

酸素缺乏の聴力に及ぼす影響*

所員 淡路圓治郎
黒木總一郎**
倉橋克***

1. 最近、航空通信の發達に伴ひ航空機にて高空に上昇せし際の聴覺の機能が重要視せられるに至つたが、航空機にて高空に上昇せる場合聴力の減退する事は從來の實際の航空の體験乃至は諸種の實驗に基き屢々報告されてゐる。

古く鳥居氏⁽¹⁾はガラス氣槽中の氣壓を低下せしめ、其の中に入れてモルモットの聴力をゴルトン笛にて檢せし所、氣壓 333mm Hg (4700m の高度に相當)にてプライエル反應の消失するを認めた。而して

- (1) 音は高調となるに従ひ、より高度の低氣壓内に於ても動物は之を聴取し得。又復壓時には高音程反應の恢復が速かである。
- (2) 氣壓低下の速度大なる程動物は速かにプライエル反應を示さざるに至る。
- (3) 動物を一定の低氣壓内に保留する時は一定時間の後最早プライエル反應を示さざるに至る事を報告した。

海軍の田中⁽²⁾、豊島兩氏は圓壙形鐵室に於て人間を被験者とし各種氣壓下にてオトアウヂオンを用ひて聴力を測定せる結果次の事實を見出した。

- (1) 減壓時難聴は減壓に伴ひ其の度を加ふるも 5km 相當氣壓附近より著明である。而して難聴の度は低音及び高音域よりも中等音域に著しい。
- (2) 減壓時の難聴は半氣壓以下では 6 分間の同一氣壓滞在により正常に恢復するもそれ以下の氣壓では僅かに輕減するのみ。
- (3) 復壓時の聴力は常壓に近づくに従ひ恢復す。
- (4) 常壓に復歸後の難聴は双曲線を描きつゝ恢復、15 分内外で正常となる。
- (5) 以上の如き氣壓低下に基く難聴は酸素吸入により輕減されない。
- (6) 氣壓變化による難聴は歐氏管通氣により恢復を著しく促進さる。
- (7) 以上の如き難聴は氣導聴力に認められるも骨導聴力には認められない。
- (8) 従つて以上の如き氣壓變化による難聴は中耳傳音系の障礙によるものである。

ドイツの Hartmann⁽³⁾ は同じく低壓室に於て Struycken-Schäfer の Monochord を用ひて

* 義勇財團海防義會よりの研究費補助による「高空に於ける飛行家の知覺變化とその對策」に関する研究中の一部。

** 東京帝大文學部心理學研究室助手。

*** 東京帝大文學部心理學科學生。

(1) 鳥居惠二：低氣壓ノ聽器生理ニ及ボス影響ニツイテ。耳鼻咽喉科京都臨床 15 (大正 12 年)。
(2) 田中肥後太郎、豊島豊：低壓ノ聴力ニ及ボス影響 海軍軍醫會雜誌 23 (昭和 9 年)。
(3) Hartmann, H., : Die obere Hörgrenze bei Sauerstoffmangel, Luftfahrt medizin, Bd. 1 (1937)。

骨傳導による最高可聴限界を測定。

- (1) 氣壓の低下に伴ひ最高可聴限界は低下す。(7km 相當氣壓にて約 2000 振動の低下。但し常壓に於ける最高可聴限界は 20000-22000 振動)。
- (2) 氣壓の低下に伴ふ可聴限界の低下は酸素の補給により直ちに恢復す。
- (3) 上述の如き可聴限界の低下は高空耐性 Höhenfestigkeit の小なる人に於てはより早く現はれ、且顯著である。
- (4) 6km 相當氣壓にて肉體労働をせしめた所、可聴限界は低下し、同時に高空病の徴候があらはれる。

との結果を見出し、斯る方法により失神前に高空耐性を検査する事が可能であると説いてゐる。

アメリカの Gellhorn, Spiesman⁽⁴⁾ は常壓下、Douglas Bags を用ひ酸素の缺乏せる空氣を 8-30 分間吸入せしめし際の聽力を 2A-Audiometer にて測定せし所、聽力は著しく減退(主として $C^3=1024$ 振動の音を用ひたが $C=128$ 振動、 $C^3=4096$ 振動振動にて同様であつた。)又 CO_2 過剰(2-8.4%)の空氣を吸入せしめし際にも同様聽力の減退を來す事を見出した。而して斯る O_2 缺乏による聽力の減退は中樞の神經組織の化學的變化に基くと結論した。

一體航空機により高空に上昇せし場合の如く氣壓の低下せる場合に生ずる聽力減退の原因としては、氣壓の變化に基く中耳傳音系の變調と、氣壓の低下に基く生體内の O_2 缺乏の二原因が考へられるが、以上諸家の結果は此の點につき相矛盾する如き感を與へ、兩原因の關係については未だ十分明かなりとは言ひ難い。

本研究は如上の疑點を明らかにせんため、且は高々度飛行に於ける聽覺を主とせる複雑なる精神作業の研究の豫備的研究として行ひたるものである。

2. 實驗手續、聽力測定

- (1) 低壓室實驗 (イ) 酸素補給せざる場合。
(ロ) 酸素補給の場合。

- (2) 窒素稀釋空氣吸入實驗。

實驗は上の如き二種類の條件下に行つた。

〔聽力測定〕 聽力は極限法により各種振動數の音に於ける刺戟閾を求める事により測定した。即ち音の強度を 5db の段階にて次々に弱くし最後に聽えなくなる限界(之を丁度不可知閾といふ)を求める、(下降系列)。次に同じく 5db の段階にて、聽えない程度の強度より段々と強度を増し、聽え始める限界(丁度可知閾)を求める(上昇系列)。之を下降、上昇、上昇、下降と四回行ひて得たる丁度可知閾、不可知閾の平均値を以て、刺戟閾とする。従つて刺戟閾は低い程、聽力の良い事を示す譯である。

〔聽力検査器〕 筆者がさきに聾者の聽力を検査する爲に試作せしもの改良型⁽⁵⁾。從來の電

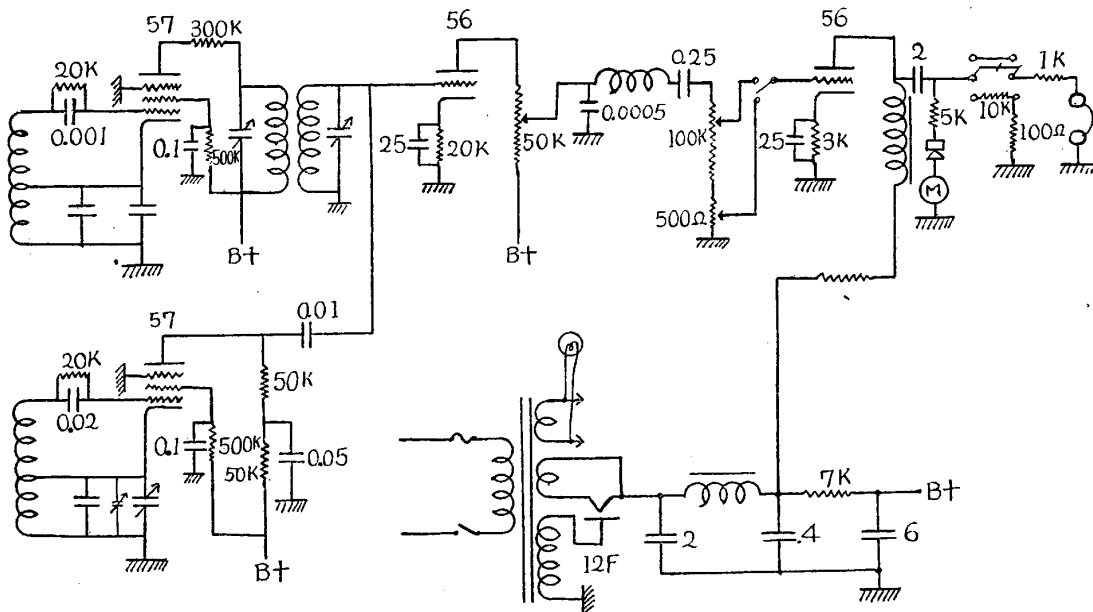
(4) Gellhorn, F., Spiesman, I. G., : The influence of Hyperpnea and of O_2 -and CO_2 -Tension in the inspired Air upon Hearing. Amer. J. Physiol. 112 (1935).

(5) 黒木總一郎; 心理學研究 15 卷(昭和 15 年) P 115. 尙本聽力検査器の較正について逓信省電氣試験所第二部大橋幹一氏、高橋歳一郎氏より賜つた御便宜御指導に厚く御禮申し上げ、又同器を製作され、度々の改造の勞を惜まれなかつた土橋研究所土橋晴夫氏にも此の機會に感謝の意を表す次第である。

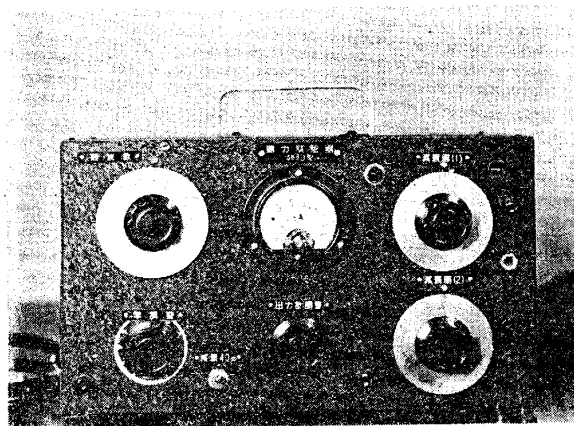
氣的聴力検査器にあつては、出力の一定を期し難く、殊に電源電圧の變化、或は真空管其の他の部品の性能低下により出力の指示を信頼し難くなる缺點を有したので、本器に於ては出力調整用の抵抗器と出力計を併用して出力の一定を計つた。

音の強度は終段増幅管のグリッドに接続せるポテンシヨメーターに db 目盛を附して表はした(第1表参照)。

周波數較正には音叉(C₃)を用ひた。唸周波發振器なる爲(第1圖参照)周波數の多少の動搖は免れなかつたが、使用30分前にスイッチを入れる事により實用上は差支へなかつた。

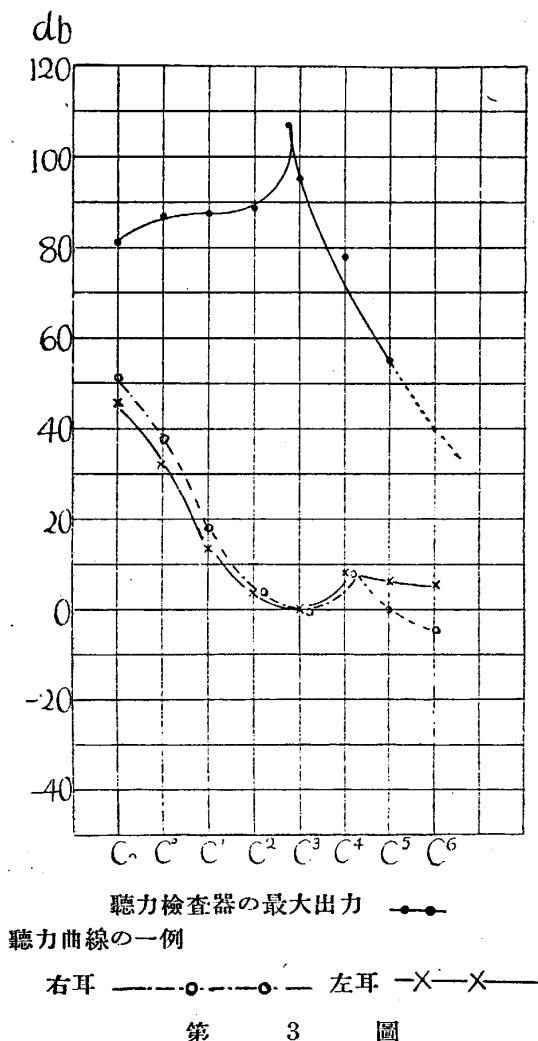


第1圖 聴力検査器配線



第2圖 聴力検査器

發振器の出力は各周波數に汎り略々一定であつたが、受話器が一般無電用のものにて周波數特性悪く殊に高音部の感度低き爲、検査器の周波數綜合特性に望ましいものを得られなかつた。(第3圖参照)此の點改良を必要とする。



第1表 強度調整用抵抗の目盛

目 盛	測 定 値	抵 抗 値
0 db	0 db	100,000 Ω
-5	-4.4	56,200
-10	-9.7	31,620
-15	-14.8	17,800
-20	-19.7	10,000
-25	-24.8	5,620
-30	-29.5	3,162
-35	-34.6	1,780
-40	-39.6	1,000
-45	-46.1	562
-50	-50.5	316
-55	-55.6	178
-60	-60.4	100
-65	-65.5	56
-70	-70.6	31
-75	-76.8	17
-80	-82.8	10

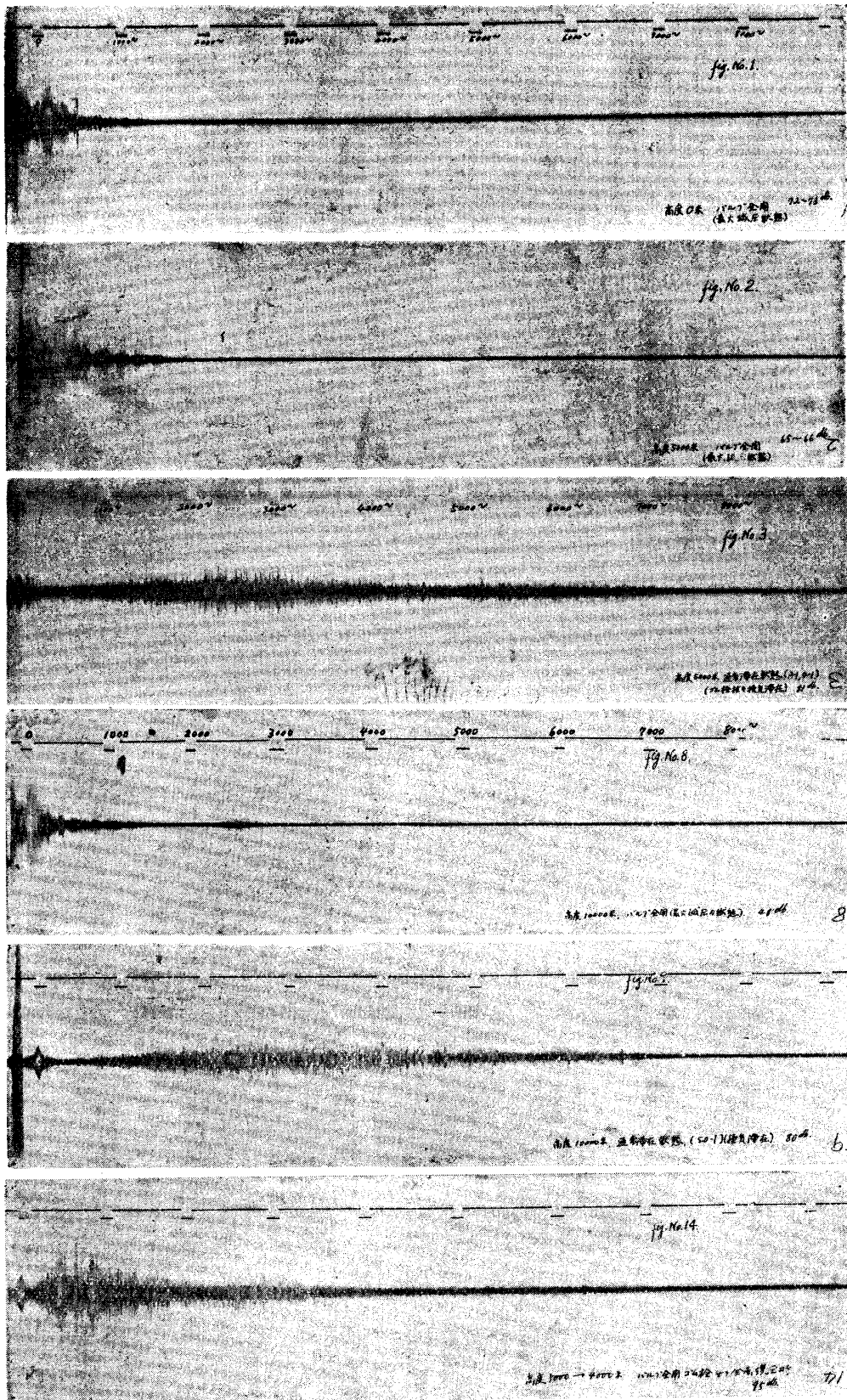
此の表の 0 db は最大出力を表す

3. 実験結果

(A) 低圧実験. 其の一. 低圧室は航空研究所所屬直徑 2.48m, 長さ約 10m の鐵製圓筒にて上昇速度(減壓速度)は 3000m 迄は 1000m につき 8—9 分. 右排氣の爲の電動機音及びボンボンといふ排氣音は密閉せる低圧室中に於ても相當喧し. 尙此の騒音は減壓に伴ひ強さが減じる様に感じられる. 同一高度滞在中は換氣の爲減壓しつつ同時に送氣孔のゴム栓を抜き, 排氣と同量の空氣を流入せしめ氣壓の平衡を保たしめた. 此の流入音は調子高く相當の妨害音となつた. (第 12 圖)

本實驗遂行に伴ふ騒音はなるべく出さしめざる様にし, 又避けたるも, 低壓下の情緒の動搖時には抑止し難き場合もあつた.

以上の如き騒音は一定に保ち難き性質なるを以て, その點は十分考慮しつつ實驗を施行したるも實驗結果の一犠牲を少からしめたる感少しとせず.

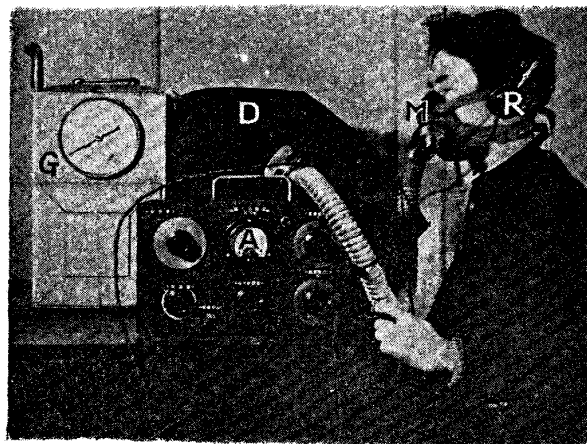


第 12 圖 低壓室内の騒音分析圖 (日本電氣製 1-c 周波数分析器による)

第2表 低圧室内騒音強度

高 度		騒音強度
0m	減壓弁全閉(無排気)電動機音	40-41 db
"	減壓弁全開(排気音)	77
1km(上昇)	" ゴム栓全閉	75
2km(上昇)	" "	68
"(滞在)	減壓弁 $\frac{1}{3}$ 開, ゴム栓開(流入音)	73
3km(上昇)	減壓弁全開, ゴム栓全閉	68
"(滞在)	(流入音)	78
4km(上昇)	減壓弁全開, ゴム栓全閉	68
"(滞在)	減壓弁 $\frac{1}{4}$ 開, ゴム栓開	80
5km(上昇)	減壓弁全開, ゴム栓全閉	67
"(滞在)	減壓弁 $\frac{1}{4}$ 開, ゴム栓開	79
"(下降)	ゴム栓2ヶ抜き, 復圧バルブ開	95
3km(")	"	93
2km(")	"	86

日本電気製 C-2 型 騒音計 = ヨル測定
 $0db = 2 \times 10^{-4}$ Bar

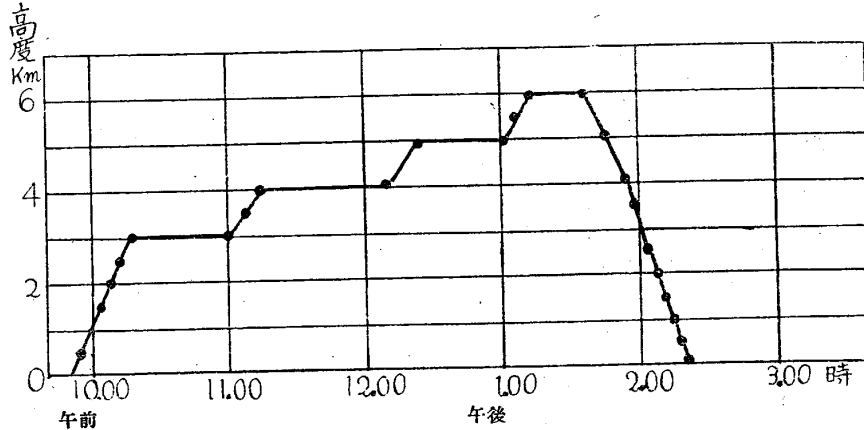


第13圖 窒素稀釋空氣吸入實驗

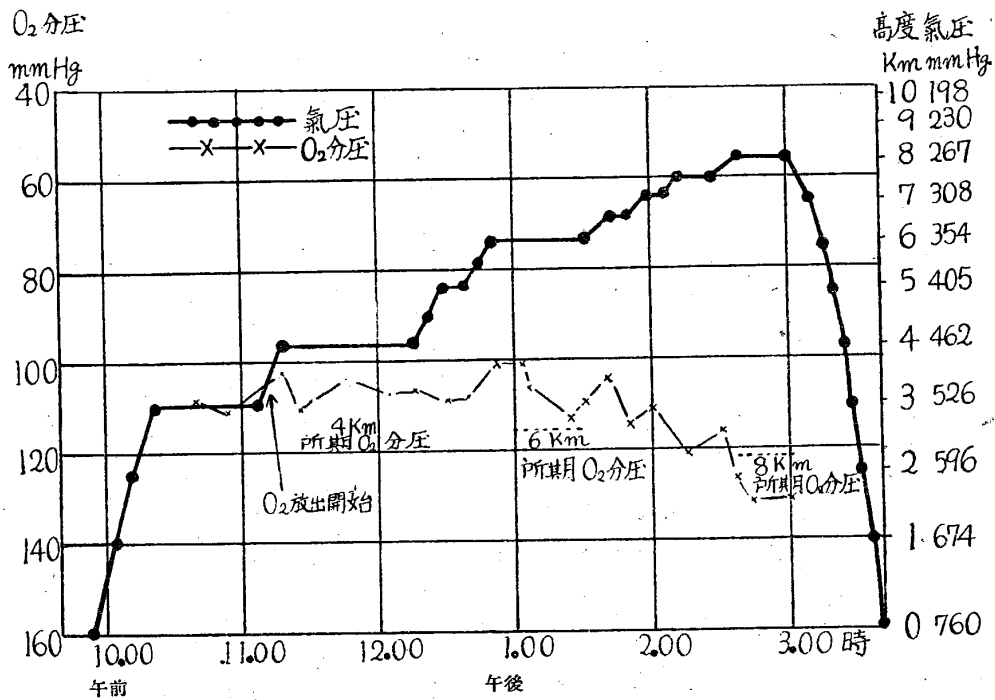
G' ガスメーター M マスク A 聴力検査器
 R 受話器 D ダグラスバッグ

實驗期日は昭和16年4月21日(酸素無補給時)(第4圖)及び4月2日(酸素補給時)
 酸素補給時には3km相当以下の低圧となりたる際、室内に酸素を放出し、3km相当気圧

時と同様の酸素分圧を保つ様にした。(第5圖参照)炭酸ガスは苛性ソーダーにより吸収せしめ、1%以上にならない様に調整した。



第4圖 低壓實驗其の一ニ於ケル氣壓變化ノ狀態 (16. 4. 21)



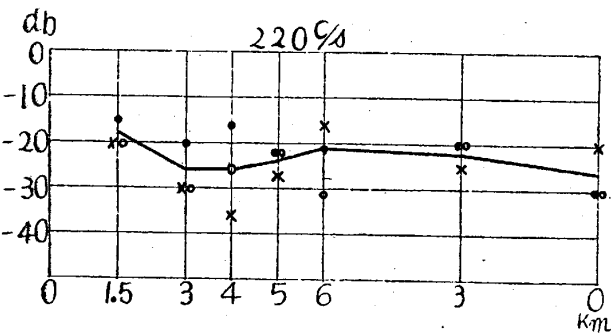
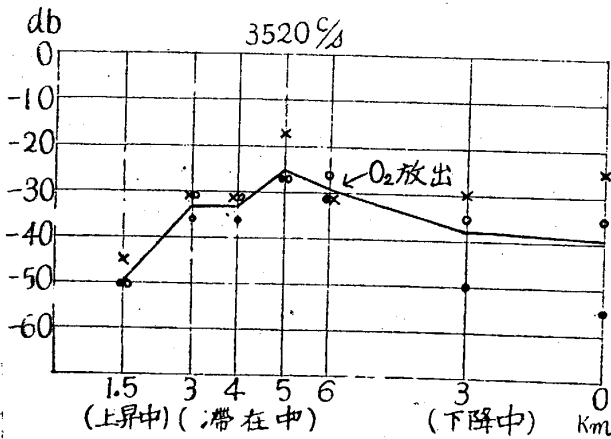
第5圖 低壓實驗 其の一 (O₂ 補給時) ノ氣壓ト O₂ 分壓

被験者は聴力正常なる成人男子3名、兩耳に受話器をあて、右側の受話器のみを鳴らして聴力測定を行つた。

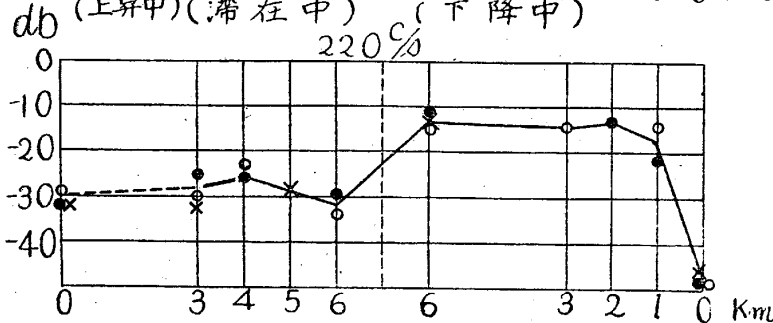
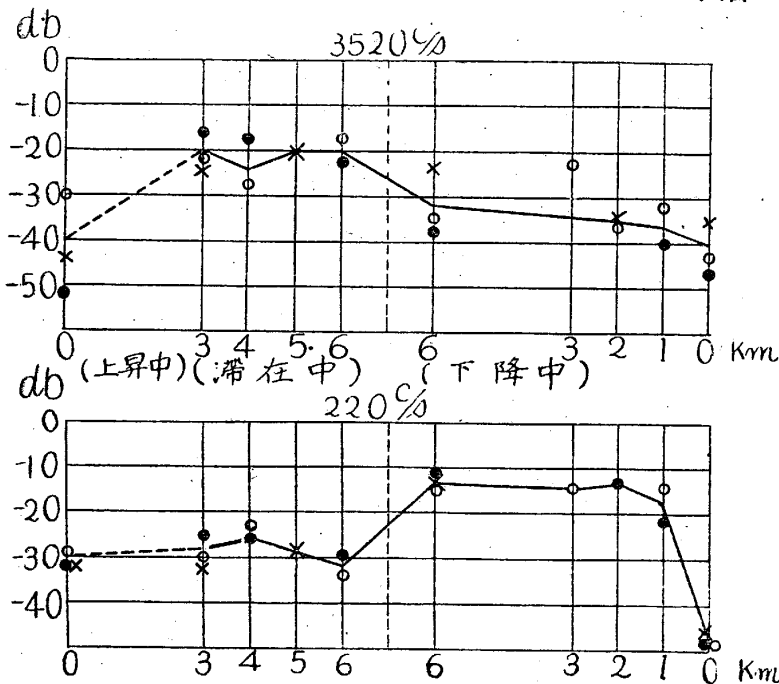
〔結果〕(第6圖, 第7圖, 實線を以て三人の平均値を示す。横軸は氣壓をその相當高度にて示し、縦軸は音の強度 db にて示す。但し 0db は検査器の最大出力)

(1) 第6圖に見られる如く酸素を補給せざる場合には上昇(減壓)に伴ひ高音の刺戟閾は上昇し、下降(復壓)に伴ひ閾は下降す。

6kmにて氣分悪くなりたる者生じたる爲酸素を放出せしが、此の際、閾は低下す。



第6圖 低壓實驗 其の一

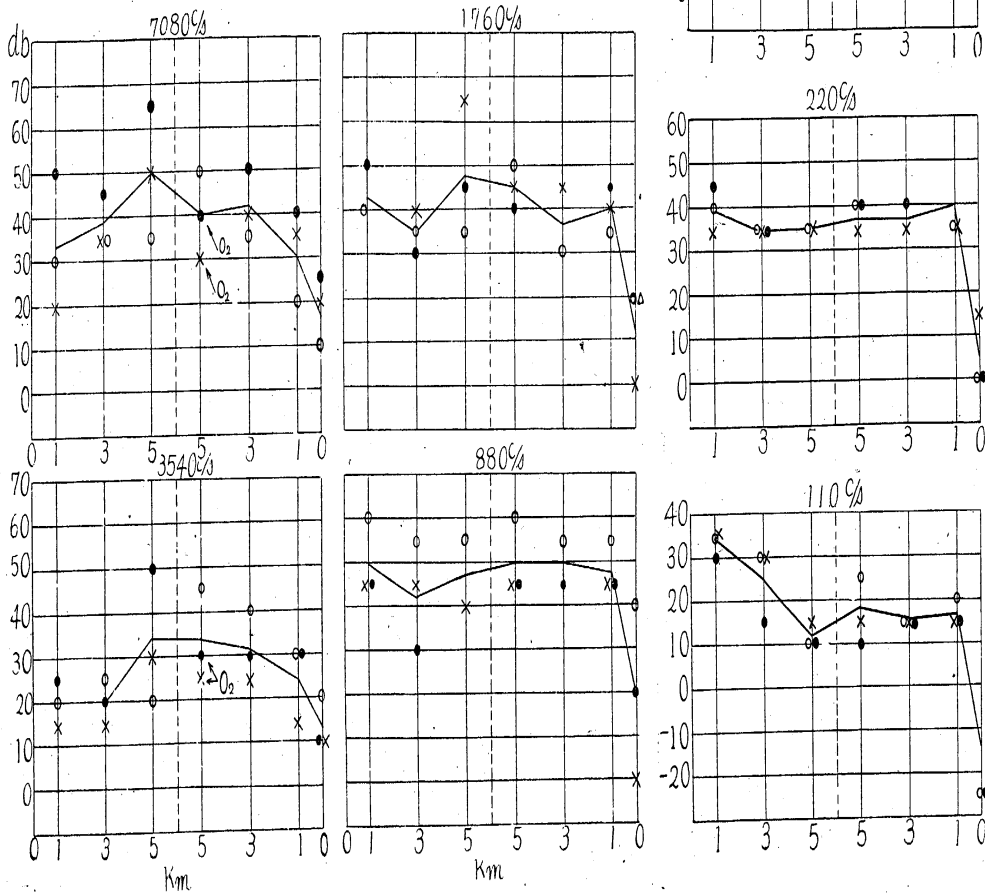


第7圖 低壓實驗 (O₂ 補給時)

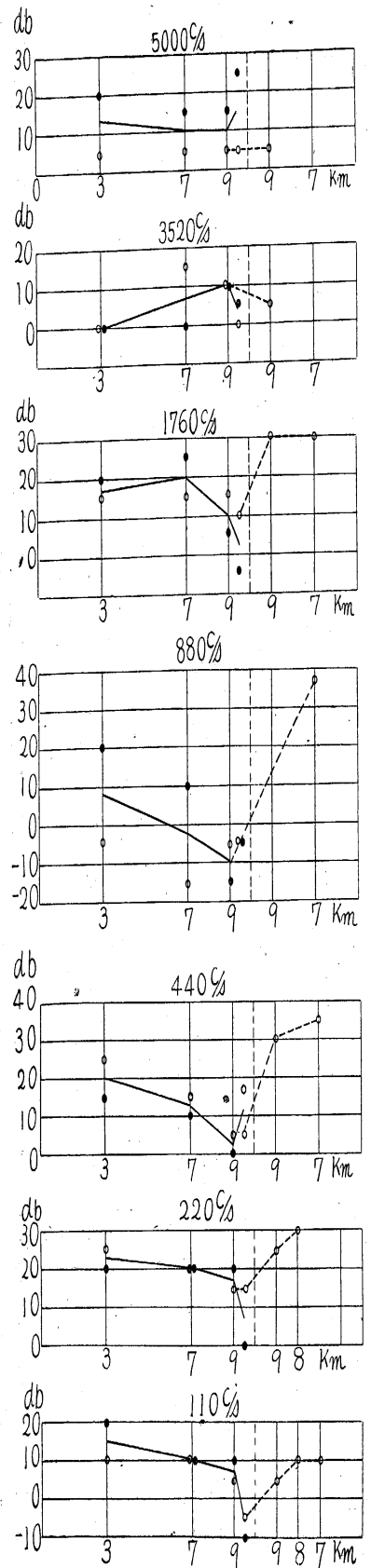
- (2) 低音の刺戟閾には各高度共、大した變化は見られない。
- (3) 次に酸素を補給せる場合は高低音とも減壓に伴ふ閾の低下は認められない。(第7圖)
- (4) 流入音の遮蔽効果は高音に對して著しい。(各高度に於て5—10db)従つて第6圖の1kmと3km. 第7圖の0mと3kmの閾の差は主として流入音の有無に基くものと解せられる。
- (5) 減壓時には500—1500m附近に於て鼓膜の凹凸するを感じ、復壓時には鼓膜に著しい痛みを感じる。此の痛みは復壓に伴ひ益々甚しくなり唾液を呑み込む事により歐氏管に通氣するも救済し難くなる。
- (6) 斯る氣壓變化に伴ふ耳痛は始めて低壓を経験せし際に最も著るしく、後回を重ねるに従ひ著しく軽減す。
- (7) 耳痛の有無に拘らず、復壓時には低音の刺戟閾は著しく上昇する。(第7圖参照)

(B) 低壓實驗 其の二

上述の實驗により酸素不足が高音に對する聽力に影響を及ぼすべき事を知つたが、一定高度(氣壓)滞在中流入音が特に高音に對し影響を及ぼす様子であり、且つその性質を明かにし得ないので、本實驗では流入音のない上昇中に聽力を測定した。(従つて圖中の1, 3, 5km等は1—2, 3—4, 15—6kmを示す。又本實驗に於ては測定之音の種類を多くした。



第8圖 低壓實驗 (其の二)



第9圖 低壓實驗 (其の二) (O₂ 補給時)

聴力測定法は前同様極限法によるが、測定時間に制限を受けるので、上昇、下降系列各一回とした。

〔結果〕(第8圖, 第9圖)(第9圖の酸素補給時には前實驗同様 3km 以上の高度では酸素を放出して O_2 分壓を 3km 相當に保つた。0db は各人實驗前常壓に於ける刺戟閾を表はす。)

- (1) 酸素を補給せざる場合(第8圖)には減壓に伴ひ 7080, 3540, 1760 振動の音の刺戟閾は上昇してゐる。尙被験者の内2名は復壓時 6—5km の間にて酸素を吸入せしが、その時の閾は減壓時の 5—6km に比し低くなつてゐる。
- (2) 酸素を補給せる場合(第9圖)には 10km に至る迄減壓に伴ふ閾の上昇は認められず、880 振動以下の音ではむしろ閾は低下してゐる。
- (3) 以上の結果より見るに減壓に伴ふ高音に對する聴力の減退は酸素缺乏に基くものと考へられる。
- (4) 減壓に伴ひ低音に對する刺戟閾が却つて低下するのは、排氣音が減壓に伴ひ小となり(主觀的には非常に靜かになる様に感じられる)遮蔽される度の減じたるに基くと考へられる。
- (5) 第9圖に於ては復壓時の刺戟閾の上昇が認められるが、此は氣壓變化に基く中耳傳音系の失調と、流入音による遮蔽効果とによるものであらう。

(C) 窒素稀釋空氣吸入實驗

上述の低壓實驗により、低壓時には酸素缺乏に基き、高音に對する聴力が減退する事が判つたが、此の事實は Gellhorn が酸素缺乏による聴力減退の度は高中低何れの音に對しても大差なしと述べ、又田中氏が低壓下の聴力減退は中等高度の音に於て稍々著しいと述べてゐるのと被影響音の高さの點につき矛盾する。果して酸素缺乏により本實驗に見られし如く高音に對してのみ聴力減退を來すものか、或は各種高度の音に對して同様の影響を及ぼせしが、低壓室の機構上止むを得ざる騒音の影響により、かく高音のみに影響を及ぼせし如き結果が生ぜしか、此の點を明かにする爲に、以下の實驗では、騒音の生じる恐れのない常壓下、窒素稀釋法により、酸素の不足せる空氣を吸入せしめし際の聴力を測定した。

〔實驗裝置〕

- (1) 瓣付マスク
- (2) 窒素 150 氣壓ポンペ入
- (3) ダグラスバツグ(容量 80 立 15 分間使用し得)
- (4) ガスメーター
- (5) 聴力検査器(上述)

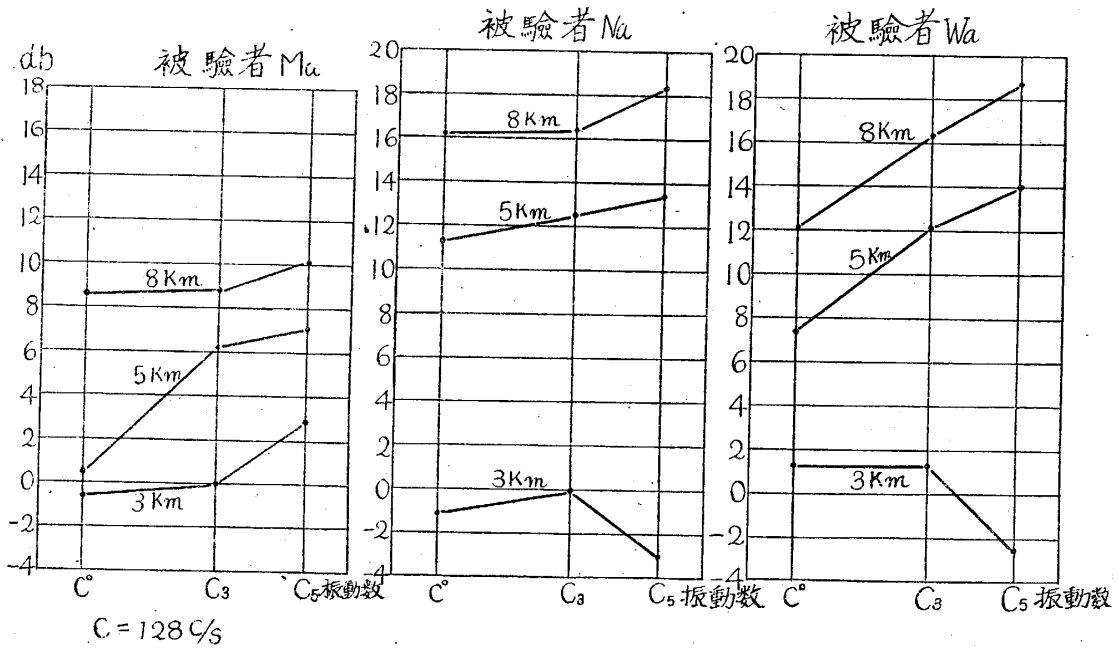
〔實驗條件〕

窒素にて稀釋せし空氣をマスクを通じて呼吸せしめ、その際の聴力を測定する。聴力測定の手續は前同様極限法上昇下降系列各々二回にて刺戟閾を求める。時間の制限上、測定する音は C^0 (128 振動) C^3 (1024) C^5 (4096) とす。ガス吸入後 5 分の後測定を開始する。

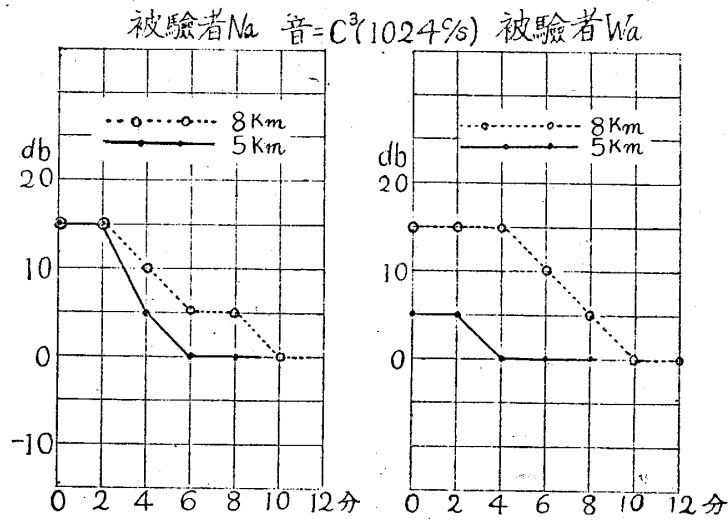
窒素混合の割合は第3表による。

第3表 窒素混合比率

相当高度	N 容積	空気容積
3 km	0.5	1
5 km	1.0	1
8 km	2.5	1



第10圖 O₂不足空氣吸入實驗



第11圖 O₂不足空氣吸入後，聽力恢復狀態

実験期日は昭和17年5月—7月。被験者は聴力正常なる大學生3名。何れも豫め聴力測定を何回か受けたる者。

〔結果〕 (第10圖) (第11圖)

マスクを附せざる時の刺戟閾を0dbとして、各高度の刺戟閾を被験者別に示すと、第10圖の如くなる。

- (1) 程度の差はあるが、各人共、吸氣に含まれる酸素の%が低下するに従ひ聴力は低下す(刺戟閾は上る)。
- (2) O_2 %低下に伴ふ聴力減退の度は高音程著しい。但し3km相當の O_2 %では高音に對する聴力はむしろ良くなつてゐる場合が見られる。
- (3) 3km, 5kmにては主觀的には何等平常と變る事なく、8kmの時、呼吸困難と頭痛を訴へた。
- (4) 上述の O_2 缺乏状態に於ける聴力測定後、マスクを取りはずして後の刺戟閾は第11圖の如くなつた。即ち8kmの場合は恢復に10分を要した。

4. 結 言

- (1) 低壓或は窒素稀釋何れの方法によるも、吸氣の酸素分壓の低下により聴力は障害を受ける。此の事は5km以上の高度に相當する酸素分壓の場合著しく、低音より高音に著しい。
- (2) 斯の如き聴力障害の原因はGellhornの言ふ如く中樞に存するか、或は蝸牛殻乃至聽神經の如き末梢に存するかは、所謂Wever-Bray効果の如きを見る事により検討の必要があらう。
- (3) 酸素分壓の低下の聴力に及ぼす影響の度は個人により相違し、又同一人によつても、身體状態、慣れ等により相當に變化する。此が全身的の所謂高空耐性の診斷に利用し得るか否かは今後の研究を必要とする。
- (4) 低壓實驗に於ては、氣壓の變動により聴力の減退を來す事が見出された。此は減壓時よりも復壓時に、高音よりも低音に著しい。恐らく鼓膜内外の氣壓の不均衡に基く中耳傳音系の變調に基くものと考へられる。

此の問題は航空機の上昇下降の速度の大となりたる現在組織的な研究を是非必要のするであらう。