

TR-H-026

0009

変換聴覚フィードバックにおける
機能局在の研究

浦上 秀弘
河原 英紀

1993. 9. 9

ATR 人間情報通信研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町光台 2-2 ☎07749-5-1011

ATR Human Information Processing Research Laboratories

2-2, Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02 Japan

Telephone: +81-7749-5-1011

Facsimile: +81-7749-5-1008

変換聴覚フィードバックにおける 機能局在の研究

浦上 秀弘

龍谷大学 電子情報学科

河原 英紀

Abstract

聴覚的にフィードバックされる音声の基本周波数に摂動を加えて発声された音声のパラメタへの影響を調べる変換聴覚フィードバックの実験により、音声発声時における聴覚の影響が安定して定量的に測定できるようになった。本報告では、この影響が聴覚情報処理のどの段階で生じているのかを明らかにすることを狙い、応答のレベル依存性、左右差について調べた結果について報告する。今回の一連の実験の結果は、基本周波数の摂動に対する補償応答が自己の発声に特化しており、音喉頭筋反射とは異なった機構により生じている可能性を支持する。

1 はじめに

音声の生成過程には聴覚による音声知覚の過程が深く関与していると信じられている。自己の発声した音声に遅延を加えて聴覚的に発声者にフィードバックする遅延聴覚フィードバックと呼ばれる条件下で生ずる様々な現象は、このような相互作用の良い証拠であると考えられてきた。[1, 2] しかし、音声の振幅エンベロープを持つ非音声信号を用いても同様な現象が生ずることや遅延聴覚フィードバックの下では正常な発声が困難になることなどから、遅延聴覚フィードバックのみを用いて正常な発声状態における聴覚フィードバックの関与を調べることは難しいものと考えられる [3, 4]。

そこで、正常な発声の妨げにならない程度の微小な摂動を発声した音声のパラメタに加えて、これを聴覚的にフィードバックさせ、この時に発声された音声への影響を調べる変換聴覚フィードバックと呼ばれる実験方法が提案された。[5, 4] この方法により、正常に近い発声状態での音声生成と知覚との関連を定量的に観測することが可能となり、音声の基本周波数の変換に対する補償応答が発見された。本資料では、この変換聴覚フィードバックによる効果が聴覚系のどの部分で生じているかを明らかにするための基礎データの収集を目的として行った実験結果について報告する。

なお、本報告は 1993 年 8 月 23 日から 9 月 10 日の期間に実施された学外実習における実験結果をまとめたものである。

2 問題設定

これまでの変換聴覚フィードバックの研究により、音声の基本周波数に摂動を加えた場合には、発声された音声の基本周波数が約 150ms の遅れで、その摂動を補償するような方向に変化することが見い出されている [5, 4, 6]。また、この応答に関連する喉頭筋への指令が摂動から約 60ms の遅れで生じていることも確認されている。[7]

これらの応答は、音声の基本周波数を安定化するための負帰還の特性を表わしているように見える。しかし、これまでの測定結果は現象の存在と基本的な性質を調べただけでありこの応答の機能と機構を明らかにするには不十分である。たとえば、聴覚と発声との間には、音喉頭筋反射と呼ばれる発声のためには無意味な反射が存在していることが知られている。[8, 9] また、FM 変調した正弦波を聞かせながら発声させた場合に音声の基本周波数が非常に微弱ではあるが変化する現象も報告されている。[10] 今回見い出された基本周波数摂動に対する応答がこれらの反射に付随するものである可能性もあり、それらとの関連を明かにしておく必要がある。

喉頭筋反射は、大きな音刺激に反応して音声の基本周波数が上昇する現象であり、音圧が高い場合にのみ認められる。変換聴覚フィードバックで認められる基本周波数の修正応答がこの喉頭筋反射の副産物であるなら、同様なレベル依存性が認められるものと考えられる。この反射は聴覚から喉頭筋への直接的な神経結合によるものであることが知られており、上位の神経核や大脳は関与していない。[8, 11] もし、この応答が大脳皮質を介したものであるならば音声の韻律情報の処理に関する大脳での機能局在の影響を反映して、耳への提示方法により応答特性が異なることが予想される。

以上の条件を考慮して、今回の実験では、摂動に対する応答のレベル依存性と、耳への提示方法に対する依存性についての検討を行うこととした。

3 実験

今回の実験では、以上の考察に基づき前回までの研究結果を踏まえたうえで、この影響が聴覚系のどの段階で処理されているのかを明らかにすることを目的とし、応答のレベル依存性、応答の左右耳差について調べた。

まず、予備実験として男性 2 名の被験者により、レベル依存性、左右差についての実験を行い、次いで、この予備実験結果に基づいて実験条件等を決め、8 名の被験者による本実験を実施した。なお被験者は男性 4 名、女性 4 名であり、1 名の英国人男性を含んでいる。

3.1 実験装置

実験装置の構成は前回までのものと同様である [5, 4]。発声者は母音/a/を出来るだけ一定のピッチで約 10 秒間伸ばすように指示された。発声者の声はマイクで採取され、ピッチ変換装置によって基本周波数の変換を受けたあと、ヘッドフォンを介して発声者にフィードバックされた。ヘッドフォンの外からの自然側音による影響を除くため、同時にピンクノイズを同じヘッドフォンから重ねて提示した。発声者の声とそのフィードバック音声は

それぞれ DAT の左、右チャンネルに記録され、WS に転送されてサンプリング周波数の変換 (48kHz から 8kHz へ) と音声区間の切り出しの後、ファイルとして保存された。摂動信号としては M 系列信号に基づくバイアス調整済みの疑似白色信号 [12] をオーバーサンプリングしたものを用いた。

3.2 分析方法

3.2.1 基本周波数の抽出

収録された音声はフレーム周期 10 ms 毎に 50 ms の時間窓を用いて分析され、基本周波数の系列に変換された。変換聴覚フィードバックによる音声基本周波数への影響は多くの場合 1Hz 以下であるので、精密な抽出法が必要とされる。以下の実験では、音声信号処理ソフト ESPS のホルマント抽出プログラムの機能を用いて抽出したデータを用いることとする [14]。この抽出プログラムの精度については、平滑化した自己相関関数に基づく抽出方法 [13] を基準として検証を行っている。

3.2.2 分析に用いる応答パラメタ

分析に用いるパラメタは、以下のとおりである。

psP: 摂動を加えられた発声者のフィードバック音声の基本周波数と疑似白色信号の共分散 (fb) の正のピークとそれに応答して表れる発声された音声の基本周波数と疑似白色信号との共分散 (ps) の負のピークとの時間的な遅れである応答時間 psP、

dpsP: 同じく fb と ps を微分した波形 dps の負のピークとの応答時間 dpsP、

psmin: fb の正のピークに応答した周波数の摂動に対する応答 ps の負のピークの応答の強さである psmin、

dpsmin: 同じく fb に対して応答した dps のピークの強さ dpsmin。

これらの関連を図 1 に示す。フィードバック音声の基本周波数との共分散 fb のピークの中から最大の応答が認められるピークを選んで基準として、これらのパラメタを抽出し、分散分析を行う。

3.2.3 分析の具体例

今回の実験で得られた応答の具体例を図 2 に示す。図 2 はパラメタ抽出に成功した場合の例である。図の上段は音声の基本周波数を示す。実線は発声された音声、破線はフィードバック音声を表す。縦軸は周波数である。図の中段は被験者自身により発声された音声の基本周波数との共分散 fb であり、下段は発声された音声の基本周波数に摂動を加えたフィードバック音声の基本周波数との共分散 ps である。横軸は分析のフレーム番号をあらわす。下段と中段を見比べると、下段の図には中段の図の主要なピークに応じて、逆の極性のピークが表れているのが認められる。これは発声過程でピッチが変動した場合にその

変動が補償されることを意味する。実験では、この補正応答の時間的な遅れとその強さに注目する。なお、主要なピークが複数存在するのは振動に用いた疑似白色信号が周期信号であることによる。

図3に、パラメタ抽出に失敗した場合の例を示す。表示方法は、図2と同様である。フィードバック音声のピークは明瞭であるが、発声された音声からは明瞭な負のピークとしての補償応答を特定することは出来ない。

3.3 レベル依存性

この実験ではヘッドフォンを通して聞かせる発声者の振動を加えたフィードバック音声とピンクノイズのレベルを同時に変化させた場合の応答の遅れ時間および応答の強さへの影響を調べる。

まず予備実験では、実験条件としてダミーヘッドの人工耳で測定したノイズレベルが80 dBA、70 dBA、90 dBAとなるようにフィードバック系のゲインを設定した3つの条件を取り上げ、各条件毎に3回ずつ繰り返し測定を行った。その結果、レベルによる影響は少ないと見られることから本実験では80 dBAと70 dBAの2条件のみの実験とし、同一条件での測定回数を3回から4回の繰り返しへと増加させた。ただし、レベルの可変はAmp. のつまみによって行うものとし、±1 dB程度の誤差は許容範囲とする。

3.4 提示方法依存性

この実験では、フィードバック音声を左耳に提示した場合と右耳に提示した場合、および、両耳に提示した場合の応答の違いを調べた。単耳への提示の場合、ヘッドフォンの反対側にはピンクノイズのみを与えた。被験者への提示順はランダムにせず、左耳、右耳、両耳の順とした。フィードバック系の利得は、ピンクノイズのレベルが80 dBAとなるように設定した。験の被験者では3回、本実験の被験者では4回、同一条件下で繰り返し測定した。

4 実験結果

4.1 レベル依存性

4.1.1 概要

フィードバック音声周波数の振動に対する応答 ps の応答時間、応答の強さ、その微分波形 dps の応答時間、応答の強さの各パラメタに対して、被験者およびフィードバック音声の音圧レベルを要因とする分散分析を行った。

その結果周波数の振動に対する応答 ps の応答時間 psP に対してはレベル、被験者、両者の交互作用とも有意となった。しかし、レベルによる影響は5%の場合にのみ有意であり、左右差の影響と比べると有意性は低い。

4.1.2 レベル依存性および被験者の影響

実験結果を被験者毎に集計したものとレベル毎に集計したものとをそれぞれ図5、図4に示す。図5では被験者毎の応答時間の平均値と信頼幅を菱形で、パーセントイル値を長方形の棒で表している。ほとんどの被験者は同じような値であるが女性は応答時間が若干短く、特に応答時間の遅い被験者も1人含まれている。図4ではレベルと応答時間の関係を示しており、図中に記入された線は回帰直線である。この図からも、レベルによる応答時間の変化は極めて小さいことがわかる。

4.1.3 交互作用の検討

ここで、レベルと被験者の交互作用に有意性が見られたため、レベルと応答時間の関係を被験者毎に集計したものを図6に示す。ただし、90 dBAの条件は全被験者での実験を行っていないため対象から外した。被験者M4を除くと、レベル依存性は殆ど無い。

応答の時間微分 dps の応答時間に対しては、レベル、被験者、両者の交互作用とも有意とはならなかった。

4.1.4 応答の強さに対する影響

又、周波数の摂動に対する応答 ps の応答の強さに対しても、レベル、被験者、交互作用とも有意とはならなかった。

応答の時間微分 dps の強さに対しては、レベルおよびレベルと被験者間の交互作用については5%の危険率の場合にのみ有意となった。この場合、図7の回帰直線に示されているように、レベル依存性の大きさは10dBで10ms程度であり、発声条件による影響や話者による影響と比較すると小さなものである。

4.2 提示方法

4.2.1 概要

レベル依存性と同様に周波数の摂動に対する応答 ps の応答時間 psP、応答の強さ psmin、応答の時間微分 dps の応答時間 dpsP、応答の強さ dpsmin の各パラメタに対して、被験者とフィードバック音声の提示方法（左耳、右耳、両耳）の2要因による分散分析を行った。

4.2.2 提示方法および被験者の影響

その結果、周波数の摂動に対する応答 ps の応答時間に対しては、提示方法、被験者の両方の要因が有意となった。この場合の危険率は1%より極めて小さく、影響は顕著である。詳細に見ると、両耳と片耳の間では有意差が認められるが、左耳と右耳の違いは有意ではない。図8、図9に提示方法と応答時間、被験者と応答時間の関係を平均値と信頼幅およびパーセントイル値とともにそれぞれ示す。図9では、レベル依存性についての図5と同様の傾向が認められた。

4.2.3 交互作用の検討

交互作用については有意ではなかったが、参考のため提示方法と応答時間との関係を被験者毎に集計したものを図 10 に示す。両耳提示と単耳の間には明確な違いが認められるが、右耳提示と左耳提示による傾向の変化は被験者によって異なり一貫していない。また、被験者 M 4 は他の被験者と比べると際だって応答時間が長い。

応答の時間微分 dps の応答時間に対しても、左右差、被験者について 1 % の水準で有意な結果となった。周波数の摂動に対する応答 ps の場合と同じく、両耳提示と単耳提示の違いでは有意であるが、左耳提示と右耳提示の間には有意性はない。提示方法と応答時間との関係を図 11 に、被験者と応答時間の関係を図 12 に示す。この両図にも、周波数の摂動に対する応答 ps の場合の図 8、図 9 と同様の傾向が表れている。

4.2.4 応答の強さに対する影響

応答の強さにも応答時間と同じ傾向が認められた。周波数の摂動に対する応答 ps の応答の強さの場合、左右差、被験者について 1 % の水準で有意となり、両者の交互作用は 1 % の水準では有意でないが、5 % では有意となる。図 13、図 14 にフィードバック音声の聴取状態毎に集計した結果、被験者毎に集計した結果を示す。又、図 15 には各被験者毎に音声を聴取した耳と応答の強さの関係をまとめて示している。この図より、概して両耳の方が単耳より応答が強く表れているが、右耳提示と左耳提示については、被験者により異なっている。

応答の時間微分 dps の応答の強さには耳と被験者に対して、1 % の水準で有意性が認められた。同じように、耳と応答の強さ、被験者と応答の強さの関係を図 16、図 17 に示す。この両図は周波数の摂動に対する応答 ps による図と酷似しており、応答の時間微分 dps でも同様の傾向が認められることを示している。

5 討論

5.1 レベル依存性

レベル依存性に関する実験では、一人の被験者を除くと、変換聴覚フィードバックにおける音声基本周波数の摂動に対する補償応答は、提示音圧に影響されないことが示されており、しかも効果の出た被験者の場合も、レベル変化の影響は音喉頭筋反射の場合に予想されるものと逆の方向であった。したがって、変換聴覚フィードバックで見いだされた現象を音喉頭筋反射に付随するものと考えすることは不適當であろう。基本周波数の摂動に対して観測された応答の大きさは、負のピーク周辺での応答全体を積分すると、フィードバック音声の正のピークの周辺での積分として評価した摂動量の 50% 程度に達する場合が幾つか認められた。この応答の強さは、文献 [10] に報告されている発声中の正弦波の提示によって引き起こされる応答と比較すると一桁以上大きなものである。これらの結果は、この補償応答が音喉頭筋反射のような無目的の機構ではなく、自己の発声に特化した音声の基本周波数の安定化のための機構である可能性を強く支持する。

5.2 提示方法依存性

提示方法に対する依存性に関する実験では、フィードバック音声を両耳に提示するか片耳に提示かで応答時間および応答の強さが変化する傾向が認められた。この効果が音声の韻律情報の処理における左右差によるものであることを示すためには、提示方法の違いによるラウドネス変化の影響を補償する必要がある。

両耳で聞いた場合のラウドネスは、単耳のラウドネスの2倍となり、8dBの音圧変化に相当する。今回のレベル依存性についての実験結果では、10 dBのレベル差に対する応答時間の変化は5 msであった。一方、耳への提示方法による応答時間の変化は約10msであり、レベル依存性からだけでは説明することはできない。しかも、特にレベル依存性の大きかった1名の被験者を除けば、レベル変化による応答時間、応答の強さへの影響は有意ではない。したがって、ここで認められた提示方法による差は韻律情報の処理機構の局在性を反映しているものと見なしてもよいであろう。

5.3 応答の左右差

提示方法の中の左右差の要因については、今回の実験では被験者全体に共通する傾向は認められなかった。この結果は、基本周波数の摂動に対する応答が大脳皮質における処理の局在性を反映しているとの当初の予想に対して否定的な証拠であり、少なくとも自動制御にかかわる韻律情報の処理についてはより低位の神経核での処理が中心であることを示唆する。しかし、大きな左右差を示す被験者もいるため、韻律情報の知覚の左右差によるものかあるいはより低次の聴機能の差を反映した結果であるのかについては、より統制された実験による確認が必要である。

6 まとめ

本報告では、音声生成と知覚の相互作用が聴覚情報処理過程のどの段階の情報に基づいて生じているのかを明らかにすることを狙い、音声の基本周波数に摂動を加える変換聴覚フィードバックを用いて応答のレベル依存性、左右差について調べた。

その結果、応答のレベル依存性は弱いことが確認され、音喉頭筋反射とは異なった自己の発声の制御に特化した機構の存在が支持された。両耳提示と片耳提示の間では、応答時間、応答の強さともに条件による差が認められ、韻律情報処理機構の局在性が示唆された。左右差については被験者全体に共通する傾向は認められず、今回の応答における大脳皮質の関与については明確な証拠は得られなかった。しかし、左右差については、明瞭な差を示す被験者も多いため、これらの差と聴覚の基礎的な能力との関連を検証することにより、韻律情報処理機構の局在性をより精密に確認していくことが必要である。

謝辞

今回の研究を進めるにあたり、被験者としてまた助言者として協力して下さった皆様に感謝します。

参考文献

- [1] B. S. Lee: "Effects of Delayed Speech Feedback," JASA, 22(6), pp.824-826, (1950).
- [2] G. Fairbanks: "Selective Vocal Effects of Delayed Auditory Feedback," J. of Speech and Hearing Disorders, 20(4), pp.333-346, (1955).
- [3] P. Howell and A. Archer: "Susceptibility to the Effects of Delayed Auditory Feedback," Perception & Psychophysics, 36(3), pp.296-302, (1984).
- [4] 河原:"変換聴覚フィードバックによる音声生成・知覚相互作用の検討"、聴覚研究会資料、H-93-24、(1993).
- [5] 岩谷、河原:"変換聴覚フィードバックの基礎検討"、ATR Technical Report、TR93、(1993).
- [6] 河原、J.C. ウィリアムズ:"変換聴覚フィードバックを用いたピッチ変動の影響の解析"、信学技報、SP93-38、(1993).
- [7] 河原、平井、本多:"ピッチ変換聴覚フィードバックの喉頭筋制御への影響について"、信学技報、SP93-39、(1993).
- [8] S. Sapir:"Acoustic and Electromyographic Analyses of Human Laryngeal Responses to Auditory Stimulation," Doctoral Dissertation, Department of Speech and Hearing Science, University of Washington, (1982).
- [9] S. Sapir, M. D. McClean and C. R. Larson:"Human Laryngeal Response to Auditory Stimulation," J. Acoust. Soc. Am., 73, 1, pp.315-321, (1983).
- [10] S. Sapir, M. D. McClean and E. S. Luschei:"Effects of Frequency-modulated Auditory Tones on the Voice Fundamental Frequency in Humans," J. Acoust. Soc. Am., 73, 3, pp.1070-1073, (1983).
- [11] J. Udaka, H. Kanetaka and Y. Koike: "Response of the Human Larynx to Auditory Stimulation," in M. Hirano, J. A. Kirchner and D. M. Bless eds. Neurolaryngology, Collage-Hill Pub., pp.184-198, (1987).
- [12] 宮川洋: "不規則信号と動特性推定"、コロナ社、pp.220-226、(1969).

- [13] 嵯峨山茂樹、古井貞熙、“ラグ窓を用いたピッチ抽出の一方法”、電子通信学会総合全国大会、5-263、(1978).
- [14] J. Shore: “Interactive Signal Processing with UNIX ,” Speech Technology, Mar./Apr., (1988).
- [15] S. Sapir, E. DeRosier, A. M. Simonson and A. Wohlert: “Effects of Frequency Modulation Tones and Vowel Formants on Perioral Muscle Activity During Isometric Lip Rounding,” Journal of Voice, 4, 2, pp.152-158, (1990).
- [16] J. F. Elman: “Effects of Frequency-shifted Feedback on the Pitch of Vocal Productions,” JASA, 70(1), pp.45-50, (1981).

Trfnc prnml80aahkawa01 6-Sep-93 15:2:19

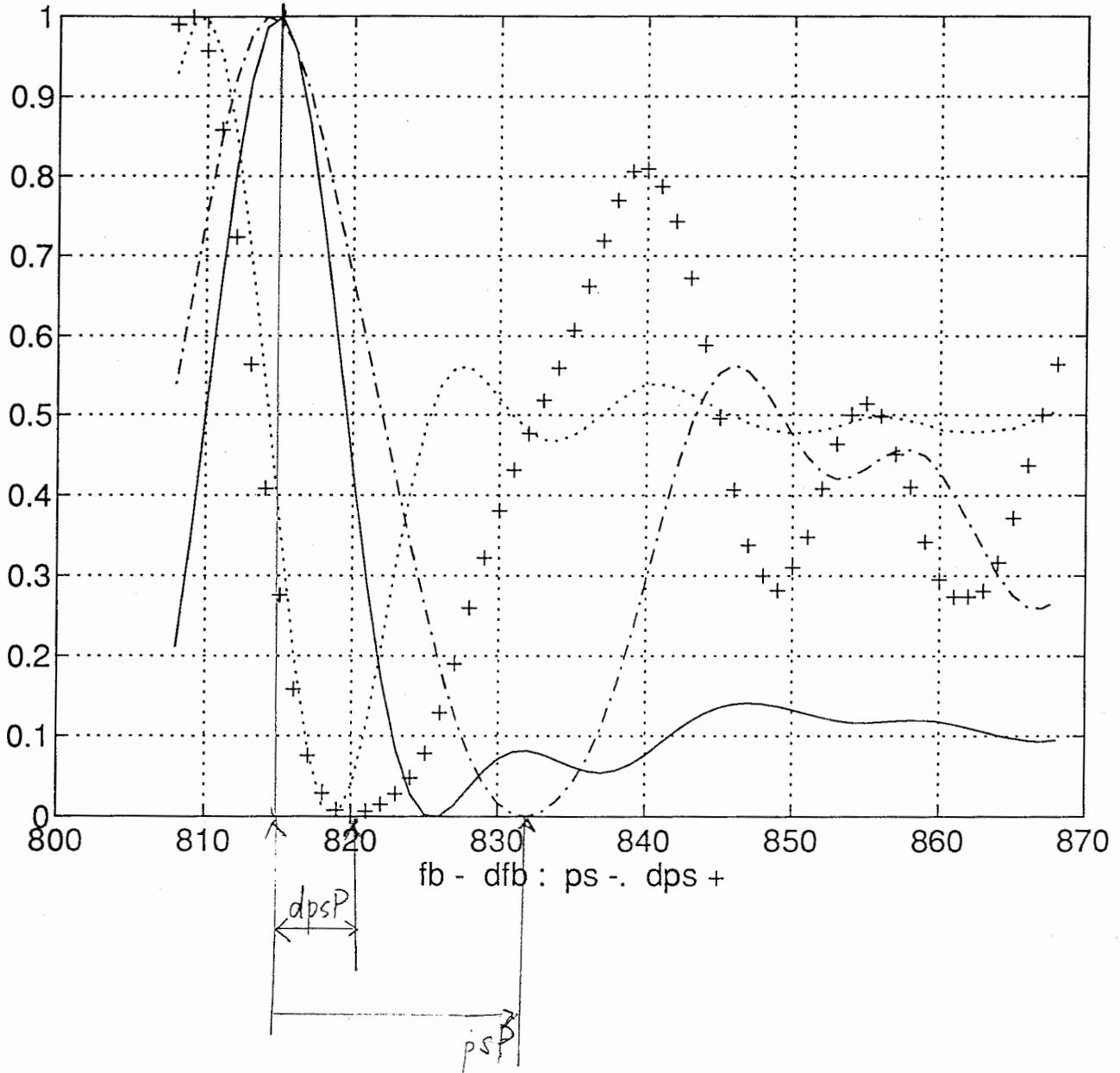


図 1: 分析に用いたパラメタの説明図。実線はフィードバック音声の基本周波数と疑似白色信号の共分散 fb、一点鎖線は発声された音声の基本周波数と疑似白色信号の共分散 ps、点線は fb の微分 dfb、十字は ps の微分 dps を表わす。fb のピーク位置を基準として、応答時間が定義される。

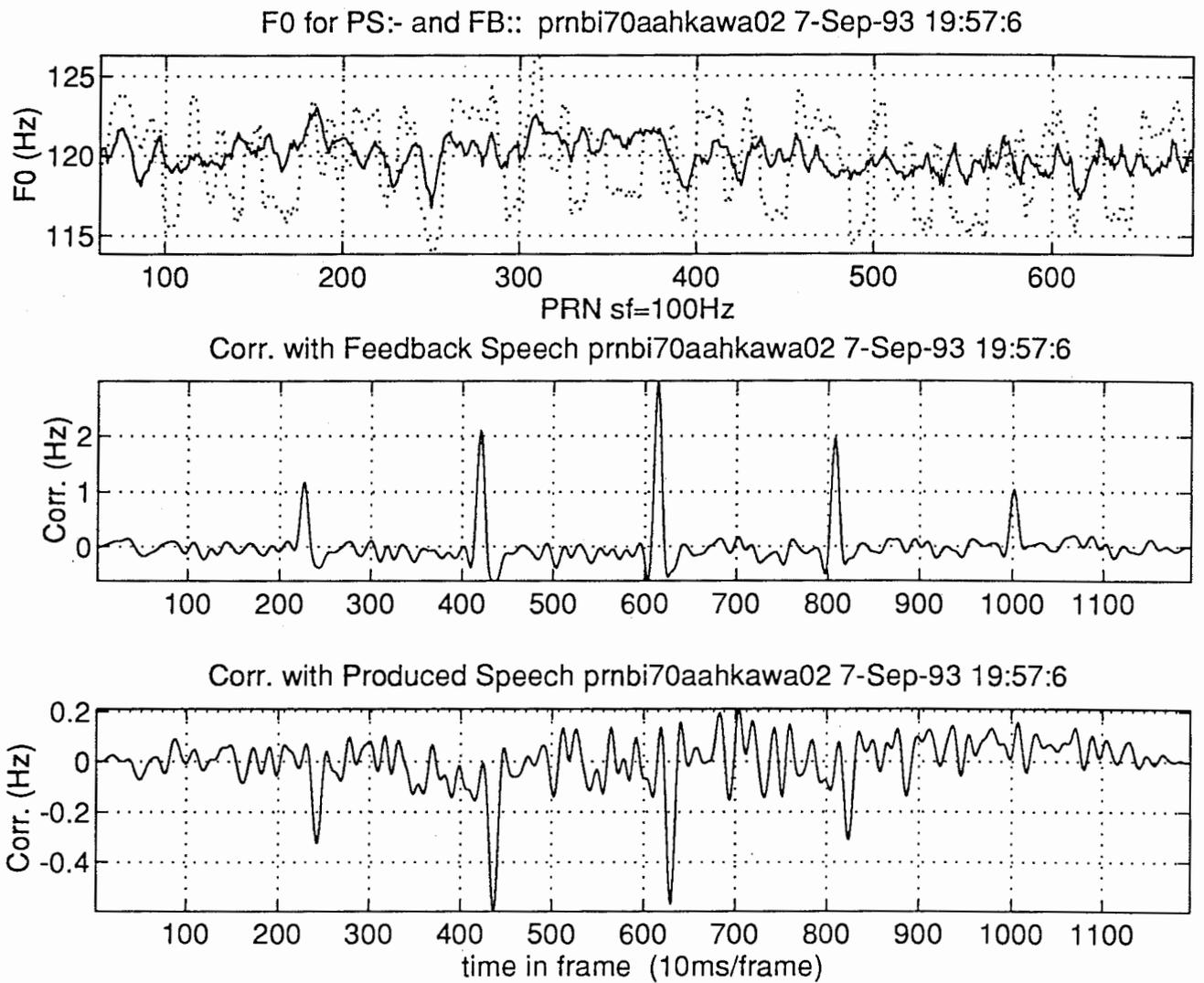


図 2: パラメタ抽出に成功した分析例。図の上段は音声の基本周波数を示す。実線は発声された音声、破線はフィードバック音声を表す。縦軸は周波数である。図の中段は被験者自身により発声された音声の基本周波数との共分散 fb であり、下段は発声された音声の基本周波数に摂動を加えたフィードバック音声の基本周波数との共分散 ps である。

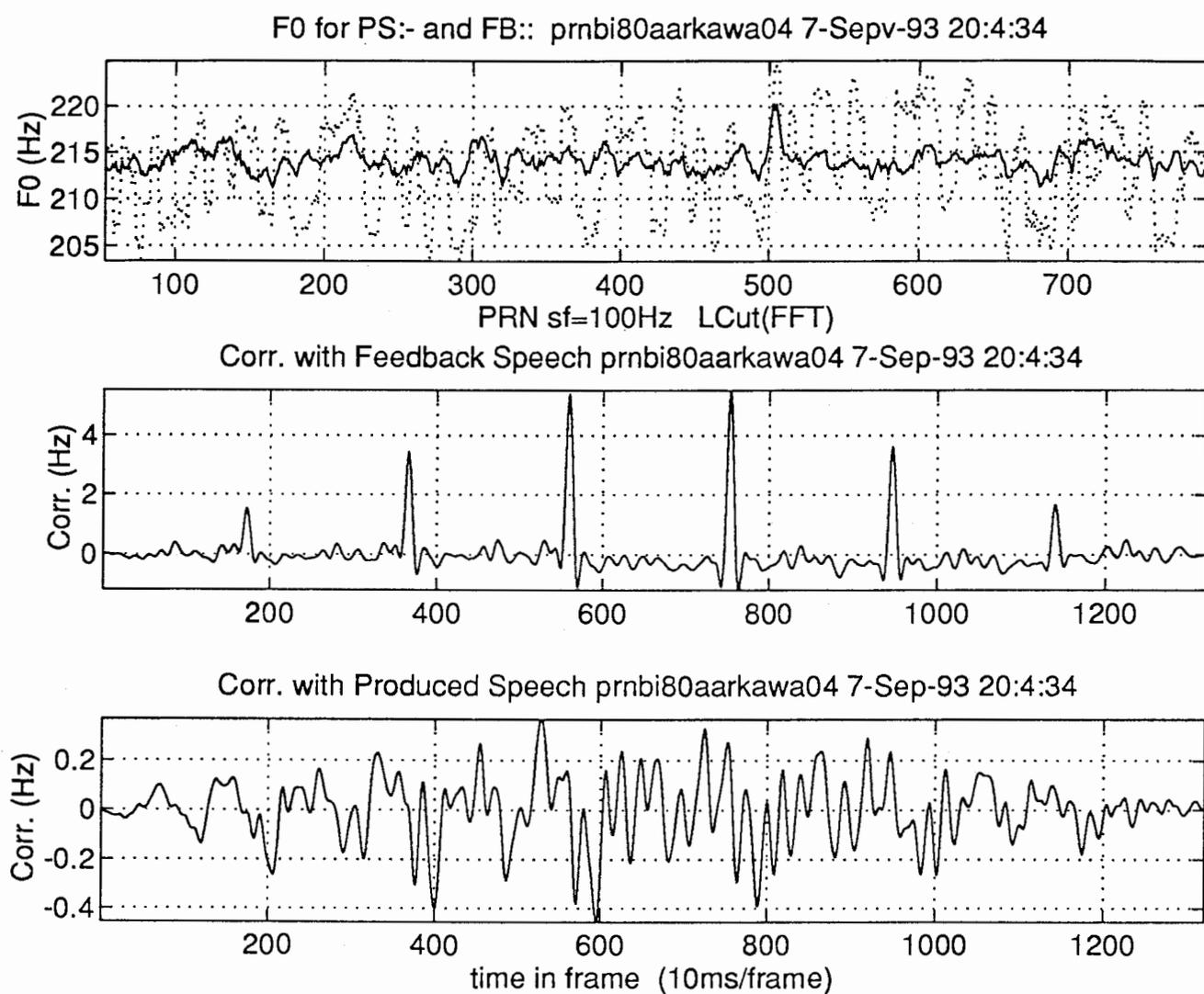
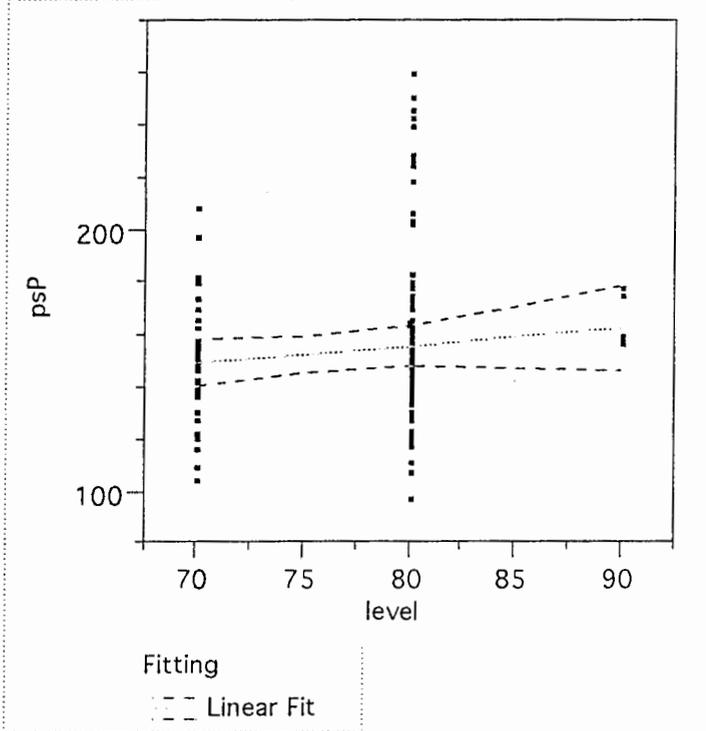


図 3: パラメタ抽出に失敗した分析例。図の上段は音声の基本周波数を示す。実線は発声された音声、破線はフィードバック音声を表す。縦軸は周波数である。図の中段は被験者自身により発声された音声の基本周波数との共分散 fb であり、下段は発声された音声の基本周波数に摂動を加えたフィードバック音声の基本周波数との共分散 ps である。

psP By level



Linear Fit

Summary of Fit

Rsquare	0.022388
Root Mean Square Error	28.38699
Mean of Response	152.9459
Observations (or Sum Wgts)	74

Analysis of Variance

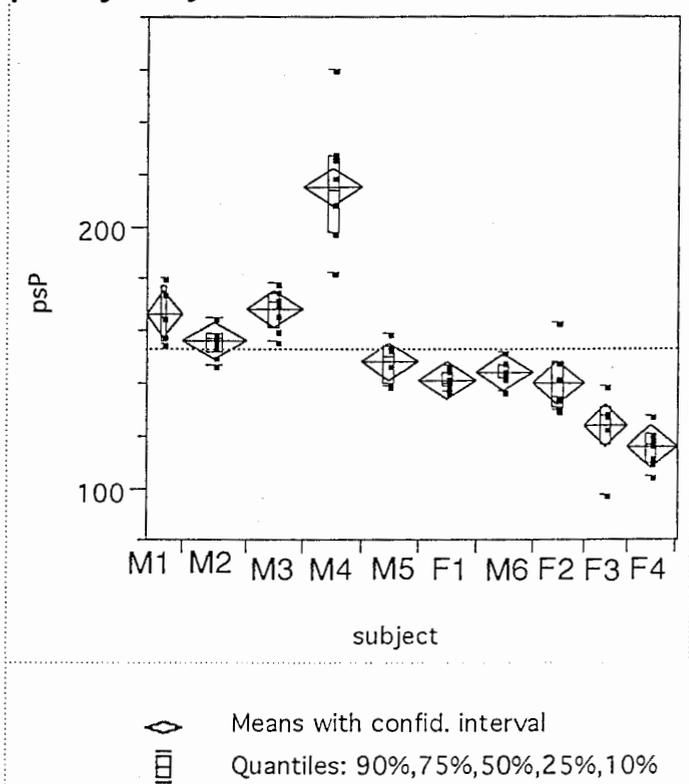
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	1328.674	1328.67	1.6488
Error	72	58019.110	805.82	Prob>F
C Total	73	59347.784		0.2032

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	102.00319	39.8098	2.56	0.0125
level	0.669585	0.52145	1.28	0.2032

図 4: 応答 ps の応答時間 psP のレベル依存性。表はレベルを要因とした回帰分析の結果を示す。レベル依存性は有意ではない。

psP By subject



Means

Summary of Fit	
Rsquare	0.867276
Root Mean Square Error	11.09398
Mean of Response	152.9459
Observations (or Sum Wgts)	74

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	51470.897	5718.99	46.4670
Error	64	7876.887	123.08	Prob>F
C Total	73	59347.784		0.0000

図 5: 応答 ps の応答時間 psP の被験者依存性。表は被験者を要因とした分散分析の結果を示す。被験者の要因は、1%の危険率において有意である。

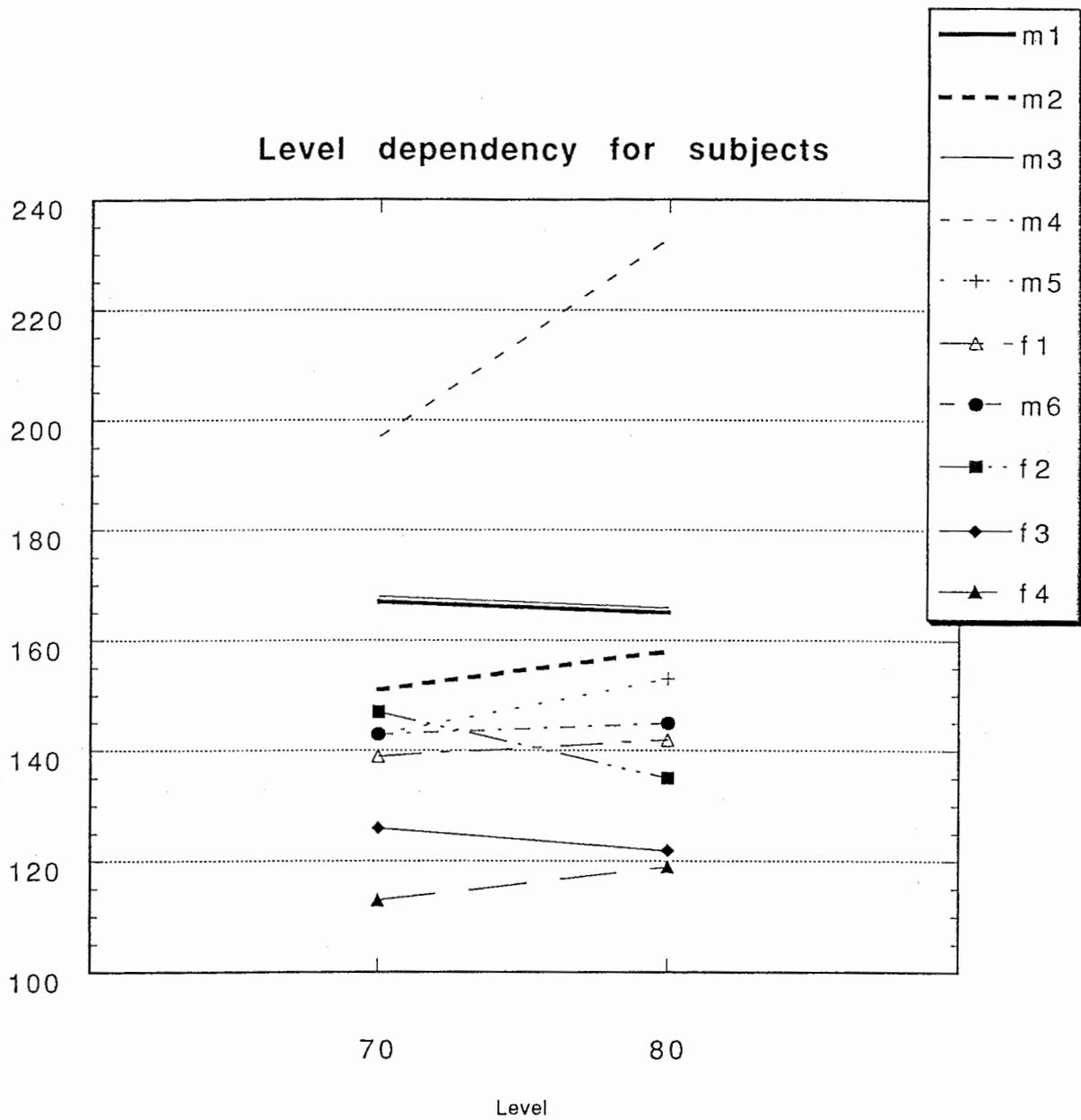
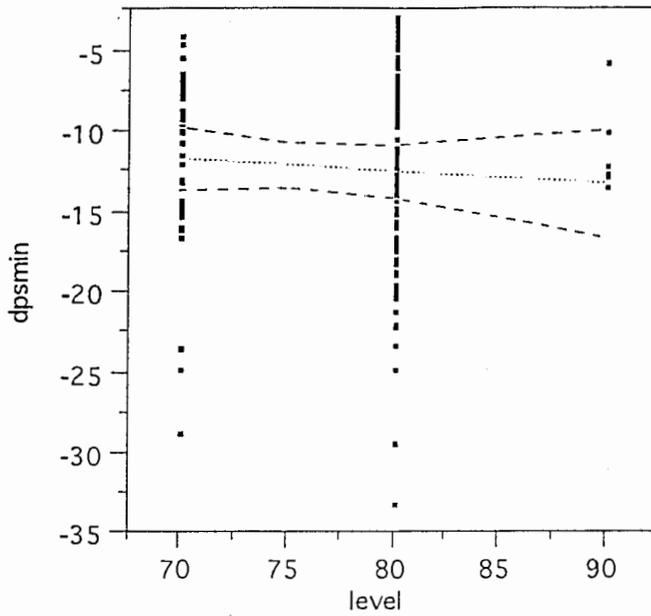


図 6: 応答 ps の応答時間 psP のレベル依存性の被験者別集計結果。被験者 M4 を除き、レベル依存性は顕著ではない。

dpsmin By level



Fitting

--- Linear Fit

Linear Fit

Summary of Fit

Rsquare	0.006975
Root Mean Square Error	6.051568
Mean of Response	-12.2216
Observations (or Sum Wgts)	74

Analysis of Variance

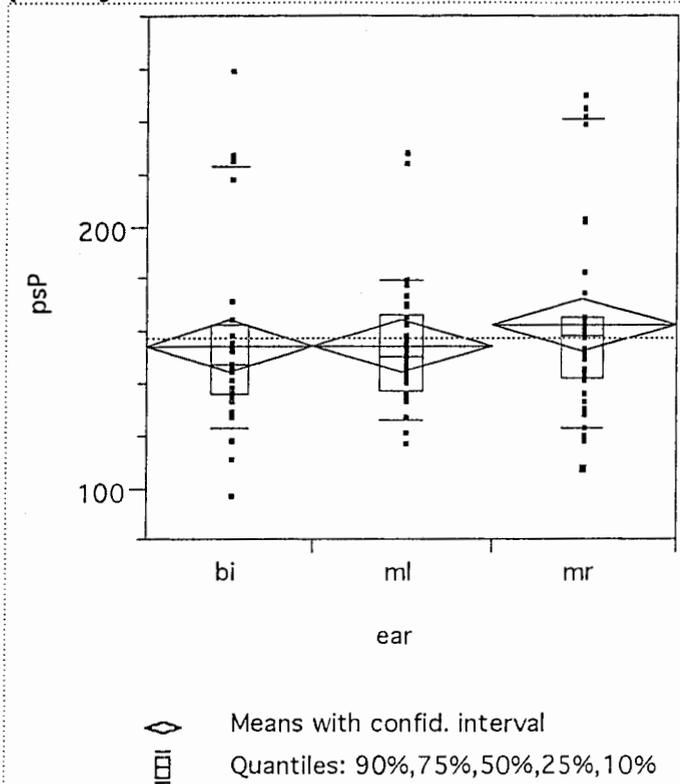
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	18.5194	18.5194	0.5057
Error	72	2636.7460	36.6215	Prob>F
C Total	73	2655.2654		0.4793

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	-6.207296	8.48669	-0.73	0.4669
level	-0.079052	0.11116	-0.71	0.4793

図 7: 応答の時間微分 dps の応答の強さ dpsmin のレベル依存性。表はレベルを要因とした回帰分析の結果を示す。レベル依存性は有意ではない

psP By ear



Means

Summary of Fit

Rsquare	0.015826
Root Mean Square Error	31.7747
Mean of Response	157.1154
Observations (or Sum Wgts)	104

Analysis of Variance

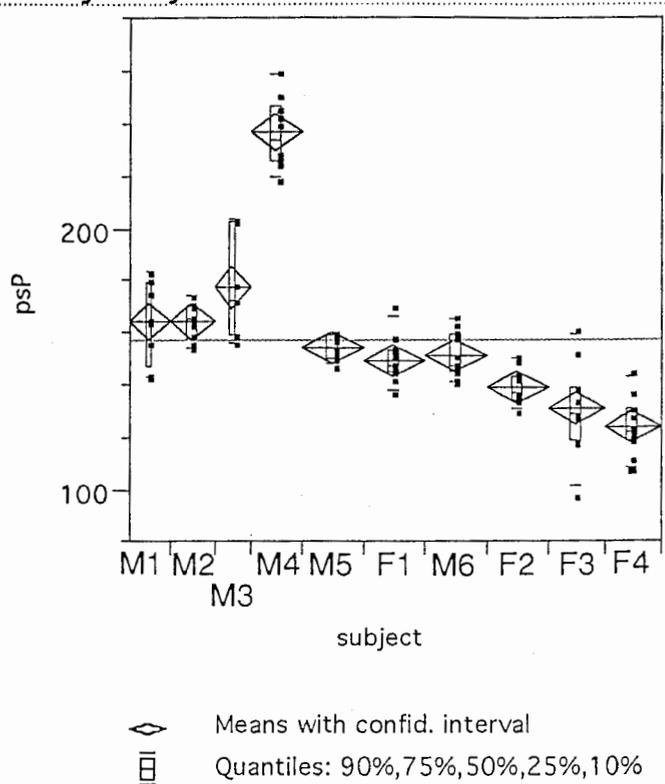
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	1639.80	819.90	0.8121
Error	101	101972.81	1009.63	Prob>F
C Total	103	103612.62		0.4468

Mean Estimates

Level	number	Mean	Std Error
bi (両耳)	33	154.636	5.5313
ml (左耳)	35	153.857	5.3709
mr (右耳)	36	162.556	5.2958

図 8: 応答 ps の応答時間 psP の提示方法依存性。表は提示方法を要因とした分散分析の結果を示す。提示方法依存性は有意ではない

psP By subject



Means

Summary of Fit

Rsquare	0.882806
Root Mean Square Error	11.36565
Mean of Response	157.1154
Observations (or Sum Wgts)	104

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	91469.89	10163.3	78.6769
Error	94	12142.73	129.2	Prob>F
C Total	103	103612.62		0.0000

図 9: 応答 ps の応答時間 psP の被験者による影響。表は被験者を要因とした分散分析の結果を示す。被験者の要因は、1%の危険率において有意である。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。

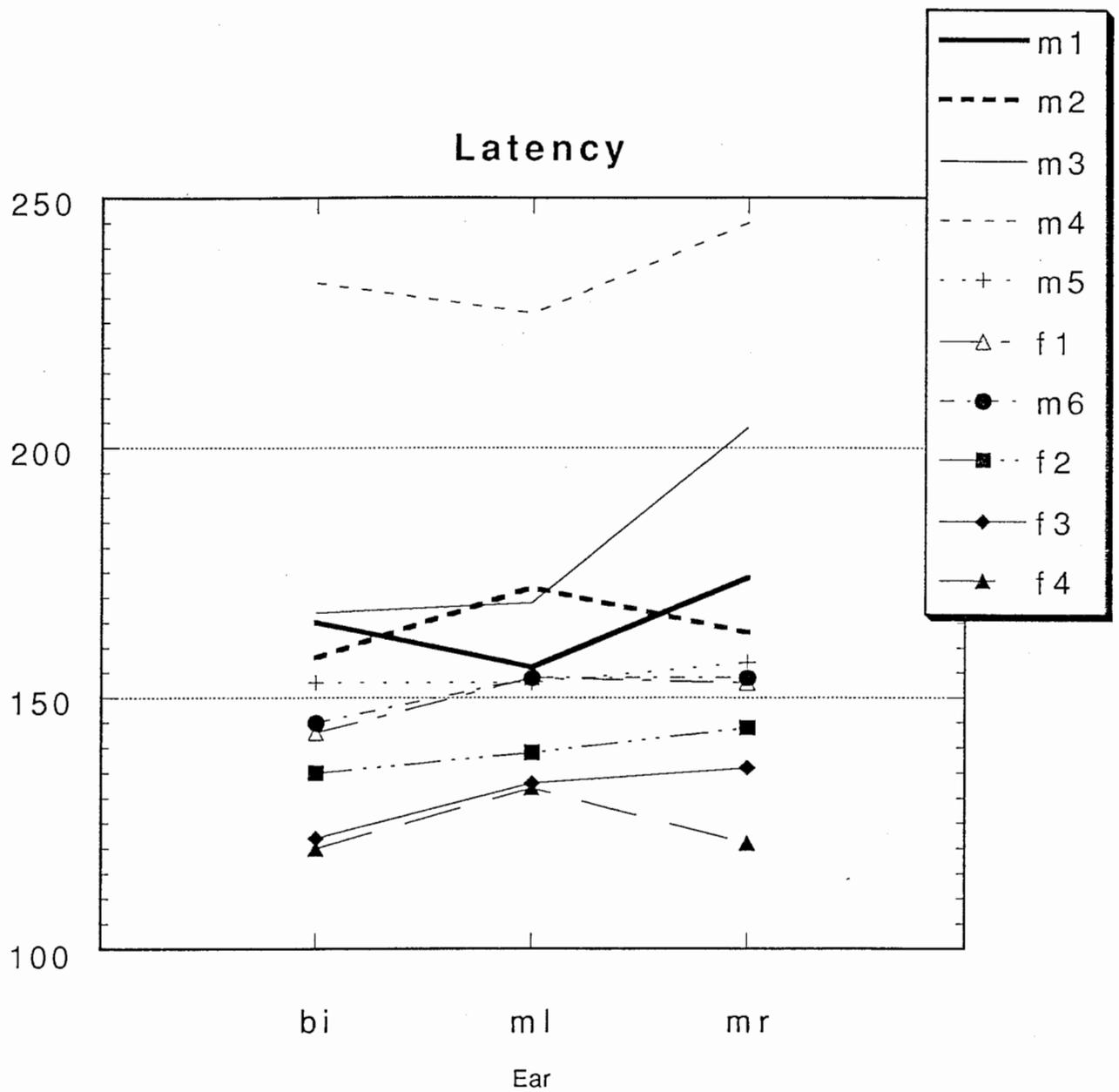
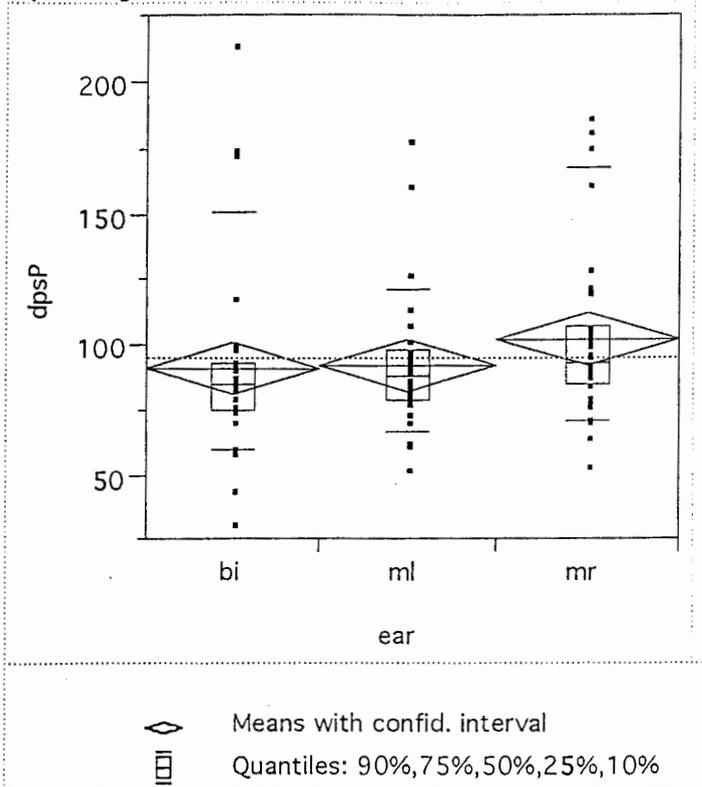


図 10: 応答 ps の応答時間 psP の提示方法依存性の被験者別集計結果。被験者 M1、M3、M4 は、類似の変化傾向を示す。

dpsP By ear



Means

Summary of Fit

Rsquare	0.025085
Root Mean Square Error	30.80528
Mean of Response	95.42157
Observations (or Sum Wgts)	102

Analysis of Variance

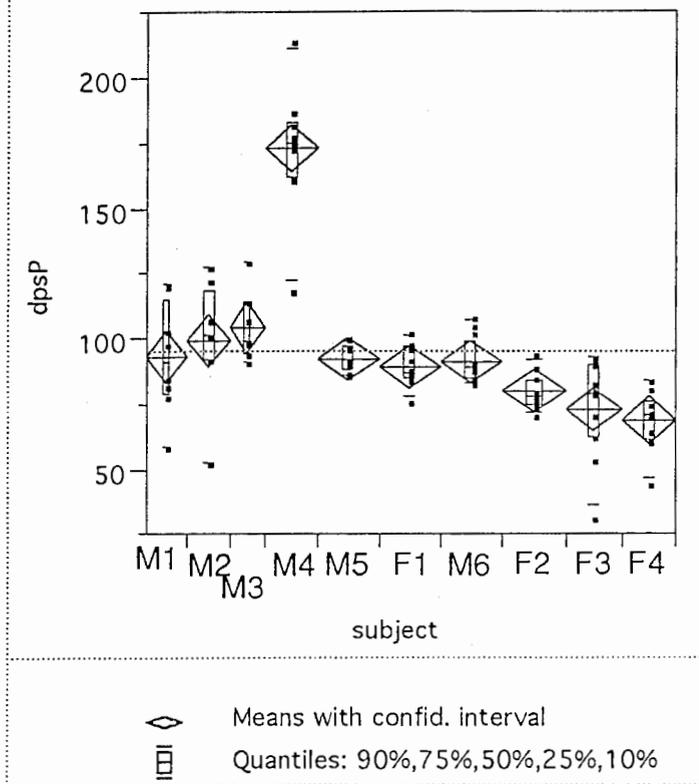
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	2417.286	1208.64	1.2736
Error	99	93947.587	948.97	Prob>F
C Total	101	96364.873		0.2844

Mean Estimates

Level	number	Mean	Std Error
bi	33	91.515	5.3625
ml	34	92.294	5.2831
mr	35	102.143	5.2070

図 11: 応答の時間微分 dps の応答時間 dpsP の提示方法依存性。表は提示方法を要因とした分散分析の結果を示す。提示方法依存性は有意ではない。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。

dpsP By subject



Means

Summary of Fit

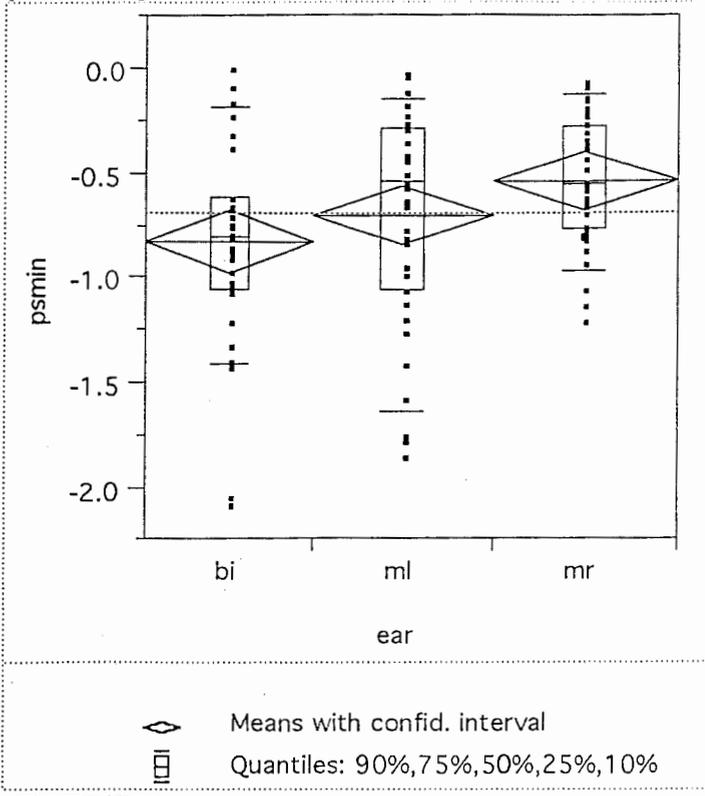
Rsquare	0.793588
Root Mean Square Error	14.70393
Mean of Response	95.42157
Observations (or Sum Wgts)	102

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	76473.967	8497.11	39.3011
Error	92	19890.906	216.21	Prob>F
C Total	101	96364.873		0.0000

図 12: 応答の時間微分 dps の応答時間 dpsP の被験者による影響。表は被験者を要因とした分散分析の結果を示す。被験者の要因は、1%の危険率において有意である。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。

psmin By ear



Means

Summary of Fit

Rsquare	0.071632
Root Mean Square Error	0.44366
Mean of Response	-0.68471
Observations (or Sum Wgts)	104

Analysis of Variance

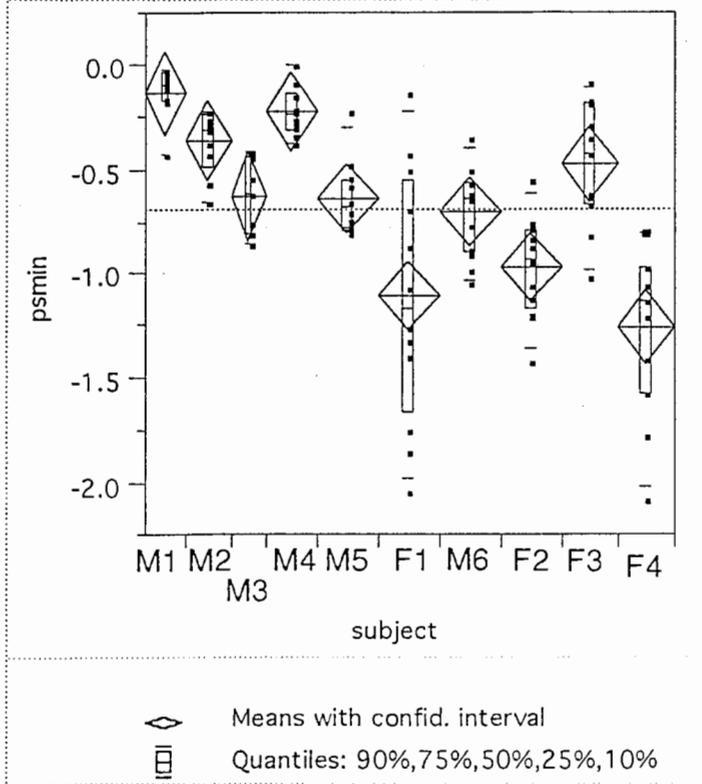
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	1.533936	0.766968	3.8965
Error	101	19.880255	0.196834	Prob>F
C Total	103	21.414191		0.0234

Mean Estimates

Level	number	Mean	Std Error
bi	33	-0.83121	0.07723
ml	35	-0.70143	0.07499
mr	36	-0.53417	0.07394

図 13: 応答 ps の応答の強さ psmin の提示方法依存性。表は提示方法を要因とした分散分析の結果を示す。提示方法依存性は有意ではない。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。

psmin By subject



Means

Summary of Fit

Rsquare	0.598746
Root Mean Square Error	0.302341
Mean of Response	-0.68471
Observations (or Sum Wgts)	104

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	12.821659	1.42463	15.5851
Error	94	8.592532	0.09141	Prob>F
C Total	103	21.414191		0.0000

図 14: 応答 ps の応答の強さ psmin の被験者による影響。表は被験者を要因とした分散分析の結果を示す。被験者の要因は、1%の危険率において有意である。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。

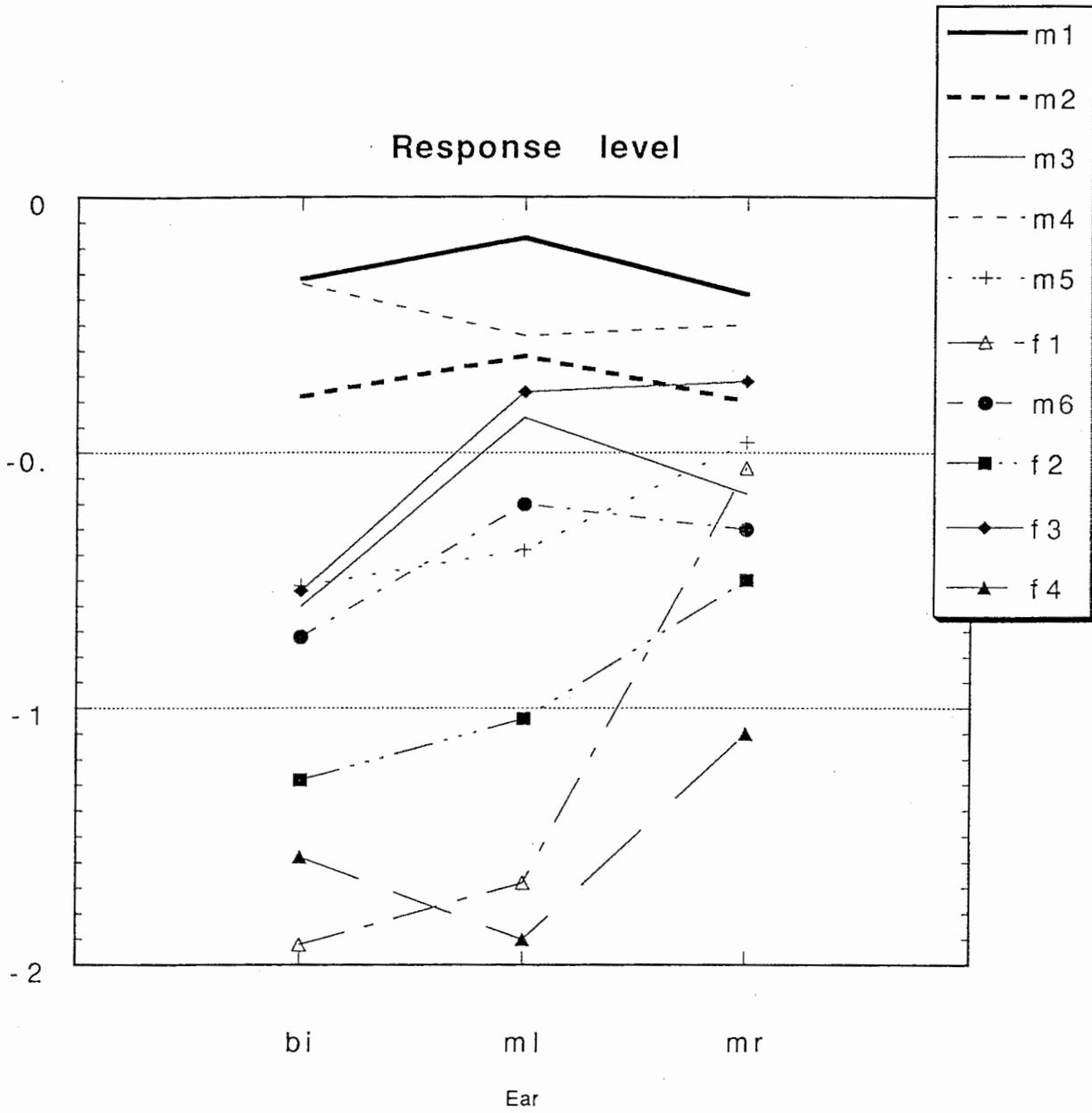
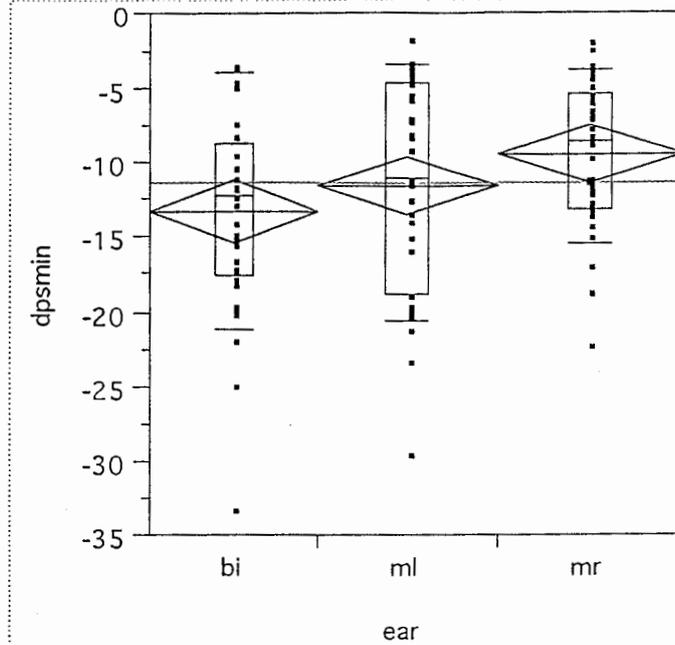


図 15: 応答 ps の応答の強さ psmin の提示方法依存性の被験者別集計結果。

dpsmin By ear



◇ Means with confid. interval
 ▤ Quantiles: 90%,75%,50%,25%,10%

Means

Summary of Fit

Rsquare	0.060586
Root Mean Square Error	6.263504
Mean of Response	-11.3933
Observations (or Sum Wgts)	104

Analysis of Variance

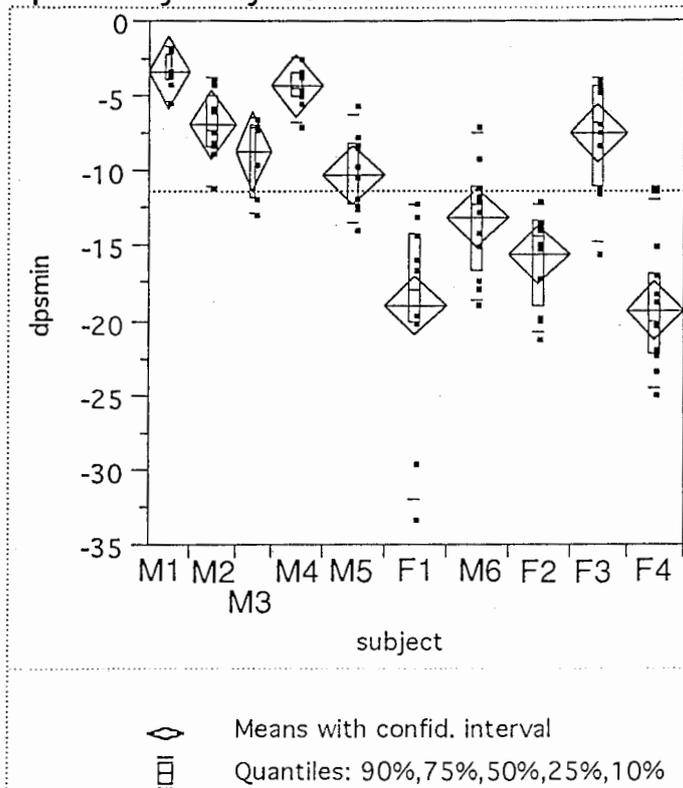
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	255.5457	127.773	3.2569
Error	101	3962.3796	39.231	Prob>F
C Total	103	4217.9253		0.0426

Mean Estimates

Level	number	Mean	Std Error
bi	33	-13.3515	1.0903
ml	35	-11.4914	1.0587
mr	36	-9.5028	1.0439

図 16: 応答の時間微分 dps の応答の強さ dpsmin の提示方法依存性。表は提示方法を要因とした分散分析の結果を示す。提示方法依存性は 5% の水準では有意である。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。

dpsmin By subject



Means

Summary of Fit

Rsquare	0.721627
Root Mean Square Error	3.534266
Mean of Response	-11.3933
Observations (or Sum Wgts)	104

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	3043.7677	338.196	27.0751
Error	94	1174.1575	12.491	Prob>F
C Total	103	4217.9253		0.0000

図 17: 応答の時間微分 dps の応答の強さ dpsmin の提示方法依存性への被験者による影響。表は被験者を要因とした分散分析の結果を示す。被験者の要因は、1%の危険率において有意である。実験条件は提示方法と被験者を要因とした。