HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	聴覚3刺激オッドボールパラダイムにおけるEPR後期陽性成分の振る舞い
Author(s)	片山, 順一
Citation	北海道大學教育學部紀要, 67, 239-247
Issue Date	1995-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29474
Type	departmental bulletin paper
File Information	67_P239-247.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

聴覚3刺激オッドボールパラダイムにおける ERP後期陽性成分の振る舞い[1)]

片 山 順 一

The behavior of late positive components of the ERP in a 3-tone oddball paradigm

Jun'ichi KATAYAMA

序

頭皮上においた電極から記録した脳の電気活動の変化は，脳波（脳電図，Electroencephalogram；EEG）と呼ばれる。このEEGを，ある事象の生じる時間点を基準として加算平均処理することによって，事象関連脳電位（event-related brain potential；ERP）を得ることができる。ERPは，ある事象に対する特異的な一過性の脳の反応であり，反応時間（reaction time；RT）などの行動指標を用いた研究では明らかにできない認知的な側面を反映する指標として注目されている（片山・八木，1986；沖田，1989）。

ある刺激を反復呈示中に別の刺激を低頻度で混入すると，その刺激に対するERP上に，比較的長い潜時の大きな陽性電位が惹起される。これは後期陽性成分(late positive component；LPC，あるいはP300（P3））と呼ばれ，Sutton, Braren, Zubin, & John（1965）によって最初に報告された。LPCを惹起する典型的なパラダイムはオッドボールパラダイム（oddball paradigm）である。これは，ある刺激を高頻度で連続的に呈示する系列中のランダムな位置に別の刺激を低頻度で呈示し，これに対してボタン押しを求めたり，数を数えさせたりするものである。このとき，低頻度刺激に対するERP上には頭頂部優勢なLPCが出現する。

低頻度刺激に対して反応を求めず，(聴覚刺激の場合)ただ聞いているだけの条件や，読書など別の課題を設けて音刺激系列を無視した場合には，前頭・中心部優勢な陽性成分（P3a）が出現する。これに対して，上述の課題に関連した低頻度刺激に対する頭頂部優勢なP3をP3bと呼ぶ(Squires, Squires, & Hillyard, 1975)。このように，P3aは注意の方向に関係なく出現することから，入力刺激によって自動的に形成され，比較的持続の短い神経痕跡(neuronal trace)とのミスマッチによって生じる注意の切り替えと関連した定位性の成分であると考えられている(Näätänen, 1990)。

また，オッドボールパラダイムの変形として，2種類以上の低頻度刺激を混入する場合もある。新奇刺激（novel stimulus）として高頻度刺激や低頻度標的刺激とは質の異なる刺激（例えば，純音に対して日常生活から録音した音，数字に対して線画など）を低頻度で混入すると，それに対してnovel P3と呼ばれる前頭・中心部優勢な陽性波が出現する（Courchesne, Hillyard, & Galambos, 1975)。

1）本実験の結果の解釈について有益な御示唆をいただきました，東京学芸大学特殊教育研究施設の竹形理佳さんに感謝いたします。

LPC は ERP の中では比較的大きな振幅を持つ成分であること，また，オッドボールパラダイムが簡便で多くの被験者が容易に遂行できることから，臨床応用が盛んである (Polich, 1993)。応用場面では，音刺激を用いることが多く，2 刺激オッドボールで，音刺激の特性や記録法の標準化が提唱されている（日本脳波・筋電図学会誘発電位検査法委員会，1985；Polich, 1993)。標準化の利点は，ある一人の被験者から得たデータを正常群，あるいは特定の疾患の群の標準値と比較し，診断に用いることができることにある。

しかしながら，このオッドボールパラダイムは単純な弁別課題であり，調べることができる認知機能も限られてくる。オッドボールパラダイムを変形することによって，より多くの認知的側面を評価する方法が期待されよう。例えば，精神遅滞児は入力の抑制がうまく働かないという知見がある (Furutsuka, 1977-1978)。2 種類の低頻度刺激を呈示し，その一方のみを標的としてボタン押し反応を求める課題を考えてみよう。この場合，標的でない低頻度刺激には定位が生じるであろうが，ボタン押し反応を抑制する必要がある。抑制機構に問題がなければそれほど難しい課題ではないが，抑制機構がうまく働いていない場合には，非標的の低頻度刺激にもボタンを押してしまうかもしれない。また，ボタン押しには到らなくても，不必要な注意の配分など大きな定位性の反応が生じる可能性がある。この場合には，各刺激に対する ERP を比較検討することによって抑制機構の評価ができるであろう。

このように，現段階では，ある被験者の ERP データと群の標準値との比較によって診断することができなくても，ある被験者の刺激タイプ毎の ERP の振る舞いを比較することによって認知機能の評価をすることも有用であると考えられる。いうまでもなく，新しいパラダイムで標準化を行えば，標準値との比較も可能となる。

そこで，本研究では，新しいパラダイム作成の第一段階として，3 種類の音刺激を用いたオッドボールパラダイムでの ERP の振る舞いを検討する。高頻度刺激として，1000 Hz の音，低頻度刺激として 1050 Hz の音，及び異質な低頻度刺激として，150 から 267 Hz に変調する音を用いた。さらに，この音系列をただ聞いているだけの条件，及び各々の低頻度刺激を標的として検出・ボタン押しをする条件での ERP の振る舞いを検討した。

一般に，オッドボールパラダイムでは 1-2 s の刺激間間隔が用いられる。しかし，P 3 a が神経痕跡とのミスマッチを反映するなら，刺激間間隔が短い方がその効果は大きいであろう。そこで，本実験では平均 180 ms という非常に短い刺激開始間間隔（SOA）で刺激を呈示した。

方　法

被験者

被験者は北海道大学教育学部の男子 8 名，女子 3 名の計 11 名 (22-32 歳，平均 25.6 歳) で，全員右手利きであった。全員聴覚に異常はなく，課題の遂行に支障のあるものは含まれなかった。

刺　激

強度約 70 dB SPL，持続約 50 ms の音を被験者の前約 70 cm においたスピーカから呈示した。高頻度刺激（以下，Freq）として 1000 Hz，低頻度刺激（Rare）として 1050 Hz，また，新奇刺激 (Novel) として持続の 50 ms 間に 150 から 267 Hz に変調する音を用いた。これらの音刺激は NEC 製 PC-9801 RX の発振音を用いたため，正弦波ではなく，立ち上がり，立ち下がりのエンベロープ処理も行っていない。

1ブロック200刺激とし，最初の4刺激は必ずFreqとした。続く刺激は，Freqが90%，Rare及びNovelがそれぞれ5%の生起確率で，ランダムに呈示した。各刺激の開始間間隔（SOA）は100-260 ms（10 msステップで矩形分布，平均180 ms）とした。

課　題

音刺激の系列をただ聞いているだけのPassive課題(以下，P課題)，Rare刺激が出現したら，できるだけ速くボタンを押すRare検出課題（R課題），そして，Novel刺激に対してできるだけ速くボタン押しをするNovel検出課題（N課題）の3課題を設けた。

P課題では，前のスピーカから音が聞こえるので，ただ聞いているように教示した。R及びN課題では右手親指でボタン押しを行った。

手続き

電極装着後，被験者は北海道大学教育学部2階，臨床生理心理学実験室の防音シールドルーム内の椅子に着席し，課題を遂行した。

各課題6ブロックを課した。P課題は常に最初に行い，以下，5名の被験者はR課題，N課題の順に，残りの6名はN課題，R課題の順に課題を行った。

各ブロックの呈示前に被験者の前においたCRTディスプレイ上に，警告刺激として〝×××××〟を500 ms間呈示し，警告刺激消失500 ms後から音刺激の系列を呈示した。音刺激呈示中はCRT上に〝×〟を呈示し，被験者には音刺激が呈示されている間，開眼でこの凝視点を固視するように求めた。

R及びN課題の前には最低1ブロックの練習を行わせた。

記録及び処理

R及びN課題においては，Rare及びNovel刺激呈示後150-1000 ms間のボタン押し反応を評価した。

EEGは，正中線上前頭部（Fz），中心部（Cz），頭頂部（Pz），及び後頭部（Oz）から，両耳朶結合を基準として単極導出し，0.05（時定数，3.0 s）−30 Hz［−3 dB］のバンドパスで増幅した(日本電気三栄製多用途脳波計1A-94)。EEGは，刺激コード，被験者のボタン押し反応パルスと共にオンラインでA／D変換し（サンプリング周波数，100 Hz），ハードディスクに保存した(TEAC製テクニカルコンピュータシステムPC-9000 model 340 M)。

各刺激呈示前200 msを含む1000 ms間について，被験者，課題，刺激タイプ毎にオフラインで加算平均処理を行った。刺激呈示前200 ms間の平均電位をベースラインとし，各ブロック最初の5刺激，誤反応刺激，及び，EEGのいずれかのチャンネルで分析区間内に±50 μV以上の電位が生じた刺激は加算平均から除外した。

Freq刺激に対するERPを得るための加算回数は690-1051(平均899.8)回，低頻度のRare及びNovel刺激では21-82（平均50.0）回であり，全体の14.02%をアーチファクトのために除外した。

被験者内要因配置による分散分析（analysis of variance；ANOVA）でのタイプIエラーを統制するために，Greenhouse-Geisserの修正法を用いた。

結果及び考察

行動指標

(1) 反応時間

R及びN課題での平均RT及び標準偏差は，それぞれ374.91 (62.30) ms，343.00 (67.98) msであり，N課題の方が有意にRTが短かった (F (1, 10) =5.57, p=. 04)。内省報告でも，R課題の方が容易であったと答えたのは1名だけで，他は全てN課題が容易であったと答えており，高頻度刺激とピッチが異なるだけのRare刺激を検出するよりも，異質なNovel刺激を検出する方が容易であった。

(2) ヒット率

両課題での平均ヒット率及び標準偏差は，R課題で96.11 (6.16)%，N課題で97.80 (4.04)%であり，課題間で統計的に有意な差はなかった。これは，RTの結果がspeed-accuracy trade-offによるものではないことを示している。

ERP

3課題における各タイプの音に対する被験者間総平均波形をFig.1に示す。いずれの課題にお

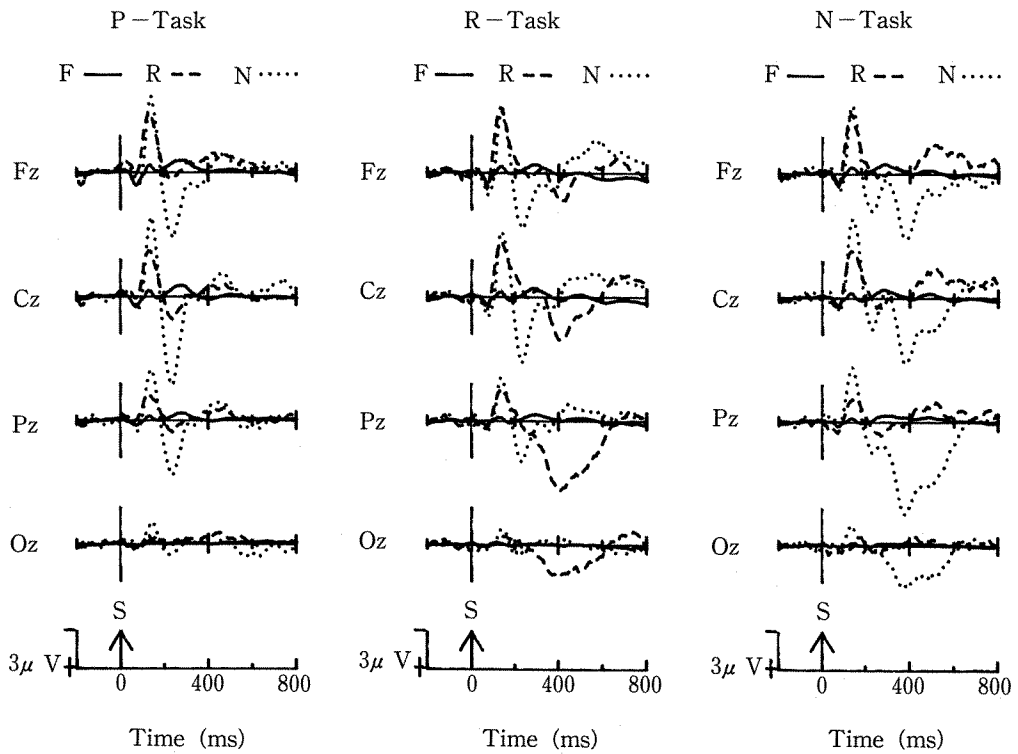

Fig.1 各課題での各タイプの刺激に対する被験者間総平均波形（N＝11)。上方向が陰性で，下の矢印は刺激の開始時点を示す。刺激呈示前200 msの平均電位をベースラインとして用いた。左からP課題，R課題，そしてN課題で得られたERPで，F，R，Nはそれぞれ Freq 刺激(実線)，Rare 刺激(破線)，Novel 刺激(点線) を示す。

いてもFreq刺激（実線）は明瞭な誘発成分を惹起しておらず，Novel刺激（点線）は頂点潜時約250 msの大きな陽性波を惹起した。また，標的となった刺激（R課題でのRare刺激及びN課題でのNovel刺激）は，頭頂部（Pz）優勢なP3bを惹起している。

Freq刺激に対して明瞭な誘発成分が見られなかったのは，SOAが非常に短かく，呈示回数が多かったため，慣れを生じた結果であろう。Snyder & Hillyard（1976）は，SOAが短いとき誘発成分であるN1-P2振幅が小さくなることを報告している。

(1) P3a

Novel刺激に対して頂点潜時約250 msの大きな陽性波が出現しているが，これは持続時間中に周波数を変調させたという刺激の物理特性を反映して，誘発成分であるP2が大きくなった可能性がある。そこで，1名の被験者で，Novel刺激を高頻度（90%）で，Freq刺激（1000 Hz）及びRare刺激（1050 Hz）をそれぞれ5%ずつの確率で呈示したときのP課題でのERPを記録した。その結果（Fig.2），Novel刺激に対するERP（点線）には，明瞭な誘発成分はなく，Fig.1のFreq刺激に対するERPと同様の波形を示した。他方，Freq（実線）およびRare刺激（破線）は，200-250 msに頂点を持つ陽性波を惹起した。

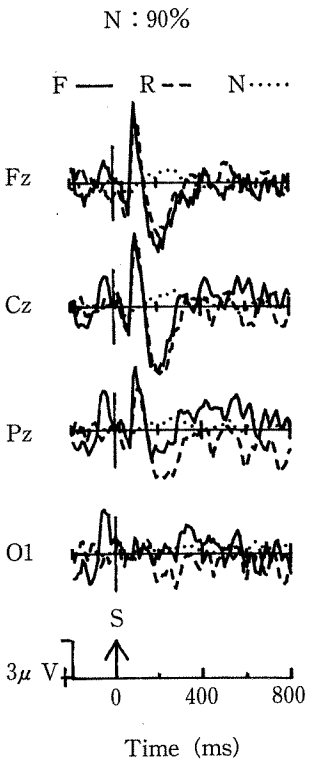

Fig.2 1名の被験者のP課題でのERP。各刺激の確率はFreq及びRare刺激がそれぞれ5%，Novel刺激が90%。後頭部はOzではなくO1からの記録である。

この結果から，Fig.1のNovel刺激に対する陽性波は，音刺激の物理特性によるものではなく，低頻度刺激によって惹起されたP3aと考えられる。P2の潜時帯に出現しているのはSOAが非常に短かったからであろう。

刺激呈示後200-250 ms間の平均電位をP3aの振幅として，3課題×3刺激タイプ×4部位のANOVAを行ったところ，刺激（$F(2, 20)=15.64, p=.0003, \varepsilon=.80$）及び部位（$F(3, 30)=6.68, p=.008, \varepsilon=.61$）の主効果が，また，課題×部位（$F(6, 60)=7.70, p=.001, \varepsilon=.45$），刺激×部位（$F(6, 60)=19.80, p=.0001, \varepsilon=.35$），及び課題×刺激×部位（$F(12, 120)=3.52, p=.027, \varepsilon=.25$）の交互作用が有意であった。また，課題の主効果及び課題×刺激の交互作用も有意な傾向を示した。

下位検定として各課題ごとに3刺激タイプ×4部位のANOVAを行った。その結果，Novel刺激は，P課題では全ての部位で，R課題ではOzを除く部位で，また，N課題ではFzで，Freq刺激よりも有意に大きなP3aを惹起したことが示された。さらに，Rare刺激に対するP3a振幅は，P課題ではCz及びPzでFreq刺激よりも大きかったが，他の2課題ではFreq刺激と差はなかった。

呈示確率は同じであっても，異質な刺激の方が大きなP3aを惹起した。この効果はただ聞いているだけのP課題でもっとも大きく，課題を課すことによって音刺激に積極的な注意を向けると，Rare刺激に対するP3aは減衰した。しかし，P3aは注意の方向とは独立に生じるとされており，この結果とは矛盾する。課題を課すことによって生じた別の電位が重畳した可能性もある。

特に，Fig.1を見ると，N課題で，Novel刺激に対するP3a振幅が減少しており，ここで考えられる候補は陰性成分（N2）の重畳である。しかしながら，N2はP3に先行して出現する電位であり，N2が重畳してP3a振幅が減少したと考えるのは妥当ではない。現段階ではこの原因は明確ではないが，SOAが短かったことも含めて，今後検討する必要がある。

(2) P3b

標的刺激に対してはPz優勢なP3bが出現した。P3bの振幅を刺激呈示後300-500 ms間の平均電位で評価し，3課題×3刺激タイプ×4電極部位のANOVAを行ったところ，全ての効果が有意であった（課題：$F(2, 20)=14.34, p=.001, \varepsilon=.66$；刺激タイプ：$F(2, 20)=5.24, p=.02, \varepsilon=.88$；部位：$F(3, 30)=4.84, p=.03, \varepsilon=.57$；課題×刺激：$F(4, 40)=18.18, p=.0001, \varepsilon=.46$；課題×部位：$F(6, 60)=4.17, p=.015, \varepsilon=.48$；刺激×部位：$F(6, 60)=5.76, p=.003, \varepsilon=.52$；課題×刺激×部位：$F(12, 120)=8.75, p=.0001, \varepsilon=.29$）。

3要因の交互作用は，Freq刺激に対するERPには課題間の差はなく，Rare及びNovel刺激が各々標的となったときにPz優勢なP3bを惹起したことを示している。さらに，下位検定として，Pz部位での標的刺激（R課題のRare刺激及びN課題でのNovel刺激）に対する振幅を比較したところ，Novel刺激に対するP3bの方が有意に大きいことが示された。一般に，課題が容易なほどP3b振幅は大きく，RTでの結果と一致する。

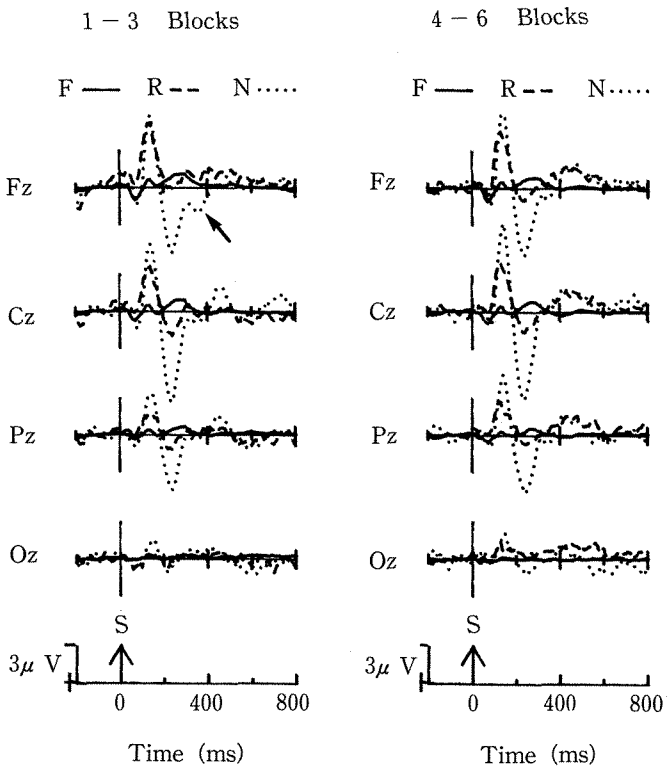

Fig.3 P課題の前半3ブロック（左）及び後半3ブロック（右）のERP。被験者11名の総平均波形。

(3) Novel P3?

新奇刺激に対しては，前頭・中心部優勢なNovel P3が出現すると言われている。本実験では，明瞭ではないが，Fzの380 msあたりに見られる成分がNovel P3かもしれない。従来の研究では新奇刺激は毎回変化させることが多いが，本実験では同じ刺激を用いたため，ブロックを反復するうちに慣れが生じた可能性がある。そこで，P課題の前半・後半3ブロックずつに分けて加算平均を行った(Fig.3)。前半ではこの成分が認められるが（矢印）後半では消失していることから，これがNovel P3である可能性がある。

P3aとNovel P3の区別は明瞭ではなく，最初にNovel P3を報告したCourchesne, et al. (1975) は，Novel P3とP3aは別の成分だとしているが，新奇刺

激に対してP3aが出現するとする研究者もいる（例えば，Holdstock & Rugg, 1993)。本研究では，P課題の後半ブロックで消失したことから，P3aとは別にNovel P3が出現した可能性を示したが，Novel刺激として用いた刺激も，他の刺激と同じパーソナルコンピュータによる発振音であり，新奇刺激と言うにはインパクトが弱い。ここで得られた成分が本当にNovel P3であるのか，また，P3aとNovel P3が同時に出現し得るのかを決定するためには，さらに検討が必要であろう。

今後の課題

本研究では，新たなパラダイムを模索する第一段階としての実験を行った。刺激構成を最もよく反映したのはP課題であった。2種類の低頻度刺激の呈示確率は共に5%であったが，異質なNovel刺激は大きなP3aを惹起した。Novel刺激に対するより大きな定位性の反応を抑制する必要があったのはR課題である。Novel刺激に対しては定位性の反応が認められたが，本実験では抑制と関連すると考えられる効果は認められなかった。これは被験者が正常な大学生であったため，抑制機構に問題がなかったからかもしれない。応用場面で容易な課題を課すとすれば，N課題が妥当であろう。しかし，この課題では，従来のオッドボールパラダイムと同様，標的刺激に大きなP3bが生じたが，Rare刺激に特異的な反応は得られなかった。用いる刺激の質や高頻度刺激からの逸脱の程度など，今後検討を要する問題は多岐にわたる。

上にも延べたように，新奇刺激は一般に毎回異なる刺激を呈示することが多いが，本実験では同じ刺激を用いた。同じ刺激を新奇刺激としてもNovel P3が出現するという報告もあるが(Holdstock & Rugg, 1993, Experiment 2)，新奇刺激と低頻度・非標的刺激に対する反応を個別に検討して行く必要がある。

また，本実験では非常に短いSOAを用いたが，次の刺激に対するERPの影響が無かったとはいえず，現実的にはもう少し長いSOAの方が適しているだろう。さらに，音刺激も正弦波のエンベロープ処理を施した刺激を用いる方が望ましい。

応用場面でのパラダイムとして考えた場合，新奇刺激を呈示する方法は，典型的なオッドボールパラダイムとは異なる側面の定位反応を調べるという点では興味深いが，抑制機構など，異なった種類の認知能力の評価を行うためには，新奇刺激よりも低頻度・非標的刺激を用いる方が有望であろう。Polich (1993) は，2種類以上の低頻度刺激を用いると課題が複雑になりすぎて被験者が混乱する場合があることから，臨床場面では2刺激オッドボールを推賞している（彼は，標準化がなされていないことも理由に挙げている)。しかし，Polichの言う臨床場面は主に加齢や痴呆であること，また，刺激や課題の設定によっては3刺激オッドボールでも容易な課題にしうることを考えると，より多くの認知的側面を評価できる方法には魅力がある。さらに，例えば，数唱課題では短い桁数から始めて徐々に桁数を増やし，被験者が遂行できなくなった桁数からその被験者のdigit spanを測定する。オッドボールパラダイムにおいても同様に，被験者の遂行に応じて課題の困難度を操作する事によって認知能力の評価を行う方法も考えられよう。

被験者の負担をできる限り軽くし，できるだけ短い時間でより多くの側面を評価するためには，典型的なオッドボールパラダイムに加えて，どのような刺激構成，課題設定のパラダイムが有効であるかを決定する必要があり，今後多くの基礎研究が不可欠である。

引用文献

Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology, 39*,131-143.

Furutsuka, T. (1977-1978). The characteristics of the information processing mechanism of the Down's syndrome patients: Why are they good at mimicking? *Annual Report of Research and Clinical center for Child Development, Faculty of Education, Hokkaido University, No. 1*, 45-50.

Holdstock, J. S., & Rugg, M. D. (1993). Dissociation of auditory P300, differential brain response to target and novel nontarget stimuli. In H. Heinze, T. F. Müte, & G. R. Mangun(Eds.), *New developments in event-related potentials*(pp.71-78). Boston: Birkhäuser.

片山順一・八木昭宏（1986）．認知的精神生理学と事象関連脳電位　人文論究，*36*，55-72.

Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences, 13*, 201-288.

日本脳波・筋電図学会　誘発電位検査法委員会（1985）．誘発電位検査法委員会報告 ── 誘発電位測定指針 ──.

沖田庸嵩(1989)．事象関連電位と認知情報処理 ── 選択的注意の問題を中心として ──　心理学研究，*60*，320-335.

Polich, J. (1993). P300 in clinical applications: Meaning, method, and measurement. In E. Niedermeyer & F. L. Da Silva(Eds.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*(3rd ed., pp.1005-1018). Baltimore: Williams & Wilkins. (Reprint from *Am. J. EEG Technol.*, 1991, *31*, 201-231.)

Snyder, E., & Hillyard, S. A.(1976). Long-latency evoked potentials to irrelevant, deviant stimuli. *Behavioral Biology, 16*, 319-331.

Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology, 38*, 387-401.

Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science, 150*, 1187-1188.

付　記

私が本学部に赴任してきた年は，北島先生の北大での最後の年でした。(私にとっては)残念ながら，この年の先生は学部長として大変ご多忙で，ゆっくりとお話をする機会もあまりありませんでしたが，そんな中で最も印象に残っているのは（なんと研究の話ではなくて）学部生の指導に関するものです。北島先生は〝学生にテーマを与えてはいけません〟とおっしゃたのですが，私は持論の〝蕎麦屋の論理〟を持ち出して反論しました。先生が例の口調で，なぜテーマを与えてはいけないのかを説かれるのを聞いているうちに，自分はなんと極悪非道なことを考えているのだろうと思えてきたものです。

もっとも，その後考え直してみても，まだ〝蕎麦屋の論理〟を捨てる気にはならないのですが，先生を論破する自信もありません。それどころか，また罪悪感にさいなまれる公算の方が大きそうです。というわけで，当分はこの話題は無しという条件つきで，今後ともご指導いただければ幸いです。