

ピッチ修正聴覚フィードバックによる感覚-運動制御系への影響

Effects of pitch-shifted auditory feedback on sensory motor control

身体運動科学研究領域

5006A053-3 長澤卓哉

研究指導教員： 菅田雅彰教授

1. はじめに

我々が日常的に行う会話や歌唱といった発話動作はその多くを脳神経系による感覚-運動制御機構によって支えられている。近年ピッチ修正聴覚フィードバックを用いた研究において、自身が予期しない声の高さ(pitch)変化を反射的に補正する機構が発見された[1]-[4]が、この機構に関しては自身の音声以外の音の影響に関する調査はほとんど行われていない。本研究は音声ピッチの反射的制御機構が、他者音声が存在する環境においてどのように影響を受けるのかについて検証するものである。

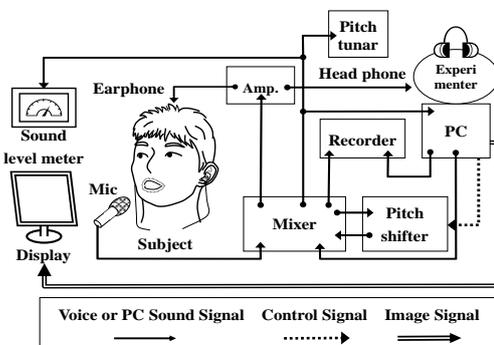


Fig.2 実験系の構成

2. ピッチ修正刺激におけるピッチ補償動作

ピッチ修正刺激とは、実時間で被験者聴覚フィードバックのピッチを変調させる修正聴覚フィードバック技術である。このような不意なピッチ変化に対して、発声者はその変動を補償するように反応することが知られている。Fig.1は、ピッチを下方に修正した時のピッチの補償反応を示す。この反応には早い応答と遅い応答の2つが含まれており、前者はほぼ反射的の応答であり後者は比較的随意的な調節によるものだと考えられている[4]。

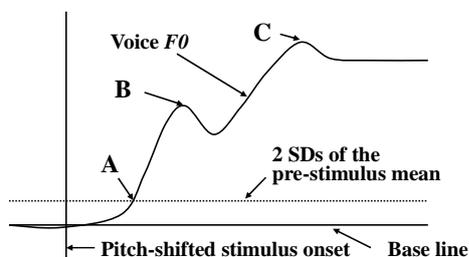


Fig.1 ピッチ修正聴覚フィードバックにおける補償反応

3. 実験

3.1 実験系の構成

実験系の構成を Fig.2 に示す。発声音及び外音のピッチ修正は、ピッチ変調器(ECLIPSE: EVENTIDE)を用いて行い、発声途中で開始し、発声終了まで持続した。ピッチ修正された音声信号は、骨導音をマスキングするためのピンクノイズと混合され、イヤホン(ETYMOTIC RESEARCH: ER-4P)を介して発声者の両耳にフィードバックされた。発声音とピッチ修正トリガー信号はデジタルレコーダによって 44.1kHz、16bit で記録された。

3.2 実験条件

被験者は大学生 8 名(男女各 4 名)とした。被験者には約 8 秒間の母音「あ」(ピッチは男女それぞれ C2・C3 で固定)による持続発声課題を与え、発声開始後 1500ms~2500ms の間で、ピッチ修正聴覚フィードバックを与えた。被験者には、一定のピッチを保って発声するように教示した。ピッチ修正量は±40cent、±80cent (100cent = 半音)、および変化なしの 5 条件である。各条件のピッチ修正をランダムに提示し、これを 12 回繰り返した。外音には被験者とは異なる発声音を用い、ピッチは C 音および 7 半音高い G 音を課題に応じて提示した。また、フィードバックされる外音と発声音の音量は同等となるよう調節し、実験中は音量計を参考に発声音量を一定に保つように被験者に指示した。

実験課題は、1) 発声音のみで、発声音のピッチ修正 2) 1)の条件に外音を加える 3)外音のみのピッチを修正 4) 発声音と外音のピッチを同時に修正する、の4課題であり、条件 2)~4)について、外音を C 音と G 音の2種類とすることで、合計7課題とした。

3.3 解析方法

基本周波数を 10ms 間隔で算出し、cent 値に変換後、ピッチ修正開始時点基準としてピッチ時系列の時間軸をそろえ、繰り返し回数分で平均化した。ピッチ補償の反応潜時は、Fig.1 に示すように、ピッチ修正開始時点後の 60ms 区間の平均を基準(base line)とし、base line からピッチ開始時点前 500ms 区間の標準偏差の2倍の大きさを超える時点(図中の A)までを反射補償反応潜時、ピッチ変化の最初のピーク時点(図中の B)までを随意補償反応潜時とした。また、B 時点でのピッチを反射補償反応強度、ピッチ応答の第2ピーク時点(図中の C)でのピッチを随意補償反応強度として求めた。

4. 実験結果と考察

課題1と3のピッチ補償反応例を Fig.3 に示す。これより、発声者のピッチ修正の場合(課題1)と同様に、外音のピッチ修正(課題3)に対しても発声者のピッチ補償反応を生じることがわかる。ただし、課題1では、32例(被験者8名×4ピッチ修正条件)の全てにおいて補償反応が見られたのに対し、課題3に対しては4例において応答が認められず、また他3例ではピッチ修正方向に追跡してしまう反応が見られた。また、課題6では、32例中5例において応答が認められなかった。

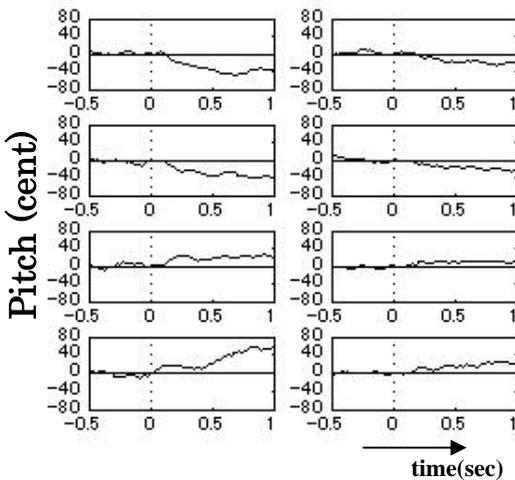


Fig.3 ピッチ補償反応の時間パターン

左: 発声音のピッチ修正(課題1)、右: 外音のピッチ修正(課題3)、上から+80, +40, -40, -80centのピッチ修正に対する補償反応

次に課題ごとの反応強度と反応潜時を Fig.4 に示す。課題3・6における反射補償反応潜時は約140ms~220ms (Fig.4(c))であり、課題1の反応と変わらないことから、これまでに指摘されている補償反応と同じ系によるものと推察される。ただし、その反応強度は10~14cent (Fig.4(a))であり、課題1の反応強度より低く、また課題1のようなピッチ修正量への依存

傾向が認められない。また、課題3と課題6では、反射的応答と随意応答の反応強度がほぼ等しいことから、外音のピッチ修正に伴う補償反応は反射的な要素が強い反応であることが推察される。以上より、ピッチ補償反応の機構において、その反射的応答は自身の音声以外のピッチ変化に対しても反応を生じさせることを示唆している。

随意補償の反応潜時は約240ms~490msであり、課題6において減少する傾向は見られるが、全体として系統的な変化は確認されなかった。また、随意補償強度は反射補償強度より大きく、ピッチ修正量に対する依存性も強い傾向にあることが確認された。ただし、外音が付加されることでその依存性は低減する。また、C音の外音条件に比べ、G音の外音条件時に反応強度が少なくなる傾向が確認された。

5. まとめ

ピッチ修正聴覚フィードバックが発声ピッチ調節機能に及ぼす影響について、外音が存在する環境下で調べた。その結果、発声者の声に変化せず外音のピッチが変動する場合においてもピッチ補償が誘発されること、外音の存在がピッチ補償調節に影響を及ぼすことなどが明らかとなった。

参考文献

- Burnett et al., "Voice F0 Responses to Pitch-Shifted Auditory Feedback: A Preliminary Study," J Voice, 11, 202-211, (1997)
- Burnett et al., "Voice F0 responses to manipulations in pitch feedback," J. Acoust. Soc. Am. 103, 3153-3161, (1998)
- Larson et al., "Effects of pitch-shift velocity on voice F0 responses," J. Acoust. Soc. Am. 107, 559-564, (2000)
- Hain et al., "Instructing subjects to make a voluntary response reveals the presence of two components to the audio-vocal reflex," Exp. Brain Res. 130, 133-141, (2000)

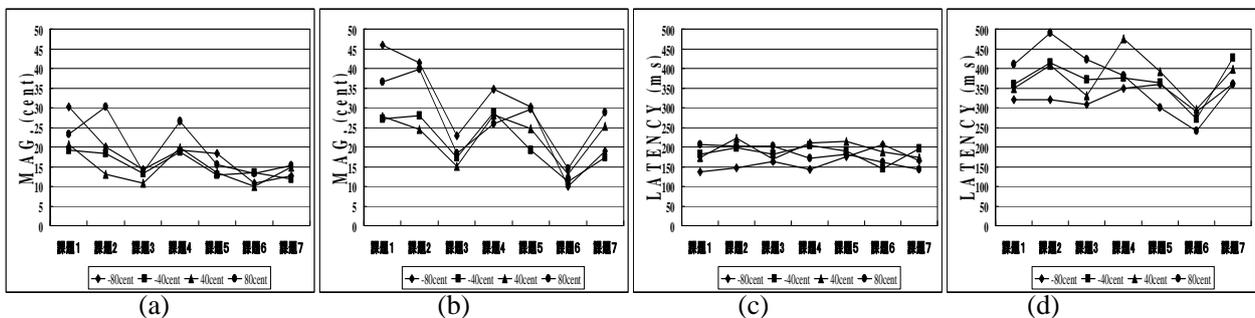


Fig.4 各課題に対するピッチ補償反応の比較

(a)反射補償反応強度, (b)随意補償反応強度, (c)反射補償反応潜時, (d)随意補償反応潜時