

平成 28 年度

修士論文

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

指導教員 寺島貴根 准教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

川合正浩

目次

第1章	<u>序論</u>	1
1-1	研究背景	2
1-2	研究目的	4
1-3	既往研究	5
1-4	研究概要	8
1-4-1	聴覚刺激の概要	8
1-4-2	視覚刺激の概要	8
1-4-3	実験システムの概要	9
1-4-4	主観評価法の概要	10
1-4-5	被験者の概要	11
第2章	<u>一対比較法を用いた主観評価の結果の検討</u>	12
2-1	研究概要	13
2-2	実験概要	13
2-2-1	実験システム	13
2-2-2	実験刺激	14
2-2-3	実験手順	15
2-2-4	評価法	16
2-3	実験結果	17
2-3-1	視覚・聴覚刺激の単一提示における主観評価の結果・分析	17
2-3-2	視聴覚刺激の同時提示における主観評価の結果・分析	18
2-4	小括	26
第3章	<u>異なる実験条件における主観評価の結果の比較</u>	27
3-1	研究概要	28
3-2	実験概要	28
3-2-1	実験システム	28
3-2-2	実験刺激	28
3-2-3	カテゴリー尺度法における実験手順	29
3-2-4	シェッフェの一対比較法における実験手順	30
3-3	実験結果	31
3-3-1	シリーズ C の主観評価の結果・分析	31
3-3-2	シリーズ P の主観評価の結果・分析	33
3-3-3	シリーズ Pr1, Pr2 の分析	35
3-4	小括	37

第4章	<u>視覚と聴覚において通様相性のある主観印象の相互作用</u>	38
4-1	研究概要	39
4-2	実験概要	39
4-2-1	実験システム	39
4-2-2	実験刺激	40
4-2-3	実験手順	42
4-3	実験結果	44
4-3-1	シリーズ Ci の主観評価の結果・分析	44
4-3-1-1	視覚刺激の単一提示の主観評価の結果・分析	44
4-3-1-2	聴覚刺激の単一提示の主観評価の結果・分析	48
4-3-1-3	視聴覚刺激の同時提示と視覚または聴覚刺激の単一提示の 主観評価の結果の比較	52
4-3-2	シリーズ Cm の主観評価の結果・分析	62
4-3-1-1	聴覚刺激の単一提示の主観評価の結果・分析	62
4-3-1-2	視聴覚刺激の同時提示と視覚または聴覚刺激の単一提示の 主観評価の結果の比較	66
4-4	シリーズ Ci と Cm の主観評価の比較	78
4-4-1	聴覚刺激の単一提示の主観評価の比較	78
4-4-2	視聴覚刺激の同時提示の主観評価の結果の比較	82
4-4-3	聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の主観評価の結果の比較	88
4-5	小括	98
第5章	<u>結論</u>	99
5-1	提示条件の変化による主観印象の変化	100
5-2	視覚と聴覚に通様相性を持つ主観印象の相互関係	101
5-3	総括	102
	謝辞	103
	参考文献	104

第 1 章

序論

1-1 研究背景

我々は日常生活の中で、多くの建築・都市空間に遭遇する。なかでも公共空間は、エントランスのように誰もが自由に入出りできるが短時間しか滞在しない空間や、体育館やレストランのように必要に応じてある一定時間滞在する空間、また廊下のように空間から空間への移動の際に通過する空間など様々な用途と仕様をもっている。このように、我々の身の周りには用途や使用目的の異なる多数の公共的な建築・都市空間が存在し、工事現場などの特殊な空間を除いて、そこは特別な制約を受けることなく誰もが自由に入出りできる空間である。それぞれの空間の利用者や利用率・利用時間・利用方法は様々であるが、たとえ一時的であっても、その空間で耳にする音によって利用者に不快な印象を与えることがあってはならない。

人が聴取した音から受ける聴覚的な印象に関しては、音の種類・性質だけでなくその音を聴取した場所・時間、更には聴き手の行動など、多くの要因が関係している。様々な公共空間における音環境を利用者全員に対して快適にすることは困難であるが、そこで聴取された音はその空間の利用者に不快な印象を与えない為の最低限の配慮は必要である。建築音響デザインを考える上で、可能な限りノイズなどの不要な音の発生を抑え、発せられた音や響きがその空間の用途や目的を妨げることはないようにしたい。したがって、劇場・ホールといった音楽専用空間に限らず、様々な意匠・用途の空間を含めた様々な公共的な建築空間における意匠及び音場の特徴及びそれらに対して人が抱く主観印象を把握する必要があると考えた。

既往研究において、人が日常生活の中で得る全情報のうち、視覚から得る情報は約7割であるのに対して聴覚から得る情報は約2割と言われており、視覚刺激と他の刺激とが同時に与えられた場合には、一般的に視覚優位の知覚が行われることが知られている⁽¹⁾。つまり、音場の体験においても視覚情報から受ける影響は大きく、視覚情報によって聴覚印象が変化する可能性があると考えられる。現状の建築音響設計の観点で適切に設計された空間であっても、それは聴覚的な感覚の観点のみから「音響的に好ましい」とされた空間であり、音場に対する視覚情報の影響は全く考慮されていない。実空間において視覚と聴覚が相互に関わる印象評価がなされた場合には、利用者がその空間の響きを聴いたときに良い評価が得られるとは限らない。

このような印象変化が実空間において生じ得る例を具体的に示す。たとえばホール空間の場合、残響時間の実測値はホールとして最適であるにもかかわらず、天井高が低く視覚的な圧迫感があるため、聴衆が実際よりも残響感や拡がり感が物足りないように感じてしまう、といった状況が考えられる。また、残響時間の実測値がホールとしてはやや短めであっても、容積や天井高を十分に確保すれば聴衆は視覚的な印象から十分に残響感や拡がり感を得られる可能性もある。

視覚と聴覚の感覚が組み合わされた情報伝達に関する研究はオーディオ・ビジュアルの分野で進められている。例えばオーディオ・ビジュアル・メディアを通じて音楽を聴く際に生じる視覚と聴覚の相互作用として、以下の3つが明らかにされている⁽²⁾。

① 感覚の感受性の変化

わざと音質の劣化した音楽再生音を聴覚刺激とした場合、その音楽再生音だけを提示して音質評価実験を行うと、この音質の劣化は明瞭に捉えられる。一方、音楽と映像を同時に提示すると、聴覚系の音質の劣化に対する感度が鈍り、その結果、音質の劣化が判断しづらくなることが分かった。

② 視覚と聴覚の共鳴現象（通様相性における相互作用）

視覚と聴覚に共通して存在する心理的性質（通様相性）を通して生じる相互作用。例えば、ボールがバウンドする様子の映像とテンポの異なる音楽を組み合わせ、それらから受ける印象を「楽しいー寂しい」といった尺度を用いて測定した実験では、テンポの速い音楽と速いバウンドの映像が組み合わせられたとき、音楽の印象が映像の印象に影響を与え、より「楽しい」という印象が増大することが分かった。

③ 視覚と聴覚の協合現象（総合的評価に見られる相乗効果）

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。この現象は、音と映像の組み合わせに強く依存し、それらの組み合わせが「適切である」と判断された場合にのみ機能することが分かっている。

以上のような作用が建築・都市空間で得られる視覚情報（広さや形状、意匠など）と聴覚情報（反射音構造としての音場）の組み合わせでも生じると仮定するならば、それを活用し、建築音響設計の観点から実設計に適用し得る有用な知見を得ることができるのではないかという考えに至った。視覚刺激と聴覚刺激の2つを組み合わせたマルチモーダルな刺激に対する主観印象の研究事例は、騒音・サウンドスケープあるいはマルチメディア作品制作の分野において若干見られるが、聴覚として音場、すなわち反射音構造を取り扱っている研究はほとんど見られない。そこで、本研究に着手した。

1-2 研究目的

本研究では、様々な建築空間のヴァーチャル・リアリティ（以下、VR）映像（視覚刺激）と様々な残響時間のインパルス応答（以下、IR）またはIRを畳み込んだ楽音（聴覚刺激）を提示し、無響室内に多様な空間を仮想的に再現した状態で、被験者に視覚と聴覚に関する主観印象を評価させる実験を行う。この実験結果を分析することにより、視覚情報と音場の相互関係や人が抱く主観印象に影響を及ぼす要素について検討する。

本研究の最終的な目標は、現状における実務的な建築設計や音響設計（ホール音響のみならず一般空間におけるバリアフリー音響設計、サウンドスケープデザインなど）を補助するための、視覚情報と音場の相互影響を加味した適用可能な知見を得ることである。

我々は日常生活の様々な場面において、様々な建築・都市空間に遭遇し、その空間を視覚的・聴覚的に体験している。本研究の目的は、それらの様々な空間から得られる視覚情報（広さ・形状・色調・意匠など）と聴覚情報（響きの長さ、残響感、明瞭感などの反射音構造としての音場）によるマルチモーダルな刺激に対して、人々が抱く視覚的・聴覚的な主観印象の特徴を明らかにすることである。また、提示する刺激が単一（視覚刺激または聴覚刺激のみが提示される単一提示）から複数（視覚刺激と聴覚刺激が同時に提示される同時提示）になること（以下、同時提示化）による各主観印象の変化を明らかにすること、更には、その変化を定量化することで、実設計にも適用可能な知見が得られると考えている。

たとえば、これまで建築物の容積や用途などによってのみ決定されていた残響時間については、天井高や容積から得られる視覚情報と音場に対する利用者のイメージ（予想、期待）を反映することで、拡散板などを多数設置せずとも建築意匠を工夫することで残響感の不足をカバーするなど設計方針の選択肢が増え、設計段階で無駄なコストを抑えた最適な設計ができるようになる可能性がある。また、施工後の多目的ホールで、人の声が明瞭に伝わることを望ましい講演会などには問題がないものの、演奏会を催す場としては響きの迫力が物足りない場合、新たに拡散板を設置せずとも空間の照度を調節だけで響きの迫力不足を解消できるかもしれない。

視覚と聴覚に関わる主観印象の変化の定量化を行う例として、残響時間という音響パラメータは、人間には「響きの長さ」や「残響感」などという言葉で表される感覚として捉えられる。響きだけを提示したときのこれらの感覚量と、響きに映像を加えたときのこれらの感覚量の変動傾向を明らかにすることで、オーディオ・ビジュアルの分野で見られるような視覚と聴覚の共鳴現象を利用した設計が、建築分野においても可能なのではないかと考えている。

1-3 既往研究

我々の研究室では、建築空間の視覚情報と聴覚情報に対する視聴覚相互作用に関する研究を継続して行っており、無響室における被験者実験を実施してきた。

本研究室における研究の流れをまとめる。視覚情報と結びつきが強いと考えられる聴覚における空間性に依存する音響パラメータである「音の拡がり感」に着目して実験・検討が行われた。視覚情報としての静止画像はスクリーン上に投影され、音楽は被験者の正面に配置された直接音用スピーカと左右対称に配置された反射音用スピーカから再生された。その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音楽を視聴しながら、基準音場に合うように音響パラメータを調整させた。その結果、被験者が広い空間をイメージし得る視覚情報を提示した場合、基準音場に合わせるためにはより長い残響時間を必要とし、より小さい空間である視覚情報が提示された場合、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。

次に、「音の拡がり感」だけでなく様々な視覚/聴覚印象評価項目を用いた視覚情報と聴覚情報の同時提示に対する主観評価実験を行い、建築空間に対する人間心理の評価構造について検討した。視覚情報として VR 映像がスクリーン上に投影され、聴覚刺激として被験者自身が発した任意音（手を叩いた音、声など）をマイクで集音し、音場をリアルタイムで畳み込んだものがスピーカから再生され、仮想音場を再現した。この実験結果を元に因子分析とベイジアンネットワーク分析を行い、視覚と聴覚の相互関係について探った。主に意匠に関する空間形状因子が音響に関する迫力因子・美的因子に依存すること、音響に関する迫力因子と美的因子が空間の美的因子に対する影響力が大きいことが示唆されたが、実験毎に得られる評価構造が異なり統一的な結果を得られなかった。

そこで、同様の視覚/聴覚刺激の提示方法で評価項目を絞り、視覚情報または聴覚情報のみに対する印象と視覚情報と聴覚情報が組み合わさった場合の印象を比較する事により視覚印象に聴覚情報が、または聴覚印象に視覚情報が及ぼす影響について検討した。主観評価実験の結果、「響きの長さ」や「残響感」が空間の「広さ」に影響を受けることが分かった。また視聴覚刺激の同時提示において、「残響感」と視聴覚刺激の組み合わせに対する「違和感」の関係性を検討し、視覚刺激の実際の音場と近い残響時間を持つ聴覚刺激との組み合わせでは違和感が小さくなる傾向が得られたが、視覚刺激の実際の音場である聴覚刺激との組み合わせで違和感が最小になるとは限らなかった。そこで、被験者の視覚刺激の空間に対する残響時間の予測値と視聴覚刺激の組み合わせに対する違和感の関係性を検討し、残響時間の予測値と実空間の残響時間とのギャップが大きいほど違和感が大きくなり、人間は視覚優位の判断を下すという従来の知見通り、聴覚印象が視覚情報に影響を受ける傾向が見られた。しかし、被験者自身が出した音（手を叩く、声を出す）をマイクで集音し、音場をリアルタイムで畳み込む事による聴覚刺激の提示方法を行った為、被験者毎に被験者位置における聴取レベルが異なるなどの問題点が挙げられている。

本研究の、各章における同一実験内では、被験者位置での聴取レベルなどを統一した聴覚刺激を用いている。第2章では、実測 IR を聴覚刺激とし、一対比較法を評価法として採用し過去の研究における実験結果と同様の評価傾向が見られるか確認することを目的とした。第3章では、カ

テゴリー尺度法と一対比較法の2つの評価法を用いて同一の実験刺激に対する主観評価実験の結果を比較することを目的とした。第4章では、第2章の視聴覚刺激の同時提示の「明るさ」において聴覚刺激の残響時間が長いほど印象が“明るい”と評価される傾向を呈した要因を把握することを目的とした。

以下で、他分野における類似研究を上げる。

音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション

岩宮 眞一郎

映像と音楽を提示した際の、画面サイズや色彩などの違いによる印象に及ぼす影響を論じている。その中でも、オーディオ・ビジュアル・メディアを通して音楽を聴く際に、視覚と聴覚がどのような相互作用を生じているかの論を挙げる。

ここではSD法を用いた被験者実験を行っている。視聴覚素材として音楽ライブ映像、環境ビデオ、アニメーション映像などの音と映像の調和が図られたものと、それら音と映像の同期をずらしたもの、別の音と映像を組み合わせたもの等の調和を崩したものを用い、それらに対する主観評価結果を比較している。更に、視聴覚素材の提示方法に関して、音のみ提示、映像のみ提示の単独提示と、両方提示の2パターンによる比較も行っている。

得られた評価結果をもとに因子分析を行ったところ、引き締まり因子・評価因子・美的因子・明暗因子・ユニーク因子の5因子に分類された。更に、単独提示から両方提示への因子得点の変化から聴覚と視覚の共鳴現象が、視覚と聴覚の統合過程の働きによって直接もたらされる協動的な相互作用が認められた。

AUDITORY VERSUS VISUAL SPATIAL IMPRESSION: A STUDY OF TWO AUDITORIA

Densil Cabrera 他

ステージ音響学の分野では、音楽空間の印象が「音源までの距離」・「包まれている感覚」・「親密感」に分類される。Cabreraは視覚と聴覚の空間的印象を2つのホール観客席で測定し、その結果がどのように異なるかについて実験を実施し、考察を加えた。

実験は、形状の異なる2つの音楽ホールを対象に聴覚実験と視覚実験を別セッションに分けて行っている。視覚実験では、広さ・包まれている感覚・ステージ優勢度・親密感を評価させている。ステージの上に視覚目標があったとき2つのホール観客席で様々な位置（異なる音源位置）から撮影したグレースケールの写真を映し出すことで、視覚刺激を提示している。聴覚実験では、音源までの距離・包まれている感覚・親密さを評価させている。演奏者までの距離は、ステージ上の同じ位置から2つのホール観客席においてインパルス応答を測定し、そのインパルス応答に様々な位置で録音した無響音楽（オーケストラ演奏）を畳み込むことで表現している。

実験結果からは、聴覚と視覚の空間印象を分離して評価を行ったにもかかわらず、目標距離が聴覚と視覚の空間印象に対して最も重要であることが分かり、いくつかの特性の間の相関の原理を示した。

VR空間における心理的影響の評価に関する検討

大型スクリーンを用いた居住空間シミュレーションにおけるVR空間の感性評価

横井 梓 他

空間から得られる感性的側面に着目し、VR空間の心理的影響の評価分析を行っている。実験は、まず初日にVR空間評価、翌日に実空間評価、その後の同日に再度同様のVR空間評価を行っている。被験者には、各空間において気分評価、印象評価、空間評価項目に対してSD法による印象評定を7段階で行わせた。

VR体感により、楽しい気分は引き起こされる傾向にあるが、初めてのVR体感では元気な気分が減少し、過敏な気分になるなどのように一種の緊張状態が引き起こされる傾向がある。VR空間の体感からは実空間から感じられるようなすがすがしい気分を得ることは難しい。印象評価の因子分析結果より、今回使用したVRシステムの物理的条件下においては、内装空間の優美性やシンプルさ、若々しさについては空間の印象をVRにより表現することはある程度問題ないが、明るさ、暖かさなどに代表される明暖性に関わる印象や個性に関わる印象はVR空間内では体感者に与えづらい。VR体感において広さ感と奥行感については実空間から得られるものと同様の感覚を体感者に与えることが難しい。

吸音による住環境の音環境快適化のための聴感実験

羽入 敏樹 他

筆者らは、住空間における音環境の快適化を目的に、室内平均吸音率を変化させた時の聴感印象の違いについて、聴感模型を用いたシェッフエの一対比較法による聴感実験を実施していたが、実験条件や被験者数を増やせない問題点があった。また、被験者が変わると実験結果が変わる可能性も考えられていた。そこで、今までの実験で用いた被験者とは別の被験者によって、過去の研究と同様の実大模型による聴感実験を実施している。次に、実空間の音環境をダミーヘッドマイクによってバイノーラル録音し、それをヘッドホン再生して実大実験を実施する方法について検討している。

判断基準に個人差の少ない「残響感」、「静けさ」、「落ち着き」などの評価項目については被験者が異なっても実験結果に再現性がある。一方、「空間の大きさ」、「圧迫感」、「高級感」、「好ましさ」は被験者が異なると結果が異なる可能性がある。平均吸音率が「静けさ」や「落ち着き」に及ぼす影響を、バイノーラル録音とヘッドホン再生による実験方法によって、実空間での実験と同様に再現できる。

1-4 研究概要

本研究において主となるのは、実験室（無響室）において視覚刺激と聴覚刺激を提示することによる主観評価実験である。以下では第2章以降の全ての実験に共通する実験概要を述べる。

1-4-1 聴覚刺激の概要

第2章以降の実験で提示する聴覚刺激の素材となる IR の測定様様を写真 1-1 に示す。IR 測定時の音源位置は室の中央とし、そこに 12 面体スピーカを設置する。受信位置は音源位置から 1.0 m 離れた位置とし、そこにマイクロフォンの役割を果たす騒音計（ONO SOKKI XXX）を設置する。ただし、測定空間がステージを持つホール空間の場合、音源位置はステージ上の客席側から 2.5 m 奥の上手側と下手側の中間点、受信位置は音源位置から 13 m の客席部とする。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である 1.5 m とする。

インパルス応答の測定方法としては、まず 12 面体スピーカから TSP 信号を発生し、その直接音と反射音（室の応答）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う。録音した IR をパソコン上のソフトウェアで作動するソフトウェア Sound Analyzer で解析し、波形や音響パラメータなどの指標を得る。

第2章以降の実験で使用する聴覚刺激には、上記の手順に沿って実空間で測定した実測 IR、またはその IR を基に、残響時間（基本的に T_{30} を基準とする）が 0.5 s 刻みになるよう波形編集を施した編集 IR が使用された。編集 IR は、残響減衰が滑らかで長い残響時間を持つ三重県立文化会館中ホールホワイエの実測 IR をパソコン上で作動する波形編集ソフトウェア Gold Wave 内の残響時間を短くするエフェクトである“Fade out”を用いて作成された。残響時間を長くする波形編集を行うと聴感が損なわれてしまう為、今回の研究では使用していない。加えて、第3章の実験ではデジタル・シグナル・プロセッサ（YAMAHA SPX990）（以下、DSP）を用いて作成された擬似 IR を聴覚刺激として用いた。擬似 IR は、パソコン上で作動するソフトウェア Real Time Analyzer で再生された無響 IR を DSP に入力し、DSP 内のプログラム・Reverb Time・Initial Delay Time のパラメータを操作することで様々な響きを付加させて PC に再度入力し、その IR を Real Time Analyzer で録音する事により作成されている。擬似 IR の Sound Analyzer による解析結果と実際に聴いたときの残響感から、実測 IR と聴感が類似することを確認した。第4章の実験では実測 IR を楽音のドライソースに畳み込んで聴覚刺激とした。これは、パソコン上で作動するソフトウェア SMILE EDITOR に実測 IR と楽音のドライソースを入力し、畳み込み演算をすることで作成された。実験毎に、聴覚刺激の被験者位置における聴取レベル（IR に対しては L_{Amax} 、楽音に対しては L_{Aeq} ）は統一し、聴覚刺激の表記にはアルファベットの小文字を用いる。

1-4-2 視覚刺激の概要

第2章以降の実験で提示する視覚刺激として、VR 映像を用いた。VR 映像とは、映像内のある地点から上下左右 360° を見渡せるマルチメディア技術であり、写真などの画像の提示よりも滑らかな視点変更を行うことができるため、あたかもその空間に滞在しているかのような臨場感のある情報提示が可能である。

以下に、VR映像の作成手順を示す。まず、円周魚眼レンズを取り付けた一眼レフ・デジタル・カメラ（Nikon D3100）を用意し、視覚刺激となる空間の中央（IRの受信位置と同じ位置）に設置した三脚に取り付ける。空間の内観正面を 0° の位置として魚眼写真を撮影した後、パノラマ雲台（Nodal Ninja）を左右に 120° 回転させ、室内左側・右側それぞれの魚眼写真を撮影する。撮影した3枚の魚眼写真は他の視覚刺激の空間と比較して違和感が生じないように、画像処理ソフトウェア Image J で Brightness/Contrast のパラメータを調整した（3章までは平均輝度約 77 で統一）。その後、パソコン上で作動するパノラマ画像合成ソフトウェア PTGui に取り込んで各空間の魚眼写真3枚を合成することで VR 映像を作成し、パソコン上で作動するソフトウェア Quick Time Player で再生できる方式で保存した。

視覚刺激の空間としては、被験者が日常的に体験するであろう幅広い用途の公共的な空間を選定した。魚眼写真の撮影時には空間内は無人で、備え付けの備品以外の物品は極力撤去している。また、照明機器に関しては、第2,3章ではその空間の利用時に最も自然で最適と思われる程度の明るさになるように現地で調整し、第4章では JIS で規定されたその空間の利用時最大照度程度に明るさを調整した。視覚刺激の表記には、アルファベットの太文字を用いる。



写真 1-1 インパルス応答測定模様

1-4-3 実験システムの概要

第2章以降の実験におけるシステムは、写真 1-2 に示すように無響室内に構築された。視覚刺激の提示は、写真 1-3 のように無響室の天井から吊り下げた布製スクリーンに、同じく天井から吊り下げたプロジェクターを通じて対象空間の VR 映像を投影することで行う。実験者がマウスを操作する事により、被験者は対象空間の内観を全方向確認することができる。写真 1-4 に示すように、実験の施行時には無響室内の照明機器は全て消灯した。

聴覚刺激の提示は、パソコン上で作動するソフトウェア iTunes で、本章 1-4-1 で述べた聴覚刺

激を再生することで行う。オーディオ・インターフェースとして FIRE FACE 800 を使い、アンプ (YAMAHA XM 6150) で増幅した音が、写真 1-5 に示すスクリーン裏側に設置したスピーカ (YAMAHA S55) から被験者に提示される。

実験においては、視覚刺激と聴覚刺激を同時、あるいは単一で被験者に提示する。各試行において、順番効果などによる影響を排除するため、刺激は被験者毎にランダムな順に提示する。



写真 1-2 実験システムと被験者周りの様子

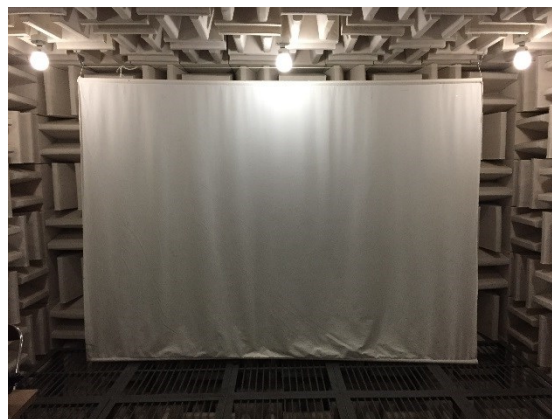


写真 1-3 布製スクリーン



写真 1-4 実験時の無響室の様子



写真 1-5 スピーカの配置

1-4-4 主観評価法の概要

主観評価には評価対象を絶対的に評価するカテゴリ一尺度法、相対的に評価するシェッフエの一対比較法のどちらかを用いる。視覚印象や聴覚印象に関する複数の主観評価項目とそれぞれに対応する形容詞対を用意し、刺激提示の直後に各印象の程度について7段階のカテゴリ一尺度を用いて被験者に回答を行わせる。

シェッフエの一対比較法では、各被験者が全ての対を比較・評価し、A-B, B-A を同列として扱う (順序効果を考慮しない) 中屋の変法を用いた。また、カテゴリ一尺度法で算出される評定平均値と対となるものとして一対比較法では、実験によって得られた評価結果に基づいて分散分析を行い各刺激に対する判断の推定値を算出し、評価推定値としている。

第3,4章では、様々なシリーズにおける実験を行っている。実験で用いた評価法がカテゴリ一

尺度法の場合は Category scale の C、一対比較法の場合は Paired comparison の P で表され、聴覚刺激が実測 IR の場合は Real impulse response の r、擬似 IR の場合は Pseudo impulse response の p、IR の場合は Impulse response の i、楽音の場合は Music の m で表される（評価法にカテゴリー尺度法を用い、聴覚刺激に実測 IR を用いた場合はシリーズ Cr と示す）。

1-4-5 被験者の概要

正常な視覚と聴覚をもつ大学生から募集した。なお、カテゴリー尺度法においては、1つの実験に対する被験者人数は、統計的に50～100名程度を被験者とした時とほぼ同等の結果を得ることができる10名前後とする。一対比較法においては、被験者が判断した評価点を序数尺度のまま統計的検定を行うシェッフエの一対比較法を採用した為、多くの被験者を必要としない。文献を参考に、被験者人数は10名前後とした⁽⁴⁾。

第2章

一対比較法を用いた主観評価実験の結果の検討

2-1 研究概要

和仁、石川らの研究では、聴覚刺激（実時間畳み込みによる各種室内シミュレーション音場）の単一提示と、様々な空間の視覚刺激（各種室内 VR 映像）と聴覚刺激の同時提示でカテゴリ尺度法による主観評価実験が行われた。その結果、聴覚刺激と視覚刺激が同時に提示されることで、単一提示時の聴覚印象と比べて同時提示時の聴覚印象が変化することが確認されたが、その印象の変化に対して統計的有意差を認めるには至らなかった。

そこで、本章における実験では、実測 IR を聴覚刺激とし、一般的にカテゴリ尺度法より評価が容易で被験者の負担が小さいと言われる一対比較法を評価法として採用することで、過去の研究で得られている、聴覚刺激と視覚刺激が同時に提示されることで、単一提示時の視覚または聴覚印象と比べて同時提示時の視覚または聴覚印象が変化する同様の評価傾向が見られるか確認することを目的とした。

2-2 実験概要

2-2-1 実験システム

本実験では、無響室において聴覚刺激である実測 IR と、視覚刺激である VR 映像を提示して複合環境を再現する図 2-1 のような実験システムを構築した。視覚刺激は布製スクリーンに映写され、実験者のマウス操作によって被験者は各空間の内観を 360° 見渡せる。また、聴覚刺激としてパソコン上のソフトウェアでステレオ再生された実測 IR は、2 台のスピーカから出力される。

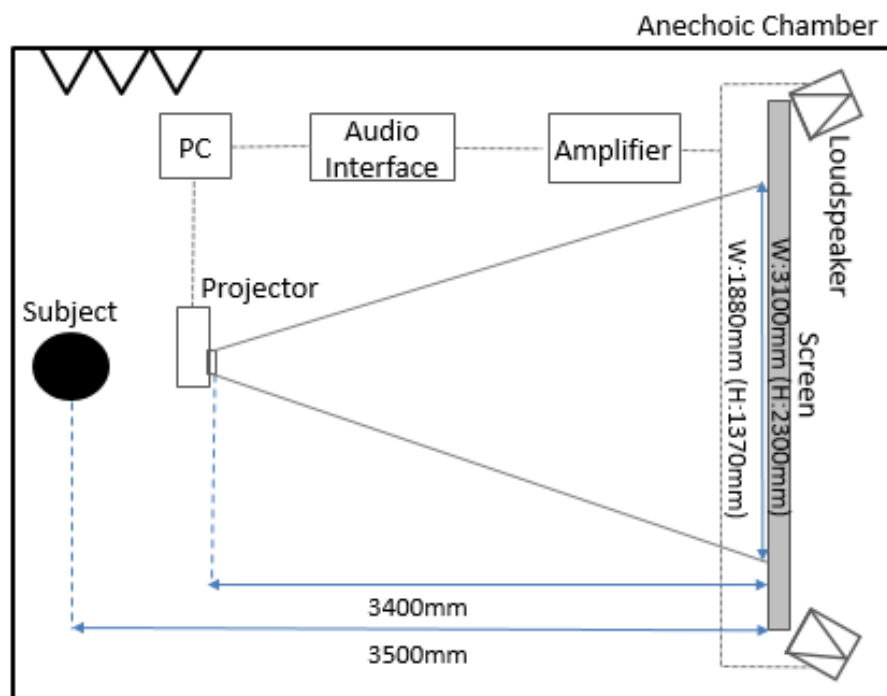


図 2-1 実験システムの概要

2-2-2 実験刺激

視覚刺激として、被験者（三重大大学の学生）が日常的に経験していると思われる公共的な三重大学構内にある施設から、意匠・用途・音響特性の異なる3空間を選定した。それら空間の概要とその音響特性を表2-1に示す。図2-2は視覚刺激のVR映像のイメージを示し、魚眼レンズを装着したデジタル・カメラで撮影された写真画像である。写真上で見られるような画像端の歪みなどは、PTGuiでVR映像として合成すると無くなる。

聴覚刺激は視覚刺激の空間の実測IRとし、後期残響部分のノイズ等を取り除く波形編集処理のみ施した。実測IRは、3.5sごとに1回再生され、それが3度繰り返されて提示される（図2-3参照）。聴覚刺激の被験者位置における聴取レベルは、 $L_{Amax}=78.0\pm 1$ dBとした。

表2-1 実験刺激として用いた空間の概要及び音響特性

視覚刺激				聴覚刺激			
名称	用途	面積 [m ²]	容積 [m ³]	名称	T ₃₀ [s]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]
A	教室	230	750	a	0.75	0.65	7.0
B	多目的ホール	1860	12000	b	1.44	1.69	0.2
C	体育館	700	6000	c	3.32	2.72	-4.1



図2-2 視覚刺激のイメージ

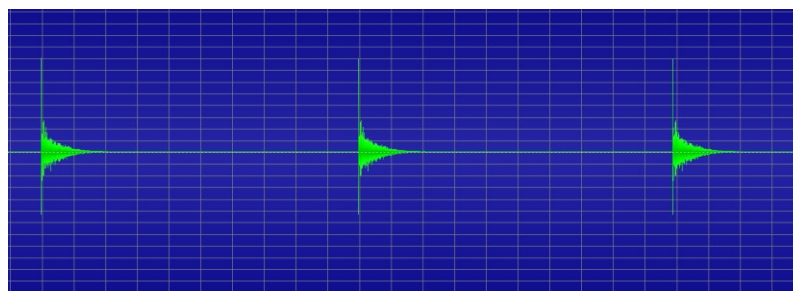


図2-3 聴覚刺激のイメージ

2-2-3 実験手順

まず、被験者に視覚刺激のみを提示（以下、視覚刺激の単一提示）し、視覚の主観印象を評価させる。次に、聴覚刺激のみを提示（以下、聴覚刺激の単一提示）し、聴覚の主観印象を評価させる。最後に、視覚刺激と聴覚刺激を同時に提示（以下、視聴覚刺激の同時提示）し、視覚と聴覚それぞれに対する主観印象を評価させる。被験者に、各評価項目に対して、先に提示される刺激と比較したときの後に提示される刺激の印象の程度を-3～+3の7段階尺度で回答させた。また、本実験では、同一提示条件のみで比較を行った為、一対比較の特性上、提示条件間の比較が出来なかった。視覚刺激の単一提示における刺激対数・刺激名称・主観評価項目を表2-2、聴覚刺激の単一提示における刺激対数・刺激名称・主観評価項目を表2-3、視聴覚刺激の同時提示における刺激対数・刺激名称・主観評価項目を表2-4に示す。本実験での同時提示における視聴覚刺激は、VRと実測IRの任意の組み合わせであり、X&xなどと表記する。

表2-2 視覚刺激の単一提示における刺激対数・刺激名称・主観評価項目

刺激対数	刺激名称	
3	A, B, C	
主観評価項目	対応する形容詞対(-3～+3)	
明るさ	暗い	・ 明るい
鮮やかさ	くすんだ	・ 鮮やかな
暖かみ	冷ややかな	・ 暖かみのある
立体感	平面的な	・ 立体的な
広さ	狭い	・ 広い
かたさ	やわらかい	・ かたい
落ち着き	落ち着きのない	・ 落ち着いた
自然さ	人工的な	・ 自然な
明瞭性	ぼんやりした	・ はっきりした
迫力	物足りない	・ 迫力のある

表 2-3 聴覚刺激の単一提示における刺激対数・刺激名称・主観評価項目

刺激対数	刺激名称
3	a, b, c
主観評価項目	対応する形容詞対(-3~+3)
響きの長さ	響きが短い ・ 響きが長い
響きの豊かさ	響きが乏しい ・ 響きが豊か
明瞭性	ぼんやりした ・ はっきりした
拡がり感	拡がり感のない ・ 拡がり感のある
落ち着き	落ち着きのない ・ 落ち着きのある
自然さ	人工的な ・ 自然な
迫力	物足りない ・ 迫力のある

表 2-4 視聴覚刺激の同時提示における刺激対数・刺激名称・主観評価項目

刺激対数	刺激名称
36	A&a, A&b, A&c, B&a, B&b, B&c, C&a, C&b, C&c
主観評価項目	対応する形容詞対(-3~+3)
明るさ	暗い ・ 明るい
鮮やかさ	くすんだ ・ 鮮やかな
暖かみ	冷ややかな ・ 暖かみのある
立体感	平面的な ・ 立体的な
広さ	狭い ・ 広い
かたさ	やわらかい ・ かたい
落ち着き	落ち着きのない ・ 落ち着いた
自然さ	人工的な ・ 自然な
明瞭性	ぼんやりした ・ はっきりした
迫力	物足りない ・ 迫力のある
響きの長さ	響きが短い ・ 響きが長い
響きの豊かさ	響きが乏しい ・ 響きが豊か
拡がり感	拡がり感のない ・ 拡がり感のある
違和感	違和感が小さい ・ 違和感が大きい

2-2-4 評価法

本実験では、シェッフェの一対比較法：中屋の変法を用いて実験結果を分析した。

2-3 実験結果

以下で述べる有意差検定の結果については、ヤードスティックによる検定で危険率5%以下の水準を満たした場合に“有意差が認められた”と表記する。

2-3-1 視覚/聴覚刺激の単一提示における主観評価結果・分析

表 2-5 は、視覚刺激の単一提示における、それぞれの視覚刺激に対する各評価項目の評価推定値を示す。評価推定値から、3つのVR映像のうち視覚刺激Aは「狭い・明るい・冷ややかな」空間、Bは「広い・暖かみのある・立体的な・迫力のある・落ち着きのある」空間、Cは「広い・暗い・冷ややかな・平面的な・落ち着きのない」空間であると判断されたと思われる。表 2-6 は、視覚刺激の単一提示でのそれぞれの評価項目の評価推定値において前後の刺激で有意差が認められた刺激対と評価項目を示す。被験者は空間の形状やダイナミズムなどに着目していると思われ、これらに対して十分に異なる視覚印象を持っていることが確認できた。「明るさ」は、VR映像を作成する段階で全ての空間の平均輝度を統一しているため、当然ながら空間に違いによる有意差は認められなかった。また、「鮮やかさ/暖かみ/かたさ/自然さ/明瞭性」に関しては、空間が異なっても印象がほとんど変わらないことが分かった。

表 2-5 視覚刺激の単一提示におけるそれぞれの視覚刺激の各評価項目での評価推定値

刺激	明るさ	鮮やかさ	暖かみ	立体感	広さ	かたさ	落ち着き	自然さ	明瞭性	迫力
A	0.78	1.67	-1.50	-1.83	-5.33	1.83	0.17	-1.33	1.83	-2.50
B	-0.06	1.00	2.83	3.67	3.33	-3.33	2.83	1.66	-2.00	3.83
C	-0.72	-2.70	-1.33	-1.83	2.00	1.50	-3.00	-0.33	0.17	-1.33

表 2-6 視覚刺激の単一提示でのそれぞれの評価項目の評価推定値において前後の刺激で有意差が認められた刺激対と評価項目

刺激対	明るさ	鮮やかさ	暖かみ	立体感	広さ	かたさ	落ち着き	自然さ	明瞭性	迫力
A-B	-	-	-	○	○	-	○	-	-	○
A-C	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-
B-C	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-

表 2-7 は聴覚刺激の単一提示におけるそれぞれの聴覚刺激に対する各評価項目の評価推定値を示す。評価推定値から、3つの響きのうち聴覚刺激aは「響きが短い・響きが乏しい・拡がり感がない・迫力がない」響き、cは「響きが長い・響きが豊か・拡がり感がある・迫力がある」響き、bは「aとcのおおよそ中間」の響きとして評価されていると思われる。表 2-8 は、聴覚刺激の単

一提示でのそれぞれの評価項目の評価推定値において前後の刺激間で有意差が認められた刺激対と評価項目を示す。被験者は残響感や拡がり感などに対して十分に異なる聴覚印象を受けたことが確認できた。

表 2-7 聴覚刺激の単一提示におけるそれぞれの聴覚刺激の各評価項目での評価推定値

刺激	長さ 響きの	豊かさ 響きの	明瞭性	拡がり感	落ち着き	自然さ	迫力
a	-1.67	-1.50	0.72	-1.61	0.11	-0.56	-1.22
b	0.17	0.22	0.00	0.17	-0.22	0.22	0.06
c	1.50	1.28	-0.72	1.44	0.11	0.33	1.17

表 2-8 聴覚刺激の単一提示でのそれぞれの評価項目の評価推定値において前後の刺激間で有意差が認められた刺激対と評価項目

刺激対	長さ 響きの	豊かさ 響きの	明瞭性	拡がり感	落ち着き	自然さ	迫力
a-b	○	○	-	○	-	-	○
a-c	○	○	-	○	-	-	○
b-c	○	○	-	○	-	-	○

視覚/聴覚刺激の単一提示で共通する「明瞭性」と「自然さ」に関しては、いずれの刺激対においても有意差が認められなかった。また、「落ち着き」については、視覚刺激の単一提示では有意差が認められたが、聴覚刺激の単一提示では有意差が認められなかった。

2-3-2 視聴覚刺激の同時提示における主観評価結果・分析

以下の表では、視聴覚刺激の同時提示における全ての刺激対を列挙し、前後の刺激で有意差が認められた刺激対のセルを着色して表示する。着色したセルのうち、視覚印象の主観評価項目において視覚刺激が前後で共通する刺激対の名称を赤字、聴覚印象の主観評価項目において聴覚刺激が前後で共通する刺激対の名称を青字で表示する。

視聴覚刺激の同時提示では、全ての主観評価項目において、少なくとも4つの刺激対に対して有意差が認められた。

視聴覚刺激の同時提示における「明るさ」に関して、表 2-9 は前後の刺激間の評価推定値における有意差検定の結果、図 2-1 は残響時間に対する評価推定値を示す。「明るさ」は、視覚刺激の単一提示では有意差が認められなかったが、視聴覚刺激の同時提示では聴覚刺激 c を含む刺激対の多くで有意差が認められた。有意差が認められた刺激対のうち、視覚刺激が前後で共通するの

は、聴覚刺激 a と c の組み合わせ (X&a-X&c) のみである。視聴覚刺激に含まれる聴覚刺激の残響時間が長いほど視覚的に「明るい」と評価される傾向が見られること、更に a と c は聴覚刺激のなかで最も残響時間の差が大きいことから、提示モードの変化によって「明るさ」の印象が大きく変動したと思われる。ただし、同時提示において被験者が視覚的な「明るさ」と聴覚的な「明るさ」のどちらを回答したかは今回の実験においては不明である。

表 2-9 視聴覚刺激の同時提示での「明るさ」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

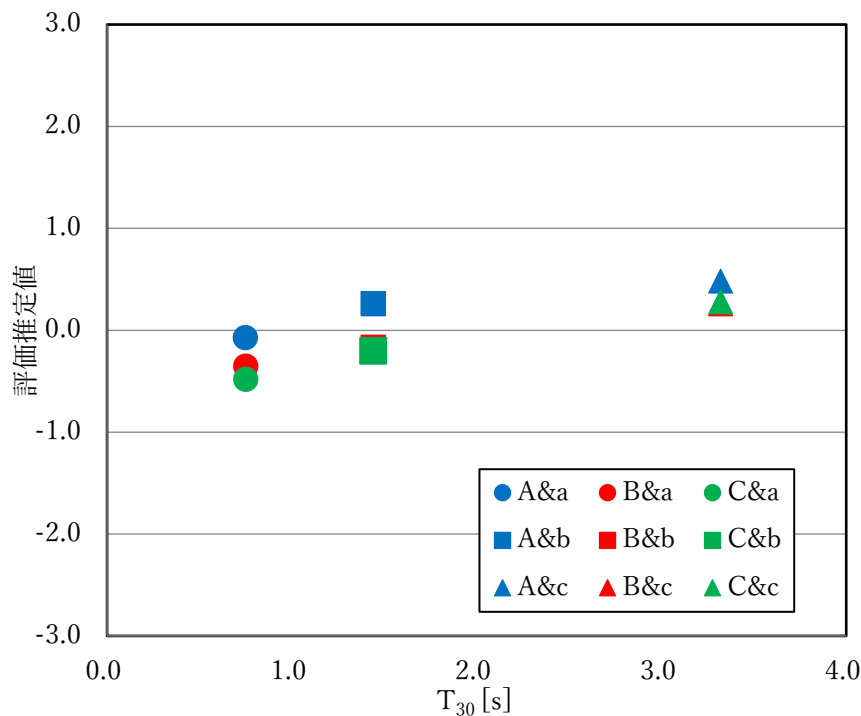


図 2-4 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「明るさ」の評価推定値

視聴覚刺激の同時提示における「広さ」に関して、表 2-10 は前後の刺激間の評価推定値における有意差検定の結果、図 2-4 は残響時間に対する評価推定値を示す。「広さ」は視覚刺激の単一提示において A-B, A-C の評価推定値間しか有意差が認められなかったが、視聴覚刺激の同時提示では、視覚刺激の単一提示で有意差が認められた視覚刺激に関する刺激対 (A&x-B&y または A&x-C&y) はもちろん、視覚刺激が前後で共通する刺激対 (A&x-A&y) の評価推定値間でも有意差が認められた。視覚刺激に組み合わさる聴覚刺激の残響時間が長いほど視覚的に空間を「広い」と

感じたと言える。残響感や音の拡がり感は視覚的なボリューム感などと共通するイメージを持つと考えられ、それらの印象は双方が互いに影響を及ぼし合う可能性が示唆された。

表 2-10 視聴覚刺激の同時提示での「広さ」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

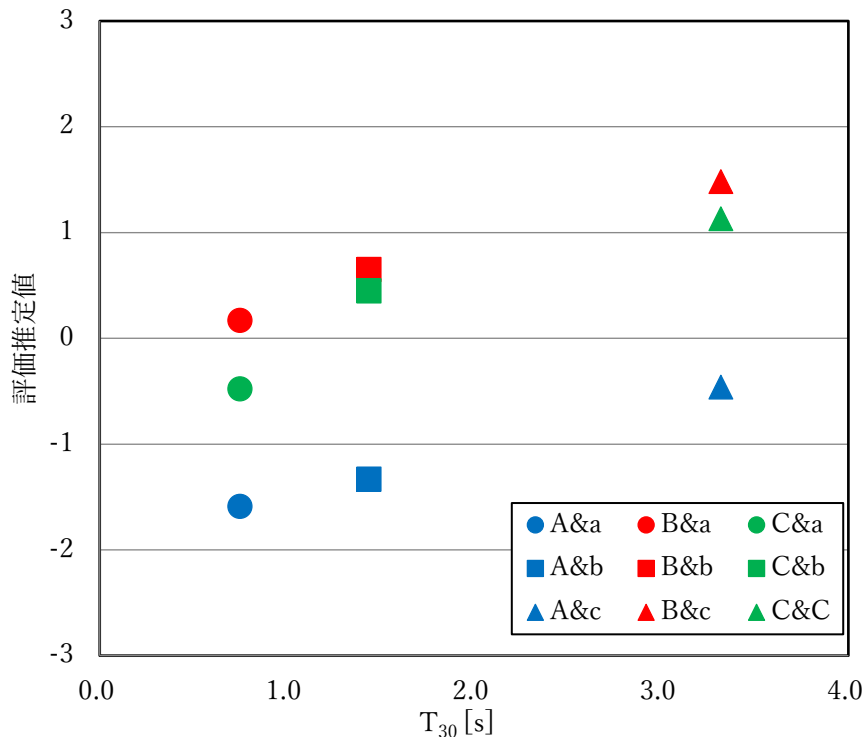


図 2-5 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「広さ」の評価推定値

視聴覚刺激の同時提示時の「響きの長さ」に関して、表 2-11 は前後の刺激間の評価推定値における有意差検定の結果、図 2-6 は残響時間に対する評価推定値を示す。「響きの長さ」は聴覚刺激の単一提示において、全ての刺激対で有意差が認められた。視聴覚刺激の同時提示においては、聴覚刺激が前後で共通でないほぼ全ての刺激対における評価推定値間で有意差が認められた一方で、聴覚刺激が前後で共通する場合は有意差が認められなかった。

表 2-12, 13 は視聴覚刺激の同時提示での「響きの豊かさ」、「音の拡がり感」の評価推定値における有意差検定の結果、図 2-7, 8 は視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「響きの豊かさ」、「音の拡がり感」の評価推定値を示す。これらの 2 項目は、聴覚刺激の単一提示・視聴覚

刺激の同時提示において「響きの長さ」と同様の評価傾向が見られ、有意差が認められる刺激対も近似している。「響きの豊かさ」においては、聴覚刺激が共通する刺激対 (A&b-B&b, A&b-C&b, A&c-C&c) の前後の刺激間の評価推定値においても有意差が認められた。

ここで、「響きの長さ」は聴覚刺激の残響時間を意識した 1 次元の尺度によって評価がなされているのに対し、「響きの豊かさ」や「音の拡がり感」は音響エネルギー量を意識した 3 次元の尺度によって評価がなされていると推察する。聴覚刺激が同じでも、視覚刺激が変わると響きの印象が変化する理由は、「響きの豊かさ」や「音の拡がり感」は視覚刺激からの影響がより生じやすく、後者のほうが視覚的イメージと結びつきやすいからであると考えた。

視聴覚刺激の同時提示時の「明瞭性」に関して、表 2-14 は前後の刺激間の評価推定値における有意差検定の結果、図 2-9 は残響時間に対する評価推定値を示す。「明瞭性」は視覚/聴覚刺激の単一提示では、評価推定値において前後の刺激間で有意差が全く認められなかったが、同時提示になることで 4 つの刺激対間で有意差が認められた。これらの刺激対は全て、前後で異なる視覚刺激を比較している (A&x-C&y を除く)。

表 2-11 視聴覚刺激の同時提示での「響きの長さ」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

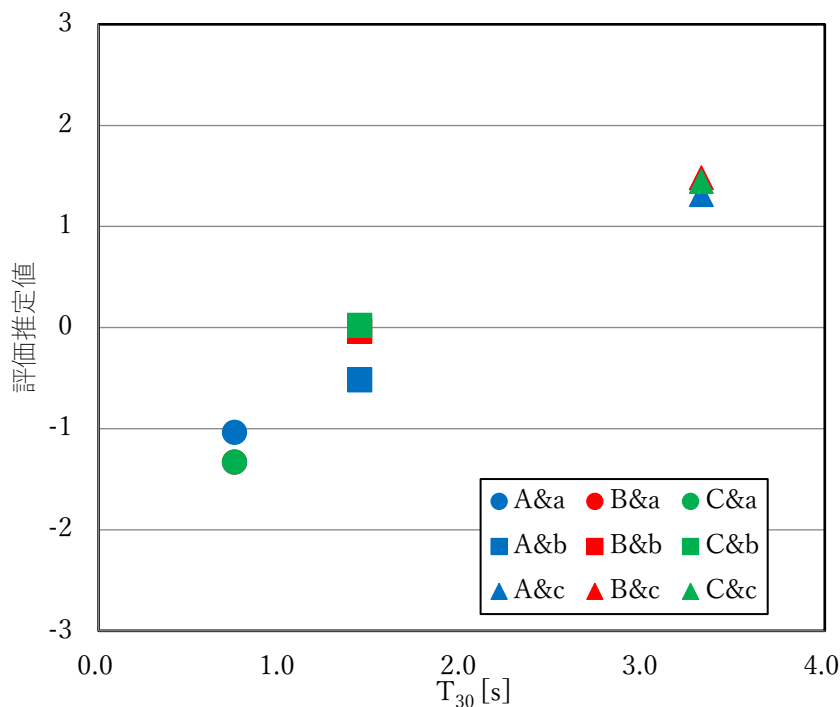


図 2-6 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「響きの長さ」の評価推定値

表 2-12 視聴覚刺激の同時提示での「響きの豊かさ」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

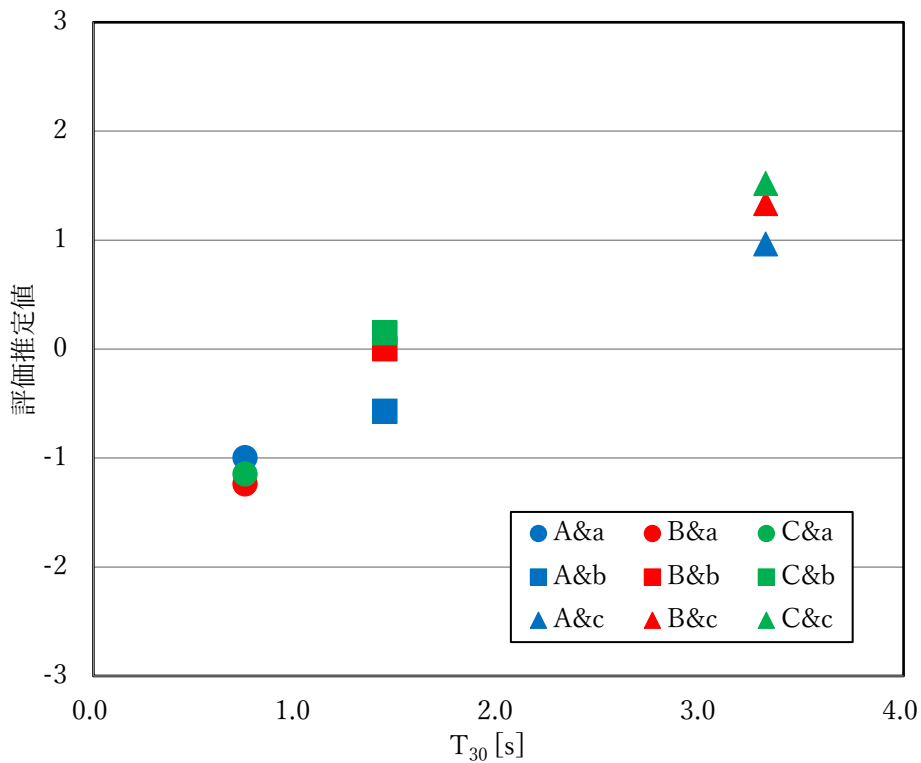


図 2-7 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「響きの豊かさ」の評価推定値

表 2-13 視聴覚刺激の同時提示での「音の拡がり感」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

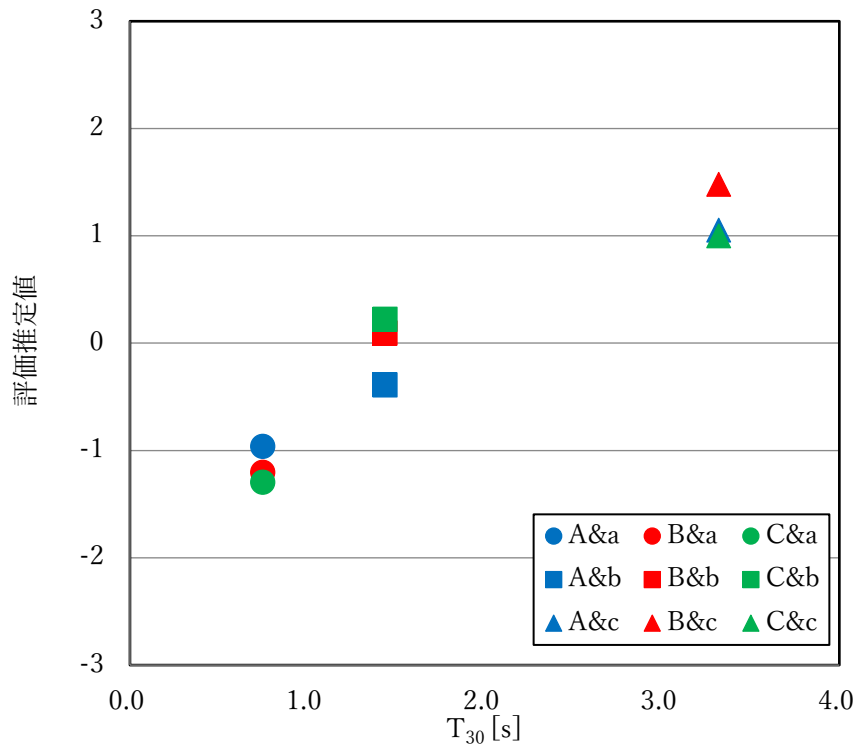


図 2-8 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「音の拡がり感」の評価推定値

表 2-14 視聴覚刺激の同時提示での「明瞭性」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

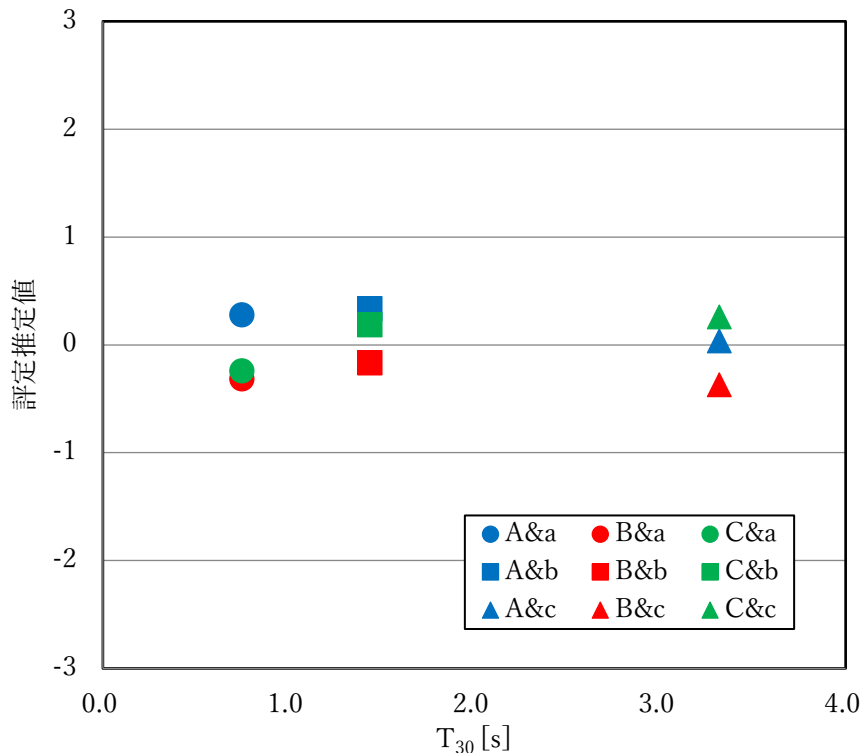


図 2-9 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「明瞭性」の評価推定値

視聴覚刺激の同時提示時の「違和感」で、表 2-15 は前後の刺激間の評価推定値における有意差検定の結果、図 2-10 は残響時間に対する評価推定値を示す。「違和感」は 8 つの刺激対において有意差が認められた。「違和感」で有意差が認められた刺激対のうち、聴覚刺激が前後で共通する 2 つの刺激対 (A&a - B&a, A&b - B&b) はどちらも、一方の刺激の「違和感」が最小になるとと思われる同一空間の視聴覚刺激の組み合わせであり、視聴覚刺激の同時提示における大半の視覚印象に対する評価推定値でも有意差が認められている。ゆえに、前後で聴覚刺激が共通する刺激対では、視覚印象の差が「違和感」を生じさせると推察された。

視覚刺激が共通する 5 つの刺激対は、視聴覚刺激の同時提示における聴覚印象の主観評価項目の大半で評価推定値において有意差が認められており、前後で視覚刺激が共通する刺激については、聴覚印象の差が「違和感」を生じさせると推察された。また、視覚刺激が共通する刺激対のうち 2 つの刺激対は、ある程度の違和感が前後の刺激共に生じるとと思われる視聴覚刺激の組み合わせであった (A&b - A&c, B&a - B&c, C&a - C&b)。聴覚刺激が共通で視覚刺激が異なる刺激対の場合、違和感に差が生じるのは刺激の一方の違和感が最小となる場合に限られているのに対して、視覚刺激が共通で聴覚刺激が異なる刺激対では多くの場合で違和感に有意差が生じる傾向が見られた。

表 2-15 視聴覚刺激の同時提示での「違和感」の評価推定値における有意差検定の結果

A&a - A&b	A&a - C&b	A&b - C&a	A&c - C&a	B&a - C&b	B&c - C&a
A&a - A&c	A&a - C&c	A&b - C&b	A&c - C&b	B&a - C&c	B&c - C&b
A&a - B&a	A&b - A&c	A&b - C&c	A&c - C&c	B&b - B&c	B&c - C&c
A&a - B&b	A&b - B&a	A&c - B&a	B&a - B&b	B&b - C&a	C&a - C&b
A&a - B&c	A&b - B&b	A&c - B&b	B&a - B&c	B&b - C&b	C&a - C&c
A&a - C&a	A&b - B&c	A&c - B&c	B&a - C&a	B&b - C&c	C&b - C&c

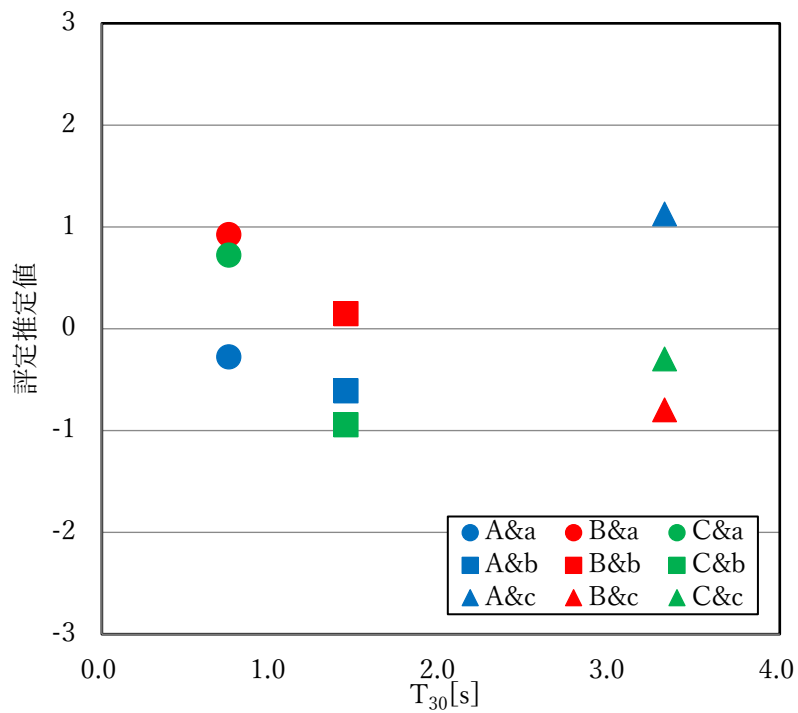


図 2-10 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「違和感」の評価推定値

2-4 小括

視覚刺激または聴覚刺激の単一提示より、視聴覚刺激の同時提示の方が刺激間の印象の差がより明確になる傾向が見られた。

視聴覚刺激の同時提示において、3次元の量的イメージを伴う「響きの豊かさ」などの聴覚印象は、空間の属性に直結する「広さ」などの視覚的な印象と連動する傾向が窺えた。

「明るさ」の印象は残響時間が長いほど“明るい”と評価される傾向が示唆されたが、原因は不明である。今後の実験では、視覚的な「明るさ」と聴覚的な「明るさ」の主観評価項目を別途設けることで、実際に残響時間が長くなると視覚または聴覚的に“明るい”と評価されるのか検証する必要がある。

「違和感」において有意差が生じる刺激対は、視覚刺激または聴覚刺激が前後で共通しており、特に視覚刺激が共通する刺激対が多く確認された。

第3章

異なる実験条件における主観評価の結果の比較

3-1 研究概要

第2章における主観評価実験では評価法としてシェッフェの対比較法を採用し、聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の間で、被験者の主観印象が変化する可能性が窺えた。しかし、対比較法の特長上、被験者の主観評価は同一施行内の刺激のみに対する相対的な評価であるため、異なる実験施行における評価結果は比較できない。第2章では、視覚/聴覚刺激のみからなる刺激対 (X-Y, x-y) または視聴覚刺激のみからなる刺激対 (X&x-Y&y) の実験試行しか行っておらず、提示条件の違いによる評価結果の比較ができなかった。本章では、カテゴリ尺度法と対比較法の2つの評価法を用いて同一の実験刺激に対する主観評価実験の結果を比較する。また、対比較法では、1つの実験施行で、聴覚刺激のみからなる刺激対、視聴覚刺激のみからなる刺激対に加えて、聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激からなる刺激対 (x-X&x) を用いる事により、提示条件の違いによる「残響感」が有意に変動するか確認することを目的とした。

3-2 実験概要

3-2-1 実験システム

実験は無響室で行われた。図3-1に、実験システムの概要を示す。視覚刺激、聴覚刺激共に第2章と同様の方法で被験者に提示された。音場の再生方法のみモノラルに変更し、スピーカを1台にしてスクリーン裏側の中央部に設置した。

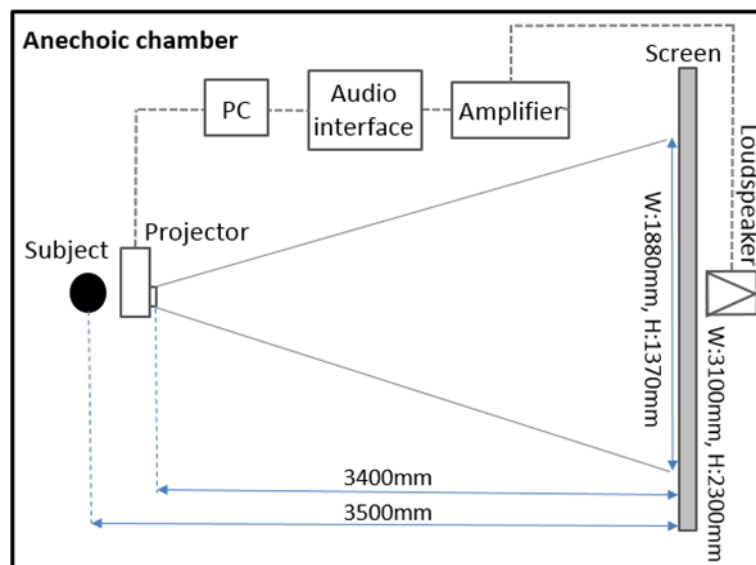


図3-1 実験システムの概要

3-2-2 実験刺激

視覚刺激は、公共空間として日常的に用いられる、異なる内観デザインと室内音響特性を持つ6つの空間 (A~F) のVR映像である。これらのVR映像は、第2章と同様の方法で作成された。聴覚刺激は、第2章で用いた実測IRに加え、新たに擬似IRを使用した。実測IR (a~f) は、視覚刺激の空間で採取された。擬似IR (a'~f') は、DSPを用いて実測IRに残響時間 (T_{30}) と残響

感が類似するように作成された。(聴感が特殊な擬似 IR もあるが、今回は残響感のみ問う主観評価実験であるため、許容した。) 聴覚刺激は 3.5 s 間隔で 3 度繰り返し再生される。聴覚刺激の被験者位置における聴取レベルは、 $L_{Amax}=78.0\pm 1$ dB とした。視覚刺激の空間概要、実測 IR の音響特性を表 3-1、擬似 IR 作成時の DSP のパラメータと Sound Analyzer により算出した残響時間を表 3-2 に示す。Sound Analyzer では、コンピュータが機械的にシュレーダー曲線上の適当な点を選定し、近似直線を描く事で残響時間が決定される。本実験における IR の残響時間は T_{30} を基準としているが、擬似 IR の a', c' では原因は不明であるが近似直線が適切に描かれなかったため (シュレーダー曲線上の点を選定する際に特異な点を選定している可能性がある)、 T_{60} を採用した。

表 3-1 視覚刺激の空間概要、実測 IR の音響特性

視覚刺激				聴覚刺激 (実測 IR)	
名称	用途	面積 [m ²]	容積 [m ³]	名称	T_{30} [s]
A	教室	230	750	a	0.75
B	多目的ホール	1860	12000	b	1.44
C	体育館	700	6000	c	3.32
D	演劇練習室	200	820	d	1.45
E	寺院	1400	10000	e	1.16
F	渡り廊下	80	330	f	1.83

表 3-2 擬似 IR 作成時の DSP のパラメータと算出した残響時間

刺激名称	プログラム名称	Reverb Time [s]	Initial Delay Time [ms]	T_{30} [s]
a'	CONCERT HALL	0.5	15.0	0.46*
b'	CONCERT HALL	1.5	18.7	1.21
c'	ARENA	3.0	34.1	3.05*
d'	SQUASH ROOM	1.5	16.3	1.28
e'	BRIGHT HALL	1.1	23.2	0.57
f'	BAMBOO ROOM	1.8	15.3	1.27

*: T_{60} を採用。

3-2-3 カテゴリー尺度法における実験手順

カテゴリー尺度法を用いた実験は、2つのシリーズに分けて行われ、視覚刺激は両シリーズ共に全ての空間の VR 映像を用いた。聴覚刺激として、シリーズ Cr では実測 IR を用い、シリーズ Cp では擬似 IR を用いた。表 3-3 に、各シリーズで用いた刺激とその刺激数を示す。

実験手順は両シリーズで共通で、聴覚刺激の単一提示を行った後、視聴覚刺激の同時提示を行った。評価させるのは「残響感」(-3: 小さい~+3: 大きい)のみである。

表 3-3 各シリーズで使用された刺激・刺激数

実験名称	聴覚刺激	視聴覚刺激	刺激数
シリーズ Cr	a, b, c, d, e, f	A&a, B&b, C&c, D&d, E&e, F&f	12
シリーズ Cp	a', b', c', d', e', f'	A&a', B&b', C&c', D&d', E&e', F&f'	12

3-2-4 シェッフェの対比較法における実験手順

6種類の視覚刺激と12種類の聴覚刺激を対比較法を用いた同一実験内で扱った場合、刺激対数が膨大になり、実験の長時間化による被験者の負担増加が予想された為、以下に示す5つのシリーズに分けて実験が行われた。実測 IR を聴覚刺激として使用し、視覚刺激として空間 A, B, C の VR 映像を用いた実験をシリーズ Pr1、空間 D, E, F の VR 映像を用いた実験をシリーズ Pr2 とした。また、擬似 IR を聴覚刺激として使用し、視覚刺激として空間 A, B, C の VR 映像を用いた実験をシリーズ Pp1、視覚刺激として空間 D, E, F の VR 映像を用いた実験をシリーズ Pp2 とした。表 3-4 に各シリーズで使用された刺激とその刺激数、刺激対数を示す。

各シリーズ P のそれぞれで用いる全ての聴覚刺激と視聴覚刺激において刺激対をつくり、比較が行われる。

評価させるのは「残響感」(-3:小さい~+3:大きい)のみで、評価方法は第2章と同様である。

表 3-4 各シリーズで使用された刺激・刺激数・刺激対数

シリーズ名称	聴覚刺激	視聴覚刺激	刺激数	刺激対数
シリーズ Pr1	a, b, c	A&a, B&b, C&c	6	15
シリーズ Pr2	d, e, f	D&d, E&e, F&f	6	15
シリーズ Pp1	a', b', c'	A&a', B&b', C&c'	6	15
シリーズ Pp2	d', e', f'	D&d', E&e', F&f'	6	15

なお、実験結果の分析における「残響感」の印象は、“大きい”を“豊か”、“小さい”を“乏しい”と表現する。

3-3 実験結果

以下で述べる有意差検定の結果については、カテゴリ尺度法では t 検定、シェッフェの二対比較法ではヤードスティックによる検定で危険率 5%以下の水準を満たした場合に“有意差が認められた”と表記する。

3-3-1 シリーズ C の主観評価の結果・分析

図 3-2 はシリーズ Cr の残響時間に対する「残響感」の評定平均値を示す。聴覚刺激の単一提示では残響時間が長くなるにつれ、「残響感」がより“豊か”だと評価された。更に、聴覚刺激の残響時間が 1.5 s 以上だと「残響感」の評定平均値の増加幅が小さくなる。視聴覚刺激の同時提示では、聴覚刺激の単一提示とほぼ同じ傾向が得られたものの、ほとんどの空間で聴覚刺激の単一提示より「残響感」が“乏しい”と評価され、既往の報告^(18,19)とは異なる結果となった。全ての空間において、提示条件間の評定平均値に有意差は認められなかった。

図 3-3 はシリーズ Cp の残響時間に対する「残響感」の評定平均値を示す。全体的な評価傾向はシリーズ Cr に近似しているが、ほとんどの空間において聴覚刺激の単一提示より視聴覚刺激の同時提示の方が僅かに「残響感」が“豊か”に評価された。しかし、提示条件間の評定平均値に有意差は認められなかった。

図 3-4 は、視聴覚刺激の同時提示から聴覚刺激の単一提示の「残響感」の評定平均値を引いた差分を示す。擬似 IR は実測 IR に比べて差分の値が 0 に近く、提示条件が変わっても「残響感」の印象がほとんど変わらなかったことが分かる。特徴的な聴感を持つ擬似 IR は、実測 IR よりも視覚情報による聴覚印象への影響を受け難いと考えられる。

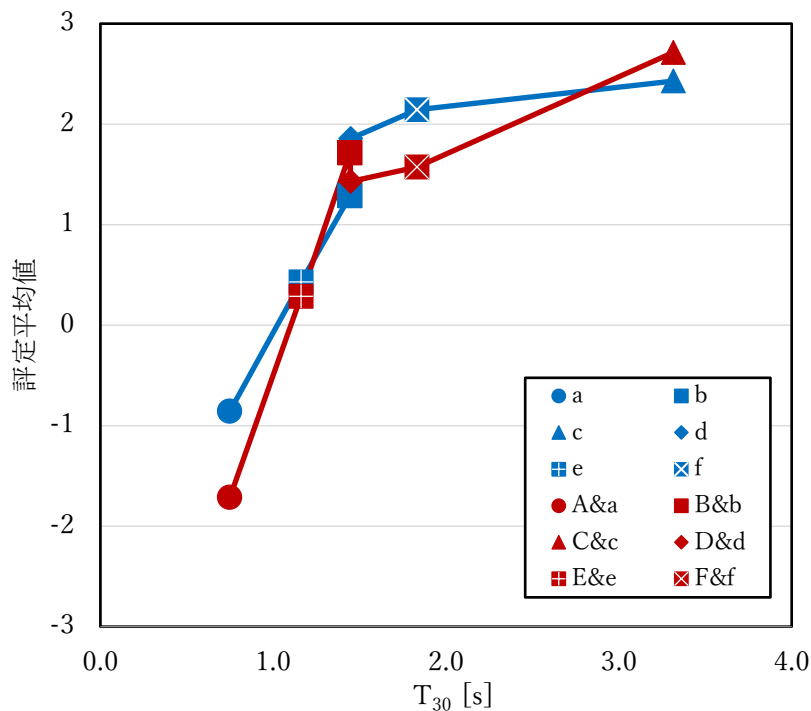


図 3-2 シリーズ Cr の残響時間に対する「残響感」の評定平均値

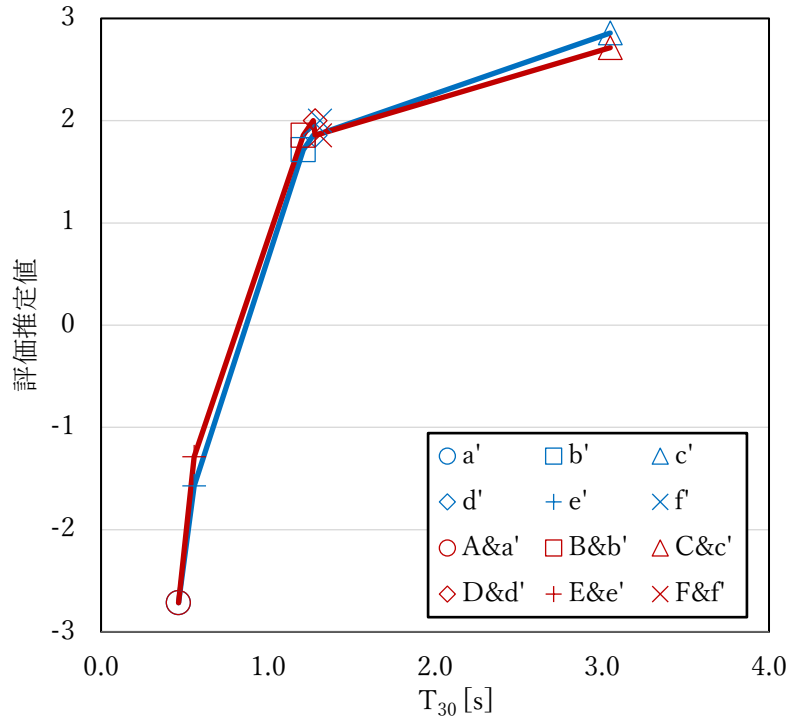


図 3-3 シリーズ Cp の残響時間に対する「残響感」の評定平均値

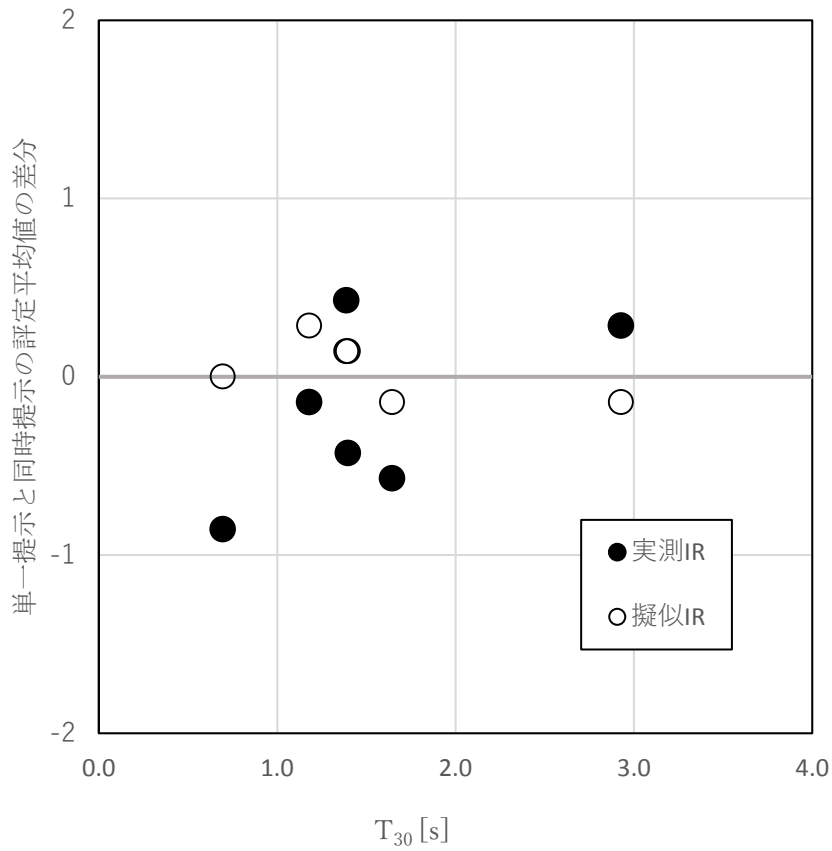


図 3-4 聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示での実測・擬似 IR それぞれの残響時間に対する「残響感」の評定平均値の差分

3-3-2 シリーズ P の主観評価の結果・分析

図 3-5～3-8 は、聴覚刺激の残響時間に対するシリーズ Pr1～4 の「残響感」の評価推定値を示す。ほぼ全ての空間で、「残響感」の評価推定値は、聴覚刺激の単一提示より視聴覚刺激の同時提示の方がやや大きくなる傾向が窺えた。単一提示の刺激同士または同時提示の刺激同士で、聴覚刺激の異なる刺激間では、概ね有意差が認められ、残響感が弁別できたことが分かった。

シリーズ Pr1, 2 では、聴覚刺激の単一提示で有意差が認められた聴覚刺激の組み合わせであれば同時提示時でも有意差が認められた。シリーズ Pp1, 4 では、聴覚刺激の単一提示で残響時間が非常に近い $d'-f$ を除く全ての刺激間で有意差が認められた。しかし、全ての空間において、提示条件ごとの評価推定値の間で有意差は認められなかった。シリーズ Pp1 で聴覚刺激の単一提示で有意差の認められた b' と c' の組み合わせに関して、視聴覚刺激の同時提示が刺激対の一方または両方に含まれる $B\&b'-c'$, $b'-C\&c'$, $B\&b'-C\&c'$ では有意差が認められなかった。その理由は、 b' は視覚情報が加わった $B\&b'$ の方が「残響感」が“豊か”に評価されるが、 c' は視覚情報が加わった $C\&c'$ の方が“乏しい”と評価され、同時提示になることで互いの印象差が小さくなったからであると考へた。

図 3-5～3-8 から、カテゴリー尺度法を用いた場合と同様に、それぞれの空間で聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の「残響感」の評価推定値の差は擬似 IR より実測 IR のほうが大きくなる傾向が見られた。擬似 IR は実測 IR より、視覚情報による聴覚印象への影響を受け難いと考へられる。

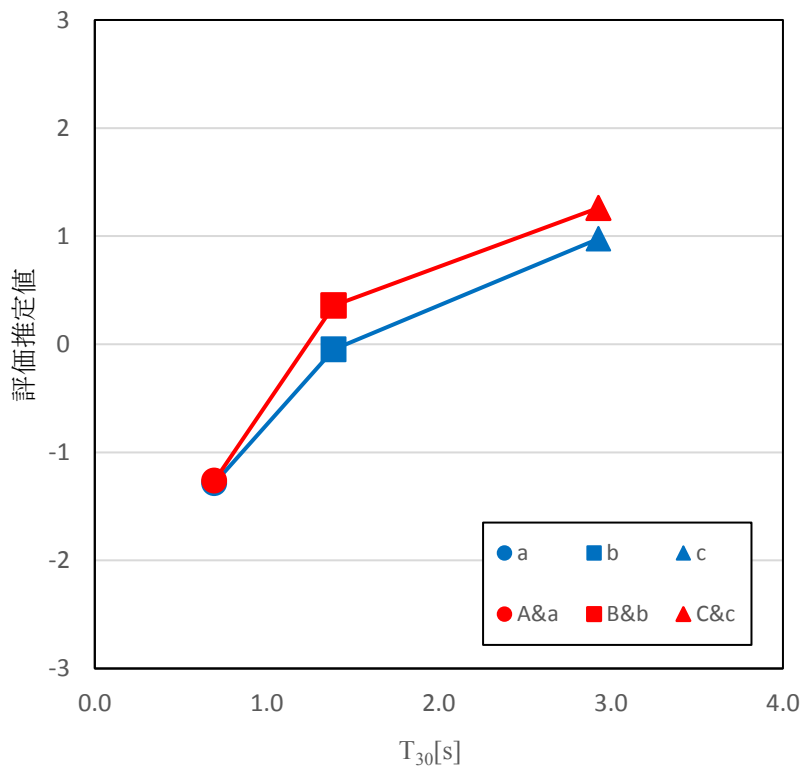


図 3-5 聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対するシリーズ Pr1 の「残響感」の評価推定値

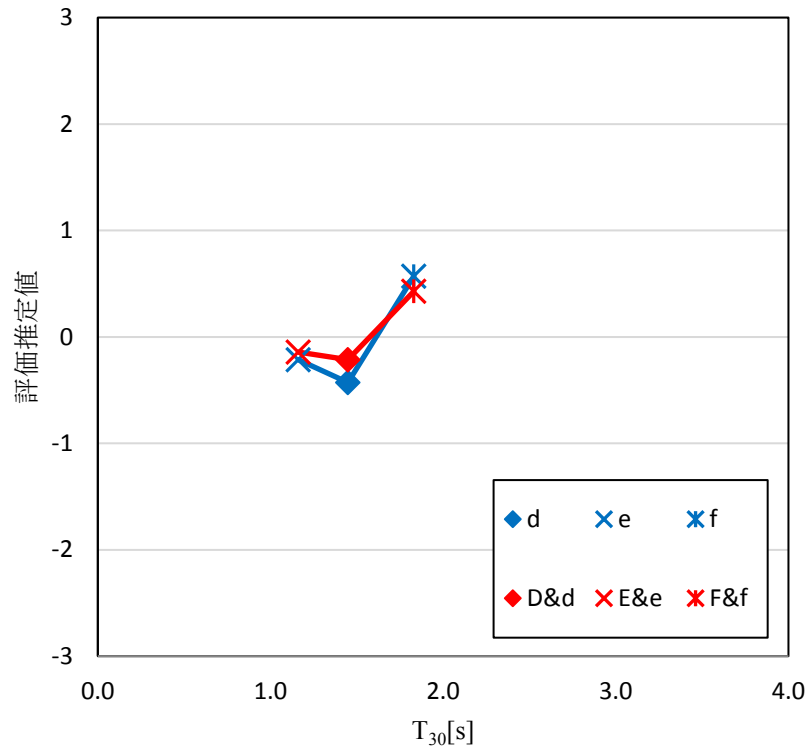


図 3-6 聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対するシリーズ Pr2 の「残響感」の評価推定値

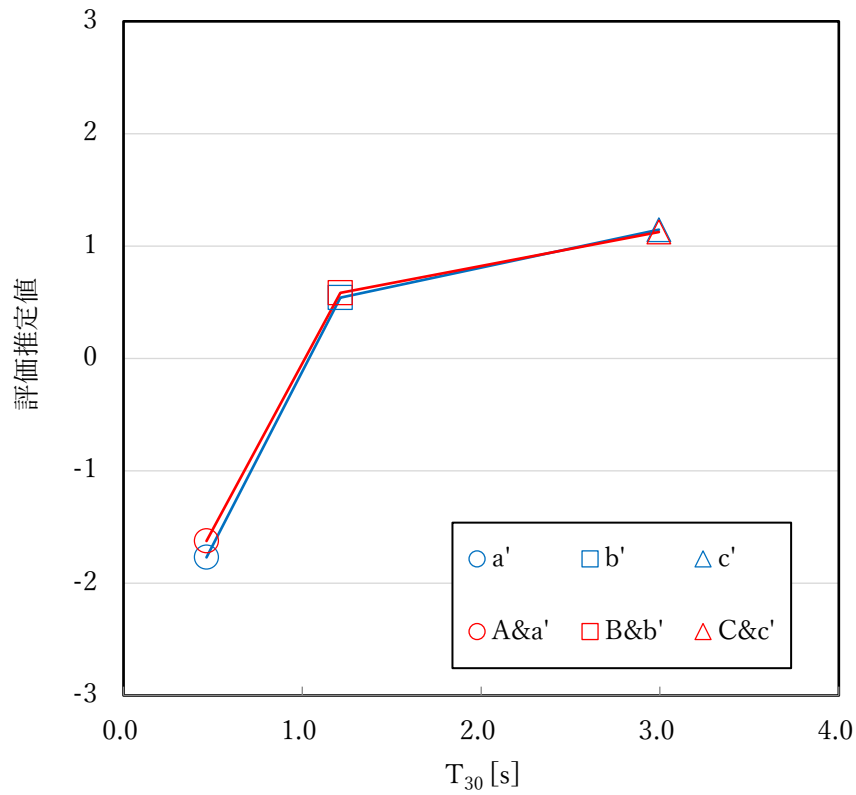


図 3-7 聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対するシリーズ Pp1 の「残響感」の評価推定値

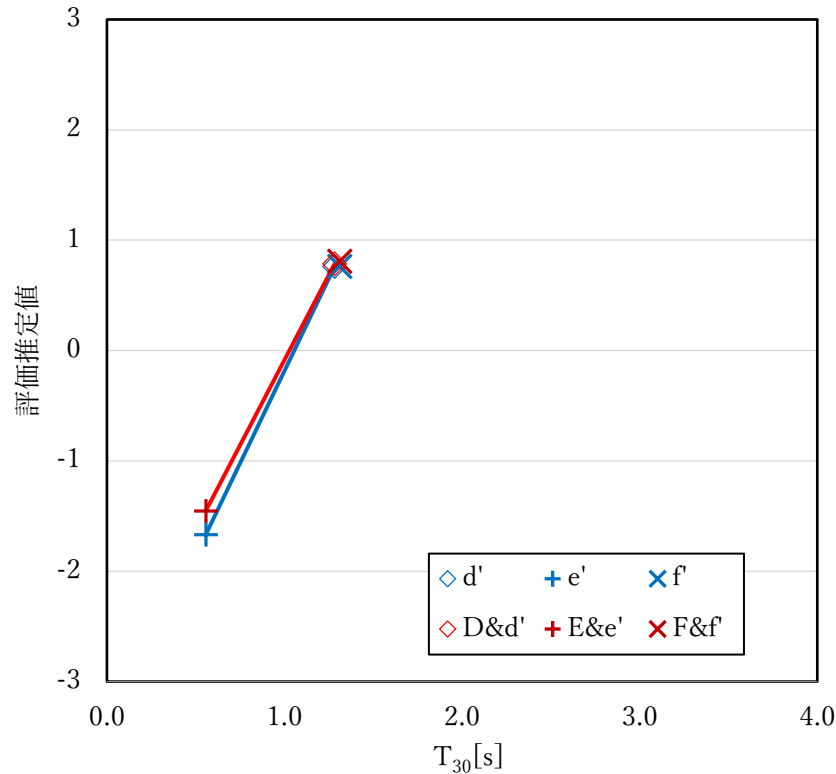


図 3-8 聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対するシリーズ Pp2 の「残響感」の評価推定値

3-3-3 シリーズ Pr1, Pr2 の分析

以上の実験では、全ての評価結果を同時に比較することはできない。なぜなら、一対比較法を用いた主観評価から得られる評価推定値は、同一施行内で提示された刺激に対する心理尺度上の相対的な評価値だからである。各刺激間の心理尺度上の距離をもとに分散分析を用いた有意差検定が行われるが、異なる実験施行では心理尺度が異なるため、単純に評価推定値を比較したり、有意差検定をすることはできない。

そこで、擬似 IR より提示条件による印象変化が生じやすいと思われる実測 IR を用いたシリーズ Pr1, 2 の結果を比較できるようにすることを目指し、シリーズ Pr3~Pr5 を行った。各シリーズで使用された刺激・刺激数・刺激対数を表 3-5 に示す。シリーズ Pr4 は、聴覚刺激の単一提示のみ行い、シリーズ Pr4 は視聴覚刺激の同時提示のみ行う。まず、シリーズ Pr1, 5 で得られた a~f に対する評価推定値を補正し、シリーズ Pr3 で得られた a~f に対する心理尺度上にプロットする。次に、シリーズ Pr4 で得られた A&a~F&f に対する評価推定値を補正し、シリーズ Pr1, 5 で得られた A&a~F&f の心理尺度上にプロットする。この補正により、全ての空間に対する「残響感」の評価推定値が同時に比較できる。

表 3-5 シリーズ Pr3~Pr5 で使用された刺激・刺激数・刺激対数

シリーズ名称	刺激	刺激数	刺激対数
シリーズ P5	a, b, c, d, e, f	6	15
シリーズ P6	A&a, B&b, C&c, D&d, E&e, F&f	6	15
シリーズ P7	d, e, f, A&a, B&b, C&c	6	15

図 3-9 に、シリーズ Pr3 の心理尺度を基準に評価推定値を補正した聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「残響感」の評価推定値を示す。全ての空間において、提示条件ごとの評価推定値間で有意差は認められなかったものの、「残響感」は聴覚刺激の単一提示より視聴覚刺激の同時提示の方が“豊か”と評価される傾向が見られた。聴覚刺激の単一提示の評価推定値では、残響時間の近い b-d, b-f, d-f 間以外全ての刺激間で有意差が認められた。聴覚刺激の単一提示で有意差の認められた c-f は、視聴覚刺激の同時提示である C&c-F&f では有意差が認められなくなった。響きのみ提示した場合は c, f は異なる響きと認識されていたにもかかわらず、響きに視覚情報が加わることで響きの印象が曖昧になったと言える。

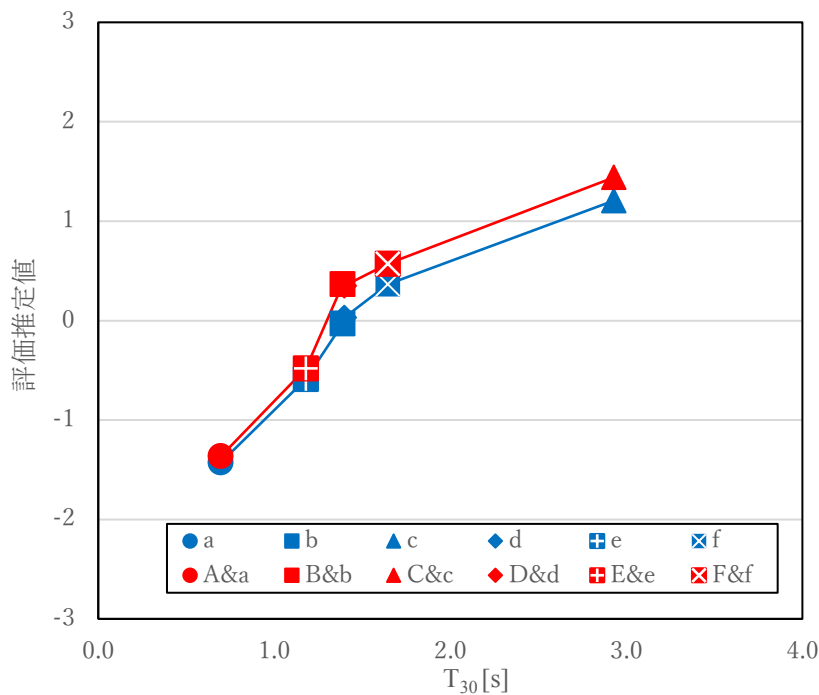


図 3-9 シリーズ Pr3 の心理尺度を基準とし評価推定値を補正した聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対するシリーズ Pr の「残響感」の評価推定値

3-4 小括

カテゴリー尺度法と一対比較法の実験結果を比較し、「残響感」の評価においては両者の結果がほとんど変わらないことが確認できた。多くの刺激を扱う我々の研究における実験では、1度の実験内で一対比較法より多数の刺激を用いることが出来るカテゴリー尺度法を用いる方が望ましいと考える。

第4章

視覚と聴覚において通様相性のある 主観印象の相互作用

4-1 研究概要

第2章では、様々な形容詞対を用いて視覚または聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示を行う主観評価実験を行った。しかし、視聴覚刺激の同時提示における視覚と聴覚に通様相性のある主観評価項目（「明るさ」など）に対して、視覚または聴覚どちらに対する印象を評価させるか明確にしていなかった為、被験者がどちらに対する印象を回答したか不明であり、同時提示化によって視覚印象と聴覚印象が相互にどのような影響を及ぼし合うか把握するには至っていない。また、既往研究では聴覚刺激に IR を用いた実験を主として行っており、連続音に対してどのような評価が得られるか把握出来ていない。通様相性とは、視覚、聴覚などそれぞれの感覚系内で生じる知覚体験を総称して様相と呼び、たとえば「明るさ」という性質が視覚にも聴覚にも共通して存在するように、感覚のある種の心理質が（様相間に）共通して認められることである⁽³⁾。

本章では、通様相性のある主観印象に対するカテゴリ尺度法による主観評価実験を行った。また、視聴覚刺激の同時提示において、通様相性のある主観評価項目については視覚と聴覚それぞれに対応する評価項目（例えば、「明るさ」に関しては「視覚的な明るさ」と「聴覚的な明るさ」）を用意し、同時提示化による視覚と聴覚の相互作用を把握することを目指した。加えて、第2章において「明るさ」は聴覚刺激の残響時間が長いほど“明るい”と評価される傾向が窺えたが、視覚刺激に関する変数（照度、容積など）が異なるため、その傾向を呈する要因が定かではない。よって、同一空間の照度を3段階に変化させた視覚刺激を作成し、聴覚刺激の残響時間が視覚的な「明るさ」の印象に影響しているか確かめることを目的とした。実験はシリーズ Ci とシリーズ Cm に分かれ、前者は空間の反射音構造を反映する実測 IR、後者は連続音（楽音）のドライソースに実測 IR を畳み込んだものを聴覚刺激として使用した。被験者は、それぞれのシリーズにおいて正常な視覚と聴覚を持つ男女10名である。

4-2 実験概要

4-2-1 実験システム

実験は無響室で行われた。図4-1に、実験システムの概要を示す。視覚刺激、聴覚刺激共に第3章と同様の方法で被験者に提示された。

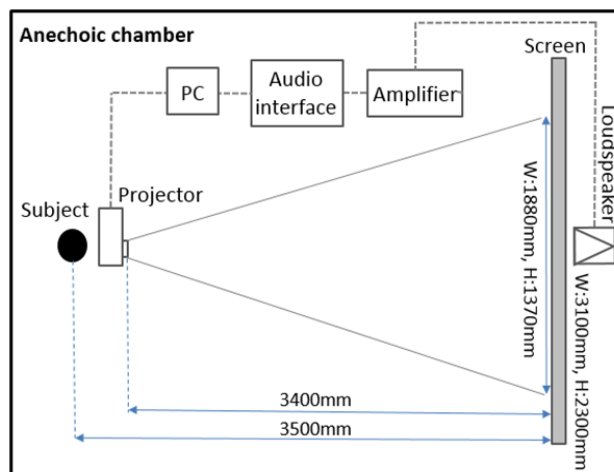


図4-1 実験システムの概要

4-2-2 実験刺激

視覚刺激は、シリーズ Ci, 2 共に 9 空間の VR 映像である。表 4-1 に、VR 映像の素材となる写真を撮影した際の空間内における平均照度を示す。空間 CL, MU では、JIS⁽¹⁰⁾ で規定された最適利用照度範囲内の最大値になるよう現場で照明機器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けて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。照度の計測には照度計（ミノルタ デジタル照度計 T-1H）を用いた。照度の測定点としてそれぞれの空間の中央と四隅を基準にした幾つかの代表点を決定し、全ての測定点における平均値を算出して平均照度とした。写真に写った空間の見え方を実際の見え方に近づける為、撮影時のカメラのシャッタースピードを 1/30 s、レンズのフォーカスを F2.8 に設定した。

撮影された写真の画像から作成した VR 映像を CL+, MU+, GY とした（ImageJ における平均輝度がそれぞれ 58.8, 11.9, 37.2）。次に、パソコン上で作動するソフトウェア Image J で画像処理し、PTGui が画像を認識できる限界まで輝度を下げて作成した VR 映像を CL-, MU-, GY- とした（ImageJ における平均輝度がそれぞれ 25.9, 4.8, 21.6）。更に、CL-, MU- と CL+, MU+ の平均輝度（ImageJ における平均輝度がそれぞれ 40.6, 7.9）の VR 映像を CL, MU, GY の平均輝度を 16（GY- と GY の平均輝度の差）高くした VR 映像を GY+ とした（ImageJ における平均輝度が 53.2）。表 4-2 に視覚刺激の空間特性とスクリーン上の平均照度、表 4-3 に視覚刺激のイメージと照度の段階を示す。スクリーン上の平均照度は、実験室内のスクリーンに投影した際に VR 映像が正面、右側、後方、左側を向いた時の四隅と中央の 5 点、計 20 点の平均値である。





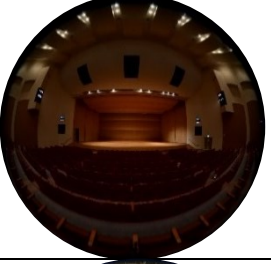




表 4-1 撮影した空間の平均照度

空間名	教室	多目的ホール	体育館
平均照度 [lx]	622	265	557

表 4-2 視覚刺激の空間特性とスクリーン上での照度

名称	用途	床面積 [m ²]	容積 [m ³]	スクリーン上の平均照度 [lx]
CL+	教室	230	750	175.9
CL				74.0
CL-				29.9
MU+	多目的ホール	1860	12000	6.6
MU				2.8
MU-				2.5
GY+	体育館	700	6000	36.6
GY				20.0
GY-				10.1

表 4-3 視覚刺激のイメージと照度の段階

空間	照度の段階		
	明るい (+)	普通 (○)	暗い (-)
CL			
MU			
GY			

両シリーズで使用した音場の概要を表 4-4 に示す。シリーズ Ci では聴覚刺激として IR そのものを提示し、空間で実際に測定された実測 IR (cl, mu, gy) に加え、三重県立文化会館の中ホールホワイエ (以下、空間 H) で測定された長い残響時間を持つ実測 IR の残響時間が 0.5 s 刻みとなるよう Gold Wave で波形編集を行った編集 IR (h1~h6) の計 9 種類を用いた。IR を提示する際は、同一の聴覚刺激が 5.0 s 間隔で 3 度繰り返すトラックを再生した。

シリーズ Cm の聴覚刺激はシリーズ Ci と同じ 9 種類の実測または編集 IR であるが、これらの IR に 2 種類 (長調と短調) の楽音のドライソースに畳み込んで提示したことがシリーズ Ci と異なる。楽音のドライソースはどちらも 7.5 s で、「オペラクルスランとリュドミラー序曲>長調」(グリンカ作曲) の冒頭部分と「交響曲 4 番へ短調」(チャイコフスキー作曲) の冒頭部分である。聴覚刺激として提示する際は、同じ IR が畳み込まれた 2 種類の楽音の間に 0.5 s のブランクをはさみ、順序をランダムに組み合わせられた 15.5 s のトラックを再生した (例えば、h1 が畳み込まれた長調の楽音が 7.5 s 間再生され、0.5 s のブランクの後 h1 が畳み込まれた短調の楽音が再生される)。聴覚刺激の被験者位置における聴取レベルは、シリーズ Ci で $L_{Amax}=69.0\pm 0.5$ dB、シリーズ Cm で $L_{Aeq}=80.0\pm 0.5$ dB とした。

表 4-4 両シリーズで使用した音場の概要

名称	内容	残響時間 T_{30} [s]
cl	空間 CL の実測 IR	0.74
mu	空間 MU の実測 IR	1.44
gy	空間 GY の実測 IR	3.07
h1	空間 H の実測 IR を 波形編集した編集 IR	0.57
h2		1.05
h3		1.51
h4		2.07
h5		2.56
h6		3.02

4-2-3 実験手順

シリーズ Ci, Cm 共に視覚刺激の単一提示、聴覚刺激の単一提示、視聴覚刺激の同時提示を行った。表 4-5 に視覚刺激の単一提示、表 4-6 に聴覚刺激の単一提示、表 4-7 に視聴覚刺激の同時提示における主観評価項目を示す。これらの主観評価項目はシリーズ Ci, Cm で共通である。また、主観評価項目の概念が、被験者に伝わりやすいようにアンケートに質問項目を設け、回答させた。

実験手順はシリーズ Ci, Cm で共通である。まず、視覚刺激のみが被験者にランダムな順で提示される視覚刺激の単一提示において、視覚印象に対する主観評価を行う。「残響感」に関しては、視覚情報のみからイメージしたその空間の響きについて回答させた。次に、聴覚刺激のみが被験者にランダムな順で提示される聴覚刺激の単一提示において、聴覚印象に対する主観評価を行う。

「空間の広さ/材質」に関しては、聴覚情報のみからイメージしたその響きが鳴っている空間について回答させた。最後に、視聴覚刺激が被験者にランダムな順で提示される視聴覚刺激の同時提示において、視覚印象と聴覚印象に対する主観評価を行う。全ての主観評価は-3~+3 の7段階尺度で回答させた。

シリーズ Cm に参加した被験者 10 人のうち、シリーズ Ci に参加した 9 人に対してはシリーズ Cm における視覚刺激の単一提示を省略し、シリーズ Cm で初めて本実験に参加した被験者 1 人に対してのみシリーズ Cm で視覚刺激の単一提示を行った。ゆえに、視覚刺激の単一提示の実験結果は、4-3-1-1 節でまとめて示す。(視覚シングルをシリーズ Ci でやった 10 人分+シリーズ Cm でやった 1 人分=11 人)

表 4-5 視覚刺激の単一提示における主観評価項目と質問項目に対応する形容詞対

主観評価項目	質問項目と対応する形容詞対 (-3~+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
空間のかたさ	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
空間の複雑さ	凹凸など空間の形状が...	単純な	・ 複雑な
空間の親しみやすさ	空間の雰囲気...	親しみにくい	・ 親しみやすい

表 4-6 聴覚刺激の単一提示における主観評価項目と質問項目に対応する形容詞対

主観評価項目	質問項目における形容詞対 (-3~+3)		
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
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
響きの親しみやすさ	響きの雰囲気が...	親しみにくい	・ 親しみやすい
響きの複雑さ	響きが...	単純な	・ 複雑な
空間の広さ	空間が...	狭い	・ 広い
空間の材質	空間が...	かたい	・ やわらかい

表 4-7 視聴覚刺激の同時提示における主観評価項目と質問項目に対応する形容詞対

主観評価項目	質問項目と対応する形容詞対 (-3~+3)		
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
空間のかたさ	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...	狭い	・ 広い
空間の複雑さ	凹凸など空間の形状が...	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
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
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
響きの親しみやすさ	響きの雰囲気が...	親しみにくい	・ 親しみやすい
響きの複雑さ	響きが...	単純な	・ 複雑な

4-3 実験結果

以下で示す有意差検定の結果については、t検定で危険率5%以下の水準を満たした場合に“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は、累積寄与率が60%以上、または各因子の固有値が1.0以上となる条件を満たしている。

4-3-1 シリーズ Ci の主観評価の結果・分析

4-3-1-1 視覚刺激の単一提示の主観評価の結果・分析

表 4-8, 4-9 に、視覚刺激の単一提示における全ての主観評価項目を因子数 3 で因子分析を行った結果を示す。空間内の材質に関係があると考えられる因子 1 を「表面性状因子」、空間内の音の響きに関係があると考えられる因子 2 を「広さ因子」、空間内の雰囲気に関係があると考えられる因子 3 を「雰囲気因子」とした。因子名を確認

図 4-2 は、視覚刺激の単一提示における照度に対する「空間の明るさ」の評定平均値を示す。空間によらず、被験者は視覚刺激の 3 段階の照度の違いを弁別できていることが確認できた。グラフを線で結ぶ

図 4-3~4-6 は、視覚刺激の単一提示における照度に対する「残響感」、「空間の広さ/かたさ/複雑さ」の評定平均値を示す。「残響感」は、視覚刺激のみを提示した際にその空間における響きを予想させたが、それぞれの空間において照度による有意差は認められず、空間の照度と空間を見たときの「残響感」のイメージの関連性は低いことが分かった。照度にかかわらず、容積の小さい空間 CL は“響かない”、容積の大きい空間 MU, GY は“響く”と評価される傾向が窺えた。

「空間の広さ」の評定平均値は、それぞれの空間において照度による有意差は認められず、空間の照度と空間を見たときの「空間の広さ」のイメージの関連性は低いことが分かった。空間の照度にかかわらず、空間の容積によって評価がなされたと推察される。図 4-3, 4-4 から、「残響感」と「空間の広さ」の評価傾向は近似しており、空間が広いと音がよく響くと予想されることが示唆された。表 4-9 から、両評価項目は同一因子に分類され、互いに似通った評価基準を持つことが確認された。

「空間のかたさ」の評定平均値は、それぞれの空間において照度による有意差は認められず、空間の照度と空間を見たときの「空間のかたさ」のイメージの関連性は低いことが分かった。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た空間 CL, GY は、当然ながら“かたい”と評価されている。扇型ホールで天井に凹凸があり、床面には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の空間 MU は“やわらかい”と評価されている。

「空間の複雑さ」の評定平均値は、それぞれの空間において照度による有意差が認められず、空間の照度と空間を見たときの「空間の複雑さ」のイメージの関連性は低いことが分かった。図 4-5, 4-6 から、「空間のかたさ」と「空間の複雑さ」の評価傾向は近似しており、表 4-9 から、両評価項目は同一因子に分類され、互いに似通った評価基準を持つことが確認された。

表 4-8 視覚刺激の単一提示における因子分析結果の固有値・寄与率・累積寄与率

因子 No.	固有値	寄与率	累積寄与率
1	1.47	21.00%	21.00%
2	1.36	19.39%	40.39%
3	1.01	14.36%	54.75%

表 4-9 視覚刺激の単一提示における因子分析結果

主観評価項目	因子 1	因子 2	因子 3
空間のかたさ	0.746	-0.036	0.020
空間の複雑さ	0.662	0.226	0.095
空間の広さ	0.158	0.785	0.069
残響感	0.084	0.782	0.083
空間の親しみやすさ	-0.190	0.094	0.775
空間の暖かさ	0.412	0.079	0.577
空間の明るさ	-0.486	-0.249	0.225

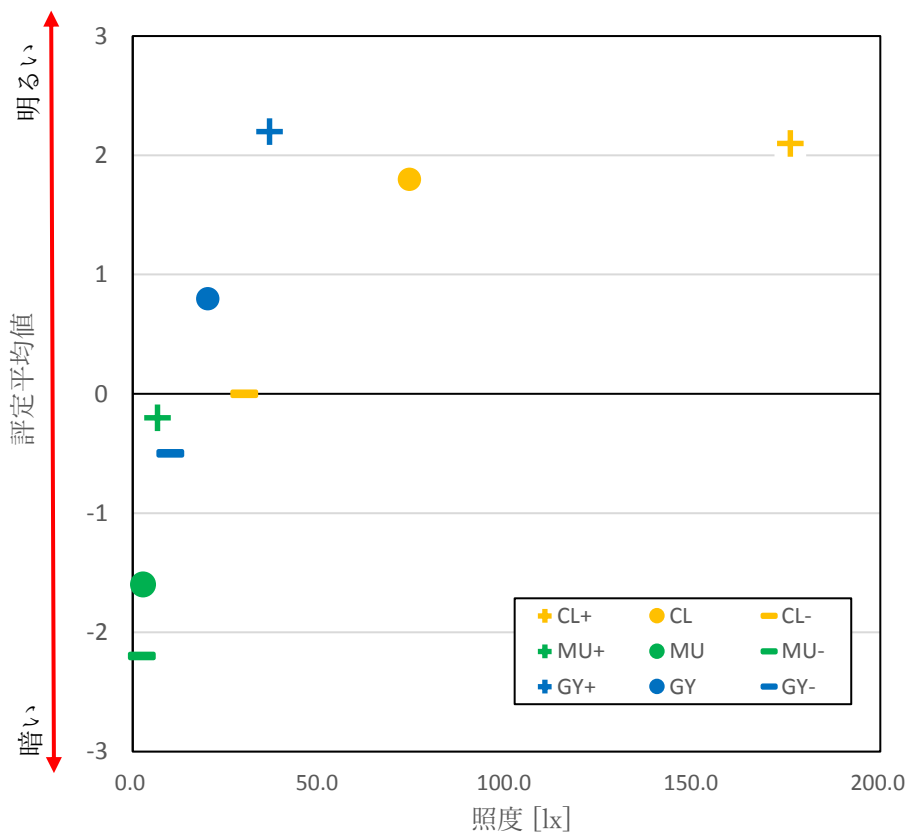


図 4-2 視覚刺激の単一提示における3段階の照度に対する「空間の明るさ」の評定平均値

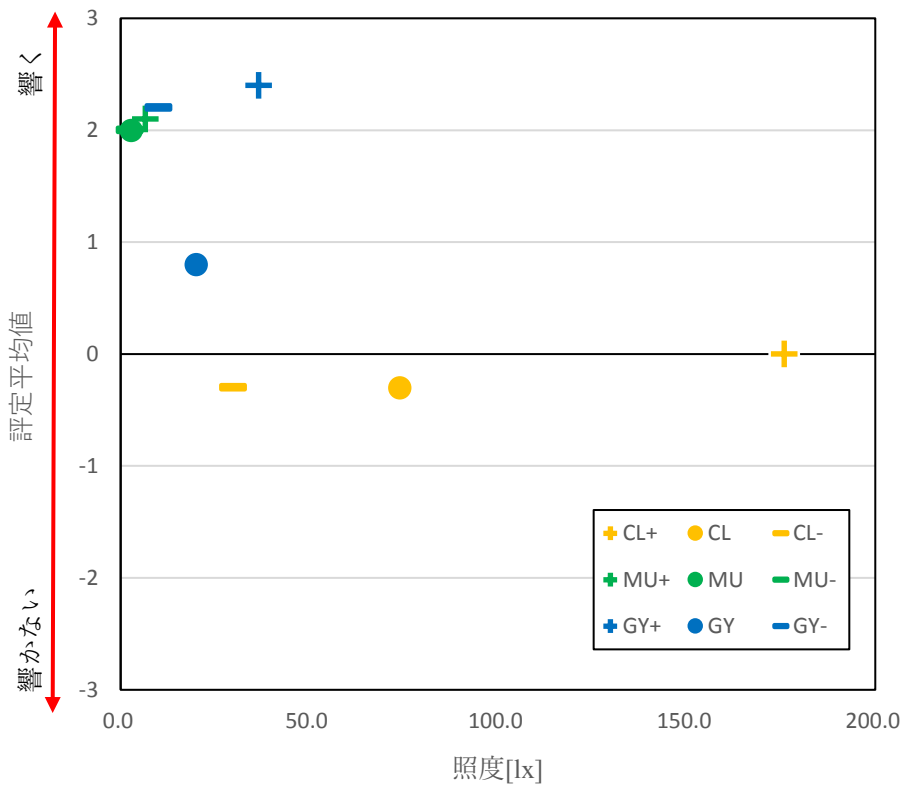


図 4-3 視覚刺激の単一提示における3段階の照度に対する「残響感」の評定平均値

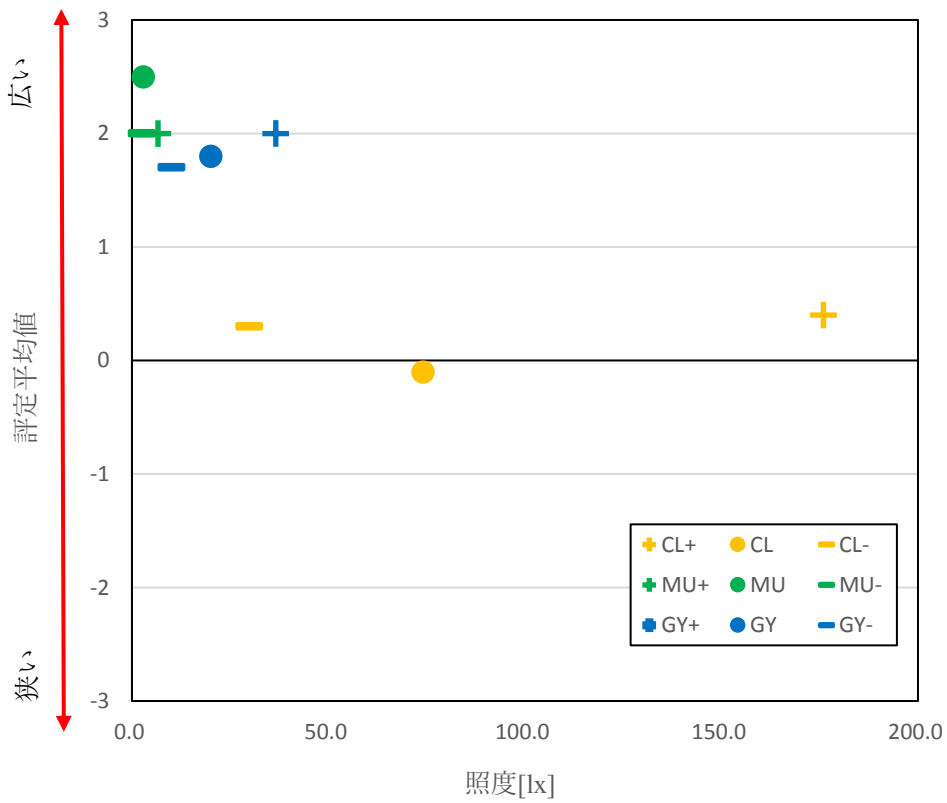


図 4-4 視覚刺激の単一提示における3段階の照度に対する「空間の広さ」の評定平均値

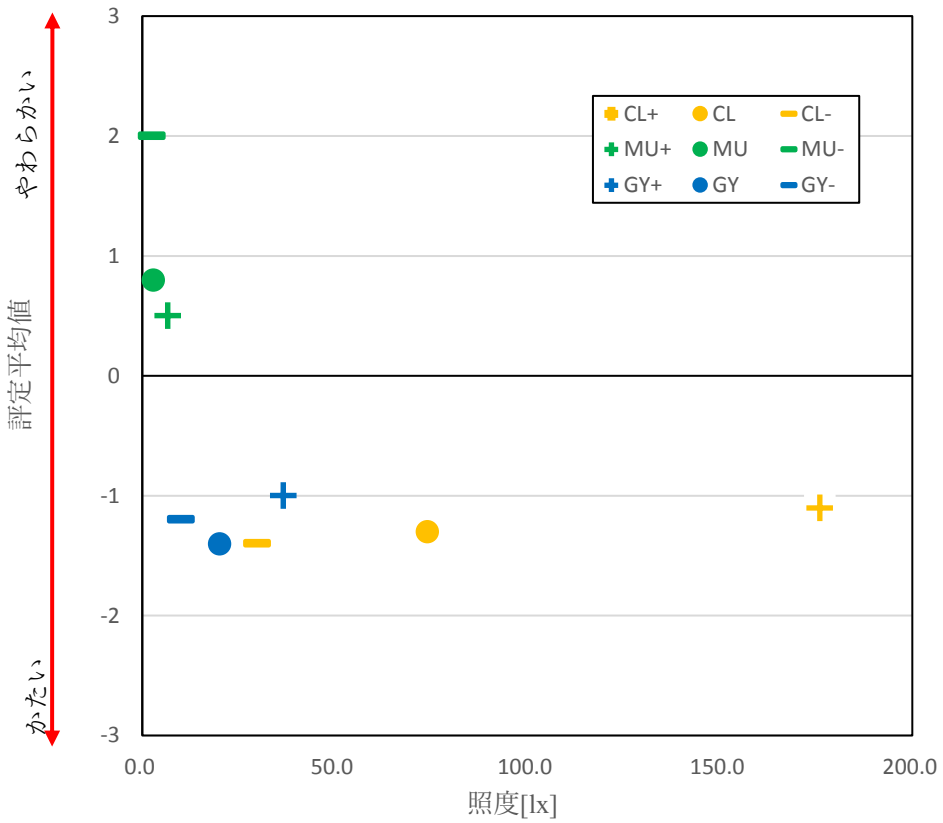


図 4-5 視覚刺激の単一提示における3段階の照度に対する「空間のかたさ」の評定平均値

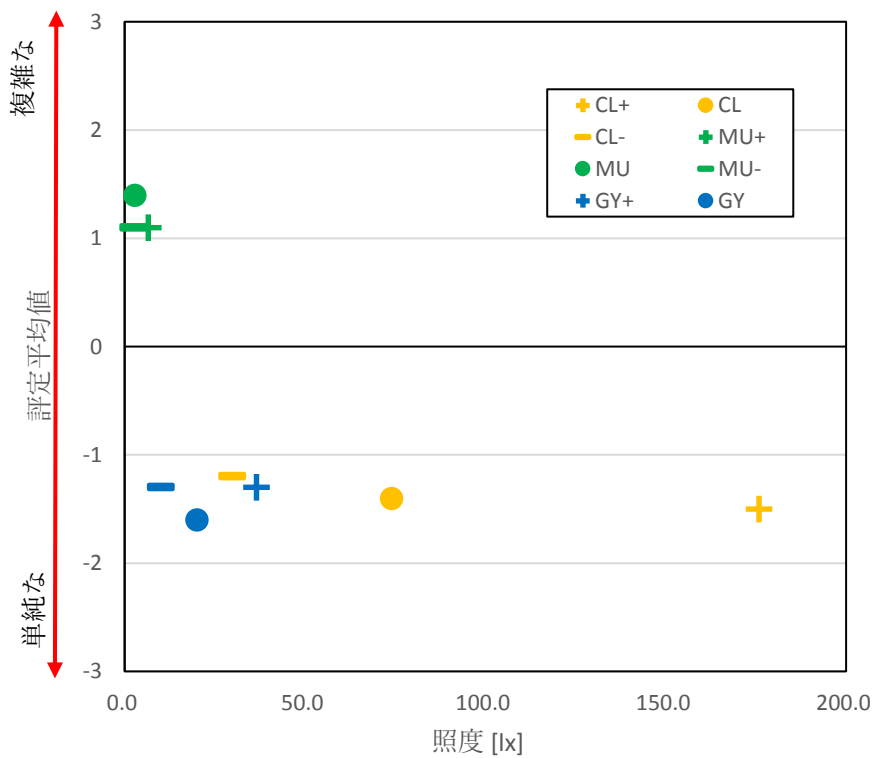


図 4-6 視覚刺激の単一提示における3段階の照度に対する「空間の複雑さ」の評定平均値

4-3-1-2 聴覚刺激の単一提示主観評価の結果・分析

聴覚刺激の単一提示における主観評価項目を因子数 3 で因子分析を行った結果を表 4-10, 4-11 に示す。音の残響時間に関係があると考えられる因子 1 を「広さ因子」、音の響きから判断することが難しく視覚との結びつきが強いと思われる因子 2 を「視覚因子」、空間の形状に関係があると考えられる因子 3 を「表面性状因子」とした？。

図 4-7~4-13 はそれぞれ、聴覚刺激の単一提示における残響時間 (T_{30}) に対する「残響感/響きの長さ/明るさ/親しみやすさ/暖かさ」、「空間の広さ/かたさ」の評定平均値を示す。「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が増加するが、残響時間 2.0s 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 の間で有意差は認められなかった。

「響きの長さ」は、残響時間が長くなるにつれて評定平均値が増加する。また、「残響感」同様にはほぼ同じ残響時間を持つ実測 IR と編集 IR の間で有意差は認められなかった。

「響きの明るさ/親しみやすさ/暖かさ」、「空間のかたさ」は、残響時間による評定平均値の変動に有意差が認められず、実測 IR と編集 IR の間にも有意差は認められなかった。これらの主観評価項目は、響きのみで判断することが難しく、視覚情報から受ける印象に依存して評価された可能性がある。

「空間の広さ」は、聴覚刺激だけを提示した際にその音が鳴っている空間の広さを予想させて回答させた。「空間の広さ」の評価傾向は「残響感」と近似している。表 4-11 から、「残響感」、「響きの長さ」、「空間の広さ」は同一因子に分類され、聴覚情報のみから空間の広さを判断する際には「残響感」などと同一の基準で評価されていることが示唆された。

表 4-10 聴覚刺激の単一提示における因子分析結果の固有値・寄与率・累積寄与率

因子 No.	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.60	32.51%	32.51%
2	2.34	29.22%	61.74%
3	0.63	7.93%	69.67%

表 4-11 聴覚刺激の単一提示における因子分析結果

主観評価項目	因子1	因子2	因子3
残響感	0.984	0.174	0.026
響きの長さ	0.829	0.180	0.271
空間の広さ	0.820	0.078	0.138
響きの暖かさ	0.130	0.834	0.271
響きの親しみやすさ	0.154	0.791	0.082
響きの明るさ	0.134	0.780	-0.011
空間のかたさ	0.076	0.521	0.333
響きの複雑さ	0.456	0.263	0.592

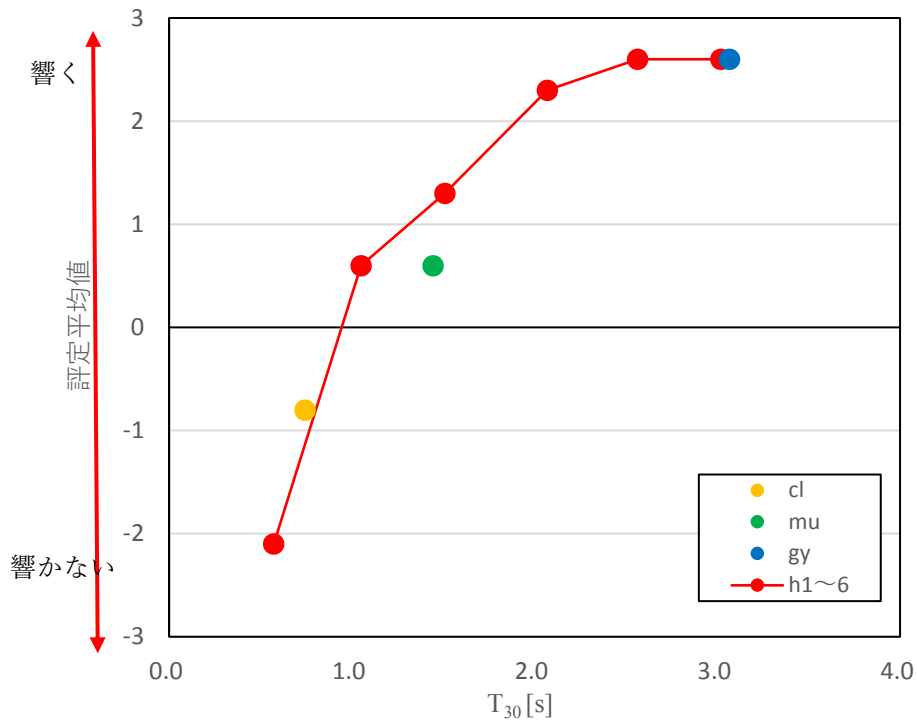


図 4-7 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「残響感」の評定平均値

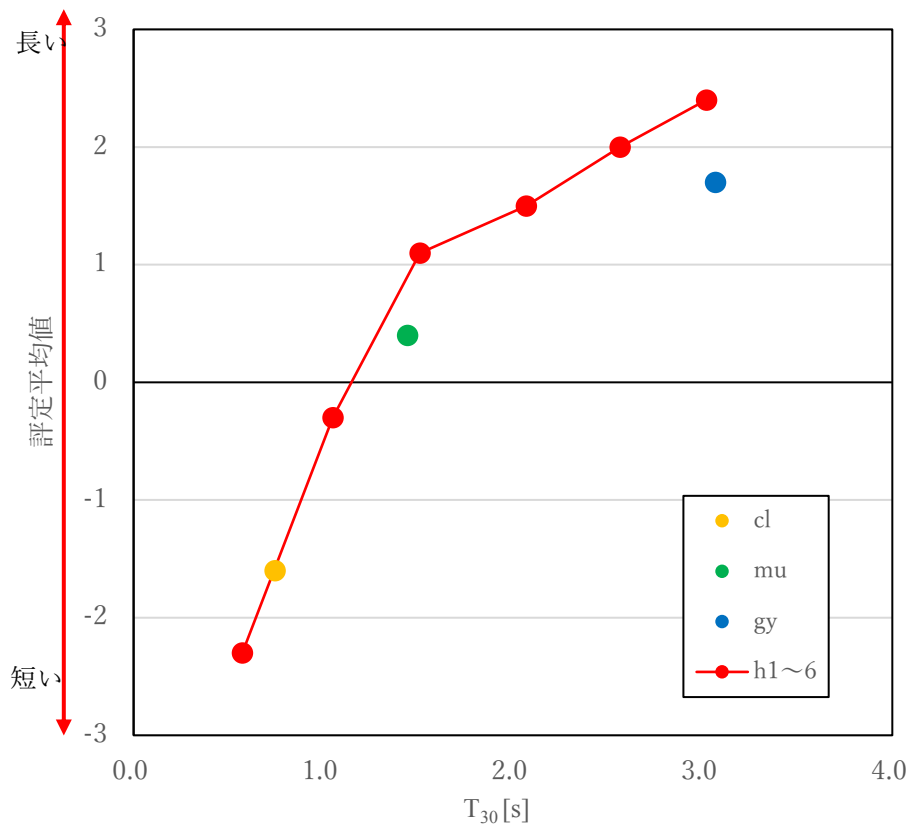


図 4-8 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの長さ」の評定平均値

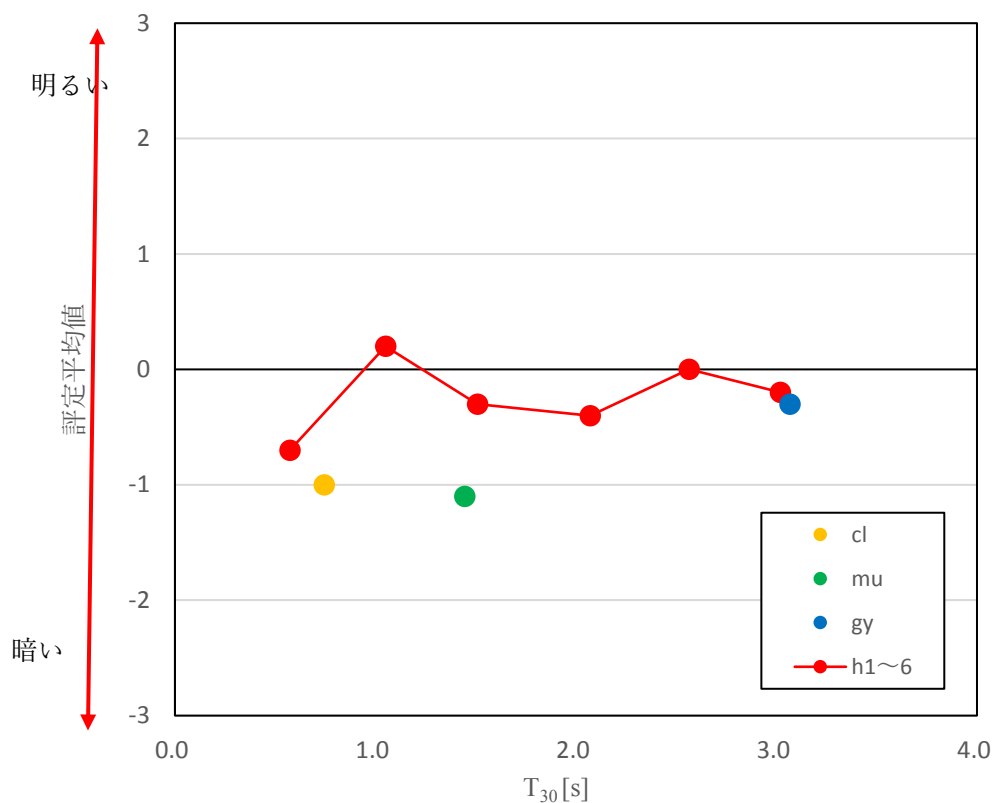


図 4-9 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの明るさ」の評定平均値

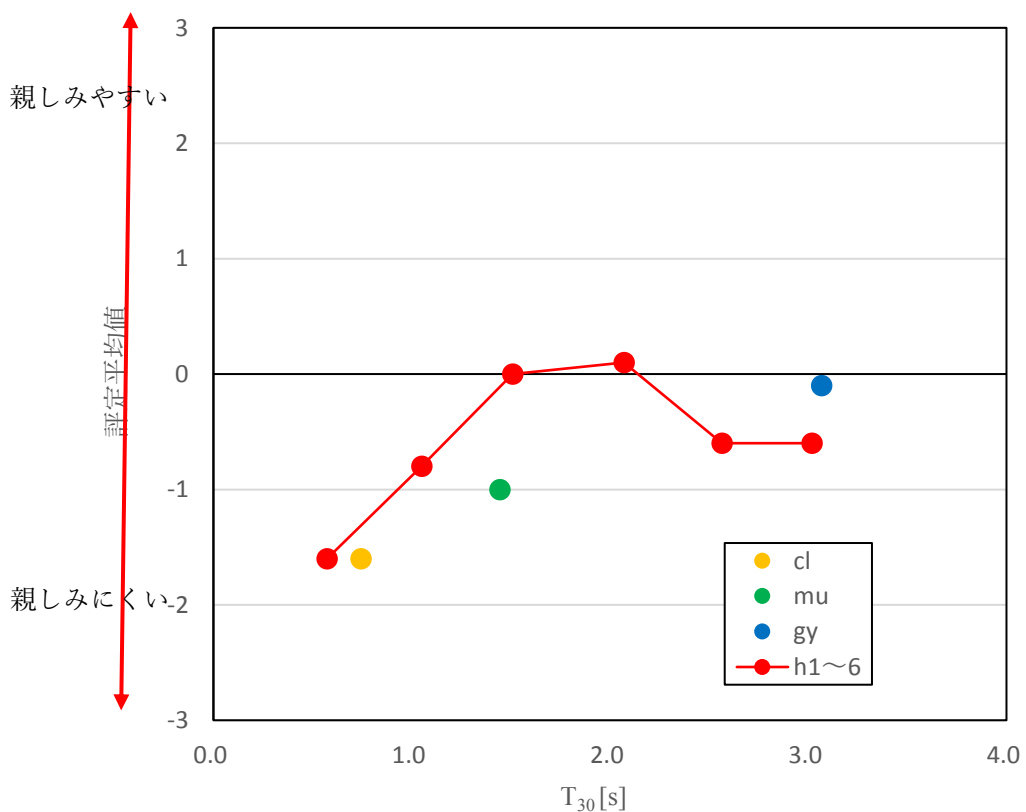


図 4-10 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの親しみやすさ」の評定平均値

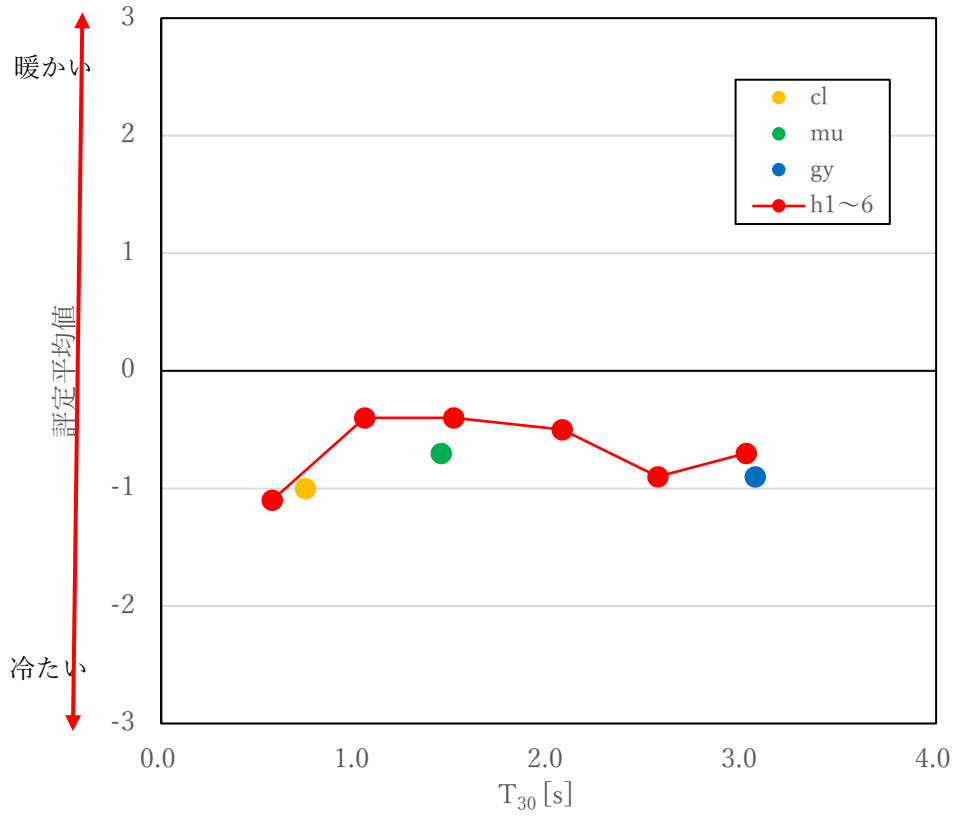


図 4-11 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの暖かさ」の評定平均値

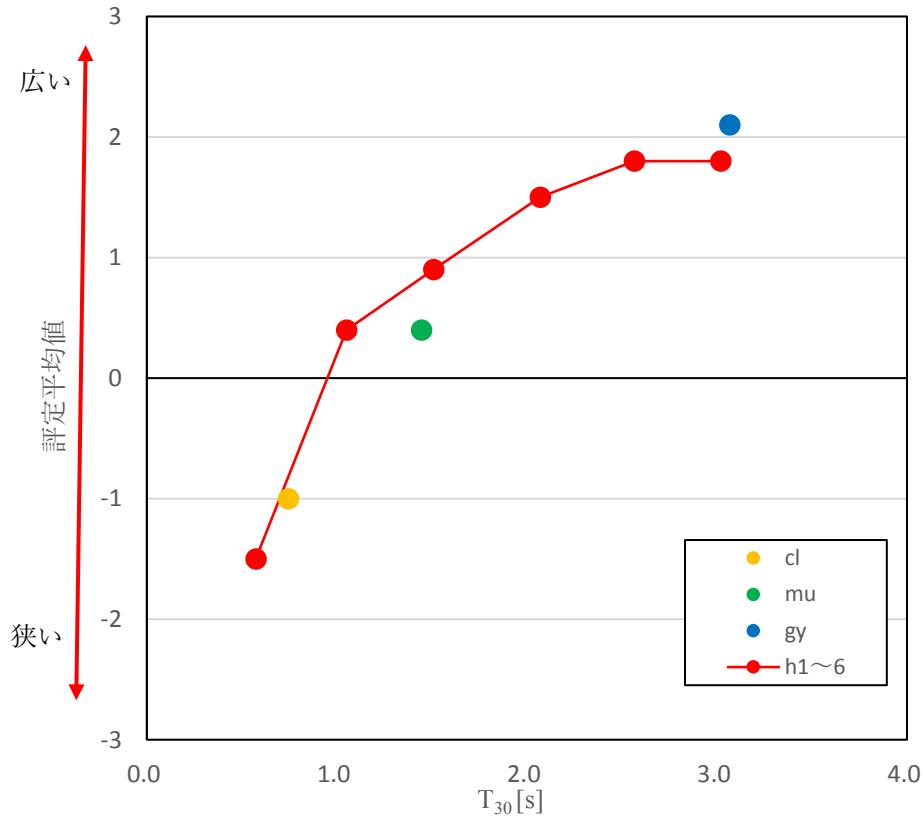


図 4-12 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「空間の広さ」の評定平均値

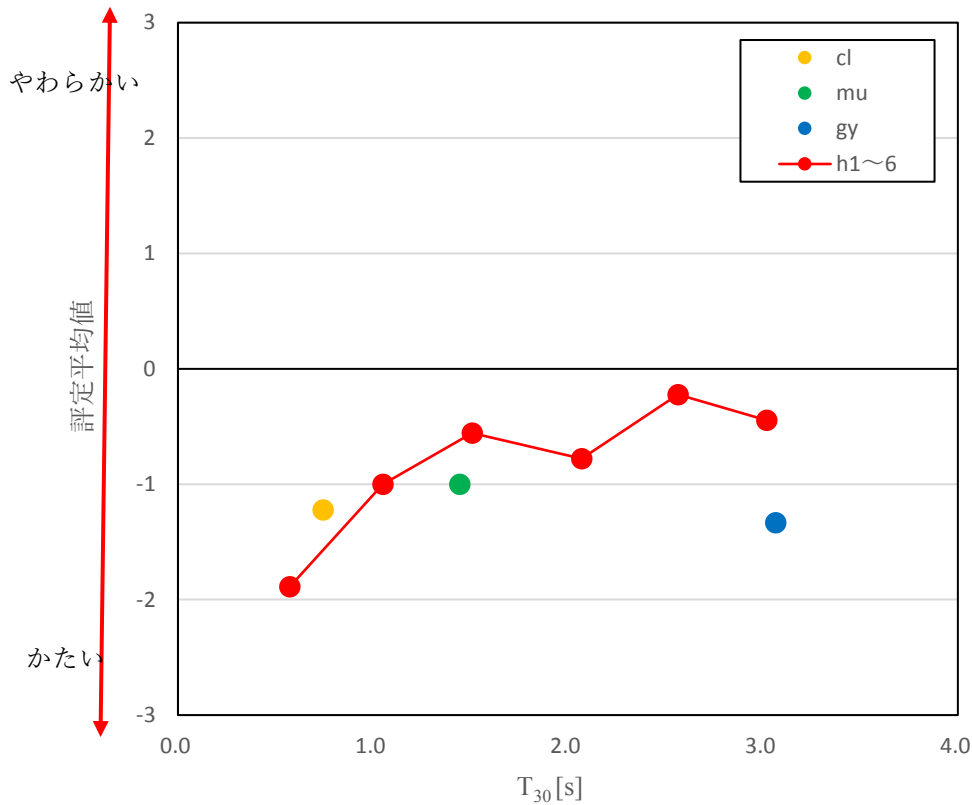


図 4-13 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「空間のかたさ」の評定平均値

4-3-1-3 視聴覚刺激の同時提示と視覚または聴覚刺激の単一提示の主観評価結果の比較

視聴覚刺激の同時提示における主観評価項目を因子数 3 で因子分析を行った結果を表 4-12, 13 に示す。因子 1 には響きに対する主観評価項目のみが抽出され、聴覚優位の評価基準を持つ「聴覚因子」とした。因子 2 には視覚と聴覚に通様相性のある「明るさ」や「親しみやすさ」、「暖かさ」に対する主観評価項目が抽出され、視覚と聴覚の両方の評価基準を持つ「視聴覚共通因子」とした。この因子に抽出された主観評価項目については、視覚と聴覚の“共鳴現象”が生じる可能性がある。因子 3 には「空間の複雑さ/かたさ」が抽出され、視覚優位の評価基準を持つ「視覚因子」とした。

表 4-12 視聴覚刺激の同時提示における因子分析結果の固有値・寄与率・累積寄与率

因子 No.	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.67	22.22%	22.22%
2	2.25	18.75%	40.98%
3	1.06	8.80%	49.78%

表 4-13 視聴覚刺激の同時提示における因子分析結果

主観評価項目	因子1	因子2	因子3
残響感	0.932	0.130	0.026
響きの長さ	0.904	0.110	0.016
響きの複雑さ	0.562	0.179	0.138
空間の親しみやすさ	0.179	0.637	0.066
空間の明るさ	0.002	0.597	-0.230
響きの暖かさ	0.422	0.589	0.088
空間の暖かさ	-0.001	0.566	0.393
響きの親しみやすさ	0.380	0.537	0.048
響きの明るさ	0.403	0.533	0.029
空間の複雑さ	0.046	-0.257	0.625
空間のかたさ	0.078	0.172	0.568
空間の広さ	0.375	0.301	0.316

以下に、視聴覚刺激の同時提示時の残響時間（ T_{30} ）に対する各評価項目における評定平均値を空間毎に列挙する。+, ●, -のマーカは、視覚刺激の照度に対応している。同時提示時の評定平均値は、視覚刺激と実測 IR の組み合わせは黒色のマーカ、視覚刺激と編集 IR の組み合わせは空間毎の色（空間 CL は黄色、空間 MU は緑色、空間 GY は青色）の折れ線で示される。視覚刺激の単一提示時の評定平均値は赤色の平行線、聴覚刺激の単一提示時の評定平均値は赤色の折れ線（マーカ：□）で示される。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間（ T_{30} ）に対する「残響感」の評定平均値を空間毎に図 4-14～4-16 に示す。「残響感」の評定平均値は、聴覚刺激の単一提示と比較して視聴覚刺激の同時提示の方がやや小さくなったが、提示条件の違いによる有意差はほぼ全ての刺激において認められなかった。視覚刺激の単一提示の評価結果と比較すると、照度に関係なく CL&h3～6、MU&h1, 2、GY&h1, 2 という空間本来の響きの残響時間と異なる組み合わせの間で有意差が認められるという妥当な結果が得られた。視覚情報のみからの「残響感」の印象の予測は、聴覚刺激が空間の反射音構造を内包した IR である視聴覚刺激の同時提示の評価結果と同様になる事から、被験者は映像を見たときの反射音構造から予測をしていると推察される。しかし、空間 MU では本来の組み合わせである MU&mu で照度に関係なく有意差が認められている。空間 MU における「残響感」の印象は、本来の音場の響きの印象より、視覚情報のみの方が“豊か”に予測される。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間（ T_{30} ）に対する「響きの長さ」の評定平均値を空間毎に図 4-17～4-19 に示す。「響きの長さ」の評定平均値は、視聴覚刺激の同時提示と聴覚刺激の単一提示でほぼ同じ値となり、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。「残響感」と「響きの長さ」は評価傾向が近似しており、IR そのものを評価させた場合には視覚情報による影響は小さく、聴覚優位の評価なされることが示唆された。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間（ T_{30} ）に対する「空間の明るさ」の評定平均値を空間

毎に図 4-20～4-22 に示す。「空間の明るさ」の評定平均値は、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ず、視覚刺激の照度の印象が IR の影響を受けるという結果は得られなかった。空間 MU については、視覚刺激の単一提示より視聴覚刺激の同時提示の方が評定平均値が大きく、視覚印象と聴覚印象が互いの印象を強め合う“共鳴現象”が生じやすい空間である可能性がある。元々が暗い空間??では明るい空間より聴覚印象の影響を受け易いと推察された。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「響きの明るさ」の評定平均値を空間毎に図 4-23～4-25 に示す。「空間の明るさ」の評定平均値は、提示条件の違いによる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、視聴覚刺激の同時提示が聴覚刺激の単一提示を上回る傾向が見られた。その傾向は聴覚刺激の残響時間が長いほど顕著となった。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「空間の広さ」の評定平均値を空間毎に図 4-26～28 に示す。視聴覚刺激の同時提示における「空間の広さ」は、視覚刺激のみに対する評価と聴覚刺激からイメージする予想を総合的に判断しており、他の主観評価項目とは異なる傾向となった。全ての空間で照度に関係なく、残響時間が比較的短い聴覚刺激との組み合わせ (X&h1, h2) において、視覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の評定平均値間に有意差が認められる傾向が見られた。さらに、照度に関係なく、空間 CL は比較的長い残響時間を持つ聴覚刺激の組み合わせ (CL&h4～6)、空間 MU, GY は比較的短い残響時間を持つ聴覚刺激の組み合わせ (MU または GY&h1, 2) において、聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の評定平均値間に有意差が認められる傾向が見られた。

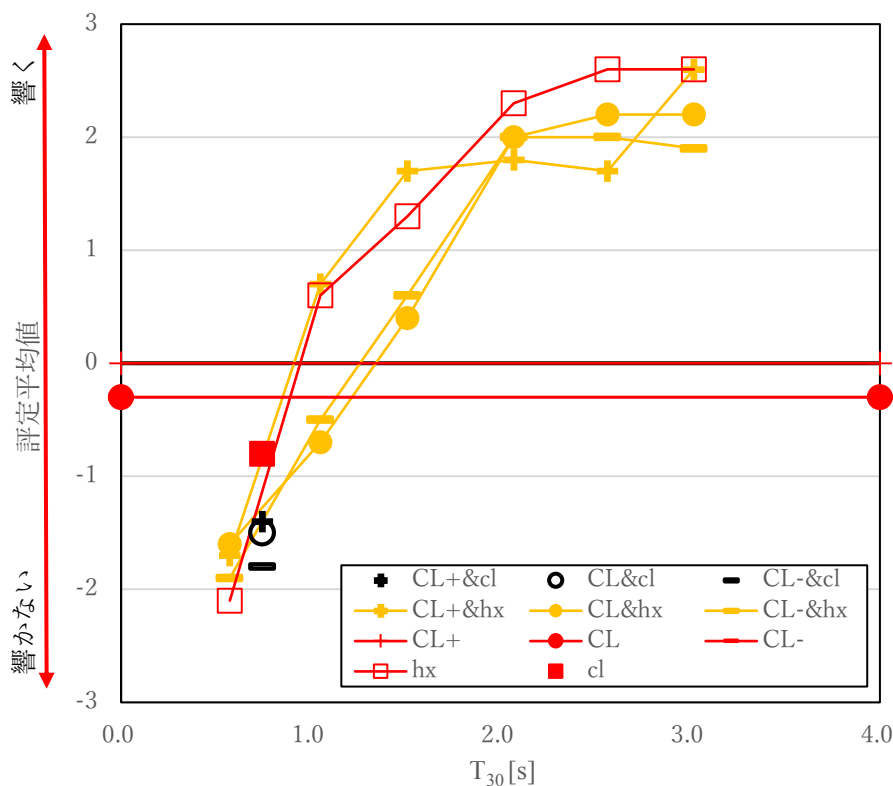


図 4-14 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「残響感」の評定平均値

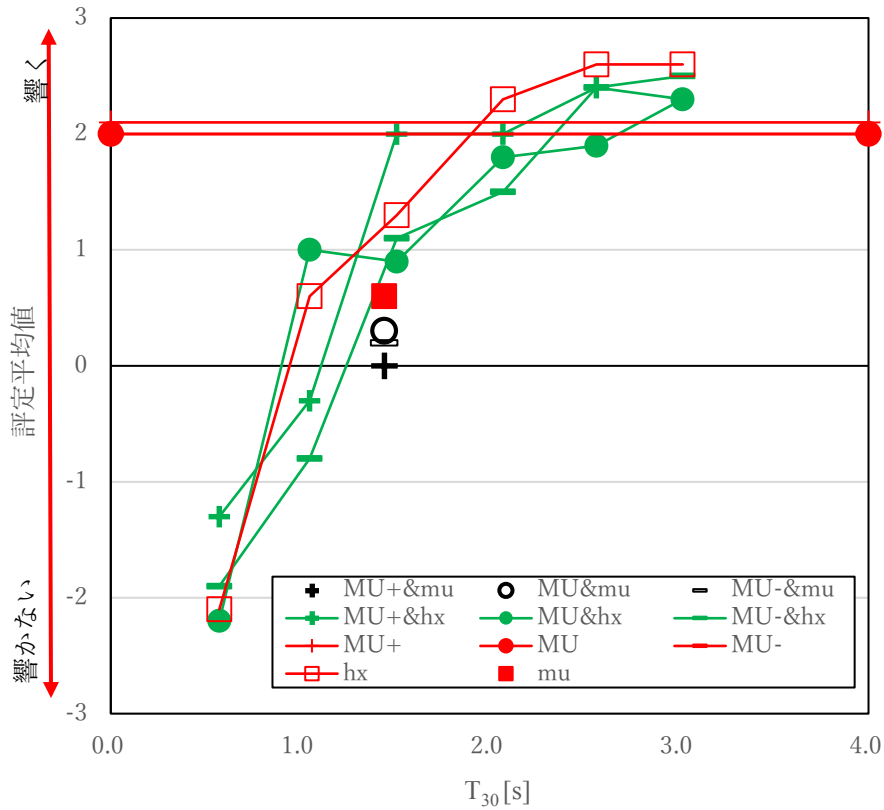


図 4-15 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「残響感」の評定平均値

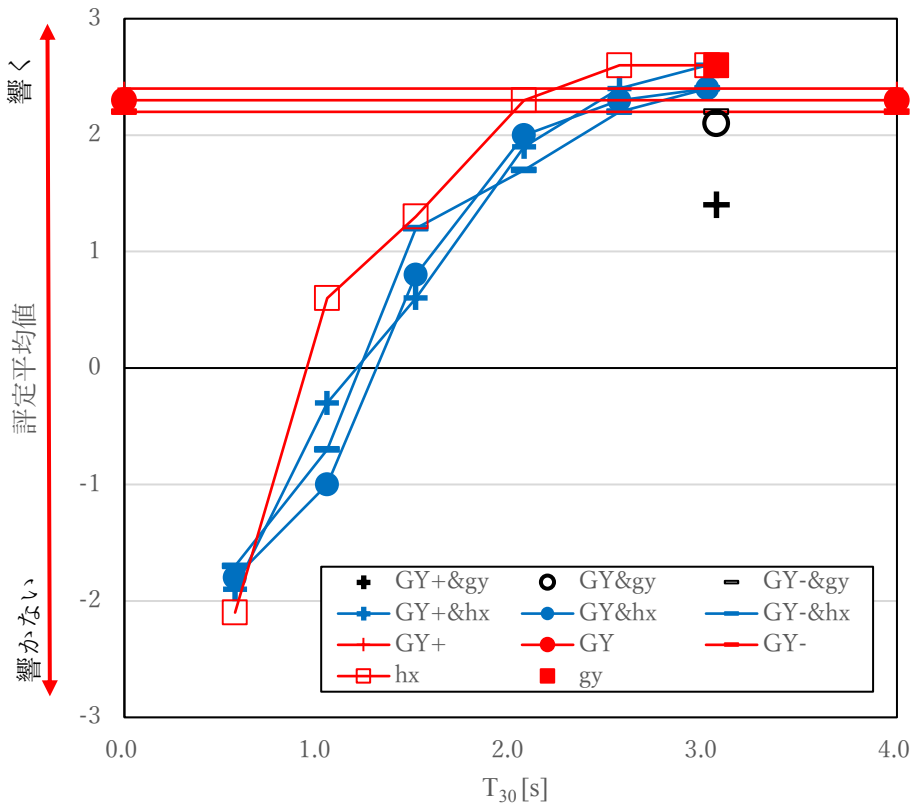


図 4-16 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「残響感」の評定平均値

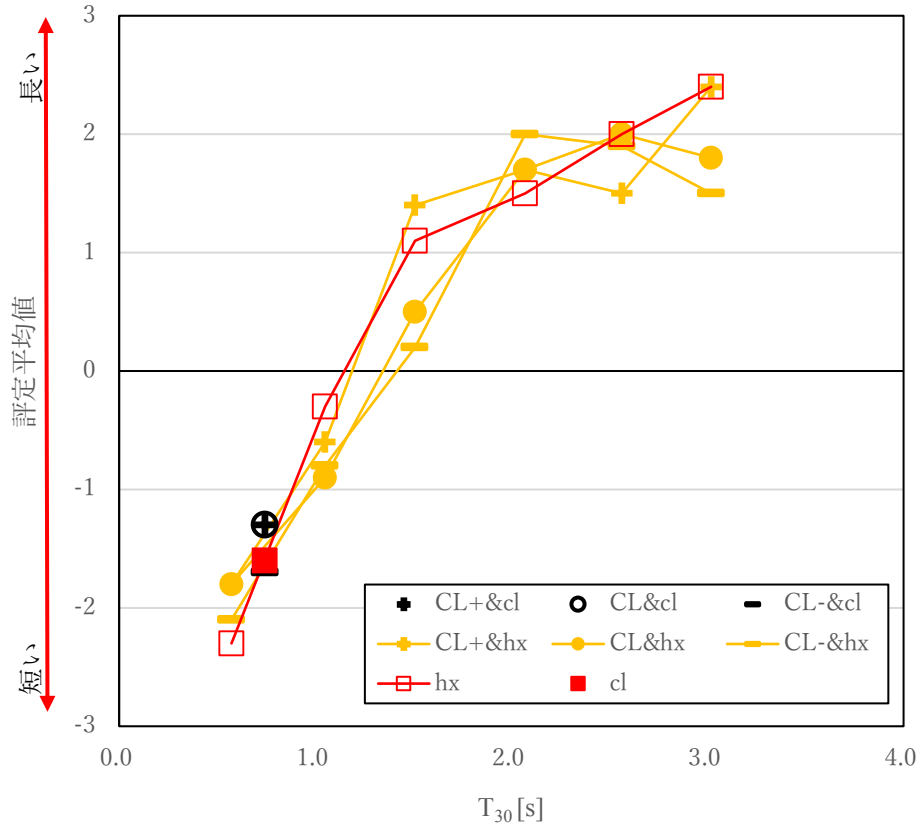


図 4-17 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「響きの長さ」の評定平均値

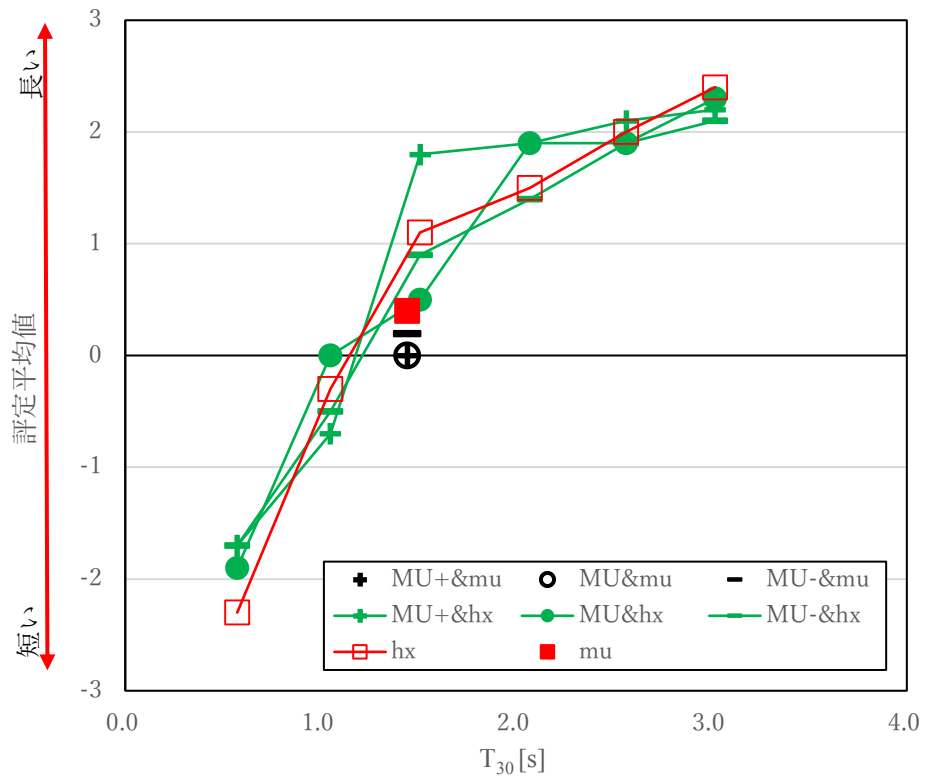


図 4-18 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの長さ」の評定平均値

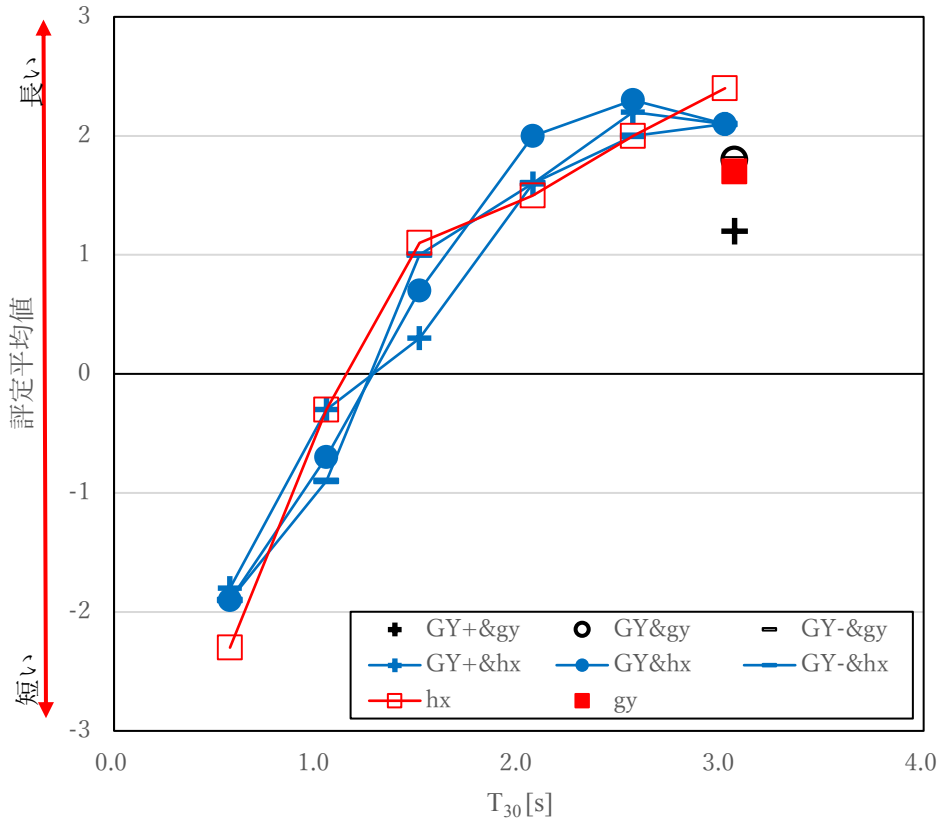


図 4-19 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間GYの「響きの長さ」の評定平均値

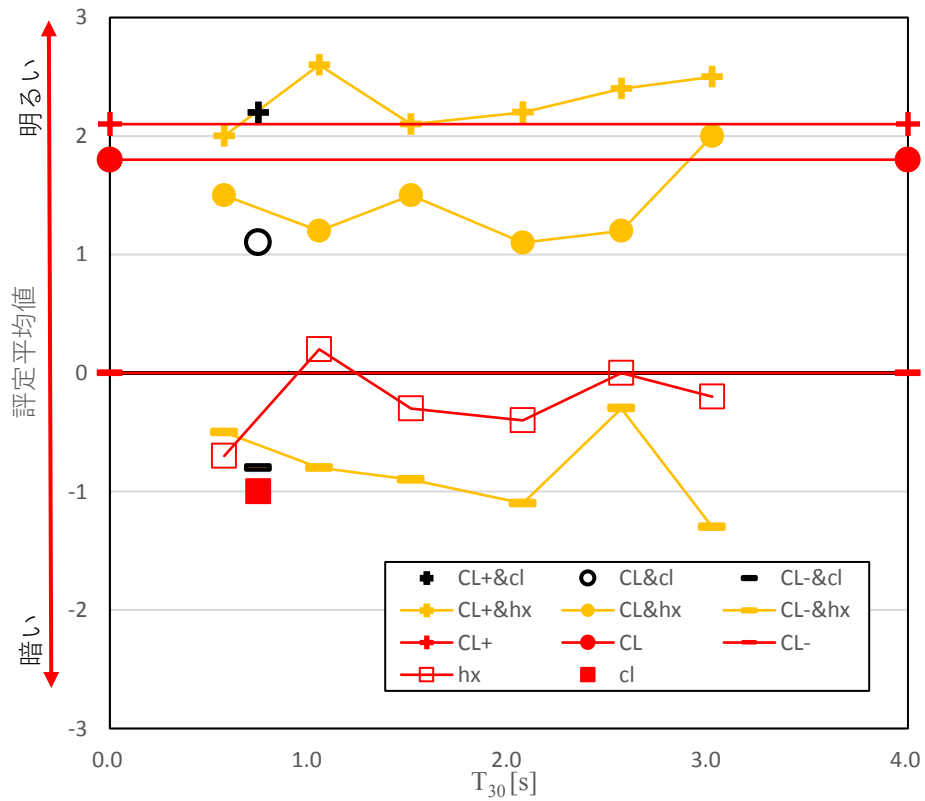


図 4-20 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間CLの「空間の明るさ」の評定平均値

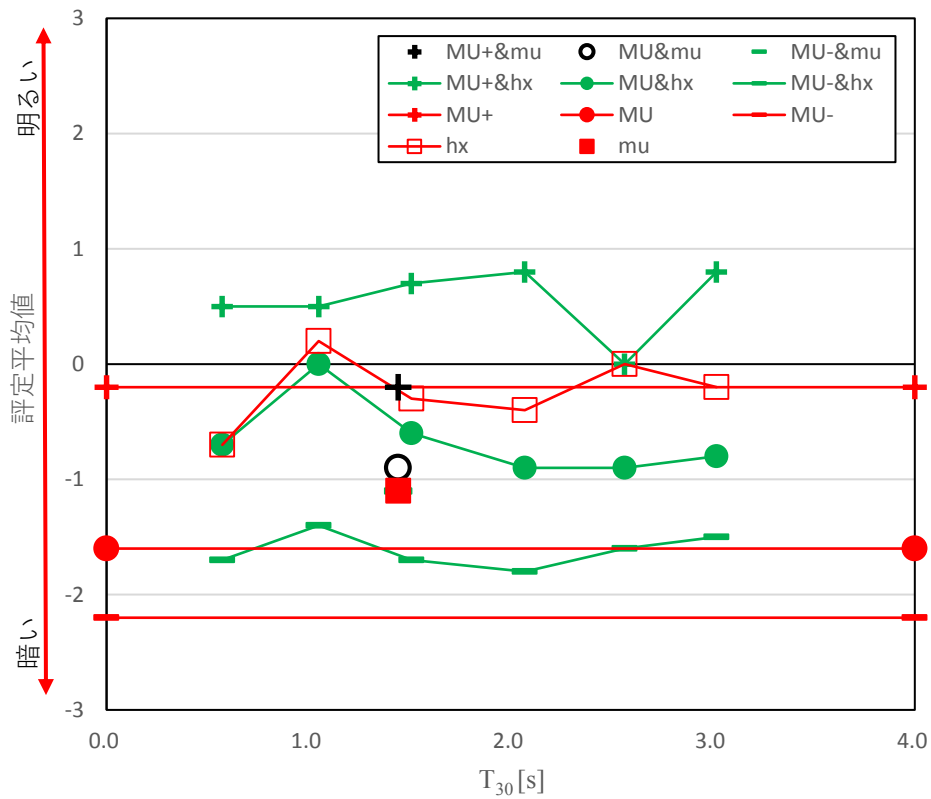


図 4-21 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「空間の明るさ」の評定平均値

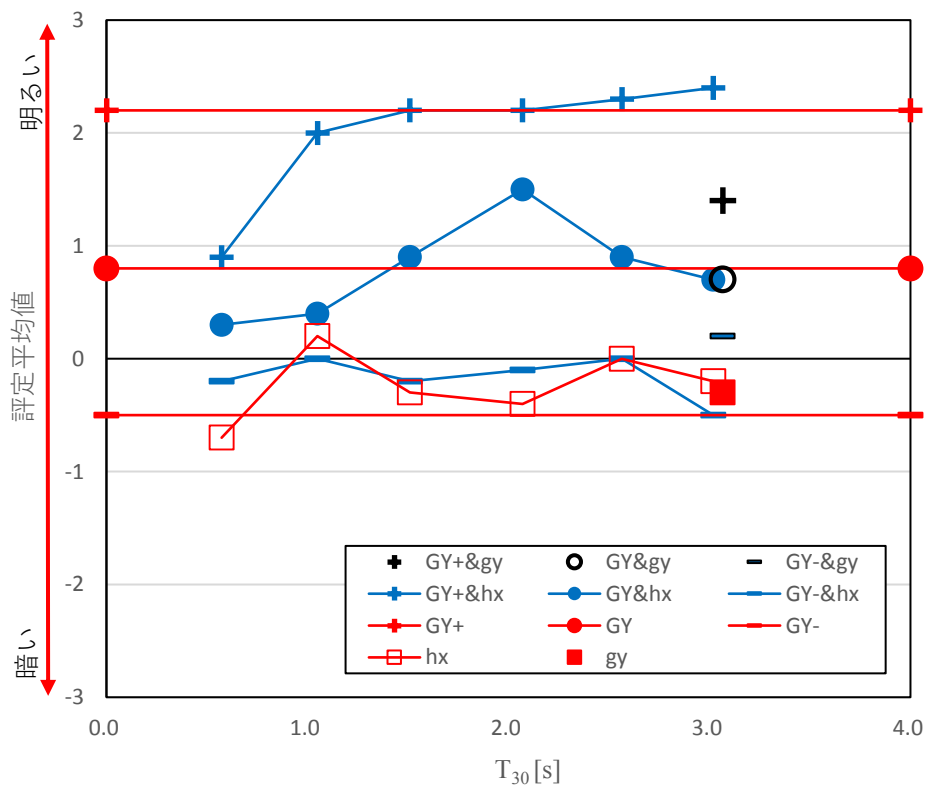


図 4-22 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「空間の明るさ」の評定平均値

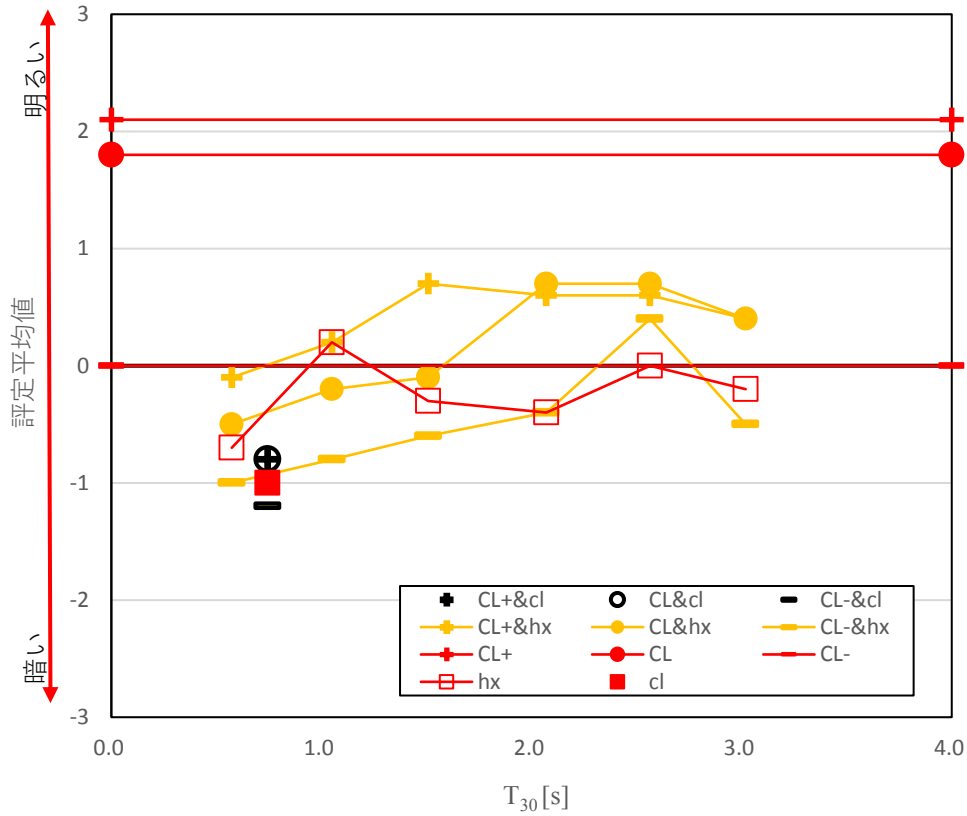


図 4-23 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「響きの明るさ」の評定平均値

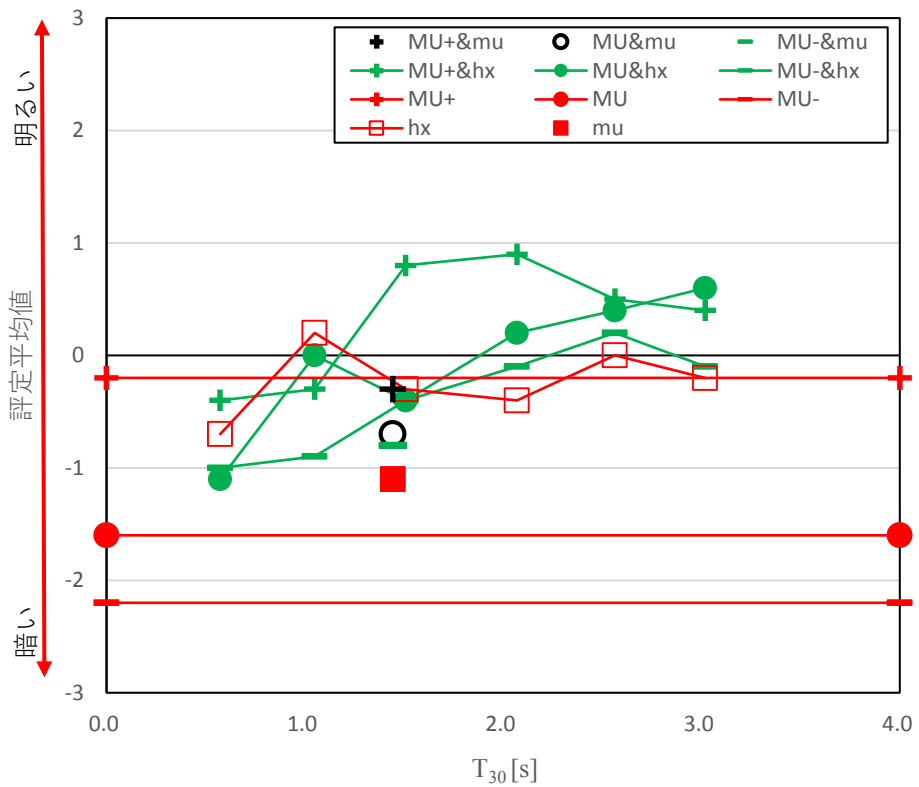


図 4-24 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの明るさ」の評定平均値

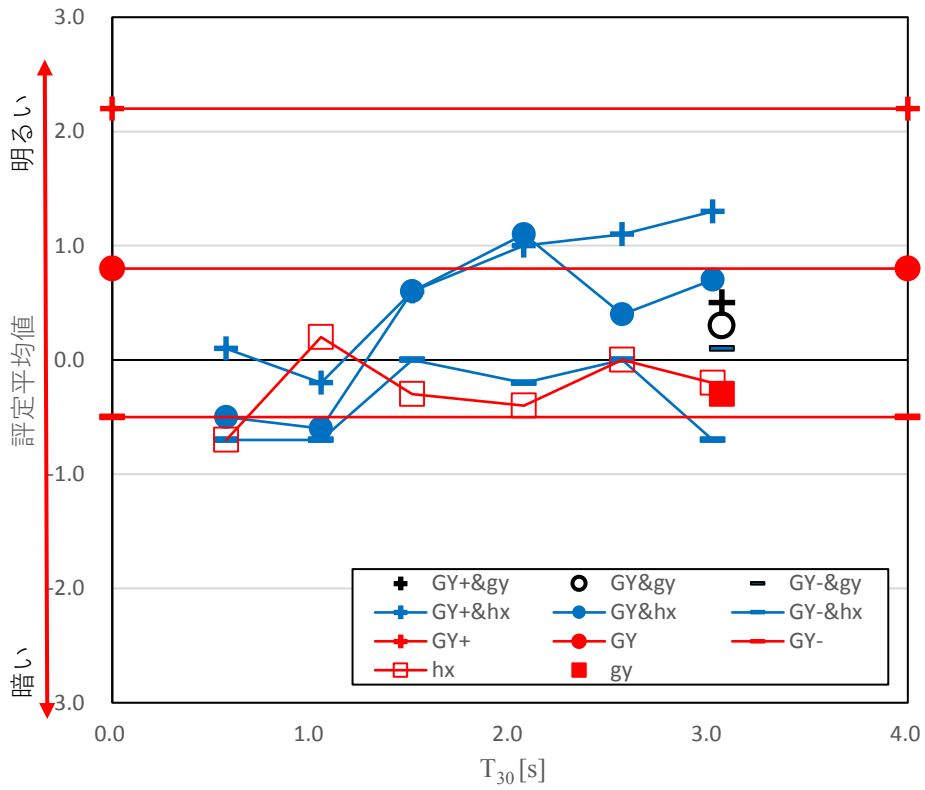


図 4-25 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「響きの明るさ」の評定平均値

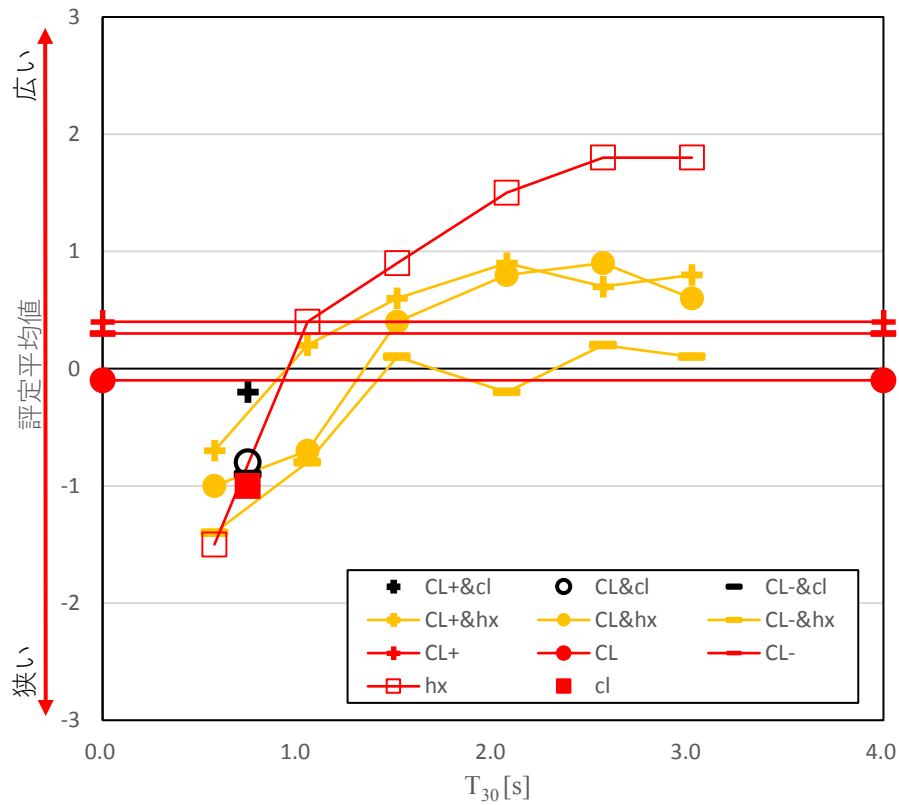


図 4-26 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「空間の広さ」の評定平均値

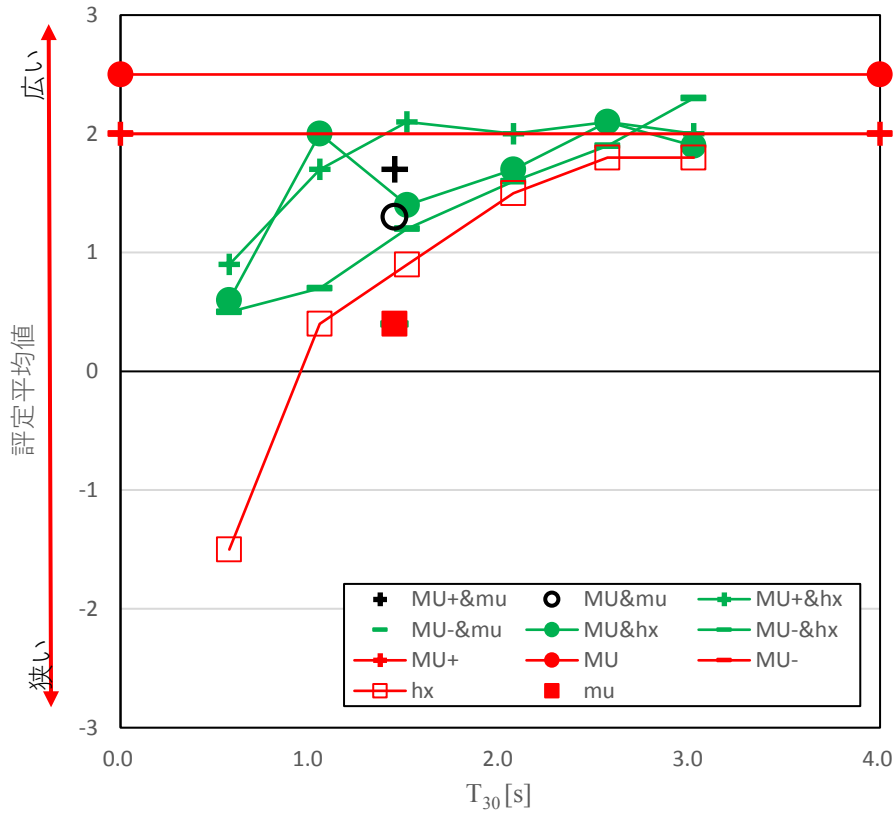


図 4-27 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「空間の広さ」の評定平均値

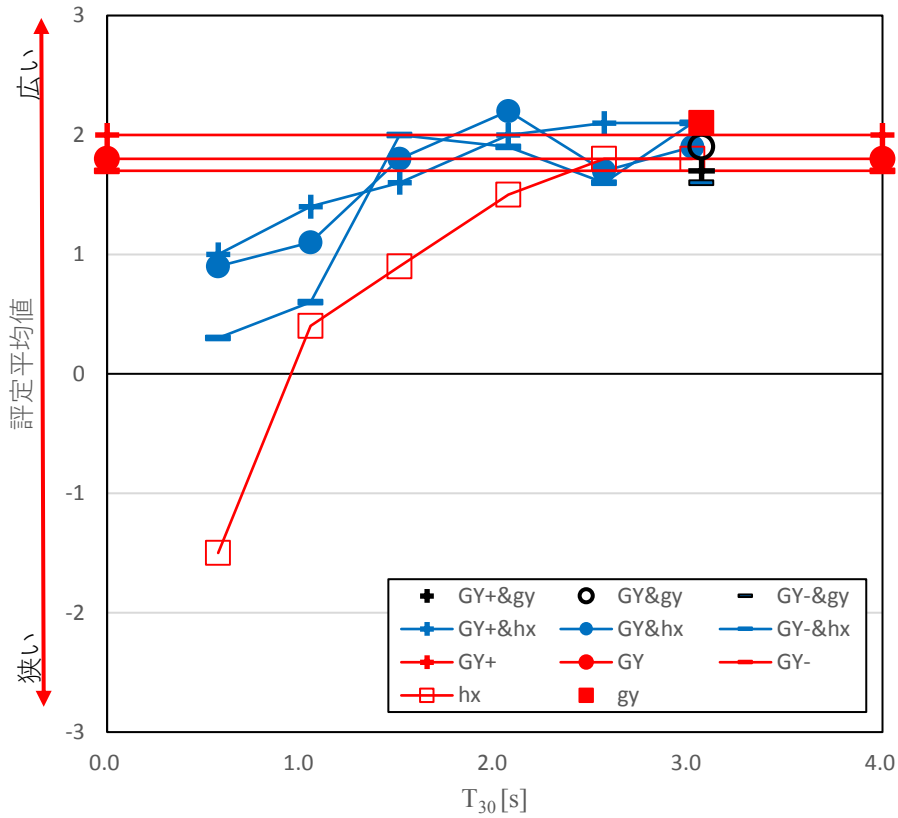


図 4-28 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「空間の広さ」の評定平均値

4-3-2 シリーズ Cm の主観評価の結果・分析

4-3-2-1 聴覚刺激の単一提示の主観評価の結果・分析

聴覚刺激の単一提示における主観評価項目を因子数 3 で因子分析を行った結果を表 4-14, 4-15 に示す。因子 1 には聴覚に関する主観評価項目が多く抽出され、「広さ（残響）因子」とした。因子 2 にはシリーズ Ci の結果より響きのみで評価することが難しく、視覚との結びつきが強いと思われる主観評価項目が抽出され、「視覚因子」とした。因子 3 には「空間のかたさ」のみが抽出され、「表面性状因子」とした。

表 4-14 聴覚刺激の単一提示における因子分析結果の固有値・寄与率・累積寄与率

因子 No.	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.71	33.93%	33.93%
2	2.25	28.11%	62.04%
3	1.04	13.02%	75.06%

表 4-15 聴覚刺激の単一提示における因子分析結果

主観評価項目	因子1	因子2	因子3
響きの長さ	0.887	0.226	0.182
残響感	0.861	0.219	0.217
空間の広さ	0.684	0.398	0.252
響きの複雑さ	0.558	0.418	0.379
響きの明るさ	0.234	0.867	0.113
響きの暖かさ	0.322	0.741	0.312
響きの親しみやすさ	0.215	0.559	0.325
空間のかたさ	0.450	0.451	0.734

図 4-29 に示す「残響感」の評定平均値は、残響時間が長くなるにつれて大きくなり、残響時間が 1.0 s を超えるとやや小さくなる傾向が見られる。楽音における「残響感」の弁別について、残響時間が 1.0 s を超えると被験者が弁別不可能になる可能性が示唆された。

図 4-30 に示す「響きの長さ」の評定平均値は、聴覚刺激の残響時間が 0.5 s と 1.0 s 以上の間で有意差が認められたが、1.0 s を超えると評定平均値の有意な変動が認められず、ほぼ同じ評価結果となった。楽音における「響きの長さ」の弁別について、残響時間が 1.0 s を超えると被験者が弁別不可能になる可能性が示唆された。図 4-29～4-31 に示す「残響感」と「響きの長さ」、「空間の広さ」は近似した評価傾向が見られた。聴覚情報のみから空間の広さを予想するとき、「残響感」と共通する評価基準があることが示唆された。

図 4-32～4-34 に示す「響きの明るさ/暖かさ/親しみやすさ」は、聴覚刺激の残響時間に対する評定平均値の有意な変動が認められなかった。

図 4-35 に示す「空間のかたさ」は、聴覚刺激の残響時間に対する評定平均値は有意な変動が認

められた。残響時間 1.5~2.5 s で“やわらかい”、短いまたは長い響き（残響時間 0.5 s, 3.0 s）で“かたい”材質と評価された。

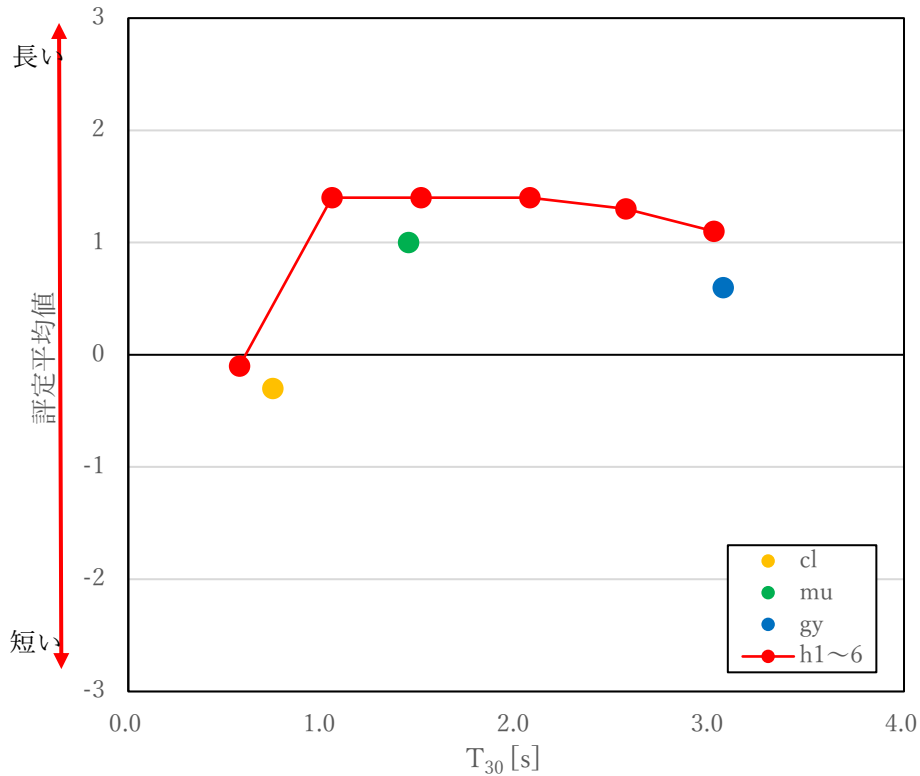


図 4-29 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの長さ」の評定平均値

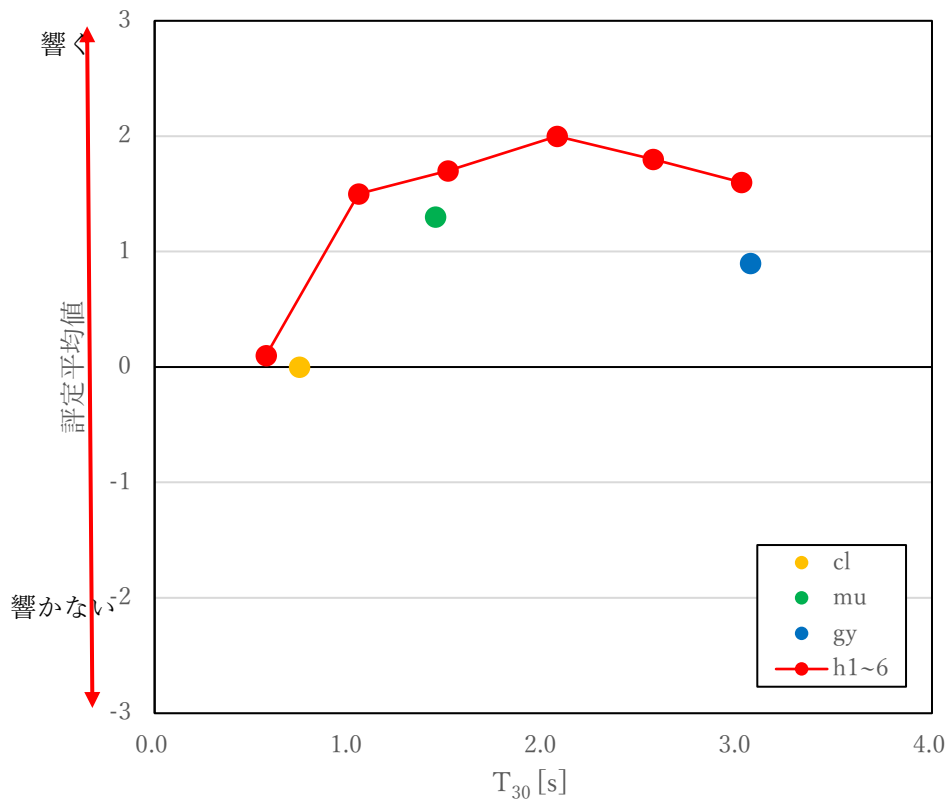


図 4-30 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「残響感」の評定平均値

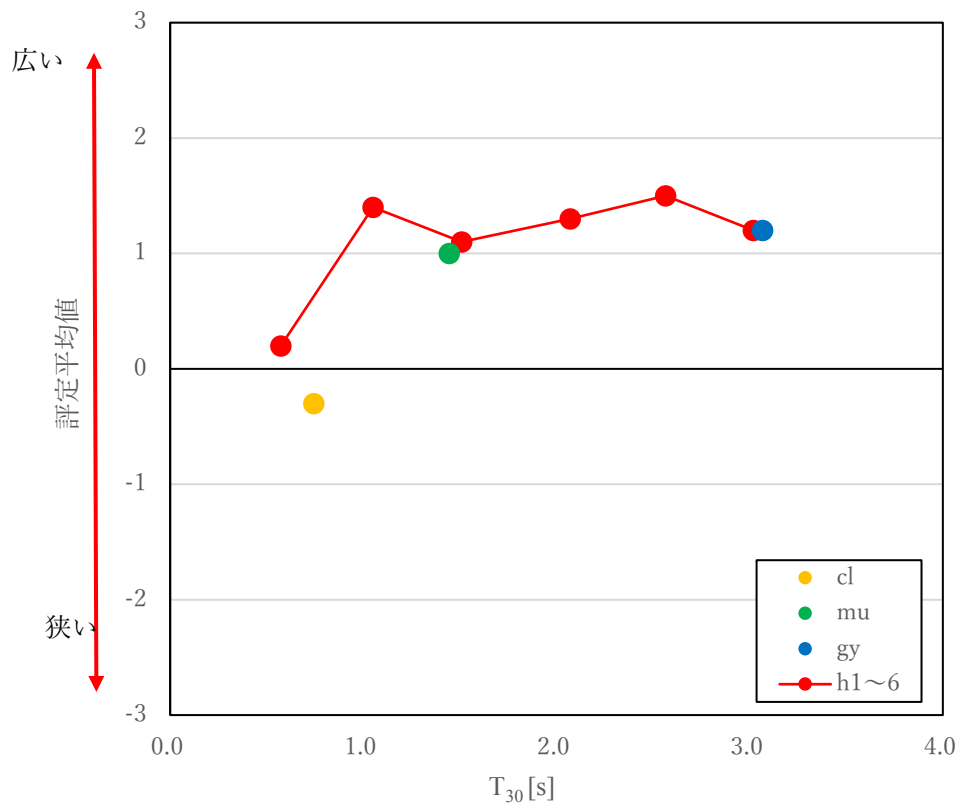


図 4-31 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「空間の広さ」の評定平均値

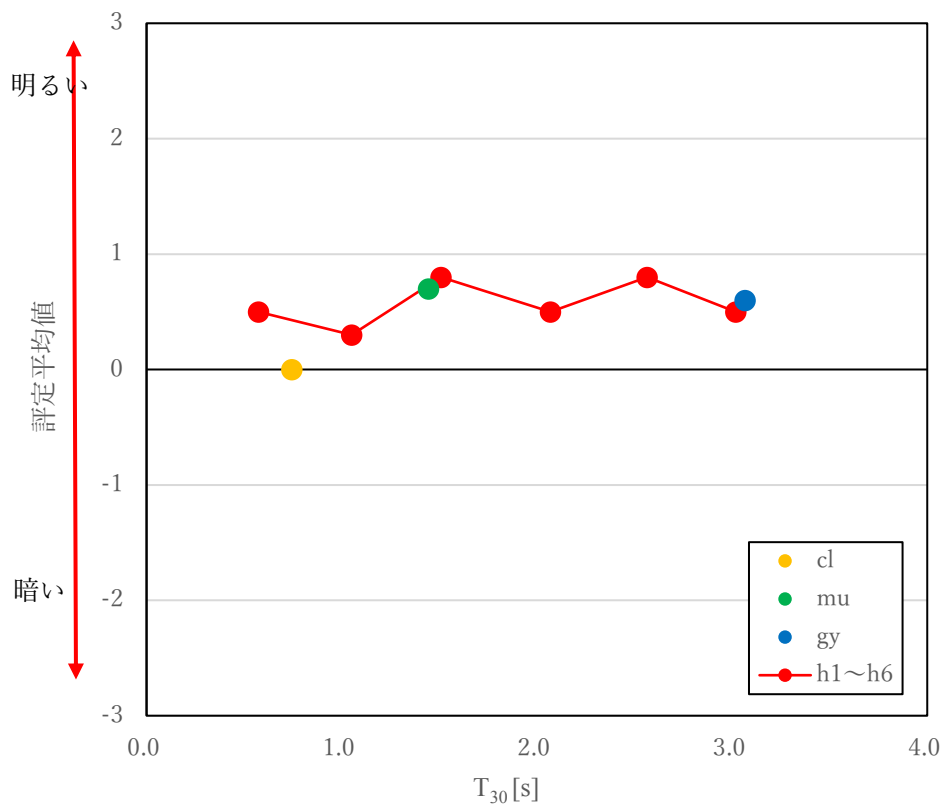


図 4-32 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの明るさ」の評定平均値

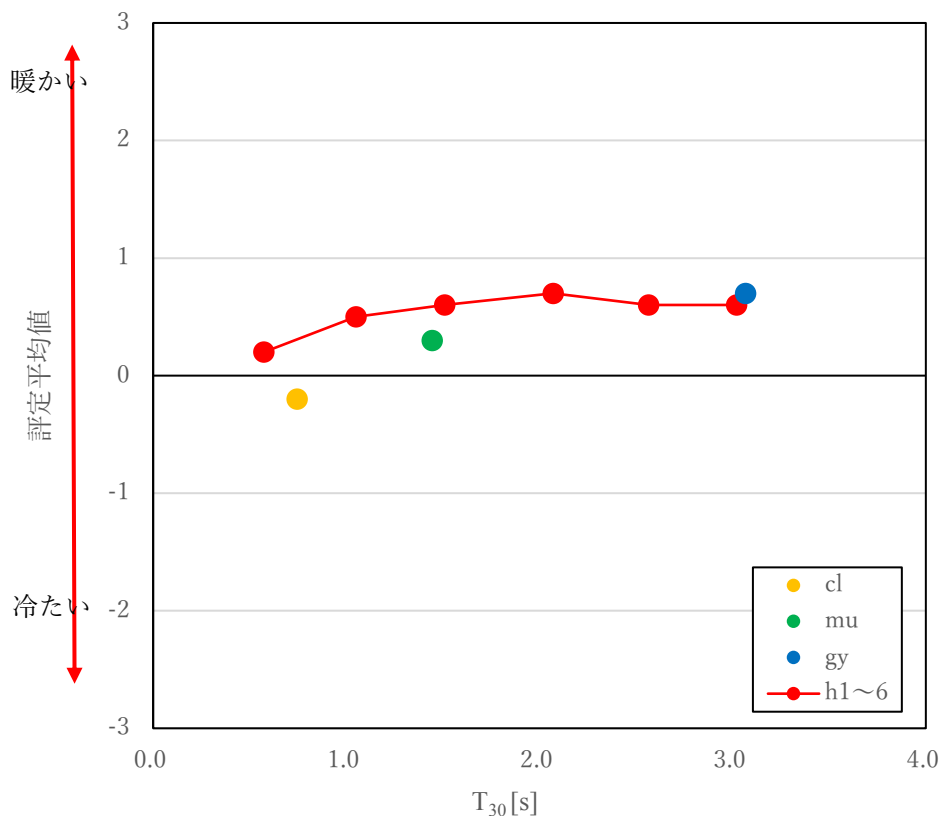


図 4-33 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの暖かさ」の評定平均値

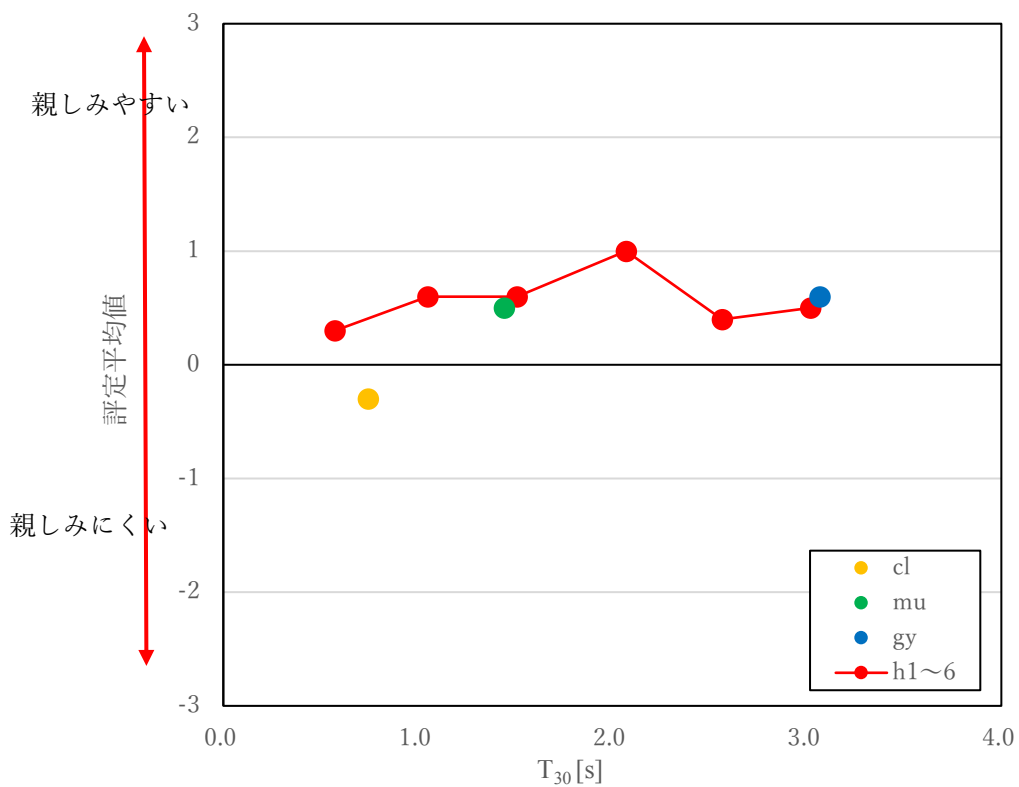


図 4-34 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの親しみやすさ」の評定平均値

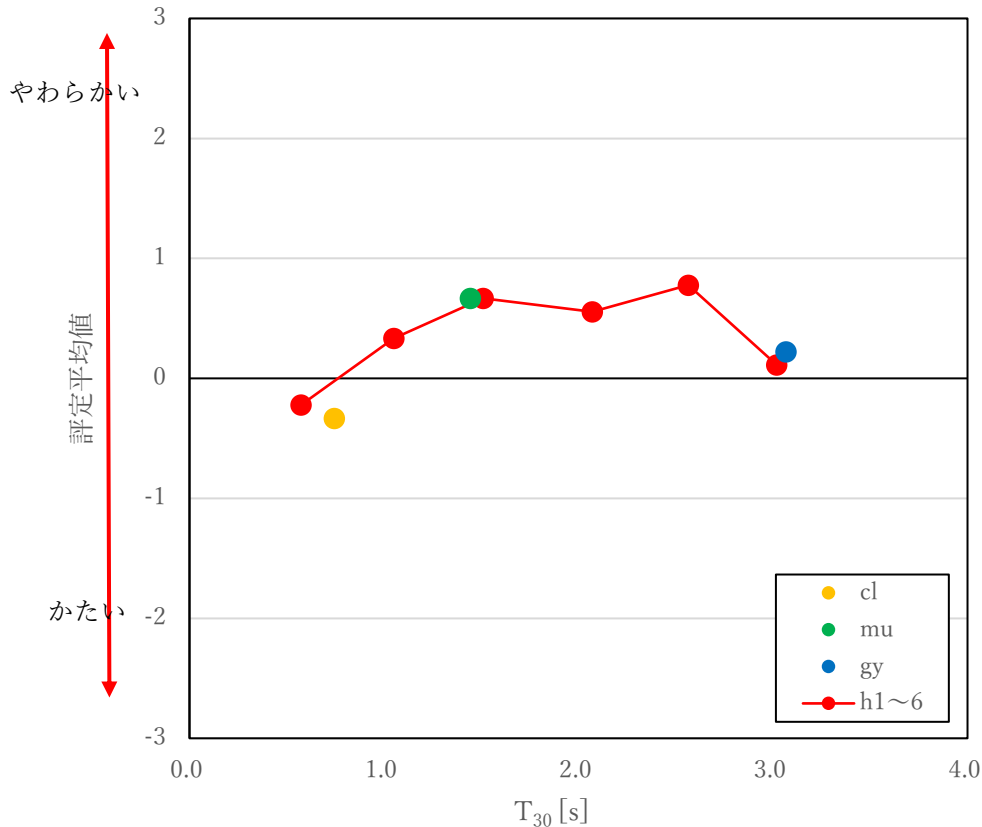


図 4-35 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「空間のかたさ」の評定平均値

4-3-1-3 視聴覚刺激の同時提示と視覚または聴覚刺激の単一提示の主観評価の結果の比較

視聴覚刺激の同時提示における主観評価項目を因子数 3 で因子分析を行った結果を表 4-16, 17 に示す。因子 1 には響きに対する主観評価項目のみが抽出され、聴覚優位の評価基準を持つ「聴覚因子」とした。因子 2 には視覚と聴覚に通様相性のある「明るさ」や「親しみやすさ」、「暖かさ」に対する主観評価項目が抽出され、視覚と聴覚の両方の評価基準を持つ「視聴覚共通因子」とした。この因子に抽出された主観評価項目については、視覚と聴覚の“共鳴現象”が生じる可能性がある。因子 3 には空間に対する主観評価項目のみが抽出され、視覚優位の評価基準を持つ「視覚因子」とした。

表 4-16 視聴覚刺激の同時提示における因子分析結果の固有値・寄与率・累積寄与率

因子 No.	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.64	21.99%	21.99%
2	2.24	18.65%	40.64%
3	1.71	14.21%	54.85%

表 4-17 視聴覚刺激の同時提示での因子分析結果

主観評価項目	因子1	因子2	因子3
残響感	0.936	0.011	0.024
響きの長さ	0.815	0.067	0.060
響きの複雑さ	0.662	0.048	0.161
空間の暖かさ	0.024	0.670	0.332
空間の親しみやすさ	0.022	0.669	0.199
空間の明るさ	-0.081	0.618	-0.168
響きの暖かさ	0.491	0.584	0.086
響きの明るさ	0.456	0.533	-0.042
空間のかたさ	0.043	0.235	0.831
空間の複雑さ	0.003	-0.083	0.679
空間の広さ	0.223	0.148	0.548
響きの親しみやすさ	0.391	0.493	0.190

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「残響感」の評定平均値を図 4-36～38 に示す。視聴覚刺激に対する評定平均値において、同じ視覚刺激に組み合わせる聴覚刺激の残響時間が増えることによる有意な変動は認められたが、同じ聴覚刺激が組み合わせる視覚刺激の照度が増えることによる有意な変動が認められなかった。評定平均値において、聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の間で有意差は認められなかったものの、聴覚刺激の単一提示より視聴覚刺激の同時提示の方がやや小さくなり、視覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の間の評定平均値の有意差は、CL+ではほとんど認められないが、CL, CL-では組み合わせる聴覚刺激の残響時間が 1.5s を越えると認められた。視覚刺激の照度に関係なく、本来のまたは本来と近似する残響時間をもつ聴覚刺激との組み合わせ (MU&h1, mu, GY&h1, 2, 6) で提示条件間の評定平均値における有意差が認められた。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「響きの長さ」の評定平均値を図 4-39～4-41 に示す。視聴覚刺激に対する評定平均値において、同じ視覚刺激が組み合わせる聴覚刺激の残響時間が増えることによる有意な変動は認められたが、同じ聴覚刺激が組み合わせる視覚刺激の照度が増えることによる有意な変動は認められなかった。また、提示条件の違いによる有意差は全ての刺激について認められず、視覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の評価傾向が近似していることから、「響きの長さ」は楽音において聴覚印象に対する視覚情報の影響が小さく聴覚優位の評価がなされたと推察される。「残響感」と「響きの長さ」は聴覚刺激の残響時間が 1.0～2.5s の間で若干評価傾向が異なるものの、全体的な評価傾向は類似している。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「空間の明るさ」の評定平均値を図 4-42～4-44 に示す。視聴覚刺激に対する評定平均値において、同じ聴覚刺激が組み合わせる視覚刺激の照度が増えることによる有意な変動は全ての刺激において認められたが、同じ視覚刺激が組み合わせる聴覚刺激の残響時間が増えることによる有意な変動は全ての刺激で認められな

った。空間 CL, GY においては視覚刺激の照度が低いほど、視覚刺激の単一提示より有意に視聴覚刺激が“暗い”と評価された。空間 MU においては、視覚刺激の単一提示より若干ではあるが視聴覚刺激が“明るい”と評価され、通様相性のある聴覚刺激の単一提示における「響きの明るさ」の評価結果方向に同時提示時の印象がシフトする傾向が見られた。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「響きの明るさ」の評定平均値を図 4-45~4-47 に示す。視聴覚刺激に対する評定平均値において、同じ視覚刺激が組み合わさる聴覚刺激の残響時間が変化することによる有意な変動はほぼ全ての刺激で認められなかったが、同じ聴覚刺激が組み合わさる視覚刺激の照度が変化することによる有意な変動は一部の刺激で認められた。また、提示条件の違いによる有意差は全ての刺激について認められなかったが、通様相性のある視覚刺激の単一提示における「空間の明るさ」評価結果方向に同時提示時の印象がシフトする傾向が見られた。楽音において、「空間の明るさ」と「響きの明るさ」に対する全体的な評価傾向は類似しており、通様相性のある評価項目で相互影響が生じたこと、なかでも視覚印象が聴覚印象に与える影響の方が大きいことが示唆された。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「空間のかたさ」の評定平均値を図 4-49~4-50 に示す。視聴覚刺激に対する評定平均値において、同じ視覚刺激が組み合わさる聴覚刺激の残響時間が変化することによる有意な変動と同じ聴覚刺激が組み合わさる視覚刺激の照度が変化することによる有意な変動は認められなかった。また、視覚刺激の単一提示との間に有意差は全ての刺激について認められなかったものの、聴覚刺激の単一提示との間には空間や照度、残響時間に関係なく有意差が認められる刺激があった。視聴覚刺激の同時提示における「空間のかたさ」の主観印象は、視覚優位の評価基準を持つことが推察された。

視聴覚刺激の同時提示における残響時間 (T_{30}) に対する「空間の広さ」の評定平均値を図 4-51~4-53 に示す。視聴覚刺激に対する評定平均値において、同じ聴覚刺激が組み合わさる視覚刺激の照度が変化することによる有意な変動と同じ視覚刺激が組み合わさる聴覚刺激の残響時間が変化することによる有意な変動はほとんどの刺激で認められなかった。また、視聴覚刺激の同時提示における評定平均値に対して、視覚刺激の単一提示との有意差は全ての刺激について認められなかったが、聴覚刺激の単一提示との間では有意差が認められた。聴覚刺激が楽音で与えられた時に予想される「空間の広さ」の印象は、視覚優位の評価基準を持つことが推察され、視覚情報から受けた印象が評価に大きく影響することが推察される。

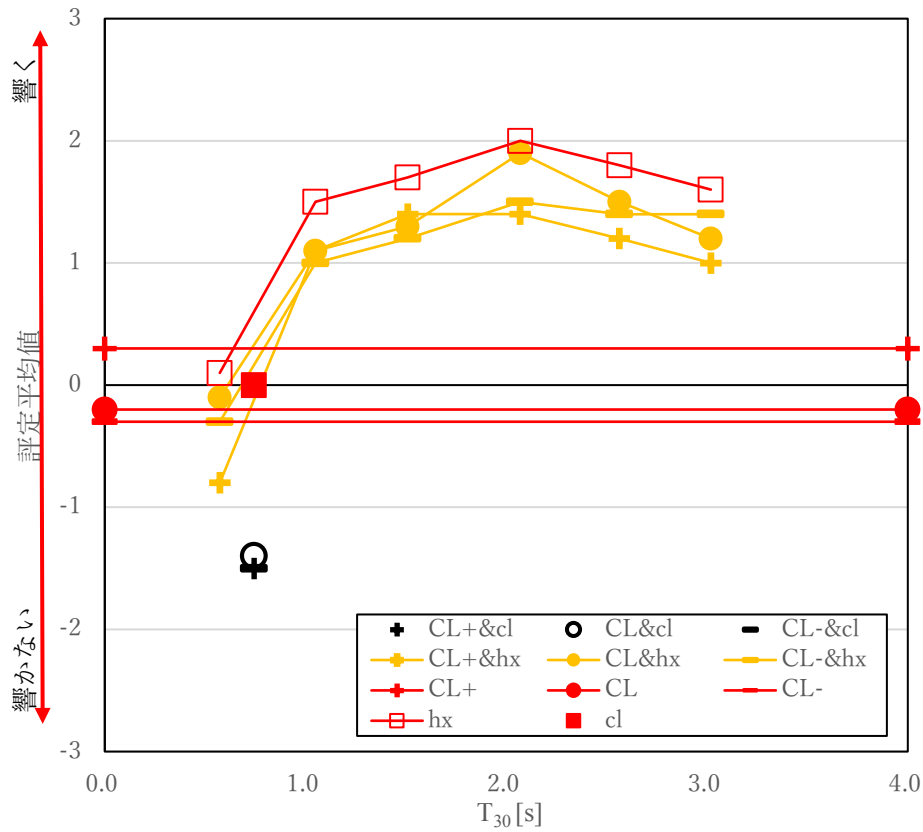


図 4-36 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL「残響感」の評定平均値

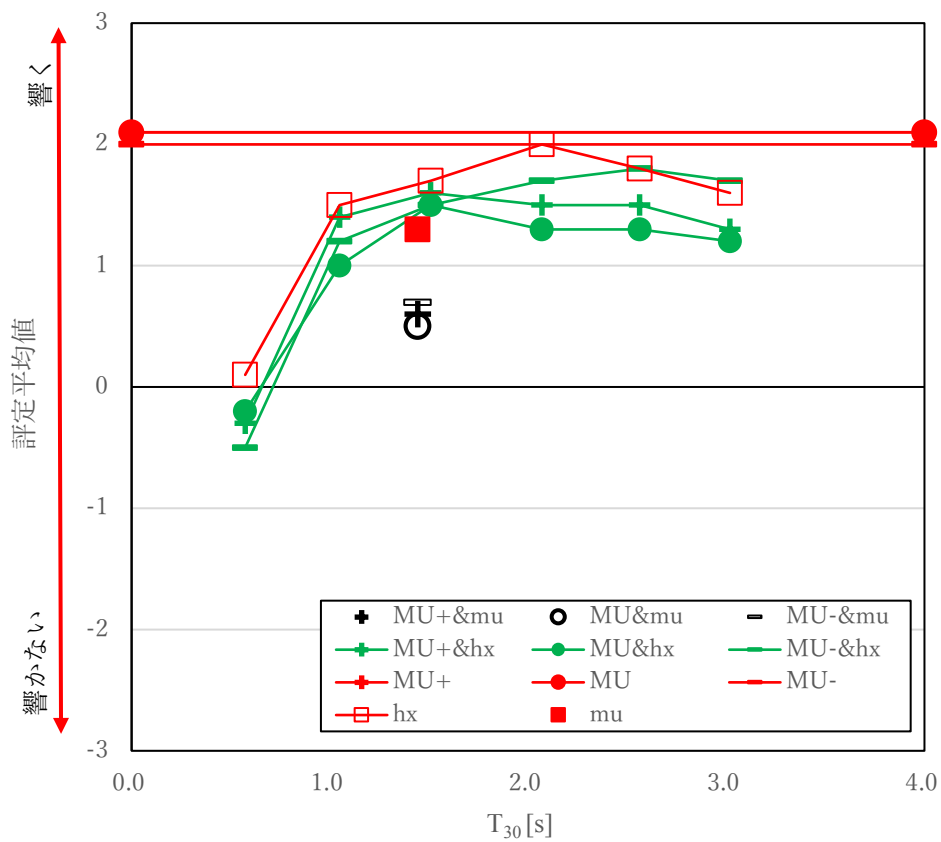


図 4-37 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU「残響感」の評定平均値

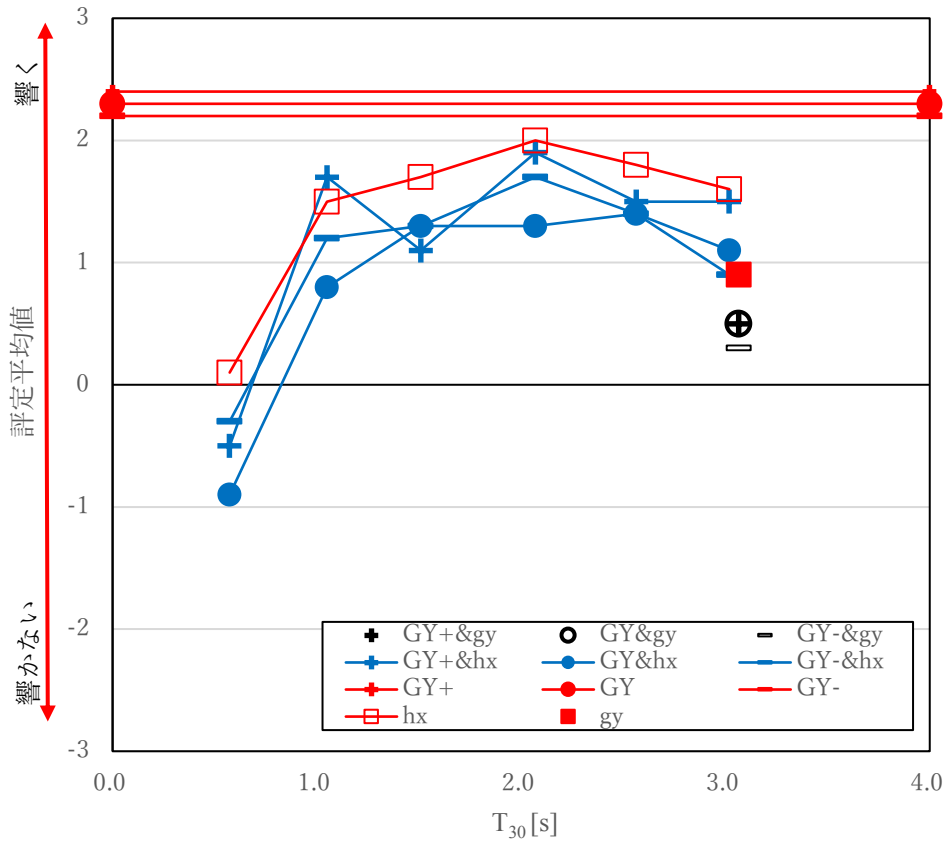


図 4-38 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY「残響感」の評定平均値

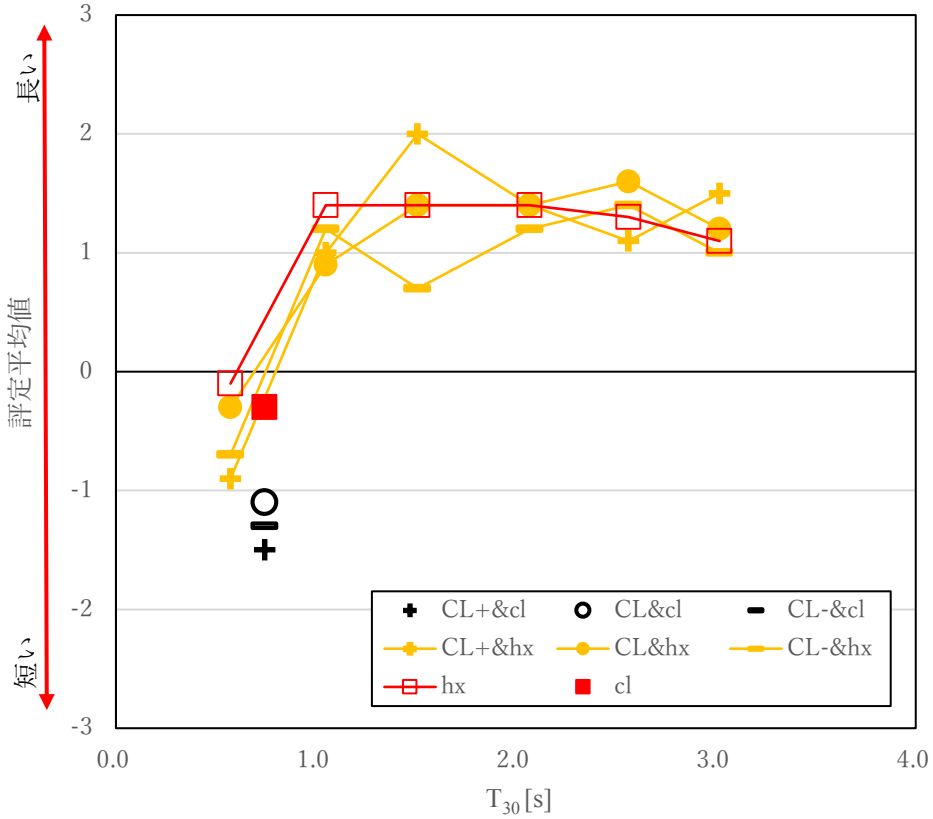


図 4-39 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL「響きの長さ」の評定平均値

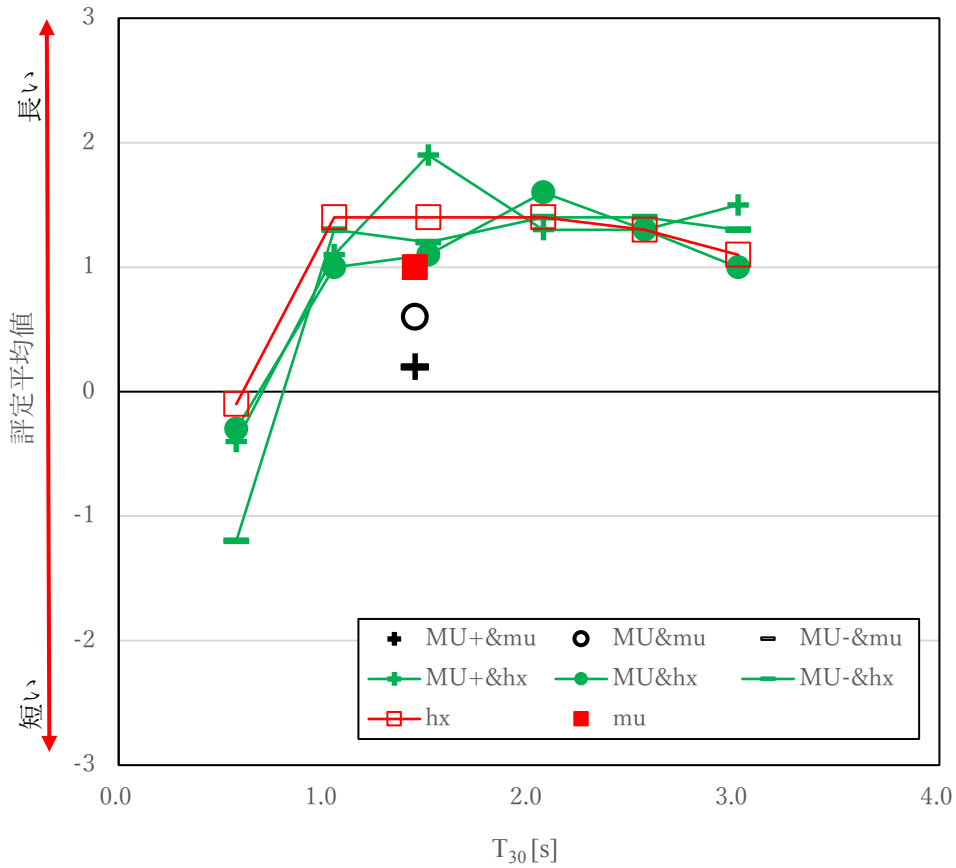


図 4-40 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU「響きの長さ」の評定平均値

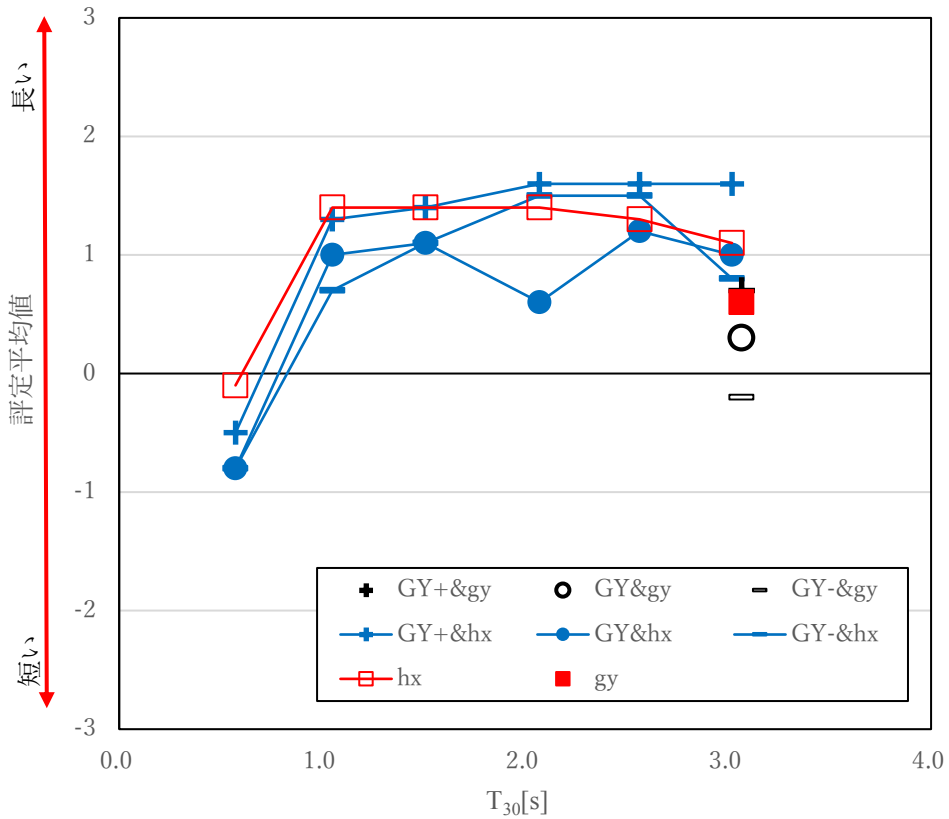


図 4-41 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY「響きの長さ」の評定平均値

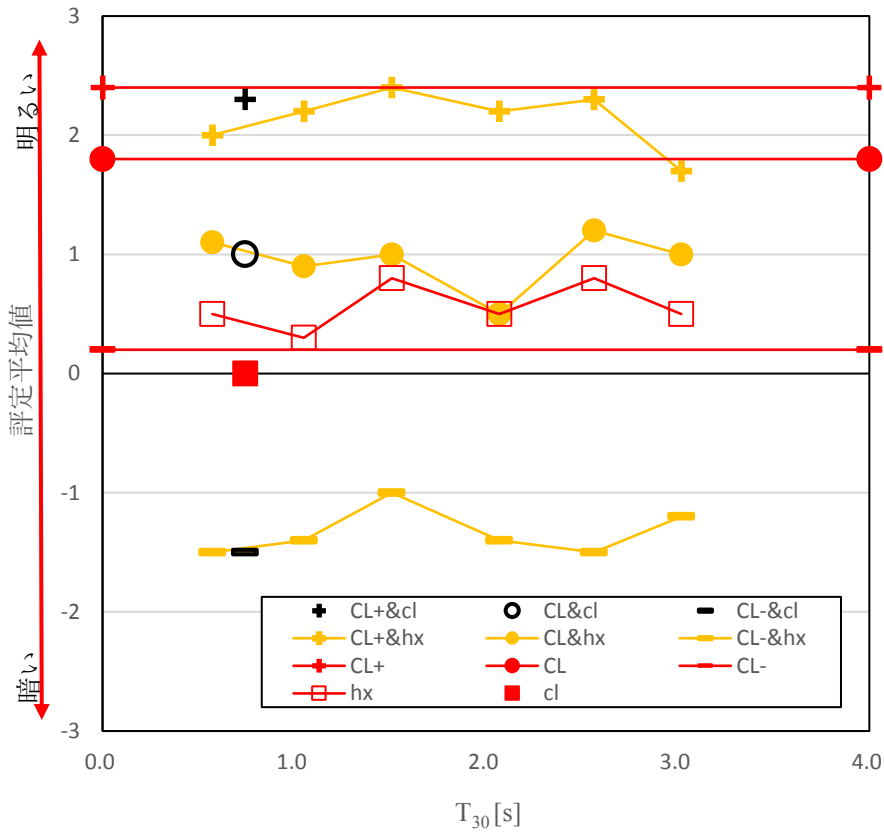


図 4-42 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL「空間の明るさ」の評定平均値

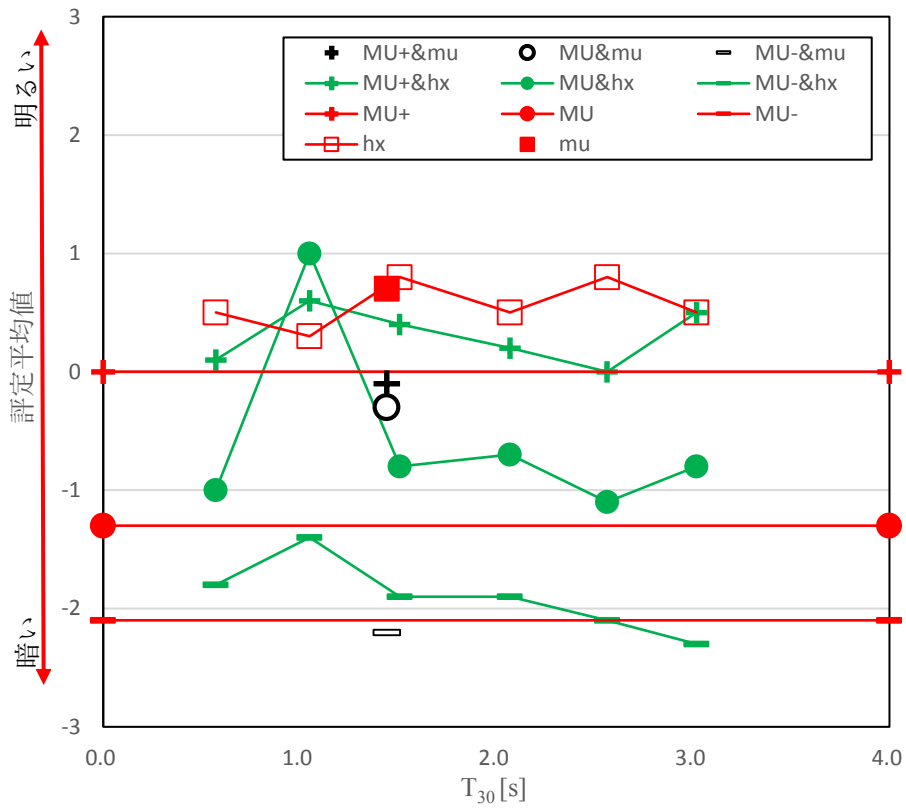


図 4-43 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU「空間の明るさ」の評定平均値

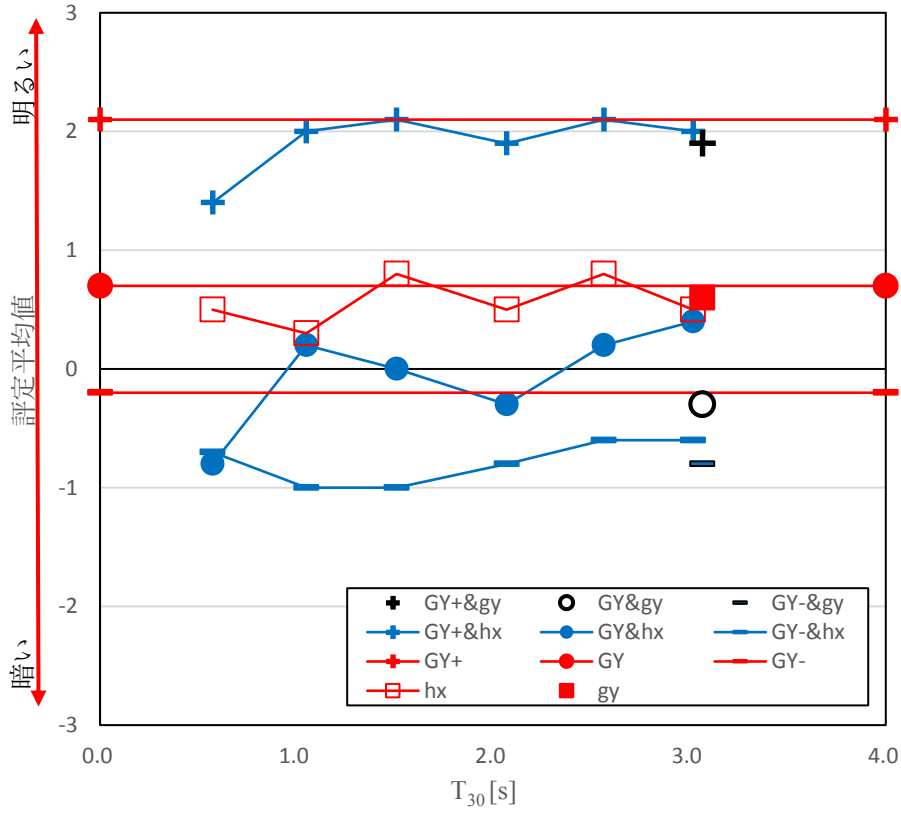


図 4-44 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間GY「空間の明るさ」の評定平均値

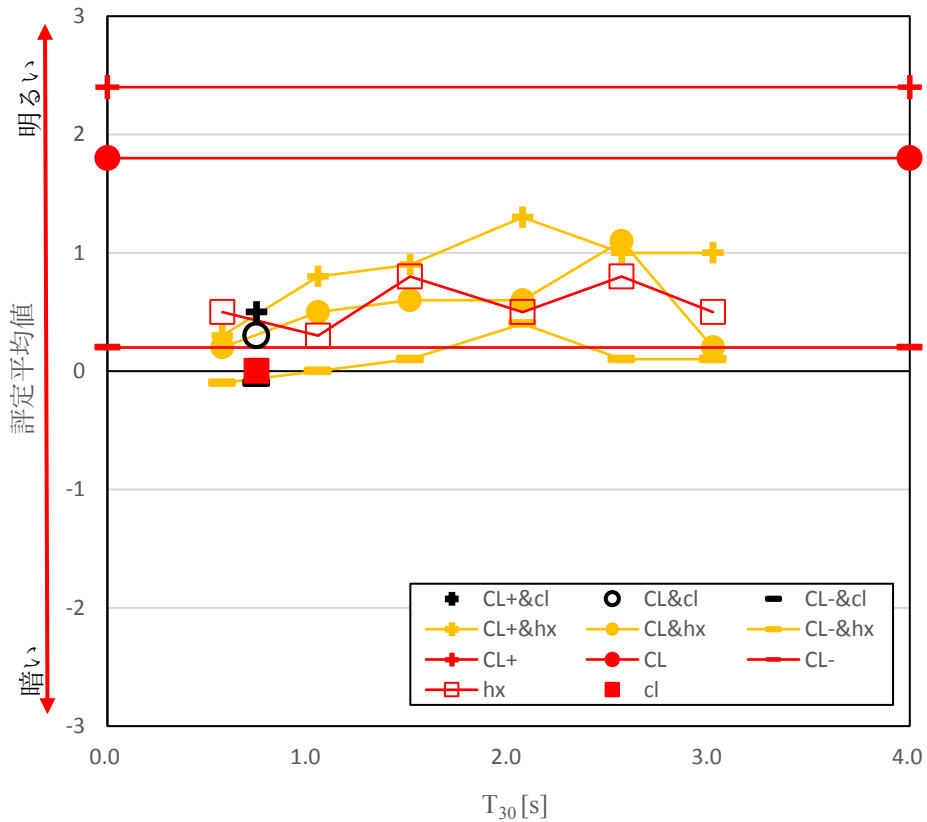


図 4-45 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間CLの「響きの明るさ」の評定平均値

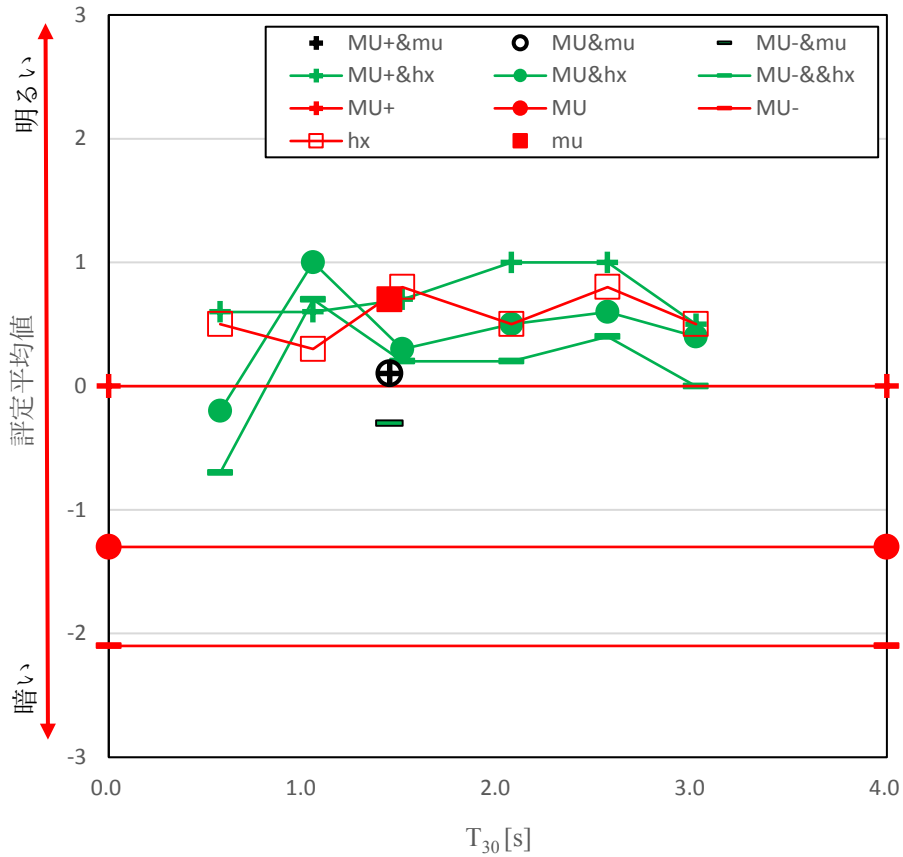


図 4-46 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの明るさ」の評定平均値

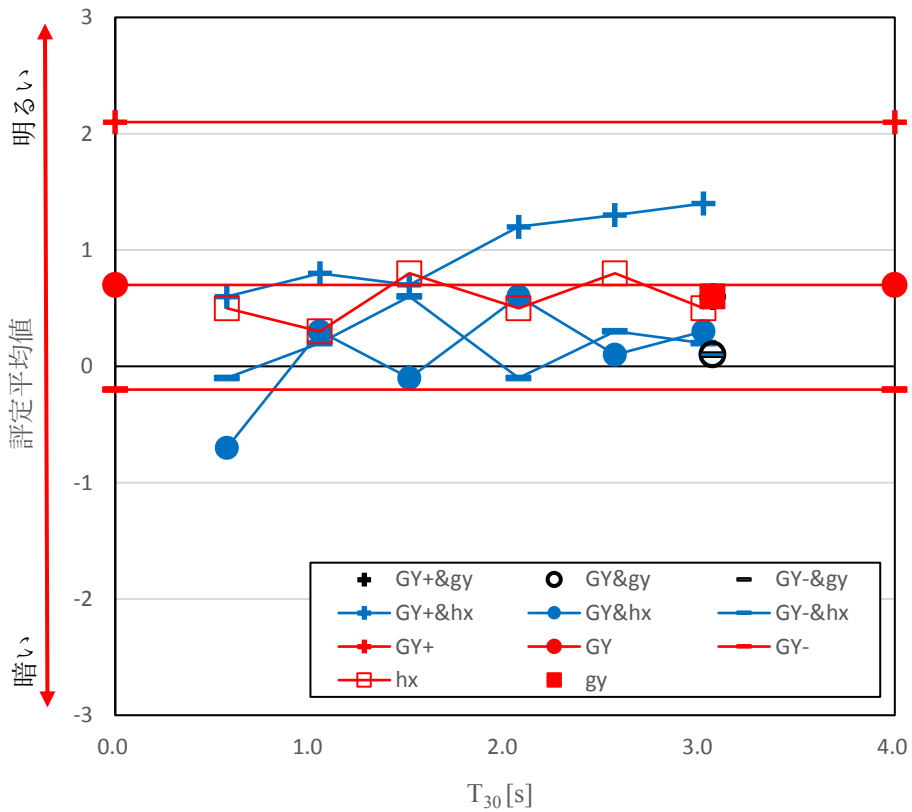


図 4-47 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「響きの明るさ」の評定平均値

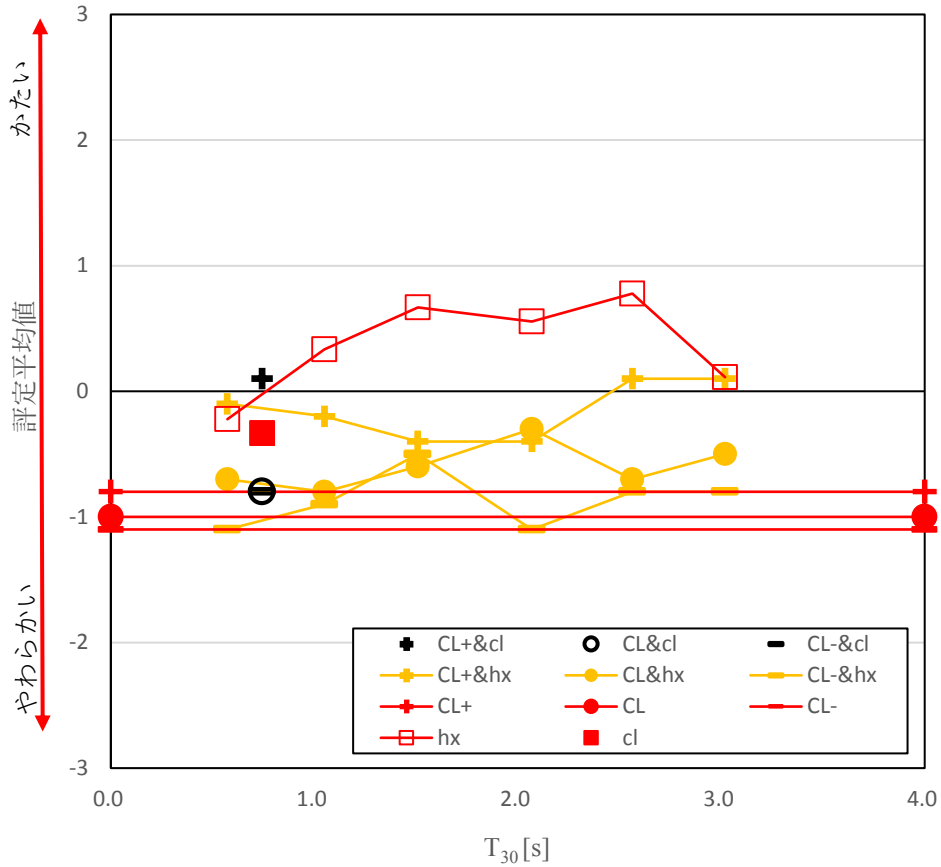


図 4-48 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「空間のかたさ」の評定平均値

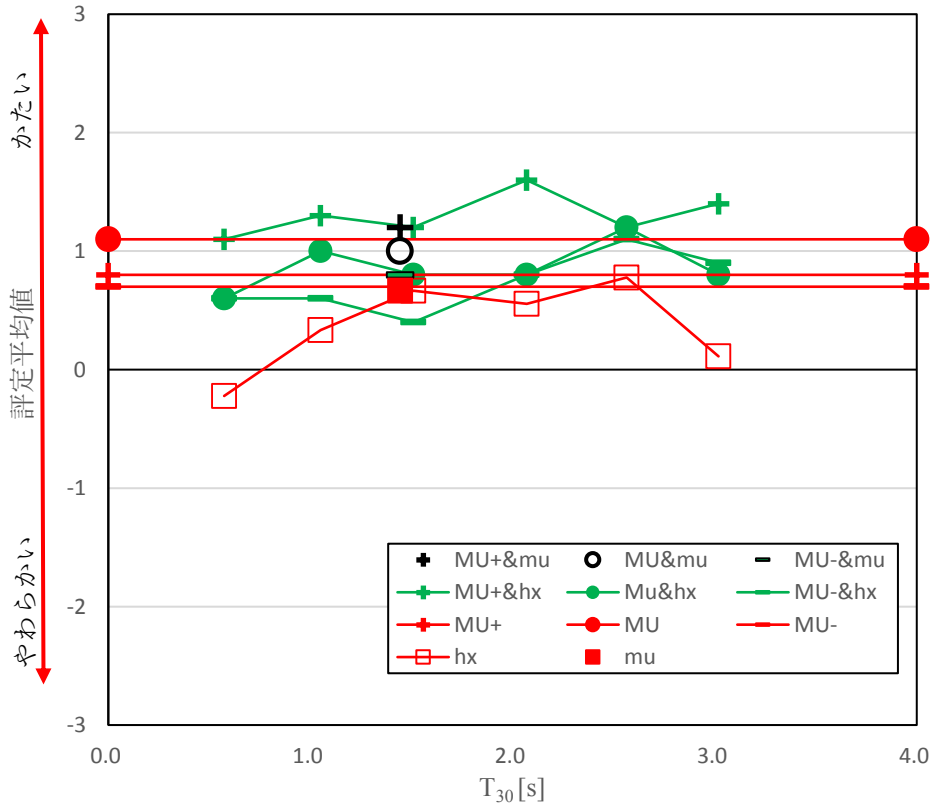


図 4-49 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「空間のかたさ」の評定平均値

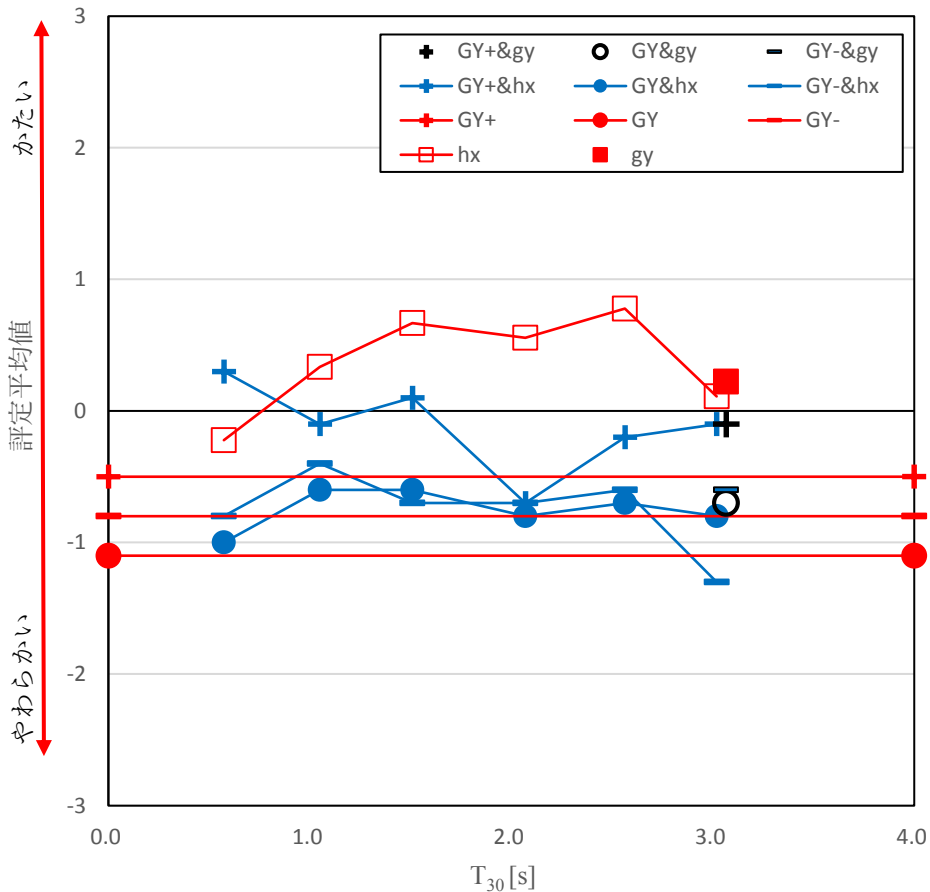


図 4-50 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「空間のかたさ」の評定平均値

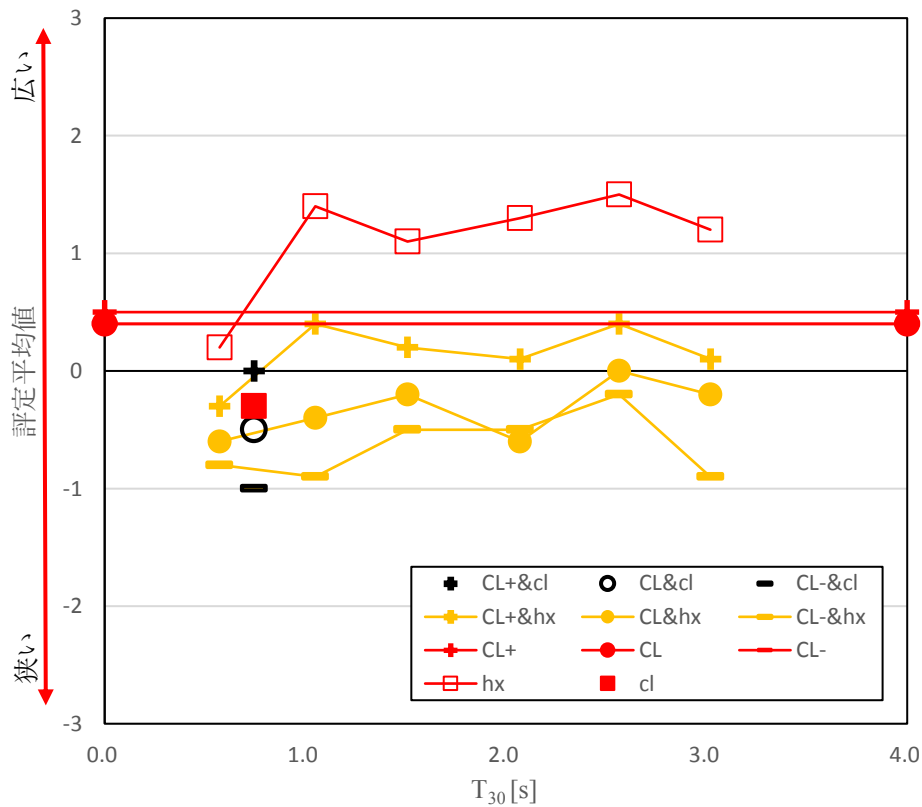


図 4-51 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「空間の広さ」の評定平均値

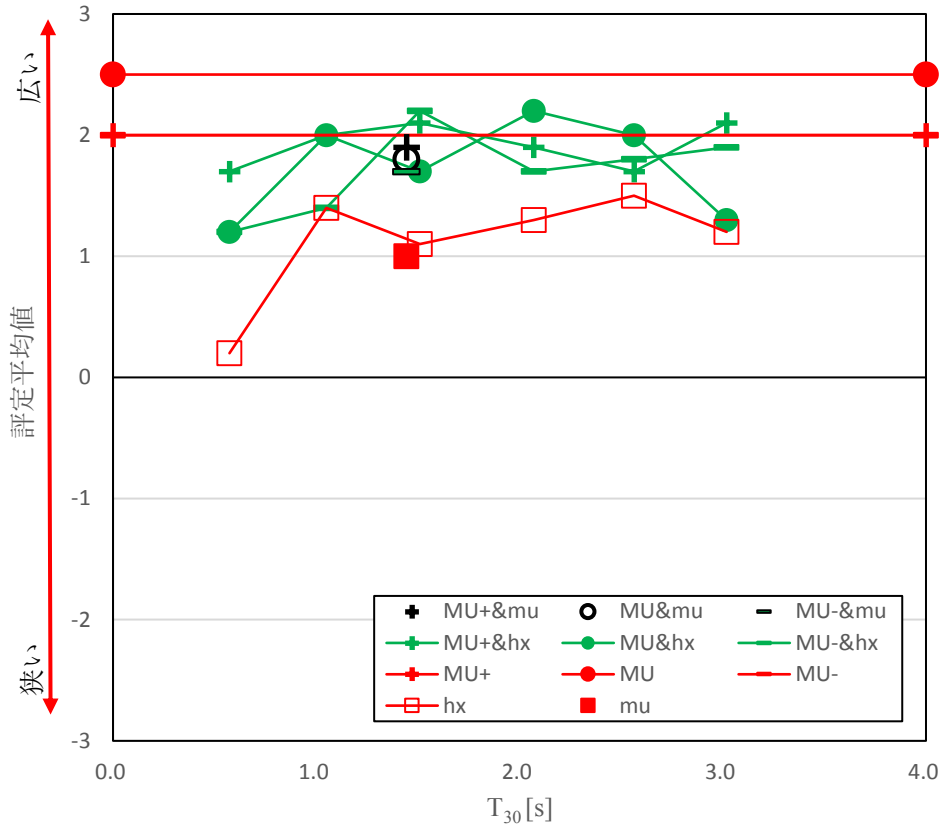


図 4-52 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「空間の広さ」の評定平均値

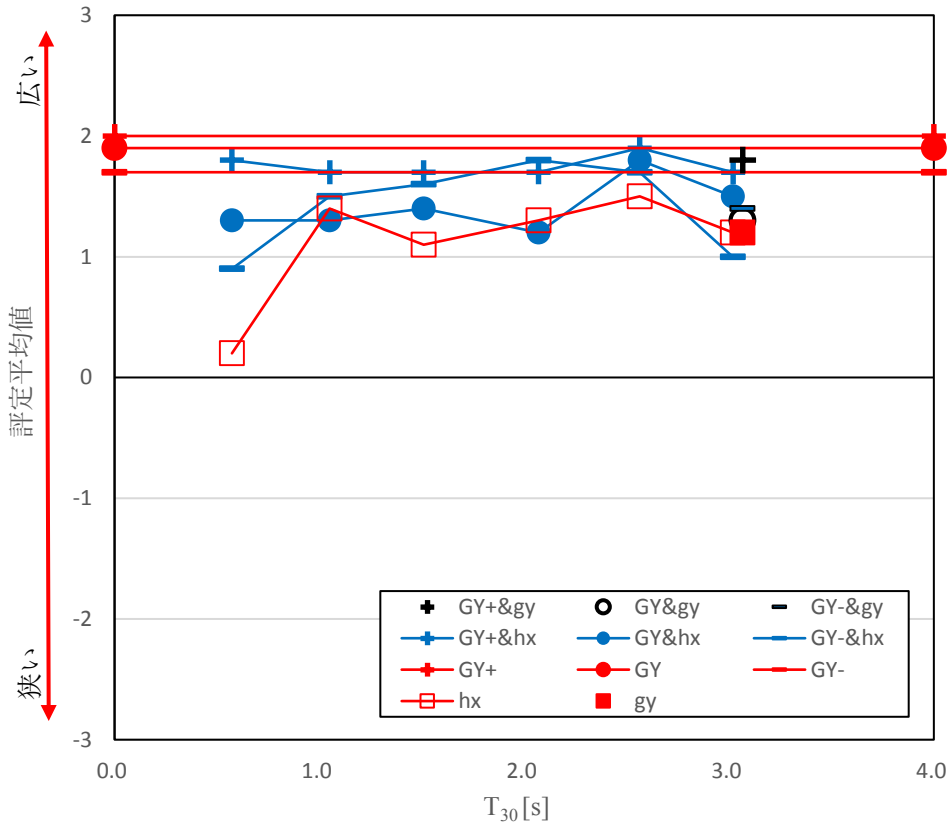


図 4-53 視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「空間の広さ」の評定平均値

4-4 シリーズ Ci と Cm の比較

以下では、シリーズ Ci の評価結果を IR、シリーズ Cm の評価結果を楽音と表記する。

4-4-1 聴覚刺激の単一提示の主観評価の比較

図 4-54～4-56 は、シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの長さ」、「残響感」、「空間の広さ」の評定平均値を示す。これらの主観評価項目はシリーズ Ci, Cm それぞれで「広さ（残響）因子」に分類されており、残響時間が異なる聴覚刺激に対する評定平均値の有意な変動は両シリーズにおいて認められた。空間の反射音構造を内包する IR に楽音を畳み込むことで、音程やリズムなどの情報量が増加し、響きそのものに対する評価が曖昧になり、IR は残響時間 2.0 s まで、楽音は残響時間 1.0 s までしか弁別できていない傾向が窺えた。

図 4-57～4-60 は、シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの明るさ/暖かさ/親しみやすさ」、「空間のかたさ」の評定平均値を示す。これらの主観評価項目はシリーズ Ci で「雰囲気因子」に分類されており、残響時間が異なる聴覚刺激に対する評定平均値の有意な変動は両シリーズにおいて認められないが、IR より楽音の評定平均値が大きかった。同じ聴覚刺激を提示した際に、IR よりも楽音の方が、“明るい”、“暖かい”、“親しみやすい”響き”、やわらかい”空間であることと評価され、「雰囲気因子」に分類された主観評価項目に関する印象は、響きそのものだけでなく旋律やテンポなどに対する印象に影響を受け、ポジティブな方向に評価された可能性がある。

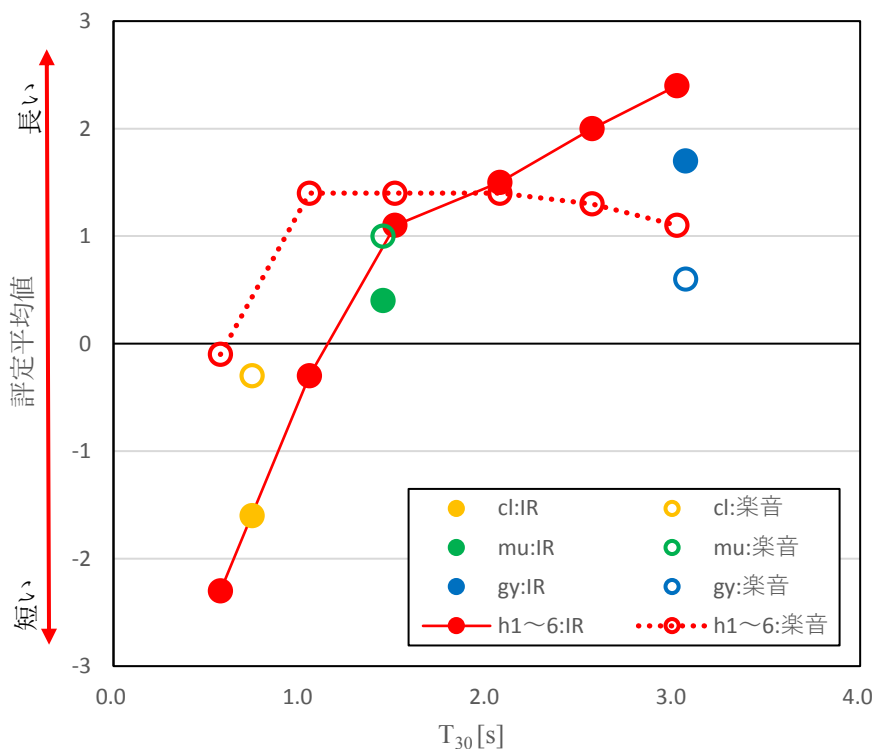


図 4-54 シリーズ Ci, 2 の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの長さ」の評定平均値

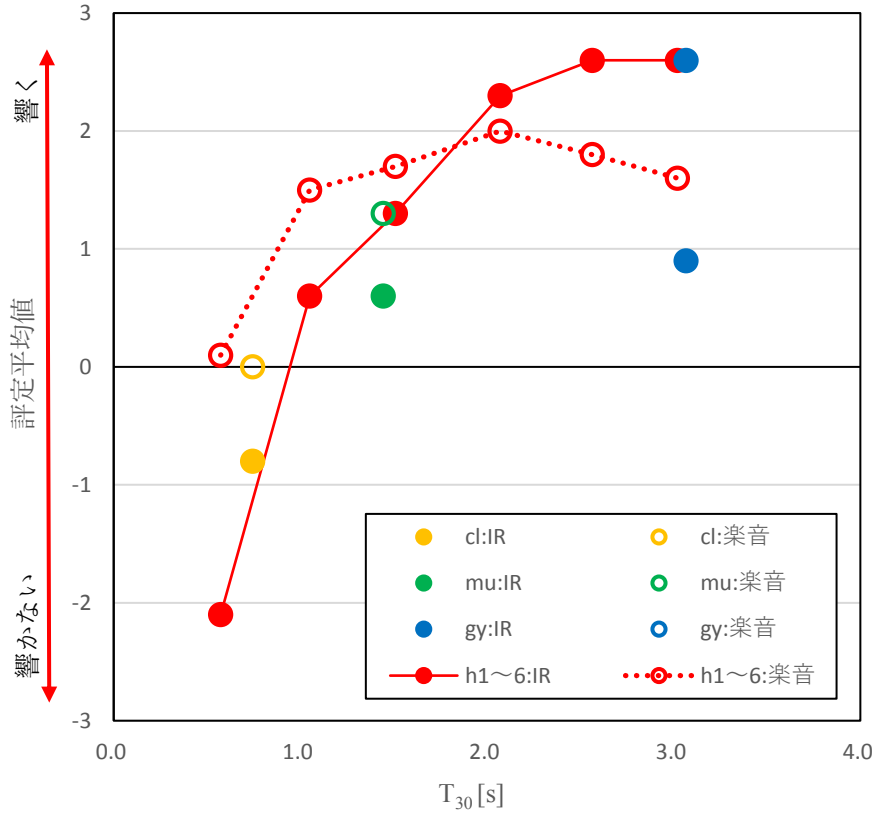


図 4-55 シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「残響感」の評定平均値

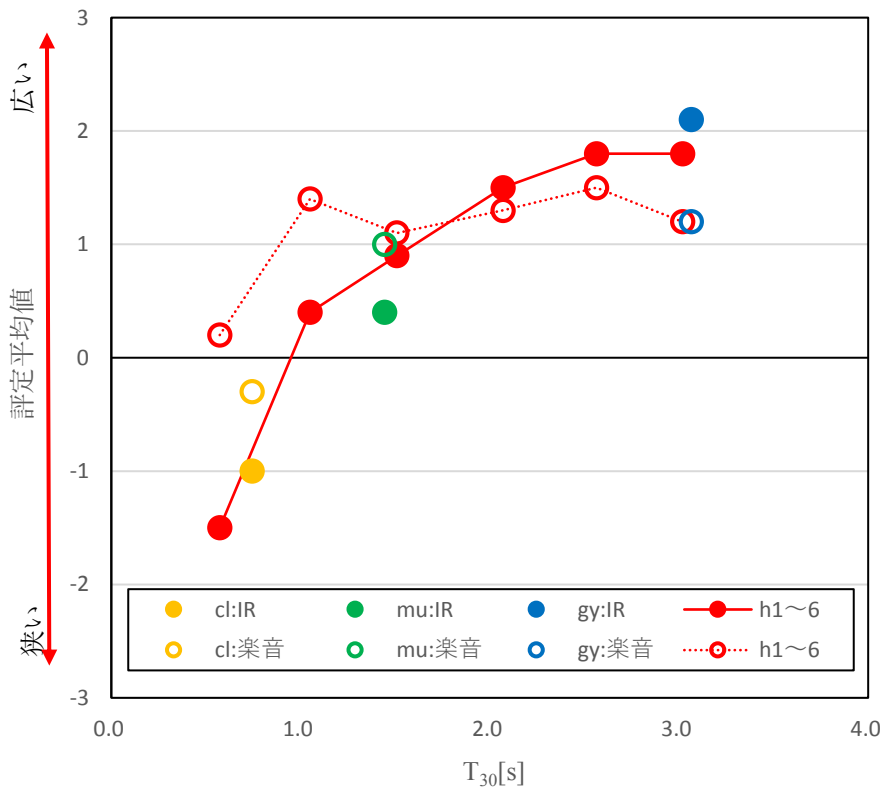


図 4-56 シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「空間の広さ」の評定平均値

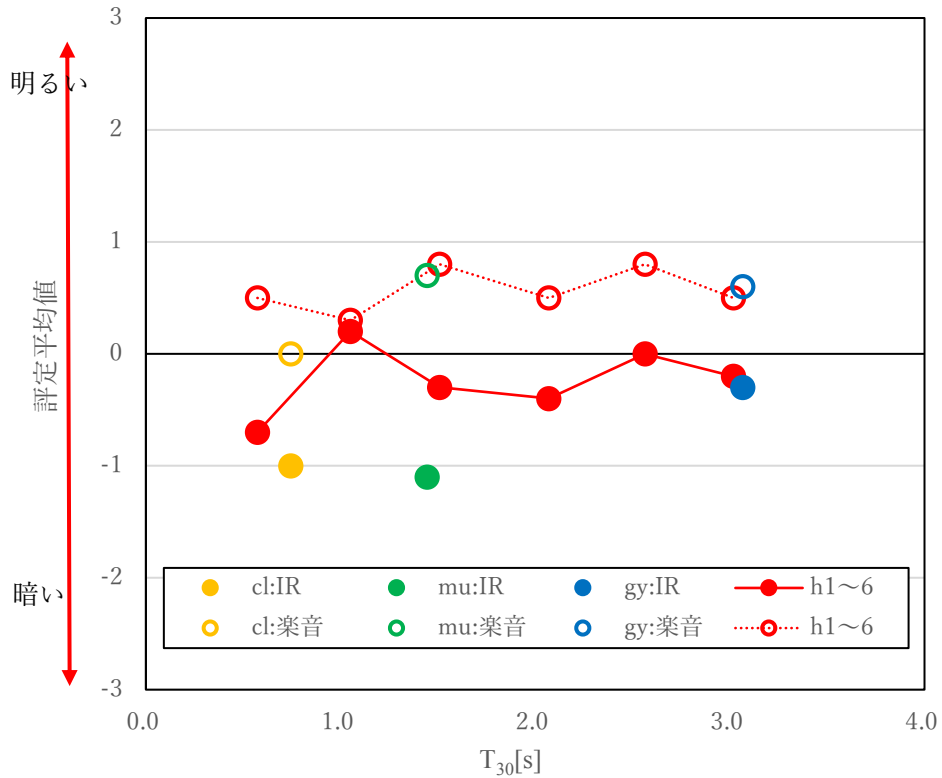


図 4-57 シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの明るさ」の評定平均値

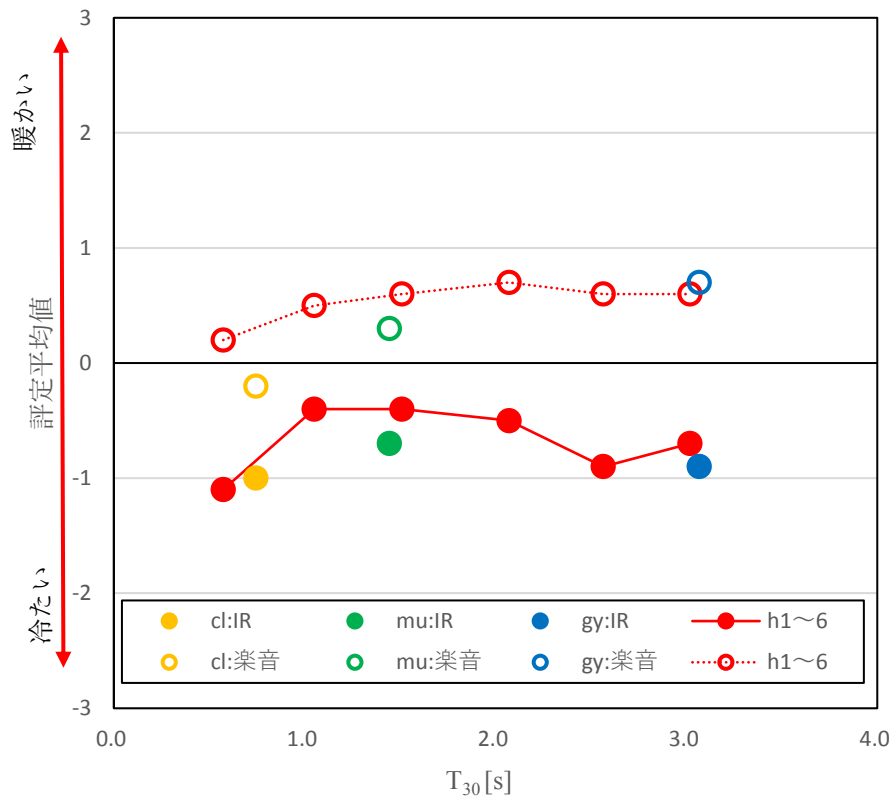


図 4-58 シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの暖かさ」の評定平均値

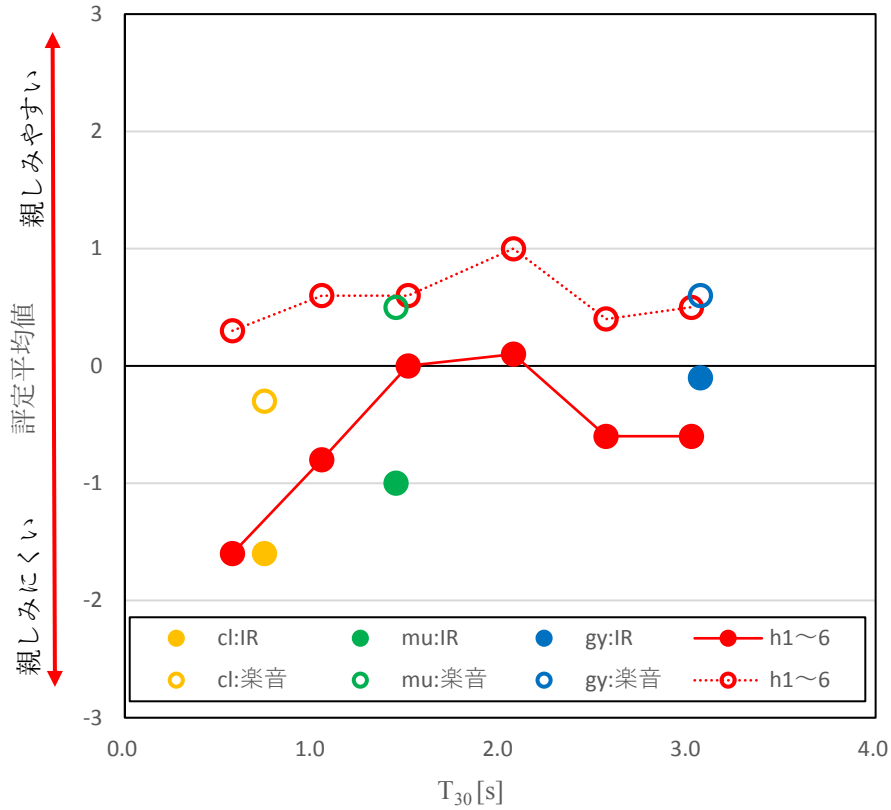


図 4-59 シリーズ Ci, Cm 聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「響きの親しみやすさ」の評定平均値

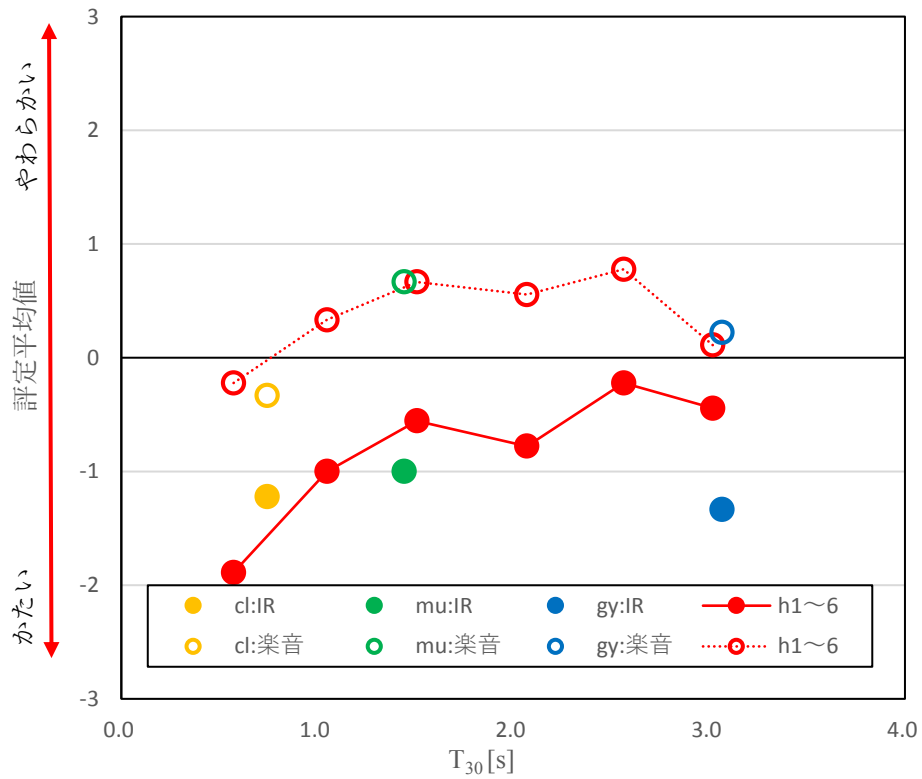


図 4-60 シリーズ Ci, Cm の聴覚刺激の単一提示における残響時間に対する「空間のかたさ」の評定平均値

4-4-2 視聴覚刺激の同時提示の主観評価の比較

同じ視聴覚刺激に対するシリーズ Ci, Cm の評定平均値間における有意差は、視覚印象に関する主観評価項目ではほとんど認められず、聴覚印象に関する主観評価項目(特に、「視聴覚共通因子」に分類された「響きの明るさ/暖かさ/親しみやすさ」)では多く認められた。

以下の図では、視聴覚刺激の同時提示における IR と楽音の評定平均値を示す。視覚刺激の照度に対応したマーカーと視覚刺激と実測 IR と組み合わせの黒いマーカーにおいて、IR は塗りつぶして示され、楽音は白抜きで示される。視覚刺激と編集 IR の組み合わせは空間毎の色(空間 CL は黄色、空間 MU は緑色、空間 GY は青色)の折れ線において、IR は実線で示され、楽音は点線で示される。

図 4-61~4-63 は、シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「響きの長さ」の評定平均値を示す。聴覚刺激の残響時間が 1.0s までは、全ての空間で視覚刺激の照度に関係なく楽音に対する評定平均値が IR を上回る傾向が窺えた。聴覚刺激の残響時間が 1.0s 以降では、空間によりやや評定平均値の変動の傾向が異なる。3つの空間のうち容積が最も小さい空間 CL では、IR と楽音それぞれの残響時間に対する変動傾向は近似している。一方で容積が大きい空間 MU, GY では、IR に対する評定平均値が楽音を上回る傾向が見られた。

図 4-64~4-72 は、シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する「響きの明るさ/暖かさ/親しみやすさ」の評定平均値を示す。IR と楽音それぞれに対する評定平均値の変動には有意差が認められなかったが、同じ視聴覚刺激に対する IR と楽音の評定平均値間には有意差が認められ、聴覚刺激の単一提示時と同様に、楽音が IR より “明るい”、“暖かい”、“親しみやすい” 響きと評価される傾向が見られた。

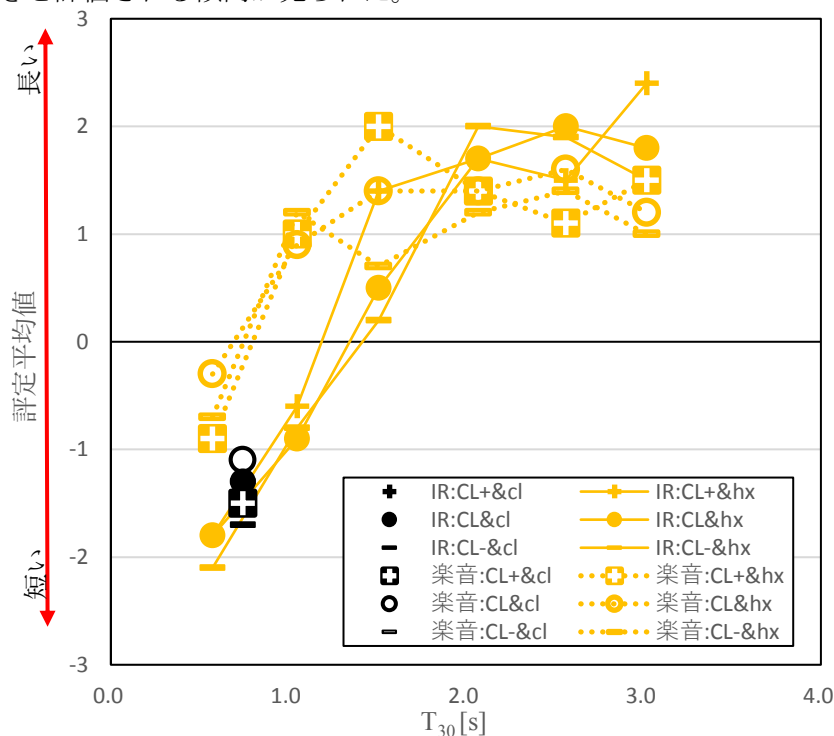


図 4-61 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「響きの長さ」の評定平均値

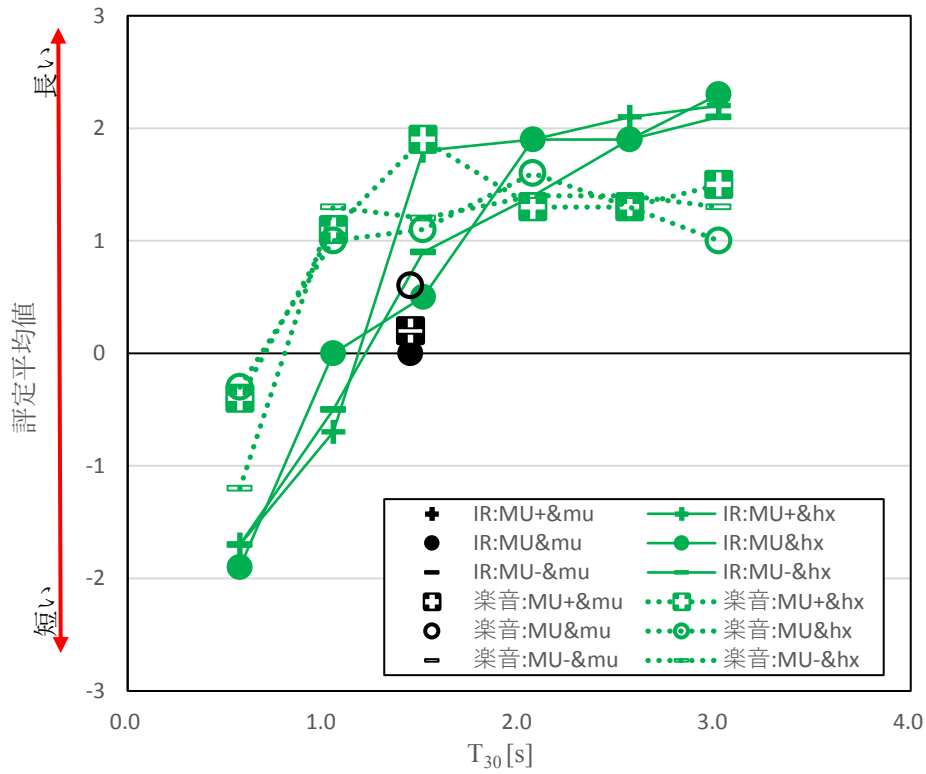


図 4-62 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの長さ」の評定平均値

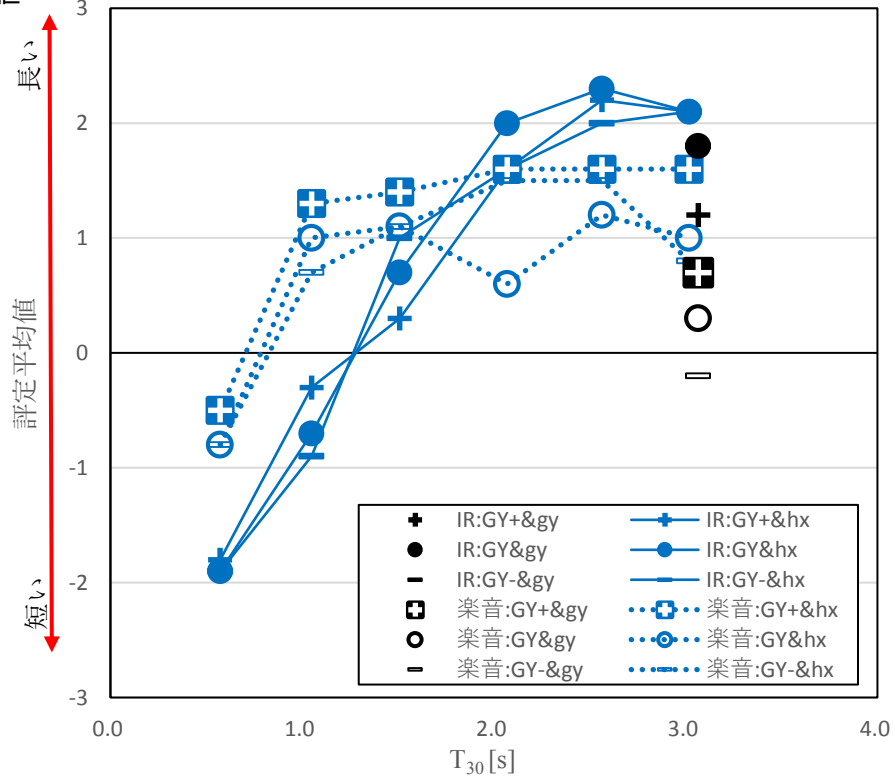


図 4-63 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「響きの長さ」の評定平均値

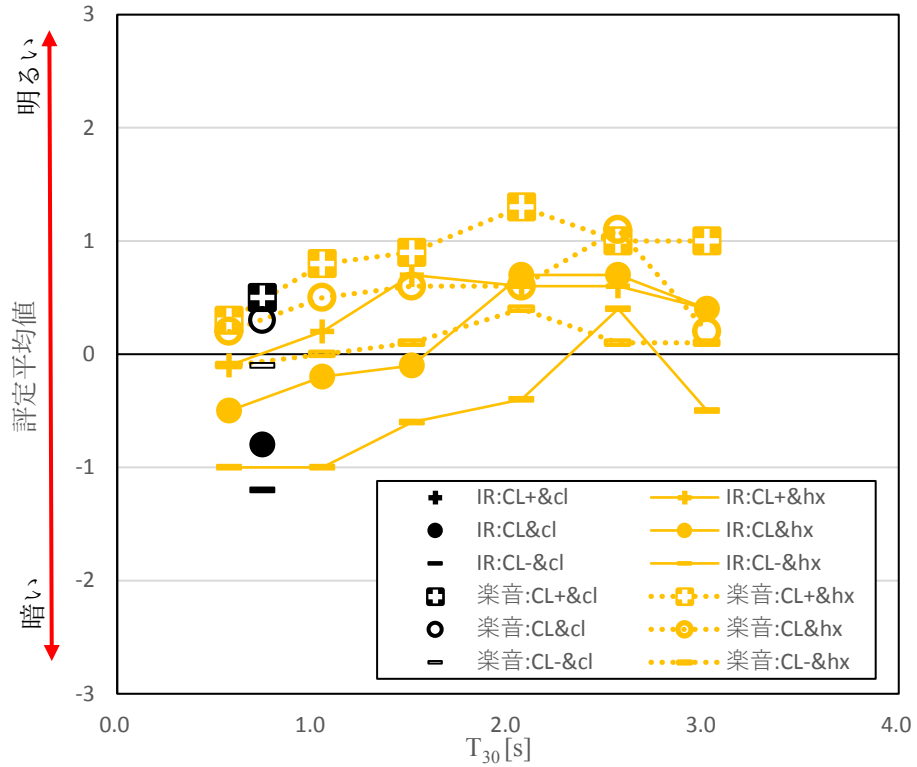


図 4-64 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「響きの明るさ」の評定平均値

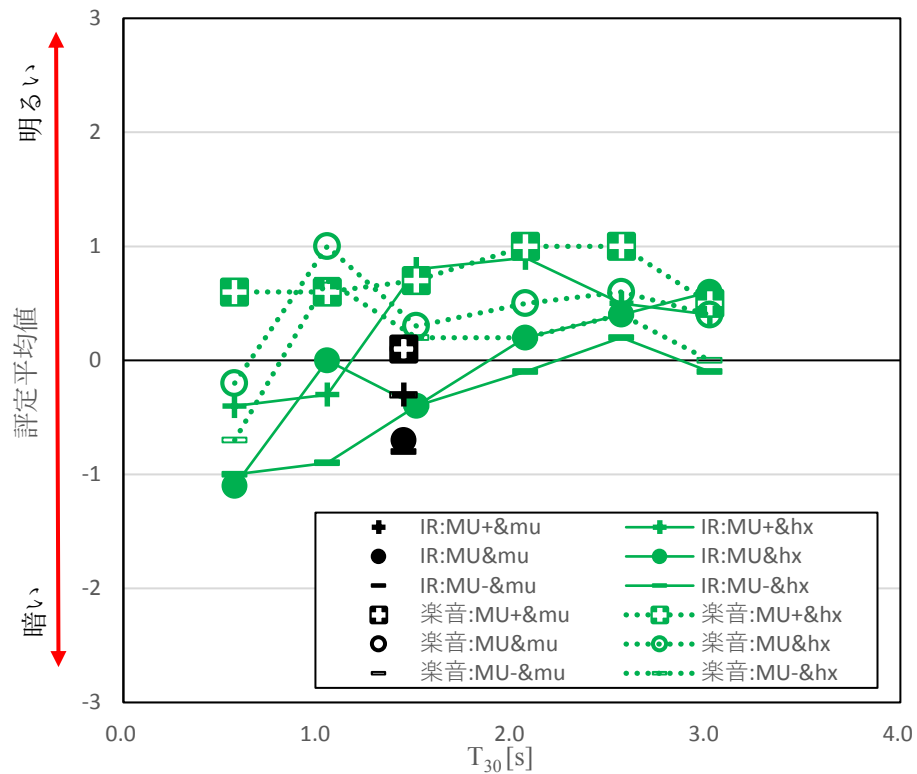


図 4-65 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの明るさ」の評定平均値

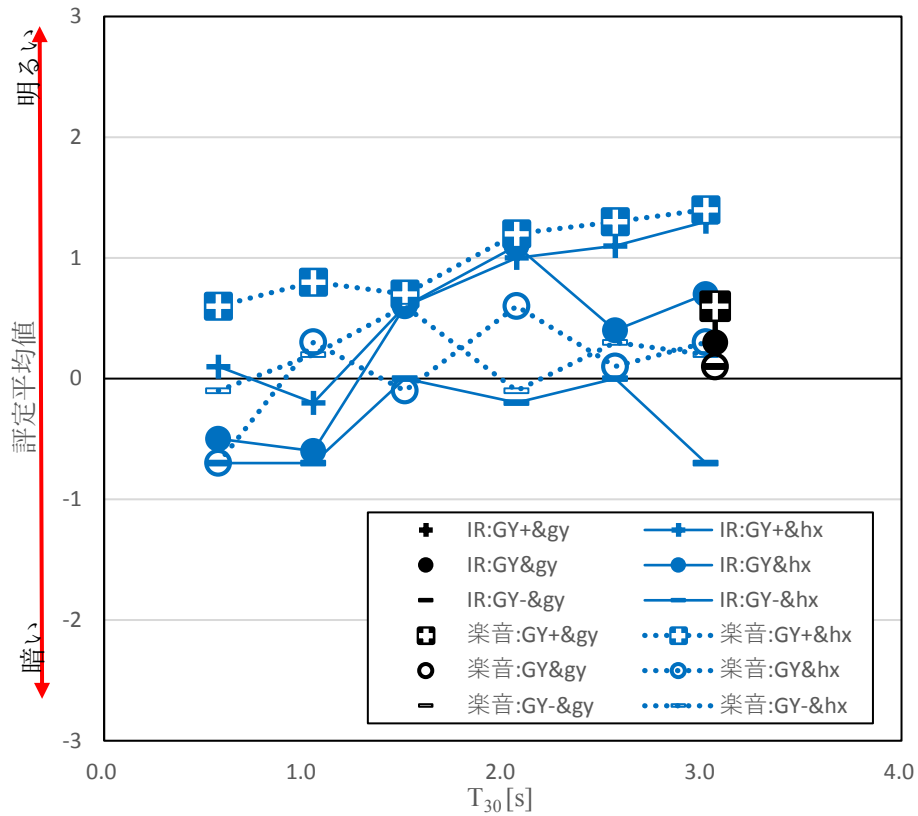


図 4-66 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「響きの明るさ」の評定平均値

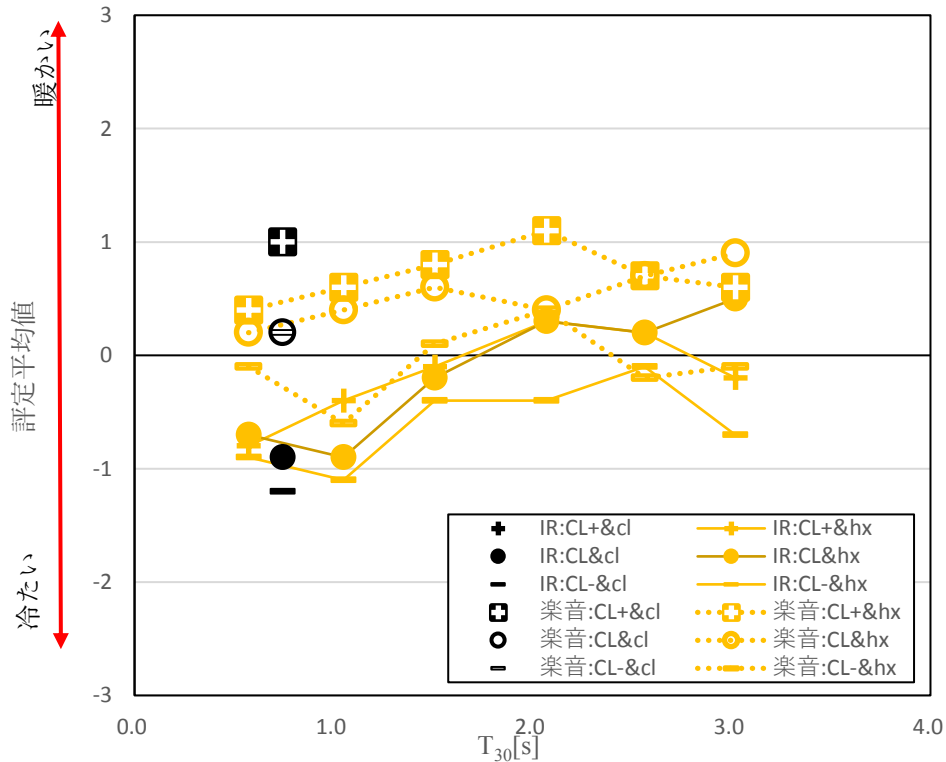


図 4-67 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「響きの暖かさ」の評定平均値

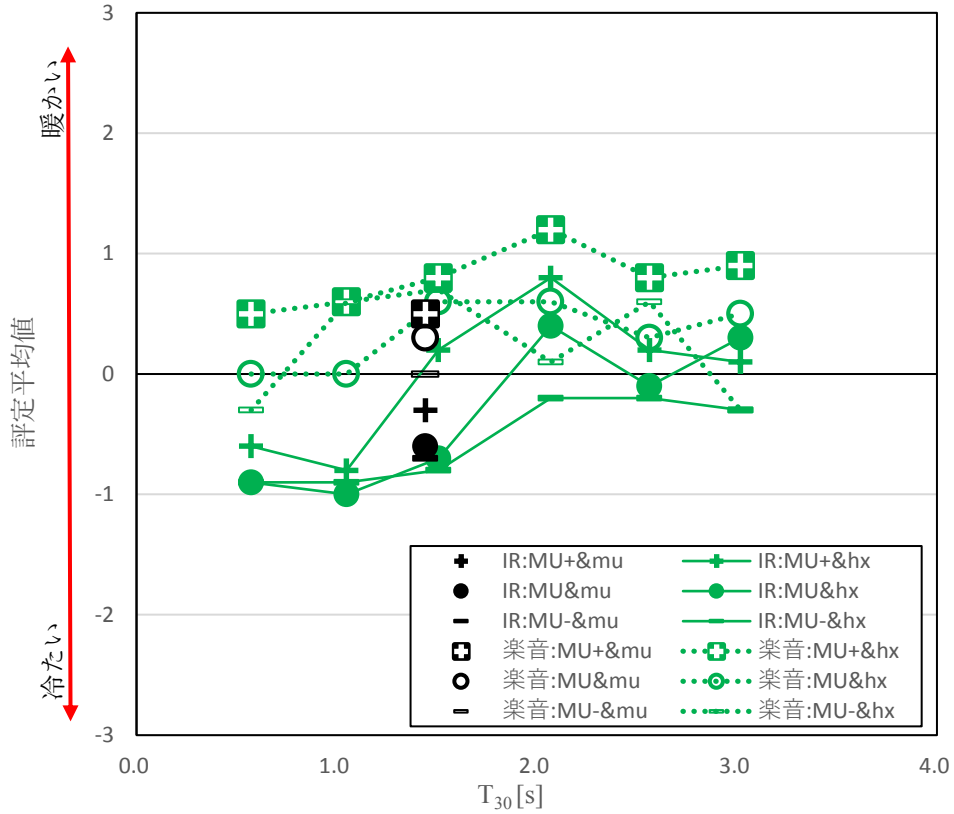


図 4-68 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの暖かさ」の評定平均値

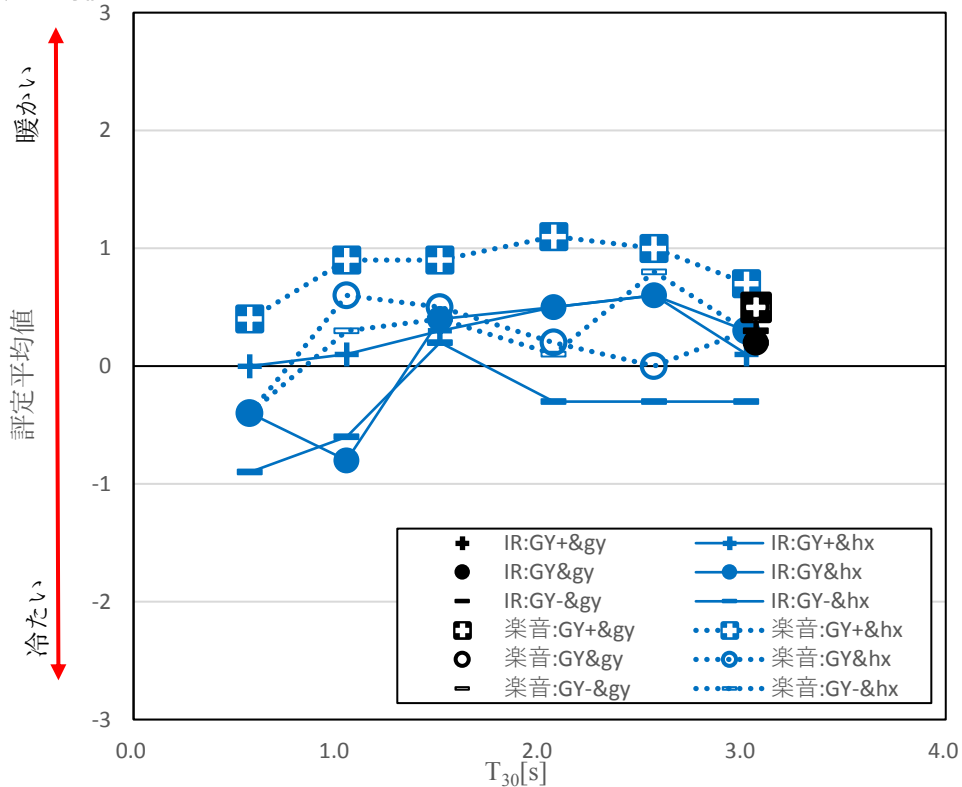


図 4-69 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 GY の「響きの暖かさ」の評定平均値

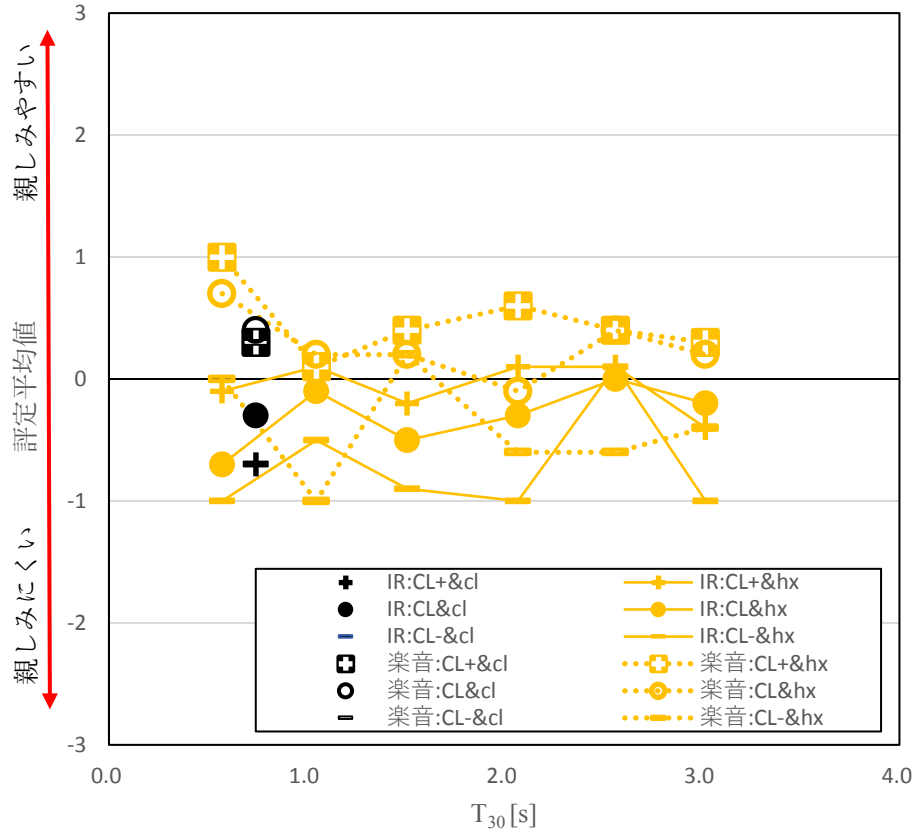


図 4-70 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 CL の「響きの親しみやすさ」の評定平均値

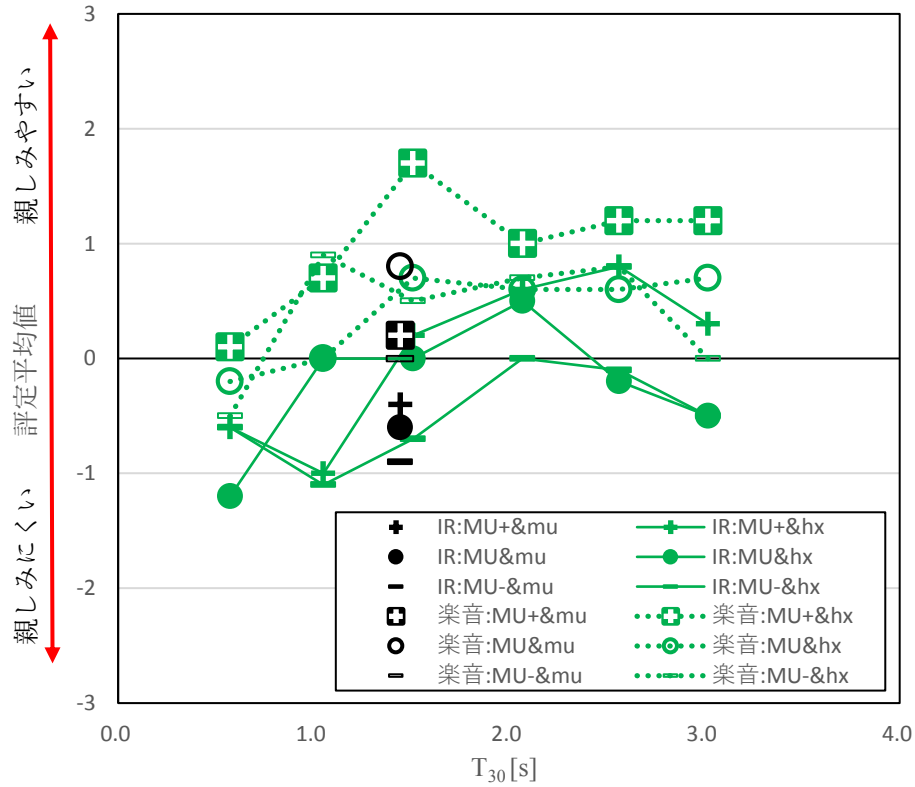


図 4-71 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの親しみやすさ」の評定平均値

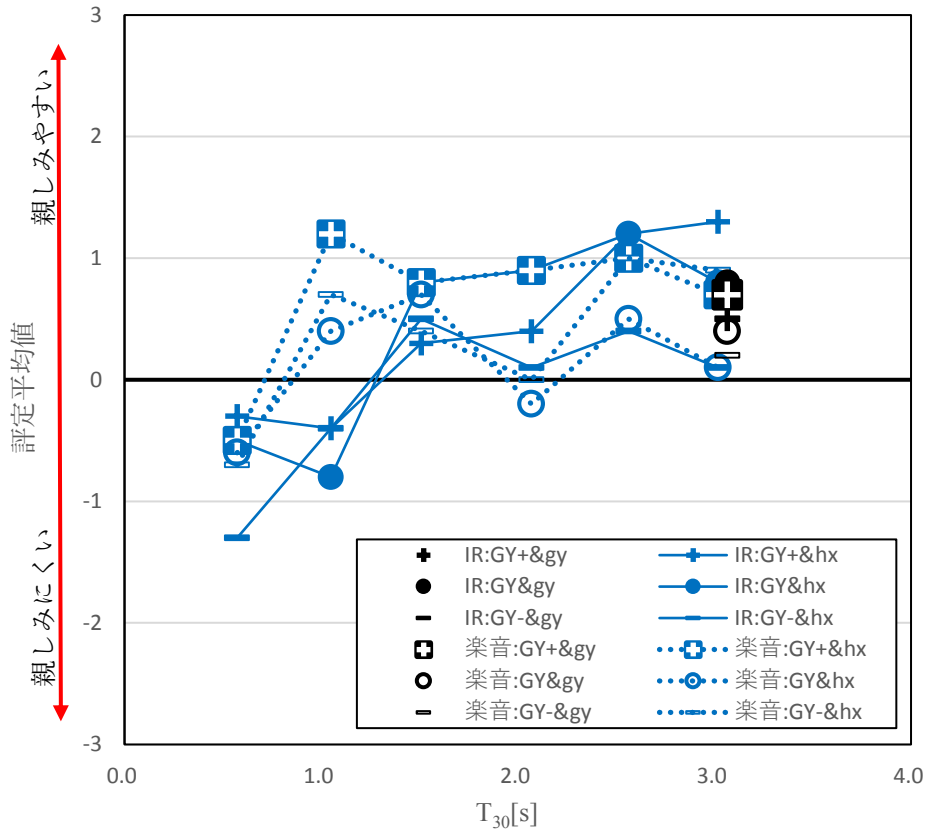


図 4-72 シリーズ Ci, Cm の視聴覚刺激の同時提示における残響時間に対する空間 MU の「響きの親しみやすさ」の評定平均値

4-4-3 聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示の主観評価の結果の比較

図 4-73～81 は、シリーズ Ci の聴覚刺激の単一提示における因子分析で「広さ（残響）因子」に分類された「響きの長さ」、「残響感」、「空間の広さ」における、聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分（視聴覚刺激の同時提示の評定平均値 - 聴覚刺激の単一提示の評定平均値）を示す。これら 3 項目における残響時間に対する差分の変動傾向は IR と楽音でほとんど変わらず、視覚情報から受ける影響が同程度であることが示唆された。

図 4-81～4-89 は、シリーズ Ci の聴覚刺激の単一提示における因子分析で「雰囲気因子」に分類された「響きの明るさ/暖かさ/親しみやすさ」における評定平均値の差分を示す。これら 3 項目は、楽音より IR の差分が大きい傾向が見られた。音場の反射音構造が純粹に反映された IR は、視覚情報が加わることで、「響きの明るさ/暖かさ/親しみやすさ」の評価がプラス方向に変動したと言える。

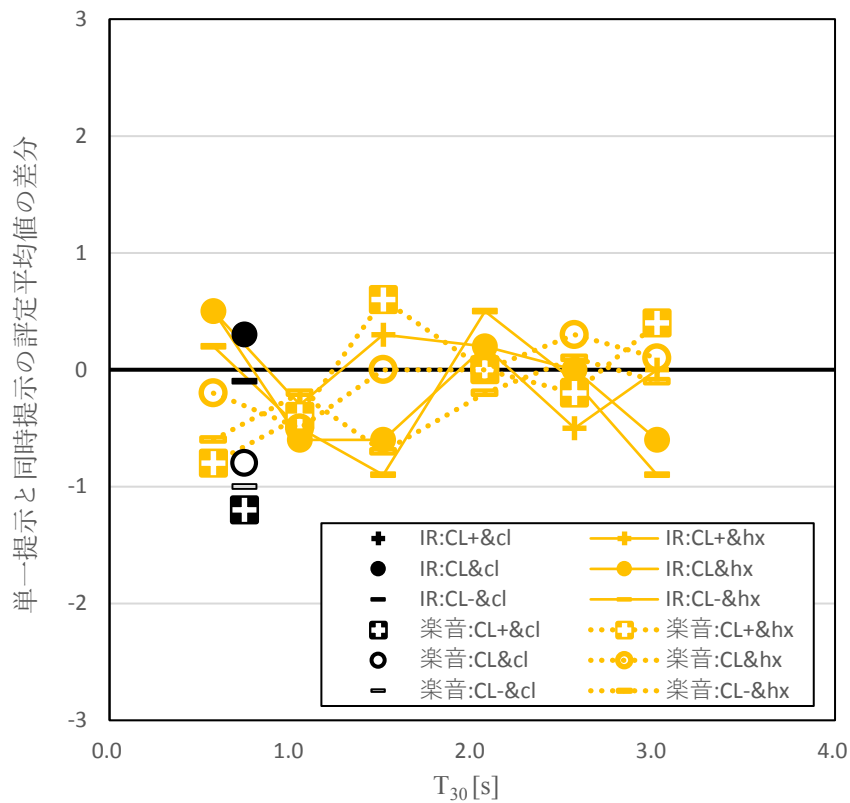


図 4-73 残響時間に対する空間 CL の「響きの長さ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

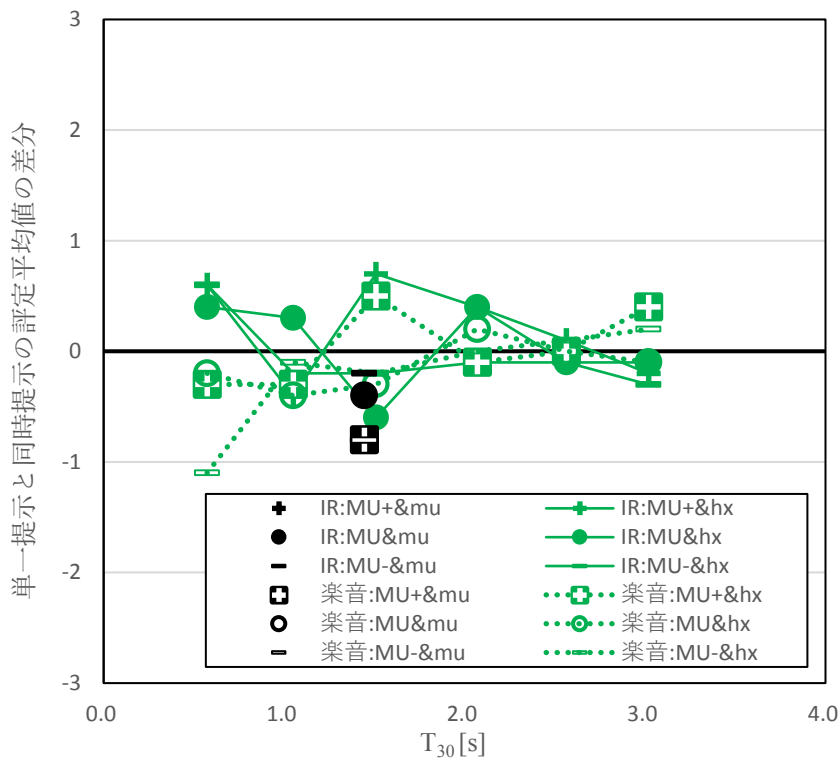


図 4-74 残響時間に対する空間 MU の「響きの長さ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

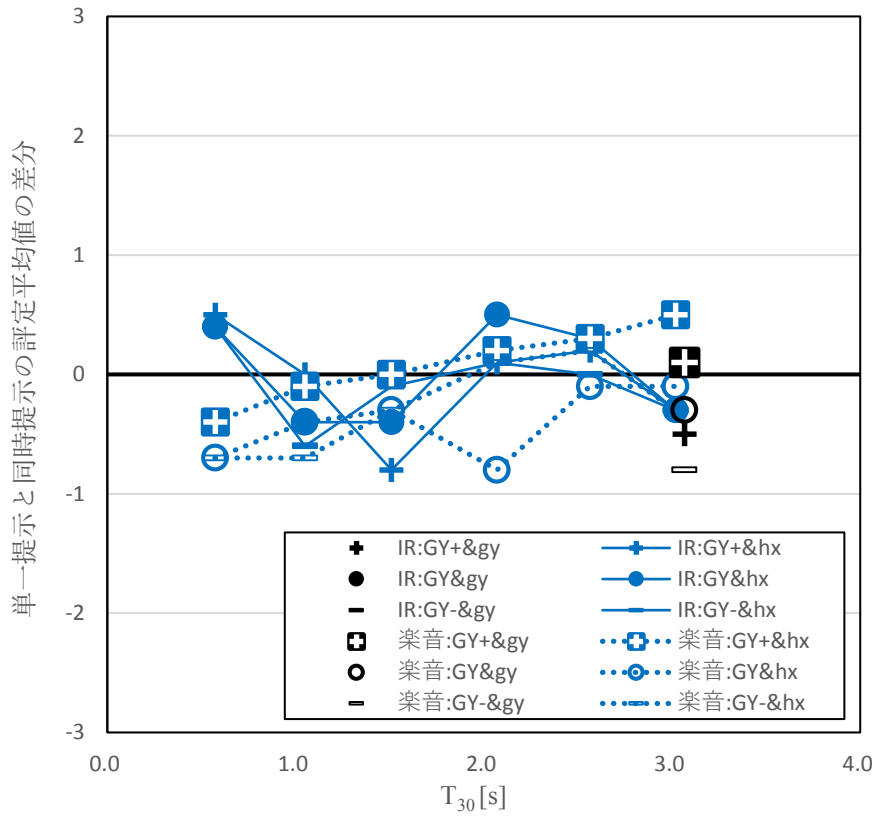


図 4-75 残響時間に対する空間 GY の「響きの長さ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

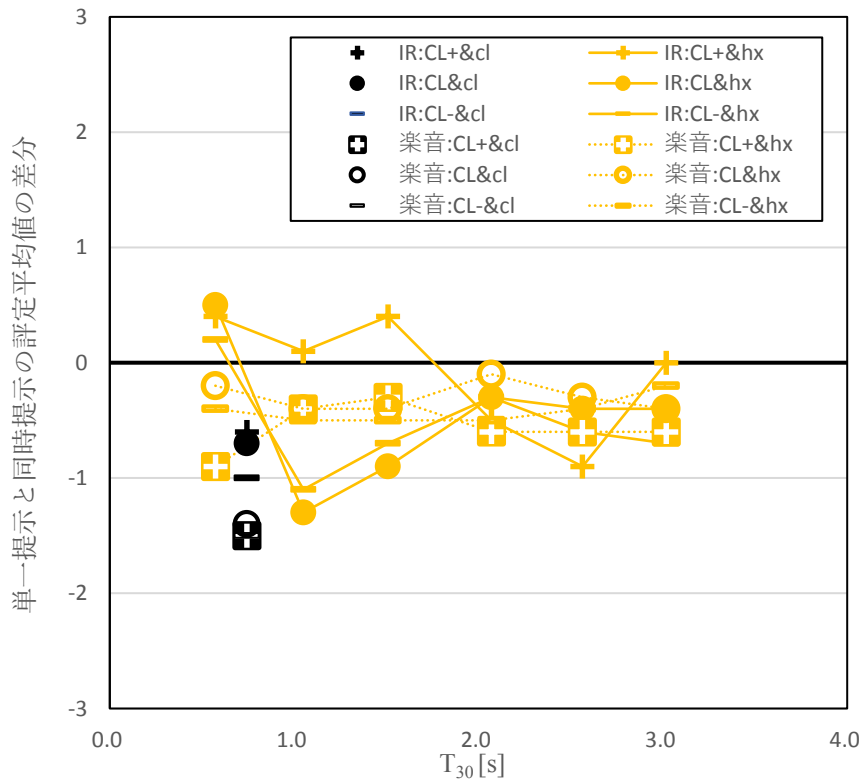


図 4-76 残響時間に対する空間 CL の「残響感」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

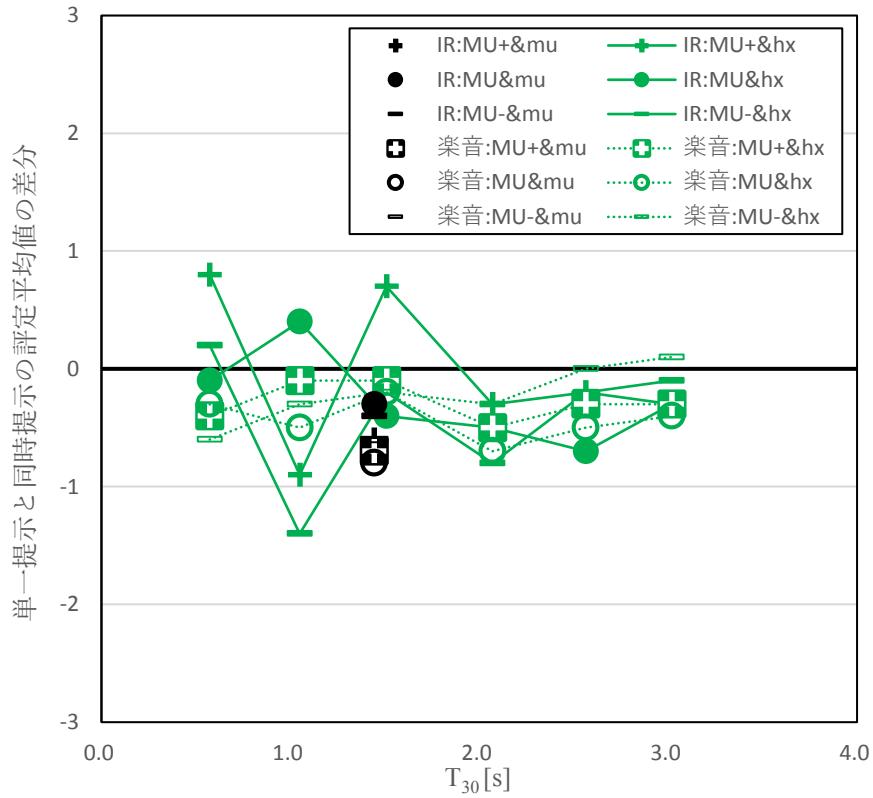


図 4-77 残響時間に対する空間 MU の「残響感」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

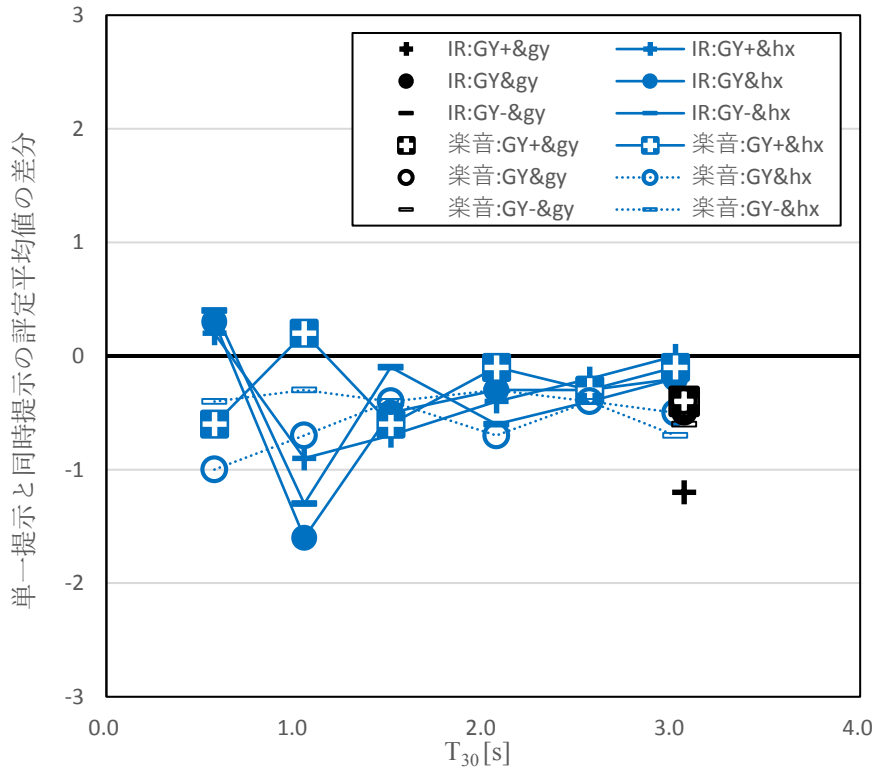


図 4-78 残響時間に対する空間 GY の「残響感」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

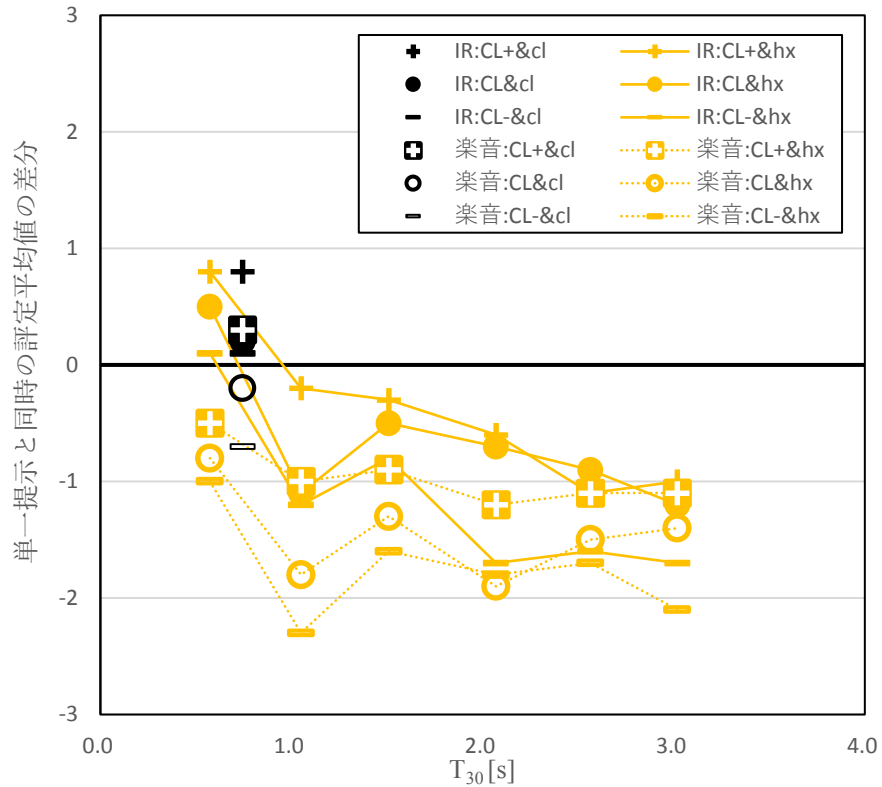


図 4-79 残響時間に対する空間 CL の「空間の広さ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差

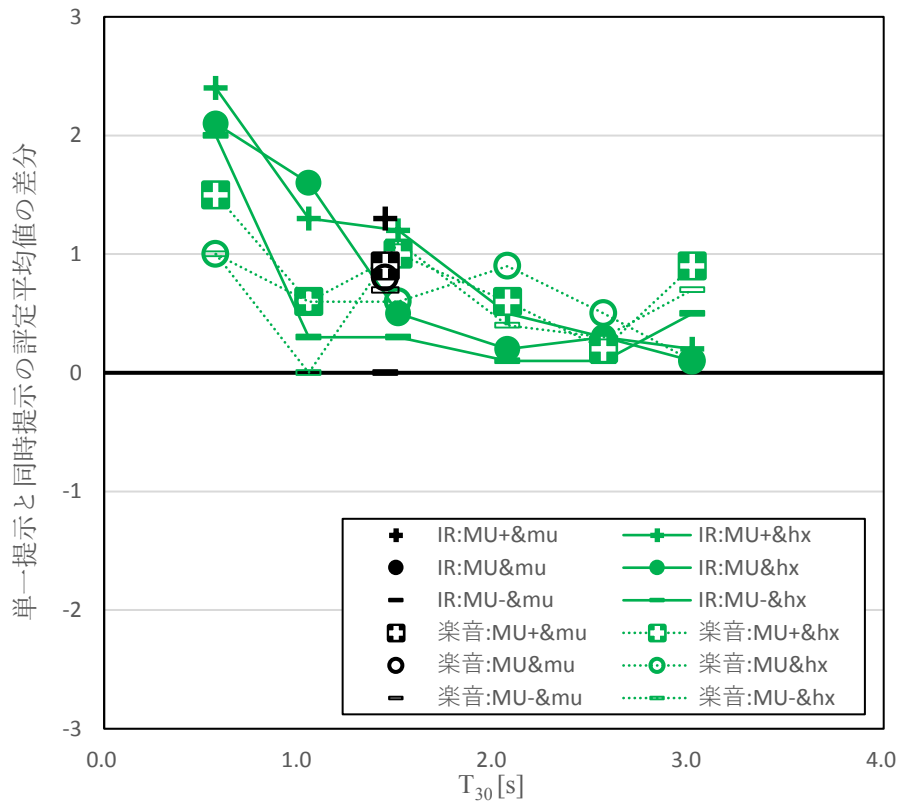


図 4-80 残響時間に対する空間 MU の「空間の広さ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差

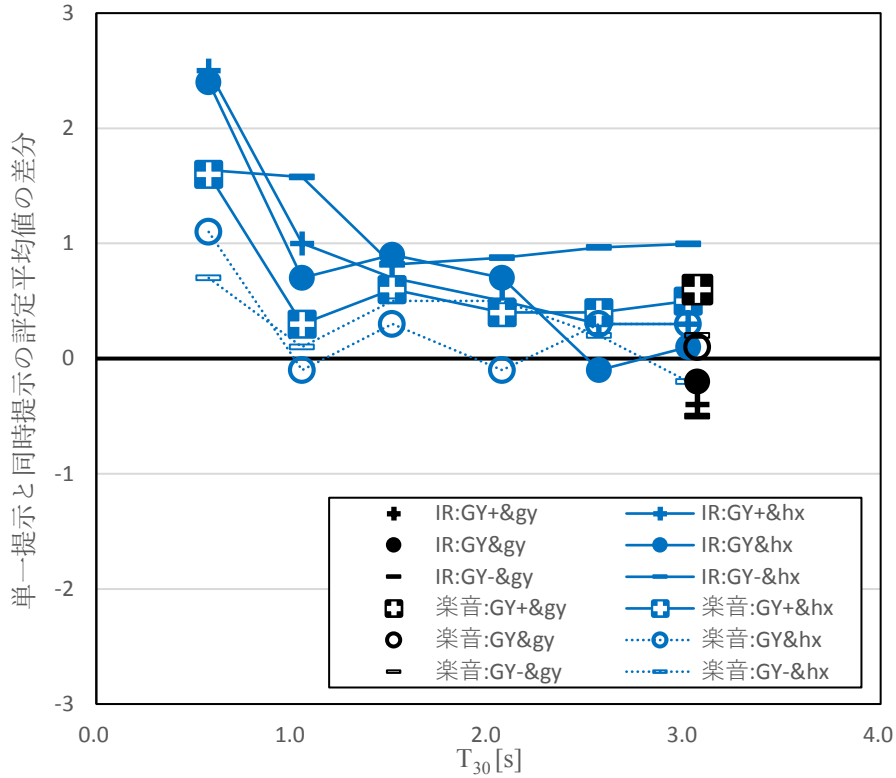


図 4-81 残響時間に対する空間 GY の「空間の広さ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

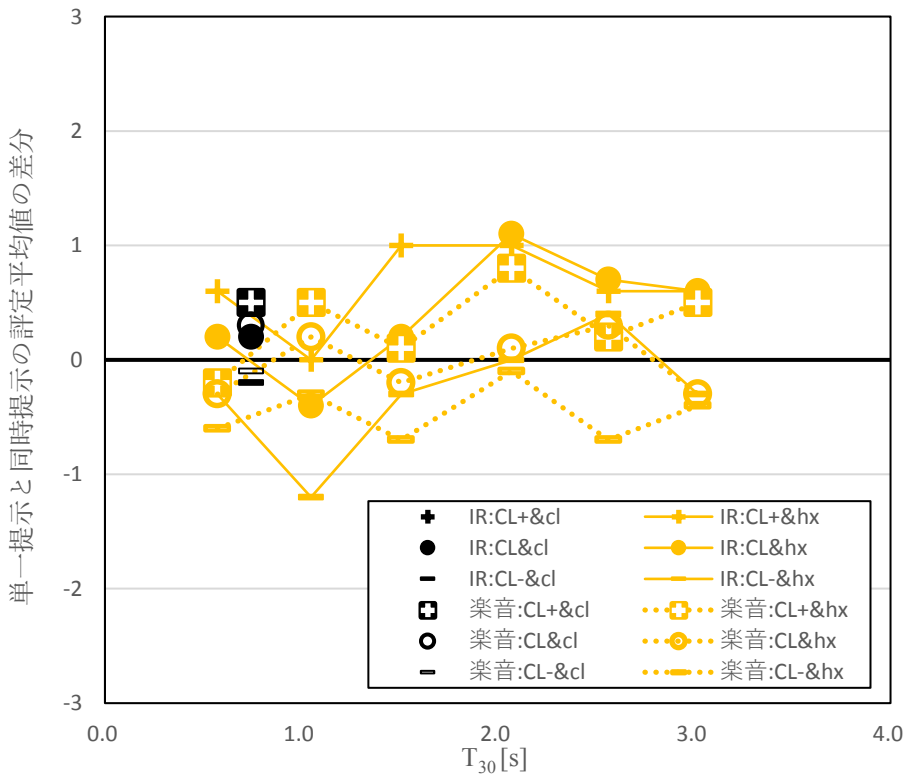


図 4-82 残響時間に対する空間 CL の「響きの明るさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

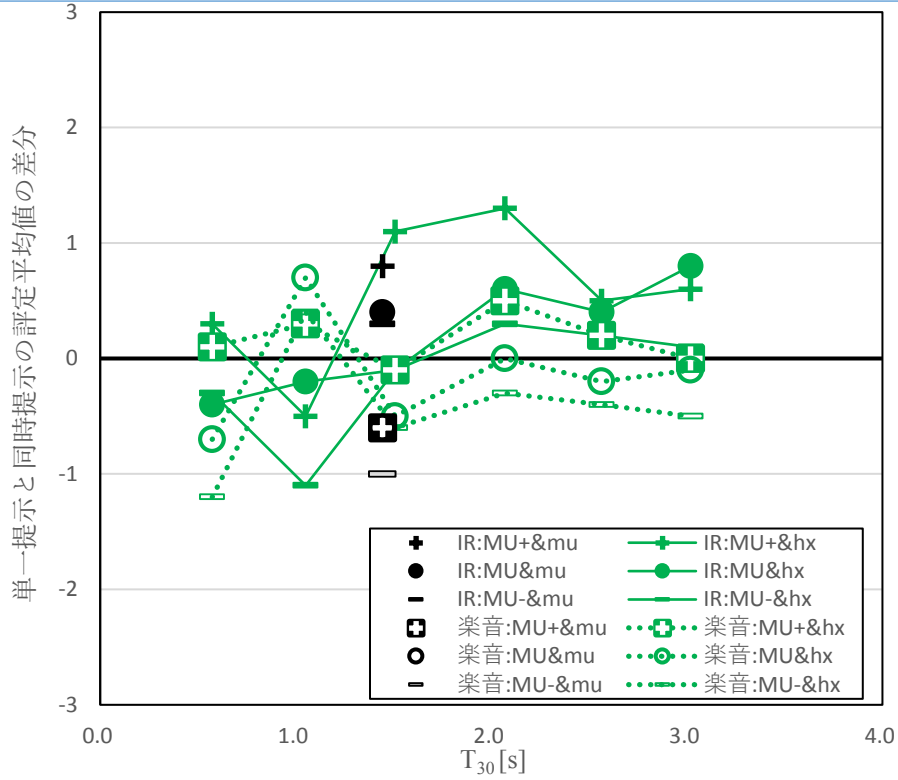


図 4-83 残響時間に対する空間 MU の「響きの明るさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

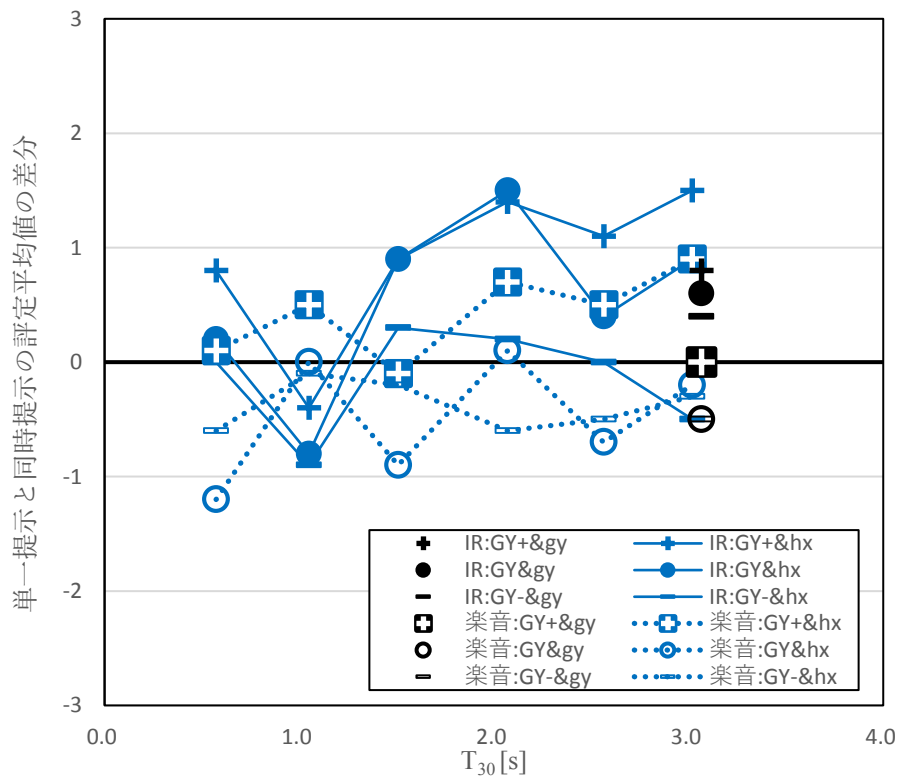


図 4-84 残響時間に対する空間 GY の「響きの明るさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

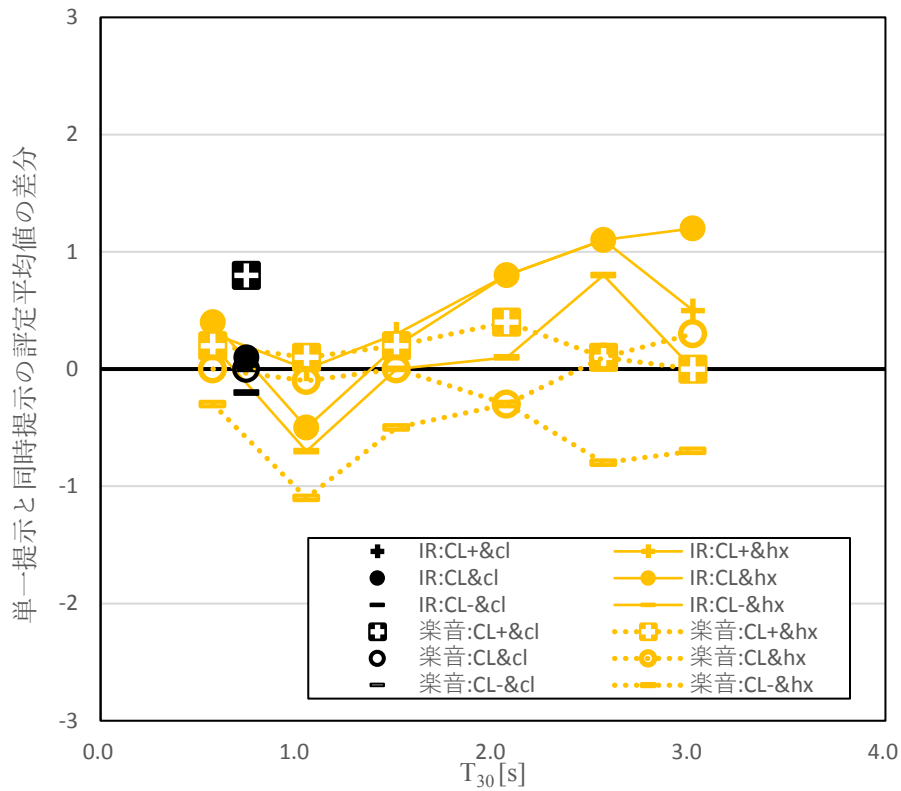


図 4-85 残響時間に対する空間 CL の「響きの暖かさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

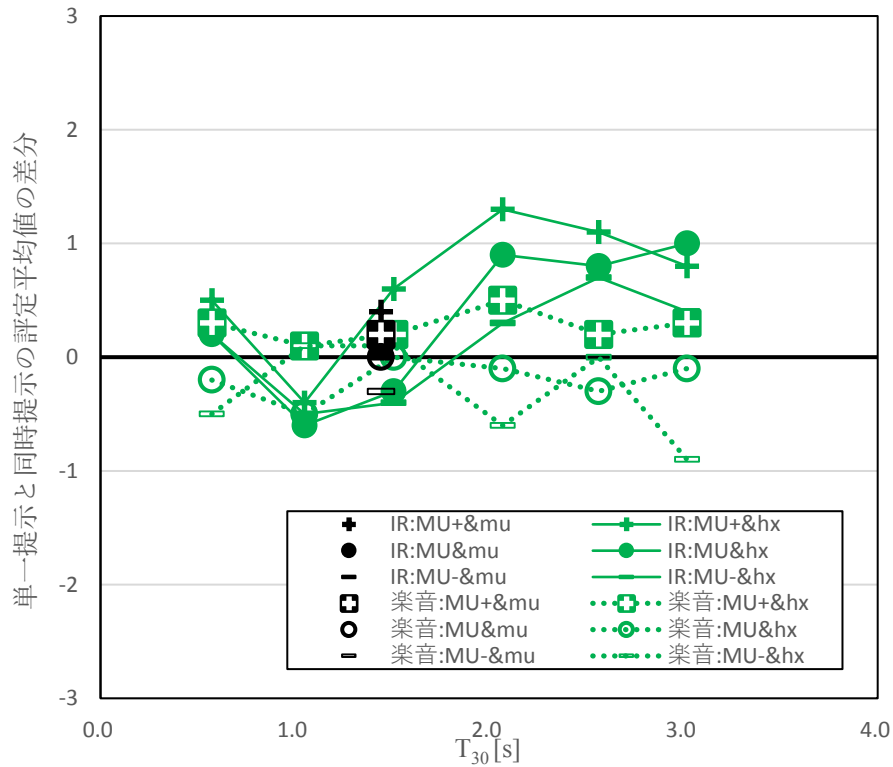


図 4-86 残響時間に対する空間 MU の「響きの暖かさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

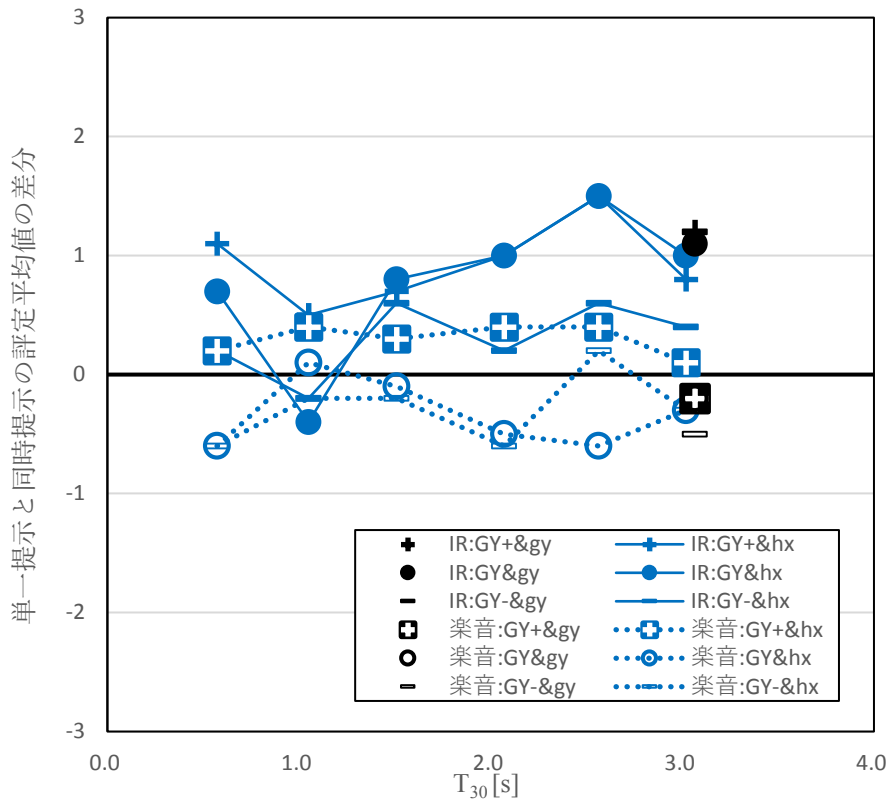


図 4-87 残響時間に対する空間 GY の「響きの暖かさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

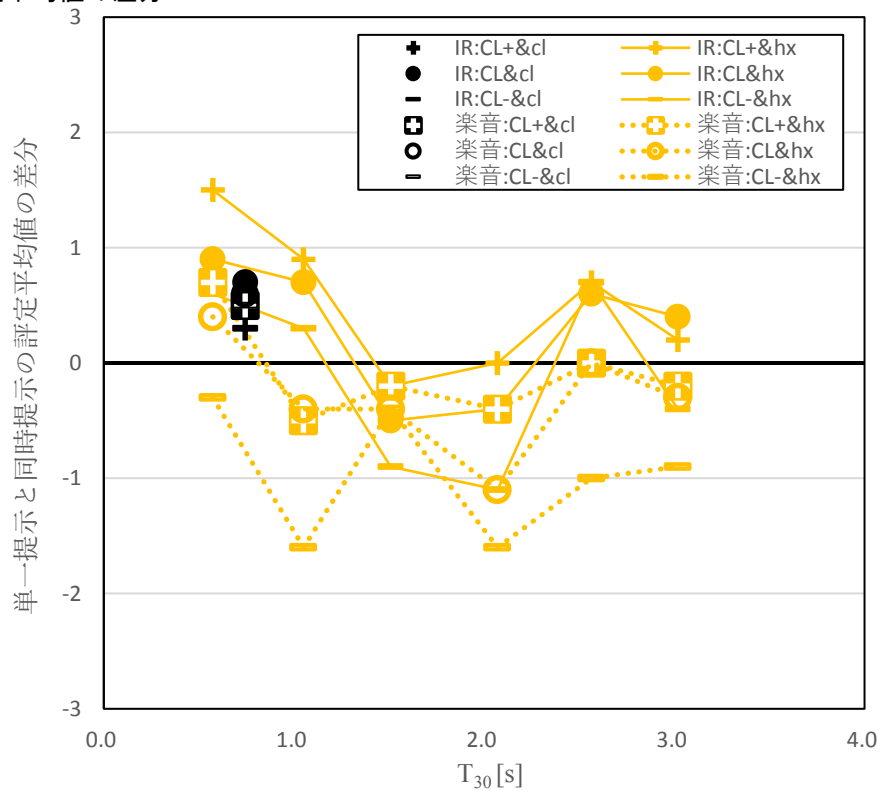


図 4-88 残響時間に対する空間 CL の「響きの親しみやすさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評価平均値の差分

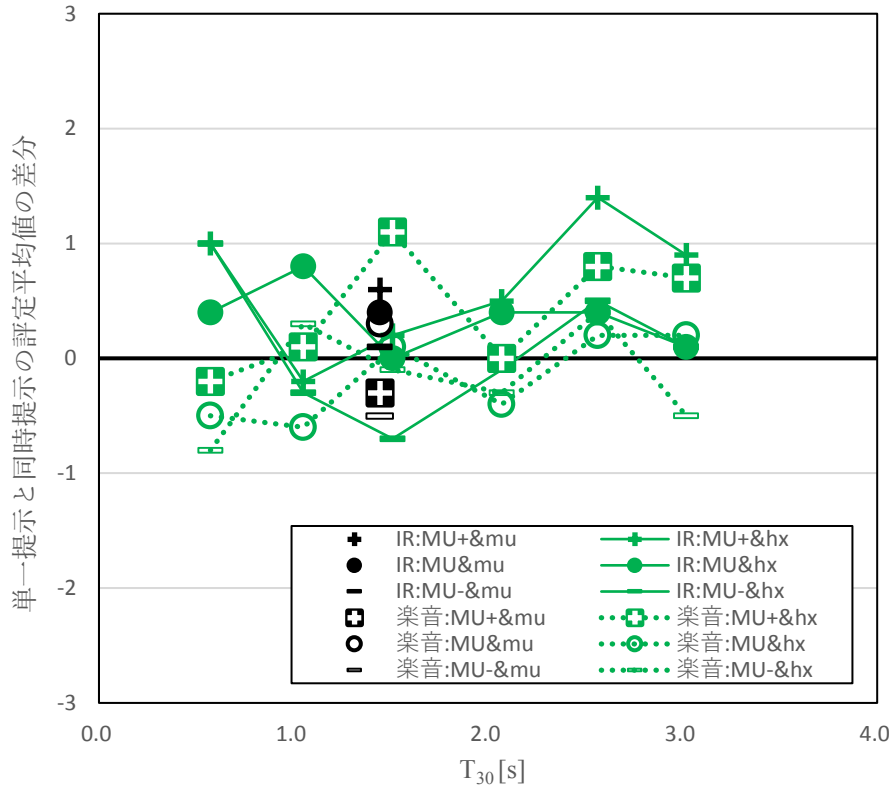


図 4-89 残響時間に対する空間 MU の「響きの親しみやすさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

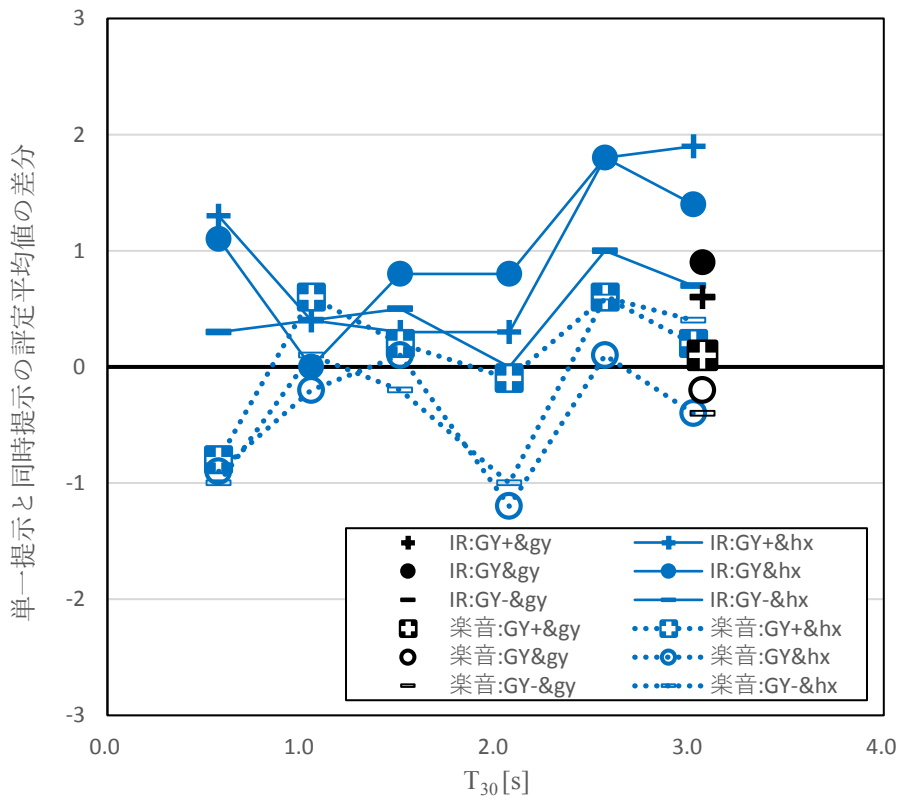


図 4-90 残響時間に対する空間 GY の「響きの親しみやすさ」の聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示における評定平均値の差分

4-5 小括

視覚刺激の照度変化によって視覚印象と聴覚印象の相互影響が生じるかを検証した。聴覚刺激が同じで視覚刺激の照度が異なる視聴覚刺激（X- α , X α , X+ α など）に対する様々な主観評価の評定平均値間で有意差検定を行った結果、「空間の明るさ」に対しては有意差が認められたものの、その他のほとんどの主観評価項目では有意差が認められなかった。

視聴覚刺激の同時提示における主観評価項目を因子分析した結果、「響きの長さ」と「残響感」は IR と楽音で共に「聴覚因子」に分類され、これらの印象を評価する際には視覚情報の影響を受けにくいと推察した。また、「響きの明るさ」と「響きの暖かさ」は「視聴覚共通因子」に分類され、これらの印象を評価する際には視覚情報の影響を受けやすいと推察した。それぞれの評価項目に対する視聴覚刺激の同時提示における評価結果を分析した結果、そのような傾向が僅かながら見られた。

旋律やテンポなどの情報も内包する楽音より、反射音構造のみを内包する IR の方が、聴覚印象に対して視覚情報の影響を受けやすいと思われる。

視聴覚刺激の同時提示時の IR に対する「空間の広さ」の印象は、視覚刺激のみに対する「空間の広さ」の評価と聴覚刺激の身に対する「空間の広さ」の予想を総合的に判断して評価されている。

第 5 章

結論

5-1 提示条件の変化による主観印象の変化

第2章から第4章に渡り、視覚または聴覚刺激の単一提示と視聴覚刺激の同時提示を行う主観評価実験を行い、以下、同時提示化による視覚・聴覚印象の変化について考察してきた。

第2～4章で共通して被験者に尋ねた「残響感」は聴覚刺激の残響時間のイメージについて尋ねる「響きの長さ」より3次元の量的イメージを伴うため、空間の属性に直結する視覚印象と連動し、たとえば聴覚的に「残響感」が“豊か”に感じられるほど視覚的に“広い”空間であると判断される傾向が窺えた。

第2章で、視聴覚刺激の同時提示で聴覚刺激の残響時間が長いほど“明るい”と評価されたことから、残響時間と「明るさ」に何らかの相互作用があることを期待されたが、視覚と聴覚それぞれで質問項目を設けておらず、視覚的または聴覚的な「明るさ」どちらの印象が変化したか定かではない。そこで第4章において、「空間/響きの明るさ」の評定平均値を視覚/聴覚の単一提示と視聴覚刺激の同時提示を比較し、残響時間が視覚、聴覚的な「明るさ」どちらの印象に影響を及ぼすか検証した。その結果、提示条件の間の有意差が「空間の明るさ」より「響きの明るさ」の評定平均値の方が多くの刺激で認められ、聴覚刺激の残響時間が1.5 s以降の場合にその傾向が強くなる。加えて、視聴覚刺激の同時提示の評定平均値において同一の視覚刺激と異なる残響時間を持つ聴覚刺激が組み合わさった視聴覚刺激に対する有意な変動が、「空間の明るさ」は認められず、「響きの明るさは」は認められた。これらのことから、聴覚刺激の残響時間が影響を及ぼす「明るさ」は聴覚的な「明るさ」であると考えられる。

第3章では実測 IR と擬似 IR を、第4章では実測 IR と編集 IR、それらに楽音のドライソースを畳み込んだ響きを聴覚刺激として用いた主観評価実験を行い、聴覚刺激の与え方が異なることによる同時提示化による主観印象の変化の程度を検討した。これら聴覚刺激のうち、特徴的な聴感を持つ擬似 IR や音程やリズムなど複数の情報を内包する楽音よりも、比較的エネルギー減衰が典型的な指数減衰の性状を呈する実測 IR と編集 IR の方が、視覚情報による影響を受けやすく聴覚的な主観印象が変化しやすい傾向が窺えた。

5-2 視覚と聴覚に通様相性を持つ主観印象の相互関係

第4章において、視覚と聴覚に通様相性を持つ「空間の明るさ」と「響きの明るさ」などの主観評価項目の相互影響を検証した。照度を3段階に調整した3空間のVR映像を用いることで、空間の形状や広さは変わらず明るさのみが変わる視覚刺激を用いた。

視聴覚刺激の同時提示における因子分析の結果、「空間の明るさ」、「響きの明るさ」、「空間の暖かさ」、「響きの暖かさ」は同一因子に分類され、視覚刺激の単一提示の評定平均値において、異なる照度を持つ視覚刺激の間で有意差が認められた「空間の明るさ/暖かさ」と通様相性を持つ「響きの明るさ/暖かさ」が他の評価項目に比べて、「空間の明るさ」が“明るい”と評価されると「響きの明るさ」も“明るい”と評価される様な、視覚と聴覚印象が相互に影響を及ぼし合う“共鳴現象”が窺えた。この現象は、「空間の明るさ/暖かさ」より「響きの明るさ/暖かさ」で強く見られ、視覚と聴覚に通様相性を持つ主観評価項目においては聴覚情報が視覚印象に及ぼす影響より、視覚情報が聴覚印象に及ぼす影響の方が大きいことが窺えた。加えて、この影響は実測・編集IRに楽音のドライソースを畳み込んだ響きよりIRの方がも受けやすい傾向が見られた。

視覚刺激の単一提示の評定平均値において、視覚の知覚で生じる知覚の恒常現象⁽¹¹⁾が働くことにより、異なる照度を持つ視覚刺激の間で有意差が認められなかったと考えられる主観印象とそれらと通様相性を持つ聴覚に関する主観印象は、視聴覚刺激の同時提示において、照度の異なる視覚刺激と同一の聴覚刺激が組み合わせられた視聴覚刺激の評定平均値に対して有意な変動が認められなかった。視聴覚刺激の同時提示においても、空間の照度の変化は知覚の恒常性によってそれら視覚に関する主観印象に聴覚情報は影響を及ぼさず、それらと通様相性を持つ聴覚に関する主観印象でも視覚情報が影響を及ぼさないと推察される。

5-3 総括

本実験を行い、建築空間において人が抱く視聴覚主観印象の相互関係の詳細を検討し、視覚と聴覚に通様相性のある主観印象は、相互に影響を及ぼすことがあると分かった。「響きの明るさ」と「空間の明るさ」や「響きの暖かさ」と「空間の暖かさ」は、特に密接な関係があり、建築空間でも“共鳴現象”が起こり得ることが窺えた。視覚刺激の照度の違いが同時提示の「空間の明るさ/暖かさ」、「響きの明るさ/暖かさ」以外の主観評価に与える影響はほとんど見られない。ゆえに、これらの印象を測定しない主観評価実験における視覚刺激は、空間用途毎の最適利用照度範囲内で撮影された写真をそのまま使用して作成された VR 映像を用いることが望ましい。同じ残響時間でも、聴覚刺激の与え方が異なると（実測 IR、擬似 IR など）に同時提示化による主観印象の変化の程度に差が生じると思われる。特に、IR と楽音を比べると、IR より楽音の方が同時提示化による主観印象の変化が小さかった。しかし、音程やリズムなどを持ち連続音から成る楽音では付加した響きについて評価されているか定かではない。

今後は、視覚印象が聴覚印象に与える影響をより明確にする為に、同一空間で照度だけでなく空間の広さや色彩などを変化させた視覚刺激を用いて実験を行うことが効果的だと考える。また、現在の我々の研究では出来ていない、視覚刺激を明確な数値として表すことが、我々の研究目的である、実務的な音響設計や建築設計において適用可能な補助的な知見を得ると考える。また、楽音などの連続音においても、付加した響きについて評価されているか検証し、今回の楽音を用いた実験結果から得られた知見の妥当性を検討しなければならない。

研究を進めるにあたり、多くの方々のご指導とご協力を賜りました。

三重大学大学院工学研究科建築学専攻准教授 寺島貴根先生には、本研究を進めるにあたり大変貴重なご指導を賜りました。厚くお礼申し上げます。

また、永井久也教授、北野博亮准教授には本研究の副査として熱心にご指導を頂きました。厚くお礼申し上げます。

本研究における視聴覚主観評価実験に、多くの方々に被験者としてご協力頂きました。記して感謝の意を申し上げます。

共に研究を進めてきた寺島研究室の皆様には、大変お世話になりました。感謝致します。

その他、多くの方のご協力によって、この論文を完成させることができました。改めて感謝の意を申し上げます。

1. 重野純：“音の世界の心理学”、ナカニシヤ出版、2003.
2. 岩宮眞一郎：“音の生態学 ―音と人間のかかわり―”、コロナ者、2000.
3. 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.
4. 難波精一郎 他：“音の評価のための心理学的測定法”、コロナ社、1998.
5. 淀川英司 他：“視聴覚の認知科学”、電子情報通信学会、1998.
6. 中村雄二郎：“共通感覚論”、岩波書店、2000.
7. 山崎浩一：“とても基本的な学習心理学”、おうふう、2013.
8. 南博文：“環境心理学の新しいかたち”、誠信書房、2006.
9. 井上裕光：“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、2012.
10. JIS 照度基準表：“やさしい明かりの基礎知識”、<www.akaricenter.com/mame/pdf/jis-shoudo.pdf>、2016年10月6日アクセス
11. 小島武男、中村洋：“現代建築環境計画”、オーム社、1979.
12. Densil Cabrera et al.：“AUDITORY VERSUS VISUAL SPATIAL IMPRESSION: A STUDY OF TWO AUDITORIA”、Proceeding of ICAD 04-Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display, 2004.
13. 羽入敏樹：“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集 Vol.79, No.696, 2014/2.
14. 堀内宏剛 他：“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”、2011.

15. 岡井映里香 他：“様々な建築・都市空間における視覚情報と音場の主観評価について”、2011.
16. 徳永泰伸 他：“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 -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-”、2009.
17. 若山滋 他：“近代建築の視覚的印象による意匠特性の研究”、1986
18. 藤本隆史 他：“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 43 号、pp.341-344、2005.
19. 和仁優子 他：“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”、2013.
20. 石川あゆみ 他：“建築空間の再現提示によって想起される聴覚の主観印象に対する視覚情報の影響”、2014.
21. 川合正浩 他：“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学術研究発表会梗概集 第 54 号、302、pp.277-280、2016.
22. 川合正浩 他：“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-”、日本建築学会全国大会（九州） 、40168、学術講演梗概演習 pp.363-364、2016.