

窓の遮音性能体感学習システムに関する研究 —学習の内容・環境と効果の関係について—

Study on a Virtual Learning System for Sound Insulation Performance of Windows
—Relationship of learning contents/environment to their effects—

学籍番号 076853
氏名 三浦 啓祐 (Miura, Keisuke)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1. 研究の背景・目的

住宅性能表示制度において音環境性能は表示項目とされているが、住宅購入者が表示内容を理解できているとは言い難く、性能理解の促進が望まれる^[1]。これに対し建築関連業者は音環境体感システムを独自に開発しているが、性能理解への効果は不明である。またこれらの多くは比較的音響整備された機器を必要とするが、性能理解を広く促すためにはより簡易な機器で実現可能な音環境体感システムの提案が有用であると考えられる。そこで本研究では遮音性能が建築構造に大きく依存する隔壁や床とは異なり一般的に仕様の選択に迫られる機会が多く、他に比べ騒音源が特定しやすいことから、窓の遮音性能体感学習システムの構築に向けた基礎的検討として、複数の学習プログラムと理解度テストを用いた被験者実験により学習内容と性能理解の関係を考察する。さらに無響室内におけるスピー

ーカ提示に加え一般の居室空間におけるイヤホン提示の実験を行い、これらを通して学習環境の違いと性能理解の関係を把握する。

2. 実験概要

広範囲での利用（住宅購入予定者、住宅販売者、設計者）を想定し、学習プログラムはMicrosoft社製のPowerPointを用いて制作する。なお、実験においては学習プログラムの他、学習効果を検証するため理解度テストを行う。

2.1 学習プログラム

窓の遮音性能の理解向上を意図したPC上の学習プログラムとして、学習0はテキスト学習（遮音の基礎知識説明）のみ、学習1～3および3'はテキスト学習に加え体感学習（遮音性能の試聴）を行うものとした。体感学習は表1に示す透過音に関わる4要因により試聴条件群を設定し、各条件で窓開閉時の音の聞き比べを行った後、模擬テスト形式で試聴条件の遮音等級を確認する。試聴条件群は開窓時騒音レベルをLAeqで65dB、遮音等級をT-1に固定し、学習1は遮音等級のみ異なる3条件、学習2は遮音周波数特性（図1）の異なる4条件を追加した延べ7条件、学習3はさらに遮音周波数特性と音源種の組合せが異なる16条件を追加した延べ23条件とした（表2）。なお同容量の学習においても、条件設定の差異によって学習効果に変化しうることが考えられるため、学習3'についての試聴条件数は学習3に等しく、T等級の設定や学習の順序を変更した。（表3）。

2.2 理解度テスト

表1 透過音に関わる要因

要因	水準
L: 開窓時騒音レベル	60, 65, 70 [dBA]
T: 遮音等級	T-0, T-1, T-2, T-3
S: 音源種	S0: ピンクノイズ, S1: 道路交通音, S2: 鉄道音, S3: 祭囃子の音
F: 遮音周波数特性	F0: 基本型, F1: 低音欠損型, F2: 高音欠損型, F3: 傾き一定型

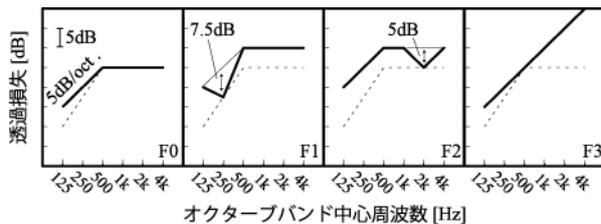


図1 遮音周波数特性

理解度テストは窓開閉時の音を提示して遮音等級を T-1~4 及び T-1 未満の 5 択で解答させるものとし、実験 1, 2 は音量に関する問題群 LT (12 題) と周波数特性に関する問題群 SF (16 題) の計 27 題 (1 題重複) を課した (表 4)。また実験 3 は問題群 SF に関して新たに作成した 16 題を課した (表 5)。なお、出題順序はランダムとした。遮音等級の提示条件は T-0~3 (T-0 は T-1 を 5dB 下回る等級の便宜的表記) とし問題群 LT は開窓時騒音レベルと遮音等級、問題群 SF は音源種と遮音周波数特性が解答に及ぼす影響を調べるため、総当たりまたはラテン方角にて各要因の水準を割り当てた。なお結果については各問題群の正誤に加え、等級誤差 (回答 - 正解) 及びその絶対値を集計した (但し、T-1 未満の解答は等級数 0 に換算)。

2.3 実験の内容

以下の 3 通りの実験を行った。

・ [実験 1] 学習レベルと等級評価の関係

学習レベルと理解度テストの等級評価との関係を把握するため、学習 0~3 の比較を行った。

・ [実験 2] 学習環境と等級評価の関係

実験 1 と同内容の実験を 2 通りの提示システム (スピーカ提示、イヤホン提示) にておこない、学習環境に応じた評価の傾向の把握

を試みた。

・ [実験 3] 条件設定の差異と等級評価の関係

理解度テストにおける等級評価が学習やテストの条件設定の差異によって影響を受け得ることに着目し、学習 3 と学習 3' をおこなう。学習 3' について、他の学習と同じく窓開閉時の音の聴き比べのみで遮音等級を回答させる「学習 3'A」と、聴き比べと同時に試聴音に該当する遮音周波数特性を提示する「学習 3'B」をおこない問題群 SF に対する等級評価の変化について検討を行った。

4. [実験 1] 学習レベルと性能評価

4.1 実験手順

無響室に 2ch 音響再生系を用いた体感学習環境 (図 2) を設定した。各被験者は学習プログラムと理解度テストの組を連続する 4 日間で 1 日 1 回学習 0~3 の順に行った。被験者は 20 才代の非音響系学生 12 名 (男性 9 名、女性 3 名) とした。

4.2 実験結果及び考察

学習プログラムごとの全被験者平均と学習プログラム間の有意差検定結果を図 3 に示す。問題群 LT では学習 0 と学習 1~3 の間に各値で明確な差が生じており、体感学習の効果が認められる。問題群 SF では学習プログラムが進むにつれ徐々に正答率が上昇し絶対値誤差が低下しているが、学習 2, 3 でも平均誤差は比

表 2 学習 1~3 試聴条件群

No.	L	T	S	F
1		T-1		
2		T-2	S0	F0
3		T-3		
4				F0
5				F1
6	T-1		S0	F2
7				F3
8			S0	
9			S1	
10	T-1		S2	F0
11			S3	
12	65		S0	
13			S1	
14	T-1		S2	F1
15			S3	
16			S0	
17			S1	
18	T-1		S2	F2
19			S3	
20			S0	
21			S1	
22	T-1		S2	F3
23			S3	

表 3 学習 3' 試聴条件群

No.	L	T	S	F
1		T-1		
2		T-2	S0	F0
3		T-3		
4			S0	
5			S1	
6	T-1		S2	F0
7			S3	
8		T-1		F0
9		T-0		F2
10		T-0	S0	F2
11		T-1		F3
12	65	T-1		F0
13		T-0	S1	F2
14		T-1		F2
15		T-1		F3
16		T-1		F0
17		T-0	S2	F2
18		T-0	S2	F2
19		T-1		F3
20		T-1		F0
21		T-0	S3	F2
22		T-0	S3	F2
23		T-1		F3

表 4 学習 0~3 における理解度テスト (LT: 1~12, SF: 6,13~27)

No.	L	T	S	F
1	60	T-0		
2	60	T-1		
3	60	T-2		
4	60	T-3		
5	65	T-0		
6*	65	T-1		
7	65	T-2	S0	F0
8	65	T-3		
9	70	T-0		
10	70	T-1		
11	70	T-2		
12	70	T-3		
6*		T-1	S0	F0
13		T-3	S0	F1
14		T-0	S0	F2
15		T-2	S0	F3
16		T-3	S1	F0
17		T-2	S1	F1
18		T-1	S1	F2
19		T-0	S1	F3
65		T-1	S2	F0
20	65	T-0	S2	F0
21		T-1	S2	F1
22		T-2	S2	F2
23		T-3	S2	F3
24		T-2	S3	F0
25		T-0	S3	F1
26		T-3	S3	F2
27		T-1	S3	F3

表 5 学習 3, 3' における理解度テスト

No.	L	T	S	F
1		T-1	S0	F0
2		T-2	S0	F1
3		T-2	S0	F2
4		T-1	S0	F3
5		T-2	S1	F0
6		T-1	S1	F1
7		T-2	S1	F2
8		T-1	S1	F3
65		T-1	S2	F0
9		T-2	S2	F1
10		T-1	S2	F2
11		T-2	S2	F3
12		T-2	S3	F0
13		T-1	S3	F1
14		T-1	S3	F2
15		T-2	S3	F3

較的大きく過大評価傾向が残っている。なお両問題群において学習 2 と学習 3 の間に各値で有意差は認められなかった。

次に、提示条件の各要因の水準毎に算出した平均絶対値誤差と平均誤差を図 4 に示す。開窓時騒音レベルの影響としては低レベルの場合やや過大評価傾向にあり、遮音等級に関しては高等級の場合に学習レベルが上がるにつれ過小評価が顕著となっている。一方、音源種(S)に関しては道路交通音(CR)・鉄道音(TR)の場合に学習 2, 3 でも比較的誤差が大きく、遮音周波数特性(F)に関しては学習 2, 3 で誤差の大きさは同程度ながら基本型(F0)以外は過大評価傾向にある。基本型で性能理解がなされ、それより透過音量が小さくなる他の型を高等級と判断したものと考えられる。

5. [実験 2] 学習環境と等級評価

5.1 実験手続

学習環境はなるべく静かな場所で行うよう注意した上で被験者に自由に選ばせた。各被験者は学習プログラムと理解度テストの組をできるだけ間隔を空けずに学習 0~3 の順に行った。被験者は 20 才代の非音響系学生 14 名 (男性 8 名、女性 6 名) とした。

5.2 実験結果及び考察

学習プログラムごとの全被験者平均と学習プログラム間の有意差検定結果を図 5 に示す (点線はスピーカ実験値)。スピーカ提示とは異なり、問題群 LT において学習 0 と学習 1 の間に正答率の有意な差はみられない。しかし絶対値誤差は学習 0 に比べ学習 1 が有意に小さいほか、その他の学習との間に各値で明確な差が生じているため体感学習の効果が認められる。また全体的にイヤホン提示はスピーカ提示に比べ LT 問題群の誤差が大きく、SF 問題群においては過大評価しがちな傾向がみられる。

次に、提示条件の各要因の水準毎に算出した平均絶対値誤差と平均誤差を図 6 に示す。スピーカ提示とは異なり、鉄道騒音(TR)の誤

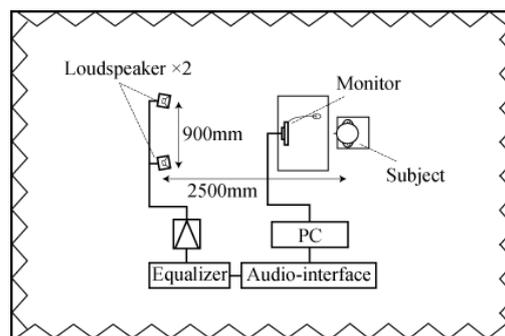


図 2 2ch 音響再生系

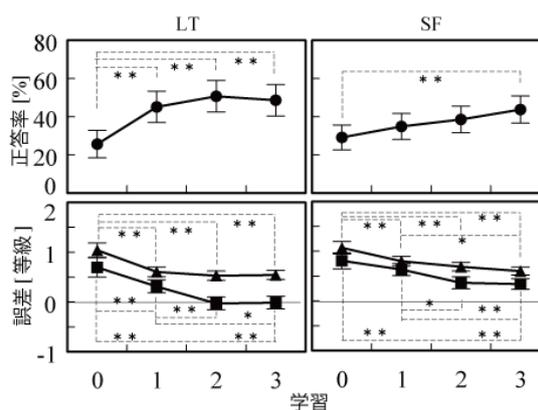


図 3 正答率と誤差における被験者平均 [実験 1]

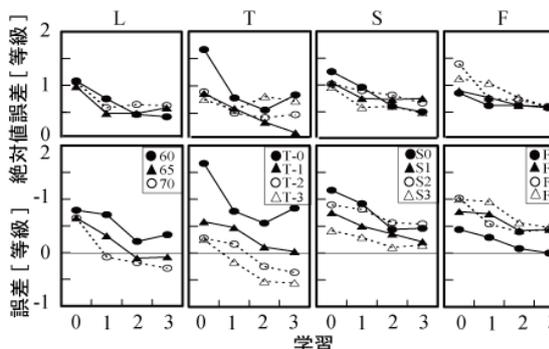


図 4 正答率と誤差における水準別被験者平均 [実験 1]

差が他に比べて大きく過大評価される傾向が強い。同様に遮音周波数特性(F)に関して、傾き一定型(F3)の過大評価傾向が強いことがわかる。また学習 0~3 の間で誤差における遮音周波数特性(F)の水準間の差に明確な変化がないことや、音源種(S)や遮音周波数特性(F)の水準間における絶対値誤差の差が解消されないことから、イヤホン提示は周波数特性に関して学習効果を得にくいと考えられる。

6. [実験 3] 条件提示の差異と等級評価

6.1 実験手続

実験 1 と同じ環境、被験者において学習 3

と学習 3'A, B を 2 日間で行った。

6.2 実験結果及び考察

学習プログラムごとの全被験者平均と学習プログラム間の有意差検定結果を図 7 に示す。学習 3 と 3'A の間で試聴条件群の T 等級の設定や学習の順序による有意差はいずれの値においてもみられない。一方で、学習 3'A と 3'B との間には誤差の有意差がみられることから理解度テスト時の遮音周波数特性(F)の提示に関しては、評価の偏りを解消する効果を有するといえる。

次に、提示条件の各要因の水準毎に算出した平均絶対値誤差と平均誤差を図 8 に示す。誤差については、学習時の条件提示により鉄道音(S2)以外の音源に関しては過大評価の傾向が弱まるほか、遮音周波数特性(F)の水準間での差が小さくなる傾向が確認できる。また誤差絶対値に関しては、遮音周波数特性(F)の提示によって音源種(S)の水準間の差が解消されることに加え、全体的に過大評価の傾向が弱まることわかる。特に実験 1 からすべての学習において示されていた、鉄道騒音(TR)の過大評価が明らかに解消される。一方、遮音周波数特性(F)に関しては高音欠損型(F3)が過大評価される傾向が顕著に現われている。

7. まとめ

テキスト学習に対する体感学習の効果が確認され、その学習内容や学習環境によって性能理解の傾向が異なることが示された。今回のケースでは遮音周波数特性(F)に関しても学習効果が認められたが、複数の音源種(S)と組合せた学習やその情報提示の差による有意な効果は現れなかった。学習システムの構築にあたり、試聴条件の絞り込みの可能性が示唆された。またテスト時の遮音周波数特性提示が正確な等級評価に有効なことが示されたため、窓の遮音性能に関する詳細説明と体感学習プログラムの併用により遮音等級に関する知識がより深められる。

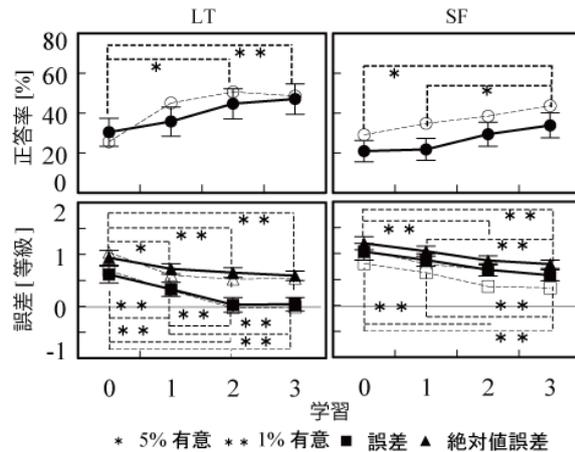


図 5 正答率と誤差における被験者平均 [実験 2]

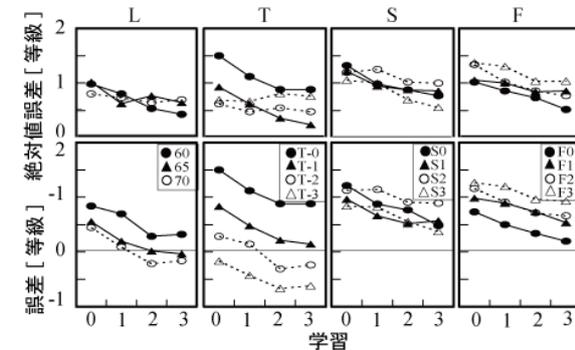


図 6 正答率と誤差における水準別被験者平均値 [実験 2]

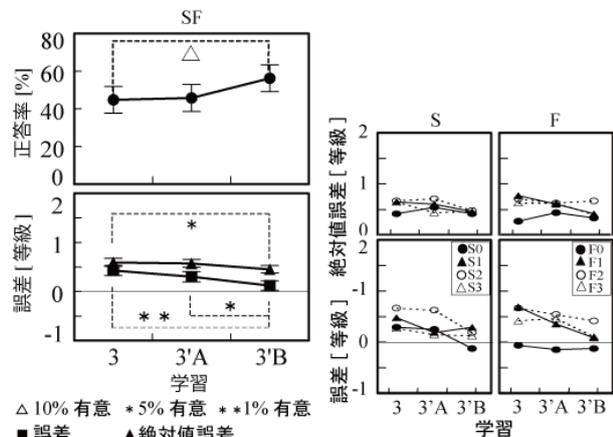


図 7 正答率と誤差における被験者平均 [実験 3]

図 8 正答率と誤差における水準別被験者平均値 [実験 3]

謝辞

窓の遮音性能体感学習プログラムの構築にあたり、多大なご指導、協力を頂きました熊本大学工学部助教 川井敬二氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 井上他, 音響技術, No.124, 8-12, 2003.
- [2] JIS A 4706: 2000.