

博士論文概要書

立体音響を用いた車載情報機器の音声ユーザインタフェースに関する研究 Adapting 3D Sounds For Auditory User Interface On Interactive In-car Information Tools.

早稲田大学大学院 人間科学研究科 高尾 秀伸

研究指導教員：野呂 影勇 教授

本研究の特徴

近年、高度交通システム（以下、ITS）の発達に伴ってカーナビゲーションシステム（以下、カーナビ）など車載情報機器は外部ネットワークへの接続が可能となり、自動車空間の高度情報化が進んでいる。これにより、自動車を運転しながら同時にさまざまな情報を受け取り、情報機器操作を行う必要性が高まってきた。その一方で情報機器の呈示する情報の多くが視覚情報であるため、主作業である運転に負の影響があることが指摘されている。また、カーナビのモニタ注視前後の前方へ注意の働き方を検討した先行研究によって、運転中に視覚モニタを使用することは基本的に問題があることが指摘されている。

一方、聴覚は、視覚に次いで多くの情報量を扱うことができ、注意喚起機能に加えて情報の時系列的、逐次的な呈示の処理に優れた感覚チャンネルである。また聴覚は原理的に視覚の利用を必要としないため情報獲得に視線移動を伴わない。したがって視覚を使用した場合に比べて運転に対して低影響であることが予想される。しかし、聴覚は視覚のような情報の一覧が困難で情報の享受が直列的であり、聞き漏らした場合には再度新しい情報が得にくいなどの短所もある。そこで、本研究では立体音響に着目した。立体音響とは我々を取り巻く実音響空間と同様に全方位的に音を聴取することができる音響的な仮想現実のことであり、人間が立体的に音を聴取するために必要な頭部伝達関数(HRTF)を人工的に再現することができる。この点において、左右の音圧レベル差と時間差によって左右方向の広がりのみを再現した従来のステレオ音響に比べて、高い空間再現性をもっている。これをユーザインタフェース（以下、UI）に利用した場合、聴覚・音声情報に空間的な意味づけを付加することで音に対する注意を効果的に向けさせることができるといわれている。

そこで、本研究では、立体音響による聴覚・音声情報に空間的な意味づけを行い、これを車載情報機器から呈示する手法を提案した（図 1）。そして、自動車運転を行うと同時に情報機器からさまざまな情報を受け取り、操作を行う状況において、従来の単一音源から情報呈示を行う方式に比べて機器からの呈示音声情報を効果的に獲得できるかについて実験的検討を行った。評価は、多くの要因から構成される実走行環境では行わず、要因を限定することができるシミュレータ環境を実験室空間に構築して行った。

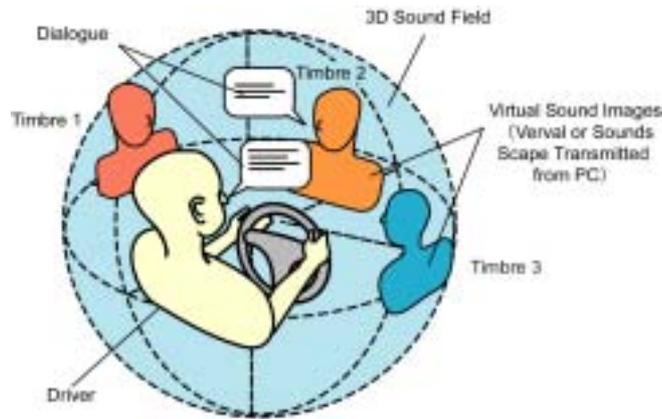


図 1 音源に空間的な位置情報を与えた UI

立体音響を運転・操縦環境における情報機器 UI に応用した先行研究はいくつか見受けられるが、その多くは視覚情報への注意喚起を目的としている。これに対して、本研究では積極的な聴覚・音声情報利用を支援するための検討を行った。これにより、現在の視覚中心の UI 設計手法に対して、新しい方略を示すことができると考えた。この点において類似研究はほとんど見当たらず、本研究の高い新規性が認められる。

本論文の各章の概要

まず、第 1 章において総論的に先行研究と比較することで本研究の立脚する場所の位置付けと新規性を明確化した。具体的には、まず、運転中に車載情報機器から視覚情報を獲得することの問題点を述べ、聴覚を利用した UI の必要性を述べた。つぎに、聴覚利用の問題点について述べ、空間的な位置情報を聴覚・音声情報に付加して意味づけを行うことで、運転者が情報を効果的に獲得できるのではないかという仮説を立てた。そして、立体音響を利用した UI 研究の多くが視覚情報への注意喚起を目的としていることを指摘したうえで、本研究が聴覚・音声を積極的に利用するための研究であることを位置づけた。最後に、本研究で用いた立体音響技術について述べた。

第 2 章においては、空間的に配置した音源数の増加が従来手法である単一音源からの呈示に対して有効であるかについて、音源数と音色数を要因とする実験を行った。評価指標は自由再生による単語記憶数と主観的な精神的作業負担を用いた。実験の結果、従来手法に対して音源数が 3 の場合、記憶成績の顕著な向上が認められ、かつ精神的作業負担の増加は見られなかったことから仮説の有効性が示唆された。同時に、音源数を増やしても記憶できる容量には限界があることが示唆された。

第 3 章では、逐次音声操作型 UI におけるユーザビリティ評価を行うための新しい手法を開発

し、効果の検討を行った。まず、ストーリーボード法と行動観察法を組み合わせたユーザテスト
ィング手法を開発した。つぎにこれを用いて、市販の音声対話型カーナビ3種類を対象に実車環
境におけるユーザテストを行った。その結果、操作中に機種に依存しない4種類のエラーが認め
られた。さらに、操作系が切り替わる箇所で音声誤認識エラーが発生し、機器から呈示された復
唱音声ユーザが理解できずに操作を進めた結果、音声誤認識エラーが連続的に発生してタスク
が失敗に終わってしまうパターンの存在が明らかとなった。

第4章では、第3章で明らかとなった復唱音声の問題を解決するために、複数の音声認識候補
を音声呈示して運転者に選択させるメニュー方式と、音声情報の内容を空間的な位置情報として
意味づける立体音方式の2種類の手法を提案し、効果の検証を行った。本研究では速度制御機能
をもったドライビングシミュレータと音声認識性能を統制した逐次音声操作シミュレータを作
成し、これらを同時に操作するデュアルタスク環境において実験を行った。評価指標は、復唱音
声の理解度をみるためにタスクの達成率を使用し、運転に対する影響および各条件における人間
の情報処理資源の消費を見るために運転中の速度不安定度を用いた。実験の結果、メニュー方式
と立体音方式を組み合わせた条件ではタスク達成率が100%、速度不安定度は従来手法を用いた
条件と同程度となった。以上から、逐次音声操作型UIにおいてメニュー方式と立体音方式を組
み合わせた呈示方式を用いることによって音声情報の理解に寄与し、かつ運転に対する影響が大
きくならないことが明らかとなった。

第5章では、ITS情報の優先度管理手法に基づき、情報の優先度と音源の空間的な位置情報と
を意味づけて呈示する手法の提案と実験的検討を行った。まず、運転者からみて水平面上前方
30°距離80cmの位置において低優先度情報である経路案内系情報を呈示中に、割り込む形で高
優先度情報である警報系情報を頭部近傍に呈示する手法を提案した。そして、水平面上前方30°
距離80cmの位置において呈示される低優先度情報と同一位置において高優先度情報が割り込み
呈示を行う、単一音源を用いた従来手法と比較を行った。実験は視聴覚情報が同時呈示される状
況を想定したシミュレータ環境において行った。評価指標は高優先度情報獲得の迅速性を見るた
めに反応時間を、正確性を見るために記憶成績を、そして運転に対する影響を見るために高優先
度情報呈示時の視覚モニタに対する視認頻度および視認時間を用いた。実験の結果、高優先度情
報を頭部近傍に呈示する提案手法では、聴覚による情報獲得の迅速性および正確性が従来手法に
比して顕著に高く、かつモニタに対する視認頻度が低い傾向にあることが明らかとなった。

本論文で得られた知見の概要

本研究では、立体音響による聴覚・音声情報に空間的な意味づけを行い、これを車載情報機器
から呈示する手法を提案した。そして自動車運転を行うと同時に情報機器からさまざまな情報
を受け取り、操作を行う状況において、従来の単一音源から情報呈示を行う方式に比べて、機器か

らの呈示音声情報を効果的に獲得できるかについて実験的検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

まず、音源の増加がもたらす基本的な効果を見るために、優先度をもたない情報を呈示して提案方式の有効性を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 従来の単一音源を用いた手法に対して、音源数が3の場合には記憶成績の顕著な向上が認められる。
- 2) 音源数を増やしても記憶できる容量には限界があることが示唆される。

つぎに、より応用的な状況として低優先度情報を用いて逐次音声操作を行う場合を想定した検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 市販の音声対話型カーナビを操作中には機種に依存しない4種類のエラーが考えられる。
- 2) 操作系が切り替わる箇所で音声誤認識エラーが発生し、機器から呈示された復唱音声ユーザが理解できずに操作を進めた結果、音声誤認識エラーが連続的に発生してタスクが失敗に終わってしまうパターンが認められる。
- 3) 音声認識候補を復唱音声としてメニュー呈示を行い、かつ音源の立体的な位置情報を加えることによって、人間における情報の整理が促進され、音声誤認識エラーの発生に対する理解が高まる。
- 4) 同時に、運転に対しての低影響化が図られる。

最後に、低優先度情報呈示中に割り込む形で高優先度情報を運転者の頭部近傍に呈示する手法を提案し、検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 高優先度情報獲得の正確性が顕著に高い。
- 2) 高優先度情報獲得の迅速性が顕著に高い。
- 3) 高優先度情報呈示時のモニタに対する視認頻度が低い傾向にある。

本研究では、車載情報機器のUIにおいて積極的に聴覚・音声情報を活用するために、空間的な位置情報を聴覚・音声情報に付加して意味づけを行う手法を提案した。そして、実験室における限定的な条件下で、従来の単一音源を用いた音声呈示手法との比較を行った結果、上記のとおりその有用性が認められた。実用化に向けての課題としては、実車環境における音響特性を考慮したスピーカ呈示システムの開発があげられた。同時に、より詳細な視線計測による「意識の脇

見」の検討，人間の情報処理モデルの概念を用いた記憶と注意の関係における詳細な検討，ならびに脳機能との関連性など生理学的な検討の必要性が示唆された．

今後，自動車運転環境における高度情報化は一層進み，非視覚メディアに対する期待はさらに高まると思われる．このようなニーズのもとで，従来に比して効果的な聴覚・音声情報活用を行うための新しい手段を本研究は示すことができたと結論づけられる．

以上