

飽和潜水における環境制御の分析

構成員 菅匠実 田中義部 伊藤敦之 森田明紀 小比不園明 杉本英雄 ○大岩弘典

飽和潜水ではライフサポートに必要な生工学のデザインが生体の環境に対する適応をなし得る幅を有しなればならず、同時に環境制御に必要な各種測定器の校正法や精度の判定の技術が要求される。そこで飽和潜水における生体の温度平衡をみるに諸条件と決定すべき基本的技術と検討した。

水銀寒暖計の圧力応答性：検定済みの温度計を校正されたサミスターで検出される。0.01°Cの最小誤差を有する恒温槽を高压室に入れ、4 ATAに加圧し、恒温槽の直線性を検走したあと水銀寒暖計5本と恒温槽で1ATAと4ATAで検走した。1ATAでは寒暖計は平均0.15°C (SD 0.13) 低くなり、4ATAでは平均0.36°C (SD 0.21) の誤差が得られた。圧力が高い程少し高めに出力と思われぬ。(図1)

熱電対測温計の校正：上記検定済み水銀温度計を用いて4ATAまでの校正をおこなう常用温度(20~35°C)内での直線性と精度を検定した。(平均0.4~0.6°C 偏位を認めぬ)

湿度測定誤差：高压下では空気密度が高いため湿度球表面の必要風速と妨げ湿度測定誤差原因をつくる。このため環境蒸気圧と平衡で内部湿度の変化が直接湿度%で表わされる塩や高分子を用いる電気抵抗変化のものがある。これらの機器も著しく理想気体からずれた非常に高い圧力下では校正が必要だとされている。普通の標準乾湿球湿度計算回表は一種類(空気) 大気圧用で、組成比と圧力の変わった場合に適用できない。

湿度回表(Psychrometric Chart)の計算：0~30mで組成比の変わる種々の人工雰囲気ガスに適用するために深度1m毎、ヘリウム組成比10%毎としたものを作成するため、1.乾燥気体の比熱(Cp)は Cp(He)=4.765 BTU/mole, Cp(Air O2 N2)=6.51 BTU/mole. 2.乾燥混合ガスの比熱(Cpm)は付加法則を用いる。Cpm=4.765(xO2+n2)+6.51(xHe). 3.湿潤混合ガスのエンタルピー-h mixture は組成ガス各々のエンタルピーと水蒸気各々のエンタルピーの和である。h mixture = hd + hw = (Cpm) dt db + hw (但し t db 乾球温度). 4.湿度モル分率(xw)は環境圧力(P)と一定にした場合、飽和水蒸気圧(PS)が温度t(°C)により変化するので、xwは温度により変る。種々の定数(P)値に對するxwを求め

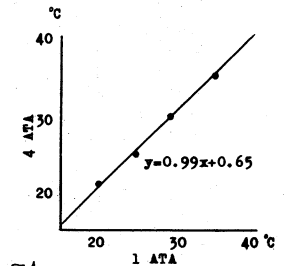


図1 Errors of Mercury Thermometers at 4ATA

表1

Set. Vapor Pressure t (°C) Pa(ATA)	Conversion Depth to Abs. Pressure -depth (m) Absolute Pressure(atm)
0 0.000	0 1.0000
2 0.002	1 1.0092
4 0.004	2 2.0184
6 0.006	3 3.0276
8 0.008	4 4.0368
10 0.010	5 5.0460
12 0.012	6 6.0552
14 0.014	7 7.0644
16 0.016	8 8.0736
18 0.018	9 9.0828
20 0.020	10 1.0920
22 0.022	11 2.1012
24 0.024	12 3.1104
26 0.026	13 4.1196
28 0.028	14 5.1288
30 0.030	15 6.1380
32 0.032	16 7.1472
34 0.034	17 8.1564
36 0.036	18 9.1656
38 0.038	19 10.1748
40 0.040	20 11.1840
42 0.042	21 12.1932
44 0.044	22 13.2024
46 0.046	23 14.2116
48 0.048	24 15.2208
50 0.050	25 16.2300

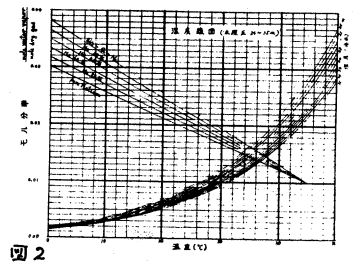


図2

表2

$$h_{tot} = 6.6 \times 10^{-8} (T_s^4 - T_{mrt}^4) - A_c \epsilon_c (T_s - T_a)^{1.25}$$

$T_s$	$T_a$	$T_{mrt}$	$Q_r$	$Q_c$
32.2°C	30.8°C	26.7°C	25.4 Koal/hr	77.8 Koal/hr
32.0°C	28.8°C	26.7°C	82.3 Koal/hr	76.3 Koal/hr
31.8°C	26.8°C	26.7°C	143.8 Koal/hr	74.8 Koal/hr

3. (表1).  $x_w = \frac{P_s}{p - P_s}$

5. 相対湿度は乾燥温度における飽和気体湿度の比から求める。(図2).

露点湿度計の校正: ヘリウム 64.25% を含む O<sub>2</sub> と N<sub>2</sub> 混合ガスの 0~30m 加圧下の露点湿度計から得られた値と湿度図表から求めた相対湿度は大体において一致した。

体温温度平衡: 生体の温度平衡における気体と高圧との関係については Nevins (1965) の理論式を用いた。これは 61ATA までのヘリウム環境における環境温度と蒸発、輻射熱損失 (QR) と体流熱損失 (QC) を示したものである (表2)。30m における人工雰囲気中の T<sub>mr</sub> は 26.7°C とした場合、最適温度は 30.8°C であり、環境温度の低下は大気圧に比べて高くはる QC とそう大きく増えはるが、QR は異常に高くなる。T<sub>mr</sub> は環境ガスの熱伝導に影響されるので環境ガスの組成比と一定に保つ工夫が必要である。

雰囲気中の熱伝導度: 30m 環境ガスの組成比の基準値と変動幅に対する熱伝導の比較を示す (表3)。閉鎖環境における圧変動に対する "keep" 用ガスの組成が雰囲気中の組成に影響するので、シートピアにおける海中基地を想定して、組成ガス中の N<sub>2</sub> 比の変動を求めた (図3)。その結果 "keep" の N<sub>2</sub> 濃度を 28% とした。

体熱損失のシュミレーション: DDC 内に 1.7m<sup>2</sup> の表面積をもつ円筒の金属桶に水を入れ 37°C にヒーターで温め、積算電力計につないだ。DDC 内は 30m の雰囲気中で加圧し、そのときの環境温度を計算で求め、30.8°C に保つための必要カロリー量を求めた (図4)。

(結論) 飽和潜水における環境制御の分析とあわせて、環境温度の測定、制御の方法を理論的に求め、生体適応の判定の一助とした。

(註) シュミレーションによるガミーの heat loss が average 239 という極めて高い値には、たのは電気回路のリレーに故障が生じたためである。

表3 環境ガスの分圧と組成

Gas	Pressure		Composition		Range		Composition	
	(ATA)	(mmHg)	(%)	(%)	(ATA)	(mmHg)	(%)	(%)
O <sub>2</sub>	0.30	228	7.36	0.33-0.27	251-209		8.75-6.75	
N <sub>2</sub>	1.13	858	28.25	1.13-0	858-0		28.25-0	
He	2.56	1945	64.25	2.63-3.73	1945-2834		64.0-93.25	
H <sub>2</sub> O	0.01	7.6	0.25	0.01-		7.6-	0.25-0	

表2 熱伝導率の比較

気体	組成比 (ATA)	熱伝導率 (W/mK)	熱伝導率 (Cal/cm <sup>2</sup> sec <sup>2</sup> )	熱伝導率 (Kcal/hr/m <sup>2</sup> )	
空気	0.098	1.63	139.32	199.2361x10 <sup>-7</sup>	4.25
ヘリウム	0.99	0.74	196.45	266.2894x10 <sup>-7</sup>	5.68
空気			100.66	66.8815	1

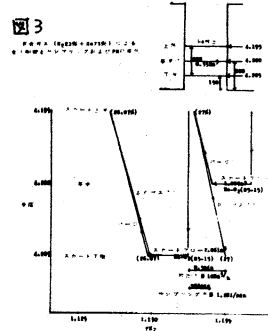


図4 Simulation Profile

Pressure (ATA)	Temp. (C)	Humid. (%)	Heatloss (Kcal/hr/m <sup>2</sup> )
1.0-4.0	27.2-34.0	94-44	
3.9-4.0	28.8-31.6	66-71	
3.9-3.5	28.8-30.1	66-75	mean
3.5-2.7	28.3-30.2	70-75	239?
2.7-2.3	28.8-29.8	66-75	
2.3-1.4	28.8-29.7	55-70	
1.4-1.0	28.8-30.2	89-70	

