

建築空間の内観に対する視覚印象と音場による
聴覚印象の相互作用に関する基礎的研究

2018年 9月

石川あゆみ

目次

第 1 章 序論

1-1	背景と目的	1
1-2	関連する既往研究と本研究の位置付け	6
1-3	本研究の概要と本論文の構成	12

第 2 章 建築空間における聴覚印象に対する視覚刺激の影響及び違和感との関係

2-1	はじめに	14
2-2	実験室における聴覚印象に対する主観評価実験	15
2-2-1	聴覚刺激を実時間畳み込みにより提示する実験 (実験 I)	17
2-2-1-1	実験概要	17
2-2-1-2	実験結果と考察	21
2-2-2	聴覚刺激を直接提示する実験 (実験 II)	28
2-2-2-1	実験概要	28
2-2-2-2	実験結果と考察	30
2-2-3	実験 I と実験 II の比較と考察	34
2-3	小括	38

第 3 章 建築空間の視聴覚情報の同時提示による視聴覚印象の変化

3-1	はじめに	39
3-2	実験概要	40
3-3	実験結果と考察	45
3-3-1	視覚刺激の単独提示の主観評価結果	45
3-3-2	聴覚刺激の単独提示の主観評価結果	47
3-3-3	同時提示の主観評価結果	49
3-4	同時提示における評価構造に対する ERT-RT による検討	57
3-5	小括	61

第 4 章 視聴覚相互作用による視聴覚印象の評価構造の変化

4-1	はじめに	62
4-2	実験概要	63
4-3	実験結果と考察	67
4-3-1	視覚刺激の単独提示における評価構造	67
4-3-2	聴覚刺激の単独提示における評価構造	68
4-3-3	同時提示における評価構造	68

4-4	同時提示における評価構造に対する ERT-RT による検討	72
4-5	小括	78

第5章 視聴覚相互作用による印象変化に関する考察

5-1	はじめに	79
5-2	残響時間に対する提示条件間の評定平均値の差分の変動	80
5-2-1	全評価項目の差分の変動	80
5-2-2	聴覚印象の差分の変動	81
5-2-3	響きの長さ・残響感・明瞭感の差分の変動	84
5-2-4	空間毎の響きの長さ・残響感の差分の変動	86
5-2-5	視覚印象の差分の変動	87
5-3	違和感を基準とした視聴覚統合の有効範囲に関する考察	90
5-4	視聴覚統合による印象変化のモデルの考察	94
5-5	視覚情報による聴覚印象の変化に相当する残響時間	100
5-6	小括	102

第6章 結論

6-1	総括	103
6-2	視覚情報の影響を考慮した新たな建築音響設計	105
6-3	課題と展望	107

記号一覧	109
参考文献	110
本研究に関する論文・発表報告	116
付録1 一実験概要の補足一	118
付録2 一実験室実験と現実空間での主観評価の違いに関する検討一	121
付録3 一特定空間に対する経験・記憶が主観評価に及ぼす影響の検討一	126
謝辞	134

第1章 序論

1-1 背景と目的

我々は日常生活の中で、用途や使用目的の異なる多様な都市・建築空間に遭遇する。それぞれの空間に対する在室者の属性や利用時間、利用方法などは様々であると同時に、これらの空間には広さや形状、構成部材の素材やインテリア、意匠等の違いによって様々な建築的仕様が存在する。その結果として室内の物理的な環境条件は様々に分布し、在室者は五感を通してそれらの違いを主観的に捉えている。その五感のうち、特に視覚と聴覚によって得られる情報量は、人間が受容できる他の全ての感覚（触覚・嗅覚・味覚）と比較して極めて多く、対象の認知・評価に大きなウェイトを占めると言われている。

建築環境工学の目標は、室に応じた適切な室内環境条件を提供することである。これに含まれる建築音響学においては、室用途に適した室内音場を形成することを基本に、施主の要望に応じた音響条件を達成するように建築空間をデザインすることが重要である。19世紀末に W. C. Sabine が残響理論を確立して以来、建築音響学は発展を続け、今日までに多種多様な空間における実測や実験室実験等を通して建築空間の幾何学的条件と音響構造の関係が明らかにされ、建築音響設計を支援する多くの指標が開発されてきた。

一方、認知科学の分野では、外界から受ける刺激に対して人間の五感を通じて得たそれぞれの主観印象の間には相互作用が生じる場合があり、異なる様相（モード）間で互いに影響を及ぼし合う効果（クロスモーダリティ）の存在が明らかにされてきた。なかでも音に対する印象については、特に視覚の影響を受けることが分かっている。また、映像作品における音楽と動画等を対象としたマルチメディア分野の研究においては、視覚情報が聴覚印象に、または聴覚情報が視覚印象に影響を与える「視聴覚相互作用」の存在が認められており、岩宮³²⁾によれば図 1-1 に示すような構造を持つ以下の3つの作用が存在するとしている。

① 感覚の感受性の変化

視覚情報の存在によって聴覚に対する感度が低下した結果、聴覚印象が変化する現象。例えば、帯域制限により音質の劣化した音楽再生音だけを聴くと、音質の劣化は明瞭に捉えられる一方で、音質の劣化した音楽再生音と映像を同時に視聴すると、音質の劣化を認識し難くなる。この現象は、音質評価実験において音と映像が調和している「オリジナル素材」と、映像に全く関係のない音を組み合わせたり、音と映像の同期をずらしたりした「組合せ素材」の両方で認められた。つまり、視聴覚情報の統合過程を介さず、互いが調和していなくとも生じる現象である。

② 視覚と聴覚の共鳴現象

複数の感覚に共通して認められる心理的性質（通様相性、同じ形容詞で表現される印象）を通して生じる相互作用である。例えば、聴覚的な明るさが視覚的な明るさを高めるなどの現象であり、感覚の感受性の変化よりもやや生じにくい。

岩宮によれば、引締因子（「メリハリのある」など）、美的因子（「美しい」など）、明暗因子（「明るい」）の3側面で共鳴現象の存在が確認できたとしている。明暗は視聴覚において比較的捉えられやすい性質であり、視聴覚情報の統合過程を介さず共鳴現象が生じる。一方で美的因子・引締因子に属する性質は、音と映像が調和したオリジナル素材においてのみ共鳴現象が生じる。

③ 視覚と聴覚の協合現象

音と映像が一体となってそれぞれをより印象的なものにする（評価を高める）現象である。適切に組み合わせられた音と映像は、1つの表現として機能し、互いの効果を高めあうことが確認されている。協合現象によって、音及び映像に対する評価はそれぞれが単独で提示される場合よりも上昇する。

この現象は音と映像の組み合わせに強く依存した相互作用であり、音と映像が調和していない、つまり視聴覚情報の統合過程を経っていない組合せ素材では協合現象は生じない。

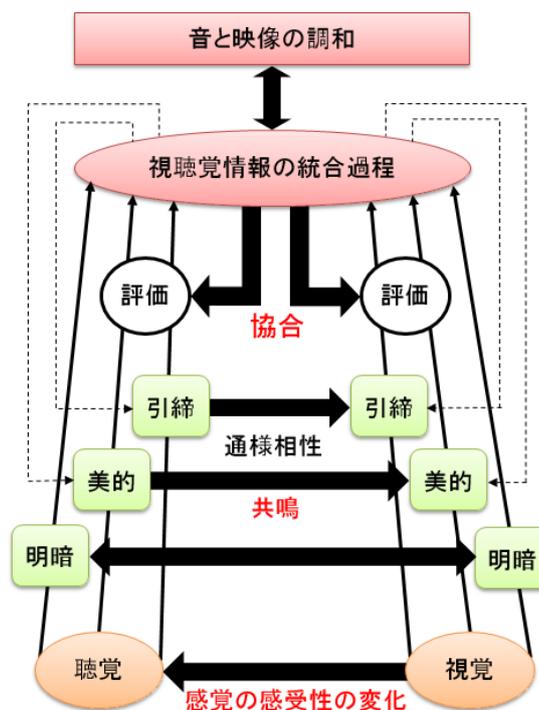


図 1-1 映像作品の視聴時に生じる視覚と聴覚の相互作用³²⁾

筆者は、上記の既往研究を基に、視覚情報を空間の意匠および仕様、聴覚情報を空間の音場（響き）とすれば、建築空間の視聴覚環境下で在室者が得る視聴覚印象においても視聴覚相互作用が存在する可能性があると考えた。本研究における、建築空間における視聴覚相互作用のイメージを図 1-2 に示す。

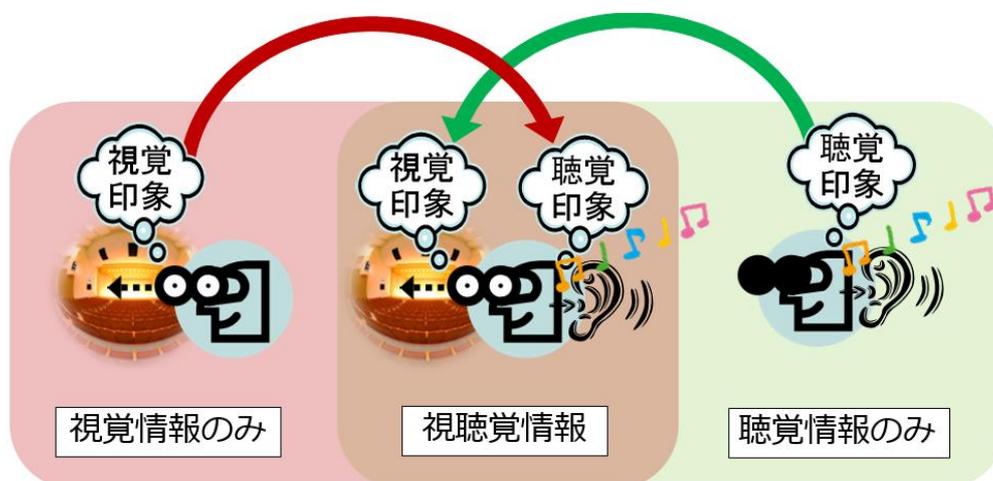


図 1-2 建築空間における視聴覚相互作用のイメージ

図 1-2 の左側は、建築空間の視覚情報のみから受ける視覚印象、右側は建築空間の聴覚情報のみから受ける聴覚印象を示している。図の中央は、視覚情報と聴覚情報（視聴覚情報）を同時に受け取った場合の視覚印象・聴覚印象を示している。視聴覚情報が組み合わさることによる（図 1-1 に示した視聴覚相互作用のような）効果が存在しなければ、視覚情報のみから受ける視覚印象と視聴覚情報から受ける視覚印象、聴覚情報のみから受ける聴覚印象と視聴覚情報から受ける聴覚印象は全く同じであると思われる。

本研究では、建築空間の視聴覚情報を同時に受け取った場合の視聴覚印象が、それぞれの情報を単独で受け取った場合から変化することを「視聴覚相互作用」と呼ぶこととし、それが生じる原因を、視覚情報が聴覚印象に影響を与えた（図中の赤い矢印）、または聴覚情報が視覚印象に影響を与えた（図中の緑色の矢印）からだと考えた。

さらに、図 1-1 に示した映像作品の視聴時に生じる視覚聴覚相互作用においては、視聴覚情報の統合過程を経ているか否かで、生じ得る作用が異なるとされる。例えば、建築空間の視聴覚情報においては、広い空間の画像や映像に短い残響時間の響きを組み合わせるとして視聴した場合は、互いが調和しているとは感じ難く、統合過程を介するとは考えにくい。よって、本研究においては視聴覚情報間の関連性を脳が認識している状態、つまり、室の仕様と響きが同一空間の属性であると認知されている状態を「視聴覚統合」と呼ぶこととし、その条件下にあるか否かによって生じる作用の違いについても検討を行う。

建築音響分野で用いられている残響時間をはじめとする音響指標は聴覚を基準に決定されており、聴覚刺激を用いた実験室実験によって開発されたものが多く、それらには前述のクロスモーダリティ、特に視覚の影響は考慮されていない。そして、その影響が無視できる程度のものなのか、それとも大きく関与するものなのかという問題に対する解を定性的・定量的に示した研究はほとんど見られないのが現状である。建築音響で取り扱う音場特性（反射音構造）と室内の広さや形状等の仕様との間には物理的な関連性が存在することは言うまでもないが、これらを経験として蓄積している我々人間の脳がこれら2つの様相で捉えた室内の物理的な情報をどのように結びつけ、さらには主観印象とどのように関連づけているのかということに関する包括的な知見はこれまでのところ無いに等しい。

建築空間において、音場に対する聴覚的な主観印象が、視覚情報の影響を受けないことが示されれば、従来の指標は今後も問題なく使用することができる。一方で、もしも視聴覚相互作用による効果が存在し、聴覚印象が視覚情報の影響を受けるのであれば、そのメカニズムを明らかにするとともに、影響の程度、すなわち聴覚印象の変化量（心理量）を、これに対応する客観指標（物理量）として定量化することにより、クロスモーダリティを考慮した建築設計および建築音響設計が可能になるとともに、運用段階において音響的な問題が生じるリスクや改修コストなどを減ずることができると考えられる。

例えば、建築音響設計上の1つの目安である最適残響時間は室容積と室用途によって決定されるが、これを目標値として設計された空間は、実際には室内の視覚情報（空間の形状や仕上げ、意匠など）による影響を受け、利用者の満足度を満たさない、あるいはオーバースペックな設計となる可能性を孕んでいる。しかし、この視覚情報による影響が残響時間として定量化されれば、設計段階においてこの影響を見込んで室容積を設定したり、音響材料（吸音材、反射板など）を選択したりすることが可能になり、必要十分な音響設計を実施することができるであろう。

また、最適残響時間を目標に設計された運用段階の多目的ホールにおいて、室内のボリューム（スケール感）や仕上げ、意匠などに対する視覚的な印象によって室内の響きの印象が変化した結果、適切に設計されたはずの残響時間によって得られる残響感ではコンサート等で音楽演奏が行われる場合に聴衆が残響を物足りなく感じる恐れがある。しかしながら、多目的ホールでは演劇や講演が行われることも想定され、音楽鑑賞のみを重視して残響時間を決定することは得策ではない。このような問題の解決策としては、可変残響装置等の高価で複雑な設備を用いることが挙げられるが、例えばコンサート等の場合のみ天井を低く見せる工夫（天井にテント状に幕を張る等）を施すことで聴衆が受ける印象を変化させる（見かけの容積を小さくすることで、長い残響への期待感を減少させる）ことができれば、音響改修を行うことなく聴衆の満足度を維持できる可能性がある。

建築空間のバーチャル・リアリティー（VR）技術を活用したサービスは、近年増加の一途を辿っている。不動産物件を現地に行かずに体験できる VR 内見¹⁰⁵⁾、賃貸物件等の VR 空間において照明の操作、内装の模様替えができる VR 不動産案内¹⁰⁶⁾、設計段階または建設段階で未完成の賃貸物件等を施工後の状態で体験できる VR 内覧¹⁰⁷⁾など、特に不動産業界においては様々な VR コンテンツが実用化されている。将来的には、スクラップ・アンド・ビルドを伴うモデルルームに VR を用いた空間体験が取って代わる時代が到来する可能性もあり、このようなコンテンツは今後更に普及・展開することが予想される。

しかしながら、前述のコンテンツは視覚情報を主に提供するもので、同時にアナウンス音声を聞けるものもあるが、音場を体験することはできない。近い将来、建築空間の VR コンテンツにおいても映像と音場が同時に提供されるようになると考えられるが、言うまでもなく両者の間には強い関連性が存在し、不自然でない効果的な視聴覚情報の組み合わせが必要とされる。一方で、現実の空間を VR で再現した場合、VR 空間から受ける視覚印象が現実の空間と乖離がある可能性も考えられ、その場合には現実の空間の音場を付加しても調和しないと捉えられる可能性もある。空間ゲームや映画とは異なり、室の正確な仕様や音響状態を体験者に伝える必要がある建築空間の VR においては、建築空間の内観から得られる視覚情報と室内音場による聴覚情報との組み合わせによる主観的効果の反映は必要不可欠となるであろう。現状では VR 技術を用いたソフトウェア開発等に関する研究は増加しているものの、建築空間の VR における視覚印象と聴覚印象の関係に関する研究は十分には行われておらず、付加すべき適切な聴覚情報に関する知見は明らかになっていない。

以上のような背景を基に、建築音響設計に資するための本研究の目的を以下に示す。

- ・ 建築空間における、室内音場に対する聴覚印象に与える空間仕様等の視覚情報の影響を明かにする
- ・ 建築空間の視聴覚環境における視聴覚相互作用の存在、およびその作用が生じる条件を明かにする
- ・ 建築空間の視聴覚環境における、視聴覚相互作用による印象変化を引き起こすメカニズムに対してモデルを提案するとともに、従来の建築音響設計指標に対して、視聴覚相互作用による効果を取り入れた新たな設計指標の提案を検討する

なお、本研究が導こうとする結論の一般性を確保するため、本研究における実験刺激とする対象空間からは、個人が所有する建築物（個人住宅など）を除外する。

1-2 関連する既往研究と本研究の位置付け

視聴覚の関連性についての研究は古くからなされており、認知科学や心理学の分野においては、音韻知覚が視覚情報による影響を受ける McGurk 効果¹⁾が広く知られている。また、音刺激と関連した内容を持つ視覚刺激を音源と異なる方向から提示すると、音像の方向が視対象の方向にずれて知覚される腹話術効果も有名である。この効果について Bertelson ら³⁾は、暴露後効果と即時効果があること、即時効果には視覚刺激への注目度が影響し、視聴覚刺激間の物理的・内容的関連性が小さくなるとその効果が無くなることなどを報告しており、以降の様々な研究と併せて視聴覚統合の性状が明らかにされてきた。

1-1 節で示した通り、岩宮³²⁾によれば、映像作品の視聴時には種々の視聴覚相互作用が生じ、実際にそれらが映画製作等に積極的に応用されていることが報告されている。

現実の環境に対する影響についても研究が行われている。騒音制御の分野においては、視覚的な緑化が喧騒感に影響を与えることが明らかにされている。鈴木・田村ら^{9), 16)}は様々な都市空間の静止画像と車両通行音等を組み合わせて被験者に提示し、SD 法を用いた印象評価実験を行い、街路樹や植樹帯などが喧騒感を緩和または誘発する効果があることを明らかにした。また岩宮ら¹⁵⁾は、様々な都市景観と音環境に対する SD 法を用いた印象評価実験を行い、音と景観の組み合わせが調和している場合には通様相性を通して聴覚から視覚の方向に共鳴現象が生じる場合が多いこと、音が景観の印象を均一化することなど、サウンドスケープデザインに資する多くの知見を得ている。

一方、室内の反射音構造の影響を含んだ建築音響に関連する研究事例は少ないが、森本ら¹⁰⁾は、視覚刺激の存在下においては聴覚の感度が低下し、エコー検知限が緩和されることを明らかにした。この現象は、岩宮が示した「感覚の感受性の変化」に近似した現象だと言えるだろう。しかしその影響の程度は僅かであり、建築音響設計において無視できるものとしている。また、Valente ら^{56), 64), 72)}は、異なる建築空間の背景内観に同じ音源の動画（演奏者が音楽を演奏する様子を撮影したもの）を当て嵌める精度の高い視聴覚刺激のバリエーションを被験者に提示し、これに適合する聴覚刺激の音響状態（視覚情報による予想値）を、被験者が音響パラメータを調整することにより同定する実験を行った。さらに、対応する現実の空間で実測された音響状態とその予想値の比較を行った結果、被験者は主に視覚刺激から空間のスケール感を判断し、小空間においては日常的な体験を基に予想値を決定するため実測された音響状態とのギャップが少ない一方で、大空間においては音楽 CD などのメディアによる視聴経験を手がかりに音響状態を推定するため、残響時間や音の拡がり感等は実測された音響状態よりも過大評価される傾向が見られるとしている。また、ステージ音響に関して研究した Cabrera ら³⁹⁾は、2つのホールの様々な客席位置からステージ上の視覚目標を見たときの写真を視覚刺激とし、前述の視覚刺激の撮影位

置における実測のインパルス応答信号に無響音楽（オーケストラ演奏）を畳み込んだ音響信号を聴覚刺激として、音源までの距離や親密感を ME 法を用いて 10 段階で評価させる印象評価実験を行った。実験の結果、ホールの室容積によらず、距離が離れるほど親密さが減少する傾向があることが示された。また、ステージと客席の照度の差が大きいと、聴衆はステージと別の空間にいるような感覚になり、親密感が減少することを示した。

また、高層住宅や免振建物においては、在室者が家具や窓の外の景色の動きを視覚的に認識することで風や地震による揺れに気づくことがあるとされ、視覚と体感の関係性について研究が行われている。野田ら²⁴⁾は一対比較法を用い、加速度が小さくても変位が大きい低振動数の揺れは視覚によって感知しやすいことなどを示した。また、新藤ら³⁴⁾は、ワイブル解析（製品の寿命を予測する手法としてよく用いられる）をもって振動を知覚する 50% 閾値を求めている。

没入感のある視覚体験を提供できる VR 技術は近年一般にも広く知られ始め、関連する研究も発展している。Larsson ら³⁰⁾は、ある現実の空間を対象に、その空間の音場のみ被験者に提示した場合の評価、音場とともにその空間の写真を提示した場合の評価、音場と共に VR で再現した空間を提示した場合、現実の空間でヘッドホンによって音場を提示した場合の 4 つのパターンにおいて、音源の見かけ上の幅 (ASW)、主観的な音源までの距離、主観的な室容積を評価させた。その結果、前述の 3 つの評価は VR と現実空間で有意に異なることが明らかになった。

一方、谷川ら⁸²⁾は、VR 空間内に CG 映像（視覚情報）と音（聴覚情報）の双方を用いて道路交通騒音を再現する道路交通騒音評価システムの適用性および現実感の向上を目的として、立体音響場を構築するとともに実際の自動車走行音から独自の方法で音源信号を作成した。音像定位に関する被験者実験から、VR 空間内における音環境は聴感上も実用十分な再現性を確保できたとしている。

寺島らは、建築空間における視覚情報と聴覚情報の関連性に関する研究を 2005 年より継続して行っている。

藤本・寺島^{44), 45), 49), 50)}は、視覚と聴覚の相互作用を効果的・積極的に用いた音響空間の設計に関する基礎的な情報を得ることを目的とし、視覚情報が聴覚の空間性に依存する音響パラメータに与える影響を把握するために、画面の大きさ（視覚情報の映像が投影されるスクリーンのサイズ）が残響感及び音の拡がり感に与える影響について検討を行った。実験では、被験者の正面に配置された直接音提示用スピーカと左右対称に配置された反射音提示用スピーカから楽音が再生される条件下において、被験者に対して聴覚情報のみの

基準音場を提示し、その後スクリーンに投影される静止画像と繰り返し再生される楽音を視聴しながら、基準音場に合うように音響パラメータを調整させた。分析において、「聴覚情報のみを提示した場合の被験者が調整した残響時間」に対する「視覚情報と聴覚情報を両方提示した場合の被験者が調整した残響時間」の比である調整比率を算出した結果、広い空間をイメージし得る視覚情報を提示された場合には基準音場に合わせるためにより長い残響時間を必要とするとともに、より大きい視覚情報が提示された場合にはより小さい初期側方エネルギー率で必要な拡がり感を得ることができる可能性が窺えた。

堀内・寺島^{67), 71)}は、建築空間の意匠と音響に対する主観評価実験を基に因子分析とベイジアンネットワーク分析を行うことで、主観印象の評価構造を把握すること、視聴覚相互作用の存在を明らかにすることを試みた。意匠の空間形状因子には音響の迫力因子・美的因子が依存していること、音響の迫力因子と美的因子は空間の美的因子に対する影響力が大きいことなどが分かったが、視聴覚相互作用の存在を認めるには至らなかった。

徳永・寺島^{66), 83), 100)}は、主にコンサートホールにおける聴衆をターゲットにし、視覚と聴覚の相互作用について検討を重ねている。まず、視覚情報を演奏者の様子を含めたホール内部の写真及び映像、聴覚情報を演奏者の演奏音として、ホール客席部における視覚情報が演奏を聴く際の聴覚印象に対して与える影響を明らかにすることを目的に主観評価実験を行った。その結果、「音の響きの長さ」に対する視覚情報の有無による評定値の変化が有意であることが明らかになった。また、視覚情報から想起される「響きの長さ」と、ホール内観に関する評価項目（ホールの大きさ感、横幅、天井高、奥行き）の間の相関係数に有意性が認められた。更に、ホール客席部において聴衆が想起する音響状態を明らかにするため、調整法を用いた残響時間の同定実験を行った結果、視点からステージ上の基準点までの直線距離が残響時間の予想に影響を与えることを明らかにした。

和仁・寺島^{86), 87), 97), 98)}は、因子分析とベイジアンネットワーク分析を用いた空間印象の評価構造を把握することを目的として堀内らと同様の手法を用いた実験を行ったが、画一的な結果は得られなかった。しかしながら、視覚刺激の単独提示・聴覚刺激の単独提示・視覚刺激と聴覚刺激の同時提示という刺激の3つの提示条件を定め、それぞれの条件において主観評価実験を行い、視聴覚相互作用が提示条件の違いによる主観印象の変化として表れると考えて分析を行う手法を確立した。この手法を用いた実験によって、聴覚刺激の残響時間に対する聴覚印象の評価傾向はおおよそ把握できたものの、視覚印象に関する分析は詳細には行われなかった。この理由は、視覚刺激であるパノラマ画像における視覚情報の数値パラメータ化が難しいことが関連している。

以上の発表論文は、先行研究として本論文の参考文献に含まれている。

筆者らは、まず、聴覚印象に対して視覚情報が与える影響について考察するため、和仁らの研究において得られた視覚情報と聴覚情報の提示条件の違いによる聴覚印象の変化をより定量的に捉えられるように評定倍率（視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における評定値を、聴覚刺激の単独提示の評定値で除した値）で表した上で、被験者が視覚情報のみから予想した空間の響きの残響時間（予想残響時間）と聴覚印象の主観評価の関連性に注目して実験結果の分析を行った^{[2], [7], [8], [9], [10], [11], [13]}。次に、残響時間等の音響パラメータのバリエーションを容易に実現するため、デジタル・シグナル・プロセッサを用いて疑似的なインパルス応答信号を作成し、それらに対する主観評価と今まで用いてきた実測のインパルス応答に対する主観評価を比較し、評価傾向には大きな違いがないことを確認した^{[5], [15]}。さらに、提示条件の違いによる主観印象の変化を評定倍率に替わって評定平均値の差分（視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における評定値から、聴覚刺激の単独提示の評定値を引いた値）で表すことで純粋な評定値の変化量が分かるようにした。その上で、視聴覚相互作用が生じる範囲をおおよそ特定するため、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせに対する違和感（不整合な、調和していない感じ）と前述の差分の関連性を探った^[1]。

また、筆者は川合らと共に、従来の評定尺度法と被験者が比較的回答しやすいと言われる一対比較法によって同様の刺激・評価項目を用いた主観評価実験を行うことで、建築空間の視聴覚印象を評価する際に被験者はどちらが回答しやすいか、またそれらの評価結果に大きな差が生じないことを確認した^{[6], [12], [14], [16]}。また、刺激の各提示条件において用いる評価項目を統一することで、視覚情報が聴覚印象に及ぼす影響及び聴覚情報が視覚印象に及ぼす影響をより正確に判断できるように実験方法を改めた。更に、視覚刺激の変数のパラメータとして照度を導入したが、視覚刺激の3段階の照度に対して明確な影響が生じた主観評価項目は「空間の明るさ」のみであり、聴覚印象を含むその他の主観評価項目に対する印象評価にはほとんど照度の影響が無いことが明らかになった¹⁰⁴⁾。

さらに、筆者は竹山らと共に、評定平均値の差分と、予想残響時間と聴覚刺激の残響時間の差の関連性に注目して実験結果の分析を行った。その結果、予想残響時間と聴覚刺激の残響時間の差が小さいほど差分の絶対値が大きくなる傾向が見られたことから、建築空間においても岩宮が提唱するような視聴覚統合が生じる視聴覚刺激の組み合わせが存在する可能性があると考えた^{[17], [19]}。そこで筆者は、聴覚印象に対する視覚情報の影響に加え、視覚印象に対する聴覚情報の影響も考慮する必要があると考え、先行研究における実験結果から、視聴覚相互作用が生じる条件及びその作用における印象変化について検証を行った。その結果、予想残響時間と聴覚刺激の残響時間の差が小さい、つまり視覚情報と聴覚情報の整合性が高い場合に刺激の提示条件間の評価構造が変化する可能性がうかがえ、因子分析を通して視聴覚統合が生じた状態における視聴覚相互作用による効果を明らかにした^{[18], [20]}。

なお、筆者は徳永らと共に、視覚刺激を自動車の走行映像、聴覚刺激を自動車の走行音（交通騒音）とした場合の、聴覚刺激単独提示と視聴覚刺激同時提示それぞれにおける音の大きさやうるささを評価させる実験を行った結果についてもまとめている^[4]。この実験結果から、聴覚刺激単独提示時のほうが評定値はやや大きくなることが分かり、調和した音と映像を同時に視聴することで、音源が明確になることによってそれが騒音であるという認識（うるささのようなネガティブな評価）に変化が生じる可能性がうかがえた。

なお、これらの発表論文は、筆者の関連論文に含まれている。

以上のように、視聴覚相互作用に関する研究は、初期には認知科学の基礎的なテーマで行われたが、その後は主に映画やミュージックビデオ、テレビ番組といった映像作品への応用等に研究テーマがシフトしてきた。この応用研究に含まれる建築音響に関連する研究テーマのうち、建築音響設計に資する知見を得ようとする研究としては、森本ら¹⁰⁾の研究を除き、三重大学寺島研究室で行われてきた研究が占めている。本研究は、これまで主に映像作品等への寄与が目的であったこの分野の研究の方向性を建築音響設計に向け、建築空間で体験する視聴覚環境におけるクロスモーダリティの存在を改めて明確にしようとするものである。

人間は聴覚情報から音場に対する主観（残響感など）を抱くと同時に、空間の視覚情報（形状や広さなど）、空間内表面の反射性状（吸音性・拡散性・反射性）をおぼろげながら推定すると思われる。また、視覚情報（写真や映像、設計図書など）からは空間の形状・大きさを詳細に読み取ることができると同時に、空間に対する主観（立体感や開放感など）を抱く。（ただし、設計図書を読み取るにはある程度の知識・経験が必要であるため個人差が大きい。）ここで、視覚情報と聴覚情報が同時に存在する状態で音場の主観を問うた場合、聴覚刺激によって抱いた主観印象に基づいて想起された室の状態のイメージが、視覚情報によって想起された室の状態のイメージと照らし合わされ、音場の主観印象は視覚情報から想起された室の状態にふさわしい音場側に修正されることが考えられる。

例えば、大空間や反射性仕上げの室内では残響時間が長いなど、我々は今日に至るまで蓄積された様々な経験に基づいて視覚情報と音場体験を関連させ印象調整を図る心理メカニズムを持っていると思われる。大空間における音響パラメータの主観（視覚刺激に基づく期待値）が客観（実測値）を上回るという Valente らの知見によれば、現実には室内の空間刺激に曝される在室者は少なからずそのギャップを感じているが、辻褄を合わせるように無意識に印象を調整していることがうかがえる。これに対して筆者は、視覚的に捉えることができる室内の様々な仕様の違いが室内音場に対する聴覚印象に有意に影響を与え、聴覚印象の変化を引き起こす可能性があると考えている。一方、岩宮らによれば、視

聴覚統合による共鳴現象や協合現象が生じるには、脳が両刺激の間に関連性を認める（視聴覚統合が生じる）範囲内に収まっている必要があり、極端な視聴覚刺激の組み合わせでは効果は望めないとされている。このような心理的な調整が建築空間においても生じるならば、その条件と程度を明らかにすることで、建築音響設計に視覚情報の影響を考慮する必要性や VR 技術を用いたコンテンツ等への応用を議論していくことができるようになると考えている。

本研究が他の研究者らによる既往研究と大きく異なる点は、室内で発生する任意の音またはインパルス応答信号そのものにより在室者が能動的に感じ取る総合的な室の響きの印象（残響感や明瞭感等）のみを対象としていること、さらに視覚情報から室内全体の状況を把握できるように視覚刺激として Apple 社の QuickTimeVR 形式のパノラマ画像を用いている点である。従来の研究では視覚刺激が定点観測的に与えられていたこと対し、視覚刺激を QuickTimeVR 形式のパノラマ画像とすることで、室内の全方向にわたる情報が得られる総合的な視覚体験を被験者に提供している。ここで、音源として音楽演奏を対象とし、ラウドネスや距離感・音の拡がり感を扱うような場合には、視覚刺激に音源自体が明示的に現れることが必要であると思われるが、本研究においては聴覚刺激の性質上、視覚刺激には音源は明示されないものとしている。

本論文は、これまで著者が行った一連の研究成果を総括したものである。本研究の特徴を以下にまとめる。

- ・ 音楽空間に限らず、一般的な建築空間を対象とする。
- ・ 建築音響設計や VR を用いた仮想空間の制作に寄与することを目的に、聴覚印象に対する視覚情報の影響および視聴覚相互作用に関する知見を得ている。
- ・ 視覚刺激及び聴覚刺激の単独提示および同時提示における心理量を測定し、直接に比較することで単純ではあるが明瞭に結果を考察している。更に、評価構造の変化にも着目している。
- ・ 聴覚刺激として音場を用いている。すなわち室の音響インパルス応答に含まれる全ての情報が刺激として表現される。
- ・ 視覚刺激として、室内を 360° 見渡すことができ、視覚的に広さや形状・材質などの情報が読み取れるパノラマ画像を用いている。
- ・ 室内空間における視聴覚統合に着目し、主観的な違和感との関連性を検討している。
- ・ 印象変化（主観量）と残響時間（物理量）の関係性を明らかにし、視聴覚統合の有効範囲内外における印象変化を引き起こすメカニズムのモデルを提案している。

1-3 本研究の概要と本論文の構成

本研究は、様々な建築空間の内部における、音源の種類によらない反射音構造としての音場を聴覚刺激、空間の広さや形状や質感などが読み取れるパノラマ画像を視覚刺激として、被験者に対して刺激各々の単独提示および両刺激の同時提示を行う視聴覚印象に対する主観評価実験を行い、得られた結果から、これら提示条件間の心理量の変化を統計的に分析し、建築空間の視聴覚相互作用について考察を行っている。

本研究の予備的な段階においては、この実験方法の妥当性の検証を試みるための実験を行っている。無響室において被験者に提示された実在する空間のパノラマ画像（視覚刺激）とインパルス応答信号による音場（聴覚刺激）に対して測定された視聴覚印象を、実際の空間において測定された印象と比較し、両者に大きな差がないことを確認している。また、特定空間に直接結びつく被験者個人の体験の影響について検証する実験を行っており、その結果から概ね影響が少ないことを確認している。なお、この一連の予備実験の概要と結果については付録 2, 3 に示し、本編には記載しない。

本編に記載される研究の主段階においては、様々な条件下における主観評価実験とその分析を実施している。本研究では、建築空間の視聴覚環境下での視聴覚相互作用の存在を明らかにするため、評価対象を視覚印象と聴覚印象にわたって広範に用意する必要があり、心理量の数量化に SD 法を採用した。

SD 法は、1 次元的に順序づけられた 5 または 7 段階の評価尺度を用い、対象がどの段階に当てはまるかを判断させる。刺激数や評価項目数が多くてもデータ収集およびデータ処理が容易であることが特徴で、音・映像・色彩などを提示された際に生じる心理反応などを捉える方法として、1・2 節で挙げた既往研究でも多く用いられている。実験結果に対して統計的処理を行うためには最低でも 10 人、望ましくは 20 人以上のデータを収集する必要があると言われている^{23), 73)}。また、心理効果によって得た印象の評価構造を確認する場合、数量化 III 類に対応する因子分析を行うことが可能である³⁶⁾。

主観評価実験においては、主に室内音場の時間次元に関する聴覚印象「残響感」の測定結果に対する分析が行われ、提示条件間における聴覚印象の差の有意性から視覚情報が聴覚印象に与える影響を確認するとともに、この影響と音場の物理特性（特に残響時間）や予想残響時間との関連性、さらに視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせの不整合によって生じる違和感との関連性を考察している。また、提示条件間の評価構造の変化を明らかにし、視聴覚印象の変化が生じる条件の範囲や視聴覚統合との関係性についても考察を行っている。

さらに、一連の実験結果を総合し、視聴覚相互作用による印象変化と視聴覚統合の成立条件との対応関係を明らかにし、建築空間における視聴覚相互作用による印象変化を引き

起こすメカニズムに対してモデルを提案するとともに、従来の建築音響設計に用いられる指標に対して、視聴覚相互作用の効果を取り入れた新たな設計指標の提案を検討している。

以下に、本論文の構成及び各章の概要を示す。図 1-3 は、本論文の構成を簡潔にまとめたものである。

第 1 章では、本研究に関する研究背景及び本研究の位置づけを示すとともに、本研究の概要について記述する。

第 2 章では、視聴覚相互作用の存在を明らかにするため、建築空間の意匠や室容積などといった視覚情報が、建築空間の音場に対する聴覚印象に与える影響を明らかにするとともに、視聴覚刺激の組み合わせの不整合によって生じる違和感と聴覚印象の関連性について考察するため、被験者に対して聴覚刺激のみを提示する条件と視覚刺激と聴覚刺激を同時提示する条件において聴覚印象の主観評価実験を行った結果とその分析を示す。

第 3 章では、視聴覚相互作用の存在を明らかにするため、建築空間の聴覚印象に対する視覚情報の影響に加えて、視覚印象に対する聴覚情報の影響についても検討する。視覚と聴覚で同じ形容詞で表現できる印象に対する主観評価実験を行った結果を記述する。

第 4 章では、第 2 章と第 3 章で得られた結果をふまえて、視聴覚相互作用による評価構造の変化を明らかにするため、第 3 章のような形容詞の限定をせず、幅広い形容詞を用いて主観評価実験を行った結果を示す。また、その結果に対して因子分析を行い、特に関連性の強い視覚印象と聴覚印象を示す。

第 5 章では、第 4 章までに得られた知見を総合して、建築空間における視聴覚相互作用による印象変化のモデルを提案した。さらに、従来の建築音響設計に用いられる指標に対して、視聴覚相互作用の効果を取り入れた新たな設計指標の提案を検討する。

第 6 章では、各章の小活を総括するとともに、本研究のまとめ及び今後の課題を示す。

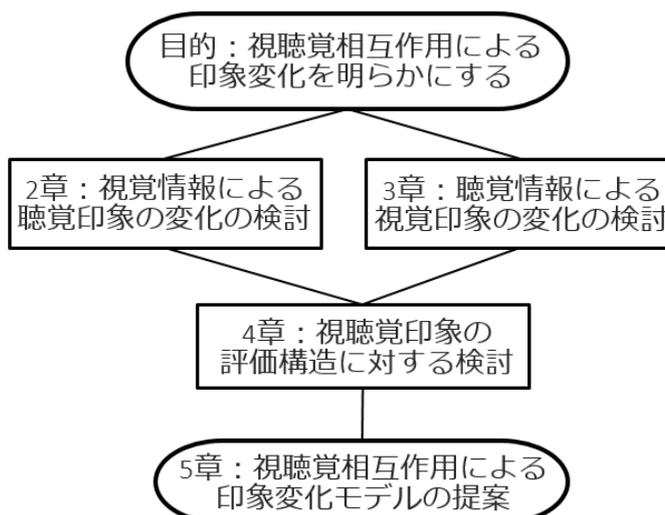


図 1-3 本論文の構成

第2章 建築空間における聴覚印象に対する視覚刺激の影響及び違和感との関係

2-1 はじめに

本章の主たる目的は、建築空間における聴覚印象に対する視覚情報の影響を明らかにすることである。また、その聴覚印象に対する影響を生じさせる要因が、視覚情報から予想・期待される聴覚印象と実際に提示される聴覚刺激によって与えられる聴覚印象との間の整合性に関連があると考え、同一の視覚刺激に残響時間の異なる聴覚刺激を組み合わせ提示した場合の聴覚印象及び違和感を測定する主観評価実験を実施し、得られた結果からそれらの関連性を分析する。

2-2 実験室における聴覚印象に対する主観評価実験

聴覚刺激の単独提示、視覚刺激と聴覚刺激の同時提示という2種類の提示条件において、室内音場の時間次元に関する主観属性の「残響感」などの聴覚印象に対する主観評価実験を行い、提示条件間における聴覚印象の変化（すなわち視覚情報が聴覚印象に与える影響）と音場の残響時間の関連性、さらに視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせの不整合によって生じる違和感との関連性について考察を行う。本節では聴覚刺激の作成方法とその提示方法が異なる2種類の主観評価実験を行った結果を示し、それぞれを実験Ⅰ、実験Ⅱと呼ぶこととする。

視覚刺激の概要

視覚刺激は実験Ⅰ,Ⅱで共通であり、表2-1に示す用途や仕様の異なる3空間（CL：大学講義室、MU：多目的ホール、GY：体育館）の内観を示すQuickTimeVR形式のパノラマ画像である（図2-1～2-3、写真2-1～2-3を参照）。なお、表2-1における天井高、幅、奥行きはデジタル距離計で測定した内法寸法であり、図2-1～2-3の平面図上の寸法とはやや異なる。また、容積は内法寸法から算出した概算値である。なお、図2-1～2-3における被験者位置は、視覚刺激のパノラマ画像撮影位置、つまり視覚刺激における視点に対応している。

写真2-1～2-3は、特定方向で切り取った3空間の画像の一部である。これらは全周魚眼レンズを用いて対象空間の中央部（MUのみステージ中央部から約13m離れた客席部）で撮影した3方向（室正面を0°とし、そこから120°及び240°回転した方向）のデジタル写真をソフトウェア（フリーウェアのFish4Cube）で合成してQuickTimeVR形式に変換したカラーのパノラマ画像であり、表示解像度は480×320ピクセルであった。パノラマ画像は、写真撮影地点を視点としてパソコンのマウス操作によって視線方向を自由に変更でき、室内を360°ブラウズすることが可能である。なお、3空間内の明るさがほぼ等しく感じられるように、合成前の写真は予め、画像加工ソフトウェア（フリーウェアのImageJ）を用いて各空間の画像の輝度レベルを3空間の平均値に揃える処理を施した。

表2-1 対象空間の概要及び音響特性（500 Hz 基準）

空間/ 刺激名	空間用途	容積 [m ³]	天井高 [m]	幅 [m]	奥行き [m]	T ₆₀ [s]	C ₈₀ [dB]
CL	大学講義室	750	3.3	10.9	19.7	0.68	7.0
MU	多目的ホール	12000	14.5	48.4	41.6	1.50	0.2
GY	体育館	6000	8.8	20.5	33.3	3.07	-4.1

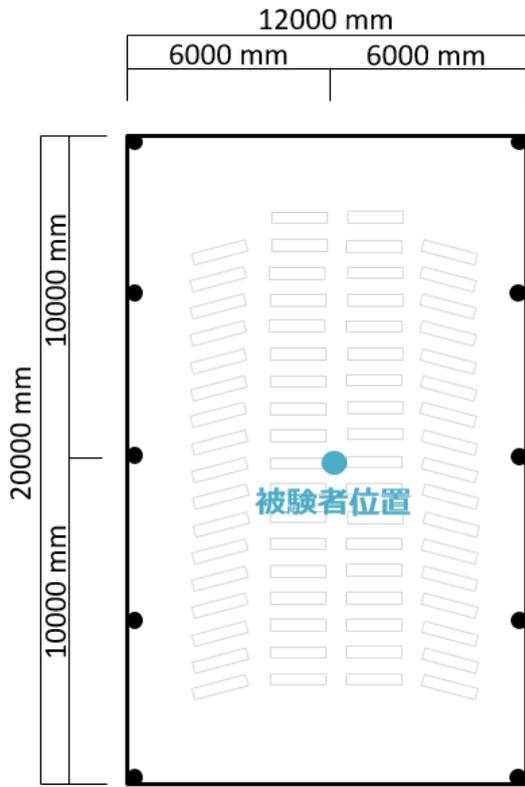


図 2-1 空間 CL の平面図



写真 2-1 空間 CL のパノラマ画像の一部

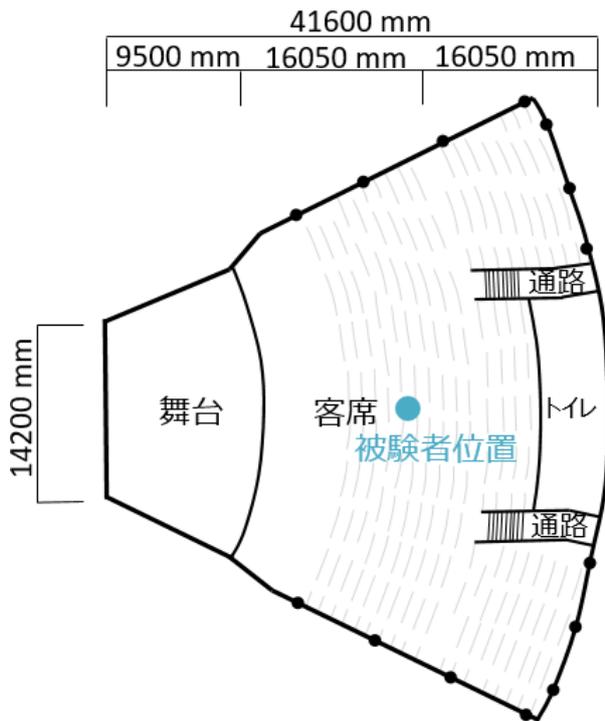


図 2-2 空間 MU の平面図



写真 2-2 空間 MU のパノラマ画像の一部

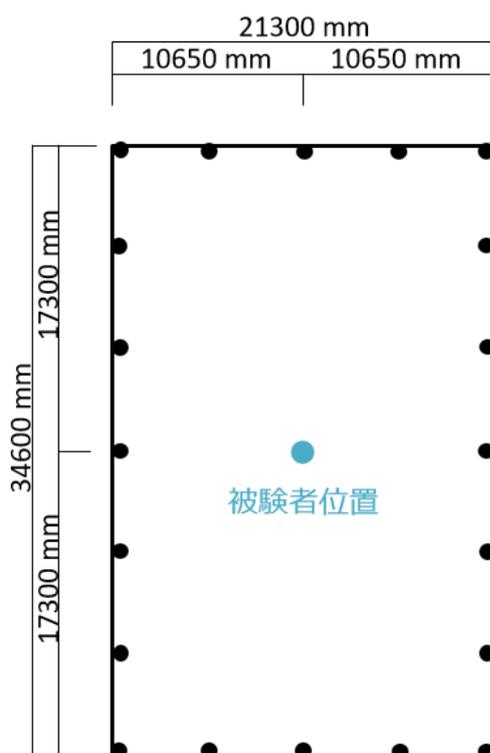


図 2-3 空間 GY の平面図



写真 2-3 空間 GY のパノラマ画像の一部

実験 II で用いたパノラマ画像は New House Internet Services BV 社の PTGui で画像合成を行い、解像度が 1920×1080 ピクセルに向上した。なお、実験前に実験室内で全画像の試写を行い、視覚刺激の空間を十分把握できるものであることを確認しており、主観評価において解像度の違いによる主観評価への大きな影響はなかったと推察される。

両実験において、実験実施中は無響室内の照明は全て消灯し、画像投影時におけるスクリーン中央部の平均照度は約 200 lx であった。ただし、聴覚刺激を単独提示する実験条件においては、スクリーン上にグレーの無地画像（グレースクリーン）を表示した。実験中の室温は約 23°C に保たれ、室内の設置機器からの発生音を含んだ被験者位置における暗騒音は $L_{\text{Aeq}}=36 \text{ dB}$ 程度であった。実験開始前には実験の流れや各主観評価項目の意味、評価方法などについて実験者から被験者に教示を行った。この間、5 分程度の時間を確保することで、被験者を無響室内の暗さに順応させるようにした。

2-2-1 聴覚刺激を実時間畳み込みにより提示する実験（実験 I）

2-2-1-1 実験概要

実験システムの概要

実験 I では、無響室において図 2-4 のように対象空間の視聴覚環境を再現提示する実験システムを用いた。被験者近傍にデジタル・シグナル・プロセッサ（YAMAHA SPX990、

以下 DSP と省略) を設置することで、後に示す予想残響時間の同定を被験者自身のコントロールによって行えるようにした。なお、視覚刺激の単独提示における予想残響時間の同定は超指向性マイクロホン (Primo EMU-4740) からの入力が入る回路を用い、聴覚刺激の単独提示以降はマイクからの入力がオーディオインターフェース (RME FIRE FACE 800) に入る回路を用いている。この際、パソコン (Apple Mac Pro) 上で作動するソフトウェア (Logic Pro) の音場畳み込みプログラムである Space Designer に聴覚刺激となるインパルス応答信号を読み込み、入力された任意音に響きを付加して即時にフィードバックすることができる。各種音響出力はアンプ (YAMAHA XM 6150) 及びスクリーンの背後に設置したスピーカ (YAMAHA S55) を通して再生される。

さらに、被験者近傍にパソコンと無線接続されたマウスを設置することで、被験者が手元のマウス操作によって提示された視覚刺激の視点を移動させ、対象空間の室内を適宜見渡すことができるようにした。被験者位置から見たときのスクリーンに投影された視覚刺激の水平視野角は 34.5° であった。

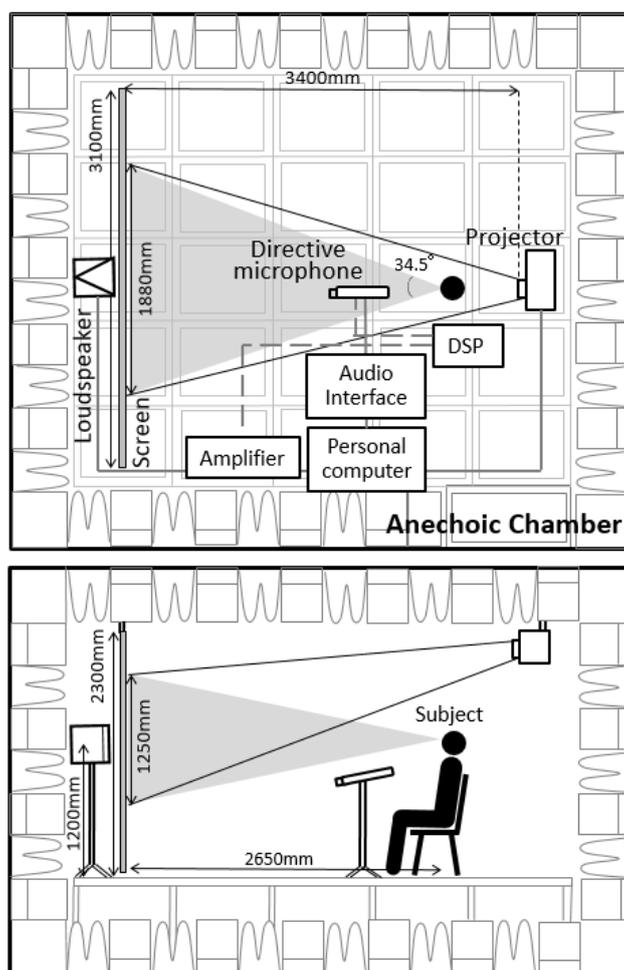


図 2-4 実験システムの概要 (上: 平面 下: 断面)

聴覚刺激の概要

実験 I の聴覚刺激は、視覚刺激のパノラマ写真が撮影された場所において実測されたモノラルのインパルス応答の PCM 信号 (cl_1, mu_3, gy_6)、及びそれらに波形編集ソフトウェアを用いた加工を施すことでおよそ 0.5 s の間隔で概ね 0.5~3.0 s の範囲に残響時間が分布するように作成されたモノラルの PCM 信号 (cl_x, mu_x, gy_x) である。各対象空間に対する 4 または 6 種類の聴覚刺激の残響時間を表 2-2 に示す。空間 CL は残響時間が短く、波形編集処理により聴感が損なわれない範囲の信号のみを採用したため 4 種類となった。

これらの信号は直接再生されるのではなく、図 2-4 に示した通り、無響室内で被験者が発する任意音（マイクロホンに向けて発した声や手を叩く音）にパソコンを通じて実時間で畳み込むことによってスピーカからのモノラル再生で提示された。

表 2-2 実験 I の聴覚刺激の残響時間

刺激名 ($x=1\sim6$)	500 Hz基準の残響時間 T_{60} [s]					
	1	2	3	4	5	6
cl_x	0.68*	0.96	1.65	1.99	-	-
mu_x	0.46	1.07	1.49*	2.05	2.56	2.91
gy_x	0.45	0.98	1.41	2.25	2.65	3.05*

*印：各対象空間における実測の残響時間

実験手順

実験 I は、残響時間の予想値の同定・聴覚刺激の単独提示における主観評価・視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における主観評価で構成され、この順で実施された。

・ 残響時間の予想値の同定

視覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、視覚刺激から読み取れる空間の情報に基づき、空間に適合すると思われる残響時間を予想させた。

被験者は、マイクロホンに向けて自身が発した任意音が DSP によって残響を付加され、スピーカからフィードバックされる音を確認しながら、DSP のダイヤル操作によって残響時間を 0.1 s 単位で調整することで予想した残響に近づける作業を行い、最終的なダイヤル設定値を実験者が確認した。この時、DSP に設定した残響特性は典型的な指数減衰であった。各視覚刺激に対し、初期値によって上昇系列（残響時間 0.3 s から徐々に長くする）と下降系列（残響時間 5.0 s から徐々に短くする）の 2 方向から漸近した最終的なダイヤル設定値を算術平均し、残響時間の予想値（以下、この値を予想残響時間または Expected Reverberation Time 略して ERT と呼ぶ）を算出した。

・ 聴覚刺激の単独提示における主観評価

聴覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、特定の空間をイメージさせずに表 2-3 に示す聴覚印象の評価項目（響きの長さ、残響感、明瞭感）について7段階（-3～+3）の カテゴリー尺度で回答させた。被験者は各聴覚刺激に畳み込まれた任意音のフィードバックを確認しながら、評定値を回答した。

・ 視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における主観評価

同空間の視覚刺激と聴覚刺激を組み合わせて（CL-cl_x, MU-mu_x, GY-gy_x の計 16 種類）被験者にランダムな順で提示し、表 2-3 に示す聴覚印象の評価項目に加え、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせに対する違和感の程度を7段階（0: 違和感がない～+6: 違和感がある）の カテゴリー尺度で回答させた。聴覚刺激単独提示の場合と同様に、被験者は自身が発した任意音が聴覚刺激に畳み込まれたフィードバック音を確認して評定値を回答した。

表 2-3 評価項目

項目	形容詞対	
響きの長さ	短い	長い
残響感	乏しい	豊かな
明瞭感	ぼんやりした	はっきりした
違和感	違和感のない	違和感のある

響きの長さ

残響時間に応じた一次元的な響きの長さの感覚。残響時間が短いほど響きは短く、残響時間が長いほど響きは長く感じられる。

残響感

室内音場の時間的・空間的印象を包括した幅広い評価概念¹¹⁾。響きのエネルギー感、密度感とも言われる。四方から反射音が届くと残響感は豊かに、到来方向に偏りがあるなどで反射音が不十分であると残響感は乏しく感じられる。

明瞭感

音の聞き取りやすさに対する感覚。発生した音（直接音）があまり変形されなければ明瞭性は高くはっきりした印象になり、直接音が残響によって変形するほど明瞭性は低くぼんやりした印象になる。

違和感

視覚情報と聴覚情報の組み合わせに対する整合性に関する印象。整合性が高ければ違和感は小さく、整合性が低ければ違和感は大きくなる。

被験者属性

被験者は正常な視覚と聴覚を有する 20～50 代の 9 名（男性 6 名、女性 3 名）であった。被験者は主に三重大学工学部建築学科に所属する学生であり、建築音響学の基礎的な知識を有していた。また、視覚刺激の対象空間となる 3 空間はいずれも三重大学構内の施設であり、これらの空間を利用した経験のある被験者が全体に占める割合（3 空間の平均）は 89%以上であった。

2-2-1-2 実験結果と考察

実験 I における聴覚印象の評価項目に対するカテゴリ尺度を用いた評定平均値と、それを範疇判断の法則により間隔尺度の値に換算したときの関係性を図 2-5 に示す。本実験の結果に関しては、カテゴリ尺度と間隔尺度は高い相関（0.86～0.96）を示すことが確認でき、評定結果は間隔尺度上の値とみなすことができると考えられる。

予想残響時間

各空間に対する予想残響時間と実測の残響時間の関係を図 2-6 に示す。○点で示される全被験者の予想残響時間の平均値は、概ね実測の残響時間に応じて長くなる傾向が見られた。全被験者の予想残響時間の平均値は空間 CL で 0.92 s、MU で 1.89 s、GY で 2.98 s であり、対象空間の残響時間の実測値に対して CL と MU でそれぞれ 0.24 s、0.39 s 長く、GY で 0.09 s 短かった。●点で示される被験者の予想残響時間の分布に対し、各空間の残響時間の実測値を比較値として母平均の検定を行った結果、いずれも有意差は認められなかった。

空間 MU に関しては、実測の残響時間よりもやや長い残響時間を予想した被験者が多く、ホールはよく響くという予断をもって判断された可能性がある。また、空間 GY は予想残響時間の平均値と実測の残響時間との差は小さいものの、約半数の被験者で上昇・下降方向の予想値が大きく異なり、判断が難しかったと思われる。Valente ら^{56), 64), 72)}は、容積が大きい空間の視覚情報による残響時間の予想値が実測値を上回る傾向を報告しているが、空間 GY はこの傾向に当てはまらなかった。Valente 等と実験方法が異なること、空間 GY は壁面の反射率が高く、容積と残響時間の関係性が日常空間から大きく外れていることなどが原因と思われる。

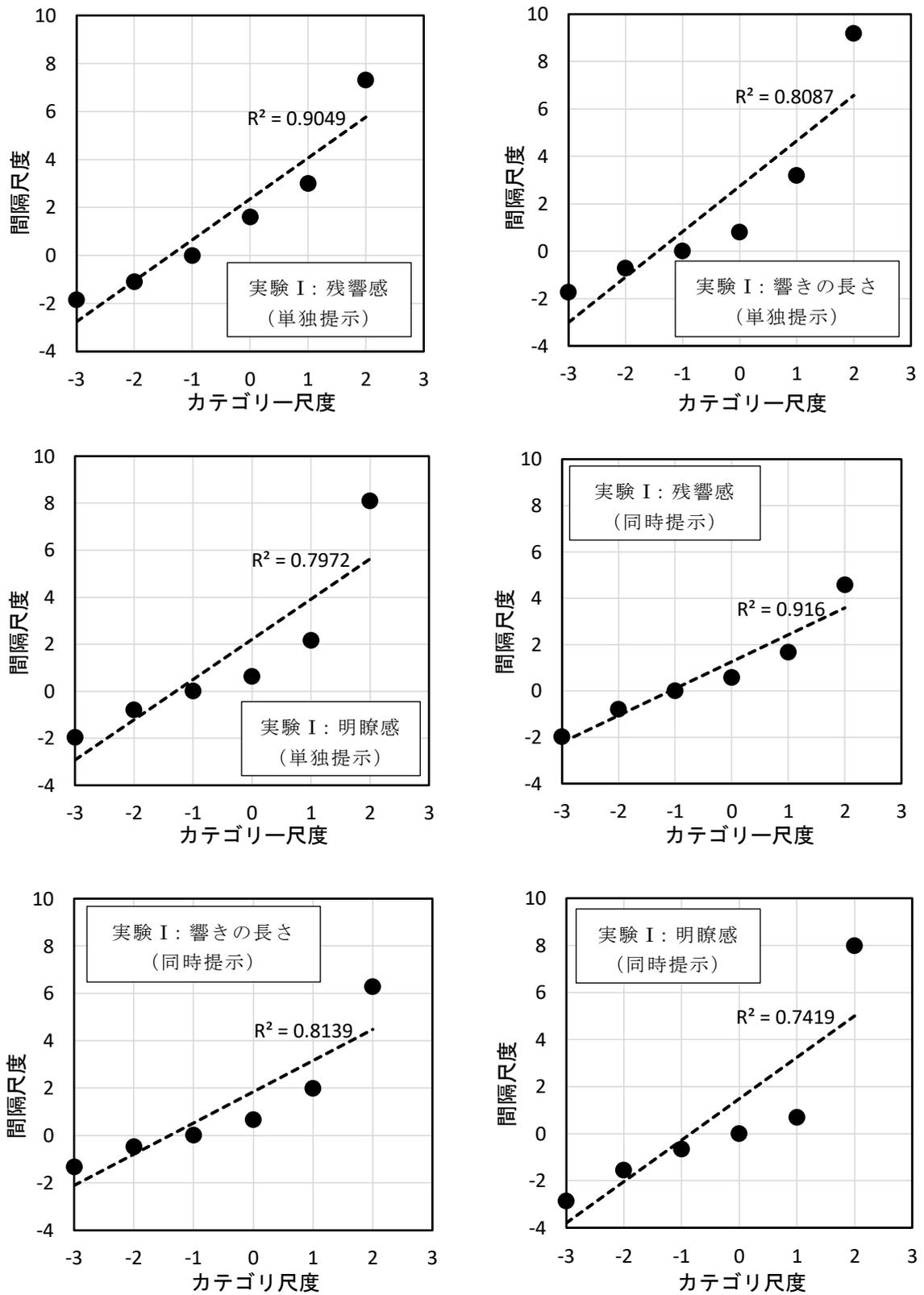


図 2-5 実験 I におけるカテゴリ尺度と間隔尺度の評定平均値の関係性

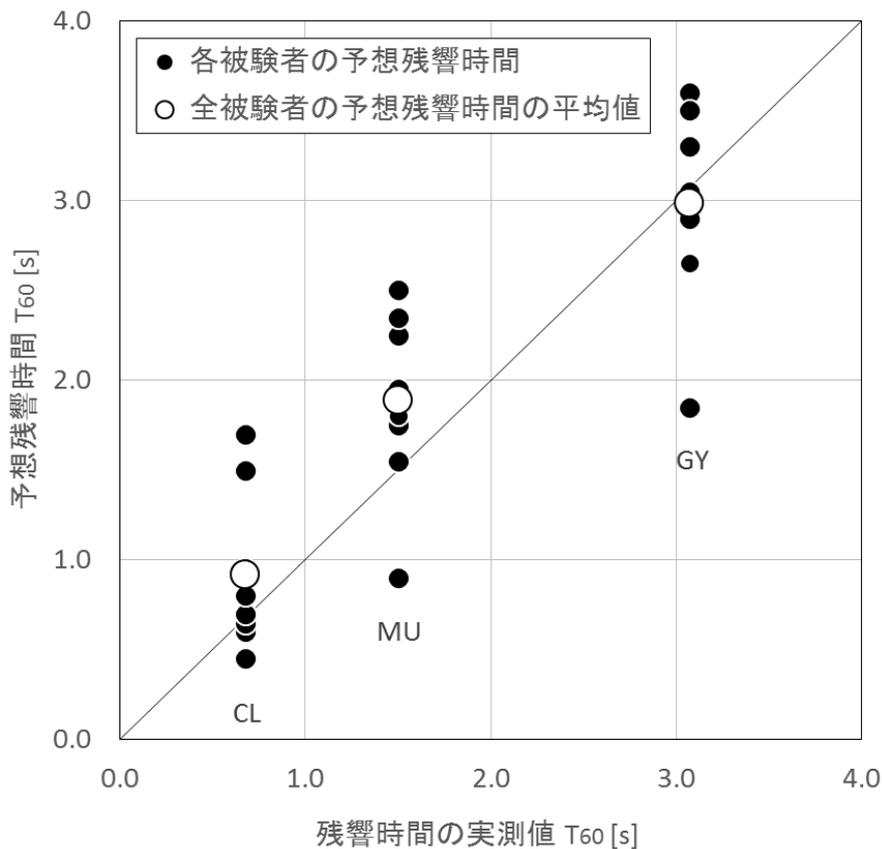


図 2-6 予想残響時間と実測の残響時間の関係

提示条件ごとの聴覚印象の評価

聴覚刺激の単独提示における聴覚印象の評定平均値の、残響時間実測値による変化を図 2-7 に示す。いずれの空間（聴覚刺激系列）においても、「響きの長さ」と「残響感」は概ね残響時間の順に“長い”及び“豊かな”と評価され、「明瞭感」はこれらとほぼ相反する評価がなされた。また「響きの長さ」と「残響感」は、聴覚刺激の残響時間が長くなるにつれて評定平均値の増加率が緩やかになる傾向も見られる。

同時提示における聴覚印象の評定平均値の、残響時間実測値による変化を図 2-8 に示す。こちらも単独提示とほぼ同様の傾向がうかがえる。

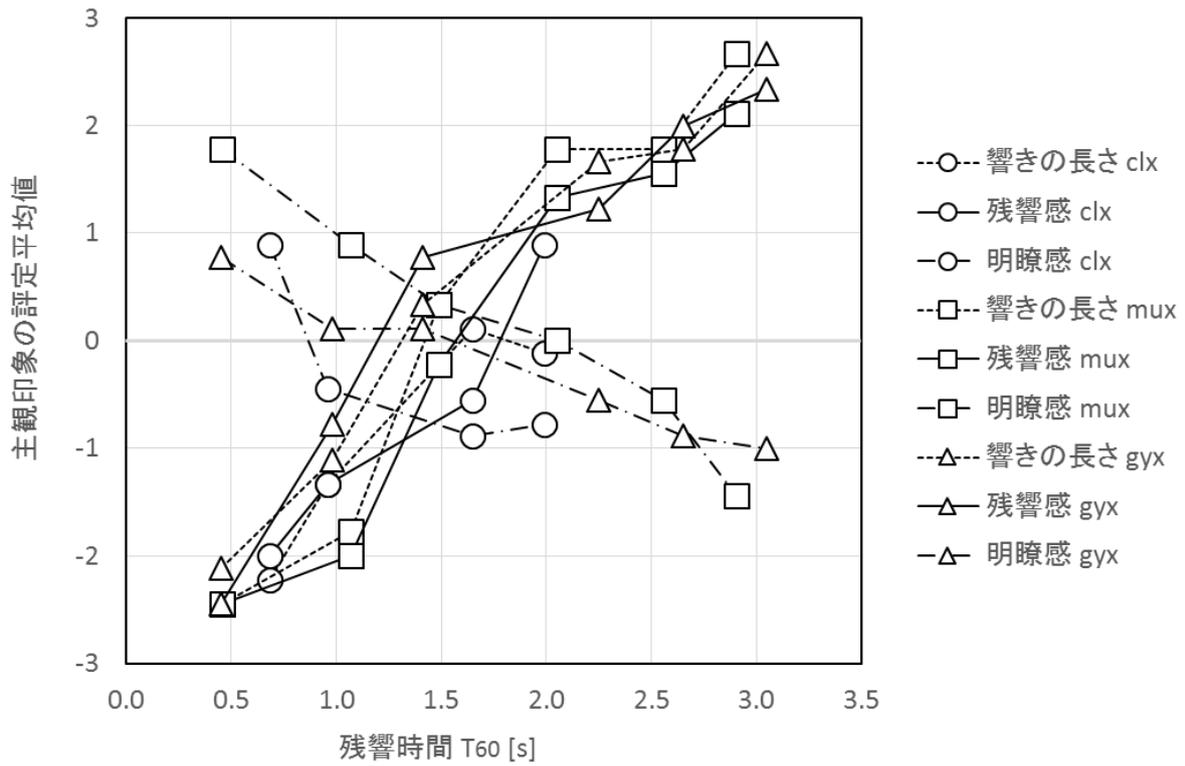


図 2-7 聴覚刺激の単独提示における聴覚印象

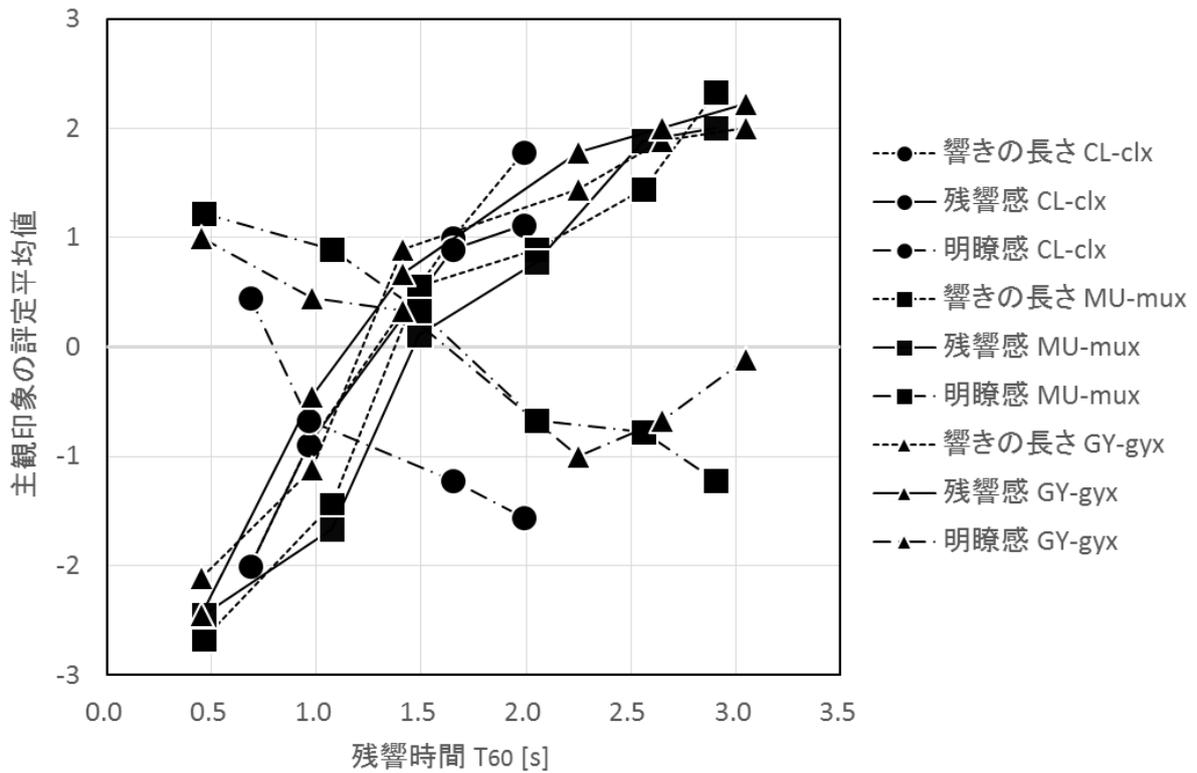


図 2-8 視聴覚刺激の同時提示における聴覚印象

単独提示と同時提示の聴覚印象の差

空間 CL, MU, GY に対する聴覚印象の、同時提示時の評定平均値から聴覚刺激の単独提示時の評定平均値を差し引いた提示条件間の差分（以下、差分と略す）と、同時提示時の「違和感」の評定平均値の残響時間に対する変化を図 2-9～2-11 に示す。これらの図中には、各空間に対する全被験者の予想残響時間の平均値と残響時間実測値が垂線で示されている。

図 2-9 に示す空間 CL における「響きの長さ」と「残響感」の差分は、全ての聴覚刺激において正の値となり、聴覚刺激 c_4 に対する「響きの長さ」においては比較値を 0 とした t 検定によって 5%水準で有意差が認められた。一方、「明瞭感」においては全ての聴覚刺激において差分が負の値となった。また、「響きの長さ」と「残響感」の差分は、概ね残響時間の増加に伴って大きくなる傾向が見られるが、「明瞭感」の差分に関しては -0.5 近傍に分布し、残響時間による変動があまり見られなかった。また、予想残響時間を超える残響時間を持つ聴覚刺激において、残響時間の増大に伴って「違和感」が大きく評価された。なお、この空間の残響時間実測値は 0.68 s であるが、予想値 (0.92 s) に最も近い聴覚刺激 c_2 の「違和感」が最も低く評価された。

図 2-10 に示す空間 MU に対する差分は、残響時間に対して 3 つの評価項目ともよく似た変動を示した。空間 MU は最も容積が大きく、残響時間が短い聴覚刺激において「違和感」が特に大きくなり、残響時間の予想値 (1.89 s) 付近で最小値をとってそれを超える残響時間では再び大きく評価されているが、その程度はあまり大きくない。

図 2-11 に示す空間 GY に対する差分は、空間 MU 同様に概ね 0 付近に分布しているが、3 つの評価項目は異なった変動を呈している。「違和感」は空間 MU と同様に、残響時間が短い聴覚刺激において特に大きく、1.5～2.0 s 付近で小さく、2.5 s を超えると再び大きく評価されているが、やはりその程度はあまり大きくない。空間 GY の容積は空間 MU の約半分であるが、残響時間の予想値 (2.98 s) と実測値 (3.07 s) はほぼ一致している。

以上をまとめると、小空間である空間 CL については、聴覚刺激に視覚刺激が付加されることで印象が変化し、「響きの長さ」と「残響感」は大きく、「明瞭感」は小さくなる傾向がみられた。また、この傾向は聴覚刺激の残響時間によって変動し、「違和感」との関連性があることを期待したい。一方、大空間である空間 MU, GY については、提示条件の違いによる印象変化及び聴覚刺激の残響時間による変動はあまり認められず、「違和感」との関連性もあまり見られなかった。

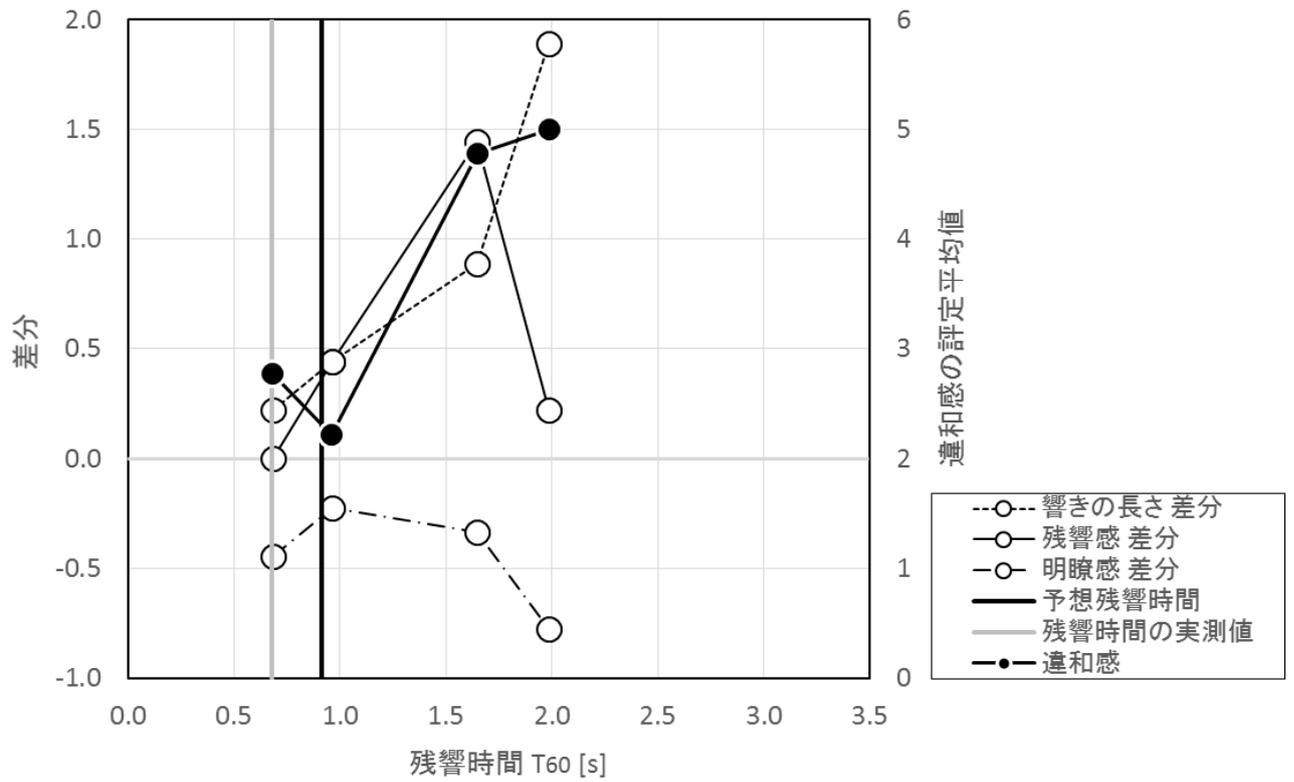


図 2-9 空間 CL に対する差分と違和感

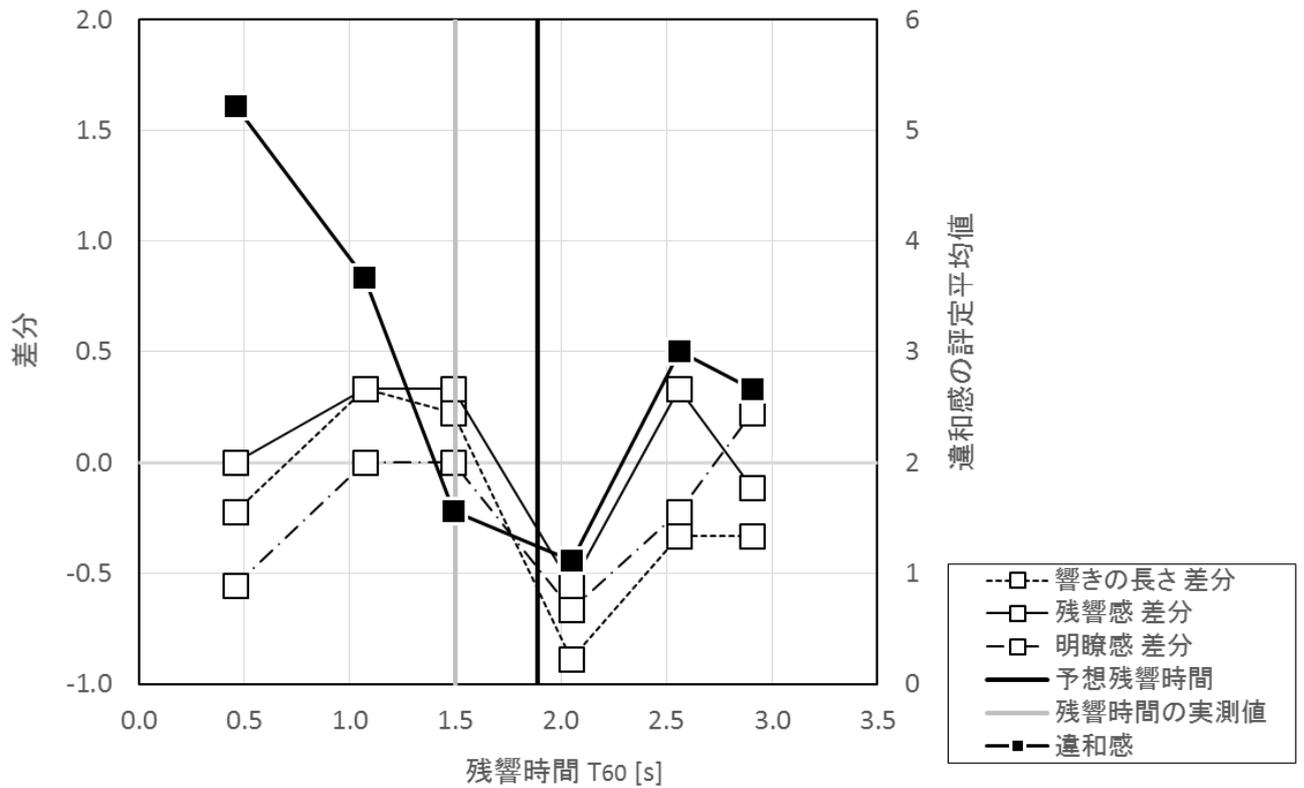


図 2-10 空間 MU に対する差分と違和感

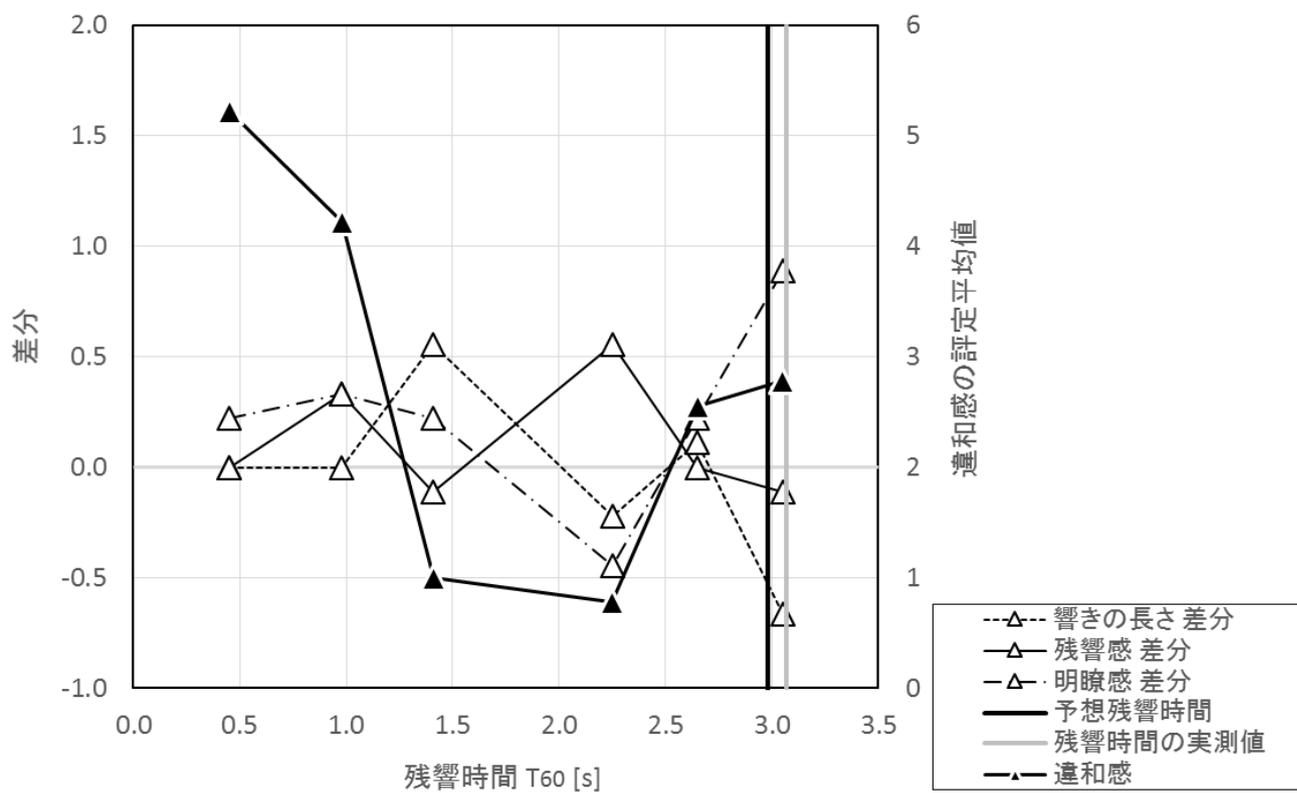


図 2-11 空間 GY に対する差分と違和感

2-2-2 聴覚刺激を直接提示する実験（実験 II）

2-2-2-1 実験概要

実験 II では、実験 I の結果をふまえて聴覚刺激の提示方法を変更し、評価対象を残響感と違和感に絞って分析を行う。

聴覚刺激の概要

実験 I の聴覚刺激は被験者が発する任意音に畳み込んで提示され、その提示レベルを統一できず、実験結果を見ると被験者間の聴覚刺激の認識にはややむらがあるように思われた。実験 II においては、聴覚刺激の提示にむらが生じないようにするため、インパルス応答信号をそのまま被験者に提示する方法を採用した。

また、実験 I では実空間で測定されたインパルス応答信号に対して波形編集を施して残響時間のバリエーションを設けていたが、残響時間を長くする加工処理には限界があること、波形編集の方法によっては残響時間以外の音響パラメータが大きく変化するなどの問題を有していた。実験 II においては実空間の音場に近似した音響条件を DSP 上で構築し、インパルス応答として書き出したモノラルの PCM 信号 (cl'_x , mu'_x , gy'_x) を聴覚刺激として用いた。残響時間のバリエーションは、DSP 上の残響時間のパラメータを調整することで容易に実現できた。このようにして作成された聴覚刺激の残響時間を表 2-4 に示す。なお、残響時間が長くなるほど残響時間の弁別閾が大きくなることから、2.0 s 以上の長い残響時間の範囲ではインターバルを 1.0 s 程度とした。また、聴覚刺激提示時の被験者位置での L_{Amax} を 78 dB 程度に統一した。

表 2-4 実験 II の聴覚刺激の残響時間

刺激名 (x=1~5)	500 Hz基準の残響時間 T30 [s]				
	1	2	3	4	5
cl'_x	0.64	1.25	1.80	2.26	3.35
mu'_x	0.57	1.02	1.44	2.02	2.99
gy'_x	0.49	0.97	1.51	1.94	2.96

実験システムの概要

上記の通り、聴覚刺激は既に Wave データとして作成されているため、実験システムは図 2-12 に示すように、パソコンからの出力が増幅されてスピーカから再生されるような回路である。被験者位置から見た視覚刺激の画像の水平視野角は 38.6° であった。室内の設置機器からの発生音を含んだ被験者位置における暗騒音は $L_{Aeq} = 36$ dB 程度であった。

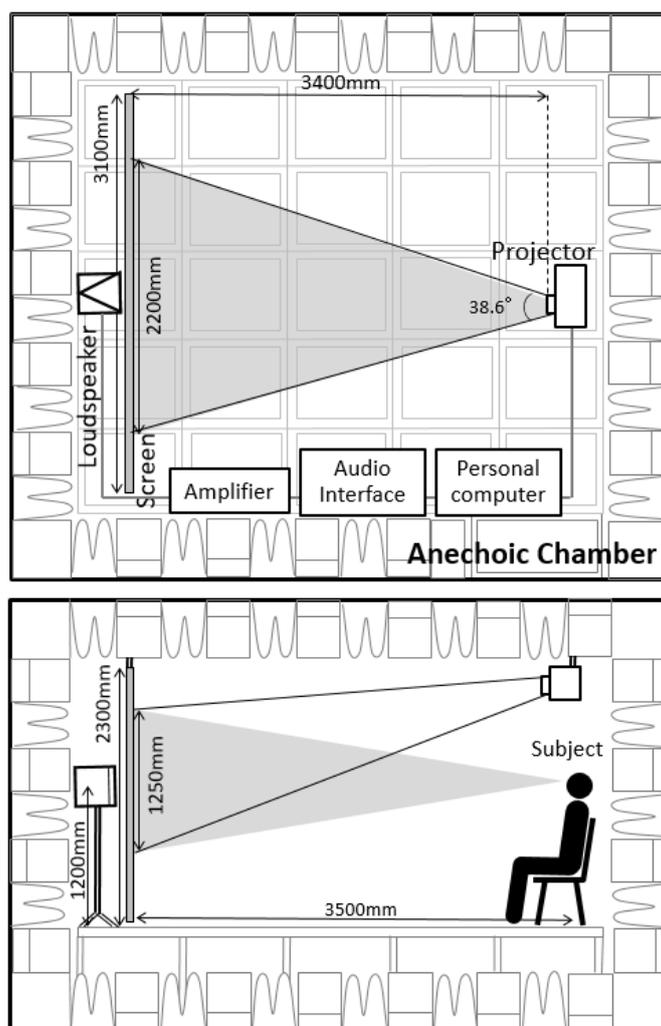


図 2-12 実験システムの概要（上：平面 下：断面）

実験手順

- ・ 聴覚刺激の単独提示における主観評価

聴覚刺激のみがランダムな順に提示され、被験者は特定の空間をイメージすることなく残響感を7段階（-3：乏しい～ +3：豊かな）のカテゴリー尺度で回答した。

- ・ 視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における主観評価

同空間の聴覚刺激と視覚刺激を組み合わせ（CL-cl_x, MU-mu_x, GY-gy_xの計15種類）被験者にランダムな順に同時に提示された。被験者は視覚刺激を見ながら聴覚刺激を聴いて、残響感に加え、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせに対する違和感の程度を7段階（0：違和感がない～+6：違和感がある）のカテゴリー尺度で回答した。

被験者属性

被験者は正常な視覚と聴覚を有する 20～50 代の 14 名（男性 9 名、女性 5 名）で、主に三重大学工学部建築学科に所属する学生であり、建築音響学の基礎的な知識を有していたが、うち 3 名はこの限りではなかった。被験者の 93%（3 空間の平均値）以上が対象空間の利用経験を持ち、実験 II の被験者のうち 3 名が実験 I の被験者と重複している。

2-2-2-2 実験結果と考察

実験 II における残響感に対し、カテゴリー尺度を用いた評定平均値と、それを範疇判断の法則により間隔尺度の値に換算したときの関係性を図 2-13 に示す。本実験の結果も実験 I と同様に、カテゴリー尺度と間隔尺度は高い相関（単独提示で 0.95、同時提示で 0.93）を示すことが確認でき、評定結果は間隔尺度上の値とみなすことができると考えられる。

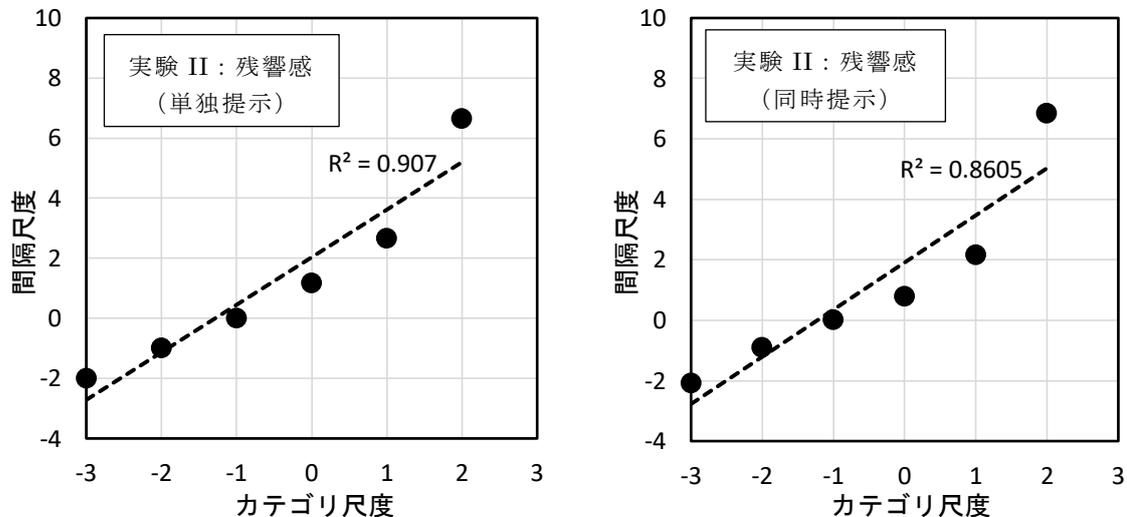


図 2-13 実験 II におけるカテゴリー尺度と間隔尺度の評定平均値の関係性

提示条件ごとの残響感の評価

同時提示及び聴覚刺激の単独提示における、「残響感」の評定平均値の残響時間による変化を図 2-14 に示す。聴覚刺激の単独提示では実験 I とほぼ同様の傾向がみられ、残響時間が長いほど「残響感」の評定平均値は大きくなるが、2.0 s を超える長い残響時間の範囲ではその増加が緩やかになっている。尺度のスケールが -3～+3 に決まっていることから、少なからずこのような傾向が生じることは当然であるが、同空間の聴覚刺激に対する評定平均値間で有意差検定を行った結果、聴覚刺激の残響時間が 1.5 s を超える範囲において有意差が検出されない場合 (cl'₃ と cl'₄, cl'₃ と cl'₅, cl'₄ と cl'₅, gy'₃ と gy'₄) があり、一定以上の残響時間を持つ刺激間の「残響感」の弁別が難しくなっている可能性もある。

同時提示においても、単独提示とほぼ同様の傾向が示された。しかし、同空間の聴覚刺激に対する評定平均値間で有意差検定を行った結果、単独提示では有意差が認められなかった CL-cl'₃ と CL-cl'₅ において 1%水準で有意差が認められた。聴覚刺激に視覚刺激による室の広さや材質などといった仕様に関する情報が加わることで、残響時間が約 1.5 s を超える範囲における聴覚刺激間の弁別が見かけ上明確になったように思われる。

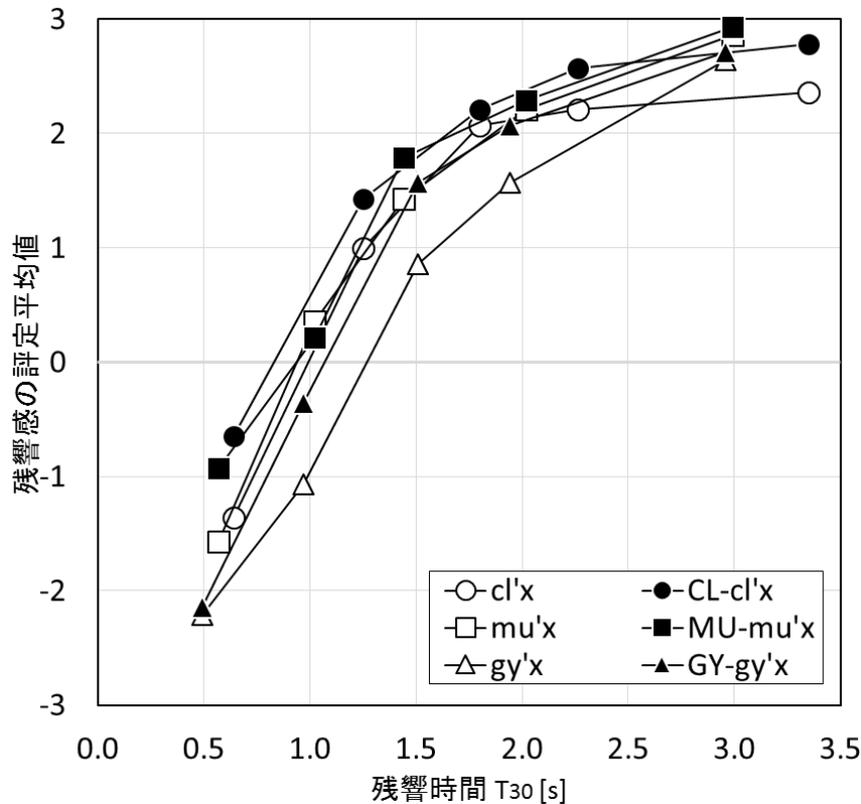


図 2-14 両提示条件における残響感

同時提示における違和感の評価

同時提示における「違和感」の評定平均値の残響時間による変化を図 2-15 に示す。概ね実験 I と近似した結果が得られ、空間 GY を除き、各空間の残響時間の実測値に最も近い残響時間を持つ聴覚刺激が視覚刺激と組み合わせられた場合に「違和感」が最も小さく評価された。空間 CL は室容積が小さく視覚刺激から予想される残響時間は短いため、聴覚刺激の残響時間が長いほど「違和感」は大きくなる傾向が見られる。対して空間 MU, GY は室容積が大きく視覚刺激から予想される残響時間は長いため、聴覚刺激の残響時間が短いほど「違和感」は大きくなる傾向が見られる。また、残響時間が 1.5~2.0 s 程度になると「違和感」は小さくなるが、それ以上の残響時間の範囲では「違和感」の評価はほぼ一定となった。

空間 GY に関しては、日常の経験からやや外れた、見かけの容積に対して残響時間がかなり長い空間であり、被験者の判断はゆらぐ傾向にあると思われ、「違和感」の変動は空間 MU に近いものとなった。残響時間が長い大空間の視覚情報と適合する聴覚刺激の残響時間の許容範囲は、短い残響時間を除いて比較的広いのに対し、残響時間が短い小空間ではその許容範囲は短い残響時間のみの狭い領域に限られると言える。

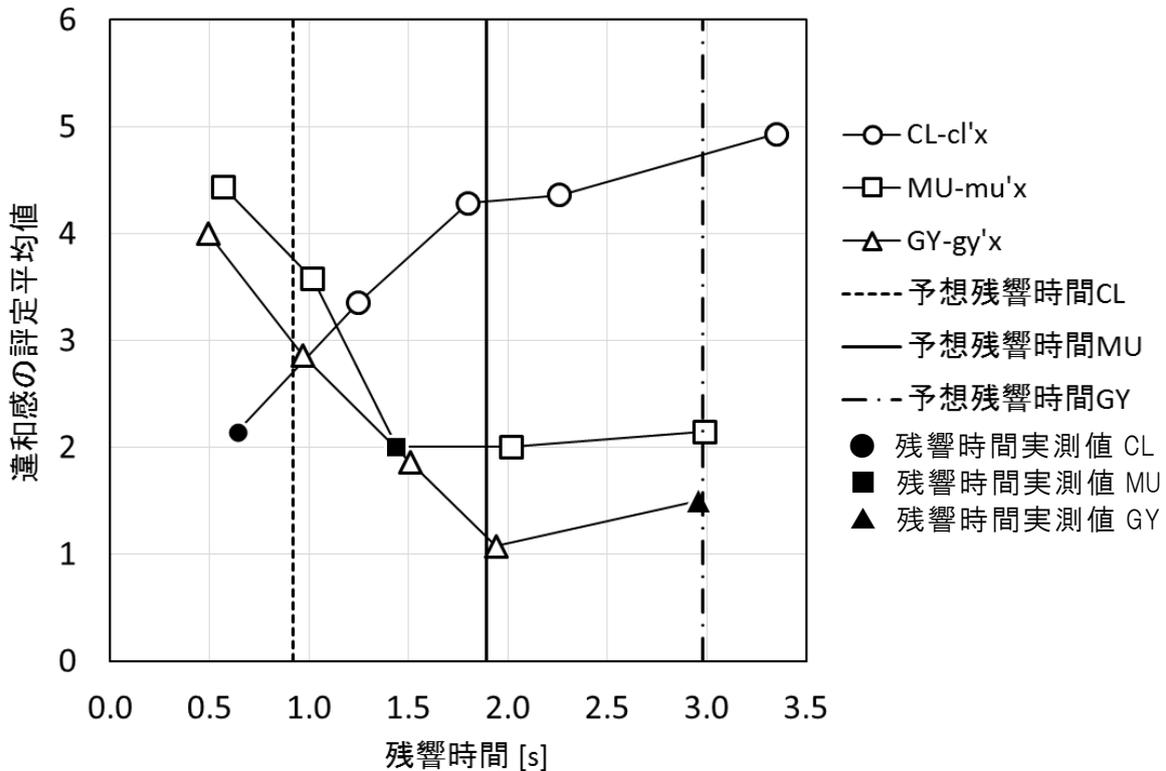


図 2-15 違和感と予想残響時間の関係性

単独提示と同時提示の残響感の差

図 2-16 は、提示モード間の「残響感」の評定平均値の差分と聴覚刺激の残響時間の関係を示している。提示条件が異なる同一の聴覚刺激に対する評定平均値を比較すると、同時提示の「残響感」の評定平均値が高くなる（つまり、差分が正の値になる）傾向が見られ、 gy'_2 及び gy'_3 の組み合わせにおいては提示条件間に 5%水準で有意差が認められた。しかしながら、「残響感」の評定平均値の差分と聴覚刺激の残響時間の間には関連性が見られなかった。

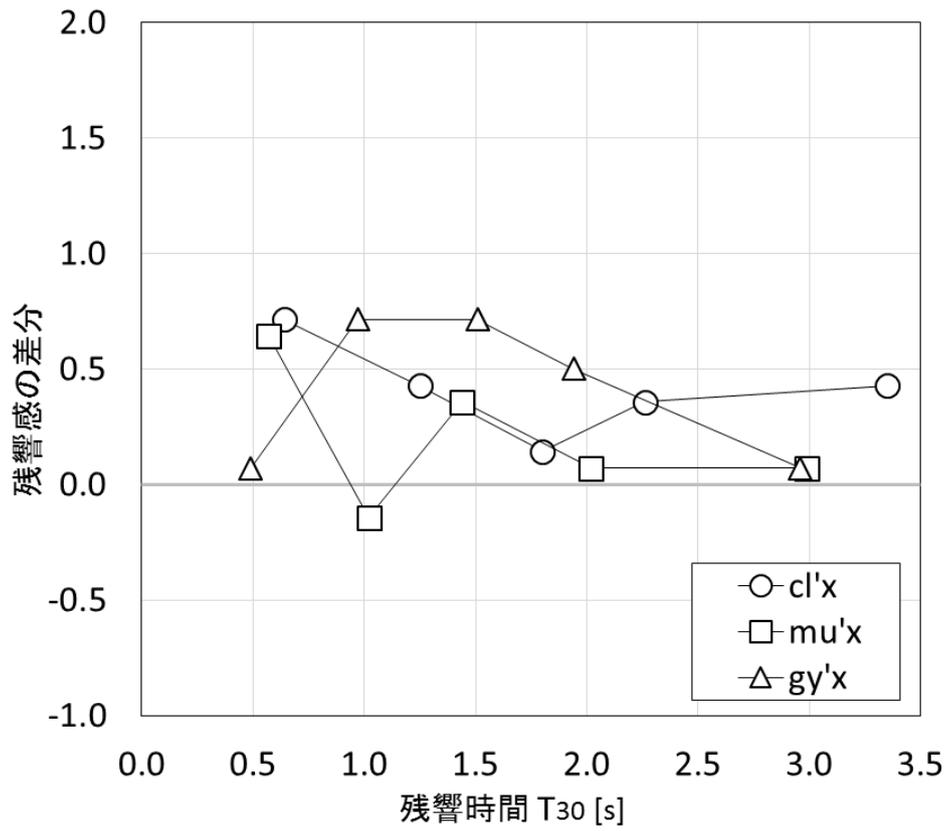


図 2-16 両提示条件の残響感の差分

2-2-3 実験 I と実験 II の比較と考察

残響感について

図 2-17 には横軸に単独提示、縦軸に同時提示時の「残響感」の評定平均値を座標とする点がプロットされ、実験 I, II の結果を比較している。実験によらず全体的に斜め 45° 線よりも上方に点が分布し、「残響感」は視覚刺激と聴覚刺激が同時に提示されることによって“豊か”側に印象がシフトする傾向が見られる。一方、両実験の点の分布に大きな差は見られないものの、両実験の聴覚刺激において残響時間が近似した条件における主観評価の分布を比較すると、それらの標準偏差はほとんどが実験 II よりも I の方が大きい値となっており、更には、両者の母分散に有意な違いが生じている組み合わせのほとんどにおいて、実験 II よりも I の分散が大きいことが確認できた。提示方法や刺激の作成方法の改善により実験 II における評価のばらつきが小さくなり、被験者の判断のゆらぎが若干減少したと思われる。

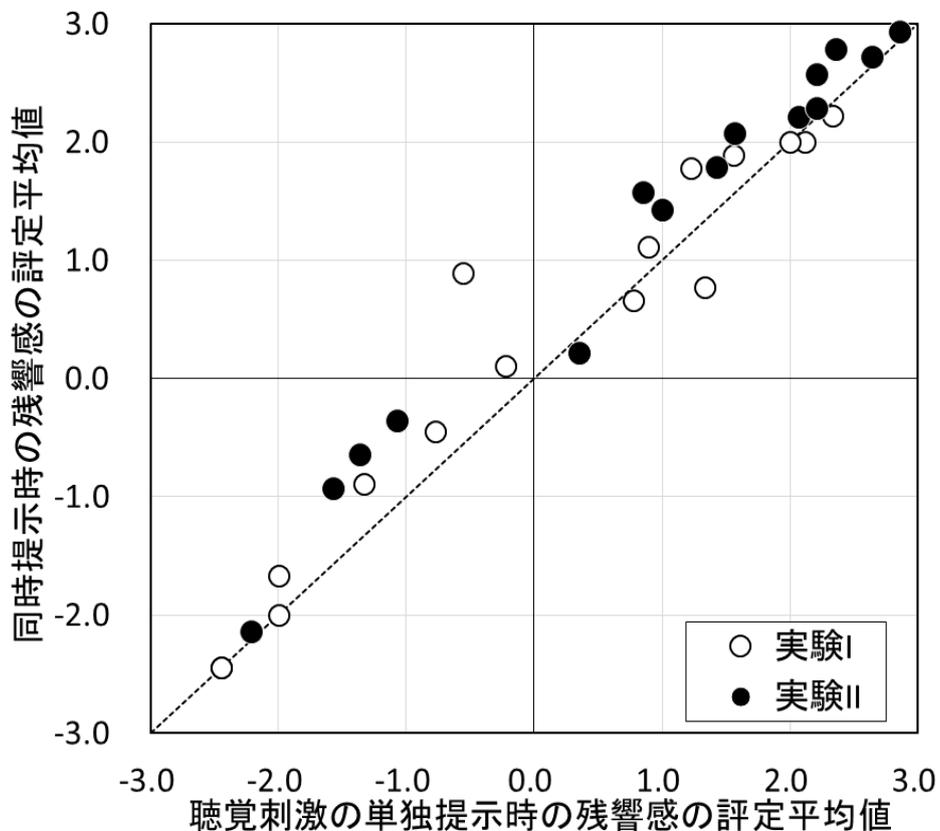


図 2-17 実験 I と II における残響感の提示条件による比較

実験 I と II の聴覚刺激において、最も残響時間が近似している聴覚刺激同士に対する同時提示時の「残響感」の評定平均値間で母平均の差の検定を行った結果、 $CL-cl_1$ と $CL-cl'_1$

及び $MU-\mu_1$ と $MU-\mu'_1 \sim MU-\mu_6$ と $MU-\mu'_6$ の組み合わせで有意差が認められた。なお、有意差の有無に関わらず、全て実験 II の方が「残響感」の評定平均値が 0.7~1.4 程度大きかった。これは、聴覚刺激の提示方法が異なることが主な原因と推察されるが、空間 GY に関する刺激の組み合わせに対しては 1 組も有意差が認められなかった理由は不明である。

ERT-RT と違和感の関係性について

各実験において、聴覚刺激の残響時間に対する「違和感」の評定平均値を図 2-9~2-11 および図 2-15 に示した。本節では、実験 I で測定した ERT と「違和感」の評価の関連性を明らかにするため、更なる分析を試みる。

図 2-18 は、予想残響時間から聴覚刺激の残響時間を差し引いた値（以下、ERT-RT [s]）を横軸座標とした場合の、各聴覚刺激に対する「違和感」の評定平均値の変化を実験 I と II で比較したものである。横軸の値が 0 であることは、ERT と聴覚刺激の残響時間が一致していることを表す。つまり、横軸の値が 0 に近いほど被験者が視覚情報からイメージする響きに近い聴覚刺激が提示される条件であることを意味し、このとき「違和感」の評価は小さくなると予想される。

空間 CL, MU では、両実験結果において $ERT-RT=0$ 付近で「違和感」が最小となる傾向が見られた。予想残響時間を基準に、それから外れる残響時間を持つ聴覚刺激に対して違和感が生じ、外れる程度が大きいほど、強い違和感が生じたことがうかがえる。

一方、空間 GY は ERT より 1.0 s 程度短い残響時間をもつ聴覚刺激に対する「違和感」が最小となった。GY の ERT は実際の残響時間と極めて近く、空間の視覚情報のみからある程度正確な残響時間の予想はできるものの、視聴覚情報が同時提示されることで 3.0 s 程度の極めて長い残響時間に対しては違和感が生じたことが推察される。つまり、過去の経験の累積によって GY は残響時間がとても長い空間であることが予想できるものの、その残響時間が適切ではない（長すぎる）と感じているものと思われる。

室容積が大きい MU, GY においては、予想残響時間より短い残響時間に対して強い違和感を抱くが、長い残響時間はある程度許容される傾向が見られた。

$|ERT-RT| < 0.5$ s である（図 2-18 において横軸が $-0.5 \sim 0.5$ s の範囲内にプロットされる）視聴覚刺激と $|ERT-RT| \geq 0.5$ s である視聴覚刺激の「違和感」の評定値で母平均の差の検定を行った結果、1%水準で有意差が認められた。この結果から、違和感が一定以上あると判断される残響時間の境界は、室容積によって若干の違いはあると推察されるものの、ERT を基準としてそこから約 0.5 s 以上異なる場合であると考えた。よって、 $|ERT-RT| < 0.5$ s の範囲内においては視覚情報と聴覚情報の整合性が高いと判断され、視聴覚統合が生じる可能性があると考えた。

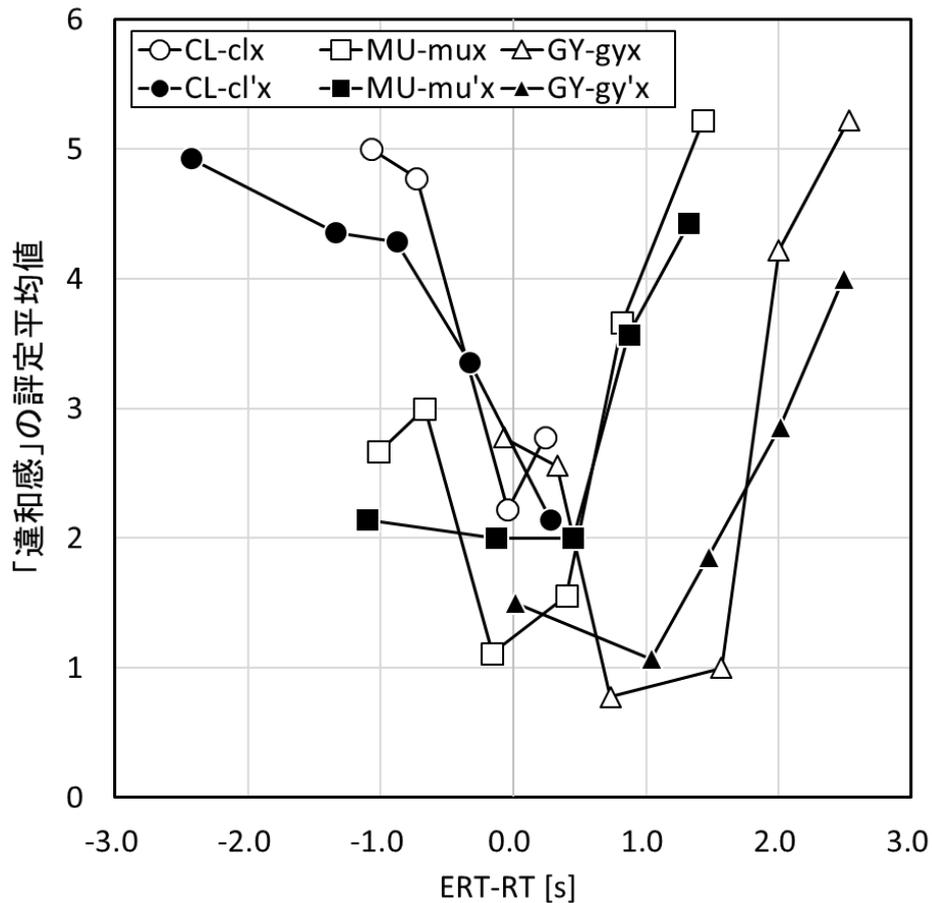


図 2-18 実験 I と II における ERT-RT と違和感の関係

ERT-RT と残響感の差分の関係性について

図 2-18 より、「違和感」が小さいと評価されやすい ERT-RT の範囲がおおよそ特定された。次に、提示条件による聴覚印象の変化についても ERT-RT と対応関係があるか確認する。

図 2-19 は、横軸の座標を ERT-RT にした場合の、提示条件間の「残響感」の差分の変化を実験 I と II で比較している。点の分布は正側に偏っており、改めて実験 I 及び II を通して提示条件の違いによって印象が変化することが示されたものの、残響感の差分と ERT-RT との明確な関連性は見られなかった。しかしながら、ERT-RT の値が 0 に近い実験条件においては、変化の絶対値が大きくなる傾向があるようにも思われ、視覚情報と聴覚情報が整合する（視聴覚統合の）条件下で、視聴覚相互作用による印象変化が生じやすい可能性があると考えた。

また、図 2-18 と図 2-19 の比較において、差分と「違和感」との間には明確な関係性は見られなかった。

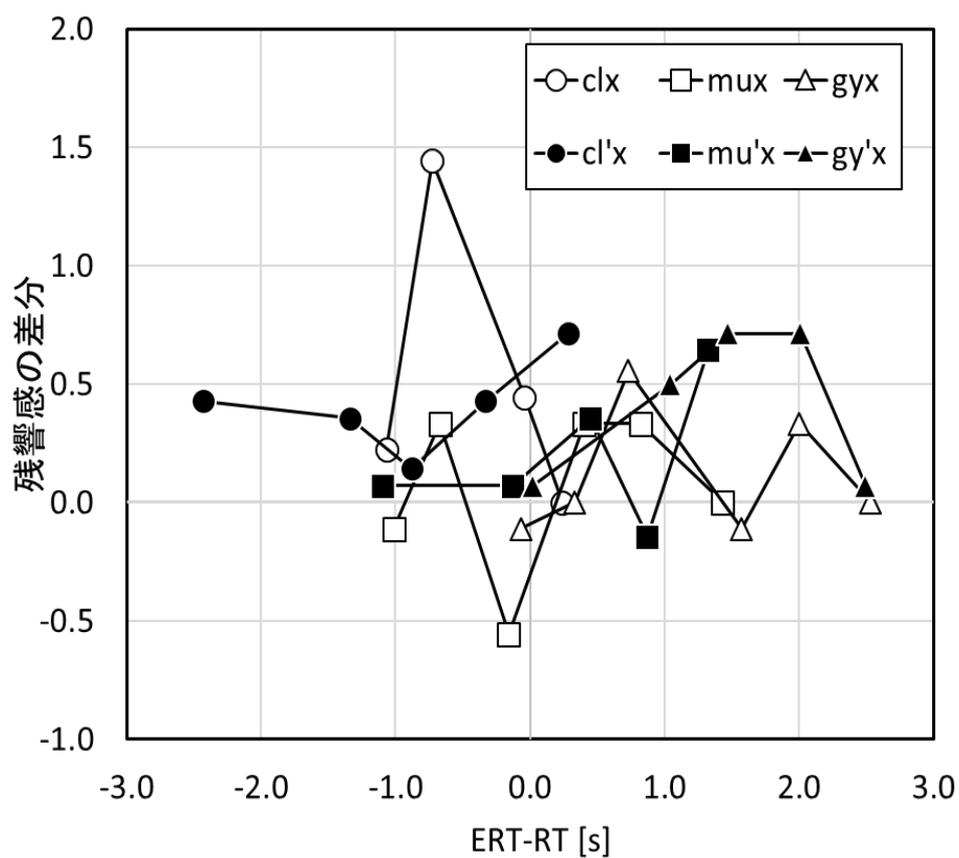


図 2-19 実験 I と II における残響感に対する提示条件間の差分

2-3 小括

本章では、仕様の異なる3種類の室内空間の内観を表す画像と音場を刺激として、聴覚刺激の単独提示及び視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における聴覚の主観印象を測定する実験室実験を行った結果を示した。聴覚刺激の作成方法及び提示方法が異なる2種類の実験を通して、提示モードによる聴覚印象の変化を明らかにするとともに、その変化に対する違和感による影響を考察した。その結果と得られた知見を以下にまとめる。

- ・実験 I, II における聴覚印象の評価項目に対するカテゴリ尺度を用いた評定平均値と、それを範疇判断の法則により間隔尺度に換算した値は高い相関を示すことが確認できた。よって、評定結果を間隔尺度上の値とみなし、評定平均値の差分によって提示条件による評価の変化をみることができると考えた。
- ・実験 I において、被験者は、視覚刺激の空間の残響時間の実測値に比較的近い残響時間を予想した。
- ・実験 I, II を通じて、聴覚刺激に対する聴覚印象は視覚刺激を伴うと変化し、特に「残響感」の印象はより豊かに感じられる傾向がうかがわれた。これには、室容積などの視覚情報が影響した可能性がある。
- ・予想残響時間と聴覚刺激の残響時間の差が大きい場合、「違和感」が大きくなる。ただし、室容積が大きい場合、予想残響時間よりも長い残響時間は許容される傾向が見られた。
- ・違和感が一定以上あると判断される残響時間の境界は、室容積によって若干の違いはあるものの、予想残響時間を基準としてそこから約 0.5 s 以上異なる場合であると推察された。これは、視聴覚統合が生じる条件となる可能性がある。
- ・刺激の提示条件の違いによる聴覚印象の変化と「違和感」の関連性の存在を予測したが、実験 I, II からはその存在は明らかにならなかった。

第3章 建築空間の視聴覚情報の同時提示による視聴覚印象の変化

3-1 はじめに

第2章では、刺激の提示条件の違いによる聴覚印象の変化、すなわち視覚情報が聴覚印象に及ぼす影響と視聴覚間の違和感との関連性について分析を行った。さらに、違和感と予想残響時間（ERT）の関係性を明かにすることで視聴覚統合が生じる条件について探った。

第2章では、視覚情報が聴覚印象に影響を与えることが分かったため、本章ではそれに加えて、視覚印象に対する聴覚情報の影響についても検討する。視覚と聴覚で同じ形容詞で表現できる（通様相性のある）感覚尺度に着目して、第2章の実験I, IIと同様の主観評価実験を視覚の主観印象測定にまで拡張して行った結果を示す。

実験では室内音場（反射音構造としての響き）を聴覚刺激、内観パノラマ画像を視覚刺激として、これらの単独提示・同時提示における視覚及び聴覚印象に対する多数の感覚尺度における主観評価を測定するとともに、それらの結果をSD法により分析・比較し、提示条件の違いによる評価構造の変化についても検討を行う。視覚刺激と聴覚刺激の同時提示において視聴覚相互作用が生じた場合、視覚または聴覚の単独提示と比較し、評定値とともに評価構造（内在する因子に寄与する尺度の構成や因子負荷量など）に変化が現れると考えられる。

本章の実験結果の分析には、同一の評価項目に対する提示条件ごとの印象変化を測定する必要があるため、例えば、通様相性のある評価項目「明るさ（明るい-暗い）」に対して、視覚刺激の単独提示においては「視覚的な明るさ」を、聴覚刺激の単独提示においては「聴覚的な明るさ」を、同時提示においては「視覚的な明るさ」と「聴覚的な明るさ」の両者を評価させている。

なお、「明るさ」は一般に楽音や和音に対する評価（短調は暗い、長調は明るい印象を持たれると思われる）であり、残響のような音場特性に対して評価が可能であるかは疑問であるが、実験的な試みとして本実験ではこのような評価項目も多数含まれている。また、先行研究において、視覚刺激の画像の輝度値が変化しても「明るさ」以外の主観評価には大きく影響しないことが判明しているため¹⁰⁴⁾、ここでは視覚刺激の照度を実験条件としないこととする。

3-2 実験概要

実験システムの概要

実験システムは、第2章の実験IIと同様（図2-12参照）である。実験中の室温は約23°Cに保たれ、室内の設置機器からの発生音を含んだ被験者位置における暗騒音は $L_{Aeq}=36$ dB程度であった。

視覚刺激の概要

視覚刺激は、実験I, IIと同じ3つの対象空間のQuickTimeVR形式のパノラマ画像であるが、今回の実験のために新たに作成されている。パノラマ写真の合成方法は実験IIと同じ（解像度：1920×1080ピクセル）であるが、素材となる写真の撮影が対象空間の室内の照度を制御したうえで行われている。撮影時にデジタル照度計（ミノルタ T-1H）を用いて計測した対象空間の照度が、空間用途ごとに定められたJIS規格（JIS Z9110-1979「照度基準」付表より）の最適利用照度範囲に収まるように室内の照度を調整した。また、撮影時のカメラのシャッタースピードを1/30 s、レンズの絞りをF2.8に固定した。

表3-1に視覚刺激の空間概要とスクリーン上の平均照度、写真3-1～3-3に視覚刺激のイメージを示す。空間CL, MUでは、最適利用照度範囲の最大値になるよう現場で照明器具やカーテンの開閉により照度を調整した。空間GYでは、施設内の全ての照明を点灯しカーテンを開けた状態で最適利用照度範囲内の最大値を大きく下回った為、その範囲内の中間値となるよう照度を調節した。スクリーン上の平均照度は、QuickTimeVR形式のパノラマ画像を正面、右側、後方、左側にパンした際の投影画像の四隅と中央の5点、計20点の照度の平均値である。実験実施中は無響室内の照明は全て消灯した。また、聴覚刺激を単独提示する実験条件においては、スクリーン上にグレーの無地画像（グレースクリーン）を表示した。

表 3-1 対象空間の空間概要

刺激名	空間用途	容積 [m ³]	天井高 [m]	幅 [m]	奥行き [m]	スクリーン上 平均照度 [lx]
CL	大学講義室	750	3.3	10.9	19.7	175.9
MU	多目的ホール	12000	14.5	48.4	41.6	6.6
GY	体育館	6000	8.8	20.5	33.3	36.6



写真 3-1 空間 CL のパノラマ画像の一部

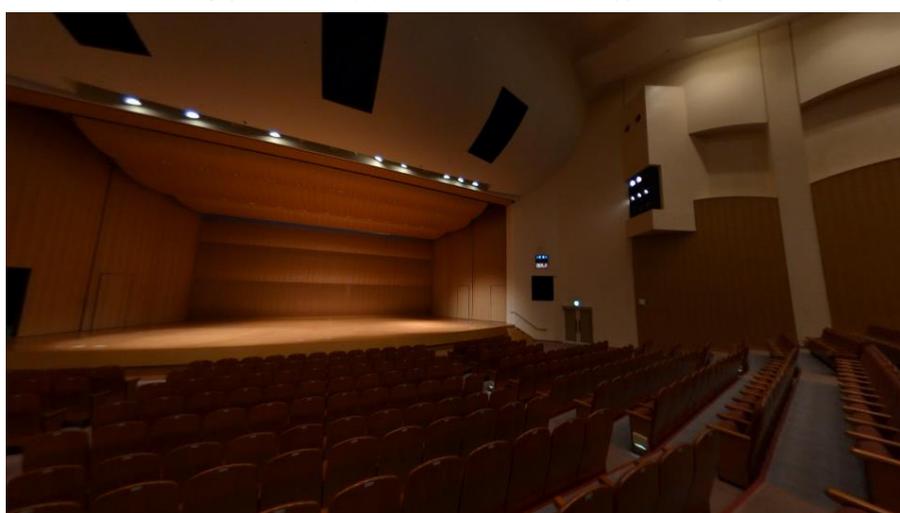


写真 3-2 空間 MU のパノラマ画像の一部



写真 3-3 空間 GY のパノラマ画像の一部

聴覚刺激の概要

聴覚刺激は、視覚刺激の素材となる写真の撮影位置において実測されたインパルス応答のモノラル PCM 信号 cl, mu, gy (実測 IR と呼ぶ) に加えて、実在のある空間 (空間 F: 付録 3 の表 4 参照) で実測された典型的な指数減衰波形と長い残響時間 ($T_{30}=3.72$ s) を持つインパルス応答信号を波形編集ソフトウェア (GoldWave 社の GoldWave) で加工することで様々な残響時間を有するように作成されたモノラルの PCM 信号 $y_1 \sim y_6$ (編集 IR と呼ぶ) である。表 3-2 に示す通り、編集 IR の残響時間のバリエーションはおよそ 0.5 s の間隔で概ね 0.5~3.0 s の範囲に分布している。実験では、同一の聴覚刺激が 5.0 s の間隔で 3 回繰り返されるトラックを再生することで聴覚刺激を提示した。聴覚刺激の被験者位置における聴取レベルは、 $L_{Amax}=69.0$ dB 程度であった。

表 3-2 聴覚刺激の残響時間 (500 Hz 基準)

IRの種類	実測IR			編集IR					
	cl	mu	gy	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
T_{30} [s]	0.74	1.44	3.07	0.57	1.05	1.51	2.07	2.56	3.02

実験手順

実験開始前は実験の流れや各主観評価項目の意味などについて実験者から被験者に教示を行い、この間 5 分程度の時間を確保することで被験者を無響室内の暗さに順応させた。

以下に実験手順を示す。なお、視聴覚どちらに対する評価項目であるか明示するため、アンケート用紙には「空間の照度が…」、「響きの長さが…」といった説明書きを添えた。

- ・ 視覚刺激の単独提示における主観評価

視覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、参考文献⁷⁾より抜粋した形容詞対を用いた表 3-3 に示す評価項目について 7 段階 (-3~+3) のカテゴリー尺度で評価させた。「残響感」に関しては、視覚情報から読み取れる空間の情報に基づき、広さや壁面・床面の反射性状などからその空間の響きを予想して回答するよう被験者に教示した。

- ・ 聴覚刺激の単独提示における主観評価

聴覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、主に参考文献²³⁾より抜粋した形容詞対を用いた表 3-4 に示す評価項目について 7 段階 (-3~+3) のカテゴリー尺度で評価させた。「空間の広さ」及び「空間のやわらかさ」に関しては、聴覚情報から聞き取れる空間の響きの情報に基づき、響きの長さや残響感等からその空間の広さと材質を予想して回答するよう被験者に教示した。

・ 視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における主観評価

視覚刺激と聴覚刺激を組み合わせることで同時に被験者に提示し、表 3-3, 3-4 に示した視覚印象 6 項目と聴覚印象 6 項目について 7 段階 (-3~+3) のカテゴリ尺度で評価させた。視聴覚刺激の組み合わせは、1 つの視覚刺激につき 7 種類の聴覚刺激（視覚刺激の対象空間で実測されたインパルス応答信号と、編集 IR の 6 種類）が組み合わせられるため全部で 21 種類であり、被験者ごとにランダムな順で提示された。

表 3-3 視覚刺激の単独提示における評価項目

評価項目とその説明		(-3)	形容詞対	(+3)
残響感	空間の音が...	響かない		響く
空間の明るさ	空間の照度が...	暗い		明るい
空間の暖かさ	空間の色彩が...	冷たい		暖かい
空間の複雑さ	空間の形状が...	単純な		複雑な
空間の親しみやすさ	空間の雰囲気が...	親しみにくい		親しみやすい
空間のやわらかさ	空間の材質が...	かたい		やわらかい
空間の広さ	空間の大きさが...	狭い		広い

空間の明るさ

室内の照度に関する印象。照度が高ければ明るく、照度が低ければ暗く感じられる。

空間の暖かさ

空間の色彩に関する印象。暖色系の色彩は暖かみがあるように感じられ、寒色系の色彩は冷たく感じられる。

空間の複雑さ

空間の形状に関する印象。矩形室は単純な形状と言える。

空間の親しみやすさ

空間に対する親密さに関する印象。その室を利用する機会があり、その室の仕様等に目立った不備がない場合に親しみやすい印象を与える。

空間のやわらかさ

室の表面部材の材質に対する印象。反射性の高い表面はかたい印象、吸音性の高い表面はやわらかい印象を与える。

空間の広さ

室容積に関する印象。容積が大きければ広く、容積が小さければ狭く感じられる。

表 3-4 聴覚刺激の単独提示における評価項目

評価項目とその説明		(-3)	形容詞対	(+3)
響きの明るさ	響きの音色が...	暗い		明るい
響きの暖かさ	響きの音色が...	冷たい		暖かい
響きの複雑さ	響きが...	単純な		複雑な
響きの親しみやすさ	響きの雰囲気...	親しみにくい		親しみやすい
響きの長さ	響きの長さが...	短い		長い
残響感	音が...	響かない		響く
空間のやわらかさ	空間の材質が...	かたい		やわらかい
空間の広さ	空間の大きさが...	狭い		広い

響きの明るさ

響きの周波数成分に関する印象。高周波音成分が多い（高音が良く響く）と明るい印象、低周波音成分が多い（低音が良く響く）と暗い印象になる。

響きの暖かさ

響きの周波数成分に関する印象。高周波音成分が多い（高音が良く響く）と冷たい印象、低周波音成分が多い（低音が良く響く）と暖かい印象になる。

響きの複雑さ

響きの周波数成分に関する印象。様々な周波数帯の音がフラットに聞こえると複雑な印象、ある周波数帯の音が突出して聞こえると単純な印象になる。

響きの親しみやすさ

響きに対する親密さに関する印象。その室を利用する機会があり、その室に音響的な欠陥がない場合に親しみやすい印象を与える。

被験者属性

被験者は、正常な視覚と聴覚を有する 10～20 代の 10 名（男性 9 名、女性 1 名）であった。被験者の半数は三重大学工学部建築学科に所属する学生であり、建築音響学の基礎的な知識を有していた。残りの半数は三重大学の工学部建築学科以外に所属する学生であった。

3-3 実験結果と考察

提示条件毎の視聴覚印象の評価傾向及び評価構造について分析する。以下に示す有意差検定の結果においては、危険率 5%以下の水準で有意性が検出された場合、すべて“有意差が認められた”と表記する。また、以下で行う因子分析における初期解は最尤法によって求め、共通性の初期値の設定には相関最大値を用いた。有効な因子は原則として固有値が 1.0 以上のものとし、因子の解釈がしやすいようにバリマックス回転を行った後の因子負荷行列を結果として表示している。

3-3-1 視覚刺激の単独提示の主観評価結果

表 3-5 に、視覚刺激の単独提示における全評価項目に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された因子は 3 つであり、これらの累積寄与率は 74.23%となった。第 1 因子（因子 1）は室容積に関連した「空間の広さ」と「残響感」から抽出されており、これを「広さ因子」と解釈した。第 2 因子（因子 2）は主に空間内表面の反射性状や色・形に関する評価項目から抽出された「表面因子」、第 3 因子（因子 3）は空間の明るさに関する「明るさ因子」と解釈した。「空間の親しみやすさ」は、いずれの因子にも寄与しなかった。

表 3-5 視覚刺激の単独提示に対する因子分析の結果

評価項目	因子負荷量		
	因子1	因子2	因子3
空間の残響感	0.995	0.046	-0.052
空間の広さ	0.689	0.015	-0.178
空間のやわらかさ	-0.038	0.781	-0.040
空間の暖かさ	0.000	0.629	-0.026
空間の複雑さ	0.377	0.572	-0.263
空間の明るさ	-0.133	-0.237	0.960
空間の親しみやすさ	-0.060	0.008	0.355
固有値	2.43	1.56	1.21
寄与率	34.74%	22.27%	17.23%
累積寄与率	34.74%	57.00%	74.23%

図 3-1 に、視覚刺激の単独提示における全評価項目に対する評定平均値のプロファイルを示す。視覚刺激のみを提示した際の「残響感」については、被験者が画像から予想した音場の印象を回答させたが、容積の小さいことが読み取れる空間 CL は評定平均値が 0 付

近で“どちらでもない”と評価され、容積の大きいことが読み取れる空間 MU, GY は“響く”と評価された。表 3-5 において広さ因子に寄与した「空間の広さ」と「残響感」は近似した評価傾向が見られ、共に空間の容積に応じた評価がなされたと推察される。

「空間のやわらかさ」については、空間 CL, GY は矩形室であり、壁面と床面がフローリングなどの堅い材で囲まれていることが読み取れるため、やや“かたい”と評価されたと思われる。一方、空間 MU は扇型の平面プランで壁面に曲面が多く、床面に吸音性の高いカーペットが敷かれ、客席部の座席がクッション張りであることが読み取れるため、若干“やわらかい”側に評価されたと思われる。また「空間のやわらかさ」と「空間の複雑さ」は、表 3-5 から共に表面因子に寄与することが確認された。「空間の暖かさ」もこれらの 2 項目と同じ因子に寄与するが、いずれの空間に対しても正側の評定平均値をとった。ステージ上の暖色系の照明が目立つ空間 MU のみがかかなり“暖かい”と評価されたことから、主に照明の色味に影響を受けて評価がなされたと推察される。

「空間の明るさ」は、空間 CL, GY が“明るい”側に評価されたのに対し、空間 MU のみがおおむね“どちらでもない”と評価されており、視覚刺激がスクリーンに映写されたときの照度（表 3-1 参照）に基づいて判断されたと考えられる。また「空間の親しみやすさ」の評価は、空間による違いがあまり見られなかった。

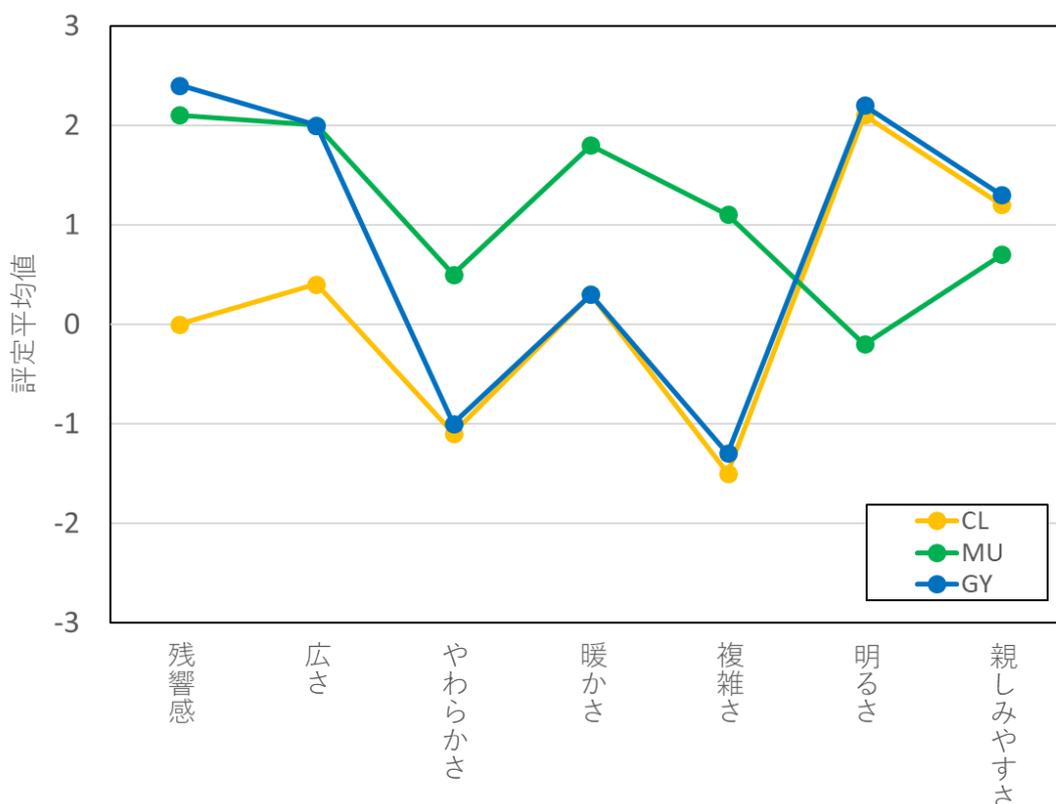


図 3-1 視覚刺激の単独提示における視覚印象の評価結果

3-3-2 聴覚刺激の単独提示の主観評価結果

表 3-6 に、聴覚刺激の単独提示における全評価項目に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された因子は2つであり、これらの累積寄与率は72.50%となった。第1因子は残響時間に関連する「残響感」・「響きの長さ」・「空間の広さ」から抽出され、「残響因子」と解釈した。第2因子は、主に響きの音質によって判断される評価項目と、それに関連すると思われる室内表面の反射性状に関わる項目から抽出され、「音質因子」と解釈した。「響きの複雑さ」は、どちらの因子にも寄与しなかった。

表 3-6 聴覚刺激の単独提示に対する因子分析の結果

評価項目	因子負荷量	
	因子1	因子2
残響感	0.974	0.151
空間の広さ	0.859	0.066
響きの長さ	0.841	0.211
響きの暖かさ	0.168	0.882
響きの親しみやすさ	0.165	0.773
響きの明るさ	0.167	0.732
空間のやわらかさ	0.076	0.578
響きの複雑さ	0.485	0.385
固有値	3.94	1.86
寄与率	49.28%	23.22%
累積寄与率	49.28%	72.50%

図 3-2～3-9 に、聴覚刺激の単独提示における各評価項目に対する評定平均値の、聴覚刺激の残響時間（ T_{30} ）による変化を示す。

図 3-2, 3-3 に示す「残響感」と「響きの長さ」については、聴覚刺激の残響時間が長くなるにつれて評定平均値が増加するが、残響時間がおおむね 2.0 s を超えるとその増加が緩やかになる。また、ほぼ同じ残響時間を持つ実測 IR と編集 IR に対する評定平均値間で有意差は認められなかった。また、図 3-4 に示す「空間の広さ」は、聴覚刺激だけが提示され、その音が響いている空間の音場を想像して回答させており、その評価傾向は「残響感」と近似している。表 3-6 に示した因子分析の結果、「空間の広さ」は「残響感」・「響きの長さ」と同じ残響因子に寄与し、これらは被験者が聴覚情報から残響の長さを聴き取り、関連性があると経験的に理解している空間の広さを評価していることが示唆された。

因子分析において音質因子に寄与する「響きの暖かさ/親しみやすさ/明るさ」・「空間のやわらかさ」の評価結果を図 3-5～3-8 に示す。t 検定の結果、いずれも残響時間による評価平均値の変動に有意性が認められず、また実測 IR と編集 IR の評価平均値間にも有意差は認められなかった。一方、図 3-9 に示す「響きの複雑さ」は、聴覚刺激の残響時間が長くなるにつれて“単純な”から“どちらでもない”と評価される傾向が見られるが、因子分析において残響因子への因子負荷量は小さかった。

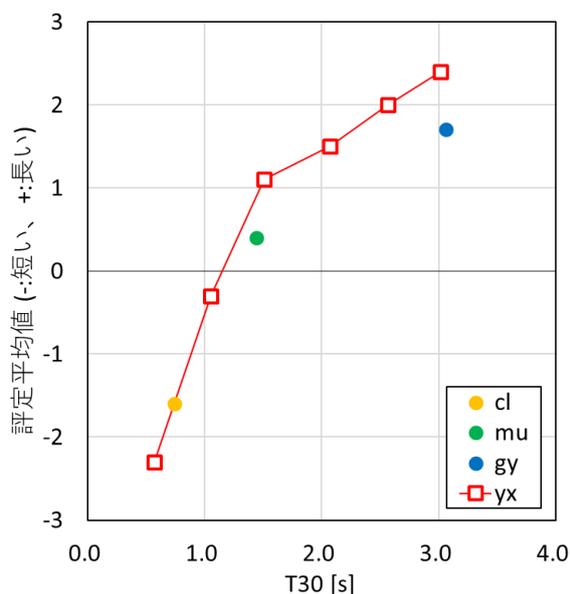


図 3-2 聴覚刺激の単独提示における「残響感」の評価結果

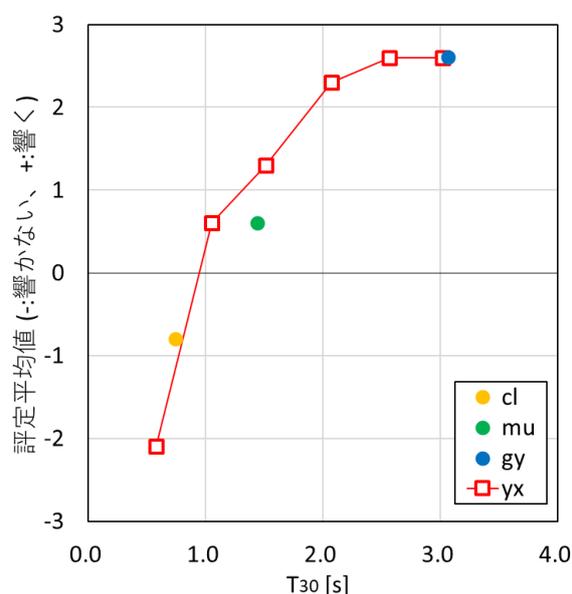


図 3-3 聴覚刺激の単独提示における「響きの長さ」の評価結果

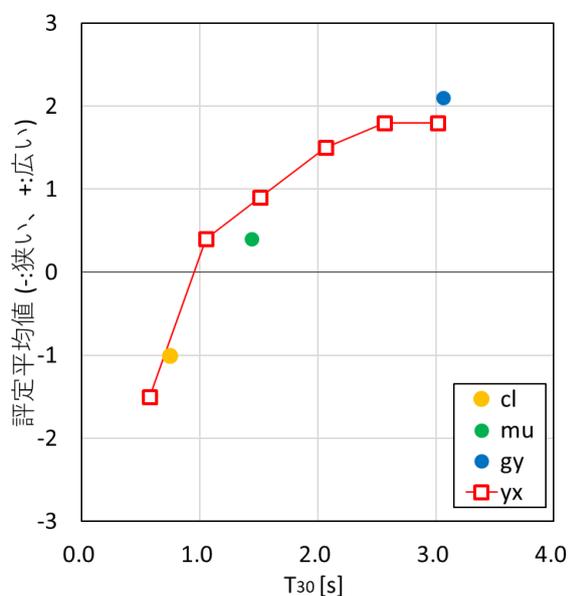


図 3-4 聴覚刺激の単独提示における「空間の広さ」の評価結果

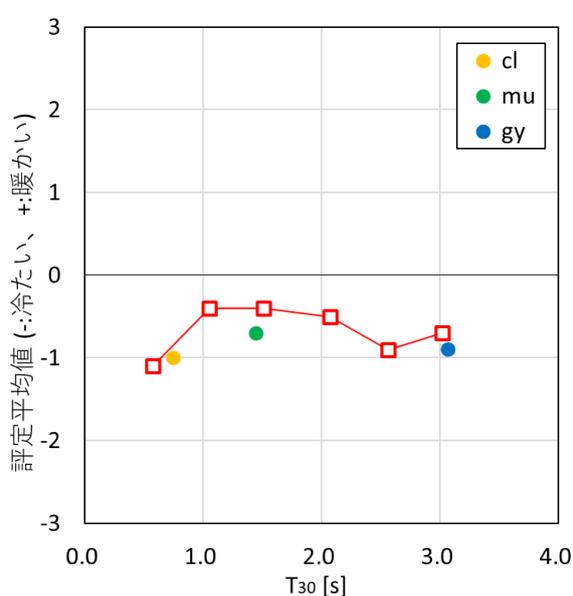


図 3-5 聴覚刺激の単独提示における「響きの暖かさ」の評価結果

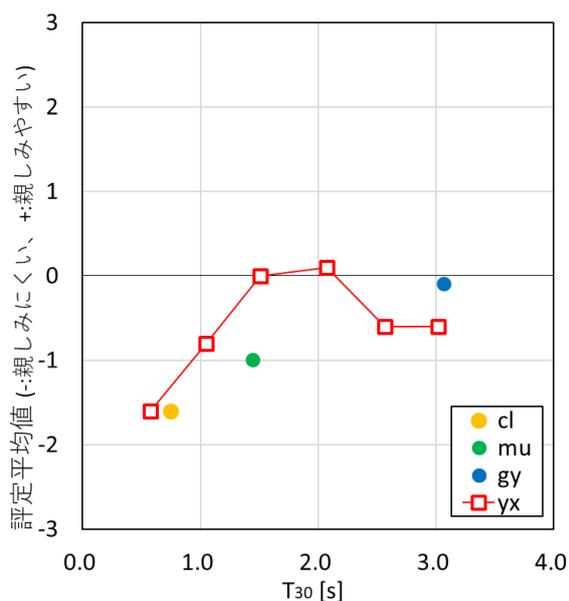


図 3-6 聴覚刺激の単独提示における「響きの親しみやすさ」の評価結果

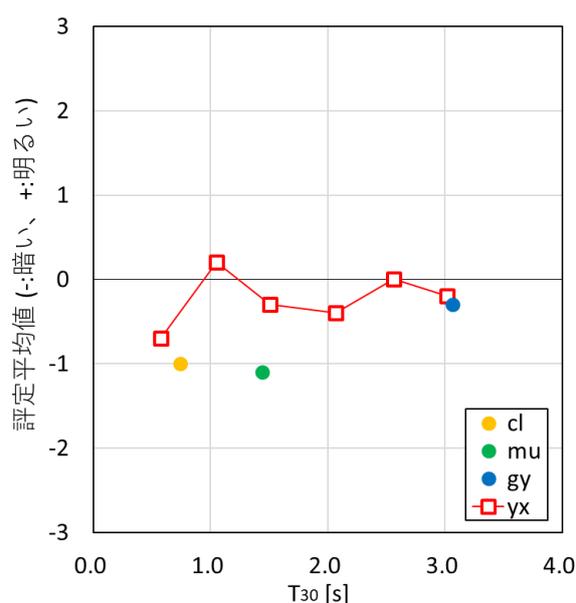


図 3-7 聴覚刺激の単独提示における「響きの明るさ」の評価結果

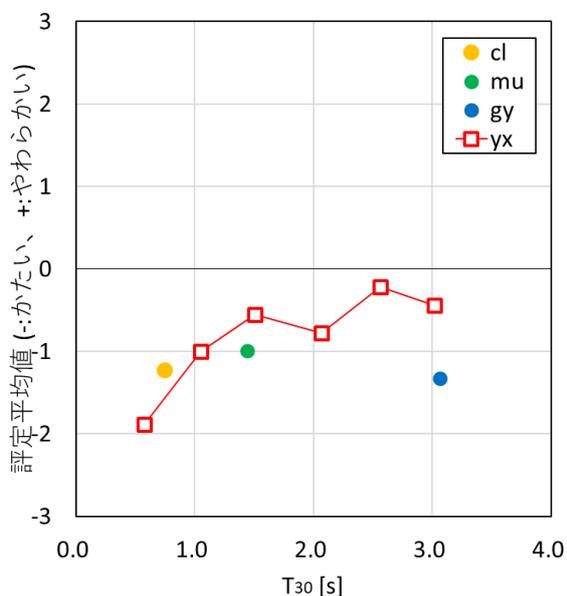


図 3-8 聴覚刺激の単独提示における「空間のやわらかさ」の評価結果

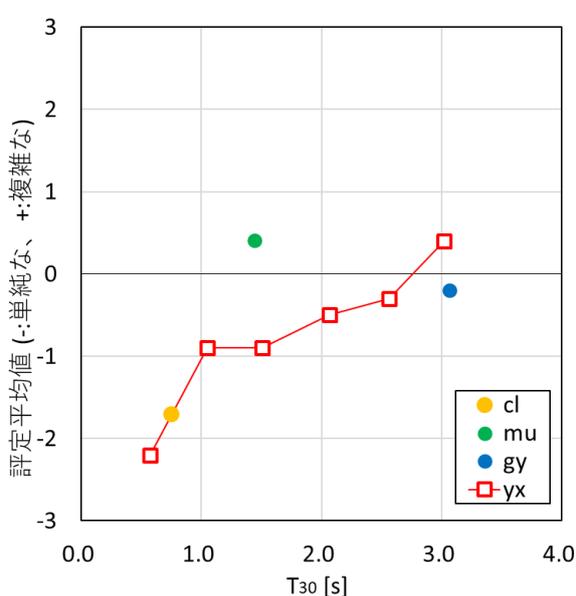


図 3-9 聴覚刺激の単独提示における「響きの複雑さ」の評価結果

3-3-3 同時提示の主観評価結果

表 3-7 に、同時提示における全評価項目に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された因子は3つであり、これらの累積寄与率は 59.45%となった。第1因子と第2因子は、「響きの複雑さ」を除く聴覚に関する評価項目のみから抽出され、第3因子は視覚に関する評価項目のみから抽出された。第1因子は「音質因子」、第2因子は「残

響因子」、第3因子は「表面因子」と解釈し、視覚と聴覚に関わる評価項目はそれぞれ独立した因子を抽出した。視覚よりも聴覚が有意な評価構造となっており、視覚と聴覚の評価因子は完全に分離した。聴覚に関する因子が視覚に関する因子より上位に重みづけがなされた原因の1つとして、本実験で用いた聴覚刺激（9種類）が視覚刺激（3種類）より多く、刺激のバリエーションに偏りがあったことが挙げられる。

この因子分析結果は累積寄与率が60%を下回っており、測定データの分布を十分に説明しているとは言い難い。同時提示における評価項目に対する因子分析について考察を深めるため、3-4節において更なる分析を試みることにする。

表 3-7 視聴覚刺激の同時提示に対する因子分析の結果

評価項目	因子負荷量		
	因子1	因子2	因子3
響きの暖かさ	0.789	0.158	0.015
響きの明るさ	0.702	0.262	-0.108
響きの親しみやすさ	0.627	0.229	-0.051
残響感	0.314	0.902	-0.024
響きの長さ	0.237	0.901	-0.005
空間の複雑さ	-0.085	0.013	0.684
空間のやわらかさ	0.308	0.095	0.563
空間の明るさ	0.283	0.083	-0.447
空間の暖かさ	0.378	0.099	0.259
空間の広さ	0.326	0.330	0.231
空間の親しみやすさ	0.487	0.159	-0.089
響きの複雑さ	0.483	0.354	0.115
固有値	4.16	1.74	1.23
寄与率	34.69%	14.53%	10.24%
累積寄与率	34.69%	49.21%	59.45%

図 3-10～3-24 に、同時提示時の残響時間（ T_{30} ）による各評価項目に対する評定平均値の変化を空間毎に示す。各図において、聴覚刺激の単独提示における評定平均値は□印及び■印、同時提示における評定平均値は○印及び●印のマークで示され、視聴覚刺激の組み合わせの聴覚刺激が編集 IR であるものを白抜き印のマーク、各空間の実測 IR であるものを塗りつぶしのマークとした。また、編集 IR と

の組み合わせはマーカーを実線で結び、実測 IR との組み合わせのマーカーは単独にプロットした。なお、視覚刺激の単独提示において同じ形容詞で表される評価項目がある場合、その評定平均値を x 軸に対して平行な実線で示した。

残響感

図 3-10～3-12 に示す「残響感」については、同じ聴覚刺激に対する、異なる提示条件（単独提示の cl, y_x と同時提示の $CL\&cl, CL\&y_x$ など）における評定平均値間の有意差は、ほぼ全ての刺激の組み合わせにおいて認められなかった。よって、聴覚刺激の「残響感」に対する視覚情報の影響はほとんど認められなかったと言える。

一方、視覚刺激の単独提示（ CL など）における「残響感」の評定平均値と、同時提示における評定平均値との間には、 $CL\&y_{3\sim6}$ 、 $MU\&y_{1,2}$ 、 $GY\&y_{1,2}$ において有意差が認められた。被験者が視覚情報のみから予想した「残響感」に対して、小空間の CL ではこれより高い残響感を感じさせる聴覚刺激の影響、大空間の MU 、 GY ではこれより低い残響感を感じさせる聴覚刺激の影響が大きく現れていると思われる。また、空間 MU に対する「残響感」の視覚刺激の単独提示における評定平均値は、聴覚刺激 mu の単独提示時と比較して有意に大きくなっている。空間 MU が多目的ホールであること、容積が大きいこと等を被験者は視覚刺激から読み取り、非常に高い残響感を予想したが、聴覚刺激が加わる場合、聴覚情報が優先されて（優位に）評価され、結果として大きなギャップを生んだと思われる。

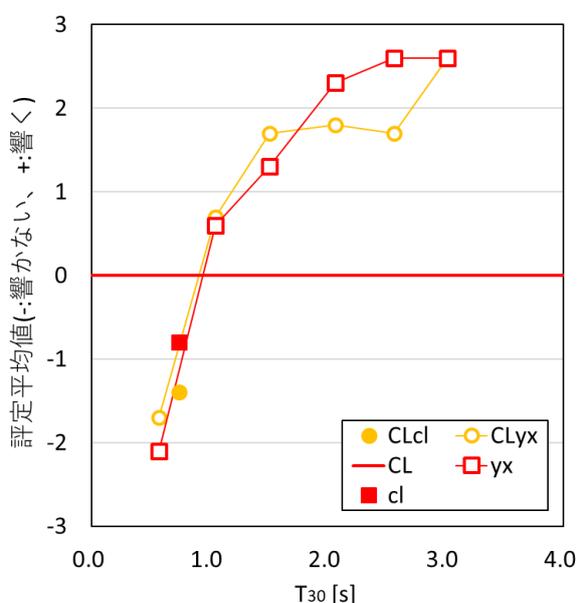


図 3-10 同時提示における空間 CL の「残響感」の評価結果

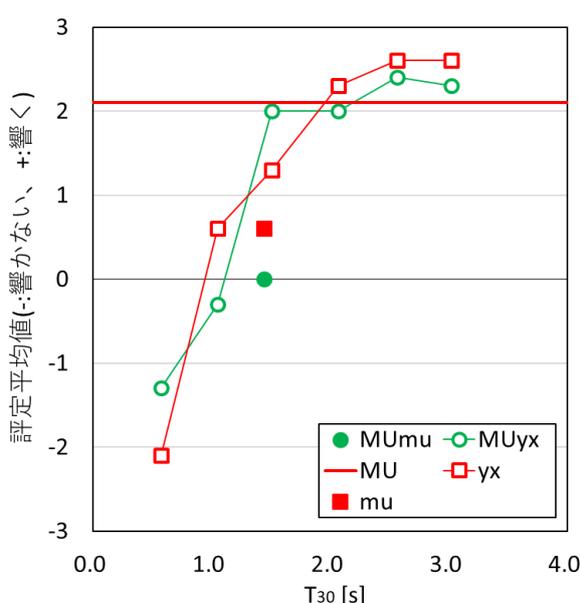


図 3-11 同時提示における空間 MU の「残響感」の評価結果

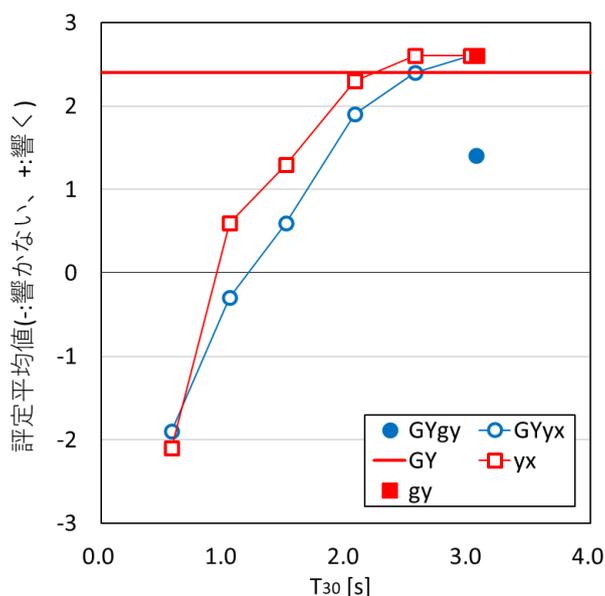


図 3-12 同時提示における空間 GY の「残響感」の評価結果

響きの長さ

「響きの長さ」の評価結果を空間毎に図 3-13～3-15 に示す。提示条件の違いによる有意差は全ての刺激において認められなかった。同時提示における因子分析の結果（表 3-7 を参照）において同じ残響因子に寄与する「残響感」と「響きの長さ」は互いに評価傾向が近似しており、同時提示において視覚情報による影響は小さく、聴覚優位の評価がなされたと思われる。

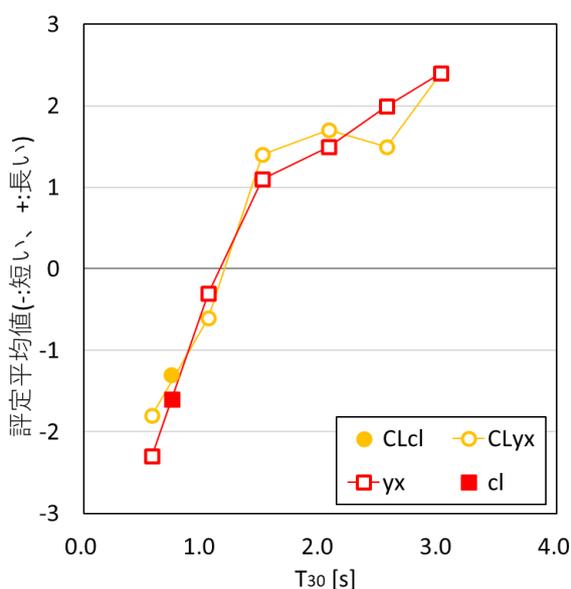


図 3-13 同時提示における空間 CL の「響きの長さ」の評価結果

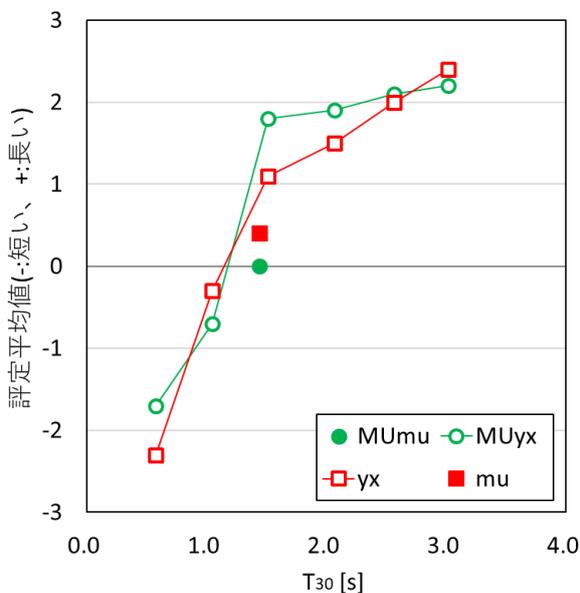


図 3-14 同時提示における空間 MU の「響きの長さ」の評価結果

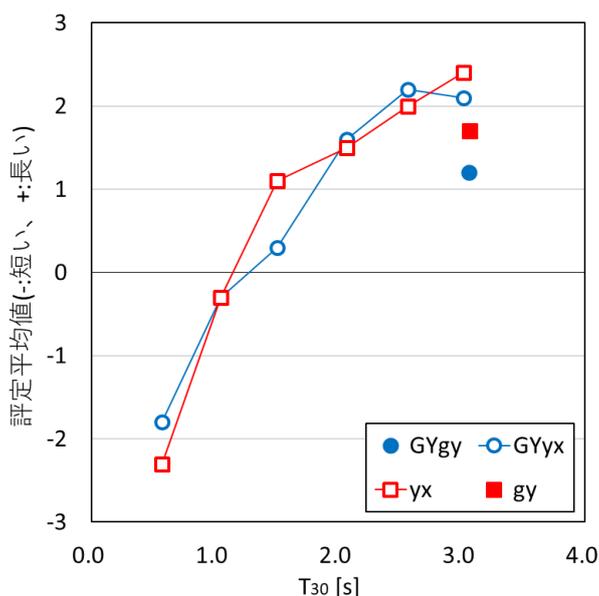


図 3-15 同時提示における空間 GY の「響きの長さ」の評価結果

響きの明るさと空間の明るさ

「響きの明るさ」と「空間の明るさ」の評価結果を空間毎に図 3-16～3-18 に示す。

「空間の明るさ」の評定平均値については、提示条件の違い（同時提示と視覚刺激の単独提示）による有意差は全ての刺激において認められず、視覚的な「空間の明るさ」に対する聴覚情報の影響はなかったと思われる。また、聴覚刺激の単独提示・同時提示のいずれにおいても、聴覚刺激の残響時間による「空間の明るさ」の評定平均値の有意な変動は見られなかった。しかしながら、視覚刺激の単独提示より同時提示の方が評定平均値はやや大きくなる傾向がみられ、「響きの明るさ」が「空間の明るさ」を僅かに高める可能性が窺えた。

「響きの明るさ」の評定平均値が 0 付近に集まっているのは、音場に対して「明るさ」を主観評価することがそもそも難しいからだと思われる。「空間の明るさ」と同様、提示条件の違い（同時提示と聴覚刺激の単独提示）による「響きの明るさ」の評定平均値の有意差はほとんどの刺激において認められなかったものの、同時提示時の評定平均値が聴覚刺激の単独提示時をやや上回る傾向がみられ、「空間の明るさ」が「響きの明るさ」を僅かに高める可能性がうかがえた。さらに、その傾向は聴覚刺激の残響時間が長いほど顕著になっているように思われる。

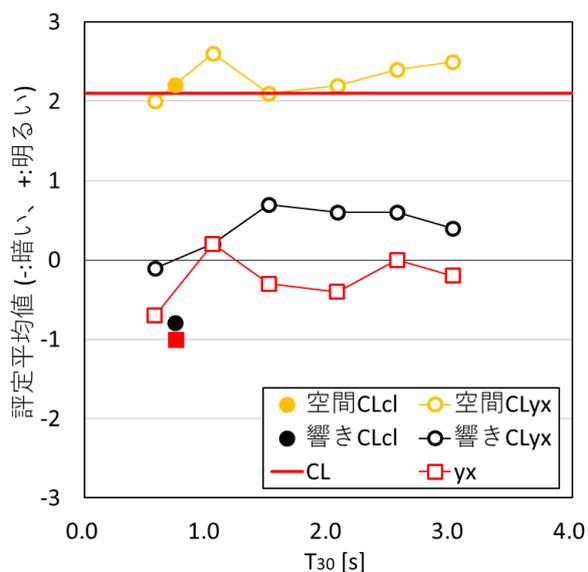


図 3-16 同時提示における空間 CL の「響き/空間の明るさ」の評価結果

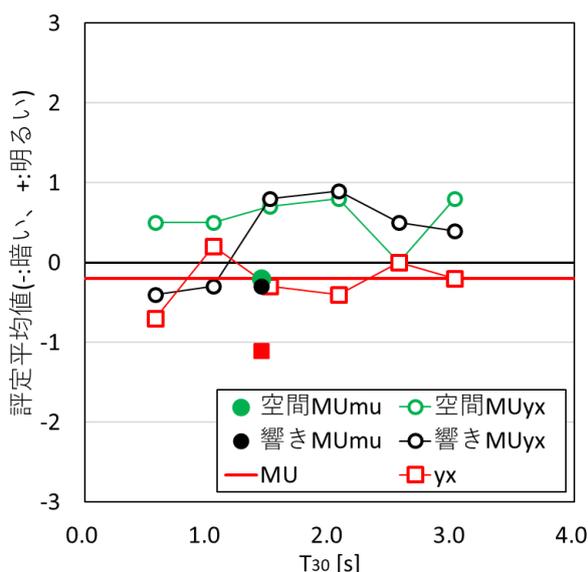


図 3-17 同時提示における空間 MU の「響き/空間の明るさ」の評価結果

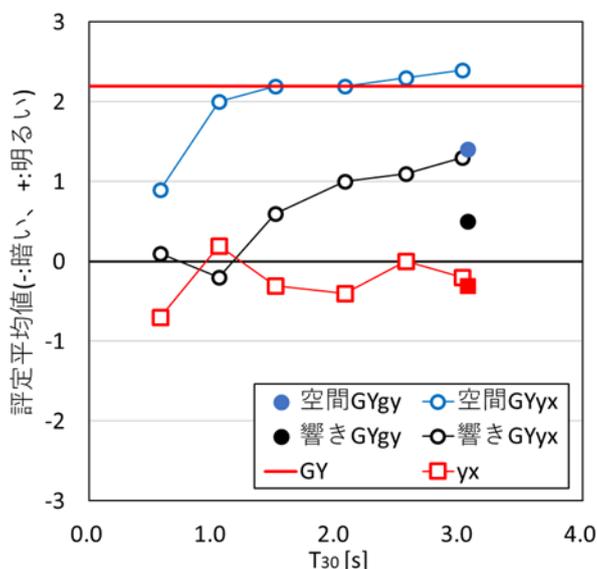


図 3-18 同時提示における空間 GY の「響き/空間の明るさ」の評価結果

空間の広さ

「空間の広さ」の評価結果を空間毎に図 3-19～3-21 に示す。同時提示における「空間の広さ」は、視覚刺激から得る情報と聴覚刺激からの予想・推定によって総合的に評価させており、他の主観評価項目とは異なる評価傾向がみられた。同時提示時の評定平均値は、聴覚刺激及び視覚刺激の単独提示時の評定平均値の中間値になっている。ただし、空間 MU, GY に長い残響時間を組み合わせた場合、同時提示

時の評定平均値は視覚刺激の単独提示時の値に飽和しているように見える。また、全ての空間において、残響時間が一番短い聴覚刺激 y_1 との組み合わせにおいて、同時提示と視覚刺激の単独提示の評定平均値間に有意差が認められた。さらに、小空間の CL は比較的長い残響時間を持つ聴覚刺激 $y_4 \sim y_6$ との組み合わせ、大空間の MU, GY は比較的短い残響時間を持つ聴覚刺激 y_1, y_2 との組み合わせにおいて、同時提示と聴覚刺激の単独提示の評定平均値間に有意差が認められた。

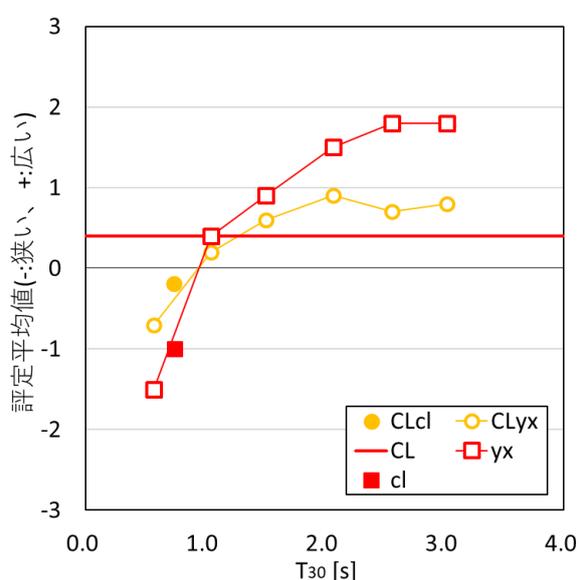


図 3-19 同時提示における空間 CL の「空間の広さ」の評価結果

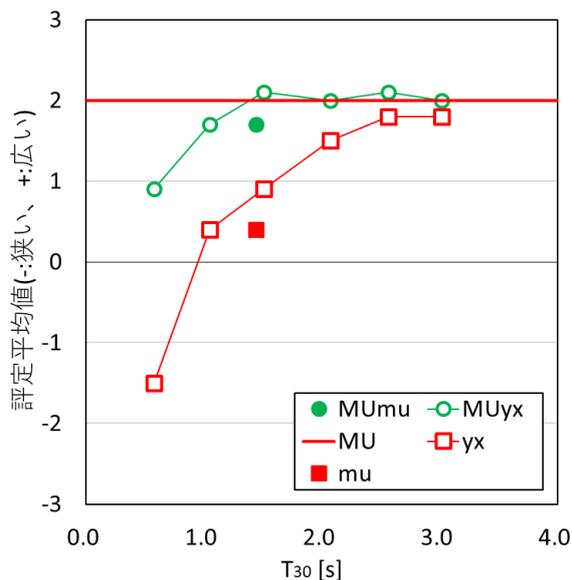


図 3-20 同時提示における空間 MU の「空間の広さ」の評価結果

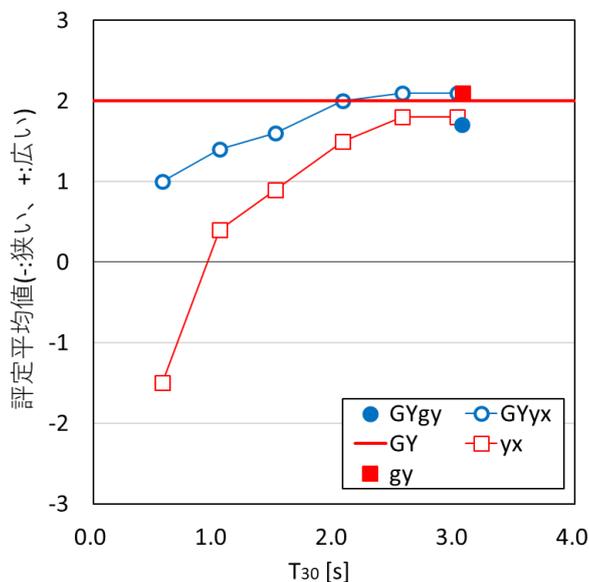


図 3-21 同時提示における空間 GY の「空間の広さ」の評価結果

空間の複雑さ

「空間の複雑さ」の評価結果を空間毎に図 3-22～3-24 に示す。「空間の複雑さ」の評定平均値は、提示条件（同時提示と視覚刺激の単独提示）の違いによる有意差は全ての刺激において認められなかった。小空間の CL では、同時提示における「空間の複雑さ」と聴覚刺激の単独提示（ y_x ）の「響きの複雑さ」の評定平均値は、聴覚刺激の残響時間が 1.0～3.0 s の場合に極めて近い値となっており、視覚印象が聴覚情報に強く影響を受けた可能性がある。

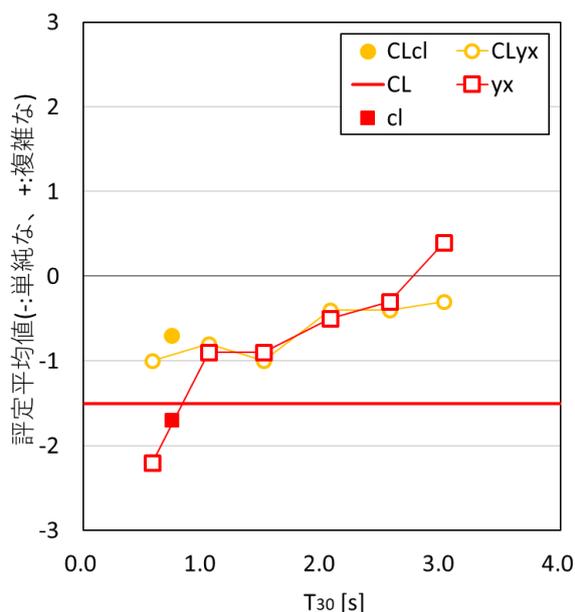


図 3-22 同時提示における空間 CL の「空間の複雑さ」の評価結果

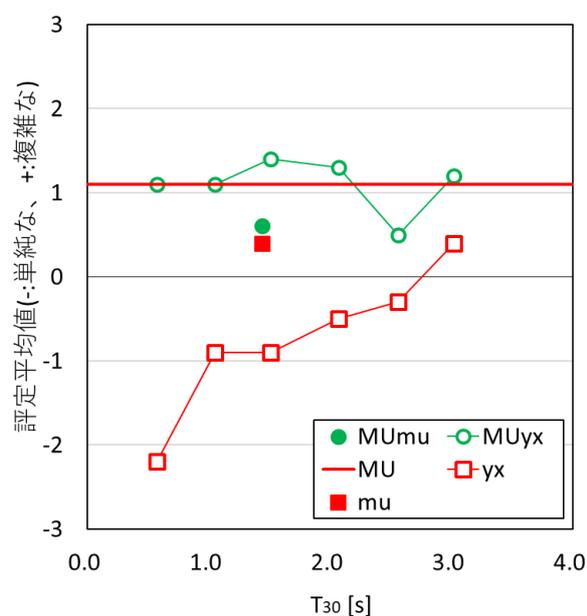


図 3-23 同時提示における空間 MU の「空間の複雑さ」の評価結果

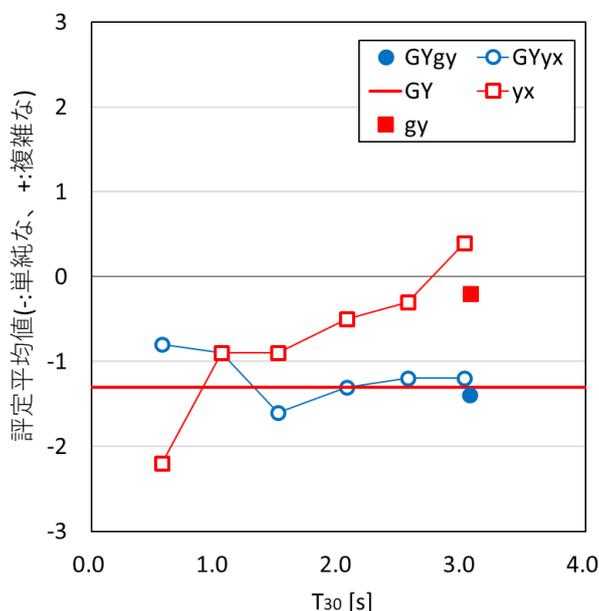


図 3-24 同時提示における空間 GY の「空間の複雑さ」の評価結果

3-4 同時提示における評価構造に対する ERT-RT による検討

3-3 節で示した同時提示における因子分析の結果に対して、更に分析と考察を加える。前章の 2-2-3 節において、予想残響時間 (ERT) と聴覚刺激の残響時間の差 (ERT-RT [s]) と「違和感」の評価および提示条件間の「残響感」の差分の関係性について分析を行った結果、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせ、つまり空間の内観に組み合わせられる響きの残響時間の整合・不整合によって、違和感の程度がおおよそ判断されることが明らかになり、視聴覚統合との関係も示唆された。更に、提示条件による「残響感」の印象変化は、ERT-RT の値が大きい場合、つまり違和感が大きい場合には生じにくく、ERT-RT の値が小さい場合、つまり違和感が小さい場合には生じやすい傾向が僅かながら見られた。

上記の現象に付随して、同時提示における視覚印象と聴覚印象の評価構造にも変化が現れると考えた。これについて検証を行うため、本実験の視聴覚刺激を ERT-RT によって 2 つにグルーピングし、グループ毎の評価構造を分析・比較する。

グルーピングの方法

違和感による視聴覚刺激のグルーピングの基準には ERT-RT を用い、それぞれ第 2 章の実験 I で測定した ERT、本実験で用いた聴覚刺激の残響時間を適用した。ERT は視覚刺激を単独提示する実験条件において、被験者が対象空間ごとに予想した響きの残響時間を同定・測定した値である。前章の図 2-6 に示したように、ERT は空間 CL で 0.92 s、MU で 1.89 s、GY で 2.98 s であった。実験 I, II から、聴覚刺激の残響時間と各空間の ERT の差が小さいほど違和感が小さく評価される傾向があることが明らかになり、さらに、違和感の程度の境界、つまり視聴覚統合が生じる条件が $|ERT-RT| < 0.5$ s の範囲内に存在すると考えた。

実験 I, II の結果を鑑みて、 $|ERT-RT| = 0.5$ s を基準にグループ分けを行う。「 $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループ」は視覚刺激と聴覚刺激の整合性が高く、違和感が小さく評価されると予想され、「 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループ」は両刺激の整合性が低く、違和感が大きく評価されると予想される。

表 3-8 に、各視聴覚刺激に対応する ERT から本実験で用いた聴覚刺激の残響時間を引いた差を、ERT-RT として示す。 $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループに属する視聴覚刺激は表中で黄色のセルで示され、CL-y₁, CL-cl, CL-y₂, MU-mu, MU-y₃, MU-y₄, GY-y₅, GY-y₆, GY-gy の 9 組である。これ以外の視聴覚刺激は全て、 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループに分類した。

表 3-8 視聴覚刺激に対応する ERT と聴覚刺激の残響時間の差

	ERT-RT [s]								
	y1	cl	y2	mu	y3	y4	y5	y6	gy
CL	0.34	0.17	-0.13	-	-0.59	-1.15	-1.65	-2.1	-
MU	1.32	-	0.84	0.44	0.38	-0.18	-0.68	-1.13	-
GY	2.41	-	1.93	-	1.47	0.91	0.42	-0.04	-0.08

|ERT-RT| < 0.5 s のグループにおける因子分析結果

表 3-9 に、|ERT-RT| < 0.5 s のグループに分類された視聴覚刺激の、同時提示における主観評価に対して因子分析を行った結果を示す。第 1 因子は残響時間と室容積に関連する評価項目から抽出され、「残響-広さ因子」と解釈した。第 2 因子は視覚的・聴覚的な「親しみやすさ」及び「明るさ」の評価項目から抽出されており、「音質-明るさ因子」と解釈した。第 3 因子は主に視覚的・聴覚的な「複雑さ」に関する評価項目から抽出され、「音質-表面因子」と解釈した。

いずれの因子も視聴覚の様相が混在する評価項目から抽出されたという点が、グルーピングを行っていない場合の結果（表 3-7）と異なった。特に、室容積と残響時間の関係性は経験的に理解されており、また、室内表面の性状や明るさは、反射音の音質や視覚的な明るさにも関連してある程度概念に共通性を持つと考えられる。

視覚情報と聴覚情報の組み合わせの整合性が高い（調和している）とそれらが互いに統合され、同じ形容詞で表現される評価項目が同じ因子を構成するという傾向は、マルチメディア分野の既往研究⁽³²⁾で報告されている「共鳴現象」による作用と一致し、建築設計および建築音響設計においても、視聴覚統合下で視聴覚相互作用が生じている可能性が示唆された。

表 3-9 |ERT-RT|<0.5 s のグループに対する因子分析の結果

評価項目	因子負荷量		
	因子1	因子2	因子3
響きの長さ	0.915	0.141	0.181
残響感	0.909	0.258	0.095
空間の広さ	0.650	0.155	0.307
響きの親しみやすさ	0.393	0.626	-0.072
響きの明るさ	0.404	0.596	0.192
空間の明るさ	-0.056	0.566	-0.170
空間の親しみやすさ	0.257	0.561	0.120
空間のやわらかさ	0.133	-0.036	0.650
響きの暖かさ	0.287	0.552	0.562
響きの複雑さ	0.310	0.332	0.521
空間の複雑さ	0.011	-0.272	0.518
空間の暖かさ	0.299	0.239	0.328
固有値	4.72	1.84	1.24
寄与率	39.35%	15.36%	10.36%
累積寄与率	39.35%	54.70%	65.06%

|ERT-RT|≥0.5 s のグループにおける因子分析結果

表 3-10 に、|ERT-RT|≥0.5 s のグループに分類された視聴覚刺激の、同時提示における主観評価に対して因子分析を行った結果を示す。第 1 因子は「音質因子」、第 2 因子は「残響因子」と解釈でき、共に聴覚に関する評価項目のみから抽出された。一方、第 3 因子以降は視覚に関する評価項目のみから因子が抽出され、第 3 因子は「表面因子」、第 4 因子は「明るさ因子」と解釈した。

この傾向は、刺激のグルーピングを行っていない場合の結果(表 3-7)と概ね一致した。|ERT-RT|<0.5 s のグループの視聴覚刺激が 9 組、|ERT-RT|≥0.5 s のグループの視聴覚刺激が 12 組であったことから、同時提示においてグルーピングを行っていない場合の結果(表 3-7)は、|ERT-RT|≥0.5 s のグループに属する視聴覚刺激に対する評価結果の影響が濃く反映されたものと思われる。

表 3-10 |ERT-RT| ≥ 0.5 s のグループに対する因子分析の結果

評価項目	因子負荷量			
	因子1	因子2	因子3	因子4
響きの暖かさ	0.788	0.085	0.162	-0.204
響きの親しみやすさ	0.720	0.163	0.180	0.129
響きの明るさ	0.701	0.183	0.155	-0.203
響きの複雑さ	0.528	0.416	-0.057	0.104
響きの長さ	0.175	0.909	0.050	-0.121
残響感	0.276	0.907	0.100	-0.066
空間の暖かさ	0.098	-0.054	0.919	-0.040
空間の複雑さ	-0.135	0.025	0.197	0.679
空間の明るさ	0.103	0.176	0.137	-0.640
空間のやわらかさ	0.248	0.082	0.444	0.413
空間の広さ	0.188	0.100	0.298	0.060
空間の親しみやすさ	0.368	0.136	0.203	-0.152
固有値	3.83	1.86	1.43	1.09
寄与率	31.88%	15.49%	11.92%	9.12%
累積寄与率	31.88%	47.37%	59.29%	68.41%

ERT-RT により視聴覚刺激をグルーピングした場合の因子分析の結果を総合すると、違和感が小さい（画像と響きが整合している）と判断されると推察される視聴覚刺激を提示した場合、異なる様相において同じ形容詞で表現される評価項目に対する印象は、様相に関わらず近似した評価構造を構成することが示唆された。これは、視聴覚統合による作用であると考えた。

一方で、違和感が大きい（画像と響きが整合していない）と判断されると推察される視聴覚刺激を提示した場合は、視覚と聴覚の様相は互いに独立した評価構造を構成すると考えられる。

3-5 小括

本章では、聴覚印象に対する視覚情報の影響に加えて、視覚印象に対する聴覚情報の影響についても検討するため、視覚刺激及び聴覚刺激の単独提示及び同時提示に対し、視覚と聴覚で同じ形容詞で表現できる評価項目を中心とした主観印象を測定する実験室実験を行った結果を示した。そして、単独提示から同時提示へと刺激の提示条件が変化することによる主観印象の変化を評価項目ごとに明らかにすると共に、提示条件ごとに評価結果の因子分析を行うことでそれぞれの評価構造の変化を確認した。実験結果の分析から得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 視覚情報と聴覚情報が同時に存在する場合、異なる様相に対する印象への影響が認められない評価項目がある一方で、一部の評価項目（「空間の広さ」など）においては少なからず視覚情報と聴覚情報の関連性がうかがえた。
- ・ 単独提示の評価結果に対する因子分析において、視覚印象では「広さ因子」・「表面因子」・「明るさ因子」が、聴覚印象では「残響因子」・「音質因子」がこの順で抽出された。
- ・ 同時提示において、全刺激・全評価項目に対する評価結果に因子分析を行うと、「音質因子」・「残響因子」・「表面因子」がこの順で抽出され、視聴覚の印象は互いに独立した因子を構成することが分かった。聴覚印象に対する視覚情報の影響および視覚印象に対する聴覚情報の影響はほとんど無いように思われた。
- ・ 同時提示における評価結果に対する因子分析を、 $|ERT-RT|=0.5$ s を基準にしたグループ分けをしたうえで行うと、 $|ERT-RT|<0.5$ s のグループに属する視聴覚刺激に対しては「残響-広さ因子」・「音質-明るさ因子」・「音質-表面因子」がこの順に抽出され、通様相性のある評価項目から共通の因子が抽出される評価構造となった。一方、 $|ERT-RT|\geq 0.5$ s のグループに属する視聴覚刺激に対しては、抽出された因子は視聴覚の共通性を持たず、視聴覚の様相が独立した評価構造となった。
- ・ 視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせの整合性が高い、つまり視聴覚統合下において、同じ形容詞で表現される印象が様相（視覚または聴覚）に関わらず同じ評価軸を持って評価されるという視聴覚相互作用が生じる可能性が示唆された。

第4章 視聴覚相互作用による視聴覚印象の評価構造の変化

4-1 はじめに

第3章では、室内の内観及び音場に対する主観印象に関して、視聴覚で同じ形容詞で表される評価項目に対し、視覚刺激・聴覚刺激の単独提示及び同時提示における主観評価実験を行った結果を示した。

3-4節においては、第2章において違和感の評価および視聴覚統合との関連性が示唆された $ERT-RT$ [s] を基準として、視聴覚刺激を $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループ、 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループの2つに分け、グループごとに同時提示における評価に対して因子分析を行った。その結果、建築空間の内観と響きの組み合わせの整合性が高く、視聴覚統合下にあると思われる $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループでは視覚・聴覚に関わらず同じ形容詞で表される評価項目が同一因子を抽出した。この場合には、視聴覚印象の一部が重なり合っただけで同じ評価軸を持つような評価構造を持ち、これが視聴覚相互作用による効果として現れたと考えた。

ただし、第3章の主観評価実験に用いられた評価項目は、評価構造の変化が表れやすいように選定されたものであった。実験で用いた聴覚刺激であるインパルス応答信号を評価するにはふさわしくない形容詞も含まれていたことに加え、実際の空間を体験したときに得られる印象を網羅していたとは言い難い。

本章では、視聴覚相互作用による評価構造の変化を明らかにするため、実空間において在室者が受ける印象を網羅するように選定した視覚と聴覚の評価項目を採用し、さらに複数の様相に関わる総合的な印象（好ましさ・違和感）を評価対象として加えて主観評価実験を行った結果を示す。

4-2 実験概要

実験システムの概要

図4-1に実験システムを示す。第2章の実験Iの実験システム(図2-4を参照)からDSPを省き、視野角を大きくするために被験者位置をスクリーンから後退させたものとなっている。

実験実施中の室温は約26°Cに保たれ、無響室内の照明は全て消灯した。ただし、聴覚刺激の単独提示においては、グレースクリーンを表示した。実験中の室内の設置機器からの発生音を含んだ被験者位置における暗騒音は $L_{Aeq}=36$ dB程度であった。また、マイクロホン近傍で手を叩いた時の聴覚刺激の提示レベルが被験者位置で $L_{Amax}=72$ dB程度であることを確認した。なお、この際の L_{Amax} の測定においては、測定位置はスピーカから1.0 mの位置とし、その位置から被験者位置までの距離減衰を考慮した L_{Amax} の値を算出している。

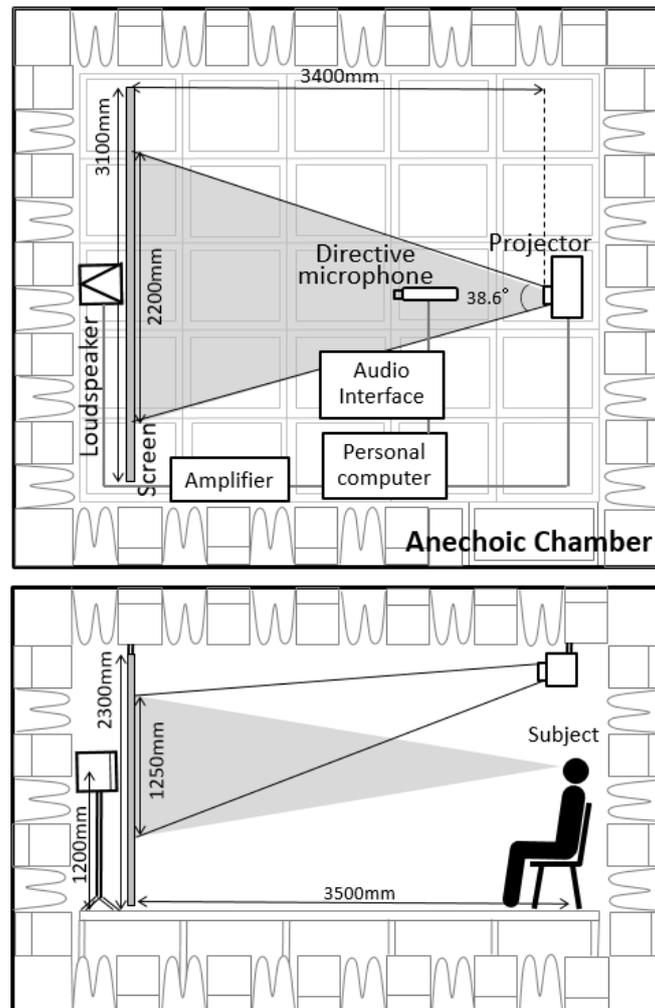


図4-1 実験システムの概要 (上: 平面 下: 断面)

視覚刺激の概要

視覚刺激の対象空間及びそのパノラマ画像は、実験 I で用いた表 2-1 に示す 3 空間の内観を示すものと同じである（写真 2-1～2-3 を参照）。これらの画像は無響室の天井から吊り下げたプロジェクタを通じて布製スクリーンに投影された。

聴覚刺激の概要

聴覚刺激の音響特性を表 4-1 に示す。聴覚刺激は、視覚刺激の撮影地点において実測されたインパルス応答の PCM 信号 cl, mu, gy (実験 I の聴覚刺激 cl₁, mu₃, gy₆、第 3 章の cl, mu, gy に相当する) に加え、空間 F (付録 3 の表 4 参照) で実測されたインパルス応答信号を基に、残響の初期と後期のエネルギー比を表す C₈₀ を対象空間毎に設定したうえで残響時間を調整して作成された PCM 信号 x₁～x₆ である。これらの信号は、被験者がマイクロホンに向けて発する任意音（音声または手を叩く音）にパソコンを通じて実時間で畳み込んでモノラル再生された。

表 4-1 聴覚刺激の音響特性（500 Hz 基準）

刺激名	T ₆₀ [s]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]
cl	0.68	0.65	8.8
mu	1.50	1.71	0.1
gy	3.07	2.72	3.2
x ₁	0.80	0.99	6.0
x ₂	1.09	1.26	2.7
x ₃	1.42	1.41	2.8
x ₄	1.73	1.57	-0.6
x ₅	2.17	2.06	-0.6
x ₆	3.06	2.46	-1.8

実験手順

実験開始前には実験の流れや各主観評価項目の意味、評価方法などについて実験者から被験者に教示を行った。この間に 5 分程度の時間を確保することで、被験者を無響室内の暗さに順応させるようにした。以下に実験手順について詳細に記す。

- ・ 視覚刺激の単独提示における主観評価

視覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、主に参考文献⁷⁾より抜粋した形容詞対を用いた表 4-2 に示す 11 項目の視覚印象の評価項目と、視角的な「好ましさ」について 7

段階（-3～+3）のカテゴリー尺度で被験者に回答させた。刺激提示中は、実験者の操作により上下左右に視覚刺激の視線方向が変えられ、室内の様子を隈無く見渡せるようにした。

・ 聴覚刺激の単独提示における主観評価

聴覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、各刺激提示に対して表 4-2 に示す 3 項目の聴覚印象の評価項目と、聴覚的な「好ましさ」について 7 段階（-3～+3）のカテゴリー尺度で被験者に回答させた。刺激提示中は、各聴覚刺激に畳み込まれた任意音のスピーカからのフィードバックをいつでも確認できるようにした。

・ 視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における主観評価

3 種類の視覚刺激と 9 種類の聴覚刺激を組み合わせた 27 種類の視聴覚刺激を、被験者にランダムな順で提示する。被験者は実験者が操作する視覚刺激を見ながら、自身が発する任意音が聴覚刺激に畳み込まれたフィードバック音を聴いて表 4-2 に示す全評価項目に対し評価を行った。「好ましさ」と「違和感」に関しては、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせに対する総合的な印象として回答させた。なお、「違和感」は片側尺度（0～+6）を用いた。

表 4-2 評価項目

評価対象	項目	(-3)	形容詞対	(+3)
視覚印象	明度	黒っぽい		白っぽい
	彩度	くすんだ		鮮やかな
	色相	冷ややかな		暖かみのある
	色の数	単色な		多色な
	明るさ	暗い		明るい
	立体感	立体感のない		立体感のある
	複雑さ	単純な		複雑な
	開放感	閉鎖的な		開放的な
	広さ	狭い		広い
	質感	かたい		やわらかい
	親しみやすさ	親しみにくい		親しみやすい
聴覚印象	響きの長さ	短い		長い
	残響感	乏しい		豊か
	明瞭感	ぼんやりした		はっきりした
総合印象	好ましさ	好ましくない		好ましい
	違和感	違和感のない (0)		違和感のある (+6)

明度

室内の仕上げ材や什器類の色の明るさに関する印象。明度が高ければ白っぽく、明度が低ければ黒っぽく感じられる。

彩度

室内の仕上げ材や什器類の色の鮮やかさに関する印象。彩度が高ければ鮮やかな印象、彩度が低ければくすんだ印象になる。

色相

第3章の主観評価実験における「空間の暖かさ」に相当する。

色の数

室内の仕上げ材や什器類の色の数に関する印象。色数が多ければ多色な印象、色数が少なければ単色な印象になる。

立体感

室内の構成の凹凸や天井高等に関する印象。吹き抜けがあるなど高さ方向へ意識が向けられる場合、室表面の凹凸によって陰影が強調される場合に立体感が高く感じられる。

開放感

室容積および開口部の有無に関連する印象。開口部が多く室容積が大きいほど開放的に、開口部が少なく室容積が小さいほど閉鎖的に感じられる。

質感

第3章の主観評価実験における「空間のやわらかさ」に相当する。

好ましさ

空間及び響きに対する好ましさ（好き嫌い）。視覚刺激の単独提示の場合、「空間の親しみやすさ」とほぼ同等の意味をもつ。聴覚刺激の単独提示の場合、長い残響と短い残響のどちらが好まれるか確認でき、その印象評価は予想残響時間の同定結果とも関連する可能性がある。同時提示の場合には、視聴覚刺激の組み合わせに対する好ましさを回答させ、「違和感」と相反する評価がなされると予想される。

被験者属性

被験者はみな正常な視覚と聴覚を有し、「好ましさ」の評価を除く視覚刺激の単独提示に対する被験者は第2章の実験Iと同様の20～50代の9名（男性6名、女性3名）であった。視覚刺激の単独提示時の「好ましさ」、聴覚刺激の単独提示、及び同時提示に対する被験者は20～50代の9名（男性8名、女性1名）であった。被験者は主に三重大学工学部建築学科に所属する学生であり、建築音響学の基礎的な知識を有していた。

4-3 実験結果と考察

以下の因子分析における初期解は主因子法によって求め、共通性の初期値の設定には相関最大値を用いた。有効な因子は、原則として固有値が 1.0 以上のものとし、因子の解釈がしやすいようにバリマックス回転を行った後の因子負荷行列を結果として表示している。

4-3-1 視覚刺激の単独提示における評価構造

表 4-3 に、視覚刺激の単独提示における全評価項目の評定結果に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された 4 因子の累積寄与率は 71.08% となった。最も寄与率の高い第 1 因子は、空間の容積に関係すると思われる評価項目から抽出された「広さ因子」、第 2 因子は空間の表面性状から判断された室の雰囲気に関係すると考えられる評価項目から抽出された「表面因子」とした。第 3 因子は、主に空間の複雑さから抽出された「形状因子」としたが、この因子に彩度が含まれたことは命名に反映できていない。第 4 因子は主に空間の明るさに関係がある評価項目から抽出された「明るさ因子」とした。第 4 因子には、総合的な空間印象である「好ましさ」が含まれており、「好ましさ」については主に「明るさ」が関係していると考えられる。「色の数」および「親しみやすさ」は、上位の 4 因子に含まれなかった。第 3 章の同提示条件における評価構造と、大きな差はみられなかった。

表 4-3 視覚刺激の単独提示における因子分析の結果

評価項目	因子1	因子2	因子3	因子4
開放感	0.888	0.110	0.070	0.349
広さ	0.806	0.415	0.017	-0.118
立体感	0.531	0.117	0.517	0.078
色相	0.456	0.874	0.153	0.050
質感	0.246	0.672	0.206	0.188
複雑さ	0.063	0.062	0.718	0.129
彩度	0.202	0.239	0.588	0.050
好ましさ	0.093	0.275	0.063	0.565
明度	0.104	0.020	0.132	0.561
明るさ	0.038	0.492	0.379	0.531
色の数	-0.048	0.107	0.369	-0.437
親しみやすさ	0.467	0.202	0.213	0.129
固有値	4.46	1.59	1.45	1.04
寄与率	37.14%	13.22%	12.08%	8.64%
累積寄与率	37.14%	50.36%	62.44%	71.08%

この結果の解釈としては、視覚刺激のみを提示された時に、被験者が刺激から得た情報を基に判断していると思われる主たる主観尺度は室容積（広さ）であり、それに空間の内表面性状（素材や質感）、空間の形状が続くと推察される。本実験ではそもそも視覚刺激間の照度の変化が乏しいので、「明るさ因子」は他の因子に比べ低い重みの尺度となったのは当然である。また、好みの違いについても判断しにくい刺激であったと思われるが、強いと言えば、明るく白っぽい空間であるほど総合的に好ましいと判断されたと考えられる。

4-3-2 聴覚刺激の単独提示における評価構造

表 4-4 に、聴覚刺激の単独提示における全評価項目の評定結果に対して因子分析を行った結果を示す。第 2 因子の固有値は 1.00 と計算されたものの、「明瞭感」及び「好ましさ」は共に負荷量が小さく、これらで一つの因子を構成するとはみなされなかった。第 1 因子は空間の残響時間に関係すると思われる評価項目が抽出され、「残響因子」とした。

「明瞭感」は第 1 因子に対して負の方向にやや大きい因子負荷量 (-0.470) を持つことから、「明瞭感」も「残響因子」を構成すると考えるのが妥当である可能性がある。一方、「好ましさ」は第 1・第 2 因子共に因子負荷量が小さく、聴覚刺激の違いによって好みを判断することは難しかったと思われる。本実験において、聴覚刺激に対して被験者は概ね「残響感」を主たる主観尺度として評価していると考えて良いと思われる。

表 4-4 聴覚刺激の単独提示における因子分析の結果

評価項目	因子1	因子2
残響感	0.848	0.263
響きの長さ	0.793	0.555
明瞭感	-0.470	0.009
好ましさ	0.034	0.269
固有値	2.12	1.00
寄与率	52.93%	24.90%
累積寄与率	52.93%	77.82%

4-3-3 同時提示における評価構造

表 4-5 に、同時提示における全評価項目の評定結果に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された因子は 5 つであり、これらの累積寄与率は 70.64% となった。最も寄与率の高い第 1 因子は空間の容積や表面性状に関係すると思われる評価項目から抽出された「広さ-表面因子」、第 2 因子は聴覚印象の評価項目のみから抽出された「聴覚因子」と命

名した。刺激に対する総合印象である「違和感」及び「好ましさ」から抽出された第3因子を「総合印象因子」、空間の明るさに関係がある評価項目から抽出された第4因子を「明るさ因子」、空間の形状に関する主観評価項目から抽出された第5因子を「形状因子」と名付けた。ただし、第5因子には「色の数」が含まれている。

この結果の解釈をすると、被験者はまず視覚刺激から読み取る空間の広さ及び表面性状に対して重みを置いて主観判断し、次に聴覚刺激から聴き取れる残響感を、その次に視覚情報と聴覚情報の組み合わせの整合性の程度によって生じる違和感及び違和感に関連する好ましさを判断していると思われる。また、「明るさ因子」と「形状因子」については主観判断の優先度が低くなっている。視覚刺激の照度には大きな分布がないため優先度が低くなるのは当然であるが、「形状因子」の優先度が「明るさ因子」よりも低くなった原因は推定できなかった。また、第3章の同提示条件における評価構造では、聴覚印象の重みの方が大きかったが、評価項目の数が異なるため直接的な比較はできない。

表 4-5 同時提示における因子分析の結果

評価項目	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
広さ	0.816	0.173	0.067	-0.101	0.014
開放感	0.778	0.190	0.155	-0.048	0.119
色相	0.710	-0.037	0.091	0.152	0.319
質感	0.552	0.028	0.049	0.164	0.421
親しみやすさ	0.539	-0.021	0.287	0.141	0.234
響きの長さ	0.051	0.872	0.155	-0.051	0.088
残響感	0.082	0.725	0.275	-0.089	0.212
明瞭感	-0.121	-0.500	0.096	0.187	-0.062
好ましさ	0.236	0.150	0.881	0.018	0.021
違和感	-0.123	-0.080	-0.844	0.036	0.020
明度	-0.014	-0.026	-0.099	0.895	-0.022
明るさ	0.135	-0.063	0.033	0.670	0.178
彩度	0.010	-0.198	0.038	0.526	0.100
立体感	0.395	0.277	0.121	0.118	0.598
複雑さ	0.297	0.158	-0.076	0.120	0.570
色の数	0.064	0.052	0.006	0.050	0.568
固有値	4.56	2.54	1.70	1.49	1.02
寄与率	28.48%	15.87%	10.60%	9.31%	6.39%
累積寄与率	28.48%	44.34%	54.94%	64.26%	70.64%

表 4-5 を視覚刺激の単独提示における視覚印象の因子分析結果（表 4-3）と比較すると、第 1 因子に室の「広さ」に関連する評価項目に加え、表面性状に関連する「色相」・「質感」・「親しみやすさ」が加わっている。また、聴覚印象の評価項目が全て第 2 因子にまとまった。この傾向は第 3 章における同時提示における主観評価に対する因子分析結果でも現れており、聴覚印象が独立しており視聴覚統合が生じていないことを意味しているように思われる。また、第 3 因子においては「好ましさ」と「違和感」の因子負荷量の符号が逆であり、この 2 項目の評価軸は逆相関していることが推察される。「色の数」が第 5 因子に含まれた原因は不明である。

参考として、同時提示の視覚印象と総合印象の項目における評定結果のみ抜き出して因子分析を行った結果を表 4-6 に、同時提示の聴覚印象と総合印象の項目における評定結果のみ抜き出して因子分析を行った結果を表 4-7 に示す。表 4-6 は表 4-5 から聴覚印象の評価項目を抜いた場合にほぼ等しく、表 4-7 も因子負荷量の変化によって因子を抽出する順序には逆転が見られるものの、評価構造としては表 4-5 から視覚印象の評価項目を抜き出した場合に等しい。

表 4-6 同時提示における因子分析の結果（視覚印象のみ）

評価項目	因子1	因子2	因子3	因子4
広さ	0.792	-0.090	-0.136	0.109
開放感	0.775	-0.170	-0.079	0.189
色相	0.713	-0.069	0.190	0.284
親しみやすさ	0.561	-0.254	0.169	0.187
質感	0.534	-0.052	0.177	0.426
違和感	-0.111	0.915	0.044	0.005
好ましさ	0.252	-0.842	-0.002	0.047
明度	-0.035	0.074	0.827	0.031
明るさ	0.133	-0.026	0.700	0.161
彩度	0.006	-0.009	0.554	0.052
複雑さ	0.250	0.044	0.085	0.677
立体感	0.379	-0.150	0.080	0.663
色の数	0.070	0.000	0.063	0.519
固有値	4.25	2.14	1.57	1.10
寄与率	32.71%	16.46%	12.11%	8.42%
累積寄与率	32.71%	49.17%	61.28%	69.71%

表 4-7 同時提示における因子分析の結果（聴覚印象のみ）

評価項目	因子1	因子2
好ましさ	0.965	0.133
違和感	-0.818	-0.076
響きの長さ	0.155	0.877
残響感	0.277	0.780
明瞭感	0.047	-0.502
固有値	2.45	1.47
寄与率	48.97%	29.40%
累積寄与率	48.97%	78.37%

4-4 同時提示における評価構造に対する ERT-RT による検討

4-3 節の分析結果によると、刺激の提示条件が単独から同時に変わることによって、視覚刺激に対する主観評価構造はやや変化が見られるものの、聴覚印象が独立した因子として抽出された。この傾向は、第3章で明らかになった通り、整合性が低い視聴覚刺激が多く含まれる場合に現れるものであると予想され、4-3-3 節における同時提示時の視聴覚印象の評価を因子分析した結果もこの場合に当てはまる。そこで、3-4 節と同様に、視聴覚刺激の組み合わせを $|ERT-RT|=0.5$ s を基準としたグルーピングを行い、同時提示における評価結果をそれぞれのグループに対して因子分析を行った結果を比較することとする。

グルーピングの方法

ERT は空間 CL で 0.92 s、空間 MU で 1.89 s、空間 GY で 2.98 s であり、ERT から本実験で用いた聴覚刺激の残響時間を差し引いた値を ERT-RT として表 4-8 に示す。 $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループに属する視聴覚刺激は表中で黄色のセルで示され、CL-cl, CL-x₁, CL-x₂, MU-x₃, MU-mu, MU-x₄, MU-x₅, GY-x₆, GY-gy の 9 組である。これ以外の視聴覚刺激は全て、 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループに分類した。

表 4-8 視聴覚刺激に対応する ERT と聴覚刺激の残響時間の差

	ERT-RT [s]								
	cl	x ₁	x ₂	x ₃	mu	x ₄	x ₅	x ₆	gy
CL	0.24	0.12	-0.17	-0.50	-0.58	-0.81	-1.25	-2.14	-2.15
MU	1.21	1.09	0.80	0.47	0.39	0.16	-0.28	-1.17	-1.18
GY	2.30	2.18	1.89	1.56	1.48	1.25	0.81	-0.08	-0.08

 $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループにおける因子分析結果

表 4-9 に、 $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループに属する視聴覚刺激の、同時提示における全評価項目に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された因子は 3 つであり、これらの累積寄与率は 60.04% となった。累積寄与率は、表 4-3~4-5 と比較するとやや低いものの、対象となる刺激数が等しい 3-4 節における因子分析結果（表 3-9）と同程度である。

第 1 因子は空間の容積や表面性状・形状に関係すると考えられる評価項目から抽出されており、概ね「広さ-表面-形状因子」あるいは「空間因子」と考えられる。第 2 因子は主に聴覚印象の評価項目から抽出されていると思われるが、「広さ」も含まれており、第 1 因子と第 2 因子に対する因子負荷量がほぼ等しいことから「広さ-聴覚因子」と考えた。「違和感」及び「好ましさ」から抽出された第 3 因子は「総合印象因子」と名付けた。

この結果をグループ分けせずに因子分析を行った結果（表 4-5）と比較すると、第 1 因子の因子負荷量が高い項目に室の仕様に關わる項目が集まる傾向は近似している一方、表 4-9 では視覚的に判断しやすいと思われる「広さ」と「開放感」の因子負荷量が第 1・第 2 因子共に高くなり、聴覚印象の評価項目と共に第 2 因子を構成するようになったことが異なっている。視聴覚刺激の整合性が高い場合、少なからず視聴覚統合が生じ、評価軸が近似した視覚印象の「広さ」及び「開放感」と聴覚印象の「残響感」・「明瞭感」が同方向に変化したことを示唆していると思われ、単独提示では独立していた聴覚印象と視覚印象の一部が重なるように評価構造が変化したと言える。

表 4-9 同時提示において $|ERT-RT| < 0.5$ s のグループに対する因子分析の結果

評価項目	因子1	因子2	因子3
色相	0.786	0.252	0.008
立体感	0.777	0.118	-0.045
親しみやすさ	0.715	0.076	0.279
質感	0.702	0.124	0.124
複雑さ	0.659	0.047	-0.097
開放感	0.561	0.524	0.174
明るさ	0.503	-0.373	-0.240
響きの長さ	0.152	0.636	0.194
広さ	0.537	0.577	0.113
残響感	0.309	0.537	0.281
明瞭感	-0.032	-0.625	0.101
好ましさ	0.217	0.078	0.846
違和感	-0.028	0.003	-0.814
明度	0.074	-0.322	-0.492
彩度	0.189	-0.376	-0.298
色の数	0.479	-0.334	0.051
固有値	5.03	2.89	1.75
寄与率	31.42%	18.03%	10.95%
累積寄与率	31.42%	49.45%	60.40%

参考として、同グループに対して視覚印象と総合印象の評定結果のみ抜粋して因子分析を行った結果を表 4-10 に、聴覚印象と総合印象の評定結果のみ抜粋して因子分析を行った

結果を表 4-11 に示す。グループ分けせずに因子分析を行った結果（表 4-6, 4-7）と比較すると、聴覚印象と総合印象の評価構造には変化が見られないものの、視覚印象の評価構造がやや異なることが分かった。

表 4-10 |ERT-RT| < 0.5 s のグループに対する因子分析の結果（視覚印象のみ）

評価項目	因子1	因子2	因子3
広さ	0.817	-0.058	-0.295
色相	0.786	-0.043	0.218
開放感	0.778	-0.167	-0.192
立体感	0.697	-0.016	0.357
質感	0.665	-0.160	0.245
親しみやすさ	0.643	-0.314	0.285
複雑さ	0.595	0.043	0.301
違和感	0.012	0.872	0.020
好ましさ	0.235	-0.795	-0.072
明るさ	0.218	0.183	0.634
色の数	0.207	-0.102	0.570
明度	-0.099	0.464	0.347
彩度	-0.043	0.272	0.447
固有値	4.53	2.55	1.37
寄与率	34.84%	19.62%	10.56%
累積寄与率	34.84%	54.46%	65.02%

表 4-11 |ERT-RT| < 0.5 s のグループに対する因子分析の結果（聴覚印象のみ）

評価項目	因子1	因子2
好ましさ	0.995	0.082
違和感	-0.734	-0.063
響きの長さ	0.141	0.893
残響感	0.296	0.665
明瞭感	0.100	-0.525
固有値	2.27	1.52
寄与率	45.47%	30.47%
累積寄与率	45.47%	75.94%

|ERT-RT| \geq 0.5 s のグループにおける因子分析結果

表 4-12 に、|ERT-RT| \geq 0.5 s のグループに属する視聴覚刺激の、同時提示における全評価項目に対して因子分析を行った結果を示す。抽出された因子は 4 つで、これらの累積寄与率は 65.89% となった。第 1 因子は概ね「広さ-表面因子」と考えられ、形状に関連する評価項目は含まれなかった。第 2 因子は「聴覚因子」と考えられる。「立体感」は第 1 因子と第 2 因子に対する因子負荷量がほぼ等しく、両方の因子に関連している。第 3 因子は「明るさ因子」、第 4 因子は「総合印象因子」と命名した。「明瞭感」・「色の数」・「複雑さ」はいずれの因子ともあまり関連性が見られなかった。

この結果が、グループ分けせずに因子分析を行った結果（表 4-5）と異なる点として、「明瞭感」が第 2 因子に関連しなかったこと、「形状因子」が抽出されなかったことが挙げられるが、第 1 因子を形成する評価項目が全く同じであることを加味すれば、全体的な評価構造としては大きく違いはないと思われる。また、|ERT-RT| $<$ 0.5 s のグループに対する因子分析結果（表 4-9）と比較すると、第 2 因子において視覚的な「広さ」と「残響感」等の聴覚印象との視聴覚相互作用が見られない点が大きな違いであることが分かる。

ERT-RT により視聴覚刺激をグルーピングした場合の因子分析の結果を総合し、違和感が小さい（画像と響きが整合している）と判断されると推察される視聴覚刺激を提示した場合、視聴覚統合の状態となり、視覚印象の「広さ」及び「開放感」と聴覚印象の「残響感」と「明瞭感」が重なるように評価構造が変化するという視聴覚相互作用が現れたと考えた。

一方で、違和感が大きい（画像と響きが整合していない）と判断されると推察される視聴覚刺激を提示した場合は、前章 3-4 節において得られた結果と同様に、視覚と聴覚の様相は互いに独立した評価構造を構成した。

表 4-12 同時提示において $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループに対する因子分析の結果

評価項目	因子1	因子2	因子3	因子4
色相	0.782	-0.027	0.181	0.075
開放感	0.758	0.137	-0.050	0.218
広さ	0.720	0.054	-0.140	0.146
質感	0.654	0.170	0.247	-0.064
親しみやすさ	0.553	-0.013	0.170	0.262
残響感	-0.020	0.792	-0.069	0.350
響きの長さ	-0.059	0.791	-0.063	0.244
立体感	0.501	0.529	0.143	0.097
明度	0.001	-0.002	0.911	-0.035
明るさ	0.146	0.015	0.690	0.015
彩度	0.091	-0.161	0.569	0.055
好ましさ	0.240	0.175	0.079	0.855
違和感	-0.183	-0.073	0.010	-0.814
明瞭感	-0.055	-0.491	0.211	0.020
色の数	0.266	0.378	0.037	-0.185
複雑さ	0.398	0.455	0.152	-0.226
固有値	4.38	2.60	1.84	1.73
寄与率	27.36%	16.27%	11.47%	10.79%
累積寄与率	27.36%	43.64%	55.11%	65.89%

参考として、 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループに対して、視覚印象と総合印象の評定結果のみ抜粋して因子分析を行った結果を表 4-13 に、聴覚印象と総合印象の評定結果のみ抜粋して因子分析を行った結果を表 4-14 に示す。グループ分けをせずに因子分析を行った結果（表 4-6, 4-7）と比較すると、一部で因子の重みづけ（因子として抽出される順番）が異なるものの、因子を抽出した評価項目の評価構造には大きな変化は見られない。

表 4-13 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループに対する因子分析の結果（視覚印象のみ）

評価項目	因子1	因子2	因子3	因子4
色相	0.768	0.202	0.054	0.184
開放感	0.743	-0.047	0.215	0.239
広さ	0.693	-0.122	0.153	0.191
親しみやすさ	0.607	0.187	0.205	0.031
質感	0.547	0.239	0.005	0.389
明度	-0.037	0.943	-0.018	0.076
明るさ	0.122	0.682	0.023	0.099
彩度	0.085	0.556	0.029	-0.029
好ましさ	0.219	0.066	0.927	0.046
違和感	-0.186	0.017	-0.826	0.040
複雑さ	0.148	0.081	-0.046	0.783
立体感	0.328	0.079	0.250	0.631
色の数	0.110	-0.016	-0.052	0.507
固有値	4.15	2.08	1.74	1.15
寄与率	31.91%	16.03%	13.36%	8.81%
累積寄与率	31.91%	47.94%	61.31%	70.12%

表 4-14 $|ERT-RT| \geq 0.5$ s のグループに対する因子分析の結果（聴覚印象のみ）

評価項目	因子1	因子2
響きの長さ	0.863	0.160
残響感	0.838	0.292
好ましさ	0.170	0.898
違和感	-0.076	-0.883
明瞭感	-0.496	0.021
固有値	2.55	1.42
寄与率	50.96%	28.38%
累積寄与率	50.96%	79.34%

4-5 小括

本章では、視覚刺激及び聴覚刺激の単独提示と同時提示における、複数の様相に関わる総合的な印象を含んだ幅広い形容詞対を評価項目とした主観評価実験を行い、因子分析によってその評価構造を明らかにするとともに、提示条件および ERT-RT による評価構造の変化について考察した。得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 視覚印象は、提示条件に関わらず概ね「広さ因子」・「表面因子」・「形状因子」・「明るさ因子」が互いに独立して評価された。本実験の視覚刺激には明るさによるバリエーションがなかったため、「明るさ」に対する評価の優先順位が低くなったと思われる。
- ・ 聴覚印象に関して、提示条件に関わらず概ね「響きの長さ」・「残響感」・「明瞭感」は同じ因子に関連しているが、「明瞭感」のみ別の因子を抽出する場合もあった。
- ・ 「好ましき」は、視覚刺激の単独提示においては「明るさ」と関連するが、聴覚刺激の単独提示においては「響きの長さ」・「残響感」・「明瞭感」のいずれともあまり関連性が見られなかった。一方で、同時提示において「好ましき」は「違和感」と強く関連し、符号の異なる因子負荷量を持って因子を抽出した。
- ・ 視覚刺激の単独提示においては「広さ因子」・「表面因子」・「形状因子」は独立した因子と分析されたが、同時提示においては「広さ-表面」あるいは「広さ-表面-形状因子」のように視覚評価の因子が一つに集約される傾向が見られた。
- ・ 聴覚刺激に対する評価項目は、提示条件に関わらず独立した一因子を形成する傾向が見られたが、 $|ERT-RT| < 0.5$ s に属する視聴覚刺激に対する同時提示における因子分析では、視覚印象の「広さ」・「開放感」と聴覚印象に関する評価項目から第2因子が抽出された。

第5章 視聴覚相互作用による印象変化に関する考察

5-1 はじめに

本研究では、建築空間の内観と響きが相互に影響を及ぼし合い、それぞれを単独提示した場合と同時提示した場合で視聴覚印象が変化することが視聴覚相互作用として現れる可能性があると考え、建築空間を表す視覚刺激（パノラマ画像）と聴覚刺激（音場）を用いた視聴覚印象に対する主観評価実験を行い、評定平均値の差分や因子分析を通じて、刺激の提示条件による印象変化および評価構造の変化について分析を行ってきた。その結果をまとめ、以下に示す。

- ・ 空間の表面性状に対する視覚印象（「鮮やかさ」など）については、聴覚情報による影響が小さい。一方で、容積に関する視覚印象（「広さ」や「開放感」）については聴覚情報の影響を受けるとともに、残響に対する聴覚印象（「響きの長さ」と「残響感」）と相互に影響を及ぼし合って印象が変化する可能性がある。
- ・ 予想残響時間（ERT）と聴覚刺激の残響時間（RT）に関して、 $|ERT-RT| < 0.5\text{ s}$ の範囲内においては「違和感」が有意に小さく評価されると共に、この範囲外と比較して「残響感」の印象変化がやや大きくなる傾向がある。また、この範囲内では、視覚印象と聴覚印象の一部が重なり合った特徴的な評価構造を呈し、この条件下において視覚情報と聴覚情報が統合していると考えた。

本章では、提示条件の違いによる印象変化を生じさせるメカニズムのモデルを提案するため、これまでの実験結果を総合して、各評価項目の提示条件間の差分を示すと共に、視聴覚統合が生じ得る条件を再考する。最後に、実設計への応用の手がかりとして、視覚情報による聴覚印象の変化に相当する残響時間を示す。なお、第2章から第4章に示した主観評価実験の名称を表5-1に示す形式で統一し、本章ではその名称を用いることとする。

表 5-1 実験の名称及び各実験の概要

実験名称	本論文の章・節	視覚刺激の対象空間	聴覚刺激の作成方法	聴覚刺激の提示方法	評価項目
実験I	2-2-1節	講義室(CL) 多目的ホール (MU) 体育館(GY)	波形編集	畳み込み	聴覚印象・違和感
実験II	2-2-2節		DSP	直接	
実験III	第3章		DSP	直接	視聴覚印象
実験IV	第4章		波形編集	畳み込み	視聴覚印象・総合印象

5-2 残響時間に対する提示条件間の評定平均値の差分の変動

印象変化のモデルを作成するため、本節では、残響時間に対する提示条件間の評定平均値の差分の変動について考察する。本研究では、下記の枠内に示す通り、視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における評定平均値から視覚刺激または聴覚刺激の単独提示における評定平均値を引いた値を「差分」と呼んでいる。本節では、ERT-RT [s]に対する差分の分布および2区間移動平均の変動を実験条件や評価項目、空間ごとに図示し、差分の変動の有意性や、ERT-RTの区間ごとの差分の平均値などに着目して分析を行う。

本節に示す図は縦軸が差分、横軸がERT-RTで示される。つまり、縦軸にプロットされる差分は刺激の提示条件間における印象差を表し、縦軸の値が0に近似していれば、刺激の単独提示と同時提示における印象差が小さいことを表す。また、横軸にプロットされるERT-RTが0に近似していれば、聴覚刺激の残響時間が被験者の予想した響きの残響時間に近いことを表しており、この場合、両者が同一空間の属性としての整合性が高く、視聴覚刺激に対する違和感は小さく感じられると推察され、視聴覚統合が生じると考えている。

差分 = 提示条件間の評定値の差

- ・ 聴覚印象の場合

(同時提示における聴覚印象の評定値) - (聴覚刺激の単独提示における聴覚印象の評定値)

- ・ 視覚印象の場合

(同時提示における視覚印象の評定値) - (視覚刺激の単独提示における視覚印象の評定値)

5-2-1 全評価項目の差分の変動

実験 I~IV の全評価項目に対する評価結果について、差分のERT-RTに対する散布を図5-1に示す。この図には様々な評価傾向の評価項目がまとめて示されているため、詳細な分析は避けるが、全体的な傾向としては横軸の値によらず、実験 I, II の差分は概ね-1.0~1.0の間に分布している。その一方で、実験 III, IV の差分はそれぞれ-1.0~2.0, -3.0~1.0と幅広く分布している。特に、実験 IV は差分の値が-3.0 近辺の非常に小さな値となる場合がある。この分布幅の違いが生じた理由に関しては、実験 I, II は視覚印象に関する評価項目を含まないことから、実験 III, IV と比較して評価項目の数が少ないことが主に起因していると思われる。実験毎のERT-RTに対する差分の変動について一元配置分散分析を行った結果、実験 III, IV に1%水準で有意差が認められた。

図5-1に示した差分のERT-RTに対する2区間移動平均の変動を図5-1'に、図5-1'で示した全評価項目の差分に対するERT-RTの区間ごとの平均値と標準偏差を表5-2に示す。

図5-1'及び表5-2を見ると、視聴覚統合が起こりうるERT-RT=-0.5~0.5sの区間における差分の変動がその他の区間と比較してやや小さく見える。ERT-RT=-0.5~0.5sの区間と

その他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、 $-3.0 \sim -1.5$ s、 $0.5 \sim 1.5$ s、 $1.5 \sim 3.0$ sの区間との間に1%水準で有意差が認められた。

また、表 5-2 を見ると区間の両端である $-3.0 \sim -1.5$ s 及び $1.5 \sim 3.0$ s の範囲では、対象データの数が他区間と比較して少ないものの、標準偏差が 0.8 以上と他の区間と比較してやや大きい。一元配置の分散分析によれば区間毎の差分の平均値は有意に変動し(1%水準)、ERT-RT の大きい区間になるほど差分は小さくなっている。

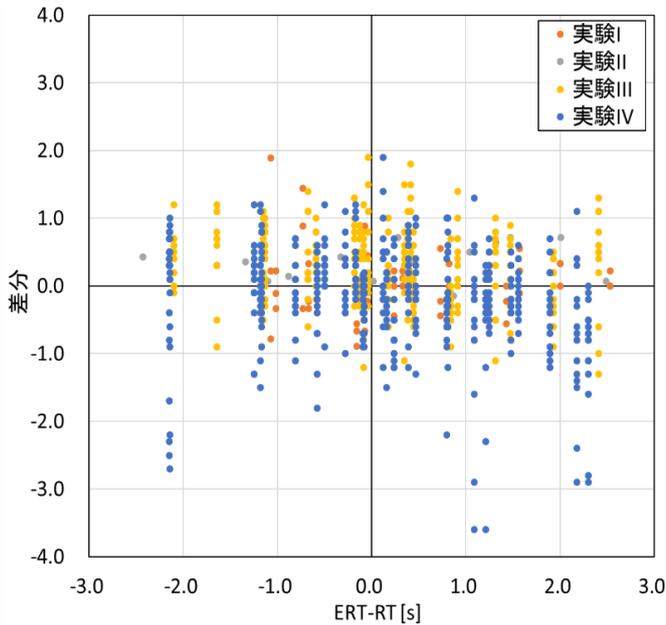


図 5-1 実験 I~IV における全評価項目の差分

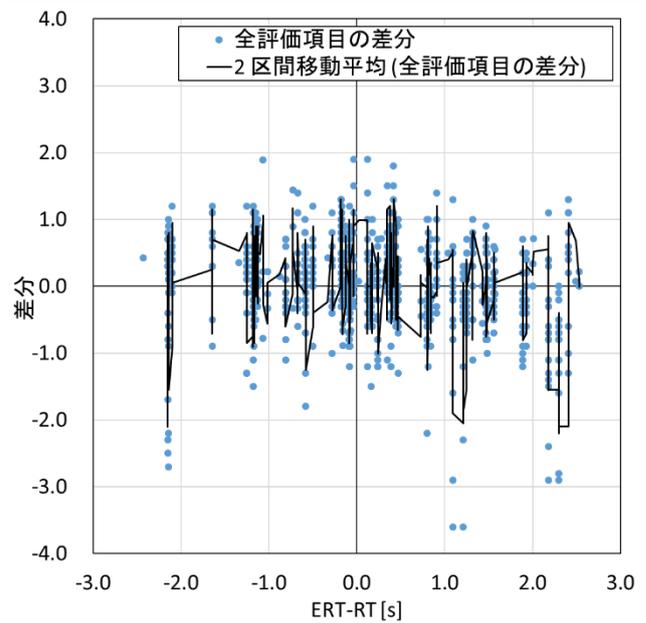


図 5-1' 図 5-1 で示した差分の変化

表 5-2 図 5-1' の区間ごとの差分の平均値及び標準偏差

ERT-RT [s]	$-3.0 \sim -1.5$	$-1.5 \sim -0.5$	$-0.5 \sim 0.5$	$0.5 \sim 1.5$	$1.5 \sim 3.0$
対象データ数	57	159	275	157	99
差分の平均値	0.14	0.15	0.11	-0.13	-0.29
差分の標準偏差	0.89	0.59	0.60	0.73	0.80

5-2-2 聴覚印象の差分の変動

図 5-1 にプロットした差分の点から、聴覚印象の評価項目に対する点のみ抜粋したものを図 5-2 に示す。差分の分布幅に関する全体的な傾向は図 5-1 と同様であるが、実験 IV の差分で -3.0 を下回る点は無くなっている。

図 5-2 に示した差分の移動平均の変動を図 5-2'に、図 5-2'に示す差分に対する ERT-RT の区間毎の平均値と標準偏差を表 5-3 に示す。図 5-3'のデータ数は図 5-2'より 450 個少ない。

表 5-3 について、標準偏差は概して表 5-2 より大きく、視覚印象よりも聴覚印象の方が評価のばらつきが生じやすい可能性がうかがえた。この傾向は、特に区間端部（ERT-RT が -3.0~-1.5 s 及び 1.5~3.0 s の区間）において顕著に見られる。また、差分の平均値は -3.0~-1.5 s を除く全ての区間において正の値となった。全区間の差分平均値に対して多重比較を行った結果、いずれの区間の平均値間にも有意差は検出されなかったが、聴覚刺激の残響時間が予想残響時間に近似している -0.5~0.5 s の区間においては差分が最も大きい値となった。また、ERT-RT が -0.5~0.5 s の区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、ERT-RT が -3.0~-1.5 s の区間との間に 1%、1.5~3.0 s の区間との間に 5%水準で有意差が認められた。

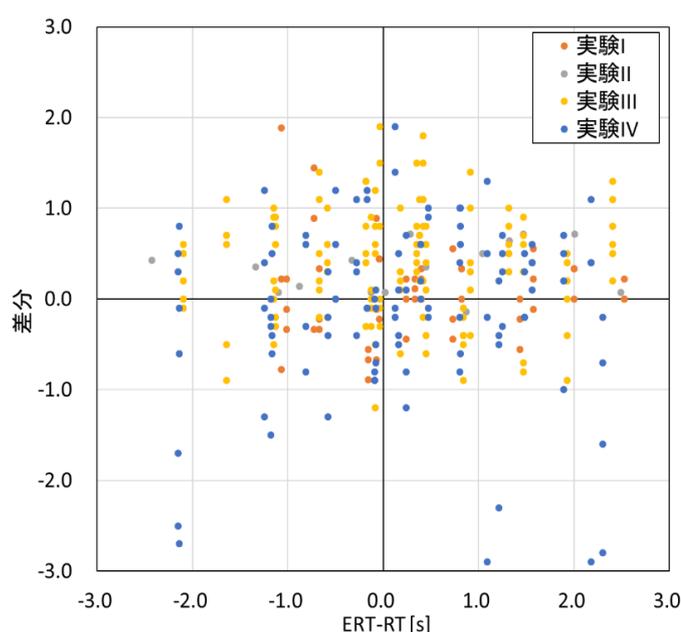


図 5-2 実験 I~IV における聴覚印象の差分

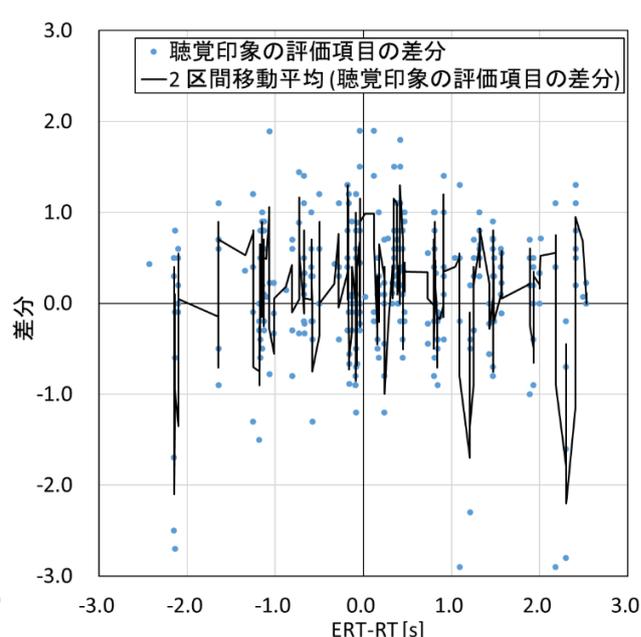


図 5-2' 図 5-2 で示した差分の変化

表 5-3 図 5-2' の区間ごとの差分の平均値及び標準偏差

ERT-RT [s]	-3.0~-1.5	-1.5~-0.5	-0.5~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0
対象データ数	30	56	117	64	30
差分の平均値	-0.13	0.19	0.27	0.10	0.06
差分の標準偏差	1.02	0.66	0.66	0.74	0.88

また、図 5-2 を実験によらず空間毎に分けて移動平均を示したものを図 5-2'' に、それらの差分に対する ERT-RT の区間ごとの平均値と標準偏差を表 5-3' に示す。表 5-3' において

ERT-RT が-0.5~0.5 s の区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、空間 CL では-3.0~-1.5 s の区間との間に 1%、空間 MU で 0.5~1.5 s の区間との間に 1%水準で有意差が認められた。最も残響時間の短い CL では ERT-RT=-2.0 s 以下の区間、最も残響時間の長い GY では ERT-RT=2.0 s 以上の区間において、差分が-3.0 に近い非常に小さい値になる場合があることが分かった。なお、空間毎の ERT-RT に対する差分の変動について一元配置分散分析を行った結果、有意性は認められず、明確な傾向は読み取れなかった。

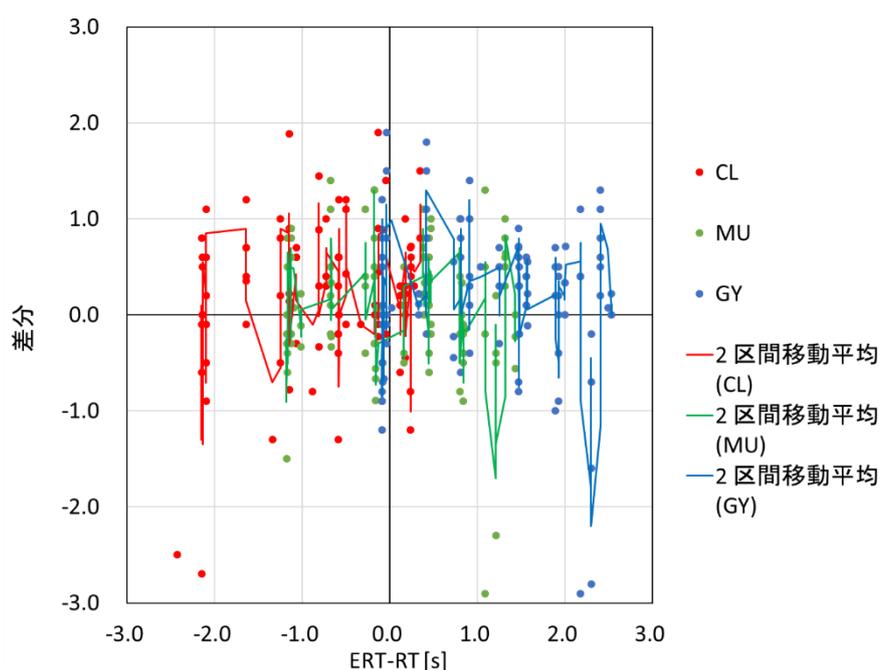


図 5-2' 図 5-3 を空間毎にプロットした場合の移動平均の変化

表 5-3' 図 5-2' の区間ごとの差分の平均値及び標準偏差

空間	ERT-RT [s]	-3.0~-1.5	-1.5~-0.5	-0.5~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0
CL	対象データ数	21	36	38	0	0
	差分の平均値	-0.13	0.26	0.30	-	-
	差分の標準偏差	1.02	0.71	0.63	-	-
MU	対象データ数	0	27	42	32	0
	差分の平均値	-	0.11	0.28	-0.07	-
	差分の標準偏差	-	0.59	0.55	0.84	-
GY	対象データ数	0	0	33	29	39
	差分の平均値	-	-	0.22	0.29	0.06
	差分の標準偏差	-	-	0.80	0.55	0.88

5-2-3 響きの長さ・残響感・明瞭感の差分の変動

聴覚印象の中でも特に残響時間と関わりの深い「響きの長さ」・「残響感」・「明瞭感」に着目してより詳細な分析を行うため、図 5-2 にプロットした点から前述の 3 項目に対する点のみ抜粋し、実験別に色分けしたものを図 5-3 に示す。図 5-3 におけるデータ数は図 5-2 より 111 個少ない。図 5-2 においては「響きの長さ」・「残響感」・「明瞭感」以外の評価項目も多く含まれる実験 IV の差分は極端に小さな値になることがあったが、図 5-3 ではそのような例はほとんどみられない。実験ごとの ERT-RT に対する差分の変動について一元配置分散分析を行った結果、有意性は認められなかった。

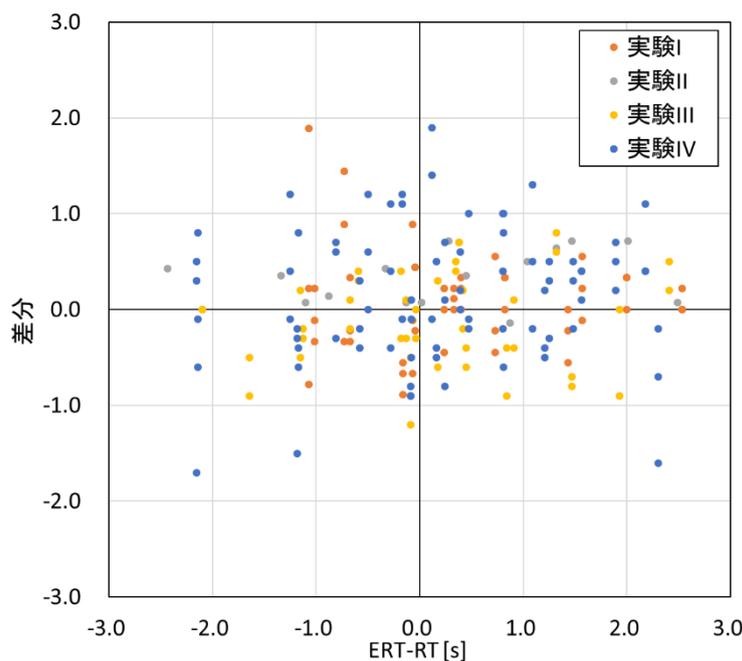


図 5-3 実験 I～IV における響きの長さ・残響感・明瞭感の差分

図 5-3 で示した差分を、実験に関わらず類似した評価傾向がみられる「響きの長さ・残響感」と、それらと相反するような評価傾向がある「明瞭感」に分けてプロットした場合の分布と移動平均を示したものを図 5-3'に、図 5-3'で示した差分に対する ERT-RT の区間ごとの平均値と標準偏差を表 5-4 に示す。

図 5-3'を見ると、全体的に、「響きの長さ・残響感」の差分値は-1.0～2.0 程度の幅で変動する一方で、「明瞭感」の差分値は-2.0～1.0 程度の幅で変動しており、一元配置分散分析の結果、「響きの長さ・残響感」と「明瞭感」の変動には 5%水準で有意性が認められた。また、図 5-2'と比較して、図 5-3'の ERT-RT に対する差分の移動平均の変化幅が全体的に小さくなっていることから、「響きの長さ」・「残響感」・「明瞭感」を除く聴覚印象の評価項目（「響きの明るさ」・「響きの暖かさ」・「響きの複雑さ」・「響きの親しみやすさ」）に対する

評価は被験者各々に明確な基準がなく、評価に一貫性がなかった可能性も考えられる。なお、ERT-RT が-0.5~0.5 s の区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、いずれの評価項目においても有意差が認められる区間はなかった。

|ERT-RT|=1.5 s 以内の範囲において、「響きの長さ・残響感」と「明瞭感」の評価傾向が異なっている。「響きの長さ・残響感」では、ERT-RT が-1.5~-0.5 s と 0.5~1.5 s の区間においては、それ以外の区間と比較して差分の移動平均の特に正側への変化幅がやや大きい。「明瞭感」では、データ数が7以下の区間を除く全区間の標準偏差は評価項目に関わらず0.62 以下となり、聴覚印象に対する全ての評価項目の場合と比較して、全体的に評価のばらつきが小さくなったことが確認できる。また、「明瞭感」は、ERT-RT が-1.5~-0.5, -0.5~0.5, 0.5~1.5 s の区間では移動平均の変化幅が極めて小さい。

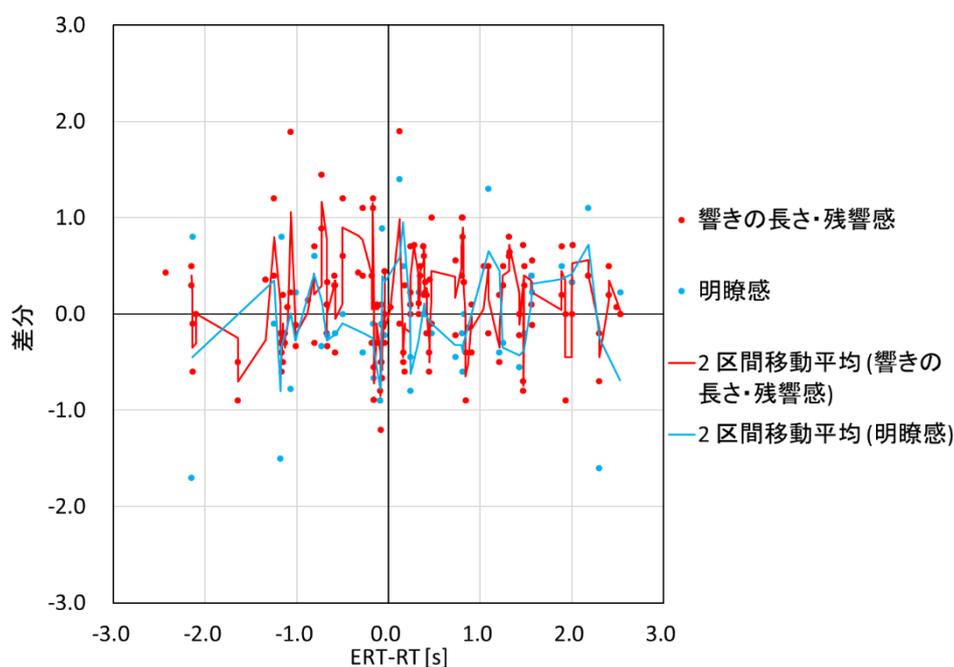


図 5-3' 図 5-3 で示した差分の評価項目毎の移動平均の変化

表 5-4 図 5-3' の区間ごとの差分の平均値及び標準偏差

カテゴリー	ERT-RT [s]	-3.0~-1.5	-1.5~-0.5	-0.5~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0
響きの長さ・残響感	対象データ数	9	31	53	30	20
	差分の平均値	-0.10	0.21	0.10	0.19	0.13
	差分の標準偏差	0.46	0.60	0.59	0.52	0.40
明瞭感	対象データ数	2	10	15	9	7
	差分の平均値	-0.45	-0.15	-0.05	-0.16	0.17
	差分の標準偏差	1.25	0.62	0.60	0.54	0.77

5-2-4 空間毎の響きの長さ・残響感の差分の変動

図 5-3 で示した「響きの長さ・残響感」の差分について、実験によらず空間毎に移動平均を示した結果を図 5-4 に、その差分に対する ERT-RT の区間ごとの平均値と標準偏差を表 5-5 に示す。なお、ERT より長い残響時間の聴覚刺激は x 軸上の負の方向、ERT より短い残響時間の聴覚刺激は x 軸上の正の方向にプロットされていることに留意されたい。

容積の小さい空間 CL の移動平均の変動は ERT-RT に対して右肩上がりの性状となり、一元配置分散分析で 1%水準で有意性が認められた。表 5-5 に示す差分の平均値からも、その傾向が確認できる。ERT-RT が-0.5~0.5 s の区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、有意差は認められなかったものの、容積の小さい空間に ERT と同程度、またはそれよりも残響時間がやや短い響きを組み合わせた場合はその残響感の印象がより強調され、響きが長く・豊かに感じられる方向に印象が変化した可能性がある。

容積の大きい空間について一元配置分散分析を行った結果、ERT-RT に対する差分の変動には GY で 1%の有意性が認められた。ERT-RT に対する差分の変化幅は-1.0~1.0 程度と CL と比較して小さく、特に ERT より聴覚刺激の残響時間の方が短い ERT-RT が 0.5~1.5, 1.5~3.0 s の区間の変動に明確な傾向はみられない。MU の-1.5~-0.5 s の区間における差分に関しては、0.0 近傍あるいは負の値をとることが多く、表 5-5 に示す差分の平均値からもその傾向が読み取れる。この区間における響きの印象は画像が組み合わさってもあまり変化しない、あるいはやや短く・乏しく感じられていると思われる。なお、表 5-5 の各空間において ERT-RT が-0.5~0.5 s の区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、MU の-1.5~-0.5 s の区間に対して 1%の水準で有意差が認められた。

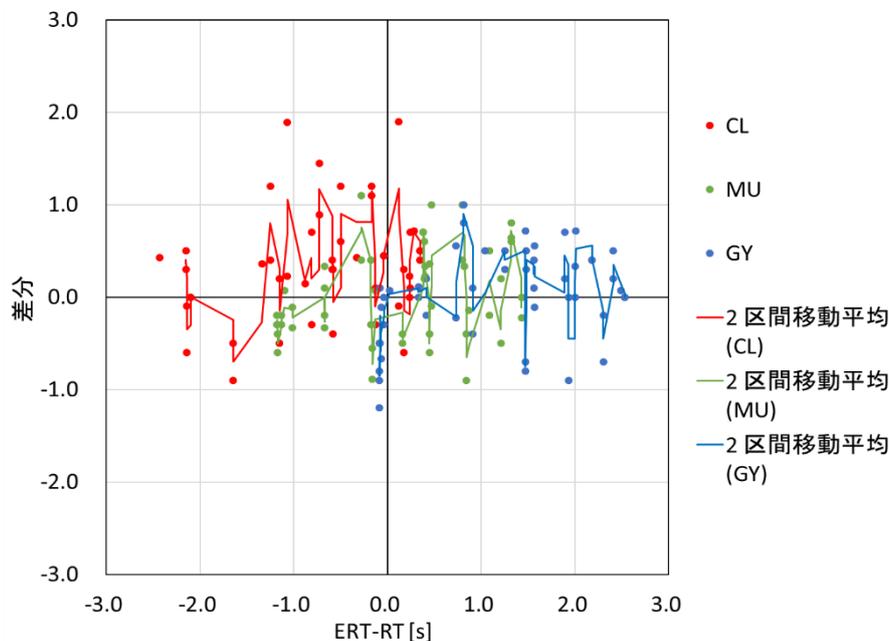


図 5-4 空間毎の響きの長さ・残響感の差分の移動平均の変化

表 5-5 図 5-4 の区間ごとの差分の平均値及び標準偏差

空間	ERT-RT [s]	-3.0~-1.5	-1.5~-0.5	-0.5~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0
CL	対象データ数	9	18	18	0	0
	差分の平均値	-0.10	0.50	0.42	-	-
	差分の標準偏差	0.46	0.62	0.56	-	-
MU	対象データ数	0	13	20	16	0
	差分の平均値	-	-0.19	0.12	0.15	-
	差分の標準偏差	-	0.23	0.55	0.50	-
GY	対象データ数	0	0	15	14	20
	差分の平均値	-	-	-0.31	0.22	0.13
	差分の標準偏差	-	-	0.41	0.54	0.40

空間毎の ERT-RT に対する「響きの長さ・残響感」の差分とその移動平均の変動について考察を行い、小空間と大空間の ERT-RT に対する差分の変動傾向が異なることが明らかになった。しかしながら、聴覚刺激の残響時間のバリエーション不足も起因して、明確な傾向が読み取れない区間も存在した。同じ空間用途で容積や残響時間の異なる空間を対象とした、更なるデータの蓄積を今後の課題として残した。

5-2-5 視覚印象の差分の変動

次に、視覚印象の変化について考察する。図 5-1 から、実験 I~IV で尋ねた視覚印象に関する評価項目に対する点のみ抜粋して移動平均を示したものを図 5-5 に、図 5-5 で示した全評価項目の差分に対する ERT-RT の区間ごとの平均値と標準偏差を表 5-6 に示す。図中の「明るさ・色」のカテゴリーには「空間の明るさ/暖かさ/明度/彩度/色相/色の数」、「親しみやすさ・好ましさ」には「空間の親しみやすさ/好ましさ」、「容積・形状・質感」には「空間の広さ/複雑さ/やわらかさ/立体感/開放感」は含まれている。

「明るさ・色」は移動平均の変動から明らかな通り、画像と組み合わせる聴覚刺激の残響時間に関わらず、差分の分布が 0.0 ± 1.0 程度に収まっており、これらの視覚印象は聴覚情報の有無にかかわらず大きく変化しないように見えるが、一元配置分散分析では有意な変動が認められ、ERT-RT が大きくなるにつれて差分がプラスからマイナスに向かって小さくなっている。ERT-RT が $-0.5 \sim 0.5$ s の区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、 $-3.0 \sim -1.5$ s の区間との間に 5%水準で有意差が認められた。

「容積・形状・質感」にも「明るさ・色」とほぼ同様の傾向が見られ、これらのカテゴリー間の差分の平均値に対する一元配置分散分析において有意な変動が認められた。表 5-

6より、「明るさ・色」及び「容積・形状・質感」の標準偏差は、全体的に「親しみやすさ・好ましき」と比較して小さく、視覚の物理的なパラメータに対応する視覚印象の評価項目に対する評価の個人差は、視覚の物理的なパラメータに対応しない視覚印象の評価項目に対する評価よりも小さいことがうかがえた。また、ERT-RTが-0.5~0.5sの区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定によって有意差が認められる区間はなかったものの、ERT-RTが小さくなるほど差分の値が大きくなり、大きくなるほど差分の値が小さくなるというやや右肩下がりの性状が明瞭に見られ、これらの項目に対する評価が聴覚情報、あるいは視聴覚間の整合性と関連している可能性がうかがえた。

「親しみやすさ・好ましき」では、全区間において差分の平均値が負の値となり、聴覚情報が加わることで視覚印象がネガティブな方向に変化する傾向があるように思える。しかし、「親しみやすさ・好ましき」のカテゴリー間の差分の平均値に対する一元配置分散分析の結果は、有意性が認められなかった。さらに、これらのカテゴリーと比較して「親しみやすさ・好ましき」は差分の移動平均の変動が大きく、表5-6を見ると標準偏差も大きいことから、総合印象を尋ねるような評価項目に対する評価は被験者による個人差が大きいことがうかがえた。また、視覚的な「親しみやすさ・好ましき」ではERT-RTが-0.5~0.5sの区間とその他の区間における差分の母分散の比の検定の結果、-3.0~-1.5, 0.5~1.5sの区間との間に1%水準で有意差が認められ、|ERT-RT|の値が大きくなるほど差分が小さくなる傾向が見られることから、これらのERT-RTによる変動は、実験I, IIで明らかになった違和感の評価傾向との関連性があることが推察される。

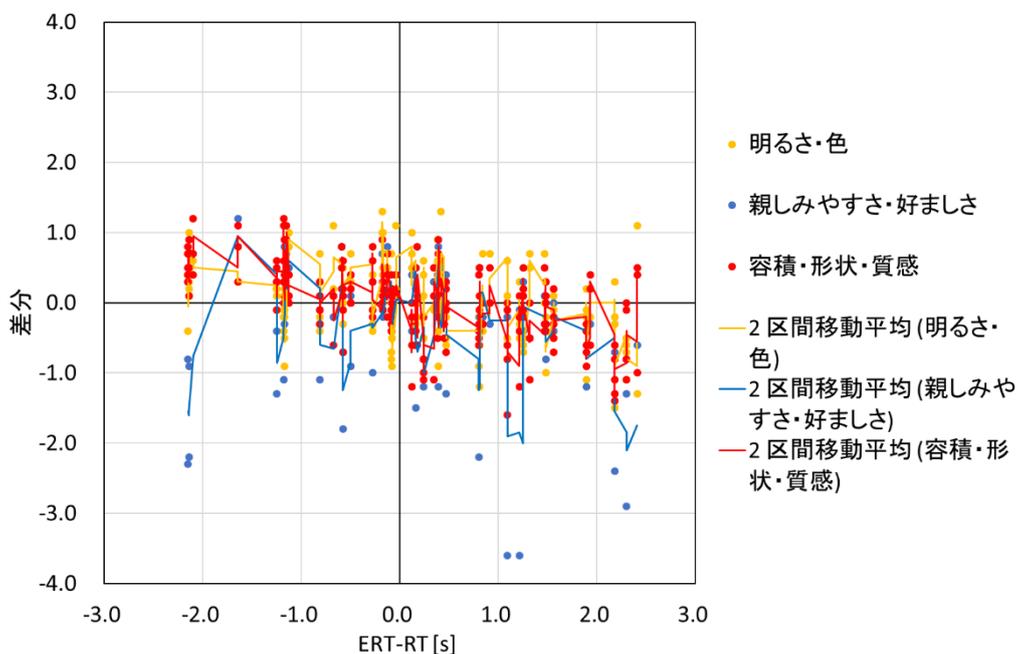


図5-5 視覚印象の評価項目に対する差分の移動平均の変化

表 5-6 図 5-5 の区間ごとの差分の平均値及び標準偏差

カテゴリー	ERT-RT [s]	-3.0~-1.5	-1.5~-0.5	-0.5~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0
明るさ・色	対象データ数	14	33	68	38	24
	差分の平均値	0.36	0.11	0.08	-0.18	-0.35
	差分の標準偏差	0.30	0.42	0.53	0.48	0.56
親しみやすさ・好ましさ	対象データ数	6	14	29	16	10
	差分の平均値	-0.72	-0.28	-0.12	-0.74	-1.02
	差分の標準偏差	1.32	0.81	0.65	1.22	0.90
容積・形状・質感	対象データ数	16	37	77	42	26
	差分の平均値	0.62	0.29	0.01	-0.20	-0.48
	差分の標準偏差	0.29	0.44	0.46	0.45	0.52

5-3 違和感を基準とした視聴覚統合の有効範囲に関する考察

1-1 節で述べたように、岩宮³²⁾は視覚情報（主に映画やミュージックビデオ、都市景観などの映像）と聴覚情報（主に音楽や自然音など）が互いに調和している場合にのみ視聴覚統合が生じることを報告している。映像作品における音楽と映像、本研究で対象としている建築空間の内観と響きは性質が異なるため、建築空間で映像作品と同様の現象が生じると考えるには飛躍がある。しかし、少なくとも、建築空間で視覚情報と聴覚情報が整合している条件下においては、脳は「空間仕様の結果として生じた音場である」と認識して視聴覚情報の統合が行われると考えられる。逆に、両情報の不整合な組み合わせ（例えば、広大な閉空間と極めて短い残響時間の響きなど）では各情報が独立して扱われるため、両者の統合は行われないと考えた。

本研究では、視聴覚情報の整合性を、客観的な意味合いが強い「整合性」という言葉ではなく、被験者が主観的に回答しやすいと思われる「違和感」として表現し、聴覚情報の残響時間の違いを条件として設けて主観印象の測定を行ってきた。整合性の程度は違和感に相反する主観量として測定されるほか、間接的には ERT-RT でも表現できると考えた。ERT は室の内観に適合するであろうと視覚的に定められた残響時間であり、空間仕様と音場の間の違和感が最も小さいと感じられる残響時間と等価だと考えたからである。

実験 I, II においては、ERT-RT=0 付近で「残響感」の提示条件間の差分の絶対値は大きくなる一方で「違和感」は小さくなること、実験 III, IV では視聴覚間の違和感が小さいと思われる条件 ($|ERT-RT| < 0.5$ s) 下で特徴的な評価構造の変化が生じていることが明らかとなった。よって、建築空間における視聴覚相互作用は、視聴覚統合が有効となる（違和感が小さくなる）条件と深く関係すると考え、本節ではこの条件範囲について詳細に検討を行うこととする。

前述のように、第2章～第4章では、ERT-RT の値が整合性の程度および視聴覚統合の範囲を表すと考えたが、空間によっては ERT と違和感が最小値を示す RT の間に乖離が見られる場合があった。この原因としては、ERT 同定における残響時間の初期設定値などによって影響を受けるなど、測定精度が低かったことが挙げられる。また、これまで統合域の幅は RT の最小単位の2倍 (1.0 s) を基準に想定していたが、根拠に乏しかった。ここでは改めて、「違和感」の程度に基づき視聴覚統合域の範囲を考察する。

図 5-6～5-8 に、実験 I, II, IV における、視覚刺激と聴覚刺激の組み合わせによる「違和感」の残響時間に対する評価結果を空間毎に示す。図中には、近似曲線とそれを表す次数3の多項式を示している。また、実線は実験 I で同定した ERT、黒色の点線は多項式から求めた「違和感」の評定平均値が最小になる残響時間、矢印は多項式から求めた「違和感」の評定平均値が 3.0 以下になる残響時間の範囲を示している。「違和感」は 0～6 の 7 段階

カテゴリー尺度であり、その中央値である 3.0 以下の評定で違和感が許容されるとみなし、矢印で示す範囲は視聴覚統合が成立する条件と考えた。

図 5-6 に示す空間 CL では、残響時間 0.26~1.41 s の範囲で「違和感」が 3.0 以下となる。また、「違和感」が最小になるのは残響時間 0.78 s のときであると推察される。なお、残響時間が長くなるにつれ違和感は増していき、残響時間 2.5 s 以上の聴覚刺激の数が少ないため、この範囲において近似式は当てはまらないと思われる。

図 5-7 に示す空間 MU では、残響時間 1.13~2.98 s の範囲で「違和感」が 3.0 以下となる。また、「違和感」が最小になるのは残響時間 2.02 s のときであると推察される。残響時間が短くなるにつれ違和感は増していき、ある一定以上の残響時間は許容されることが改めて示された。CL と MU は、「違和感」が最小になる残響時間と ERT が近似している。

図 5-8 に示す空間 GY では、残響時間 1.16~2.94 s の範囲で「違和感」が 3.0 以下となる。また、「違和感」が最小になるのは残響時間 2.22 s のときであると推察され、ERT とはやや乖離があることが改めて示された。

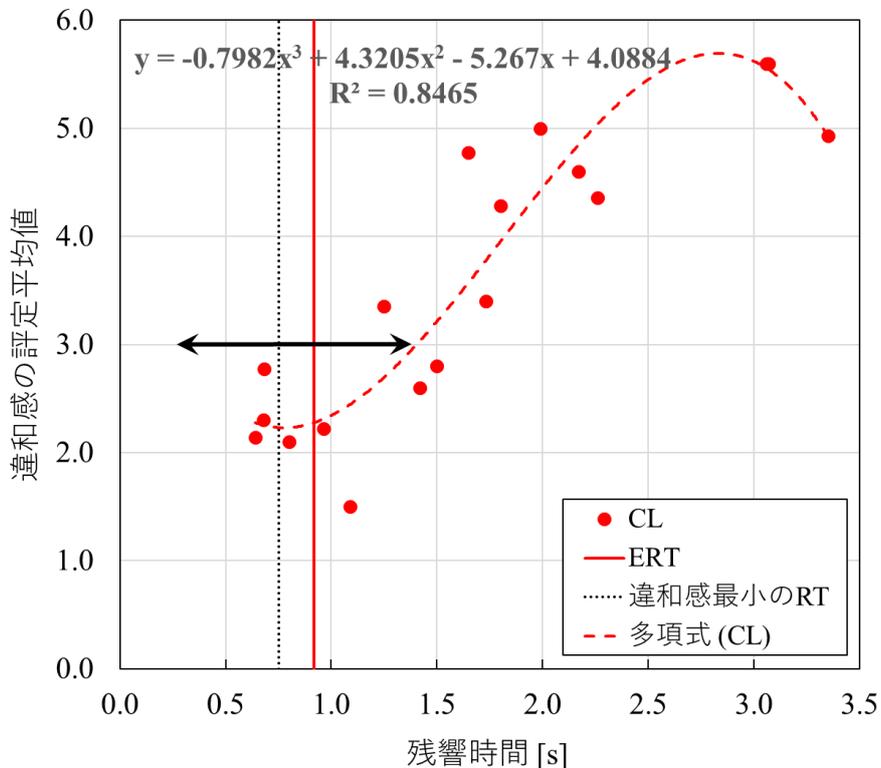


図 5-6 実験 I, II, IV における空間 CL の残響時間に対する「違和感」の評価傾向

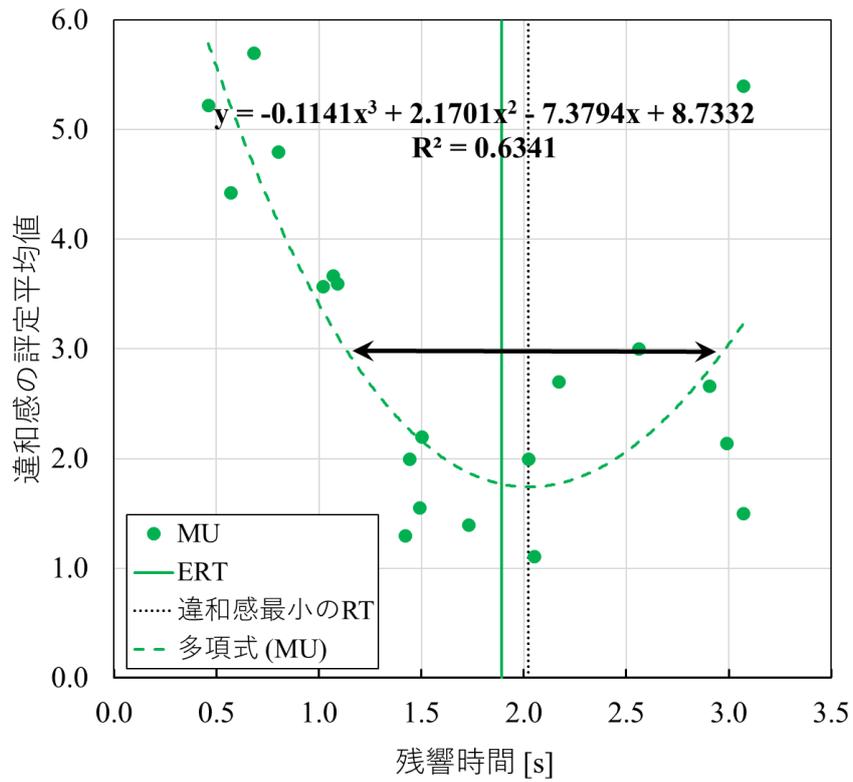


図 5-7 実験 I, II, IV における空間 MU の残響時間に対する「違和感」の評価傾向

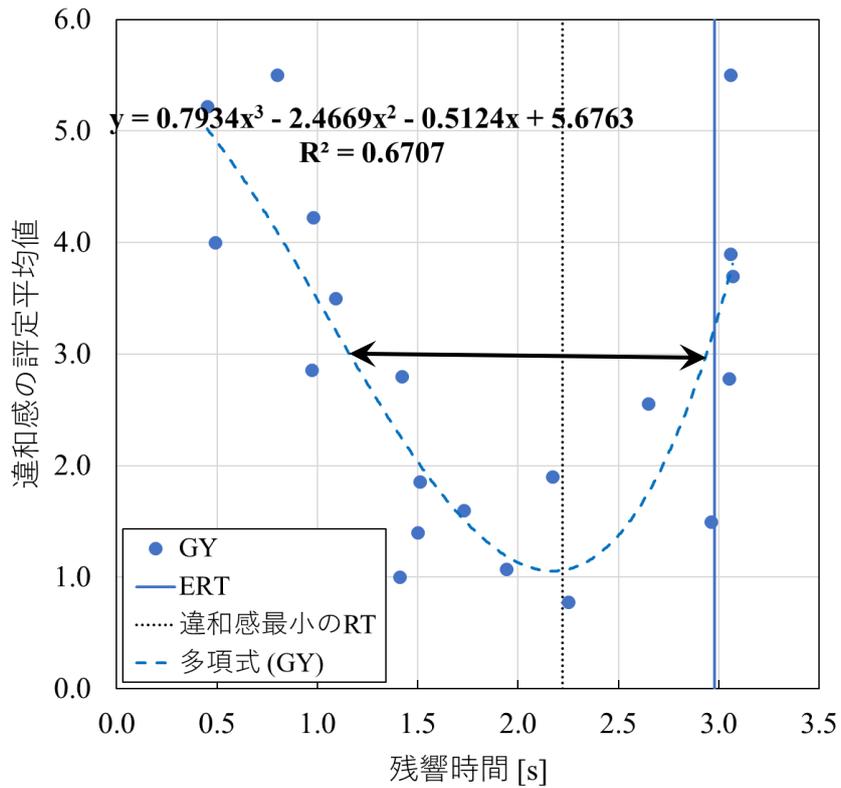


図 5-8 実験 I, II, IV における空間 GY の残響時間に対する「違和感」の評価傾向

以上の結果を、視聴覚統合域を ERT と違和感を基準に考えた場合を比較してまとめると表 5-7 のようになる。「視聴覚統合域（残響時間）」に含まれる 3 つの欄には全て残響時間が入り、「最小値」と「最大値」は視聴覚統合域の区間の両端を意味する。また、ERT を基準とした場合、「ERT（違和感が最小）」の欄には実験 I で測定した ERT の同定値（全被験者の平均値）が入り、「最小値」の欄には ERT-0.5 s、「最大値」には ERT+0.5 s の値が入る。違和感を基準とした場合、「ERT（違和感が最小）」の欄には図 5-6～5-8 の近似式によって求めた違和感の評定値が最小値となる残響時間が入り、「最小値」、「最大値」の欄には違和感の評定平均値が 3.0 に最も近い値をとる残響時間がそれぞれ入る。

CL に関しては、ERT を基準とした場合と違和感の評定平均値を基準にした場合の視聴覚統合域には大きな違いがなく、最も差がある場合でも 0.16 s（「最小値」のとき）の差に収まっている。

MU では「最小値」および「ERT」に大きな差はないものの、「最大値」では違和感の評定平均値を基準にした方が 0.59 s 視聴覚統合域が広がっている。つまり、違和感を基準にした方が、長い残響時間に対する許容幅が広がるということを意味する。

GY に関しては、違和感を基準にした方が、「最小値」で 1.32 s、「ERT」で 0.78 s、「最大値」で 0.54 s、視聴覚統合域が残響時間の短い方向へシフトしている。特に「最小値」で残響時間の差が大きくなっており、残響時間の予想が難しい空間については違和感を基準にした方が実際の印象に近いと考えられる。

表 5-7 視聴覚統合域となる残響時間

空間	基準	視聴覚統合域（残響時間） [s]		
		最小値	ERT（違和感が最小）	最大値
CL	ERT	0.42	0.92	1.42
	違和感	0.26	0.78	1.41
MU	ERT	1.39	1.89	2.39
	違和感	1.13	2.00	2.98
GY	ERT	2.48	2.98	3.48
	違和感	1.16	2.20	2.94

5-4 視聴覚統合による印象変化のモデルの考察

5-2節においては、実験 I～IV で得られた結果を基に、視聴覚情報の提示条件間の印象変化（差分）について分析を行った。更に、5-3節において、違和感を基準にした場合の視聴覚統合域を検討した。本節ではそれらの結果を総合し、視聴覚統合域の範囲内において印象変化が生じるメカニズムのモデルについて考察する。

メカニズムの基礎となる現象に関する考察

メカニズムのモデルを考察するにあたり、その基礎となり得る現象の候補を挙げ、実験結果との関連性を考察する。

1. ある様相から予想される印象に近づく方向に他様相の印象が変化する（補正効果）

マガーク効果¹⁾に近似したメカニズムである。マガーク効果とは、話者が「ga」と発音する口の動きを撮影した映像に、話者が「ba」と発声した音声を組み合わせて視聴すると、聴者には「da」と聞こえるという現象である。

このメカニズムを建築空間の視聴覚情報に対応させて考えると、例えば、容積が大きい空間の内観に短い残響時間の響きが組み合わせて提示された場合、響きの印象は物足りなく感じられることが予想される。この予想に応じて、内観に合うように（整合性が高まるように）頭の中で無意識に響きの印象が調整され、響きだけを聴いた場合よりも内観と響きを同時に見聴きした場合の方が、響きの印象が長い残響時間の響きの印象に近いものとなるということが考えられる。

なお、この効果は、聴覚情報による視覚印象の補正としても現れる可能性がある。例えば、図 3-19～3-21 に示した「空間の広さ」は、同時提示になると聴覚刺激の影響を受け、見た目と音響情報の中間的な印象に落ち着く傾向がみられた。

2. ある様相から予想される印象を基準に、違いがより大きく感じられる方向に他様相の印象が変化する。（対比効果）

色の対比現象に近似したメカニズムである。その一例である色の明度対比は、ある色の明度が、その周囲にある他の色の影響を受けて本来の明るさよりも明るく、あるいは暗く見える現象である。

このメカニズムを建築空間の視聴覚情報に対応させて考えると、例えば、容積が大きい空間の内観に短い残響時間の響きが組み合わせて提示された場合、響きの印象は物足りなく感じられることが予想される。この予想に対して、内観と響きの組み合わせの違和感によってより残響時間の短さが際立ち、前述の 1. の効果

とは反対に、響きだけを聴いた場合よりも内観と響きを同時に見聴きした場合の方が、響きの印象が更に短い残響時間の響きの印象に近くなると考えられる。

森本ら¹⁰⁾による知見から、視聴覚統合域の範囲に関わらず、以下のようなメカニズムが存在することも考えられる。図 2-10 の「響きの長さ」、図 2-11 の「響きの長さ」は差分が負の値になっており、このメカニズムによる印象変化が生じていた可能性も否定できない。

3. 視覚的制約によって印象が変化する。(感度低減効果)

主として視覚から聴覚に与える影響が大きい効果である。残響時間の弁別閾は、視覚情報の存在下では意識の集中が視覚情報に向けられるため、広がる傾向があるとされる。つまり、印象の評定値の分布幅が 0 に近づく可能性がある。

刺激の提示順が主観印象に与える影響に関する考察

本論文の一連の実験では、①聴覚刺激→視聴覚刺激、あるいは②視覚刺激→視聴覚刺激の順に実験刺激が提示された。

①の場合、音場の単独提示を受けて残響を知覚すると、閉空間であることが認識されると思われるが、物理的な空間の広さを想像することは難しい。そのため、適度な広さの(極端に広くも狭くもない)空間を想像し、境界面を心理的に設定すると思われる。この空間の広さには個人差があるが、残響が長いほど広い空間を想像する。このような状態で視覚刺激を伴った同時提示を受けると、現実的な空間の広さを知覚し、想像していた広さを上回る場合、視覚情報に合致するように(矛盾を解消する方向に)聴覚印象を補正する効果が働き、広い空間の長い残響感となるよう印象が変化すると考えられる。一方、想像していた広さを下回る場合も同様に聴覚印象を補正する効果が働き、狭い空間の短い残響時間に応じた残響感になるように印象変化すると考えられる。この補正効果は、同じ空間の属性として脳が知覚している範囲(視聴覚統合の範囲)の前後で生じると思われる。

②の場合、室内観の単独提示を受けて空間の広さを認識し、それに応じた残響感を期待する。その後、聴覚刺激を伴った同時提示を受けることで実際の響きの残響感に合致するように空間の広さを補正するような印象変化が生じると考えられる。空間の広さは、室容積によらず、 $ERT < RT$ の領域で広く、 $ERT > RT$ の領域で狭く感じられると思われる。

実際には、印象変化の方向を示す差分は正負に渡って分布するが、その要因は被験者が聴覚刺激から想像する空間の広さ、あるいは視覚刺激から想像する残響感に依存する可能性がある。これらの個人差が大きい主観量を、一対比較法などを用いて測定すれば、物理量(室容積・残響時間)とそれに対する主観量、更には残響感と空間の広さの関係性を考察できるため、今後の課題としたい。

各評価項目の印象変化モデル

以下に示す印象変化モデルにおいて、縦軸は評定平均値の提示条件間の差分、横軸は聴覚刺激の残響時間または ERT-RT の値を示しており、モデルに従えばこれらの変数で決まる点が着色された範囲内に分布することを示す。

3つのカテゴリーに分類した視覚印象の評価項目に対して、ERT-RT に対する差分の分布モデルを図 5-9, 5-11, 5-13 に、残響時間に対するモデルを図 5-10, 5-12, 5-14 に示す。「明るさ・色」には空間の明るさ/暖かさ/明度/彩度/色相/色の数、「容積・形状・質感」には空間の広さ/複雑さ/やわらかさ/立体感/開放感、「親しみやすさ・好ましさ」には空間の親しみやすさ/好ましさが含まれる。

図 5-9, 5-10 に示す「明るさ・色」の差分は、残響時間（または ERT-RT）によらず一定の幅で 0 値近辺に分布するとした。分布幅は、感度低下等による誤差の増大によって生じると考えているが、基本的には視覚情報に聴覚情報が付加されても、「明るさ・色」にはほとんど影響を及ぼさないモデルとした。

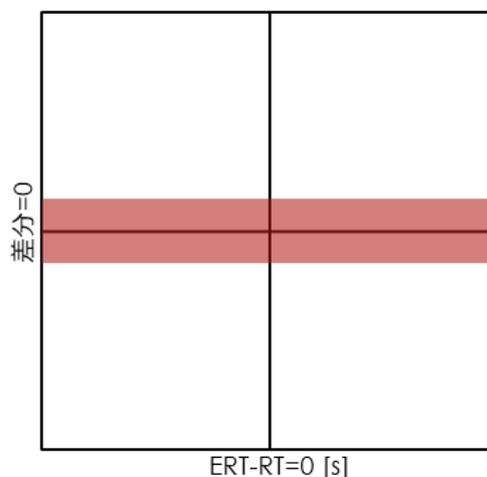


図 5-9 ERT-RT に対する
明るさ・色の差分分布

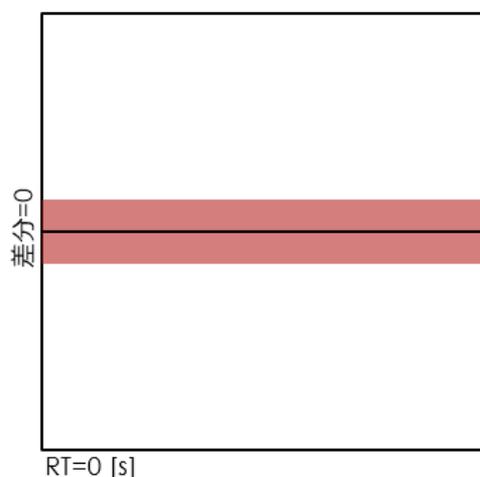


図 5-10 残響時間に対する
明るさ・色の差分分布

図 5-11, 5-12 に示す「容積・形状・質感」の差分は、残響時間（または ERT-RT）によって線形的に変化するモデルとした。建築空間の視覚情報に長い残響時間が付加されると差分は大きく、短い残響時間が付加されると差分は小さくなる。つまり、長い残響時間は空間を広々とした印象に、短い残響時間は空間を狭い印象にする効果があることを示す。

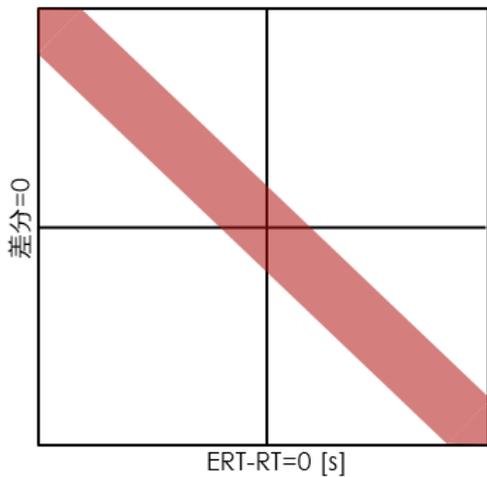


図 5-11 ERT-RT に対する
広さ・形状・質感の差分分布

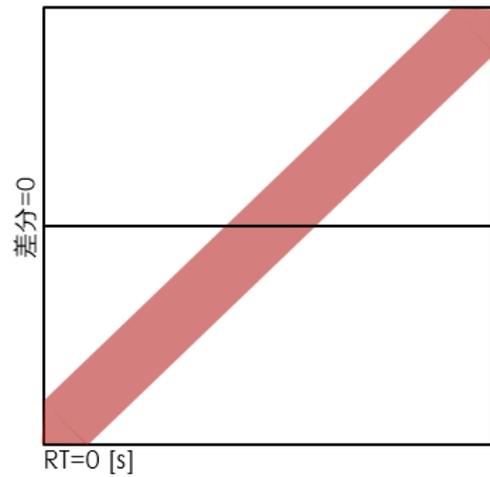


図 5-12 残響時間に対する
広さ・形状・質感の差分分布

図 5-13, 5-14 に示す「親しみやすさ・好ましさ」の差分は、実際には有意性は認められなかったものの、残響時間（または ERT-RT）によって変化するモデルとした。「違和感」の評価と同様に、これらの印象が視聴覚刺激の組み合わせの整合性に関連し、整合性が高ければ評価が高まる傾向を示している。図 5-13 については、建築空間の視覚情報に、ERT に近似した残響時間が付加されると差分は 0 程度の値になり、ERT より長い、または短い残響時間が付加されると差分の値は小さくなる。図 5-14 については、横軸が残響時間になることで空間の容積によって分布が異なる。小空間では残響時間が短ければ、大空間では残響感が長ければ差分が 0 に近づく。

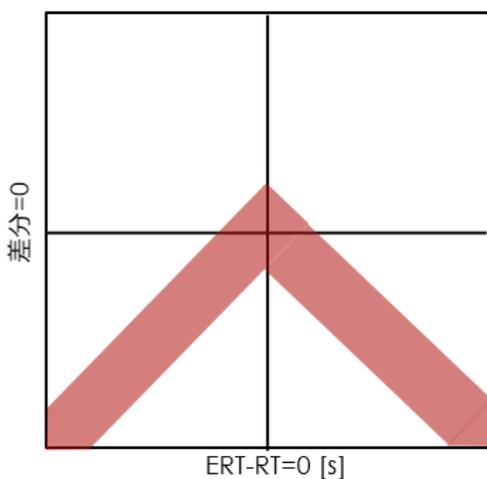


図 5-13 ERT-RT に対する
親しみやすさ・好ましさの差分分布

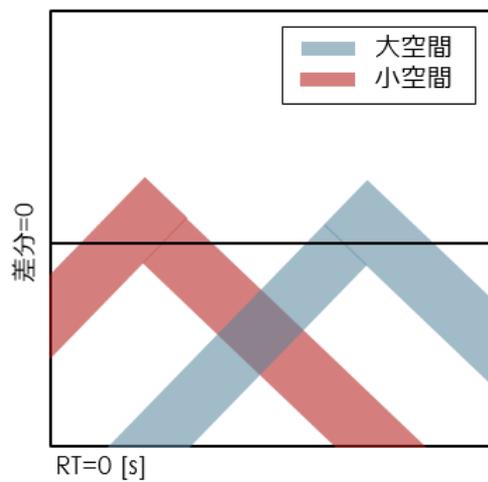


図 5-14 残響時間に対する
親しみやすさ・好ましさの差分分布

図 5-15 に室容積を加味した「響きの長さ・残響感」の印象変化の残響時間に対する分布モデルを示す。図の上段は残響時間に対する違和感の評価傾向、下段は残響時間に対する「響きの長さ・残響感」の差分分布を示す。差分は残響時間によって変化するが、その傾向は視覚印象よりもやや複雑である。室容積によって視聴覚統合域が異なることから、差分の分布モデルも異なると考えた。

室容積に関わらず、 $ERT-RT=0$ 、あるいは違和感が最小となる残響時間（図中の赤色の破線）近傍では大きな印象変化は生じず差分は 0 付近に分布するモデルとした。このときの印象が「基準」となって、視聴覚統合域においてはそれより短い残響時間はやや長く・豊かな印象に、それより長い残響時間はやや短く・乏しい印象になることが視聴覚相互作用として生じると考えた。

小空間においては、短い残響時間は違和感が小さく許容されるが、長い残響時間は違和感が大きく許容されない。視聴覚統合域の残響時間であれば、基準の印象に近づくように「響きの長さ・残響感」を補正する効果が働き、視聴覚統合域ではこの印象変化が継続すると考えた。一方、前述の範囲外の残響時間では補正効果は生じないが、視覚情報の存在が聴覚に対する感度を低減させるため、0 周辺の誤差分布が大きくなるモデルとした。

大空間においては、長い残響時間は違和感が小さく許容されるが、短い残響時間は違和感が大きく許容されない。視聴覚統合域の残響時間であれば、基準の印象に近づくように「響きの長さ・残響感」を補正する効果が働き、視聴覚統合域ではこの印象変化が継続すると考えた。一方、前述の範囲外では補正効果は生じないが、視覚情報の存在が聴覚に対する感度を低減させるため、0 周辺の誤差分布が大きくなるモデルとした。室容積に対して残響時間が元々長い GY のような空間については、「違和感」が最小となる残響時間と ERT に乖離が見られるが、視聴覚統合域は一般的な大空間とほぼ等しいと考えた。

小空間にも大空間にも属さない空間（便宜的に「中空間」とする）に関しては、前述の大空間と小空間のモデルを重ね合わせたモデルとした。中空間では極端に短いまたは長い残響時間を除き、残響時間の許容範囲が広くなると思われるが、視聴覚統合域の具体的な範囲についての検討は今後の課題とする。

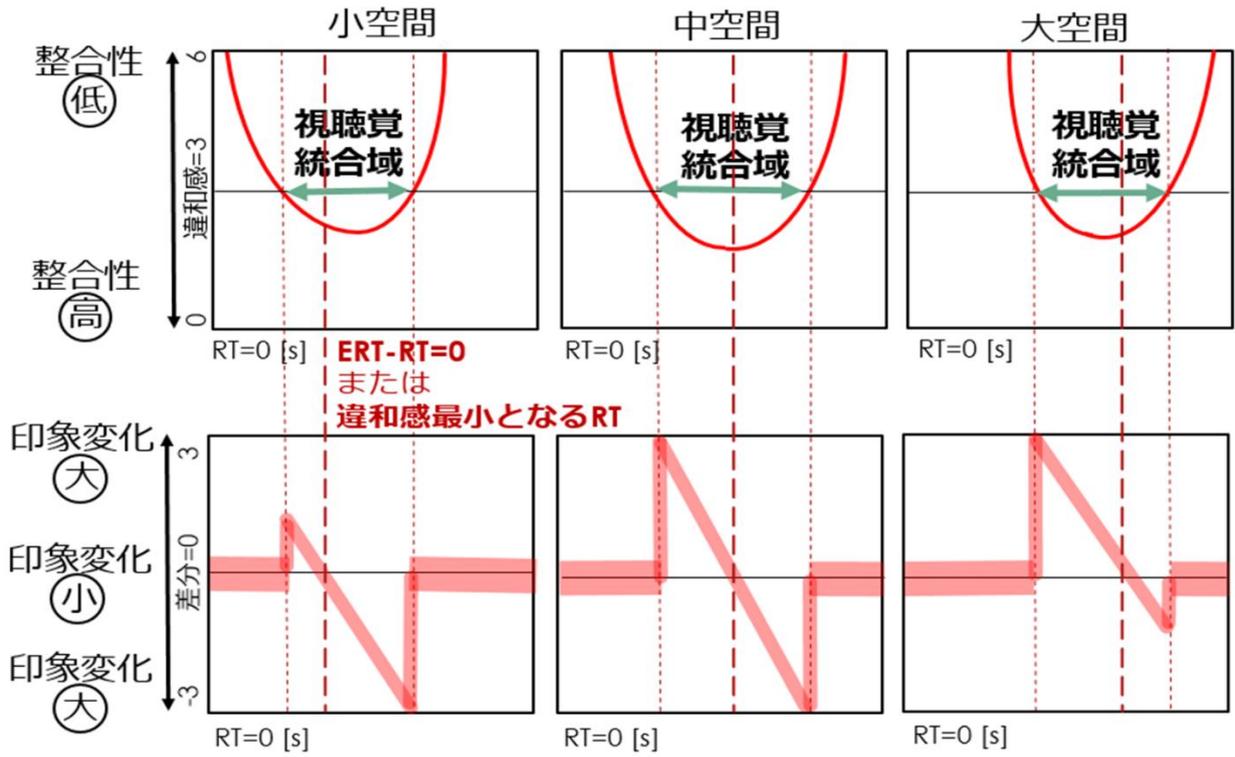


図 5-15 響きの長さ・残響感の差分分布

5-5 視覚情報による聴覚印象の変化に相当する残響時間

5-4 節で示した視聴覚統合域に着目した印象変化のモデルは概略的であるため、そのまま実設計に応用することは難しい。よって、実空間で得られる印象を数値値し、実設計で用いる指標に対応した量として表現するため、本節では「響きの長さ」および「残響感」に着目して、それらの主観量（差分）の変化を物理量（残響時間）に変換して表現することを試みる。

そのためにはまず、提示条件による印象の変化量を空間毎に確認する必要がある。図 5-16 に、実験 I~IV で得た全ての「響きの長さ」と「残響感」の評定平均値（聴覚刺激の単独提示、視覚刺激と聴覚刺激の同時提示の両方を含む）の残響時間による変化を示す。同時提示の評定平均値は空間毎に示すと共に、単独提示、各空間の同時提示の分布それぞれに対して近似線とその傾きを併記している。また、主観印象の評価には-3~+3 のカテゴリ一尺度を用いたため、近似線の切片は-3.0 に設定している。

図 5-16 より、「響きの長さ」と「残響感」の評定平均値の分布に対する近似線の傾きは、提示条件および空間によらず、概ね 1.9 となった。提示条件や聴覚刺激に組み合わさる視覚刺激によらず、「響きの長さ」および「残響感」の印象変化量に対応する残響時間の変化量はほぼ一定であることが明らかになった。

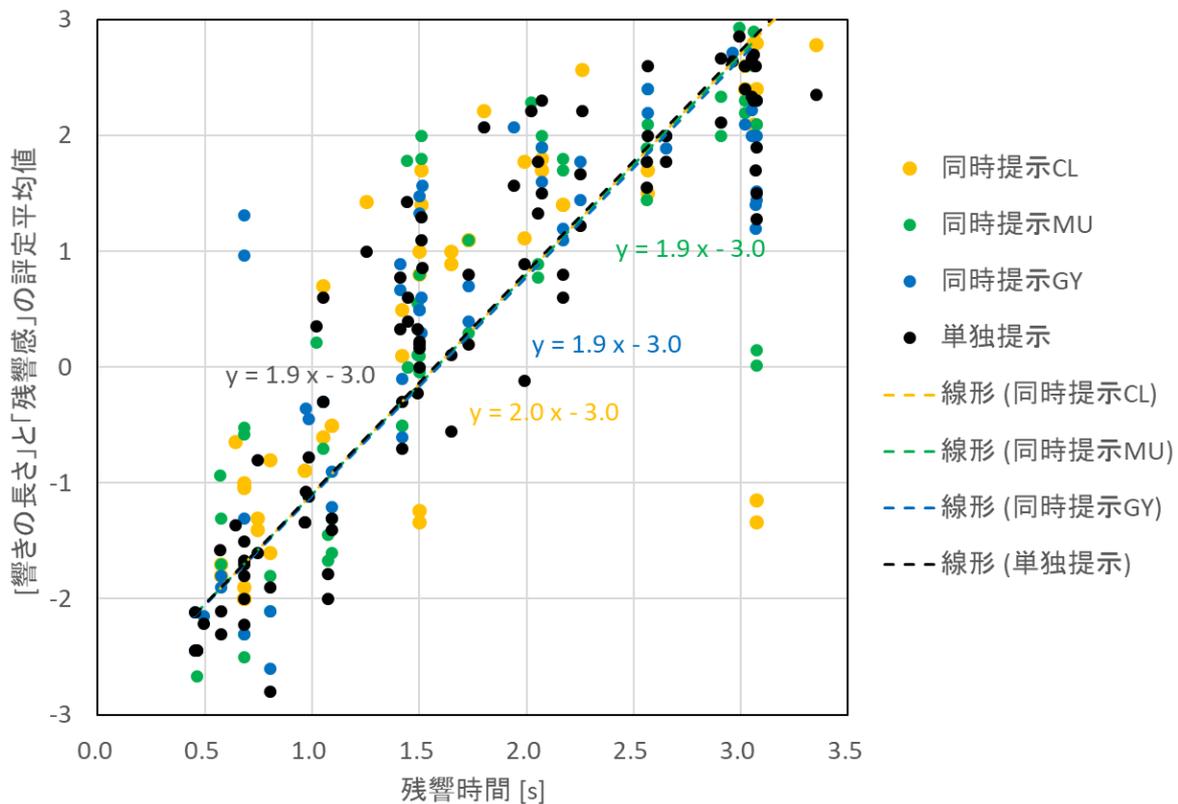


図 5-16 提示条件による残響感の評定平均値

表 5-8 に、実験 I~IV の同時提示における、 $|ERT-RT| < 0.5$ s の区間における「響きの長さ」と「残響感」の評定平均値に関する基礎統計量の一覧を示す。

空間 CL において、 $|ERT-RT| < 0.5$ s の範囲内の残響時間の音場が与えられる場合を考える。このとき、この範囲における両端部では、視覚情報から想定される ERT よりも最大で 0.5 s 短い、あるいは長い残響時間の聴覚刺激が視覚刺激に組み合わさることとなる。この範囲内における「響きの長さ」と「残響感」の提示条件間の差分は平均で +0.5 程度（0 との比較で 1%水準の有意差あり）で、印象の変化量としては最大で +1.9 程度の差が生じる可能性がある。これは実際の残響時間に換算して平均 0.26（ $=0.5/1.9$ ）s、最大 1.0（ $=1.9/1.9$ ）s 相当の印象の増加である。

空間 MU、空間 GY においても同様に、 $|ERT-RT| < 0.5$ s の範囲内の残響時間の音場が与えられる場合を考える。

空間 MU では、この範囲内における「響きの長さ」と「残響感」の提示条件間の差分は平均で +0.1 程度（0 との比較で有意差なし）、印象の変化量としては最大で +1.1 程度の差が生じる可能性がある。これは実際の残響時間に換算して平均 0.05（ $=0.1/1.9$ ）s、最大 0.58（ $=1.1/1.9$ ）s 相当の印象の増加である。

空間 GY においては、この範囲内における「響きの長さ」と「残響感」の提示条件間の差分は平均で -0.3 程度（0 との比較で 5%水準の有意差あり）、印象の変化量としては最大で -1.2 程度の差が生じる可能性がある。これは実際の残響時間に換算して平均 0.15（ $=0.3/1.9$ ）s、最大 0.63（ $=1.2/1.9$ ）s 相当の印象の減少である。

表 5-8 実験 I~IV の同時提示における $|ERT-RT| < 0.5$ s の区間の
響きの長さ・残響感の基本統計量

空間	n	平均値	分散	標準偏差	最大値	最小値
CL	20	0.47	0.33	0.58	1.90	-0.60
MU	20	0.12	0.32	0.56	1.10	-0.89
GY	15	-0.31	0.18	0.43	0.20	-1.20

以上のように、建築音響設計の指標として用いられる残響時間に、空間毎の視覚印象と聴覚印象による残響感の印象に相当する残響時間を加えることで、視覚印象の影響を考慮した建築音響設計ができるようになると考えている。

5-6 小括

本章では、第4章までに示した主観評価実験の結果を総合し、視聴覚統合域の表し方を再考したうえで、視覚情報と聴覚情報が同時に提示されることによって視覚印象・聴覚印象が変化するメカニズムのモデルを提案した。以下にモデルの概要をまとめる。モデルの検証については、今後の課題として残した。

空間の広さについて

- ・ 視聴覚統合の有無に関わらず、聴覚が視覚に影響を与える。空間の広さの印象は室容積によらず、 $ERT < RT$ の領域では広く、 $ERT > RT$ の領域では狭く感じられる。

空間の明るさについて

- ・ 視聴覚統合の有無に関わらず、聴覚が視覚に影響を与えない。空間の明るさは、室容積や $ERT-RT$ による印象変化は生じない。

空間の好ましさ（視覚印象）について

- ・ 視聴覚統合の有無に関わらず、聴覚が視覚に影響を与える。視覚情報と聴覚情報の整合性が高く、違和感が小さいほど空間の好ましさは高くなる。

残響感について

- ・ 視聴覚統合域では、視覚情報との整合性を高めるように聴覚印象が調整・補正される。

小空間で長い残響時間が組み合わされた場合の残響感はより乏しく、大空間で短い残響時間が組み合わされた場合の残響感はより豊かな方向に印象変化する。

- ・ 視聴覚統合域の範囲外では、視覚情報により残響感の感度が低下する。

視覚情報が加わることで残響感の判断が曖昧になり、差分の分散は大きく、差分の平均値は0付近になる。

更に、以下に示すように視覚情報による聴覚印象の変化に相当する残響時間を明らかにし、建築音響設計に資する定量的な知見の一例を示した。

- ・ 各空間における「響きの長さ」および「残響感」の印象の変化量を残響時間に換算すると、空間 CL では最大 1.0 s 相当の印象増加、空間 MU では最大で 0.6 s 相当の印象増加、空間 GY では最大 0.63 s 相当の印象減少が生じる。

第6章 結論

6-1 総括

本研究の目的は、建築空間の視聴覚環境において、主観印象の変化や評価構造の変化として現れると考えられる視聴覚相互作用の存在及びその作用が生じる条件を明らかにすることである。この目的を達成するため、音源の種類によらない反射音構造としての室内音場を聴覚情報、空間の広さや質感など視覚的に捉えることができる室内の様々な仕様が含まれる室内観を視覚情報とした実験室での仮想環境において主観評価実験を行ってきた。刺激の提示条件（視覚刺激または聴覚刺激の単独提示、両刺激の同時提示）ごとの印象を測定し、聴覚刺激の残響時間との関係性などについて分析を行った結果、おおよそ以下2つの知見が得られた。

- ・ 視覚刺激と聴覚刺激の同時提示における主観印象は、単独提示における印象から変化する。即ち、建築空間の視聴覚環境において視聴覚相互作用が生じ得る。
- ・ 上述の印象変化は、視聴覚刺激の組み合わせの整合性が比較的高い場合に生じる。即ち、建築空間における視聴覚相互作用は、視聴覚統合下で生じる可能性が高い。

一方、在室者が無意識に室内観と音場間の不整合感を解消するように印象を修正・調整する心理的作用が生じていることが、Valenteらの研究で示唆されている。本研究ではこれらの知見を総合し、印象変化が生じるメカニズムのモデルを考案した。「残響感」に関するモデルでは、視聴覚統合下にある視聴覚情報の組み合わせに僅かな不整合が見られる場合のみ、不整合感を解消する方向に印象変化が生じるモデルとした。このモデルで重要なのは視聴覚統合域であり、本研究では実験において測定された ERT や「違和感」を基に特定を試みた。また、実験結果から、視覚情報による「残響感」の印象変化の程度を簡易的に定量化し、視覚情報の影響を考慮する新たな建築音響設計指標を提案した。

第1章では、研究背景及び本論文の位置づけを示すと共に、本論文の概要を示した。

第2章では、聴覚刺激の単独提示と視聴覚刺激の同時提示において、被験者の聴覚印象および刺激の組み合わせに対する違和感を測定する主観評価実験を行い、視覚情報によって聴覚印象が変化することを明らかにした。また、被験者が視覚情報のみから予想した残響時間（予想残響時間、ERT）と聴覚刺激の残響時間の差（ERT-RT [s]）が視聴覚刺激間に

生じる違和感と関連性が高いことを明らかにした。 $|ERT-RT| < 0.5$ s の範囲内において視聴覚統合が生じ、視覚情報と聴覚情報の整合性が高いと判断されると考えた。

第3章では、聴覚印象に対する視覚情報の影響に加え、視覚印象に対する聴覚情報の影響を明らかにするため、視覚刺激または聴覚刺激の単独提示及び両刺激の同時提示において、視覚と聴覚で同じ形容詞で表現される印象の評価実験を行った。その結果、視覚情報が聴覚印象を変化させるだけでなく、聴覚情報が視覚印象を変化させる場合があることを明らかにした。また、 $|ERT-RT| < 0.5$ s の条件では、同じ形容詞で表せる印象は共通する評価軸を持って印象評価がなされることが明らかになった。

第4章では、視聴覚相互作用による印象評価構造の変化を明らかにするため、幅広い形容詞を用いた場合の主観評価実験を行った。同時提示における主観評価の因子分析を行った結果、視覚印象に関わる因子と聴覚印象に関わる因子は分離した評価構造を構成したが、 $|ERT-RT| < 0.5$ s の条件を満たす視聴覚刺激の組み合わせに限定して因子分析を行うと、視覚的な空間の広さと聴覚的な残響感などが同じ評価軸を持つ評価構造になることが示された。

第5章では、第4章までの実験結果を総合して、視聴覚相互作用の結果として現れると考えている視聴覚印象の変化を提示条件間の評定平均値の差分で表し、考察を行った。さらに、ERTと違和感それぞれを基準とした場合の視聴覚統合域を示し、その範囲内外において、建築空間の視聴覚環境において視聴覚印象の変化を引き起こすメカニズムのモデルを提案した。

聴覚印象（残響感）に関しては、視聴覚統合域においては視覚情報から想起される残響感に合わせる方向に印象の調整されるモデルを提案した。一方、視覚印象（空間の広さ）に関しては、視聴覚統合域に関わらず、聴覚刺激の存在に伴う感度低下によって僅かながら影響を受け、聴覚刺激の残響から想起される広さの印象に合わせる方向に若干の印象調整がなされるとした。最後に、印象変化量（主観量）をこれに相当する残響時間（物理量）として定量化した。

6-2 視覚情報の影響を考慮した新たな建築音響設計

第5章の5-5節では、視覚情報の存在によって生じる「響きの長さ」と「残響感」の印象変化（主観量）に対する平均値および最大値を、これに相当する残響時間（物理量）に変換した結果を示した。これら知見を元に、建築音響設計において視覚情報の効果を積極的に利用できる可能性、その影響を配慮すべき点を考察し、それらを含めた新たな（改良された）建築音響設計の手順や指標の提案を行う。

視覚情報による効果を利用した建築音響設計

小規模な多目的空間において、容積が実際よりも広く見える意匠やインテリアデザインの建築設計を施した場合、視覚情報から予想される残響時間（ERT）が実際の残響時間 RT（あるいは最適残響時間）を上回る可能性がある。この場合、視聴覚情報が統合されている範囲内であれば、ERT と RT の差が小さくなる方向に残響感は変化（増加）し、音楽空間として満足度の高い音響が期待できる空間になると思われる。

視覚情報による影響を配慮すべき建築音響設計

大規模な音楽空間において、意匠およびインテリアデザインによって容積が狭く見える場合、視覚情報から予想される残響時間（ERT）が実際の残響時間 RT（あるいは最適残響時間）を下回る可能性がある。この場合、視聴覚情報が統合されている範囲内であれば、ERT と RT の差が小さくなる方向に残響感は変化（減少）し、音楽空間としては満足度が低下する可能性が否定できない。特に、空間の広さは残響時間と密接に関連するため、残響感が必要とされる空間では、実際よりも容積が小さく見える内観デザインは避けるべきであり、少なくとも両者が整合する違和感のない状態に建築設計すれば印象変化が生じにくく、残響感は音響設計通りの印象として受け入れられるであろう。

視覚効果を取り入れた建築音響設計の手順

本研究において測定した予想残響時間（ERT）は、測定精度が低かったため、測定方法を改めて新たに測定する必要がある。被験者に建築空間の視覚情報を提示した状態で、様々な残響時間をもつ音場を提示し、その組み合わせに対して「整合」・「不整合」の二択で回答させることにより、最も整合性が高いと評価される残響時間を ERT として扱うこととする。更に、ERT をピークとした、許容できる残響時間の幅、つまり視聴覚統合域を特定することができる。最終的には室容積などと視聴覚統合域の対応関係を近似式として表すことで種々の室容積に応じた視聴覚統合域を求められるようにしたいと考えている。その近似式が求められれば、以下のように残響計画が実施できる。

1. 建築 CAD データから室容積を算出し、近似式によって視聴覚統合域を決定する。
2. 建築図書から算出された残響時間 RT （あるいは設計目標である最適残響時間）が視聴覚統合域に含まれるか判定する。
3. 視聴覚統合域に含まれない場合、視覚情報が聴覚印象に与える影響は感度低下のみに留まるが、違和感を抑えるために内観デザイン（容積等に関わる幾何学的条件および残響時間等に関わる仕上げ材など）を修正することが望ましい。

視聴覚統合域に含まれる場合、 $RT > ERT$ であれば残響感は RT から予想されるよりも乏しく、 $RT < ERT$ であれば豊かに感じられると思われる。対象とする空間に必要とされる残響感に合わせて、内観デザインを微調整することが望ましい。なお、 $RT = ERT$ であれば、協合効果によって総合印象は高まる可能性があるものの、視覚情報による聴覚印象への効果・影響はないと思われる。

視覚効果を取り入れた最適残響時間の提案

5-5 節で示した視覚情報による聴覚印象の変化に相当する残響時間についての検討を発展させ、将来的には特に残響感が必要とされる空間に対して、従来の最適残響時間に視覚情報による残響感の増幅および低減の効果を見込んだ修正最適残響時間を提案したい。なお、最適残響時間が視聴覚統合域から大きく外れる場合、または残響感が特に必要とされない空間においては、従来の最適残響時間そのまま適用できると考えられる。

6-3 課題と展望

視覚と聴覚の関係性に関する既往研究は認知科学や心理学の研究から始まり、現在ではオーディオ・ビジュアルやサウンドスケープ、騒音等の分野において、実際の状況を想定した研究が行われ、実用的な知見も得られている。

本論文では、視聴覚の関連性についてあまり議論が行われてこなかった建築音響の分野において、室内観と音場に対する印象における視聴覚相互作用の存在とその作用が生じる条件（視聴覚統合域）を実験的に明らかにしたうえで、その作用のメカニズムについて検討し、モデルの提案を行った。

以下に、本研究における今後の課題を記す。

- ・ 広汎な実験条件における主観評価データの蓄積

本論文において報告した主観評価実験の被験者数は10名程度であり、SD法によって得られた実験データの統計的検定には十分な人数を確保しているものの、建築空間から受ける印象の評価基準や着目点は個人差があると思われ、被験者による印象評価に有意な違いがあるかどうかに関しては検証を行っていない。

また、本論文における主観評価実験の対象空間は三重大学構内の施設であり、被験者は主に三重大学の学生であったため、対象空間を利用したことのある被験者が大半を占めていた。同様の実験を、これら対象空間を利用したことのない被験者に対して行うと、本論文における実験結果とは異なる評価傾向がみられる可能性があるため、被験者の人数と属性を増やすことによって、実験結果に対する被験者の判断根拠や着目点に関する分析、被験者の空間経験による影響の検証が必要であると考えている。

- ・ 心理量の数量化に適した主観評価の手法の採用

本研究における主観評価実験で用いたSD法は、物理量と心理量との対応が難しいという問題がある。本論文では、多くの評価項目に対するおおよその評価傾向およびその評価構造を確認することができたため、この結果を基に、今後は特徴的な傾向の見られる評価項目や視聴覚間の関連性が強い評価項目のみピックアップし、異なる評価法（刺激の物理量と感覚量の間「べき法則」が成立するME法など）を用いて更なる検討を行う予定である。

- ・ 視聴覚相互作用による印象変化メカニズムのモデルの更なる検証

主観評価実験を通して、建築空間における視聴覚相互作用に関する基礎的な知見が得られ、建築空間における視聴覚相互作用による印象変化が生じるメカニズムに対するモデルを考案したが、現実空間における結果と等価であると考えするにはまだ隔たり

があり、モデルの妥当性の裏付けや実設計への応用に関してはまだ十分な検討がなされていない。室容積や空間用途、残響時間などの条件毎のメカニズムのモデルを検証できる追加の実験を行う必要がある。

- ・ 視覚刺激の物理パラメータ化とその変化による影響の検証

本論文で視覚刺激として用いた QuickTimeVR 形式のパノラマ画像では、調整可能な視覚刺激に関する変数が少ないため、視覚に関する実験条件を詳細に設定することができなかった。3DCG を視覚刺激として用いれば、同じ内観で広さ（体積）のみ異なる部屋、同じ内観で彩度のみ異なる部屋などといった実験条件を設定でき、視覚変数をコントロールする自由度が高まると考えている。

- ・ ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた視覚刺激の提示

近年普及が進むヘッドマウントディスプレイを用いて、本研究における視覚刺激の提示を行うことにより、没入感が高くより実際に近い視環境を被験者に提示できると考えている。また、一般家庭等へのヘッドマウントディスプレイの普及が今後さらに促進され、VR コンテンツがより豊富になった暁には、本研究の成果を応用できる可能性も高まるであろう。

この場合、聴覚刺激の提示方法は従来通りのスピーカ再生、またはヘッドホン再生が考えられる。ヘッドホン再生の場合は、周囲が静穏であれば無響室に限らず様々な場所で実験の実施が可能になるため、被験者を増やすという課題に対する解決策にもなりうる。ただし、従来の手法によって得られた評価とヘッドマウントディスプレイ（およびヘッドホン）を用いる手法によって得られた評価を比較し、それらの間に違いがあるかどうかについては検証が必要である。

今後、上記の課題の解決に向けて更に研究を重ねることで、建築音響設計への配慮の必要性や VR 技術を活用したコンテンツへの応用等についてさらに進んだ議論ができるようにすることを当面の目標としたい。

記号一覧

- 残響時間 T_{30} [s]
減衰曲線における最初の 30 dB の区間を回帰して得られた直線が 60dB 減衰するのに要する時間
- 残響時間 T_{60} [s]
減衰曲線における 60 dB の区間における傾斜から算出される残響時間
- 初期減衰時間 EDT (Early decay time) [s]
減衰曲線における最初の 10dB の区間を回帰して得られた直線が 60dB 減衰するのに要する時間
- クラリティ C_{80} (Clarity) [dB]
初期と後期の音響エネルギー比

- 空間 CL
表 2-1 の大学講義室の空間/刺激名。Class room の略として命名。
- 空間 MU
表 2-1 の多目的ホールの空間/刺激名。Multi-purpose hall の略として命名。
- 空間 GY
表 2-1 の体育館の空間/刺激名。Gymnasium の略として命名。

- 予想残響時間 ERT (Expected Reverberation Time) [s]
本研究において、視覚情報のみ提示された場合に被験者が予想した残響時間を同定した値
- ERT-RT [s]
本研究における主観評価実験で用いた聴覚刺激の残響時間と、ERT との差
- 最適残響時間 ORT (Optimum Reverberation Time) [s]
室用途及び室容積によって決定される最適な残響時間

参考文献

- 1) H. McGurk and J. MacDonald: Hearing lips and seeing voices, *Nature*, Vol. 264, Issue 5588, pp.746-748, 1976
- 2) 大串健吾: 聴覚と音質評価, *テレビジョン学会誌*, 第 34 巻, 第 7 号, pp.670-673, 1980
- 3) Paul Bertelson and Monique Radeau: Cross-modal bias and perceptual fusion with auditory-visual spatial discordance, *Perception & Psychophysics*, Vol. 29, No. 6, pp.578-584, 1981
- 4) 小林龍一: 数量化理論入門, 日科技連出版社, 1981
- 5) 佐藤信: 統計的官能検査法, 日科技連出版社, 1985
- 6) 田原靖彦: 非指数減衰残響の評価に関する実験—残響減衰波形と残響の長さ感の関係—, *日本音響学会誌*, 第 45 巻, 第 1 号, pp.132-139, 1986
- 7) 若山 滋, 岡島 達雄, 渡辺 勝彦, 内藤 昌: 近代建築の視覚的印象による意匠特性の研究, *日本建築学会計画系論文報告集*, 第 366 号, pp.132-139, 1986
- 8) M. Morimoto and Z. Maekawa: Auditory spaciousness and envelopment, *Proceedings of the 13th International Conference on Acoustics*, Vol. 2, pp.215-218, 1989
- 9) 鈴木弘之, 田村明弘, 鹿島教昭: 街路に沿う歩行空間の喧騒感に及ぼす緑の効果, *日本音響学会誌*, 第 45 巻, 第 5 号, pp.374-384, 1989
- 10) 森本政之, 石井正光, 前川純一: エコー検知限における視覚刺激の影響, *日本音響学会誌*, 第 46 巻, 第 3 号, pp.229-235, 1990
- 11) 田原靖彦: 聴覚の特性に基づく室内残響設計・評価法, *日本音響学会誌*, 第 47 巻, 第 10 号, 1991
- 12) 矢野澄男: 立体画像表示における画角の影響, *テレビジョン学会誌*, 第 45 巻, 第 12 号, pp.1589-1596, 1991
- 13) 岩宮眞一郎: オーディオ・ヴィジュアル・メディアによる音楽聴取行動における視覚と聴覚の相互作用, *日本音響学会誌*, 第 48 巻, 第 3 号, pp.146-153, 1992
- 14) 岩宮眞一郎: オーディオ・ヴィジュアル・メディアを通しての情報伝達における視覚と聴覚の相互作用に及ぼす音と映像の調和の影響, *日本音響学会誌*, 第 48 巻, 第 9 号, pp.649-657, 1992
- 15) 岩宮眞一郎, 細野晴雄, 福田一昭: 音環境と景観の相互作用—景観の印象に及ぼす音環境の印象に及ぼす景観の影響—, *The Annals of physiological anthropology*, Vol. 11, No. 1, pp.51-59, 1992
- 16) 田村明弘, 鈴木弘之, 鹿島教昭: 植樹帯による喧騒感の緩和, *日本音響学会誌*, 第 48 巻, 第 11 号, pp.776-786, 1992
- 17) 穂山貞登: 数量化のグラフィックス, 態度の多変量解析, 朝倉書店, 1993.
- 18) 大山正, 瀧本誓, 岩澤秀紀: セマンティック・ディファレンシャル法を用いた共感覚性の研究, *行動計量学*, 第 20 巻, 第 2 号, pp.53-64, 1993
- 19) 中山和美, 佐藤仁人: 街路景観における調和感の評価構造, *人間工学*, 第 30 巻, 特別号,

pp.374-375, 1994

- 20) 岩宮眞一郎: オーディオ・ヴィジュアル・メディアを通しての音楽聴取における大画面再生映像が音楽再生音及び映像の印象に与える影響, 日本音響学会誌, 第 51 卷, 第 2 号, pp.123-129, 1995
- 21) 淀川英司, 東倉洋一, 中根一成: 視聴覚の認知科学, 社団法人電子情報通信学会, 1998
- 22) 篠原彰一, 梅本堯夫, 大山正: 学習心理学への招待[改訂版]—学習・記憶の仕組みを探る—, 株式会社サイエンス社, 1998 年
- 23) 難波精一郎, 桑野園子: 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社, 1998
- 24) 野田千津子, 石川孝重: 視覚が水平振動感覚に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 525 号, pp.15-20, 1999.
- 25) 安部幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫: 視覚情報が環境音知覚に与える影響, 日本音響学会誌, 第 56 卷, 第 12 号, pp.793-804, 2000
- 26) 岩宮眞一郎: 音の生態学—音と人間のかかわり—, コロナ社, 2000
- 27) 岩宮眞一郎: 音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション, 九州大学出版会, 2000
- 28) 中村雄二郎: 共通感覚論, 岩波書店, 2000
- 29) 山内光哉・春木豊: グラフィック学習心理学—行動と認知—, 株式会社サイエンス社, 2001
- 30) P. Larsson, D. D. Västfjäll and M. Kleiner: Auditory-visual interaction in real and virtual rooms, Proceedings of the Forum Acusticum, 3rd EAA European Congress on Acoustics, Paper No. PSY05-005-IP, 2002
- 31) Stephanie Villon, Catherine Lavandier and Carolyn Drake: Influence of visual setting on sound ratings in an urban environment, Applied Acoustic, Vol. 63, pp.493-511, 2002
- 32) 岩宮眞一郎: 映像作品における視聴覚コミュニケーション, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, 102(533), pp.39-46, 2002
- 33) 柏野牧夫: 音のイリュージョン: 知覚を生み出す脳の戦略, 岩波書店, 2002
- 34) 新藤智, 後藤剛史: 長周期ねじれ振動が人体の視覚知覚に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, 第 533 号, pp.23-25, 2002
- 35) 永山知見: 視覚情報が環境騒音の loudness 評価に与える影響, 明治大学理工学部研究報告, 第 27 号(83), 2002
- 36) 松尾太加志, 中村知靖: 誰も教えてくれなかった因子分析 数式が絶対に出てこない因子分析入門, 北大路書房, 2002
- 37) 宮川雅充, 中司智之, 青野正二: 音環境の印象に及ぼす視覚情報と聴覚情報の影響, 騒音制御, 第 26 卷, 第 1 号, pp.53-59, 2002
- 38) 原田悦子, 工藤輝政: 画の記憶: 静止画—動画の比較と音の効果, 日本認知心理学会第 1 回大会梗概集, pp.256-257, 2003
- 39) Densil Cabrera, Andy Nguyen and Young Ji Choi: AUDITORY VERSUS VISUAL SPATIAL

IMPRESSION: A STUDY OF TWO AUDITORIA, Proceedings of ICAD 04-Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display, 2004

- 40) 芹沢健自, 萩原千珠子, 山田由紀子: 視覚刺激が騒音評価に与える影響 その 1 ME 法による Noisiness 評価の検討, 日本建築学会大会 (北海道) 学術講演梗概集, 40456, pp.935-936, 2004
- 41) 萩原千珠子, 芹沢健自, 山田由紀子: 視覚刺激が騒音評価に与える影響 その 2 SD 法を用いた印象評価による検討, 日本建築学会大会 (北海道) 学術講演梗概集, 40457, pp.937-938, 2004
- 42) Claudiu B. Pop and Densil Cabrera: Auditory Room Size Perception for Real Rooms, Proceedings of ACOUSTICS 2005, pp.115-121, 2005
- 43) 岸学: SPSS によるやさしい統計学 第 2 版, オーム社, 2005
- 44) 藤本隆史, 寺島貴根: 視覚情報が空間認知に関わる音響パラメータに与える影響 —視覚と聴覚の相互作用を考慮した音響設計に関する基礎的研究—, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 43 号, pp.341-344, 2005
- 45) 藤本隆史, 寺島貴根: 視覚刺激が残響感及び音の拡がり感に与える影響 視覚と聴覚の相互作用を効果的に用いた建築音響設計に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.851-852, 2005
- 46) A. McCreery and P. T. Calamia: Cross-modal perception of room acoustics, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 120, Issue 5, pp.3150-3150, 2006
- 47) 石村貞夫: 入門はじめての統計解析, 東京図書株式会社, 2006
- 48) 朴白順, 山田真希子: 自伝的エピソード記憶における視覚イメージの役割, 日本認知心理学会第 4 回大会, p.93, 2006
- 49) 藤本隆史, 寺島貴根: 視覚刺激が残響感、音の拡がり感及び音量感に与える影響: 視覚と聴覚の相互作用を効果的に用いた建築音響設計に関する基礎的研究, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 44 号, pp.393-396, 2006
- 50) 藤本隆史: 視覚と聴覚の相互作用を考慮した建築音響設計に関する基礎的研究, 三重大学大学院工学研究科修士論文 (未公開), 2006
- 51) 南博文: 環境心理学の新しいかたち, 誠信書房, 2006
- 52) James Heron, David Whitaker, Paul V. McGraw and Kirill V. Horoshenkov: Adaptation minimizes distance-related audiovisual delays, Journal of Vision, Vol. 7, No. 13, pp.1-8, 2007
- 53) 大竹礼子, 渡辺仁史, 長澤夏子: 室内空間におけるストレスを軽減する色彩環境に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, 5006, pp.21-24, 2007
- 54) 須藤由佳子, 尾入正哲, 森下正修, 松原斎樹: 室内空間の開放感と快適性: 映像の印象評価による研究, 人間・環境学会誌, 第 19 号, p. 81, 2007.
- 55) 三浦智美, 川除佳和, 柴田啓司, 稲積泰宏: ハイビジョン映像と音響が視聴覚の相互作用に与える影響の検討, 電子情報通信学会信学技法, 第 47 号, pp.27-30, 2007

- 56) Daniel L. Valente and Jonas Braasch: Subjective Expectation Adjustments of Early-to-Late Reverberant Energy Ratio and Reverberation Time to Match Visual Environmental Cues of a Musical Performance, ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA, Vol. 94, pp.840-855, 2008
- 57) Jin Yong Jeona, Yong Hee Kim, Densil Cabrera, and John Bassett: The effect of visual and auditory cues on seat preference in an opera theater, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 123, 2008
- 58) 池上政之: 建築音響の品質確保のための技術と取り組み, 大林組技術研究所報, No.72, pp.1-8, 2008
- 59) 今井徹, 吉岡祥隆, 初見学: 曲壁空間の心理的影響 一空間認知構造に関する研究その 2一, 日本建築学会大会(中国) 学術講演梗概集, 5443, pp.911-912, 2008
- 60) 佐藤哲身: 都市の環境音の分布と喧騒感の緩和, 北海学園大学工学部研究報告, pp.65-72, 2008
- 61) 謝明燁: 景観の違いが環境音の心理評価に与える影響に関する研究一台湾を事例として一, 日本建築学会環境系論文集, 第 73 卷, 第 626 号, pp.519-525, 2008
- 62) 山崎俊夫, 秀島栄三: 視覚情報が地区住民の空間構成の再現性に与える影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 第 25 卷, 第 2 号, pp.299-310, 2008
- 63) 岩宮眞一郎: 「音」がないと映像はつまらん!, 日本人間工学会第 50 回記念大会オーガナイズドセッション, 2009
- 64) Daniel L. Valente and Jonas Braasch: Subjective scaling of spatial room acoustic parameters influenced by visual environmental cues, The Journal of Acoustical Society of America, Vol. 128, No. 4, pp.1952-1964, 2010
- 65) 市川雅教: シリーズ<行動軽量の科学>7 因子分析, 朝倉書房, 2010
- 66) 徳永泰伸, 寺島貴根: 室内における視覚情報が残響時間の予想値に対して与える影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 48 号, pp.265-268, 2010
- 67) 堀内宏剛, 寺島貴根: 室内意匠要素と音場に対する主観的印象の関連性分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.51-52, 2010
- 68) Manuj Yadav, Densil Cabrera and William L. Martens: AUDITORY ROOM SIZE PERCEPTION FROM A ROOM ACOUSIC SIMULATION WITH AUTOPHONIC STIMULI, Acoustics Australia, Vol. 39, No. 3, pp.101-105, 2011
- 69) 市川周平, 岩永誠: 視聴覚刺激に対する評価および情動反応における視覚と聴覚の関係性, 感情心理学研究 Vol. 35, No. 2, pp.87-95, 2011
- 70) 羽入敏樹: シェッフエの一对比較法を用いた音場の空間印象の主観評価実験, 騒音制御, Vol.35, No.1, pp.75-79, 2011
- 71) 堀内宏剛: 建築内部における視覚情報と聴覚情報の同時提示に対する主観印象評価に関する研究, 三重大学大学院工学研究科修士論文(未公刊), 2011
- 72) Daniel L. Valente, Jonas Braasch and Shane A. Myrbeck: Comparing perceived auditory width to the

- visual image of a performing, The Journal of Acoustical Society of America, Vol. 131, pp.205-217, 2012
- 73) 井上裕充: 官能評価の理論と方法 現場で使う官能評価分析, 日科技連出版社, 2012
- 74) 川部哲也: 既視体験 (デジャヴュ体験) の有無判断についての一考察, 大阪府立大学大学院人間社会学研究科心理臨床センター紀要 2012, pp.21-28, 2012
- 75) 近藤公久: 有意差検定のしくみから考える一平均と分散から再確認一, 日本音響学会誌, 第 68 巻, 第 8 号, pp.397-402, 2012
- 76) 山口武俊, 久野覚: 住宅内における空間の認識と積極的快適性に関する研究, 日本建築学会大会 (東海) 学術講演梗概集, 40011, pp.21-22, 2012
- 77) Joo Young Hong and Jin Yong Jeon: Designing sound and visual components for enhancement of urban soundscapes, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 134, pp.2026-2036, 2013
- 78) Yadav Manuj, Densil A. Cabrera, Luis Miranda, William L. Martens, Doheon Lee and Ralph Collins: Investigating Auditory Room Size Perception with Autophonic Stimuli, Audio Engineering Society Convention, Paper 8934, 2013
- 79) 飯島健太郎: 人の健康に役立つ緑の知覚, 桐蔭論叢, 第 28 号, 2013
- 80) 映像環境ワーキンググループ, 鴻池賢三, 市川俊一: ホームシアター映像 調整・環境ガイドライン, pp.1-13, 2013
- 81) 黒田剛士, 蓮尾絵美: 早わかり心理物理学実験, 日本音響学会誌, 第 69 巻, 第 12 号, pp.632-637, 2013
- 82) 谷川将規, 守屋陽平, 江嶋孝, 檜山和男, 志村正幸: VR 技術を利用した道路交通騒音評価システムの立体音響化と現実感向上に関する研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.69, No.2 (応用力学論文集 Vol.16), pp.155-162, 2013
- 83) 徳永泰伸, 奥家大智, 寺島貴根: ホール客席部における視覚情報と音響状態に対する主観評価の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.87-88, 2013
- 84) 藤山沙紀: 連続的測定方法による音と映像の印象の一致に基づく調和感に関する研究, 九州大学成果文献, 2013
- 85) 山崎浩一: とても基本的な学習心理学, おうふう, 2013
- 86) 和仁優子, 寺島貴根: 建築空間における音場の主観評価に及ぼす視覚情報の影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 51 号, pp.397-400, 2013
- 87) 和仁優子, 寺島貴根: 建築空間における視聴覚刺激に対する主観評価に及ぼす組み合わせの影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.89-90, 2013
- 88) 王夢, 小川剛史: 視覚と聴覚のクロスモーダル知覚を用いた音像定位システムに関する基礎検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-DCC-4, No.7, pp.1-6, 2013
- 89) 一志哲夫, 渡邊朗子, 碓井晋平: ブース空間の色彩環境が脳活動に与える影響 1, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 40054, pp.121-122, 2014

- 90) 石村光資料： やさしく学ぶ SPSS による統計解析，オーム社，2014 年
- 91) 金基弘，郭暁，藤山沙紀，岩宮眞一郎： 音高の変化と映像の変化の調和感と音と映像の呈示方向の影響，日本音響学会誌，第 70 巻，第 10 号，pp.534-537，2014
- 92) 重野純： 音の世界の心理学[第 2 版]，ナカニシヤ出版，2014
- 93) 高木英行： 使える！統計検定・機械学習—III—主観評価実験のための有意差検定，システム制御情報学会誌，Vol.58，No.12，pp.514-520，2014
- 94) 中根晃，久野覚： 都市空間の認識と積極的快適性に関する研究 その 3 動画における印象評価と環境音の関係，日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集，40068，pp.149-148，2014
- 95) 羽入敏樹，星和磨，渡辺大助： 吸音による住空間の音環境快適化のための聴感実験方法，日本建築学会環境系論文報告集，Vol. 79，No. 696，pp.141-148，2014
- 96) 森長誠： 公共空間における音環境マネジメントの展望，日本音響学会誌，第 70 巻，第 3 号，pp.148-152，2014
- 97) 和仁優子，寺島貴根： 建築空間における視聴覚刺激に対する主観評価に及ぼす残響時間の影響，日本建築学会東海支部研究報告集，第 52 号，pp.393-396，2014
- 98) 和仁優子： 建築空間に対する視聴覚の主観印象に及ぼす視覚情報と音場の影響，三重大学大学院工学研究科修士論文（未公開），2014
- 99) 有光哲彦，岡崎啓吾，戸井武司： 音環境及び色環境の複合刺激が体感温度に及ぼす影響の評価，日本音響学会誌，第 71 巻，第 6 号，pp.267-275，2015
- 100) 奥家大智，徳永泰伸，寺島貴根： ホール客席部における視覚情報と予想される響きの長さの関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，pp.259-260，2015
- 101) 國分詠美子，鈴木晴翔，鄭新源，宗方淳： 照明の変動知覚における照明比と変化率の影響に関する研究，日本建築学会環境系論文報告集，Vol. 80，No. 711，pp.407-414，2015
- 102) 宮川公男： 基本統計学[第 4 版]，有斐閣，2015
- 103) 村松慶一，田原紫，齋藤美穂，松居辰則： 通様相性にに基づいた五感の心理的属性に関するオンライン記述，日本感性工学会，Vol. 14，No. 1（特集号），pp.163-172，2015
- 104) 川合正浩： 室の内観と音場が与える主観印象における視聴覚様相間の相互影響について，三重大学大学院工学研究科修士論文（未公開），2017
- 105) ナーブ株式会社： VR 内見，<http://naiken.nurve.jp/>，2018 年 3 月 26 日アクセス
- 106) KDDI 株式会社： 国内初、バーチャルアテンダントが案内する VR 不動産コンテンツを開発，<https://www.au.com/information/topic/mobile/2017-065/>，2017 年 9 月 26 日トピックス，2018 年 3 月 26 日アクセス
- 107) 近鉄不動産株式会社： マンションのモデルルームに VR（仮想現実）体感ルームを設置，<https://www.kintetsu-re.co.jp/wp/wp-content/uploads/2017/07/HPVRRnagoya.pdf>，2017 年 7 月 24 日ニュースリリース，2018 年 3 月 21 日アクセス

本研究に関する論文・発表報告

査読付き論文

- [1] 石川あゆみ, 寺島貴根, 徳永泰伸: 室内音場の主観的印象に対する視覚情報の影響及び視聴覚間の違和感との関連性, 日本建築学会環境系論文集, 第 83 巻, 第 745 号, pp. 257-265, 2018.3

査読のある国際会議プロシーディングス

- [2] Ayumi Ishikawa, Takane Terashima and Yasunobu Tokunaga: Effect of Visual Stimulus on Subjective Impression of Indoor Sound Fields with Various Reverberation Times, Proceedings of 43rd International Congress on Noise Control Engineering (INTERNOISE2014), 133, pp.1-10, 2014.11
- [3] Terashima Takane, Ishikawa Ayumi and Tokunaga Yasunobu: Priority of subjective attribute in discrimination between sound fields of architectural spaces: Proceedings of 43rd International Congress on Noise Control Engineering (INTERNOISE2014), 188, pp.1-6, 2014.11
- [4] Yasunobu Tokunaga, Takane Terashima, and Ayumi Ishikawa: Influence of Visual Information on Subjective Evaluation of Road Traffic Noise, Proceedings of 43rd International Congress on Noise Control Engineering (INTERNOISE2014), 530, pp.1-5, 2014.11
- [5] Ayumi Ishikawa, Masahiro Kawai and Takane Terashima: STUDY ON THE EFFECT OF SENSE OF INCONGRUITY CAUSED BY COMBINATION WITH VISUAL INFORMATION IN SUBJECTIVE REVERBERANCE FOR INDOOR SOUND FIELD IN ARCHITECTURAL SPACE, Proceedings of 5th International Conference on Human-Environment System (ICHES2016), 20030, pp.1-10, 2016.10
- [6] Masahiro Kawai, Ayumi Ishikawa and Takane Terashima: EFFECT OF VISUAL INFORMATION UPON SUBJECTIVE REVERBERANCE FOR CHAMBER SOUND FIELD - EXPERIMENTAL EXAMINATION BY PAIRED COMPARISON AND CATEGORY SCALE METHOD -, Proceedings of 5th International Conference on Human-Environment System (ICHES2016), 20037, pp.1-8, 2016.10

口頭発表論文

- [7] 石川あゆみ, 寺島貴根, 徳永泰伸: 室内音場の主観印象に対する視覚刺激と残響時間の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.99-100, 2014.9

- [8] 石川あゆみ, 寺島貴根: 建築空間における視聴覚情報の主観印象の関連性の研究, 日本音響学会東海支部建築音響・騒音・振動関連若手研究発表会梗概集, p.3, 2014.11
- [9] 石川あゆみ, 寺島貴根: 視覚刺激の提示の有無による室内音場の主観印象の変化, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 53 号, pp.325-328, 2015.2
- [10] 川合正浩, 石川あゆみ, 寺島貴根, 徳永泰伸: 室内の視聴覚刺激に対する主観印象と違和感の影響について その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.91-92, 2015.9
- [11] 石川あゆみ, 川合正浩, 寺島貴根, 徳永泰伸: 室内の視聴覚刺激に対する主観印象と違和感の影響について その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.93-94, 2015.9
- [12] 川合正浩, 石川あゆみ, 寺島貴根: 建築空間における残響感と視覚情報の関連性 その 1 一対比較法による検討, 日本音響学会東海支部建築音響・騒音・振動関連若手研究発表会梗概集, p.4, 2015.12
- [13] 石川あゆみ, 川合正浩, 寺島貴根: 建築空間における残響感と視覚情報の関連性 その 2 課題と展望, 日本音響学会東海支部建築音響・騒音・振動関連若手研究発表会梗概集, p.5, 2015.12
- [14] 川合正浩, 石川あゆみ, 寺島貴根: 室内音場の主観印象に対する視覚情報の影響 (一対比較法による検討), 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 54 号, pp.277-280, 2016.2
- [15] 石川あゆみ, 川合正浩, 寺島貴根: 聴覚刺激とその提示方法による残響感の評価傾向の違い—建築空間における音場の主観印象に対する視覚情報の影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.361-362, 2016.8
- [16] 川合正浩, 石川あゆみ, 寺島貴根: 一対比較法とカテゴリー尺度法による残響感の評価傾向の違い—建築空間における音場の主観印象に対する視覚情報の影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.363-364, 2016.8
- [17] 竹山由里子, 石川あゆみ, 寺島貴根: 室内空間の聴覚印象と視聴覚間に生じる違和感との関連性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.291-292, 2017.8
- [18] 石川あゆみ, 寺島貴根: 建築空間の視聴覚印象における評価構造に対する違和感の影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 56 号, pp. 317-320, 2018.2
- [19] 竹山由里子, 石川あゆみ, 寺島貴根: 室内空間の聴覚印象と視聴覚間に生じる違和感との関連性 その 2, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 56 号, pp. 321-324, 2018.2
- [20] 石川あゆみ, 寺島貴根: 建築空間の視聴覚印象における評価構造に対する相互作用の影響, 日本音響学会講演論文集, pp. 935-938, 2018.3

付録 1 —実験概要の補足—

本研究で行う主観評価実験に関する概要の補足を以下に示す。

聴覚刺激の概要

第 2 章以降の実験で使用する聴覚刺激は、対象空間で測定された実測のインパルス応答信号と、それを基準として残響時間を変化させる波形編集を施した信号である。この編集には、Gold Wave (Gold Wave 社) 内のエフェクトである“Time warp”を用いた。

聴覚刺激の素材となるインパルス応答信号の測定模様を写真 1 に示す。12 面体スピーカを設置する音源位置は室



写真 1 インパルス応答の測定模様

中央、騒音計（マイクロホンの役割）を設置する受音位置は音源位置から 1 m 離れた位置とした。例外として、ホール空間の場合、音源位置をステージ上の客席側から 2.5 m 奥の上手と下手の中間点、受音位置は客席部の中央部とした。12 面体スピーカと騒音計の床面からの高さは、おおよそ人間の耳の高さの 1.5 m とする。

インパルス応答信号の測定では、まず 12 面体スピーカから TSP 信号を発し、その直接音と反射音を騒音計で録音する。この際、十分な S/N 比が得られているか確認を行った。録音したインパルス応答信号をソフトウェア（吉正電子株式会社、Sound Analyzer）上で解析し、波形や音響パラメータなどの指標を得る。測定データはサンプリング周波数 44.1kHz、量子化ビット数 16 の PCM 信号として Wave データとして保存した。

視覚刺激の概要

第 2 章以降の実験で用いる視覚刺激である QuickTimeVR 形式のパノラマ画像は、画像内のある地点から上下左右を見渡せるマルチメディア技術を用いて写真を合成したものである。静止画像では不可能な滑らかな視点変更を行うことができ、臨場感のある情報提示が可能である。以下に、QuickTimeVR 形式のパノラマ画像の作成手順を示す。

撮影前の準備として、対象空間内の物品は極力撤去し、照明をその空間の利用時に自然で最適と思われる程度に設定した。写真撮影時には空間内は無人とした。準備を終えたらまず、円周魚眼レンズを取り付けたデジタルカメラを対象空間の中央部（インパル

ス応答信号の受信位置と同じ位置) に設置した三脚に取り付ける。空間の正面を 0° の位置として室内観を撮影した後、パノラマ雲台 (Nodal Ninja) を左右に 120° 回転させ、室内左側・右側の内観を撮影する。撮影後、同一実験内で用いる対象空間の魚眼写真を画像処理ソフトウェア (Image J) で数値解析し、輝度値を全写真の平均値になるよう調整した。その後、画像合成ソフトウェア (Fish4 Cube Xm または PTGui) にデータを取り込み、各空間の魚眼写真 3 枚を合成することで QuickTimeVR 形式の画像を作成した。この画像の再生には、Quick Time Player を用いた。

主観評価概要

主観評価には SD 法を用い、視覚と聴覚の主観印象に関する形容詞対の項目を複数挙げ、刺激提示の直後にこれらの形容詞で表される印象の程度について 7 段階のカテゴリー一尺度を用いて被験者に回答させた。

質問用紙の例を図 1 に示す。順番効果を排除するため、刺激の提示順、評価項目の並び順は被験者毎にランダムに設定した。被験者の回答は、質問用紙に表記された 7 段階のカテゴリー一尺度を表す数字に丸印を付けることで行われた。

開放感	閉鎖的な	-3	-2	-1	0	1	2	3	開放的な
複雑さ	複雑な	3	2	1	0	-1	-2	-3	単純な
質感	かたい	-3	-2	-1	0	1	2	3	やわらかい
親しみ	親しみにくい	-3	-2	-1	0	1	2	3	親しみやすい
立体感	立体感のある	3	2	1	0	-1	-2	-3	立体感のない
広さ	狭い	-3	-2	-1	0	1	2	3	広い

図 1 質問用紙の例

実験を実施する前には、実験者から被験者に実験内容とその流れ、評価項目それぞれの概念について説明を行った。実験内容の流れについては質問用紙の表紙にも説明を併記してある。質問用紙の表紙の例を図2に示す。

【実験の手順】

実験1. —映像—

- ① ある建築空間の内観映像がスクリーンに映写されるので、マウスを操作して全体を見渡してください。
- ② 次に、その建築空間の響きの長さを予想して、トグルを回して調整してください。
 - マイクに向かって手を叩いたり声を出したりすると、その建築空間の響きがスピーカーから流れます
 - その響きを聴きながら、予想した響きの長さになるように、納得いくまでトグルで調整します
- ③ 最後に、その建築空間を見た印象を質問用紙に回答してください。
 - 質問項目は、色覚および空間に対する印象について計11項目と、その空間の経験の有無です
 - 7段階（経験の有無は4段階）のうち該当する数字に○をつけてください（直感で構いません）
- ④ 以上を1セットとし、これを3セット繰り返します。

実験2. —響き—

- ① ある建築空間の響きがスピーカーから流れるので、マイクに向けて音を出して響きを聴いてください。
- ② 次に、その響きを聴いた印象を質問用紙に回答してください。
 - 質問項目は、響きの長さ・残響感・明瞭感の3項目です
 - 7段階のうち該当する数字に○をつけてください（直感で構いません）
- ③ 以上を1セットとし、これを9セット繰り返します。

実験3. —映像と響き—

- ① ある建築空間の内観映像と響きが再現されます。マウスを操作して映像全体を見渡し、マイクに向けて音を出して響きを聴いて、その建築空間のイメージを確認してください。
- ② 次に、映像を見ながらその響きを聴いた印象を、質問用紙に回答してください。
 - 質問項目は、響きの長さ・残響感・明瞭感の3項目と、映像と響きの組合せに対する違和感の有無です
 - 7段階のうち該当する数字に○をつけてください（直感で構いません）
- ③ 以上を1セットとし、これを27セット繰り返します。

図2 質問用紙の表紙の例

付録 2

—実験室実験と現実空間での主観評価の違いに関する検討—

本研究では、実験室において現実空間を表現する視聴覚刺激を用いて現実空間に近似した視聴覚環境を被験者に提示し、この条件下における主観印象を測定した結果を分析することで研究目的を達成することを試みている。視聴覚条件(対象空間の視聴覚刺激)のみを変化させられる実験室実験の手法を用いることで、被験者への負担を極力抑えたうえで、短時間で多くの主観評価データを採取することができ、メリットは大きい。ただし、この実験室実験によって得られた結果が有効であるためには、現実空間と実験室実験における主観評価結果が乖離していないことを確認する必要がある。このため、現実空間における視聴覚環境と実験室で視聴覚刺激を提示して構築する視聴覚環境の双方において、同じ評価項目に対する主観評価実験を行い、両者の評価結果を比較する。

実験概要

本論 2-2 節の表 2-1 に示す 3 空間を対象空間として、現実の空間及びその空間の視聴覚環境を再現した状況で、表 1 に示す視聴覚印象を測定する。これらの印象を、7 段階 (-3~+3) のカテゴリ尺度で回答させた。

現実空間における実験

表 2-1 に示した対象空間の中央部 (MUは中央部から約 13 m 離れた客席部) に被験者を 1 人ずつ立たせた状態で主観評価実験を行った。被験者は正常な視聴覚を有する 20 代の男女で、人数は空間 CL で 6 名 (うち女性 1 名)、空間 MU で男性 4 名、空間 GY で 4 名

(うち女性 1 名) であった。被験者は三重大学工学部建築学科に所属する学生であり、対象空間に関して数回の在室経験を持つ者が含まれているが、日常的・継続的な経験は有していなかった。また、全員が建築音響学の基礎的な知識を有していた。

実験は、視覚刺激の単独提示・聴覚刺激の単独提示・視覚刺激と聴覚刺激の同時提示をこの順に行った。視覚刺激の単独提示では、被験者に耳栓を装着させた状態で室内

表 1 主観評価項目

	評価項目	(-3)	形容詞対	(+3)
視覚 印象	明度	黒っぽい		白っぽい
	彩度	くすんだ		鮮やかな
	色相	冷ややかな		暖かみのある
	色の数	単色な		多色な
	明るさ	暗い		明るい
	立体感	立体感のない		立体感のある
	複雑さ	単純な		複雑な
	開放感	閉鎖的な		開放的な
	広さ	狭い		広い
	質感	かたい		やわらかい
聴覚 印象	親しみやすさ	親しみにくい		親しみやすい
	響きの長さ	短い		長い
	残響感	乏しい		豊かな
	明瞭感	ぼんやりした		はっきりした

観全体を見渡させた後、表 1 の視覚印象を評価させた。聴覚刺激の単独提示では、被験者にアイマスクを装着させた状態で手を叩いたり発声させたりして室の響きを確認させた後、表 1 の聴覚印象を評価させた。同時提示では、室内の観全体を見渡させながら手を叩いたり発声させたりして響きを確認させた後、表 1 の全項目に対する印象を評価させた。なお、空間によって利用可能な日時が異なっていたため、空間毎に異なる日程・時間帯で実験を実施した。

実験室における実験

無響室において対象空間の視聴覚環境を再現提示する図 2-4 から DSP を省いたシステムを構築した。実験中の室温は約 26°C に保たれ、室内の設置機器からの発生音を含んだ被験者位置における暗騒音は $L_{Aeq}=36$ dB 程度であった。

被験者は正常な視覚と聴覚を有する 20~50 代の 9 名(男性 8 名、女性 1 名)であった。被験者は主に三重大学工学部建築学科に所属する学生であり、全員が建築音響学の基礎的な知識を有している。また、対象空間に関して数回の在室経験を持つ者が含まれているが、日常的・継続的な経験は有していなかった。

表 2 インパルス応答の音響特性 (500 Hz 基準)

視覚刺激は、前述の 3 空間の内観パノラマ画像である。聴覚刺激は対象空間のパノラマ画像の撮影地点で実測したモノラルのインパルス応答の PCM 信号であり、そ

刺激名	T_{60} [s]	EDT [s]	C_{80} [dB]
cl	0.68	0.65	8.8
mu	1.50	1.71	0.1
gy	3.07	2.72	3.2

の音響特性を表 2 に示す。なお、 C_{80} の値が表 2-1 とやや異なるのは、聴覚刺激を作成するうえでインパルス応答の波形編集(ノイズの除去など)を行ったことに起因している。

聴覚刺激の提示は被験者が発する任意音への実時間畳み込みによって行われるため、その提示レベル(スピーカからのフィードバック音のレベル)を統一することは不可能であるが、マイクロホン近傍で手を叩いた時の聴取レベルが被験者位置で $L_{Amax}=72$ dB 程度であることを確認している。なお、 L_{Amax} の測定位置を被験者位置に等しくすると、スピーカからのフィードバック音よりも被験者が手を叩く直接音のレベルが L_{Amax} に反映されてしまうため、測定位置はスピーカから 1.0 m の位置とし、その位置から被験者位置までの距離減衰を考慮した L_{Amax} の値を算出している。

一人の被験者に対して、視覚刺激の単独提示・聴覚刺激の単独提示・視覚刺激と聴覚刺激の同時提示の順に提示を行い、各条件における表 1 に示す主観評価項目に対する主観印象を 7 段階 (-3~+3) のカテゴリー尺度で評定させた。

視覚刺激の単独提示では、3 空間の視覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、その視覚印象を回答させた。このときパノラマ画像は、実験者の操作によって上下左右に視線方向が変えられ、室内の様子を隈無く見渡せるようにした。聴覚刺激の単独提示においては、3 空間の聴覚刺激のみをランダムな順で被験者に提示し、その聴覚印象を回答させた。このとき被験者は、各聴覚刺激に畳み込まれた任意音のスピーカからのフィードバックを確認しながら評価を行った。視覚刺激と聴覚刺激の同時提示においては、空間毎に組み合わせた視聴覚刺激（例：視覚刺激 CL と聴覚刺激 cl）をランダムな順で提示し、被験者は実験者が操作する視覚刺激を見ながら、自身が発する任意音が聴覚刺激に畳み込まれたフィードバック音を聴いて視覚印象と聴覚印象を回答した。

実験結果と考察

図 3～5 は、各評価項目に対する現実空間の主観評価実験で得られた評定平均値と、実験室実験で得られた評定平均値を空間毎に示している。

空間 CL においては、同時提示における評定平均値が無響室（実験室実験）と実空間で最大で 1.5 程度異なることが分かった。特に評定平均値の違いが大きかったのは、同時提示時の「明瞭感」・「明るさ」・「開放感」、単独提示・同時提示時の「色相」であるが、このうち「明瞭感」に対する評価は、実験室では被験者が発した任意音がマイクを通じて音量を増幅して提示されたために残響減衰が末尾まではっきりと認識できたことが理由で明瞭感が低く評価されたと思われる。大音量で音の響きを聴くことがあまりない空間では、実空間の聴覚印象と差異が生じる可能性があることが示唆された。また、空間 CL は窓が多く、天候や時間帯によって室内の明るさが大きく変化するため、現実空間の「明るさ」及び「色相」を実験室で再現するには注意が必要であることが分かった。「開放感」は窓のカーテンを閉めた状態と開けた状態では印象が異なることが予想されることに加えて、空間 CL は階段教室であり、パノラマ画像では画面端がやや歪んで見えることも相まって実空間の様子を完全に再現するには至らなかったと思われる。

空間 MU では、提示条件に関わらず「明瞭感」と「明るさ」の評定平均値が無響室と実空間で最大 2.0 程度異なることが分かった。CL の結果と同様、無響室では残響減衰が末尾まで確認できるために明瞭感が低く評価されたと思われる。「明るさ」については、現実空間のステージ上の照明が無響室において提示した視覚刺激のパノラマ写真撮影時よりも暗い設定となっていたことが、評価に差が生じた原因であると思われる。その他の評価項目は、無響室と実験室における評価のプロファイルはおおよそ近似している。

空間 GY では、提示条件に関わらず「明るさ」と「立体感」の評定平均値が無響室と実空間で 1.0 程度異なることを除くと、評価のプロファイルはおおよそ近似している。GY は室表面の凹凸が少ない矩形室でパノラマ画像の歪みの影響も小さく、実験室にお

ける再現及びそれに対する評価に大きな支障が無かったと推察される。なお、窓があり天候や時間帯によって室内の照度が大きく変化するという条件は空間 CL と同じであり、「明るさ」等の評価が実空間と必ずしも等しくならないことには注意が必要である。

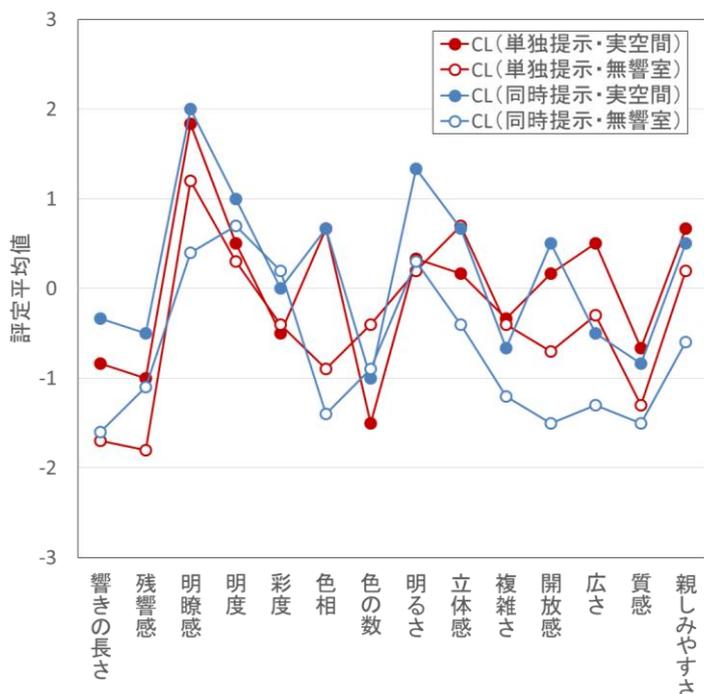


図3 両実験における空間 CL の

評価項目による評定平均値のプロファイル

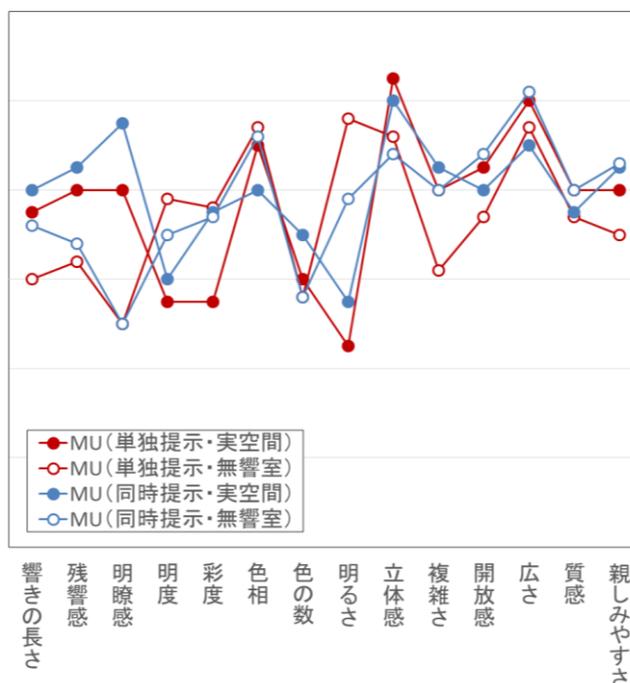


図4 両実験における空間 MU の

評価項目による評定平均値のプロファイル

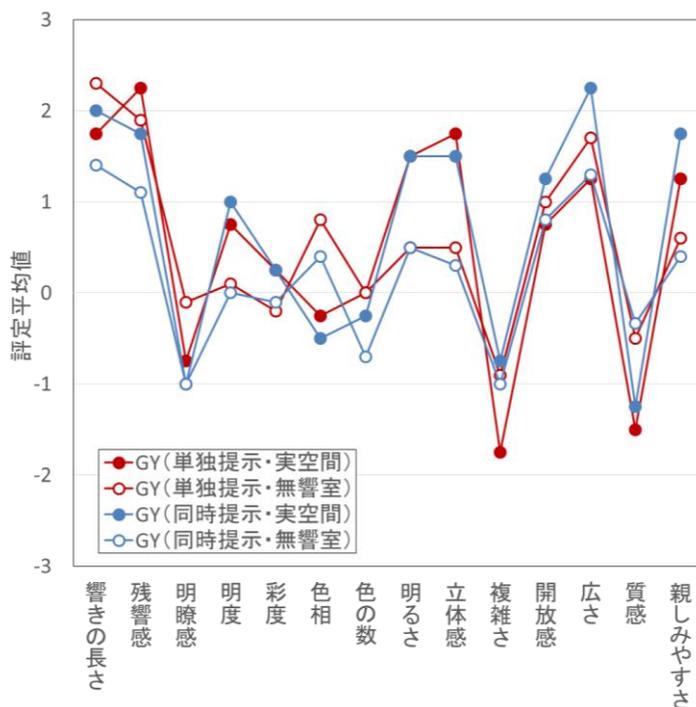


図5 両実験における空間 GY の評価項目による評定平均値のプロファイル

また、両実験で得られた評定平均値の間で、評価項目ごとに母平均の差の検定を行った結果を表 3 に示す。表中では、検定の結果 1%以下の水準で有意差が認められた場合を[**]、5%以下の水準で有意差が認められた場合を[*]、有意差が認められなかった場合を[-]で示している。有意差が認められたのは、無響室と実空間の評定平均値の差が大きかった評価項目の一部であり、全体的にはほとんどの評価項目において実空間の評価と無響室の評価に有意差は認められなかった。ただし、今回の標本（被験者）数は非常に少ないため、有意差なしと判定されたとはいえ両者の評価に差が無かったと解釈することはできない。現実的に問題となる差を検出できるほど標本数が多い（数万～十数万人程度）場合を除き、有意差なしという判定は、仮説は棄却されなかった、つまり差があるのか無いのか判定できなかつたと解釈すべきである⁹⁰⁾。

表 3 両実験の評定平均値間における母平均の差の検定結果

		提示条件	単独提示			同時提示		
		空間	CL	MU	GY	CL	MU	GY
視覚 印象	明度	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	彩度	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	色相	[*]	[-]	[-]	[**]	[-]	[-]	
	色の数	[*]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	明るさ	[-]	[**]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	立体感	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	複雑さ	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	開放感	[-]	[-]	[-]	[**]	[-]	[-]	
	広さ	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	質感	[-]	[-]	[*]	[-]	[-]	[-]	
親しみやすさ	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]		
聴覚 印象	響きの長さ	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	残響感	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
	明瞭感	[-]	[-]	[-]	[-]	[*]	[-]	

以上の実験結果を総合すると、調整不足であった視覚刺激の明るさ等、両者の評価に有意差が認められた原因が明らかである一部の属性を除いて、現実空間と実験室実験における視聴覚印象の評定結果には有意差が認められず、実験室における主観評価実験で得られる評価結果の全体的なプロファイルは、概ね現実空間におけるそれと著しく乖離することはなかったため、本研究の実験手法には大きな問題は無いと思われる。

付録 3

—特定空間に対する経験・記憶が主観評価に及ぼす影響の検討—

本研究で行われる主観評価実験において、聴覚刺激が与えられた場合、人は音場に対する主観（残響感や拡がり感など）を抱くと同時に、空間の形状や大きさ（容積）、空間内表面の反射性状（吸音性・拡散性・反射性）等をおぼろげながら推定できると思われる。一方で、視覚刺激（写真や動画などの映像や図面・設計図書など）が与えられた場合、人は空間の形状・大きさや反射性状等を読み取り、空間に対する主観を抱くと同時に、空間の音場・響きを予想することができるであろう。（ただし、視覚情報が図面などの設計図書の場合、これらを読み取るにはある程度の専門的知識・経験が必要であると思われる。）そしてこれらの予想・推定は、主に以下に基づいて行われると考えられる。

1. 人間が生来有する空間認知能力
2. 人間が生涯で獲得してきた様々な空間の使用経験や記憶の蓄積
3. 個人が有する特定の空間の直近の一時的な使用経験や記憶
4. 個人が有する特定の空間の日常的・継続的な使用経験や記憶
5. 個人が有する建築や音響に関連する専門的な知識

3は概ね2の一部と考えられるが、直近に訪れた空間や何度も訪れたことのある空間に対してはその印象が強く記憶されている可能性がある。更に、日常的に使用する空間であれば体験が繰り返されることによる印象の明確化や、慣れによる印象の変質を伴ったりする可能性も完全には否定できない。また、4については継続的な空間体験を経ることで鮮明な印象が残っている、あるいは逆に慣れによって意識的に印象が残っていない可能性が考えられる。5に関しても、主観評価実験の結果が一般性を欠くと思われ、注意が必要である。本研究が対象とすべきは、個人差を含まない1と2による結果であり、実験者の意図しない結果を含む可能性がある3～5の影響を極力排除すべきである。

実験室での主観評価実験における、特定空間に対する経験や記憶の有無に起因する被験者による個人差の影響について考察するため、視覚情報と共に記憶した聴覚印象から室の残響時間を被験者に同定させる実験を行った。

実験概要

被験者にとって未体験である空間の内観パノラマ画像と音場（インパルス応答信号）を視聴覚刺激の組み合わせとして同時に提示したときの視聴覚印象を被験者に記憶させ、若干のインターバル後に視覚刺激のみ提示し、記憶した聴覚印象に基づき残響時間を同

定させる実験を実施した。被験者によって同定された残響時間を、視覚刺激に基づく予想残響時間（以下、ERT）及び聴覚刺激に設定された残響時間および実在空間の残響時間と比較することで、被験者が響きの印象を評価する際に何を手掛かりにしているかを明らかにしようと試みた。図 6 にその実験システムを示す。被験者は三重大学工学部建築学科に所属する 20 代の男子学生 8 名であった。

視覚刺激の概要

表 4 に示す対象空間は、被験者に利用経験がないと思われる三重大学外の施設から選定した。視覚刺激は、これら 6 空間の内観パノラマ画像であり、図 6 において布製スクリーンに投影され、実験者のマウス操作により空間全体を見渡せるように提示された。

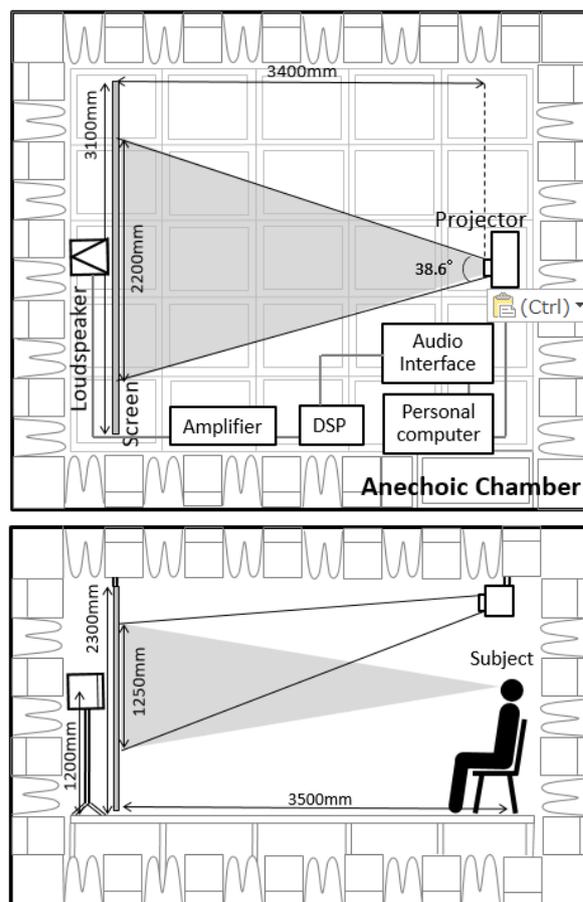


図 6 実験システムの概要（上：平面 下：断面）

表 4 対象空間の仕様

刺激名	用途	容積 [m ³]	T ₃₀ [s]
L	談話室	300	0.71
T	寺院	6800	1.05
M	多目的ホール	12000	1.36
C	渡り廊下	350	1.83
E	エントランス	1900	2.02
F	ホワイエ	1000	3.72

聴覚刺激の概要

聴覚刺激は、各対象空間の実測インパルス応答信号を模したモノラルの PCM 信号である。これらは図 6 に示すように、パソコンから出力したパルスが DSP を通じて各空間に対応する聴覚刺激に畳み込まれることによって再生された。表 5 に聴覚刺激の残響時間を示す。これらは、実測インパルス応答信号から算出した残響時間 (T₃₀) を基準として 0.5 s 程度変化させたものであり、本実験においては残響時間の実測値と対応させてこれを「設定値」と呼ぶこととする。

表 5 聴覚刺激の残響時間の設定値

実測値 $T_{30}+0.5$ sの聴覚刺激		実測値 $T_{30}-0.5$ sの聴覚刺激	
刺激名	設定値 [s]	刺激名	設定値 [s]
l^+	1.21	l^-	-
t^+	1.57	t^-	0.57
m^+	1.88	m^-	0.84
c^+	2.30	c^-	1.3
e^+	2.52	e^-	1.57
f^+	4.26	f^-	3.26

対象空間の実測インパルス応答を用いない理由は、被験者が聴覚印象の記憶の後に再現した残響時間に対する、対象空間を実際に経験したことがある被験者がその聴覚印象を思い出して回答した場合の影響（前述の建築空間の視聴覚印象の予想・推定に関する

メカニズム 3 及び 4 による影響）を排除するためである。ただし DSP の仕様上、作成できる最も短い残響時間が 0.3 s 程度であるため、残響時間の実測値が 0.71 s と短い空間 L に対しては、これより 0.5 s 短い残響時間 0.21 s 程度の刺激 l は作成できなかった。

実験手順

実験中の照明を全て消灯した暗さに順応させるため、実験開始前に予め被験者を 5 分程度無響室内に待機させた。その間に実験手順、評価項目の意味等を教示した。なお、視聴覚刺激の組み合わせを提示して聴覚印象を記憶させる実験の意図から、1 つの視覚刺激に対して複数の聴覚刺激を組み合わせ提示することができないため、残響時間の「実測値+0.5 s」、「実測値-0.5 s」の聴覚刺激を提示する実験をそれぞれ異なる実験シリーズとして実施した。また、各シリーズに先立ち、対象空間の視覚刺激のみを提示した場合に被験者が予想した音場の ERT を、後述の DSP を用いる方法によって同定した。

実験手順を以下に示す。最初に、被験者に対象空間の視覚刺激とその空間に対応した聴覚刺激を組み合わせ（例：視覚刺激 T と聴覚刺激 t^+ または t^- ）同時に提示し、視覚刺激と併せて聴覚刺激に対する印象を記憶するように指示した。この時、聴覚刺激は DSP を介さず（DSP をバイパスモードに設定）、パソコンから直接出力された。視覚刺激のパノラマ画像は、実験者の操作によって室内観を 360° 見渡すことができるようにした。1 つの対象空間の刺激提示が終わった後は、無音かつグレースクリーンが表示された状態の数秒間のインターバルを挟んで次の対象空間の刺激提示が行われ、被験者毎に 6 つの対象空間の刺激がランダムな順で提示された。全ての刺激提示が終了した後、視覚刺激に現れた対象空間に実際に行ったことがあるかどうか、経験の有無を被験者に尋ねた。

この後 1 分間のインターバルを設け、この間に被験者には単純なゲーム作業に取り組みさせることで、聴覚印象の記憶から意識を逸らすようにした。

インターバルの後、視覚刺激のみを被験者にランダムな順で提示し、視覚刺激と対して記憶させた聴覚印象に基づいた残響時間の同定作業を行わせた。視覚刺激が提示さ

れている間、繰り返し再生されるパルス信号に DSP で可変の残響を付加した響きが断続的に提示される。被験者はこれを確認しながら、記憶した聴覚印象に近づくよう、「もっと長く」・「長く」・「少し長く」・「少し短く」・「短く」・「もっと短く」という 6 段階の言葉で実験者に指示を行った。実験者はその指示に応じてダイヤル操作によって DSP の残響時間のパラメータをそれぞれ +1.0 s, +0.5 s, +0.1 s, -0.1 s, -0.5 s, -1.0 s 変化させた。この調整を、被験者の記憶した聴覚印象に等しくなるまで繰り返し、最終的な DSP の残響時間を同定値とした。同定作業は、上昇系列 (DSP の残響時間のパラメータを 0.3 s から徐々に長くする) と下降系列 (5.0 s から徐々に短くする) の 2 方向から行われ、各系列における同一被験者の同定値を算術平均した値を当該被験者の残響時間の同定値とみなした。なお、DSP におけるこれらの同定値の響きを録音し、その波形に対して音響解析を行うことで最終的な残響時間の同定値を算出している。

実験結果と考察

対象空間に対する経験の有無を被験者に尋ねた結果、対象空間の固有名称が答えられた場合のみ「経験がある」とみなせば、対象空間に行った経験がある被験者は空間 L、T、M で 0 名、空間 C、E、F で 1 名であった。

ERT の測定結果

対象空間の残響時間と、視覚刺激のみ提示した場合の ERT を図 7 に示す。なお、ERT 測定は両実験シリーズに先立って行ったため、2 回の測定の平均値を各被験者の ERT とみなした。

図 7 より、ERT は実際の残響時間から大きく外れた空間があり、特に空間 M は実際の残響時間よりもかなり長く予想されている。この原因としては、多目的ホールという空間用途は視覚刺激から読み取り易く、「ホールはよく響く」という予断を持って判断がなされた可能性があると考えられる。また、やや特殊な空間である空間 F の ERT は、実際の残響時間よりも 1.0 s 程度短く予想されている。空間 F は床面積が小さい一方で天井が高いことに加えて、床面や壁面の反射性が高いため、見

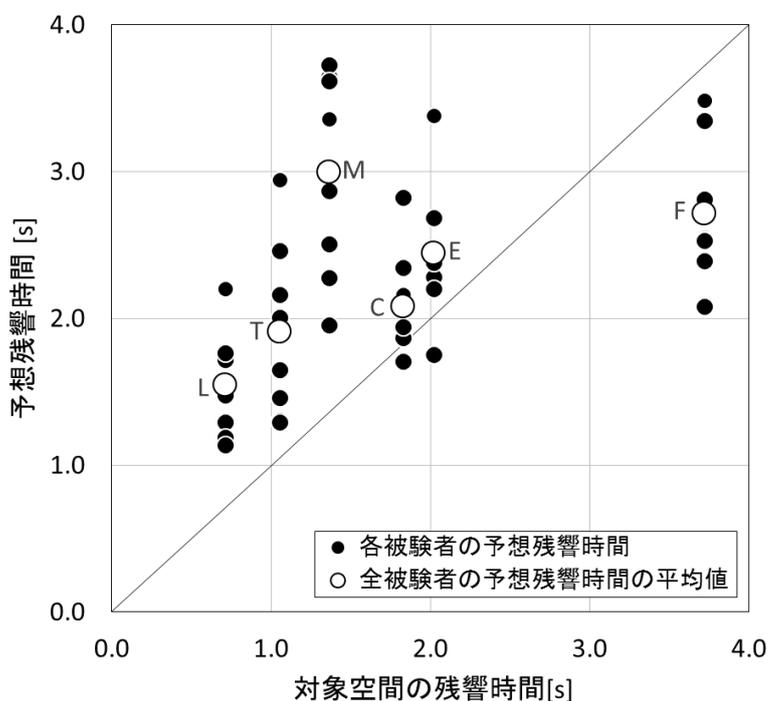


図 7 ERT の同定結果

という予断を持って判断がなされた可能性があると考えられる。また、やや特殊な空間である空間 F の ERT は、実際の残響時間よりも 1.0 s 程度短く予想されている。空間 F は床面積が小さい一方で天井が高いことに加えて、床面や壁面の反射性が高いため、見

表 6 残響時間の実測値と
ERT の有意差検定の結果

対象空間	T ₃₀ [s]	
	実測値	予想残響時間
L	0.71	1.54
T	1.05	1.91
M	1.36	2.99
C	1.83	2.08
E	2.02	2.44
F	3.72	2.72

かけに反して実際の残響時間はかなり長く、被験者はこれらを総合した聴覚印象を視覚刺激から予想することが難しかったと思われる。一般的に、日常生活環境における平均的な聴覚印象から大きく外れた響きを予想することは難しいと推察され、残響時間が短い空間に対してはやや長めの響きを、残響時間が極端に長い空間に対しては短めの響きを予想する傾向があるものと思われる。

また、比較値を対象空間の残響時間の実測値とした場合の、各空間に対する ERT の母平均の検定 (t 検定) を行った結果を表 6 に示す。黄色のセルで示した空間 C, E で 5%、オレンジ色のセルで示したその他の空間で 1% の水準で有意差が認められた。

残響時間の同定値の分布

被験者が記憶した聴覚印象に基づく残響時間の同定値 (①)、予め提示された聴覚刺激の残響時間の設定値 (②)、被験者が視覚刺激のみから予想した ERT (③) および対象空間の残響時間実測値 (④) の間の関係と実験結果の解釈について以下にまとめる。

- A) 同定値①が、設定値② (現実空間の残響時間とは異なる) に近似する場合：
被験者は予め提示された視聴覚刺激に対する聴覚印象を記憶し、それを実験者の指示通りにおおよそ正確に再現していると考えられる。この場合、本研究の一連の実験において、聴覚印象は与えられた聴覚刺激に基づいており、特定空間に対する個人的な経験を含む視覚刺激の影響を受けないことを意味する。
- B) 同定値①が当該空間に対する ERT③に近似する場合：
聴覚印象は視覚刺激の影響を受け、予め提示された聴覚刺激に関わらず、提示された視覚刺激に示された空間の仕様等を読み取って回答した可能性が高いと言える。
- C) 同定値①が当該空間の残響時間の実測値④に近似する場合：
被験者が視覚刺激に示された空間と個人的な経験・記憶を結びつけ、予め提示された聴覚刺激に関わらず聴覚印象を回答した可能性があると考えられる。

図 8 は、聴覚刺激の残響時間の設定値② (以下、設定値) が対象空間の残響時間の実測値④ (以下、実測値) +0.5 s の場合における、聴覚刺激に対して被験者が記憶した聴覚印象に基づく残響時間の同定値① (以下、同定値) と設定値との対応関係を示す。図

中には全被験者の同定値の平均値・中央値も示す。被験者によっては同定値が大きく外れ、全体的に同定値のばらつきが大きいことが分かった。設定値が 2.5 s 以下では、空間によらず平均値・中央値はおおよそ設定値に近似している。設定値が 4.0 s を超える空間 F に対する同定値は、いずれの被験者も設定値より短い。ウェーバー・フェヒナー則に従い残響時間が長くなるほど弁別閾が広がり、聴覚印象の即時的な記憶が曖昧になると共に、平均的な残響感から大きく外れる残響時間を同定することにためらいが生じたことが原因ではないかと推察される。

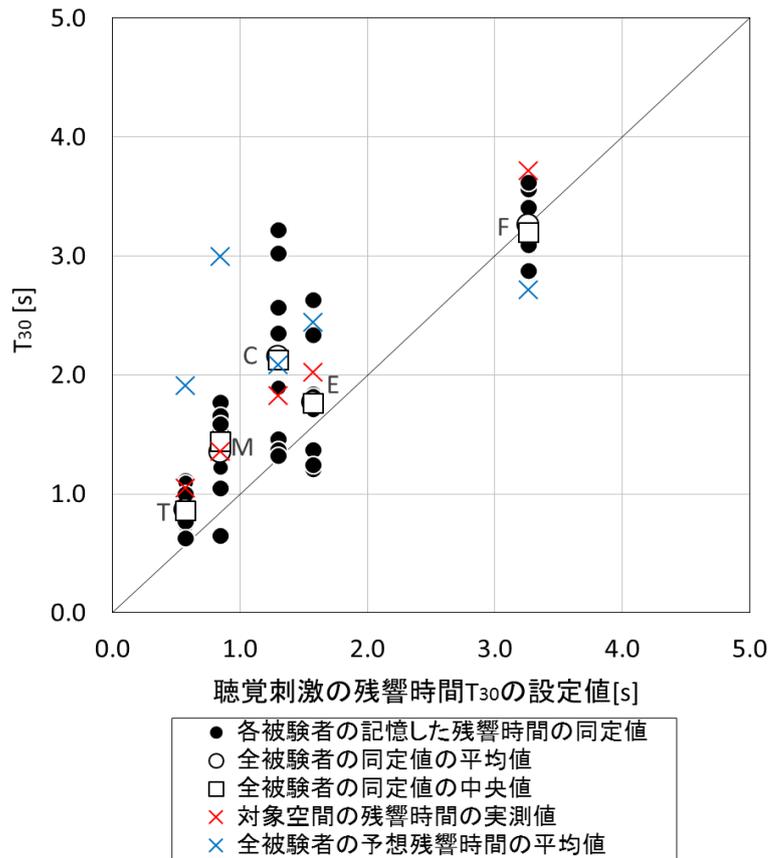


図 8 設定値が実測値+0.5 s の場合における同定値の分布

図 9 は、設定値が実測値-0.5 s の場合における、同定値と設定値の関係を示す。この実験シリーズは、設定値が実測値+0.5 s のシリーズ終了後に同じ被験者に対して行ったため、同定作業に対して被験者に慣れが生じたことにより、前シリーズと比較して全体的に被験者の同定値のばらつきが小さくなったと思われる。さらに、残響時間の設定値が短くなることで弁別閾が小さくなり、実測値との違いを認識しやすくなり、同定のゆらぎが減少した可能性も考えられる。

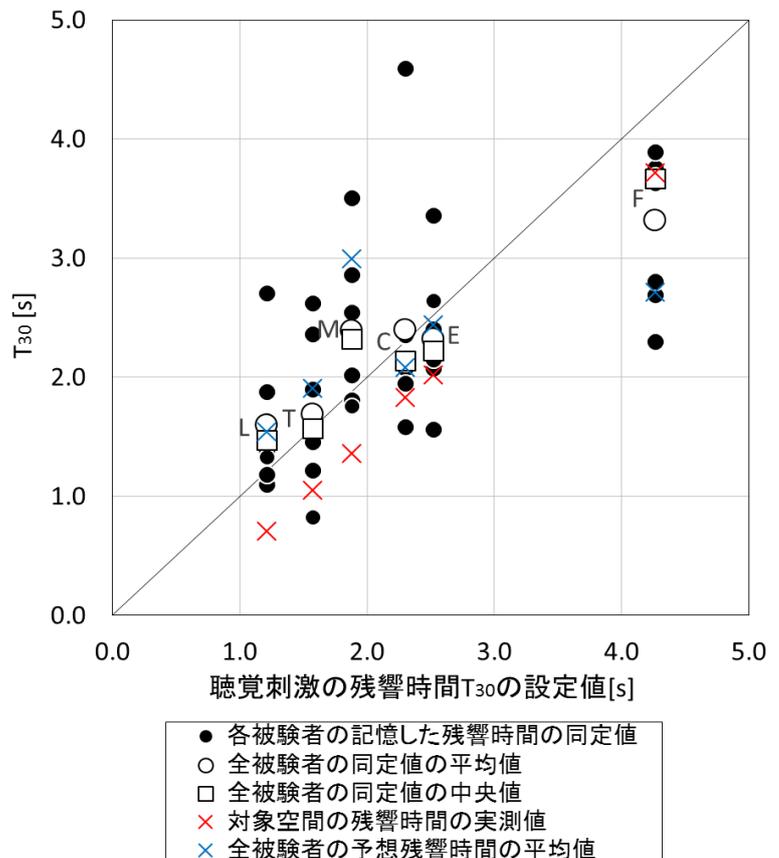


図 9 設定値が実測値-0.5 s の場合における同定値の分布

表 7 残響時間の同定値に対する有意差検定の結果

表 7 に、記憶した聴覚印象に基づく残響時間の同定値（全被験者の平均値）、聴覚刺激の残響時間の設定値、対象空間の残響時間の実測値及び ERT を一覧にして示す。全被験者の同定値の平均値と聴覚刺激の設定値・対象空間の実

刺激名	T ₃₀ [s]			
	同定値	設定値	実測値	予想残響時間
Ll ⁺	1.60	1.21	0.71	1.54
Tt ⁺	1.69	1.57	1.05	1.91
Mm ⁺	2.39	1.88	1.36	2.99
Cc ⁺	2.40	2.30	1.83	2.08
Ee ⁺	2.32	2.52	2.02	2.44
Ff ⁺	3.32	4.26	3.72	2.72
Tt ⁻	0.87	0.57	1.05	1.91
Mm ⁻	1.35	0.84	1.36	2.99
Cc ⁻	2.15	1.30	1.83	2.08
Ee ⁻	1.77	1.57	2.02	2.44
Ff ⁻	3.26	3.26	3.72	2.72

測値・ERT の間で有意差検定（比較値を設定値または実測値にした場合の母平均の検定、ERT との母平均の差の検定）を行った結果、有意差が 5%水準で認められた場合は表中のセルを黄色に、1%水準で認められた場合はオレンジ色に着色している。

設定値が実測値+0.5 s の場合の空間 L, T, C, E に対する刺激 Ll⁺, Tt⁺, Cc⁺, Ee⁺、設定値が実測値-0.5 s の場合の空間 E, F に対する刺激 Ee⁺, Ff⁺に関しては、同定値と設定値との間に統計的有意差が認められなかった。なお、刺激 Cc⁺, Ee⁺, Ee⁻については、同定値と実測値との間にも有意差が認められなかったが、いずれの空間においても同定値は実測値よりも設定値に近い値となっている。これらの条件では、被験者は予め視覚刺激と共に示された聴覚刺激に対する印象を記憶し指示通りに再現したと考えられ、視覚刺激から読み取れる情報の影響は見られず、特定空間の経験に直接的に関連、あるいは累積的な経験と関連づけることはなかったと思われる。

一方、設定値が実測値+0.5 s の場合の空間 M, F に対する刺激 Mm⁺, Ff⁺、設定値が実測値-0.5 s の場合の空間 T, M, C に対する刺激 Tt⁻, Mm⁻, Cc⁻に関しては、両者の間に統計的有意差が認められた。このうち、刺激 Mm⁺と Tt⁻の同定値は実測値に対しても有意差が認められた。また、刺激 Ff⁺と Tt⁻、Mm⁻の同定値は ERT に対しても有意差が認められ、これらの同定値は実測値に近い値となった。更に、刺激 Cc⁻の同定値は設定値とのみ有意差が認められ、その同定値は ERT に近い値となった。これらの条件では、被験者は予め視覚刺激と共に示された聴覚刺激に対する印象を記憶し指示通りに再現できず、同定値には視覚刺激から読み取れる情報が影響したと考えられ、特定空間の経験に直接的に関連、あるいは累積的な経験と関連づけて同定が行われた可能性がある。

表 8 残響時間の同定結果のまとめ

表 8 に、以上の残響時間の同定結果をまとめる。なお、Mm⁺ は数値的には設定値に近いように見えるが、設定値との間に有意差が認められたため、予想値に近似した値として分類した。

同定結果が近似した値	件数	該当する刺激
設定値	4	Tt+, Cc+, Ee-, Ff-
実測値	3	Ff+, Tt-, Mm-
予想値	4	Ll+, Mm+, Ee+, Cc-

被験者が実測値に近い残響時間を同定した Ff⁺, Tt⁻, Mm⁻ の条件では、被験者の多数が対象空間に訪れた経験を持ち、その経験を思い出して残響時間を同定したと疑われたが、表 2-7 に示したように実際には空間 F, T, M に訪れた経験を持つ被験者はほとんどいなかったため、特定空間の経験を直接関連させて同定値を決定したのではないと思われる。少なくとも、同定値は視覚刺激から得られる情報に影響されたと考えられる。一方、予想値に近い残響時間を同定した Ll⁺, Mm⁺, Ee⁺, Cc⁻ の条件では、予め聴覚刺激が提示されたにもかかわらず、視覚刺激から得られる情報の影響を受け、特に累積的な空間経験から得られた知見と関連づけて同定が行われたと考えられる。

以上の実験結果を総合すると、視覚刺激と共に記憶された聴覚印象の、1 分程度のインターバル後の再現性はあまり高くないことが分かった。繰り返しの少ない空間体験における主観印象の維持は難しく、視覚刺激との直接的な関連性が実験結果に及ぼす影響は小さいと思われる。

なお、過去に行われた同様の視聴覚刺激を用いた残響時間の同定実験においては、1 組の視聴覚刺激を提示した 10 秒間後に先程の視覚刺激のみを提示し、記憶した聴覚印象から響きの残響時間を同定させたため、その同定値はほとんどの場合設定値に近い値となっていた。この実験手法においては、記憶した聴覚印象を再現するまでのインターバルが短く、大半の被験者が視覚情報の存在を無視して（視覚刺激をほとんど見ずに）残響時間の同定を行っていたことが実験後の被験者への聴取によって明らかになった。この実験結果と比較すると、実験手法を改めた今回の実験結果において視覚情報による影響が現れたことが、一層明らかになったと言えるだろう。

しかしながら、被験者の残響時間の同定根拠の、空間による違いについて明確に説明できる知見は本実験では得られなかった。本研究においては、このような条件の空間を対象としないこととし、将来の課題の一つとして残すこととする。

謝辞

本論文は、三重大学准教授 寺島貴根先生のご指導の下、筆者が三重大学大学院工学研究科在籍時に取り組んだ研究を取りまとめたものである。寺島貴根先生には、本研究の課題設定から実験方法等の指導、論文の取りまとめなど多岐に渡って丁寧なご指導を頂きました。厚く御礼申し上げます。

本論文の審査に際し、主査である三重大学教授 永井久也先生、副査である三重大学教授 畑中重光先生、三重大学教授 花里利一先生には数々の労をお執り頂いたと共に、本研究に関して様々なご助言を頂きました。深く感謝申し上げます。

三重大学准教授 北野博亮先生、三重大学技術専門員 岩田剛氏、岐阜工業高等専門学校教授 犬飼利嗣先生、岐阜工業高等専門学校准教授 青木哲先生、舞鶴工業高等専門学校准教授 徳永泰伸先生には、研究の進展具合や論文の執筆状況を気にかけて頂き、励ましのお言葉を頂きました。心より感謝申し上げます。

寺島研究室の皆様には、実験の被験者として本研究に協力して頂いたと共に、温かい励ましとご配慮を頂きました。ここに心から感謝の意を表します。

最後に、長期に渡る筆者の学生生活を支えてくれた家族に感謝します。

2018年9月

石川 あゆみ