

事象関連電位をどう使うかー若手研究者からの提言（1）

2004 年 9 月 14 日（火）13:00～15:00

関西大学千里山キャンパス 第 3 学舎（社会学部）3 階 3L 教室

企画趣旨説明

広島大学総合科学部 入戸野 宏

研究手法としての事象関連電位（event-related brain potential: ERP）の位置づけは、1990 年代の後半から大きく変わった。高密度記録の普及とそれに付随する信号処理技術（電源推定や成分分析）の発展、さまざまな脳機能イメージング法との併用により、神経科学のツールとして洗練されてきた。しかし、この変化は、心理学・行動科学にとってどのような意味を持つのだろうか？ 比較的手軽に安定して記録できるようになった今こそ、研究テーマ選びの重要性が増してきたといえる。

本ワークショップは、事象関連電位の“魅力”や“面白さ”をもっと多くの人に知ってほしいという若手研究者の思いに端を発している。次の 3 種類の参加者を想定している。

A. ERP 研究を始めたばかりの人

「自分の実験が“正しい方法”に基づいているか心配だ」

B. ERP に多少興味はあるが、どうつきあってよいか分からない人

「自分でもやってみたいが、機材や分析方法などが難しそうがよく分からない」

「“何に使えるか”，“何に使うのがよいか”がはっきりせず、今ひとつ魅力に欠ける」

C. 実際に研究しているが、なにか行き詰まりを感じる人

「ERP を使った研究をしているが、今のテーマでいいのか不安になる」

参加者のニーズはそれぞれ異なると思うが、今回のワークショップを通じて、少しでも有益な情報を持ち帰っていただきたいと願っている。

第 1 回目は、近年の事象関連電位を取り巻く環境の変化を肌で感じてきた（10 年近いキャリアをもつ）若手・中堅の研究者 3 名に話題提供を依頼した。自分のデータはもちろん、論文には書かない率直な意見・感想を交えて話をさせていただく。

ワークショップの進め方

次のような順序でおこなう。

1. 企画趣旨説明 入戸野 宏 (広島大学)
2. 「言語研究に事象関連電位をどう使うか」中尾 美月 (広島大学)
3. 「スポーツ心理学研究に事象関連電位をどう使うか」正木 宏明 (早稲田大学)
4. 「fMRI データを事象関連電位にどう使うか」小谷 泰則 (東京工業大学)
5. 指定討論 片山 順一 (北海道大学)
6. 総合論議

論点を明確にするため、それぞれの話題提供者に、次の3つの質問を提起し、各自の意見を述べてもらうという形式で進めていきたい。

(1) ERP の長所：ERP でしかできないこと

ERP の長所として、従来から“顕在反応を求めなくてもよい”，“時間分解能が高い”，“課題に特異的である”などが挙げられてきた。しかし、これらの長所は、行動指標や自律神経系指標と比較した長所であり、やや時代遅れの感じがする。fMRI や NIRS など脳イメージング研究が盛んになった現在、話題提供者が ERP の長所をどのように考えているかを述べてもらう。

(2) ERP の未来：最高の ERP 測定機・分析法が開発されたら何に使う？

1 で述べた ERP の特性を活かすことで、自分としては最終的に何をしたいかを話してもらう。技術的・予算的制約に縛られず、各自の“夢”を語っていただきたい。

(3) ERP の戦略：ここが狙い目！

1 の“長所”（シーズ）から 2 の“未来”（ゴール）へ至る経路として、どのような研究テーマが考えられるかを、世界の研究動向や自身の研究と関連づけて紹介してもらう。

最後の総合論議では、フロアを交えた活発な意見交換を期待している。

「言語研究に事象関連電位をどう使うか」

広島大学大学院教育学研究科 中尾美月

脳機能イメージング法の台頭により、言語研究における ERP の位置づけも大きく変わった。話題提供者は、これまで ERP を用いた言語研究を行ってきたが、最近になって fMRI も併用し始めた。本ワークショップでは、主に言語研究における ERP と fMRI の比較を通して、心理学に果たす ERP の役割について述べる。

(1) ERP の長所：ERP でしかできないこと

①時間分解能が高い

ERP の最大の長所は、なんと言ってもその時間分解能の高さである。2 テスラを超える超高磁場 MRI が開発され、高速撮像法(EPI 法)が実用化されている現在でも、その時間分解能は数百ミリ秒程度であり、ミリ秒単位で電気信号を記録できる ERP の時間分解能には大きく及ばない。

また、ERP は神経活動による電場の変化を比較的直接的にとらえているが、fMRI はそれに伴う血流動態反応(HRF)を間接的に計測している。従って、秒単位で変化するような緩やかな心的現象（例えば学習や感情喚起など）を捉えるには fMRI が威力を発揮するが、数十ミリ秒単位で変化するダイナミックな言語処理を観察する場合には ERP がきわめて有効である。

②複数の成分を指標とすることができる

言語処理に関わる ERP 成分には、意味逸脱によって誘発される N400、統語逸脱によって誘発される LAN および P600 など、機能的に異なる複数の成分が知られている。各成分に対する意味づけもある程度進んでおり、現在のところ、N400 は語彙レベルの情報の意味的な統合、LAN は初期の統語構造構築、P600 は統語構造の修復や再構築を反映していると考えられている (Friederici, 2002 のレビューを参照)。言語研究で ERP を用いる上での最大のメリットは、これらの成分を同時に観察できる点であり、各実験条件が意味処理や統語処理に及ぼす影響を、別々の成分でとらえることができる。

一方、fMRI 研究においても、意味逸脱や統語逸脱によって賦活する脳領域が調べられてはいるが、いずれも下前頭回および上側頭回付近に活動が集中している。これは、近接する（もしくは共通の）脳領域が意味処理や統語処理に携わっていることを示すデータとしては興味深いですが、条件操作の影響を脳領域の違いとして観察することの難しさも示唆している。

(2) ERP の未来：最高の ERP 測定機・分析法が開発されたら何に使う？

「最高の ERP」として目指す方向性には 2 つ考えられる。一つは ERP の弱点である空間分解能を高めることである。しかし、言語研究に携わる多くの心理学者は、コミュニケーションがどのようなメカニズムに支えられているのかを明らかにしたり、文理解がどのような処理過程を経て行われているのかをモデル化することに興味があるのであって、必ずしもそれが脳のどこで行われているかを明らかにしたいわけではない。このような目標のもとでは、空間分解能を高めることではなく、(1)に挙げた ERP の長所をうまく利用したり、さらに伸ばすことで、ツールとし

ての有用性を高めていく方向が考えられる。

このような ERP の利点を生かした言語研究はすでに始まりつつある。例えば、心理言語学における重要なトピックの一つに、統語処理が意味処理よりも先に行われるのか（系列モデル）、2つの処理が同時並行で行われるのか（並列モデル）という議論がある。この問いに答えるため、意味的にも統語的にも逸脱した二重逸脱文を用い、意味処理と統語処理の相互作用がどの段階で生じるかを調べた ERP 研究がいくつも行われている。例えば Hahne & Friederici (2002)は、二重逸脱文に対して ELAN と P600 を認めたが、N400 は出現しなかったことから、統語処理が意味処理に先行して行われ、統語逸脱によって意味処理が行われなくなることを報告している。

言語研究における最大のテーマの一つは、音韻、形態、意味、統語などの各部門で処理された情報がいつ相互作用し、どのように統合されて、最終目標である内容理解に至るのかを明らかにすることである。上記の研究は、刺激を工夫し、潜時の異なる複数の成分をうまく利用することによって、このような問題にアプローチした研究であるといえよう。

(3) ERP の戦略：ここが狙い目！！

現在、言語の脳科学研究では、ERP から得られた時間情報と、脳機能イメージングから得られた空間情報を組み合わせて、言語理解に関する脳機能モデルが構築されつつある (Fig. 1)。このモデルは、複数の脳機能計測機器を用いて、互いの短所を補い、長所を生かすことで得られた成果の一つであり、ERP を用いた言語研究の目指す方向性を考える上でも非常に示唆的である。ただし、このモデルはドイツ語の意味逸脱文や統語逸脱文を聴覚呈示した時のデータに基づいているため、

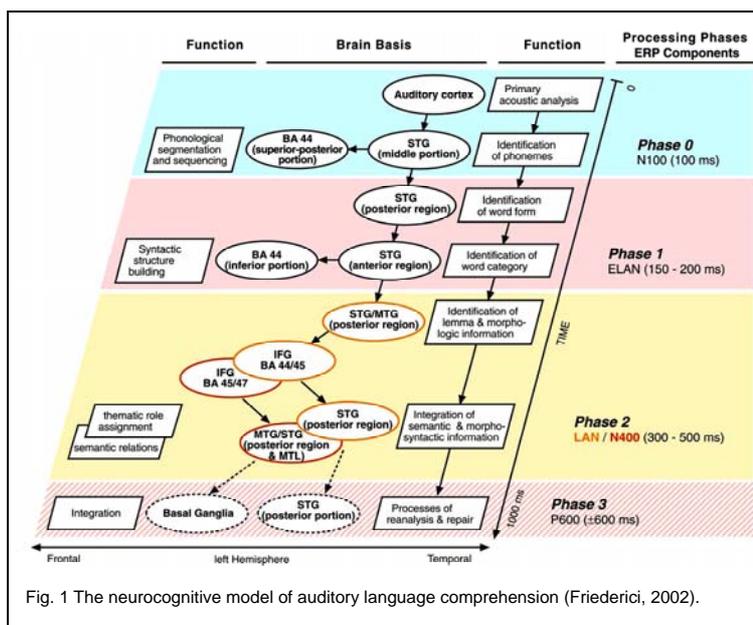


Fig. 1 The neurocognitive model of auditory language comprehension (Friederici, 2002).

文を視覚呈示した場合や、異なる言語体系の刺激を用いた場合でも、このモデルに従うかどうかを確認する必要がある。特に言語研究では、異なる言語間で得られた知見を比較することがきわめて重要であるが、日本では ERP を用いた言語研究が非常に少ない。このような課題に取り組む日本の ERP 研究者が増えることを強く希望する。

【引用文献】

Friederici, A. D. 2002 Towards a neural basis of auditory sentence processing. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6, 78-84.
 Hahne, A., & Friederici, A. D. 2002 Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Cognitive Brain Research*, 13, 339-356.

「スポーツ心理学研究に事象関連電位をどう使うか」

早稲田大学スポーツ科学部 正木 宏明

はじめに

スポーツ心理学者の主な研究対象に、巧みな動作スキルの獲得（運動学習）がある。スポーツ場面では、多くの巧みな動作を観察することができる。たとえば、フェイント動作は多くのスポーツ種目で使われる必須スキルであり、見事に決まったときの躍動感と美しさには目を奪われるものである。こうした技術を獲得し試合で発揮すべく、選手は普段から練習を積んでいる。

スポーツ心理学者は、スポーツ行動に関わる様々な現象を発見あるいは観察・記述し、その背景メカニズムを明らかにしようとしてきた。したがって、スポーツ行動を理解するうえで、まずは現象の観察が重要である（これはスポーツ心理学に限ることではないが）。次に、そうした現象の背景にあるメカニズムを、巧妙な実験の実施や、モデル作成によって理解し、説明しようと努めることとなる。

筋や関節を正確なタイミングで適切な強度で制御することを可能とする脳内情報処理については、これまで主に、反応時間の測定から推定し、モデルが提出されてきた。しかしながら、スポーツ技能に関わる脳内情報処理を、より直接的に捉えることはあまり行われてこなかった。

1. ERP の長所：「ERP でしかできないこと」

たとえば、上記の例のフェイントの場合、なぜフェイント動作に相手がつられてしまうのかについての原因解明は、現場を離れた実験室内で、反応時間の測定から推察されてきた。その結果、心理的不応の観点や、反応の自動的バイアスの点から理解されるようになったが、実際に脳内でのようなことが継時的に起こっているかについては明らかにできない。

ERP の長所としては、高時間分解能をもって、脳内情報処理を観察可能にする点がまず挙げられる。ERP 成分の潜時をみれば、情報処理過程の特定段階が終了するまでの時間がわかる。精神生理学者の 80 年代の努力によって、各 ERP 成分の同定とその機能的意義についての知見が集積し、ERP を道具として使うことが可能となってきた。

特に、有効な指標となるのが、P300 と偏側性準備電位(lateralized readiness potential: LRP) である。P300 潜時は刺激評価処理の終了時点を示し、LRP は反応選択の終了時点を示す。両者の観察によって、脳内情報処理過程をより直接的に、詳細に調べることができる。このことは反応時間の測定だけでは困難である。

ERP 測定では、アーチファクト混入を防ぐため、体動が制約される。したがって、現実の場面で観察されるスポーツ行動を直接の測定対象とすることはできず、実験室内で課題を工夫することになる。しかし、fMRI での制約に比較すれば、ERP の体動制約は緩いものであろう。また、ERP 測定は fMRI に比較すれば、安価で手軽である。ある程度の訓練を受ければ、誰でも記録できる。

2. ERP の未来：「最高のERP測定機・分析法が開発されたら何に使う？」

この設問を“ドラえもん”の取り出す未来の夢の機械のように捉えてよいならば、最高のERP測定機として、(ある程度の)運動中でもERPが測定できる器具を考えたい。そこには、多数の電極、電極配置の工夫、アンプ接続型の電極などの特徴をもっていることは当たり前となっている。最高の分析法は、筋電図の除去、EOGの除去、頭部の運動の補正などを完璧に行い、アーチファクトフリーのERPで、発生源を示してくれるものを考えたい。これによって、ダイナミックな動作中の脳活動を高時間分解能で捉えていき、発生源も知ることができる。たとえば、あれだけの速球のボールをなぜバッターは打てるのかについて、その脳内情報処理を実データに基づいて考察することができる。また、実験室内の実験データに基づいて作成されたモデルと、実際の動作から得られたデータとの差を確認し、必要に応じて修正を加えることができる。

現実的には、動作中の脳波測定は今後も困難であろうが、少しでもこうした測定が可能となるような技術革新が望まれる。また、さらに空間分解能を高める技術発達、あるいは脳信号推定技術の発達にも期待したい。

3. ERP の戦略：「ここが狙い目！！」

ERPの高時間分解能に着目すれば、前述のとおり、各成分の潜時に注目した心理時間測定研究的アプローチは有効である。90年代の研究では、認知心理学領域で提唱されてきた様々なモデルの妥当性を片っ端からERPによって調べている。まだまだ妥当性を明確にすべき心理モデルはたくさん残されていることから、この流れは今後もしばらく続くことが予想される。またERP成分の振幅は、潜時以上に一般的に使われている測度であり、脳の反応の強さという点から条件間の脳活動の差を知ることができる(ただし振幅値が何を反映したものかについては、定義や解釈の違い、または用語の適用によって捉え方が変わりうるが)。

こうしたERPの測度から、外からは観察できない脳活動をみることで、外から観察できる行動との対応関係を明らかにしていくことで、人間の行動と心理過程の理解を深めることができるはずである。スポーツ行動の理解の点では、様々なスキルの背景メカニズムを明らかにしていくことができるし、“あがり”のような情動反応の理解にも役立てる可能性が広がる。

「fMRI データを事象関連電位にどう使うか」

東京工業大学社会理工学研究科 小谷泰則

本発表では、事象関連電位の中でも緩電位（Slow potential）に関する実験を例に挙げ、fMRI データを事象関連電位の研究に利用するにはどのようなことが可能であるのかを検討する。緩電位の特徴のひとつとして、他の事象関連電位よりも、電位が発生してからピークまでの時間が非常に長いことがあげられる。例えば、「ヨーイ、ドン」といった予告反応時間パラダイムで測定される CNV (Contingent Negative Variation ; 随伴性陰性変動)では、予告刺激から反応刺激までの時間が 1 秒から 2 秒程度確保される場合が多い。すなわち、ひとつのイベントから次のイベントへの時間間隔が長く、その結果、1 回の試行の長さも長くなる傾向にある。そのため、実験のパラダイムとして fMRI の実験パラダイムと似たような実験パラダイムを設定することが可能となり、fMRI の実験パラダイムをそのまま緩電位への研究へ応用することや、逆に緩電位の実験パラダイムを fMRI に応用することなどが可能となる。我々の研究グループでは、全く同じ実験パラダイム、同じ実験条件を用いて、事象関連電位の測定と fMRI の測定を別々に行ったので、その結果を考慮しながら、事象関連電位の利点などについて考えてみる。

1. ERP の長所：「ERP でしかできないこと」

事象関連電位の実験、fMRI の実験ともに時間評価課題を用いた。この課題では、画面に提示される緑の輪が消えてから 3 秒経過したと思ったなら右手人差し指でボタンを押す。ボタン押しから 2 秒後にボタン押しが 3 秒よりも遅かったか、早かったか、3 秒ちょうどであったかのフィードバック情報を視覚刺激を用いて与えた。実験条件として、報酬条件（1 問正解につき金銭報酬が与えられる条件）、罰条件（1 問の不正解につき金銭罰が与えられる条件）、報酬罰条件：金銭報酬と罰が同時に与えられる条件を設けた。

fMRI と事象関連電位の結果を比較したところ、事象関連電位の結果では、報酬がある場合には左半球における電位が他の条件と比較し大きくなる傾向にあった。また、金銭罰を含む条件では右半球優位の傾向が高まる事が示された。しかしながら、fMRI の結果ではこのような情動と半球間の影響は監察できなかった。

事象関連電位と fMRI を比較した場合に、事象関連電位や脳波測定のひとつの利点として、ローデータへのアクセスビリティの高さが上げられる。fMRI の測定では、測定中にローデータを直接観察することは出来ないが、脳波の場合、波形の状態を常に監察することが可能である。このことは単純なことであるが、実験の精度を高めたるために意外と重要なことであると感じた。

しかし、逆に fMRI のメリットとして、測定結果のビジュアルインパクトの強さ、また、分析手法のデータの補正手法の多様さ、被験者への測定時の負担の少なさなど脳波にはないメリットがあげられる。

2. ERP の未来：「最高のERP測定機・分析法が開発されたら何に使う？」

現在、我々の研究チームでは、EGI社のNetStationシステムを用いて、スポンジ電極による脳波の測定を行っている。64chの脳波測定のためにかかる電極装着時間は、わずか10分程度であり、被験者への負担をかなり軽減することが可能となっている。

電極数が増えることのメリットとして、トポマップの精度の向上とともに、ダイポール分析の精度の向上が考えられる。脳波は、fMRIと比較すると空間分解能が低いとされているが、高密度電極とダイポール分析の組み合わせにより、今後さらに空間分解能を改善させることが出来るものと考えられる。

3. ERP の戦略：「ここが狙い目！！」

我々がfMRI実験とERP実験を組み合わせた目的のひとつは、fMRI実験により活動部位を同定し、同定された部位にダイポールを仮定し、脳波データからその部位がどのような時間的な活動変化を示すかを検討することが目的であった。

しかし、近年、fMRIに関連する文献が非常に増え、多くの場合、すでに似たようなパラダイムを用いたfMRIの実験が行われていることが多い。この場合、fMRIの実験をわざわざ行うよりも、文献から活動部位を同定し、そこにダイポールを仮定し、脳波データを用いてその活動部位の時間変化を検討することも可能であると考えられる。

この様な手法を用いることにより、脳波データを用いて脳の活動部位に言及することが可能になり、研究の可能性が広がるものと考えられる。

本ワークショップは ERP を宣伝するための企画なので、個々の話題提供に個別にコメントするのではなく、ERP の魅力と面白さを増すことにつながる(と私が思う)問題提起をしてみたい。

1. 時間分解能について

宣伝なので、まずは長所から考える。(特に、脳イメージングを視野に入れると、)ERP の第一の長所は、中尾・正木両先生の発表にあったように、その高い時間分解能にあるだろう。各成分、そしてその背景にある各過程がどういう時間特性で生じるのかを調べることは ERP の得意とするところである。では、その先に何が見えるのか？ 例えば、中尾先生の発表での各処理の相互作用や統合、また、正木先生の刺激評価処理と反応選択の関係といった、視知覚での結合問題にあたる部分を、ERP でどのように攻めることができそうか？ ここら辺の手がかりでもあれば、ERP はかなり魅力的な指標となるのではなかろうか。また、もし時間があれば、振幅の問題も考えてみたい。すなわち、潜時を武器とするときの振幅の位置づけはどうあるべきか？

2. 他の指標との関係について

中尾・小谷両先生は fMRI について触れられている。そこで、いわば比較広告として、他の指標との関係、特に、ERP での結果と他の指標との結果が食い違った場合の解釈の問題を挙げたい。ごく単純にいうと、“そんな時 ERP を信じますか？”そして、“それはなぜ？”

これには、fMRI での部位と、ERP でのダイポールの位置が異なる、という場合もあるだろうし、また、小谷先生は、fMRI では見られなかった半球差を ERP で示された。こういう場合の解釈は、単に計測している現象が違う、あるいは、感度が違う、で良いのか？ 効果が出たほうを採る、ではなく、きちんとした根拠を持ちうるか？

すべての質問は結局 ERP は何を測定しているのか、というところに行き着かざるを得ないとも思う。しかし、できればここでは、そうではなく、ERP 研究の明るい展望と夢を語る議論になるようなコメントをいただきたいと思う。

演者紹介

入戸野 宏 (にっとの ひろし) nittono@hiroshima-u.ac.jp

略歴

1993年 大阪大学人間科学部 卒業

1998年 大阪大学人間科学研究科博士後期課程 修了 博士 (人間科学)

現職

広島大学総合科学部行動科学講座 助手

国際心理生理学機構 (I.O.P.) 理事 (Director)

International Journal of Psychophysiology 編集委員 (Action editor)

現在のテーマ

インタラクティブな環境 (コンピュータ作業) における脳の情報処理

主要業績

Nittono, H. (2004). The action-perception paradigm: a new perspective in cognitive neuroscience. *International Congress Series*, **1270**, 26-31.

Nittono, H., et al. (2003). Brain potentials after clicking a mouse: a new psychophysiological approach to human-computer interaction. *Human Factors*, **45**, 591-599.

ホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/nittono/>

中尾 美月 (なかお みづき) mizuki@hiroshima-u.ac.jp

略歴

1994年 広島大学教育学部心理学科 卒業

2000年 広島大学大学院教育学研究科実験心理学専攻博士課程後期 単位取得退学

2002年 博士 (心理学) 広島大学

現職

広島大学大学院教育学研究科心理学講座 助手

現在のテーマ

N400 に反映される言語処理過程の検討

主要業績

中尾美月・宮谷真人 (2001). 特定の語彙に対する注意の焦点化が意味的関連性による N400 減衰に及ぼす影響. *生理心理学と精神生理学*, **19**, 15-23.

中尾美月・宮谷真人 (1999). N400 における意味的関連性効果と期待効果. *生理心理学と精神生理学*, **17**, 21-31.

正木 宏明 (まさき ひろあき) masaki@waseda.jp

略歴

1992年 早稲田大学人間科学部スポーツ科学科 卒業

1997年 早稲田大学大学院人間科学研究科生命科学専攻博士後期課程 修了 博士 (人間科学)

現職

早稲田大学スポーツ科学部 専任講師

現在のテーマ

エラー関連陰性電位によるエラー認知機能と偏側性準備電位による脳内情報処理の研究

主要業績

Masaki, H., et al. (2004). The functional locus of the lateralized readiness potential. *Psychophysiology*, **41**, 220-230.

Masaki, H., et al. (2000). An electrophysiological study of the locus of the interference effect in a stimulus-response compatibility paradigm. *Psychophysiology*, **37**, 464-472.

小谷 泰則 (こたに やすのり) kotani@hum.titech.ac.jp

略歴

1989年 筑波大学体育専門学群 卒業

1998年 東京都立大学理学研究科生物学専攻博士課程 修了 博士 (理学)

現職

東京工業大学社会理工学研究科人間行動システム専攻 助手

現在のテーマ

刺激先行陰性電位 (SPN; Stimulus-preceding negativity) に対する情動の効果

主要業績

Kotani, Y., et al. (2003). Effects of information and reward on stimulus-preceding negativity prior to feedback stimuli. *Psychophysiology*, **40**, 818-826.

Kotani, Y., et al. (2001). Effect of positive and negative emotion on stimulus-preceding negativities prior to feedback stimuli. *Psychophysiology*, **38**, 873-878.

ホームページ

<http://www.gi.hum.titech.ac.jp/~kotani/>

片山 順一 (かたやま じゅんいち) jk@edu.hokudai.ac.jp

略歴

1984年 関西学院大学文学部心理学科 卒業

1993年 博士 (文学) 関西学院大学

現職

北海道大学大学院教育学研究科教育臨床講座 助教授

現在のテーマ

ERPを用いた健常児・者および発達障害児の認知機能の評価

主要業績

片山順一 (2003). ERPと注意欠陥多動性障害. *行動科学*, **42**, 37-45.

Katayama, J., & Polich, J. (1998). Stimulus context determines P3a and P3b. *Psychophysiology*, **35**, 23-33.

ホームページ

<http://www.hokudai.ac.jp/educat/kyoukan/katayama/katayama.html>

(登場順)

追記

ワークショップの中で話題が出た EEGLAB, LORETA については, 企画者のホームページのリンク集からたどることができる. <http://home.hiroshima-u.ac.jp/nittono/link.html>