

環境音を利用した情報認知に関する研究

飛田 和子^{†1} 崎原 諒^{†1} 常盤 拓司^{†2} 本多 博彦^{†1}

概要: 従来の PC 等の効果音による情報伝達は、主に報知音や警報音としてイベント発生時などに積極的にユーザーに知らせることを目的としたものであった。本研究では、空間環境に溶け込み他者に影響を与えないレベルで存在する音響に情報を組み込んでおく。そして事前に学習したユーザーを対象にしておくことで、他者の作業に影響することなく、必要とした人のみが必要とする時に情報を取得出来るようにするための研究である。本研究では、このシステムを実現させるための基礎的な検証実験を行い、環境音の設計指針について提示する。

Research of the Information Recognition Using the Ambient Sound

KAZUKO TOBITA^{†1} RYO SAKIHARA^{†1}
TAKUJI TOKIWA^{†2} HIROHIKO HONDA^{†1}

Abstract: Information transmission by the PC so far, was intended to inform the user actively in such an event occurs as a notification sound mainly. In this study, We should incorporate the information into sound that is present at a level that does not affect the others blend into the space environment. Then, it is the study only the user who learned in advance can get the information without affecting the work of others. In this study, we performed a basic experiments for realizing the system and present the design guidelines of ambient sound.

1. はじめに

我々は、出力されていても意識しないと気にならず、周りの人にも影響が少なく場の雰囲気や乱さない音によるインターフェースの設計について提案している。まず基礎的な実験を行い[1]、今回はその続きとなる実験を進めた。

日常生活では様々な環境音に囲まれているが、意図的に発音されているものも多い。特に情報を伝達する手段として報知音が利用されており、大型の業務システムから家電製品に至るまで様々な報知音（例：電子レンジの終了音、冷蔵庫の閉忘れ、スマートフォンの操作音など）が使われてきた。しかし報知音の特徴から、限定された対象者のみに発せられるのではなく、また瞬時に理解させる必要性から対象者の意識が音に向くように警告性を持った種類の音を使用している場合が多い。音の種類にしても聞き手側の選択性が低く、その情報を必要としない人に対しても様に提示されるという短所がある[2]。その為、利用する音の音色や音質について、また適切な箇所に必要な数だけ使用するという、音のデザインに関する研究は、「サイン音（様々な情報を伝達する為に鳴らされる音）」、「製品の音」、「サウンドスケープ・デザイン」、「公共空間の音環境デザ

イン」といった様々な分野で検討されてきた[3] [4] [5] [6] [7] [8][9]。例えば、大橋正興らの研究では、PCのセキュリティ情報をインテリア用のランプ、スクリーンセーバー、環境音を用いて提示するシステムを提案している。主要なコンセプトが「生活空間に埋め込む、やわらかい情報提示」の2つであり、本研究に通じるところがある[10]。椎尾一郎らの研究では、香りを使い情報提示を行う稼働状況発信機能を持つコーヒーマーカとその受信機能をもつアロマ発生器を提案している[11]。音や香りに限らず、日常生活の環境や日用品等の様々な要素を利用して情報提示を行うユビキタスコンピューティングも、多くの分野に広がっている[12]。また、サイン音に関する設計手法の研究[13]や、音色の多様化への提案もされてきた[14]。

いずれも、周りの人間に対する配慮や、環境への秩序を乱さないように考慮された設計ではあるが、そもそもサイン音が対象者へ瞬時に過不足なく伝えることが目的であるため、全方位的な出力という点からも、その場にいる周りの人へ全く影響なく発せられているということはない。対象者のみが知れば良いケースとして、たとえばデパートなどの建物内の販売員に対し、雨が降ってきたことをBGMの曲を変更することで伝達するという方式がある（包装に雨対策をすることを促すことが目的）。この場合は、予め学習しておくことを条件とした有効な情報伝達ではあるが、他者に対してもその変化は気づきやすく、不自然であったり違和感がある。このように従来のサイン音であれば、対

^{†1} 湘南工科大学
Shonan Institute of Technology.

^{†2} 合同会社アライアンス・ポート
Alliance Port, LLC (Limited Liability Company)

象者の意図に拘らず、状態が変化した瞬間や、出力する側が意図した瞬間に発せられ、対象者に意識を向けさせるためわかりやすい音であり、回りの人間にも少なからず影響を及ぼすことになる。また、煩わしいと感じるところまでいかないまでも、場の雰囲気や乱してしまう可能性がある。

一方、情報取得という観点からは、必ずしも何らかのイベントが発生した瞬間や変化が生じた瞬間でなくとも、知りたいと思った時に認識できれば有効となる情報も存在する。たとえば、モーター機器などの回転音や空調音などは、普段はその存在や変化に意識を向けることがないが、それが駆動しているのかあるいは状態変化が生じているのかといった確認は、意識を向けた時に知ることができればよい。これらは ON/OFF 情報だけでなく、徐々に状態が変化するものに対しても有効である。また、PC などの画面情報や、継続的なジョブの処理状況などは、ユーザーが他のタスクを行っている最中でも知りたくなる場合がある。当然、ユーザーが何らかの操作をすれば情報を得ることができるが、その時にタスクを中断したり、姿勢を PC 側に向けるなどすることで作業効率が低下する可能性がある。

そこで我々は、必要な人だけが必要とする時に情報を取得できる新たなインターフェースシステムについて提案をおこなう。本研究は、サウンドを利用したユーザーへの情報伝達という点では従来研究と同等であるが、環境音に情報を盛り込むことで周りへの影響を最小限にし（周りの人が気にならない）、知りたいと思った時に情報を取得できる仕組みとしている。特に、サイン音の宿命となっているユーザーの意思に関係なく機器側から都度発せられるものではなく、ユーザーの意思を介在させながらも、ユーザーが何も操作することなく、知りたい時に情報を取得できるといった点が特徴である。本発表では、このシステムを実現させるためのサウンド設計指針となる基礎的な検証実験について報告する。

2. 利用音の試行実験

本研究では環境音に情報を溶け込ませることを想定しているが、複数の情報を保持するためには、定常波ではなく、時系列的な変化を持たせるか、複数の音源を組み合わせる必要がある。そして予め、各音源に意味づけられた情報を学習しておき、意識した時に音を聞いて、瞬時に聞き分けられなければならない。組み合わせた音が混濁して聞こえてしまい識別ができず、情報が取り出せない。そこで本研究では、音楽系メロディのあるいくつかの楽曲を用意し、その組み合わせによる識別可能性について検証を行った。使用した楽曲は、日本語楽曲、シンセサイザーパートの強い英語楽曲、ドラム系楽曲、Sweep 系システム楽曲の 4 種類を用意した。これらを単音、2 楽曲重ね、3 楽曲重ね、4 楽曲重ね、2 楽曲から 4 楽曲重ねの各状態でヒ

アリングし、識別の正答率を求める実験を行った。

実験では、20 代から 40 代の男女 5 名に対して、リラックスした状態でスピーカーから 3m の距離で他に雑音のない状態でヒアリング実験を行った。最初にすべての楽曲をそれぞれ数回聞き、慣れによる影響を避けるようにした。楽曲を流し始めてから 10 秒以内にどの楽曲が流れているかを被験者が答えた。実験結果を表 1 に示す。

表 1 音楽系メロディの組み合わせによる識別実験 (%)
Table 1 Distinction Experiment by The Combination of Music System Melodies. (%)

楽曲の種類	単音	音の重ね合わせ				全体平均
		2 音	3 音	4 音	2~4 音	
日本語楽曲	100	97.5	92.2	—	—	96.6
英語楽曲 シンセサイザー系	100	92.5	81.1	—	—	91.2
ドラム系	100	96.7	97.8	—	—	98.1
Sweep 系	85.7	95.2	95.2	95.8	92.7	92.9
全体平均	96.4	95.5	91.6	95.8	92.7	—

実験結果から、音の種類別の平均値の最低は 91.2%、単音識別の平均値は 96.4%、複数音識別の平均値の最低は 91.6%であった。特に単音での識別は予想通り容易に可能であった。一方で主観結果からは、短い実験時間（1 回の回答時間 10 秒）にも関わらず、楽曲を重ねた場合、音が増えた分だけ煩わしさは増し、音を流し続けるのには適していないことも分かった。重ね合わせると、テンポにずれ等が生じる事から、不快に感じる結果となった。また、楽曲は嗜好性が強く出るので、単音で鳴らした場合でも、煩わしさが高くなることも分かった。以上の理由から、本研究の利用音としては向かないと考えられる。

3. ホワイトノイズを用いた実験

3.1 利用音の再検討

2 章における実験では、提示する音が連続性を持って変化する音ではなく、状態変化に合わせてその瞬間、切り替わる仕様であった。また、音量が一定などの規則性があることから、音の利用の仕方が環境の模倣になっていないと考えられる。環境音は、音が大きくなったり小さくなったり、鳴るタイミングなどがランダムで規則性はない。そこで、本実験ではフェードインとフェードアウト、クロスフェードを使い、環境の模倣に近づける利用の検討を行った。

メロディのある楽曲の組み合わせで分かった問題点を元に、特に嗜好性の影響を減らす為、音色のない音である

純音とホワイトノイズを検討した。連続した純音は、スピーカーのドライバを発熱させ、スピーカーの性能劣化の原因となる場合がある。また、聴覚に対して悪影響を及ぼす場合がある。そこで、ホワイトノイズを用いることとした。しかし、ホワイトノイズは音色が一定の状態になるので、バンドパスフィルターを利用して周波数構造に特徴を与えられるようにした。実際には、オクターブピッチを利用して「500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz」を中心としたホワイトノイズの単音と2音重ねの組み合わせ5種類を用意し、図1で示したアプリケーションを用いた。2音重ねの組み合わせは、ベース音に重ねる音（以下、追加音）を2種類使い切り替えることで、一つの音源に変化をもたせた。また、追加音が鳴るタイミングと追加音の連続再生時間はランダムに設定して、規則性をなくした。実験の種類としては、①音色変化の知覚、②煩わしさの度合い、③音の識別（正答率）の3点に焦点を絞って目的に沿った実験方法で3種類の実験を行った。



図1 実験用のアプリケーション画面
Figure 1 Application Screen for Experiments.

3.2 音色変化の知覚

実験では、20代から40代の男女5名に対して、リラックスした状態でスピーカーから3mの距離で他に雑音のない状態でヒアリング実験を行った。また、被験者同士が背を向け合い一人の環境を擬似的に作り、周りの影響を受けない状態で、2音重ねの組み合わせ5種類をランダムに選び2分30秒鳴らし、被験者には音の変化を知覚したら挙手をしてもらった。各音源で変化は4回あり、1音源のみ変化は1回である。結果を表2に示す。

表2 音色変化の知覚の実験結果（人数）

Table 2 Experiment Results by The perception of Sound Change. (Persons)

	実験の回数				
	1	2	3	4	5
ハズレ値	0	0	1	0	0
変化1	4	5	5	5	4
ハズレ値	0	0	1	0	0
変化2	5	5	/	5	5
ハズレ値	0	1	/	0	1
変化3	5	5	/	5	5
ハズレ値	0	0	/	1	0
変化4	4	2	/	4	4
ハズレ値	0	1	/	1	1

実験結果から、被験者の半数以上が、音が変化してから15秒以内に変化を知覚できていた。特に、変化2と変化3は、追加音が切り替わる場所でクロスフェードとなっていたが、全被験者が変化を知覚できていた。ハズレ値となる、変化していない時に挙手した被験者もいたが、それぞれが違う場所で挙手していた。しかし、変化4後のハズレ値は、3名が挙手している。ここは、追加音がフェードアウトした後で、フェードアウトは知覚が難しかったと考えられる。

3.3 煩わしさの度合い

実験では、20代から40代の男女5名に対して、リラックスした状態でスピーカーから3mの距離で、雑談（5名対象）をしている環境とタスク（3名対象）をしている環境を擬似的に作りヒアリング実験を行った。2音重ねの組み合わせ5種類をランダムに選び2分30秒鳴らし、ワンルーチンが終わった後にアンケート用紙に煩わしさの度合いを5段階で、音の印象差を3段階で評価してもらった。結果を表3～表6に示す。

表3 煩わしさの度合いの回答：雑談（人数）

Table 3 Experiment Results by The Degree of Complication: Chat (Persons)

煩わしさの度合い (5段階評価)	実験の回数					
	1	2	3	4	5	6
全く気がつかない (指摘されると気がつく)	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0	0
鳴っている事は分かっているが 他の作業の邪魔にはならない	3	4	3	3	5	3
	1	1	0	1	0	0
煩わしくて 耐えられない	1	0	2	0	0	2

表 4 音の印象差についての回答：雑談（人数）

Table 4 The Answers About Impression Difference of Sound:
Chat (Persons)

音の印象差（3段階評価）	実験の回数				
	2	3	4	5	6
一つ前の音源の方が、 印象が良い	0	5	1	1	2
どちらも同じ位の印象であり、 差はない	3	0	0	1	2
今の音源の方が、印象が良い	2	0	4	3	1

表 5 煩わしさの度合いの回答：タスク（人数）

Table 5 Experiment Results by The Degree of Complication:
Task (Persons)

煩わしさの度合い （5段階評価）	実験の回数					
	1	2	3	4	5	6
全く気がつかない （指摘されると気がつく）	3	0	0	0	1	2
	0	2	0	1	1	1
鳴っている事は分かっているが 他の作業の邪魔にはならない	0	1	3	2	1	0
	0	0	0	0	0	0
煩わしくて 耐えられない	0	0	0	0	0	0

表 6 音の印象差についての回答：タスク（人数）

Table 6 The Answers About Impression Difference of Sound:
Task (Persons)

音の印象差（3段階評価）	実験の回数				
	2	3	4	5	6
一つ前の音源の方が、 印象が良い	2	3	1	0	0
どちらも同じ位の印象であり、 差はない	0	0	1	1	0
今の音源の方が、印象が良い	1	0	1	2	3

実験結果から、煩わしさの度合いでは、雑談の場合「全く気がつかない」と答えた被験者はおらず、その次の選択肢も1人であった。ただし、「煩わしくて耐えられない」と答えた被験者が複数人いるので、研究の利用音としては問題となる。また、同じ手順で環境だけを変えた実験結果からは、「煩わしくて耐えられない」と答えた被験者はおらず、間逆の「全く気がつかない」と答えた被験者が複数名いた。雑談の実験後にタスクの実験を行ったので、音に対する慣れも含まれて「全く気がつかない」との回答になったとも考えられる。ただ、同じ音を使っているにもかかわらず0名の選

択肢が間逆になったことから、環境の違いによって印象は変わることが見てとれる。

3.4 音の識別（正答率）

実験では、20代の男性3名に対して、リラックスした状態でヘッドフォンを使い、単音と2音重ねの識別実験を行った。最初にすべての音を2回聞き音の復習をしてから、音を流し始めてから10秒以内に流れている音を被験者が答えた。結果を表7に示す。

表 7 音の識別の実験結果（%）

Table 7 Experiment Results by The Determination of Sound.
（%）

	Cさん	Dさん	Eさん	全体平均
1音	100	100	50	83.3
2音	100	70	70	80
個人平均	100	85	60	

2章のメロディのある楽曲の組み合わせ結果と比較すると、単音の全体平均値96.4%に対してホワイトノイズは83.3%、2音の重ね合わせの全体平均値95.5%に対して80%なので、全体的に13~15%正答率が低いことが分かる。

また、実際の環境を模倣して、ヘッドフォンで静寂の環境を、スピーカーから3mの距離で雑談、タスクをしている環境を擬似的に作り音の識別実験を行った。2音重ねの組み合わせ5種類をランダムに選び2分30秒鳴らし、特定のタイミング（1音源につき3回質問）で10秒以内に流れている音を被験者が答えた。質問のタイミングは、音源によって変えている。結果を表8に示す。

表 8 環境別の実験結果（%）

Table 8 Experiment Results by The Different Environment.
（%）

		Cさん	Dさん	Eさん	全体平均
静寂	1問目	50	66.7	66.7	61.1
	2問目	50	33.3	100	61.1
	3問目	66.7	83.3	83.3	77.8
	4問目	83.3	83.3	100	88.9
	個人平均	62.5	66.7	87.5	
雑談	1問目	66.7	50	66.7	61.1
	2問目	66.7	50	83.3	66.7
	3問目	66.7	50	66.7	61.1
	4問目	66.7	83.3	83.3	77.8
	個人平均	66.7	58.3	75	

タスク	1問目	33.3	66.7	66.7	55.6
	2問目	50	50	83.3	61.1
	3問目	83.4	100	75	86.1
	4問目	83.3	83.3	83.3	83.3
	個人平均	62.5	75	77.1	

実験結果から、一つ前の実験と同じ2音の識別であるが、正答率は3名中2名は低くなり、1名は高くなった。環境の違いにより、被験者の正答率に差は見られるが、被験者の人数が少なく、全体的な傾向は識別できる段階ではない。ただ、全体平均から見ると、問題数を重ねることで、正答率の上昇傾向が見られる。しかし、各被験者の個人平均の最高値と最低値の環境の関連性は見てとれなかった。被験者3名中の2名が、個人平均の最低値が雑談の環境であった。他の環境に比べて「音」に関係のある状態であることから、正答率が下がった可能性もあるのではないかと考えられる。

しかし、「録音技術者（専門家）に対して行った聴能テストの正答率が、楽器経験無しで60%以上、楽器経験有りで85%以上の結果[10]」より、専門家ではない私達の結果が、最低でも60%以上であることは、実験結果としては有効な数値であると考えられる。

4. おわりに

本研究は、出力されていても意識しないと気にならず、周りの人にも影響が少なく場の雰囲気を変えない音によるインターフェースの設計である。本論文では、有効な音響を設計するための試行段階として、メロディのある楽曲よりもホワイトノイズでの実験に有効な傾向を見出すことができた。しかしながら、煩わしさや識別性という点では課題が残る。今後は、煩わしさの対処としては、ホワイトノイズよりも環境音に近いルームノイズやダクトノイズやファンノイズなどにフィルターをかけた音での識別性や煩わしさについて検討する。また、識別性を高める為に、母音になぞらえることで音色が伝えられる可能性のあるフォルマントの利用についても検討する。

また、音の種類を変えるだけでなく、音の構成を変えることも検討していく。例えば、音のダイナミックレンジの時間経過と共に変化をつける。音が切り替わり時のフェードインやフェードアウト、クロスフェードなどの時間幅を変えることでの印象変化を見るなど。どのように音のデザインをすれば、場の雰囲気を乱すことなく、必要な人だけが必要とする時に情報を取得できる音環境を作れるのか。多様な角度から検討していきたい。そして、本研究以外にも、目的に沿って音のデザインを選べるような提案をしていきたい。

謝辞 実験にご協力頂いた、葛西成泰氏、宮川みゆき氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 崎原諒, 飛田和子, 常盤拓司, 本多博彦: 他者に影響を与えない環境音からの情報取得の研究, 電子情報通信学会, HCG シンポジウム 2014, HCG2014-C-8-5, pp.261-264 (2014).
- 2) 岩宮眞一郎: 音響サイエンスシリーズ 1 音色の感性学 音色・音質の評価と創造, コロナ社 (2010).
- 3) 土田義郎, 平手小太郎, 安岡正人: 音による情報伝達についての基礎的考察, サウンドスケープ, Vol.2, pp.15-22 (2000).
- 4) 片倉憲治: 音のユニバーサル・デザイナー—家電製品報知音の標準化—, 日本音響学会誌, Vol.58, No.6, pp.360-365 (2002).
- 5) 桑野園子: 音質デザインの方向性, 日本音響学会誌, Vol.64, No.9, pp.551-555 (2008).
- 6) 戸井武司: 快音設計と事務機器への応用, 日本音響学会誌, Vol.64, No.9, pp.571-575 (2008).
- 7) 鳥越けい子: サウンドスケープが拓く音環境デザインの新たな地平, 環境工学総合シンポジウム講演論文集, Vol.2006, No.16, pp.47-52 (2006).
- 8) 岩宮眞一郎, 中川正規: 擬音語を用いたサイン音の分類, サウンドスケープ, Vol.2, pp.23-30 (2000).
- 9) 和氣早苗: 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, システム制御情報学会誌, Vol.54, No.11, pp.411-417, Nov (2010).
- 10) 大橋正興, 塚田浩二, 小池英樹: Secure Sense:生活空間でセキュリティを「感じる」ための情報提示環境, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.2003, No.7, pp.93-94 (2003).
- 11) 椎尾一郎, 美馬のゆり: Meeting Pot アンビエント表示によるコミュニケーション支援, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.2001, No.5, pp.237-238 (2001).
- 12) 椎尾一郎, 中西泰人: ユビキタスコンピューティングにおけるヒューマンコンピュータインタラクション, 人工知能学会誌, Vol.19, No.4, pp.418-424 (2004).
- 13) 和氣早苗, 上窪真一, 福住伸一, 旭敏之, 広明敏彦: 音響インタフェース設計手法"報知音多次元設計手法"確立への一考察, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-II, No.10, pp.1721-1728, Oct (1999).
- 14) 北村音彦, 佐々木貴監修, 岩宮眞一郎, 大橋心耳(編), 音の完成を育てる—聴能形成の理論と実際, 音楽之友社 (1996).