

No. 225.

(Published April, 1942.)

The changes of visual perception in high altitude.

By

Enjiro AWAJI, *Bungakuhakushi.*

and

Shozo MORI.

Abstract.

The effects of O₂ deprivation on the organism has been studied quite extensively by physiologists and psychologists in a low-pressure chamber or in many other methods to determine the psycho-physical changes under such conditions.

The aim of this research is to study from the psychological aspects the changes of certain visual functions under low-pressure and to find their remedies. To this purpose we carried on next three fundamental experiments, which may throw some lights on further systematic studies in these fields, in the low-pressure chamber at Aeronautical Research Institute, Tokyo Imperial University.

I. Visual fields: Used Förster Perimeter.

We find usually in all subjects the changes of visual fields with increased altitudes and practically above the altitude of 5000 m their contractions are always noted in the nasal fields and in above at greatest. In other parts of the fields their contractions are on the contrary far less than these, above all in the temporal the contraction is the slightest. When oxygen is administered at 6000 m, the contraction of the visual fields return to normal in size rapidly.

II. Visual acuity: Used Ishihara's Charts.

Up to the altitude of 6000—6500 m the visual acuity is retained actually in all subjects not any defective effects in both eyes.

III. Brightness-discrimination (or contrast sensitivity): Used Masson disc.

All subjects usually show a considerable diminishing of sensitivity for brightness discrimination at the altitude of 5000 m and, at 6000 m, a remarkable diminishing. On the same altitude, subjects report actually the darkening of visual fields and the subjective alterations of brightness as appeared in a personal experience at sea level as had gone wrong with voltage. But these impairments disappear at once by administering oxygen at the same altitude.

高空に於ける視知覺の變容*

所 員 淡 路 圓 治 郎

囑 託 毛 利 昌 三

目 次

緒 言.....	379
1. 視 野 實 驗.....	380
2. 視 力 實 驗.....	388
3. 明るさの辨別に就いて.....	391

緒 言

高高度飛行或ひは低壓室實驗、其他の研究にすれば、酸素分壓の低下により生體が種々の様相の心理的生理的變容を蒙ることは既に多くの研究者によりて明にされつつある所である。

本研究は斯る諸多の變容中、特に低壓下に於ける人間の視知覺に關する一連の心理的實驗研究を目指し、併せて其の對策をも考究せんとするのであるが、吾々は先づ其の基礎的乃至前段的研究として將來への見通しと端緒とを握むため、次に述べる三種の實驗を昭和16年7月8日より帝大航空研究所低壓室にて實施した。

尙、當研究所低壓室は、直徑2.48m長さ約10mの鐵製圓筒にて上昇速度(減壓速度)は、3,000mまでは1,000mに付き8—9分を要し、3,000m以上は上昇速度稍々低下し1000mに付き大略10—15分を要す。

同一高度滯在中は換氣のため、減壓しつつ同時に送氣孔の栓を開き、同量の空氣を送入して壓の平衡を保たしめる如くにする。

炭酸ガスの吸収は苛性ソーダを用ひて1%以上にならない様調整する。

* 本研究は、帝國學士院の推薦に依り、義勇財團海防義會よりの研究費補助の下に、現に進行中の「高空に於ける飛行家の知覺變化とその對策」に關する實驗的研究の一部である。

1. 視 野 實 験

i) 目 的 ;

- ① 低壓従つて酸素缺乏の際視野の範圍に何等かの變化が認められるかどうか。
- ② 若し變化が認められるとすれば其の變状は如何なる様相を示すであらうか。
- ③ 更に低壓下に於て純粹酸素が補給された場合、視野の恢復過程は如何なるものであらうか。
- ④ 最後に上の如き視野變化は、其の主要因を中樞器官即ち大腦の酸素缺乏に求むべきか、或ひは末梢器官即ち網膜の一時的酸素缺乏に求むべきかの問題を要請する。

以上の目的のため、吾々は昭和 16 年 7 月 8 日、7 月 11 日、各二回に涉つて白視野及び色視野に關し次の如き實驗條件で實驗を行つた。

ii) 實 驗 條 件

- a; 低壓及び溫濕度條件; 並びに到着及び滞在時間。

昭和 16 年 7 月 8 日

高 度	到着及び滞在時間	溫 度	濕 度 %
(減壓開始) om	午前 9 時 51 分 0 秒	27°3'	83%
1.000	9 59 20	27.0	85%
2.000	10 8 40	26.8	80%
3.000	10 18 25	26.8	75%
滞在 [4.000	[10 29 35	26.8	71%
" "	[11 4 10		
滞在 [5.000	[11 15 20	27.0	65%
" "	[11 48 0		
滞在 [6.000	午後 [12 0 40	27.3	60%
" "	[1 10 0		
(復壓開始) 5.000	1 19 0	31.0	54%
4.000			
3.000			
2.000	1 32 15		
1.000	1 39 40	32.0	66%
(實驗終了) om	1 47 45	32.5	67%

尙 6000m 滞在中酸素補給を行ひ同一實驗を繰返す。

昭和 16 年 7 月 11 日

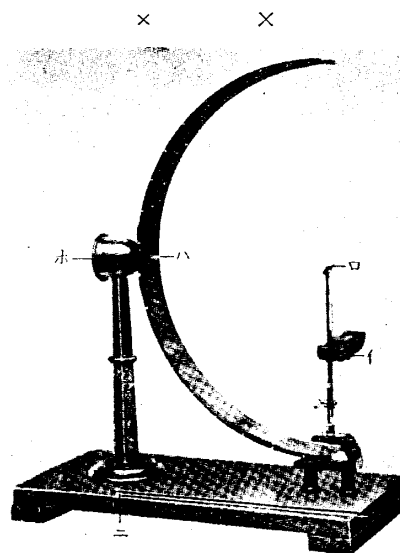
高 度	到着及び滞在時間	温 度	湿度(%)
(減壓開始) 0m	9時 50分 0秒	28° 6'	81
1.000	9 59 0	27 0	83
2.000	10 8 30	26 8	79
滞 在 { 3.000	[10 18 30	26 4	76
"	[10 30 0		
滞 在 { 4.000	[10 40 0	25 6	78
"	[11 10 5		
滞 在 { 5.000	[11 21 0	27 0	72
"	[11 58 10		
滞 在 { 6.000	[12 12 25	27 9	91
"	[1 41 40		
(復壓開始) 5.000	1 44 30	30 6	53
4.000	1 47 30	31 0	54
3.000	1 51 30	32 0	54
2.000	1 55 40	32 0	56
1.000	2 2 0	32 0	58
(實驗終了) 0	2 12 10	32 3	57

尙 6000m 滞在中酸素補給を行ひ同一實驗を繰返す。

b; 装置及び實驗方法;

装 置; フェルステル視野計 (Förster Perimeter) を用ふ。

之は一點を中心として自由に廻轉し得る弧があり、弧上には視線を基準として 0° より 100° まで角度が目盛られてゐる。弧の廻轉中心に凝視點を定め又被驗眼の位置を正しく固定せしめるため被驗者は豫め顎支持器上に下顎を置き、一眼を被ひ顔面を正しく前方に向け、凝視點 (0°) と視線の方向を一致せしめる様に調整する。被驗者は常に單眼にて凝視點を見、次に實驗者は視標 (Perimeter object) を中心 (0°) より外方に徐々に動し視標上の刺戟 (白、赤、青) を認めざるに至る位置を弧上の度盛で讀み記録し、更に視標を外方より中心に動かして、正に刺戟を認めるに至つ



た點を記録する。この順、逆の平均價を視野用紙に記録する。以上の測定は弧を種々の方向に廻轉して、上下、左右、斜の8方向に就いて行ふ。視標は、白赤青の三種を用ひ、直徑各 1cm の圓盤である。

視野計は 200W 電球にて斜前方 1m の距離より照明される。

被験者； 3 名、Ku, Na, Mo,

實驗日時； 昭和 16 年 7 月 8 日——(被験者 Ku, Mo) 白視野

7 月 11 日——(被験者 Na, Mo) 色視野

實驗方法；

實驗は各々 2 回とも、0m, 4000m, 5000m, 6000m, (6000m) 酸素補給；の各高度で行ひ、各高度到着後 2—3 分にして實驗開始し、同一高度 30—40 分間滞在中、各 2 名の被験者に就き、個別的に實驗する。一實驗の所要時間は 7—10 分である。尙 6000m に於ては、所定の實驗終了後、直ちにドレガー酸素吸入器によりて酸素を補給し、酸素補給状態のまま、前同様の實驗を繰返す。實驗は常に右眼についてのみ行つた。全實驗終了と同時に直ちに復壓し 0m に復歸する。

iii) 結果と考察

① 白視野限界；

次に一括して實驗結果を圖示及び表示する。

VP. Ku. 右眼、視標白 (1cm).

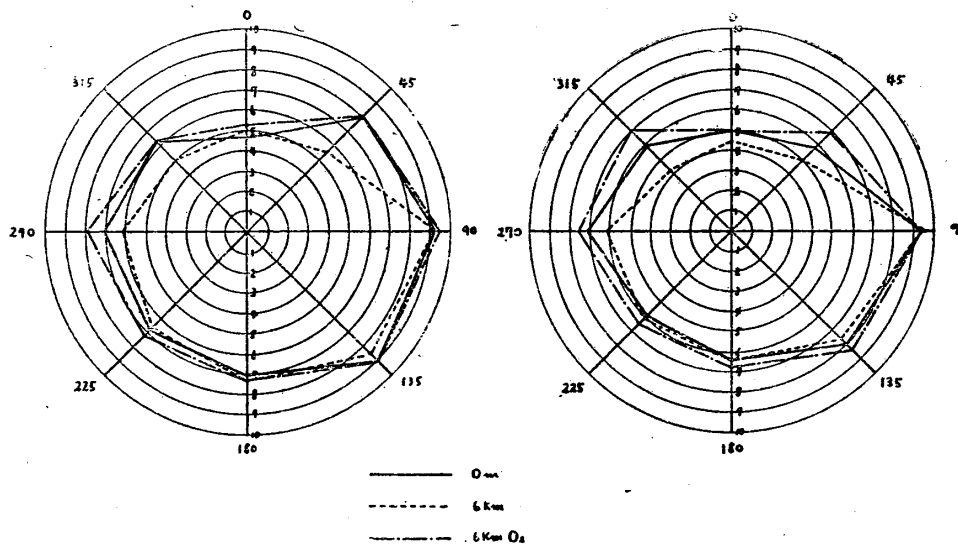
表 1.

高度 \ 角度	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0m	46.5	80.0	93.0	90.0	71.0	68.0	70.5	64.0
4km	59.0	70.0	94.0	89.0	71.5	65.5	67.5	65.5
5km	40.5	65.0	97.0	91.0	68.0	61.0	65.5	61.0
6km	50.0	54.5	93.0	85.0	74.0	66.0	62.0	50.0
6kmO ₂	52.0	80.5	95.5	90.0	73.0	72.0	79.5	64.0
6kmO ₂ —0m	+ 6.0	+ 0.5	+ 2.5	0	+ 2.0	+ 4.5	+ 9.0	0
6km—0m	— 3.5	— 25.5	— 0.5	— 5.0	— 3.0	— 2.0	— 8.5	— 16.0

Vp. Mo. 右眼、視標白 (1cm)

表 2.

高度 \ 角度	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0m	50.0	57.5	93.5	80.0	64.0	59.0	70.5	59.0
4km	53.0	62.0	92.0	76.5	64.0	58.0	70.0	50.5
5km	42.5	55.0	92.5	74.0	64.5	54.0	65.0	45.5
6km	45.0	50.0	95.0	75.0	64.0	61.0	62.0	42.5
6kmO ₂	50.0	69.0	93.0	84.0	66.5	65.0	76.0	70.0
6kmO ₂ —0m	0	+ 12.5	— 0.5	+ 4.0	+ 2.5	+ 6.0	+ 5.5	+ 11.0
6km—0m	— 5.0	— 7.5	— 1.5	— 4.5	0	— 2.0	— 8.5	— 17.5



Vp. Ku { 視野 (右眼)
視標、白 (直徑 1cm)

第 1 圖

Vp. Mo { 視野 (右眼)
視標、白 (直徑 1cm)

上の結果によれば、2 名の Vp_n に就き、高度上昇に伴ひ等しく視野障碍が現はれる。而して 4km に於ては其の障碍は明かでなく、むしろ 0m よりも視野は多少擴大するかの如き傾向が認められる。然し 5km, 6km に於ては、其の障碍の程度は可成明確に認められ、特に 6km に於ては顯著な視野狹窄が現はれてゐる。而して其の狹窄の状態に關しては、見られる變狀は求心的なる視野狹窄ではなく、専ら上方及び鼻側、就中、270°, 315°, 45°, の方向に於て著しい障碍が認められ、之に

反し顚顚側、下方に於ては、其の狹窄の程度は稀少にして、特に 90° の方向に於ては殆んど其の縮少は認められない。(表 1, 2 の 6km—0m 参照)

次に 6000m に於ける酸素補給後は視野狹窄は完全に恢復し、障碍の程度最も大であつた鼻側及び上方視野も再び常態に復歸する。而して 6000m 酸素補給時と 0m との視野を比較すれば、前者に於ては、後者におけるよりも、むしろ擴大せる視野限界が認められる。(表 1, 2 の 6km O_2 —0m 参照)

② 色視野限界;

次に赤、及び青の視野限界を一括して圖示及び表示する。

Vp. Na. 右眼、視標赤 (直徑 1cm).

表 3.

角度 高度	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0m	40.0	46.5	78.0	59.0	50.0	38.5	33.0	42.5
4km	36.0	36.0	77.0	59.5	50.0	34.5	33.0	34.0
5km	32.0	36.5	76.0	58.0	40.0	33.0	30.0	32.0
6km	26.0	43.0	76.0	60.0	46.0	35.0	24.0	28.0
6km O_2	28.0	47.0	80.5	61.0	46.0	33.5	33.0	40.0
6km O_2 —0m	-2.0	+0.5	+2.5	+2.0	-4.0	-5.0	0	-2.5
6km—0m	-14.0	-3.5	-2.0	-1.0	-4.0	-3.5	-9.0	-14.5

Vp. Mo. 右眼、視標赤 (直徑 1cm)。

表 4.

角度 高度	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0m	40.5	50.0	81.0	69.0	50.5	45.0	50.0	43.5
4km	40.0	46.0	79.0	65.0	45.0	40.0	42.0	39.0
5km	32.0	42.0	80.0	64.0	50.0	40.0	40.0	32.0
6km	30.0	40.0	80.0	63.0	40.0	38.0	30.0	24.0
6km O_2	39.0	58.0	80.0	67.0	42.5	40.5	47.0	44.0
6km O_2 —0m	-1.5	+8.0	-1.5	-2.0	-8.0	-4.5	-3.0	+0.5
6km—0m	-10.5	-10.0	-1.5	-6.0	-10.5	-7.0	-20.0	-19.5

Vp. Na 右眼、視標青（直径 1cm）

表 5.

高度 \ 角度	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0m	42.0	54.0	83.0	71.0	51.5	52.5	49.5	7.5
4km	35.5	41.5	80.0	71.5	47.5	50.0	43.0	39.0
5km	30.0	52.0	80.0	76.0	50.0	45.5	43.0	39.0
6km	33.0	45.0	76.5	74.0	41.5	47.0	42.5	36.5
6kmO ₂	34.5	49.5	82.0	71.5	49.5	47.5	47.5	43.5
6km.O ₂ —0m	— 7.5	— 4.5	— 1.0	+ 0.5	— 2.0	— 5.0	— 2.0	— 4.0
6km—0m	— 9.0	— 9.0	— 6.5	+ 3.0	— 10.0	— 5.5	— 7.0	— 11.0

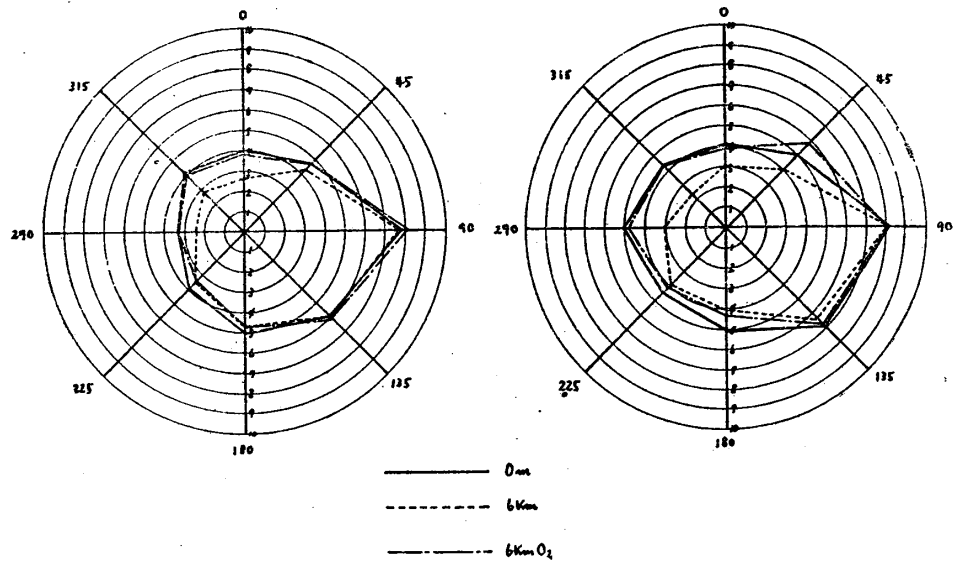
Vp. Mo. 右眼、視標青（直径 1cm）

表 6.

高度 \ 角度	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0m	41.0	55.0	84.0	66.5	51.0	53.5	58.0	45.0
4km	32.0	50.0	80.5	77.0	58.0	54.0	58.5	44.5
5km	35.5	35.0	83.0	66.5	45.0	53.0	57.0	33.5
6km	32.0	36.0	69.0	61.5	40.0	47.0	50.0	35.0
6kmO ₂	38.0	58.0	80.0	70.5	50.0	53.5	59.0	46.0
6km.O ₂ —0m	— 3.0	+ 3.0	— 4.0	+ 4.0	— 1.0	0	+ 1.0	+ 1.0
6km—0m	— 9.0	— 19.0	— 15.0	— 5.0	— 11.0	— 7.5	— 8.0	— 10.0

赤の視野限界に関しては、2名の Vpn に就き、高度上昇に伴ひて明らかな視野障碍が認められ、障碍の程度は、4km, 5km に於て可成明確に、6km に於ては其の程度が顯著である。障碍の最も大なる部分は、第一に鼻側（315°, 270°）次に上方（0°, 45°）である。其の他の方向に於ては、勿論可成の障碍が認められるが鼻側よりは遙かに小であり、特に顛顚側に於ては其の變化は殆んど認められない。上の事情は白視野の場合と大體同様であるが、但し之の場合は下限（180°）に於ける變狀が稍々著しく認められる様である。6000m に於ける酸素補給後は斯る障碍は速かに消失し、視野は再び正常に復歸する。而しこの場合は白視野に於ける如き、すべて正

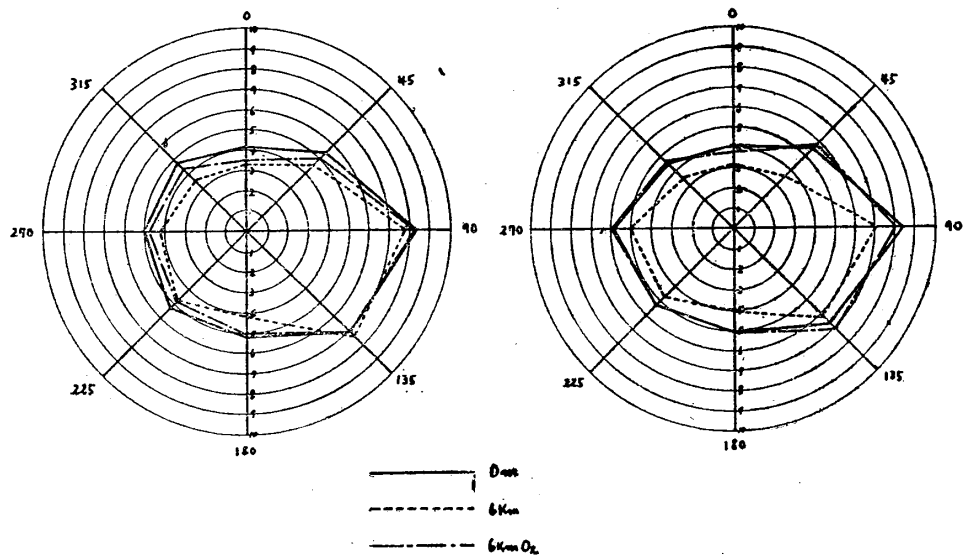
常以上の視野限界が現はれることは認められない様であつた。(表. 3. 4. 及び圖 2 参照)。青の視野限界に関しては(表 5. 6. 及び圖 3 参照)、Vp. Na に於ては大體、赤



Vp. Na. { 視野 (右眼)
視標、赤 (直径 1cm)

第 2 圖

Vp. Mo. { 視野 (右眼)
視標、赤 (直径 1cm)



Vp. Na. { 視野 (右眼)
視標、青 (直径 1cm)

第 3 圖

Vp. Mo. { 視野 (右眼)
視標、青 (直径 1cm)

の場合と同様な現象傾向が認められるが、Vp. Mo に於ては、上の如き一義性は認められず、6000m に於ける狹窄はむしろ求心的に現はれてゐる。即ち各方向に於け

る視野限界の縮少の程度は、必ずしも鼻側、上方に於てのみ大ならず、全體的、求心的縮少を示してゐる。而してこの場合の Vp. Mo の結果は、6000m 到着後、約 40 分にして測定されたる結果であり、彼の内觀によれば、此の場合自分の供述はかなり不正確であつた様に思はれ、相當の全身的衰憊を伴つてゐたと報告してゐる。

以上二種（白視野、色視野）の結果を總括してみるに、高度上昇に伴ふ視野障碍の程度は、大體酸素缺乏の強度に比例し、而も視野限界の縮少は常に第一に鼻側（ 315° , 270° ）、次に上部（ 0° , 45° ）に於て其の程度強く、其の他の部分は、此等に比すれば其の狹窄の程度は遙かに小にして、就中、顳側部に於ては其の程度僅少である。而して上記の現象は 6000m に於て特に顯著に認められる。然し Vp. Mo の青の視野限界に關しては、其の趣きが稍々上とは異り、6000m に於ては視野はむしろ求心的なる狹窄を示した。次に 6000m に於ける酸素補給後は、上記の障碍は速かに消失し、視野は再び正常乃至正常以上に復歸する。而して其の復歸の過程は酸素吸入後 1~2 分にして現はれるものの様で、すべての被験者は酸素吸入直後直ちに視野の異常なる明化及び對象物の明確性の現はれることを報告してゐる。

以上の結果より考察するに、總ての被験者は 5000m 以上になると皆一義的に明らかな視野障碍を示す。斯る現象は既に Wilmer 及び Berens の研究によりて明にされた所である。而して障碍を蒙る視野の變狀が大部分は求心的縮少を示さずして、常に第一に鼻側（ 315° , 270° ）、次に上方（ 0° , 45° ）の視野縮少を示し、其の他の部分は、一二の例を除いては、其の縮少の程度比較的僅少であつて、就中、顳側部の縮少は殆んど認められないと云ふ事は酸素缺乏下に於ける視野障碍の一つの特異な傾向と思はれる。併して、視野上方の縮少乃至變化は常に或る程度眼瞼の僅かな變化に依存する事は避けられない事實の如く思はれ、同時に偶々認められる視野下方の縮少乃至變化も、視野上方の變化に關聯して、頭部の僅かな偶然の轉位が幾分關與するものではなからうかと推定される。然し常に認められる鼻側視野縮少及び顳側視野の不變に關しては上の如き機械的な因子によりては説明することの出来ない何等か其他の機能的因子が關與するものの如く考へられる。何となれば、すべての場合酸素を補給すれば鼻側縮少は直ちに消失し、視野は再び正常に復歸するからである。之の點に關しては Goldmann 及び Schubert のかなり詳細な研究

- 1) Wilmer, W. H. and Berens, C;
Medical studies in aviation. V. The effect of altitude on ocular functions. J. Amer. Med. Ass. 71: 1918.
- 2) Goldmann, H. und Schubert, G:
Untersuchungen über das Gesichtsfeld bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atmungsluft. Arch, Augenheilk. 107. 216—237. 1933.
- 3) Goldmann, H. und Schubert, G;
Das Gesichtsfeld in grossen Höhen. Acta Aerophysiologicala. Vol 1. 78—81. 1933.

がある。彼等の見解によれば、酸素缺乏下に於ける鼻側視野縮少の原因は、大腦の内部的變容にその由因があるのではない。何となれば、皮質的障礙に於ては求心的な或ひは同側半盲症的 (homonym-hemiopische) な視野變化が現はれなければならないからである。従つて鼻側、上方の視野縮少は、其の原因が對應的網膜領域即ち網膜の顳側下方領域の酸素缺乏に求められねばならないと。更に全身的酸素缺乏状態を伴はない様な状態、例へば吾々が眼球に壓を加へた場合、眼内壓障礙によつて視野の暗化が生ずるが、斯る場合其の暗化現象は則規的に先づ鼻側より始まる事實、或ひは緑内障患者に於ける鼻側視野障礙の事實を指摘し、結局、鼻側視野縮少は網膜の當該領域に於ける血行の不全にその原因は歸着されるものであるとし、酸素缺乏による網膜の一般的感性低下に其の原因が存するものではないとしてゐる。即ち、正常なる酸素張力を持つ血液に於てはなほ十分なる酸素供給が當該領域に保證されてゐるが、酸素張力の低下した場合には、單位時間内に血液によつて供給される酸素量が、もはや網膜の當該領域に於ける十分なる機能を保證することが出来なくなるためであるとする。最後に、吾々是一个の例外として、青の視野限界；6000m に於て、求心的視野縮少を認めたのである。又其の他の場合に於ても鼻側、上方以外の他の部分に於てなほ或る程度の視野縮少が認められたのであるが、斯る事實がすべて被験者の陳述の不正確、乃至は測定の誤差に歸せしめられるかどうか、若し歸せしめられないとすれば、吾々は上記の原因以外に尙網膜の一般的感性低下或ひは中樞的要因を比較的長時間の酸素缺乏状態下においては更に加味すべきではなからうと思はれる。然し之の點に關しては更に詳細な將來の研究に俟たねばならない。

2. 視 力 實 驗

i) 目 的；

酸素缺乏下に於て視機能の減退乃至障礙が現はれることは一般に認められてゐる所であるが、斯かるものの中、或る種の視機能は僅かな高度變化で既に障礙を蒙るが、其の他のものは可成の酸素缺乏状態が出現するまで、尙相當保持されてゐるものの様に思はれる。事實吾々には低壓下に於ける視覚變容は、對象物の輪廓線の不明瞭に於てよりは、むしろ視野の一般的暗化現象に於て、其れが特に表明されることは常に經驗する事實である。Evans 及び Mefarland はスネレン氏視力表 (5.f-e)

- 1) Johnson, H. M. and Paschal, F. C :
Psychological effects of deprivation of oxygen. Psychobiology. 2 : 193—236. 1920.
- 2) Evans, J. N. and Mefarland, R. A :
The effects of oxygen deprivation on the central visual field. Amer. J. ophthal. 21 : 968—980 ; 1938.

を用ひて、22,500ft¹⁾(窒素稀釋法)の高度に於てもなほ中心視力には、何等影響が認められなかつたと報告してゐる。然し一方 Wilmer 及び Berens は 15,000ft¹⁾(再吸呼法及び低壓室實驗)に於て既に僅かな視力減退を認め、20,000ft¹⁾に於ては顯著な影響が認められたと云つてゐる。(Ives visual acuity test)、従つて吾々には低壓下に於て果して視力の減退が認められるかどうかに就き、石原式視力表により之の點を一應確めて見たいと思ふ。

ii) 實驗條件

〔a〕 低壓及び溫、濕度條件；併びに到着及び滞在時間。

高 度	到着及び滞在時間	溫 度	濕度(%)
〔減壓開始〕 0m	午前 9時 52分 0秒	24° 1'	72%
1,000	10 0 0	22 2	77
2,000	10 9 30	21 7	73
滞在 [3,000	[10 19 20	21 6	67
" ["	[10 32 40	23 6	63
滞在 [4,000	[10 42 40	22 2	66
" ["	[10 53 0	23 6	60
滞在 [5,000	[11 5 0	22 3	62
" ["	[11 17 0	23 6	60
滞在 [6,000	[11 29 25	22 5	59
" ["	[11 45 0	24 7	50
滞在 [6,500	[11 52 10	24 0	58
" ["	[12 10 0	24 1	54
〔復壓〕 5,000		24 8	59
4,000			
3,000		23 2	86
2,000	12 41 40	22 9	63
1,000	12 46 5		
〔終了高度〕 0	12 53 0	24 0	72

〔b〕 裝置及び實驗方法；

裝置： 石原式視力表を用ひる。これは觀察距離を5mとし、0.1より2.0に至る各種の視力に相當する視標を順次排列したものである。視標面の明さは 200W 電球にて斜め上方 1mの距離より照明したものである。尙電球の被驗者側の面は白紙にて遮被し、光源が直接被驗者の周邊視野に入らない様にし、同時に視標面の明さを出来るだけ均一ならしめる様にした。

1) Wilmer and Berens. 前出

被 験 者： 4 名 Su. Ho. Os. Ya.

日 時： 昭和 16 年 7 月 18 日

實驗方法： 實驗は 0m, 3km, 4km, 5km, 6km, 6.5km の各高度で行ひ、各高度到着直後、實驗開始し、同一高度 10~15 分間滞在中 4 名の被験者に就き個別的に實驗した、各被験者の觀察時間は 3~4 分、實驗は常に兩眼視に於て行つた。

iii) 結果と考察

次に一括して實驗結果を表示する。

(各高度に於ける視力. Vp. 4 名)

高 度 \ 被 験 者	Su	Ho	Os	Ya
0m	1.0	1.2	0.9	1.2
3,000	1.0	1.2	0.9	1.2
4,000	1.0	1.2	0.9	1.2
5,000	1.0	1.2	0.9	1.2
6,000	1.0	1.2	0.9	1.2
6,500	1.0	1.0~1.2		1.2

尙、被験者中、眼鏡使用者 (Su. Ho. Os.) の視力はすべて矯正視力である。Vp. Os は 6500m に於て衰憊、脱力、昏睡状態が現はれたので實驗中止し、直ちに酸素吸入をほどこして、實驗終了と同時に速かに復壓したが、其後 なほ暫くの間、嗜眠状態繼續し、1000m 附近に於て恢復した。實驗結果を一覧すれば、總ての被験者について、6000m 或ひは 6500m までは殆んど視力に變化が認められない。勿論 Vp. Ho は 6500m に於て稍々視力減退の徴候を現はしてはゐるものの、なほ該高度に於ては其の變化は顯著なものとは思はれない。更に Vp. Os. は 6500m に於て昏睡状態現はれ能率殆んど 0 に近い状態を示したのであるが、其の直前の高度、即ち 6000m に於ては視力に何等の變化も示してゐないのである。従つて吾々は、上の實驗結果より見れば、視力は 6000m 乃至 6500m 程度の高度までは何等見らるべき量的變容を蒙らないものの様に思はれる。

然し、各人の到し得る高度には可成の個人差があり、高度耐久性は人により相異なるものであるから、一般的に云へば視力は昏睡状態の現はれる直前までなほ或る程度そのまま維持され得るものではなからうかと推定される。但し、ここに見られる視力の不變といふ事は、直ちに酸素缺乏は視力に何等の影響も及ぼさないといふ事を意味するものでない。只ここに用ひた視力表によつては量的に測定され得るほ

どの結果が現はれなかつたといふに過ぎないのであつて、若し視力表の視標と地 (grund) との對比を弱めるか、或ひは視標面の照度を低下せしめるならば、かなり微細な視力變化も握むことが出来るのではないかと思はれる。

Mcfarland¹⁾ 及び Halperin は視力に及ぼす酸素缺乏の影響は、高照度に於ては認められないが、低照度に於ては顯著に認められると云つてゐること等からしても上の假定は可能な様に思はれる。

最後に、本實驗は同一高度滞在時間が短いため、該高度に長時間滞在中の視力變化に關して果して上の如き事が認められるかどうかには就いては不明であり、更に將來に俟たねばならない。

3. 明るさの辨別に就いて

i) 目 的

酸素缺乏下に於て視野の一般的暗化が生ずることは、既に多くの研究者並びに飛行士等によつて等しく認められてゐる。事實この現象は酸素缺乏を表明する一つの最も顯著なる象徴とさへ思はれる。吾々の低壓經驗によれば、既に 3000~4000m の高度に於て室内の明るさは黄味を帯びた明るさへと變り、6000m 以上に於ては更に黄味乃至赤味を帯びた明るさとなり、視野は一段と暗くなつて來、電燈の輝きなどは著しく減退し鈍き光を放つ様に見へて來る。これと同様な現象は實際操縦士によつて高空に於ける薄暮現象として屢々經驗されてゐる所である。²⁾

斯の如き明るさの低下の客觀的測定に關しては、既に Schubert³⁾ 及び Gellhorn 等は Massou scheibe⁴⁾ を用ひて、明るさ辨別の低下乃至對比作用の減退を見出し、Wilmer⁵⁾ と Berens 及び Mcfarland と Edwards は Reeves Wedge を用ひて光覺力の變化を測定し、いづれも酸素缺乏が明るさの知覺に著しい影響を及ぼすことを實證し、更に斯る影響は酸素補給によつて速かに除去し得るものであるとしてゐる。

- 1) Mcfarland, R. A. and Halperin, M. H. ;
The relation between foveal visual acuity and illumination under reduced oxygen tension. J. Gen. physiol. 23 : 613—630 : 1940.
- 2) Schubert, G ;
Das Verhalten des Zentralnervensystems bei rascher Rückkehr aus kritischem Unterdruck. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 231 : 1933.
- 3) Gellhorn, E ;
The effect of O_2 -lack, variations in the CO_2 -content of the inspired air, and hyperpnea on visual intensity discrimination. Amer. J. Physiol. 115 : 1936.
- 4) Wilmer, W. H. and Berens, C ; 前出
- 5) Mcfarland, R. A. and Edwards, H. T. ;
The effects of prolonged exposures to altitudes of 8,000 to 12,000 feet during trans-Pacific flights. J. Aviat. Med. 8 : 1937.

る。

吾々は之の點に關し低壓下に於ける上記の現象を更に客觀的に確め、なほ高空に於ける酸素補給前後の明るさ及び對比作用の變化過程を更に詳細にしようと思ふ。

ii) 實 驗 條 件

〔a〕 低壓及び溫濕度條件、並びに到着、及び滞在時間。

高 度	到着及び滞在時間	溫 度	濕度(%)
〔減壓開始〕 0m	午前 9時 40分 0秒	25° 0'	76
1,000	9 47 30	23 8	70
2,000	9 56 40	23 5	70
滞在 { 3,000	[10 4 5	23 2	68
" 4,000	[10 25 30	23 6	67
滞在 { 4,000	[10 36 40	23 5	64
" 5,000	[10 46 0	25 0	59
滞在 { 5,000	[10 57 0	23 4	60
" 6,000	[11 15 0	24 9	58
滞在 { 6,000	午後 [11 26 50	23 8	58
" 6,500	[12 4 0	24 0	62
滞在 { 6,500	[12 10 30	24 1	60
" 6,500	[12 30 40		
〔復壓〕 6,000	12 33 0	26 1	54
5,000	12 35 20	29 0	53
4,000	12 37 40	29 9	53
3,000	12 40 25	30 1	53
2,000	12 44 0	29 9	55
1,000	12 48 20	29 6	61
〔終了高度〕 0m	12 53 30	29 0	68

(6,000m 及び 6,500m にては、途中で酸素補給を行ふ)

〔b〕 装置及び實驗方法；

装 置； マツソン圓盤 (masson scheibe) を用ふ。これは半徑 112m.m. の白色 (岩城式灰色 No. I) 廻轉圓盤上に、同じ大さの黒線 (3×4m.m. : ミツボンポスター カラー黒ニテ描ク) を 10 個、等間隔 (7m.m.) に一直線上に描いたものである。之を廻轉すれば同心の灰色の輪を生じ其の中央にあるものは最も濃く、順次濃度を減じ種々の明るさの灰色段階の轉輪が生ずる。斯る場合の白、黒の割合は客觀的に $\frac{d}{2\pi r}$ で現はされる。而して之の實驗に於ては d はいづれも 4m.m., r はそれぞれ 15m.m., 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105m.m. である。かくして生ずる 10 個の灰

色の轉輪の濃度は、中心より順次次の如き割合になる。

$$\begin{array}{ccccccccc} \textcircled{1} \frac{1}{23.6} & \textcircled{2} \frac{1}{39.3} & \textcircled{3} \frac{1}{54.9} & \textcircled{4} \frac{1}{70.7} & \textcircled{5} \frac{1}{86.4} & \textcircled{6} \frac{1}{102.1} & \textcircled{7} \frac{1}{117.8} \\ \textcircled{8} \frac{1}{133.5} & \textcircled{9} \frac{1}{149.2} & \textcircled{10} \frac{1}{164.9} & & & & \end{array}$$

廻轉圓盤は斜上方 2m の距離から 200W 電球で照明される。被験者は 40cm の距離より兩眼視にて、右半圓上を觀察し、認め得る灰色轉輪の數を其の都度報告する。觀察中は被験者は出来るだけ頭部を動かさない様に注意する。

被験者； 5 名、Na, Mo, Os, Ya, Ta.

實驗日時； 昭和 16 年 7 月 16 日

實驗方法； 實驗は 0m (出發高度)、3km, 4km, 5km, 6km (6km, 酸素補給)、6.5km (6.5km 酸素補給)、0m (終了高度) の各高度で行ひ、各高度到着後 4~5 分にして實驗開始し、同一高度 10~20 分間滞在中 5 名の被験者に就き個別的に實驗する。各被験者の觀察時間は 1~2 分、觀察は 2~3 回繰返す。なほ、5000m に於ては到着後 10 分経て再び同一實驗を繰返し、6000m に於ては實驗後酸素吸入をほどこし直ちに再び同一實驗を繰返し、6500m に於ては實驗直前約 5 分及び實驗中は酸素吸入を中絶し、實驗後は再び酸素吸入をほどこし實驗を繼續する。6500m 酸素補給實驗終了と同時に復壓開始し、0m 到着後、更に同一實驗を行ひ、出發高度 0m に於ける實驗結果と比較する。

iii) 結果と考察 次に一括して各高度に於ける實驗結果を表示する。

高度	VPn	Na	Mo	Ta	Os	Ya
[出發] 0m		$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{133.5}$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{133.5}$
3km		$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{133.5} \sim \left(\frac{1}{149.2} \right)$	$\frac{1}{133.5}$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{133.5}$
4km		$\frac{1}{133.5} \sim \left(\frac{1}{149.2} \right)$	$\frac{1}{133.5} \sim \left(\frac{1}{149.2} \right)$	$\frac{1}{117.8} \sim \left(\frac{1}{133.5} \right)$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{133.5}$
[到着] 5km			$\frac{1}{133.5}$		$\frac{1}{117.8} \sim \left(\frac{1}{133.5} \right)$	$\frac{1}{133.5}$
[10分後] "		$\frac{1}{117.8} \sim \left(\frac{1}{133.5} \right)$	$\frac{1}{117.8} \sim \left(\frac{1}{133.5} \right)$	$\frac{1}{117.8} \sim \left(\frac{1}{133.5} \right)$	$\frac{1}{102.1}$	$\frac{1}{117.8}$
6km		$\frac{1}{117.8} \sim \left(\frac{1}{133.5} \right)$	$\frac{1}{102.1}$	$\frac{1}{102.1} \sim \left(\frac{1}{117.8} \right)$	$\frac{1}{102.1}$	$\frac{1}{117.8}$
6kmO ₂		$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{149.2}$
6.5km		$\frac{1}{86.4}$	$\frac{1}{102.1}$	$\frac{1}{117.8}$	—	$\frac{1}{117.8}$
6.5kmO ₂		$\frac{1}{133.5} \sim \left(\frac{1}{149.2} \right)$	$\frac{1}{133.5}$	$\frac{1}{133.5} \sim \left(\frac{1}{149.2} \right)$	—	$\frac{1}{149.2}$
[終了] 0m		$\frac{1}{133.5} \sim \left(\frac{1}{149.2} \right)$	$\frac{1}{149.2}$	$\frac{1}{133.5}$	$\frac{1}{133.5}$	$\frac{1}{133.5}$

(表中 () をほどこしたる數値は、該數値に相當する濃度の灰色轉輪が觀察中時々陰顯することを意味する。例へば V_p , Na, 4km に於ける $\frac{I}{133.5} \sim \left(\frac{I}{149.2}\right)$ は觀察中認め得る灰色轉輪の數は大部分は 8 個であるが、時々 9 個目の輪が現はれたり消へたりすることを示すものである。)

結果を一覽すれば次のことが見出されると思ふ。即ち、出發高度 0m に就いて見るに明るさ辨別力の程度には既に平常高度において多少の個人差が存することが認められる。高度 3km に於ては明るさの辨別はなほ正常範囲内に保たれ、之の程度の高度變化では未だ見らるべき量的影響は現はれない。然し 4km に於ては僅かではあるが、3 名の V_{pn} は辨別の低下傾向を示し、残り 2 名は未だ正常値を保つてゐる。然し V_{pn} の内觀によれば該高度附近より室内の明るさが多少黄味を帯びて來、明るさに何等かの質的差異が認められると。高度 5km に於ては到着直後と 10 分後 2 回測定したのであるが、いづれの結果においても既に可成の辨別低下が總ての V_{pn} に於て等しく認められるに到り、同時に主觀的暗化現象も之と共に増して來る。6km に於てはもはや辨別の低下は顯著に認められ、障碍は鞏固となつて來る。すべての V_{pn} は視野の暗化を報告し、室内及び廻轉圓盤は黄味乃至赤味を帯びた明るさへと變化し、恰も電壓低下による明るさ變化の如き感があると。然し斯る變化は酸素吸入後直ちに消失し、主觀的明るさは増大し對象物はより對比的となり、明るさの辨別力は著しく昂つて來、其の急激なる恢復過程は全く特異なものである。即ちすべての V_{pn} は酸素吸入 4~5 呼吸後は突如異様な輝きに似た明化があり、今まで黄味を帯びてゐた廻轉圓盤は急激に純白な白一面に被はれた如く感ぜられ、と同時に明るい白地に對する灰色轉輪の限界は驚くほど明確となり、明るい白邊緣によつて圍まれる灰色轉輪は對比作用の増大によりて截然と浮びよつて來る。更に附加的ではあるが圓盤の廻轉が明瞭になつて來ると。而もこの場合の辨別力は 2 名の V_{pn} に於ては正常以上の數値を示してゐる。6.5km 酸素中絶後は辨別力は再び 6km 酸素無き場合と同様に低下し、同高度に於て酸素吸入をほどこせば、それは再び急激に恢復するが、この時の恢復過程は 6km に於けるほど顯著なものではない様に思はれる。

更に復壓 0m に於ける測定によれば、辨別力は殆んど正常に復歸するが、未だ多少酸素缺乏の影響が残續する傾向が認められる。

以上の結果を考察するに、明るさの辨別力は 5000m 以上に於ては著しい低下を示し、一方酸素吸入後は斯る低下は速かに恢復し、明るさの異常な増大感と同時に對比作用は強調されて來る。元來明るさの辨別力は種々の要因に依存してゐること

- 1) Schubert は酸素吸入直後、視野の一時的暗化現象が生ずると報告してゐるが、吾々の場合はかかる現象は認められず、直ちに視野の明化が現はれる。

は勿論であるが、此の場合其の物理的照明は常に客觀的に一定に保たれており、従つて又照明の變化による瞳孔距離の變化といふことは考へられず、更に酸素缺乏が¹⁾瞳孔距離に何等かの變化を及ぼすか否かといふ事に關しては、Bunge 及び Evans はいづれも測定に値する何等の變化も認められなかつたと報告してゐる。従つて酸素吸入前後に於ける明るさ辨別力の變化は、少くとも上の如き要因には依存しないものであるとすれば、其他の視機能に於ける何等かの變容が、この場合考へられなければならないであらう。然らば斯る視機能のどの部分が先づ就中障礙を蒙るのであるか、即ち障礙を蒙る部分は末消的感覚上皮の局部であるのか或ひは後方上皮的 (retroepithelium) 神経系統の全段階にあるのであるか、乃至は二者を含む過程にあるか、の問題に就いては更に研究を要するところであらう。而して Schubert によれば低壓下に於ける明るさ辨別力の低下は對比機能の變化によるものとし、斯る變化は網膜領域に於ける感覚上皮細胞の感光過程に於ける濃度の變化と同時に、それを含む神経系統の二様相の變容、即ち直接的乃至一次的な傳導神經興奮過程の變容による明るさの低下及び二次的間接的神经結合の興奮過程の變容による對比機能の低下に依存するものであるとしてゐる。

次に 6000m 酸素吸入後、或る V_p に於ては明るさ辨別力が正常以上の値を示してゐるが Gellhorn 及び Schubert は斯る supernormal phase の出現は其の時の酸素缺乏状態の強度並びに其の持続時間及び特に其れに續く急激なる恢復等に依存するものであるとしてゐる。而して吾々は 6500m 酸素吸入後は上の如き正常以上の事態を認めなかつたのであるが、この點に關しては、恐らくは上の三つの條件がこの場合十分満されてゐなかつたためではなからうかと思はれる。即ち高空に於ける酸素吸入後は一般に事態は速かに正常に復歸するものであるが、酸素吸入條件の相異により必ずしも正常以上の事態が常に現はれるものとは限らない様に思はれる。

次に復壓 0m に於ける測定によれば、明るさの辨別力は未だ完全に正常に復歸してゐないが、之に關しては長時間の酸素缺乏状態は何等かの形において其の殘效を伴ふものの様に思はれるのである。

- 1) Bunge, E :
Verlauf der Dunkeladaptation bei Sauerstoffmangel. Arch. Augenheilk. 110 : 1936-7.
- 2) Evans, J. N. and Mcfarland, R. A. :
The effects of oxygen deprivation on the central visual field. Amer. J. ophthal. 21 : 1938.
- 3) Fischer, F. P. and Jongbloed, J. :
Untersuchungen über die Dunkeladaptation bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atmungsluft. Arch. Augenheilk. 109. 135-6
- 4) Mcfarland, R. A. and Evans, T. N. :
Alterations in dark adaptation under reduced oxygen tension. Amer. J. physiol. 127 : 1939.