



身の回りを「聴こえる化」する

—視覚障害者のための可聴化技術—

松原正樹（筑波大学）

視覚障害と聴覚認知

視覚障害者のうち、全盲者の中には離れた場所にある物体の方向や距離を当てる、障害物知覚と呼ばれる能力を持つものがある。科学的な解明がなされる前は謎であったが、1940年代以降の研究により障害物知覚は聴覚認知によって成り立つことが分かった¹⁾。環境音と自ら発する音（自発音）の遮音や反射の様相から音響的に物体を知覚しているのである。

しかし障害物知覚は全盲者全員が行えるわけではなくある程度の聴覚経験が必要である。後天性の視覚障害の場合は自発音の反射を聴き分ける経験が少ないため、障害物知覚訓練システム²⁾などによりリハビリを行うことがある。訓練システムには視覚障害者の聴覚認知特性を活かし、後述する聴覚ディスプレイ技術が用いられることが多い。

視覚障害者の聴覚認知に関する研究は支援技術の開発だけにとどまらない。障害物知覚は誰もが潜在的に持っている能力の1つで、晴眼者も訓練次第で習得できることも分かっている。人がもともと持っている聴覚認知能力を引きだすよう、聴覚ディスプレイによって身の回りを「聴こえる化」することで視覚障害者と晴眼者を分け隔てない社会が形成されるのを期待する。

音を用いた情報伝達

音を用いた情報提示や音を出力するシステムを総じて聴覚ディスプレイ（Auditory display）と呼ぶ³⁾。耳をかたむけると身の回りには、電車の発着音や家電製品の完了音、心電図やガイガーカウンタ

など聴覚ディスプレイで溢れている。視覚障害者向けの聴覚ディスプレイとしてはText to SpeechやSpearcon^{☆1}といった音声読み上げ機能、vOlce^{☆2}やAuditory graphによる画像やグラフの音提示、Navigation Systemや障害物知覚訓練システムといった空間認知補助技術が提案されてきた。

表-1は聴覚ディスプレイのメリット（文献3）、p.6）である。音波が時系列信号であるため聴覚を通して理解できるのは時間的情報に限られると思われがちだが、両耳に届いた音の差分に基づいて空間的情報やオブジェクトの認知も行っている。さらに聴覚はカクテルパーティー効果を有するので多人数が会話している中でも選択的に音を聴取できるためノイズに頑健である。これにより複数の混ざった音による情報伝達も可能である点も見逃せない。特別な統計処理や信号処理を施さずとも聴覚ゲシュタルトが形成され情報を識別できるのである。

可聴化技術

聴覚ディスプレイの重要な技術要素であるデータ可聴化（Data sonification）について述べる。Hermannらによって次のような可聴化の定義が提案されている⁴⁾：

データを入力とし、（何らかの制御によって）音響信号を生成する技術は、以下の条件を満たすとデータ可聴化と呼ばれる。

- (1) 音は入力データの特性や関係性を反映する。
- (2) 音への変換はシステムチックである。つまり、

☆1 <http://sonify.psych.gatech.edu/research/auditorymenu/>

☆2 <https://www.seeingwithsound.com>

特徴	利点や応用例
視覚を奪われない	視覚と組み合わせたモニタリング/視覚障害者支援
瞬時に検出可能	高ストレス環境下のモニタリング
警告性に優れる, 注意を向ける	注目する場所の示唆/データ探索
背景音として利用可能	大規模データ探索やモニタリング
並列的に聴取可能	複数プロセスのモニタリング/複数データセットの比較
時間分解能に優れる	広いレンジ(数ミリ秒~数秒) /時刻列データ
情動に訴える	学習がしやすい/複雑で質的な情報伝達
聴覚ゲシュタルト形成	データ全体の関係性や傾向識別/データ中の特異イベントの検出

表-1 聴覚ディスプレイのメリット(文献3), p.6)

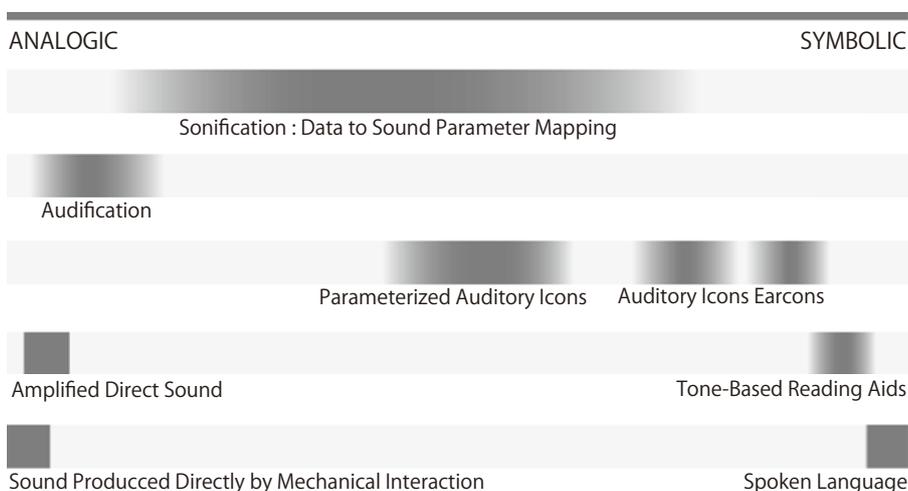


図-1 聴覚ディスプレイ技術の分類(文献3), p.24より抜粋)

データと音の変化の因果関係が明確に定義されている。

- (3) 可聴化は再現可能である。まったく同じデータと同じ制御によって生成された音は、構造的に等しくなければならない。
- (4) 可聴化のシステムは、ほかのデータを入力としても利用でき、そして同じデータを繰り返しても利用できる。

この定義では、データと音の関係性の明確な定義付けを要求しており、「再現性」「正確さ」などの要件により科学的に研究できることを保証している。すなわち、再現性が担保されているので、複数人を対象とした聴取実験を行うことも可能であり、またパラメタを変更して2つの可聴化音を比較するといったことも可能である。さらに音の生成がシステムチックであるため、出力音が複雑でも入力データをもとに定量的な解析ができることも特徴である。

Kramer はデータ可聴化を含む、聴覚ディスプレイの技術について Analogic, Symbolic という2つの対立軸で全体を俯瞰した(図-1)。Analogic とはある物理現象と表現メディア(この場合は音)に 一対一対応のような即時的で直接的な関係がとれることを指す。代表的な例はガイガーカウンタでその空間の放射線量に増減に応じてクリック音の増減も変化する。それに対し Symbolic とはある混合された情報のある離散的な要素に表現する中で、その関係性が本来備わっていないものを指す。代表的な例はアラーム音であり、ある(複雑な)イベントが起きたときに特定の音で知らせることができる(イベント構造とアラームの仕組みには直接的な関係がない)。これらの軸は連続的で厳密には境目がない。下段が対照的な2つの例で、音声言語が最も Symbolic なのに対し、機械操作で発生する音は最も Analogic である。下から二段目が支援技術の例、

上三段が可聴化技術の例^{☆3}である。以下、順に可聴化技術について述べる。

Audification

音以外の時系列信号 (Time-series signal) をそのまま音響信号に見立てて再生する方法を Audification と呼ぶ。代表的な例は地震波を音響信号に見立て再生速度を変えてモニタリングを行うものである。その他、脳波や筋電信号を音として再生することが試みられてきた。

イヤコン・聴覚アイコン

サイン音を含め、特定のイベントを短い音で表現したシステムをイヤコン (Earcon) あるいは聴覚アイコン (Auditory Icon) と呼ぶ。イヤコンは楽譜で表現されるような記号的な作用を持つ音であるのに対し、聴覚アイコンは環境音など具体的な音からイベントが類推できるという違いがある。たとえば、PC から流れるメロディによって OS が起動や終了したことを区別し理解するのがイヤコン、紙をクシャクシャにしてゴミ箱に投げ捨てるような音を聴いてファイル削除を連想するのが聴覚アイコンである。

パラメタマッピング

上記以外の方法としてほとんどの可聴化システムが採用しているのがパラメタマッピング (Parameter Mapping Sonification) である。データの特徴的なパラメタを、リズムや振幅などの音のパラメタに対応づける方法である。聴覚は先に述べたようにリズムの知覚だけでなく、音の強さや高さ、音色、音源の方向などを同時に知覚することができるため、データの複数の特徴を複数の音のパラメタに割り当てることが可能である。

視覚障害への可聴化応用

近年では可聴化研究が進み視覚障害のさまざまな

^{☆3} Kramer の分類では audification, sonification, Earcon 等が別々に分類されているが、本稿では広義の意味でどれも可聴化技術と見なす



図-2 GaitEcho: 聴覚フィードバックによる歩行リハビリシステム⁵⁾

分野へ応用されている。

スポーツ分野ではパラリンピックの射撃競技において、視覚障害を持つ競技者のために可聴化音による位置情報を知らせる仕組みがある。Hamburg 大学のグループが行っている研究プロジェクトではボート競技のトレーニング目的で漕ぎ動作の可聴化を行っている^{☆4}。ボートはチームで行う競技のためそれぞれの選手の漕ぎ方をそろえることが求められる。可聴化音によってテンポや力のかけ具合を合わせることができるようになる。

またリハビリテーション分野では筑波大学と筑波技術大学のグループが行っている視覚障害者の身体運動訓練のための研究プロジェクトがある。身体動作に伴い変化する筋電信号を可聴化し本人に動きを理解させる聴覚バイオフィードバックの枠組みを用いリハビリ訓練システムを構築している。

そのうちの1つに筆者らが提案した歩行リハビリのためのウェアラブル聴覚フィードバックシステム GaitEcho⁵⁾ がある (図-2)。全盲者と晴眼者を対象に GaitEcho を用いて運動タスクを行い、どちらも同様に正しい運動ができたことを確認した。

図-3 は実験中の運動タスクにおける参加者の理解

^{☆4} <http://www.sofrirow.de/english.html>

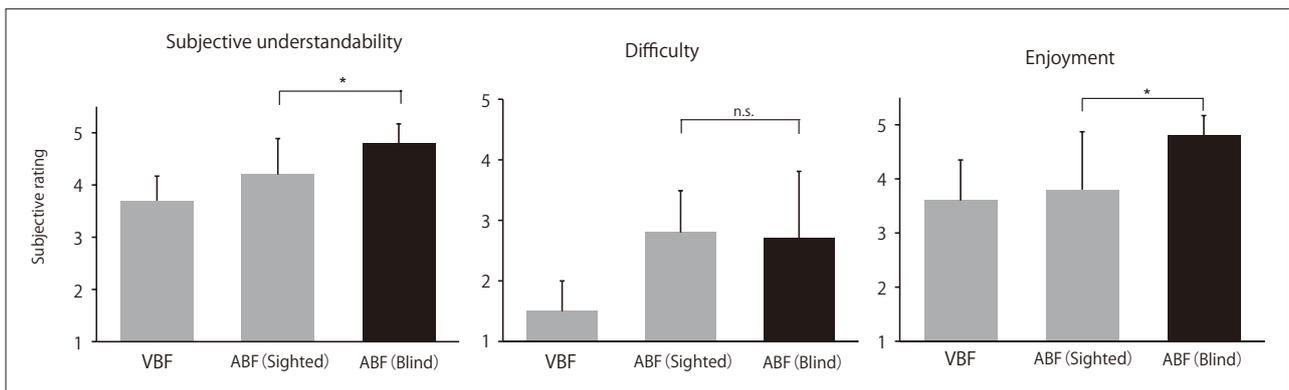


図-3 GaitEcho を用いた実験タスクにおける実験参加者の理解度, 難易度, 楽しさの主観的評価(それぞれ5 が分かりやすい, 難しい, 楽しい, の評価. VBF は視覚, ABF は聴覚バイオフィードバックの略. Sighted は晴眼者, Blind は全盲者, * は 5%有意, n.s. は有意差なしを示す)

度, 難易度, 楽しさの主観による 5 段階評価である。晴眼者に比べて分かりやすい, 楽しいといったことに有意差が見られた。可聴化音が鳴った瞬間, 全盲者が笑顔になったことや「身体が楽器になったようで楽しい」といったコメントがあり, 情動面での効果も確認された。

最後にコミュニケーション支援の分野では著者らが笑顔可聴化を進めている⁶⁾。視覚障害者が自身や相手の表情がどのようなものであるか音によって把握し円滑なコミュニケーションを実現する。

いずれの応用例も可聴化音が視覚障害者だけのためではなく, 周りにいる人が様子を共有できることが特徴である。目に見えない身の回りのものを可聴化させインクルーシブな情報社会を目指したい。

参考文献

- 1) Supa, M., et al. : "Facial Vision": The Perception of Obstacles by the Blind, *American Journal of Psychology*, Vol.57, pp.133-183 (1944).
- 2) Seki, Y., et al. : A Training System of Orientation and Mobility for Blind People Using Acoustic Virtual Reality, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol.19, Issue 1, pp.95-104 (2011).
- 3) Kramer, G. : *Auditory Display -Sonification, Audification, and Auditory Interfaces-*, Westview Press (1994).
- 4) Hermann, T., et al. : *The Sonification Handbook*, Logos Verlag (2011).
- 5) Matsubara, M., et al. : An Instrumented Ankle-Foot Orthosis with Auditory Biofeedback for Blind and Sighted Individuals, *IEEE Multimedia*, Vol.22, No.1, pp.68-73 (2015).
- 6) Nakayama, Y., et al. : Real-time Smile Sonification Using Surface emg Signal and the Evaluation of Its Usability, *ICAD2015*, pp.152-156 (2015).

(2015 年 11 月 16 日受付)

松原正樹 (正会員) | masaki@slis.tsukuba.ac.jp

慶應義塾大学大学院修了。博士 (工学)。筑波大学知的コミュニティ基盤研究センター/図書館情報メディア系特任助教。日本認知科学会第 2 回野島賞。聴こえの熟達に興味を持ち, Cognitive Musicology, Assistive Technology の研究に従事。

