

高压ヘリウム環境で発声した音声のまとりによる分析

郵政省電波研究所 鈴木 誠史 中津井 護  
 東京医科歯科大学 梨本 一郎 真野 喜洋

はじめに 海中居住のような高压環境では、生理的な障害を避けるためにヘリウムと主成分とした混合ガス(ヘリウム空気)が呼吸ガスとして用いられる。しかし、ヘリウム空気の中で発声された音声(ヘリウム音声)は著しくひずみ、一般に深度を増ると理解できなくなる。ヘリウム音声のひずみの原因としては、ヘリウムを使用したことによる音速の上昇、高压に起因した空気密度の増大、話者の適応調整があげられている。また、ヘリウム音声を正常な音声と比較すると、周波数スペクトルの拡大、その拡大率は低い周波数ほど大、無声音のレベルの低下、ピッチ周波数の上昇、話者遅延が遅くなる、居住期間中に音声の一部の要素が変化するなどがあげられている<sup>(1)</sup>。一方、このような物理的な分析と比較して、まとりによる分析はほとんど行われていない。ここでは、30、60、100 m相当圧で発声した単音節の明りょう度試験から、明りょう度と深さの関係、異聴の特徴について述べる。

表1 模擬海中居住で使用されたヘリウム空気の性質

Depth	GAS COMPONENT %			RATIO TO NORMAL AIR	
	He	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Density	Sound velo.
30 m	62.5	30.0	7.5	1.79	1.55
60	89.4	7.5	3.1	1.59	2.22
100	91.3	6.0	2.7	1.93	2.31

**音声資料** 音声資料は船上減圧室を利用した模擬海中居住実験で収録された。各深度のガス組成とその密度、音速を正常な空気と対比して表1に示す。音節表は67音節からなるCV音節表を用いた。

表2 音節明りょう度試験の諸要因

Depth	UTTERED			LISTENED		
	Speaker	Times	S/N	Listener	Times	Lists
0 *m	3	2	>30 dB	7	1	3x2x7
30	3	4	>30	7	1	3x4x7
60	1	1	≈ 5	7	3	7x3
100	2	1	≈ 5	7	3	2x7x3

明りょう度試験の諸元を表2に示す。音節表は編集の後1片

\* Normal speech

耳受話器 DR 305により提示された。音量は各自が自由に調整した。

**明りょう度の劣化** 表2に示したように、各資料は話者数、表数、SN比などの条件が異なるが、それら小母音とCV音節の明りょう度を算出した。その結果を図1に示す。SN比の相違を考慮しても、深度を増るとまとり小さくなることが判る。つまり、この結果は英語の単音節単語の了解度の傾向と同様である。

**分散分析** 0m、30m、100mの資料の明りょう度試験を構成する要因について分散分析を行った。ヘリウム音声では常に試験者間に有意差(1%)があり、話者では0mと100mで有意差を生じた。また、ヘリウム音声の評価は試験者によって異なること、話者が発声には素人であるため、正常な音声では差があり、異質ではあるが了解性のよい30mでは各資料が同じようにまとり、まとりの限界に近い100mでは話者の差があらわれたものと考えられる。

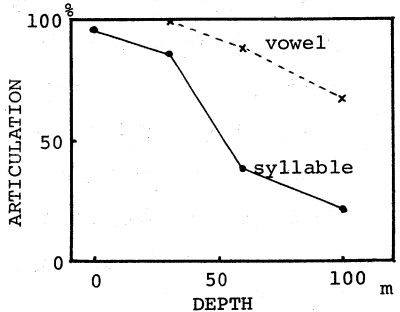


図1 深さ(圧力)と母音およびCV音節明りょう度の関係

母音の異聴

100m相当圧で母音明りょう度は70%以下に落ちた。このときの異聴の構造を図2(a)に示す。この図には正常な音声に雑音や他域高域ロハハみを加えた場合の異聴も記した。ヘリウム音

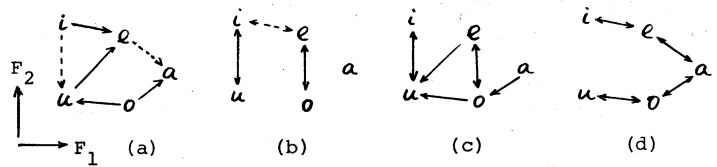


図2. 種々の条件下の音声の母音の異聴の傾向  
(a) 100m相当圧のヘリウム音声, (b) 白色雑音を加えた音声, (c) 他域ロハハみで処理された音声, (d) 高域ロハハみで処理された音声

声では異聴が一方向性であること, [o] → [u]以外はホルムント周波数(声道の共振周波数, 位次のものからF<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>...と略記)の高い母音にさきとらけていることに特徴がある。図3に母音のホルムント周波数を図示したが, ヘリウム音声の母音はそのホルムント構成に近い通常母音にさきとらげることが判る。なお, [i] → [e]ではF<sub>1</sub>のみが止く, 例外の[o] → [u]は[o]のF<sub>2</sub>が極めて弱いため生じたと考えられる。

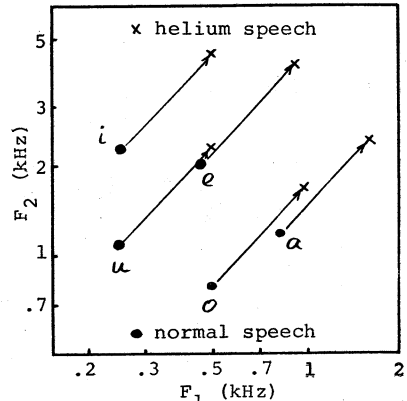


図3 母音のホルムント周波数の布置  
ヘリウム空気の音速は通常大気の2倍とした。

これらの異聴の結果から, 母音同定の聴空間は簡単にはヘリウム音声の聴空間に変更されなかつたものといえよう。

子音のさきとり 子音についても異聴表を作製したがこれを整理して, 表3に正しくさきとらけた音素, 多く答えられた音素, 誤った音素の

上位5種を記した。

表3 子音のさきとり結果の要約

Depth	RECOGNIZED		
	Most correct	Most frequent	Most incorrect
30 m	j, w, s, z, k	t, n, h, s, b	b, m, p, h, n
60	w, j, V, n, k	h, k, V, j, t	s, g, p, d, b
100	j, n, w, k, h	V, h, j, k, n	s, p, b, d, t

V: vowel

音が前の音素に誤りが多く, 後の音素は正しくさきとらけ, 或いは多く答えられている。

物理的な現象と関連して考えれば, 30mでは正しくさきとらけた[z]が深くなることは人ど判らないうこと, [j], [h], 母音のレスポンスが多くなることは, 空度の増大による無音強度の減少とS/Nの劣化の影響といえよう。F<sub>2</sub>の変化が音素の弁別に重大な役割を果たす有声はつ音の弁別は, 大幅なホルムント周波数の上昇のためには困難になり, 中でも調音素が前の音素は遷渡部分でF<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>が上昇するため, 他周波帯の共振周波数の上昇率が大さうこと<sup>(4)</sup>の影響を強く受けるものと考えられる。表4 音素と調音素の位置

	PLACE OF ARTICULATION		
	front	middle	back
UV stops	p	t	k
V stops	b	d	g
Nasals	m	n	

今後, 物理的な特徴とさきとりの関係の検討を更に深げるとともに, 了解性の改善にも努力する予定である。

(1) 中津井, 他; 高気圧環境医学誌, 6, pp. 39-40, 1971.  
(2) 鈴木, 他; 高気圧環境医学誌, 6, pp. 37-38, 1971.

(3) Hollien, H. and Tompson, C.; CSL/ONR Rep.No.2, Univ. of Florida, 1967.  
(4) 中津井, 他; 高気圧ヘリウム環境における音声のホルムント周波数の上昇について, 本誌会, B, 12.  
(5) Suzuki, J. et al.; Two approaches to improve the intelligibility of helium speech, The 2nd Int. Ocean Dev. Conf., C-3, No.17, 1972 (Tokyo).