

UDC 629.1 073 :  
629.735.017.2

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-181

航空機の乗り心地について

幸尾治朗

1970年6月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

## 既 刊 資 料

TM-141	超音速二次元翼列予備実験風洞について	1968年7月	近藤 博, 坂口 一 八山 優, 高森 晋
TM-142	二次元スラットおよびスロテッドフラップの実験的研究 (III)	1968年7月	犬丸 矩夫, 高橋 俣
TM-143	端面一体巻きフィラメント・ワインディング容器の静圧強度および疲れ強度	1968年8月	竹中 幸彦, 朝田 洋雄 野口 義男
TM-144	真ひずみ計の試作	1968年8月	竹中 幸彦, 朝田 洋雄 野口 義男
TM-145	スピンを伴うロケットの運動を計算するプログラム	1968年8月	戸川 隼人, 石黒登美子 山本 浩通
TM-146	双発STOL機の飛行試験 —実用運用包囲線および離着陸特性—	1968年8月	幸尾 治朗, 岡 遠一 塚野 雄吉, 鎌田 幸男 小野 孝次
TM-147	浮動振子型加速度計の試作	1968年9月	大月 正男, 鈴木 孝雄 円居 繁治
TM-148	吹出しフラップ翼の高揚力特性	1968年9月	小橋安次郎, 宮沢 政文 西 武徳
TM-149	NAL-16-TR ロケットの研究試作	1968年10月	ロケット性能研究室
TM-150	リフトジェット VTOL 機の着陸における水平方向の減速について	1968年11月	西村 博史
TM-151	フラッタ解析法の再検討 —フラッタ解析法の研究 その I —	1968年12月	市川 輝雄
TM-152	ノズル内の突起物によるロケットエンジンの側分力	1969年1月	橋崎 哲二, 中野 富雄
TM-153	FA-200 改機の風洞試験 (I) プロペラ付き	1969年2月	広末 健一, 坂井 紀穂 高橋 宏, 綿貫 忠晴
TM-154	FA-200 改機の風洞試験 (II) 高揚力装置付き	1969年2月	広末 健一, 木村 友昭 高橋 宏, 綿貫 忠晴
TM-155	極超音速風洞 M7 ノズル較正試験	1969年2月	橋本 登, 吉沢 昭 穂積 弘一
TM-156	自動制御系の動特性を計数型電子計算機により模擬するための汎用プログラム	1969年3月	戸川 隼人, 丸山 治雄
TM-157	機上用超小形エンコーダの研究	1969年3月	中 正夫, 山本 芳樹 大石 晃
TM-159	可動アイアンバードによる姿勢制御の実験	1969年5月	西村 南史, 藤枝 郭俊
TM-160	極超音速風洞計測装置について	1969年7月	長洲 秀夫, 吉沢 昭 松崎 貴至
TM-161	燃料蒸発管に関する研究 (III) —加熱蒸発管の燃料未蒸発分捕集—	1969年8月	鈴木 邦男, 田丸 卓 乙幡 安雄
TM-162	境界層内圧力変動および板の振動変位の測定	1969年9月	藤森 義典, 山崎 浩
TM-163	ある双発プロペラSTOL機の動安定風洞試験	1969年9月	別府 護郎, 鈴木 友昭
TM-164	ブレードのフラッピング運動をバネで拘束したロータのピッチダンピングについて	1966年10月	別府 護郎, 岡 遠一
TM-165	フェノール系複合材の環境試験結果	1969年11月	古田 敏康, 野口 義男
TM-166	ガスタービン用缶形燃焼器における燃焼領域のガス組成と燃焼状態	1969年11月	大塚 貞吉, 斎藤 隆 堀内 正司, 本間 幸吉 宮坂 彰
TM-167	YS-11A-300型輸送機の胴体疲労試験 —中部胴体前方大型貨物口部および後方乗降口部付近—	1970年1月	竹内 和之, 川島 矩郎 熊倉 郁夫, 松岡 陽一

# 航空機の乗り心地について\*

幸 尾 治 朗\*\*

## Riding Qualities of Aircraft

By Jiro Kōo

The riding qualities of aircraft are investigated in comparison with other vehicles such as train, automobile and ship, for example.

The riding discomfort caused by mechanical vibration and swing motion is mainly discussed here.

“Passenger Rating” is newly proposed by the author to classify the aircraft riding qualities from the standpoint of passenger comfort.

### 1. ま え が き

船，鉄道，自動車，航空機などのいろいろな乗物の発達の過程ではまず動くこと，次に物や人を運ぶことといった基本的な要求に始まり，速度とか航続距離とか加速のよさなどの性能，安定性や操縦性などの運動特性の面が続いて問題になる。さらに安全性，機構の信頼性，経済性などをへて乗り心地のよさにいたるであろう。もちろん，これらはある時期ではいずれか一方が先行し，ある時期では並行して考えられる。航空機の飛行特性を例にとれば，固定翼機では物が存在して始めて取上げられ，第2次大戦中に規格下の段階に入った。ヘリコプターでは物の実用化開発と並行し，V/STOLに至っては物に先行してシミュレーションその他によるこの問題の検討が十分なされている。乗物の乗り心地についても同様で，各種の輸送機関の発達の過程において乗り心地が問題になる時期はいろいろであるが，航空機においても機体の大型化，高速化，ないしはその普及に伴い乗り心地の問題研究を進める時期であろうと考える。

米国のアラスカ空路のある時期における一例<sup>1)</sup>では乗客の6%が航空酔いかかかっており，30~70%が不快感を訴えている。また，ソ連邦の報告<sup>2)</sup>によれば商用輸送機の日常の運行において，ピストンエンジン機

では12~13%，タービンエンジン機では2.5~3%の乗客が航空酔いかかっている実績が示されている。航空酔いの定義がつまびらかでないので両者の値を比較する事はできないが，乗客にとっては相当な関心を払われるべき問題である事はわかる。

一般に乗り心地を支配する要因としては振動，動揺などの乗物の動きに加えて，昼夜（明暗），気圧，騒音，温度，湿度，臭気，座席の位置（前後および，窓側であるか通路側であるかのちがい），などの環境条件があげられる。これらの因子はもちろん入りまじって作用し，時としては相乗作用も考えられる。一方，乗っている人の経験，体力，体質，体調，性質，精神状態などの肉体的もしくは心理的な要素も大きく影響し，性別，年齢によるちがいも統計的にみとめられ，これらの総合的な効果に基づく乗り心地と云うものをあらわすはっきりした基準をさめる事はむずかしい。乗り心地に影響するこれらの要因の許容限界値を図1<sup>1)</sup>に示す。

四つの帯域は内側から，愉快，快適，不快，耐えられない範囲を表わす。本文では，乗物に発生する振動と動揺からくる不快感に基づいた乗り心地（Ride Comfort, Riding Qualities）について説明し，鉄道，自動車，船舶に関して考えられている乗り心地基準を紹介するとともに，現在用いられている航空機のそれと比較検討する。終わりに，航空機の乗り心地を乗客の立場からとり上げた評価基準（Passenger Rating）の制定を提案したい。

\* 昭和45年5月11日受付

\*\* 飛行実験部

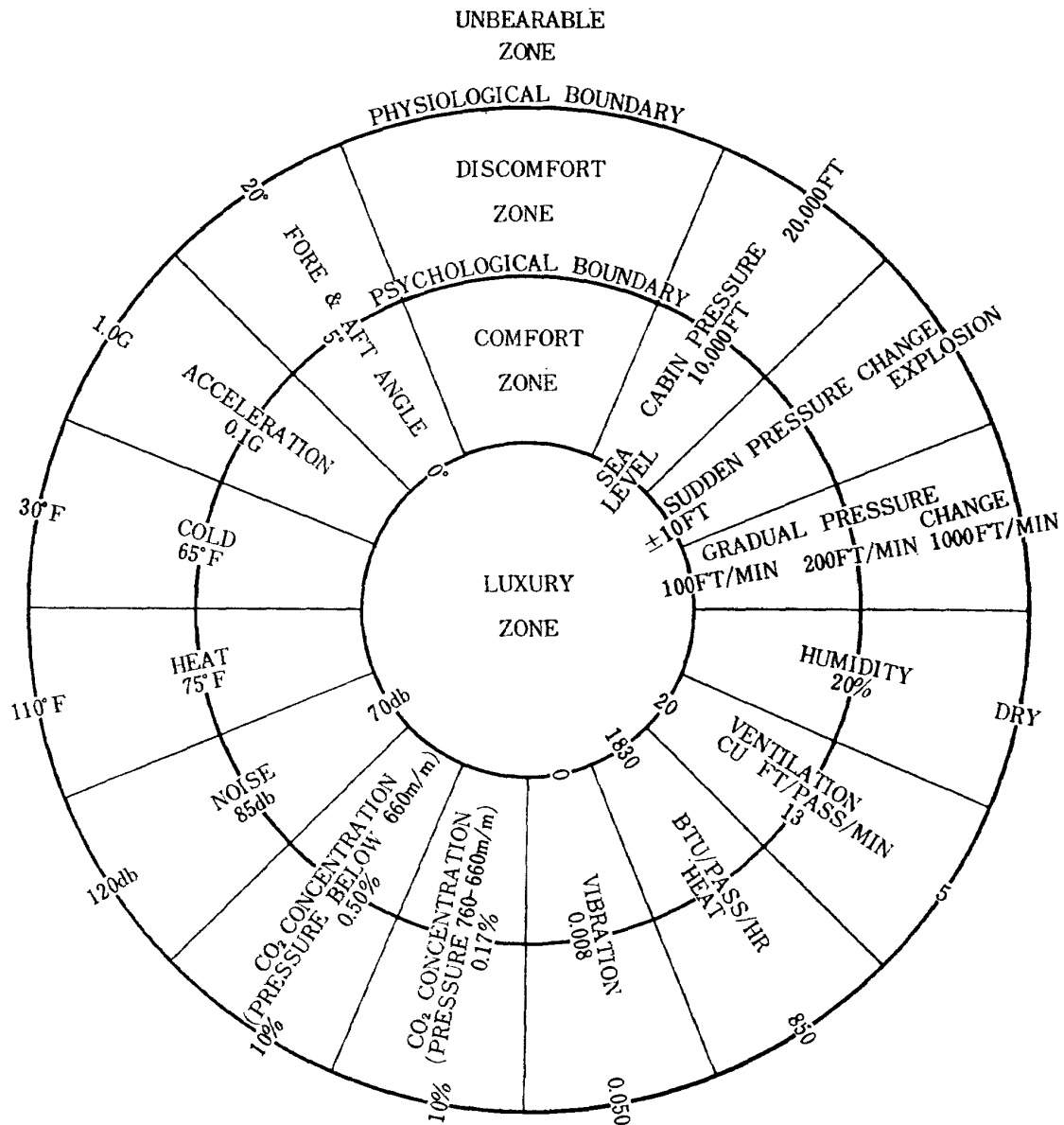


図 1 乗り心地に影響する因子

## 2. 振動感覚と動揺感覚

振動と動揺のさかい目の定義をどのへんにおくかは諸説があろうが、人体生理学的立場から 1Hz 程度以上を振動とし、それより低い周波数のものを動揺と定められているものを取ることにする。人体の振動感覚は筋肉、骨格、関節、腱などによって感知するものと、内臓諸器官によるものからなる。人体の各部構造を質量、バネ、ダンパで構成される系と見なし、各部分の固有振動数の実測値を示すと図 2<sup>5)</sup> のとおりである。これらの人体各部に加えられる振動入力を感じ細胞を刺激し、振動感覚を発生する。一方、動揺感覚は耳石と三半規管より構成される受感器によって得られる。耳石は炭酸石灰の結晶がにかわ様物質につつまれてきており、有毛細胞によって支えられ、質量バネ

系をかたちづくり、上下および前後、左右の直線運動を知覚する。三半規管は内リンパ液で満たされた細管のリングであり、お互いに直角な 3 個の半規管で構成され、液の流動をリング内の一部にある平衡頂が感知し、三軸まわりの回転運動の動揺感覚を発生する。図 3 に耳石、三半規管の構造を示す。これらの器管の固有振動周期は耳石で 3~15 秒、三半規管の平衡頂のそれは約 6 秒である。

## 3. 振動感覚にもとづく乗り心地

### 3.1 鉄道

鉄道の乗り心地は、主として振動感覚について論じられている。すなわち、上下方向については 0.8~20 Hz、左右では 0.4~15 Hz、前後で 2~10 Hz の振動範囲についてのみ考えられている。鉄道の乗り心地を

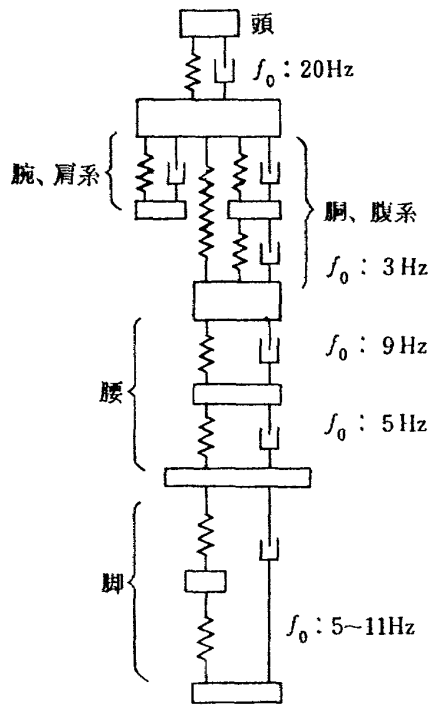


図2 人体各部の振動標型

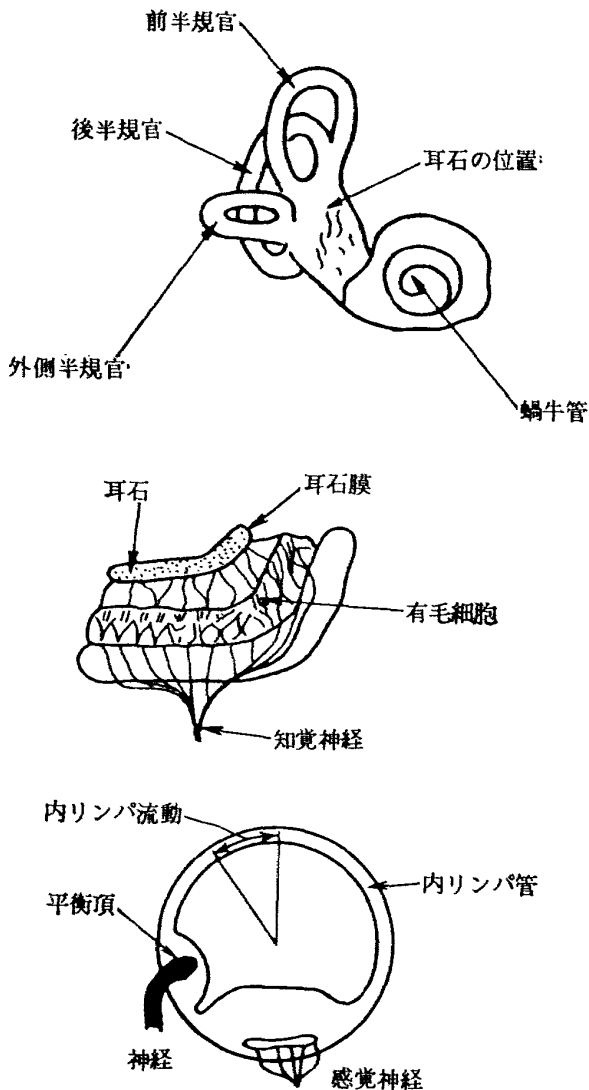


図3 耳石、三半規官説明図

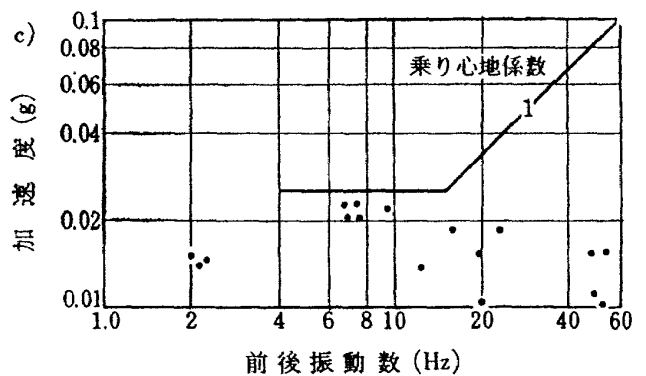
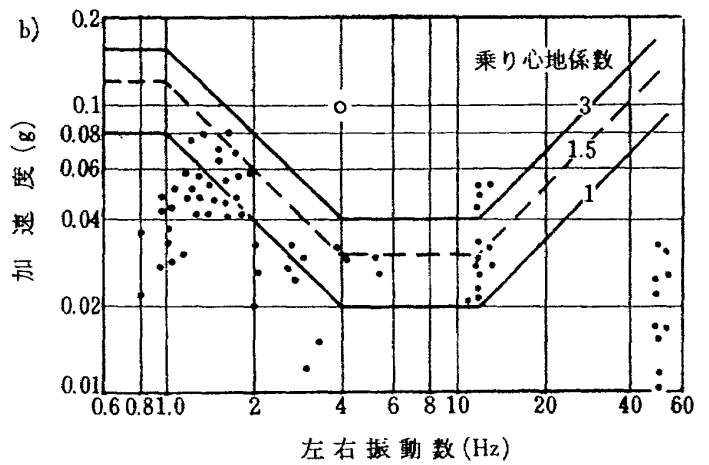
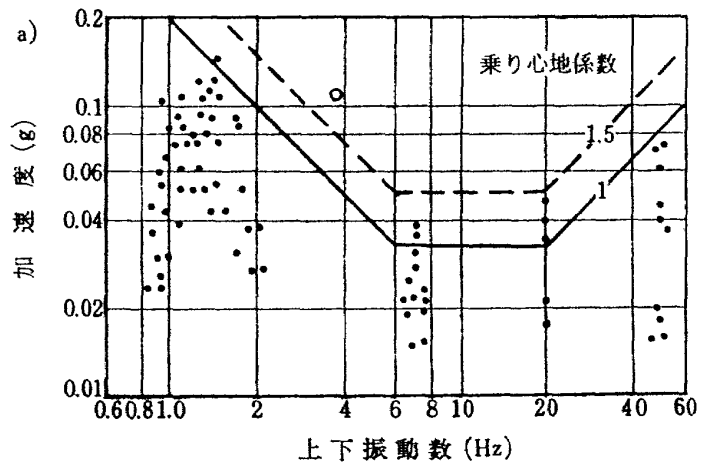


図4 日本国鉄の基準 (A)

示す基準の一例として日本国有鉄道で採用しているものを図4<sup>3)</sup>に示す。a), b), c) はおのおの上下、左右、前後方向の振動についての基準であり、横軸は客車内での振動周波数を、縦軸は人体に加えられる振動加速度をで示している。図中の実線は、ある乗り心地を示す振動状態についての振動数と振動加速度の関係を示す。数字は乗り心地の程度をあらわす係数である。

乗り心地係数の表示は次のとおり (日本国有鉄道基準)

1 以下 : 非常によい

- 1~1.5 : 良い
- 1.5~2 : 普通
- 2~3 : 悪い
- 3 以上 : 非常に悪い

図中で、黒点は東海道新幹線用車輛の新製時における振動の実測値<sup>3)</sup>である。白丸はフランスで開発中の ACV であるアエロトランの資料である。ある乗り心地係数の線について見ると、小さな加速度の値を示す部分が乗り心地の悪い周波数範囲を意味する。上下振動では 6 ないし 20 Hz、左右および前後振動では 4 ないし 15 Hz の周波数で不快感が強くなる様子がよくわかる。図 2<sup>5)</sup> で示された人体各部分の固有振動数と比べて見ると、人体の各部分に発生する共振現象が不快感の原因となっているであろう事が推測できる。たとえば、心臓は約 5 Hz で共振し、眼球は 15 ないし 20 Hz で眼窩の中で共振をおこすと言われる。鉄道の乗り心地の判定には、その他に曲線部通過時に人体に働く遠心加速度についても考慮されているがここでは省略する。

3.2 自動車

自動車の場合には、車体がスプリング、タイヤなどのバネ系で支えられると考えて、車体—スプリング系は数 Hz 程度、車輪—タイヤ系によるものが 10 数 Hz、動力伝達系で 100 Hz、車体構造自身では数 10 Hz 程度の振動周波数で構成される。ここでは、振動からくる乗り心地の基準として Janeway (1948) の定めたものが古くから用いられている。図 5 に示すよ

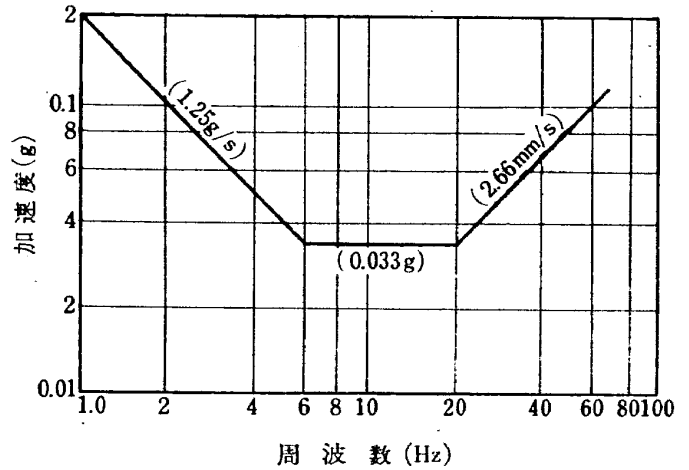


図 5 Janeway の基準

うに、乗り心地の良否を決定する上下振動加速度の限界について定めているが、鉄道の規格もこれと同じにとっている。この限界線は 1~6 Hz では加速度(力度)が一定 (1.25 g/sec), 6~20 Hz では加速度が一定 (0.033 g), 20~60 Hz では速度一定 (2.66 mm/sec) の値を取る線として示されている。このほかに、Goldman (1960) の提案した限界曲線などがある。近時は、心理学的もしくは生理学的な考察も加えられ、呼吸、脈膊、消費エネルギーなどの変化状況を測定して乗り心地の判定を行なう方法も取られている。さらに、自動車への振動入力のパワースペクトラム、自動車—座席—人間系の振動伝達特性、振動数の関数として示される乗り心地の評価関数などを総合的にとらえて乗り心地を評定する方法も採用されてきた。この方

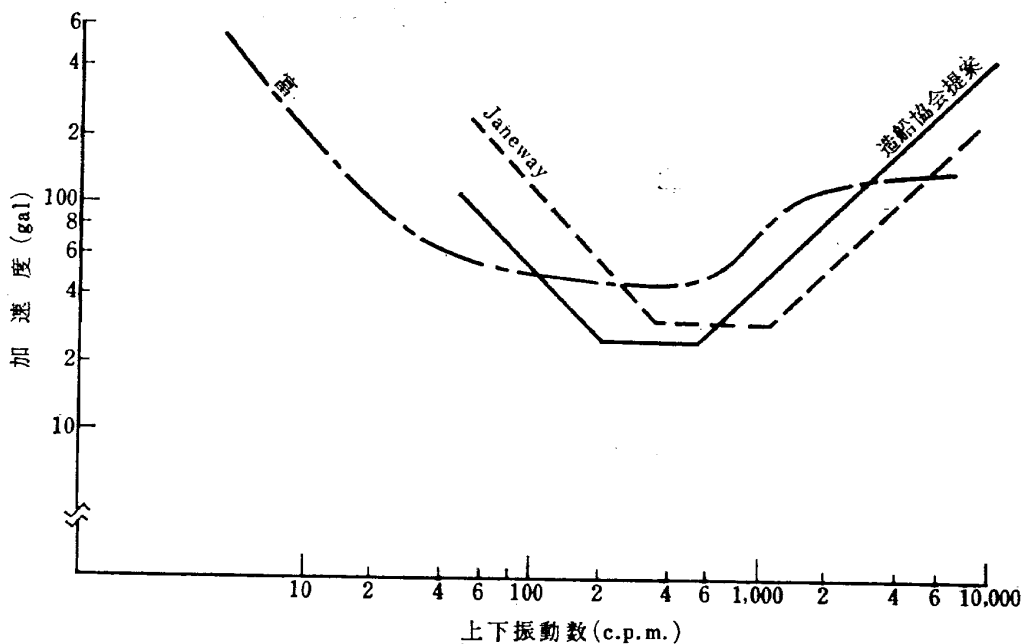


図 6 船舶乗り心地限界基準

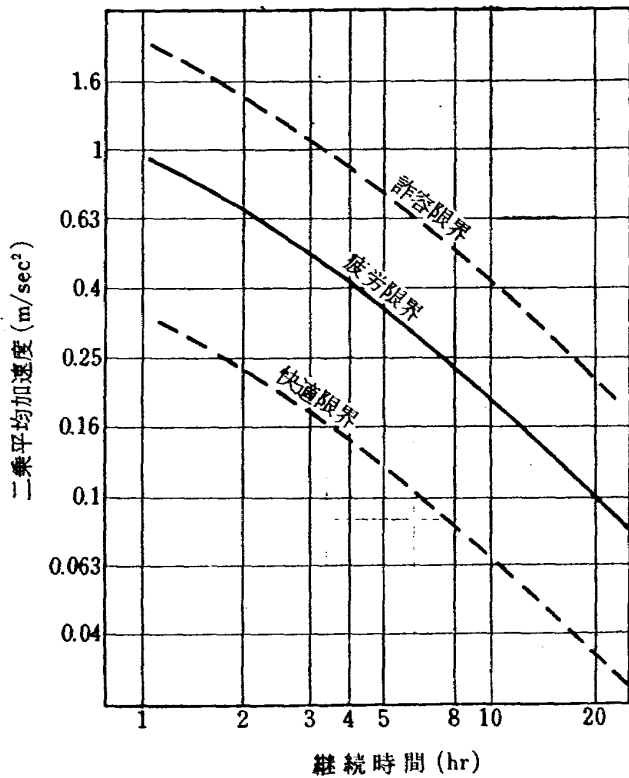


図 7 許容時間限界曲線

法については航空機の振動乗り心地の項で説明する。

### 3.3 船舶

船舶で発生する振動は、おおむね 0.7~90 Hz の範囲とされ、エンジンルームで 4.5~15 Hz、乗組員の休息室で 8.5~18 Hz の実測例がある。船舶の振動乗り心地を表わす曲線は、鉄道、自動車の例とほぼ同じ形であるが、わが国の造船協会で提案されたものは Janeway のそれとは若干異なる。図 6<sup>9)</sup> にこの曲線を他の基準と比較して示す。船舶については、振動にさらされる時間についても考慮され、時間の関数としての乗り心地許容加速度の限界曲線が示されてい

る。また、水平方向の振動は等価な上下振動への置換がなされている。図 7<sup>7)</sup> に時間と乗り心地の関係の曲線を示す。横軸は振動にさらされる時間、縦軸は加えられた振動加速度の大きさで、不快感の程度をパラメータとして示している。

### 3.4 航空機

図 8<sup>8)</sup> に航空機に見られる振動の周波数範囲の例をしめすが、前述の各種の乗物にくらべると、さらに高い周波数まで含まれる。近年、LAHS (Low Altitude-High Speed) 飛行をする航空機の乗り心地についての考察がなされるようになった。たとえば、軍用の偵察機、攻撃機などが目標に接近する場合は敵レーダの監視をさけて、地表近くの悪気流の中を地形にそって飛行せざるを得ない場合が多い。このような環境条件下での航空機操縦の問題は、悪気流による仕事量の増大がパイロットの機能におよぼす影響とか、PIO (Pilot Induced Oscillation) 発生限界などとの関連においても、別に考えられねばならないが、今、悪気流中の飛行によるパイロット乗組員の不快感、疲労、使命達成率の低下などについてすこしのべる。航空機の振動感覚による不快感の基準曲線の一例を図 9<sup>8),9)</sup> に示すが、基本的な型として鉄道、自動車、もしくは船舶のそれと似た傾向が見られる。

横軸は振動周波数、縦軸は振動加速度  $g$  の逆数で表わしている。乗り心地の評価関数はこの場合、a) 恐慌的 (Alarming)、b) きわめて不快 (Extremely Annoying<sup>10)</sup> c) やや不快 (Mildly) の三通りである。別の報告 (米国の軍、民間のパイロットが被験者) での人間の耐振限界の曲線を図 10 にしめす。この場合は不快感と云うよりも耐えられる限界として表わされている。この種の資料はいずれも 4~10 Hz 付近に不快感のはげしいところがあるのは、他の乗物の例と同じ

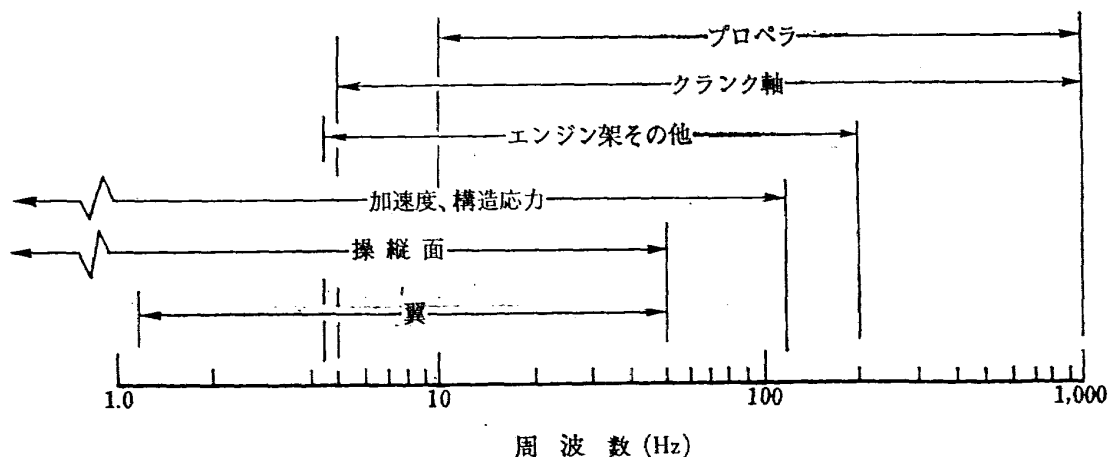


図 8 プロペラ機の振動数範囲

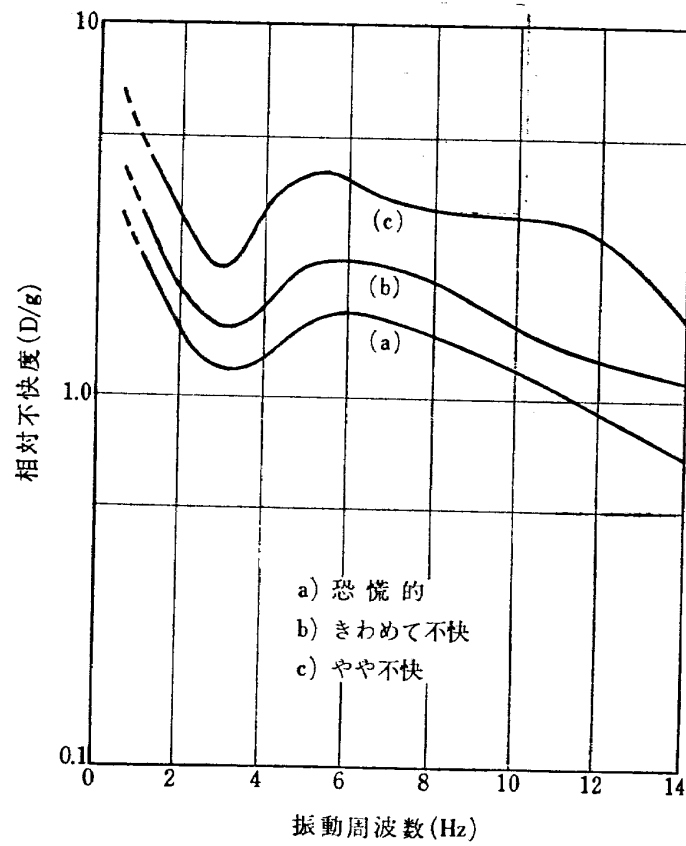


図 9 相対的不快度の周波数特性

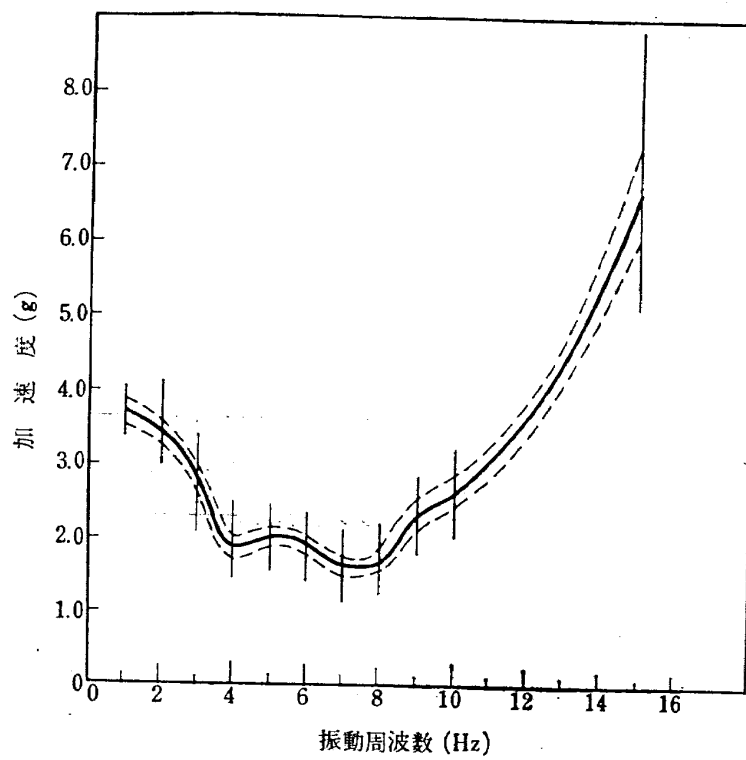


図 10 人体の振動耐性限度曲線



である。

ヘリコプタにおいては、米国規格 MIL-H-8501 A に機体座席の振動限界について次のように述べている。“後進から巡航速度の範囲では、32 Hz までは振動加速度 0.15 g, 32 Hz 以上の振動数では全振幅で最大 0.08 mm を限界とする。巡航速度から限界最大速度の範囲では、36 Hz までは振動加速度は 0.2 g, 36~50 Hz では 0.08 mm (最大振幅), 50 Hz 以上では振動速度 0.012 m/s を越えてはならない。”この規格は Janeway の規準にくらべると相当ゆるやかであるが、ヘリコプタにとってこの規格を満足させる事は高度の技術的努力を必要とするようである。

次節において航空機の振動乗り心地の解析法についてのべる。

### 3.5 航空機の振動乗り心地の解析

LAHS 飛行における飛行機の乗り心地を定量的に論ずるために、与えられた試験環境の振動数の範囲、周波数のスペクトラム、振動にさらされる時間、および、これらの時間的変化などを総合的に考えて評価する方法が取られている。以下、のべるやり方は、商用旅客機にも適用が可能であり、現存する機体の振動、乗り心地についてはもちろん、新しく航空機を設計する際の乗り心地の予測基準を与える一つの方法である<sup>11)</sup>。(1968)

#### 3.5.1 記号

- $\bar{A}$ : 突風感度指数                      g/(ft/sec)
- $f$ : 周波数                                      Hz
- $|T_D|$ : 不快感評価関数                      1/g
- $|T_{A/P}|$ : 突風による加速度の周波数応答関数
- $\sigma_D$ : 不快感の RMS
- $\sigma_n$ : 上下加速度の RMS                      g

$\sigma_u$ : 突風速度の RMS                      ft/sec

$\Phi$ : パワースペクトル

#### 3.5.2 解析法

突風に対する航空機の感度を突風入力の変位の RMS と機体に発生した加速度の RMS との比であらわすと、突風感度指数  $\bar{A}$  は次の通り

$$\bar{A} = \frac{\sigma_n}{\sigma_u} = \frac{1}{\sigma_u} \left[ \int_0^\infty |T_{A/P}(f)|^2 \Phi_G(f) df \right]^{\frac{1}{2}}$$

ここで  $\Phi_G$  は突風速度のパワースペクトルである。さらに、機体の振動周波数と人間の不感快との関係をしめす不快感評価関数  $|T_D(f)|$  を考えに入れると、

$$\frac{\sigma_D}{\sigma_u} = \frac{1}{\sigma_u} \left[ \int_0^\infty |T_{A/P}(f)|^2 |T_D(f)|^2 \Phi_G(f) df \right]^{\frac{1}{2}}$$

不快感の RMS を表わす  $\sigma_D$  は、機体に発生する加速度のパワースペクトルを  $\Phi(f)$  とすると次式で示される。

$$\sigma_D = \left[ \int_0^\infty |T_D(f)|^2 \Phi(f) df \right]^{\frac{1}{2}}$$

さらに、飛行高度や空域による  $\Phi(f)$  の違いとか、ミッションによって突風にさらされる時間が異なる点、あるいは、突風の周波数と発生確率の関係などを考慮に入れて最終的に、ある飛行における航空機の乗り心地が計算される。図 11 に  $|T_D(f)|$  曲線の例<sup>11)</sup>を、図 12 にある高度における  $\Phi(f)$  の実例<sup>11)</sup>を、図 13 に、あるミッションにおける飛行高度、時間の過程の一例<sup>11)</sup>を示す。これらの値を用いて、上述の計算を行えば、総合的な乗り心地の程度が得られる。軍用機の場合には、パイロット、乗組員の航空酔、疲労の問題のほか、使命達成率(たとえば、あるターゲットを射撃するとか、爆撃する場合の命中率)の低下が検討されねばならない。この場合には、ある命中

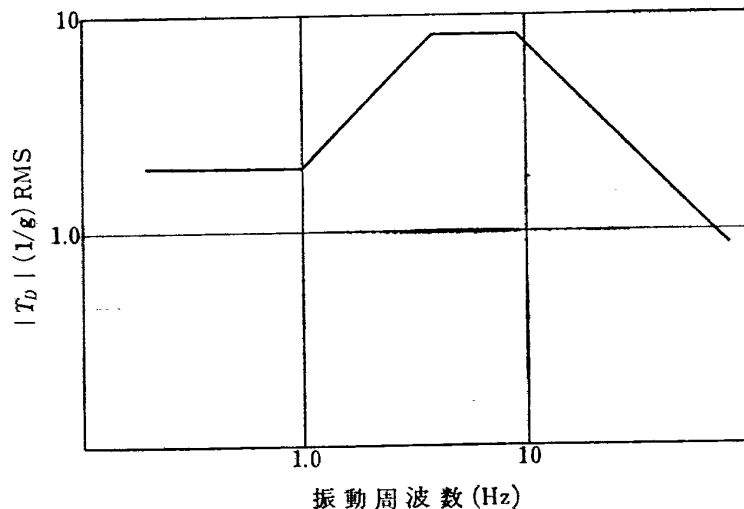


図 11 不快感評価関数の周波数特性

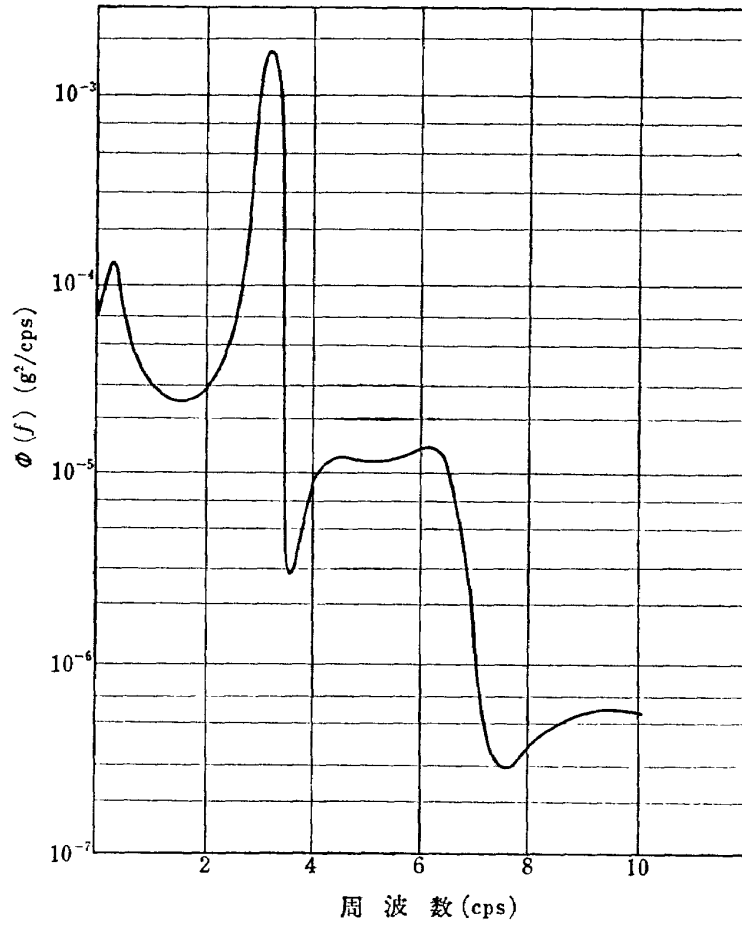


図 11 機体に生じた加速度のパワースペクトラムの一例

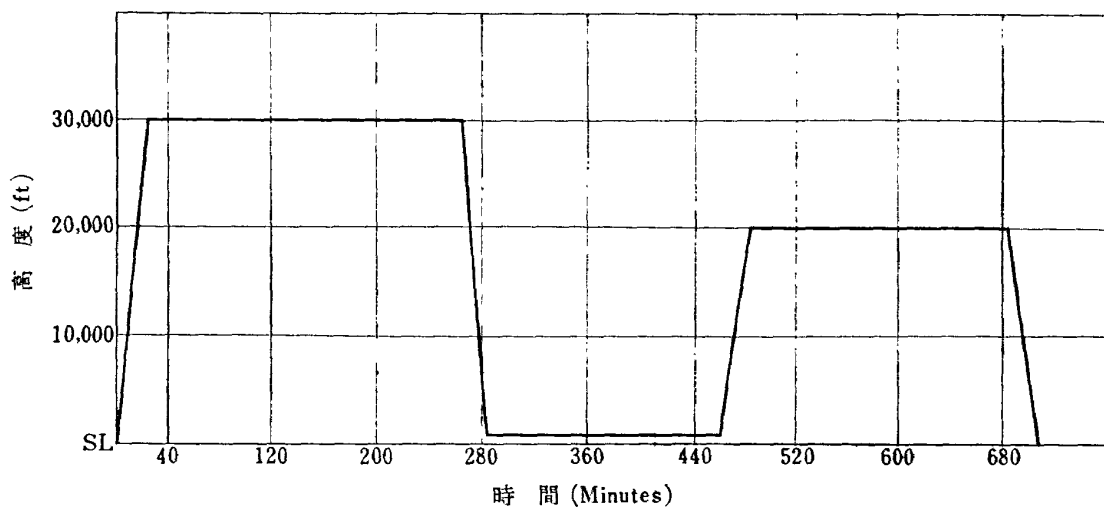


図 13 飛行経過の例

率を保つレベルでの機体振動周波数と振動加速度との関係を示すスペクトル  $T_E(f)$  を導入して計算をする。航空機の縦の運動について、機体の復原力、減衰力を変えた時に、飛行機の乗り心地がどのような影響をうけるかと云った検討を加えた例もある。復原力の効果よや複雑であるが、減衰力のそれは、ある値以上の減衰力の増大は乗り心地に影響を及ぼさない。

### 3.5.3 Turbulence Rating

航空機の振動乗り心地を評価するやり方として、パイロットが空気の乱れと乗り心地の関係にもとづいて定める Turbulence Rating がある。(1953)

表1に Rating の基準表を示す。ここでは振動乗り心地を対象として論じてはいるが、結論としては、乗り心地の評価に関するものは振動の周波数ではなく、じょう乱による発生加速度の二乗平均であるとしている。図 14<sup>12)</sup>に飛行機に生じた荷重倍数の二乗平均とパイロットによる評点 (Turbulence Rating) との関係を示す。白点は飛行マッハ数は 0.6、黒点は同じく 1.2 の場合で、両者では突風の 出会周波数のパワースペクトルが異なる。この二つの比較は突風じよ

表 1 じょう乱評点

評点	評 語	内 容
1	Negligible	いつまでも飛びうる
2	Mild	1時間以上は飛びたくない
3	Moderate	30分以上は飛びたくない
4	Unpleasant	10~15分以上は飛びたくない
5	Intolerable	30~60秒以上は飛びたくない
6	Completely Intolerable	短時間または不連続でもだめ

う乱のパワースペクトルの分布が異なる場合のもので、前述の不快感と周波数の関係についての考慮は、まだなされていない。

## 4. 動揺感覚にもとづく乗り心地

### 4.1 船酔 (Sea Sickness)

動揺感覚に関する乗り心地についての論文は、船舶のそれに関するもの<sup>4)</sup>以外はほとんど見られない。船酔の原因とするめまい現象の定義として“正常な健康人におこるめまいは、外界の強制振動に適合するた

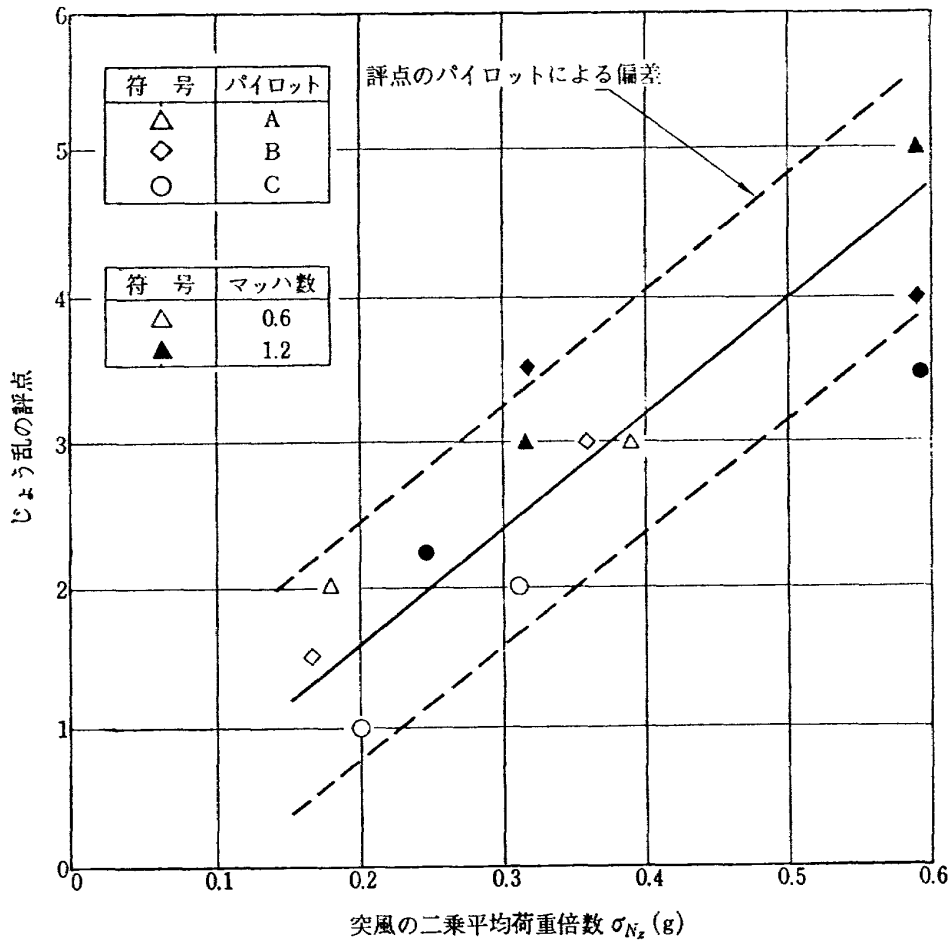


図 14 Turbulence Rating

めの反射生理が外力と矛盾をきたし、身体が静止している時に感覚器による知覚は身体がある速度で移動している、と錯覚した場合またはその逆の場合におこる”とされる。まえにのべたように、動揺感覚は耳石ならびに三半規管で感知される。三半規管に加えられた角運動入力に対する管内リンパ液の運動の位相おくれは、実験データによると0.15 Hz近くの周波数で90°になる。すなわちリンパ液の運動を感知する半規管の受感部の固有周期は約  $2\pi$  秒(周波数 0.15 Hz)であり、大部分の人間ではこの近くの周波数の回転運動で同調し、90° おくれた感覚を生じるのである。この近くの回転外力が加えられると、人間の脳の中の運動知覚中枢は、別個の感覚器から 1/4 周期ごとに、相反した運動速度最大と静止の信号をうける。これが上述のめまい現象であり、空間がぐらつくような平衡感覚の失調をきたす。このため自律神経の機能がそこなわれ、自律神経に強くコントロールされる消化器に影響し、胃腸の不快感を招き、ついに嘔吐するに至る。直線運動については耳石が関与し、同じような結果をまねく。ちなみに、乗物酔の防止薬は自律神経系の働きをにぶくする作用をもつものが多いようである。上述の感覚の矛盾によるものに加えて、直線運動における加加速度(力度)が今一つの船酔発生の原因であり、加加速度  $1.0 \text{ m/sec}^3$  がこの許容値として知られる。直線運動では、上下揺れ、縦ゆれ、横ゆれの順に船酔をまねく効果が大きく、これらは相乗作用を伴ない、荒天時の旅

客船の乗客はほとんど船酔にかかる<sup>13)</sup>。船酔は乗組員でもさけられないので、作業能率にも大きな影響をあたえ、動揺乗り心地についての検討は必要である。船の横ゆれ復原力であるメタセンタの高さと乗り心地との関係をのべた論文も見られるが、実船のいくつかについて乗組員が行なった乗り心地評点によると横ゆれ周期 6.25 秒 のものが最悪であるとしている<sup>4)</sup>。一般に、長さ 40~50m の小型船舶でこの値に近い横揺れ周期が見られる。

#### 4.2 航空酔 (Air Sickness)

動揺感覚からの航空機搭乗者の航空酔については、前節の船酔と同じ性質のものと考えられるが、従来の小型機、中型輸送機ではこの付近の運動の周波数が見られる事が少ないためか、航空機の動揺不快感に関する論文は数少ない。最近の大型ジェット旅客機では、6秒付近のダッチロール運動の周期をもつものは珍しくなく形態によっては、縦の短周期運動でも5秒程度のもが見られるので、動揺乗り心地の見地からの再検討が必要であろうと考える。被験者に、正弦波ではない繰返し上下運動を加え、動揺酔を覚えた者の数の比率と繰返し周期との関係の実験例<sup>14)15)</sup>を図 15 に示す。実験データの数が多いせいか、4秒位の周期の所に動揺酔の発生率最大が見られる。1秒以上の長い周期の動揺感覚の立場から、動揺周波数と加速度と動揺乗り心地の評価関数の関係を定める資料を得る必要がある。一方、定期航空路などの乗客の中で航空酔を

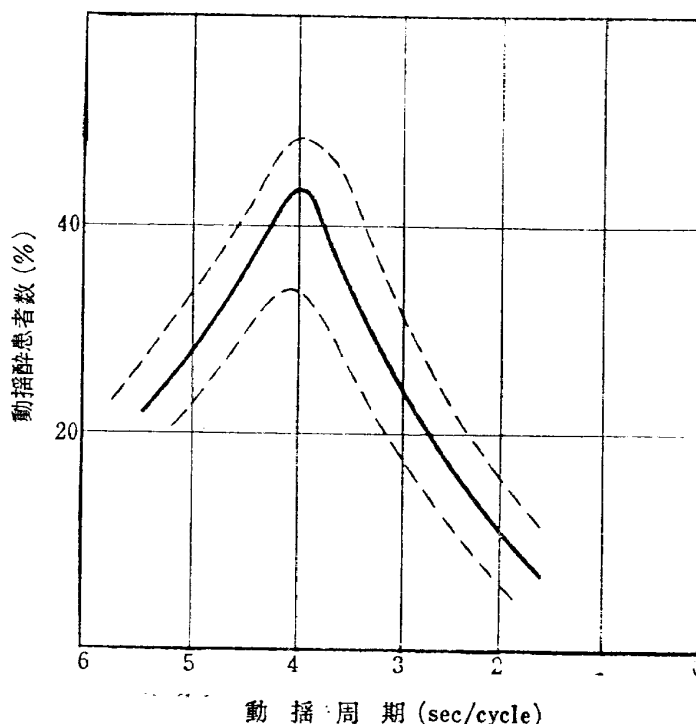


図 15 上下動の周期と患者の関係

呈した数の割合と、その飛行において経験した振動ないしは動揺の記録との相関関係をしらべる事は大いに興味がある。

### 4.3 宇宙酔

宇宙船の場合は、現在のところでは特別な素質をもち、特殊な訓練を受けたきわめて少数の乗組員のみが搭乗しうるわけであり、乗り心地に対する考え方も異なり、乗組員の思考、判断能力ないしは操作能力への影響、脈膊とか呼吸数の変化といった点の考察がなされている。不快感の発生原因も動揺、振動と異なって連続した無重力状態もしくは緩やかな回転のけい続が取り上げられ、このような環境における人間の動作によって発生する現象が問題である。たとえば無重力状態は耳石の機能に影響をあたえるが、三半規官のそれにはあまり相関性のある効果は見られないし、緩やかな回転運動は其中で動作をする人間の三半規官にコリオリの力を発生することにより不快感をまねく。このような原因による不快感は運動酔 (Motion Sickness) と名づけられ性質が異なるので本文では詳述を省く。

## 5. Passenger Rating の提案

航空機が大型化するにつれて、振動不快感のみならず、動揺不快感を発生する運動がより多く経験されることが予想されるのは前節の通りである。まえがきへのべたように、新しい時代の乗物としての航空機は乗り心地の点から大いに考察されるべき時期であろう。従来は、航空機を操縦するパイロットの立場からの操縦特性 (Handling Qualities) についての Rating が大いに論じられて来た。今後は、旅客の立場から見た乗り心地についての評点 (Passenger Rating と名づける) をも考慮に入れて飛行機の設計を行なうべきかと考える。離着陸の形態の飛行については、もちろん Pilot Rating に、巡航形態に入ったら搭乗特性 (Riding Qualities) にもとづいた Passenger Rating に主眼をおくべきではなかろうか。近頃の大型ジェット旅客機では振動不快感は大幅に緩和されていることが予想されるが、動揺不快感の緩和に着目した研究はますます必要であろう。他の乗物の場合も云える事ではあるが、航空機のパイロットは選ばれた適性、経験によるなれに加うに、“自分がコントロールしている”との意識と緊張感のゆえに、航空酔にいたる事はすくない。筆者の少ない経験例からしても、悪気流中の飛行によって発生した不快感は、操縦桿をにぎることによって霧散するものである。パイロットと乗組員のちがいは、パイロットのうちでの最近の飛行経験時間の多少による不快

感の発生率について若干考察された例はあるが、その差は著しい。乗り心地の判定基準にも、これらの間には若干の差異が予想される。座席にじっとすわって、ほかに気をまぎらわせる手段の少ない乗客としての立場からの Passenger Rating を提案するゆえんである。下に Passenger Rating の試案を示す。

1. 快適 (Comfortable) いつまでも気にならない
2. 平常 (Mild) 1時間以上続くと不快になる
3. やや不快 (Unpleasant) 30分以上続くと不快
4. 不快 (Annoying) 10分以上続くと不快
5. 危険感 (Alarming) 危険を感じる

これらの Rating についてはもちろん多くの被験者による実験および理論的な裏付けが必要であるが限られた人によって構成されるパイロットのそれと異なり、非常に変化に富んだ内容の集団である乗客の判定はちらばりが多い事が予想され、基準として用いられるには十分な量の各種データの集積が要求されるであろう。動揺不快感、さらには回転運動を含んだ動揺不快感に基づく乗り心地基準曲線の作成、乗客の分類定型化法の検討、環境条件の乗り心地に影響する重みについての考察、等々、着手解明すべきテーマは多い。

## 6. むすび

航空機の乗り心地に関する考え方を鉄道、自動車、船舶のそれと比較検討した。これらはすべて振動、動揺などの乗物の運動に注目したもので、環境条件、肉體条件などの因子については考慮されていない。過去はもちろん現在に至るまで航空機のこのテーマに関する論文は意外に少ない。特に動揺運動による不快感に基づいた乗り心地に関係するものはまれで、乗客の立場からの検討に至っては見うけられない。明日の航空機を設計するのに必要な研究の一つであると考え。

## 文 献

- 1) R.A. Mc Farland; Human Factors in Air Transportation (1953) p.p. 673-725, McGraw-Hill
- 2) V.V. Parin; Aviation and Space Medicine, Akademiya Meditsinskikh Nauk, SSSR (1963)
- 3) 交通機械と人間工学, 日本機械学会, 第 295 回講習会教材 (昭 43 年 7 月)
- 4) 富 武満; 船舶における振動および動揺の許容限界値に関する研究 (第 1 報), (第 2 報), 関西造船協会誌, 第 104 号, 第 105 号
- 5) C.T. Morgan et al; Human Engineering Guide to Equipment Design (1963) p.p. 458-

- 475, McGraw-Hill
- 6) 金沢 武; 振動の許容限界について, 造船協会誌, 第 410 号 (昭和 38 年 10 月)
  - 7) 広渡智雪; 船体振動の許容限界における二三の問題, 造船協会誌, 第 458 号 (昭 42 年 9 月)
  - 8) D.L. Grande; Some Effects of Random Turbulence on Weapon-System Performance, *Aerospace Eng.*, Oct. (1962)
  - 9) D.L. Grande & N.D. Showalter Jr.; Some Effects of Stability on Low-Altitude Ride Quality, *J. Aircraft*, Vol. 2, No. 5 (1965)
  - 10) E.B. Magid et al.; Human Tolerance to Whole Body Sinusoidal Vibration, *Aerospace Medicine*, Nov. (1960)
  - 11) J.W. Rustenburg; A Technique for the Evaluation of Aircraft Ride Quality, Tech. Rep. ASD-TR-68-18 (1968)
  - 12) R.C.A' Harrah; Low-Altitude, High-Speed Handling and Riding Qualities, AGARD Reh. 443 (1963)
  - 13) Fundamentals of the Behaviour of Ships in Waves, The Netherland Soc. of Engineers and Shipbuilders, Pub. No. 151 a of N.S.M.B.
  - 14) T.H. Kerr et al.; Aircraft Tests in High-Speed Low-Level Flight, including Impressions of a Spring-Mounted Seat, AGARD Rep. 442 (1963)
  - 15) S.J. Alexander et al.; Wesleyan University Studies of Motion Sickness: Part I, *J Psychology* (1945) 19

TM-168	ダンピングメータの試作	1970年2月	柳沢三憲
TM-169	ジェットエンジン燃焼器出口ガス流の乱れの測定 (I)	1970年2月	相波哲朗
TM-170	JRエンジンの燃焼器におきた振動燃焼	1970年2月	鈴木邦男, 石井浅五郎 山中国雍
TM-171	缶形燃焼器 (低圧, 低温系) 試験設備による航空計器の氷結 (着氷) 試験	1970年3月	鈴木邦男, 相波哲朗 本間幸吉, 服部宣夫
TM-172	自動追尾型風向風速測定器	1970年3月	川幡長勝, 中谷輝臣
TM-173	FA-200 改機の動安定微係数	1970年4月	遠藤浩, 林良生 海老沼幸成, 中谷輝臣
TM-174	遷音速風洞動安定測定装置の構造と作動	1970年4月	小橋安次郎, 河野長正文 西武徳, 宮沢政文
TM-175	NAL-16-31D型ロケットの研究試作	1970年5月	五代富文, 近藤洋史 中井暎一, 田畑浄
TM-176	非対称自由流線の計算法	1970年5月	高橋 侖
TM-177	小型固体ロケットモータの振動燃焼実験—パルス法による中周波振動燃焼の研究—	1970年5月	五代富文, 伊藤克弥 西村久男, 湯沢克宜 柴藤羊二
TM-178	大型低速風洞動安定微係数測定装置	1970年5月	広岡貫一, 遠藤浩 戸田亘洋, 岡部祐二郎
TM-179	風洞天秤の試作	1970年5月	金成正好, 北出大三
TM-180	ジェットエンジン燃焼出口ガス流の乱れの測定 (II) —レーザのドップラ効果を利用する方法—	1970年5月	相波哲朗

注: 欠番は配布先を限定したもの

---

## 航空宇宙技術研究所資料181号

昭和45年6月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町1880  
電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(代表) 182

印刷所 株式会社 東京プレス  
東京都板橋区桜川 2~27~12

---

