

高圧ヘリウム環境における音声の伝わり

郵政省電波研究所 中津井護 鈴木誠史
東京医科大学 梨本一郎 眞野喜洋

はしがき

海中居住のような高圧環境では生理的障害防止のため、ヘリウムを主成分とする雰囲気ガス（以下、ヘリウム空気）を使用することが多い⁽¹⁾。高圧ヘリウム空気中で発せられる音声は、通常大気中の音と異なり、図1に例を示すように潜水深度が深くなるにつれて、すなわち、圧力が高くなるにつれてヘリウムの量が多くなると共に了解性が著しく損なわれる⁽²⁾。海中居住のようにならざる特殊な環境のもとでは、潜水者の安全をばかりまた作業効率を向上させるために、円滑な音声による会話・交信の確保が不可欠であり、異常現象の解明にもとづいて音声の了解性を改善するに望まれる。

いずみとその原因

ヘリウム空気中の音声（以下、ヘリウム音声）のいずみの一つは、音速の上昇に比例した倍音スペクトルの拡大にあり、その機序は図2のようによく説明される。図2(b)は声道の断面を示したもので、これは一種の音響管である。同図(a)に単純な例を示すように音響管の共鳴周波数は音速に比例する。たとえば、海面下100m相当の場合には大気中の音速に比べて音速スペクトルの拡大率は2倍近くも達する。図3に大気中とヘリウム空気中の同一語による音声のスペクトログラムを比較のために示す。

ヘリウムは極めて軽い気体であるが、ヘリウム空気の密度は高圧であるために大気中の密度よりも高い。このため上記の拡大率は一率ではなく、周波数の低い領域でより大きいことが知られている⁽³⁾。以上の音速と密度の変化を考慮した大気中での音声の共鳴周波数（以下、ホルマント周波数） F_{air} とヘリウム空気中のそれ F_{He} の関係は、

$$F_{He}^2 = k^2 F_{air}^2 + k' F_{wair}^2 \quad (k = \frac{c_{He}}{c_{air}}), \quad (1)$$

c : 音速, k' ガス組成による定数

F_{wair} : 声道共鳴周波数の下限

と考えられる。また、密度の変化により音速レベルや有音響に対する無音響の相対レベルが変化することも知られている⁽³⁾。

ヘリウム音声異常であるとの自己知識なくとも、話し手の適応により音声諸要素に変化があると推測されるが、これはほとんど朝べらぬところであらう、ここには注目を分析を避けた。

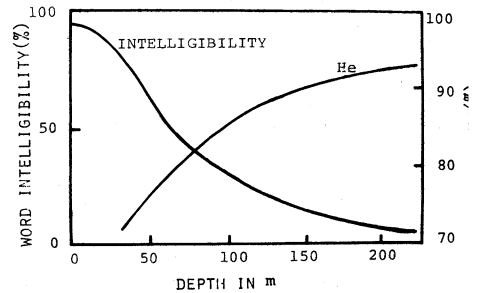


図1 潜水深度と単純了解度 (Hollien & Thompson による)

CLOSED PIPE RESONANCE

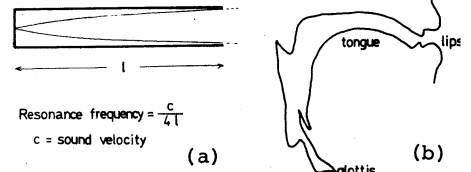


図2 声道を音響管とみたときの共鳴周波数と音速の関係

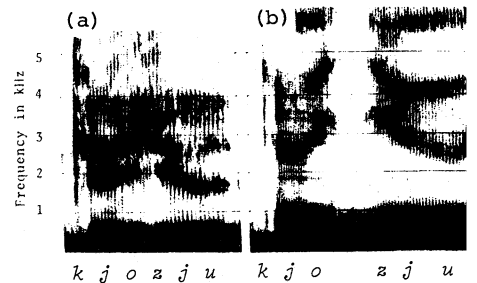


図3 (a) 正常音声と (b) 海面下100m相当圧のヘリウム音声のサウンドスペクトログラム。

分析と結果

分析に用いた音声資料は、船上減圧室を用いた30m模擬居住で、加圧前、減圧後を含め6日間、毎日、3名のアクアノートの発声した文章、単語、単音節を収録したものである。ヘリウム空気の組成は62.5% He, 30% N₂, 7.5% O₂で、音速の計算値は大気の約1.6倍であった。今回の分析には自然な発声を期待できるニトカから主に文章を用いた。音声波形を一担計算機に読込込んで振幅包絡を抜き文章の継続時間を求め、必要区画のみ取り出してサウンドスペクトログラフによる周波数分析を行い、会話速度、ホルマント周波数、ピッチ周波数等を読取った。

図4は会話速度(継続時間)とピッチ周波数について潜水前の値に對する比を示したもので、話者ごとに傾向は若干異なるが、明らかに日変化が見られる。一方、ホルマント周波数には日変化が認められなかった。そこで、潜水前後の平均値を大気中のホルマント周波数とし、それと潜水前との平均値との関係を図5に示す。これらホルマント周波数の実測値は(1)式の理論的推測値に長く一致している。

文章の振幅包絡より有音者と無音者の相対的強さ関係を調べたところ、分析例は少ないが、ヘリウム音声では正常音声より、無音者の有音者に対する相対レベルが平均6.1 dB低くかった。

むすび

潜水前後と含め系統的に音声を収録分析して、ピッチ周波数や会話速度に、話者の異常環境への適応によると思われる日変化のあることを示した。音速や強度の変化は物理的要因にもとづくはずみにつまは、実測値と理論的な推測値がほぼ一致することを確かめた。

現在、海面下100m相当圧のヘリウム音声の分析を進めており、その場合の分析結果をも含め了解性改善装置の設計資料とした。また、より基礎的課題としては、ヘリウム空声中での声道共振特性の直接測定や声帯振動の空気力学的解析があり、また、異常環境への適応について、生理・心理の領域への対応関係を調べたい。

なお、ヘリウム音声の性徴等詳しくは文献(4)の第4,5章を参照されたい。

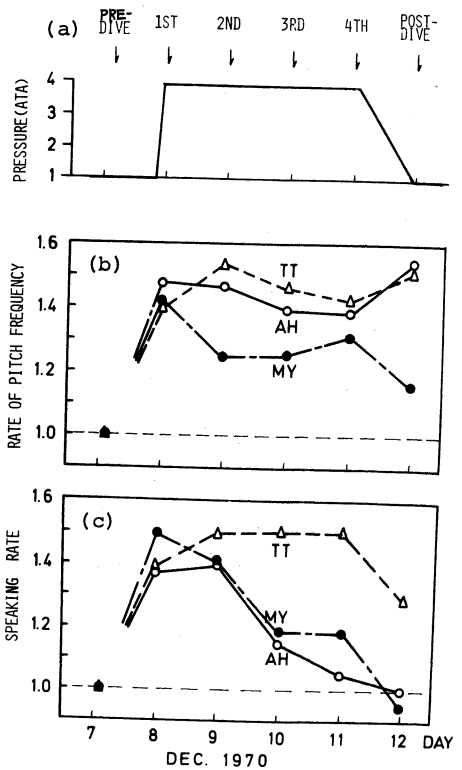


図4 (a) 船上減圧室内の圧力、(b), (c) ピッチ周波数と会話(文章)の継続時間; 潜水前の値を1としたときの比を示す

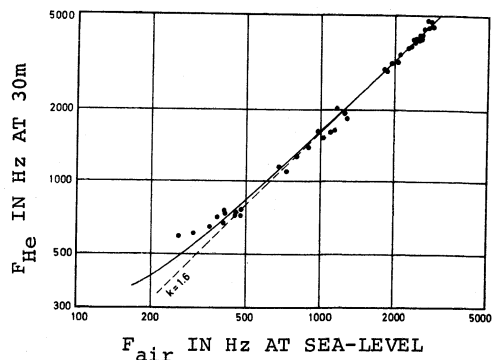


図5 大気中とヘリウム空気中のホルマント周波数の比較

参考文献

- (1) 梨本; 海中居住生活の条件, 自然 1970年11月.
- (2) Hollim, H. and Thompson, C.; CSL/ONR Rep. No.2, Univ. of Florida, 1967.
- (3) Fant, G. and Lindquist, J.; STL-QPSR V/1968, 7-17, Roy. Inst. Tech., Sweden.
- (4) 中澤幸, 渡木; 電液研報 26, 264-280, 1971.