

○荒井隆行 (上智大・理工)

1. はじめに

世界の言語の中には、フランス語のように鼻母音を音素として持つ言語も存在する。一方、英語や日本語には口母音と鼻母音の音韻的対立はないが、健常音声であっても鼻音化母音は存在し、例えば鼻子音の前後に隣接する母音ではしばしば鼻音化する。これは舌や軟口蓋といった調音器官の動作が時間的に重なり合うために起こる現象であり、調音結合の一例と言える。特に鼻子音に先行する母音では鼻音化し易いが、これは口腔内で閉鎖が作られる前に軟口蓋が下降し鼻咽腔結合が実現されるためである[1]。

音響理論によれば、鼻咽腔結合により声道伝達関数には極零対が出現する[2-6]。その結果、出力音声のスペクトル上の特に第1フォルマント(以下、F1)の帯域において、F1周波数の上昇、F1の強度の減少や帯域幅の増加といった影響が観測される。

ところで、F1周波数は知覚上の「母音の高さ」を決定する主要な要因であることから、鼻音化によるF1周波数のシフトは、母音の韻質へ影響を与え得る。しかし、我々は鼻音化の有無に関わらず、同じ母音を正しく識別しているとすれば、それはF1周波数のシフトに対して話者もしくは聴取者が生成側あるいは知覚側でそれを補償している可能性がある。

本研究では、まず母音が鼻音化することでF1周波数がどのように影響するかを、実際に音響分析によって調べた。そして、その補償効果をEMMAシステムを用いて生成の面からと、聴取実験によって知覚の面から調べた。

2. 音響理論と分析結果

鼻音化母音におけるF1の振る舞いは、電気回路モデルによって説明される。まず、母音が鼻音化すると、もともとのF1周波数付近に極零対が極、零点の順に出現する。そして、鼻咽腔結合が強まるに

つれ、F1、極、零点の周波数が共に上昇し、極零対の開きが次第に広がる。

ところで、F1と極零対との関係は高母音と低母音では以下のように異なる[1]:

- ・ 高母音: もともとのF1周波数が低い
ため、周波数軸上でF1、極、零点の順に配置。
- ・ 低母音: もともとのF1周波数が高いため、鼻咽腔結合が弱い時点では周波数軸上で極、零点、F1の順に配置。
しかし、鼻咽腔結合が強まると零点がF1に接近し、F1が弱められると同時に極が優勢になり、その極がF1であるかのように振舞うようになる。

この結果、鼻音化の程度が増加するにつれ、低母音ではF1の上昇が、そして高母音では(見かけ上)F1の下降が見られることになる。

このことを実際の音声信号について調べるために、以下の音響分析を行った。対象とする母音は英語の6母音 /i/, /ɪ/, /e/, /æ/, /a/, /ɑ/ で、/b V b/ あるいは /b V m/ という音素環境においてVを変えながら2つの環境におけるF1周波数の違いを観測した。録音に際しては、アメリカ英語母語話者1名に、これらの12語(6母音×2環境)を“Say ____, again.”というキャリア文に挿入して5回ずつ発話してもらった(順番はランダム)。分析にはKlattによる分析ツールのIspectoを用いた。

図1に分析結果を示す。この図から、音響理論から予測されたように低母音ではF1周波数が上昇、高母音では下降している様子が確認された。

3. F1周波数シフトに対する補償

3.1 音声生成における補償

母音を鼻音化環境において発話した場合にF1周波数がシフトするのを補償する方向に舌の高さが変化するかを調べるため、EMMAシステム[7]を使った測定実験を行った。実験条件は、第2節の音響分析と同様に6母音、同じミニマルペア

*Formant Frequency Shift and Its Compensation in Nasalized Vowels.

By Takayuki Arai (Sophia Univ., Tokyo, Japan)

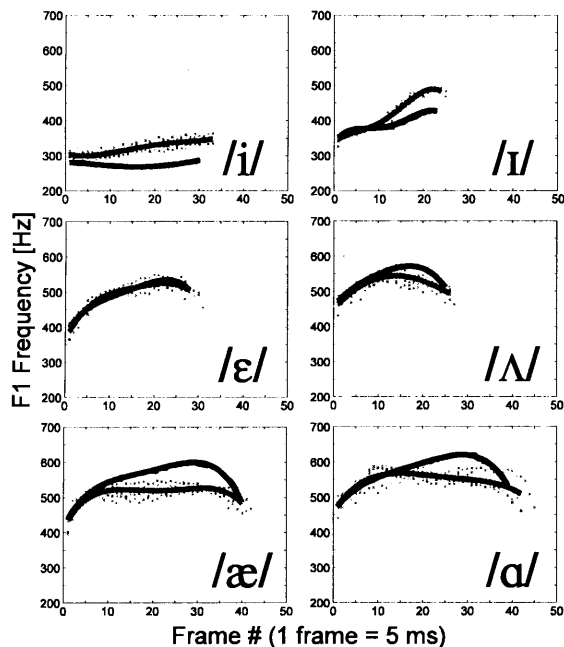


Fig. 1: Measured F1 frequency vs. time (black line: non-nasal, and gray line: nasal context).

で同じキャリア文とした。アメリカ英語母語話者 1 名に 5 回ずつ発話（順番はランダム）してもらい、EMMA を用いて測定した。特に TB (tongue body) と TD (tongue dorsum) のトランスデューサについて、正中矢状面上の y 座標をミニマルペア間で比較した。

その結果、/ɑ/を除く 5 母音において舌の高さについてほとんど差は見られなかった。しかし、最も口の開きが大きくなる /ɑ/ に関しては、TB、TD とともに鼻音化のほうがより舌の高さが低くなる様子が観測された。舌の高さが低くなると F1 周波数はより高くなるので、これは鼻音化による F1 周波数シフトを補償する方向と一致する。

3.2 音声知覚における補償

Krakov et al. (1988) は鼻音化母音の高さの知覚に関して前後の音素環境にも依存することを報告している [8]。そこでは、母音が鼻音に後続する語とそうでない語について、その知覚が比較された。そこで、本研究では母音部だけを切り出した /æ/ を対象とし、以下の 2 条件で識別実験を行った：

- ・ 刺激セット 1) 鼻音音が後続する/しない音素環境において、母音の終端部を 10 ms ずつ切り落としていったもの
- ・ 刺激セット 2) 鼻音化環境にある母音と同じフォルマント周波数を持つ非鼻音化母音を合成し、さらにその F1 周波数を変化させたもの

聴取実験の結果、刺激セット 1 からは鼻音化にフォルマント遷移が加わると、より正しい母音に知覚されることがわかった。また刺激セット 2 からは、同じフォルマント周波数を持っていても、鼻音化していない場合には誤答が増えることがわかった。

4. おわりに

本研究では、母音が鼻音化するとその F1 周波数が中性母音の方向にシフトすることを音響分析によって確認した。これは音響理論から予測されるものであった。次に、この F1 周波数シフトの補償効果を生成面について調べた結果、鼻音化・非鼻音化環境において舌の高さの違いは /ɑ/ を除く 5 母音については見られなかったが、開口度が最も大きい /ɑ/ でのみ補償する方向性が見られた。最後に補償効果を知覚面について調べたところ、鼻音化と音素環境の情報（フォルマント遷移等）の両方が存在する場合により強く補償効果があることがわかった。

5. 謝辞

これは MIT の Speech Communication Group で行った研究であり、Kenneth N. Stevens 教授を始め、メンバー他皆様に感謝致します。

References

- [1] K. N. Stevens, *Acoustic Phonetics*, MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
- [2] G. Fant, *Acoustic Theory of Speech Production*, Mouton, The Hague, 1960.
- [3] O. Fujimura, "Spectra of nasalized vowels," *Res. Lab. Electron. Q. Prog. Rep. No. 58*, MIT, 214-218, 1960.
- [4] O. Fujimura, "Analysis of nasalized vowels," *Res. Lab. Electron. Q. Prog. Rep. No. 62*, MIT, 191-192, 1961.
- [5] O. Fujimura and J. Lindqvist, "Sweep-tone measurements of vocal-tract characteristics," *J. Acoust. Soc. Am.*, 49, 541-558, 1971.
- [6] A. S. House and K. N. Stevens, "Analog studies of the nasalization of vowels," *J. Speech Hear. Disord.*, 21, 218-232, 1956.
- [7] J. Perkell, et al., "Electromagnetic midsagittal articulometer (EMMA) systems for transducing speech articulatory movements," *J. Acoust. Soc. Am.*, 92, 3078-3096, 1992.
- [8] R. A. Krakow, et al., "Coarticulatory influences on the perceived height of nasal vowels," *J. Acoust. Soc. Am.*, 83, 1146-1158, 1988.