心臓血管系反応の個体特性 [5,7] などの分類が試みられてきており、個体差に関する有用な知見が報告されてきた。このような研究領域において本研究では、個体差に関連する情報処理過程について ERP を用いて捉えることを目的としている。

情動刺激による心臓血管系反応は、感覚入力後、視床-扁桃体の低次経路と視床-大脳皮質-扁桃体の高次経路の支配を受けている [4]。拍動リズムや血管収縮は、扁桃体から視床下部外側部や迷走神経背側運動核を介して調節されており [2]、大脳皮質の影響も受けているといえる。本研究では、高次経路を介した情報処理活動の指標として ERP を位置づけている。

2. 心臓血管系活動指標と ERP の同時計測

ERP との特徴的な違いは時間分解能である。心臓血管系指標は最低 1 拍以上（安静時は 600 ms 以上）のサンプルが必要となり、ERP に比べて緩徐な反応である。さらに周波数解析¹を適用する場合は、最低でも 30 秒以上のサンプルが必要となる。従って、各指標の特性を考慮した実験パラダイムが必要となる。

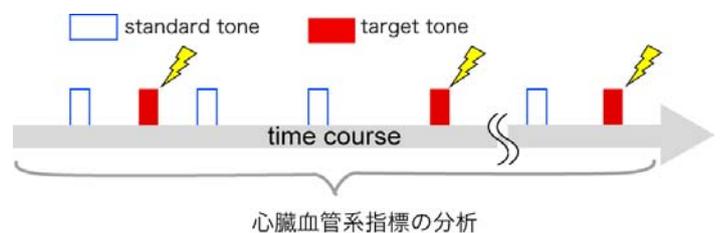


図 1. 刺激呈示の手続きと同時計測における分析対象。

本研究では弁別反応を基本としたパラダイムを用い、ターゲット刺激後の嫌

悪刺激の操作を行った(図1)。課題遂行期間の全体の結果を心臓血管系反応の代表値として扱い、イベント毎のERPを認知活動の指標として扱う。時間分解能が異なるため単純な対応関係を評価することはできないが、両者とも不快なストレス事態によって誘発された反応結果として定義できる。

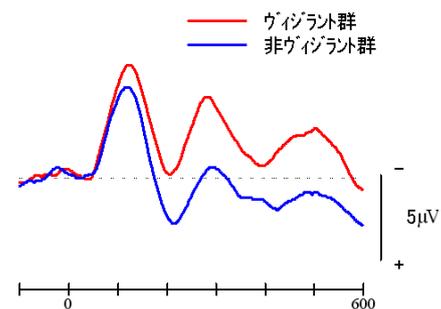


図2. 認知的対処方略の個体差

3. 心臓血管系指標とERPの同時計測の適用例

嫌悪事象への注意配分(ヴィジラント型 vs. 非ヴィジラント型)という観点から、認知的対処方略の個体差を分類するため、電撃回避課題(嫌悪課題)と報酬課題から構成される二重課題を設定した。個々の課題の優先度から対処型を分類し、嫌悪事象に対するERPと心臓血管系反応を比較した[3]。結果は、ヴィジラント型の被験者は、収縮期、拡張期血圧の上昇と、標的音(嫌悪事象到来の警告音)に対するN1波、N2波の上昇が認められた。

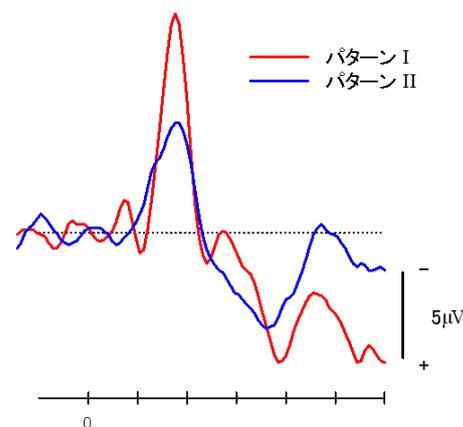


図3 心臓血管系反応パターンの個体差

次に、心臓血管系の反応パターン²(パターンI vs. パターンII)の違いによる影響について、電撃回避反応課題を用いて検討した。心拍率の加速を示すパターンI群において、標的音に対するN1、P3波振幅の増大を示した(図3)。

以上のようにERPの同時計測は、対処方略や心臓血管系の反応パターンの個体差について中枢神経系活動からの評価を可能とし、個体差を捉えるための有益な情報を提供してくれる。

4. 同時計測における注意点と今後の展開

しかし同時計測の導入は、実験課題の設定にいくつかの制約が伴う。その一つは、刺激と反応回数の制限である。ERPの計測には加算回数を多くすることが望ましい。しかし刺激・反応頻度の過度な増加は、課題遂行が精神的負荷になってしまう。また次に、刺激呈示と自律神経系活動周期の非同期性の考慮が必要となる。例えば心拍変動の周波数解析を適用する場合、刺激出現周期に近似する周波数帯パワーは、刺激出現周期の影響を受ける[1]。これらの要因は、目的としている嫌悪事象の影響をぼかしてしまう。以上の問題点に対して、嫌

悪事象を伴わない統制条件の設定，予備実験による難易度と刺激呈示のタイミングの調整などの対策が必要となる。

さらに時間分解能の違いによって，結果の解釈にも制約が伴う．そこで同時計測における今後の展開として，心臓血管系反応の時系列分析の適用を提案する．例えば，心拍-血圧変動の最大相互相関係数を用いて，圧反射感度の継時的評価が可能となる [8]．時々刻々と変化する心臓血管系の状態に応じて，脳波のサンプルを抽出することにより，中枢神経系からの影響をより明確に評価できるかもしれない．十分とはいえないが，同時計測の有用性を高める分析方法として期待できる．

引用文献

1. Berntson, G.G., Bigger J.T.Jr., Eckberg D.L., Grossman P, Kaufmann P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H., & van der Molen, M.W. (1997) Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623-648.
2. Bradley, M.M. (2000) Emotion and motivation. In J.T. Cacioppo (Ed) *Handbook of psychophysiology* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press. pp.602-642.
3. Ishida, M. (2006) Effect of allocating attention to aversive events on cardiovascular responses and event related potentials in a dual-task paradigm. *International Journal of Psychophysiology*. 62:, 93-102
4. LeDoux, J.E. (2000) Emotion circuits in the brain. *Annual review of neuroscience*, 23, 155-184.
5. 澤田幸展 (2001) 一過性ストレス 心臓血管系血行動態を強調した視点. 心理学評論, 44, 328~348.
6. Sosnowski, T., Nurzynska, M., & Polec, M. (1991) Active-passive coping and skin conductance and heart rate changes. *Psychophysiology*. 28, 665-672.
7. Sherwood, A., Dolan, C.A., & Light, K.C. (1990) Hemodynamics of blood pressure responses during active and passive coping. *Psychophysiology*, 27, 656-668.
8. 杉田典大・吉澤誠・田中明・阿部健一・山家智之・仁田新 (2002) 血圧-心拍数間の最大相互相関係数を用いた映像刺激の生体影響評価 ヒューマンインタフェース学会論文誌, 4, 227-234
9. Williams, R.B.Jr., Lane, J.D., Kuhn, C.M., Melosh, W., White, A.D., & Schanberg, S.M. (1982) Type A behavior and elevated physiological and neuroendocrine

responses to cognitive tasks. *Science*. 29, 218 (4571), 483-485.

¹ MemCalc (常磐野和男 他 (2002) 最大エントロピー法による時系列解析- MemCalc の理論と実際- 北海道大学図書刊行会) を用いた場合の記録時間.

²精神的ストレス負荷時の心臓血管系反応パターンは, 心拍出量 (CO) の増大が伴うパターン I と全末梢抵抗 (TPR) の上昇が伴うパターン II に分類される. 両者共に血圧の上昇が生じるが, 前者は心拍率の加速, 後者は心拍率の減速が生じることが特徴である. 本研究は心拍率の変化をパターン分類の基準として代用した.

重症心身障害児の応答性評価のための多角的アプローチ：

NIRS, EEG, HR を用いた検討から

Polyhedral approaches for assessment of the responsiveness of children with sever motor and intellectual disabilities (SMID): NIRS, EEG and HR studies.

金沢大学

宮地弘一郎

1. 重障児研究における多角的アプローチの重要性

重症心身障害児・者（以下、重障児）とは、発達のごく初期段階で重篤な脳障害を受け、心身の諸機能、諸側面に重度で重複した障害がみられる事例のことを指す（片桐，1999）。呈示された刺激に対する行動上の変化がほとんどみられない、いわゆる“反応の乏しい”重障児の感覚・認知機能を評価する上で、脳波や心拍等の生理心理学的指標の有効性が認められてきている。特に、教育的支援において重要な注意や期待といった心理機能を評価する上で、P3やCNV等のERP指標による評価は一定の成果を挙げている。しかしながら、実際の重障児への支援においては、ERPにより確認された心理過程が日常場面において本当に機能しているかどうかという、いわゆる生態学的妥当性（Neisser, 1976）の問題を考慮しなければならない。そこで我々の研究グループでは、ERP、心拍、そして近赤外分光法（Near-Infrared spectroscopy）を活用し、基礎的あるいは臨床的場面での機能評価を試みている。本報告では、重障児研究における多角的アプローチの重要性についていくつかの例を挙げて紹介し、ERP研究の果たす役割を考察したい。

2. S1-S2 パラダイムにおける同時計測からみた ERP, NIRS の特長

初期学習の可能性を探る上で、予期・期待という心理機能を評価することは重要である。脳の局所的な賦活を反映するNIRSは注意モダリティに関する情報を、そして予期を反映する代表的ERP指標であるCNVは、予期に関連する心理過程の時間情報をそれぞれ評価し得ると思われる。そこで、視覚刺激および聴覚刺激の組み合わせによる4条件（Audio-Audio, Audio-Visual, Visual-Audio, Visual-Visual）のS1-S2パラダイムを行い検討した。被験者は

S2に対するボタン押しを行った。その結果、ERPに関しては、いずれの条件下でも明瞭なCNVが出現したものの、S2モダリティに関連する部位間差はみられなかった。一方NIRS測定では、Audio-Visual条件およびVisual-Audio条件においてそれぞれS2のモダリティに対応した感覚野における酸化Hbが有意に増加した。この結果はNIRSが注意対象となるモダリティを評価する上で有効であることを示唆している。しかしながら酸化HbはS1呈示後一時的に減少すること、また心拍との比較より定位反応の大きさに関連してS1呈示後の酸化Hb減少の持続時間が変化することも明らかとなった。すなわち、NIRS指標からS2に対する予期プロセスの時間情報を得ることは困難といえる。一方でERPに関してはS1-S2パラダイムにおいて出現する各反応成分の出現時間に顕著な差はみられない。機能障害を推定する重要なパラメータのひとつに反応潜時の遅れが挙げられるが、ERPは脳の機能障害を評価する上で非常に重要な指標といえる。

3. 重障児の機能評価における多角的アプローチの実際

ここでは、1重障児例の感覚機能評価の例を提示し、多角的評価の意義について述べる。対象事例は四肢の運動障害を持つ13歳男児、CT所見より特に後頭部に顕著な灰白質の減少がみられていた。ABRおよびVEPを測定した結果、ABRにおいては明瞭なV波の出現を認めたもののVEPは不明瞭であった。しかしながら行動観察において、光に対し目をしかめる、あるいは教師の顔の方に持続的に視線を向けるといった行動がみられていた。そこで日常的な視覚刺激および聴覚刺激の受容について、NIRSと心拍を用いて評価した。NIRS測定では、聴覚刺激（クリック音、音声、音楽）および視覚刺激（教師の顔、動く赤いボール）を10~20s間持続的に呈示した。結果、聴覚刺激においてはいずれも刺激呈示開始から終了までの間に酸化、脱酸化Hbの持続的な変化がみられ、また音声に対する変化が顕著であった。しかしながら視覚刺激についてはHbの変化はみられなかった。心拍測定では、日常の活動場面における継続的な測定から、聴覚刺激（音声、音楽等）および視覚刺激（歯ブラシやおしぼり、教師の顔等）が呈示された時点を抽出し、呈示後の一過性反応を評価した。その結果、聴覚刺激に対しては、音声の内容と関連して一過性反応の出現動態が分化した。一方で視覚刺激に対しては全ての刺激に対し定位的減速反応が出現した。この結果より対象児が視覚刺激に対しても受動的注意を向けていることが明らかとなった。しかしながら刺激内容と関連した分化がみられないこと、ま

た NIRS において持続的な変化がみられないことから、視覚刺激に対する能動性が未だ獲得されていない可能性が示唆された。これらの結果は、重障児の感覚刺激受容における機能障害を詳細に検討する上で、複数指標を用いたアプローチが有効であることを示している。

4. 複数指標による多角的アプローチの意義と ERP の果たす役割—まとめにかえて—

ERP, NIRS 等それぞれの生理指標に得手、不得手があり、ある特定の心理機能を評価する場合、その機能を評価する上で最も有効な指標を用いることは生理心理学研究において当たり前のことといえる。しかしながら、実際の人間の営みは様々な心理機能の連関によってなされており、これを評価する上ではそれぞれに有効な指標の関連性を見ていく必要がある。本報告で述べた重度脳障害児の研究を例に挙げて考察すると、まず事例の脳機能障害を推定する上で、特定機能に関連した反応が時間的あるいは空間的に同定可能な ERP による評価が最も有効といえる。しかしながら、脳は可塑性を持っており、特定の機能障害によって生じる生活上の制約を別のアプローチにより克服している可能性がある。このような日常場面における実際の心理過程を評価する上では、NIRS により心理過程の二次的反応としての脳の賦活動態を捉える方法や、また測定における制約の少ない心拍等の指標を活用し、実際の日常場面での応答性を評価していく方法が有効といえる。これら複数指標の活用によって生活機能としての心理過程を評価することが可能と思われるが、これらの基盤となるのはあくまでも個々の心理機能に関する基礎的資料の蓄積であり、ERP 研究に求められる役割のひとつといえよう。

**Multimodal Imaging of Human Brain Activity:
Integrating ERPs and fMRI**

George R. Mangun, Ph.D., Center for Mind and Brain, University of California, Davis,
USA 95616

In a series of studies, we have employed event-related potentials (ERPs) and event-related fMRI to investigate the neural mechanisms of visual attention. In this presentation, I review methods that enable the decomposition of complex attentional tasks into subcomponent mental processes whose time course and neuroanatomical substrates can be isolated. The time course of attentional control activity will be described from electrophysiological studies that are related to localized brain activity identified using fMRI in the same task settings. The advantages and limitations in dual recordings are described, and the possible advantages and challenges of simultaneous recordings of ERPs in the MRI scanner are presented.
