

視覚刺激を考慮した水平振動感覚に関する研究 (Ⅲ)

— 刺激条件の違いが感覚的反応に及ぼす影響について —

野田千津子

Sense of horizontal vibration in consideration of visual stimulus (Ⅲ)

— Influence of stimulus condition on sensory response —

Chizuko Noda

§ 1 はじめに

居住環境において、住宅の量的な供給が充足された昨今では、その質的な向上を求める声が、居住者、設計者の双方から上がっている。その実現を目的とした設計法が、近年気運が高まっている使用限界状態設計法である。筆者らは、この設計における規範として、居住者の感覚を反映した使用限界を設定するべく、研究を進めている。居住環境の使用性・居住性は、さまざまな側面から充足されるものであるが、構造躯体の設計に直接取り込む必要がある要素として、風や地震、交通などの外力により発生する振動があげられよう。筆者らはこのような視点にたち、既報^{1) 2)}に引続き、近年高層化が進む居住環境において使用性・居住性向上のために検討すべき、水平振動に着目する。

従来、我が国では体感で振動を感じないことを前提とした評価が主流を占めており、ほとんどの既往研究も、視覚的に外部と遮断した状態で実験を行っている³⁾。日本建築学会による振動に関する居住性能評価指針⁴⁾も、これらの既往研究の成果を吟味して設定されたものであり、体感による知覚以外の要因はほとんど考慮されていない。海外では早い時期から、強風時の高層建築物における振動知覚のきっかけとして、視覚的影響が検討事項として指摘されている⁵⁾が、内外を通じて、視覚刺激を考慮した水平振動感覚を検討した研究はほとんどない。実態調査の結果にみるように、わが国でも、高層住宅の居住者は実際には目や音で揺れを認める場合がある⁶⁾ことから、筆者らは、視覚刺激を考慮した水平振動感覚を検討している。

既報¹⁾では、従来の評価の規範である知覚に関して、既往研究における視覚の取り扱いと、視覚刺激の有無を考慮した筆者らの実験結果との比較対応を纏めた。その結果にみるように、水平振動の知覚に対する視覚刺激の影響は大きく、体感では感じない振動も、視対象の動きとして視覚から振動を認めることができるため、振動をまったく感じないことは難しくなる。その

ため、知覚ではない心理的反応を評価の規範とする必要がある。

そこで本論文では、将来高層化が進んだ居住環境において使用性・居住性に支障をきたす可能性がある、より大きい範囲の振動を包含し、視覚刺激を考慮した水平振動に対する心理的反応に着目する。そのために、視対象と被験者の相対的な動きを変化させた実験を行った。従来の評価の規範である体感刺激と対比させたかたちで、視覚刺激が存在する、すなわち、視覚から振動を認識できる状態における、振動を感じた大きさや不快感などの心理的反応を知ることが目的である。このような心理的反応はあいまい性の高い事象であり、直接刺激となる振動だけでなく、さまざまな要因に影響を受けることが想定できる。そこで実験ではいくつかの方法をとり、周辺的な実験条件が水平振動感覚に及ぼす影響の把握につとめた。ここでは、これらの検証を中心に、視覚刺激を考慮した水平振動感覚の特性を述べる。

§ 2 実験の概要

視覚刺激を考慮した水平振動感覚を知るため、表1に示す条件で数回の実験を行った。振動台による実験

表1 実験条件の一覧

	1)異なる刺激条件を別個に受ける実験	2)異なる刺激条件を順番に受ける実験	3)異なる刺激条件を互いに比較する実験
提示方法	体感刺激のみ 体感・視覚両方	体感刺激のみ 体感・視覚両方	体感刺激のみ 体感・視覚両方
方法	映像 視覚刺激のみ	映像 視覚刺激のみ	映像 視覚刺激のみ
順序	別個 ○	順番 ○	互い ○
人数	33名	42名	25名
年齢	振動台 (男8・女25:16~48歳) 25名 映像 (男1・女24:18~24歳)	振動台 (男13・女29:18~50歳) 24名 映像 (男7・女17:18~31歳)	振動台 (男15・女10:20~39歳)
物理量	振動数 0.1~2.5Hz 加速度 1.6~400gal 変位 0.04~10cm	振動数 0.1~1.6Hz 加速度 1.6~400gal 変位 0.25~10cm	振動数 0.1~1.6Hz 加速度 1.5~400gal 変位 0.25~10cm
振動対象数	3 1 (無入力を含む)	1 6 (無入力を含む)	2 7
因子の分化	×	○	○
評価方法	刺激条件ごとの標準振動を基準とした評価	刺激条件ごとの標準振動を基準とした評価	体感刺激のみを受ける場合の標準振動を目安に各刺激条件を比較する評価

では、図1のように振動台上に設置した鋼材製の居室のなかで、壁の高さ80cmにある幅140cm、高さ100cmの窓から約140cm離れ、窓の方を向いて腰掛けた被験者に対し、左右方向に定常的な水平振動を与えた。

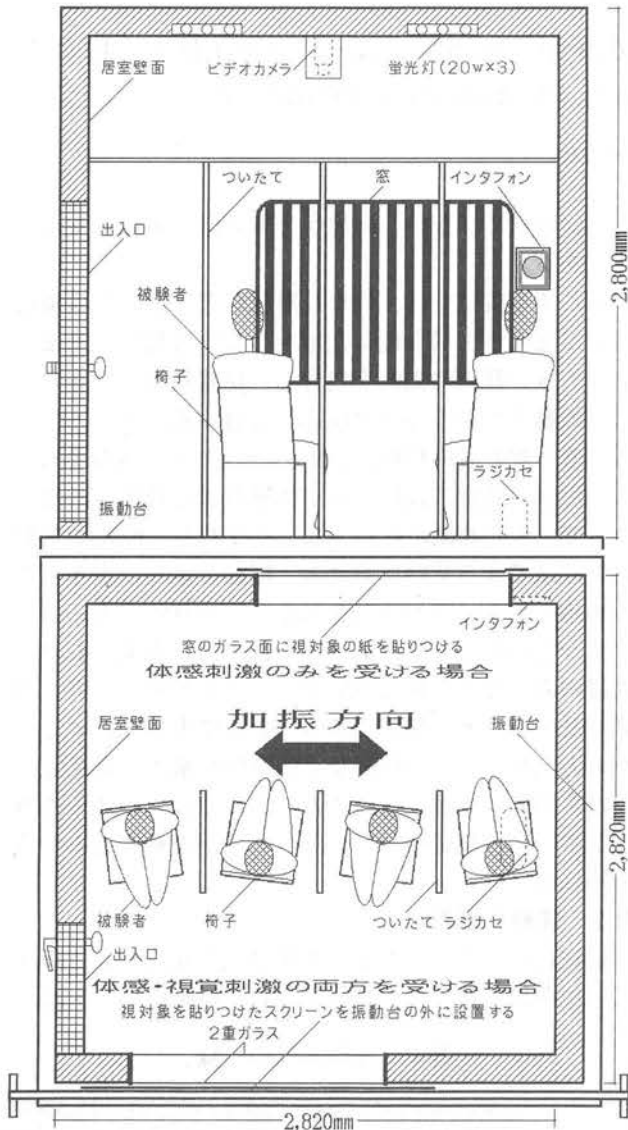


図1 実験の状況

この実験では、視覚刺激として窓外の景色を想定している。第1段階の試みとして、視対象はできるかぎり単純化することとし、白と黒の5cmピッチの縦じまを用いた。貼りつける台となるスクリーンを作成し、これに視対象を貼るなどして、窓の外側に接するように設置した。このようにして、被験者が椅子に腰掛けてこの窓の方を向くことで、実際に居住者が窓から外の景色を眺めるのと同じ条件となるようにした。映像による実験では、振動台による実験と同じ位置関係に

被験者とスクリーンを配置し、振動台による実験の縦じまの動きを収録した8mmビデオを再生して視覚刺激とした。

このような視対象と被験者との相対的な動きを変化させて、3種類の刺激条件を設定した。1つは、被験者が振動を体感し、視対象は被験者が受けている振動と同じように動くために、被験者からは相対的に止まって見える場合である。これを体感刺激のみを受ける場合とする。2つめは、被験者は振動を体感する上、窓の外に静止した視対象を見るため、被験者からは自分が受けている振動と同じように動いて見える場合である。これを体感・視覚刺激の両方を受ける場合とする。さらに、被験者から視対象が相対的に動いて見える条件として、静止した被験者に対して、縦じまの動きを見せる場合を設定した。これを視覚刺激のみを受ける場合とする。振動台による実験の場合、窓の外側に視対象を貼り、被験者は振動台の外から、窓を通して視対象の動きを見ることでこの条件を実現した。

入力振動は正弦振動を目指した波形とし、強風や地震による高層・超高層建物の応答を包含して、表1の加振範囲を設定した。実験によって、刺激条件や振動の与え方などの評価方法を変え、実験条件が及ぼす影響を検討している。アンケートの方法もそれにとまいない異なるため、以降の章でその詳細を順次述べる。共通的には、被験者は加振範囲内で設定したなかの1種類の振動を感じながら、アンケートに回答する。振動の入力時間は被験者の状況をモニターで観察しながら調整し、全員が回答し終わった時点で1回の実験を終了した。実験によって振動の入力時間に違いがあるが、平均して160~180秒程度である。

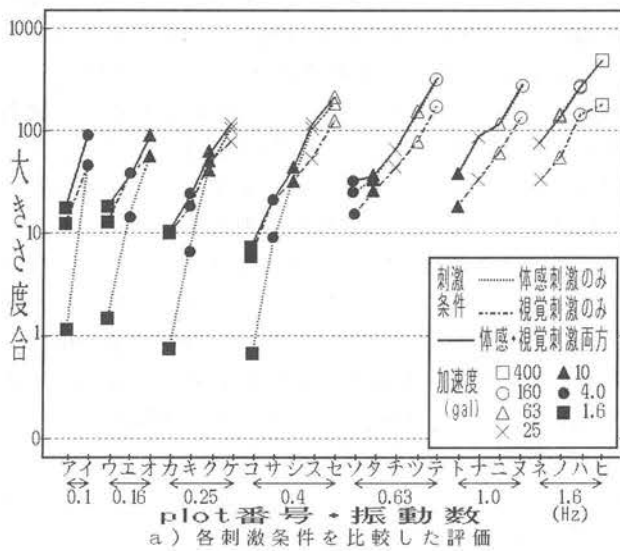
§3 実験方法の違いが感覚に及ぼす影響の検証

これらの異なる方法で行った実験の結果を比較検討する上では、各実験の結果の対応を把握する必要がある。その前提とするべく、大枠の実験方法が感覚に及ぼす影響を検討する。

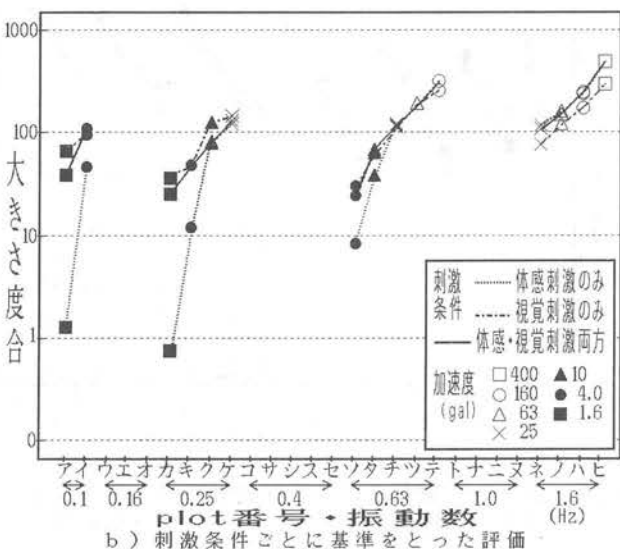
3.1 評価方法の違いが感覚に及ぼす影響

異なる刺激条件を順番に受ける実験と互いに比較する実験では、3回の実験を1組として、被験者は各刺激条件を提示する場所を順番に移動し、1回目の実験で受けた刺激条件の振動に対する評価を基準として、各刺激条件を比較してアンケートに回答する。これらの実験では、3つの刺激条件ともに振動台により行っており、両実験間では評価の基準の取り方だけが異なる条件となる。そこで、両者の比較から、評価方法が感覚に及ぼす影響を検討する。

異なる刺激条件を順番に受ける実験では、各刺激条件ごとに、評価の基準としてNo.チ (0.63Hz, 25gal, 1.6cm) を始めに30秒間与え、約10秒間振動を停止した後、結果の図に示すNo.ア～ホのなかの任意の1振動を与える。被験者は基準となる振動と各振動を互いに比較してアンケートに回答する。また、異なる刺激条件を互いに比較する実験では基準とする振動を与えず、数回の振動1まとまりに対して1回、体感刺激のみを受ける場合の条件でNo.チを与え、この際感覚の評価の目安とする。そのため、異なる刺激条件を順番に受ける実験では、刺激条件ごとに基準をとった評価となり、互いに比較する実験では、1つの基準に基づいて各刺激条件を比較した評価となる。



a) 各刺激条件を比較した評価



b) 刺激条件ごとに基準をとった評価

図2 異なる評価方法の大きさ度合の平均値 (総合判定)

図2に、評価方法が異なる場合の大きさ度合の平均値を示す。大きさ度合ではマグニチュード推定法を用いて、各振動を感じた大きさで回答する。両実験とも、それぞれの条件で、はじめに受けたNo.チの感じた大きさを100として、各振動の大きさを数値で回答する。図では、この大きさ度合の平均値を対数軸で表現した。

両者の結果を比較すると、刺激条件ごとに基準をとった評価の場合、特に視覚刺激のみを受ける場合の評価値が全体的に高く、3つの刺激条件の違いが不明確な傾向にある。視覚刺激のみを受ける場合の、No.チの大きさ度合は体感が存在する他の2条件と比較して小さいが、刺激条件ごとに基準をとった場合、各刺激条件でそれぞれ基準が与えられるために、各条件の基準が、100という値に底上げされることが要因と推察できる。比較して、体感刺激が存在する2条件の平均値は比較的安定しており、特に体感刺激のみを受ける場合には、基準とした刺激条件が同じであることから、両実験の大きさ度合はほぼ等しい。このように、大きさ度合では、相対的な判断の基準となる条件の違いが評価に影響を及ぼす。特に視覚刺激のみを受ける場合、一般的に振動ととらえられる体感に対する刺激が存在しないため、判断に心理的要素が関与する程度が大きく、評価方法の影響が強いものと推察できる。

3.2 視対象の提示方法の違いが感覚に及ぼす影響

異なる刺激条件を順番に受ける実験では、視対象の実際の動きとその映像を提示する2つの方法で視覚刺激のみを受ける場合の実験を行った。そこで、両実験結果の比較から、視対象の提示方法の違いが感覚に及ぼす影響を検討する。

図3に、視対象の提示方法が異なる場合の大きさ度合の平均値を示す。この実験では、被験者自身が体感刺激と視覚刺激を分化していると考え、両方の刺激を総合的に判断する総合判定、体で感じた振動について、目で見えた振動についての3つの判断をアンケートした。この結果は後で詳述するが、ここでは、これらの判断ごとに、結果を比較する。

体で感じた振動だけは提示方法が異なる場合の大きさ度合が異なる。体感に対する物理的の刺激が存在しないため、体で感じた振動に対する判断は心理的要素が関与する程度が高く、提示方法の影響を強く受けるものと推察できる。一方、物理的な刺激を得て判断される目で見えた振動、総合判定の平均値は提示方法の違いによらずほぼ等しい。この場合の大きさ度合を、視対象の動きに対する大きさの判断と考えれば、実物の縦じまの動きとその映像という提示方法の違いは感覚に

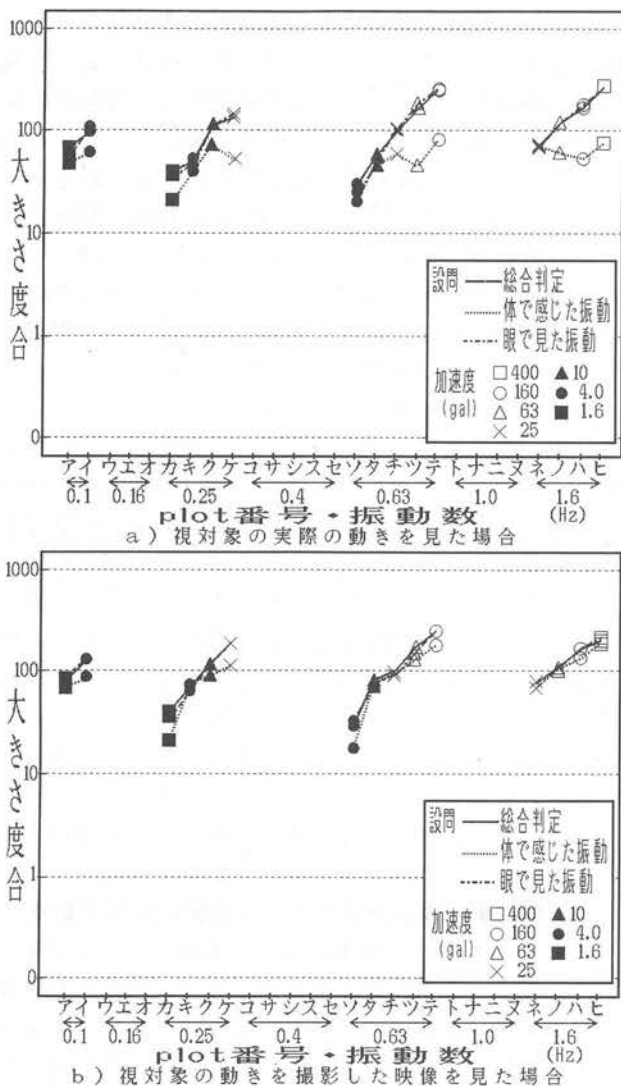


図3 異なる視対象の提示方法の大きさ度合の平均値

ほぼ影響しないことがわかる。

このように、対象が物理的に存在しない場合や、ここでは体感で感じる振動である一般的な認識でとらえられる対象が存在しない場合、感覚の判断は心理的要素が関与する程度が強くなる。そのため、評価方法や視対象の提示方法など、周辺的な実験条件が感覚に及ぼす影響が強くなることがわかる。視覚刺激のみを受ける場合、視対象の提示方法は感覚に影響しないが、一般的に振動としてとらえられる体感に対する刺激が存在しない。そのため、個々の被験者によって振動感覚という側面からみたとらえ方が異なることも想定され、周辺的な要因による影響も大きい。そこで、以降の結果は、体感刺激が存在する2条件を中心に考察し、視覚刺激のみを受ける場合は、視覚刺激の特性を把握するための参照結果として位置づける。

§4 被験者自身が分化した体感・視覚刺激の関係

先にふれたように、この実験では、被験者自身が体感刺激と視覚刺激を分化しているものと考え、総合判定、体で感じた振動、目で見た振動に対する3つの判断をアンケートしている。これらの回答から、被験者の体感刺激と視覚刺激に対する意識を知ることができる。そこで、刺激条件の違いが明確にみられる異なる刺激条件を互いに比較する実験の結果を取り上げ、被験者の体感刺激と視覚刺激に対するとらえ方を探る。

4.1 刺激提示順序の違いによる影響の検証

この実験では、刺激条件の提示を受ける順序が被験者によって異なるため、その違いが感覚に及ぼす影響を検討する。刺激提示順序は、体感刺激のみ→視覚刺激のみ→体感・視覚刺激の両方→体感刺激のみの順序(10名)、体感・視覚刺激の両方→体感刺激のみの順序(9名)、体感・視覚刺激の両方→視覚刺激のみの順序(6名)の3種類である。被験者を提示順序が異なるこれら3つの集合に分け、大きさ度合の総合判定の平均値を刺激条件ごとに比較する。

図4に示す体感・視覚刺激の両方を受ける場合には、各振動の大きさ度合の平均値はほぼ等しく、提示順序による違いは小さい。体感と視覚の両方に対して物理的な刺激が存在するため、どちらかの刺激量が小さい振動に対しても、視覚的に振動を認めるあるいは体感で振動を感じて、物理成分を確認する情報を得られることが影響を小さくするものと推察できる。

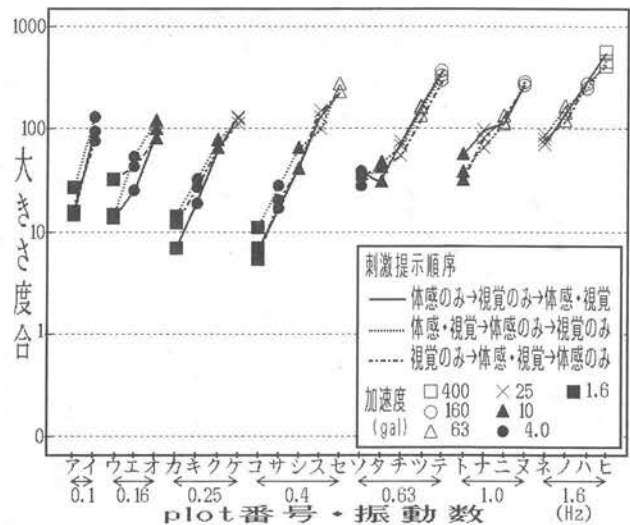


図4 体感・視覚刺激の両方を受ける場合の異なる刺激提示順序の大きさ度合の平均値(総合判定)

一方、図5に示す体感刺激のみを受ける場合には、加速度が小さい振動の1部で、3つの順序の平均値が

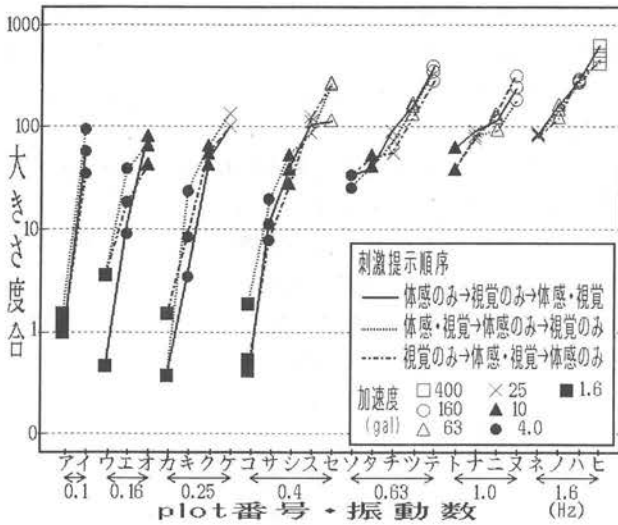


図5 体感刺激のみを受ける場合の異なる刺激提示順序の大きさ度合の平均値 (総合判定)

若干異なる。この範囲では体感に対する刺激量が小さいため、判断を決定する情報量が少なく、提示順序が感覚に影響を及ぼすことになる。

さらに、図6に示す視覚刺激のみを受ける場合では、提示順序によって平均値が異なる振動が多い。体感に対する刺激が存在しないため、心理的要素が判断に関与する程度が高いことから、提示順序の影響を受け、感覚もばらつくものと考えられる。

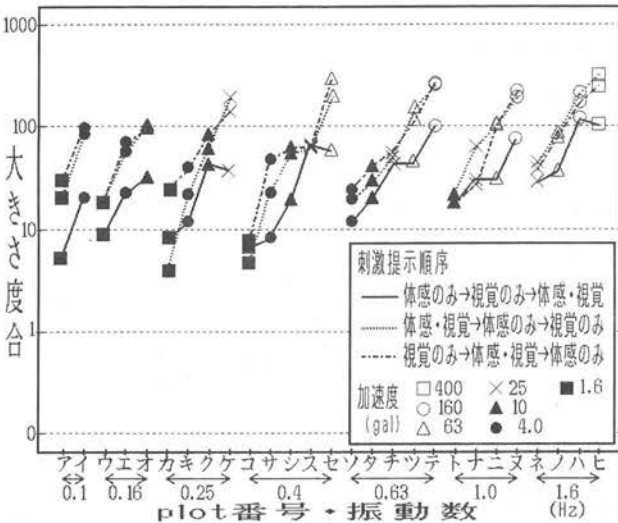


図6 視覚刺激のみを受ける場合の異なる刺激提示順序の大きさ度合の平均値 (総合判定)

先に述べた評価方法や視対象の提示方法と同じように、刺激提示順序も、体感刺激が存在する場合にはほとんど影響しない。一方で、視覚刺激のみを受ける場

合にその影響は大きく、視覚的な刺激だけを受けて振動感覚としてとらえることは難しいことがわかる。

4.2 被験者自身の分化による体感・視覚刺激の関係

以上のような刺激提示順序の影響を考慮すると、体感刺激が存在する2条件では、異なる提示順序を統括して扱うことができる。そこで、この2条件の大きさ度合の平均値を中心に、被験者自身が分化した体感刺激と視覚刺激のとらえ方を検討する。

図7に示す体感刺激のみを受ける場合には、総合判定と体で感じた振動の平均値がどの振動に対してもほぼ等しい。体感刺激のみを受ける場合、総合判定は体感に依存し、視覚刺激が存在しないことは感覚にほぼ

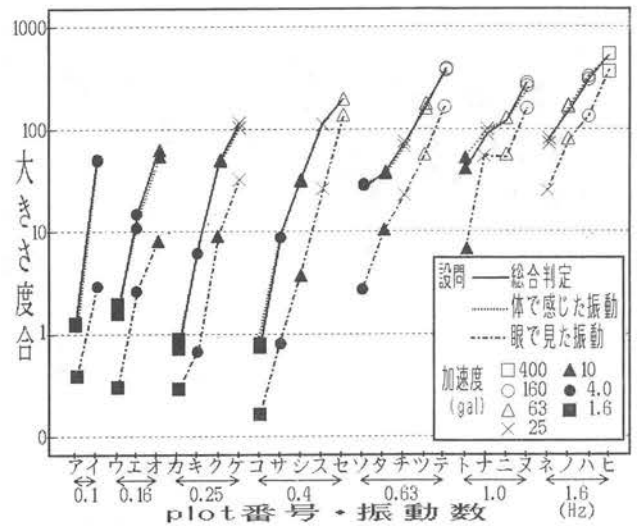


図7 体感刺激のみを受ける場合の被験者が体感・視覚刺激を分化した大きさ度合の平均値

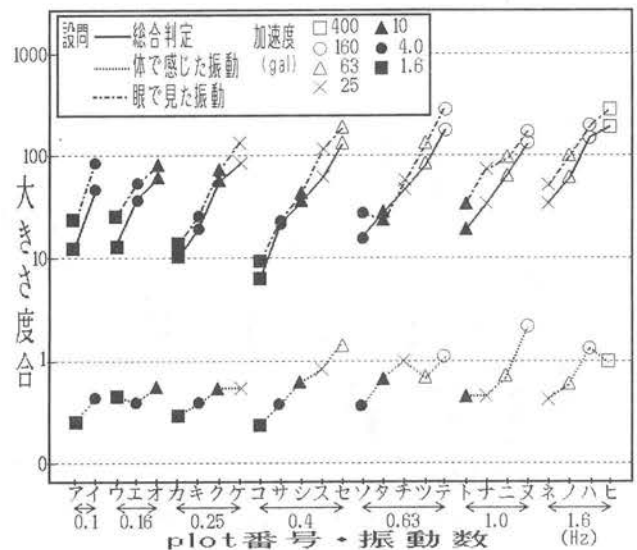


図8 視覚刺激のみを受ける場合の被験者が体感・視覚刺激を分化した大きさ度合の平均値

影響しないことがわかる。比較して図8に示す視覚刺激のみを受ける場合には、体で感じた振動に対する平均値だけがきわめて小さい。体感刺激がないことが判断に大きく影響し、それによって総合判定も目で見えた振動より若干引き下げられる。体感刺激のみを受ける場合の、視覚刺激が存在しないことによる影響の小ささと比較すると対照的であり、振動感覚全般における体感の支配性の強さをみることができる。

図9に示す体感・視覚刺激の両方を受ける場合には3つの判断の違いは小さく、両方の刺激に対する感覚が互いに影響している。振動の範囲によって、総合判

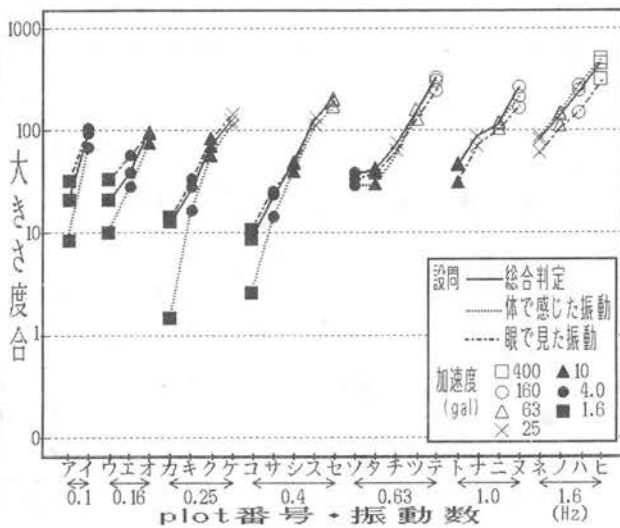


図9 体感・視覚刺激の両方を受ける場合の被験者が体感・視覚刺激を分化した大きさ度合の平均値

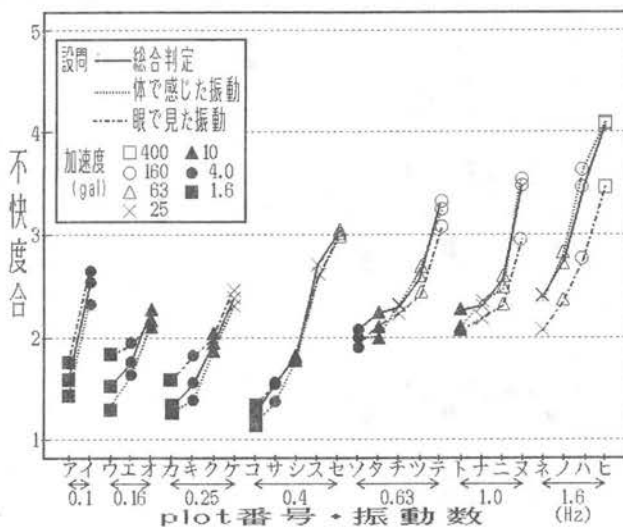


図10 体感・視覚刺激の両方を受ける場合の被験者が体感・視覚刺激を分化した不快度合の平均値

定と体で感じた振動、目で見た振動との大小関係は変動し、振動の範囲によって、総合的な判断が体感刺激に依存するか、視覚刺激により強い影響を受けるかが、異なることがわかる。

以上のような被験者の判断の特徴は、図10に示す体感・視覚刺激の両方を受ける場合の不快度合でもみることができる。不快度合は5段階の数直線を用いて振動を受けたときの不快感を表現する。各振動の不快度合は、体感刺激のみの場合のNo.チに対する不快度合を目安として回答する。解析にあたっては、「まったく不快でない」を1、「非常に不快である」を5として、間の各段階を2, 3, 4(言葉を対応させていない)として評価した。体感・視覚刺激の両方を受けて被験者が両刺激を分化して判断したこれらの結果と、後に述べる物理的な刺激条件が異なる場合の総合的な評価を比較することで、これらの体感刺激と視覚刺激との関係を検証することができる。

§5 体感刺激と視覚刺激との関係

以上のような実験条件の影響を加味し、物理的な刺激の有無による体感刺激と視覚刺激の関係から、視覚刺激を考慮した水平振動感覚の特性を検討する。ここでは、刺激条件による違いが明確な異なる刺激条件を互いに比較する実験における総合判定を取り上げる。

図11に、異なる刺激条件の大きさ度合の平均値を示す。低振動数範囲では、体感による感じ方は小さく、視覚による感じ方が大きいため、体感・視覚刺激の両方を受ける場合には、体感による感じ方は小さくても、この視覚による感じ方の大きさに引き上げられて、大きさ度合が大きくなる。特に低振動数・低加速度の振

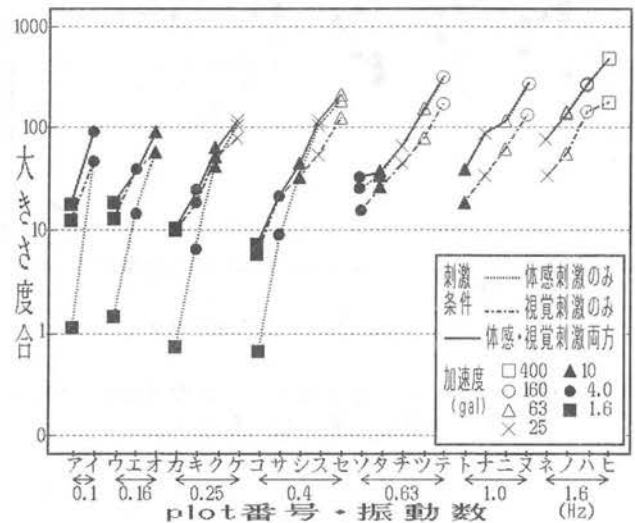


図11 異なる刺激条件の大きさ度合の平均値

動は体感では知覚しない範囲であり、体感刺激のみを受ける場合の大きさ度合だけがきわめて小さい。視対象の動きを視覚的に認めることで、振動を知覚し始める点が引き下がることがわかる。

高振動数・高加速度の範囲では、体感刺激を受ける2条件の平均値がほぼ等しく、視覚刺激が存在しても、視覚刺激の影響をほとんど受けない。その間の範囲では、体感刺激を受ける2条件の平均値が徐々に近接し、振動感覚に対する視覚刺激の影響量は、振動の物理量と対応して徐々に変化することがわかる。

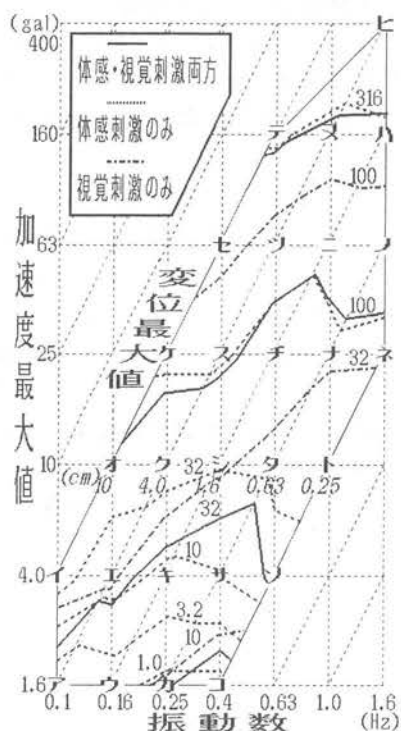


図12 大きさ度合の等評価曲線

これを、物理成分との関係から等評価曲線として示したのが図12である。等評価曲線は、各振動に対する平均値を直線補間し、常用対数で等間隔に求めた。視覚刺激のみを受ける場合には曲線が変位にほぼ沿っており、視覚刺激による大きさは、視覚から把握しやすい変位に依存することがわかる。一方、体感刺激のみを受ける場合には、特に加速度が小さい範囲で曲線は加速度にほぼ沿い、振動の体感は加速度に支配されることがわかる。このように関与する物理成分が異なる両刺激が存在する体感・視覚刺激の両方を受ける場合には、振動の範囲によって曲線の傾きが変動し、依存する物理成分が異なる。これはすなわち、振動の範囲によって、感覚に対する影響力の強い刺激が変動することを示す。振動数が0.4~0.63Hz以下の範囲では、変位が大きいほど大きく感じ、視覚刺激の影響が強い。一方、加速度が大きい範囲では、曲線は体感刺激のみを受ける場合とほぼ等しく、視覚刺激が存在しても体感により感じ方がほぼ決定される。このように体感・視覚刺激の両方を受ける場合、振動を感じた大きさは体感を主要な要因として判断されるが、振動数範囲によって視覚刺激の影響がみられ、低振動

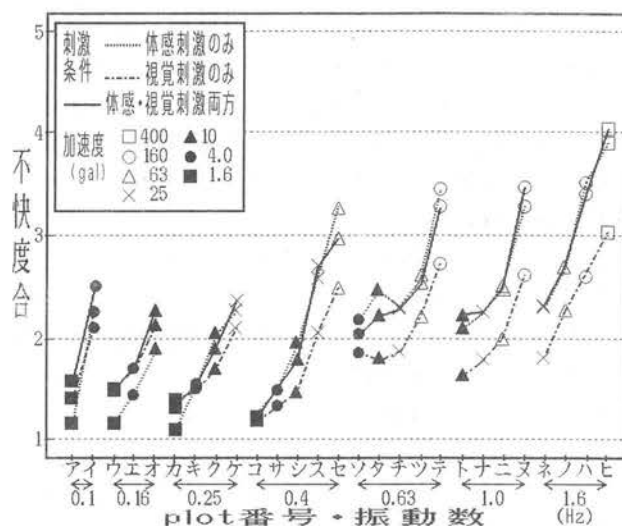


図13 異なる刺激条件の不快度合の平均値

数ほど曲線は変位に沿い、視覚刺激の影響が強いことがわかる。

このような視覚刺激の影響は、図13に示す不快度合でもみられるが、大きさ度合と比較すると全体的な傾向は明確でない。大きさの表現は振動の物理的特性により近い表現であるため、視覚刺激の影響が明確にみられる。しかし不快感は、振動の物理的な刺激を取り込み、さらに感覚的に判断して表現されるため、刺激条件の違いが分化されにくいものと推察される。

図14に示す等評価曲線では、視覚刺激のみを受ける場合に、0.4~0.63 Hz付近で曲線が明確に折れ曲ることが特徴的である。この振動数範囲は、体感・視覚刺激の両方を受ける場合に体感との関連が強い範囲と視覚刺激の影響を受ける範囲との境にほぼ等しく、視覚刺激が与える影響の物理的特性を表している。

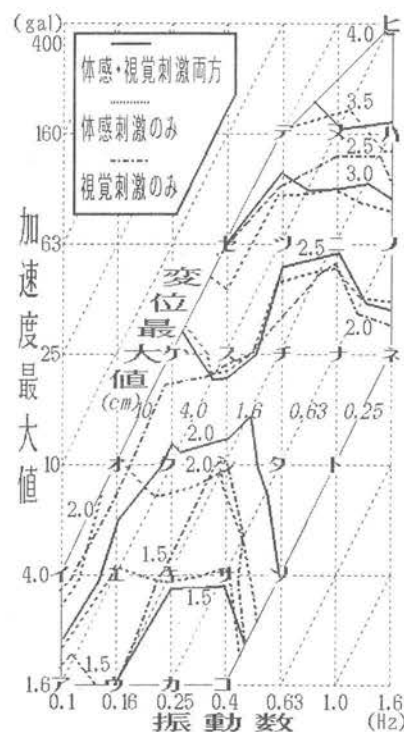


図14 不快度合の等評価曲線

以上にみるように、前章で述べた体感・視覚刺激の両方を受ける場合に被験者自身が両刺激を分化した判断と、物理的な刺激の有無による判断からは共通した傾向が得られ、双方から視覚刺激を考慮した水平振動感覚の特性を検証することができる。

§ 6 おわりに

以上のように、体感の有無は振動感覚における主要な要因であり、振動を感じる範囲では体感により振動感覚がほぼ決定される。それに対して視覚刺激は、視覚的な情報から振動の物理成分を確証する要因となる。これらの結果は、振動感覚全般における体感との関連の強さと、視覚刺激は知覚し始める点を引き下げるだけでなく、振動の物理成分と対応して徐々に変化する影響をもつことを示唆するものである。

既報¹⁾で述べたように、視覚刺激が存在する場合には視対象の動きとして視覚的に振動を認めるため、振動をまったく知覚しないことは難しくなる。視覚的に振動を認識しない状況が日常的に少ないことを考えても、体感による知覚閾ではなく、大きさや不快感などの心理的反応を規範とし、視覚刺激を考慮した振動感覚に基づいて居住性を評価する必要がある。そのためには、加速度が大きく体感に対する刺激量が大きい範囲では、体感に対して支配的な決定要因である加速度を中心に評価しても、視覚刺激の影響が強い加速度が小さい範囲では、視覚刺激に対して支配性の強い変位を考慮して評価する必要がある。

本研究を進めるにあたって、終始適切なご指導を戴いた日本女子大学 石川孝重教授に心から感謝の意を表す。また、実験の実施に際しては、当時東京大学生産技術研究所 岡田恒男教授、隈澤文俊助手に多大なご協力を戴いた。謝意を表す。実験に参加して戴いた多くの方々（日本女子大学学生・大学院生、東京大学大学院生、芝浦工業大学大学院生他）に深謝する。

【引用文献】

- 1)野田千津子, 石川孝重: 視覚刺激を考慮した水平振動感覚に関する研究 (I) - 知覚閾における既往研究と本実験結果の比較検討 -, 小山工業高等専門学校研究紀要第27号, pp.189~194, 平成7年3月.
- 2)野田千津子: 視覚刺激を考慮した水平振動感覚に関する研究 (II) - 人間の感覚・状態と物品の挙動に着目した使用性・居住性評価指標の検討 -, 小山工業高等専門学校研究紀要第28号, pp.181~187, 平成8年3月.

- 3)沼田竜一, 石川孝重, 野田千津子: 水平振動感覚に関する文献調査-その1 調査の概要と既往研究の実験条件-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造 I), pp.953~954, 1993年9月.
- 4)日本建築学会: 建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 第1版, 1991年4月.
- 5)Robert J.Hansen, John W.Reed, Erik H.Vanmarke: HUMAN RESPONSE TO WIND-INDECEDED MOTION OF BUILDINGS, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, No.ST7, pp.1589~1605, JULY 1973.
- 6)石川孝重, 植草友枝, 一力ゆう, 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1 アンケートの概要とその結果-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学), pp.95~96, 1993年9月.

(受理年月日 1996年9月30日)