

建築における音像定位移動の応用法についての研究

ー クロスフェード効果を用いて ー

Keywords

音像定位 意匠 行動心理学
建築 音響 クロスフェード

1. 背景と目的

空間デザインにおいて音を用いる場合、サイン音やBGMが用いられることがよくある。音を流す際、目的に応じて周波数特性や音の長さを細かく設定したりしている場合もある。建築空間における音の一般的な利用例を表1に示す。しかし、音の定位の移動に関しての利用例や研究は過去にされていない。よって、本研究では音像定位の変化による印象変化を調べることにした。

表1 音の利用例

音の利用例	具体例
視覚障害者誘導のためのサイン音	駅構内、エレベーター到着音
作業効率アップのためのサイン音	店の入り口、電車の発車の合図
警告のためのサイン音	火災報知器、防犯警報音
BGM	心理的誘導、空間イメージ誘導
マスキング音	トイレ用擬音装置
モスキート音	若者撃退のシステム
聴取目的の音演出	音楽、映画、講演の音声

今後の建築空間への、音像定位移動の応用法の研究を促すために、音像定位移動の応用可能性を提示することを本研究の目的とする。よって、一般にその内容を理解できるようにする意味でも、部分的に深く追求するのではなく、提案までの一通りの流れを本研究では行う。

2. 研究方法

研究の流れを以下に示す。

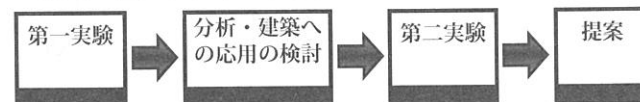


図1 研究フロー

3. 第一実験

3.1 実験概要

第一実験は、被験者が定位がクロスフェード的に変化する音源を聞き、印象をアンケートに評価する。着席して聴取、歩行しながら聴取の2種類行う。それぞれ想定される建築への応用のされ方が違うからである。着席時も歩行時も同時に1人ずつ行う。また、着席から歩行へと行動が変化すること等による影響を排除するために、着席実験と歩行実験はそれぞれ別の被験者が行う。

3.2 使用する音素材について

街の静寂時の環境音²⁾を音素材として選定し、モノラルWAVE44.1kHzのループ可の音源を作成した。その音

K08092 林 幸輝

素材にクロスフェードのEffectを与えて、実験用音源とする。第一実験では着席時と歩行時の2パターンについて調べるが、それぞれ異なるクロスフェードEffectを与える。Effectは以下の通りである。

表2 第一実験における音のEffectの種類

着席実験	歩行実験
左から右クロスフェード	後ろから前クロスフェード
後ろから前クロスフェード	前から後ろクロスフェード
低速回転	左から右クロスフェード
下から上クロスフェード	高速回転

3.3 実験システム

デスクトップPC (OS ; WindowsNT) にアンプ (YAMAHA 6150 XMseries) とスピーカ (BOSE 111AD) を接続し、専用のソフトウェア (Lake DSP CP4) によって操作する。スピーカを床に6台、2.4mの高さに4台設置し、スピーカは全て4m間隔とする。着席実験と歩行実験では、別のスピーカを使うこととする。

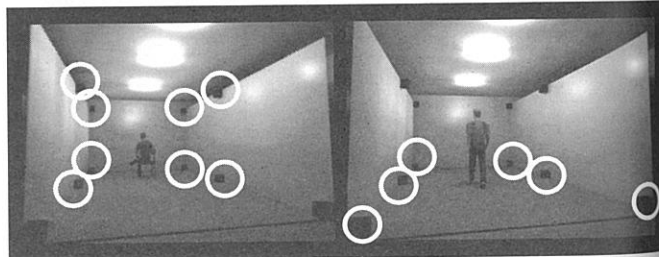


図2 第一実験における実験システムとスピーカの位置

3.4 実験内容

(1)着席実験

2011年10月3日、4日、5日、10日、11日、12日、13日、14日の8日間行った。実験空間は芝浦工業大学豊洲校舎研究棟5階アトリエ (床 ; タイルカーペット、壁 ; ビニルクロス・GB、天井 ; 岩綿吸音板) に設置した。被験者は工学部学生の男24人女12人の計36人。

最初に実験の趣旨、手順の説明を被験者に行う。次に、被験者はEffectの付加されていない基準音とEffectの付加された評価音を聞き比べ、その時に感じた評価音の基準音との相対的な印象の違いをアンケートに記入する。また、観察者は、被験者の聴取時における行動的反応を記録する。音を変えて同じことを4セット行うが、慣れや疲れによる印象への影響を考慮し、音の聞く順序は2パターンとした。(表3参照)

表3 着席実験のパターン

	A	B
1	実験説明	実験説明
2	左から右クロスフェード	下から上クロスフェード
3	低速回転	後ろから前クロスフェード
4	後ろから前クロスフェード	低速回転
5	下から上クロスフェード	左から右クロスフェード

(2)歩行実験

同じく2011年10月3日、4日、5日、10日、11日、12日、13日、14日の8日間行った。実験空間は芝浦工業大学豊洲校舎研究棟5階アトリエ (床 ; タイルカーペット、壁 ; ビニルクロス・GB、天井 ; 岩綿吸音板) に設置した。被験者は工学部学生の男29人女7人の計36人。

着席実験とはほぼ同じ内容であるが、歩行実験ではスピーカの中央を自然体で歩きながら聴取する。その時、観察者は被験者の歩行中の行動的反応を記録する。歩行実験も、音の聞く順序は2パターンとした。

表4 歩行実験のパターン

	A	B
1	実験説明	実験説明
2	後ろから前クロスフェード	高速回転
3	前から後ろクロスフェード	左から右クロスフェード
4	左から右クロスフェード	前から後ろクロスフェード
5	高速回転	後ろから前クロスフェード

また、歩行実験では行動的反応の観察に加えて、実験空間を歩ききりまでの歩行時間を計測する。

3.5 アンケート

表5 第一実験におけるアンケート内容

項目	形容詞対
空間的因子	開放的な・圧迫感のある、やわらかい・かたい、広い・狭い、軽快な・重々しい、浮くような・沈むような、単純な・複雑な、穏やかな・激しい
心理的因子	落ち着く・興奮する、安全な・危険な、招かれる・拒まれる、楽しい・つまらない、馴染みのある・馴染みのない、楽な・大変な、自由な・不自由な、強い・弱い、安心な・不安な
環境的因子	からっとした・ムシムシした、明るい・暗い、暖かい・涼しい、清潔な・不潔な

アンケート内容は着席時と歩行時で共通の内容とする。7段階評価のSD法を用いることとし、形容詞は、飯塚啓吾「聴知覚系導入による空間生成の可能性の探究」の中で行われた実験のアンケートを参考にし、その他必要だと思われるものを追加し、20対の形容詞を選定した。また、自由記述欄を設けた。

4. 第一実験の結果と考察

4.1 統計データの算出

得られた評価データに対して、平均値、中央値、最頻値、標準偏差の算出に加えて因子分析 (主因子法、プロマックス回転) を行った。また、下位尺度得点 (今回は因子に属する形容詞の評価の平均値を因子負荷量で加重平均した値) を算出して、分析の判断基準の一つとした。なお、行動的反応や歩行時間についてははっきりとした傾向を示さなかったため割愛する。

4.2 着席実験の結果・考察

表6 着席実験・抽出因子及び下位尺度得点(-3点~3点)

着席	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
左から右	平穩度 -0.2	空間的誘引度 0.7	不潔度 0.2	-	-
後から前	平穩度 -0.6	空間的平穩度 0.1	活発度 -0.2	-	-
低速回転	リラックス度 0.2	空間的居心地 0.3	無重力度 1.1	-	-
下から上	下降感 0.1	平穩度 -1	空間的開放度 0.1	気候的馴染度 -0.1	-

左から右クロスフェードは、やや平穩度が低いにも関わらず、空間的誘引度が高かった。これは好奇心が示されたのだと考えられる。後ろから前クロスフェードは、危険を感じる傾向があった。低速回転は、空間的に居心地が良いのに加え、無重力感を感じる傾向があった。下から上クロスフェードは、危険を感じる傾向があった。

4.3 歩行実験の結果・考察

表7 歩行実験・抽出因子及び下位尺度得点(-3点~3点)

歩行	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
前から後	物理的誘引度 0.2	ソフトネス 0.8	なじみ度 0.5	関心度 -0.2	-
後から前	物理的誘引度 -0.1	平穩度 -0.3	気持ち弾み度 0.2	寒さ -0.1	-
左から右	リラックス度 -0.5	空間的楽しさ -0.1	行動的開放度 -0.4	-	-
高速回転	空間的危険度 1.3	心地良さ 0	さっぱり度 -1.3	空気の馴染度 -0.5	行動的快適度 -1.3

前から後ろクロスフェードは、歩行が快適に感じられたのだと予想される。左から右クロスフェードは、リラックスできない傾向があった。高速回転は、他のEffectに比べて非常に強い警戒心を示す結果となった。

5. 第二実験

5.1 実験概要

第一実験からいくつかの仮提案が考えられた。(表8参照) 仮提案が実際に機能するかどうかを確認するために、これらのEffectが数値的にどの程度の効果を発揮するのかを調べる。



写真1 第二実験-実験空間

5.2 使用する音素材について

表8 仮提案と第二実験の音源

	仮提案内容	音のEffect	音素材
着席	滞在促進 居心地の良好化 転落防止	左から右 低速回転 下から上	軽快系ジャングル リラックス系ジャングル プロペラ音
歩行	歩行の快適化 眠気覚まし 強い警告	前から後ろ 左から右 高速回転	ビート系BGM 爽やか系ジャングル 警告音

モノラルWAVE44.1kHzのループ可の音源を作成しておく。音素材は、提案に相応しい音色を選定する。その音素材にクロスフェードEffectを与えて、実験用音源とする。音源のパターンは表8の通りである。

5.3 実験システム

第一実験とほぼ同じシステムである。変更点としてスピーカは全て6.5m間隔とする。また、再生時の空間の騒音レベルが最大60dBになるように出力音量を設定する。

5.4 実験内容

2011年12月12日、13日、19日、20日の4日間行った。被験者は工学部学生の男28人女13人の計41人。実験空間は芝浦工業大学豊洲校舎教室棟5階大会議室（床；タイルカーペット、壁；GB、天井；岩綿吸音板）に設置した。実験環境は気温19℃、暗騒音の等価騒音レベル（A特性3分間）37dB(昼)、34dB(夜)、照度360lx(昼)、335lx(夜)。（MASTECH MS6300で測定）

被験者はEffectの付加されていない基準音とEffectの付加された評価音を聞き比べ、その時に感じた評価音の基準音との相対的な印象の違いをアンケートに記入する。音を変えて同じことを6セット行うが、相対的比較による影響や、疲れや慣れの影響を考慮し、実験行程のパターンは以下の4通りとした。

表9 第二実験における実験行程パターン（上から順）

A	B	C	D
実験説明	実験説明	実験説明	実験説明
右から左(着席)	高速回転(歩行)	前から後ろ(歩行)	下から上(着席)
低速回転(着席)	右から左(歩行)	右から左(歩行)	低速回転(着席)
下から上(着席)	前から後ろ(歩行)	高速回転(歩行)	右から左(着席)
前から後ろ(歩行)	下から上(着席)	右から左(着席)	高速回転(歩行)
右から左(歩行)	低速回転(着席)	低速回転(着席)	右から左(歩行)
高速回転(歩行)	右から左(着席)	下から上(着席)	前から後ろ(歩行)

5.5 アンケート

アンケートの内容は、マグニチュード推定法（基準音の度合いを100とする）を用いて、各クロスフェードEffectについての尺度の度合いを感覚的に数値で回答するものである。尺度は因子分析から抽出された代表的な尺度を選定する。

6. 第二実験の結果と考察

6.1 統計データの算出

得られた評価値に対して、平均値、トリム平均値（上5%下5%）、中央値、標準偏差を算出した。また、基準音の度合い100に対する評価値の倍率を算出し、クロスフェードEffectの効果の強さを表した。

6.2 結果・考察

平均値とトリム平均値（上5%下5%）の値が近いことから、考察するうえでは主にトリム平均値を見ていくこととする。その結果、第二実験でも、第一実験とほぼ同じ傾向を示し、逆の傾向は示さなかったため、第一実験の結果の正当性が裏付けられた。特に、左から右クロスフェード（着席）は空間的誘引度が1.4倍、左から右クロ

スフェード（歩行）は空間的楽しさが1.4倍等、Effectの効果が大きく実用レベルである可能性が大いにある。

表10 第二実験 着席用Effectの結果

	左から右		回転	下から上	
	平穏度	空間的 誘引度	空間的 居心地	下降感	平穏度
トリム平均値の倍率	0.8	1.4	1.3	1.1	0.7
中央値	80.0	135.0	120.0	100.0	70.0
10%トリム平均値	83.3	140.1	133.8	108.8	69.5
平均値	84.3	139.4	133.6	108.3	70.0
標準偏差	24.0	34.8	37.7	42.3	31.6

表11 第二実験 歩行用Effectの結果

	前から後ろ	左から右		回転
	ソフトネス	リラックス度	空間的楽しさ	空間的危険度
トリム平均値の倍率	1.1	1.0	1.4	1.3
中央値	110.0	100.0	150.0	120.0
10%トリム平均値	108.9	102.6	141.4	127.2
平均値	110.3	103.3	143.9	128.5
標準偏差	41.4	32.8	38.2	39.1

効果倍率のトリム平均値（単位：倍）

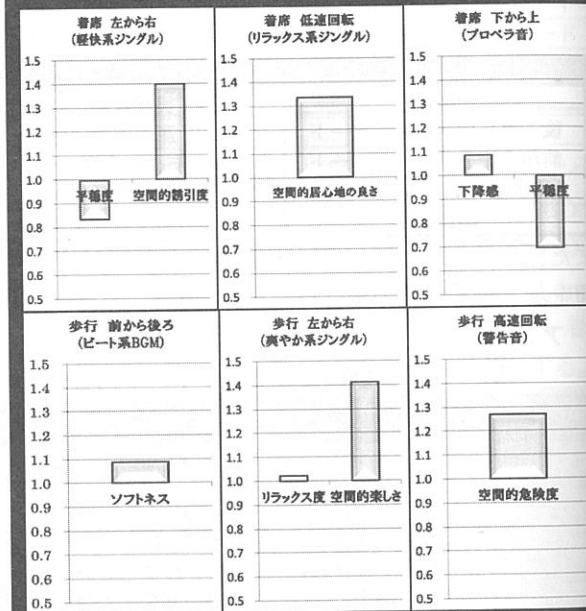


図3 第二実験 Effect付加時の効果倍率のトリム平均値

7. 提案

7.1 音像定位移動の表現手法

本研究の結果の応用法を提案したいと思うが、その前に音像定位移動を体感できるシステムが必要である。表12にその一例を示す。

表12 音像定位を表現するシステムの考案例

常時効果を発揮するシステム	
1	立体音響システム (通常のスピーカ、パラメトリック・スピーカ ³⁾ の2種類)
2	水等の流動的物質を用いた機械的仕掛けシステム
3	スピーカ自体が動く音源移動システム
4	音が出る機械を立体的に配置・コントロールすることで、立体音響のような効果を再現するシステム
聴取者の移動時に効果を発揮するシステム	
5	壁形状・材質によって歩行音等の反射音を変化させるシステム
6	開口部形状によって環境音の取り込み方を変化させるシステム



図4 表12の2のシステムの例(水流)

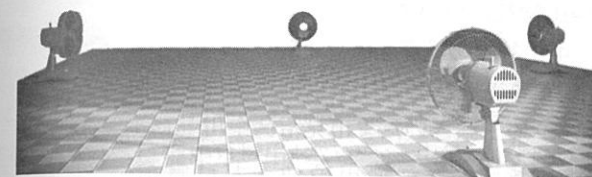


図5 表12の4のシステムの例(扇風機利用)

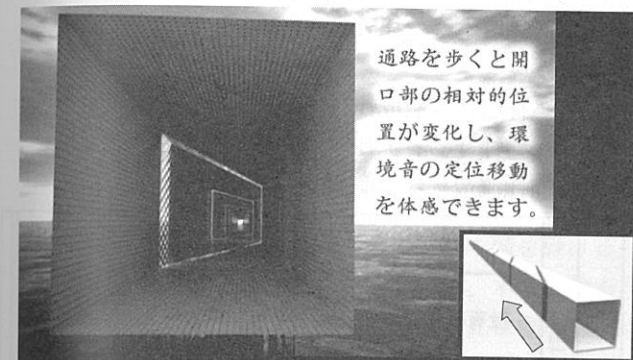


図6 表12の6のシステムを利用した通路



図7 表12の6のシステムを利用したエレベータ

7.2 具体的提案

本研究の結果の具体的な応用法を提案する。ただし、明白な効果が得られなかった、前から後ろクロスフェード（歩行時）は、提案を見送ることにする。

表13 左から右クロスフェード(着席)

提案	具体的用途	システム(表12)
空間への誘引度増大効果	劇場	1
滞在促進	商業施設、イベント会場	1, 2
ポイントで使うことによる目覚まし効果	講演会場、オフィス	1
入口における内部への興味増大	商業施設、娯楽施設	1, 2

表14 低速回転(着席)

提案	具体的用途	システム(表12)
リラックス効果促進	大浴場	2, 4
不快感軽減	エレベータ、狭小空間	1, 6
ストレス軽減効果	教室、オフィス、会議室	1, 4
リラックス効果	飲食店、ロビー	1, 2, 4

表15 下から上クロスフェード(着席)

提案	具体的用途	システム(表12)
切迫感演出	劇場	1
警報の効果増大	火災報知器、緊急地震速報、その他警報	1
落下防止	駅のホーム	1(パラメトリック・スピーカ利用)
若者撃退	モスキート音への付加	1

表16 左から右クロスフェード(歩行)

提案	具体的用途	システム(表12)
楽しい歩行空間演出	遊歩道、娯楽施設	1
建築的価値の付加	博物館、通路、商業施設、娯楽施設、遊歩道	2, 5, 6
眠気覚まし効果	会社学校の廊下、道路	1, 5, 6

表17 高速回転(歩行)

提案	具体的用途	システム(表12)
危険箇所における警告	階段、段差	1(パラメトリック・スピーカ利用)
警告音	踏切内、交差点	1

8. 総括

本研究によって音像定位移動の応用の可能性が示された。今後は、ドップラー効果や干渉を初めとする物理現象による影響、様々な音色・音量・周波数特性とEffectの組み合わせによる効果の違い等、実際に応用するのに必要な情報を得るための研究が行われていくことを願う。また、本研究では扱っていない別のクロスフェードEffectや音像定位移動だからこそ持ち得る方向指示機能についても解明されれば、音像定位移動の応用価値は更に上がるだろう。

註釈

- 1) クロスフェード：音が移動しているように聞こえるEffect。
- 2) 環境音：自然の音、都市の音、声など。
- 3) パラメトリック・スピーカ：鋭い指向性の音響システム。

参考文献

- (1)「聴知覚系導入による空間生成の可能性の探究」飯塚啓吾 2008年度 芝浦工業大学大学院修士論文
- (2)『「印象」の工学』とはなにか：人の「印象」を正しく分析・利用するために』大沢光 丸善プラネット 2000
- (3)「ゆらぎ音環境の生理心理的影響の検討」橋本修左 中嶋一志 田原靖 日本建築学会大会学術講演梗概集 1995 pp.775-776
- (4)「サイン音の設計論：Sound User Interfaceにおけるサイン音の分類とデザイン」和氣 早苗 システム制御情報学会誌 2010 pp.411-417
- (5)「個室における行為の違いによるBGMのふさわしさに関する研究」大塚恒平 大井尚行 高橋浩伸 日本建築学会大会学術講演梗概集 2008 pp.37-38