

船舶の動揺・振動に対する人体応答と乗心地に関する 研究と許容基準について

在田正義*・宮本 武*

Human Response and Evaluation To Shipboard Vibration Exposure

By

Masayoshi ARITA and Takeshi MIYAMOTO

Abstract

Reports and documents which deal with human response and evaluation to shipboard vibration exposure are summarised. The purpose of this explanations is to make clear the present situation of researches and international standardization of this field.

In Chapter 1, characteristics of human body to vibration exposure are explained. Human response to vibration exposure can be evaluated as ergonomics on the analogy of the relation between the dose(input) and its effect (output) in the human body. Between the input and the output, there are perception and evaluation of individual scale. Here the evaluation of individual scale is affected by many factors as noise, temperature, atmosphere etc. An example of the effects of noise on the exposure limit of vibration is shown.

Then the experimental method to evaluate human exposure to shipboard vibration, and examples of analytical spring-dashpot-model of human body for x axis (back to chest) , y axis (right to left side) and z axis (foot to head) are explained.

In Chapter 2, individual, national and international standards (including proposals) of vibration evaluation are explained in order to make clear the interrelation among them. Here the vibration, as the object of evaluation, is divided into three categories. The first is single frequency vibration lowerer than 1 Hz, the second is single frequency vibration from 1 Hz to 80 Hz and the last is multi-frequency or multi-axes vibration. For the evaluation of multi-frequency vibration, experimental results and analysis of them conducted by authors are presented.

At last, many factors surrounding the evaluation of human exposure to ship board vibration are presented.

目 次	頁
1. はじめに.....	27
2. 人体の振動応答の特性.....	29
2.1 人体の振動応答と応答に及ぼす諸因子.....	29
2.2 乗心地の実験法.....	30
3. 許容基準.....	32
3.1 振動 (1~80Hz) について.....	32
3.2 動揺 (1 Hz 以下) について	38
3.3 3次元振動, 複合振動について	39
4. むすび.....	41
参考文献.....	41

1. はじめに

船舶の品質向上及び少数船員化による船上労働の高度化等に対応して、船体振動軽減に関する研究が最近、特に重視されるようになった。ここで問題になるのが国際基準である。最近相次いで振動関係のISO基準が出されており、基準の根拠や諸基準間の相互関係がわかりにくくなっている。そこで、船舶の乗心地関係の

*船体構造部

原稿受付：昭和61年1月13日

基準の根拠や諸基準間の相互関係を明らかにする必要が生じている。

さて船舶の振動に関係した乗心地の問題は、「動揺」「振動」及び「騒音」問題に大別出来る。

「動揺」は、1Hz以下の周波数の振動である。一般的には、船が波浪により剛体運動を起し、人体がこの剛体運動と同じ運動を起すことにより、いわゆる船酔いを生ずる問題である。

「振動」は、一般に1~80Hz又は100Hzまでの周波数の船体振動である。この場合、船体の振動と人体の動きは、必ずしも一致しない。人体を振動台上のバネ系に置きかえて、その運動を論ずることができる。振動に人体が応答して、不快さを感じたり仕事の能率が低下することを、振動による居住性の低下という。

「騒音」は、一般には20~20,000Hzの空気振動による可聴音域の問題であり、振動問題と同様に居住性に影響を与える。また最近では、20Hz以下の空気振動による低周波騒音¹⁾が問題となっているがここでは触れない。

船舶の振動問題は、ここで述べようとする乗組員の乗心地に関する問題のほか、船体強度（振動疲労）

上の問題や機器の性能低下に関する問題がある。近年こうしたことが問題になる背景には、船舶の専用船化、高速化、大型化に伴う高出力機関の搭載や特殊船型の採用、船体の最適設計や高張力鋼の使用による船体の軽量化、運航コストの軽減に伴う少数船員化と精密機器の装備といったことがある。²⁾こうしたことは、船舶の振動を増大させる要因となるものや、より低い振動の許容基準を要求するものである。図-1は、これらの相互関係を示したものであり、振動による乗心地問題を考え、その対策を立てる際に参考になるであろう。

本報告は、人体の振動応答の特性とその許容基準について解説したものである。先ず、人体の振動応答については、人体及び感覚器の振動知覚に対するモデル化を扱った。さらに、この知覚に与える騒音、温度といった他因子の影響にもふれた。これに関連し、乗心地の実験法について、室内で行うものと実船で行うものに分け述べた。

許容基準に関しては、我が国で提案された諸基準案を解説すると共に、現行施行され、また提案されているISO（国際標準化機構）の船舶振動関係の多種の基準について、その考え方及び特徴、相互の関係を明ら

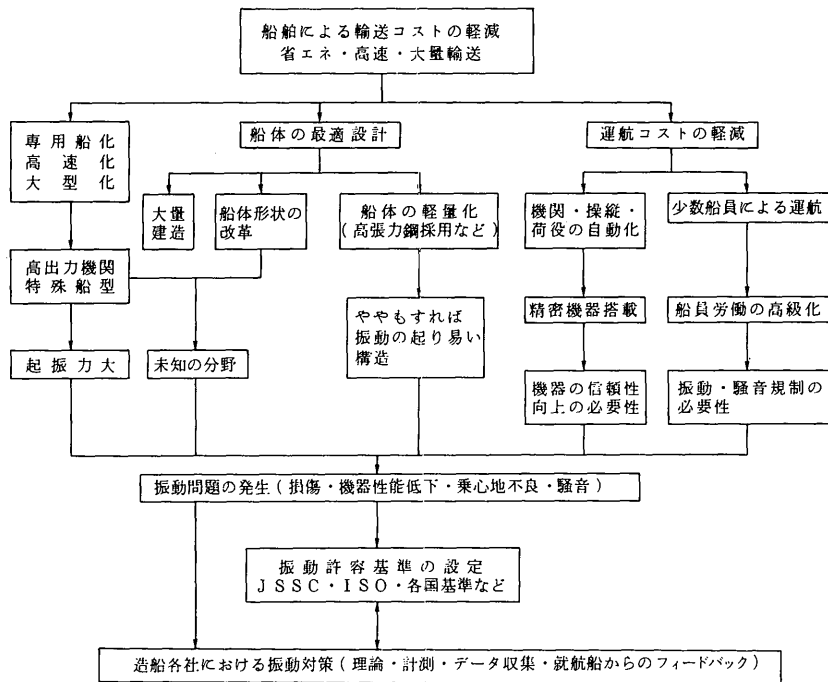


図-1 船体振動問題をとりまく環境²⁾

かにしつつ解説した。

以上は、単一軸方向、単一周波数に対する基準が主であったが、三次元振動（上下、左右等の振動が同時に加わる場合）、複合振動（周波数の異なる振動が同時に加わる場合）に対する考え方、基準の現状についてもふれた。

2. 人体の振動応答の特性

2.1 人体の振動応答と応答に及ぼす諸因子

人体に与えられる振動をinput, その結果人体に生ずる反応をoutputとして、その間の関係を扱うのが、振動に対する作業学的扱い(ergonomics)である。これは、投薬(dose)とその効果(effect)の関係と同様の考え方であり、図-2のように表わせる。³⁾

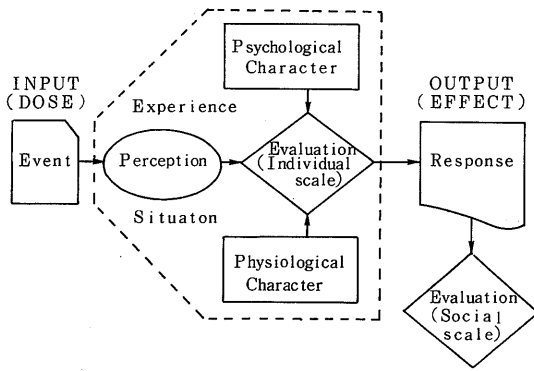


図-2 振動暴露に対する人体応答とその評価の手順³⁾

図中の知覚(perception)については、富武満の研究⁴⁾がある。それによれば、次のようになる。

- ・振動感覚は、人体骨組の形成に必要な筋肉、腱、関節による知覚で、医学的には深部知覚と呼ばれる。
- ・動揺のように周期の長い運動の場合の感覚器は、前庭迷路器官の耳石である。この耳石の速度により、運動を知覚する。前庭迷路は各内臓器官の生理的機能を保持し、身体全体の平衡を司さどる反射生理器官である。
- ・船酔は、前庭器官に作用する力度（速度の時間による2回微分）の大きさのため発現した不快感と前庭耳石運動と外力との位相差のため発現した身体平衡障害および眩暈感(げんうんかん-ゆまい感)である。

知覚を個人が評価(evaluation-individual scale)する場合各人の心理的および生理的特性(psychological

and physical character)に基づいて行うが、この評価に与える騒音、温度、湿度といった振動以外の因子、慣れといった経験的因子の影響を無視することはできない。

図-3は、航空機の場合について、乗心地に影響する因子を示している。⁵⁾⁶⁾各因子に対し内側から、愉快、快適、不快、耐えられない(円の外側)の領域に分けられ、各々の許容限界値の例が示してある。航空機と船舶では、各因子のもつ重要性に差があるが、基本的には船舶の場合についても図-3と同様に考えてよいであろう。

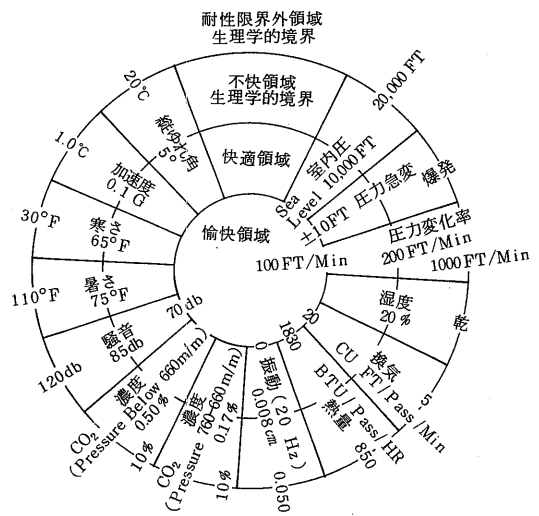


図-3 乗り心地に影響する因子^{5),6)}

ここで、騒音と振動が混在した場合の人体感覚の例をあげる。幹線道路住民の道路交通騒音、振動を対象として行った実験室内での実験結果⁷⁾を図-4に示す。被験者を振動台上に、あぐらの状態で座らせ、道路上で収録した騒音、振動を再生して与え被験者の反応を調べたものである。図中の数字は、4以上は「非常に不快」1以下は「不快でない」として評価表を作り、これに基づく被験者の反応の平均値を示している。図中に示す3本の等感覚線からわかるように、騒音と振動の感覚に与える影響は独立ではなく、強い相関関係があるものである。

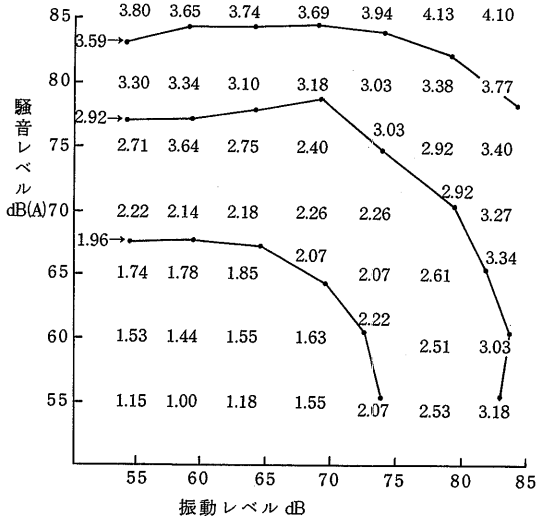


図-4 騒音レベル・振動レベルと「不快さ」⁷⁾

2.2 乗心地の実験法

室内実験と実船実験

乗心地実験の目的は、振動に対する人体の応答曲線を求め、許容限界を求めることである。実験室実験においては、図-3に示すような諸種の影響因子を排除して、被験者の姿勢と振動の方向(図-5⁸⁾参照)に対し振動の周波数、加速度及び暴露時間をパラメータとして振動を加える。周波数の範囲としては、前にも記したように1~80Hz又は100Hzまで。動揺の場合は1Hz以下であり、加速度の範囲としては、0.125~20.0 m/sec²、暴露時間の範囲としては、1分~24時間程度を適用する。ただし、時間については、短時間の実験結果を

$$a^2 t = const$$

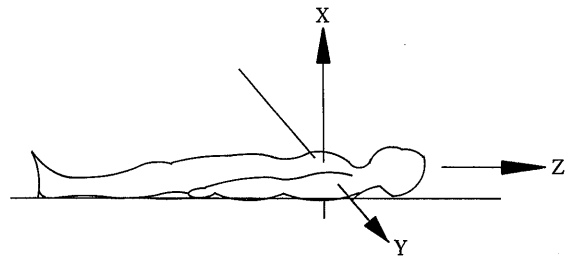
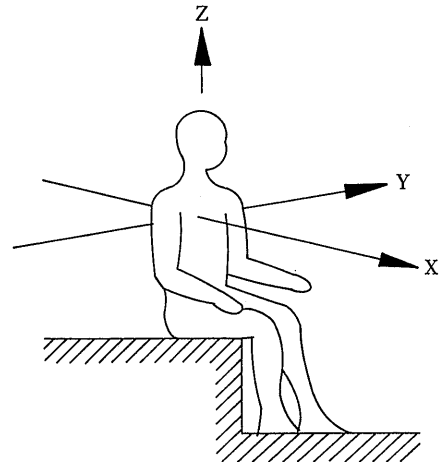
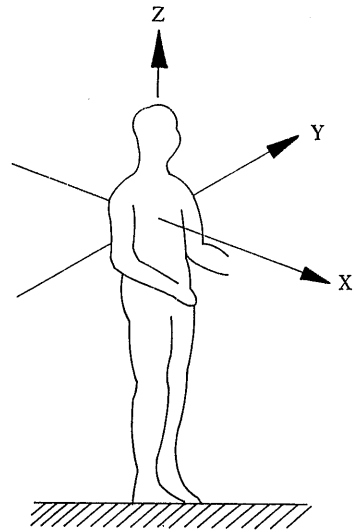
a=加速度 t=暴露時間

を用いて拡張することもある。⁹⁾

実験室実験における振動の評価法としては、実験終了時点で被験者が自分の気分を評定表に従って評定するSD法(Semantic Differential法。または有意差法)、実験中の作業能率、血圧や脈搏数の変化を調べる方法がある。

実船実験では、実験室実験のように、パラメータの値を系統的に変化させて被験者の応答を調べることは出来ない。そこで、船のいくつかの場所を選び、そこでの振動の状態を測定しつつ、定められた姿勢を保つ被験者の応答を主としてS.D.法で調べる。実船の振

(214)



ax, ay, az = acceleration in the directions of the x, y, z, axes
 x axis = back-to-chest
 y axis = right-to-left side
 z axis = foot (or buttocks)-to-head

図-5 座標のとり方⁸⁾

動は、単一周波数ではないから、振動の周波数及びそのレベルを定める必要がある。簡便な方法としては、加速度のピーク値を示す周波数をとることも出来るが振動感覚の評定には rms 値（加速度 a で考えれば、 a の時間に対する変動量の、ある瞬間における、ある時間内一時定数—の root mean square 値）が適しているとされ、ISO¹⁰⁾でも一般にはこの値の「最大繰返し振幅 (maximum repetitive amplitude)」をとることになっている。

実船実験の場合は、SD 法による振動評価のほか、睡眠中の脳波の測定、尿中のクロール、クレアチニン、ウロブジン、17ケストステロイド、オキシコルチコイド量の値とその変動量を調べるという生化学的検査法があり、¹¹⁾振動、騒音等の蓄積効果を客観的に調べる方法として期待出来るのである。

人体のモデル化

実験から得られたデータを解析するため、人体を、質量・バネ及びダッシュポットからなる系と考えたり、振子と考えることがある。

水平振動の場合、付根で一定最大加速度を受けて強制振動する振子を考える。¹²⁾ この振子の質点の振幅と振動周期との関係は、図 6¹³⁾に示す振動知覚感度と振動周期の関係（被験者 5 人の平均）と全く同じとなる。振子モデルの共振曲線と図 6 から、人体の減衰係数を求めることが出来る。

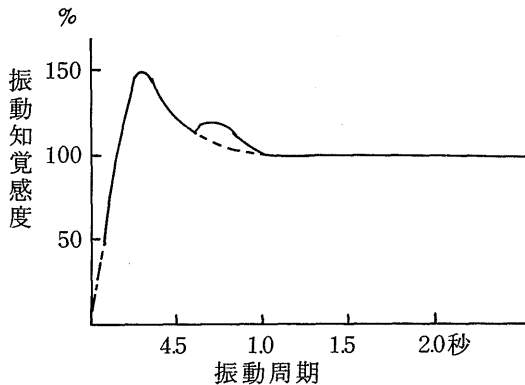


図-6 振動知覚感度の周波数特性¹³⁾

垂直振動の場合には、図 7 のように、2 自由度をもつ質点系の振動と考えることが出来る¹²⁾。人体の固有振動数を約 500 及び 900 cpm とすると、人体の垂直振動実験¹³⁾における人体の胸部と振動台の振幅比と振動数の関係と同じものを得ることが出来る。

人体による振動、動揺に対する知覚は、皮膚、筋肉、

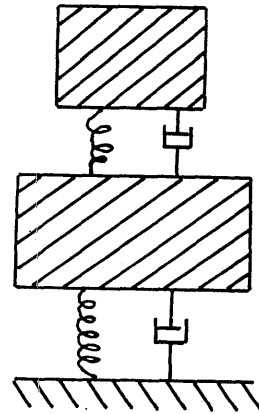


図-7 縦振動に対する人体のモデル化¹²⁾

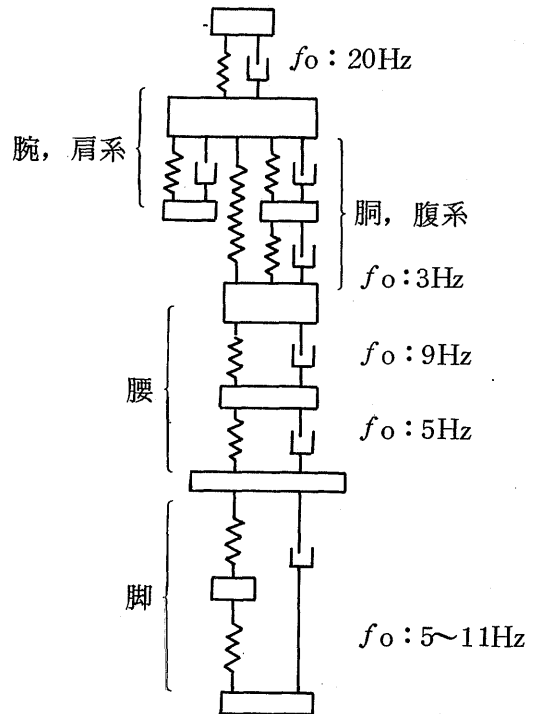


図-8 動揺に対する人体のモデル化と各部の固有振動数⁵⁾

骨格、関節、腱等の部分と内蔵諸器官によるとして、図-8のように多数のバネ-ダッシュポット系としてモデル化することもできる。図には、各部分の固有振動数の値が記入してある⁵⁾。先に述べた人体の固有振動数約500及び900cpmは、この系の全体としての見かけの固有振動数と考えることができる。

動揺の知覚は、前述のように、前庭迷路器官の耳石と考えられるが、この部分についても質量-バネ-ダッシュポット系と考えてモデル化することができる。

こうしたモデル化によって、振動、動揺の物理量(変位、速度、加速度等)と振動感覚(知覚の限界、不快感、不快の限界等)を結びつけるための合理的根拠を与えることができる。

3. 許容基準

ここでは、振動(1~80Hz)と動揺(1Hz以下)に分けて述べ、最後に三次元振動及び複合振動の扱いについて述べる。

3.1 振動(1~80Hz)について

船舶の振動に対する基準としては、日本造船協会による提案¹²⁾がある。この提案は、①乗客、乗組員等の振動感覚、振動の仕事への影響、②船体各部に生じる振動応力、③航海計器等の耐振性、④振動により発生する騒音の影響等も考慮しており、図9に示すような折線と与えられる。この折線では、上記考慮項目中の②に対しては問題がなく、③に対しても計測器の取付けの改良により解決できる程度としている。①に対しては、振動感覚では振動の評価を「a-振動感覚が始まる」から「e-不快、せいぜい1時間ぐらいしか我慢できない」までの5階級に分類し、「d-強く感じる、長時間で不快となり、やっと我慢できる」を許容基準として採用している。仕事に対しては、「A-邪魔にならない」「B-邪魔になる」「C-非常に邪魔になる」の3階級に分類して、そのB階級を許容基準として採用している。この提案の内容は、後に示すISO2631/1: Part 4(船員の振動暴露許容基準)と同一主旨のものといえよう。

日本で始めて発表されたこの提案¹²⁾は、船舶の振動の許容基準として広く用いられたが、規則化されたものではなかった。そして規則化された最初の基準は、1975年に出されたISO2631“Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration”である。そこでは、1Hzから80Hzの振動を扱っており、船舶だけでなく、陸上の乗物、航空機から建物までも対象としている。この基準では、人体にとって座標(図

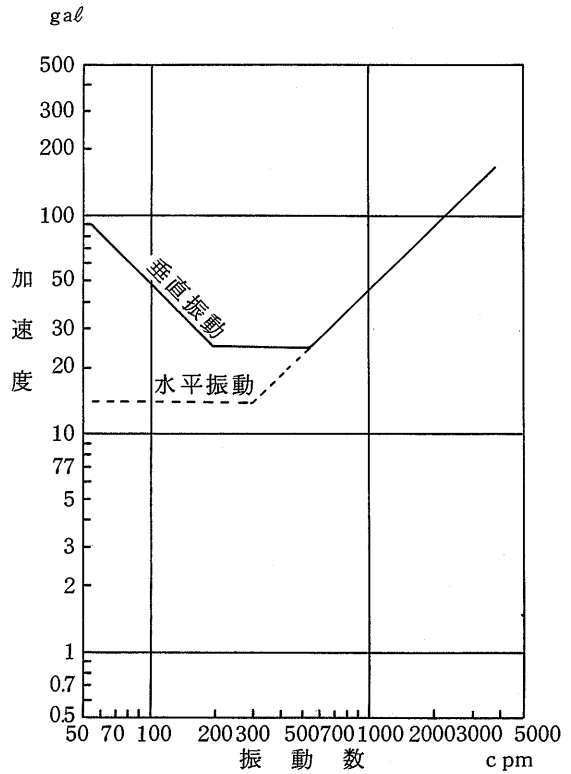
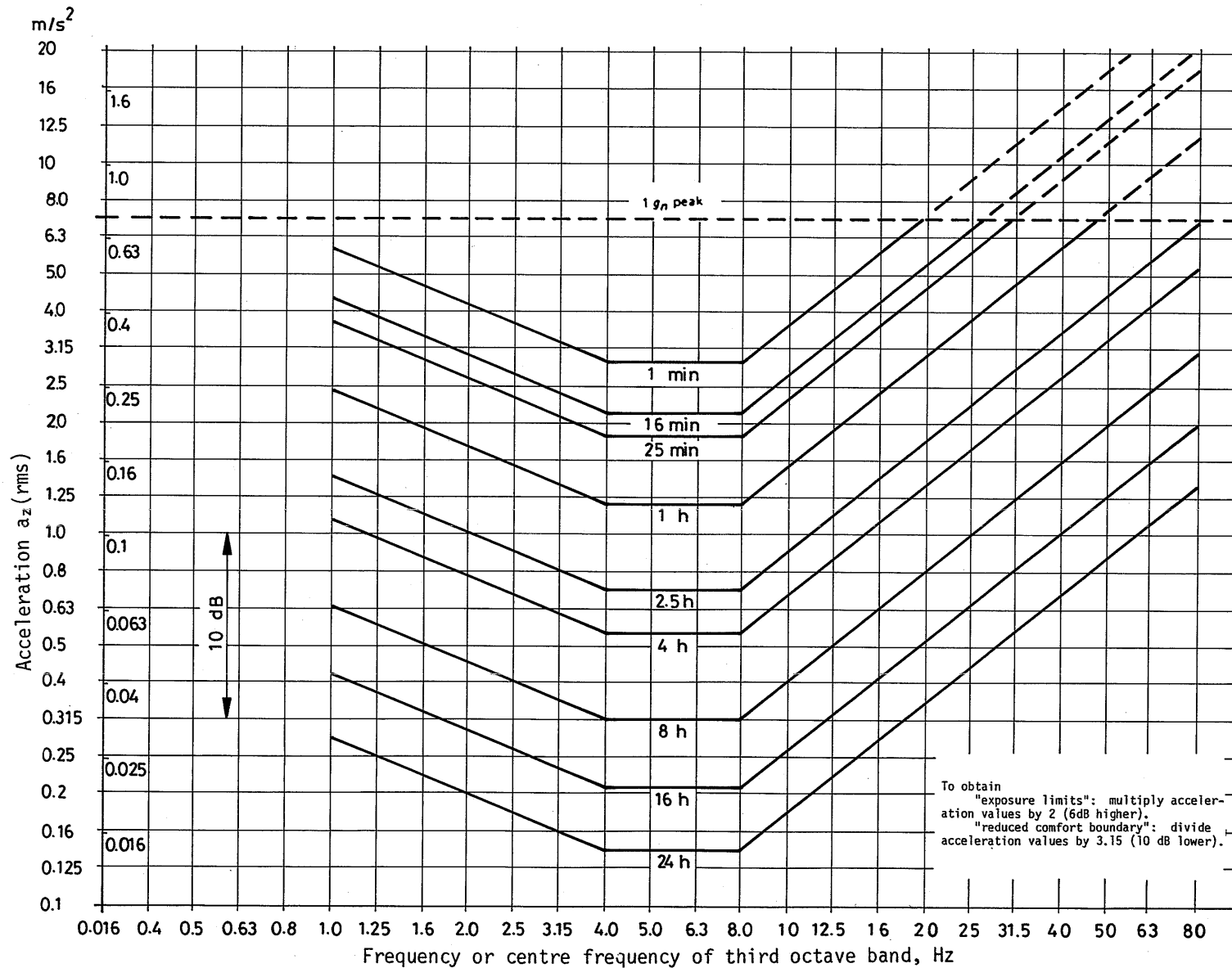


図-9 提案された許容基準¹²⁾

- 5) ごとに、「疲労-能率減退閾値」(fatigue-decreased proficiency boundary)を、暴露時間に対して与えている。図-10は、Z軸方向(人体の身長方向)に対するものであり、図-11は、X、Y方向(人体の前後方向及び体側方向)である。約3Hz以上では、X、Y方向の閾値をZ方向の値より高くしているのが特徴である。この基準は、1978年、1985年(作業中、案のみ)に改訂が加えられると共に、特殊な場合について補遺(addendum)が出されてきた。この補遺の1つで、現在改訂版のDIS(Draft International Standard)として審議中のものにISO2631/4: part4“Evaluation of crew exposure to vibration on board sea going ships(1Hz to 80Hz)”(1985年9月段階)がある。この基準は、船員の船体振動への慣れを考慮しISO2631の「疲労-能率減退閾値」(図-10、図-11)のうちから暴露時間が8時間のものを採用し、図-12のように定めている。寝室については、図-12とは別に図-13のように定めている。これは、8Hz以上で図-12のZ軸閾値をとり8Hz以下ではそれより相当低く定めている。

ISO2631を商船に適用した基準として



(217)

図-10 身長方向加速度 (a_z) の閾値 (ISO 2631)

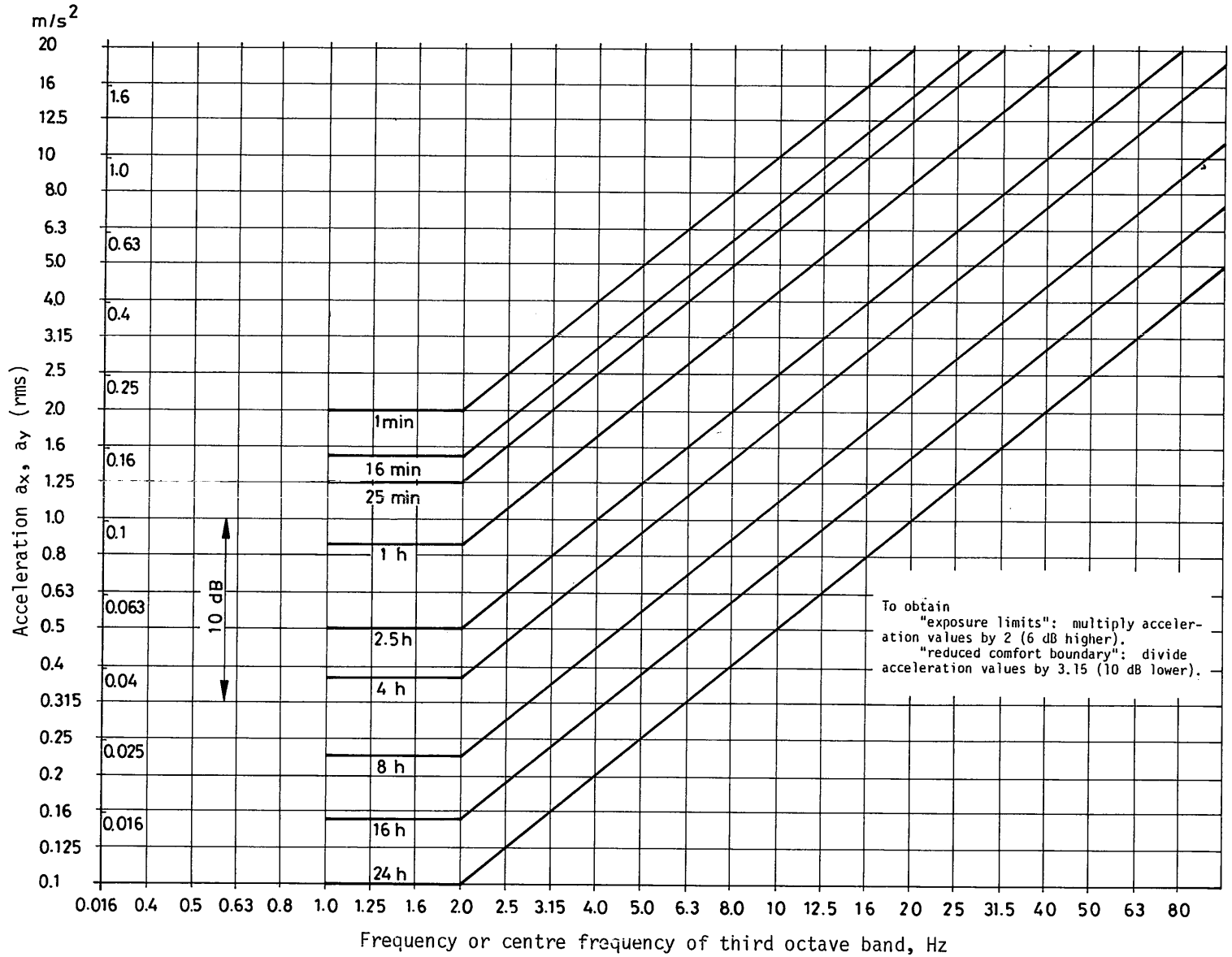
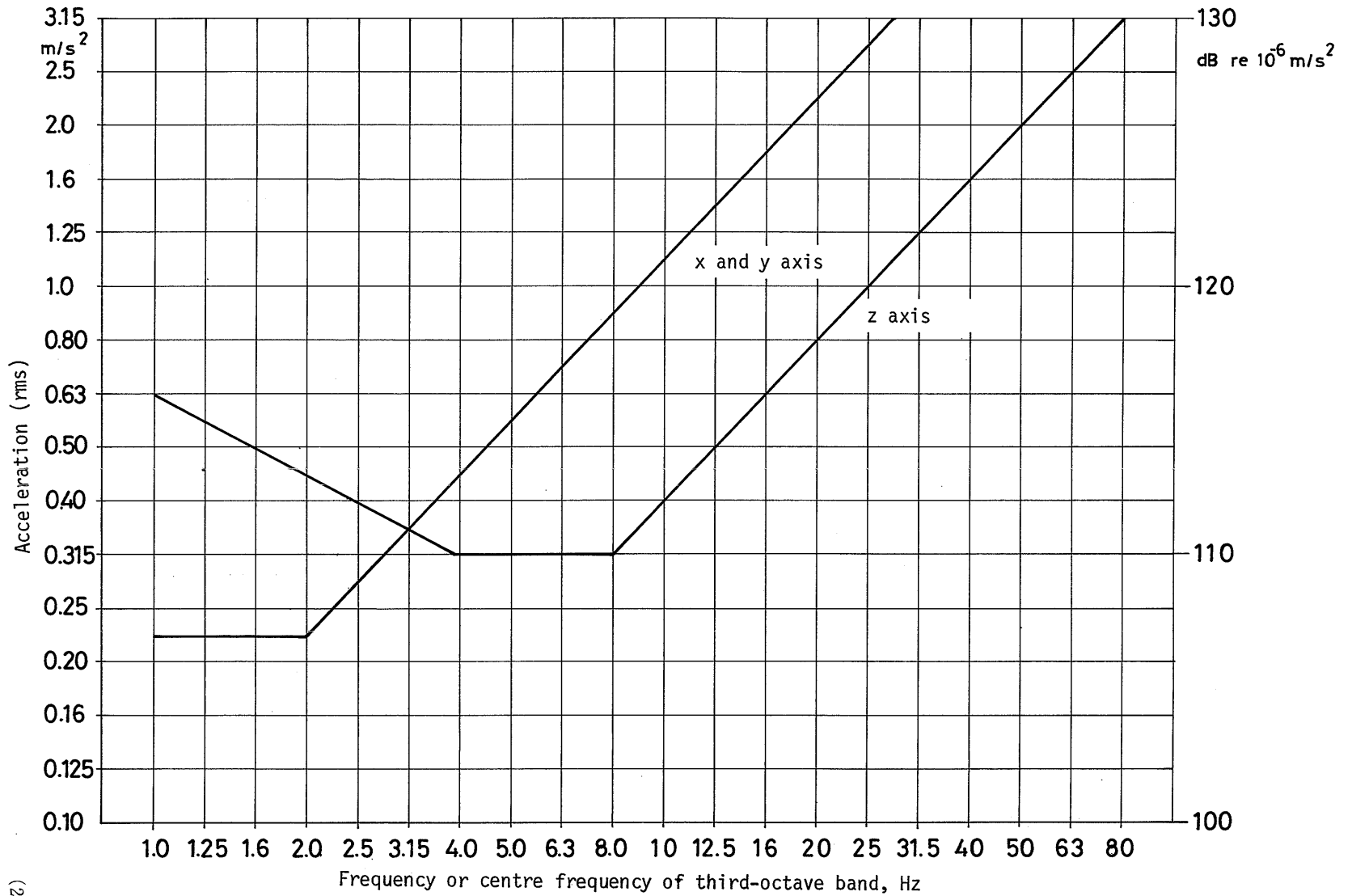


図-11 前後方向加速度 (a_x) 及び体側方向加速度 (a_y) の閾値 (ISO 2631)



(219)

図-12 寝室を除く居住区等に対する基準
(ISO 2631/4)

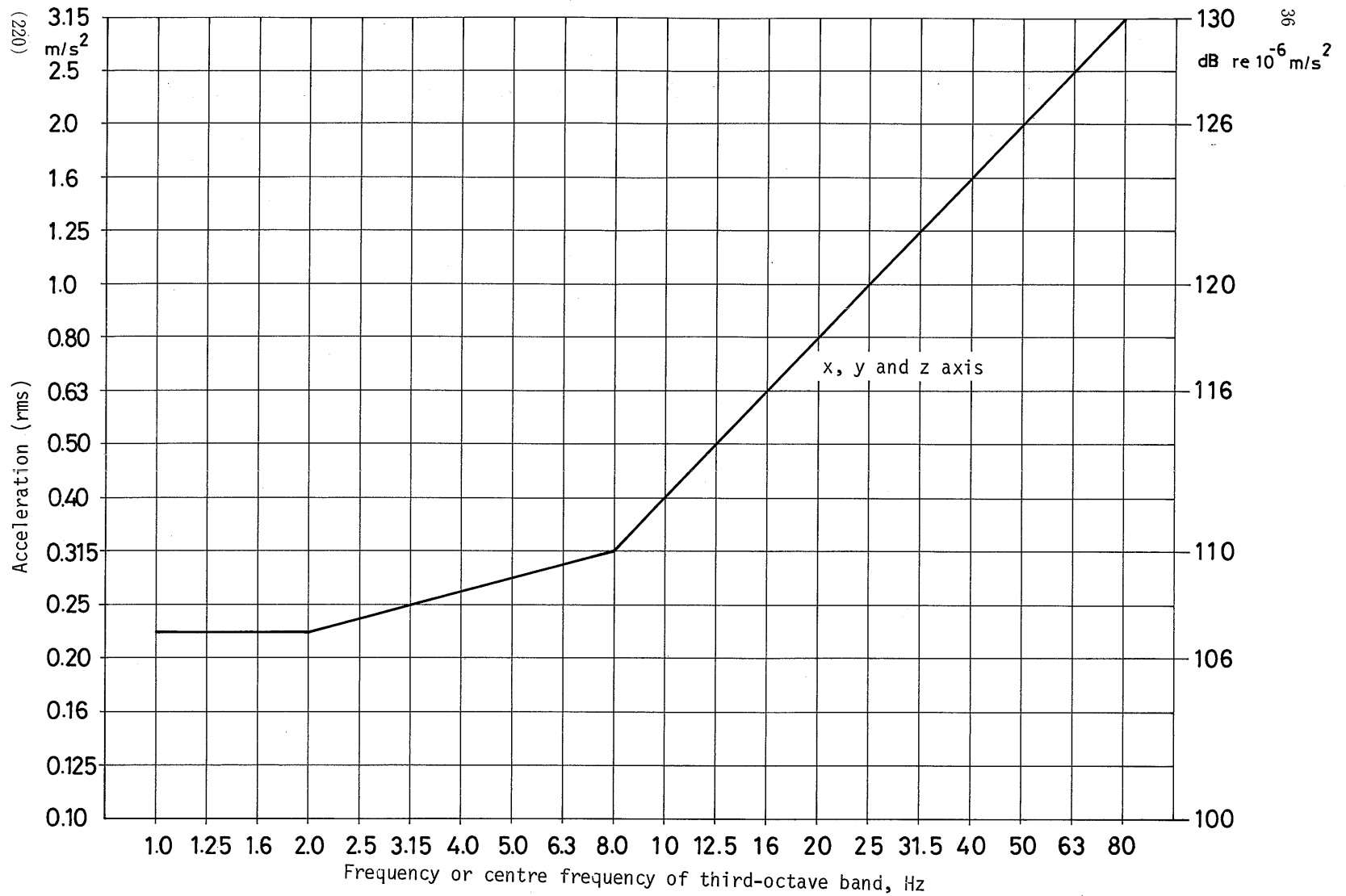
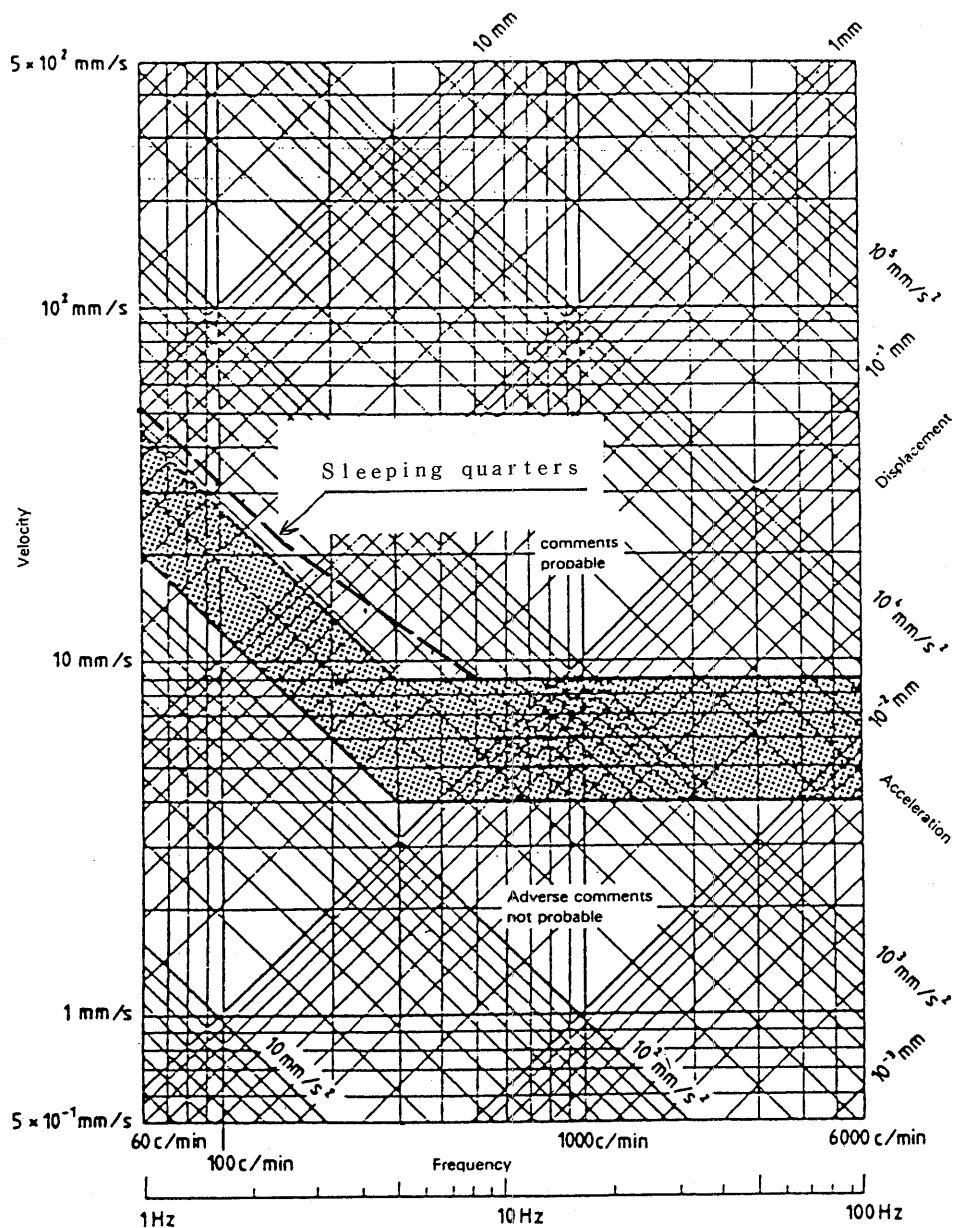


図-13 寝室に対する基準 (ISO 2631/4)



Curve	Frequency range	
	1 to 5 Hz	5 to 100 Hz
Upper	Peak acceleration ¹⁾ = 285 mm/s^2	Peak velocity ¹⁾ = 9 mm/s
Lower	Peak acceleration ¹⁾ = 126 mm/s^2	Peak velocity ¹⁾ = 4 mm/s

図-14 商船に対する振動評価のガイドライン (ISO 6954)

ISO6954“Guidelines for the overall evaluation of vibration in merchant ship”が1984年12月に発行された。

この基準がISO/TC108で合意されるまでの経過については、参考文献15)に詳しい。図14に基準を示す。この基準の特色は、振動評価に対しISO2631のように閾値を与えるのではなく、次に記述する3つの領域を与えていることである。

- (1) Adverse comment probable (上限線-苦情が出る可能性の強い領域)¹⁵⁾
- (2) 中間域 (普通容認される船上の振動環境)¹⁵⁾
- (3) Adverse comment not probable (下限線, 水平方向垂直方向の区別はない)

図-14の中間域の境界は、5Hzまでは加速度一定、5Hz以上では速度一定の上限及び下限線により示されている。この図では振動のピーク値を用い、ISO2631ではrms値を用いているので、図14(ピーク値を用いている)を図12、図13(rms値を用いている)と直接比較することはできない。

しかし、波形を正弦波と仮定してクレストファクター(crestfactor 波形のピーク値のrms値に対する比)を $\sqrt{2}$ とすれば、両者を比較できる。図14に示した破線が、図13(ISO2631/4: part 4, 船員に対する基準の寝室)の値である。480cpmより右では、図中の中間域上限線(振動速度9mm/sec)と一致する。図12(上記part 4の寝室以外に対するもの)の線は、図14中の破線より、480cpm以下では相当上方にあり、480cpmで中間域上限線と一致する(Z軸)か、120cpmまでは破線と一致し、それ以上では上限線に平行になる(X, Y軸)。

このように、商船の基準であるISO6954は、ISO2631/4: part 4の船員に対する基準とは矛盾しない。またこの基準の名称に用いられているguidelinesという言葉や、3つの領域を示しているという内容からもわかるように、運用の方法については広い解釈が可能であり、今後基準そのものを改善していかねばならないことを示しているといえよう。

なお、1984年の11月には、船の局部振動計測法の基準として、ISO4868“Code for the measurement and reporting of local vibration data of ship structures and equipment”が、同年12月には、船の振動計測法の基準ISO4867“Code for the measurement and reporting of shipboard vibration data”が発行された。

3.2 動揺(1Hz以下)について

振動(1~80Hz)に対する人体の反応は、嫌悪感、危

険感をともなう不快感症状の発生であるのに対し、動揺(1Hz以下)の場合は、不快感から酔いの発生-動揺病発生(MSI=Motion Sickness Incidence)に至るものである。⁶⁾このMSIの発生機構については多くの説があり、その一つは前にも記したが、現在一般的な説として確立されているのは、「感覚矛盾説」(sensory conflict theory)である。⁶⁾¹⁶⁾これは、複数の感覚器官-例えば視覚、耳石、三半規官による前庭感覚-の間に何らかの矛盾が発生すると、中枢神経系に異和感を抱かせMSIを誘起する⁶⁾とする説であり、実験的な裏付けの試みも行なわれている。¹⁷⁾

このように、MSIが複数感覚器官の間の矛盾から発生するためMSIに対する環境や慣れの影響は極めて強い。訓練船での訓練生による実験⁸⁾⁹⁾結果によると、航海日数の増加につれて、MSIの発生率(MSI indexによる)が急速に低下することや、約2時間でMSIが発生しなければそれ以降の発生はないとみられることは、慣れの影響を示すものといえよう。

日本国内では、船の動揺に対する基準や基準の提案はない。ISOのsubcommittee段階の提案としては、IOS/108/4 N55)“Evaluation of exposure to whole-body Z-axis, vertical vibration in the frequency range 0.1 to 1.0Hz” (1977年)がある。図-15に示すの

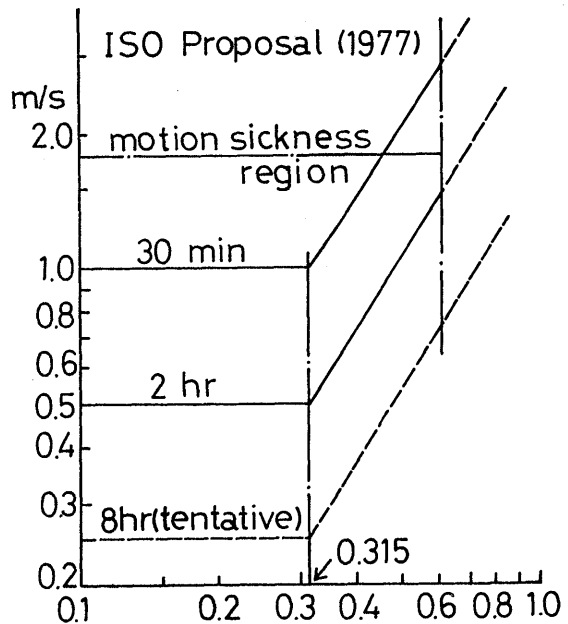


図-15 Z方向の非常に不快となる限界値 (severe discomfort boundaries) 0.1~1Hz (ISO/108/4 N55)

が提案されている内容である。この提案は、船旅に慣れない旅客に対するものと考えられる⁹⁾ものであり、船員に対しそのまゝ適用することには問題があろう。船舶の動揺を少くするための研究をも含め、今後の問題である。

3.3 3次元振動、複合振動について

これまで、ある方向の振動が単一に加わったとしてその周波数に対する基準値を求めた。しかし、実際の船上においては、多軸の振動—3次元振動—や、複数周波数の振動—複合振動—が同時に加わっている場合の方が普通である。

3次元振動の場合、方向による許容値の比の重みづけを考へて、合成有効レベル a を次式で与えることが、ISO/TC108/SC4 (1977年) で提案されている。¹⁵⁾

$$a = \sqrt{(1.4a_x)^2 + (1.4a_y)^2 + a_z^2} \quad (1)$$

$a_x, a_y = X$ 及び Y 方向に対する $0 \sim 2\text{Hz}$ 間の等価レベル

$a_z = Z$ 方向に対する $4 \sim 8\text{Hz}$ 間の等価レベル

この a の値を、 Z 方向に対し定められた振動許容値と比較することになる。

船舶の場合は、方向による重みづけを考慮しないで合成有効レベルを求めた方が、実際のクレーム傾向とよく合う²⁰⁾ともいわれている。

一方、複合振動の場合、複数正弦波、ランダム波に対する振動の評価法として、これまでに用いられているものに、 K 値法²⁹⁾、 W_z 値法³⁰⁾がある。

前者は、各周波数成分ごとの評価値 K_i を求め、全 K 値を後述する Wereldsma の方法と同様に $\sqrt{\sum K_i^2}$ により評価する方法である。これは、ドイツ技術家協会の規則 VDI にも採用され、ISO/TC108/WG7 の提案にも示されている。

ランダム振動の評価法である W_z 値法は、各周波数成分の評価値 W_{z1} 値とその出現頻度 P_1 を用いて

$$W_z = 10 \sqrt{W_{z1}^{10} \cdot P_1}$$

により求める。

しかし、 K 値法、 W_z 値法ともに、周波数バンド間隔や周波数成分が評価値に与える影響など検討されなければならない問題が残されている。

我が国では三輪らの報告³¹⁾がある。三輪等は、先ず単一の正弦振動による等感覚曲線を求め、次に、振動の大きさのレベル (VGL) と振動の大きさ (VG) の尺度を求めるために振動の分割判断と等区分判断の実験

を行ない、VGL と VG の関係式を求め、これらを用いて複数正弦振動に適用し、バンド間隔、振動レベルの影響、周波数成分の影響等について検討し荷重加算法による振動の評加式を得ている。

また、ランダム振動についても、 $1 \sim \frac{1}{3}$ オクターブバンドランダム振動での等感覚曲線、閾値を求める実験から、複数正弦振動の場合と同様に荷重加算法による評価式を得ている。

ノルウェーの R. Wereldsma の提案 (ISO/TC 108/SC2/WG2 22.4.1981 "A proposal for a criterion for multiple frequency vibration acceptability aboard ship" 1981年4月)

複合振動に対し、次のように評価する。まず振動を、十分狭帯域のトラッキング・フィルターを通すことにより、パワースペクトル密度 (PSD) の形を決める。これより周波数 $W_1, W_2 \dots W_n$ で、 S_1, S_2, \dots の rms 値を持つ振動が含まれていることがわかる。この S_n 値を、クレストファクターを用いて連続最大振幅値 (maximum repetitive amplitude) S_n に変換する。すると許容限界は次式となる。

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{M_i}\right)^2} \leq 1 \quad (2)$$

ここで

M_i は W_i のみ加わった場合の振動の許容値。

この考え方は、ランダム荷重による材料の疲労被害に対するマイナー則と全く同じである。Wereldsma が PSD を用いたことに対し、通常の船舶の振動解析では、スペクトル解析を用いることから、乗心地評価にもこれを用いるべきとの日本側の反論がある。この反論もマイナー則的考え方をしている点では、Wereldsma と同じである。

(2)式を、許容限界の決定だけでなく、振動感覚のレベルの決定にまで拡張した実例を図16、図17²¹⁾に示す。これは、座位 (図5参照) に対し、表1に示す条件で振動を加え、表2に示す5段階の評価を行ったデータをまとめたものであり、次のようにして求める。複数周波数については、個人別の感覚曲線から、次式により合成感覚 E_c を計算し、実験で示された感覚 E_{EXP} と比較する。

$$E_c = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2} \quad (3)$$

E_n = 周波数 W_n の成分が単一に加わった時の感覚レベル

垂直振動の場合 (図16) E_c と E_{EXP} はよく一致しており、(3)式により感覚レベルの評価が可能であることを

表-1 実験条件²¹⁾

	Single Frequency	Multiple Frequency
z - Direction	3.5 (Hz)	3.5 + 30 (Hz) (1 : 10)
	6	6 + 10 (1 : 1)
	10	20 + 30 (1 : 1)
	20	20 + 30 (1 : 1)
	30	20 + 30 (1 : 1)
	50	20 + 30 (1 : 1)
x - Direction	2	2 + 4 (1 : 1)
	4	2 + 20 (1 : 10)
	8	20 + 40 (1 : 1)
	20	20 + 40 (1 : 1)
	40	20 + 40 (1 : 1)

表-2 振動感覚の評価基準

1	特に気にならない
2	多少気になる
3	かなり気になる
4	不快感があるが耐えられる
5	著しく不快

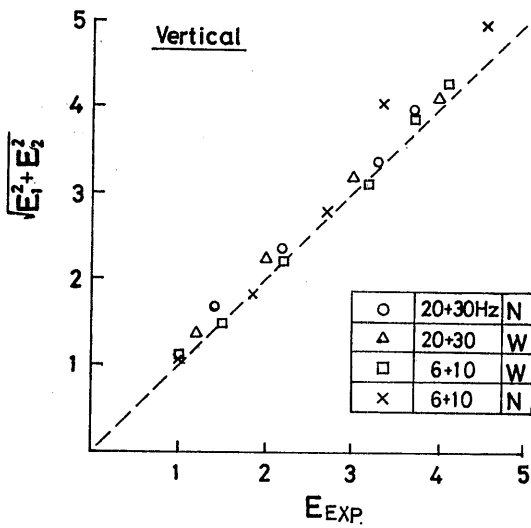


図-16 振動感覚の計算値と実験値の比較(Z方向)

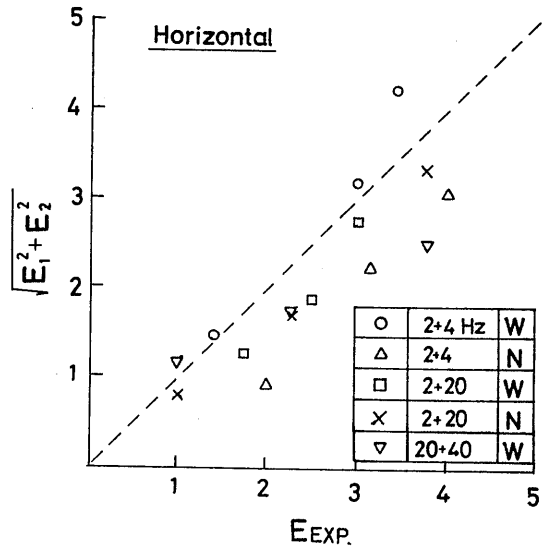


図-17 振動感覚の計算値と実験値の比較(X方向)

示している。しかし水平振動（図17）の場合は、垂直振動の場合に較べるとデータにバラツキがある。これ

は、椅子の固着（被験者は、この椅子に座った）に問題があったためと考えられる。²¹⁾

4. むすび

船の振動や動揺に対する乗心地という、極めて個人差があり、環境諸条件に作用され易いものに対する許容基準も、振動感覚の機構が明らかになるにつれて合理的な根拠が与えられ国際基準として確立されてきた。しかし、3次元振動、複合振動に対する評価法、騒音等の他条件との相関、測定法自体や解析法等今後研究していくべき問題も沢山残されているといえよう。

振動の許容基準に関連した事項で、ここで直接取り上げなかった問題として次のものがある。①船上作業や生産への影響の問題²⁾²²⁾²³⁾②船から発することにより他への影響を与える問題¹⁾²⁴⁾²⁵⁾③防振方法²⁶⁾²⁷⁾である。①は、主として漁船の問題である。船体に比して大馬力の機関を搭載した漁船では、漁群探知機に対して振動が悪影響を及ぼすばかりでなく、双眼鏡による視認限度に対しても影響を及ぼすものである。②はACVによる騒音²³⁾や港に停泊中に船舶のボイラーから発する低周波騒音による住民への被害等の問題¹⁾である。③は、許容基準との関係で解決されねばならない問題である。水中通信の立場からの振動、騒音の許容基準をクリヤーする必要がある船舶においては、この問題の解決のため種々の工夫が行なわれている。²⁸⁾

参考文献

- 1) 尾鷲市公害対策課：船舶による異常振動発生報告書，(1982-2)
- 2) 横強度小委員会船体振動対策ワーキンググループ：船体振動対策に関するアンケート調査報告，日本造船学会誌，628号(1981-10) P22-33
- 3) 後藤大三：人体に対する振動許容基準，石川島播磨技報，16巻4号，(1976-7) P473-484
- 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)，関西造船学会誌，第104号(1961-12) P8-30，第105号，(1962-3) P29-40
- 5) 幸尾治朗：乗り物酔いと人間，自動車技術，vol. 36, No. 5, (1982) P481-490
- 6) R. A. McFarland：Human factors in air transportation, McGraw-Hill, (1953), P673-725
- 7) 青木一郎，小林正雄：騒音・振動の複合による感覚反応について，東京都公害研究報，(1981) P177-185
- 8) ISO2631 Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, (1977-8)
- 9) 後藤大三：人体応答よりみた振動限界，日本造船学会誌，583号，(1978-1) P10-21
- 10) ISO4867 Code for the measurement and reporting of shipboard vibration data, (1984-12)
- 11) 海上労研：騒音・振動の許容基準に関する調査研究，(1974-3)
- 12) 日本造船協会船体構造委員会船体振動許容限界小委員会：船体振動許容限界の提案，造船協会誌，362号，(1959-11) P1-15
- 13) 石本，大塚：Determination de la Limite Perceptible des Secousses, 東京大学地震研究所，vol. XI (1933)
- 14) C. T. Morgan et al：Human engineering guide equipment design, McGraw Hill, (1963) P458-475
- 15) 後藤大三，藤井克哉：ISO/TC108における船体振動評価基準，日本造船学会誌，619号(1981-1) P37-43
- 16) J. T. Reason and J. J. Brand：Motion sickness, Academic Press, (1975)
- 17) 幸尾治朗：航空機の乗心地に関する研究，航空宇宙研究所報告，TR-645, (1980-12)
- 18) Kanda H., Goto D. and Tanabe Y.：Ultralow frequency ship vibration and motion sickness incidence, Ind. Health, vo. 15 No. 1-2, (1977)
- 19) Goto D. and Kanda H.：Motion sickness incidence in the actual environment, Hope Intn. JSME Symp., (1977-11) P367-374
- 20) 日本造船研究協会：船体振動と振動感覚に関する実船調査，第112研究部会第4小委員会，(1974-8)
- 21) 宮本武，在田正義：乗り心地に関する一実験，船舶技術研究所発表会講演集，(1985-5)
- 22) 神田寛，村山義夫：全身振動の双眼鏡視力に及ぼす影響，日本航海学会論文集，61号，(1979-5) P101-106
- 23) 木原洸：船舶の騒音・振動と乗心地，騒音制御，vol. 7, No. 5, (1983) P267-272
- 24) 西脇仁一：低周波騒音，JSCC, vol. 19, No. 204 (1983-7) P69-75
- 25) 環境庁大気保全局：低周波空気振動調査報告書—低周波空気振動の実態と影響—(1984-12)
- 26) 小黑英男：ディーゼル発電機の防振による防音効果，日本造船学会誌，531号，(1972-9) P1-5
- 27) E. Brubakk：Optimising Shipboard noise reduc-

- tion measure, The Motor ship, (1980-3)
- 28) 海洋科学技術センター発行の「潜水調査船“しんかい2000”システム」パンフレットのうち支援母船「なつしま」についての記述, (1981)
- 29) VDI-Fachgruppe Schwingungstechnik : VDI Richtlinien VDI2057. 2, (1961)
- 30) Herberg, W. und Sperling, E. : Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 96. Jahrg, 12, (1947) P177
- 31) 三輪俊輔, 米川善晴 : 複合正弦振動とランダム振動の評価法(振動の評価法2) ; 日本音響学会誌27巻1号, (1971)