

広振動数範囲を対象とした水平振動感覚とその表現に関する研究

野田 千津子

Sensory assessment and verbal expression of horizontal vibration over a wide frequency range

Chizuko NODA

1. はじめに

居住性評価の規範として水平振動に対する感覚に着目した既往研究のほとんどは、風や地震などで高層・超高層住宅に生じる長周期水平振動を想定したもの¹⁾であった。この範囲の振動を対象とした学会指針²⁾も、これらの既往研究の成果をふまえたものである。しかし近年では3階建ての戸建て住宅が増えるにつれ、これらの低層建物で交通や工事などによって生じる高振動数の水平振動が居住性に支障をきたす事例も発生しており³⁾、このような高振動数範囲を対象とした研究も中田ら⁴⁾などにいくつかみられる。音響学会にはこれらの振動数範囲を包含した三輪ら⁵⁾の研究などがあるが、建物の居住性を観点とした既往研究では対象振動数範囲が限定されており、高層から低層建物までを想定した広い振動数範囲を対象に統括した条件で実験を行ったものはない。これらの既往研究の結果を比較した⁶⁾ところ実験時の総合的な環境条件や振動の入力方法、アンケート方法など、周辺的な条件の違いによって水平振動の知覚に大きな違いが生じることがわかっている。そのため、異なる振動数範囲を対象に数多く蓄積された既往の成果を、同じ位置づけで比較することが難しい。そこで、広振動数範囲を対象とした水平振動感覚を知るためには、1つの統一した実験条件で行った結果の提示が求められる。

本研究ではこのような実状をふまえ、実験範囲を0.1~40Hzまでとした。0.1~1Hz程度までの超高層住宅における長周期の振動、3Hz前後を中心とした低層住宅の交通振動、さらに高振動数の振

動が予想される機械設備などによる振動を想定している。ここではこれまでの研究の流れをふまえ、これらの振動について水平振動の観点からとらえるものとし、広振動数範囲の水平振動に対する感覚を検討する。

一方、先の学会指針²⁾をはじめとして、建物の振動に対する居住性に関しては、振動を感じないことを前提とした評価が従来の主流となっており、知覚閾の把握に関してはこれまでも多くの蓄積がある。しかし高層化、多様化が進む将来の居住環境では、振動を感じないレベル、すなわち知覚閾以下におさえることが一層難しくなることは否めない。そこで今後は知覚閾以下に振動をおさえるだけでなく、ときに知覚閾を越えるレベルとなる振動を居住者の感覚にそった許容範囲におさえる評価を考える必要がある。そのためには、知覚しうる振動に対して生じる感覚の詳細な把握が重要になる。そこで本論文では、振動の大きさ、振動に対する不快感や不安感などの心理的な判断を含む評価尺度と水平振動感覚の言葉による表現に着目し、従来の評価の規範である知覚との対応関係を明らかにする。それに基づいて各評価尺度の特性を明らかにし、相互に位置づけることが目的である。

2. 実験の概要

実験では振動台上に鋼材製の居室を設置した。図1に示すようにこの居室にはサッシ窓があるが、今回の実験では鋼材製のふたをして外部と遮断し、視覚的な影響がないように配慮した。このなかで

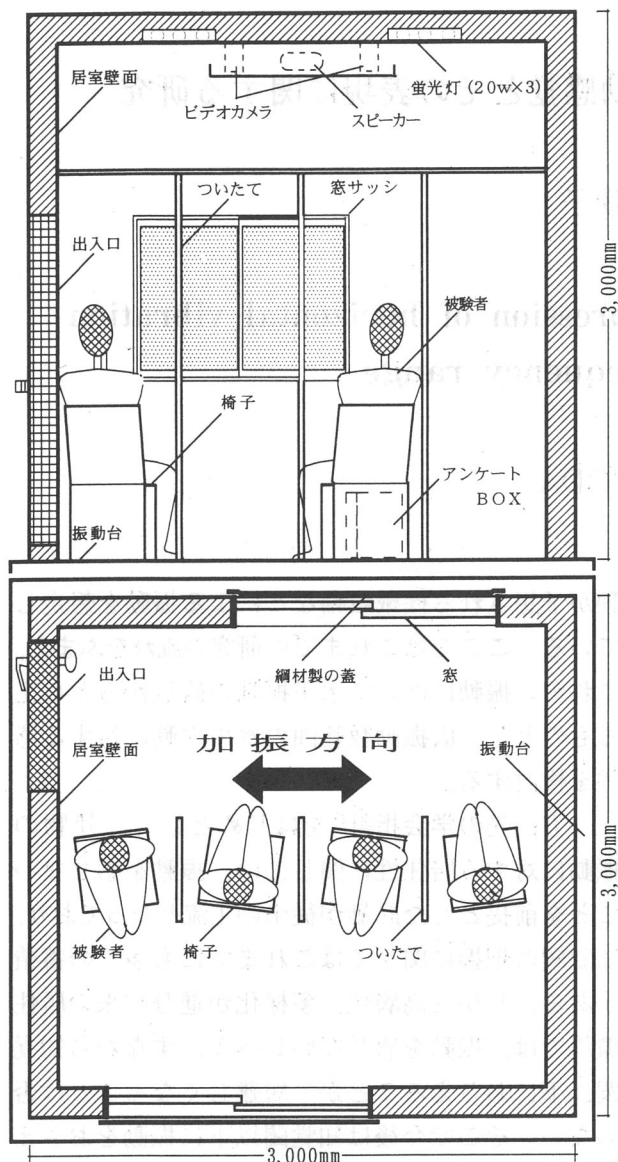


図1 実験の状況

椅子に腰掛けた43名の被験者(女性, 18~24歳)に対して, 左右の水平方向に定常的な正弦振動を与えた。

入力振動は振動数0.1~40Hz, 加速度最大値1.6~400gal, 変位最大値0.000025~10cm(以降, 単に加速度, 変位とする)の範囲で49種類の振動を設定した。これに無入力を加えた合計50種類の振動を被験者に与えた。

図2はアンケート用紙のなかの本論文でとりあげた部分である。設定した評価尺度を表1に示す。この用紙を用いて, 0.63Hz, 25gal, 1.6cmの振動を基準とした各振動との一対比較のアンケートを行った。被験者は基準とする振動を30秒間感じた後, アンケート用紙の所定の質問に回答する。さ

水実ANo. -

Q1	先の振動	まったく不快でない ← 不快である → 非常に不快である					
Q2	大きさ度合 () / 100						
Q3		まったく不安を感じない	あまり不安を感じない	不安を感じる	かなり不安を感じる	非常に不安を感じる	
Q4	後	まったく感じない	あまり感じない	感じる	強く感じる	耐えられない	
Q5	振動	非常に重い	かなり重い	やや重い	どちらでもない	やや軽い	非常に軽い
		強い					弱い
		かたい					やわらかい
		安心な					不安な
		鋭い					鈍い
		嫌い					好き
		落ち着いた					あわただしい
		不快な					快い
		うるさい					静かな
		細かい					荒い
よい					悪い		
おとなしい					はげしい		
小さい					大きい		
遅い					速い		

図2 アンケート用紙

表1 設定した評価尺度

名称	評価手法	評価方法・意味づけ
不快度合	数値尺度法 絶対評価	基準の振動と比較して各振動に対する不快感を5段階の数直線で回答。主観的判断を含む振動の評価として設定。
大きさ度合	「グニャード」推定法 絶対評価	基準の振動の大きさを100として各振動の大きさを比較して数値で回答。振動の物理的性質の評価として設定。
不安感	カテゴリー尺度法 絶対評価	各振動に対する不安感にあてはまる表現を5つから選択。日常環境での評価に近い表現として設定。
限界評価	カテゴリー尺度法 絶対評価	各振動を感じた程度にあてはまる表現を5つから選択。知覚限界から許容限界を含む感覚限界の表現として設定。
形容詞による表現	SD法 絶対評価	各振動を感じた「イメージ」を形容詞対による7段階の数直線で回答。自然な言葉による表現に近い評価として設定。

らに, 約10秒間振動を停止した後, 入力範囲のある1種類の振動を感じながら, 実験者の指示に従って残りの質問に順次回答する。この手続きを全50種類の振動に対して繰り返して行い, 1単位の実験を終了した。比較対象となる各振動の入力順序はランダムに設定した。

CCDカメラと内部マイクを用いて居室内部の被験者の状況を外部から常にモニタリングしながら, 比較対象の各振動の入力時間を180秒程度で調整した。その他の指示などもすべてマイクを通じて外から行っており, 実験中に実験者が居室内に入ることはない。

3. 水平振動感覚を表す4つの評価尺度の特性

図2のアンケート用紙に示したうち, 心理学的測定法⁷⁾を用いた4つの評価尺度と物理成分とのかかわりに着目し, 各評価尺度の特性について分析する。

広振動数範囲を対象とした水平振動感覚とその表現に関する研究

3.1 感覚限界の評価

図3は各振動に対するそれぞれの表現の回答率を直線補間して求めた、限界評価の回答率曲線である。図中の実線は「まったく感じない」、点線は「強く感じる」と「耐えられない」と回答した人の回答率を示す。この実験範囲では「耐えられない」と回答した人が少なかった。実験では振動の発生を予知している上、最終的には安全であることの安心感などもあり、実環境とは評価に違いがあることが予測できる。そのためここでは「耐えられない」と「強く感じる」の回答を統合して扱うこととした。

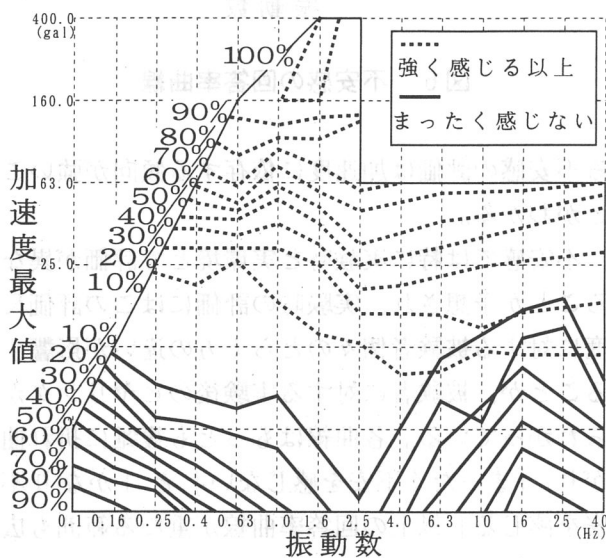


図3 限界評価の回答率曲線

「まったく感じない」の回答率曲線は本実験における知覚曲線として評価できる。各曲線は2.5 Hz付近を境に傾きが逆となり、下に凸となることが特徴的である。文献⁴⁾でも同じような位置に傾きが逆になる点があり、水平振動の知覚は振動数範囲によって特性が異なることがわかる。全体として加速度が大きいほど回答率は低い、「まったく感じない」にあてはまる振動の範囲が狭く曲線の間隔がほぼ均一であり、知覚は物理量の変動に対して鋭敏な反応であると推察できる。この傾向は特に低振動数範囲で顕著である。

一方「強く感じる」以上の曲線は全体的に加速度に沿う傾向が強い。加速度が大きいほど回答率が高く、振動を感じる強さ、振動に対する許容限界の表現は加速度に依存する。「まったく感じない」と同様に、低振動数範囲の方が物理量の変動

に対して感覚的に鋭敏な反応を示す。一方高振動数範囲では低い回答率の曲線が加速度が低い範囲に広がり、「まったく感じない」の回答率曲線と重なる範囲もある。高振動数の振動に対する被験者のとらえ方にはばらつきが大きく、個人差が生じやすいことがわかる。

3.2 大きさ度合の評価

図4では、各振動の大きさ度合の平均値を直線補間した等評価曲線を常用対数で等間隔に表現した。各曲線は限界評価と同様、2.5 Hz付近を境に傾きが逆になる。25 gal程度までは曲線はほぼ等間隔である一方、それ以上の加速度では曲線の間隔が徐々に広がることが特徴的である。振動の大きさの評価では、物理量の変動に対する増加率が加速度の大きさによって変化する。

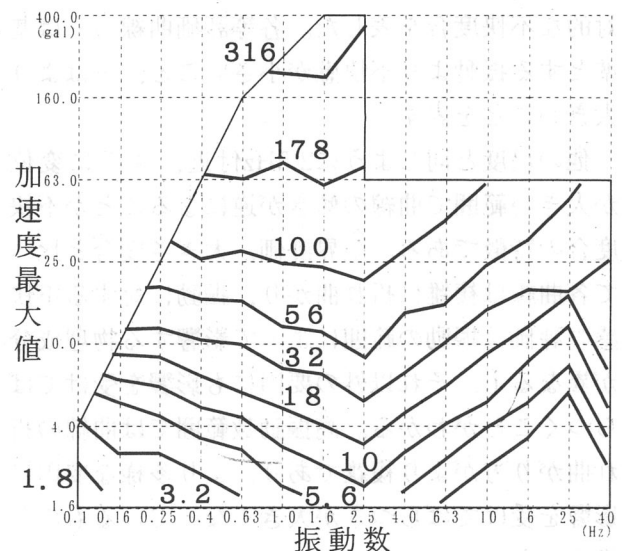


図4 大きさ度合の等評価曲線

低振動数範囲では加速度が小さいほど曲線が右下がりとなり、加速度が小さい振動の大きさの評価は振動の知覚と関係することが推察できる。一方振動を明らかに感じる10 gal以上の範囲では、曲線は加速度に沿う傾向が強くなり、大きさの評価は加速度に依存する。また2.5 Hz以上では約45°に右上がりの曲線がほぼ等間隔にあり、高振動数範囲の大きさの評価は速度とのかかわりが強い。

3.3 不快感の評価

不快度合では「まったく不快でない」を1、「非常に不快である」を5、両者の間の各段階を2, 3, 4として評価した。図5では、各振動と基準とする振動に対する不快度合の差をとった相

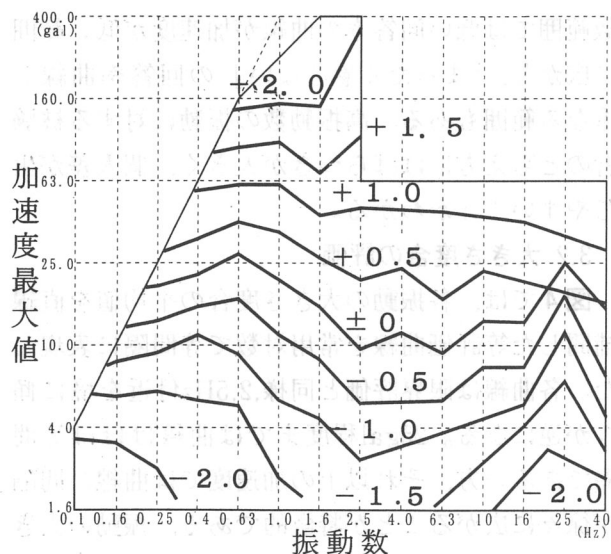


図5 不快感合の等評価曲線

対的な不快感合を表した。各等評価曲線の一は基準とする振動より不快感が小さいこと、+はより大きいことを表す。

他の尺度と同じように2.5Hz付近、さらに変位が大きい範囲で曲線の傾きが逆になることが不快感合の特徴である。限界評価、大きさ度合と比べて各曲線は複雑に折れ曲がり、振動に対する不快感の評価は振動の範囲によって影響する物理成分が異なる上、それ以外の要因にも影響を受けてばらつくことがわかる。高振動数範囲では曲線の折れ曲がり方がより複雑であり、より多様な要因に影響を受けてばらつきが大きくなっているものと推察できる。

3.4 不安感の評価

図6は不安感の回答率曲線である。実線は「まったく不安を感じない」、点線は「かなり不安を感じる」と「非常に強く不安を感じる」と回答した人の回答率曲線を示す。

回答率曲線の範囲が広いことからわかるように、「まったく不安を感じない」の回答は全振動に対してみられ、振動を感じることも不快感が不安感と直接的な関係にあるわけではない。他の評価尺度と同じように2.5Hz付近を境に曲線の傾きが逆になり、全体的には加速度が大きくなるほど回答率は低くなる。

一方「かなり不安を感じる」以上の曲線は、全体的には加速度軸に沿う傾向が強い。「強く感じる」以上の曲線と同様に、高加速度範囲の振動に対す

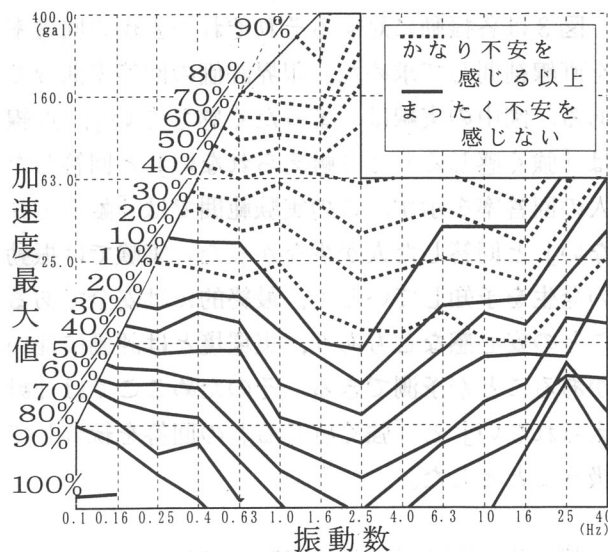


図6 不安感の回答率曲線

る不安感の評価は加速度に依存する傾向が強いことがわかる。

不安感では特に実験時と実環境とで評価が異なることが予想され、実験時の評価にはこの評価尺度に対する被験者個々のとらえ方の違いが影響することが、被験者に対する実験後のヒヤリングからわかっている。各曲線はもっとも複雑に折れ曲がり、「まったく不安を感じない」と「かなり不安を感じる」以上の回答率曲線が重なる範囲も広い。振動に対する不安感の評価は振動の物理的変動に対する反応だけでなく、主観的な心理判断が含まれる程度が強いために被験者による個人差やばらつきが大きいのと推察できる。

4. 水平振動感覚の形容詞による表現の特性

これら4つの評価尺度は、実験者が設定したとらえ方に基づいて評価される。そこで被験者のより自由な表現を知るためにSD法に基づく評価を試みた。図2に示す形容詞対は、これまでの結果⁸⁾を鑑みて水平振動感覚とかかわりが強い言葉を中心に選択し、SD法の基本尺度⁹⁾と呼ばれるものを含めた。

4.1 各形容詞対の特性

各被験者がそれぞれの振動に対して14組の形容詞対に与えた評点を1サンプルとし、この結果に対して主成分分析を行った。固有値1.0以上の主成分を採用した結果、表2に示す固有値、寄与率をもつ第3主成分までを抽出した。各主成分を縦

表2 主成分の固有値および寄与率

	固有値	寄与率(%)	累積寄与率(%)
第1主成分	8.08	7.7	57.7
第2主成分	2.05	4.6	72.3
第3主成分	1.04	7.4	79.7

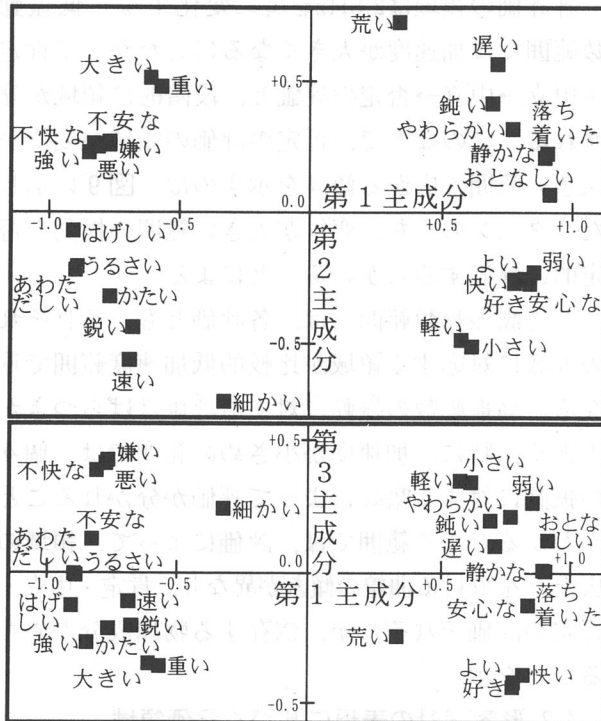


図7 各主成分に対する形容詞対の負荷量

横の軸にとり、これらの主成分に対する各形容詞対の負荷量を示したものが図7である。

第1主成分に対しては一側には否定的な、+側には肯定的な意味あいの形容詞が集まる。負荷量が高い形容詞対ほど振動を否定的、肯定的に表現する意味あいが高く、振動が感覚に働きかける強さを表す主成分と考えられる。これはSD法による既往研究で一般的に抽出される力量性に対応するものであろう。一方第2主成分は「荒い／細かい」の負荷量が高くなり、負荷量が高い形容詞ほど振動そのものの性質を表現する傾向が強い。これは一般的な活動性に対応するものと考えられる。

さらに第3主成分は約45°の角度で2つの軸が直交した性質をもつ。1つは「好き／嫌い」など振動に対する好悪の評価を表す評価性、もう1つは変位の大きさと対応した「小さい／大きい」などの形容詞対である。既往の結果でも、「小さい／大きい」は表現する対象によって特徴的な変動を示すことが指摘されており⁹⁾、水平振動感覚の

表現でも他の形容詞対と異なる特徴的な変動を示す。

この結果はこれまでに行った実験⁹⁾とも等しく、水平振動感覚を表現する言葉の特性として確度が高い結果であると考えられる。

4.2 形容詞対の表現と物理成分との関係

このような3つの特性をもつ形容詞対と物理成分との関係を知るためにそれぞれの表現に対応する水平振動の領域化を試みた。解析にはspssのクラスター分析を用い、説明変数を各サンプルの第1～第3主成分得点として全2150サンプルをクラスター化した。クラスター間の距離はユークリッド距離、融合後の距離の計算方法は最近重心ソート法とした。図8に示すように、主成分得点の分

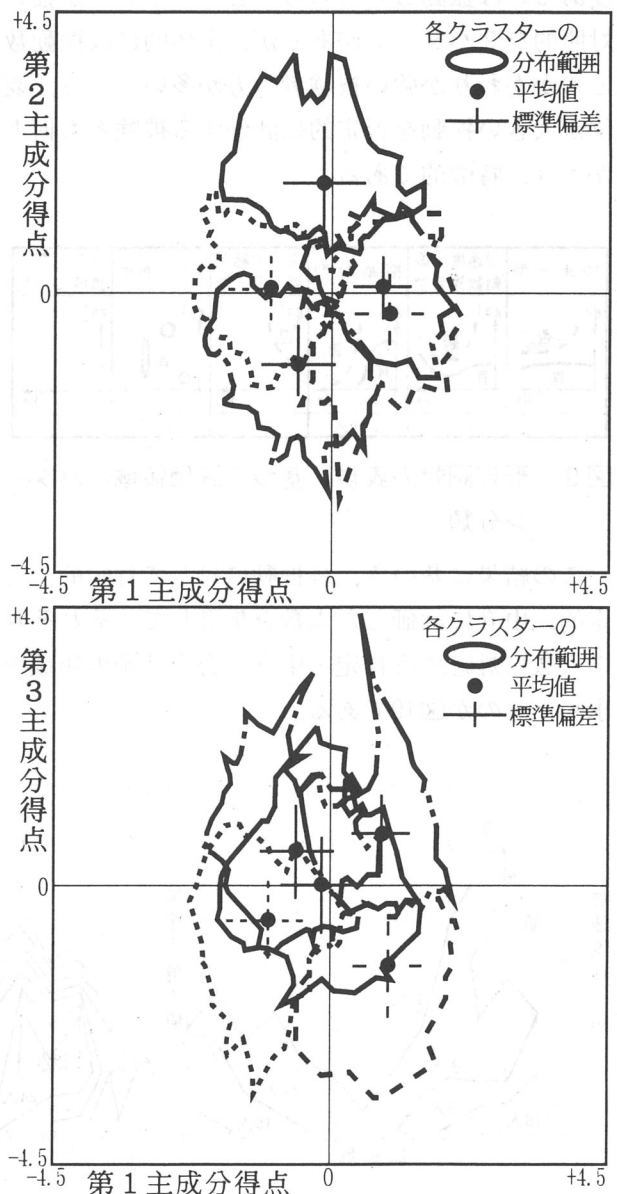


図8 クラスターの主成分得点の分布

布範囲は明確に分けられ、各クラスターはそれぞれ感覚の表現に基づいた特徴的な性質をもつことがわかる。

ここではこのクラスターの性質のなかで、第3主成分得点に対応して変動する評価性に着目する。各被験者の表現に基づいた評価曲線を設定するために、以下のような手順で解析を行った。まず各クラスターに含まれるサンプルを被験者ごとに集計し、個々の被験者における表現に対応した振動の領域を知る。これらのクラスターに含まれるサンプルの主成分得点の分布から、個々の被験者が肯定的、否定的、中立すなわちどちらでもない状態として評価する水平振動の領域を分化した。これらの領域の分かれ方は、被験者によって異なり、図9に示すパターンに分けることができる。加速度あるいは振動数のどちらかとのかわり強い対照的な2パターンがあるが、全体的には振動数とのかわり強い被験者の方が多い。一方、変位が大きい振動を否定的に評価する被験者も何人かおり、特徴的である。

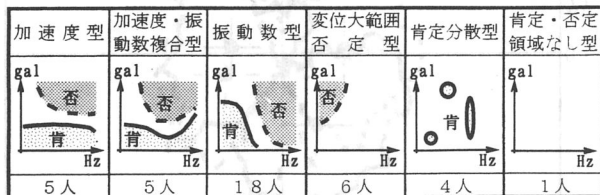


図9 形容詞対の表現に基づく評価領域のパターン分類

この結果に基づき、各振動に対して肯定的、否定的、中立に評価した人数を集計して、それぞれ的人数に対応する肯定・中立・否定評価の領域を求めたものが図10である。

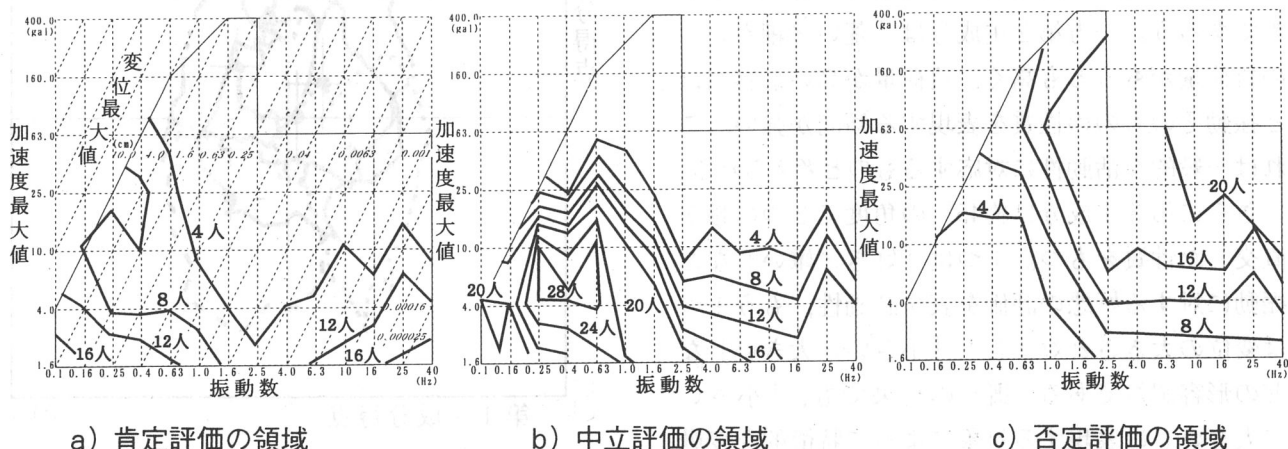


図10 SD法の形容詞対の評価性に基づく領域分け

肯定的に評価される領域では人数がさほど多くないが、これは感じない振動を肯定的にとらえるか、中立にとらえるかが人によって異なることによる。そのため加速度が小さい範囲の振動を中立に評価する人数も多く、肯定評価の領域と中立評価の領域が重なる。

各評価の領域は2.5Hzを境に変化する。低振動数範囲では加速度が大きくなるにしたがって肯定+中立→中立→否定の評価と、段階的に領域が分かれる。このなかで、否定の評価の領域が変位が大きい範囲で広がる傾向を示すのは、図9に示したパターンのうち、変位が大きい範囲の振動を否定的に評価する人がいることによる。

一方高振動数範囲では、各評価とも、それぞれ的人数に対応する領域が比較的低加速度範囲で重なる。高振動数の振動に対する評価はばらつきが大きく、特に、加速度が小さめの範囲では、個々の振動に対する嗜好によって評価が分かれることがわかる。この範囲では、評価によって、領域の広がり分ける曲線の傾きが異なり、肯定・中立・否定の評価それぞれが、依存する物理成分が異なることを示す。

4.2 形容詞対の表現に基づく評価領域

このような性質をもつ水平振動感覚の表現から、好悪の評価に基づいた領域分けをすることができる。

図11は全被験者数の約1/3である12人以上の各評価の領域を重ねあわせた、形容詞による表現の評価領域である。

低振動数範囲の評価領域は、肯定+中立→中立→否定と、加速度の増加にともない、段階的に変化している。このなかで変位が大きい範囲にどの

広振動数範囲を対象とした水平振動感覚とその表現に関する研究

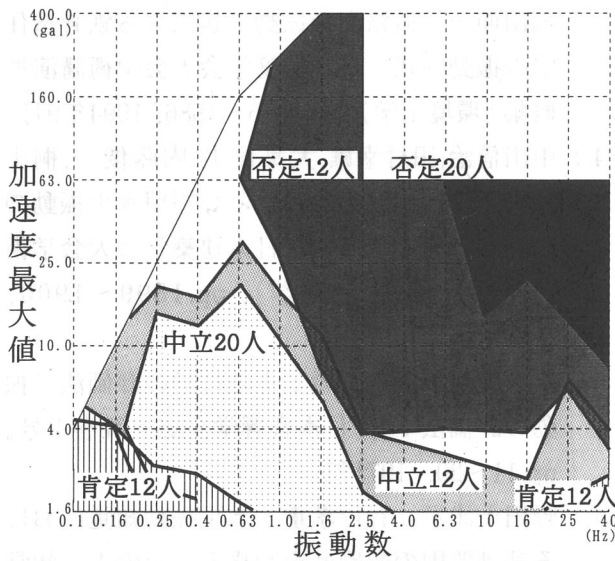


図11 形容詞による表現の評価領域

評価にもあてはまらない領域があるが、これは変位が大きい範囲を否定的に評価する人が数名いる以外、この範囲の振動に対する評価がばらつくことによる。

一方高振動数範囲では、否定的に評価される領域が加速度がかなり小さい範囲まで広がることが特徴的である。形容詞による表現では、他の評価尺度にはみられない振動数に対応した振動の性質を表現する活動性が存在する。高振動数範囲の振動に対してはこの活動性による振動数が高いという表現が卓越し、ほとんどの振動が否定的に評価される1つのクラスターとして領域化されるためである。

5. 水平振動感覚と各評価尺度の特性

上述の考察をふまえると、本論文でとりあげた5つの評価尺度の特性は表3のように纏められる。

表3 評価尺度の特性

評価の特性	形容詞による表現	対応する評価尺度と特徴
主観的	不安感	振動数を表現する独自の特性をもち、高振動数ではこの性質が卓越する。主観的な判断も強く、周辺的な要因の影響を強く受け、ばらつきが大きい。
物理的	不快度合	比較的低加速度から加速度に強く影響を受ける。変位にも影響を受ける。
	限界評価	低加速度では知覚を表現する。それ以上では程度の主観的判断を含む。
	大きさ度合	小さい範囲で知覚、高加速度で加速度高振動数範囲では速度と強い関係。

振動数が高い範囲ほど形容詞による表現の評価が卓越して大きい。それ以外の評価では、高振動数範囲では不快度合が大きい振動が多い。高振動数の振動は物理的な変位も小さく、振動の物理的

な性質の評価は小さい。一方、好悪の評価や不快感など主観的な判断を含む程度が強い評価はより厳しくなる。

振動数がより低い振動に対しては、63gal程度までの範囲では主観的な判断よりも振動の物理的な性質の評価が厳しい傾向にある。一方63galを越える範囲では不快感もかなり大きい。限界評価は小さく許容限界はより厳しい評価であることがわかる。

また不安感は63gal以下のほとんどの範囲でもっとも小さい。不安感は主観的な判断を強く含み、ばらつきが大きいことも含め、より鈍い評価であることがわかる。すなわち日常環境で居住者が振動による不安を訴えた場合かなりの大きさの振動が発生しており、感覚的な評価も厳しいレベルにあることがわかる。既往のアンケート調査による揺れに関する居住者の満足度合の意識構造¹⁰⁾から、不安は揺れに関する不満につながるものが予測できる。

一方揺れを小さいと感じたり、ほとんど感じない場合は不満につながることは少ない¹⁰⁾。知覚関と関係する加速度が小さい範囲では、感じる程度の判断や大きさの評価など物理的な評価が若干高く、他の主観的な判断の強い評価はそれ以下となっており、揺れに関する不満も小さいと考えられる。

既往のアンケート調査¹⁰⁾にみるように揺れに関する不満を構成する要因は居住者によってさまざまであり、知識や経験など周辺的な要因の影響も大きい。一方で不安や不快を感じるだけでなく、強い揺れや大きい揺れなど揺れの物理的な性質の評価が厳しい場合にも不満を生む要因となることがあるため、実環境における評価につなげる上でも水平振動感覚に対するさまざまな評価の特性を明らかにすることが求められる。

6. おわりに

本論文では低層から高層建物までを想定した広い振動数範囲の水平振動を対象に、居住性評価の規範となる感覚に着目した。知覚をはじめとする評価尺度と形容詞対による感覚の表現を相互に比較することで、それぞれの特性を明らかにした。本論文により得られた知見を以下に纏める。

1.4 gal程度以下の範囲では、水平振動感覚は知覚と対応して評価される。それ以上の加速度範

囲では評価尺度ごとに異なる物理成分に依存して評価される。各評価尺度は主観的な判断が強く含まれるものと、振動の物理的な性質を評価する傾向が強いものに分けられる。振動の知覚や感じた大きさなど振動の物理的な性質を評価する程度が強いほど曲線の傾向は安定し、単一の物理成分との明確な対応関係がある。一方不快感や不安感などの主観的な評価には加速度が大きく影響するが、複数の物理成分との関係から評価されたり、物理成分以外の要因からも影響を受けやすいため、ばらつきが大きい傾向にある。また形容詞による表現は振動数に対応した振動の性質を表現する独自の特性をもち、特に高振動数の振動が振動数によって評価される特徴がある。

2. 水平振動感覚の評価尺度は共通して2.5Hz付近で曲線の傾きが逆になり、この振動数を境に低振動数と高振動数で評価特性が異なることがわかった。低振動数範囲では評価値は振動の物理量の変動に対して安定した段階的な変動を示し、被験者によるばらつきも少ない。一方高振動数範囲では振動数が高いという形容詞の表現が卓越する。それ以外は個々の被験者によるばらつきが大きいことが特徴的であり、各評価尺度が依存する物理成分も加速度、速度、変位とさまざまであり複雑な特性を示す。

本研究を進めるにあたって、終始適切にご指導戴いた日本女子大学住居学科教授石川孝重先生に深謝する。本実験の実施、データ解析に際しては、当時日本女子大学石川研究室卒論生齊藤亜樹子（現北陸ミサワホーム）、秋山泉（現東京都庁）の両氏にご協力戴いた。感謝の意を表する。また実験にご参加戴いた多くの方々に深謝する次第である。

引用文献

- 1) 後藤剛史：居住性に観点を置いた高層建築物に生じる振動の評価に関する研究（その1）振動に対する人間の各種反応，日本建築学会論文報告集，第237号，昭和50年11月，pp.109～119.
- 2) 日本建築学会：建築物における振動に対する居住性能評価指針，第1版，1990年4月。

- 3) 大築民夫，田村幸雄，中田信治，内藤俊一，桐山伸一：道路交通振動に起因する鉄骨造住宅の振動性状，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学），pp.1885～1886，1994年9月。
- 4) 中田信治，田村幸雄，大築民夫，内藤俊一，桐山伸一：中低層建物における短周期水平振動の知覚閾に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学），pp.1899～1900，1994年9月。
- 5) 三輪俊輔，米川善晴：正弦振動の評価法（振動の評価法1），日本音響学会誌，27巻1号，pp.11～20，1971年。
- 6) 野田千津子，石川孝重：水平振動知覚における評価要因の影響とその程度—その1 知覚閾に関する既往研究レビュー—；—その2 知覚限界を対象とした比較と総括—，日本建築学会関東支部研究報告集（構造），pp.5～12，1995年度。
- 7) 田中良久：心理学的測定法 第2版，東京大学出版会，初版，1985年5月10日。
- 8) 石川孝重，野田千津子，隈澤文俊，岡田恒男：水平振動感覚を表現する形容詞・用語がもつ意味，日本建築学会計画系論文報告集，第455号，pp.9～16，1994年1月。
- 9) 大山正，池田央，武藤真介：心理測定・統計法，有斐閣，初版，昭和46年9月30日。
- 10) 一力ゆう，石川孝重，野田千津子：高層住宅の居住性をふまえた揺れ感覚に関する調査研究—その2 揺れに関する満足度合の意識構造—，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学），pp.97～98，1993年9月。

（受理年月日 1998年9月29日）