

高圧ヘリウム環境における音声の ホルマント周波数の上昇について

郵政省電液研究所 中津井 護 田中 繁二 鈴木 誠史
東京医科歯科大学 梨本 一郎 眞野 豊洋

はしがき 高圧環境で発声された音声には大気中では想像もできないいずオが生じ了解性が低下する⁽¹⁾。高圧ヘリウム環境で観測されるいずオの概略についてはすでに報告した⁽²⁾。そこで音速の増加に伴ってホルマント周波数が上昇し、さらに密度の増加に伴って低い周波数領域でその上昇率が高くなる非直線性が観測されることを示した。以下気体の圧力、濃度、音速、定積比熱と定圧比熱の比を β , ρ , c , γ で示し、大気中では添字0を、高圧空気では n を、ヘリウム環境では He をつけて表わす。

周知のように声道壁は大気中でも剛体として扱えず、その振動はインダクタンス成分(L_w)として声道の共振に関与する。声道をヘルムホルツの共振器とみなし閉じたときの共振周波数 F_{w0} は、器内の体積を V として、 $F_{w0} = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\rho_0 / (L_w V)}$, (1) で表わされる。Fantらの推定によれば、 F_{w0} は150~200 Hzである⁽³⁾。声道を剛体とみなしたときの共振周波数 F_0 と現実のそれ F_n とは、 $F_n^2 = F_0^2 + F_{w0}^2$, (2) なる関係があり低い周波数ほど F_{w0} の効果

が大きい。空気のみで高圧にした場合、 $F_{wn} = \sqrt{\rho_n / \rho_0} F_{w0}$. (3) そのときのホルマント周波数 F_n と F_0 の関係は、 $F_n^2 = F_0^2 + (\rho_n / \rho_0 - 1) F_{w0}^2$. (4) さらにヘリウムを使用する場合には音速も変化するので、

$$F_{He}^2 = \left(\frac{c_{He}}{c_0}\right)^2 F_0^2 + \frac{\rho_{He} \rho_0}{\rho_0 \rho_{He}} \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{He}}\right) F_{w0}^2, \quad (5)$$

という関係になる。ここでは各種高圧条件下でホルマント周波数(声道の共振周波数)

を測定し、理論的変換式(4), (5)との関係を探る。特に F_{w0} の推定を試みた。

音声資料と分析 実験条件を表1に示した模擬潜水実験で高品質のダイナミックマイクロホンを通じて高圧下の音声も収録し、また比較資料としてタンク内は大気としたときの音声も収録した。実験A BとGで話者は異なる。表2に呼吸ガスの組成およびその音速と濃度の大気への比を示す。

ホルマント周波数はサウンドスペクトログラフで分析した広帯域パターンと狭帯域セクションから視察によりオのホルマント周波数も求めた。実験Aの資料では短文中の母音定常部から、実験Bの資料では単音節中の単独母音および[b, k, s, x]に続く母音定常部から、実験Gの資料では一音節の母音についてBと同様に単音節から、残り一音節については、繰返し発声した日本語五母音と基本母音[i, a, u, y]から読み取った。なお、読み取りの困難な資料は破棄した。

表1 模擬潜水実験の条件

実験	呼吸ガス	圧力(深さ)	話者数	使用施設
A	He-混合	4ata (30m)	2	海中居住システム の船上減圧室
B	He-混合	11 (100)	2	
C	空気	4 (30)	2	

表2 呼吸ガスの組成と定数

実験	ガス組成 (%)			大気への比	
	He	N ₂	O ₂	音速	濃度
A	62.5	30.0	7.5	1.55	1.99
B	91.3	6.0	2.7	2.31	1.93
C	0.9(A ₂)	78.0	21.0	1.0	2.90

結果

図1~3にホルマント周波数の変換関係を示す。高い周波数領域では実験値はほぼ音速比を示す破線の上に乗っている。つぎに、実験A Bでは(5)式で、Cでは(4)式を用いて F_{w0} の推定をした。 F_{w0} を可変とし、各実験値から縦軸をもって変換曲線に降ろし下線分の長さの自乗和が最小となるようにした。実験Bでの F_{w0} の推定値とこのときの変換曲線を実線と各図に示す。個人別に見ると F_{w0} は162~215 Hzの範囲にある。最近、Morrow はFantらの F_{w0} 値が適文であるとしている⁽⁴⁾。一方、藤村らの声道特性の直接測定では200 Hz程度であり⁽⁵⁾、我々の推定値もFantらの示した値にほぼ一致している。

おまけ

各種高圧下で発声された音声のホルマント周波数を実測し、そこから音速と声道の变化を考慮した理論的変換曲線にほぼ一致するこゝを示し、さらに声道共振周波数の下限 F_{w0} を推定した。これらの結果はハリウム音声の了解性改善装置(アンスクランゴラ)の設計に有効な資料になる。

こゝでは声道諸定数が一様に分布しているとの仮定のもとに変換式を導いたが、実際にはその仮定は成り立たない。そのため母音やホルマントの相異によって声道壁の効果も異なるはずである。スペクトログラムによる測定では精度が十分ではないので、高圧下での声道特性の直接測定を検討している。

<参考文献>

- (1) 鈴木誠也他：高圧ハリウム環境の音声の明瞭性、*日本高圧環境医学雑誌* 6, 37-38, 1972.
- (2) 中津井護他：高圧ハリウム環境における音声のいずみ、*日本高圧環境医学雑誌* 6, 39-40, 1972.
- (3) Fant, G. et al.: *STL-QPSR* 2, 9-21, Royal Inst. Tech., Sweden, 1964.
- (4) Morrow, C.T. : *J. Acoust. Soc. Amer.* 50, 715-728, 1971.
- (5) Fujimura, O. et al. : *J. Acoust. Soc. Amer.* 49, 54-55, 1971.

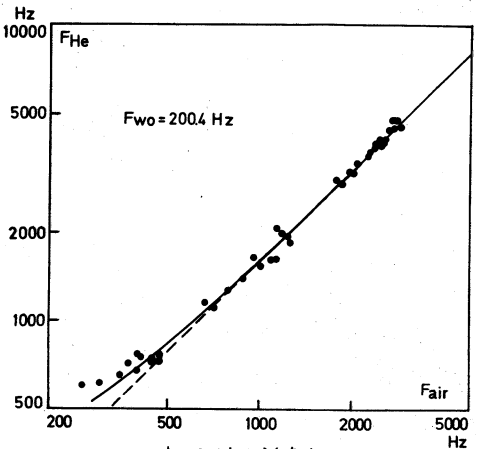


図1. ホルマント周波数の変換関係
実験A [He-混合, 4 ata (30m)]

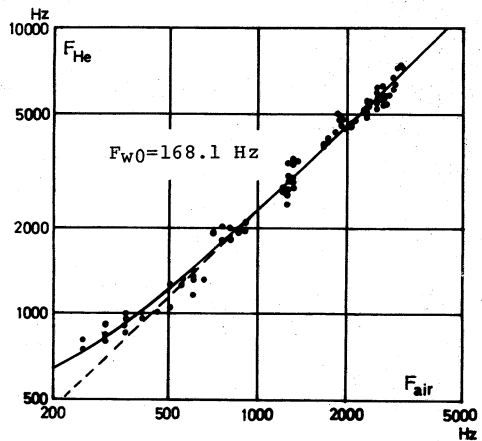


図2. ホルマント周波数の変換関係
実験B [He-混合, 11 ata (100m)]

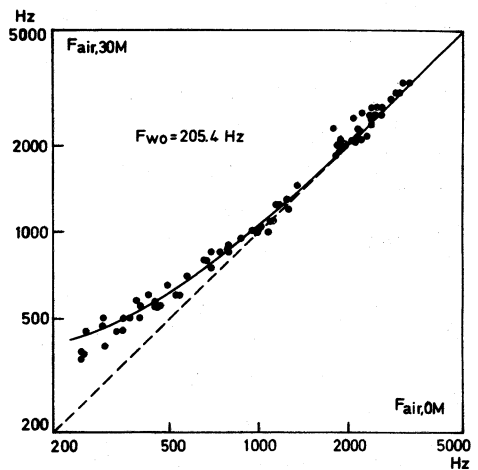


図3. ホルマント周波数の変換関係
実験C [空気, 4 ata (30m)]