

令和5年度

修士論文

建築空間の視覚情報における幾何学的
パラメータ変化が残響感に及ぼす影響

指導教員 寺島貴根教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

實川翔太

目次

第1章	<u>序論</u>	1
1-1	研究背景	2
1-2	研究目的	2
1-3	研究概要	3
1-4	既往研究との違い	3
1-5	被検者	4
1-6	Decay Time と残響時間の変換式	4
第2章	<u>予備実験</u>	5
2-1	研究目的	6
2-2	概要	6
2-3	予測残響時間の測定	6
2-3-1	実験概要	6
2-3-2	実験結果と分析	8
第3章	<u>扇形形式の空間に対する実験</u>	9
3-1	研究目的	10
3-2	概要	10
3-3	視覚刺激の認知実験	10
3-3-1	実験概要	10
3-3-2	実験結果と分析	12
3-4	予測残響時間の測定	15
3-4-1	実験概要	15
3-4-2	実験結果と分析	16
3-5	主観評価実験	19
3-5-1	実験概要	19
3-5-2	実験結果と分析	20
3-6	小括	30
第4章	<u>シューボックス型ホールに対する実験</u>	31
4-1	研究目的	32
4-2	概要	32
4-3	視覚刺激の認知実験	32
4-3-1	実験概要	32
4-3-2	実験結果と分析	34

4-4	予測残響時間の測定	38
4-4-1	実験概要	38
4-4-2	実験結果と分析	38
4-5	主観評価実験	41
4-5-1	実験概要	41
4-5-2	実験結果と分析	41
4-5-3	被検者の選別	51
4-6	予測残響時間の測定(追加実験)	63
4-6-1	実験概要	63
4-6-2	実験結果と分析	64
4-7	主観評価実験(追加実験)	66
4-7-1	実験概要	66
4-7-2	実験結果と分析	66
4-7-3	被検者の選別	75
4-8	小括	85
第5章	<u>空間形状による実験結果の比較と考察</u>	<u>87</u>
5-1	扇形多目的ホールとシューボックス型ホールの結果の比較と考察	88
5-1-1	視覚刺激の認知実験における結果の比較と考察	88
5-1-2	予測残響時間の測定における結果の比較と考察	88
5-1-3	主観評価実験における結果の比較と考察	89
5-2	小括	89
第6章	<u>結論</u>	<u>90</u>
	謝辞	93

第 1 章

序論

1-1 研究背景

人が生活する建築、都市では多種多様な建築空間が存在し、それぞれの空間においてさまざまな音場が存在する。この音場は空間の大きさや素材、形状によって決まり、人間は感覚的にこれを感じ取っている。また、人間は日常的に5感を使ってあらゆるものを感じとるが、この中でも視覚情報と聴覚情報が感覚としての情報を取り入れることに大きな割合を占めている。そして、これら2つの感覚はマーカー効果や腹話術効果に代表されるように、視覚情報と聴覚情報が相互に作用して互いに情報を補完しあうことが広く知られている。建築空間における音場の主観評価においてもこの相互作用は存在し、聴覚から得た音場の印象に建築空間の視覚情報が何かしら影響を与えていると考えられる。しかし、音場の評価研究や音響設計を行う際、聴覚情報のみを研究対象としたものは多く、視覚情報による影響を考慮した研究はあまり行われていない。また、音場の評価を行う際に、音の大きさ(ラウドネス)や距離感に関する研究事例はあるが、音の残響感や広がり感のような主観的な印象に関する研究例は少ない。石川らの研究¹⁾によって建築空間における視覚情報が聴覚情報である残響感に影響を与えることは明らかになっているが、影響が生じる条件や程度について詳細な検討はなされていない。建築空間の内観の視覚情報が音場の主観印象に影響を与えており、視覚情報による影響のメカニズムを解明すれば、音響設計に生かすことができる。例えば、十分な残響感を得ることができない音楽ホールにおいても内観の変更により補完でき、同容積のホールでもより臨場感のある音響設計が可能になると考える。

同研究室ではこれまで視覚情報が聴覚情報に与える影響について研究²⁾³⁾を進めており、建築空間の視覚情報が音場の印象に影響を与えているという結果が得られている。この視覚情報と聴覚情報が相互に作用しあうのは脳が感覚的に視覚と聴覚の情報が同一空間の現象に起因すると認識する必要があり、この状態・条件を視聴覚統合と呼ぶ。すなわち、視覚情報と聴覚情報が無関係である場合、視聴覚統合は成立せず、聴覚情報において視覚情報は影響を与えない。一方、関係性が認識されて視聴覚統合が成り立つ条件において、視覚情報と聴覚情報の若干の齟齬が発生した場合、視覚情報に基づいて聴覚印象が補正させると考えられる。この仕組みをここでは補正モデルと呼ぶこととする。

1-2 研究目的

本研究は建築空間における残響感に与える視覚情報の影響を明らかにすることであり、視覚刺激における建築空間の高さ・横幅・奥行の各ディメンジョンが残響感に与える影響を明らかにすることを目標としている。

1-3 研究概要

本研究では、CAD を用いて作成した様々な空間ディメンジョン（高さ・幅・奥行き寸法）を持つ仮想の建築空間の内観 VR 映像（視覚刺激）と、可変の残響時間を持つ音楽や音声（聴覚刺激）を被験者に提示し、聴覚刺激のみの提示（シングルモード）および視聴覚刺激の提示（マルチモード）における被験者の残響感を測定している。ディメンジョンの異なる視覚刺激を用いた各測定条件におけるモード間の残響感の変化傾向を観測し、各ディメンジョンの違いによる視覚刺激の影響を分析している。これに先立ち、実空間のパノラマ写真を用いた視覚刺激と比較することによる CAD で作成した視覚刺激による評価実験の有効性の検証、各ディメンジョンの異なる視覚刺激のみを提示して被験者が各ディメンジョンの違いを認識しているかを検証する実験と、視覚刺激のみを被験者に提示し、視覚刺激から予測される主観的残響時間（以下、予測残響時間と呼ぶ）を測定する実験を行なっている。また、検討対象とする空間は、小規模の矩形教室、中規模の扇形多目的ホール、大規模のシューボックス型ホールであり、いずれも実在する建築空間をモデルとしており、空間の用途や形状についても検討を行なっている。

本論文は、6 章から構成されており、第 2 章では、CAD 作成による視覚刺激を用いた主観評価実験の有効性、第 3 章では扇形多目的ホール、第 4 章ではシューボックス型ホールを対象とした検討を行なっている。5 章では、これらを比較し、各ディメンジョンの残響感への影響についてまとめている。

1-4 既往研究との違い

これまで寺島研究室では、実在空間や仮想空間の内観パノラマ映像と室内インパルス応答に基づく聴覚刺激を用いて残響感に対する視覚情報の影響について検討を行ってきた。石川ら¹⁾は、実際の建築空間の内観映像のスクリーン投影やインパルス応答信号による実時間畳み込みを用いて残響感の測定実験を行っており、視覚刺激の存在が残響感に影響を与えることを明らかにしているが、刺激提示方法や直接的な残響感の測定において課題を残した。竹山ら²⁾は、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）を使用する VR 環境を導入して、刺激の提示方法を改善するとともに、建築空間の視覚刺激それぞれに対する予測残響時間を測定している。さらに、谷脇ら³⁾はゲームエンジン Unity で構築した VR 仮想空間を用いることによってよりアドバンスした主観評価実験を行い、予測残響時間を中心に視聴覚統合が生じる残響時間の範囲を特定している。一方、視覚刺激のパラメータ化はこれまで課題となっており、視覚刺激として実空間のパノラマ映像では無く、CAD で作成した仮想空間のパノラマ映像を用いることで、空間の大きさや素材、形状を変化させることにより、視覚刺激の影響をより詳細に検討できるようになる。本研究では、視覚刺激として CAD で作成した仮想空間のパノラマ画像を用いていることが大きく異なり、これによって、残響感に影響を及ぼす視覚刺激のパラメータ（本研究においては空間ディメンジョン）とその程度を明らかにすることができると考えられる。

1-5 被検者

正常な視覚と聴覚を持つ大学生および一般人から採用した。各実験における被験者は第 2 章では 10 名、第 3 章では 9 名、第 4 章では 10 名となっている。

1-6 Decay Time と残響時間の変換式

被検者が Unity 上で予測残響時間や残響感を回答する場合、その回答値は実際の残響時間とは異なる値(Decay Time)で記録される。そのため、図 1-1 に示す近似式を用いて Decay Time を残響時間に変換した値を本研究では用いる。図は横軸に Unity 上での Decay Time の設定値、縦軸は分析器である DSSF3⁴⁾ で測定して得られた残響時間である。Decay Time による聴覚刺激を DSSF3 により分析した値をプロットし、近似式を導いている。

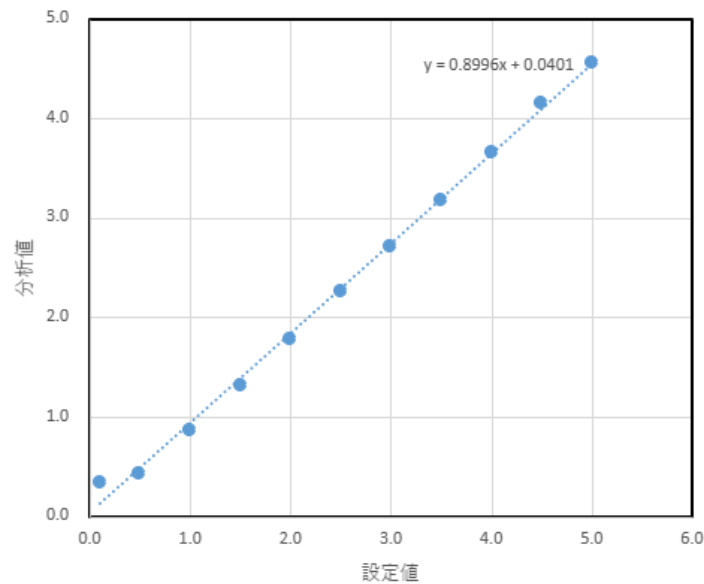


図 1-1 Decay Time と残響時間の近似式

第 2 章

予備実験

2-1 研究目的

本章の目的は、実際の建築空間の内観パノラマ映像を視覚刺激として使用してきたこれまでの実験方法の、CAD で作成したパノラマ映像を用いた場合への適用性を検証することである。

2-2 概要

実画像およびCAD 画像を用いて予測残響時間の測定を行い、両者の結果を比較することで、CAD 作成画像を用いる実験の有効性を検証する。

2-3 予測残響時間の測定

予測残響時間とは人間が空間を視覚的に認識した時に、経験等から予測する残響感に応じた残響時間である。

2-3-1 実験概要

実験刺激

視覚刺激は、多目的ホール(三重大学講堂)と教室(三重大学 28 番教室)の内観を撮影した 360° パノラマ画像とこれらの空間の設計図面 PDF を CAD ソフト (ArchiCAD) に取り込んでトレースし、360° パノラマ規格として出力した画像である。本実験で用いた建築空間の概要を表 2-1 に、本実験において用いた視覚刺激の画像を図 2-1~2-4 に示す。音源の位置には黄色い球体を表示している。

また、聴覚刺激は楽音(水上の音楽)⁵⁾または音声(男性アナウンサーの声)⁶⁾のドライソースに、Unity のシステム上で残響を付加したものであり、被験者は手元のコントローラーで残響時間を無段階・リアルタイムに変化させることができる。尚、第 3 章と第 4 章における聴覚刺激は楽音(水上の音楽)を用いている。



図 2-1 R1



図 2-2 V1



図 2-3 R2



図 2-4 V2

表 2-1 視覚刺激の名称・仕様

対象空間	実画像	CAD 画像	容積[m ³]	備考
多目的ホール	R1	V1	12,000	三重大学三翠ホール
教室	R2	V2	750	三重大学工学部 28 番 教室

実験手順

被験者には HMD とヘッドホンを通して視覚刺激と聴覚刺激を提示する。被験者には図 2-5 のような画面が見えており、コントローラーでスライダー操作を行うことにより聴覚刺激の残響時間を随時変更することができ、被験者が視覚刺激に適合すると感じる残響の状態ですライダーのハンドル位置を固定することで残響感の回答値がパソコンに記録される。スライダーのハンドルは Unity の DecayTime パラメーターと連動しており、回答された DecayTime 値は、1-5 節の変換式により残響時間に換算され、これを被験者の予測残響時間とした。順番効果をなくすために、被験者ごとに視覚刺激の提示順がランダムとなるようにした。



図 2-5 被験者が HMD を通して試している視覚刺激の例

2-3-2 実験結果と分析

実験結果

実験結果を表 2-2 に示す。単位はすべて[s]である。また T_{30} は実空間の残響時間の測定値である。

表 2-2 予測残響時間の測定結果

対象空間	実画像	CAD 画像	T_{30}
多目的ホール	1.94	1.92	1.4
教室	0.32	0.54	0.8

次に、図 2-6 と図 2-7 は被験者のデータ分布を表している。それぞれの平均値は図中の×で表している。

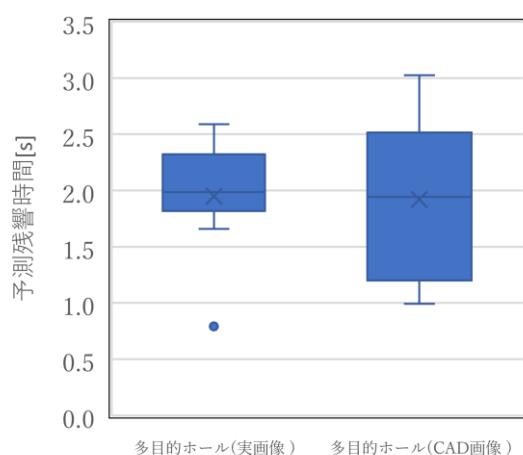


図 2-6 被験者のデータ分布(多目的ホール)

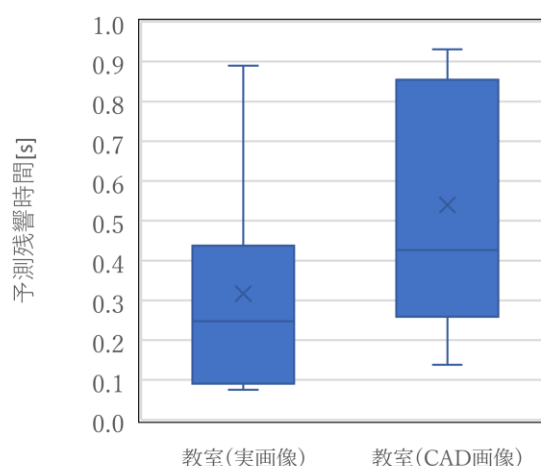


図 2-7 被験者のデータ分布(教室)

図 2-6 と図 2-7 において、多目的ホールの実画像に外れ値が見られたものの全体として実画像と CAD 画像は同程度のデータ分布を示している。教室においては実画像のほうが予測残響時間を少し短く予測する傾向が見られるが、多目的ホールと教室のいずれについても、実画像と CAD 画像に対する予測残響時間の平均値はそれぞれ同程度の値となり、両者の間に有意差は生じない結果となった。このことから CAD によってモデリングされた空間画像が実際の建築空間の映像と同じ実験結果が期待できることを示しており、CAD 画像を用いた実験の有効性を示していると言える。

第 3 章

扇形形式の空間に対する実験

3-1 研究目的

本章の目的は、扇形形式の空間（多目的ホール）における視覚刺激が残響感に及ぼす影響を明らかにすることである。

3-2 概要

視覚刺激の認知実験（被験者が画像の変化を知覚しているか確認する実験）、予測残響時間の測定（視覚情報から被験者が予測する残響時間の測定）、主観評価実験（予測残響時間から偏差のある残響時間を持つ聴覚刺激と視覚刺激の組み合わせによる被験者の残響感の測定実験）を行う。

3-3 視覚刺激の認知実験

異なる建築空間のディメンジョン（空間の幅・高さ・奥行き）を持つ複数の視覚刺激において、被験者がその差異を認識しているかを確認する実験を行う。

3-3-1 実験概要

実験刺激

視覚刺激は第2章で用いた多目的ホールの内観をCADでトレースして作成したパノラマ画像（オリジナル）を基本に、CAD上でディメンジョンの変化を施して作成したパノラマ画像を用いる。

ディメンジョン変化については、表図3-1・図3-1～3-5に示すように高さを0.5m刻みで8段階変化させ、横幅は扇型ホールであるため、5°刻みで8段階変化させた。奥行は座席が3列ごとに一段上がる構造であるため、段を追加か削除することで変化させた。オリジナルの画像と合わせて21種類の視覚刺激を用いる。ディメンジョンの変化の組み合わせによる視覚刺激は用いない。

表 3-1 実験で用いた視覚刺激の仕様と名称

高さ	名称	H-2	H-1.5	H-1	H-0.5	0	H+0.5	H+1.0	H+1.5	H+2.0
	変化量[m]	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
横幅	名称	W-20	W-15	W-10	W-5	0	W+5	W+10	W+15	W+20
	変化量[°]	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
奥行	名称			D-2	D-1	0	D+1	D+2		
	変化量[段]			-2	-1	0	1	2		

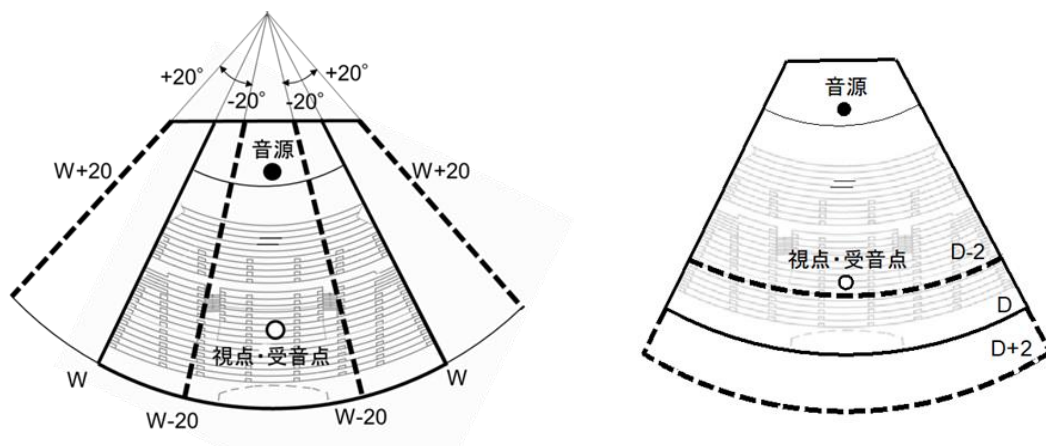


図 3-1 視覚刺激の平面における仕様の違い

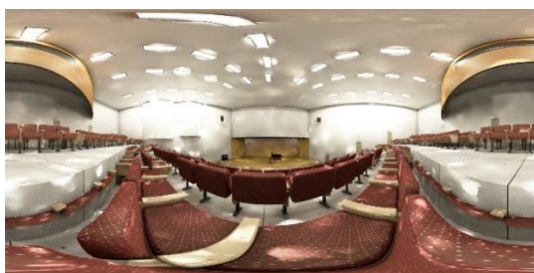


図 3-2 視覚刺激の例(Original)

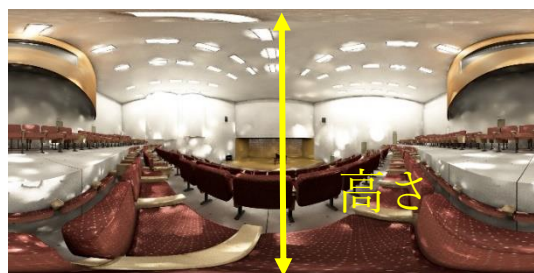


図 3-3 高さを変更した視覚刺激の例(H+2.0)



図 3-4 横幅を変更した視覚刺激の例(W+20)



図 3-5 奥行(後方)を変更した視覚刺激の例(D+2)

実験手順

HMDを通してCADで作成されたパノラマ画像を提示することによって、被験者は視覚刺激としての仮想的な空間を3次元的に見渡すことができる。オリジナル画像からのディメンジョン変化を認識しているか確認するため、初めにオリジナルの視覚刺激を提示して、次にディメンジョンを変化させた視覚刺激を提示する。被験者には図3-6のような画面が見えており、被験者は変化を認識したディメンジョンのスライダーをコントローラーで操作することで、変化を認識したディメンジョンと認知した変化の程度を回答する。スライダーの回答値の幅はディメンジョンの変化数に合わせて9段階の-4~+4の整数値とした。なお、この実験では聴覚刺激を用いない。順番効果をなくすために、被験者ごとに視覚刺激の表示

順がランダムとなるようにした。



図 3-6 被検者が HMD を通して見ている視覚刺激の例

3-3-2 実験結果と分析

実験結果

横軸に視覚刺激の条件、縦軸に被験者が空間に対して感じたディメンジョンの変化の程度(細線)とそれらの平均値(太線)を示す。各ディメンジョン変化に対して被験者が高さ・横幅・奥行のそれぞれに対して感じた変化の程度を示すグラフを作成している。視覚刺激は容積順に並べている。

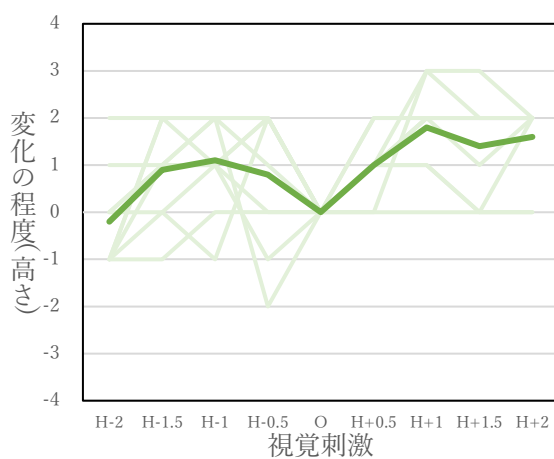


図 3-7 高さに対する認識(高さ変化)

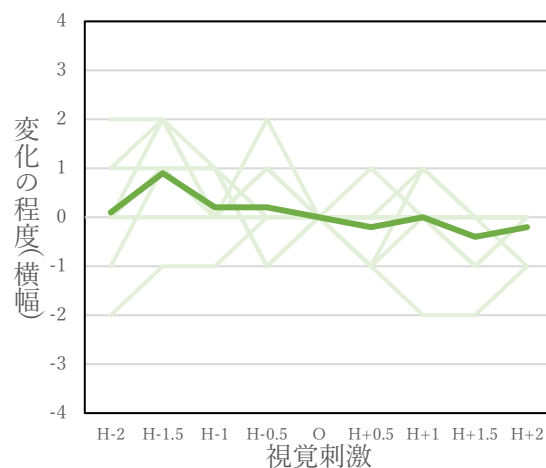


図 3-8 横幅に対する認識(高さ変化)

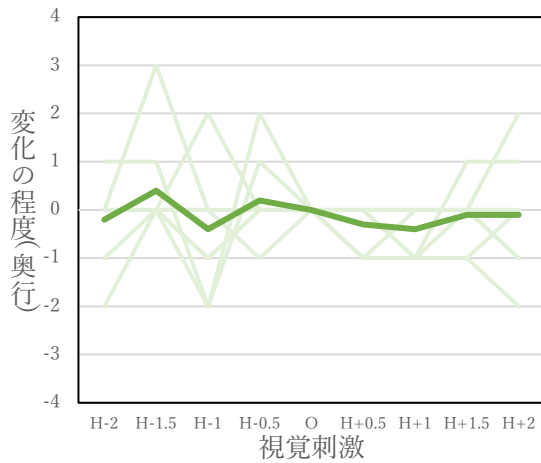


図 3-9 奥行に対する認識(高さ変化)

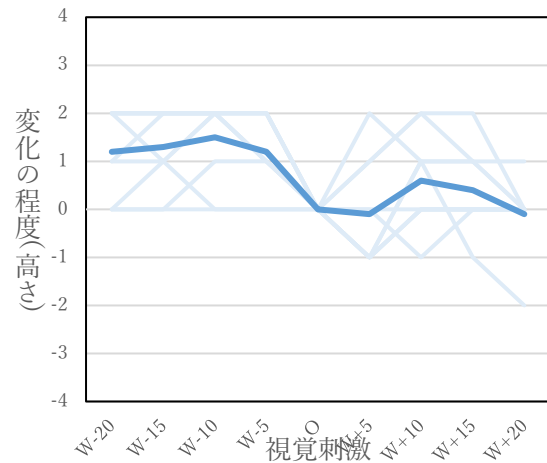


図 3-10 高さに対する認識(横幅変化)

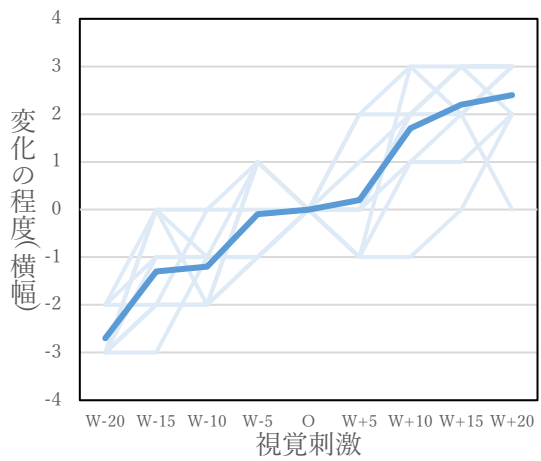


図 3-11 横幅に対する認識(横幅変化)

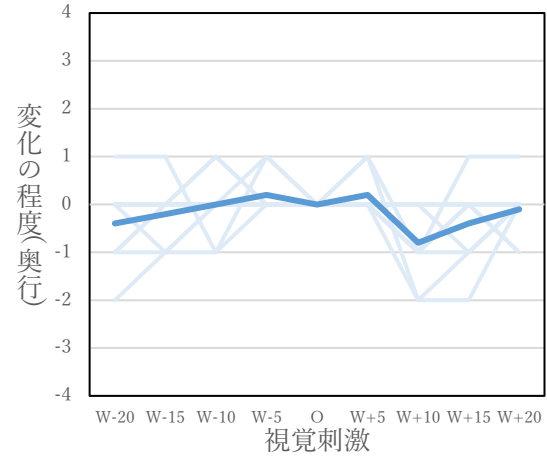


図 3-12 奥行に対する認識(横幅変化)

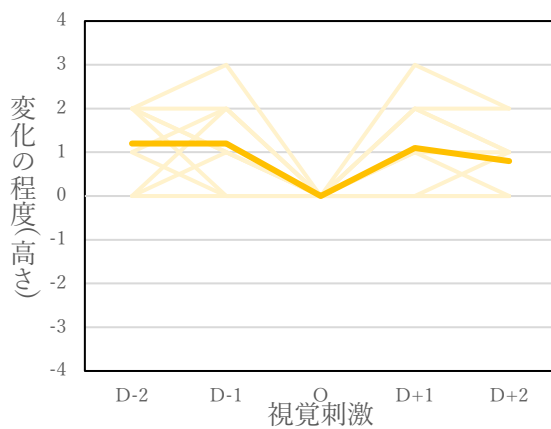


図 3-13 高さに対する認識(奥行変化)

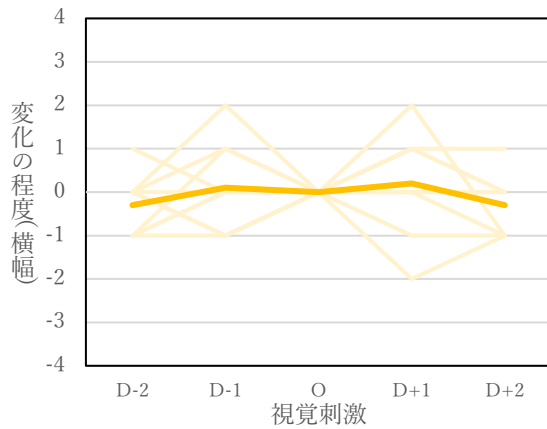


図 3-14 横幅に対する認識(奥行変化)

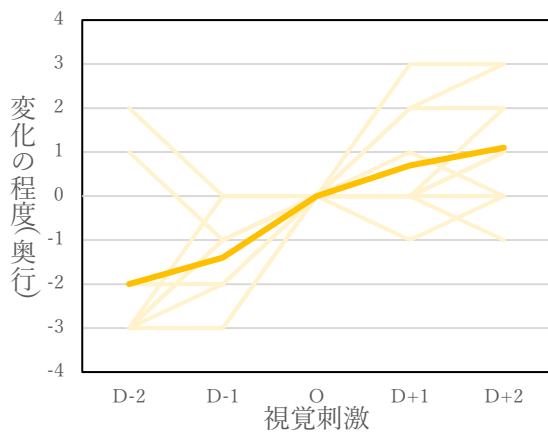


図 3-15 奥行に対する認識(奥行変化)

認識したディメンジョンの変化の程度を示す回答の平均値は「高さ」を除いて空間変化に
 応じており、有意な変動を示した。「高さ」の変化においては、被験者はオリジナルより低
 く変化させた空間を逆に高く変化したと認識しているような結果となった。これは図 3-8 か
 ら、高さが低くなる状態を横幅が広がったと誤認識することで高さ方向への認識が甘く
 なったのではないかと考えられる。また、「横幅」や「奥行」をマイナス方向に変化させた
 視覚刺激に対しては、被験者は高さが高くなったと誤認識する傾向があることがわかった。

まとめ

視覚刺激における「横幅」および「奥行」の変化は、被験者に正しく認識されることが確
 認された。「高さ」については、誤認識される可能性があり、今後の聴覚印象に対して影響
 を及ぼす可能性がある。

3-4 予測残響時間の測定

本実験ではさまざまなディメンジョンを持つ扇形空間の視覚刺激に対する予測残響時間を測定し、ディメンジョン変化による違いを明らかにする。

3-4-1 実験概要

実験刺激

3節の視覚刺激に高さを0.5m刻みで-2.5m~3.5mまで13段階変化させた視覚刺激と、舞台上の奥行きを1m刻みで-3.0m~3.0mまで6段階変化させた視覚刺激を追加した。オリジナルの空間と合わせて27種類の視覚刺激を用いる。(3節の視覚刺激の認知実験で用いた刺激とは奥行き方向の変化が異なっている。被験者が変化を見落とす危険性を考慮して、前方のステージ後壁の変化に切り替えている。また、高さ変化への認識が甘かったことから変化量を増やしている。) 概要を表3-2に、変化の仕様を図3-16に示す。

表 3-2 実験で用いた視覚刺激の仕様と名称

高さ	名称	H-2.5	H-2	H-1.5	H-1	H-0.5	0	H+0.5	H+1.0	H+1.5	H+2.0	H+2.5	H+3.0	H+3.5
	変化量[m]	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
横幅	名称		W-20	W-15	W-10	W-5	0	W+5	W+10	W+15	W+20			
	変化量[°]		-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20			
奥行	名称			D-3	D-2	D-1	0	D+1	D+2	D+3				
	変化量[m]			-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0				

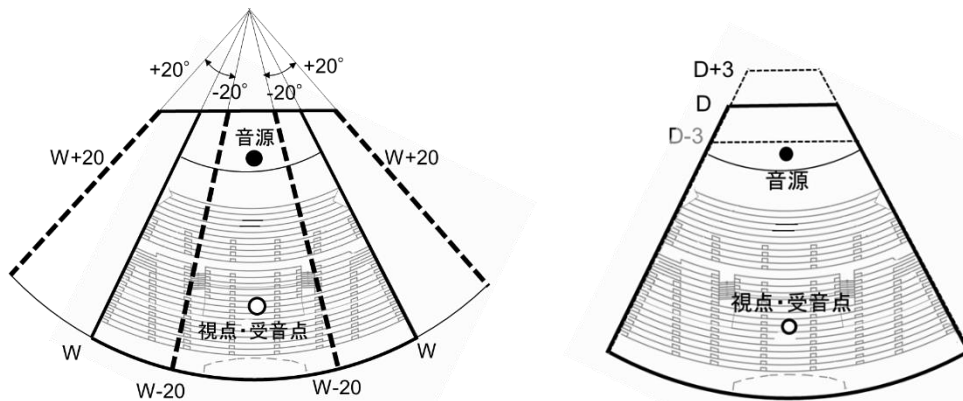


図 3-16 視覚刺激の平面における仕様の違い

実験手順

第2章の予測残響時間の測定実験と共通する実験手順を用いる。

3-4-2 実験結果と分析

実験結果

横軸に視覚刺激の条件、縦軸に被験者ごとの予測残響時間（細線）とそれらの平均値（太線）、平均値の近似曲線（点線）を図3-17～3-19に示す。

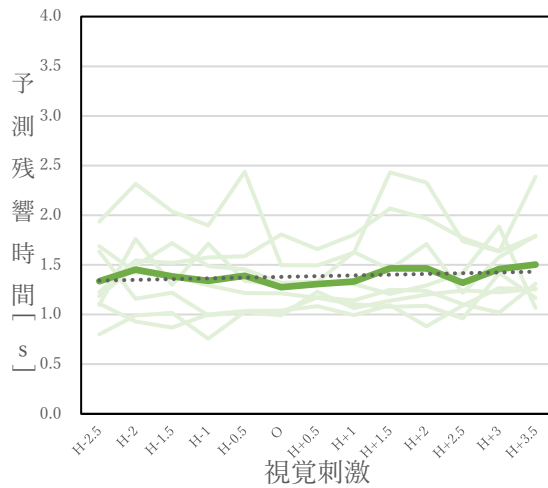


図3-17 予測残響時間(高さ変化)

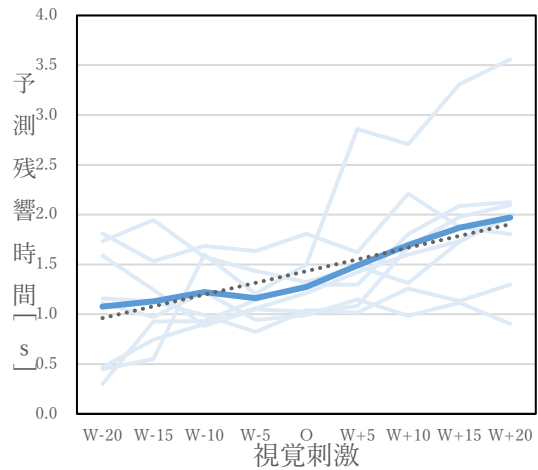


図3-18 予測残響時間(横幅変化)

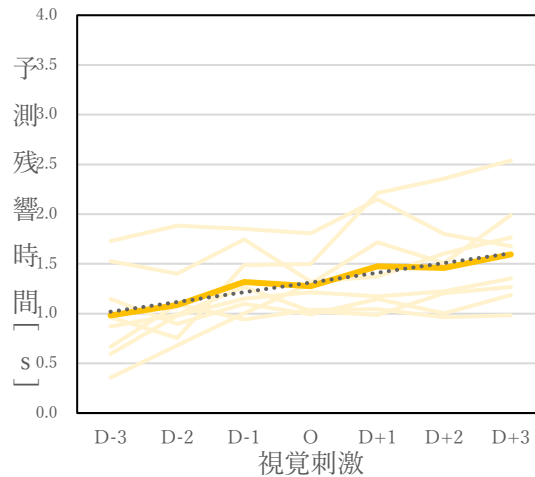


図3-19 予測残響時間(奥行変化)

高さ変化について

図3-17より、予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意性は示さなかった。3-3 視覚刺激の認知実験において、高さの変化に対する認識は必ずしも映像の変化と一致した結果にならなかったことから、高さ変化に対する認識の感度が

低いため、予測残響時間に対する高さ変化の影響は見られなかったと思われる。

横幅変化について

図 3-18 より、予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意性が示された。図において、横幅の変化がマイナス側 (W-20~0) では予測残響時間の変動が少ない横ばいのグラフとなっているが、プラス側 (0~W+20) では予測残響時間は増加傾向にあった。横幅の変化量が少ない範囲 (W-10~W+5) においては、被験者の回答値にばらつきが少なく、個人差が小さかった。一方、横幅の変化量が大きい範囲では、個人差が大きくなった。平均値の変動幅は、1.08 (W-20)~1.97 (W+20) の約 1 秒であった。

奥行変化について

図 3-19 より、予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意性が示された。全体的に奥行きの変化量の増加に伴い回答値が増加する右上がりのグラフが得られた。平均値の変動幅は、0.98 (D-3)~1.60 (D+3) の約 1.5 秒であった。

まとめ

一般に、残響時間は室の容積に比例して長くなるため、いずれのディメンジョンにおいてもプラス側に变化すれば容積は増加し残響時間は長くなる。このことを被験者が理論的・経験的に理解していれば、いずれのディメンジョンの増加にともなって予測残響時間は増加すると予想されたが、被験者が直感的に回答した今回の実験結果においては、「高さ」の変化による予測残響時間への影響は明確には表れなかった。視覚刺激の認知実験においても、高さ変化の認識の程度は有意な変動を示さなかったことを考えると、高さ変化は予測残響時間の変化に結びつかなかったと考えられる。

今回の実験結果では、扇形形状の空間においては、主として横幅と奥行のディメンジョンが被験者の残響時間の予測、すなわち残響感に影響していると考えられる。

図 3-20 には、横軸に各視覚刺激が表す空間の容積の大きさの順に視覚刺激をとり、縦軸に被験者ごとの予測残響時間(細線)とそれらの平均値(太線)、平均値の近似曲線(点線)を示す。

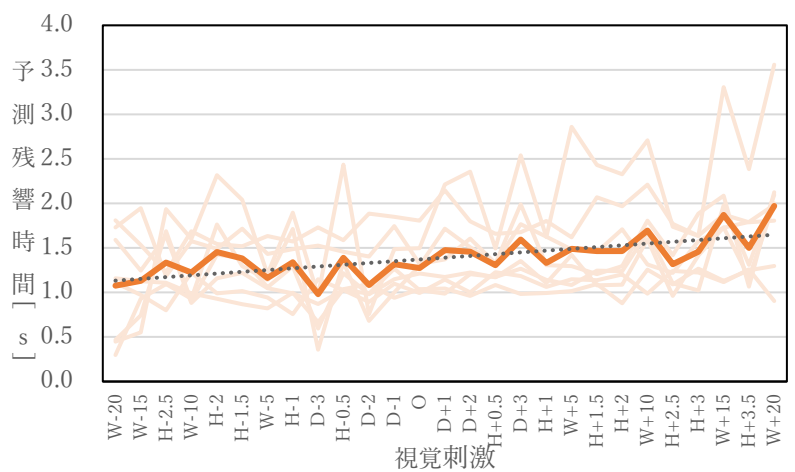


図 3-20 予測残響時間(容積順)

図 3-20 より予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意な変動は示さなかったが、やや右上がりの傾向が見られる。概ね、容積が大きく予測残響時間も大きくなる結果となった。

3-5 主観評価実験

さまざまなディメンジョンの室内観を示す視覚刺激と、その予測残響時間と異なる残響時間を有する聴覚刺激を組み合わせた視聴覚刺激が与えられた場合の残響感を測定し、さらに視覚情報の有無による残響感の違いを明らかにする。本実験の目的は、視覚刺激における各ディメンジョンの変化が与える残響感への影響の違いを明らかにすることである。

3-5-1 実験概要

実験刺激

視覚刺激は、3-4 節の予測残響時間の測定で用いられたものの中から、各ディメンジョンの変化量が+側・-側ともに最大のものを使用した。聴覚刺激は3-4 節の測定で得られた予測残響時間の平均値を基本として、 $\pm 0.4[s]$ と $\pm 0.8[s]$ の残響時間の差を有する残響を楽音のドライソース⁵⁾に付加した信号を用いた。実験で用いた視覚刺激と聴覚刺激の残響時間の組み合わせを表 3-3 に示す。

表 3-3 視覚刺激と聴覚刺激の残響時間の組み合わせ

視覚刺激	聴覚刺激				
	Δt (予測残響時間からの差分)				
	-0.8	-0.4	± 0	+0.4	+0.8
	残響時間				
o	0.98	1.38	1.78	2.18	2.58
h+5	1.14	1.54	1.94	2.34	2.74
h-5	1.02	1.42	1.82	2.22	2.62
w+5	0.73	1.13	1.53	1.93	2.33
w-5	1.00	1.40	1.80	2.20	2.60
d+5	1.63	2.03	2.43	2.83	3.23
d-5	0.37	0.77	1.17	1.57	1.97

実験手順

マルチモード(視聴覚刺激を提示する状態)とシングルモード(聴覚刺激のみを提示する状態)の合計 70 通りの刺激提示を被験者毎にランダムな順で行い、被験者の残響感を測定する。被験者にはHMDとヘッドホンを通して視覚刺激と聴覚刺激を提示する。被験者から見えている映像を図 3-21(マルチモード)と図 3-22(シングルモード)に示す。被験者はコントローラーでスライダ上ハンドル位置を移動させ、刺激から受けている残響感の程度に相当する位置で止めることによって回答を行う。今回の実験ではスライダ上ハンドル位置を移動させても聴覚刺激に付加させた残響は変化しない点は3-4 予測残響時間の測定実験と異なっている。被験者には実験試行の前や途中に0.1s、2.0s、4.0sの残響が付加された聴覚刺激をシングルモードで提示しており、それを基準として残響感を回答させている。なお、残響感はUnityシステム上のDecayTime値として記録されるが、1-5節で示した

変換式を用いて変換した値を「主観的残響時間」(秒)として、以降の図では残響感を表すこととする。



図 3-21 マルチモード



図 3-22 シングルモード

3-5-2 実験結果と分析

実験結果

図 3-23～3-36 は、被験者の回答した残響感、すなわち主観的残響時間と、聴覚刺激の残響時間(RT)の予測残響時間(ERT)からの差分($\Delta t = RT - ERT$)をプロットしている。細線は各被験者の値、太字は平均値を表している。また図 3-37～3-43 は、各視覚刺激に対するマルチモード(線)とシングルモードの平均値を比較したものを示す。

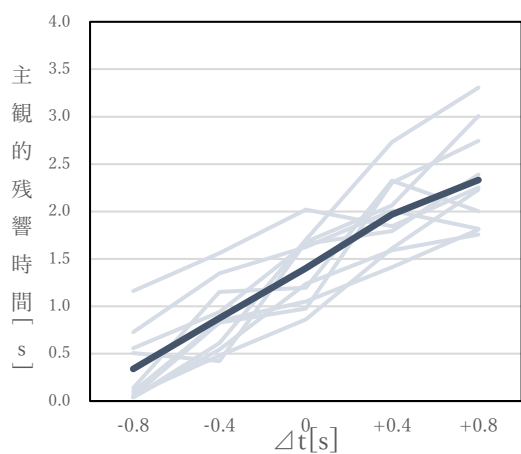


図 3-23 残響感と Δt の関係 (0, マルチモード)

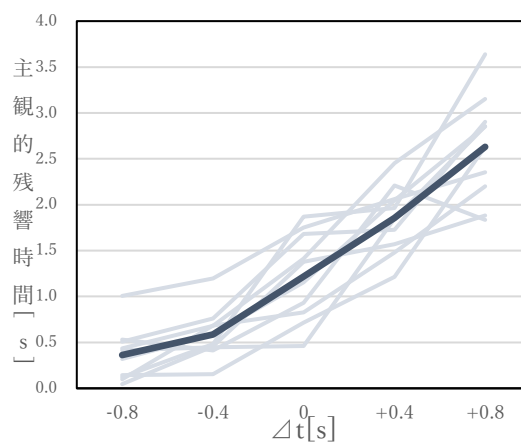


図 3-24 残響感と Δt の関係 (0, シングルモード)

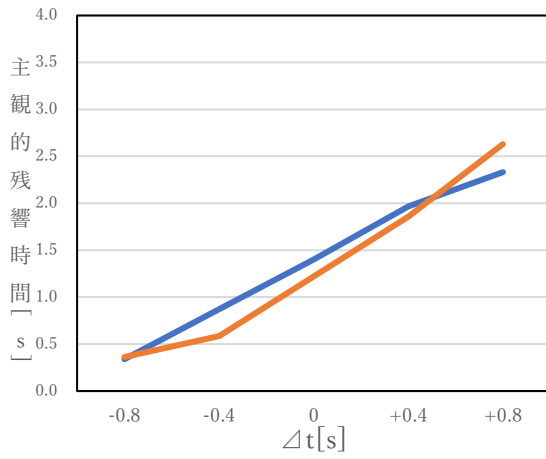


図 3-37 モード間における平均値の比較 (0)

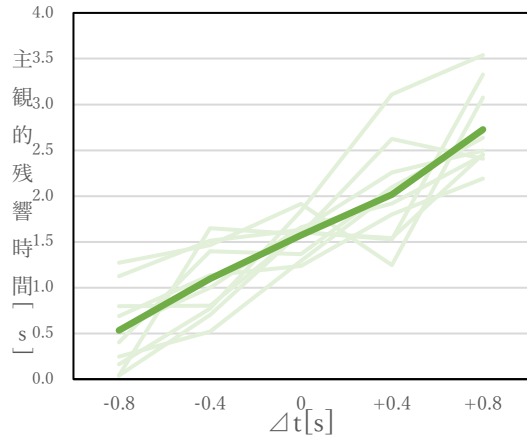


図 3-25 残響感と Δt の関係 (H+3.5, マルチモード)

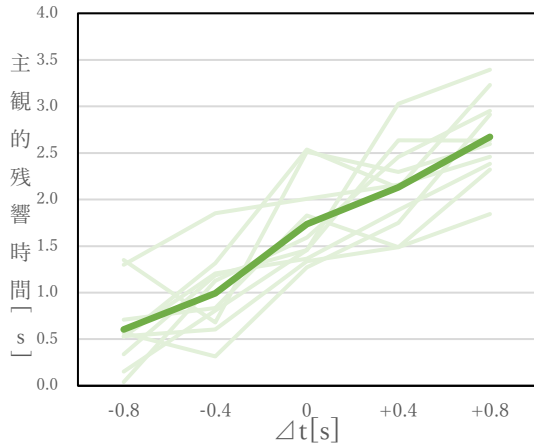


図 3-26 残響感と Δt の関係 (H+3.5, シングルモード)

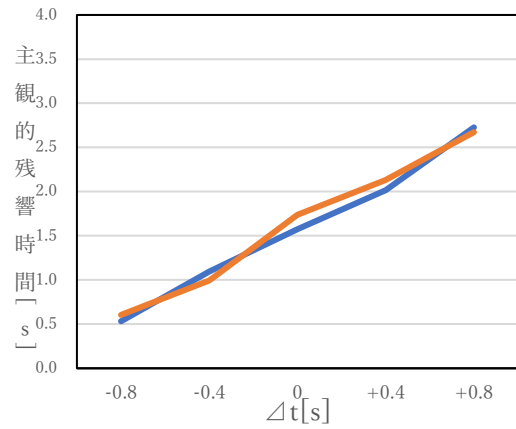


図 3-38 モード間における平均値の比較 (H+3.5)

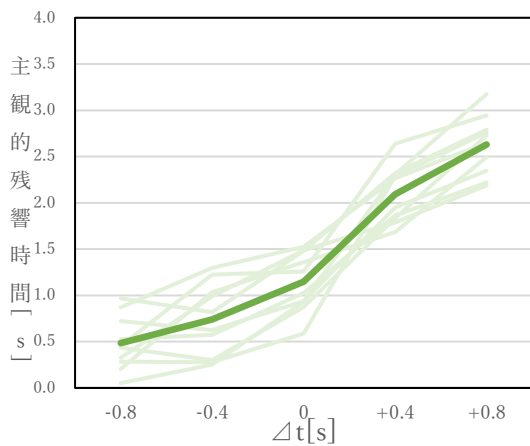


図 3-27 残響感と Δt の関係 (H-2.5, マルチモード)

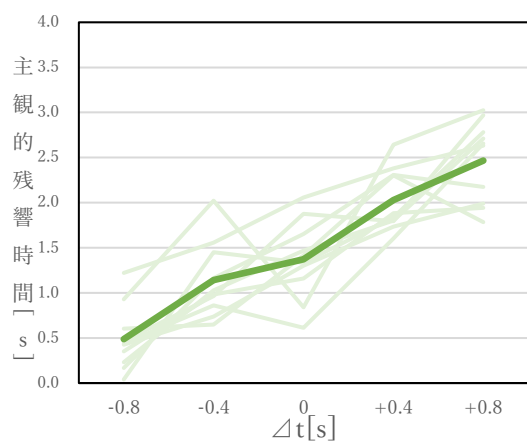


図 3-28 残響感と Δt の関係 (H-2.5, シングルモード)

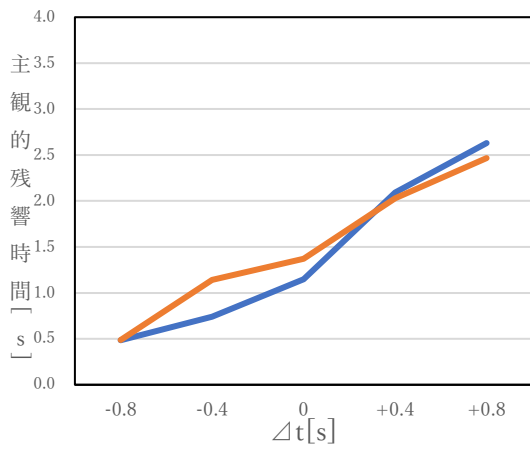


図 3-39 モード間における平均値の比較 (H-2.5)

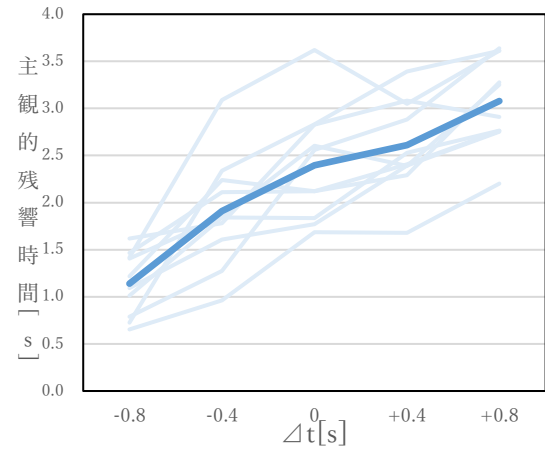


図 3-29 残響感と Δt の関係 (W+20, マルチモード)

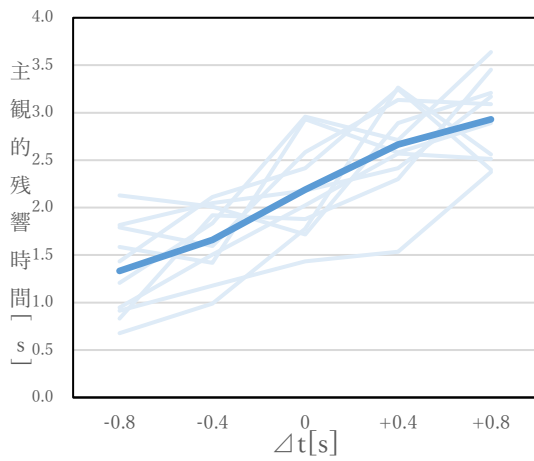


図 3-30 残響感と Δt の関係 (W+20, シングルモード)

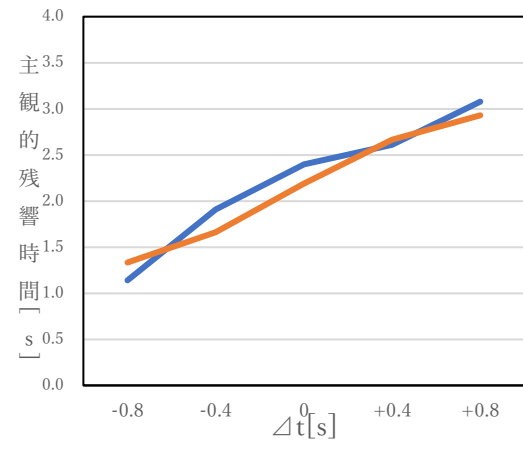


図 3-40 モード間における平均値の比較 (W+20)

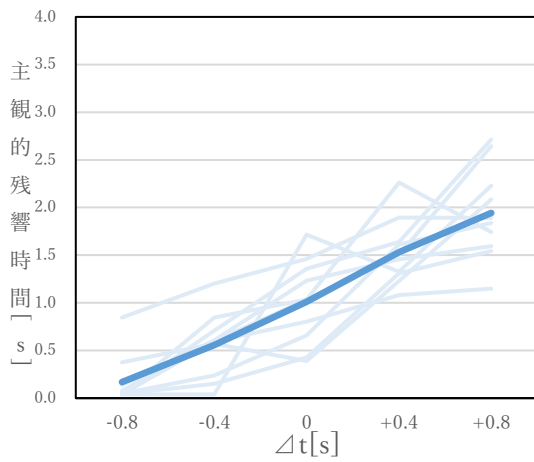


図 3-31 残響感と Δt の関係 (W-20, マルチモード)

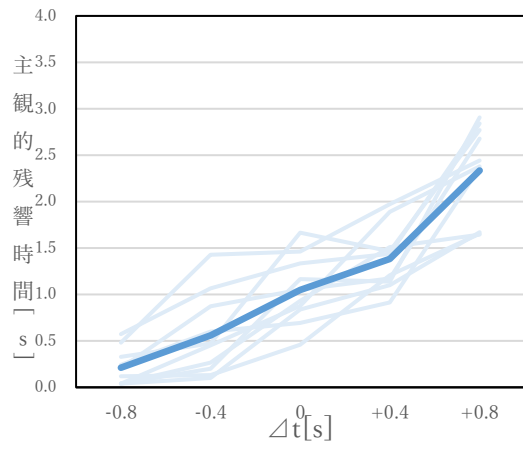


図 3-32 残響感と Δt の関係 (W-20, シングルモード)

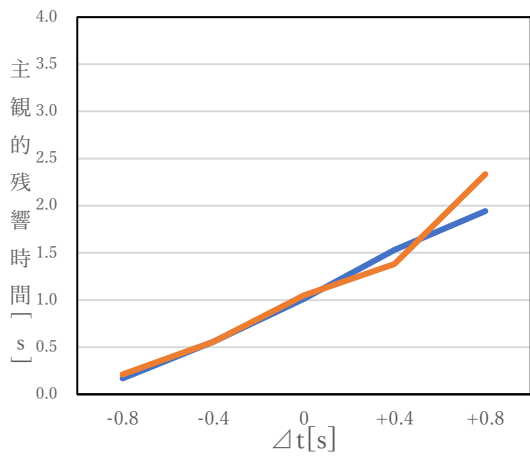


図 3-41 モード間における平均値の比較(W-20)

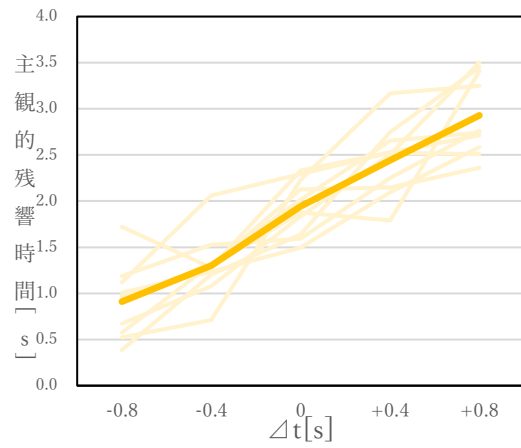


図 3-33 残響感と Δt の関係 (D+3, マルチモード)

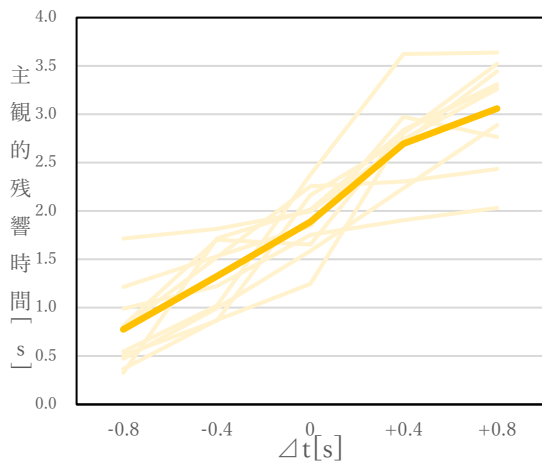


図 3-34 残響感と Δt の関係 (D+3, シングルモード)

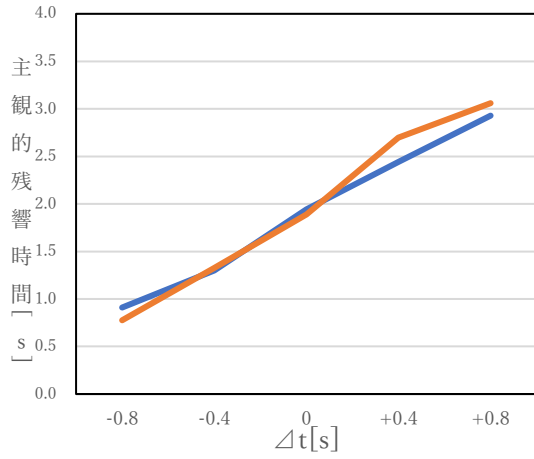


図 3-42 モード間における平均値の比較(D+3)

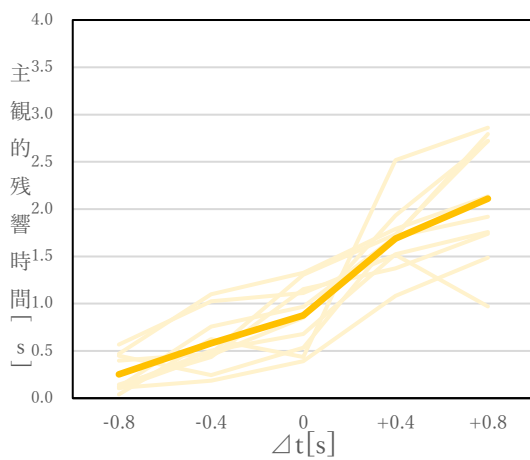


図 3-35 残響感と Δt の関係 (D-3, マルチモード)

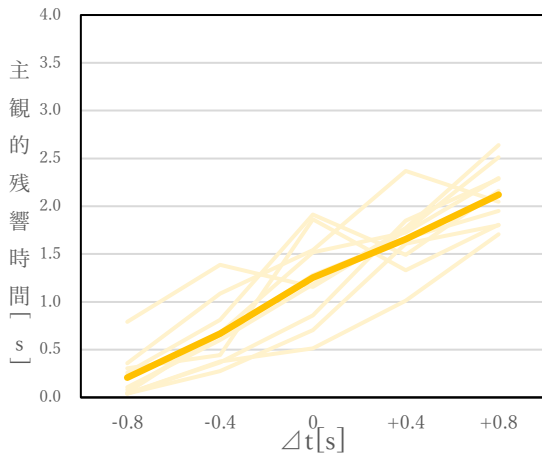


図 3-36 残響感と Δt の関係 (D-3, シングルモード)

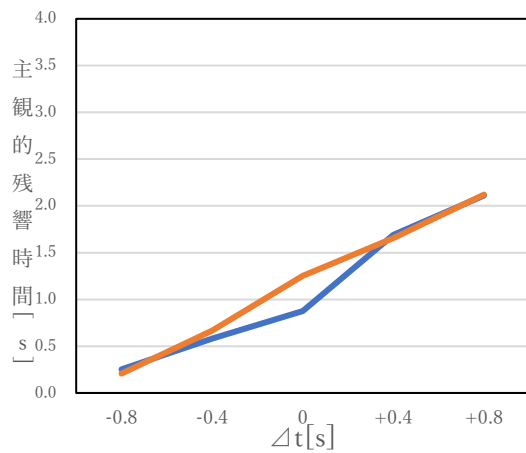


図 3-43 モード間における平均値の比較(D-3)

視覚刺激毎の回答値は被験者によってばらつきはあるものの、いずれの提示モードにおいても主観的残響時間の平均値としては、聴覚刺激の残響時間の大小に応じた回答がなされており、右上がりのグラフとなった。また、マルチモードとシングルモードの平均値を比較したグラフでは、同一の聴覚刺激に対するマルチモードとシングルモードの値の間に有意な平均値差は見られなかったものの、これらのグラフが 1 箇所以上で交差している傾向が見られる。

分析

補正モデルとの比較

マルチモードによって測定された残響感（主観的残響時間）からシングルモードのそれを差し引いた差分（以下、モード間の差分と呼び ΔR と表記）を取ることで、視覚情報が残響感に対してどのような影響を与えているのかを観察する。寺島⁷⁾が示している視聴覚統合領域の、視覚情報による聴感印象の補正モデルを図 3-44 に示す。

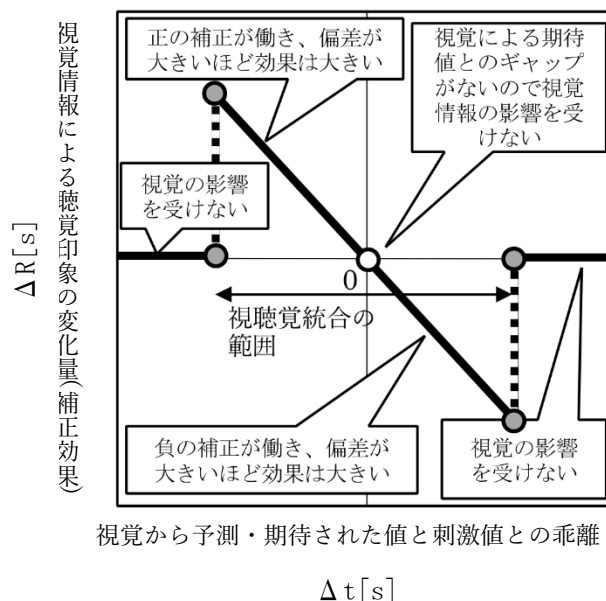


図 3-44 視覚情報による聴覚印象の補正モデル

図 3-44 は ΔR と Δt との関係を表している。点 0 では視覚刺激に対する予測残響時間と同じ聴覚刺激を提示しているため、残響感は正しく予測され、モード間による変化は起こらず差分は 0 となる。そこから少しずつ基準より長い残響時間与えた聴覚刺激を与えると、シングルモードでは他の要素がないため残響感が正しく予測されるが、視覚刺激と同時提示モードとなるマルチモードでは回答の傾向が異なることが予測される。基準よりも長い残響時間を提示すると、視覚情報の影響により残響感が提示されている空間本来の残響時間、即ち基準となる残響時間に引っ張られ、提示した残響時間より短い残響感が回答されると予想される。よって、モード間の差分は負の値になる。提示する残響時間と基準値との差が大きくなるほどモード間の差分は大きくなるが、その差がある一定の値を超えると視覚情報と聴覚情報の不一致が生じ、無関係の刺激と感ずることによりマルチモードにおいても視覚刺激の影響を受けない聴覚刺激単体の評価が行われる。これにより、再びモード間の差分は 0 に近づく。グラフの左側においても同様の変化が予想され、対照的な近似曲線が描かれる。また、グラフの偏差が大きいほど視覚情報による聴覚印象への影響は大きい。

実際に 3-5 主観評価実験において得られたデータについて、この補正モデルと比較する。 ΔR と Δt との関係を図 3-45～3-51 に示す。また、全ての視覚刺激の結果を重ね合わせた

ものを図 3-52 に示す。

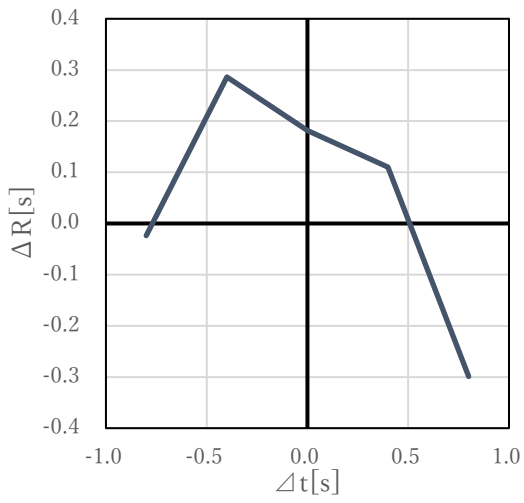


図 3-45 モード間の差分(original)

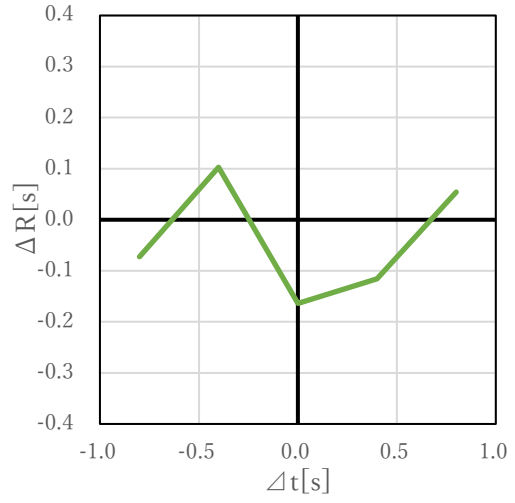


図 3-46 モード間の差分(H+3.5)

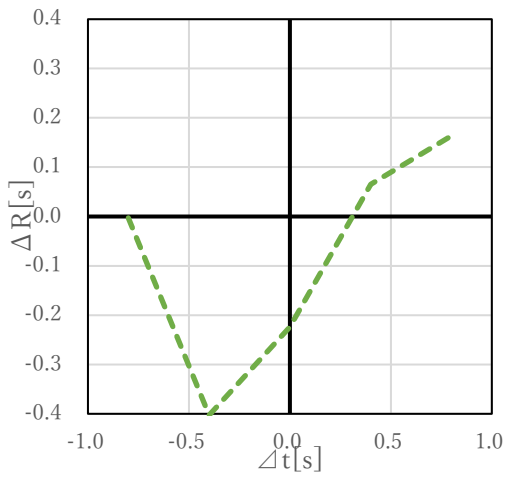


図 3-47 モード間の差分(H-2.5)

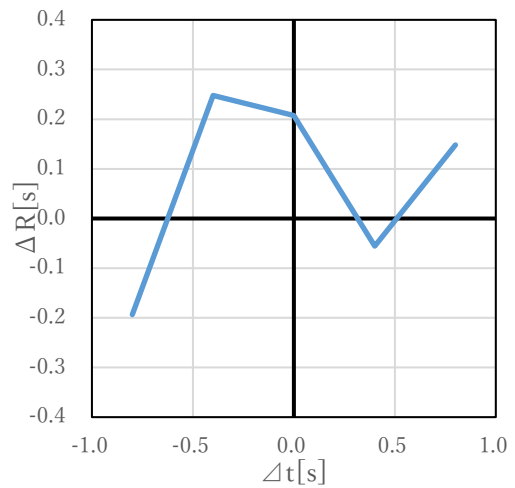


図 3-48 モード間の差分(W+20)

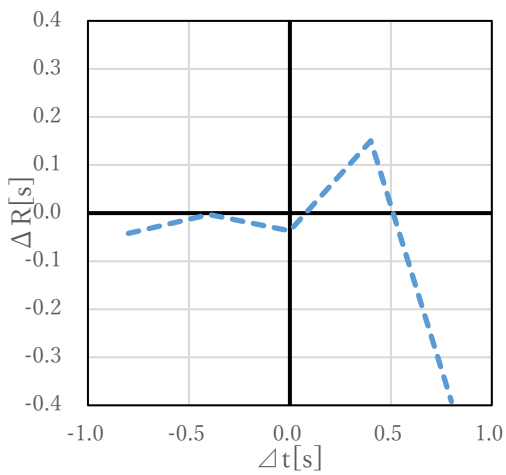


図 3-49 モード間の差分(W-20)

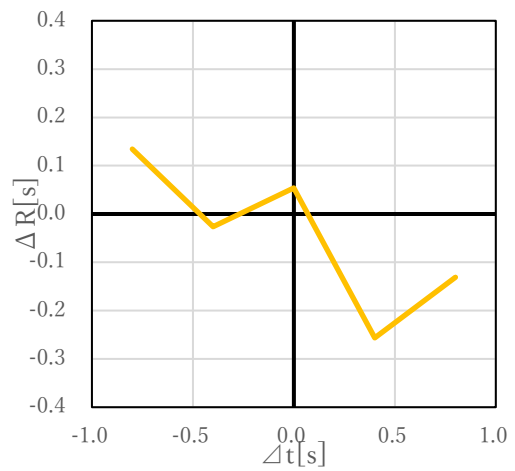


図 3-50 モード間の差分(D+3)

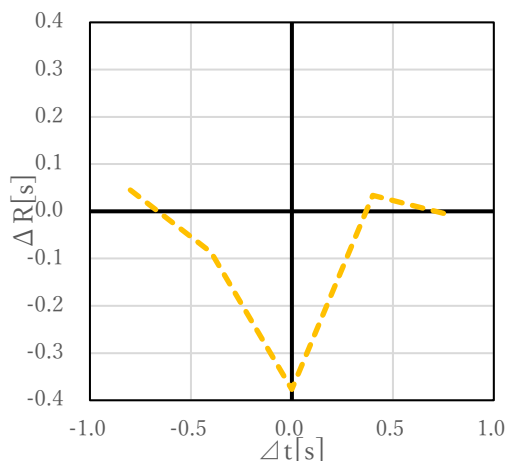


図 3-51 モード間の差分(D-3)

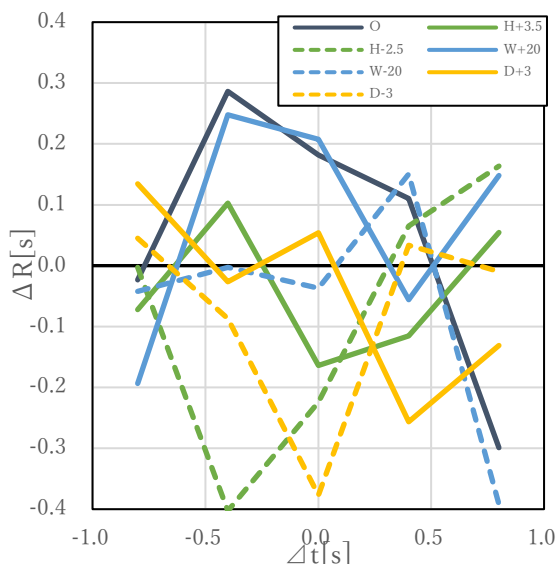


図 3-52 モード間の差分(全ての視覚刺激の結果重ね合わせ)

「D+3」を除き、原点付近を通り右下がりの傾向を持つ結果とはならなかった。また、「オリジナル」と室容積が大きい「H+3.5」、「W+20」、「D+3」の場合は、差分は Δt とともに右下がりの傾向が見られたが、容積が小さいH-2.5、W-20、D-3の場合はそのような傾向は見られなかった。補正モデルに合致しなかった原因として、直接測定された予測残響時間の測定誤差や、予測残響時間と測定された主観評定値の被験者によるばらつきが考えられる。

予測残響時間と同一の残響時間を持つ聴覚刺激を提示された場合には、理論上、視覚印象の補正は行われなため $\Delta R=0$ となるため、図 3-45～3-51 において ΔR が正から負に変化する時の0となる残響時間の値を「間接法によって求めた」予測残響時間とみなし、改めて $\Delta t=0$ となるように修正したグラフを図 3-54 に示す。さらにディメンジョン毎に修正された $\Delta t-\Delta R$ の関係を図 3-55～3-57 に示す。また、予測残響時間の直接法と間接法による結果を比較したグラフを図 3-53 に示す。横軸は容積の順に並べている。

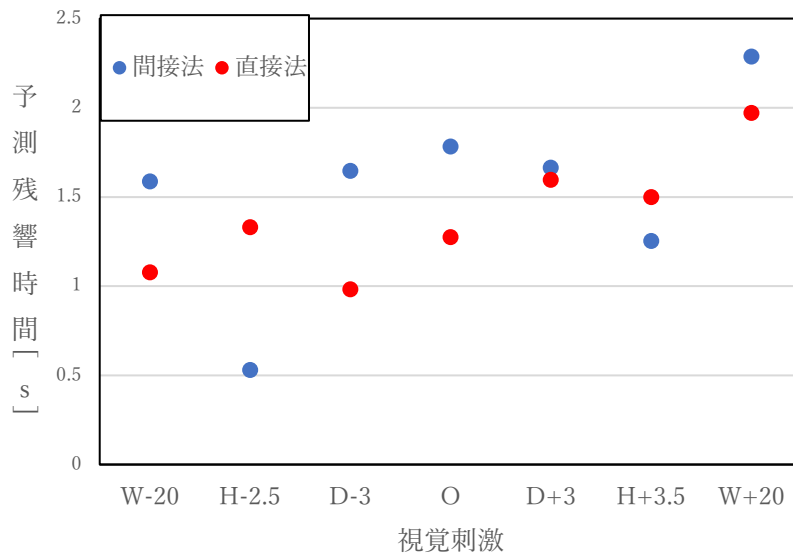
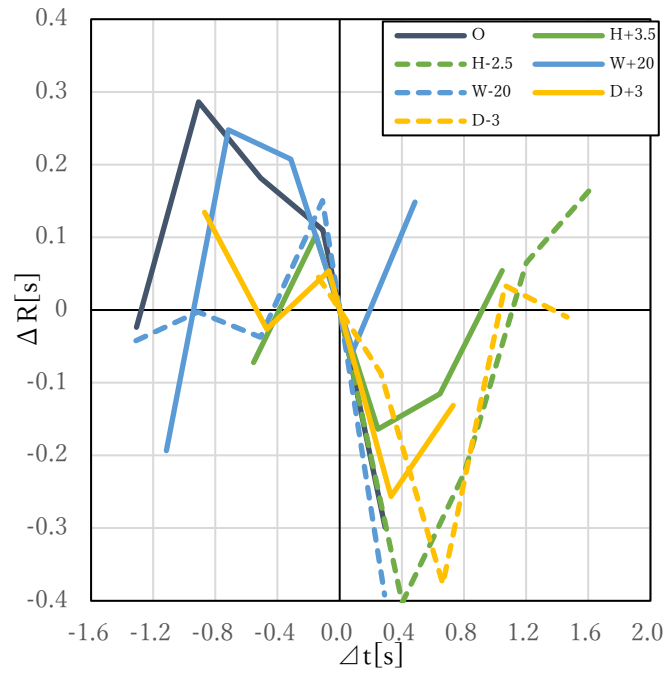


図 3-53 予測残響時間の直接法と間接法の比較



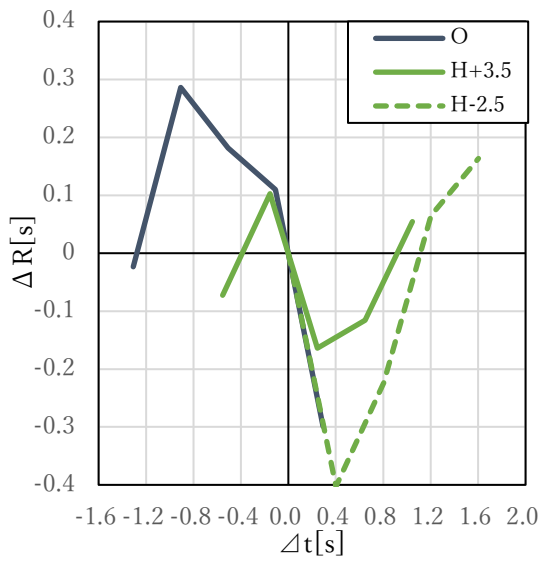


図 3-55 モード間の差分(H変化)

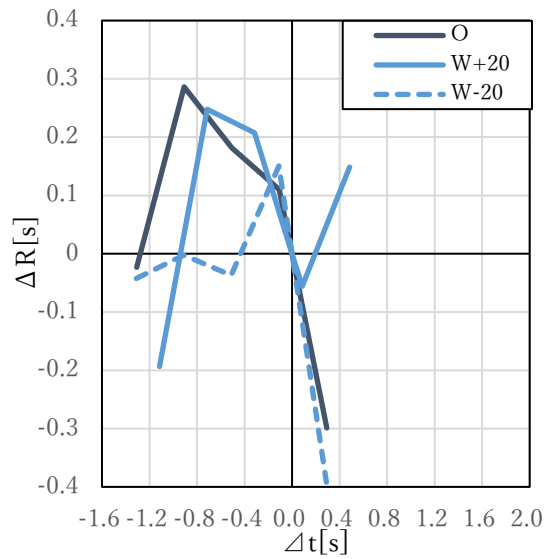


図 3-56 モード間の差分(W変化)

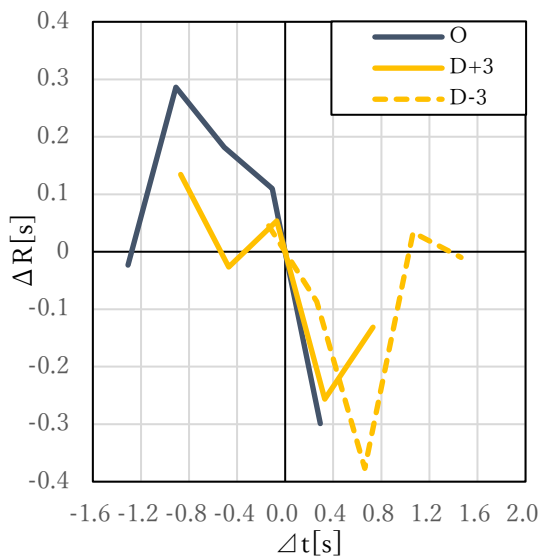


図 3-57 モード間の差分(D変化)

図 3-53 において、直接測定された予測残響時間は、間接的に推定した値よりも低い傾向が見られるが、H-2.5 と H+3.5 については大小関係が逆転しており、特に H-2.5 においてはその差が大きい。これは 3-3 および 3-4 の実験において、高さの変化に対する認識の程度が低いことに起因していると考えられる。また、概ね間接的に求められた予測残響時間も容積が大きくなるにつれて大きくなる傾向が見られる。

図 3-55～3-57 では第 2・第 4 象限に点のプロットが多く、概ね $-0.4 \leq \Delta t \leq 0.4$ の範囲では右下がりの傾向が見られる。この範囲の外側では 0 付近に点が集まっており、概ね補正モデルに合致した結果と解釈できる。しかし、視覚情報の聴覚印象に与える影響についてはデ

イメンジョンによる特徴や明確な違いは見られなかった。

3-6 小括

本章では、扇形の空間形状を持つ多目的ホールを対象に、内観の高さ・横幅・奥行きといったディメンジョンの変化、すなわち在室者への視覚情報における幾何学的パラメータの変化が、音場の聴覚印象である残響感に与える影響について検討をするため、3種類の実験を行った。

視覚刺激の認知実験においては、被験者は、高さ方向のディメンジョン変化を正しく認識していなかったことがわかった。

予測残響時間の測定実験においては、高さのディメンジョン変化による予測残響時間の平均値の変動のみ有意性が示されなかった。これは、認知実験に高さの変化が認識されていないことに起因すると考えられる。また、概ね、予測残響時間の平均値は、室容積の大きさに応じて増加する傾向がみられた。被験者はディメンジョンの変化に伴う容積変化に基づき予測残響時間を推定していると考えられる。

主観評価実験において、いずれのディメンジョン変化に対する ΔR と直接測定された予測残響時間に基づく Δt との関係性は、視覚情報による聴感印象の補正モデルとの高い整合性はみられなかったが、間接法によって求めた予測残響時間に基づく Δt との関係性は、比較的補正モデルに合致していた。しかし、予測残響時間の直接値と間接値の関係性は、高さディメンジョンのみ他のディメンジョンに現れる傾向から外れていることが分かった。また、いずれのディメンジョンも、視覚情報の影響は認められるものの、ディメンジョン間の特徴や違いを明確に捉えることは出来なかった。また、今回の実験では、ディメンジョンの変化量の単位が異なるため、単純比較できなかった（高さは距離、横幅は角度、奥行きは段数）。次章では、シューボックス型の空間を対象とするため、統一した単位でディメンジョン毎の効果の違いを明らかにしたい。

方

第4章

シューボックス型の空間に対する実験

4-1 研究概要

本章の目的はシューボックス型の空間(音楽専用ホール)における視覚刺激が残響感に及ぼす影響を明らかにすることである。

4-2 概要

シューボックス型の空間に対して第 3 章と共通する視覚刺激の認知実験、予測残響時間の測定、主観評価実験を行う。

4-3 視覚刺激の認知実験

異なる建築空間のディメンジョン(空間の幅・高さ・奥行き)を持つ複数の視覚刺激において、被験者がその差異を認識しているかを確認する実験を行う。

4-3-1 実験概要

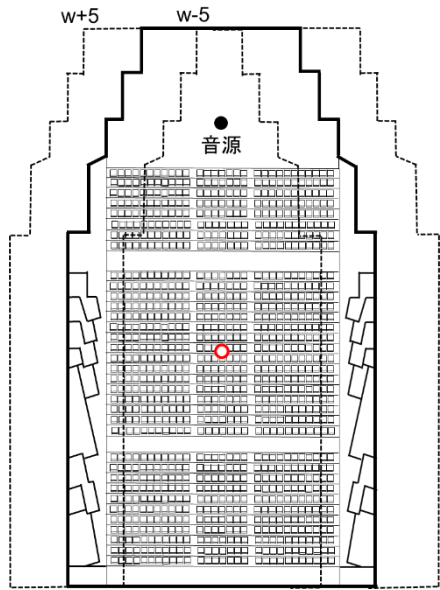
実験刺激

視覚刺激は、音楽専用ホール(三重県文化会館 大ホール)の内観を CAD でトレースして作成したパノラマ画像(オリジナル)を基本に、CAD 上でディメンジョンの変化を施して作成したパノラマ画像を用いる。

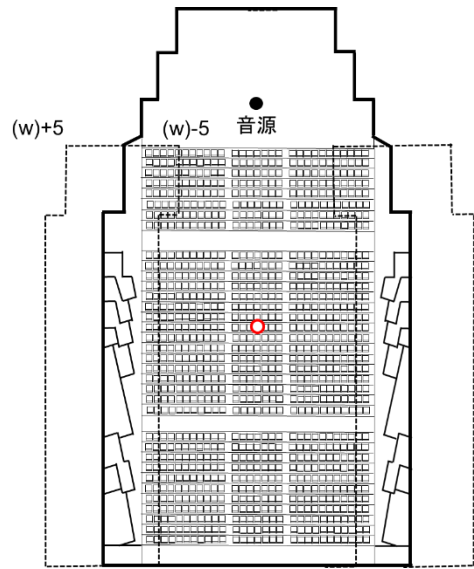
ディメンジョン変化については、表 4-1・図 4-1~4-6 に示すように高さを 1m刻みで変化させたものの中で、プロセニウム等も含めて変化させたものとそうでないものをそれぞれ 10 種類、横幅も同様にそれぞれ 10 種類、奥行はステージ形状に合わせて横幅を狭めたものとそうでないものを合わせて 12 段階変化させた。オリジナルの画像と合わせて 53 種類の視覚刺激を用いる。ディメンジョンの変化の組み合わせによる視覚刺激は用いない。プロセニウム等の変化を伴わない視覚刺激の名称はアルファベット括弧で囲んでいる。表 4-1 の d+(5) と d+5 の仕様の違いを図 4-1 に示している。

表 4-1 実験で用いた視覚刺激の仕様と名称

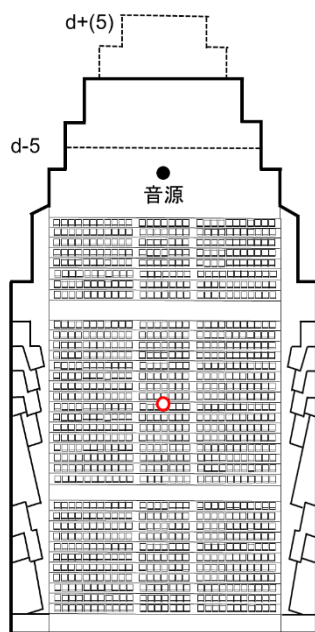
プロセニウム等の 変化あり	高さ	名称	h-5	h-4	h-3	h-2	h-1	o	h+1	h+2	h+3	h+4	h+5		
		変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
	横幅	名称	w-5	w-4	w-3	w-2	w-1	o	w+1	w+2	w+3	w+4	w+5		
		変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
	奥行	名称	d-5	d-4	d-3	d-2	d-1	o	d+1	d+(2)	d+2	d+3	d+4	d+(5)	d+5
		変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0
プロセニウム等の 変化なし	高さ	名称	(h)-5	(h)-4	(h)-3	(h)-2	(h)-1	o	(h)+1	(h)+2	(h)+3	(h)+4	(h)+5		
		変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
	横幅	名称	(w)-5	(w)-4	(w)-3	(w)-2	(w)-1	o	(w)+1	(w)+2	(w)+3	(w)+4	(w)+5		
		変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		



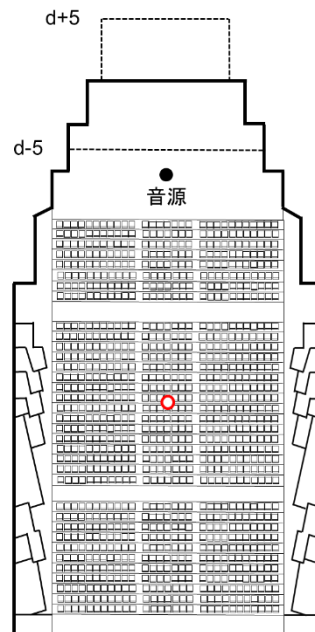
プロセニウム等の変化あり(横幅変化)



プロセニウム等の変化なし(横幅変化)



ステージ横幅変化あり(奥行変化)



ステージ横幅変化なし(奥行変化)

図 4-1 対象空間の平面図と視覚刺激の仕様の違い(赤丸は視点・受音点を示している)

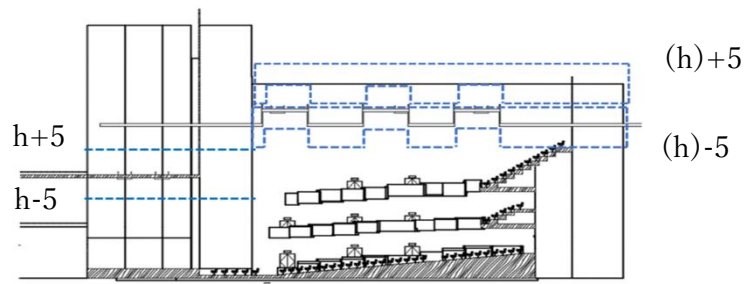


図 4-2 実験で用いた視覚刺激の仕様と名称



図 4-3 視覚刺激の例(original)

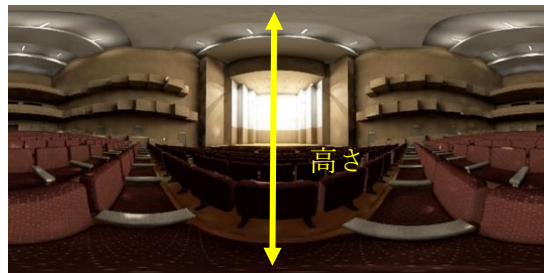


図 4-4 高さを変更した視覚刺激の例(h+5)



図 4-5 横幅を変化させた視覚刺激の例(w+5)

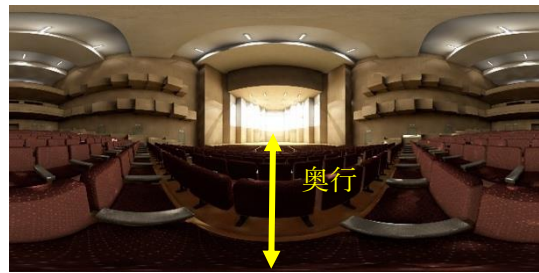


図 4-6 奥行を変化させた視覚刺激の例(d+5)

実験手順

第 3 章の視覚刺激の認知実験と共通する実験手順を用いるが、スライダーによる被験者の回答値の幅はディメンジョンの変化数に合わせて 11 段階の $-5 \sim +5$ の整数値とした。

4-3-2 実験結果と分析

実験結果

図 4-7～4-21 は、横軸に視覚刺激の条件、縦軸に各被験者が空間に対して感じたディメンジョンの変化の程度(細線)とそれらの平均値(太線)を示している。各ディメンジョン変化に対して被験者が高さ・横幅・奥行のそれぞれに対して感じた変化の程度を示すグラフを作成している。図 4-7～4-12 はプロセニウム等を含めた高さ・横幅の変化の視覚刺激、図 4-13～4-15 は奥行の変化の視覚刺激、図 4-16～4-21 はプロセニウム等を含めない高さ・横幅の変化の視覚刺激の場合の実験結果を示しており、横軸の視覚刺激は空間の容積順に並べている。

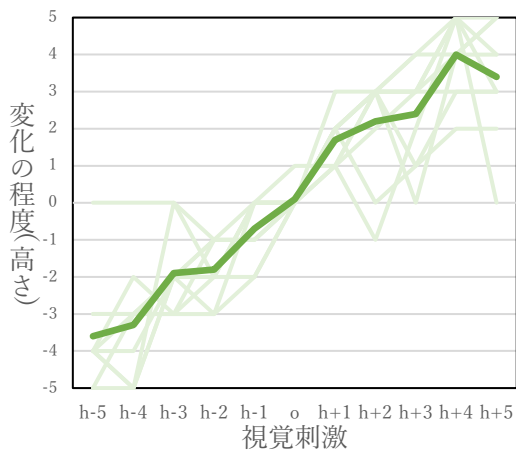


図 4-7 高さに対する認識(高さ変化)

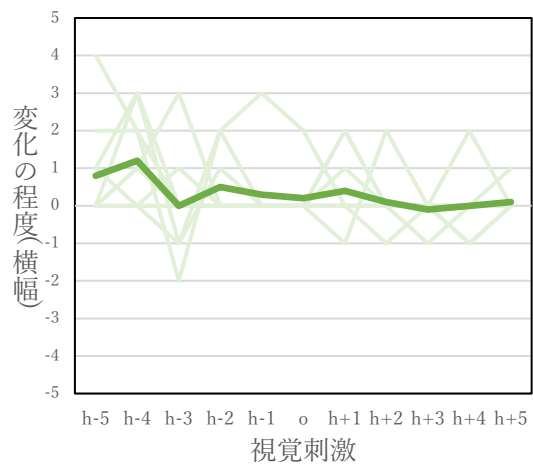


図 4-8 横幅に対する認識(高さ変化)

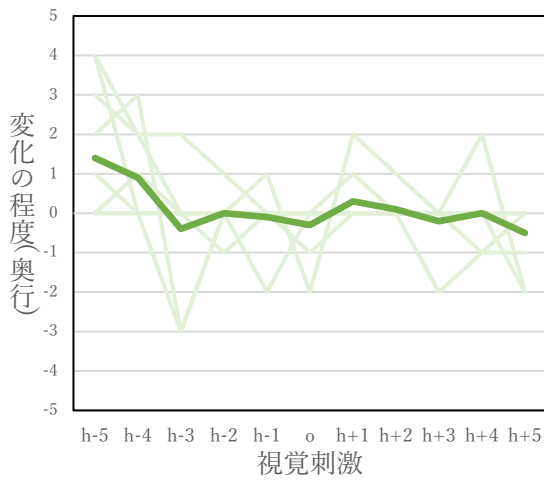


図 4-9 奥行に対する認識(高さ変化)

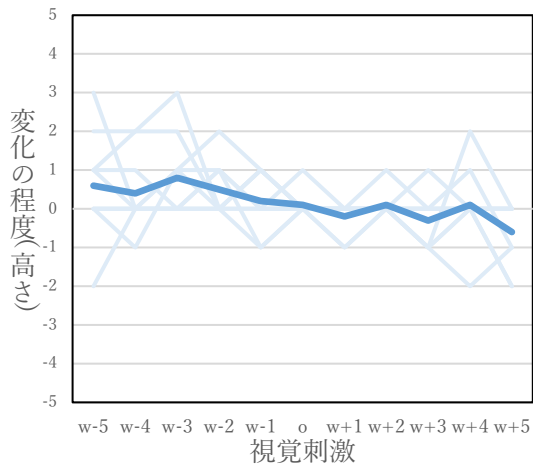


図 4-10 高さに対する認識(横幅変化)

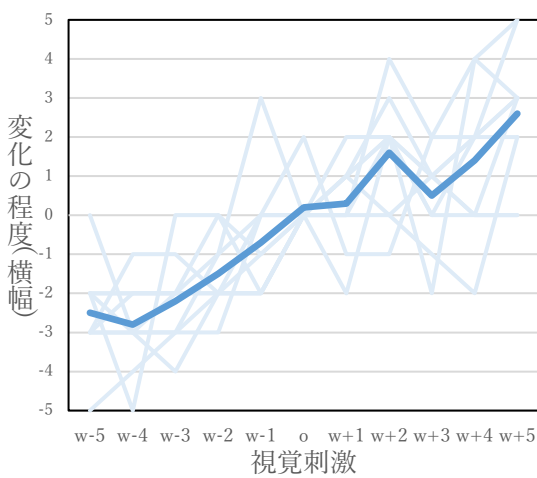


図 4-11 横幅に対する認識(横幅変化)

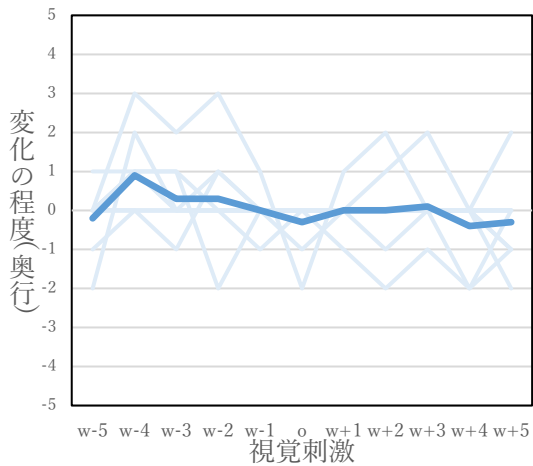


図 4-12 奥行に対する認識(横幅変化)

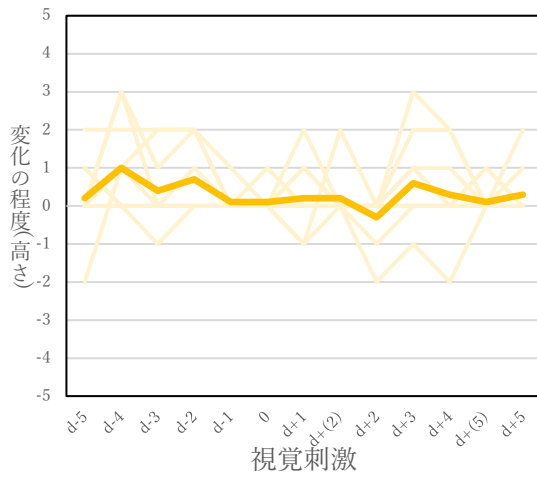


図 4-13 高さに対する認識(奥行変化)

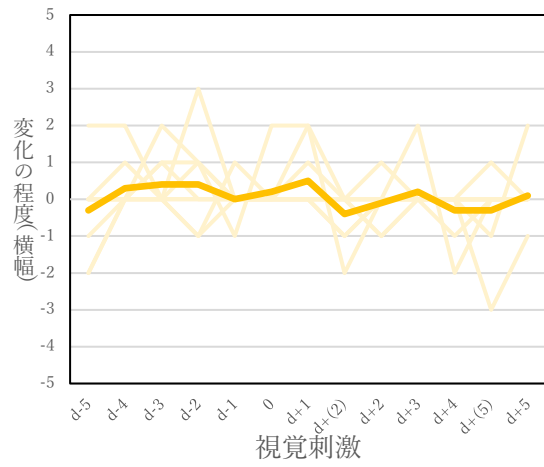


図 4-14 横幅に対する認識(奥行変化)

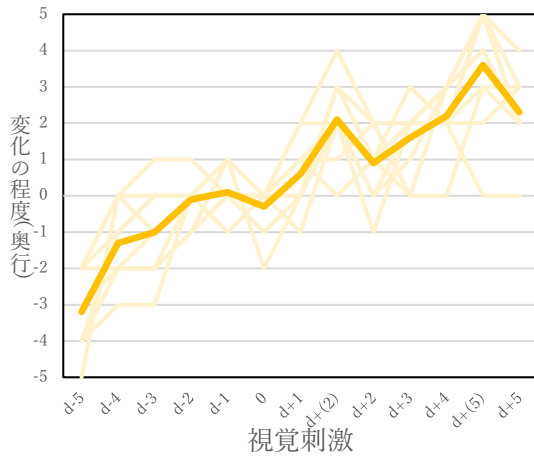


図 4-15 奥行に対する認識(奥行変化)

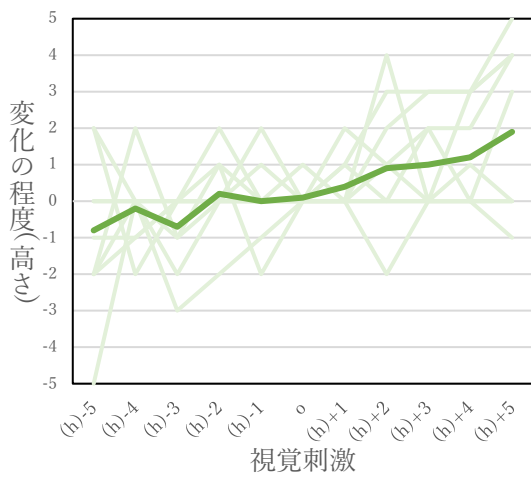


図 4-16 高さに対する認識(高さ変化)

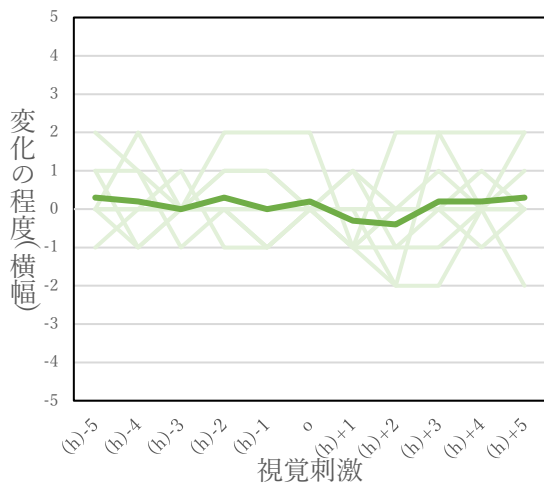


図 4-17 横幅に対する認識(高さ変化)

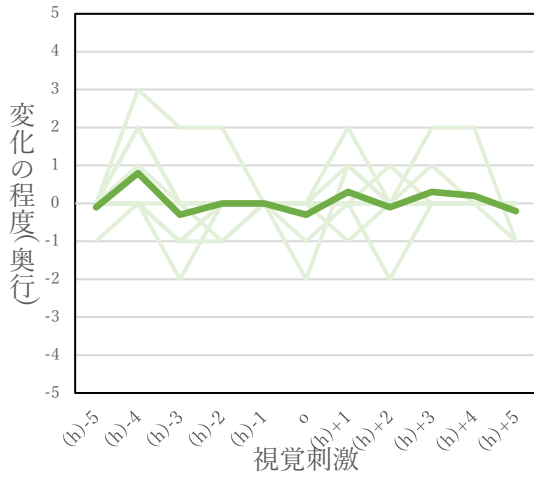


図 4-18 奥行に対する認識(高さ変化)

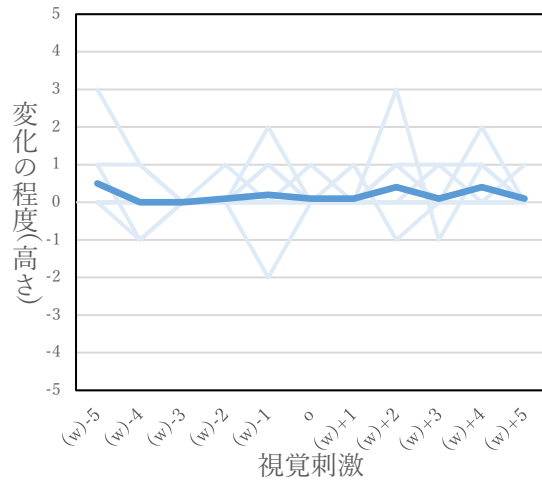


図 4-19 高さに対する認識(横幅変化)

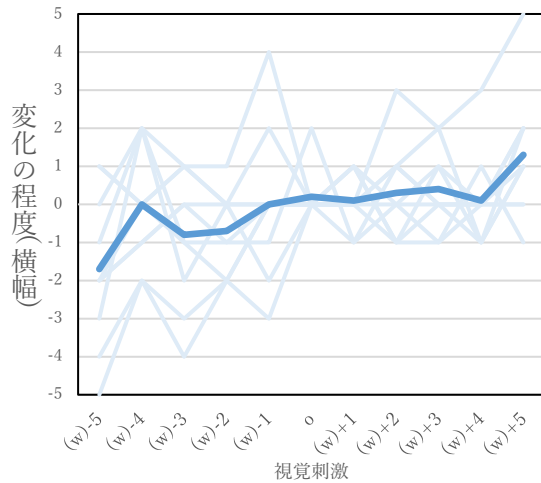


図 4-20 横幅に対する認識(横幅変化)

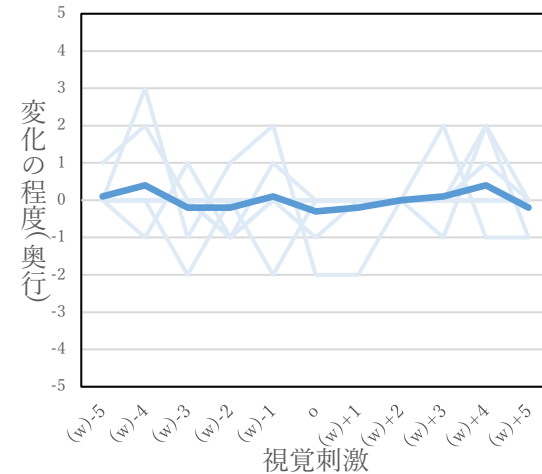


図 4-21 奥行に対する認識(横幅変化)

認識したディメンジョン変化の程度を示す回答の平均値は、視覚刺激の変化するディメンジョンに応じて、分散分析において有意な変動を示した。しかしながら、プロセニウム等も含めてディメンジョン変化させた視覚刺激のほうがそうでない刺激よりも各ディメンジョンの変化を正しく認識している傾向が見られた。また、図 4-15 の「奥行」の変化においては、ステージの横幅を奥行変化に合わせて変化させた「d+(2)」と「d+(5)」はそうでないものより奥行が広がったと認識する傾向があることがわかった。各ディメンジョン変化に対して変化させていないディメンジョンへの認識はグラフが横ばいであることから被験者は空間変化を正確に認識できていたことがわかった。

4-4 予測残響時間の測定

本実験ではさまざまなディメンジョンを持つシューボックス型空間の視覚刺激に対する予測残響時間を測定し、ディメンジョン変化による違いを明らかにする。

4-4-1 実験概要

実験刺激

4-3 節の実験においてはプロセニウム等を含めない高さ・横幅変化は認識の感度が低い
ため、本実験ではこれらの視覚刺激を除き、合計 33 種類の視覚刺激を用いる。本実験で
用いた視覚刺激の仕様と名称を表 4-2 に示す。

表 4-2 実験で用いた視覚刺激の仕様と名称

高さ	名称	h-5	h-4	h-3	h-2	h-1	o	h+1	h+2	h+3	h+4	h+5		
	変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
横幅	名称	w-5	w-4	w-3	w-2	w-1	o	w+1	w+2	w+3	w+4	w+5		
	変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
奥行	名称	d-5	d-4	d-3	d-2	d-1	o	d+1	d+(2)	d+2	d+3	d+4	d+(5)	d+5
	変化量[m]	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0

実験手順

第 2 章の予測残響時間の測定と共通する実験手順を用いるが、被験者の回答の信頼性を
高めるため本実験では各視覚刺激 2 回ずつ回答させ、その平均値を用いている。

4-4-2 実験結果と分析

実験結果

横軸に視覚刺激の条件、縦軸に被験者ごとの予測残響時間(細線)とそれらの平均値(太線)、
平均値の近似曲線(点線)を図 4-22~4-24 に示す。

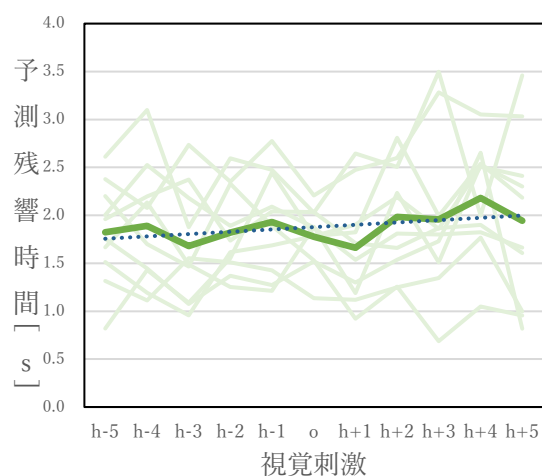


図 4-22 予測残響時間(高さ変化)

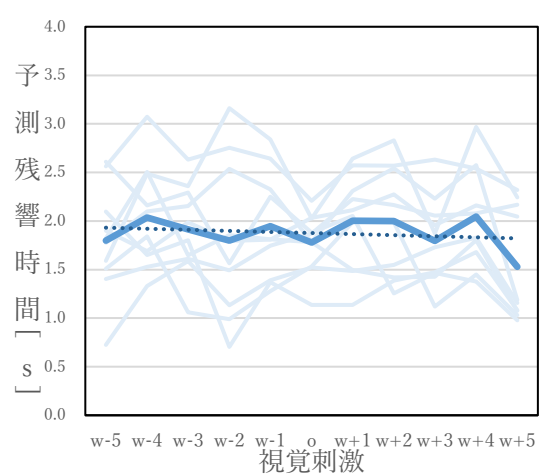


図 4-23 予測残響時間(横幅変化)

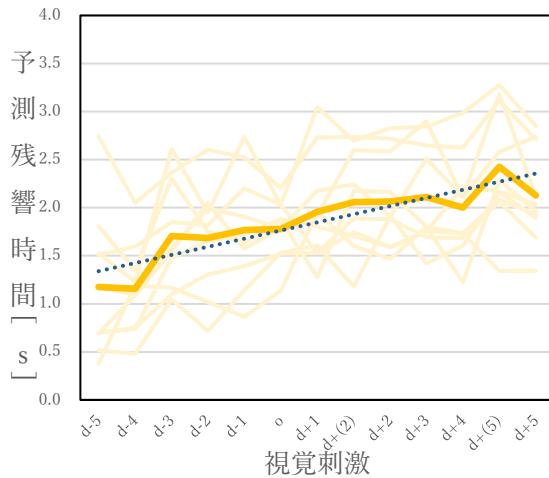


図 4-24 予測残響時間(奥行変化)

高さ変化について

図 4-22 より、予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意性は示さなかった。被験者の回答値は高さが高く変化するとややばらつきが多いが、視覚刺激による予測残響時間の変動が少ない横ばいのグラフとなっている。

横幅変化について

図 4-23 より、予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意性は示さなかった。全体的に被験者の回答値は横幅が狭く変化するとややばらつきが多いが、視覚刺激による予測残響時間の変動が少ない横ばいのグラフとなっている。平均値に有意差は見られなかったものの、「W+5」より「W-5」のほうが、予測残響時間が長い結果となった。

奥行変化について

図 4-24 より、予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意性が示された。全体的に奥行の増加量の増加に伴い回答値が増加する右上がりのグラフが得られた。ステージの横幅を変化させていない(d+5)より変化させた(d+(5))のほうが、予測残響時間が長い結果となった。平均値の変動幅は、1.16 (d-4)～2.43 (d+(5))の約 1.3 秒であった。

まとめ

いずれのディメンジョンも増加にともなって予測残響時間は増加すると予想されたが、今回の実験結果においては、「高さ」「横幅」の変化による予測残響時間への影響は明確には表れなかった。視覚刺激の認知実験においては、いずれの変化の認識の程度は有意な変

動を示していたが、「高さ」「横幅」の変化は予測残響時間の変化に結びつかない結果となった。

今回の実験結果では、シューボックス形式の空間においては、主としては奥行のディメンジョンが被験者の残響感に影響していると考えられる。

図 4-25 には、横軸に各視覚刺激が表す空間の容積の大きさの順に視覚刺激をとり、縦軸に被験者ごとの予測残響時間(細線)とそれらの平均値(太線)、平均値の近似曲線(点線)を示す。

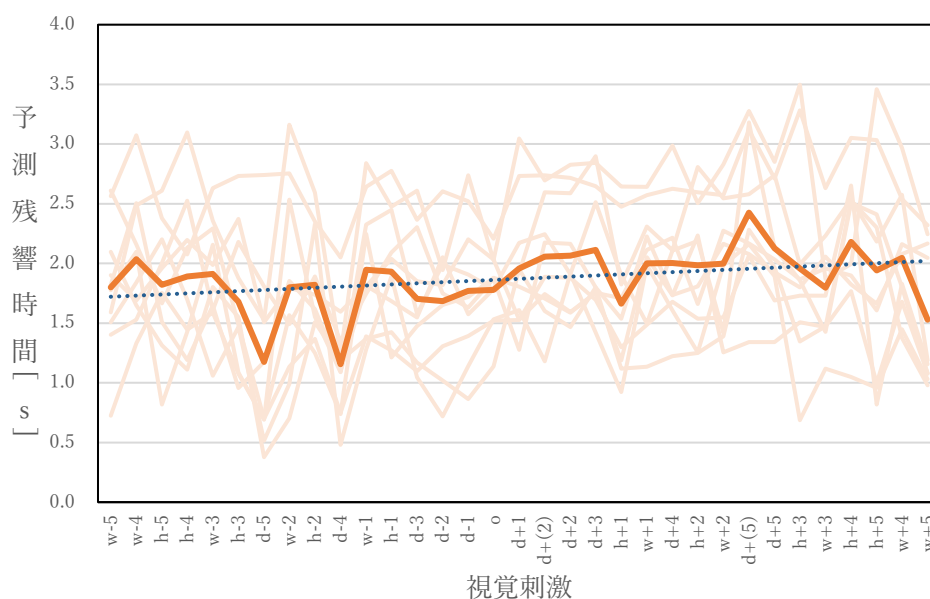


図 4-25 予測残響時間(容積順)

図 4-25 において予測残響時間の平均値の視覚刺激の違いによる変動は、分散分析によって有意な変動は示さなかったが、やや右上がりの傾向が見られる。「d-4」と「d-5」の予測残響時間の値はこの傾向から外れてかなり小さくなっている。

4-5 主観評価実験

本実験の目的は、視覚刺激における各ディメンジョンの変化が与える残響感への影響の違いを明らかにすることである。

4-5-1 実験概要

実験刺激

第3章の主観評価実験と同様に、視覚刺激と聴覚刺激を選定した。実験で用いた視覚刺激と聴覚刺激の残響時間の組み合わせを表4-3に示す。

表 4-3 視覚刺激と聴覚刺激の残響時間の組み合わせ

視覚刺激	聴覚刺激				
	Δt (予測残響時間からの差分)				
	-0.8	-0.4	± 0	+0.4	+0.8
	残響時間				
o	0.98	1.38	1.78	2.18	2.58
h+5	1.14	1.54	1.94	2.34	2.74
h-5	1.02	1.42	1.82	2.22	2.62
w+5	0.73	1.13	1.53	1.93	2.33
w-5	1.00	1.40	1.80	2.20	2.60
d+5	1.63	2.03	2.43	2.83	3.23
d-5	0.37	0.77	1.17	1.57	1.97

実験手順

第3章の主観評価実験と共通する実験手順を用いる。

4-5-2 実験結果と分析

実験結果

図4-26～4-39は、被験者の回答した残響感、すなわち主観的残響時間と、 Δt (聴覚刺激の残響時間 RT と予測残響時間 ERT の差、 $RT - ERT$) をプロットしている。細線は被験者の値、太字は平均値を表している。また、図4-40～4-46は、各視覚刺激に対するマルチモード(青線)とシングルモード(赤線)の平均値を比較したものを示す。

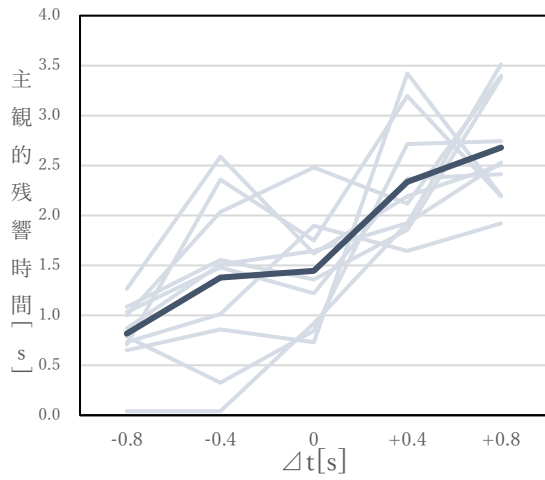


図 4-26 残響感と Δt の関係 (o, マルチモード)

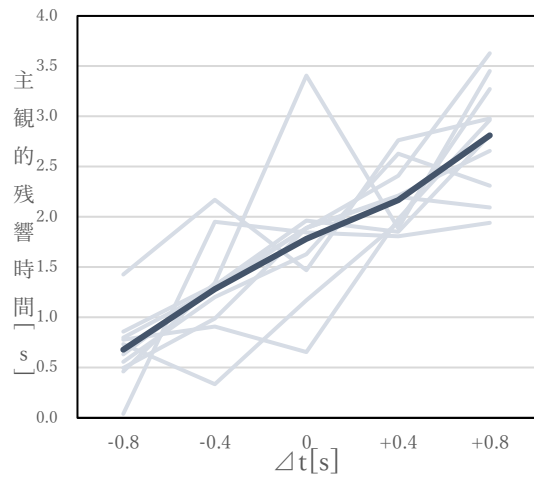


図 4-27 残響感と Δt の関係 (o, シングルモード)

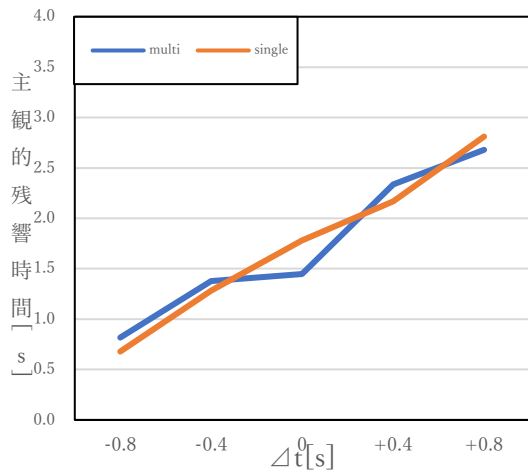


図 4-40 モード間における平均値の比較 (o)

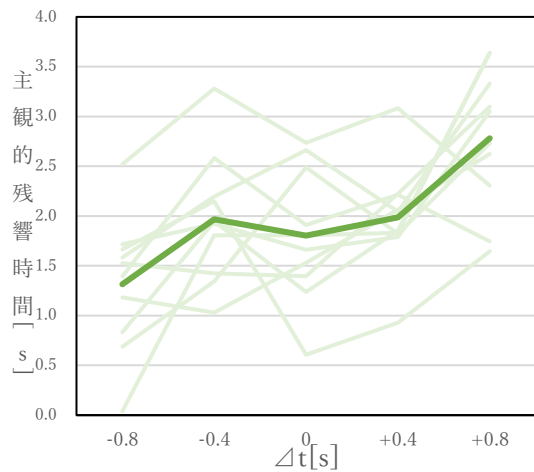


図 4-28 残響感と Δt の関係 (h+5, マルチモード)

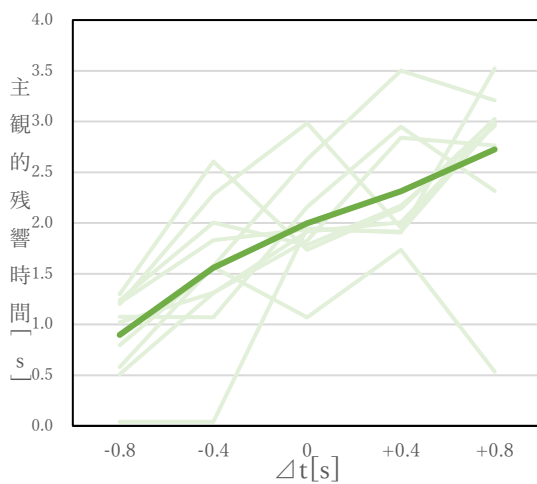


図 4-29 残響感と Δt の関係 (h+5, シングルモード)

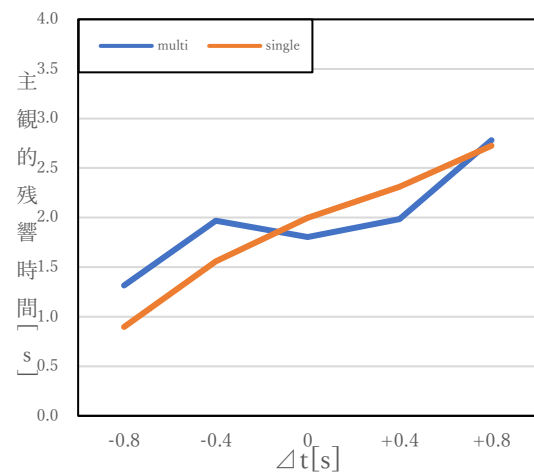


図 4-41 モード間における平均値の比較 (h+5)

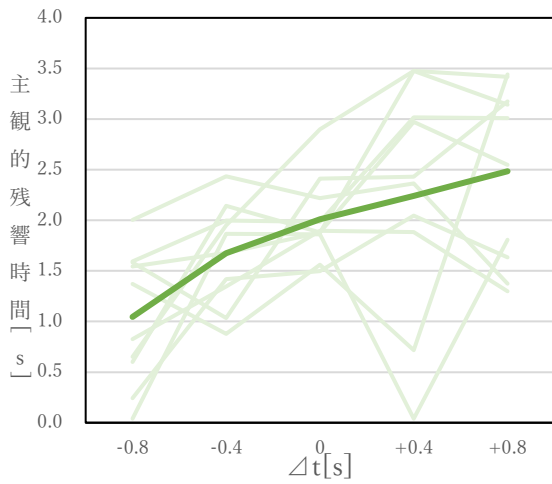


図 4-30 残響感と Δt の関係 (h-5, マルチモード)

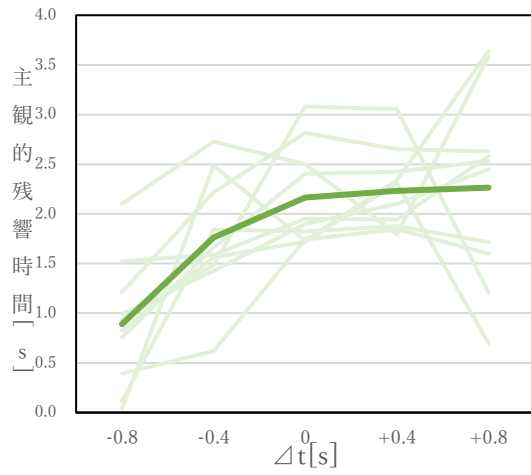


図 4-31 残響感と Δt の関係 (h+5, シングルモード)

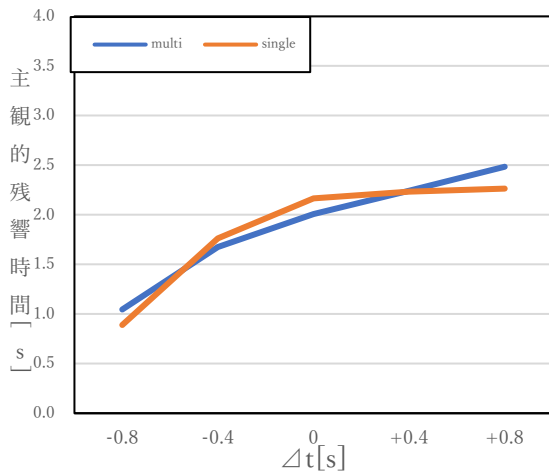


図 4-42 モード間における平均値の比較 (h-5)

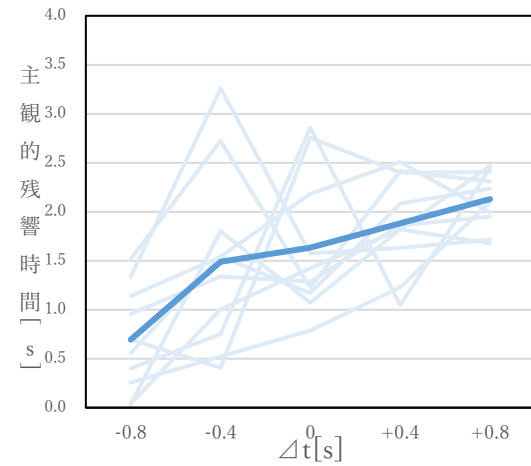


図 4-32 残響感と Δt の関係 (w+5, マルチモード)

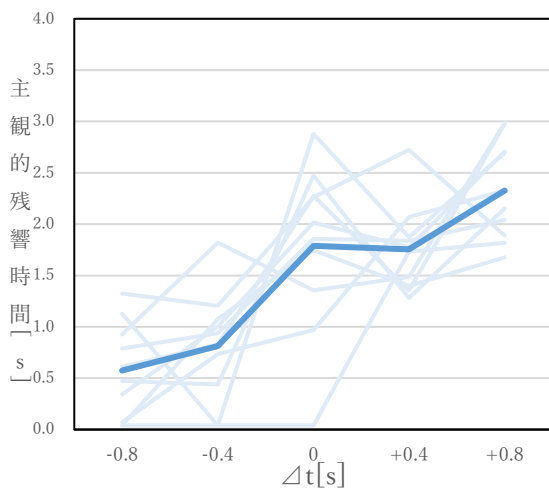


図 4-33 残響感と Δt の関係 (w+5, シングルモード)

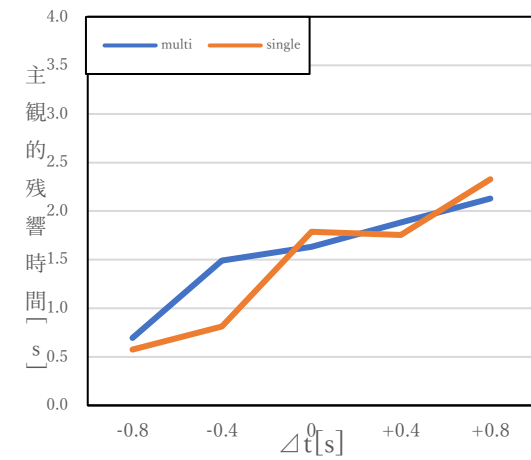


図 4-43 モード間における平均値の比較 (w+5)

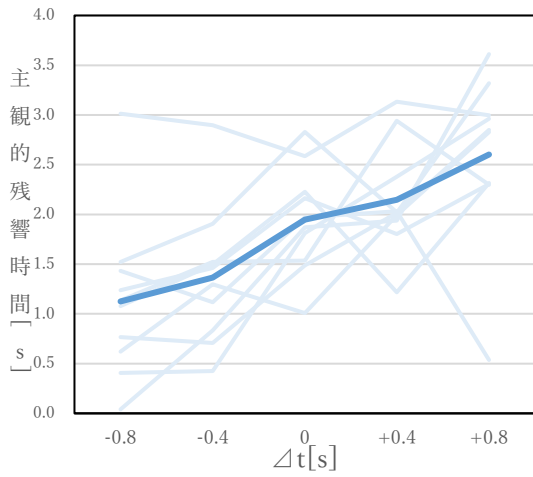


図 4-34 残響感と Δt の関係 (w-5, マルチモード)

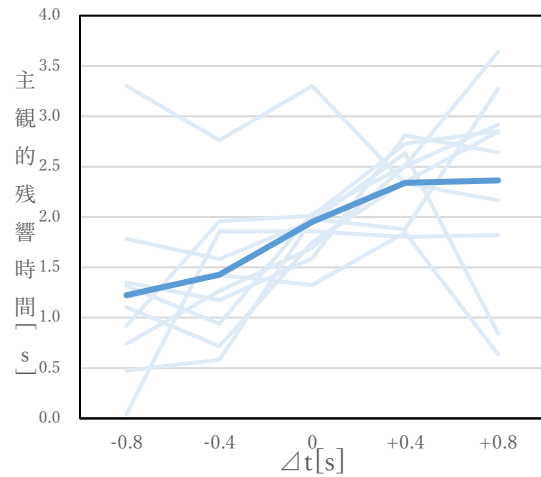


図 4-35 残響感と Δt の関係 (w-5, シングルモード)

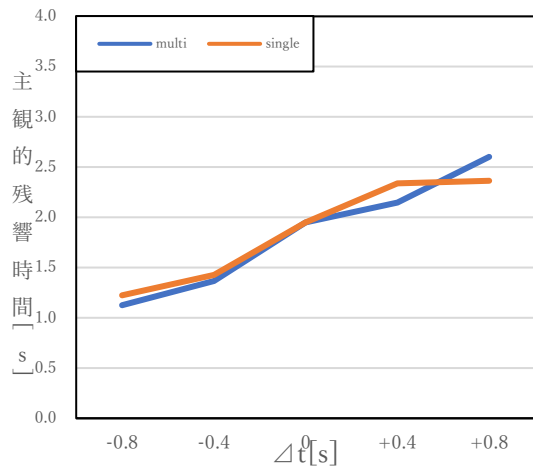


図 4-44 モード間における平均値の比較 (w-5)

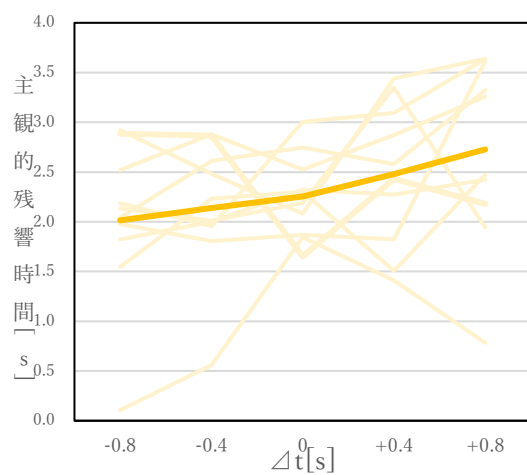


図 4-36 残響感と Δt の関係 (d+5, マルチモード)

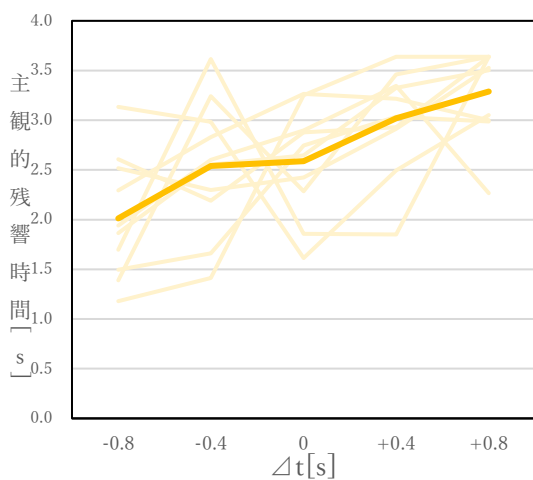


図 4-37 残響感と Δt の関係 (d+5, シングルモード)

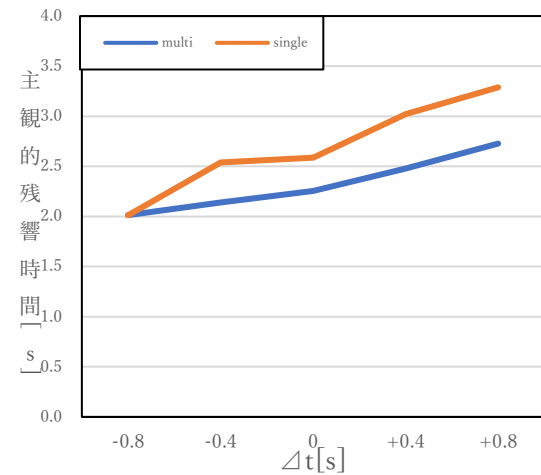


図 4-45 モード間における平均値の比較 (d+5)

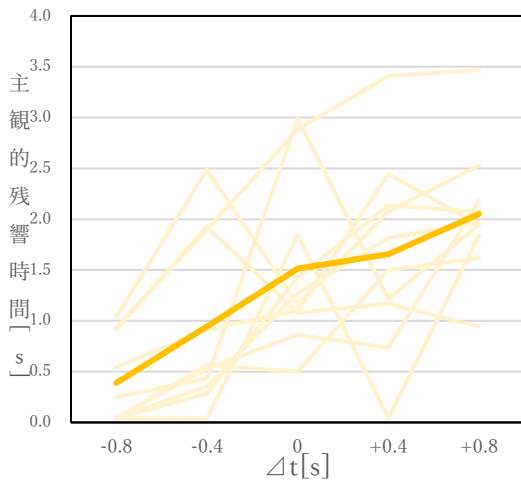


図 4-38 残響感と Δt の関係 (d-5, マルチモード)

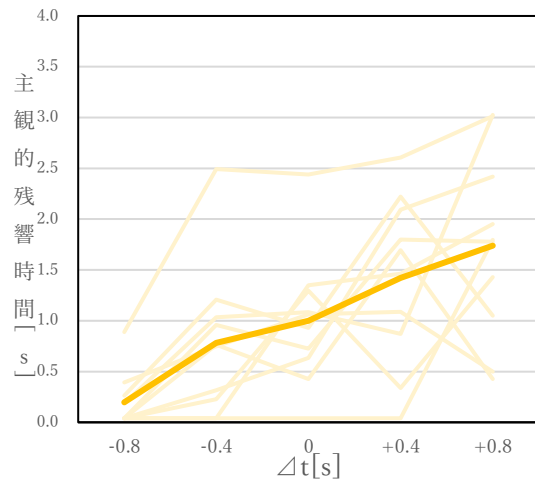


図 4-39 残響感と Δt の関係 (d-5, シングルモード)

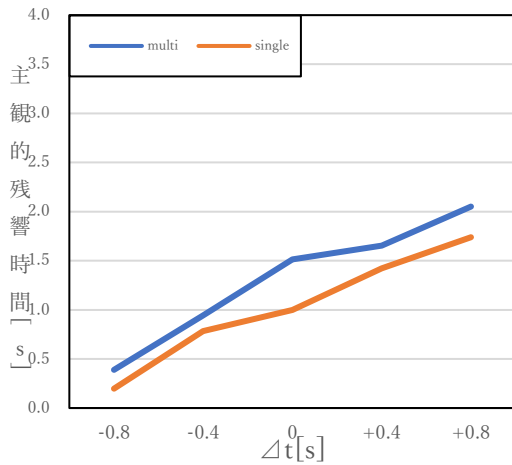


図 4-46 モード間における平均値の比較 (d-5)

被験者の回答値はばらつきが多いが、いずれの視覚刺激に対して、いずれの提示モードにおいても主観的残響時間の平均値は聴覚刺激の残響時間が大きくなるにつれて増加し、右上がりのグラフとなった。一方、同一の聴覚刺激に対するマルチモードとシングルモードの平均値の間に有意な差は見られなかった。

分析

各視覚刺激に対する ΔR （提示モード間の主観的残響感の差、マルチ-シングル）と Δt （聴覚刺激の残響時間 RT と予測残響時間 ERT の差、RT-ERT）との関係を図 4-47~4-53 に示す。また、全ての視覚刺激の結果を重ね合わせたものを図 4-54 に示す。

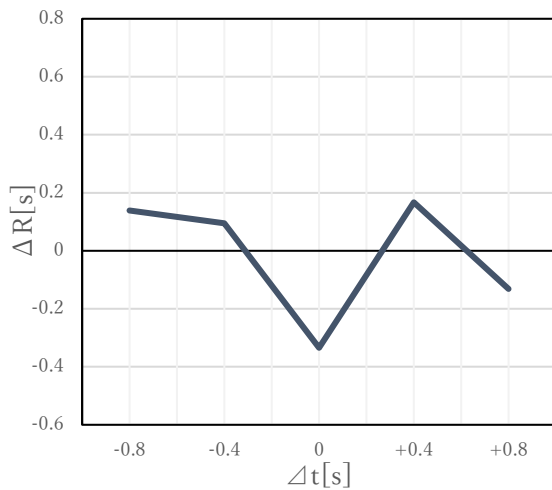


図 4-47 モード間の残響感の差分(o)

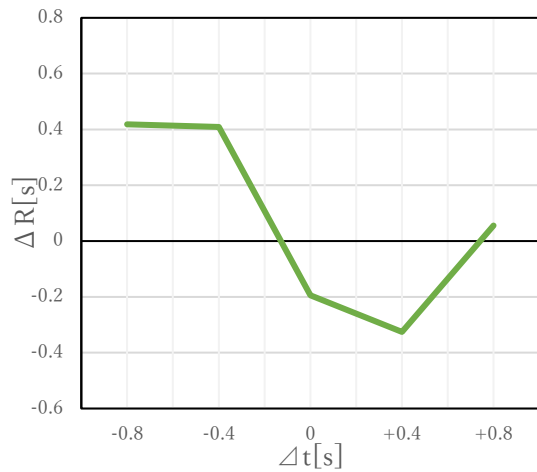


図 4-48 モード間の残響感の差分(h+5)

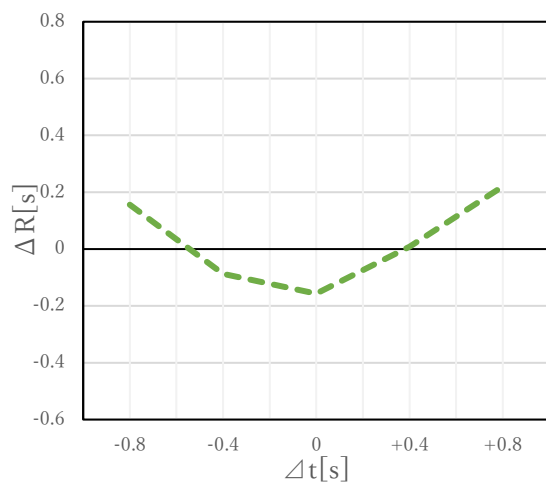


図 4-49 モード間の残響感の差分(h-5)

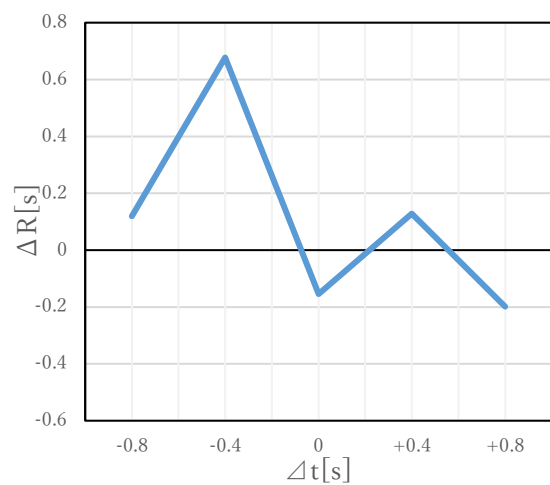


図 4-50 モード間の残響感の差分(w+5)

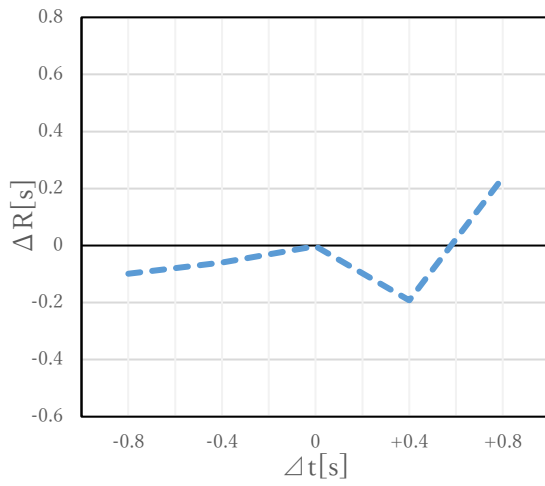


図 4-51 モード間の残響感の差分(w-5)

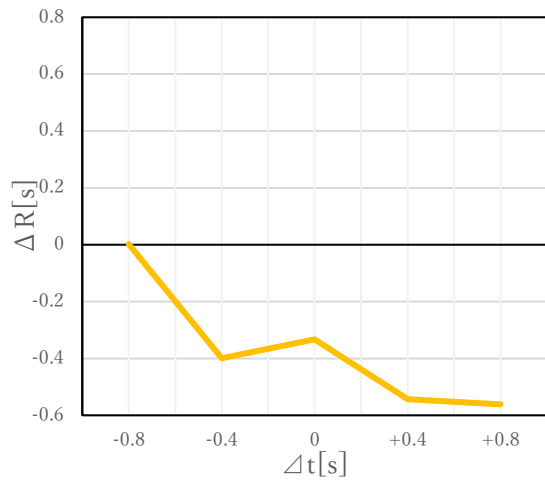


図 4-52 モード間の残響感の差分(d+5)

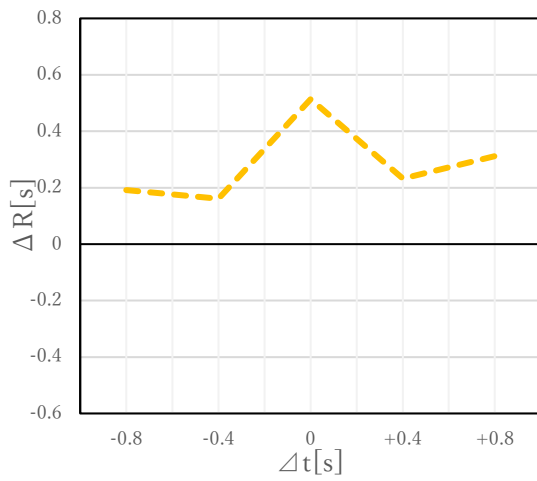


図 4-53 モード間の残響感の差分(d-5)

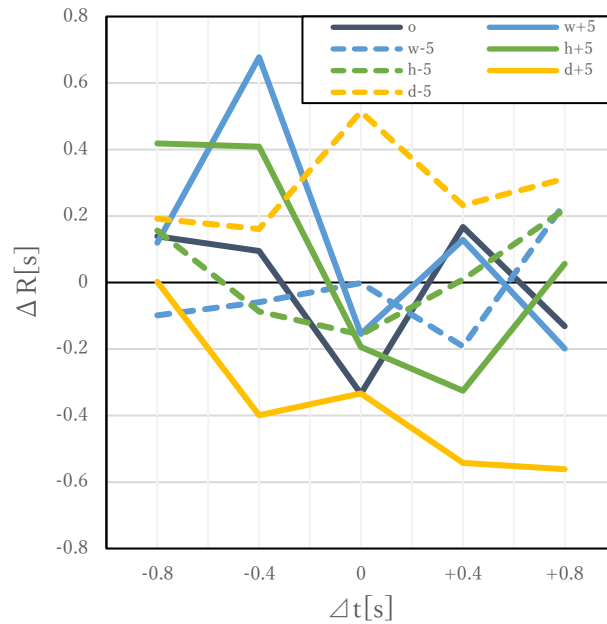


図 4-54 モード間の残響感の差分（全ての視覚刺激の結果重ね合わせ）

視覚刺激「h+5」、「w+5」については、原点付近を通り右下がりの傾向を持つ結果となり、寺島らの示す「視覚情報による聴感印象の補正モデル」⁷⁾に概ね従っていると思われるが、この他の視覚刺激については当てはまっている結果とはならなかった。また、視覚刺激「o」においては Δt は負の範囲で右下がりの傾向が見られたが、容積が小さい h-5、w-5、d-5 の場合は大局的にみて横ばいの傾向であった。さらに奥行変化（d-5、d+5）では横軸と交差しなかった。

次に、図 4-47～4-53 において ΔR が正から負に変化する時の 0 となる残響時間の値を「間接法によって求めた」予測残響時間とみなした。この場合における $\Delta t - \Delta R$ の関係をすべての視覚刺激の結果をまとめて図 4-56 に、ディメンジョン毎の結果をとめて $\Delta t - \Delta R$ を図 4-57～4-59 に示す。また、図 4-55 に、予測残響時間の直接法と間接法による結果を比較している。この図の横軸は容積の順に並べており、(w-5、d-5)は間接法を求める条件を満たしていないため図に間接法の値は示していない。

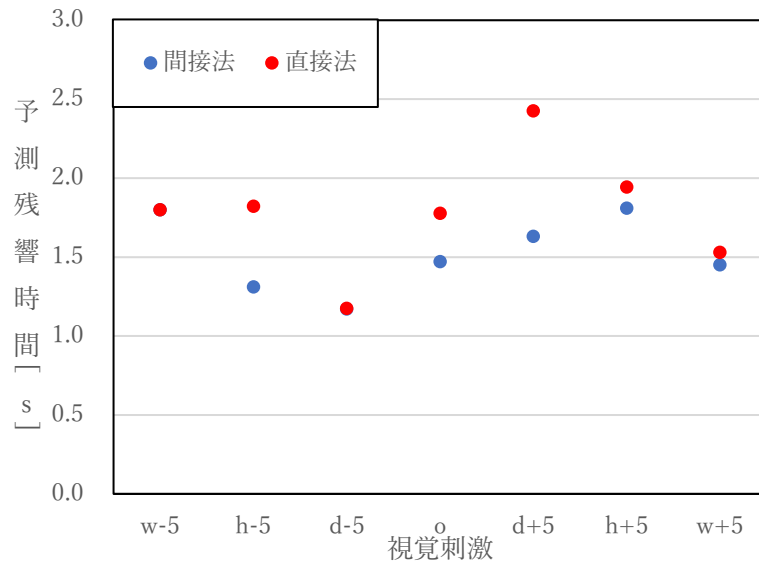


図 4-55 予測残響時間の直接法と間接法の比較

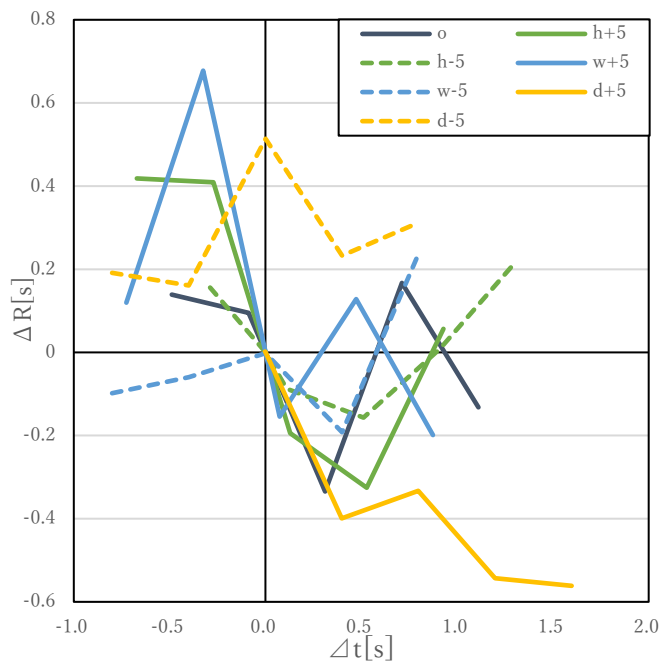


図 4-56 モード間の差分(修正)

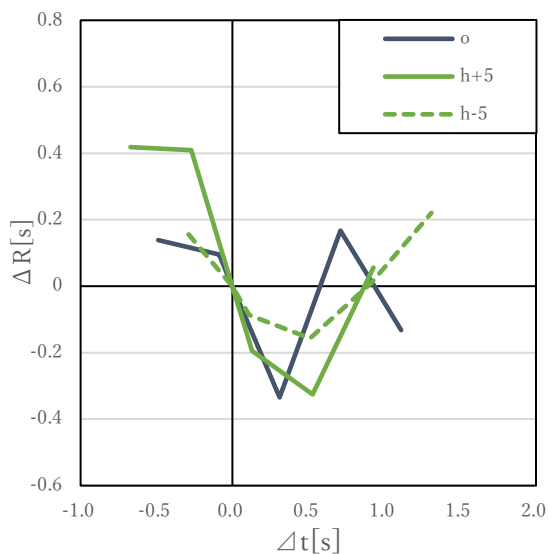


図 4-57 モード間の差分(h 変化)

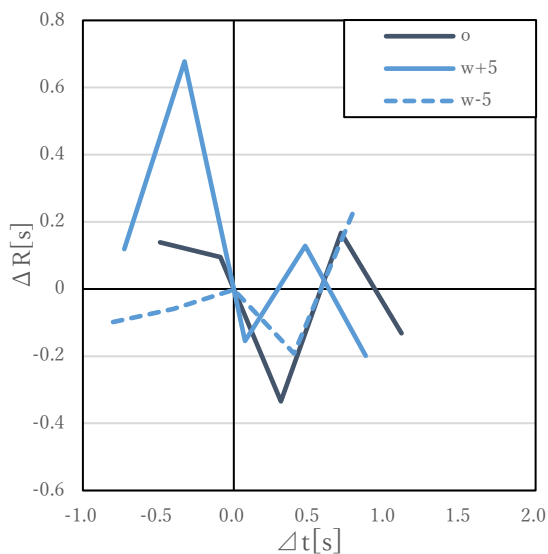


図 4-58 モード間の差分(w 変化)

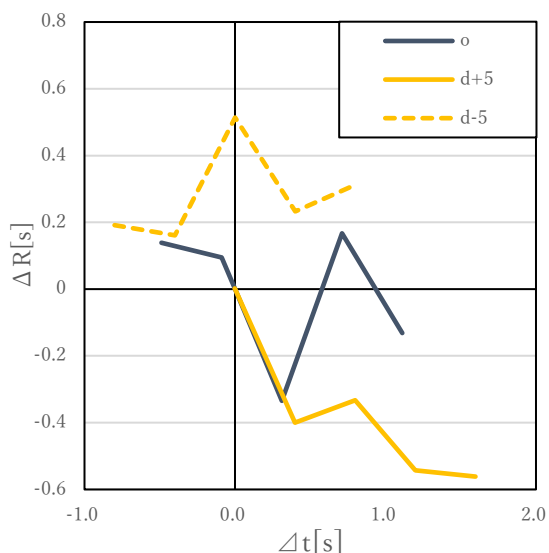


図 4-59 モード間の差分(d 変化)

図 4-55 において、間接法によって推定された予測残響時間は、w+5 を除き、概ね容積順に大きくなる傾向が見られた。また直接法と間接法のいずれの場合でも、奥行変化のみ容積が大きくなるにつれて予測残響時間は大きくなる傾向が見られたが、高さや横幅に関してはこの傾向は見られなかった。また、図 4-57～4-59 において、視覚刺激(o)、(h+5)、(w+5)に対する結果は概ね補正モデルと合致する傾向を示した。しかし、視覚情報の聴覚印象に与える影響についてはディメンジョンによる特徴や明確な違いは見られなかった。

4-5-3 被験者回答値の選別による分析

被験者の回答には、残響感の判断において信頼性の低い、あるいは特異な回答が含まれていると思われ、実験結果のばらつきの原因となっていると考えた。そこで本項では被験者の回答値の選別を行い、より信頼性の高い（平均的）と思われる被験者の回答を選別して実験結果を整理している。

選別の方法としては、各実験条件に対して回答した 10 人の被験者の回答値のうち大きく外れた回答値を除外した。図 4-60～4-73 は、回答を選別した場合の主観的残響時間と Δt をプロットしている。細線は被験者の値、太字は平均値を表している。また、図 4-74～4-80 は、各視覚刺激に対するマルチモード(青線)とシングルモード(赤線)の平均値を比較したものを示す。

表 4-4 回答値選別後のマルチモードにおける残響感

条件(multi)		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	AVE
o	-0.8			0.73	1.00				0.87	1.03	1.08	0.94
	-0.4			1.01	2.03				1.51	1.48	1.55	1.52
	0			1.90	2.48				1.65	1.22	1.36	1.72
	+0.4			1.64	2.12				1.92	2.37	1.85	1.98
	+0.8			1.92	3.40				2.53	2.41	3.38	2.73
w+5	-0.8	0.26			1.14	0.56			0.96	0.04		0.59
	-0.4	0.52			1.54	1.55			1.34	1.00		1.19
	0	0.79			2.18	1.17			1.29	1.42		1.37
	+0.4	1.23			2.51	2.08			1.86	1.82		1.90
	+0.8	2.10			1.99	2.24			1.95	2.47		2.15
w-5	-0.8	0.41	0.77	0.62	1.14		0.04			1.24		0.70
	-0.4	0.42	0.71	1.30	1.52		0.83			1.46		1.04
	0	1.81	1.49	1.01	1.53		1.87			2.16		1.65
	+0.4	2.38	2.02	1.99	2.94		1.94			1.80		2.18
	+0.8	2.96	3.32	2.83	2.30		3.61			2.30		2.89
h+5	-0.8	1.72	0.83		1.53		0.04		1.18			1.06
	-0.4	1.92	1.95		1.42		1.81		1.03			1.63
	0	1.66	1.24		1.40		1.81		1.53			1.53
	+0.4	1.79	1.85		2.22		1.83		2.06			1.95
	+0.8	3.05	3.64		3.10		3.64		2.62			3.21
h-5	-0.8	0.24	1.58	0.65	1.59	1.54			0.83	0.60		1.01
	-0.4	1.42	1.03	1.95	2.00	1.68			1.34	2.14		1.65
	0	1.50	2.41	2.90	1.98	1.88			1.90	1.88		2.06
	+0.4	2.05	2.43	3.48	3.02	3.48			1.88	2.97		2.76
	+0.8	1.63	3.17	3.14	3.01	3.42			1.30	2.55		2.60
d+5	-0.8			2.13	2.04	2.19			1.82	2.52		2.14
	-0.4			2.01	2.61	1.96			2.00	2.88		2.29
	0			2.19	2.75	3.00			2.32	2.52		2.56
	+0.4			3.35	2.58	3.09			2.27	2.87		2.83
	+0.8			1.94	3.32	3.64			2.42	3.26		2.92
d-5	-0.8	0.04			0.04	0.04				0.04	0.54	0.14
	-0.4	0.56			0.53	0.29				0.36	0.91	0.53
	0	0.50			0.86	1.43				1.27	1.10	1.03
	+0.4	1.50			0.73	2.13				1.82	2.45	1.73
	+0.8	1.62			2.18	2.07				1.97	1.94	1.96

表 4-5 回答値選別後のシングルモードにおける残響感

条件 (single)	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	AVE
o	-0.8	0.86		0.50	0.63			0.80	0.56		0.67
	-0.4	1.32		0.99	1.32			1.28	1.20		1.22
	0	1.89		1.89	1.96			1.89	1.63		1.85
	+0.4	2.41		2.20	1.85			2.21	2.63		2.26
	+0.8	3.63		2.09	2.81			2.66	2.31		2.70
w+5	-0.8	0.07	0.04	0.93	0.79			0.34			0.43
	-0.4	0.73	1.08	1.82	0.94			1.00			1.11
	0	0.97	1.75	1.36	1.86			2.02			1.59
	+0.4	2.07	1.40	1.49	1.84			1.77			1.71
	+0.8	2.33	1.68	2.98	2.04			2.71			2.35
w-5	-0.8	0.48	1.11	0.92				0.74	1.32		0.91
	-0.4	0.58	0.72	1.96				1.27	0.94		1.09
	0	1.98	1.75	2.01				1.69	2.03		1.89
	+0.4	1.88	2.35	2.73				2.50	2.51		2.39
	+0.8	3.27	2.85	2.85				2.92	3.64		3.11
h+5	-0.8	0.51		1.08	1.24	1.21	0.04	1.30	1.02	0.58	0.87
	-0.4	1.31		1.07	2.00	1.83	0.04	2.61	1.31	1.58	1.47
	0	1.92		2.16	1.78	1.94	1.95	1.74	1.83	2.63	1.99
	+0.4	2.01		2.95	2.17	1.91	1.90	2.14	2.84	3.50	2.43
	+0.8	2.97		2.32	2.95	2.98	3.52	3.03	2.76	3.21	2.97
h-5	-0.8	0.39		1.52	0.76		1.21		0.99		0.98
	-0.4	0.62		1.59	1.66		2.22		1.43		1.50
	0	1.74		1.95	2.40		2.81		1.90		2.16
	+0.4	1.84		1.94	2.43		2.65		2.10		2.19
	+0.8	1.60		2.58	2.53		2.63		2.45		2.36
d+5	-0.8	1.18		2.29		1.86		1.50	2.61	2.52	1.99
	-0.4	1.41		2.83		2.55		1.66	2.19	2.30	2.16
	0	3.25		3.27		2.65		2.75	2.88	2.42	2.87
	+0.4	3.64		3.22		3.33		3.03	2.93	2.91	3.18
	+0.8	3.64		3.00		3.50		2.99	3.64	3.53	3.38
d-5	-0.8	0.04		0.19	0.04	0.04			0.04		0.07
	-0.4	0.23		1.03	0.32	0.04			0.96		0.52
	0	1.30		1.08	0.63	1.35			0.73		1.02
	+0.4	0.34		0.87	2.09	1.46			1.80		1.31
	+0.8	1.43		3.03	2.42	1.95			1.78		2.12

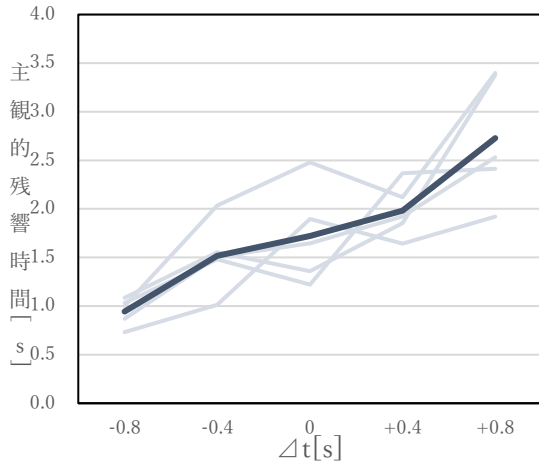


図 4-60 残響感と Δt の関係 (o, マルチモード)

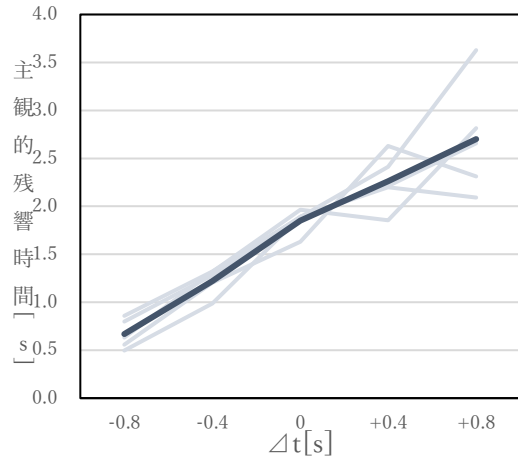


図 4-61 残響感と Δt の関係 (o, シングルモード)

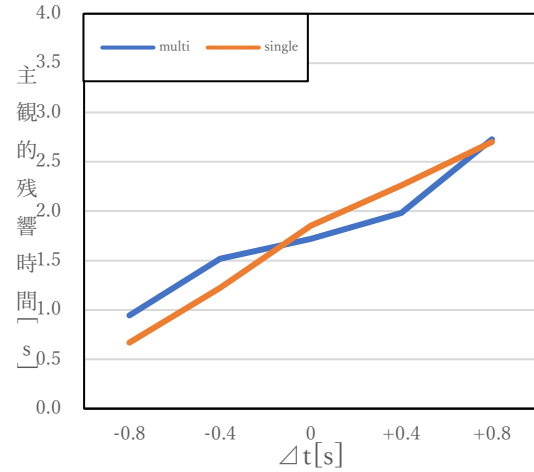


図 4-74 モード間における平均値の比較(o)

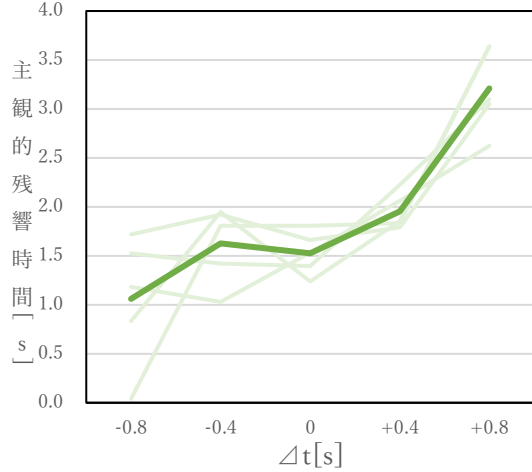


図 4-62 残響感と Δt の関係 (h+5, マルチモード)

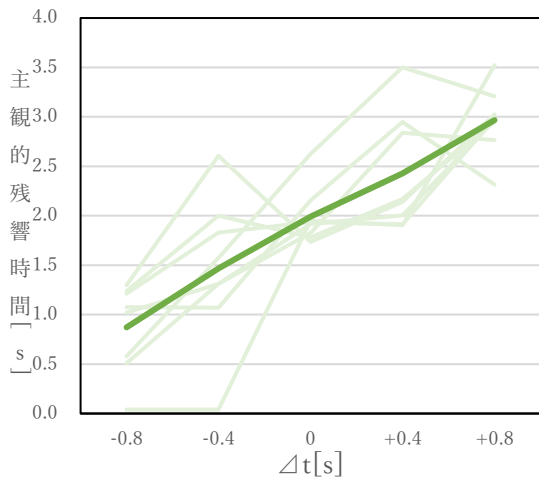


図 4-63 残響感と Δt の関係 (h+5, シングルモード)

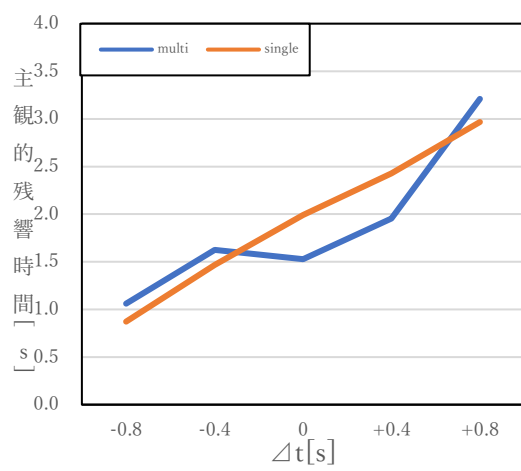


図 4-75 モード間における平均値の比較(h+5)

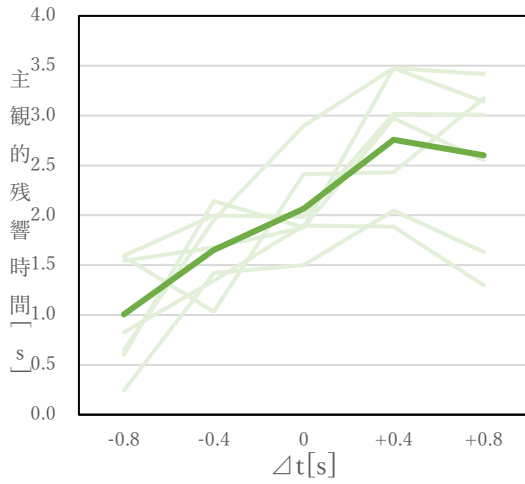


図 4-64 残響感と Δt の関係 (h-5, マルチモード)

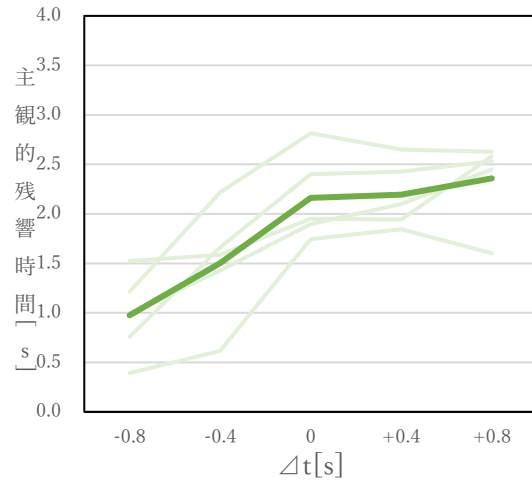


図 4-65 残響感と Δt の関係 (h-5, シングルモード)

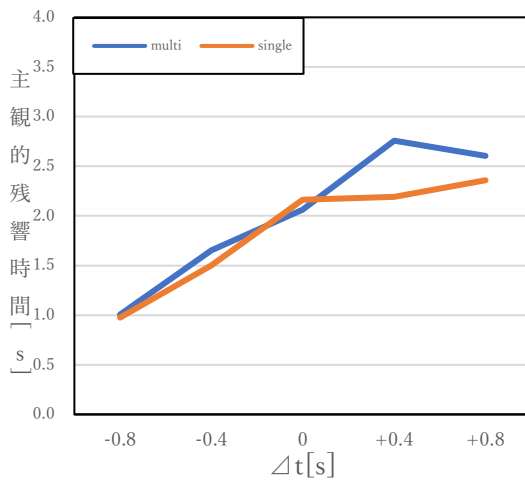


図 4-76 モード間における平均値の比較 (h-5)

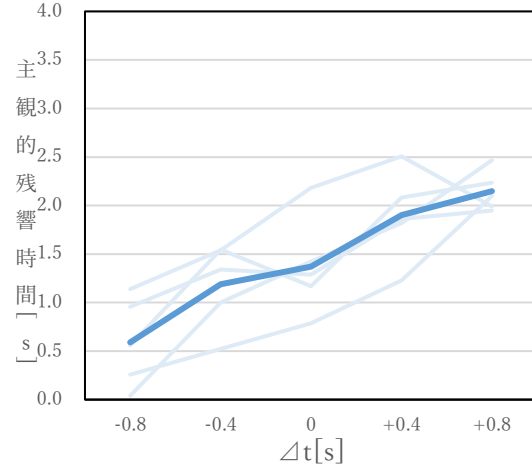


図 4-66 残響感と Δt の関係 (w+5, マルチモード)

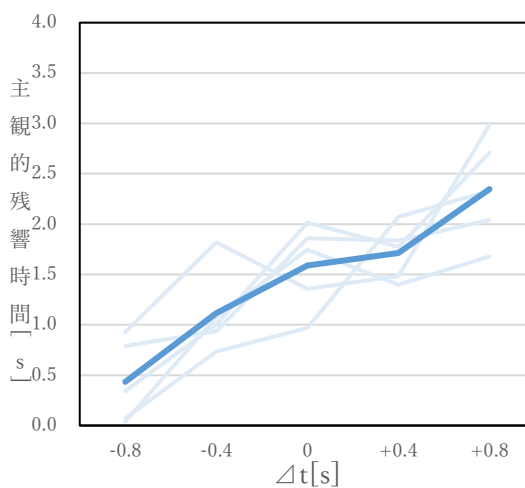


図 4-67 残響感と Δt の関係 (w+5, シングルモード)

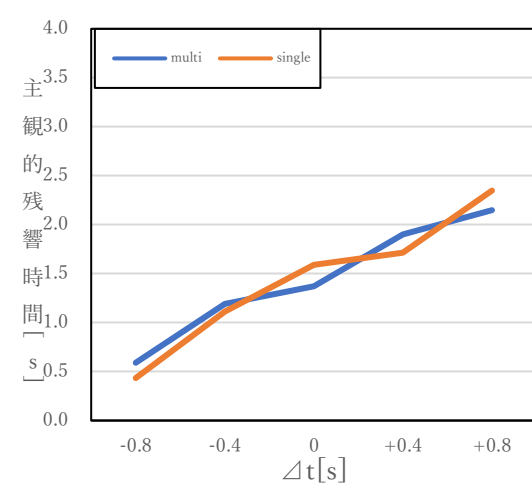


図 4-77 モード間における平均値の比較 (w+5)

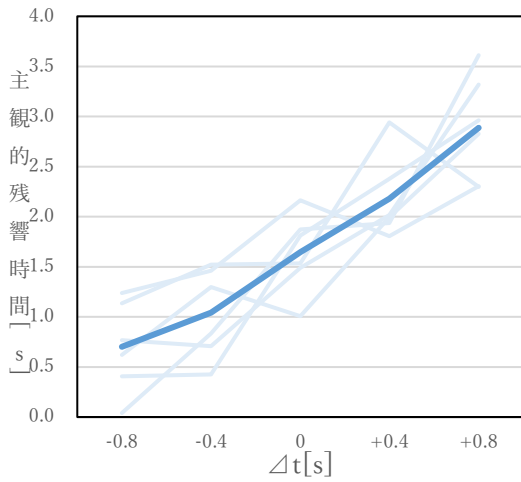


図 4-68 残響感と Δt の関係 (w-5, マルチモード)

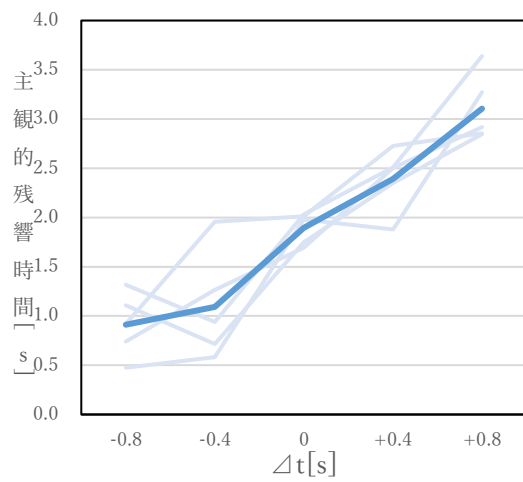


図 4-69 残響感と Δt の関係 (w-5, シングルモード)

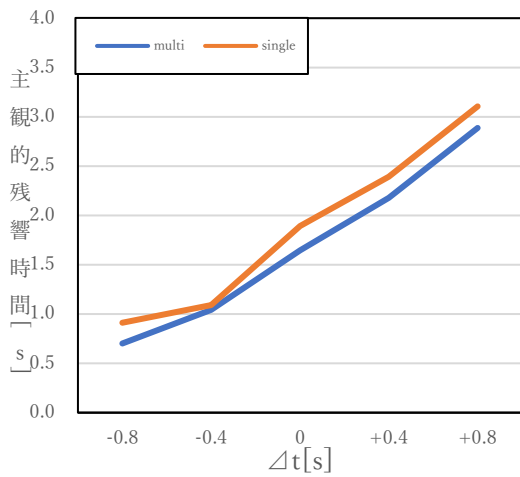


図 4-78 モード間における平均値の比較 (w-5)

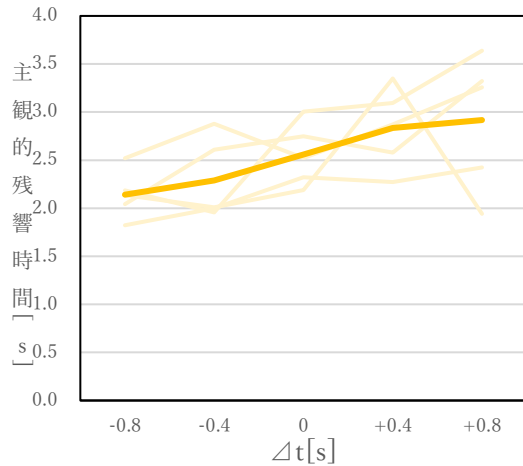


図 4-70 残響感と Δt の関係 (d+5, マルチモード)

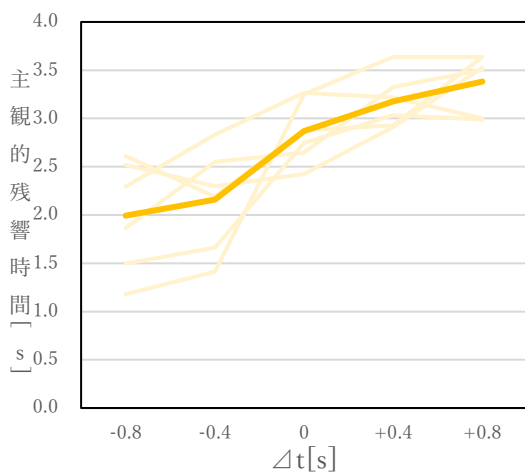


図 4-71 残響感と Δt の関係 (d+5, シングルモード)

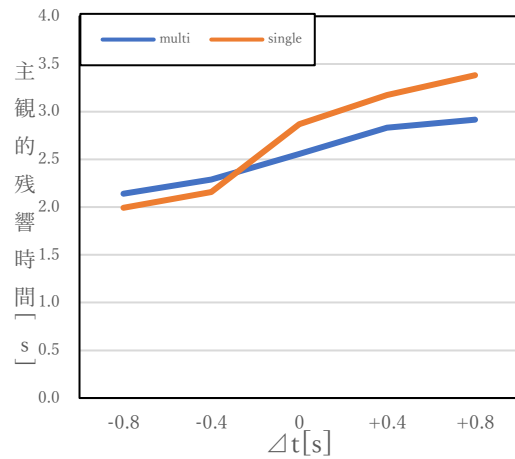


図 4-79 モード間における平均値の比較 (d+5)

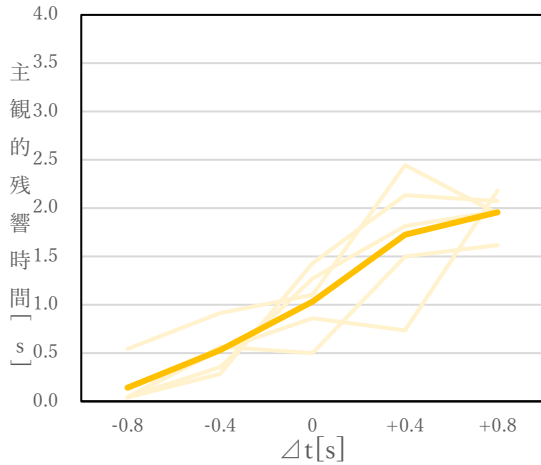


図 4-72 残響感と Δt の関係 (d-5, マルチモード)

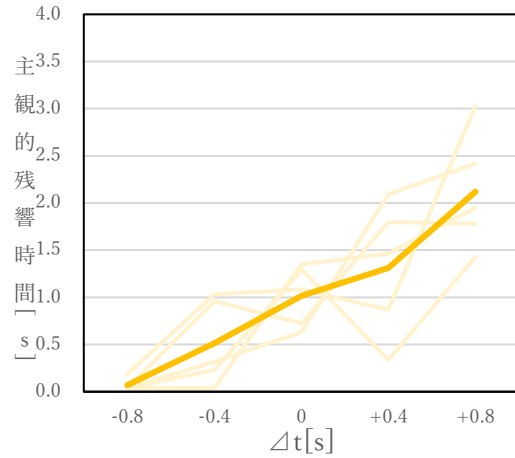


図 4-73 残響感と Δt の関係 (d-5, シングルモード)

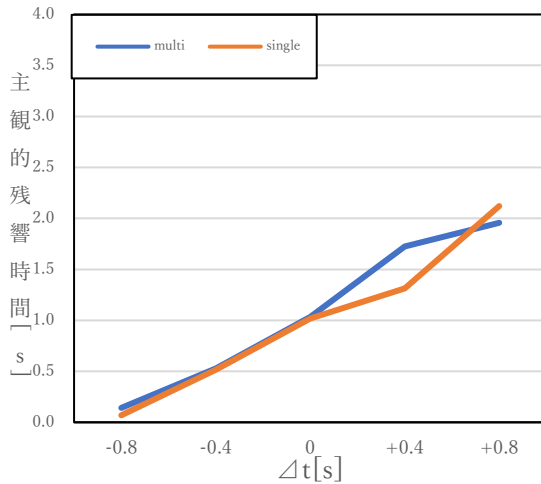


図 4-80 モード間における平均値の比較(d-5)

被験者回答値を選別したことで、被験者の回答値のばらつきは少なくなった。主観的残響時間の平均値は、聴覚刺激の残響時間が大きくなるにつれて増加し、右上がりのグラフとなった。一方、同一の聴覚刺激に対するマルチモードとシングルモードの値の間に有意な平均値差は見られなかったものの、(w-5)以外はこれらのグラフが 1 箇所以上で交差している傾向が見られる。

分析

各視覚刺激に対する ΔR と Δt との関係を図 4-81～4-87 に示し、これらを補正モデルと比較し実験結果を分析する。また、全ての視覚刺激の結果を重ね合わせたものを図 4-88 に示す。

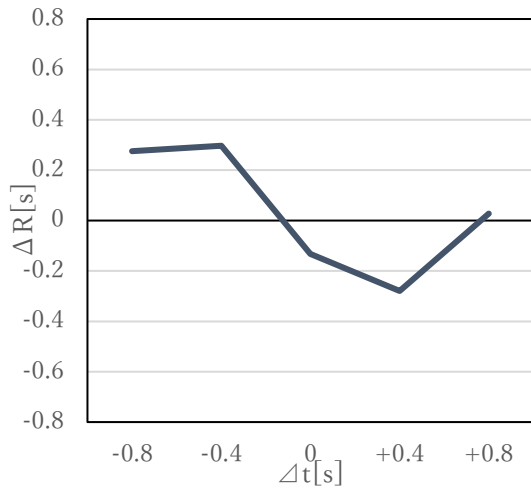


図 4-81 モード間の残響感の差分(o)

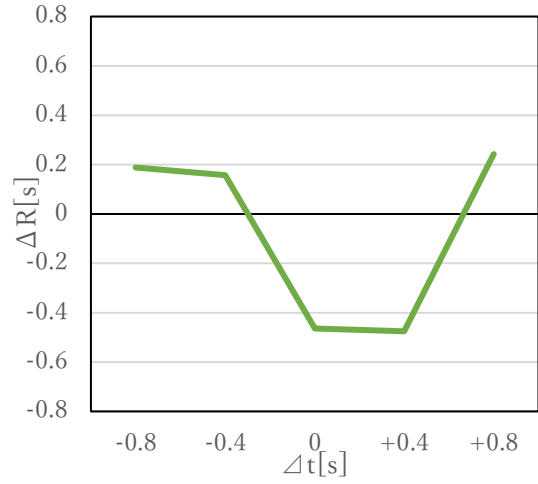


図 4-82 モード間の残響感の差分(h+5)

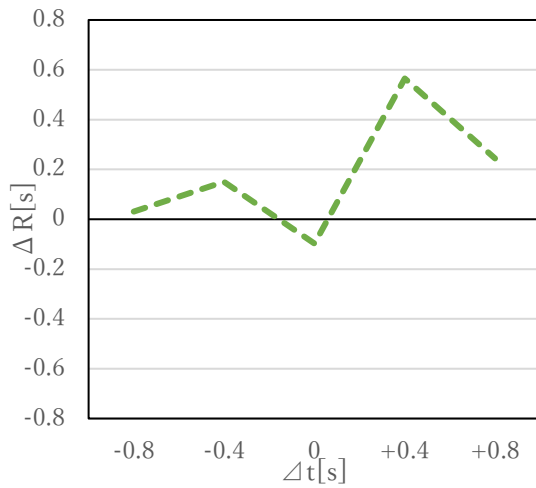


図 4-83 モード間の残響感の差分(h-5)

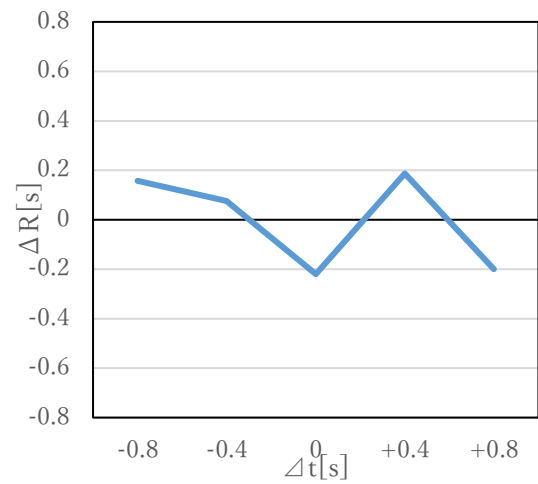


図 4-84 モード間の残響感の差分(w+5)

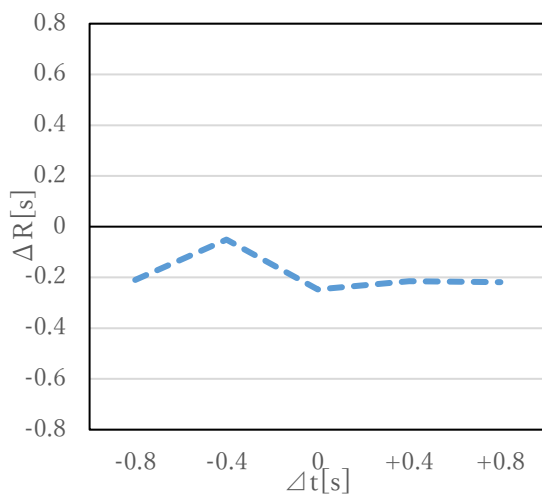


図 4-85 モード間の残響感の差分(w-5)

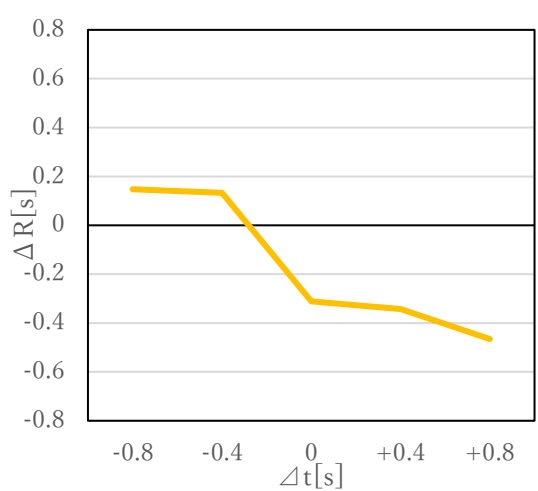


図 4-86 モード間の残響感の差分(d+5)

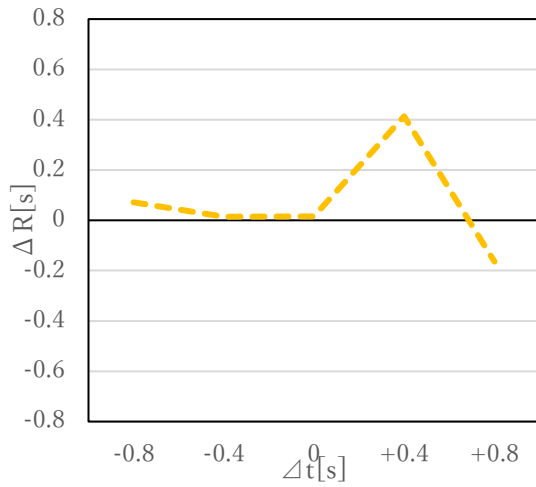


図 4-87 モード間の残響感の差分(d-5)

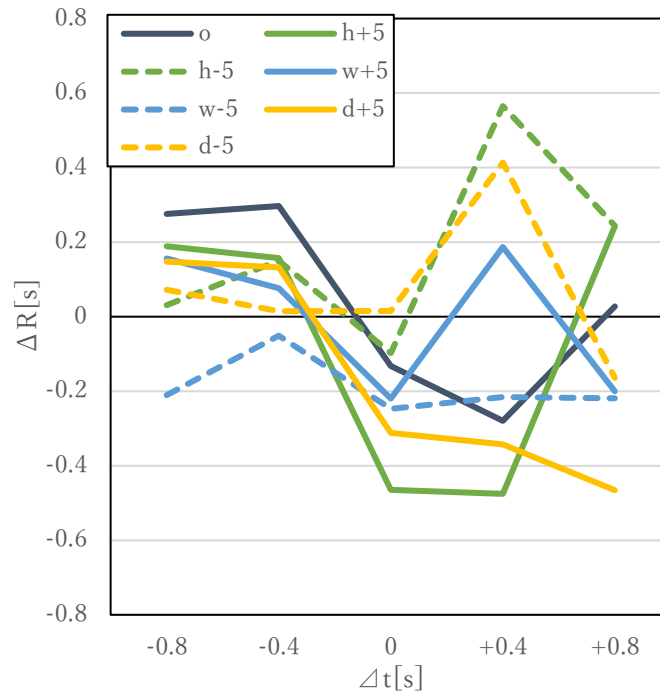


図 4-88 モード間の残響感の差分(全ての視覚刺激の結果重ね合わせ)

視覚刺激「o」「h+5」「h-5」「w+5」「d+5」については原点付近を通り Δt が負の範囲で右下がりの傾向を持つ結果となり、補正モデルに概ね従っていると思われる。また、w-5 は横軸と交差しなかった。

次に、図 4-81～4-87 において間接法によって求めた予測残響時間をもとに、 Δt - ΔR の関係をすべての視覚刺激の結果をまとめて図 4-90 に、ディメンジョン毎の結果をまとめて Δt - ΔR を図 4-91～4-93 に示す。また、予測残響時間の直接法と間接法による結果を比較したグラフを図 4-86 に示す。この図の横軸は容積の順に並べており、w-5 は間接法を求める条件を満たしていないため図に間接法の値は示していない。尚、直接法による予測残

響時間は回答値の選別は行っていない。

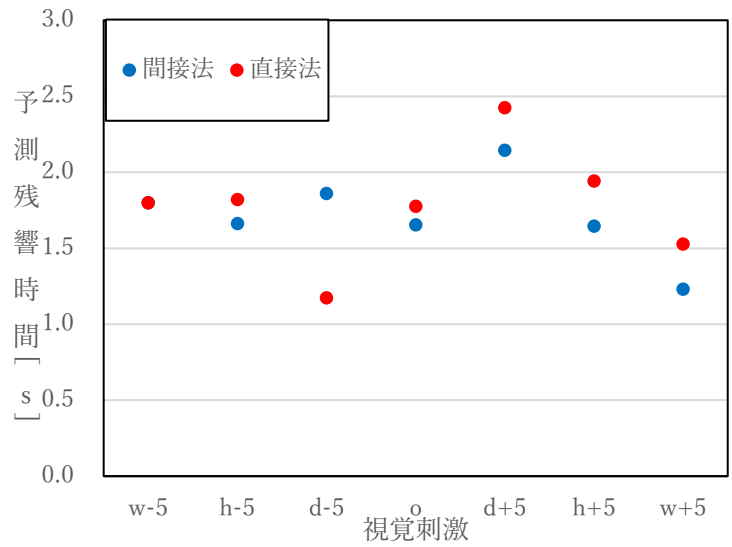


図 4-89 予測残響時間の直接法と間接法の比較

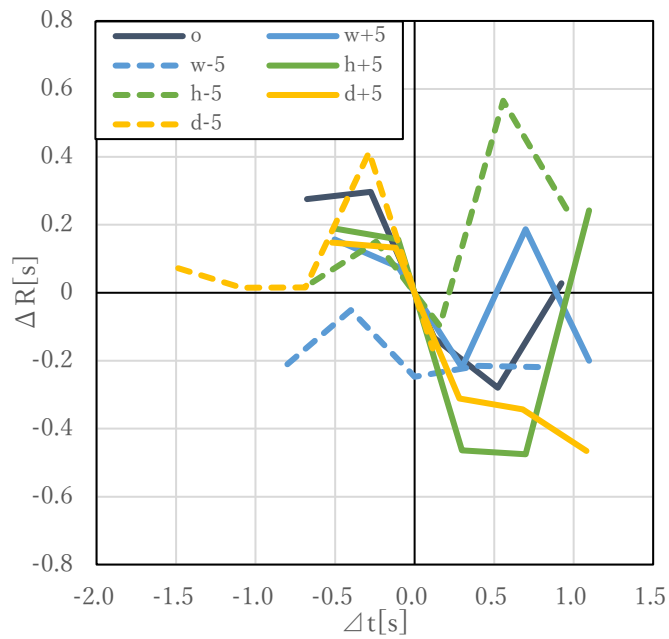


図 4-90 モード間の残響感の差分(修正)

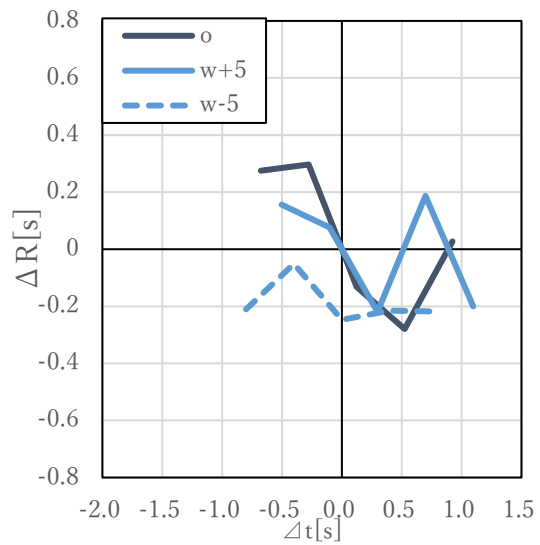
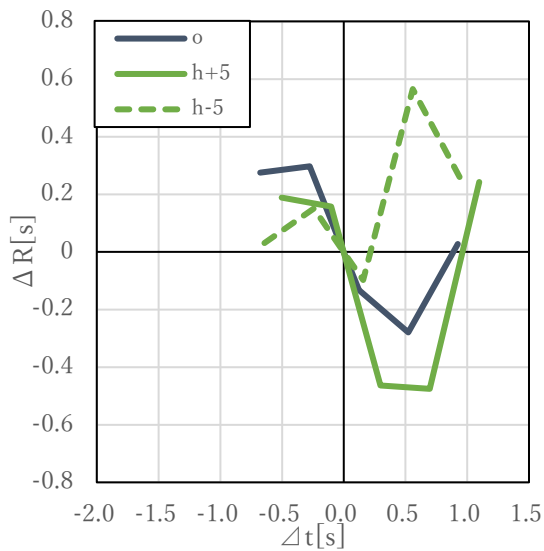


図 4-91 モード間の残響感の差分(h 変化) 図 4-92 モード間の残響感の差分(w 変化)

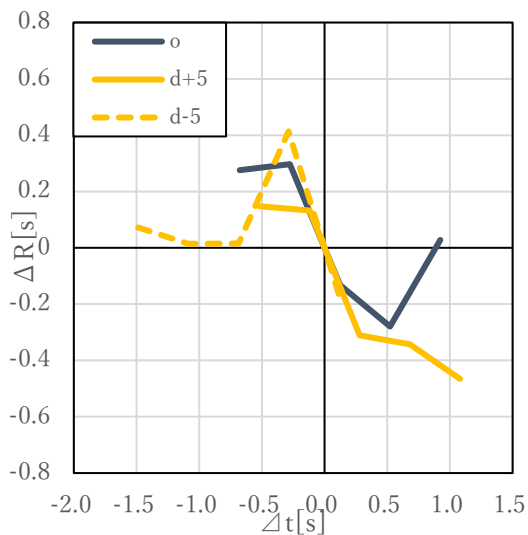


図 4-93 モード間の残響感の差分(d 変化)

図 4-89 において、直接法と間接法の予測残響時間はいずれの場合でも予測残響時間は容積の変化に関係ない傾向を示すが、回答値選別する前と比べて両者の傾向が近似している。図 4-91～4-93 においては、「w-5」を除いて概ね補正モデルと傾向が一致しており、特に(o)は概ね原点对称となっている。また、 $-0.5 \leq \Delta t \leq 0$ では h+5、w+5、d+5 のいずれも同様の傾向を示しており、この範囲での平均的な勾配は o よりもやや小さいため、(o)より弱く残響感に影響を及ぼしていると考えられる。一方、 $0 \leq \Delta t \leq 0.5$ では(h+5)、(d+5)が同様の傾向を示しており、この範囲での平均的な勾配は o よりもやや大きいため、(o)より強く残響感に影響を及ぼしていると考えられる。視覚情報の聴覚印象に与えるディメンジョンによる特徴や明確な違いについて、高さや奥行のディメンジョンにおいて傾

向の特徴が若干見られた。

4-6 予測残響時間の測定(追加実験)

4-4 の予測残響時間の測定において、「高さ」「横幅」の変化は予測残響時間の変化に結びつかなかった。要因の一つとして、ステージ・プロセニウムを見込む被験者の視野角が大きいためディメンジョンの変化を感じ取りにくいことではないかと考えた。前項までの実験においては、被験者はステージ上を眺めた際、プロセニウムはすべて視野に入っているが、空間の高さ・横幅をすべて認識するには少し見渡さなければならなかった。本項の実験においては、被験者の視点である座席位置を後方に移動して、内観の見え方を変えた場合において再度予測残響時間の測定と主観評価実験を行う。

4-6-1 実験概要

実験刺激

表 4-6 に示すように、視覚刺激は高さ・横幅・奥行をそれぞれ±5m 変化させた 6 種類の画像とオリジナルの画像を合わせて 7 種類の視覚刺激を用いる。図 4-94～4-97 に各視覚刺激の内観の映像を示す。

表 4-6 実験で用いた視覚刺激の仕様と名称

高さ	名称	[h]-5	[o]	[h]+5
	変化量[m]	-5.0	0.0	5.0
横幅	名称	[w]-5	[o]	[w]+5
	変化量[m]	-5.0	0.0	5.0
奥行	名称	[d]-5	[o]	[d]+5
	変化量[m]	-5.0	0.0	5.0

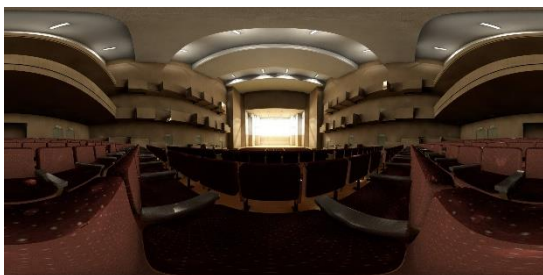


図 4-94 視覚刺激の例([o])

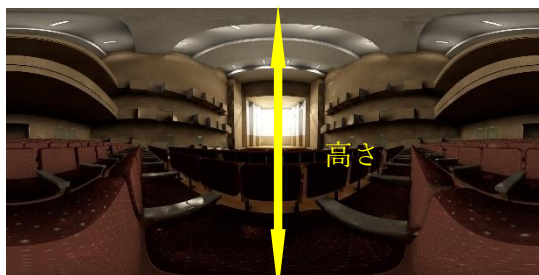


図 4-95 高さを変更した視覚刺激の例([h]+5)



図 4-96 横幅を変更した視覚刺激の例([w]+5)

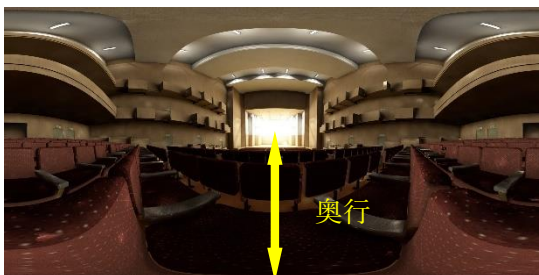


図 4-97 奥行を変更した視覚刺激の例([d]+5)

実験手順

第 2 章の予測残響時間の測定と共通する実験手順を用いるが、被検者の回答の信頼性を高めるため本実験では各視覚刺激を 3 回ずつ回答させ、その平均値を用いている。

4-6-2 実験結果と分析

実験結果

横軸に視覚刺激の条件、縦軸に被験者ごとの予測残響時間(細線)とそれらの平均値(太線)、平均値の近似曲線(点線)を図 4-98~4-100 に示す。

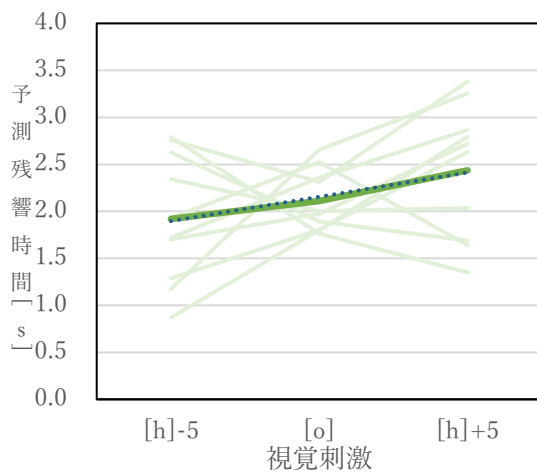


図 4-98 予測残響時間(高さ変化)

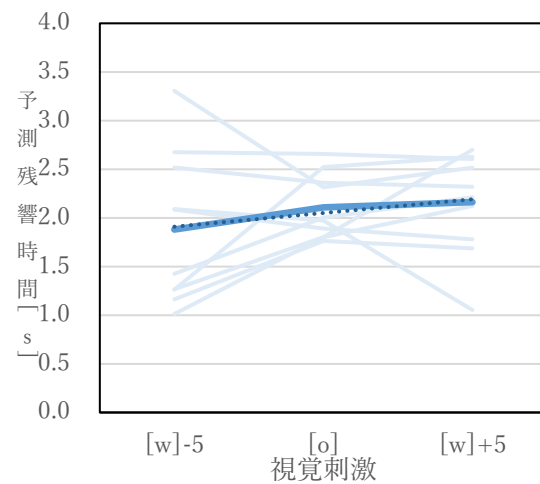


図 4-99 予測残響時間(横幅変化)

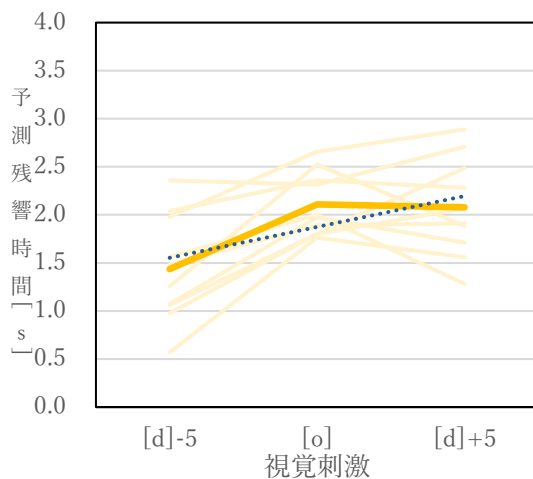


図 4-100 予測残響時間(奥行変化)

予測残響時間の平均値の視覚情報の違いによる変動は、分散分析によって「奥行」の変動のみ有意性が示されが、いずれのディメンジョンも増加にともなって予測残響時間は増加した。高さ変化の平均値の変動幅は 1.92([h]-5)~2.43([h]+5)の約 0.5 秒、横幅の変動

幅は 1.88([w]-5)～2.16([w]+5)の約 0.3 秒、奥行変化の平均値の変動幅は 1.43([w]-5)～2.08([w]-5)の約 0.6 秒であった。

4-4 予測残響時間の測定で得られた結果と比較する。横軸に容積順に視覚刺激の条件、縦軸に前方の座席(青丸)と後方の座席(赤丸)で測定された予測残響時間を図 4-101 に示す。

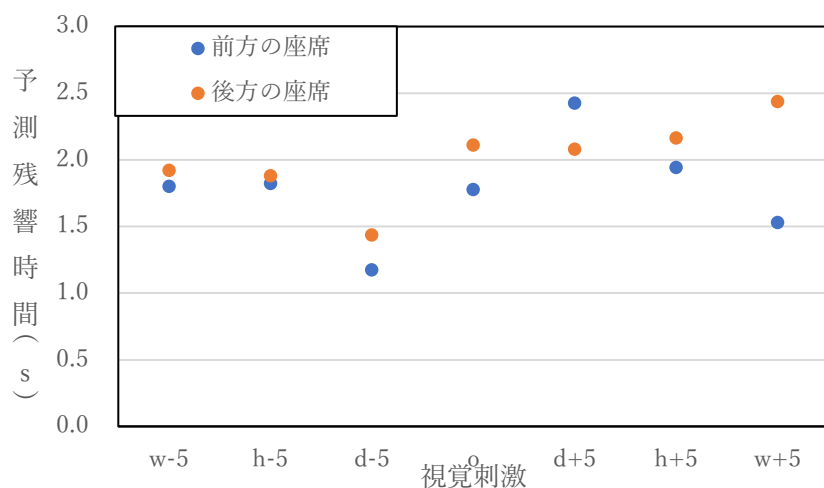


図 4-101 予測残響時間の座席位置による比較

(d+5)を除いて、後方の座席で測定された予測残響時間は前方のそれより長い予測残響時間が測定された。被験者は空間が大きくなったと錯覚して予測残響時間を長く回答したと考えられる。後方の座席で測定された予測残響時間は(d-5)を除いて、概ね容積が大きくなるにつれて大きくなる傾向が見られる。

4-7 主観評価実験(追加実験)

被験者の視点・受音点である座席を前方から後方に移動した場合において、各ディメンジョン変化が与える残響感への影響の違いを明らかにする。

4-7-1 実験概要

実験刺激

第3章の主観評価実験と同様に視覚刺激と聴覚刺激を選定した。実験で用いた視覚刺激と聴覚刺激の残響時間の組み合わせを表4-7に示す。

表4-7 視覚刺激と聴覚刺激の残響時間の組み合わせ

視覚刺激	聴覚刺激				
	Δt (予測残響時間からの差分)				
	-0.8	-0.4	± 0	+0.4	+0.8
	残響時間				
[o]	1.31	1.71	2.11	2.51	2.91
[w]+5	1.36	1.76	2.16	2.56	2.96
[w]-5	1.08	1.48	1.88	2.28	2.68
[h]+5	1.64	2.04	2.44	2.84	3.24
[h]-5	1.12	1.52	1.92	2.32	2.72
[d]+5	1.28	1.68	2.08	2.48	2.88
[d]-5	0.64	1.04	1.44	1.84	2.24

実験手順

第3章の主観評価実験と共通する実験手順を用いる。

4-7-2 実験結果と分析

実験結果

図4-102~4-115は主観的残響時間と Δt の関係をプロットしている。細線は被験者の値、太字は平均値を表している。また、図4-116~4-122は、各視覚刺激に対するマルチモード(青線)とシングルモード(赤線)の平均値を比較したものを示す。

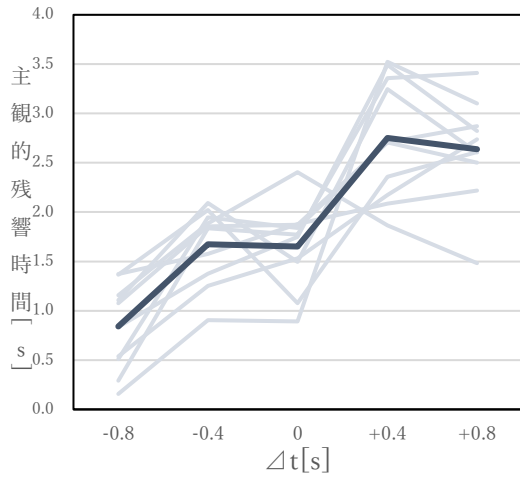


図 4-102 残響感と Δt の関係 ([o], マルチモード)

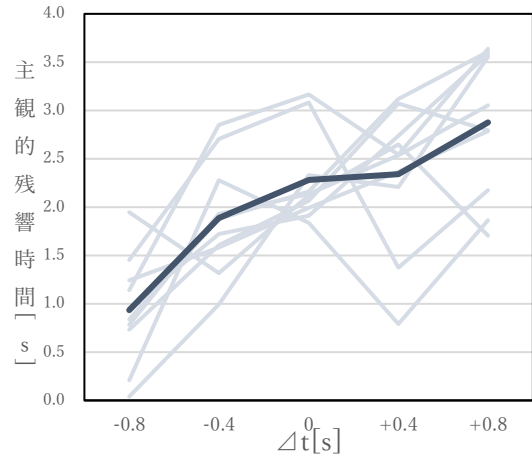


図 4-103 残響感と Δt の関係 ([o], シングルモード)

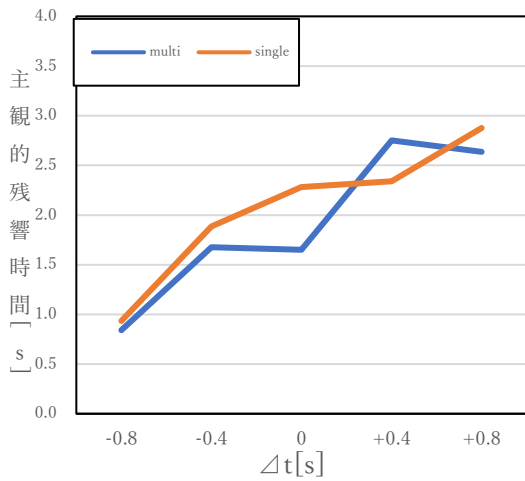


図 4-116 モード間における平均値に比較 ([o])

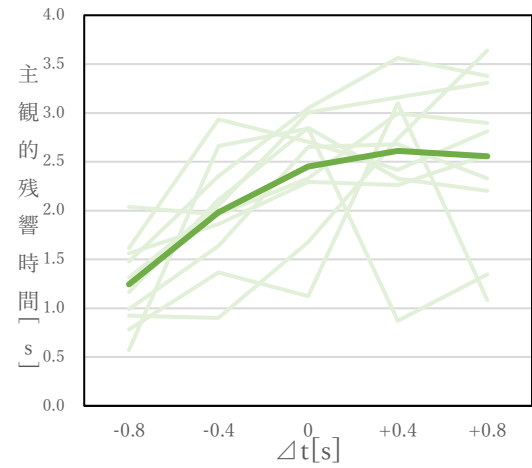


図 4-104 残響感と Δt の関係 ([h]+5, マルチモード)

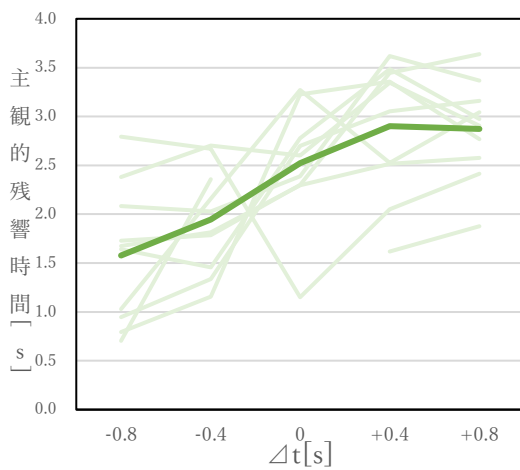


図 4-105 残響感と Δt の関係 ([h]+5, シングルモード)

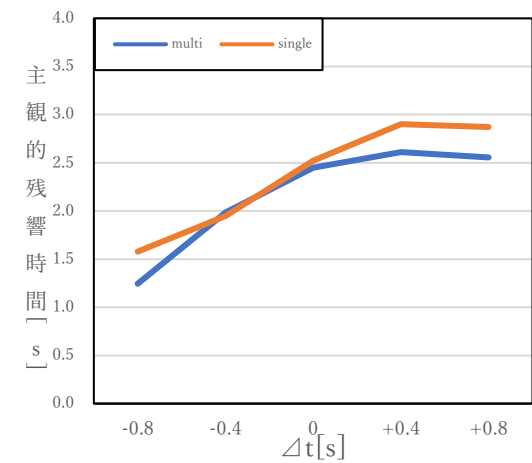


図 4-117 モード間における平均値の比較 ([h]+5)

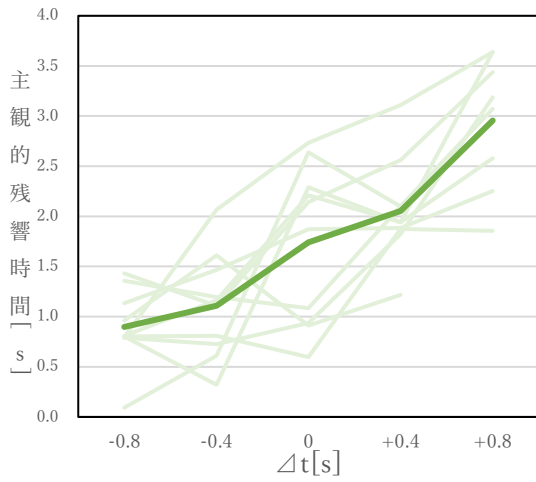


図 4-106 残響感と Δt の関係 ([h]-5, マルチモード)

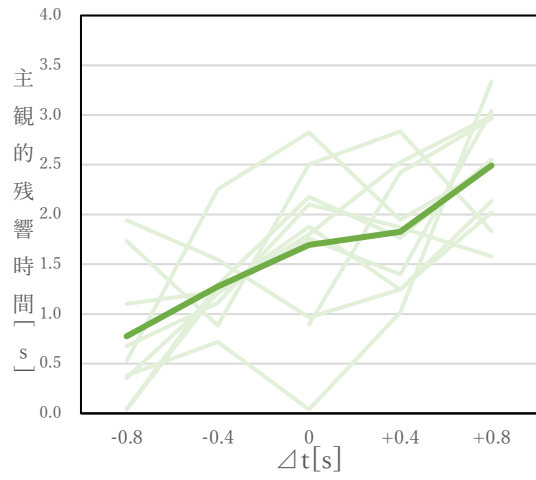


図 4-107 残響感と Δt の関係 ([h]-5, シングルモード)

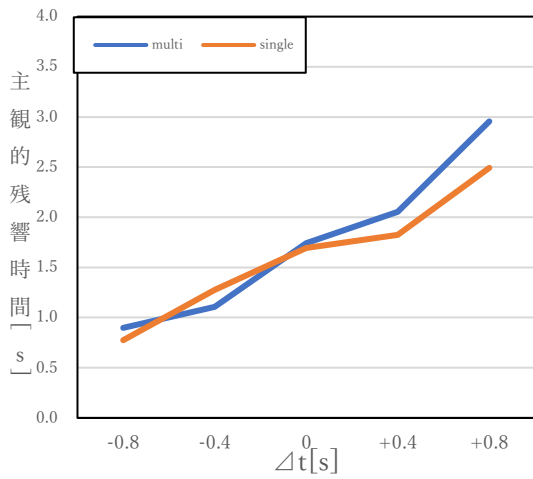


図 4-118 モード間における平均値の比較 ([h]-5)

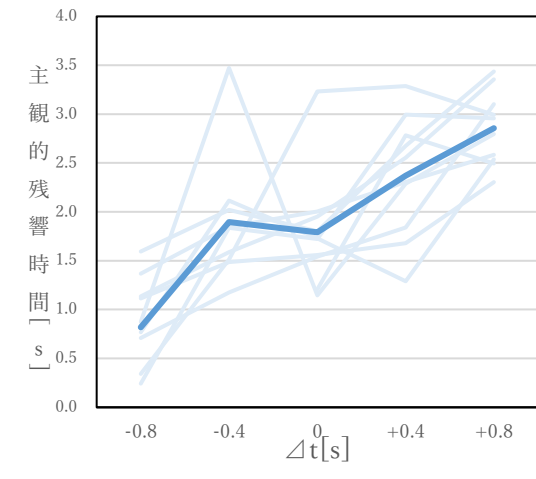


図 4-108 残響感と Δt の関係 ([w]+5, マルチモード)

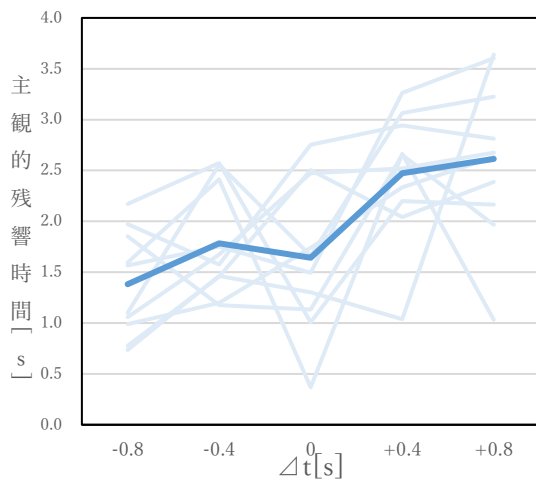


図 4-109 残響感と Δt の関係 ([w]+5, シングルモード)

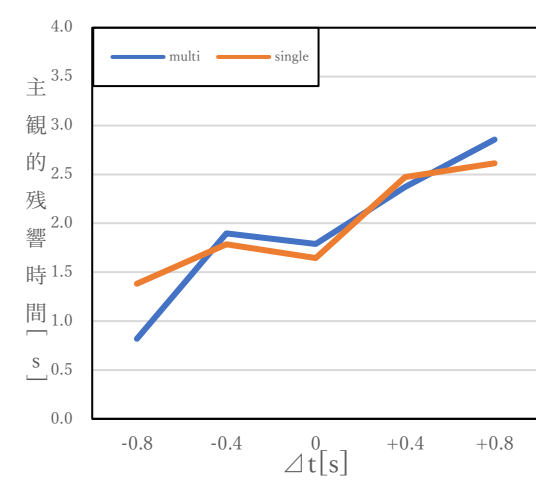


図 4-119 モード間における平均値の比較 ([w]+5)

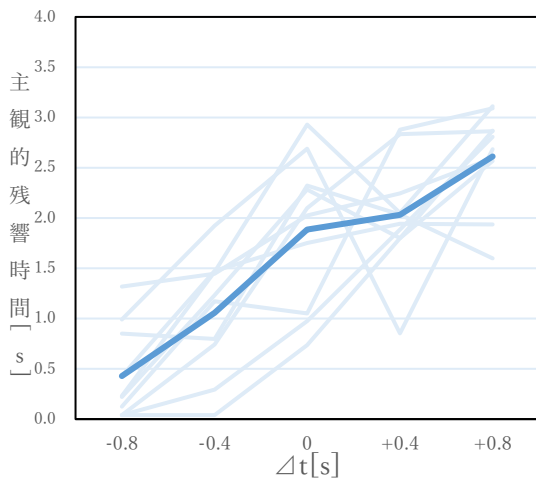


図 4-110 残響感と Δt の関係 ([w]-5, マルチモード)

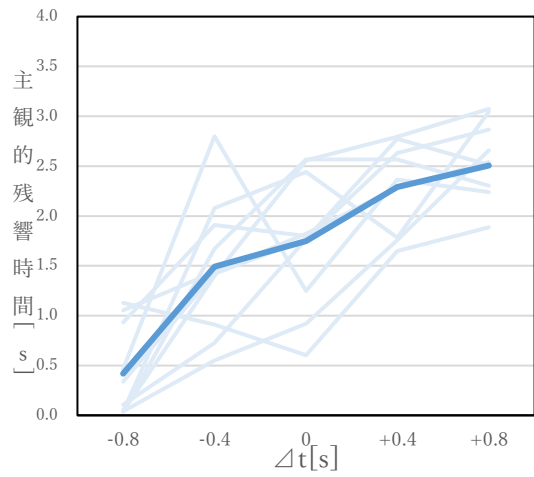


図 4-111 残響感と Δt の関係 ([w]-5, シングルモード)

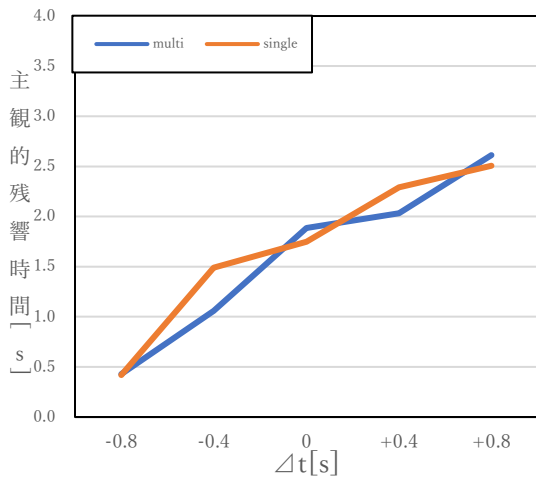


図 4-120 モード間における平均値の比較 ([w]-5)

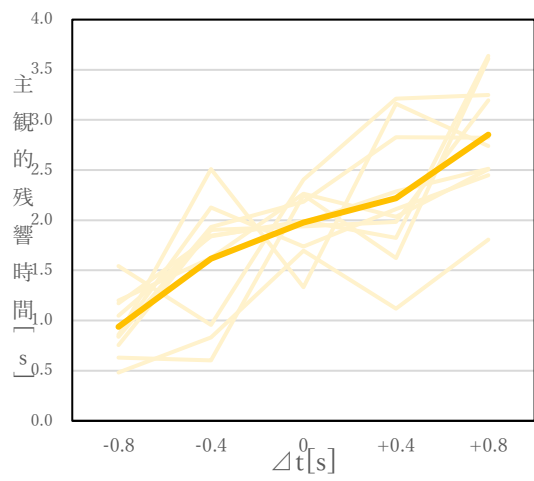


図 4-112 残響感と Δt の関係 ([d]+5, マルチモード)

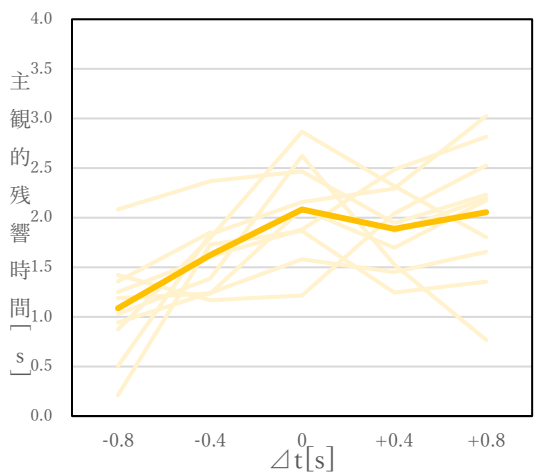


図 4-113 残響感と Δt の関係 ([d]+5, シングルモード)

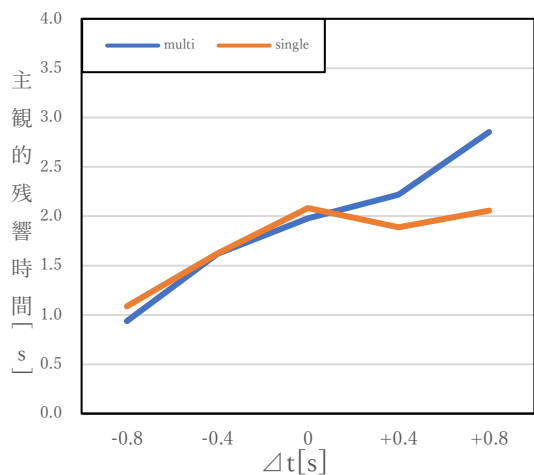


図 4-121 モード間における平均値の比較 ([d]+5)

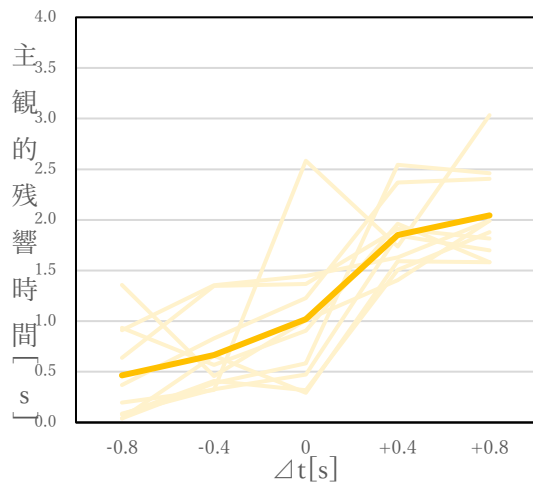


図 4-114 残響感と Δt の関係 ([d]-5, マルチモード)

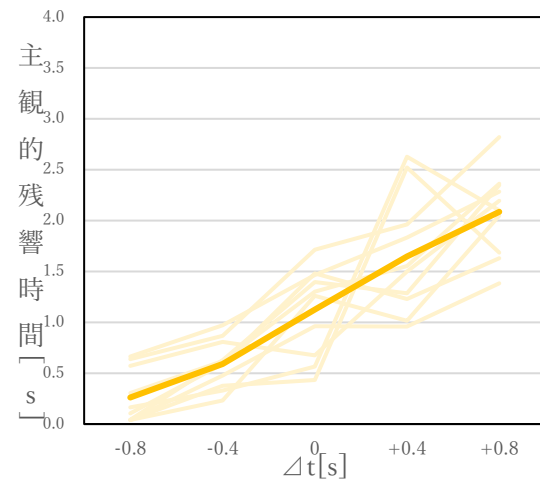


図 4-115 残響感と Δt の関係 ([d]-5, シングルモード)

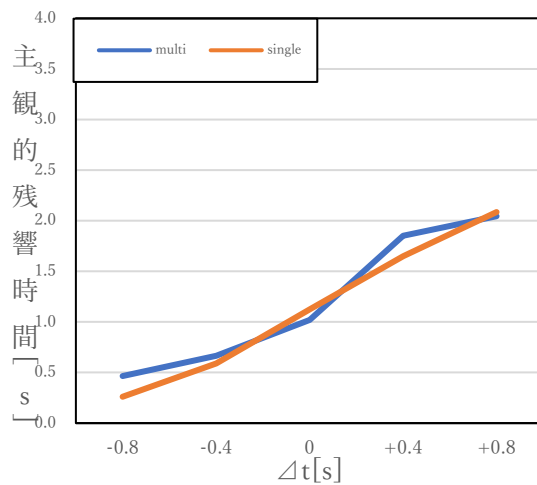


図 4-122 モード間における平均値の比較 ([d]-5)

被検者の回答値はばらつきが多いが、主観的残響時間の平均値は、聴覚刺激の残響時間が大きくなるにつれて増加し、右上がりのグラフとなった。また、マルチモードとシングルモードの平均値を比較したグラフでは、同一の聴覚刺激に対するマルチモードとシングルモードの値の間に有意な平均値差は見られなかったものの、これらのグラフが 1 箇所以上で交差している傾向が見られる。

分析

各視覚刺激に対する ΔR と Δt との関係を図 4-123～4-129 に示す。また、全ての視覚刺激の結果を重ね合わせたものを図 4-130 に示す。これらを補正モデルと比較し実験結果を分析する。

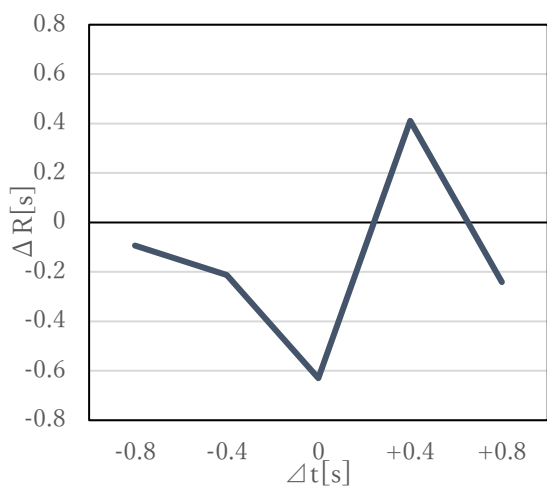


図 4-123 モード間の残響感の差分 ([o])

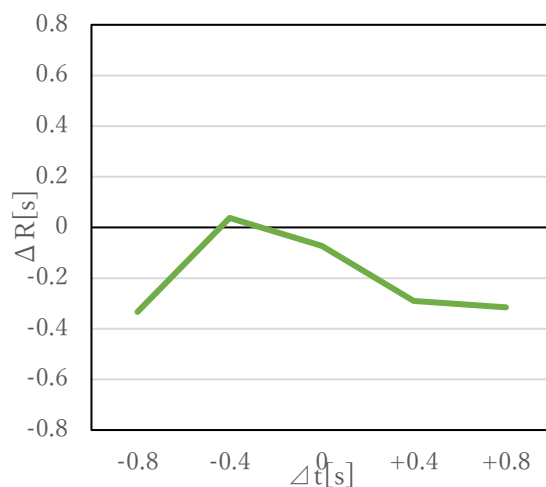


図 4-124 モード間の残響感の差分 ([h]+5)

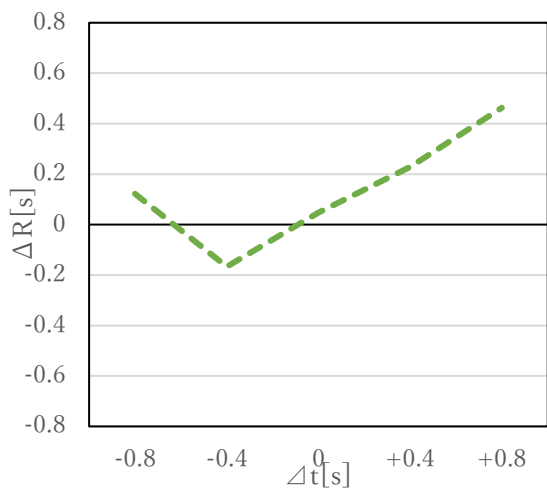


図 4-125 モード間の残響感の差分 ([h]-5)

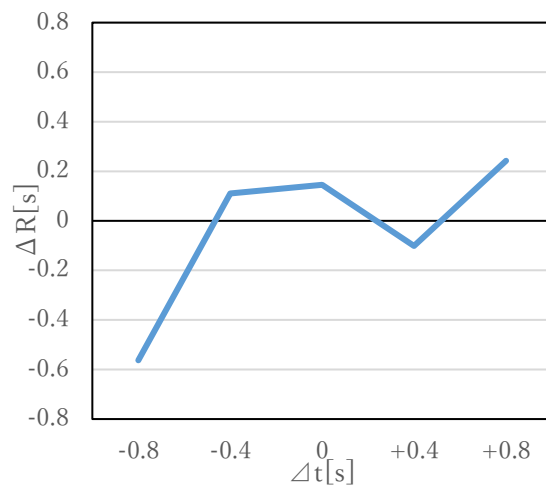


図 4-126 モード間の残響感の差分 ([w]+5)

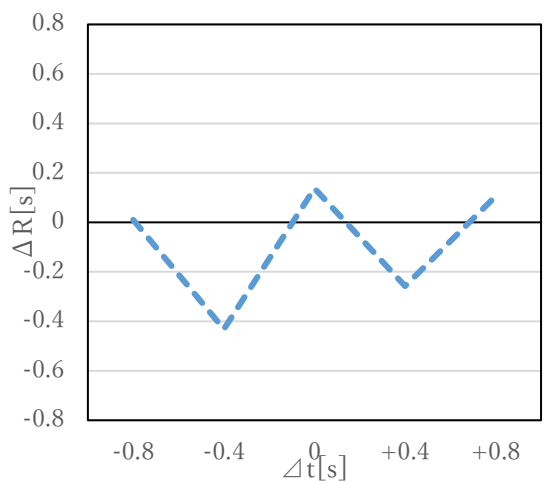


図 4-127 モード間の残響感の差分 ([w]-5)

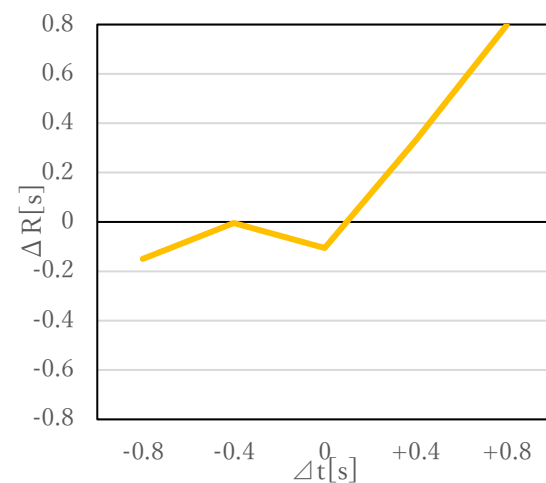


図 4-128 モード間の残響感の差分 ([d]+5)

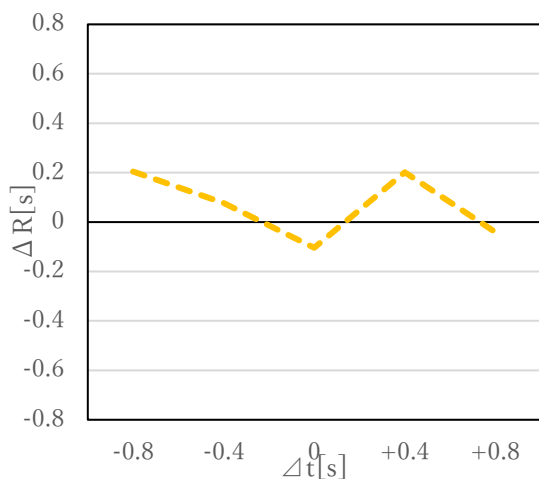


図 4-129 モード間の差分残響感の([d]-5)

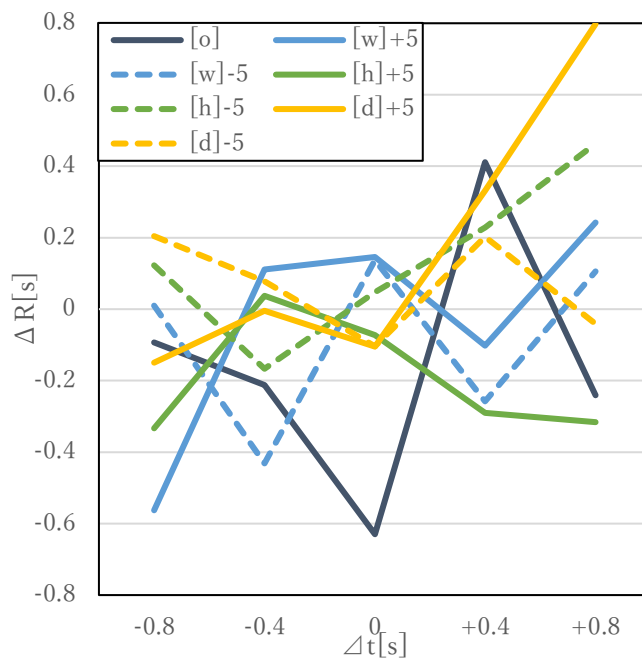


図 4-130 モード間の残響感の差分(全ての視覚刺激の結果重ね合わせ)

視覚刺激「[w]+5」、「[d]-5」については、原点付近を通り右下がりの傾向を持つ結果となったが、ディメンジョンによる共通した傾向は見られなかった。

次に、図 4-123～4-129 において間接法によって求めた予測残響時間をもとに、 $\Delta t - \Delta R$ の関係をすべての視覚刺激の結果をまとめて図 4-132 に、ディメンジョン毎の結果をまとめて $\Delta t - \Delta R$ を図 4-133～4-135 に示す。また、予測残響時間の直接法と間接法による結果を比較したグラフを図 4-131 に示す。この図の横軸は容積の順に並べており、[d]+5 は間接法を求める条件を満たしていないため図 4-131 に間接法の値は示していない。

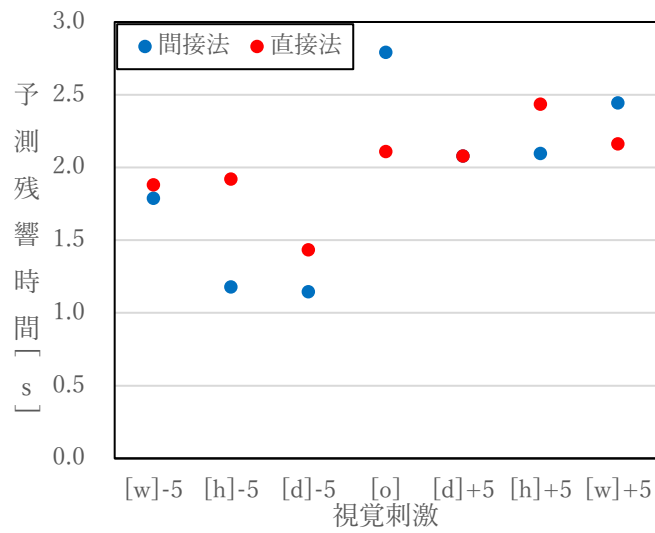


図 4-131 予測残響時間の直接法と間接法の比較

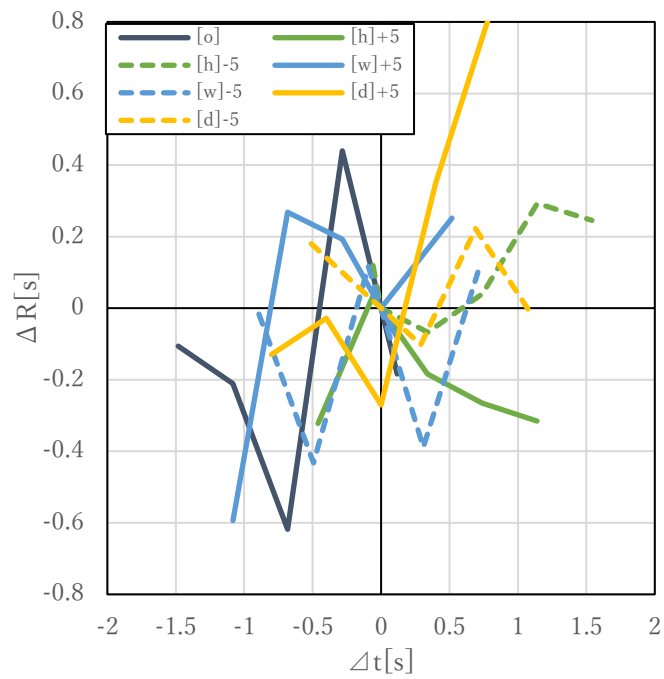


図 4-132 モード間の残響感の差分(修正)

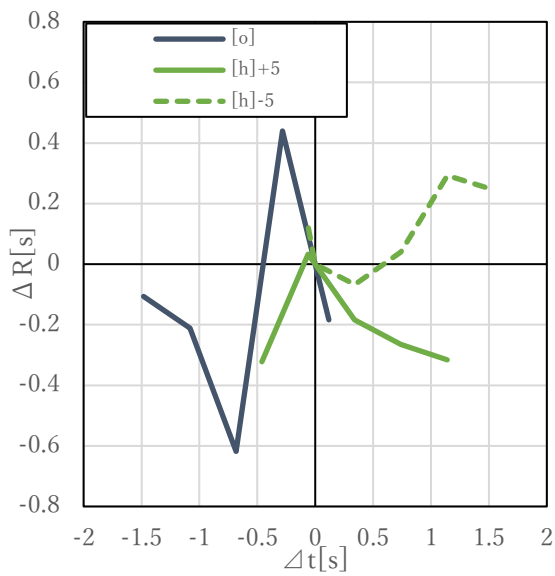


図 4-133 モード間の残響感の差分(h 変化)

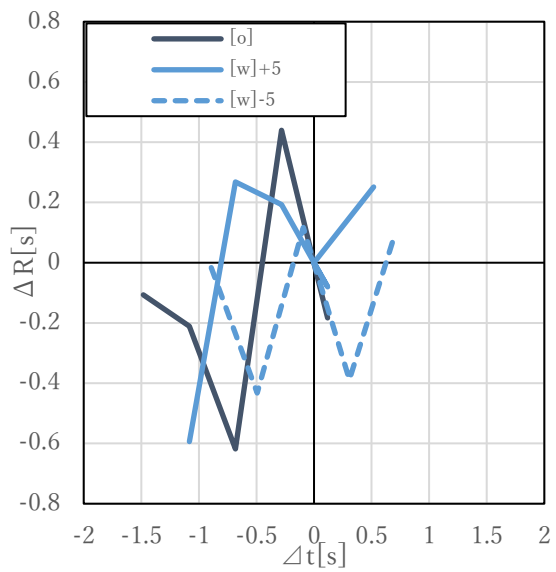


図 4-134 モード間の残響感の差分(w 変化)

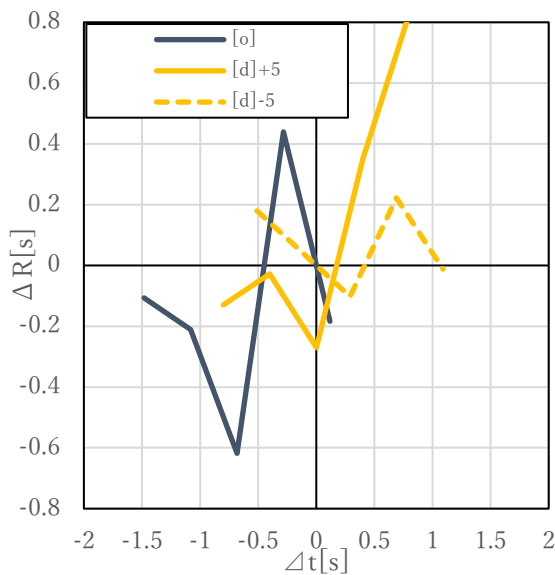


図 4-135 モード間の残響感の差分(d 変化)

図 4-131 において、間接法における予測残響時間は容積の大小に関わらずばらついた値となった。図 4-133～4-135 においても視覚情報の聴覚印象に与える影響についてはディメンジョンによる特徴や明確な違いは見られなかった。

4-7-3 被験者回答値の選別による分析

被験者の回答には、残響感の判断において信頼性の低い、あるいは特異な回答が含まれていると思われ、実験結果のばらつきの原因となっていると考えた。そこで本項では被験者の回答値の選別を行い、より信頼性の高い（平均的）と思われる被験者の回答を選別して実験結果を整理している。

選別の方法としては、各実験条件に対して回答した 10 人の被験者の回答値のうち大きく外れた回答値を除外した。図 4-136～4-149 は、回答を選別した場合の主観的残響時間と Δt をプロットしている。細線は被験者の値、太字は平均値を表している。また、図 4-150～4-156 は、各視覚刺激に対するマルチモード(青線)とシングルモード(赤線)の平均値を比較したものを示す。

表 4-8 回答値選別後のマルチモードにおける残響感

条件 (multi)		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	AVE
[o]	-0.8	0.29	0.83			0.51	0.54		1.37	1.08	0.16	0.68
	-0.4	1.84	1.37			1.95	1.25		1.58	1.85	0.91	1.54
	0	1.77	1.75			1.84	1.53		1.88	1.87	0.89	1.65
	+0.4	3.36	3.49			2.71	2.17		2.08	2.71	3.52	2.86
	+0.8	3.41	2.82			2.87	2.74		2.22	2.50	3.10	2.81
[w]+5	-0.8	0.24		0.04	1.59	1.14	0.71		1.37	1.11		0.89
	-0.4	1.84			2.02	1.59	1.18		1.85	1.49		1.66
	0	1.72		1.21	1.80	1.95	1.54		2.00	1.56		1.68
	+0.4	3.00		2.78	2.68	2.56	1.84		2.31	1.68		2.41
	+0.8	2.96		2.50	3.44	3.36	3.10		2.58	2.30		2.89
[w]-5	-0.8	0.12	0.04			0.04	0.04		1.32	0.43		0.33
	-0.4	1.17	0.30			0.74	0.04		1.45	1.47		0.86
	0	1.05	0.98			2.10	0.73		2.03	1.75		1.44
	+0.4	2.88	1.88			2.83	1.80		2.25	1.94		2.26
	+0.8	3.09	2.81			2.86	2.57		2.60	1.93		2.64
[h]+5	-0.8	1.48	0.92		2.04	1.31	0.99		1.56			1.38
	-0.4	2.35	0.90		1.96	2.05	1.64		1.86			1.79
	0	3.05	1.68		2.33	3.00	2.65		2.29			2.50
	+0.4	3.56	2.74		3.00	3.16	2.68		2.26			2.90
	+0.8	3.38	3.64		2.90	3.31	2.33		2.57			3.02
[h]-5	-0.8				0.79	0.81	0.79		1.13	1.43		0.99
	-0.4				2.07	1.16	0.73		1.47	1.11		1.31
	0				2.73	2.21	0.94		1.87	2.14		1.98
	+0.4				3.11	1.94	1.82		1.88	2.56		2.26
	+0.8				3.64	2.58	3.19		2.25	3.44		3.02
[d]+5	-0.8			1.17	0.84	0.76		0.86	1.05	1.20		0.98
	-0.4			1.84	1.93	1.90		2.13	1.85	1.62		1.88
	0			1.99	2.19	1.94		1.74	1.98	2.26		2.02
	+0.4			1.82	2.83			2.11	2.29	2.04		2.22
	+0.8			3.64	2.82	3.19		2.45	2.51	2.51		2.85
[d]-5	-0.8	0.09	0.04	0.64	0.37	0.04	0.08		0.91	0.94		0.39
	-0.4	0.33	0.66	1.35	0.83	0.39	0.41		1.36	0.57		0.74
	0	0.47	0.29	1.37	1.23	0.58	0.32		1.45	0.91		0.83
	+0.4	1.85	1.59	1.91	2.37	2.54	1.51		1.63	1.96		1.92
	+0.8	1.70	1.58	1.82	2.41	2.46	1.88		1.99	1.58		1.93

表 4-9 回答値選別後のシングルモードにおける残響感

条件(single)		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	AVE
[o]	-0.8	0.84			0.73	0.78	0.04		1.24	0.95		0.77
	-0.4	1.88			1.61	1.93	0.99		1.58	1.72		1.62
	0	2.16			2.07	2.14	2.33		1.99	1.91		2.10
	+0.4	3.12			3.07	2.54	2.21		2.37	2.74		2.67
	+0.8	3.61			2.80	3.05	3.56		2.79	3.58		3.23
[w]+5	-0.8	1.57			1.97		0.99	0.78	1.06			1.27
	-0.4	1.75			1.58		1.20	1.46	1.67			1.53
	0	1.49			2.75		1.74	2.50	2.47			2.19
	+0.4	3.26			2.94		2.33	2.04	2.52			2.62
	+0.8	3.60			2.81		2.63	2.39	2.68			2.82
[w]-5	-0.8	0.11			0.04	0.04	0.04		1.05		0.34	0.27
	-0.4	0.73			1.40	1.67	0.55		1.44		1.42	1.20
	0	1.77			2.56	2.57	0.92		1.82		1.77	1.90
	+0.4	2.63			2.80	2.57	1.76		2.28		2.77	2.47
	+0.8	2.87			3.07	2.30	2.66		2.54		2.51	2.66
[h]+5	-0.8	1.73			2.08		0.95	1.03	1.67		0.79	1.38
	-0.4	1.79			2.03		1.34	2.16	1.81		1.16	1.71
	0	2.30			2.39		2.70	3.27	2.30		3.23	2.70
	+0.4	3.45			3.62		3.05	2.53	2.52		3.36	3.09
	+0.8	3.64			3.37		3.16	3.04	2.58		2.77	3.09
[h]-5	-0.8	0.36				0.04	0.04		1.10		0.96	0.50
	-0.4	1.21				1.30	1.23		1.23			1.24
	0	1.76				2.18	1.88		1.80		0.89	1.70
	+0.4	1.40				1.76	1.24		2.52		2.42	1.87
	+0.8	3.04				2.55	2.13		2.99		2.96	2.74
[d]+5	-0.8	0.50					0.94	1.42	1.25	1.19		1.06
	-0.4	1.83					1.24	1.17	1.61	1.24		1.42
	0	2.16					1.58	1.22	1.88	2.09		1.79
	+0.4	2.29					1.45	2.04	2.48	1.70		1.99
	+0.8	3.02					1.66	2.53	2.82	2.17		2.44
[d]-5	-0.8	0.04	0.04		0.64	0.30	0.04	0.57	0.66	0.10		0.30
	-0.4	0.63	0.23		0.87	0.62	0.48	0.81	0.97	0.59		0.65
	0	1.39	1.26		1.71	1.30	0.96	0.67	1.47	1.48		1.28
	+0.4	1.28	1.02		1.96	1.55	0.96	1.50	1.83	1.23		1.42
	+0.8	2.35	2.05		2.82	2.36	1.38	2.19	2.28	1.63		2.13

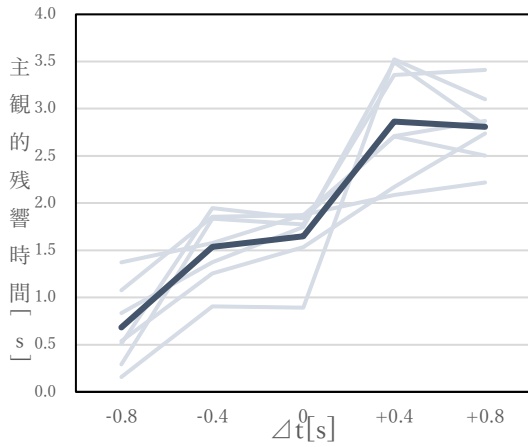


図 4-136 残響感と Δt の関係 ([o], マルチモード)

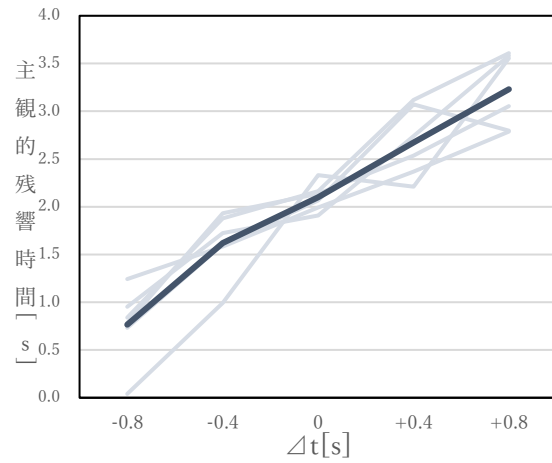


図 4-137 残響感と Δt の関係 ([o], シングルモード)

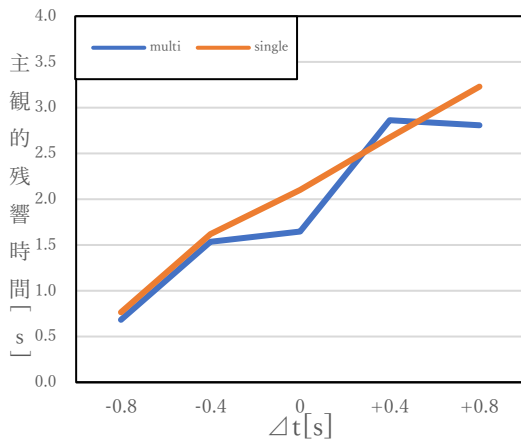


図 4-150 モード間における平均値に比較 ([o])

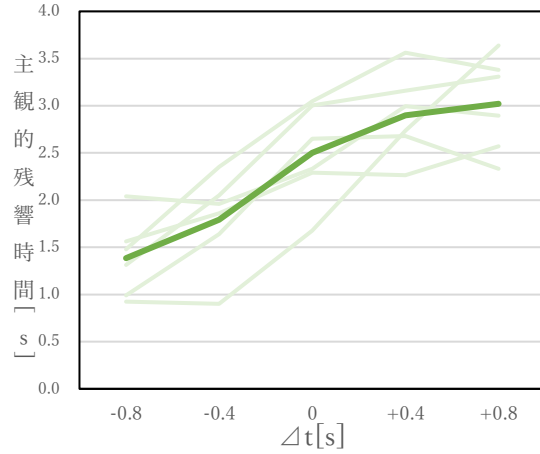


図 4-138 残響感と Δt の関係 ([h]+5, マルチモード)

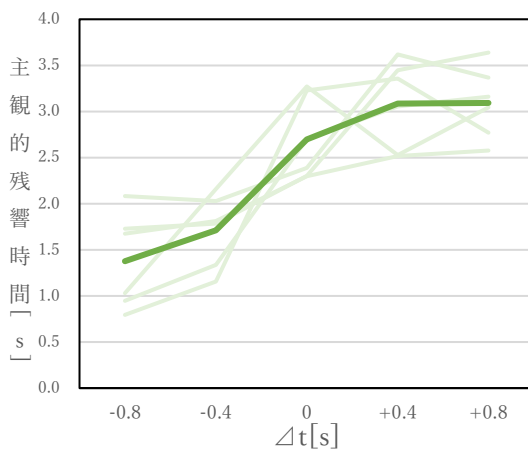


図 4-139 残響感と Δt の関係 ([h]+5, シングルモード)

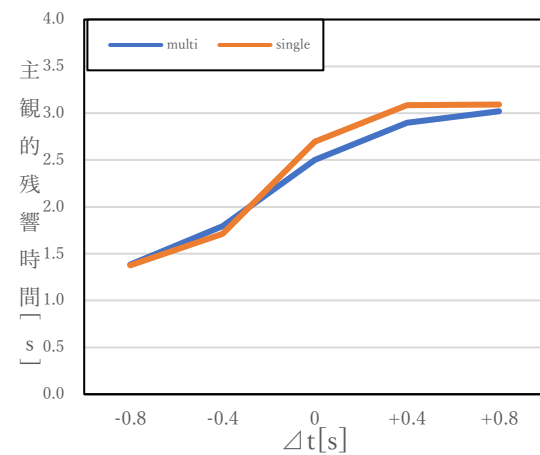


図 4-151 モード間における平均値の比較 ([h]+5)

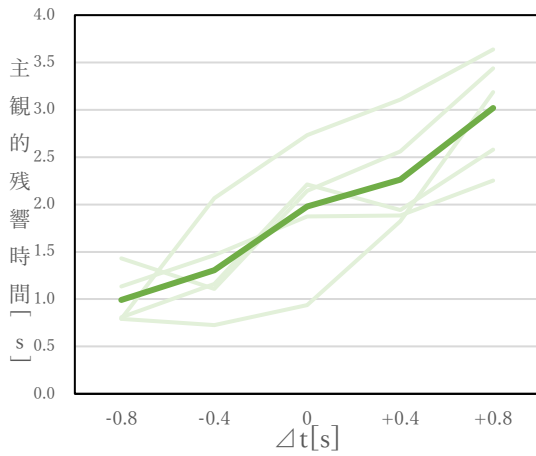


図 4-140 残響感と Δt の関係 ([h]-5, マルチモード)

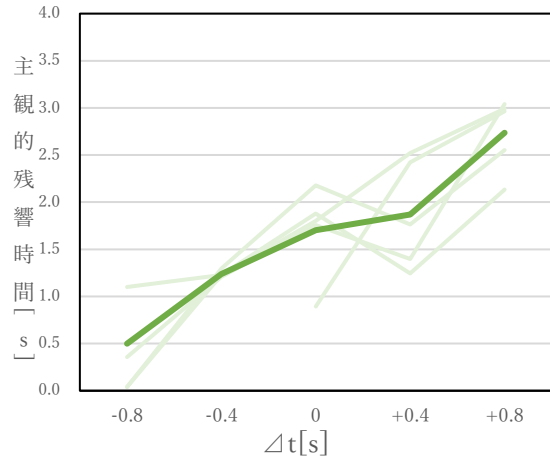


図 4-141 残響感と Δt の関係 ([h]-5, シングルモード)

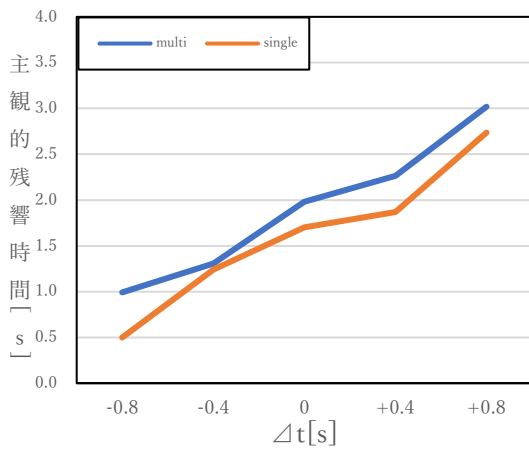


図 4-152 モード間における平均値の比較 ([h]-5)

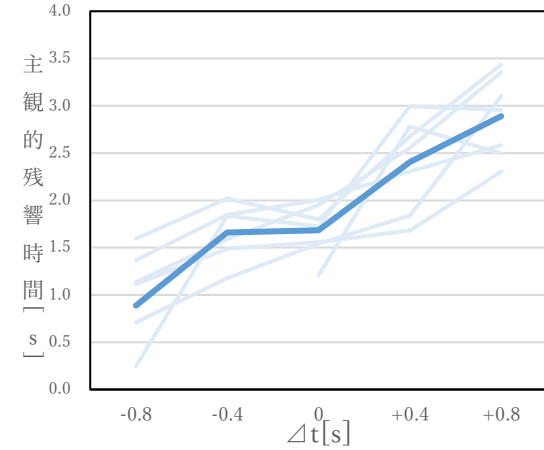


図 4-142 残響感と Δt の関係 ([w]+5, マルチモード)

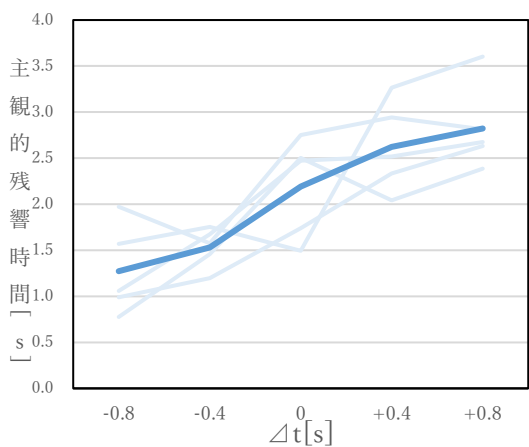


図 4-143 残響感と Δt の関係 ([w]+5, シングルモード)

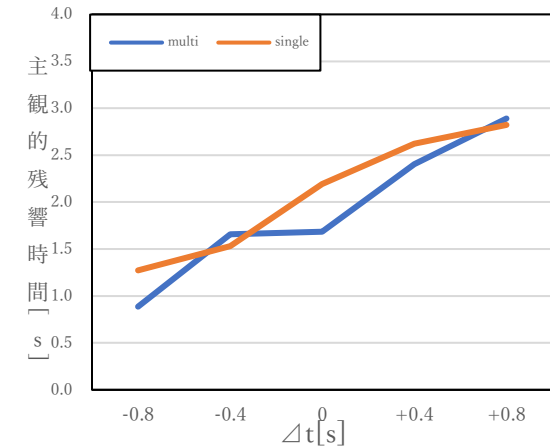


図 4-153 モード間における平均値の比較 ([w]+5)

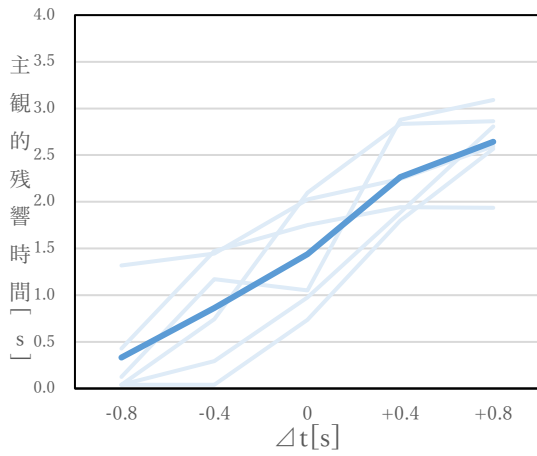


図 4-144 残響感と Δt の関係([w]-5, マルチモード)

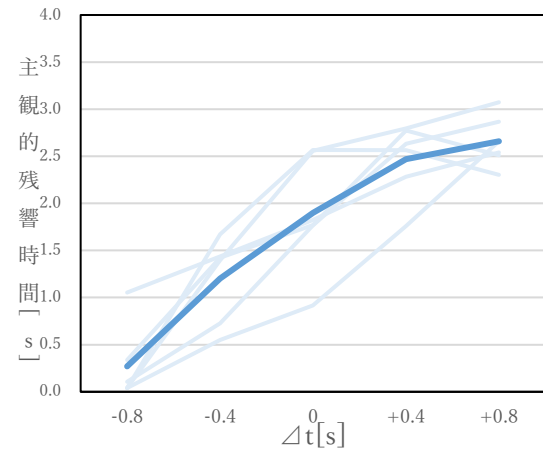


図 4-145 残響感と Δt の関係([w]-5, シングルモード)

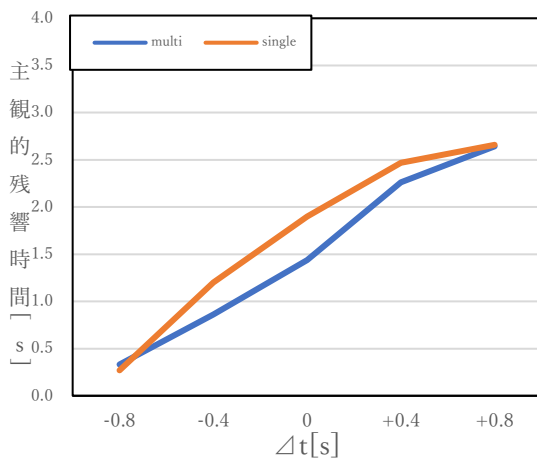


図 4-154 モード間における平均値の比較([w]-5)

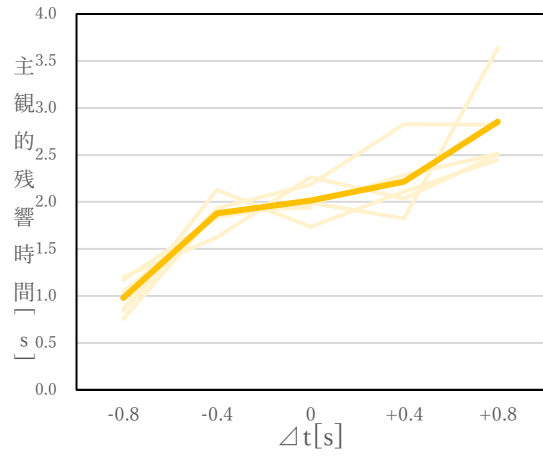


図 4-146 残響感と Δt の関係([d]+5, マルチモード)

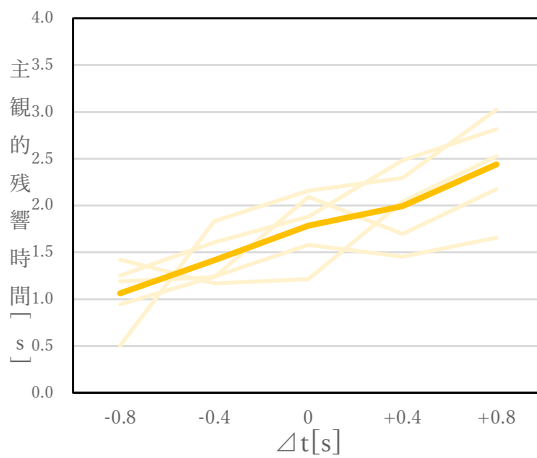


図 4-147 残響感と Δt の関係([d]+5, シングルモード)

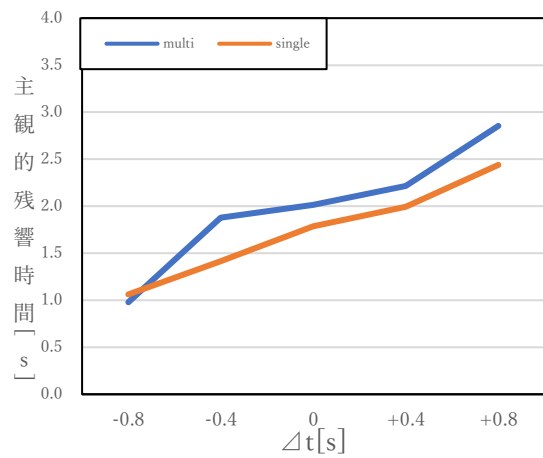


図 4-155 モード間における平均値の比較([d]+5)

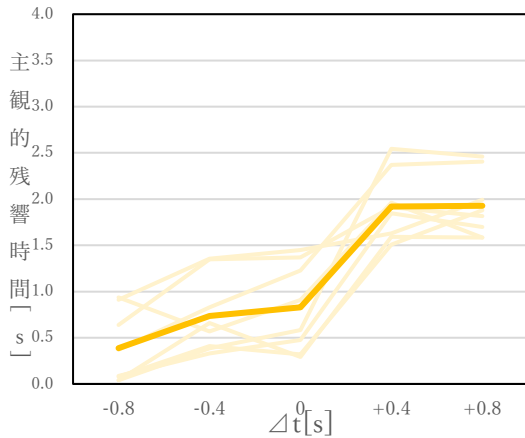


図 4-148 残響感と Δt の関係 ([d]-5, マルチモード)

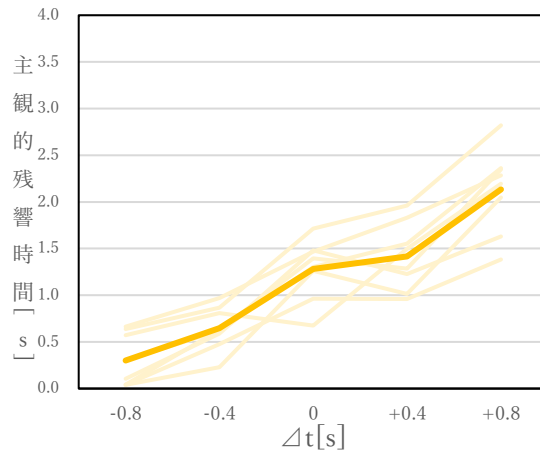


図 4-149 残響感と Δt の関係 ([d]-5, シングルモード)

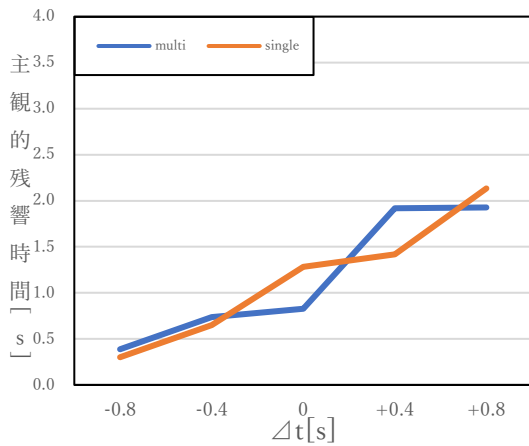


図 4-156 モード間における平均値の比較 ([d]-5)

被験者回答値を選別したことで、視覚刺激毎の回答値のばらつきは少なくなった。主観的残響時間の平均値は、聴覚刺激の残響時間が大きくなるにつれて増加し、右上がりのグラフとなった。一方、同一の聴覚刺激に対するマルチモードとシングルモードの値の間に有意な平均値差は見られなかったものの、([h]-5)、以外はこれらのグラフが 1 箇所以上で交差している傾向が見られる。

分析

各視覚刺激に対する ΔR と Δt との関係を図 4-157~4-163 に示し、これらを補正モデルと比較し実験結果を分析する。また、全ての視覚刺激の結果を重ね合わせたものを図 4-164 に示す。

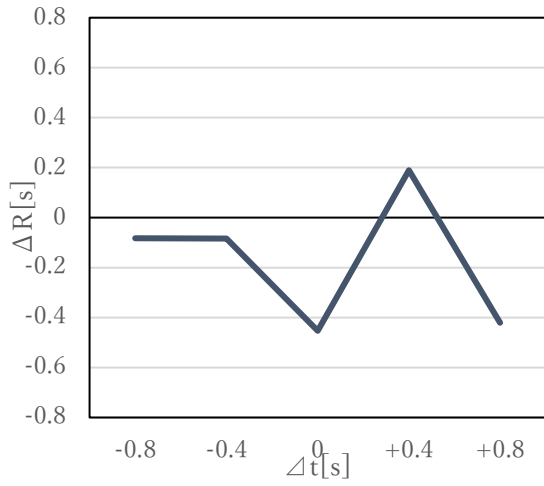


図 4-157 モード間の残響感の差分([o])

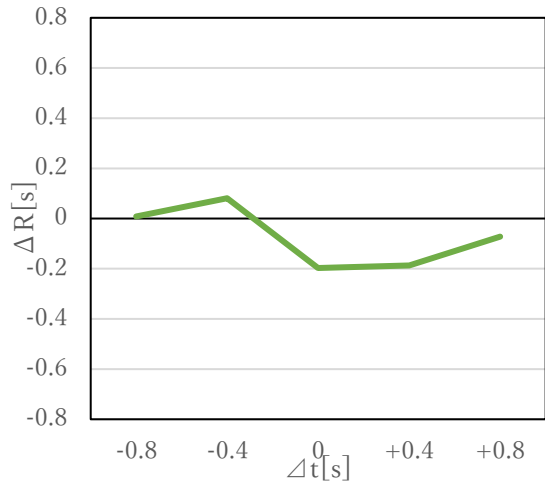


図 4-158 モード間の残響感の差分([h]+5)

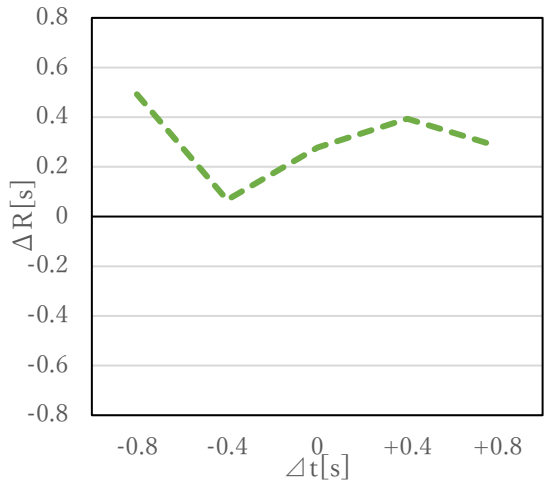


図 4-159 モード間の残響感の差分([h]-5)

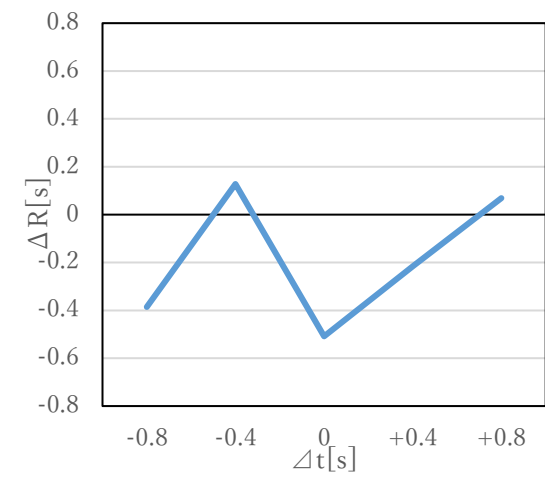


図 4-160 モード間の残響感の差分([w]+5)

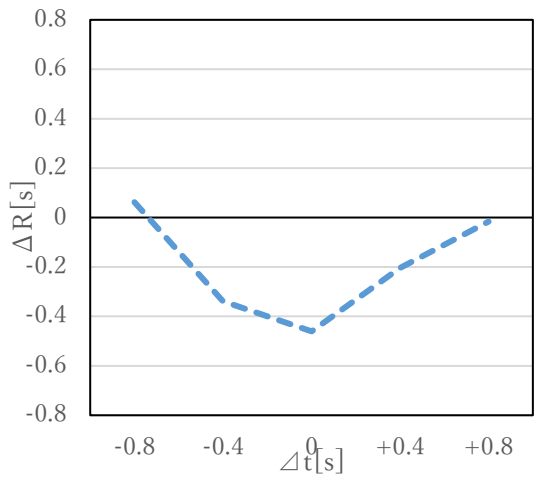


図 4-161 モード間の残響感の差分([w]-5)

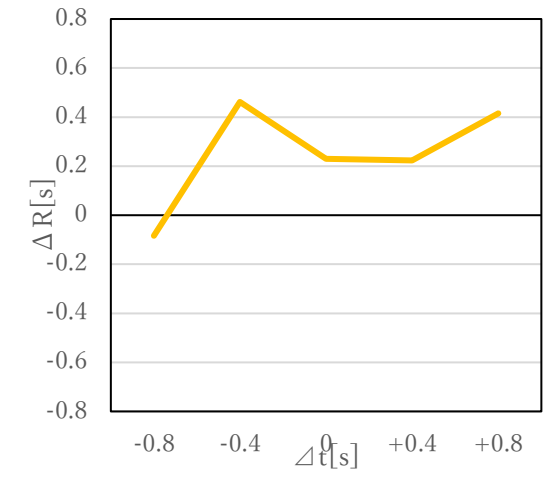


図 4-162 モード間の残響感の差分([d]+5)

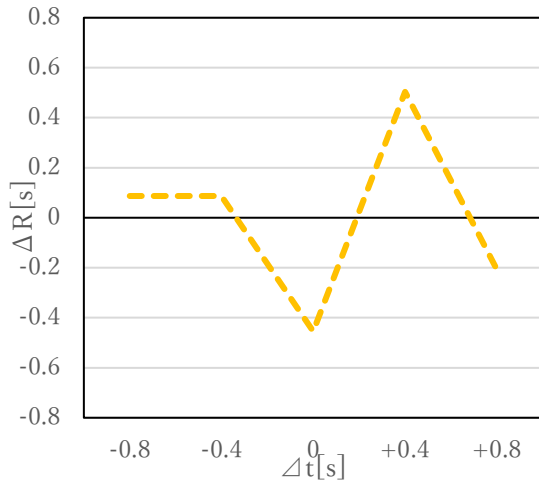


図 4-163 モード間の残響感の差分 ([d]-5)

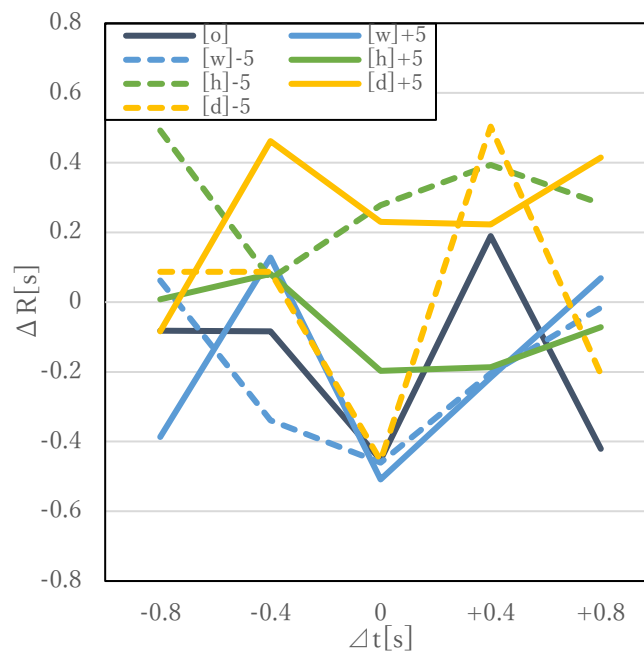


図 4-164 モード間の残響感の差分(全ての視覚刺激の結果重ね合わせ)

視覚刺激「[h]+5」については、原点付近を通り右下がりの傾向を持つ結果となったが、ディメンジョンによる共通した傾向は見られなかった。

次に、図 4-157～4-163 において間接法によって求めた予測残響時間をもとに、 $\Delta t-\Delta R$ の関係をすべての視覚刺激の結果をまとめて図 4-166 に、ディメンジョン毎の結果をまとめて $\Delta t-\Delta R$ を図 4-167～4-169 に示す。また、予測残響時間の直接法と間接法による結果を比較したグラフを図 4-165 に示す。この図の横軸は容積の順に並べており、([d]+5)、([h]-5)、([w]-5) は間接法を求める条件を満たしていないため図に間接法の値は示してい

ない。尚、直接法による予測残響時間は回答値の選別は行っていない。

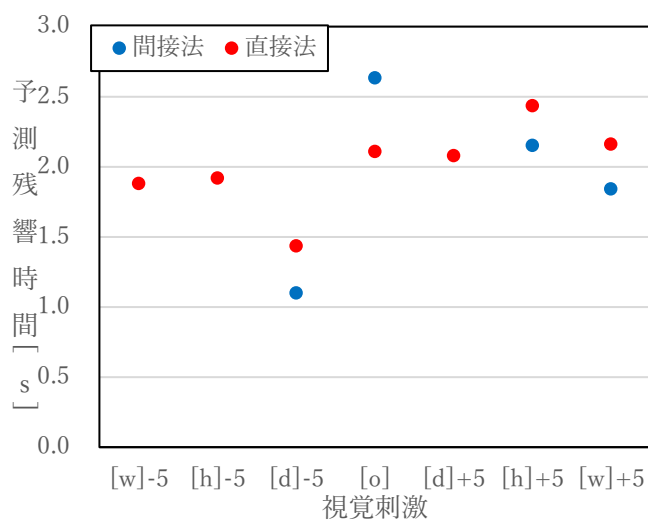


図 4-165 予測残響時間の直接法と間接法の比較

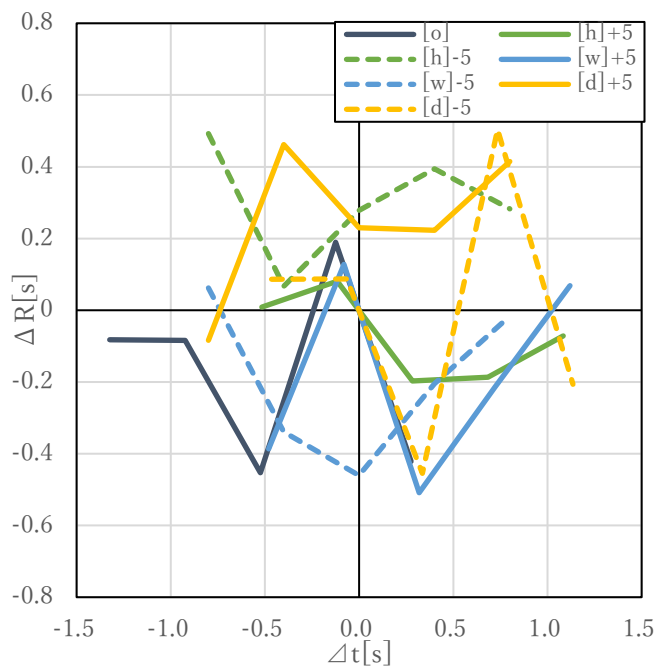


図 4-166 モード間の残響感の差分(修正)

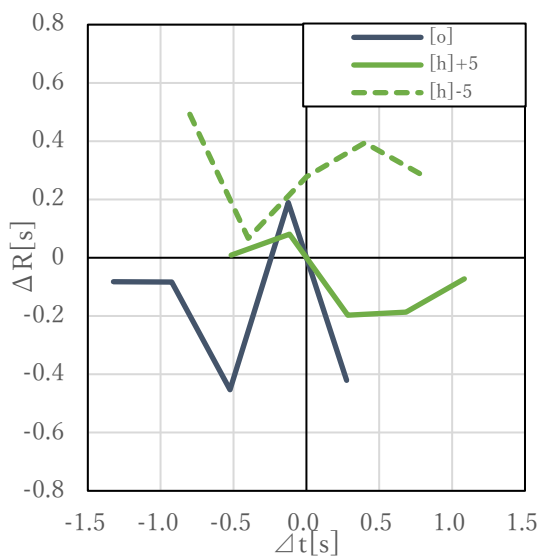


図 4-167 モード間の残響感の差分(h 変化)

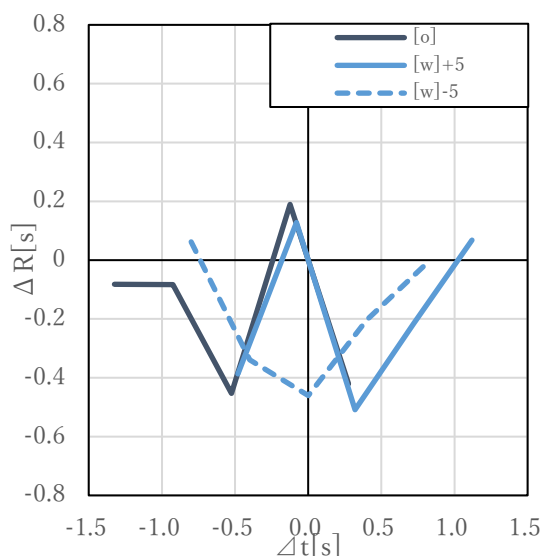


図 4-168 モード間の残響感の差分(w 変化)

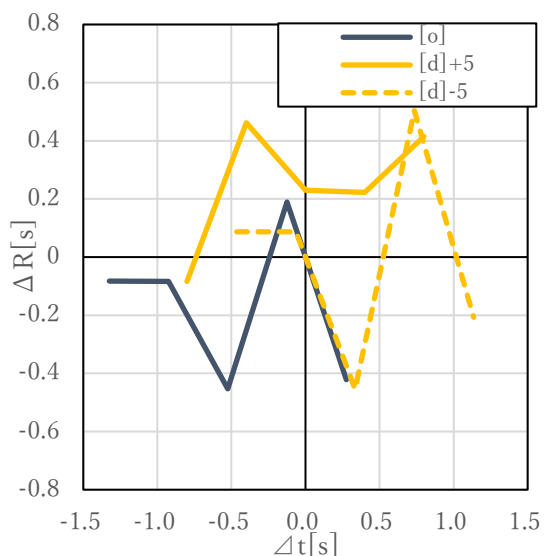


図 4-169 モード間の残響感の差分(d 変化)

図 4-165 において、間接法における予測残響時間は容積の大小に関わらずばらついた値となった。図 4-167～4-169 においても視覚情報の聴覚印象に与える影響についてはディメンジョンによる特徴や明確な違いは見られなかった。

4-8 小括

本章では、第 3 章と同様の 3 種類の実験をシューボックス型の空間形状を持つ音楽ホールを対象に行った。

視覚刺激の認知実験においては、被験者はすべてのディメンジョン変化に対して正しく認識していた。

予測残響時間の測定実験においては、奥行のディメンジョン変化による予測残響時間の平均値の変動のみ有意性が示された。高さ・横幅に関しては認知実験において認識されていたが、予測残響時間の変化には結びつかなかった。

主観評価実験においては、いずれのディメンジョン変化に対する ΔR と直接測定された予測残響時間に基づく Δt との関係性において、視覚情報による聴感印象の補正モデルとの高い整合性はみられなかったが、オリジナルおよび高さ・横幅をプラス方向に変化させた場合においてはモデルと合致していた。また、大きく外れた被験者回答値を除外した場合は、間接法によって求めた予測残響時間に基づく Δt との関係性は、比較的モデルと合致しており、 $-0.5 \leq \Delta t \leq 0$ の範囲では、高さ・横幅・奥行をプラス方向に変化させた視覚刺激は共通して ΔR が 0.2 付近に収束していた。

座席を後方に移動させて行った予測残響時間の追加実験では、座席の移動前と同様に奥行変化のみディメンジョン変化による予測残響時間の平均値の変動のみ有意性が示された。被験者は、主として奥行の変化から残響時間の大小を予測していると考えられる。主観評価実験の追加実験では、座席を移動したことによる影響は見られなかった。

第 5 章

空間形状による実験結果の比較と考察

5-1 扇形多目的ホールとシューボックス型音楽ホールに対する実験結果の比較と考察

表 5-1 に、扇形多目的ホール、シューボックス型音楽ホールそれぞれの視覚刺激の認知実験、予測残響時間の測定において、幾何学的パラメータ、すなわち高さ・横幅・奥行きの空間ディメンジョンの変化の認知および予測残響時間の視覚刺激による変動における有意性の有無による比較を示す。また、両者の主観評価実験において補正モデルとの整合性の比較を表 5-2 に示す。

表 5-1 分散分析による有意性の有無(○:有意性あり, ×:有意性なし)

	視覚刺激の認知実験			予測残響時間の測定		
	高さ変化	横幅変化	奥行変化	高さ変化	横幅変化	奥行変化
扇形多目的ホール	×	○	○	×	○	○
シューボックス型ホール(座席前方)	○	○	○	×	×	○
シューボックス型ホール(座席後方)				×	×	○

表 5-2 補正モデルとの整合性(○:合致, △:概ね合致, ×:不一致)

		主観評価実験						
		オリジナル	高さ+変化	高さ-変化	横幅+変化	横幅-変化	奥行+変化	奥行-変化
	扇形多目的ホール	○	○	×	○	×	○	×
座席前方	シューボックス型ホール	△	○	×	○	×	×	×
	シューボックス型ホール(被験者選別)	○	○	△	○	×	○	×
座席後方	シューボックス型ホール	×	×	×	×	×	×	△
	シューボックス型ホール(被験者選別)	×	△	×	×	×	×	×

5-1-1 視覚刺激の認知実験における結果の比較と考察

扇形多目的ホールでは「高さ」の変化において、被験者はオリジナルより低く変化させた空間を逆に高く変化したと誤認識していた。シューボックス型ホールでは被験者はすべての空間変化を正しく認識しており、シューボックス型ホールのほうが空間変化を認識しやすいという結果となった。扇形多目的ホールではディメンジョンの変化量(高さ:距離、横幅:角度、奥行:段数)はそれぞれ変化の単位や方向がシューボックス型空間とは異なっており、単純な比較はできないが、シューボックス型ホールのほうが形状的な特性として空間変化を認識しやすかったと考えられる。

5-1-2 予測残響時間の測定における結果の比較と考察

予測残響時間の測定では、扇形・シューボックス両空間において、「奥行」の変化のみ共通して予測残響時間に影響を与えた。ホールのようなステージ上のみを注視するような空

間では、ステージ上の変化が予測残響時間への影響力が大きいことが考えられる。そのため、「奥行」ような視覚の中央での変化ではなく、視覚の端で変化する「高さ」「横幅」は予測残響時間の影響が「奥行」の変化に比べ弱くなることが考えられる。

5-1-3 主観評価実験における結果の比較と考察

主観評価実験では両空間共通してオリジナル、および高さ・横幅・奥行をプラス方向に（高く・広く）変化させた視覚刺激を使用する場合において、予測残響時間に近づくよう残響感が補正される効果が大きく表れており、残響感に対する視覚情報の影響が大きいと考えられる。しかし、シューボックス型において視点位置を後方に移動した場合には、補正モデルと整合する結果が見られなかった。一般に残響時間の弁別域は残響時間が長くなるほど広がり、その差を感じられにくくなり、被験者の回答値の信頼性が低下したためと考えている。そしてそうだとすれば、容積の大きい空間では予測残響時間が長くなるため、視覚情報による残響感への影響は低下すると考えられる。このことについては、今後の研究課題の一つに挙げておく。また、表 12 に、 ΔR と Δt の関係図において原点を通る傾きがオリジナルと比べ大きいものを聴覚印象の補正効果が大きいものとして赤丸で示し、傾きが小さいものを補正効果が小さいものとして青丸で示した。扇形多目的ホールでは、補正モデルと合致した視覚刺激すべてにおいて、オリジナルと比べて聴覚印象の補正効果が小さいという結果となった。シューボックス型ホールでは、補正モデルと合致した視覚刺激において、概ねオリジナルと比べて聴覚印象の補正効果が大きいという結果となった。

5-2 小括

本章では、第 3 章の扇形多目的ホールと第 4 章のシューボックス型ホールの実験結果の比較と考察を行った。

両者の実験結果を照らし合わせるとそれぞれの実験に対して概ね共通した傾向をみることができ、扇形とシューボックス型のそれぞれの共通的な性状、平面形式に依存する性状やそれぞれの幾何学的パラメータの影響について検討することができた。

第 6 章

結論

本研究は建築空間の視覚情報から知覚される空間印象が聴覚印象のひとつである残響感に与える影響を明らかにすることを目的とし、本論文では、視覚情報における建築空間の幾何学的パラメータ、すなわち高さ・横幅・奥行のディメンジョン変化が残響感に与える影響について着目している。

これまで寺島研究室では、建築空間で体験する音場の残響感が、建築空間の内観から得られる視覚情報によって影響を受け、視聴覚統合が成り立つ条件においては、視覚的に予測される残響時間に近づくように残響感を補正することが明らかにされている。

本論文では、この視覚情報による残響感への影響に対して、視覚情報における建築空間の高さ・横幅・奥行のディメンジョン変化との関連性を明らかにすることを目的として、2種類の形状の空間（扇形とシューボックス形）に対して数種類の主観実験を実施し、結果を分析している。

これら実験は全て主観実験であり、実在空間をモデルとしてCADソフトで作成した仮想空間のパノラマ画像と音場を視聴覚刺激として被験者にVR環境を通じて提示している。CADソフト作成による仮想空間を用いることは、空間の幾何学的パラメータを容易に変化させることができる大きなメリットがある。

初めに、被験者が各ディメンジョンの変化を認識しているかを確認する実験（視覚刺激の認知実験）を行い、次に、各ディメンジョンの寸法を変化させた視覚刺激に対して、被験者が予測した残響時間を測定している（予測残響時間の測定）。最後に、各視覚刺激に対応した予測残響時間を基準に長い及び短い残響時間を有する聴覚刺激を用いて、視聴覚刺激の同時提示（マルチモード）と聴覚刺激のみの提示（シングルモード）の場合の残響感を評定尺度法によって測定し、視覚刺激の有無による残響感への影響の程度を測定している（主観評価実験）。以上の実験を扇形とシューボックス型形の空間に対して行い、各ディメンジョンの変化が及ぼす残響感への影響を検討した。

第2章では、実際に撮影された建築空間の内観パノラマ画像（写真）と同空間をCADでトレース作成した画像を視覚刺激として用いて、それぞれに対する予測残響時間を測定して比較した。その結果、実画像とCAD画像の予測残響時間は同程度の値となり、CADによってモデリングされた空間画像が実際の建築空間の映像と同じ実験結果が期待できることが示され、CAD画像を用いる実験の有効性を示すことができた。

第3章では、扇形形式の空間の視覚刺激の認知実験では、高さが低くなる変化のみ有意な変動を示さず、被験者は高さの認識が不安定であることが分かった。次の予測残響時間の測定では、横幅・奥行の変化において予測残響時間は視覚刺激の変化に対して有意な変動を示したが、高さ変化に対しては有意な変動は示さなかった。これは、認知実験において、高さの変化が認識されていないことが原因であると考えられる。主観評価実験ではオリジナル（対象空間をトレースしたままの状態）及び高さ・横幅・奥行をプラス方向（高く・広く）に変化させた視覚刺激を使用する場合において、予測残響時間に近づくよう残響感が補正される効果が大きく表れた。

第4章ではシューボックス型の空間で第3章と同様の実験を行った。視覚刺激の認知実験では、被験者は各ディメンジョン変化に対して空間変化を正確に認識できていた。中でも、プロセニウム等も含めてディメンジョン変化させた視覚刺激のほうがそうでないものより各ディメンジョンの変化が正しく認識している傾向が見られた。一方、予測残響時間の測定平均値は、奥行変化のみ有意な変動を示した。主観評価実験では、オリジナルおよび高さ・横幅をプラス方向に（高く・広く）変化させた視覚刺激を使用する場合において、予測残響時間に近づくよう残響感が補正される効果が大きく現れた。さらに被験者の視点である座席位置を後方に移動して、内観の見え方を変えた場合の視覚刺激を用いて、再度予測残響時間の測定と主観評価実験を行った。予測残響時間の測定平均値は、奥行変化のみ有意な変動を示した。一方、主観評価実験では、座席を後方に移動したことによる影響はあまり見られなかった。一般に残響時間の弁別閾は残響時間が長くなるほど広がり、その差は感じられにくくなるため、予測残響時間が長く測定されたことが主観評価実験において被験者の回答値がばらついた原因であると考えられる。

第五章では扇形多目的ホールとシューボックス型ホールの実験結果の比較と考察を行った。視覚刺激の認知実験では結果として、シューボックス型ホールのほうが形状的に空間を認識しやすいという結果が得られた。扇形多目的ホールの実験ではディメンジョンの変化量（高さ：距離、横幅：角度、奥行：段数）の単位がそれぞれ異なっているため単純な比較はできないが、扇形に比べシューボックス型ホールのほうが形状的な特性として空間変化を認識しやすかったことが原因であると考えられる。予測残響時間では、扇形多目的ホールとシューボックス型ホールにおいて共通して奥行変化が予測残響時間に影響を与えやすいという結果が得られた。ホールのようなステージ上を注視するような空間では、ステージ上の変化が予測残響時間への影響力が大きいと考えられる。主観評価実験では、扇形多目的ホールとシューボックス型ホールに共通してオリジナル、および高さ・横幅・奥行をプラス方向に（高く・広く）変化させた視覚刺激を使用する場合において、予測残響時間に近づくよう残響感が補正される効果が大きく表れており、残響感に対する視覚情報の影響が大きいことがわかった。

本研究では、扇形多目的ホールとシューボックス型ホールにおいて高さ・横幅・奥行の各ディメンジョン変化が残響感に与える影響について定性的な理解を深めることができた。しかし、室内音響設計の実務に知見を活かすためには定量的なデータを明らかにしていくことが必要である。今後は実験方法の改善を検討し、より精度の高い定量性のある測定実験を工夫していくことが課題と思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々からご指導、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 寺島貴根教授には、本研究を進めるにあたり大変手厚いご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

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いただきました。厚く御礼申し上げます。

本研究における視覚刺激の認知実験、予測残響時間の測定、主観評価実験には、多くの方々に被験者としてご協力いただきました。記して感謝の意を申し上げます。

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。

参考文献

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
2. 竹山由里子 他：“建築空間の視聴覚印象に対する主観評価実験における刺激提示方法の比較検討”、日本建築学会 2018 年度大会（東北）学術講演梗概集”、環境工学 I、pp.141-142、2018.
3. 谷脇章平・寺島貴根：CAD 画像を用いた視覚刺激による残響感の主観評価実験-建築空間の視覚情報が音場の主観評価に及ぼす影響-、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、環境工学、pp.282-283、2021
4. 吉正電子 DSSF3
5. DEMON オーディオチェック CD より「水上の音楽」ドライソース
6. 日本建築学会編 建築と環境のサウンドライブラリより男性の朗読（日本語）ドライソース
7. 寺島貴根：建築空間における音の広がり感に対する視覚情報の影響-建築音響分野におけるクロスモダリティ-、日本音響学会誌 78 感 8 号、pp437-442、2022
8. Shota Jitsukawa・Takane Terashima: Subjective experiment to evaluate reverberance for audio visual stimulus with interior image made by CAD-Effect of visual information on reverberance for sound field in architectural space-, Proceedings of 2022International Symposium for Social Infrastructure and Production (Research Field G, Graduate School of Engineering Mie Univ.), pp40-41, 2022
9. 實川翔太・寺島貴根：CAD作成による空間仕様の異なる視覚刺激を用いた残響感の主観評価実験-建築空間における残響感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(北海道)、環境工学I、pp269-270、2022
10. 實川翔太・寺島貴根：ディメンジョンの異なる空間の内観映像が残響感に与える影響-建築空間における視覚刺激が残響感に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、環境工学 I、pp253-254、2023