

# 高空飛行に對する人間の耐久力に就いて

所 員 淡 路 圓 治 郎  
嘱 託 豊 原 恒 男

## 目 次

緒 言	(b) 高空病の症状
第一 低壓及び酸素缺乏	(c) 高空病出現の個體差
A 低 壓	(d) 高空病に於ける順應
B 酸素缺乏	(e) 酸素缺乏に對する對策
(a) 酸素缺乏に對する抵抗力の限界	第二 低温及び低濕

## 緒 言

本稿に於て我々は、高空飛行に對する、人間の耐久力に關しての、從來の研究結果を、若干、綜合的に紹介し、

1. 高空飛行に際して、その防護方策を實施すべき時期（高度）に關する知見をまとめ、航空機搭乗者並びに、高空用飛行機の設計、製作に當る者に對して、一助たらしめ、
  2. 航空機乗務員に好ましき、適性の一種として普通に考へられてゐる低壓及び酸素缺乏に對する耐久性の強弱判定に關する、検査條件の設定に對して、一資料たらしめやうと思ふ。
- 従つて、數多の研究の中で上の目的に、比較的、直接に觸れたものゝみを、拾ひ上げ、高空に於ける生物學的機構を解明の爲の、純理論的な實驗結果及び討論の紹介は、之を他日、我々の實驗發表の機會に、夫々譲る事とし、茲には、主として、人間の耐久情況、並びに、耐久限界に關する知見を確立する意味に於て、種々なる人々の實驗結果や體驗事實を分類紹介し、併せて、その意味に於ても、尙、資料不充分と思はれる研究領域を指摘し、今後の研究を要請せんとするものである。

さて、高空に於ける耐久の問題は、周知のやうに、(1) 低壓並びに酸素缺乏、(2) 低温低濕の二點が、最も大切なものである。以下、この二項目に就き、順次述べて行くことにする。

## 第一 低壓及び酸素缺乏

### A 低 壓

氣壓の低下は、生物學的には、屢々酸素缺乏と同意語に使用されてゐる。と云ふのは、生體を圍繞する大氣の稀薄は、肺胞内の酸素分を低下せしめ、血液内の酸素の缺乏引いては血液内の炭酸張力の低下を來す事が、生物學的に、其の最も重大なる作用であるからである。此の事實は、又、多くの研究者によつて、低壓の際に約 30 秒位、酸素を吸入すれば、低壓に基く諸病狀が一時消失し、更に酸素を吸はずに居ると、再び症狀が現はれて來る事によつて、確められてゐる。従つて、この方面の研究は、後に出て來る如く、生體を、低壓状態に於て實驗考察する方法のみではなく、吸入する空氣の酸素比率を變化して、實驗する事が相當多いのである。

然らば、氣壓の低下それ自體は、何等生物學的に問題にならぬかと云へば、Schnell<sup>(1)(2)</sup>、Loewy<sup>(3)</sup>、Armstrong<sup>(4)</sup>、Schmidt<sup>(5)</sup> 等によれば、次の様な事が云はれてゐる。即ち、氣壓の低下によつて、身體内のガスに満ちた空間が擴張する。殊に腸の部分<sup>註1</sup>が甚しい。この膨脹による壓は、色々な方面に向つて影響してゆく。即ち、元來、腹壁は、著しく筋肉的抵抗を有して居ると同時に、腹窩は、後方及び下方へは堅く、伸びられぬ様になつてゐるが爲に、腸の膨脹による壓は、上方即ち胸へ向はねばならなくなる。肝臓は上方へ壓迫され、横隔膜は押しやられる。かくして、呼吸運動に最も大切な横隔膜の運動が妨害される一方、胸空間は狭く壓縮されてゐるので、個々の呼吸に際しての、肺活量は大いに減ぜられてしまふ。又、胸空間に存在する心臓は、壓迫のために十分な活動ができにくくなる。

他面、頭部の骨で圍まれた空間に於ては、擴大した空氣の排け口がないと、壓の變化の爲に頭痛を起すことになる。急激な滑空或は下降に際しては、其の苦痛は極めて大である。この頭部の骨空間は、鼻腔から、前頭骨、上顎骨、篩骨へ擴つて居り、正常者では、壓差が生じた時には、鼻腔から、平衡を調節する譯であるが、重い鼻カタルや、ハイモル氏竇又は前頭竇の化膿に際しては通路の粘膜がはれ上り、空氣の流通が悪く、時には、激しい痛みを覺えて、飛行や偵察能力にも障害を起す程、ひどい痛みになつてくる。又、か様な事は、齒牙に疾患があつて、腐敗し、ガスを發生した部分があると、同様、痛みを起すものである。更に、壓の變化は、中耳の鼓室に、痛みを起す。この鼓室は、歐氏管を通して鼻咽喉へ通じてゐるが、歐氏管壁は、静止状態では、閉ちて居るのを、飛行家は、嚥下又は欠伸運動<sup>(6)</sup>を行ふ事によつて、これを開き、壓の調節をはかる様になるのである。又、田中寛一氏<sup>(6)</sup>は、眼球に於ける充血を報じてゐる。

大體、壓そのものゝ影響は、以上の如く説述されてゐるが、これは、どの程度の壓の變化及び壓變化速度に對して、どの程度の障害が生ずるかは、その測定甚だ困難であると共に、以上の四氏も實驗的資料を呈示しては居ないので、對策も、どの程度に爲すべきかは、規準が立て難いが、後にも述べる氣密室に搭乗せしめる事によつて、最も安全に防止される事は論をまつまでもない事であらう。又、この問題は、高空飛行の旅客機に於ては、痛み所か、乗客の不快感へも注意しなければならぬ意味に於て、大いに留意すべき點であると考えへる。

## B 酸素缺乏

### (a) 酸素缺乏に對する抵抗力の限界

生體に對して、酸素分壓の低下は、内呼吸、外呼吸、循環機能、新陳代謝等に異常を生ぜしめると共に、又神経系統及び諸種の感覺器官に色々な影響を及ぼし、意識や行動に種々變調を來すことが知られてゐる。

呼吸の形式や數の異常、循環系統の變調、新陳代謝の變化等の具體例を、一々茲に叙述する事は、徒に煩鎖になる許りであり、且つ本稿の目的とする實際の對策に對しては、稍々間接の資料であるから、以下折に觸れ、説明上必要な限りの若干例を示して行くに留め、専ら、實際問題として注意すべき、意識や行動の状態の變化を主眼にして、先づ耐へ得られる

註 1. 故に、Loewy によれば、ガスを發生せしめる様な食物はよくないと云ふ。即ち、蛋白質の過度の攝取を禁じ糖分の攝取をすゝめてゐる。

限界に就き述べて見やう。人間が堪へ得る高度は、どの位まであるかを説明するに當つて、問題を次の二つに分けて考察するのが便利であらう。

(イ) 人間が生體としての状態を失はないで居られる限界即ち死んでは居ないとされる限界は如何。(Physiological Limit)

(ロ) 平常の大氣壓中に居る様な、健康な意識と行動を保持して居られる限界は如何。(Psychological Limit)

實際問題としては、軍用機にせよ、旅客機にせよ、搭乗者が氣息奄々たる情態でも生きて居ればよい、と云ふ譯のものではないから、上記(ロ)こそ、最も確めて置かねばならぬ條項である。然し、上の(イ)(ロ)の限界は、後にも述べるやうに、假に、健康状態が略々同様であつたとしても、尙、個人毎に抵抗度や影響の現はれ方に差異が有り、又同一人でも馴れるにつれて變化するものであるから、一般に、確然とは云へないが、其の詳細は、逐次、述べるとして、先づ、概略、限界の範圍を示唆することにしよう。

(イ) **Physiological Limit** に就いて

之に屬する研究としては、完全に人間を死亡に到らしめる様な實驗は、不可能であるから、完全死の限界は不詳であるが、意識不明、即ち、失神の状態に陥るまでの研究は、相當、數多く有るのである。一般に、諸家の述べる處では、8000 米前後に一致してゐるが、弱い者は6000 米邊から參り、強いものは、9000 米以上も堪へてゐる。諸研究者の報告を、下の第 1 表にまとめて見たから、参照せられたい。

第 1 表 人間の失神する高度

實驗者或は論者	高度或は酸素%	備 考
Bauer <sup>(7)</sup>	25000 呎	平均である
Loewy <sup>(3)</sup>	11.1%—5.2% 平均 7.42%	米國空軍 2279 人に就いて調べたものである。高度に直せば、6000 米—10000 米 平均 8000 米
Hartmann <sup>(8)</sup>	6500 米—8500 米	ヒマラヤ登山に就いて見たもの
Wespi <sup>(9)</sup>	5900 米—8400 米	20 人について調べたもの
Armstrong <sup>(4)</sup>	25000 呎—3000 呎	
田 中 寛 一 <sup>(6)</sup>	24000 呎	氏の低壓實驗中、或る被驗者が右の高度で失神せりと報ず
Goralewski <sup>(10)</sup>	8790 米	Tissandier が氣球にて上昇し、失神せるときの報告を引用して、右の高度であつたと述ぶ

(ロ) **Psychological Limit** に就いて

これも亦、個人差が大であり、Loewy<sup>(3)</sup>によれば、登山の場合では最も弱い者は、2100 米で高空病を出現した實例が報ぜられてゐるが、後に述べるやうに、意識不明になるまで、何等の意識障礙もなく動作を遂行し得てゐたのが、急に全く駄目になるものもあるのである。

又、精神活動の種類によつてかなりの相違があり、ある種の精神作用は低い高度で障害を受けるし、他の種のものでは、更に高い高度に達しないと、異常を認められないものもある。以下、第2表に於て、この方面の實驗結果の一覽表を作り、その一般的傾向を示して見やう。同表に於ては、どの程度の高度に於て、如何なる氣分の變化、精神作用の變調が著しくなり出すかを示すものである。又、低壓實驗法でなく、吸入する空氣の酸素%を變化する方法をとつてゐるものは、便宜上、高度に換算して表中にまとめて見た。

第 2 表 酸素缺乏度と精神機能障碍の様相との關係

研究者 高度	(6) 田中 寛一	(11)(12) 田中 肥後 太郎	(13) Mc Far- land	(9) Wespi	(14) Gold- mann u. Schubert	(10) Gora- lewski	(15) 淡路 ・ 豊原	(8) Hart- mann	(16) Kos- chel	(17) Strug- hold	備 考
1000米											高度3千までは、 慈恵醫大の研究 <sup>(19)</sup> 及び松本、田中、 寺澤 <sup>(18)</sup> の研究結 果、明かに障碍は ないことが示され た。
2000米											
3000米											
4000米	コメカ ミノ 感	光覺力									McFarland 及び Goralewski は O <sub>2</sub> %を變化する方法。 其他は低壓狀態に 於て検査したもの である。
5000米	加算 選擇分 類 催眠 めまひ	音高辨 別 疲勞 倦怠 脱力感	選擇反 應		四圍が 夕暮の 様	アタキ シー トレモ ール	遅延反 應 催眠		抹消檢 査		
6000米	力量 記憶 指頭 掌、頰 の麻痺 感 呼吸困 難の感 の昂奮		記憶	運動失 調 注意 記憶 聯想							
7000米		情緒的 反應の 異常			視野狹 窄			筋力	記憶、 再生、 言葉の 論理的 結合 簡單な 暗算 比較	壓覺 運動感 覺	
8000米			簡單な 反應 視覺 聽覺								

第2表の結果によれば

(1) 精神機能が、相當の影響を受け出すのは、5000 米位からで、それ以後、次第に高度を増すに従つて、全般の意識活動にまで擴つて行くことが分る。次に、諸研究者が、かゝる高空病が最初に出現し始める高度に就いて述べてる所をまとめて見ると、第3表の如くである。

第 3 表 高空病が始めて出現する高度

報 告 者		高 度
1	慈恵醫大航空研究會 <sup>(19)</sup>	3000 米までは明かに現はれず
2	松本・田中・寺澤 <sup>(18)</sup>	3700 米（富士山頂）で現はれる人もある
3	Armstrong <sup>(4)</sup>	12000 呎
4	Schubert <sup>(22)</sup>	4000 米以上は O <sub>2</sub> 吸入すべき高度である
5	田中 寛一 <sup>(6)</sup>	15000 呎
6	Loewy <sup>(3)</sup>	5000 米（飛行機の場合）
7	Schnell <sup>(1)(2)</sup>	5000—5500 米
8	Hartmann <sup>(8)</sup>	5000—6000 米
9	Schwarz <sup>(30)</sup>	5000—7500 米
10	Bauer <sup>(7)</sup>	18000—20000 呎
11	Schmidt <sup>(5)</sup>	5000—9000 米の間を平均 5 時間以上飛行する中に現はれる

(2) 如何なる精神機能の領域が、順次、障碍されて來るか、に就いては、第 2 表に現はれた限りでは、『短時間に、正しく事態を選別して、それに應じて、反應動作を適當に行はねばならぬ様な働き』が先づ侵され、簡単な反應とか、只、筋力を粗強に出す事とか、或は、際どい動作の反應の不必要な、單純な思考や推理、とか、又、感覺的機能とか、は、かなり高い高度に達せねば障碍されては來ない様に見える。

かゝる點に關して、Bauer<sup>(7)</sup> の云ふ所によると、「酸素缺乏が心理的方面に及ぼす重要な點は、注意作用と、有意的な協應動作に關するものであつて、之に反して、知覺方面の影響には大したものはない」と。又 Watson<sup>(20)</sup> は、「調節や協應を必要とする様な動作である書字（寫字）動作や、或は、急速に正確な認識力と材料の分類能力を必要とする様な複雑した辨別力検査に於ては、その障碍が大であるが、感覺器官の感受性や精度は、必ずしも同様でない」と述べてゐる。田中寛一氏<sup>(6)</sup> は、「酸素供給不足の心身能率に及ぼす影響は、作業の種類により異り、知的作業は、身體的作業よりも影響を受け易く、又、知的作業に於ても、一層複雑なる作業は影響を受け易い。尙、熟練した作業に於ては、影響が少い」と云つてゐる。Loewy<sup>(3)</sup> も、高山登攀の際の注意として、作業に馴れておくと、高空病の影響が輕減される事實を報告してゐる。

尙、茲に一言つけ加へて置きたい事は、航空機の場合では、餘り問題にはならぬのであるが、酸素缺乏状態に於ける身體的肉體的勞働の問題で、これには、二つの説があつて、一つは、酸素缺乏の場合、勞作する事は、一層酸素の需要を高めて不利に陥らしめると云ふのと、他は、適度の勞作は、却つて、呼吸、循環を促進して、酸素不足に對する生體の代償機能を活潑にするから、靜止の時よりも有利であると云ふのであつて、仲々興味ある問題であると

共に、高山登攀の際には、重大な事柄である。

### (b) 高空病の症状

さて、上述のやうな、氣壓の低下及び酸素缺乏に基く高空病は、自覺的に如何なる症状を呈するか、又、他覺的、生理的には、如何なる異常徴候を示すか、以下その概略を述べて見よう。

#### 自覺的症狀

田中寛一氏<sup>(6)</sup>によれば、「氣壓を減ずる事によつて、最も著しく感ずるのは、鼓膜に於ける壓迫の感じである。兎もすれば、全く音を聞き得ない様になる。大凡 12000 呎に相當する頃から前額より耳のあたりに、押へ付けられた感がある。更に氣壓を減すれば、其の感じは益々著しくなる。16000 呎頃から指頭及掌、頬、特に指頭に麻痺の感があつて、のそ感じは、氣壓の減少につれて益々強い。18000 呎からは、呼吸困難を感ずる。15000 呎以上になれば、船暈の状態を呈し、全體の支へが極めて便りなく感ぜられる。併し氣分は快調であつて、恰も少量の酒精の影響を受けた時の様である。頭痛は、經驗する人としらない人とある。又、眼球突出の感や、眼球の乾く感を伴ふ事がある。」と。

原氏<sup>(21)</sup>は、「高山病の症状第一期に於ては、空氣不足の感、疲勞、倦怠、眩暈を感じ、第二期では、筋肉緊張の感、惡心嘔吐、堪へ難い催眠、頭重、頭痛、思索困難に陥る」と。

Wespi<sup>(9)</sup>は、「眩暈、寒氣、吐氣、笑ひたくなる。」と。

McFarland<sup>(13)</sup>は、「睡氣を催し、どうしてもよいと云ふ氣持になる」と。

田中肥後太郎氏<sup>(11)(12)</sup>は、「高度 5000 米になると、欠伸、疲勞、倦怠、脱力感等を自覺する」と。

Goldmann 及び Schubert<sup>(14)</sup>は、「5000 米以上になると、四圍が夕暮の様な感じになる」と。

我々の實驗<sup>(15)</sup>に於ても、上述の諸家の症状が明かに認められ、最も著しいのは眠くなつて來る事であつた。

このやうに、高空病の自覺症状は、一般に、只、眠たいとか、だるいと云ふ様な、意志的に弛緩した氣持になるのであるが、高度が更に高まると。一般に、一時的乍ら氣分が昂奮して快調を呈して來る時期があると報ぜられてゐる。然し、これは、平常の状態に於けるやうな快活ではなく、第三者から見ると、飲酒時の場合の様に、些か調子の外れた。上機嫌である。Wespi は之に關して面白い例をあげてゐる。即ち某被驗者が高度 6500 米に達した時、遂に酩酊状態に頗る類似した行動になり、舌は段々と廻らなくなり乍らも、歌を唄ひ出し、低壓室内の卓の上にあつた水のコップを取上げ、低壓室の硝子窓を通して眺めてゐた外部の人々に向つて、「諸君の健康を祝す」と云はぬばかりに、飲みほしたと云ふ事である。

さて、茲に、自覺症状に關聯して、一つの重大なる事實を紹介せねばならぬ。それは、上の例でも窺はれる事であるが、酸素缺乏の影響に關する自覺は、極めて心許ないものであつて、自分の意識が變調してゐる事や、行動が異常になつてゐる事には、自らは少しも氣が付かないのである。之は、高度が増すと共に、益々酷くなつて行くのであつて、酩酊してゐながら俺は酔つては居ないとわめきたてゐるのに全く似てゐるのである。故に、酸素缺乏の實驗に於ては、屢々、被驗者が、失神する間際まで自分は、正しく行動してゐたと思込んでゐる例が報ぜられてゐる。Schmidt<sup>(5)</sup>が述べてゐる例をあげると、大戰の時、英國の或る偵察將

校が、12の異つた丘陵の寫眞を、全部一枚の種板に撮影してしまつた事もあるし、甚だしいのになると、偵察に出掛けながら、機上で眠つてしまつた例もあるとの事である。

要するに、高空病の自覺の問題に於ける最大の重點は、その出現を、本人が、正しい時期に認識し得られぬ危険性に在るのである。此の點に關しては、後に、對策の項で再び論述する事にしよう。

### 他覺的症狀

#### i 外見上の態度に現はれた症狀

田中寛一氏<sup>(6)</sup>によれば、「12000呎から15000呎の間で、顔面蒼白、眼球の充血が現れる。15000呎から18000呎の間では、皮膚が紫色を呈するものが多く、その著しいのは、手指の爪、唇である。15000呎以上では、被験者は、極めて昂奮的で、頭をかき、顎のあたりを撫で、又靜止せずして、室内を見廻す運動をする。某被験者は、18000呎に於て口笛を吹き、又他の被験者は、15000呎から、手調子に合せて唄ふ。又意志の禁止作用が弱められてゐるために、一定の低壓に達して、實驗しやうと云ふと、實驗者に不機嫌な態度を示すこともあつた」と。

Schmidt<sup>(5)</sup>によれば「被験者は、何でもやれると云ふ氣分になり、自己感情が高まつてくる様子を示し、根據のない笑ひをやつたり、ボンヤリ、見詰めたまゝになつたり、時に弱々しく笑つたり、顔の筋肉が痙攣したりする」と。

McFarland<sup>(13)</sup>は、「若し酸素比率が9.05%以下になると、異常な情緒的爆發を起したり。意志の禁止が無くなつた行動をする。即ち、笑つたかと思ふと、怒つたり、裝置を壊して見やうとしたり、諦めたり、又一見眠つた様になつたりする。一般に酸素缺乏が激烈になると人格が變換してしまふ」と述べてゐる。

Wespi<sup>(9)</sup>は「手足の顫へがひどくなる。言語は緩慢で切れぎれで、甚しい場合は舌がまはらなくなる。欠伸を屢々する。時々無暗に多辯になる。又、字を書かせると、他人の讀み易さなどは考へに入れないで、亂暴にかく様になる。」と報じてゐる。

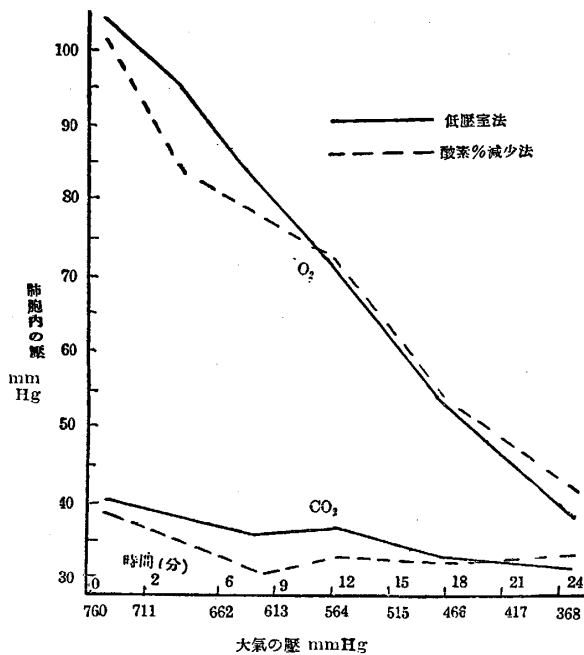
#### ii 醫學的に見た高空病の症狀

高空病の症狀及び其の機構の醫學的研究は、1878年のPaul Bertの研究以來、今日に至るまで、Mosso, Zuntz, Loewy, Henderson, Haldane等の諸大家の先驅に續き、極めて數多くの研究が現れて、微に入り、細をうがつて實驗が試みられてゐる事は、既述の心理學的研究の比すべくもない程である。これらの凡てに互り紹介を試みる事は、本稿の目的にそれる虞があるので、茲ではLoewy, Bauer, Schnell, 原隼人, 慈惠醫大航空研究會著の航空醫學等に述べられてゐる所を總括するに留める。

#### (1) 呼吸系統に關して

氣壓の低下は、酸素分壓の低下を結果するから、肺胞内の酸素分壓を低下せしめ、(第1圖參照)<sup>註1</sup>爲にヘモグロビンの酸素飽和度を減少せしめる。生體は之を防禦せんが爲に、まづ呼吸數を増加せしめたり、或は吸氣の容量を増すため呼吸を深くする様になる。然し呼吸數の増加は、例へば原氏<sup>(21)</sup>の實驗に於ては、一定度を超す時は、却つて肺胞内炭酸張力を減する結

註1. 肺胞内O<sub>2</sub>分壓が地上の1/2になる所、即ち5000米が、丁度、精神機能の變調し始める時である。



第1圖 大氣壓と肺胞内酸素及炭酸  
ガスの分壓との關係  
(Bauer による)



第2圖 セース・ストークス氏呼吸  
(Wespi による)

A の時期には、不安、倦怠、陰氣、四肢の壓感あり  
B の時期には、有頂點、快活、輕き發汗

果、血液内炭酸張力を低下せしめ、血色素の結合を固くし、組織への酸素供給を減少せしめる惡結果をもたらすから、生體は、之を防ぐため、暫くすると再び呼吸數が減じてくると述べてゐる。Schnell は、呼吸數の増加よりも、深める事の方が有効であると述べてゐる。又、慈惠醫大の報告中には、肺の換氣量は、4 升に於て 50 % の増加を示してゐると述べてある。尙、呼吸の形式に關して、只、深さが増すと云ふ事のみでなく、高空病に侵されてくると、セース・

ストークス氏呼吸(第2圖参照)が現はれてくる。即ち次第に深まり、再び浅くなり、暫く停止し、再び同様の事を繰返すのである。Schubert によれば、4 升位から現はれる人もあると云ふが、Wespi では、相當高い高度になつてから現はれると云つてゐる。

次に、生體の新陳代謝の一表徵たる呼吸係數と酸素缺乏との關係に就いては、原氏の研究中に「Poulton, Haldane 等は、減壓により呼吸數の増加せる時には、肺胞内炭酸張力が低下し、その結果、血液より多量の炭酸が呼出せられ、爲に、呼吸係數は増加すると云ふ。之に反して Barkroft, Henderson 等は、呼吸係數は酸素缺乏によつて左右されずと云ふ」と述べてゐる。田中肥後太郎氏は、呼吸商は高度と共に初め、僅か増加すると云ふ。又、後に述べる如く、Fronius は馴れたる者と然らざるものとで相異なる所があると報じてゐる。

#### (ロ) 循環系統に就いて

血液組織の變化として、赤血球の増加、及び、血色素量の増加があらはれる。

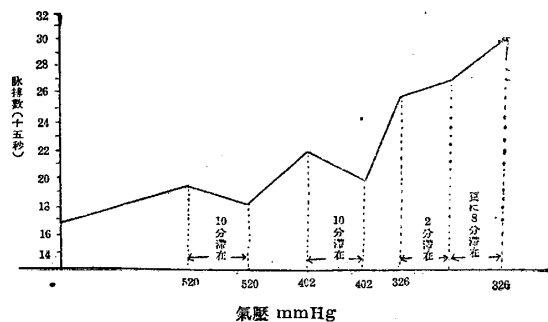
又、單位時に心臓より送出される血量増加の爲に脈搏の増加があらはれる(第3圖参照)

血壓の變化は、後述する如く型の差があるが、一般には若干亢進する程度である。

#### (c) 高空病出現の個體差

既に述べた所によつて、高空病に對する人間の抵抗度の限界、高空病の出現時期、症狀

の一般が明かになつた事と思ふが、既に、諸處に於て觸れたやうに、この症狀は個人によつて大に異なるものであり、後に述べる對策の問題に關して、重要な問題を含んでゐる。即



第3圖 低壓と脈搏數の場合  
(Koch による)



ち、個人差が大であるために、一般傾向又は平均傾向に基いて對策を施す事は、多大の危険をもたらす虞があることが認められなくてはならぬ。

i 抵抗度そのものは、既に、第1及3表に示したやうに、失神する限界に於ても、又、罹病し始める時期に於ても、非常に大なる相異が認められ、前者に於ては、弱きは6000米であるが、強きは、約10000米であり、後者に於ても、弱きは2100米で徴候を呈するに對し、強きは7000米に至り漸くあらはれてくるのである。

## ii 高空病出現の個人的「型」

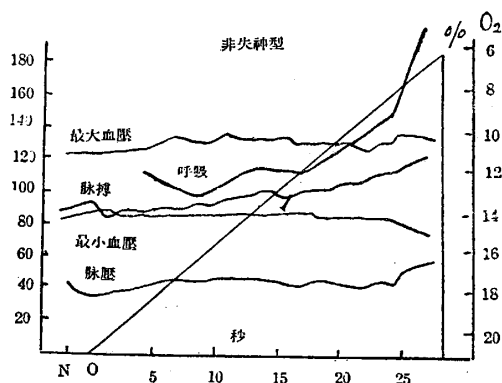
高空病に侵されてくると、既に述べた様な精神的障礙と、生理的變調とが認められて來るのであるが、同一個人に於て、この兩者が如何なる關係に於てあらはれてくるであらうか。この點に關して、個人的に「型」の相異があることを見逃してはならない。Bauer, Atmer, Wespi 等が、敘述してゐる所を紹介して置かう。

Bauer によれば、人によつて二つの反應型がある。一は、非失神型、他は失神型である。非失神型に於ては、生理的に變調を來す前に、心理的に、能率低下に陥つてくる。換言すれば、循環系統は何等障礙を呈しないに拘らず、精神機能の働きは侵されてくるのである。そして若しそのまゝ繼續すれば、心理的に障礙を來すのである。之に反して、失神型に於ては、心理的に障礙が現はれて來る前に、生理的に障礙を受け、循環虚脱の症狀に陥るのであるが、この型は、更に四つに細分される。第一に最も普通な型では、最小血圧が急激に障礙を受ける。第二には、その障礙は、最大血圧に起る。第三には、その兩方に起る。第四には、脉速に障礙を起す。之等の型では、早速新鮮な空氣を與へないと、失神を起す。失神型に於ては、呼吸機能の反應は貧弱である。

非失神型では、顔面の紅潮があり、チアノーゼは徐々に増加し、作業の不能になるまで繼續する。失神型では、作業中、急に蒼白に變化し、灰色を帯びるのである。或る場合には、蒼白につゞいて軽度のチアノーゼが現はれることがある。

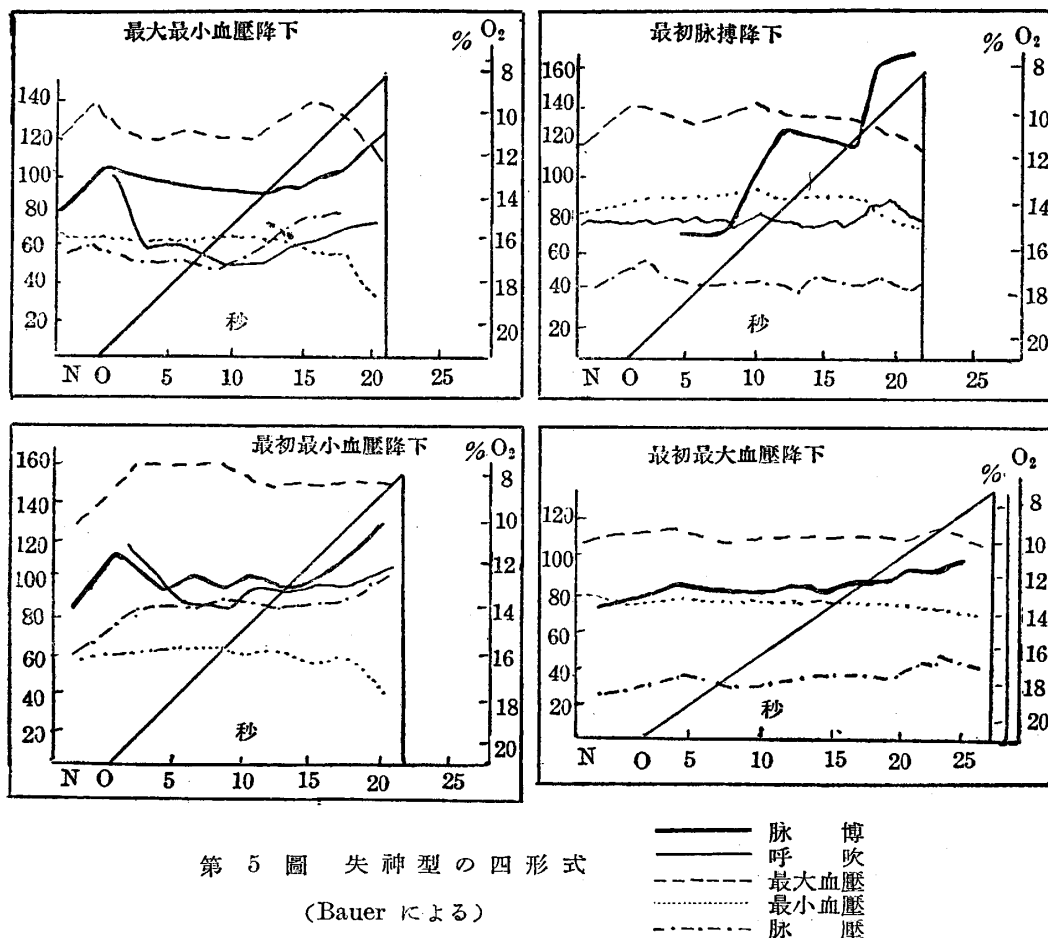
以上が Bauer の説述であるが、各型の生理的情況は、第4、5兩圖を参考にされたい。

次に Atmer は200人につき研究した結果、三つの型のあることを報じてゐる。(1)これは Bauer の云ふ非失神型で、特別に Bauer と異つた事を述べてゐない。(2) Bauer の失神型で、大體 Bauer の敘述と同様で、精神的興奮は殆んど現はれず、6000米位でも、尚、課題を誤なく遂行する。チアノーゼは現はれぬが、殆んど常に、蒼白である。最も危険なのは、急激に血圧の低下を伴ふ虚脱状態に陥る事である。そして呼吸の停止の状態が現れる。かゝる場合には、何を措いても、直ちに氣壓を高めねばならない。而して、4000—5000米になれば、この状態は消失する。(3)比較的稀なものであるが、高山病發生に必要な高度に到らぬ中に、既に精神的障礙を生



第 4 圖

註 1. 我々が既に述べておいた精神機能障礙の有様は凡てこの非失神型に屬するものである。



する型であつて、3000—4000 米の間で、強い細い顫動や、ひどい蒼白や、血圧低下や虚脱を認める。が、この徴候は、落ち付かせて、激励、慰安してやると、大部分消失して終ふが、更に高度を高めると、再び現はれて来る。又かゝる症状は、以前に航空事故をやつたとか、非常な不安や努力を以て飛行経験をした人に屢々見られる所であつて、一寸した高度で強い不安に陥り、酸素吸入せしめやうとしても、一呼吸位した後に呼吸困難、悪心、嘔吐を訴へて、而も只、秩序だつた行動をしようとするのみで、更に酸素を攝取しようとしないのである。

次に Wespi<sup>(9)</sup> も、大體、Bauer<sup>(7)</sup> と同様な二型の存在を報じてゐる。即ち、(1) 分化した個々の精神機能が大いに障碍されて来るのが目立つ型と (2) 現象として著しく見られるのは、嘔吐、悪心等であつて、精神機能は餘り障碍が目立たぬ型とがあると云ふ。

Schwarz<sup>(30)</sup> も亦、Bauer Wespi と同様な事を報じてゐる。

以上述べた型の差異は、抵抗度の個人差と共に、後述の対策の問題に於て、甚だ重要な事項として、注目に値するものであらう。

#### (d) 高空病に於ける順應 (馴れ)

既に述べた高空病の一般的情況に對し、上記の個人差の點からと同様、吟味されねばならぬ重大なる一領域は乃ち「馴れ」の問題である。

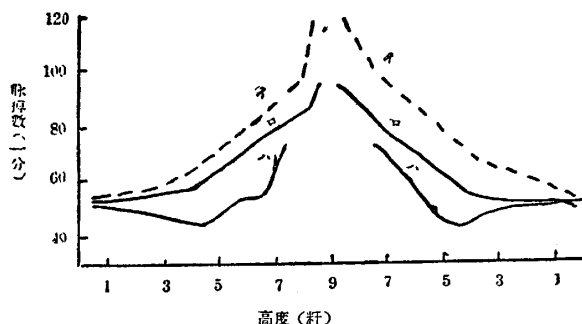
若し、同一個人に於て、假に健康状態が略々同一であつたとしても、同一個人の示す高空病の症状、限界等は、(イ) 酸素缺乏に陥るまでの客觀的時間の長短、(ロ) 當該酸素缺乏状態に滞留してゐる時間の長短、(ハ) 酸素缺乏状態を経験する度数の大小等によつて、變化を受けることが、生體の機構上、考へられるのである。この點に關しては、多くの研究者が一應論述はしてゐるが、然し、其の實驗資料たるや、未だ極めて貧弱であり、今後の研究に俟たねばならぬ有様である。

#### (イ) 酸素缺乏に陥るまでの時間、即ち減壓速度の影響

殆んど凡ての酸素缺乏症に就ての研究家は、登山の如く徐々に上昇する場合には、飛行機又は低壓室實驗の如く急速に上昇する場合に比して、高空病の症状の現れ方が遅く、より高處にまで行けるとの意見を述べて、其の證明に、低壓室では、殆んど例外なく失神の限界とされてゐる 8000 米以上を、ヒマラヤ登山では、酸素吸入をせずに、而も身體的作業をし乍ら登山してゐる事實を擧げるのである。しかし斯様な論述では、實際、飛行機の場合の上昇速度の差に關する資料とはならないのである。一體、我國の低壓實驗は兎も角、諸外國のそれは、低壓の條件として、減壓速度、滞在時間等が研究報告に記載されてゐるのが、極めて寂寥たるのは、抑いもどうした譯であろうか。

減壓速度の影響に關して述べてゐる諸家の意見は、次の如くである。

Hartmann は、低壓室で種々の上昇速度（數字の記述なし）に就いて行つた結果、筋力は、急速上昇では 4000—5000 米位で衰弱し始め、緩徐上昇では 7000 米位から衰弱して來る事を見出した。又 Hartmann 及び Muralt は、1931 年獨逸からヒマラヤ（カンチェン・デユンガ）登高に出掛けた人を用ひて、低壓室實驗を行ひ、比較した結果、第 6 圖の如く、低壓室での脉搏數が高い事を報じてゐる。又、ヒマラヤ登山一行中、Dr. Allwein は病氣の爲、5800 米に暫く静養して、7400 米に行つた處が、仲間よりも、非常に行動能力があつたと云ふ事である。かゝる結果から、Hartmann は、緩上昇は急上昇に對し、2000—2500 米の上昇限度を増加せしめると云つてゐる。



第 6 圖 (Hartmann による)

- (イ) は低壓室に於ける普通の安靜状態にて
- (ロ) は 絶對安靜状態にて
- (ハ) は山で馴れた後の絶對安靜状態にて

Loewy は、登山について、緩かに歩行登高の方が、鐵道登山や、飛行機上昇よりも有利であるとするのであるが、5500 米までを、低壓室で 20 分かゝつて到達した時と、飛行機で 8—10 分で上昇した時とは、差異がなかつたと述べてゐる。

Huszca は、生體の壓變化速度に對する限度は、約 6 呼吸の間に約 280 m.m.Hg の低下であると云ふ。

Schubert は、5000 米上昇に 5—6 分しか要せず、下降に 1 分位より掛からない様な優秀な飛行機では、高度の急變により、精神々經的竝に身體的に非常に大なる影響があると述べ、

又、高空飛行の場合には、馴れと云ふ事は、時間が短い爲に行はれないと云ふ。<sup>註1</sup>

以上の如く極めて貧弱な資料しか、目下の所では求められないのであるが、筆者兩人は、現在、動物に就て、この問題を細かに實驗しつつあるから、その中に之を發表するつもりであるが、他の人間用低壓實驗設備を有する研究機關に於ても、この問題の解明に協力されんことを望むのである。

#### (ロ) 酸素缺乏に滞留する時間

一般に失神の時期でない限り、或る高度に達して現はれてきた高空病の症状は、消失又は輕減し、更により高々度まで行ける様になるとされてゐるが、之も多く高山登高の例によつて證明されてゐるのである。然し、何日とか何十日とか滞在するのではなく、飛行機の場合に問題になる程度の、何分又は何時間後には如何なるかといふことについては、依然資料は貧弱である。

Koch<sup>(28)</sup> は、この缺陷を目ざして、登山よりもづつと速く減壓(上昇)する場合、而も分單位でその滞在の効果がどうなるかを、低壓室で、脉搏について調べた。その結果は第3圖の如く、520 m.m.Hg の低壓に於て脉搏は増すが、10分すると減じ、更に 402 m.m. にすると再び増し、10分する中に再び減じ、更に 326 m.m. にすると再び増加すが、今度は減ぜず、高空病出現にまで高まつてゆく事を見出した。Koch は、又、Ferry, Missiuro, Beyne 等も、高空飛行の際、脉搏が増えるが、同一高度を飛翔してゐる中に再び緩かになつてくる事を見出したと述べてゐる。

McFarland<sup>(13)</sup> は、かゝる目的で行つたのではないが O<sub>2</sub> 11.43 % (約 5000 米) の條件で實驗してゐる中に、選擇反應時間が、最初と、1 時間後とでは、後者の方が影響が大になつてゐる事を見出してゐる。之は、Koch と傾向が些か反對の様であるが、我々の研究<sup>(15)</sup>でも、精神機能の障碍は 5000 米までは、必ずしも 1 時間半位までは漸次減少するとは限らぬ様で、むしろ影響が大きくなる傾向も認められ、それからは、常に影響が輕減してくることが發見されてゐるのである。

相當急速に氣壓の變化した場合の滞在時間と心身機能との關係に就ては、生理學的にも、心理學的にも、未だ一括する程の資料がないが、我々の行つた些かの研究が間もなく發表される豫定である。

#### (ハ) 酸素缺乏を屢々經驗した場合

Fronius<sup>(24)</sup> の研究によれば、1400 回程の高空飛行の經驗ある者と、未経験者との呼吸及びガス代謝を、高度 6200 m に就いて比較研究した結果、前者に著しい抵抗力と適應作用の存する事を見出した。

Hartmann<sup>(8)</sup> は、低壓室で筋力を測定した時、普通の人 4000 米で弱くなるのに對し、永い間高山に居た某被験者は、4000 米で漸次増加し出し、7000 米まで次第に筋力が増して行くことを發見した。

Bauer<sup>(7)</sup> は、酸素吸入器を用ひずに、高度飛行を毎日繼續するならば、航空神經症となると、

<sup>(24)</sup> 註 1. Fronius の紹介によれば、一般に登山では時間が長いから、順應と云ふ事が可能だとされて居るが、飛行機の如く上昇速度大なる時は、馴れの存否に關して、意見が區々であり、Bauer, Flack 等は否定的であると云つてゐる。

反對の結論を下してゐる。

(29) 松本・淡路・豊原 の家兎に毎日低壓を経験せし實驗結果では、體重、解剖結果に、一義的の影響は認められなかつた。又、現在我々の行つてゐる實驗では、「まうす」は、明かに屢々低壓に曝される事によつて、初期よりも、低壓内に於ける抵抗力は増大して來る様であるが、平常の生活情況は初期と不變のものもあれば、瘦せ衰へてゆく傾向のものもある様である。

(24) Fronius が、引用してゐる處によれば、Noltenius も亦、屢々高度飛行の経験ある操縦者は初期に比して、同一高度で、高山病の徴候が現はれ難くなり、6000 米まで、變りがない事を見出してゐる。

(30) Schwarz は、酸素缺乏を繰返す事によつて失神の時期が變るか否かに就いて述べてゐる。即ち (1) 何度繰返しても早期に人事不省を起す型 (2) 初期實驗の際は早期に失神するが、繰返す中に、早期人事不省を起さなくなる型 (3) 初期實驗より早期失神を起さず、繰返しても變化を起さない型の三種類が認められると云ふ。

さて上述の「馴れ」の諸問題は、飛行家の衛生上、又後に述べる抵抗力検定に際して、重要な役割を爲すにも拘らず、從來、餘り資料がなく矛盾した意見などもあつて、今後大いに開拓されるべき領域のやうである。

#### (e) 酸素缺乏に對する對策

さて (a) (b) (c) (d) に述べ來つた如く、個人により、條件により、程度の差はあるが、ある高度に到れば、必ず蒙る高空病に對して、これは如何なる方策が、施され研究されてゐるかを我々は述べねばならない。

##### i 酸素吸入策及び氣密室による防護

既に屢々述べたやうに、酸素の吸入によつて、明に高空病の症狀は一時消失するのである(第7圖参照)。之は多くの研究者の全く異論ない所であるが、この對策では、氣壓の低下が甚しくなると、血液内に、化學的に、 $O_2$  は最早攝收されなくなつてしまふ。

その限界は諸家の述べる所によれば、

(7)(31) Bauer は 40000—45000 呎が限界である。

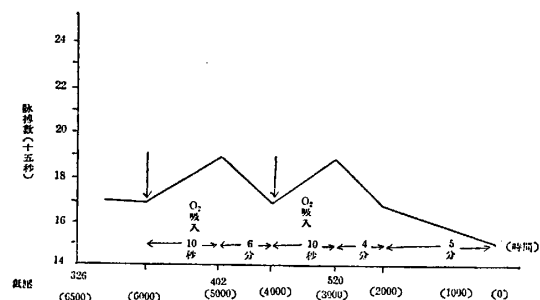
(1)(2) Schnell は血液の沸騰點から計へて、精々 20000 米になるがこゝまでは些か疑問である。

(4) Armstrong は、完全な所は 37500 呎であつて、45000—50000 呎では失神すると。

(3) Loewy は、諸氏のを引用してゐるが、Schrötter は 13000 米、Diringshofen や Jongbloed, Guglielminetti 及び Aggazzotti, Gillert 等は 14000 米まで失神すると云ふ。

(7)(31) Schubert は 11000 米までは、 $O_2$  吸入すれば精神障礙を起さずと。

(7)(31) 尙、Bauer によれば、高度に應じて攝收されるべき酸素%は第4表の如くである



第7圖 酸素吸入により、120 m.m.Hg 程の壓を取りかへすことになる圖  
(Koch による)

故に酸素吸入が効果を失つてからの対策は、気密室を用ひ、壓縮した外氣を送り、CO<sub>2</sub> の蓄積を避ける装置をすればよい譯である。而してその高度はどの位からであるかは、上の諸

第 4 表  
高度に應じ必要とされる酸素量%  
(Bauer による)

高 度 (呎)	氣 壓 (耗)	所要酸素量%
0	760	21.0
10000	530	30.2
15000	440	36.4
20000	375	42.7
25000	315	50.8
30000	260	61.6
35000	220	72.8

氏の結果が、稍不一致であるし、精神機能障碍もその限度、様相が不詳であるから、更に研究を要する所である。

#### ii 藥物攝取による防護<sup>(32)</sup>

Wöntig は種々な藥品によつて、動物の高空病症狀の出現時期及び回復の研究を行つた。その結果、Strophantin, Lobelin, Hexton 等は殆んど無効で Coramin, Coffein, Adrenalin は有効、殊に Coramin は防止上最も有効で、之を用ひると 240 m.m.Hg で漸く軽い高

空症を起し、215 m.m.Hg でかなり強くなり、200 m.m.Hg で初めて虚脱狀態が起つてくる。筋肉中よりも皮下注射の方が良好である。即ち軽い高空症の起るのを 100 m.m.Hg 位遅らせ、之を高度で云へば、2000—3000 米高める事ができる。又、高空症に罹つたとき、初めて Coramin を注射すると症狀が消失する。静脈内注射が特に効く。と。

又 Aauthony 及 Atmer<sup>(33)</sup> は、Wöntig の研究を人間に就いて試みた。Coramin が最も有効で、高空病を發した時、服用すると、非常に氣持がよくなり、表情も活潑となり、書體もよくなり爽快を感じる。Coramin は約 500 米高度を高め得た。又 Cardiazol も 500 米高度を高め得た。Coramin の作用は、酸素不足の場合、中樞神經を胃されぬ様防護する作用がある。と。

Loewy<sup>(3)</sup> は、高山登攀の際、高空症出現に際しては、Coffein, Digitalis, Camphor, 頭痛には、Antipirin, Pyramidon, Phenaceton を給する事をすすめてゐる。

田中肥後太郎氏はグルタチオン及びチオニンが酸素缺乏に効果ある事、及び高所に於ける血液乳酸の増加を NH<sub>4</sub>Cl によつて制限し得る事を述べてゐる。<sup>註 1</sup>

#### iii 平常の身體的、作業的訓練<sup>(6)</sup>

田中寛一氏は熟達した作業は酸素缺乏の影響を受け難いと云ふし、Loewy<sup>(3)</sup> も登山では登山動作を習得することが大切であると述べてゐる。Schnell<sup>(1)(2)</sup> は、酸素缺乏に當つては、浅い早い呼吸は良くなく、深い呼吸をなす様に習慣づけねばならぬ。従つて平常肺活量を大にする様なスポーツをする事が望ましいと。

Hartmann 及び Noltenius<sup>(34)</sup> も、平常の嚴格な身體的練磨を強調してゐる。

#### iv 酸素缺乏に對する抵抗力検査

酸素缺乏への対策は、O<sub>2</sub> の吸入、或は気密室の製作によつて、防禦され得る。然し、どの程度から対策を講ずべきかに就いては、その個人による差が極めて大であるから、平均又は一般的限界に基いて対策を講ずる事は、極めて危険であると云はねばならない。高空飛行に

註 1. 同氏の日本航空學界誌中の抄介による。

際しては、搭乗者個人の抵抗力及び型が豫知されてゐる事が望ましい。若し抵抗検査を行はずして、安全を求めんとするならば、今までに見出された最弱の人を以て限界と定め、對策を講ずるの煩を甘んじなければならない。而も、酸素缺乏の影響は、既に述べたやうに、その自覺が餘り明らかでない點に於て、益々客觀的に確めておく必要があり、同時に、個人の抵抗力検査は、軍事的には、最も能率的なる飛行家を選択する意味に於ても、缺く可からざるものである。酸素を吸へばよい。氣密室を使用すればよい。最早高空飛行に對する施設は完備したと安心する人があるならば、それは餘りにも飛行家の安危について冷淡であると云はねばならぬ。飛行家を高度に對し安全に保障し、充分の活動を爲さしめるには、どうしても、各人の抵抗力を検査し、且必要な高度より補給すべき  $O_2$  の量が客觀的、自働的に定められねばならぬ。高度に應じて必要とされる  $O_2$  量の%は、Bauer によれば第4表の如くである。幸に後者に關しては、ドレーガー氏酸素吸入器によつて、その一步が進められた。然るに、前者はどうであろうか。

抵抗力検査に際して、如何なる減壓速度、如何なる滞在時間に於て、如何なる心理的検査が最も有効且つ明確に判定に役立つか、これらの規準に關して、目下研究が全く停滯してゐるのである。然し、諸外國に於ては、近來この方面に著しい研究の伸展が見られてゐるのに、獨り我國に於て停頓の状態が認められるのは、甚だ遺憾とする所である。

## 第二 低溫及び低濕

高空飛行に伴ふやうな低溫低濕の問題に關する研究は、未だ殆んど見當らない。低溫に就いては

Aimes<sup>(35)</sup> は、寒冷は人間に對して、諸種の障礙を來すが、暑熱の影響が急激に來るのに對して、寒冷の作用は緩徐であり、先づ局部から襲つて來る。即ち、耳、指、趾、鼻等の末端部に影響し來り、その部分を動かさないで居ると或は濕氣によつても促進される。其の初期の徴候は痺れであるが、凍痛に次いで知覺脱出が現はれ、寒冷が長くつゞくと、色々な程度の凍傷を起す。かゝる凍傷の際は、その末端部を急激に溫めたりすると、却つてひどくしてしまふ。更に寒冷の影響が甚しくなると、足は立つて居られなくなり、顔面は蒼白、末梢は貧血し、之と同時に、内臓の充血を來し呼吸運動や脉搏はのろくなり、嗜眠或は假死の状態に陥る。と述べてゐる。

Bauer<sup>(7)</sup> は「溫度の低下は、身體の新陳代謝を刺戟し、酸素需要量は増加する。Scheider の説によれば、飛行中寒冷は、段階的に増加する。先づ冷氣を覺え、寒氣を感じ、蒼白となるが、十分保護されれば、それらの反應は停止する、さもなければ、寒氣は増強し、苦痛の感じを起し、四肢は強剛となり、遂に麻痺する。そして眠氣を催すと云ふ」と述べてゐる。

Schnell<sup>(1)(2)</sup> は、溫度の低下は身體よりカロリーを奪ひ、之が極端になれば生活機能が失はれる。又、低溫は血液中の酸素の壓を低め、高空病の出現時期を早めて終ふから、單に、體面の保温のみならず、吸氣をも溫めねばならぬと云ふ。

Clamann 及 Hartmann<sup>(33)</sup> は動物實驗によつて、冷い空氣の吸入は、動脈血の溫度を下げることを見出した。

かくの如く低溫は、身體活動を阻害する上に、呼吸、循環系統に障礙を來すから、高空飛

行に際しては、單に防禦電熱服着用だけでは不十分で、一層の事、氣密室にして、吸氣も保温の方が一舉兩得の譯である。然し、どの程度の寒冷から、準備すべきかは、之丈の資料では云へない。今後の研究を大いに必要とする所以である。

低濕度に就いては

更に、甚しく資料が得難く、單に Armstrong <sup>(4)</sup> が、甚しい乾きは、上部氣管枝を乾燥せしめ、急性上部氣管枝炎を刺戟すると述べてゐるのと、一般に、常溫常濕の問題に關して主張されてゐる事柄、即ち濕度比率が下ると、皮膚、鼻粘膜、咽喉粘膜から速かな發散があるために、感ずる溫度が低くなると云ふ事からして、低溫低濕は、相當に寒冷を感じしめるでさう事が推定される。

氣密室内をどの程度の溫度濕度に保てばよいかに關しては、一般に、我々にとつて最も快適に感ぜられるのは、溫度 60°F 前後に於て濕度 50—65% がよく、而も時々溫度をこの範圍で變化せしめ、之に應じて濕度も調節してゆく事が、よい様である。Armstrong <sup>(4)</sup> が Steven と Anderson の氣球による成層圏飛行に於てゴンドラ内部の溫度濕度を記載して居る處によると、溫度は 43.7°F から 10.4°F に動搖し、濕度は 33% から 55% までの動搖があつたが、かゝる情況でも大體満足できる程度であつたと云ふことである。

以上の低壓及び酸素缺乏や低溫低濕の問題の外、超高度乃至成層圏飛行に關しては、紫外線、オゾン、空氣イオン等の問題が考へられなければならぬが、之等に關しては、未だ綜合的紹介を試みる程の研究は整つてゐない。近く我々の着手する成層圏飛行の生物學的研究の領域として更に一步を進めて行かねばならない重點の一つである。

### 参 考 文 献

- (1) W. Schnell: Luftfahrtmedizin, 1935.
- (2) W. Schnell: Luftfahrt im Biologieunterricht, 1936.
- (3) A. Loewy: Physiologie des Höhenklimas, 1932.
- (4) H. G. Armstrong: The Medical Aspects of the National Geographic Society—U. S. Army Air Corps Stratosphere Expedition of November 11, 1935. (J. of Aviation Medicine, Vol. 7, No. 2, 1936).
- (5) H. Schmidt: Höhenfestigkeit im Flugdienst (Industrielle Psychotechnik, Jg. 12. Heft 12, 1935).
- (6) 田中寛一: 低壓並びに酸素不足が心身作業能率に及ぼす影響に關する研究 其(一), (二). (日本心理學雜, 三卷 第一冊).
- (7) L. H. Bauer: Aviation Medicine, 1926.
- (8) H. Hartmann: Die Wirkung der Höhenanpassung auf das Verhalten von Puls und Muskelkraft bei Sauerstoffmangel (Luftfahrtmedizin 1 卷 1 號 1936).
- (9) H. Wespi: Über psychische Insuffizienzerscheinungen bei vermindertem Luftdruck. (Arbeitsphysiologie, Bd. 7. 1934).
- (10) G. Goralewski: Zentralnervensystem und Anoxämie, 1 u. 2 Mitteilng (Arbeitsphysiologie Bd. 9, Heft 1 u. 4. 1935).
- (11) 田中肥後太郎・豊島 豊: 低壓の聽力に及ぼす影響 (霞空研究資料 昭和 8).
- (12) 田中肥後太郎・關口銳之助: 低壓の光覺力に及ぼす影響 (霞空研究資料 昭和 10).



- (13) R. A. McFarland: The psychological effects of oxygen Deprivation (Anoxemia) on Human Behavior. (Archives of Psychol. 145. 1932).
- (14) H. Goldmann u. G. Schubert: Das Gesichtsfeld in grossen Höhen. (Acta Aerophysiologicala, 1. 1933).
- (15) 淡路・豊原: 低壓の影響の時間的経過に關する心理學的研究 (東京帝國大學航空研究所 報告 No. 124. 1935).
- (16) Koschel: "Hygiene des Ersatzes bei den Luftstreitkräften," in Handbuch der ärztl. Erfahrungen im Weltkriege. Bd. VII. 1922. (余は Schmidt の抄介により讀みたるにすぎず)
- (17) Strughold: Flugphysiologische Studien 1 u. 2. (Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt, Heft 14/15. 1929, 1930).
- (18) 松本・田中・寺澤: 高空に於ける生理的状況及び精神作業の變化. (東京帝國大學航空研究所 雜錄 33 號 昭和 2)
- (19) 東京慈惠會醫科大學航空研究會: 航空醫學, 昭和 9 年.
- (20) J. B. Watson: Air Service Medical 1918. (War Dep. U. S. A. Div. Mil. Aeronautics 310)
- (21) 原隼人: 減壓 (酸素缺乏) に對する生體の適合作用に關する實驗的研究. (海軍技術研究所 報告 219 號)
- (22) Schubert: Die Belastung des menschlichen Körpers im Hochleistungsflug. (Deutsch. Med. Wochenschrift, 3 號 1935)
- (23) 田中肥後太郎: 霞空參考資料 第 6 號の 2).
- (24) H. Fronius: Atmung und Stoffwechsel trainierter und untrainierter Person bei Höhenflügen. (Arbeitsphysiologie, Bd. 7. 1933)
- (25) Atmer: Beobachtungen an Höhenkranken. (Acta Aerophysiologicala 3. 1934)
- (26) H. Hartmann u. A. v. Muralt: Pulsfrequenz und Höhenanpassung. (Acta Aerophysiologicala 3. 1934)
- (27) A. Huszka: Die biologischen Reaktion des Blutes bei Änderungen des Atmosphärischen Druckes. (Acta Aerophysiologicala 1. 1933)
- (28) A. Koch: Einige Untersuchungen über die Pulsfrequenz im Unterdruck. (Acta Aerophysiologicala 2. 1934)
- (29) 松本・淡路・豊原: 屢々經驗された低壓の蓄積的影響に關する研究. (東京帝國大學航空研究所彙報 No. 131 昭和 10)
- (30) W. Schwarz: Untersuchungen über die verschiedenen arteriellen Blutdruckreaktion bei Sauerstoffmangel. (Luftfahrtmedizin 1 卷 2 號 1936)
- (31) L. H. Bauer: A Note on the Limits of High Altitude. (J. of Aviation Medicine 4. 1933)
- (32) W. Wäntig: Versuche zur medikamentösen Behandlung und Verhütung der Höhenkrankheit, I. Teil. (Luftfahrtmedizin 1 卷 3 號 1936)
- (33) A. J. Aauthony u. Atmer: Versuche zur Medikamentösen Behandlung und Verhütung der Höhenkrankheit, II. Teil. (Luftfahrtmedizin 1 卷 3 號 1936)
- (34) H. Hartmann u. F. Noltenius: Über Körperliche Leistungsfähigkeit und Höhenfestigkeit im Hungerzustand. (Luftfahrtmedizin 1 卷 1 號 1936)
- (35) A. Aimes: Météoropathologie 1932.
- (36) H. G. Clamann u. H. Hartmann: Die Abkühlung des Aortenblutes bei Beatmung mit Kaltluft und deren Einfluss auf das Sauerstoffbindungsvermögen.  
(Luftfahrtmedizin 1 卷 4 號 1937)