

# 身体運動に伴う聴覚フィードバックの遅延検出に関する脳活動(1) -ピッチ逸脱検出との比較-

樋田浩一<sup>†1</sup> 上野佳奈子<sup>†1</sup> 嶋田総太郎<sup>†1</sup>

**概要:** 身体運動に伴う聴覚フィードバックの遅延検出メカニズムを探るための基礎的検討として、遅延検出に関連した脳波成分(事象関連電位)の同定を目的とした脳活動計測を実施した。これまでの研究から、周波数逸脱した聴覚刺激に対してみられる事象関連電位としてミスマッチ陰性電位(MMN)が知られている。本研究では、身体運動に伴う感覚フィードバックに遅延が挿入された場合にも、周波数逸脱刺激の検出時と同様の反応がみられるか検討を行った。その結果、周波数逸脱刺激呈示時には P2 成分の減少(MMN)・P300 成分の表出がみられるのに対し、遅延逸脱刺激呈示時には P2 成分の増強(enhanced-P2)・N300 成分の表出がみられることが示された。これらの結果から、周波数弁別と遅延検出に関連した脳活動は異なることが示された。

**キーワード:** 遅延聴覚フィードバック, 自己身体認識, 事象関連電位, ミスマッチ陰性電位, P2, N300

## 1. はじめに

我々は、外界からの情報を受動的に感知するだけでなく、能動的な身体運動とそれに伴う感覚フィードバックを対応付けることで、身体と知覚世界との関係性を構築している。しかし、身体運動と感覚フィードバックを統合する神経メカニズムについては未だ不明な部分も多い。そこで本研究では、両者の統合メカニズムを明らかにするための基礎的検討として、身体運動に伴う聴覚フィードバックに遅延を挿入した際の検出メカニズムに着目し、事象関連電位(event-related potentials: ERPs)による脳波測定を行った[1]。

聴覚知覚に伴う事象関連電位として、周期的に呈示される聴覚刺激列中に混入した逸脱刺激を計数する課題(オドボール課題)遂行中に計測される成分が知られている。周波数逸脱刺激を用いた実験では、聴覚刺激に対する一般的の注意に関連した N1 [2][3]と、選択的注意を喚起する課題で表出する P300 [4][5]、および、それに先立つ前注意過程の表出とされるミスマッチ陰性電位(mismatch negativity: MMN) [6][7][8]が計測される。しかし、遅延逸脱刺激に対しても、同様に MMN が惹起されるのかは明らかではない。

本研究では、逸脱刺激として遅延聴覚フィードバックを用い、身体運動に伴う聴覚フィードバックの遅延検出メカニズムを探るための実験を 4 つ実施した。本実験に先立ち、身体運動およびその聴覚フィードバックが事象関連電位に及ぼす影響について予備実験を行った。実験 1 では、身体運動に伴う聴覚フィードバックが周波数逸脱した場合にも MMN が惹起されるのか検討を行った。実験 2 では、遅延聴覚フィードバックによって惹起される事象関連電位を測定した。実験 3 では、周波数逸脱した刺激と遅延逸脱した刺激の両方を用い、遅延聴覚フィードバックによって惹起される事象関連電位の特徴について、周波数知覚との比較を通じ詳細な検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 被験者

実験には、被験者として各実験につき男性 8 名女性 8 名、のべ 64 名の右利き健聴者が参加した(平均 21.1 ± 1.5 歳)。

### 2.2 実験機材・刺激および手続き

実験において、身体運動は右手人差し指のマウスクリックとした。マウス(G500, Logicool)からの入力信号に対して、E-Prime 2.0(Psychology Software Tools, Inc.)を介し、カナル型イヤホン(ER-4B, Etymotic Research)から聴覚刺激を両耳に出力した。

聴覚刺激の呈示方法にはオドボール課題を用い、高頻度で呈示する標準刺激(standard stimulus)と低頻度で呈示する標的刺激(target stimulus)の割合は 4 : 1 とした。標準刺激は 1000 Hz の純音 30 ms(立ち上がり・立ち下りに 10 ms の線形なフェードイン・フェードアウトを含む)とし、標的刺激には、各実験の実験目的に合わせて設定した。

実験は照度および静穏環境を統制した防音室内で行い、被験者は椅子に座り、前方の注視点を固視した状態で、刺激列中にランダムに呈示される標的刺激の回数を計数し、各セッション終了後にその回数を口頭で回答した。

### 2.3 脳波測定と分析

脳波測定には g.tec 社製の生体計測システム(BCI Research System)を用いた。反応は Ag-AgCl 頭皮電極(Active 電極)を国際 10-20 法の Fz(前頭), Cz(頭頂), Pz(後頭), 左耳朵(基準電極), AFz(接地電極)の 5 ヶ所に貼付し計測した。すべての電極と皮膚間のインピーダンスは 10 kΩ 以下とした。脳波は、0.5~30 Hz の帯域通過フィルタをかけ、サンプリング周波数 512 Hz で記録した。

各電極のデータは、独立成分分析(ICA)により眼電成分を除去した。聴覚刺激呈示時を起点( $t = 0$  ms)として  $t = -300$  ~  $+700$  ms の区間を切り出し、 $t = -200$  ~  $0$  ms における平均電位をベースラインとし、標準・標的刺激ごとに加算平均波形を求めた。±80  $\mu$ V を超える電位が含まれた試行は、

<sup>†1</sup> 明治大学 理工学部  
Meiji University, School of Science and Technology

ノイズ(アーティファクト)の混入と見なし加算平均から除外した。被験者ごとの加算平均波形から、全被験者の総加算平均波形とその差分波形を算出した。ERPs成分として、 $t = 75 \sim 150$  ms の加算平均波形の陰性ピークを N1,  $t = 150 \sim 250$  ms の加算平均波形の陽性ピークを P2,  $t = 150 \sim 250$  ms の差分波形の陰性・陽性シフトをそれぞれ MMN・enhanced-P2,  $t = 250 \sim 450$  ms の加算平均波形の陽性・陰性ピークをそれぞれ P300・N300 と定義した。差分波形から導出する MMN と enhanced-P2 については、ピーク潜時  $\pm 40$  ms の区間における振幅の時間積分値を各成分の振幅の評価に用いた[9]。

### 3. 予備実験：身体運動の影響の検討

#### 3.1 概要

身体運動中の事象関連電位を測定するにあたり、運動に由来した筋電などのノイズが事象関連電位波形に及ぼす影響を検討しておく必要がある。そこで、一連の実験に先立ち、身体運動およびその聴覚フィードバックが事象関連電位に及ぼす影響について予備実験を行った。

#### 3.2 実験方法

実験では、被験者のマウスクリックに対して、標準刺激として身体運動のみ(フィードバックなし)、標的刺激として聴覚刺激(フィードバックあり; 1000 Hz・純音・30 ms)を呈示した。被験者は1秒間隔でマウスクリックを450試行(標準刺激360試行、標的刺激90試行; 約7分30秒)繰り返し、標的刺激の呈示された回数を計数した。

#### 3.3 結果と考察

総加算平均波形と差分波形を図1に示す。聴覚フィードバックが呈示された標的刺激呈示時の波形に着目すると、聴覚刺激入力に伴いみられる一般的な成分である N1・P2・N300 の三相性の波形がみられた[9]。一方、標準刺激呈示時の波形に着目すると、前頭においてマウスクリック後に陰性シフトする緩変動がみられたが、明確なピークはなかった。このことから、身体運動に由来する事象関連電位波形への影響は少ないことが確認された。この理由として、本実験で用いた身体運動は周期的かつごく小さな運動であったため、運動準備電位や随伴陰性変動などの運動関連電位が惹起されなかったものと考えられる。

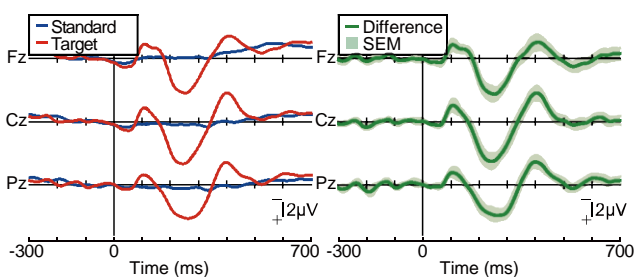


図1 予備実験：総加算平均波形と差分波形

## 4. 実験1：周波数弁別課題

### 4.1 概要

予備実験の結果から、身体運動中に脳波計測を実施した場合、事象関連電位波形に身体運動の影響はみられないことが示された。

実験1として、周波数逸脱刺激を混入したオドボール課題遂行時の事象関連電位を測定した。この際、身体運動に伴い聴覚刺激が呈示される条件と受動的に聴覚刺激が呈示される条件の2条件を設定した。先行研究[6][7][8]を踏襲した受動的に聴覚刺激が呈示される条件において、周波数弁別課題遂行時に観察される既知の事象関連電位成分(MMN, P300)が観察されるか確認することで、本実験の再現精度について確認を行った。更に、両条件の事象関連電位の比較を行うことで、身体運動の有無が周波数弁別に関連した事象関連電位に及ぼす影響について調べた。

### 4.2 実験方法

実験は、聴覚刺激が1秒間隔で受動的に呈示される受動条件(non-action condition)と、被験者の1秒間隔のマウスクリックに対して聴覚刺激が呈示される能動条件(action condition)の2条件実施した。聴覚刺激には、標準刺激として1000 Hzの純音、標的刺激として1032 Hzの純音を用い、被験者は刺激列中ランダムに呈示される標的刺激の呈示回数計数を心の中で行った。計数の値は、セッション終了後に口頭で回答した。実験は1条件450試行(約7分30秒)を1セッションとし、セッション間に約3分間の休憩を挟んで両条件計2セッション実施した。順序効果を考慮し、条件の実施順序は被験者間でカウンターバランスを取った。

### 4.3 結果と考察

被験者の逸脱刺激計数の回答結果は、正答90回に対し、受動条件が  $84.2 \pm 10.1$  回、能動条件が  $81.4 \pm 13.8$  回で、両者に統計的に有意な差はなかった(Paired  $t$ -test,  $t_{(15)} = -1.31$ ,  $p = 0.21$ )。このことから、身体運動の有無によって、周波数の弁別は影響を受けないことが示された。

総加算平均波形と差分波形を図2に示す。受動条件に着目すると、 $t = 200$  ms 前後に MMN(前頭-頭頂優位),  $t = 350$  ms 前後に P300 成分(後頭優位)がみられた。P300 成分は周波数逸脱刺激に対する選択的注意、MMN 成分はその前注意過程の反映だとされ、既往の研究とも対応がみられた[8][10]。同様に、能動条件においても、両成分が確認された。各被験者から算出した MMN と P300 の平均振幅と平均潜時を図3に示す。条件間で比較を行ったが、いずれの成分の振幅と潜時についても有意な差はみられなかった(Paired  $t$ -test,  $p > 0.1$ )。

これらの結果から、身体運動の有無によらず、周波数逸脱刺激によって MMN と P300 が惹起されることが示された。

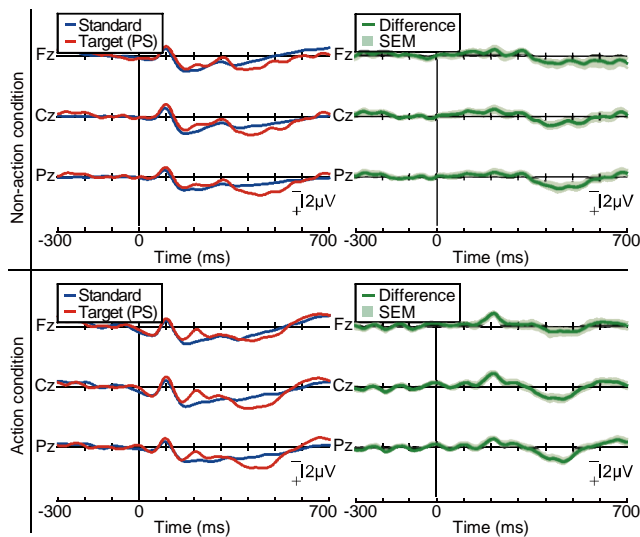


図 2 実験 1：総加算平均波形と差分波形

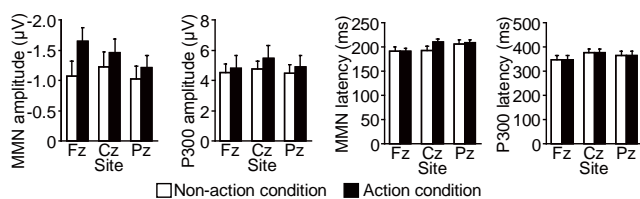


図 3 実験 1：特徴的な事象関連電位成分の振幅と潜時

## 5. 実験 2：遅延検出課題

### 5.1 概要

実験 2 として、身体運動に伴う聴覚フィードバックに遅延を挿入した刺激を逸脱刺激として用い、遅延検出課題遂行時の事象関連電位成分を測定した。この際、受動的に呈示される刺激列中の遅延逸脱刺激よりも、自らの身体運動に伴い呈示される聴覚刺激列中に遅延が挿入されていた場合の方が、遅延の検出感度が高いことが予想される。そこで、本実験においても実験 1 と同様に、身体運動の有無を実験条件として設定し、両者の違いを検討した。

### 5.2 実験方法

実験は、聴覚刺激が 1 秒間隔で受動的に呈示される受動条件(non-action condition)と、被験者の 1 秒間隔のマウスクリックに対して聴覚刺激が呈示される能動条件(action condition)の 2 条件実施した。聴覚刺激には、標準刺激として遅延を含まない刺激、標的刺激として 150 ms の遅延が挿入された刺激(DS)を用い、被験者は刺激列中ランダムに呈示される標的刺激の呈示回数の計数を行った。実験は 1 条件 450 試行を 1 セッションとし、セッション間に約 3 分間の休憩を挟んで両条件計 2 セッション実施した。順序効果を考慮し、条件の実施順序は被験者間でカウンターバランスを取った。なお、実験で使用したシステムには、マウスクリックから聴覚刺激呈示までに 53 ms の実験装置固有の遅延が内在するが、この状態を遅延のない状態とし、遅延条件を設定した。脳波の分析においては、実際に聴覚刺激が呈示された時刻をオンセット( $t = 0$  ms)とした。

## 5.3 結果と考察

被験者の逸脱刺激計数の回答結果は、正答 90 回に対し、受動条件が  $73.6 \pm 9.3$  回、能動条件が  $78.5 \pm 11.8$  回で、有意傾向がみられた(Paired  $t$ -test,  $t_{(15)} = -2.0$ ,  $p = 0.06$ )。このことから、聴覚刺激列中に混入した遅延刺激の検出には、身体運動に伴う場合の方が検出容易である可能性が示唆された。

総加算平均波形と差分波形を図 4 に示す。いずれの条件においても、実験 1 同様、 $t = 100$  ms 近傍に N1 成分がみられた。しかし、N1 以降の波形は周波数弁別課題とは大きく異なり、N1 に後続する P2 成分は、逸脱刺激呈示時に大きく振幅が増強し、 $t = 350$  ms 付近には陰性ピークがみられた。以下、 $t = 200$  ms 付近にみられる P2 成分の増強分(陽性シフト)を enhanced-P2(EP2)、 $t = 350$  ms 付近の陰性ピークを N300 成分と呼ぶ。各被験者から算出した enhanced-P2 と N300 の平均振幅および平均潜時を図 5 に示す。各成分の振幅は、いずれの部位においても能動条件の方が高振幅であったが、条件間で有意な差はみられなかった(Paired  $t$ -test,  $p > 0.2$ )。同様に、潜時についても差はなかった。

実験 1 の結果と比較をすると、enhanced-P2(P2 の増強)と MMN(P2 の抑制)、N300(陰性ピーク)と P300(陽性ピーク)はほぼ同じ潜時であるが、その極性はそれぞれ異なる。また、enhanced-P2 は頭頂-後頭(Cz・Pz) 優位の成分であるが、MMN は前頭(Fz)優位の成分であり、頭皮分布も異なる。これらのことから、enhanced-P2 と N300 は、MMN と P300 とは異なる認知活動を反映しており、身体運動に伴う聴覚刺激の遅延検出に関連した成分であると考えられる。

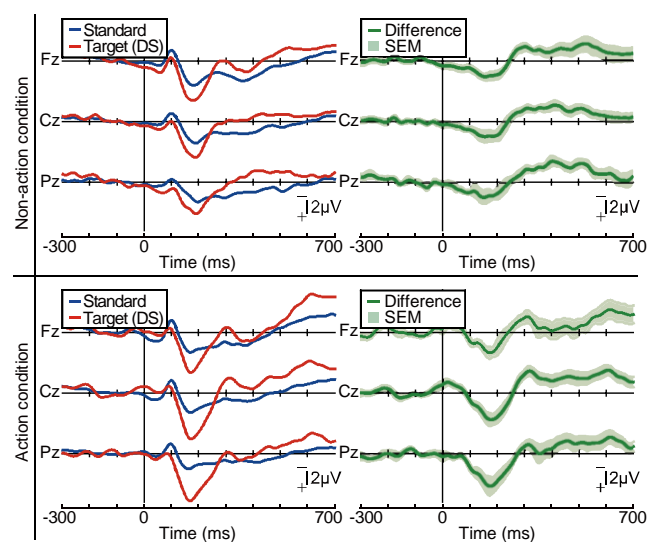


図 4 実験 2：総加算平均波形と差分波形

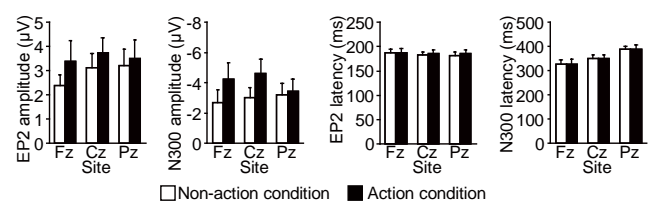


図 5 実験 2：特徴的な事象関連電位成分の振幅と潜時

## 6. 実験3：周波数弁別・遅延検出混合課題

### 6.1 概要

実験1・2の結果から、周波数逸脱刺激に対してはMMN・P300成分、遅延逸脱刺激に対してはenhanced-P2・N300成分が惹起されることが示された。MMNとenhanced-P2、P300とN300はそれぞれ近い潜時でありながら極性や頭皮分布が異なり、異なる認知プロセスを反映した成分だと考えられるが、それぞれの特徴は明らかではない。そこで実験3として、これらの周波数弁別成分および遅延検出成分の特徴を把握するため、実験刺激として、周波数逸脱した刺激(PS)・遅延した刺激(DS)・周波数逸脱かつ遅延した刺激(PDS)の3種類を用い、より詳細な検討を行った。この際、周波数逸脱刺激もしくは遅延逸脱刺激のどちらか一方に対して計数を課すことで、被験者の選択的注意の制御を行った。これらを通じ、注意の影響についても検討を行った。

### 6.2 実験方法

本実験では、被験者の1秒間隔のマウスクリックに対して聴覚フィードバックを呈示した(能動条件のみ)。標準刺激は1000 Hzの純音30 msとし、標的的刺激には、以下の3種類を設定した。1) 周波数逸脱した刺激(1032 Hz・遅延なし; Pitch-deviant stimulus, PS), 2) マウスクリックに対し遅延した刺激(1000 Hz・150 ms 遅延; Delayed stimulus, DS), 3) 周波数逸脱かつマウスクリックに対し遅延した刺激(1032 Hz・150 ms 遅延; Pitch-deviant delayed stimulus, PDS)。

実験で用いた刺激の模式図を図6に示す4:1の割合でいずれかの標的的刺激を呈示した。実験条件として、周波数逸脱した刺激の計数を行う条件(周波数条件; attend-to-pitch session)と、遅延した刺激の計数を行う条件(遅延条件; attend-to-delay session)の2条件を設定した。周波数条件では、標準刺激に対して音が高いと感じた刺激(PS・PDS)に対して計数を課したのに対し、遅延条件では、身体運動に対して聴覚フィードバックが遅れて聞こえた刺激(DS・PDS)に対して計数を課すことで、被験者の選択的注意をいずれかに制御した。1ブロック450試行(約7分30秒)を両条件で実施した900試行で1セッションとし、セッション間に休憩約3分を挟み、3セッション合計2700試行(標準刺激1080試行、標的的刺激90試行×3刺激、計1350試行×2条件)実施した。なお、順序効果を考慮し、条件の実施順序は被験者間でカウンターバランスを取った。

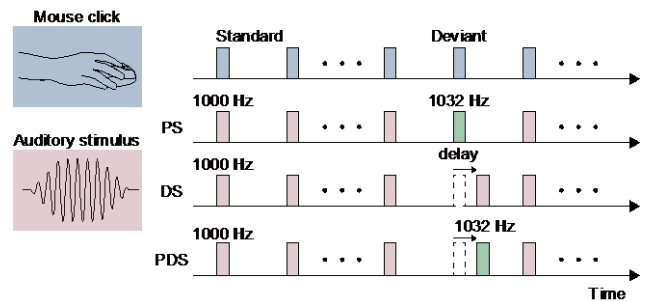


図6 実験刺激

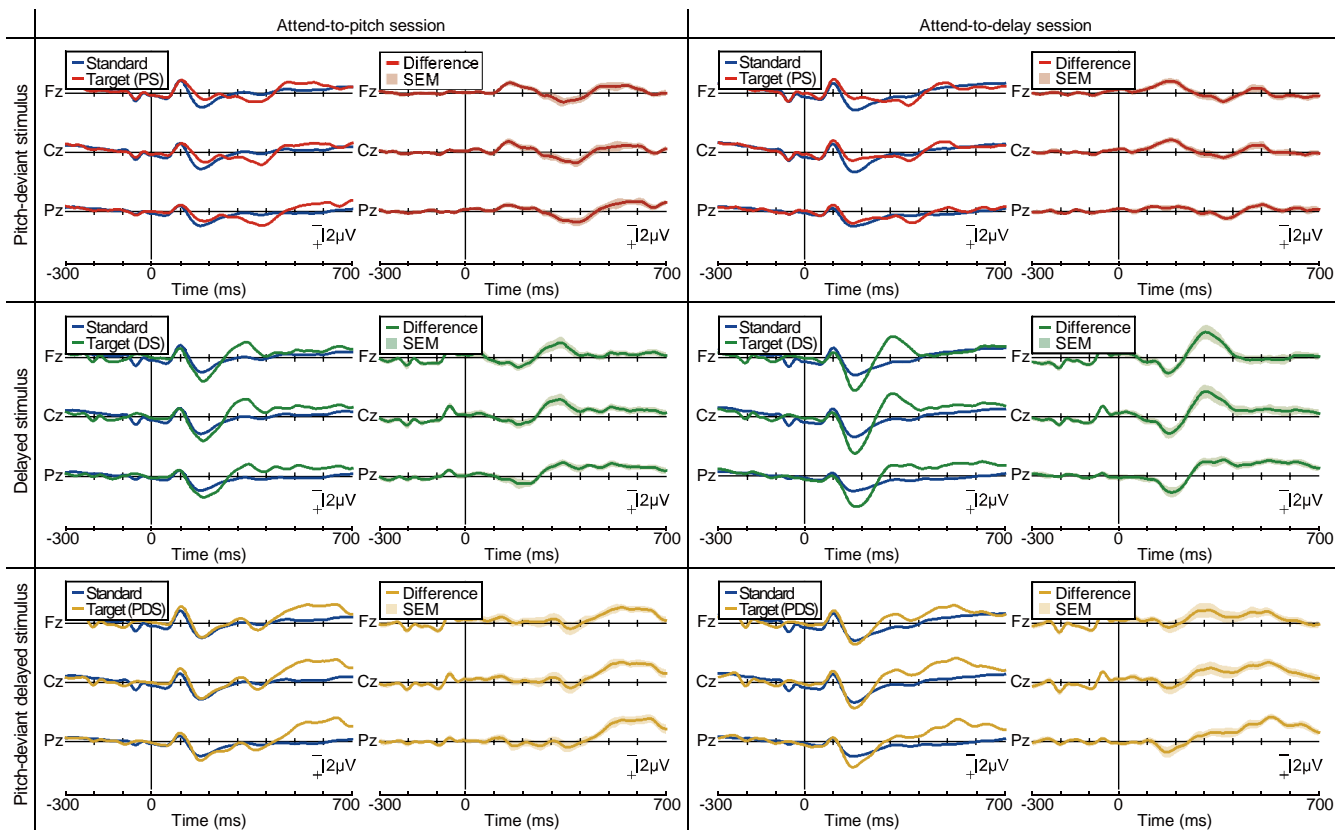


図7 実験3：総加算平均波形と差分波形

### 6.3 結果と考察

#### (1) 計数の平均回答数

両条件における標的刺激の計数の平均回答数は、正答180回に対し、周波数条件が179.7±5.7回、遅延条件が150.9±13.1回であり、両条件ともに80%以上の高い検出率であった。なお、条件間に有意な差がみられたことから(Paired *t*-test,  $t_{(15)} = 8.50, p < 0.01$ )、本実験で設定した標的刺激は、周波数逸脱刺激よりも遅延逸脱刺激の方が、検出困難であったといえる。

#### (2) 総加算平均波形

両条件における各逸脱刺激呈示時の総加算平均波形および差分波形を図7に示す。実験1・2と同様に、いずれの条件においても、PS呈示時にはMMNとP300、DS呈示時にはenhanced-P2とN300がみられた。一方で、PDS呈示時に関しては、これらの4成分と考えられる明確なピークはみられなかった。

#### (3) 特徴的な事象関連電位

より詳細な検討を行うため、各被験者から算出したMMN/enhanced-P2とP/N300の平均振幅および平均潜時を図8に示す。なお、PDSに関しては、 $t = 150 \sim 250$  msの区間(MMN/enhanced-P2)と $t = 250 \sim 450$  msの区間(P/N300)それぞれで陽性・陰性のピークを求め、絶対値で振幅が大きい方の成分が惹起されたと定義した。

MMN/enhanced-P2の振幅について、条件と刺激の種類との2要因による二元配置分散分析を実施したところ、FzとCzにおいて、刺激の主効果が確認された(Fz:  $F_{(2,90)} = 3.78, p < 0.05$ ; Cz:  $F_{(1,90)} = 3.12, p < 0.05$ )。下位検定の結果、PSとDS、PSとPDS間で有意な差が確認された(Tukey-Kramer's HSD,  $p < 0.01$ )。潜時については、Pzにおいて、条件の主効果が確認された( $F_{(1,90)} = 5.65, p < 0.05$ )。

同様に、P/N300成分の振幅について、条件と刺激の種類との2要因による二元配置分散分析を実施したところ、いずれの部位においても、刺激の主効果が確認された(Fz:  $F_{(2,90)} = 9.24, p < 0.01$ ; Cz:  $F_{(2,90)} = 9.01, p < 0.00$ ; Pz:  $F_{(2,90)} = 8.02, p < 0.01$ )。下位検定の結果、いずれの部位においても、PSとDS間で有意な差が確認され(Tukey-Kramer's HSD,  $p < 0.01$ )、PzについてはDSとPDS間についても有意な差が確認された( $p < 0.05$ )。潜時については、CzとPzにおいて刺激の主効果が確認された(Cz:  $F_{(2,90)} = 5.01, p < 0.01$ ; Pz:  $F_{(2,90)} = 4.04, p < 0.05$ )。下位検定の結果、いずれの部位においても、PSとDS間で有意な差が確認された(Tukey-Kramer's HSD,  $p < 0.05$ )

これらのことから、選択的注意に依らず、PS呈示時にはMMN・P300、DS呈示時にはenhanced-P2・N300が惹起されることが示された。また、N300はP300よりも潜時が短いことが示された。すなわち、遅延検出に関連した事象関連電位(enhanced-P2・N300)は、周波数弁別に関連した事象関連電位(MMN・P300)とは機能的に異なることが示された。

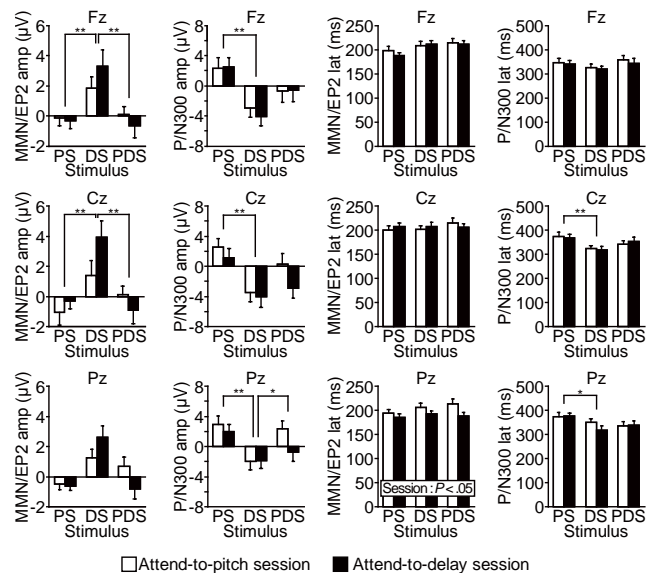


図8 実験3：特徴的な事象関連電位成分の振幅と潜時

### 7. 遅延検出に伴う事象関連電位

実験1~3の結果、enhanced-P2(P2成分の増強)とN300は遅延検出に関連して惹起される成分だと示された。しかし、これらの成分について報告している先行研究は実験課題が多岐に渡っており、一貫性のある報告は為されていない。

P2成分については、学習と関係した成分である可能性が示されている。視覚刺激を用いた研究においては、注意・言語文章情報・記憶・反復効果によってP2は増強すると報告されている[11][12]。聴覚刺激を用いた研究では、音楽訓練と音声訓練においてP2の振幅が増幅することが示されている[13][14][15]。楽音のピッチ検出を行った実験において、プロの音楽家は一般被験者と比較してP2成分が増強されることが示されている[16]。また、近年の研究においては、非母国語の発音を弁別学習する一か月間の過程において、パフォーマンスレベルにおいては変化がないにもかかわらず、P2成分の振幅は継続的に増強することが報告されている[17]。このことから、P2の振幅の変化は、学習の結果ではなく、習得過程に伴う神経活動の変化だと考えられ、感覚情報と貯蔵された記憶とを比較する認知照合システムを反映した成分だと結論付けられている。

N300成分については、観察される実験課題が多岐に渡っている。中でも、視対象特定課題を用いた研究において複数報告されており、映像に合成された不整合な対象物(空に浮かぶバスなど)を検出した際にN300が惹起されることが報告されている[18][19]。また、N300は、セッション内において、潜時が $t = 400$  msから300 msにかけて継続的に変動することを報告した研究もあり[20]、N400やN450など、潜時の異なる命名をされた成分と同様の認知活動と対応した成分である可能性も考えられる。N450成分に関しては、文脈逸脱した音声呈示時やストループ課題遂行中などにみられることが報告されており、情報の矛盾や、それに伴う

反応に認知的葛藤処理(conflict)を伴う際の成分だと報告されている[21][22][23]。また、近年の研究においては、時間的に不整合な感覚フィードバックによって惹起されることも報告されており[23]、本研究でみられた N300 成分についても、これらの報告と類似する認知処理に関連して惹起された成分だと考えられる。

## 8. 総括

本研究では、身体運動に伴う聴覚フィードバックの遅延検出が脳内においてどのような処理されるのかを探ることを目的とし、事象関連電位に着目した脳波測定を実施した。その結果、遅延の検出に伴い、P2 成分の増強(enhanced-P2)と N300 成分の表出がみられることが示された。また、これらの成分は、周波数弁別時にみられる事象関連電位成分とは異なることから、遅延検出と周波数弁別は脳内における認知処理メカニズムが異なる可能性が示された。

**謝辞** 本研究は、科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業ならびに科学研究費補助金(25700015, 26119529, 15J05359)の助成を受けて実施した

## 参考文献

- [1] Toida, K., Ueno, K. and Shimada, S. Neural Basis of the Time Window for Subjective Motor-Auditory Integration. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2006, vol. 9: 688, p. 1-12.
- [2] Hillyard, S. A., Hink, R. F., Schwent, V. L., and Picton T. W. Electrical signs of selective attention in the human brain, *Science*, 1973, vol. 182, p. 177-180.
- [3] Hyde, M. The N1 response and its applications. *Audiology and Neurotology*. 1997, vol. 2, p. 281-307.
- [4] Duncan-Johnson, C. C., and Donchin, E. The P300 component of the event-related brain potential as an index of information processing. *Biological Psychology*. 1982, vol. 14, p. 1-52.
- [5] Picton, T. W. The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*. 1992, vol. 9, p. 456-479.
- [6] Ritter, W., Simson, R., Vaughan, H. G. Jr., and Macht, M. Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stages. *Science*. 1982, vol. 218, p. 909-911.
- [7] Sams, M., Alho, K., and Näätänen, R. Short-term habituation and dishabituation of the mismatch negativity of the ERP. *Psychophysiology*. 1984, vol. 21, p. 434-441.
- [8] Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., and Alho, K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clinical Neurophysiology*. 2007, vol. 118, p. 2544-2590.
- [9] Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., and Takegata, R. The mismatch negativity (MMN): towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*. 2004, vol. 115, p. 140-144.
- [10] Joos, K., Gilles, A., de Heyning, V. P., Ridder, D. D., and Vanneste, S. From sensation to percept: The neural signature of auditory event-related potentials. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2014, vol. 42, p. 148-156.
- [11] Luck, S. J., Hillyard, S. A. Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1994, vol. 20, p. 1000-1014.
- [12] Freunberger, R., Klimesch, W., Doppelmayr, M. and Holler, Y. Visual P2 component is related to theta phase-locking. *Neuroscience Letters*. 2007, vol. 426, p. 181-186.
- [13] Sheehan, K. A., McArthur, G. M., and Bishop, D. V. Is discrimination training necessary to cause changes in the P2 auditory event-related brain potential to speech sounds? *Cognitive Brain Research*. 2005, vol. 25, p. 547-553.
- [14] Ross, B., and Tremblay, K. Stimulus experience modifies auditory neuromagnetic responses in young and older listeners. *Hearing Research*. 2009, vol. 248, p. 48-59.
- [15] Tremblay, K. L., Inoue, K., McClannahan, K., Ross, B. Repeated stimulus exposure alters the way sound is encoded in the human brain. *PLoS ONE*. 2010, vol. 5:e10283, p. 1-11.
- [16] Shahin, A., Bosnyak, D., Trainor, L. J., and Roberts, L. E. Enhancement of Neuroplastic P2 and N1c Auditory Evoked Potentials in Musicians *Journal of Neuroscience*. 2003, vol. 23, p. 5545-5552.
- [17] Tremblay, K. L., Ross, B., Inoue, K., McClannahan, K. and Collet, G. Is the auditory evoked P2 response a biomarker of learning? *Frontiers in Systems Neuroscience*. 2014, vol. 8:28, p. 1-13.
- [18] Demiral, S. B., Malcolm, G. L., and Henderson, J. M. ERP correlates of spatially incongruent object identification during scene viewing: Contextual expectancy versus simultaneous processing. *Neuropsychologia*. 2012, vol. 50, p. 1271-1285.
- [19] Mudrik, L., Shalgi, S., Lamy, D., and Deouell, L. Y. Synchronous contextual irregularities affect early scene processing: Replication and extension. *Neuropsychologia*. 2014, vol. 56, p. 447-458.
- [20] Renoult, L., Wang, X., Calcagno, V., Prevost, M., and Debruille J. B. From N400 to N300: Variations in the timing of semantic processing with repetition. *NeuroImage*. 2012, vol. 61, p. 206-215.
- [21] Larson, M. J., Kaufman, D. A. S., and Perlstein, W. M. Neural time course of conflict adaptation effects on the Stroop task. *Neuropsychologia*. 2009, vol. 47, p. 663-670
- [22] Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez, R., and Mayberg, H. S. An ERP study of the temporal course of Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*. 2000, vol. 38, p. 701-711.
- [23] Stekelenburg, J. J., Sugano, Y., and Vroomen, J. Neural correlates of motor-sensory temporal recalibration, *Brain Research*. 2011, vol. 1397, p. 46-54.