

公共空間における音による 非難誘導システム*

山崎 芳男**・矢野 博夫***・徳山 久雄****

(早稲田大学理工学研究所) (東京大学生産技術研究所) (国立公衆衛生院)

1. まえがき

不特定多数の人々が常時出入りする公共施設においては地震や火災等の災害時の避難誘導システムは不可欠である。非常時用照明の設置義務は1948年に公布された東京都の公共集合場所の火災予防条例で定められた。また誘導灯と誘導標識の基準と設置場所が1961年公布の消防法施行令によって定められた。

1973年以来誘導灯の見え方、誘目性の向上を目指して表示面の改良や大型化、点滅灯や誘導音の導入等が図られた。

ところで近年、大規模建造物や大規模地下街が続々と登場しており、また公共施設を対象とした大深度地下の利用計画が提案されている。これらの大規模施設における災害時とくに火災時には光ばかりでなく音による誘導が大きな位置を占めるものと考えられる。

1989年3月大深度地下あるいは大規模建造物や地下街での火災等の災害時の関知、通報及び避難誘導システムの検討を目的とした「避難誘導システム特別研究委員会」(田辺隆治委員長)が照明学会に設置され3年の予定で調査研究が開始された。研究会には光分科会と音分科会が置かれ、従来の誘導灯によるいわば静的な誘導に加え、光及び音を誘導方向へ走査させる動的な誘導に関する調査、研究が続けられている。

本稿では公共施設を対象とした先行音定位と音走査による避難誘導についてその概要と上記研究会での音分科会の調査・研究を中心に概説する。

2. 音による避難誘導

2.1 先行音定位(第1波面の法則)

良く知られているように同じ音が複数の異なる方

向から到来する場合、人間は時間的に最も速く到来する方向に音源があるように感ずる。最初に到来する方向に定位することから第1波面の法則あるいはハース効果、先行音定位と呼ばれている。

さらにこの効果は遅れて到来する音のレベルがある程度大きくとも維持される。すなわち遅れ時間が10~30msでは、後から到来する音が先行音に対して6~10dB程度大きくとも先行音と遅延音が等しく聞こえる。

この先行音定位は拡声装置の定位改善や劇場等におけるいわゆるデルタステレオフォニに利用されている。

筆者(山崎)には1974年にロンドンで開催されたICAの際訪れたウエストミンスター寺院における実験が印象的であった。残響の長い寺院で遅延装置のない場合には音像は柱につけられた最寄りのスピーカの位置に定位し、他のスピーカからの音と長い残響により不明瞭であった音が遅延装置により各スピーカに空气中の伝播遅延に見合った遅延を与えることにより、鮮やかに定位が話者の位置に移り明瞭度も急激に上昇した自然な音に変わったのである。もっとも寺院等では定位がはっきりして明瞭に聞こえるよりは厳かに聞こえる方が好まれるようで、実験に使われたような拡声システムは採用されなかったとの後日談もある。

この実験に触発されて翌年1975年の大学祭の際にサークルの協力を得て図-1に示すような誘導実験を試みた。早稲田大学理工学部の中庭で実施された行事の解散退場時(夜間)に『お帰りの出口はこちらです』というアナウンスによる誘導を試み、屋上から映画フィルムに撮影した。適当な遅延を与えることと先行音定位効果により明らかに誘導効果の上昇が観察された。

先行音定位を利用した誘導ではどこにいても常に先行音定位の条件を満たすように、スピーカに最も近づいた点においても先行音が-6~-10dB以下にはならないように、どのスピーカにもある程度以上近づけないよう設置しなくてはならない。

* emergency Guide System by sound in Urban Area for Public Utilization

** Yoshio Yamasaki (Waseda University)

*** Hiroo Yano (I.I.S., Tokyo University)

**** Hisao Tokuyama (Institute of Public Health)

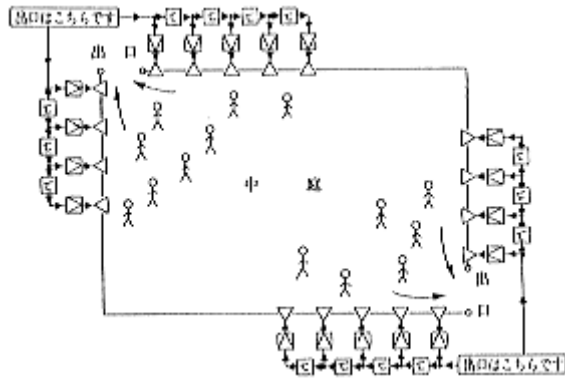


図 - 1 早大理工学部中庭における遅延を用いた音による誘導実験

2.2 音走査

音による避難誘導方法としては先行音定位による方法のほかに誘導方向に信号音を走らせる方法が考えられる。音走査を行う方法には、

- (1) それぞれの音源位置に誘導信号発生器を用意してこれを順次トリガーする方法
- (2) 音源位置においたスピーカを順次切り換える方法
- (3) 複数のスピーカを遅延装置を用いて同一信号で駆動する方法

等がある。多数のスピーカによる連続した移動には(3)が有利であるが、音走査との同期や危険分散を考えると(1)が有利である。

「避難誘導システム特別研究委員会」の実験には(3)の方式が使われている。最近この延長上にある方式ともいえる10～50cm間隔に廊下壁面に配置した多数の平面型セラミックスピーカと1bit高速処理によるデジタル遅延装置と組み合わせて、デルタステレオ方式で音像を造り誘導方向に移動させる実験も始められている。

3. 音による避難誘導実験

3.1 実験方法

音による避難誘導の方法としては前述のように先行音定位を利用した音声による誘導と信号音を順次移動させて誘導する音走査による方法がある。

避難誘導システムが使われる音響空間は様々であろうが、基礎的な検討を行うことを目的とした実験を直線状の東京大学生産技術研究所第5部の地階部分の廊下で1989年12月23日に実施した。この廊下はコンクリートの躯体にペイント仕上げとなっており音響的には反射性の高い仕上げである。

図 - 2に示すように先行音定位、音走査とも遅延装置により遅延を持たせて複数のスピーカから再生する方式とした。なお、誘導方向を同じにするには

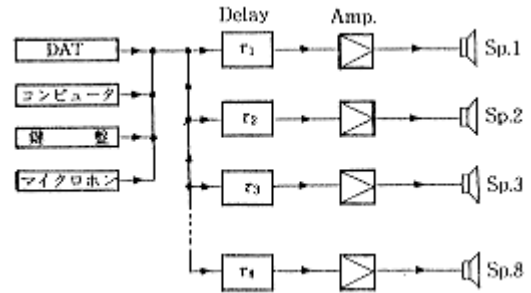


図 - 2 実験装置の構成

先行音定位と音走査では遅延を与える方向が逆になるので、遅延装置は並列接続とした。

スピーカは小型全帯域用を8個使い、設置間隔は図 - 3に示すように2, 4, 8mの3条件とした。被験者としては避難誘導システム特別研究委員会の委員17名(30才代～60才代男性)が参加した。

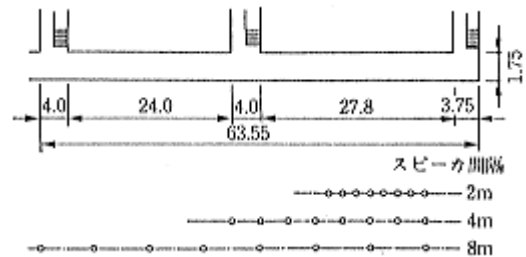


図 - 3 東大生研における誘導実験におけるスピーカの配置

3.1.1 先行音定位による誘導実験

先行音定位を利用した誘導は女性によるアナウンス『非常口はこちらです。音のする方向へ避難して下さい』を8個のスピーカに順次遅延を与えることにより実験した。遅延時間はスピーカ間隔に相当する空気中の音の伝播遅延+10, 20, 50msの3段階とした。

音圧レベルはスピーカの直前廊下中央、高さ1.5mの位置において全時間平均値 L_{eq} で85dBに設定した。

3.1.2 音走査による誘導実験

信号音の走査による誘導実験は表 - 1に示すように880Hzのトーンバースト、500～2kHzのバンドノイズ、500～5kHzのスweep信号の3種類の信号音を

表 - 1 音源信号の種類と継続時間

音源信号	継続時間 (ms)			
バースト信号: $f = 880\text{Hz}$	50,	100,	200,	500
バンドノイズ: $f = 500\text{-}2\text{kHz}$	200,	500		
sweep信号: $f = 500\text{-}5\text{kHz}$	200,	500		

して、その継続時間は50～500msとした。スピーカ間隔は先行音定位と同じ2, 4, 8mについて行い、走行速度は遅延時間の設定により2～80m/sとした。

3.2 実験結果

3.2.1 先行音定位による実験

先行音定位による実験では今回の実験の範囲ではスピーカの間隔は4mが適当であった。遅延時間に関してはいずれのスピーカの間隔についても、スピーカ間隔に相当する伝播遅延+10msでは到来方向が判別しがたい、+20msが最適、+50msでは到来方向の判別はできるが場所による差が大きく誤って判断する場面があることがわかった。

3.2.2 音走査による実験

一方、音走査による実験では、信号音についてはスイープ信号が適当とする回答が最も多く、ついでバンドノイズ、パースト信号の順となっている。パースト信号は単調な音なので走査方向が分かりにくい。バンドノイズは人がかなり移動している騒音下では聞き取りにくい。これに対してスイープ信号は耳慣れない信号なので注意を引きやすいという結果が得られた。

音の走査速度に対しては10～20m/sが適切な範囲と考えられる。この速度は一般的な歩行速度よりかなり速い速度である。

4. 光と音走査による誘導実験

4.1 実験方法

「避難誘導システム特別研究委員会」の調査・研究は初年度は光走査による誘導実験と先行音定位と音走行の音による誘導実験が別個に行われた。光走査による実験結果を表-2に示す。2年度目の1990

表-2 光走査による誘導実験の結果

光源の間隔	50cm 以内
光源の大きさ	5cm × 5cm 以上
光源の輝度	2,000cd/m ²
走査速度	2～3m/s

年は曲がり角や合流を伴う誘導および光と音による誘導の相乗効果を確かめる実験が8月29日に私立明星学苑の廊下を使って実施された。実験は初年度同様、信号音に対して遅延を与えた12個のスピーカから再生することにより音走行を行う方式とした(図-4)。

信号源としては誘導信号を予め半導体記憶素子に蓄えた可動部分のない記憶装置を用い、遅延装置には正確な遅延時間の設定可能なデジタル式の遅延

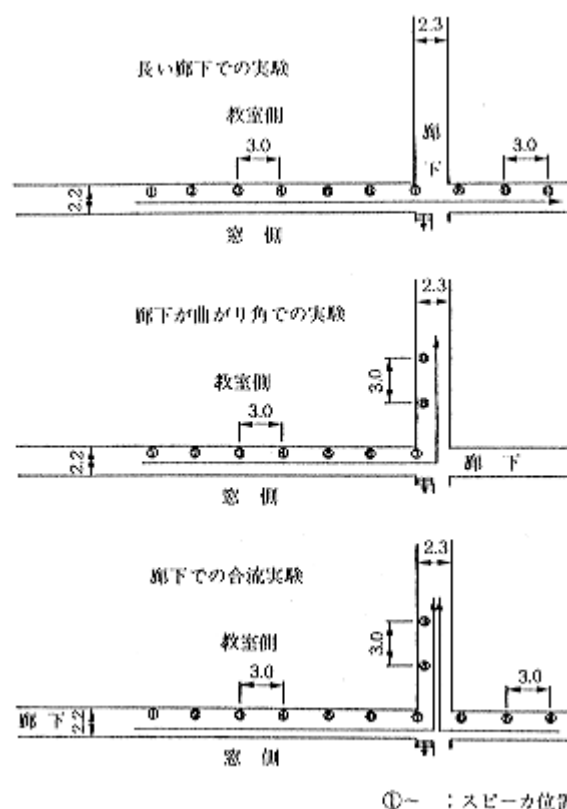


図-4 明星学苑における実験

装置を使用した。

信号音の種類については前記の実験結果に基づきスイープ信号を用いることとした。走行速度、音の呈示間隔、光走行との同期はパーソナルコンピュータにより制御した。

4.2 音と光による誘導効果

実験の結果のほとんどの条件下で音による誘導を併用すると光のみによる誘導に比較して評価の上昇がみられた。この傾向は光による誘導効果の比較的小さい場合、すなわち走行速度が遅い場合や光源の間隔が広い場合にとくに顕著である。

走行速度は2～40m/sについて実験した。この範囲では誘導効果の顕著な差異は認められないが、若干走行速度が速い方が誘導効果が大きい傾向がみられた。

音程を一つスピーカを進む毎に順次半音ずつ上昇させる実験を一例だけ実施した。一部の観測者に好評であった。

なお光と音の走行を同期すなわち光と音の走行速度の一致による誘導効果の有意の上昇は観測されなかった。これは光の場合常に光の移動方向が確認できるように頻りに走査が行われることが望ましいのに対し、音は重なりあって移動方向すら分からなくなるおそれがあるので、ある程度の間隔をあける必

要があることに関係があるようだ。したがって光走査の何回に1回音走査を行うという方法を選択すべきであろう。

東京大学生産技術研究所の地下廊下と今年度の明星学苑の廊下とは音響条件はかなり異なっていた。具体的には東大の方が吸音が少なく響きが多かったが、音による誘導効果に大きな相違はみられなかった。その後東京都障害者スポーツセンターでも視聴覚障害者を対象に同様の実験を行ったが、音響的にライブ、すなわち響きの多い場合には誘導音の継続時間が短く、呈示間隔は長く(十分前の音が減衰してから)した方が誘導効果が大きいようである。

5. 音響的信号の規格

5.1 誘導信号の規格

避難誘導に音を利用する場合、使用する信号音が誘導のための音であることを誰が聞いても分かる、あるいは知っているということが最も望ましい条件である。このために、信号音の種類を約束しておくこと、すなわち標準化(規格化)が望まれるところである。

音響的な誘導信号に関する規格は現在のところないが、危険信号と緊急避難信号に関して、ISOに以下のような規格がある。これらは標準化の参考になると同時に、誘導音がこれらの音と紛らわしくならないようにする必要がある。

5.2 危険信号の規格

ISO 7731-1986 Danger signals for work places - Auditory danger signals (ISO/TC 159 Ergonomics) この規格は、工場など、騒音の多い職場であっても、危険信号が明瞭に聞き取れて、危険回避の行動がとれるように信号音のレベル、周波数特性及び時間特性を設定する方法について規定したものである。

信号音が聞き取れるためには、通常の場合に信号音が周囲の騒音よりA特性で15dB以上上回る必要がある。信号音のレベルはA特性で65dB以上であることが必要だとしている。

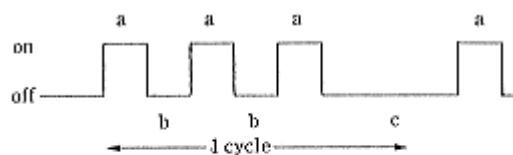
オクターブまたは1/3オクターブ分析によって予想する方法及び耳で聞き取り確かめる方法、マスキングいき値の計算法が述べられている。

また、具体的な信号音の例が付録に示されている。

5.3 緊急避難信号の規格

ISO 8201-1987 Acoustics - Audible emergency evacuation signal (ISO/TC 43 Acoustics) この規格は、緊急路の避難信号の鳴動の形式について規

定している。時間的なパターンとしては図-5に示すように3回鳴って1回休むサイクルを繰り返す形式としている。



ここで、 a: 信号オン 0.5秒±10%
 b: 信号オフ 0.5秒±10%
 c: 信号オフ 1.5秒±10% (c=a+2b)
 1周期=4秒±10%

図-5 避難信号の鳴動 (ISO 8201)

また、付録には周波数が変化する音や衝撃的な音を使用する場合の例が示されている。

6. むすび

以上、音を用いた公共施設を対象とした避難誘導システムについて「避難誘導システム特別研究委員会」の調査・研究を中心に紹介した。

非常時の音による避難誘導は火災時の煙、視覚障害者に対して必要不可欠なものである。誘導音については今後ますます国際化の進む状況を考慮すると国や言語を超えた合意が必要となる。今後心理的側面をふくめた誘導音の検討が必要となろう。

対象とする空間も廊下や階段さらに大空間等も考慮する必要がある。また誘導音ばかりでなく侵入を禁止する音、曲がり角や合流点、分岐点等を示す信号音等についても検討する必要がある。

本稿は照明学会「避難誘導システム特別研究委員会」における調査・研究を紹介させていただいたものである。同委員会の田辺隆治委員長、神忠久副委員長、梅田哲夫、河合悟、高橋貞雄幹事はじめ光、音分科会の委員各位に深謝する。機材の提供及び実験にご協力頂いたヤマハ(株)応用研究所の五月女弘海、日本照明工業会、東京大学生産技術研究所と早稲田大学の学生諸氏をはじめ関係各位に深謝する。

参考文献

- 1) 照明学会避難誘導システム特別研究委員会：避難誘導システムに関する基礎的調査研究中間報告書その1, 1990. 3.
- 2) 照明学会避難誘導システム特別研究委員会：避難誘導システムに関する基礎的調査研究中間報告書その2, 1991. 3.