

No. 241.

(Published September, 1942.)

---

The effects of the acceleration upon the fatal  
limits of small animals.

By

Enjiro AWAJI, *Bungakuhakushi*,

Haruzo MANABE,

and

Seiiti KURAI.

---

**Abstract.**

Our experimental study to be reported in this paper is principally purposed to decide the fatal limits of small animals subjected to the various accelerations. The experimental animals used were about 2,000 mice, and were exposed to the acceleration of 3 to 63G's.

Either the positive or the transverse accelerations were not at all sufficient to decide their fatal limits, while the negative on the contrally proved any marked effects which were shown diagrammatically in Figure 3 to 7.

---

## 加速度の生體に及ぼす影響\*

特に加速度による動物の致死限界について

所員 淡路圓治郎  
囑託 眞邊春藏  
囑託 倉石精一

### 目次

I 加速度による廿日鼠の致死限界について.....	345
(1) まへがき .....	345
(2) 本実験の目的 .....	347
(3) 実験条件 .....	348
(イ) 装置 (ロ) 被験動物 (ハ) 実験日時 .....	348
(4) 実験結果 .....	350
(イ) 死亡率について .....	350
実験 I 実験 II 実験 III 実験 IV 總観 .....	350
(ロ) 即死せざりし動物の諸症状 .....	355
(ハ) 死亡率に及ぼす実験条件の影響 .....	361
(5) むすび .....	362
附録 I 小禽類の加速度耐性.....	363
附録 II 廿日鼠に長期間加速度荷重を実施せる結果.....	366
実験 I 実験 II .....	366

### 1. まへがき

加速度の生體に及ぼす影響に関しては、極めて實際的な立場から、現在若くは近き將來の飛行機に於て現はれ得べき種類並に程度の加速度につき、これが搭乗員に及ぼす影響を詳細に且つ具體的に考究するのが、最も穩當で適切と考へられる。我々の研究も、結局は、茲に歸着すべきであり、またかくしてこそ實地に貢獻し得るも

\* 本研究は大日本學術振興會の研究費補助による実験研究の一部であつて、航空研究所航空心理部所在の施設を利用して行はれた。

のなることを、我々も信じて疑はない。

然し乍ら、飛行機に於ける加速度現象は頗る複雑でしかも變化的であり、實驗條件を嚴密に設定することが甚だ困難であるばかりでなく、結果の處理に際しても分析研究が容易でなく、法則的關係を一義的に確定することが難かしいので、もつと單純なる條件に於て實驗研究を試み、一應の基本法則を明確にしたる後に實際研究に進むのが、寧ろ有利なりと考へられる。

かくて、我々は研究を三期に分ち、第一期に於ては、數種の實驗動物に對し、比較的單純なる條件に於て加速度を與へ、生體に現はれる影響を一義的に把捉し、基本法則を闡明することに努め、第二期に在ては、一般の人間に就いて、多少緩和されたる條件に於て同様の實驗を繰返へし、果して動物に於て認められたる基本法則がどの程度に人間に妥當するかを吟味し、之に基いて搭乗員保護の對策を工夫することを試み、更に第三期の研究としては、機上實驗を行ひ、實際に現はれ得べき加速度に關し、搭乗員の蒙る影響を検討し、進んでは心身の安全並に快適を保障すると共に航空動作の能率を維持せしめ得べき各般の防護對策の效果を實地に追試することを目的としたのである。茲に報告する實驗研究は、實に第一期の基本研究中、比較的序曲的のものであつて、専ら實驗動物に於ける加速度の影響機制を確めることを本旨とした。

第一期の研究に着手するに當り、我々は若干の豫備實驗を試みたが、加速度の生體に及ぼす影響は頗る複雑であつて、結果の現はれ方は甚だ多義的であつた。従つて、普通の條件に於て實驗をなすことは、徒らに事態を曖昧ならしめ、基本法則を確める所以でないことを痛感した。そこで、故らに極端なる條件を選び、過大なる加速度を與へて影響の現はれ方を擴大し、しかも各種の影響中最も明確で具體的な加速度死の現象を捉へて、這般の消息を窺ひ、法則的關係を詳かにせんことを意圖したのである。

この實驗研究に於ては、廿日鼠その他の實驗動物につき、加速度死の出現を見るに到る各種の條件を考察したのであるが、死亡そのものは我々の研究の對象ではない。即ち、加速度死の現象を通じて、下の諸問題を解決することが、寧ろ重要な目的であつたのである。

- (1) 加速度の生體に及ぼす影響は、加速度の大きさ並に持續時間の長短と如何なる關係があるか。
- (2) 加速度の影響は、生態の姿勢によつて、云換へれば力の加はる方向に應じて、如何なる差異を生じるか詳しく云へば、同一の加速度が頭部より足部の方向へかけられた場合と、逆に足部より頭部の方向へかけられた場合、或は身體軸に横斷的に前後若くは左右の方向にかけられた場合とでは、どんなに違つた

影響が現はれるであらうか、また、その差異を生ずるメカニズムは如何なるものであらうか。

(3) 生體は加速度死に到る迄の過程に於て、如何なる前驅徴候を現はすか、それ等の諸種の徴候の先後關係は如何、またそれ等の中孰れが生命の危険に對し最も豫告的意義を有して居り、之によつて危険の襲來を未前に察知することが出来るであらうか。

(4) 加速度の影響は動物の種類並に個體差によつて相異なるものであらうか、またその相異の原因は如何なる事情に存するのであらうか。

其他、若干の派生的問題に對し、多少なりとも理論的解答を與へるのが我々の目的であり、此實驗報告に於ても、既に聊か乍らこの目的を果たし得てゐるつもりである。

第一期の研究は今尚ほ繼續中であるが、漸次取纏めの終りたる部分から發表する豫定である。本研究に就ては、それらの報告をも併せ参照せられんことを希望して已まない。(1)

## 2. 本實驗の目的

本實驗の目的は、加速度の生體に及ぼす種々の影響の中、最も極端で具體的な即死といふ一點を捉え、この現象を生起せしむるに必要な加速度の大きさと方向及び身體の向き、作用時間の關係等を確定し、これを種々の動物につき試験し、これらの結果を比較動物學的見地から考察し、以て人體に於ける防護對策の一つの參考指針とするにある。各種動物はそれぞれ身體組織の構造を異にし、生活環境に基く習性も多種多様であり、これらの條件に起因する加速度耐性も各動物に於て、それぞれ異なるであらうことが豫想される。數種の動物の加速度による即死限界を確認し、身體組織の分化度、強弱、大小、就中脈管組織や神経系統の分化度、血量や體重の差異等の各面から分析し、他の動物或ひは人間に於ける場合を推定する根據とすることは必ずしも不合理ではない。

また特定の動物の加速度耐性を極端な即死と言ふ點に關してそれに必要にして充分なる諸條件を明かにして置くのは、爾後の各種條件的研究の一つの基準を設定する意味に於て便利である。

本實驗は以上述べた目的により着手されたのであるが、今回茲に報告するのは主として廿日鼠に於ける即死限界と若干の小禽類に就ての結果に止まり、我々の實施

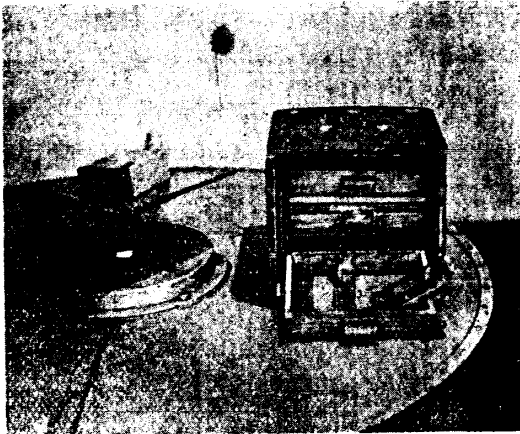
(1) 淡路圓治郎、那須聖：航空研究所報告 No. 229

しつゝある一連の研究の單なる一環たるに過ぎないのである。また、實驗裝置其他の事情により、加速度による即死限界も場合に應じて多少變動するものと推定されるが故に、廿日鼠に關してもなほ多くの實驗を重ねなければならぬのは言ふまでもないのであるが、取敢へず茲に一部の實驗として取纏め得られたる結果を報告する次第である。

### 3. 實 驗 條 件

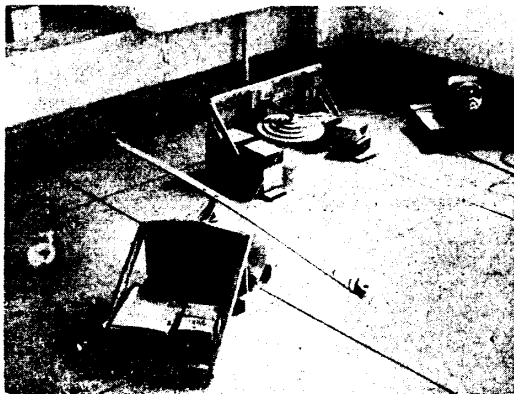
#### (イ) 裝 置

使用した實驗裝置は第 1, 2 圖の如き小型動物試驗用遠心器であつて、遠心器甲は直徑 1m の圓筒型回轉裝置で、交流 200v., 2.8amp., 2h.p. の電動機により、五段の

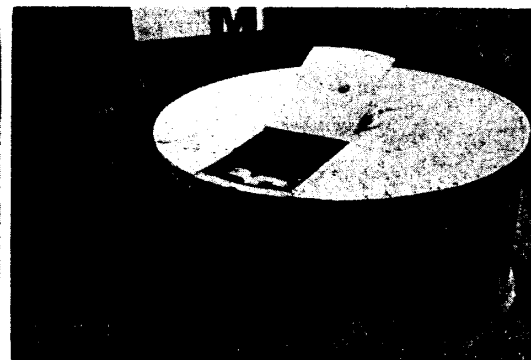


寫 眞 1.

變速用段車を通じて、一定速度を以て右廻りに回轉する。廻轉中の被驗動物の身證の中心を基準として與へられる加速度の大きさを計算すると、 $r=31\text{c.m}$  の時は、廻轉速度に應じてそれぞれ 5.9g, 7.2g, 9.4g, 11.8g, 14.0g の五段である。尚ほ各段に於ける定速度に到達するには、始動後約 10 秒間を要する。即ち、その間角加速度が働くと同時に遠心加速度が徐々に大きくなつて行くわけである。停止に際しても同様に角加速度を生じ、徐々に遠心力が小となつて停止する。



寫 眞 2.



寫 眞 3.

實驗の大半はこの遠心器を使用した

が、20g 以上の高加速度に對しては、特に遠心器乙を使用した。遠心器乙は簡単な手細工により製作したもので、第2圖の如きプロペラ式構造である。直徑は約1.6mで、回轉數は160p.m.乃至260p.m.、被驗動物の身驗の中心部での加速度は23g乃至68gに達する。始動後、定速度に達するには約3秒乃至5秒を要する。

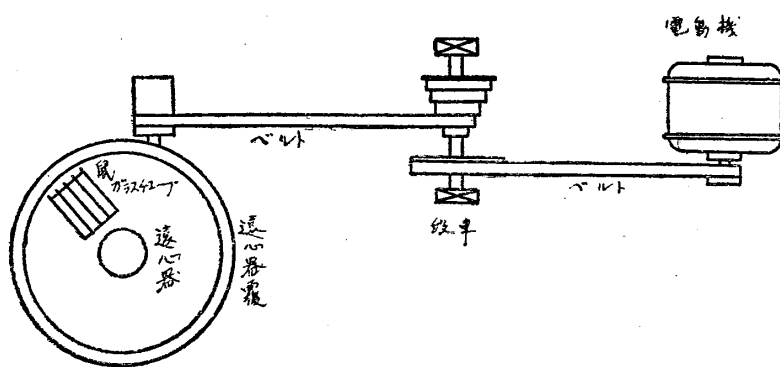
動物の固定には、硝子製チューブを用いた。成熟したマウスには長さ10cm、直徑3cmの大きさが適當であつた。管の兩端は空氣流通孔を穿つたコルク栓で塞ぐ。遠心器甲ではこの管を15本收容出来る筈筒を遠心器に

取り付け、一齊に15匹の動物を實驗し得るが、遠心器乙では廻轉棒の兩端にそれぞれ1匹づつのマウスを取りつけ、一時に2匹づつ繰り返して實驗しなければならなかつた。この際、硝子チューブの向きを變へることによつて、生體に加はる加速度の方向を調整することが出来る。

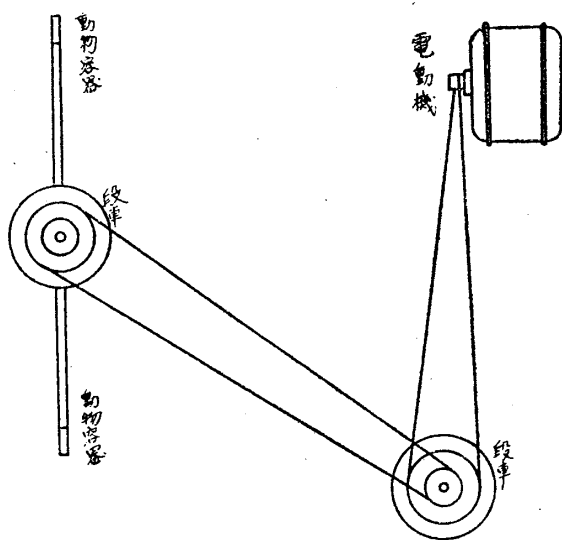
(ロ) 被驗動物

被驗動物は廿日鼠の生後3ヶ月乃至4ヶ月、略々成熟期に達せるものを使用した。體重は12gr~24grであるが、大多數は15gr~20grのものであつた。雄雌半數づ

(1) この遠心器乙の製作は囑託那須聖君の勞による。



第1圖 遠心器甲



第2圖 遠心器乙

つを集め、一つの實驗群を形成し、體重の平均が各組ほぼ均等になる様に按配した。飼育に用ひた飼料は大麥、玄米、野菜及び少量の動物性蛋白質（花かつを若しくは煮干）であつた。

#### (ハ) 實驗日時

實驗は昭和 14 年初頭から昭和 16 年 7 月の間に互り行はれた。比較的長い時日を要したのは、後述する様に季節によつて實驗成績に變化があるために適當の季節を選ぶ必要があつた爲めと、實驗動物の飼育に相當の時間を要すためであつた。茲に報告するのはすべて春秋の快適の季節に行はれた實驗成績である。但し、實驗 V は 6 月末より 7 月始めにかけて行はれた。

### 4. 實驗結果

#### (イ) 死亡率について

被験動物に一定時間、一定方向より一定の大きさの加速度を作用せしめ、作用直後に於ける動物の死亡率を以下數種の實驗で測定した。茲で一定方向と言ふのは遠心加速度の方向で、定速に達する迄作用してゐる角加速度の影響は茲では論及しない。従つて以下述べる實驗條件の中、作用時間は定速に達した以後の時間を指す。加速度の方向は以後の記述に於て、習慣に従つて、頭部が遠心器の中心に向いてゐる場合を正(+ )の加速度と呼び、逆の場合を負(- )の加速度と呼ぶ。即ち正の加速度では遠心力は頭部より足部に向つて加へられ、負の加速度では足部より頭部に向つて加へられるのである。

#### 實驗 I

條件：作用時間 1 分乃至 32 分、加速度の大きさ +5.9g, 7.2g, 9.4g, 11.8g, 14.0g  
遠心器甲使用

正の加速度に於ては、5.9g では 32 分の長時間作用せしめても一匹も死亡するには到らなかつた。また 7.2g 乃至 11.8g に於ても、32 分で僅かの死亡率を示すのみであり、14.0g でも 8 分で死亡する個體が多少あるが、死亡率は 32 分に至つても特に増大はしなかつた。(表 I 参照)

#### 實驗 II

條件：加速度は被験動物の側方から加へられる。遠心器の回轉方向は右廻り一方向であるから、進行方向に頭を向けた場合とその逆方向に頭を向けた場合とを區別して、その兩方を行つた。加速度の大きさ 5.9g~14.0g, 作用時間 1 分~32 分、遠心器甲使用。

被験個體數 410 匹を通じて、死亡したのは 11.8g 4 分 14.0g 8 分に 1 匹づつあつたに過ぎず、14g 以下 32 分以内では、死亡せしめ得ないと言つても過言ではな

表 I 正の加速度に於ける死亡率

加速度 作用時間	+ 5.9g		+ 7.2g		+ 9.4g		+ 11.8g		+ 14.0g	
	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數
1分	14	0	13	0	15	0	18	0	8	0
2分	14	0	13	0	15	0	18	0	8	0
4分	14	0	13	0	15	0	17	0	7	0
8分	14	0	13	0	15	0	18	0	10	2
16分	14	0	12	0	12	0	12	0	10	1
32分	14	0	12	1	12	1	12	1	10	1

(被験個體計 392)

表 II 負の加速度に於ける死亡率

加速度 作用時間	- 5.9g		- 7.2g		- 9.4g		- 11.8g		- 14.0g	
	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數	被 験 個 體 數	死 亡 數
15秒									10	0
30秒									10	1
45秒									10	3
1分	14	0	10	1	10	1	18	5	8	3
2分	14	0	10	1	24	6	18	13	8	3
4分	14	1	13	4	15	9	18	17	8	8
8分	14	5	13	8	25	19	15	14	6	6
16分	11	8	12	12	15	15	10	10	10	10
32分	12	12								

(被験個體數 415)

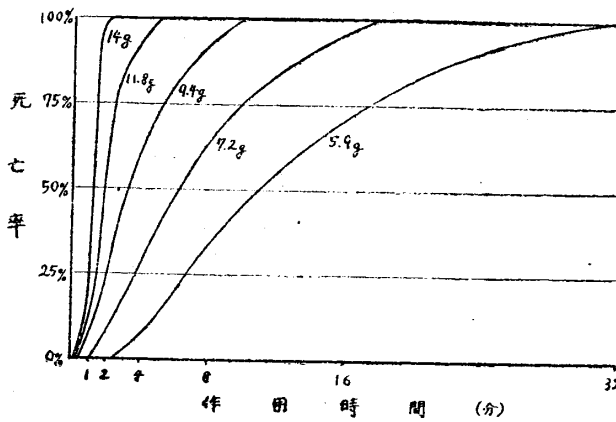


い。

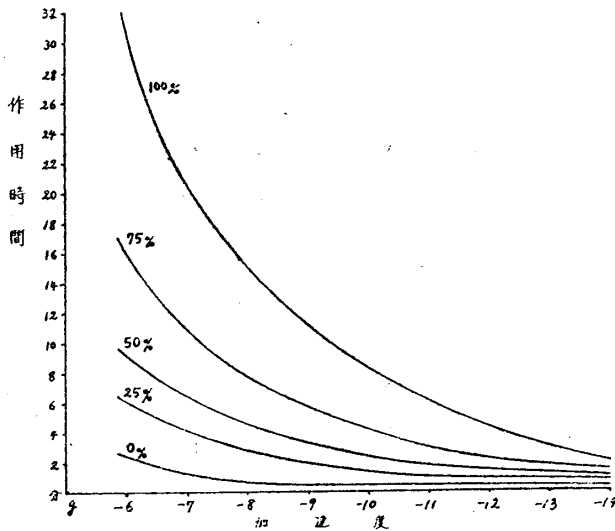
實驗 III.

條件：加速度の大きさ、 $-5.9g \sim 14g$ 、作用時間 15 秒 $\sim$ 32 分、遠心器甲使用

負の加速度については、死亡率 0% の極限及び 100% の極限を探索し得た。各實驗系列に於ける死亡率は表 II 及び第 3 圖に示した通りである。第 3 圖は表 II の平滑化曲線である。この圖では五段階の加速度が被験動物を死亡せしめるに必要な時間範囲は、曲線の傾斜度でも明かなやうに、加速度の小なる程、0% から 100% に至る迄の時間が長くかゝつてゐる。



第 3 圖



第 4 圖

第 3 圖から第 4 圖を導き出すことが出来る。即ち圖に就て、 $5.9g$  乃至  $14g$  の五本の曲線が 0%、25%、50%、75%、100% の基準線と交叉する點を求め、これらを加速度と作用時間の兩軸上にとつて描き直したものである。この第 4 圖に於て 100% 曲線の上方範囲は即死帶 (fatal region) と見なすことが出来る。即ちこの範囲での加速度  $g$  と時間の組合せは、如何なるものでも、廿日鼠に關する限りは、絶對致死條件と考へられる。同様に 0% 曲線の下方の範囲は不死帶 (non fatal region) であつて、如何なる加速度と時間の組合せでも、普通状態の廿日鼠を即死させることは出来ない<sup>(1)</sup>。而して、0% 曲線と 100% 曲線に挟まれてゐる範圍を我々は危險帶 (critical region) と呼びことが出

来る。この危険帯では屢々生命の危険に脅かされるのであるが、加速度の大きさが大きくなるにつれ、時間的擴りが小さくなるのは前に述べた通りである。但し時間について、危険帯の加速度の大きさへの擴りはこの圖では明確には示されてゐない。

表 III.

加 速 度	-23g			-42.6g			-52.7g			-68g		
	被 験 個 體 數	死 亡 數	死 亡 率	被 験 個 體 數	死 亡 數	死 亡 率	被 験 個 體 數	死 亡 數	死 亡 率	被 験 個 體 數	死 亡 數	死 亡 率
15秒				10	0	1%	20	0	0%			
20秒	10	0	0%	40	4	10%	40	2	5%	30	0	0%
25秒	10	2	20%	30	6	20%	10	3	30%	26	8	31%
30秒	20	8	40%	30	12	40%						
35秒	20	17	85%	30	24	80%	10	5	50%			
40秒	10	7	70%	20	17	85%						
45秒	10	9	90%	20	19	95%	20	19	95%	20	19	95%
47.5秒							10	10	100%			
50秒	45	42	93%	10	10	100%	20	20	100%	10	10	100%
55秒	20	20	100%									

(被験個體數 551)

よつてこれを補ふために、5.9g 以下の加速度及び 14g 以上の加速度について改めて實驗を行ふことにした。

實驗 IV.

條件：加速度の大きさ -23g~-68g, 作用時間 15 秒~55 秒, 遠心器乙使用

-23g 乃至 -68g のやうな大なる加速度では、極く短時間で即死せしめ得ると豫想してゐたが、實驗結果は豫想と異り、表 III に示す如くであつた。即ち 15 秒では一匹も即死せしめ得なかつた。20 秒から徐々に死亡率が増加し始め、50 秒乃至 55 秒で全部即死するに到る。この關係を圖示すると、第 5 圖の如くである。

總 觀

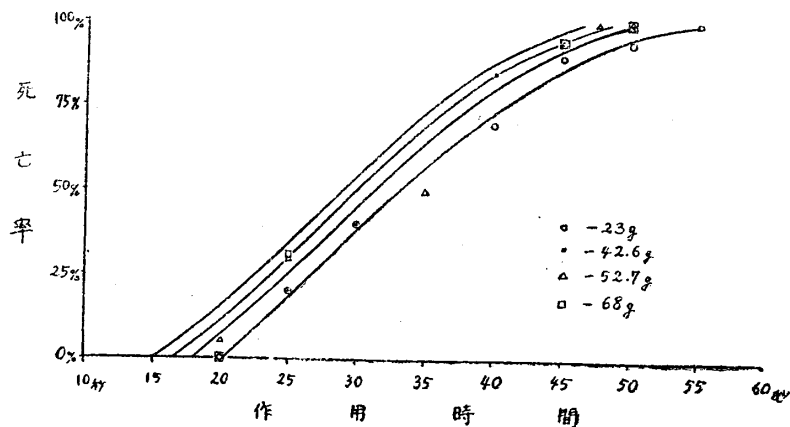
實驗 III, IV の結果及び特に -5g 以下の加速度について 0% 曲線を實測した結果を綜合して圖示すれば、第 6 圖の如くなる。この圖で 100% 曲線と 0% 曲線との間に含まれる範圍は前述の危険帯と名付けることが出来る。この危険帯の外側はそれぞれ即死帯及び不死帯とに分けられる。この範圍の限界條件は、廿日鼠が絶対に即死しないか或は必ず即死するとか言ふ分明なる條件を示してゐる。危険帯

(1) 但しこの範圍は廿日鼠が死亡しないといふだけであつて、各種の惡影響を示すのであるから、絶対安全帯といふわけではない、不死帯は生體に及ぼす各種の影響を考慮して更に不安全事故と安全帯とに區分せらるゝことは勿論である。

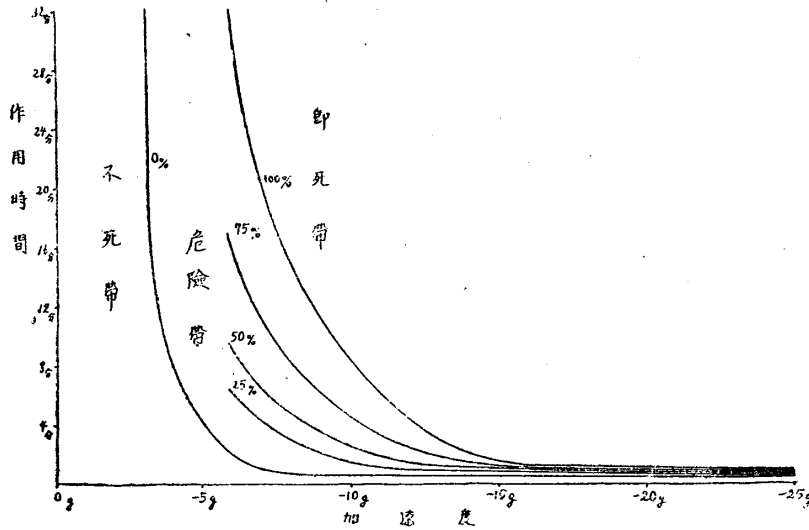
に關して認められる明瞭なる一つの特徴は、加速度の大きさが小なる場合は危険帯の時間的擴りが大きく、例へば 6g では 2 分～32 分の廣範圍に涉つてゐるが、加速度が大きくなるに従ひ、それが漸次短縮されて、14g では 15 秒から 2 分の間に、23g では 15 秒から 55 秒の間に縮まつて來ることである。而して第二の特徴としては、23g 以上はこの時間範圍の短縮が行はれず、60g 以上に到つても大した變りがない。その點を明かに示すために、第 7 圖を掲げて見る。この圖は第 6 圖の時間軸を荒くとつて見たものである。尙ほ第三の特徴としては加速度を 60g 以上に大きくしても、作用時間が 15 秒以内だと、動物は即死を免かれると云ふ現象で、加速度の影響の出現には若干の潜在時間が存在してゐて、0% 曲線が容易に基本軸に接着しない事を示してゐる。このことは同様に加速度の大きさについても言へることで、我々の實測は 32 分までしか行はれてゐないが、恐らく 2g 以下の加速度ならば、たとひ長時間作用させて見ても、到底即死條件にはならないであらうことは常識的にも推定されるのである。この潜在時間と潜在加速度とは、以上の實驗の範圍内では、15 秒と 3g である。

危険帯は動物の個體差或ひは其時の實驗諸條件によつて、即死現象がこの危険帯の任意の點に於て生じ得ることを意味するが、これに關して唯一箇の數式的表現を以てすることは難かしい。即ち 20g 以上の高加速度に於ては、動物の個體差及びその日の特殊狀況の作用し得る範圍が極めて小となるばかりでなく、23g と 43g 或ひは 68g との比較に於ても見られるやうに、危険帯の時間的幅には著しい差異が生じない。23g 位の大きな加速度では、即死帯は、15 秒(潜在時間)+40 秒(危険帯)即ち 55 秒以上であつて、これ以上加速度を増しても、この値は殆んど變化しないのである。惟ふに我々の行つた實驗では、被験動物に荷重が加はる時、最大加速度に到達する

のに數秒間を要する故、衝撃死の如きとは異つて、専ら壓迫による呼吸停止及び血液の移行に基く各種障礙による死亡と推定されるのであるが、



第 5 圖



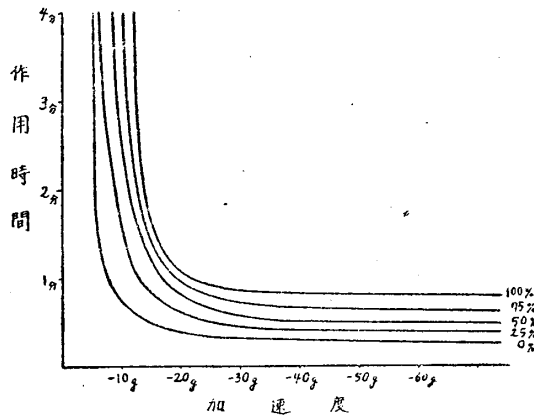
第 6 圖

ひ廣くなつてゐる。10g 位までは 1g 毎に約 1 分位の増加であるが、10g 以下では 1g 毎に等比級数的な増加を示し、3g で極大に達するものと見られる。

茲に於て、生體に及ぼす加速度の大きさを數段階に分ち、廿日鼠を例にとつて見ると、表 IV の如くなる。

(ロ) 即死を免れた動物の症状について

前節に於ては専ら死亡率につい



第 7 圖

表 IV

個體差に關係な	個體差の問題となる段階 (危険帯の幅大)		個體差に關係な
	許容時間 (潜在時間) が g の大きさにより異なる段階	許容時間 (潜在時間) が g の大きさに關係なく殆ど一定の段階	
く安全			く致命的
g	-3g	-10g	-20g

て論じたが、本節では死を免れた動物について觀察し得た所見を若干述べて見る。

これには短い作用時間で殆んど影響の現はれるまでに到らぬことを暗示してゐるのではないかと考へられる。20g 以下の加速度に於ては聊か事情を異にし、危険帯の幅は g が小となるに従

これらの観察は、この実験の全部に涉つて計畫的に行はれたものでなく、実験 I, II 及び III に附隨して得られたものである。即ち遠心器甲による 5.9g 乃至 14g までの加速度を動物に與へた場合に於いては稍々組織的な実験観察を行つたが、残餘の部分は單なる所見の記述たるに止まつてゐる。

これらの実験に於て死亡を免れた動物を観察するに、辛うじて死亡を免れた有様であつて、何等の異常を認め得ないものは極めて少く、大した異常のなかつたのは僅かに 5.9g の正の加速度では、作用時間 1~4 分で約 50%、負の加速度では、1~2 分で約 40% に過ぎず、他は總べて外見的に種々の異常状態を呈してゐた。これらの異常状態を列擧して見ると次の如きものがある。

#### 正の加速度の場合

顫 慄 状 態 これは低壓状態或ひは恐怖状態に於けるものと外見的に極めて類似してゐる。

尾の充血

運動不活潑

運動障碍

腹を地につけていさる

腰を地につけていさる

尻を地につけていさる

前肢運動障碍

後肢運動障碍

旋回運動

運動不能

横臥の儘じつとしてゐる

歩行可能

歩行困難

歩行不能

#### 負の加速度の場合

顫 慄

眼球の充血 (暗赤化する)

眼球の突出

運動不活潑

運動障碍 正の加速度の場合に準ずる。

#### 横斷方向の加速度の場合

尾の充血、眼球突出或ひは充血等は見られないが、他の徴候は軽度乍ら上述の諸項に準ずるものが現はれる。

なほ、大きな負の加速度を短時間作用せしめた場合に、苦悶の結果か突然非常に大きく反射様跳躍をしたり、或ひは 30 回以上も連続して横轉することがしばしば見られた。突然大きく跳躍する現象は、低壓実験に於て急激に氣壓を減じた場合若





表 VII 横斷方向の加速度作用後の運動状態(生存動物數に對する百分比)

加 速 度 時 間(分) 方 向	5.9g					7.7g					9.4g					11.8g					14.0g					
	1		2		4		8		1		2		4		8		1		2		4		8			
	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障	通	障		
右→左	66.6	16.7	41.7	50.0	41.7	58.3	41.7	25.0	0	83.3	25.0	25.0	25.0	54.6	25.0	25.0	54.6	25.0	25.0	25.0	25.0	16.7	0	0	0	
	16.7	33.3	33.3	33.3	58.3	33.3	25.0	41.7	66.6	8.3	66.6	58.3	58.3	27.2	50.0	33.3	27.2	50.0	33.3	33.3	33.3	33.3	23.1	20.0	13.3	
	16.7	25.0	0	16.7	8.3	33.3	33.3	33.3	33.3	8.3	8.3	16.7	16.7	18.4	25.0	41.7	18.4	25.0	41.7	50.0	50.0	50.0	77.1	73.0	80.0	
左→右	33.3	75.0	41.7	50.0	41.7	41.7	41.7	16.7	27.3	25.0	25.0	16.7	8.3	46.2	8.3	25.0	46.2	8.3	25.0	0	0	0	0	0	0	0
	33.3	16.7	50.0	33.3	16.7	16.7	33.3	66.6	63.6	50.0	50.0	41.7	41.7	46.2	66.6	41.7	46.2	66.6	41.7	6.7	6.7	6.7	33.3	26.7	53.3	35.7
	33.3	8.3	16.7	16.7	8.3	41.7	25.0	16.7	9.1	25.0	25.0	41.7	50.0	7.7	25.0	25.0	7.7	25.0	25.0	3.3	3.3	3.3	60.0	73.3	46.6	64.3

くは急激に酸素分壓を低下せしめた場合のそれと頗るよく似てゐる。

これら諸種の症状は、遠心器の停止直後、動物を實驗臺上に取り出した際に主として觀察した所であるが、時としては故らに動物を針金で刺戟して、運動機能の異常を觀察した場合もある。表 V 及び VI はそれぞれ正、負の加速度に於て死を免かれた個體について觀察した結果を取り纏めたもので、加速度の大きさ及び作用時間に應じて、異常状態の出現率が增大することを示してゐる。

表 VII, VIII, IX は同様に横斷方向の加速度の場合を取り纏めたものであるが、この實驗では死亡した個體は殆んどなかつたから、被験個體數が即ち觀察數となるので特に觀察數は掲げてゐない。横斷方向の場合の異常症状は正負の加速度に比べて出現率が少いことは事實である。尙ほ茲に附言すべきは、加速度が身體の横斷方向に働く場合の症状中、比較的顯著に現はれる旋回運動は、身體を横斷する遠心加速度そのものゝために起るのか、それとも我々の實驗に用ひた遠心器の半径が小さいので作用時間中可成りの廻轉數で遠心器の軸を中心にして廻轉せしめられた關係上、右若くは左の旋回廻轉が與へられるために惹起されるものか、この間の關係は今の所まだ十分に明かではない。これと同様の事は正負の加速度に際しても云ひ得られる。即ち、上に掲げた症状中のあるものは始動時又は停止時に生ずる角加速度に起因するものであるかも知れないのであつて、どの程度まで遠心加速度に由るかは明かではない。この關係はもつと徑の大きな遠心器を用ひるか、或ひは直線加速度を與へ得る装置を用ひて精細に再検討すべきであるが、この實驗は裝置その他の關係上



表 VIII 横斷方向の加速度による運動障碍の頻數 (左→右)

所見	5.9g				7.2g				9.4g				11.8g				14.0g			
	1分	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
腹を着けて歩行							1	1			1	2	1							
腰を着けて歩行	4	1	1	1	5	3	1		1	2	1	3								
尻を着けて歩行											1									
右傾歩行														2						
左傾歩行				1					1	1	1			1	1	3	3	1	3	
前肢運動不自由																				
前肢運動不能																				
後肢運動不自由																				
後肢運動不能								1												
右旋回運動																				
左旋回運動										1				1	2				1	
右横轉																				
左横轉																	2	3	6	
運動不能														1						
右横臥																				
左横臥															1		2		1	
左傾左旋回																1	3	1	1	
左横臥旋回																5	1	2		

實際には非常に困難なことである

上に掲げたやうな實驗直後に於ける諸症狀は永くは續かず、5分乃至30分間で完全に消失し動物は平常をとり戻すに到るやうである。しかし、これは外觀的觀察たるに止まり、内部的に若干の病痕を残す場合も尠くないこと、豫想せられる。但し鼠の日常生活に餘り差障りを生ずる程度のものではないことは、實驗後の動物の長期觀察に徴しても確言することが出来るのである。

(1) 實驗により死亡せしめ得なかつた動物で、然も其後健康に支障なく生存してゐる動物に於ても、大脳其他の部位に出血を生じてゐることが認められる場合がある。茲ではこれに關する詳細なる報告は、別に行はれる筈の解剖的研究の方に譲つて置く。

表 IX 横斷方向の加速度による運動障碍の頻數 (右→左)

所見	5.9g				7.2g				9.4g				11.8g				14.0g			
	1分	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
腹を着けて歩く						1	2	1					1							
腰を着けて歩く	1	3	2		1	3	3	2								2				
尻を着けて歩く													1							
右傾歩行								1		1	2	2		1	3	1	1	3	3	4
左傾歩行															1					
前肢運動不自由																1				
前肢運動不能																1				
後肢運動不自由																				
後肢運動不能	1								1							1				
右旋回運動													1		1	3	3	1		
左旋回運動																				
右横轉																				
左横轉																	4	3	4	
運動不能															1	1				1
右横臥													1							1
左横臥																				
右傾右旋回																	1		1	2
右横臥右旋回																4	1	4		

(ハ) 死亡率に及ぼす實驗諸條件の影響

(イ) 節に於ては、専ら加速度の方向、大きさ及び作用時間の三つの因子と死亡率との關係を論究したが、本節に於ては、二三の實驗條件が死亡率に影響するか否かについて若干記述することにする。

性別 雌雄の性別は死亡率の上に於て、何等の相違をも示してゐない。雌雄の間に加速度耐性には大差が無いやうである。

體重 動物の體重と死亡率との間には、本實驗に關する限り、一義的の關係は認められなかつた。

氣候 本報告の實驗は大半春秋の氣候溫暖な頃を選んでなされたものであるが、

夏季と冬期に於ける若干の實驗成績を比較して見ると、夏季に於て幾分死亡率が増加する傾向がある。これは夏の氣候により生體の一般的機能が低下を來して居り、従つて加速度によつて影響せられる度合が多少大であつたためであらうと推定せられる。この研究では、特殊の實驗條件は設定しなかつたが、なほ我々は別個の研究に於て種々の空氣條件、例へば低壓下、窒素稀釋空氣、酸素過剩空氣、炭酸瓦斯過剩空氣等の加速度耐性に及ぼす影響を實驗的に検討し、興味ある結果を擧げてゐる。その詳細なる報告は次の機會に譲る。

従つて、本報告は極めて正常な條件で、先に述べた様な實驗装置により行つた實驗結果を取扱つたものに過ぎないが、この報告に記述した諸結果は其の後の研究に對して一つの基準を提供するものとして有益に利用しつゝある。

## 5. む す び

(1) 廿日鼠を使用して、生體に及ぼす加速度の影響を、その大きさ、作用時間及び方向の三因子の函數的關係に於て見出さうと試みた。

(2) 實驗に使用した個體數は 1700 餘匹に及び、使用した装置は直徑 1 米及び 1.6 米の遠心器で、加速度の大きさは 3g 乃至 68g が得られた。動物に與へた加速度の作用時間は 15 秒乃至 32 分、力の方向は正、負及び横斷方向の三種に限定した。

(3) 加速度荷重に基く、即死現象を基準にとると、正及び横斷方向の加速度では、上述の條件範圍では、100% 即死の原因とはならない。

(4) 負の加速度については、平常状態（普通の健康状態の鼠をガラス管に固定することなく入れた状態）に於ける即死曲線を決定することを得た（第 6 圖参照）。これによると潜在加速度（長時間作用せしめても即死せしめ得ない加速度）は約 3g 潜在作用時間（68g までの大きな加速度を與へても即死を免かれる時間）は約 15 秒である。但し、これには我々の使用した遠心器の始動から定速に達するまでの時間が數秒要すると言ふ條件を考慮すべきであつて、瞬間的に定速に對する様な遠心装置では潜在加速度及び潜在時間の値はもつと小となるかもしれない。

(5) 死を免れた動物を觀察した所によると、即死はしないまでも各種の悪影響を蒙つて居り、顫慄、充血、眼球突出、各種運動障礙などが現はれ、その頻度、障礙の大きさ及び持續時間は加速度の大きさ及び作用時間の長短に比例することが確められた。

(6) 死を免かれた動物は、加速度停止後 2 分乃至 20 分間にして、その症狀が消失し、外觀的には全く恢復した様に見える。且つ實驗後 1 ケ月に亙る飼育期間中に死亡するものは極めて稀であるが、なほ頭蓋内に出血の痕跡を確實に止めてゐるものもある。

(7) このやうに、一旦死を免れた動物は、直ちに恢復し、全然少しの悪結果をも残させないかと言ふに必ずしも、そうではない。附録IIに示されたやうに何等かの意味で、悪影響をとどめてゐることは疑へない。

(8) 我々の得た負の加速度による即死曲線は一つの基準として、他の條件に於ける研究に對し有益なる参考となつてゐる。

附録I 小禽類の加速度耐性について、既に本論文の目的の頃に於て述べたやうに、この實驗研究は比較動物學の見地からも意義づけられるべきであるので、我々は装置の許す範囲内で各種の動物について、同様の實驗を試みた。使用した動物の種類は雀、十姉妹、蛙、蛇、昆蟲(カブト蟲、黄金蟲等)にも及んだが、これらの動物を多量に得難かつたため、夫々の加速度耐性を一定の曲線として確定することが出来ないで、その一部である小禽類のみについての結果を、附録として茲に記載して置くに止める。

實驗條件：廿日鼠に使用したと同じ遠心器を用ひ、被験個體の固定法も同様である。使用した動物は、雀約 300 羽、十姉妹約 100 羽である。この研究ではこれらの小禽類の加速度耐性を廿日鼠と比較するのが目的であるので、廿日鼠に於て大體 50% 即死率を示した條件を數種選んで、比較實驗を試みたのである。

實驗結果：小禽類の死亡率は表 X 及び XI に示されてゐる。これを廿日鼠と比

表 X 雀死亡率

加速度の大きさ 作用時間	-8.8g	-10.7g	12.8g	15.2g
1分			0%	20%
2				20%
4	20%	10%	30%	50%
8			40%	100%

表 XI 十姉妹死亡率

加速度の大きさ 作用時間	-8.8g	-10.7g	-12.8g	-15.2g
1分			10%	20%
2			0%	40%
4	0%	20%	70%	80%
8				90%

較して見ると、表 XII 及び表 XIII に示す通りである。即ち  $-14g$  の加速度を 2分以上廿日鼠に與へると全部が即死したのに對して、小禽類では、8分位までは優に堪える個體があり、作用時間 4分で  $-7.2g$  乃至  $-15.2g$  の種々の加速度の場合

表 XII 異なる動物の死亡率比較

作用時間	廿日鼠 ( $-14g$ )	雀 ( $-15.2g$ )	十姉妹 ( $-15.2g$ )
1分	38%	20%	20%
2分	100%	20%	40%
4分	100%	50%	80%
8分	100%	100%	90%

表 XIII 異なる動物の死亡率比較 (作用時間各 4分)

加速度	廿日鼠	雀	十姉妹
$-7.2g$	31%		
$-8.8g$		20%	0%
$-9.4g$	60%		
$-10.7g$		10%	20%
$-11.8g$	94%		
$-12.8g$		30%	70%
$-14.0g$	100%		
$-15.2g$		50%	80%

を比較して見ても、小禽類の方が概して加速度耐性が強いと断定し得る。この理由の説明は未だ充分な客觀的根據を得るまでに到つてゐないので、濫に臆斷することは差控へて置くが、單にこれらの小禽類に於て、日常の生活状態殊に運動状況は加速度に對する訓練となつてゐると言ふだけに止まらないで、身體の構造、特に體軀に比して著しく長い頸部が加速度荷重に際し S 字形に彎曲し、それがために血液が直接に頭部に直行することがなく、相當に迂回するので、頭蓋内部に與へる衝撃が相當に輕減されるらしい事情が可成り有力な條件となつてゐるのではないかと推定される。實際、即死した小禽の頸部脈管内には、殆んど全身の血液が茲に集まつてゐるかと思はれるほど多量の血液を藏してゐる。また即死した小禽は更に頭蓋外部からもはつきりと認められる出血斑痕を残してゐるのに反して、死を免れた小禽にはそれが全然見られないのは、一に頸部に於ける血液が該部に於ける収容量を超

えたか否かによつて、即死非即死が岐れるのではないかと思はしめる。従つて、小禽類に於ては、長い頸部を曲げて出来るだけ有効に利用するか否かによつて、加速度耐性に可成りの差違を生ずるのであらう。事實に於て、雀、十姉妹等に於ける實驗結果が、廿日鼠の場合に比して、著しく不揃ひであるのは、かかる野生若くは繊弱な小禽類が實驗中に多大の精神的打撃を受けた爲めでもあらうし、また廿日鼠と同じ固定法が彼等にとつては姿勢を一定ならしめる方法として、聊か不都合であつて、これがために實驗條件が多少不齊一となり、かかる誤差を大ならしめたものと考へても良いであらう。

次に、死を免かれた小禽類の實驗直後の行動を観察するに、廿日鼠と同様に、著しい異常状態を示してゐる。廿日鼠の顫慄に相當するものとしては、體を丸くして逆毛を立てる状態が擧げられるが、これは餘り顯著ではない。小禽類では、前肢即ち羽を動かす筋肉は比較的強靱であるためか、全然羽が利かなくなることは殆んど稀であつて、大部分は停止直後飛行運動を試みてゐる。但し、この際は満足に飛ぶことが出来ず、舞ひ落ちたり、旋回したり、稀には背面飛行の如き運動をする。その着地の状態は躰が傾く場合が多く、後肢が利かないために脚を地につけたり、腹をつけたりして平衡の保てない場合が多い。表 XIV 及び XV では、これらの異常症状の頻數を表示してゐるが、茲でも加速度の大きさ及び作用時間の長短に比例して、その頻數も多くなつてゐることが認められる。

表 XIV 雀の加速度荷重後の症状頻數表 (括弧内は%)

g 及び 時間	8.8g 4分	10.7g 4分	12.8g 2分	12.8g 4分	12.8g 8分	15.2g 1分	15.2g 2分	15.2g 4分	15.2g 8分
観 察 數	8	9	10	7	6	8	8	5	0
飛行運動 { 普通	7 (88)	8 (89)	7 (70)	3 (43)	0	1 (13)	0	0	—
飛行運動 { 不活潑	1 (13)	1 (11)	3 (30)	4 (57)	6 (100)	7 (88)	8 (100)	5 (100)	—
旋 回 飛 行	5 (63)	4 (44)	3 (30)	5 (71)	0	1 (13)	4 (50)	3 (60)	—
着 地 { 傾 く	0	8 (89)	2 (20)	1 (14)	5 (83)	1 (13)	4 (50)	1 (20)	—
着 地 { 脚をつける	2 (25)	0	5 (50)	0	5 (83)	4 (50)	8 (100)	5 (100)	—
呼 吸 { 普 通	8 (100)	9 (100)	6 (60)	2 (29)	0	0	2 (25)	0	—
呼 吸 { 深 し	0	0	4 (40)	5 (72)	1 (17)	1 (13)	6 (75)	5 (100)	—

表 XV 十姉妹の加速度荷重後の症状頻数表 (括弧内は%)

g 及び 時間	8.8g 4分	10.7g 4分	12.8g 2分	12.8g 4分	12.8g 8分	15.2g 1分	15.2g 2分	15.2g 4分	15.2g 8分	
観 察 数	10	8	5	3	1	8	6	2	1	
飛行運動	普通	0 (0)	1 (13)	1 (20)	0	1 (100)	4 (50)	0	0	
	不活潑	10 (100)	7 (88)	4 (80)	2 (67)		4 (50)	6 (100)	2 (100)	1 (100)
旋回飛行	0	1 (13)	0	0	1 (100)	1 (100)	2 (33)	0	0	
着地状態	傾く	10 (100)	6 (75)	4 (80)	3 (100)	1 (100)	5 (63)	5 (83)	2 (100)	1 (100)
	脚をつける 腰をつける	10 (100)	6 (75)	4 (80)	3 (100)		5 (63)	5 (83)	2 (100)	1 (100)
呼吸	普通	5 (50)	0	0	0		0	0	0	
	深し	5 (50)	8 (100)	5 (100)	3 (100)	1 (100)	8 (100)	6 (100)	2 (100)	1 (100)

## 附録 II 廿日鼠に長期間加速度荷重を実施した場合について

本論文に於ては、廿日鼠に如何なる条件で加速度を與へたならば、死亡せしめ得るかが論ぜられたが、既述のやうに、即死しない限り実験直後の異常症状は極めて短時間にして消失し、其後飼育をつづけても、別段大した異常は認められなかつた。

然し乍ら、これを以て、非即死帯は直ちに安全帯なりとは断定し得ないのであつて、唯一回の加速度荷重では即死しない様な条件でも、これを反覆繼續して與へたならば、如何であるかは検討を要する問題である。若しも非即死帯は即ち安全帯であるとすれば、実験を何回くり返しても常に同様の結果を示し、死亡は絶対に増加しない筈でなければならぬ。これを検証するために、我々は茲に若干の実験を試み吟味を加へることとした。

## 実験 I

実験条件：既述の研究成果に基き、唯一回だけでは絶対に即死しない程度の加速度及び作用時間を選び、これを毎日繰り返して廿日鼠に與へて見た。選ばれた条件は次の如くであつた。

組	加速度の大きさ	作用時間	方 向
A	7.2g	30秒	—
B	7.2g	4分	+
C	5.9g	30秒~2分 (5日毎に30秒ずつ増す)	—
D	5.9g	1分	—

被験動物は各組 20 匹づゝを以て一群となし、ABCD の 4 組を作り、別に比較群として、E 組 20 匹を選んだ。実験は昭和 15 年 8 月 4 日より 9 月 2 日までの間に行はれた。

実験結果：この実験を毎日繰り返してゐると、一回では即死しない程度の条件であつたにも拘らず、動物の死亡数は増加し、徐々に減耗を示して來た。この場合、死亡は必しも実験中の即死ばかりではなく、飼育箱内で実験後死亡する場合もあつた。これによつて見れば、即死を免れても必ずしも絶対に安全ではなく、非即死帯は眞の安全帯ではない事が察せられる。この実験に於ける生存率は表 XVI に示されてゐる。この表の數字は死亡の絶対數ではなく、比較群たる組にも酷暑のために死亡したものがあつたので、この自然死亡率を豫め除外して、E 組の生存數を 100 % とし、これを基準として計算し直したものである。

表 XVI

組	被験個體	加速度及作用時間	15日目生存率	30日目生存率
A	20	-7.2g 30秒	78%	62%
B	20	+7.2g 4分	91%	54%
C	20	-5.9g 30秒~2分	98%	76%
D	20	-5.9g 1分	93%	87%

この表に明かであるやうに、5.9g に於ける減耗率は小であるのに反して 7.2g では相當の減耗率を示してゐる。更に興味あることは、前掲の実験に於て即死と言ふ點では許容範圍の大であつた正の加速度も、かかる長期に渉る反覆実験では、著しい減耗傾向を示してゐる事實である。

実験 II

長期反覆して與へた加速度について、更に條件範圍をひろめて、3g 位の小さな

表 XVII

組	被験個體數	加速度及時間	10日目生存率	20日目生存率	30日目生存率
A	20	-3g 30秒	90%	80%	75%
B	20	-3g 3分	80%	60%	55%
C	20	+3g 3分	85%	70%	60%
D	20	-5g 30秒	85%	70%	60%
E	20	+5g 30秒	70%	55%	55%
F	20	-6g 30秒	65%	F. G. H. 13 日目 = 猫害 ニヨリ死亡セシモノアリ テ実験中止セリ	
G	20	+6g 30秒	75%		
H	20	+6g 3分	60%		
X	20	比較群	100%	100%	90%



加速度に關しても同様の繼續實驗を試みて見た。この實驗は昭和16年8月26日より9月24日の間に行はれた。その結果は、表XVIIの如くであるが、上の實驗と略々同様の結果を示してゐる。