メロディー復唱の遅延聴覚フィードバック効果

筑波大学 府川 昭 世・吉 田 茂¹

Delayed auditory feedback effect on melody recitation

Teruyo Fukawa and Shigeru Yoshida (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Niihari-gun, Ibaraki 305*)

The effect of delayed auditory feedback (DAF) was investigated by reciting melodies of three levels of complexity (simple, medium and complex), consisting of five tones and five beats per second. Four normal adult subjects recited these melodies with /pa/ under 10 conditions of 0 to 900 ms delay (100 ms step). DAF effect was measured by DAF index $(1 - \text{CPR}(t)/\text{CPR}(0))$, CPR: correct performance rate per second, t : delay time). The results were as follows. All subjects had high DAF indices on the complex melody, middle on the medium and low on the simple. The maximum DAF indices were observed under conditions of 100 to 300 ms delay time. The vocalization was most frequent to tones with leap in musical interval. The individual differences of DAF effect were observed. The results were discussed by the external and internal feedback systems for speech control.

Key words: delayed auditory feedback, complexity of melody, external feedback system, internal feedback system.

発声発語の遅延聴覚フィードバック (delayed auditory feedback: DAF) は、発声発語運動における最も主要な外在フィードバック系路である気導聴覚フィードバックを人為的に遅らせることである。しかも、音声器官から直接聴器に伝わる骨導音を打ち消すほど強い音量で気導フィードバックを行うと、発声発語運動に障害が起こる。Lee (1950) 以来多くの研究があり (永淵, 1973), (1) 声の高さと強さが増す, (2) 発声時間が延長する, (3) 流暢さがそこなわれる, 等の異常が一致して認められている。発声発語における DAF 効果は、これまで主に言語障害との関連のもとに論じられてきたが、発声発語を知覚・運動学習として捉え、その観点から DAF 実験によって発声発語運動のメカニズムを解明しようとした研究は少ない。しかもこれまで、発声発語は、聴覚フィードバックを主要な系路とする外在フィードバック機構のみで論じられてきた (Denes & Pinson 著 神山・戸塚訳, 1966; Fairbanks, 1954)。その間、生理学の分野では、運動の中核メカニズムに関して新しい発見や推論がなされている。それらの1つに、内在フィードバック機構の働きが論じられている (Evarts, 1971; 本郷・

島津, 1976; 伊藤, 1970, 1978, 1980; Ruch, 1951)。

府川 (1980, 1981, 1983) は、発声発語も随意運動の一種であるから、言語学習の初期には聴覚に強く依存し、習熟すると聴覚への依存は弱くなり、内在フィードバック機構の働きが強くなるという立場から、発声課題と課題遂行におけるフィードバック依存関係を検討した。その結果、12歳前後では、日本語の構音はすでに習熟していることが示され、さらに音読練習によって内在フィードバック機構の働きが一層強くなることがわかった。また、大学生では、英語の発音もすでに日本語と同程度に内在フィードバック機構が働いていることがわかった。そこで今回は、学習初期の段階を観察するために、聴覚フィードバック (外在フィードバック機構) に依存しなければできにくい音高の確認を必要とするメロディー復唱課題を用いて、課題の習熟度 (本研究では、過去経験から獲得した正しい発声の能力の程度と定義し、正発声率²で判定する) と聴覚 (外在) フィードバック依存度との関係を検討した。

方 法

被験者 聴覚が健常な4名の成人。

課題 C¹ を主音とする音階を用いて、次の3種のメロディー (いずれも毎秒5拍) を課題として構成した。

² 復唱された各構成音のピッチの主音に対する比が、課題の各構成音の C¹ に対する比 (平均律の周波数 [国際調] による) の $\pm 1/4$ 度の範囲にあるものを正しい発声と判定し正発声率を求めた。

¹ 発声発語のフィードバック機構 (特に聴覚フィードバック機構) に関してご指導を賜った虎の門病院耳鼻咽喉科戸塚元吉先生に感謝の意を表します。本研究のデータ処理のために、サウンドスペクトログラフの使用を許可して下さった、筑波大学文芸言語学系および心身障害学系に感謝致します。本論文の作成にあたり、ご指導下さった筑波大学心理学系金子隆芳教授に感謝致します。

A (単純型): ドドドドド (主音のみからなる平坦なメロディー). B (中間型): ドミソミド (主和音のみからなる調性型メロディー (星野・阿部, 1984) で, 義務教育課程で幾度も歌った経験がある). C (複雑型): レファドソミ (和音として不完全な無調性型メロディーで, 歌った経験が少なく (Pinkerton, 1956), 音高の確認が最も要求される).

装置 Fig. 1 に示すように, 被験者の音声を超指向性マイクロホン (VICTOR MU-510) で受け, リミッターで音量を調節したあと, DAF 装置³ としての KORG SE-500 と DAF controller から, 音量調節用にオーディオメーター (RION AA-61) を介して, ヘッドホンにより最大 90 dB (SPL) で被験者の耳にフィードバックした. 被験者の音声は, リミッターとして用いているテープレコーダ (SONY TC-D 5) によって同時録音し, 後日の分析に供した.

手続き 実験に先立って, 被験者は, 課題が記憶・再生されるメロディー発生装置 (カシオ ワンキーボード VL-5) を用いて, テンポと音高が課題どおりに復唱できるとするまで時間・回数に制限なく練習した. その後, DAF 条件を負荷して課題を復唱させた. “ドレミ”等の言語的手がかりを排除し, 同時に, 各構成音をセグメントに切りはなすために, 発声は /pa/ で行った. 遅延条件は 0—900 ms (100 ms ステップ) の 10 種で, その順序はランダムとした. 3 課題 10 種遅延条件を 1 試行として, 日をかえて 5 試行おこなった.

分析 各課題, 各遅延条件の発声を, sound spectrograph (RION SG-07) で分析し, 発声時間, 音高 (基本周波数), 発声頻度を測定した. 耳では判断できない素速い音高の変化を, sound spectrogram の基本周波数で測定した. これを正常聴覚フィードバック (0 ms 遅延条件) を基準にして, 約 10% の変動の範囲にあれば正しい遂行と判定し, 1 秒あたりの正遂行数 (correct performance rate per second: CPR) を求めた. これ

を用いて, 言語課題における DAF 指標と同じ算出方法でメロディ課題の DAF 指標を算出した. これは次式で示される.

$$DAF(t) = 1 - CPR(t)/CPR(0) \quad (1)$$

t : 遅延時間

指標が 1 に近いほど DAF の影響をつよくうけること, すなわち, その発声が聴覚フィードバック (外在フィードバック機構) に依存して遂行される傾向が強いことを示している. 指標が 0 に近いほど DAF に影響されず, 発声が内在フィードバック機構で遂行される傾向が強いことを示している. さらに, 負の DAF 指標は, DAF 負荷の方が正常聴覚フィードバックより, 速く正しく発声したことを示す.

結 果

課題の習熟度を 0 ms 遅延条件における 5 試行の平均正発声率でしらべると, A (単純型) では 100%, B (中間型) では 76%, および C (複雑型) では 58% であった. これをもって, 課題間の習熟度の違いを確認し, 課題と習熟度の関係を規定した.

Fig. 2 は, 各遅延条件における DAF 指標を, 課題ごとにプロットしたものである (4 名, 5 試行の平均). DAF 指標は, A (単純型), B (中間型), C (複雑型) の順に大きくなり, 課題が複雑なものになるほど, 聴覚 (外在) フィードバック依存度が高くなることを示している. また DAF 指標は, それぞれの課題において 100—300 ms 遅延条件において最大値がみられた. この傾向は, 全被験者に共通して観察された.

Fig. 3 は, 各遅延条件における全発声数を示したものであり (4 名, 5 試行の平均), 吃音の特徴のひとつである音節のくり返しとの関連を検討するためのものである. 発声数は, 課題 A (単純型), B (中間型), C (複雑型) の順に大きくなり, 課題が複雑になるほど復唱のし直しが起きやすく, それぞれの課題において, 100—

Fig. 1. Block diagram of DAF system.

³ 西村弘之氏 (東京都立大学技官当時) が, 1979年に設計・製作した装置である.

Fig. 2. DAF effect as a function of delay for three different melody tasks; A (simple), B (medium), C (complex).

300 ms 遅延条件に最大値がみられた。Fig. 4 は、課題 B (中間型) と C (複雑型) について、課題構成音の発声数を示したものである (4 名, 5 試行の平均)。最初からの復唱のし直しはなく、2 音以降、飛躍音程に復唱のし直しがみられた。Fig. 5 は、課題 C (複雑型) で、最も影響を受けた被験者 TF と、ほとんど影響をうけなかった被験者 NS の、各構成音における 5 試行の平均発声数を示したものである。個人差が顕著であり、TF は DAF の影響をつよくうけ、2 音以降に何度も復唱のし直しがみられたが、NS は同じ遅延条件でありながら復唱のし直しは少なかった。

考 察

習熟度の高い単純型メロディーは、同一音高のくり返して、オートマチックな運動であり、聴覚による音高の確認の必要度は少なく、わずかに DAF 効果がみられたのは、発声数の確認のために聴覚フィードバックを用いたためと考えられる。習熟度の低い複雑型メロディーになるほど、DAF 指標は大きくなり、聴覚フィードバック (外在フィードバック機構) への依存度が高くなることが明らかとなった。有意味綴・無意味綴、あるいは、日本語・英語等の言語課題は、大学生はすでに習熟していて、聴覚フィードバックに依存する初期の発声行動を再現することはできなかった (府川, 1981, 1983), しかしメロディー課題を用いると、課題構成によって習熟度を統制することが出来、いろいろなレベルの聴覚フィードバック依存状態のデータが得られ、これによって外在フィードバック依存型から、内在フィードバック依存型への推移について、論議が可能となった。

遅延条件が 100—300 ms のときに DAF 指標が増加した点については、次のように考えられる。課題は、発声間隔が 200 ms なので、100 ms 条件では第 1 音の発声直後に第 1 音の気導聴覚フィードバックが耳に到達することになり、順次発声音の認知のタイミングがずれる

ために次の発声の準備状態が乱されて発声が乱れる。200 ms 条件では、第 2 音の発声中に第 1 音のフィードバック音が耳に到達し、発声音の認知が出来ないためにもう一度第 2 音をくり返したり、音の高さがずれたりする。300 ms 条件では、第 2 音の発声直後に第 1 音の気導フィードバック音が耳に到達し、発声音と異なるフィードバック音が認知されるため音の高さがずれたり、同じ音高をくり返したりする。DAF による発声の障害は、課題音を課題どおりに発声したという認知の成立と深い関係がある。その認知は、外在フィードバック機構を経由して中枢で成立する。遅延時間が長い場合は、認知を混乱させる気導聴覚フィードバック音が到達する前に、課題構成音の大部分を発声したという認知が、外在フィードバックの一部である骨導および運動感覚フィードバックによって成立するため、DAF の影響は少ない。

このようにみえてくると、発声数の増加は、聴覚フィードバックによる比較照合の結果、発声運動のやり直し指令が出された回数を示すと考えられる。Fig. 3 にみられるように、課題が複雑で習熟度が低いほど DAF による発声のやり直しが多くなっている。また、飛躍音程に顕

Fig. 4. Frequency of vocalization of each component sound in tasks B (medium) and C (complex).

Fig. 3. Frequency of vocalization as a function of delay for three different melody tasks; A (simple), B (medium), C (complex).

Fig. 5. Frequency of vocalization of subjects NS and TF in task C (complex).

著に発声数が増加したことは、そこで音高を確認して、次の音を発声しようとしたが、発声音とは異なるフィードバック音を認知したため、発声のやり直しがなされたことを示している。そこには、Fig. 5 にみられるように個人差があり、影響の少ない人はやり直しは1回以下だが、影響を強くうける人は最高4—5回のやり直しを行っている。このように、“メロディー復唱のDAF”という新しい実験方法は、“言語課題のDAF”ではひき出すことができなかった“幾度も発声をやり直す行為”をひき起こすことができた。

以上のように、習熟初期の発声運動になるほどDAFによって発声運動の混乱がひどくなることがわかった。このようなDAF効果は、目標値に対するフィードバック値の認知の時間的ずれによって生じると考えられる。DAF効果の大小は、目標値によって変わるが、発声運動を支えている外在・内在フィードバック機構のどちらに、より強く依存するかという個人の傾性も関与しているように思われる。さらに、この“メロディー復唱のDAF”という実験方法によって、一次性吃音の特徴に似た“音節の多数回のくり返し”という行為をひき起こすことが出来た。音節のくり返しが起こる時点について、DAFによる人工吃(Lee, 1951)と病理吃では若干の相違点があるが、その発生のメカニズムを、フィードバック機構と認知機序によって説明する可能性が得られた。

要 約

5音からなり、習熟度の異なる3種のメロディー課題(毎秒5拍のテンポ)を復唱させてDAF効果を測定し、習熟度とフィードバック機構への依存度について検討した。習熟するにつれてDAF効果は小さくなった。100—300 ms 遅延条件でDAF効果が最大になった。復唱のし直しは課題構成音の2音以降、特に飛躍音程に顕著にみられ、個人差も観察された。DAF効果をフィードバック機構と認知機序の上から考察し、あわせて吃音との関係を論じた。

引 用 文 献

- デニス P. B.・ピンソン E. N. 切替一郎・藤村 靖(監) 神山五郎・戸塚元吉(訳) 1966 話しことばの科学 東京大学出版会
(Denes, P. B., & Pinson, E. N. 1963 *The speech chain*. New York: Bell Telephone Laboratories.)
- Evarts, E. V. 1971 Feedback and corollary discharge: A merging of the concepts. *Neuroscience Research Program Bulletin*, 9, 86-112.
- Fairbanks, G. 1954 Systematic research in experimental phonetics: I A theory of the speech mechanism as a servosystem. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 9, 133-139.
- 府川昭世 1980 朗読課題の熟知度と遅延聴覚フィードバック効果——言語運動の外在および内在フィードバックモデルの観点からみた DAF 効果(I)—— 音声言語医学, 21, 103-108.
- 府川昭世 1981 遅延聴覚フィードバック効果における朗読課題の熟知度, 練習の影響および性差——言語運動の外在および内在フィードバックモデルからみた DAF 効果(II)—— 音声言語医学, 22, 151-156.
- 府川昭世 1983 日本大学学生における遅延聴覚フィードバック効果に及ぼす言語(日本語・英語)と構音の難易の影響——言語運動の外在・内在フィードバックモデルからみた DAF 効果(III)—— 音声言語医学, 24, 177-182.
- 本郷利憲・島津 浩 1976 運動制御の中核機構 時実邦彦(編) 脳と神経系 岩波書店 Pp. 212-310.
- 星野悦子・阿部純一 1984 メロディー認知における“調性感”と終止音導出 心理学研究, 54, 344-350.
- 伊藤正男 1970 ニューロンの生理学 IV 科学, 40, 663-670.
- 伊藤正男 1978 小脳 渡辺 格・森田弘道・伊藤正男・天野武彦(編) 神経科学講座 5 運動と制御 理工学社 Pp. 121-145.
- 伊藤正男 1980 脳の設計図 中央公論社 Pp. 176-198.
- Lee, B. S. 1950 Effect of delayed speech feedback. *Journal of the Acoustical Society of America*, 22, 824-826.
- Lee, B. S. 1951 Artificial stutter. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 16, 53-55.
- 永瀧正昭 1973 Delayed Auditory Feedback に関する文献考察 音声言語医学, 14, 52-60.
- Pinkerton, R. C. 1956 Information theory and melody. *Scientific American*, 194, 77-86.
- Ruch, T. C. 1951 Motor systems. In S. Stevens (Ed.), *Handbook of experimental psychology*. New York: Wiley. Pp. 154-208.

——1984. 7. 10. 受稿, 1985. 3. 9. 受理——