

単純光を用いた音の可視化方法の提案と評価

指導教員 藤岡 伸子 教授

山本 浩司

【1】研究の背景と目的

日本における自覚のある難聴者率は11.3%である。中でも65歳以上の難聴者数は約980万人に上り、高齢者の約29%が難聴であると推測できる¹⁾。また難聴者は歩行時に視界以外の情報を取得できず、周囲の危険に対する対応が難しい。状態別の交通事故死者数では、高齢者全体の54.2%を歩行中の事故が占めている現状がある。

聴覚障害者のための情報保障手段として最も有用とされるのは音の可視化による視覚情報への代替である。文字や記号、写真などを用いて音を可視化する既往の研究があるが、最も反応時間が早いと予測される単純光による評価はまだ行われていない。

そこで本研究では、歩行時の情報保障手段として単純光を用いた場合の反応及び光源色について、行動と心理の側面から評価し、単純光を用いた視覚支援の安全性を明らかにすることを目的とする。

【2】実験計画

2.1 実験概要 本研究は光反応タスク (T1) における反応時間が擬似歩行タスク (T2) や実際の歩行タスク (T3) によってどのように推移するかが要旨となる。そこで、実験1はT1のみ、実験2はT1とT2、実験3はT1とT3のタスクを行わせた。また、実験2のT2における、擬似歩行タスクを実際の環境により近づけるため、背景を実際の歩行映像とした実験2'を実験2の後に行った。

実験1、2、2'の被験者は計15名(男性9名、女性6名)、実験3では計5名(男性3名、女性2名)であった。全ての被験者は22~27歳の健康な学生であり、矯正視力0.7以上を有していた。

2.2 実験環境 本研究では、ブラザー工業株式会社の単眼光学透過型ヘッドマウントディスプレイ(以下、HMD)を用いた。使用したHMDについて表1に示す。HMDは、焦点距離1000mmで16インチ相当の画面サイズを800×600pixelで表示する。また環境に左右されずに視認性を保つために、HMDを不透過状態にして実験を行った。被験者には利き目側にHMDを装着させた。

検証材料として、HMDの画面の中心に100×100pixelの円を表示した。これは、実際の単純光の見え方を参考に大きさの設定をしたものである。また表示する色はRGB表色系から、原色となる赤、青、緑及び最も明度のある白とした。HMD画面表示に

表1 本研究で使用したHMD

単眼光学透過型HMD Brother AirScouter WD-B100		
外観	仕様	
	画素数	800×600pixel
	表示色	1677色
	画角	約22.4度
	外景光透過率	約50%
	本体重量	約64g

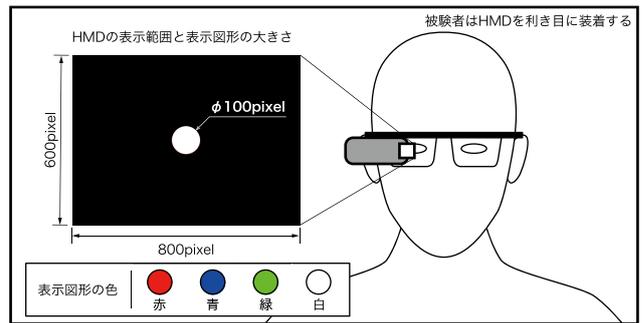


図1 HMD画面表示

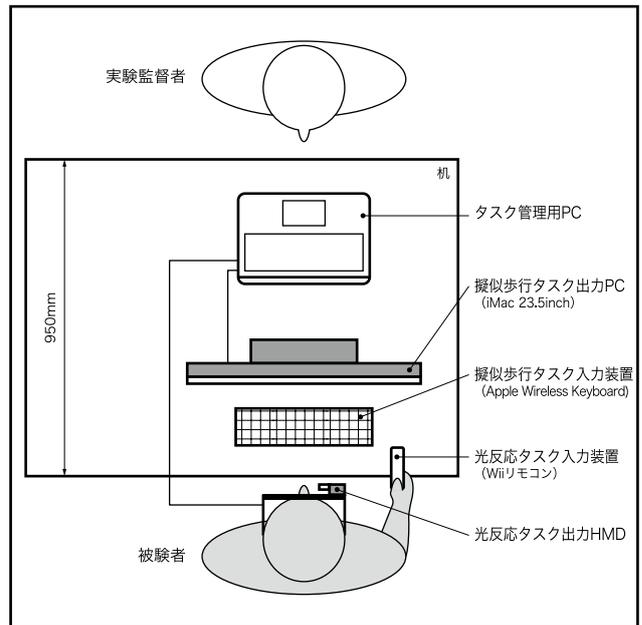


図2 実験環境

ついて図1に示す。

測定にはMac OSXのビジュアルプログラム環境Quartz Composerを用いて実験プログラムを作成し使用した。出力はHMD及び21.5インチiMacに、また被験者によるコンピュータへの入力、Wiiリモコン(型式:RVL-003)とApple Wireless Keyboard(JIS)を用いた。実験1、2、2'における実験環境について図2に示す。

2.3 タスク設定

HMDを用いた光反応タスク (T1)、歩行時の視覚的注意を再現する擬似歩行タスク (T2)、屋外環境下での歩行タスク (T3) を設定した。すべてのタスクについて被験者に十分な練習をさせた後に実験を行った。

〈T1 | 光反応タスク〉 HMDの画面上に表示される丸の色種を識別する選択反応課題である。Wiiリモコンの十字ボタンと4種の色を対応させ、提示される丸と対応する色のボタンを被験者に押させた。4種の選択肢は実験の難易度を上げ、反応時間の増加を招く恐れがあるため、選択肢を赤・緑、青・白の組み合わせのように2種に分け、実験を2回に分けて行った。また被験者には丸を見つけ次第、正確に色を判断し、できるだけ素早く反応ボタンを押すように指示した。光反応タスクの流れを図3に示す。

〈T2 | 擬似歩行タスク〉 iMacの画面上に表示される複数のランドルト環の妨害図形の中から、円環に切れ目のない標的図形を探す視覚探索課題を用いた。図形が画面奥から手前に向かって流れてくるように動画で表現した。また、その速さは成人の歩行速度4km/hとほぼ等しくなるように設定した。一度に表示される妨害図形は13個で、標的図形は1-3個とした。擬似歩行タスクの総時間は60秒であり、タスク開始から終了まで計18-19個の標的図形が表示されるようにした。被験者には標的図形を見つけ次第、1個につき1度だけキーボードのスペースキーを押すように教示した。擬似歩行タスクの流れを図4に示す。

〈T3 | 歩行タスク〉 実際の歩行時を想定して屋外での歩行動作を行いながら、HMDの画面上に表示される丸の色種を識別し、指定動作を行う複合歩行課題である。被験者は、設定された歩行ルートに沿って自由な速さで歩行しながら、指定された各動作を行う。各動作にT1における4種の色を2種ずつ割り当て、HMDの画面上に提示された色と対応した各動作を行う。動作は2種類あり、その場で立ち止まる停止動作と歩きながら手を挙げる挙手動作である。各動作後に実験監督者が被験者に指示をし、初期動作を再開させた。また被験者には丸を見つけ次第、正確に色を判断し、できるだけ素早く動作を行うように指示した。歩行タスクの流れを図5に示す。

2.4 評価方法

(1) 行動指標 各タスクの作業成績を評価するため、T1においてHMDの画面上に表示される丸に対する反応時間(msec)、誤答率(%)、及びT2で被験者がカウントした標的図形の数と表示された全標的図形の数(18-19個)とのずれ量(以下、カウンティングエラー)を計測した。

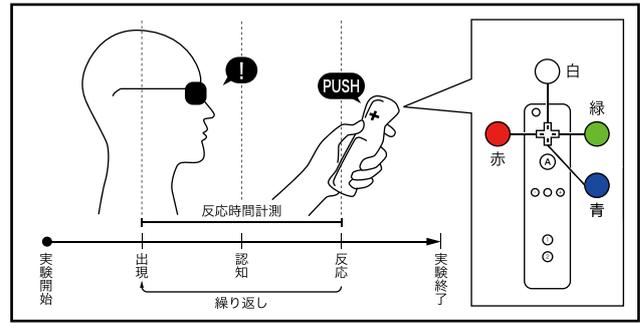


図3 光反応タスクの流れ

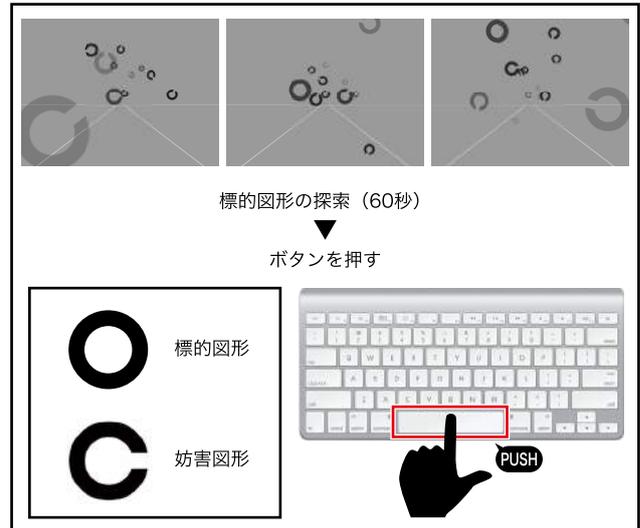


図4 擬似歩行タスクの流れ

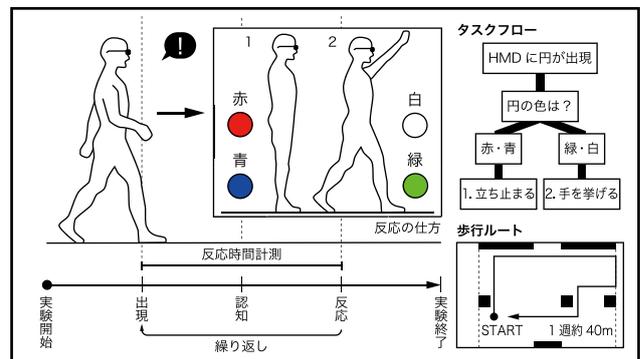


図5 歩行タスクの流れ

表2 NASA-TLXの評価項目

評価項目 (端点)	項目の説明
精神的要求 (小/大)	課題を実行中に、図形を探す、HMDの表示を見るなどどれくらいの知覚的活動が必要だったと感じたか
身体的要求 (小/大)	課題を実行中に、反応ボタンを押すのにどれくらいの身体的活動が必要だったと感じたか
時間的圧迫感 (小/大)	課題を実行するにあたって、課題の頻度または速度から感じた時間的圧力はどの程度だったか
作業達成度 (良い/悪い)	課題目標について、どの程度成功したか
努力 (少ない/多い)	与えられた課題の維持・達成にどの程度がんばったか
不満 (低い/高い)	作業中に、いろいろ、不安、落胆、ストレス、悩みなどをどの程度感じたか (作業がうまくできなかったという思い)

(2) 心理指標 被験者の主観的な精神的作業負担度の評価方法として、日本語版 NASA-TLX を用いた。各実験終了後に表2に示す評価項目について被験者に評価させた。総合値の算出には簡易手法である AWWL を用いた。また、各色の見え方について比較するために、3項目の評価基準について色ごとに順位付けさせた。

表3 光反応タスクの結果

実験	色	平均反応時間 (msec)	1000msec以下のサンプル率 (%)	提示数	誤答数	誤答率 (%)
1	赤	657 ± 142	97.0	105	6	5.7
	青	684 ± 218	93.5	99	0	0
	緑	688 ± 252	92.3	108	1	0.9
	白	671 ± 178	95.3	100	3	3
	計	675 ± 203	94.8	412	10	2.4
2	赤	800 ± 225	83.1	91	1	1.1
	青	901 ± 280	79.2	86	3	3.5
	緑	852 ± 233	79.1	78	1	1.3
	白	893 ± 243	79.5	78	6	7.7
	計	859 ± 248	80.5	333	11	3.3
2'	赤	806 ± 184	88.4	91	5	5.5
	青	862 ± 225	77.5	91	1	1.1
	緑	856 ± 264	83.8	78	2	2.6
	白	939 ± 318	73.4	77	3	3.9
	計	863 ± 253	81.2	337	11	3.3
3	赤	779 ± 309	91.7	33	0	0
	青	790 ± 274	93.1	34	0	0
	緑	752 ± 159	91.2	34	1	2.9
	白	829 ± 298	86.1	31	3	9.7
	計	786 ± 264	91.5	132	4	3

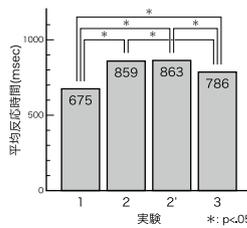


図6 各実験における反応時間の比較

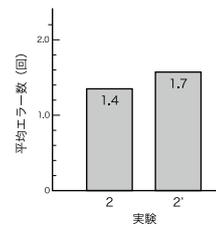


図8 カウンティングエラー数

表4 NASA-TLXの結果

	実験1	実験2	実験2'	実験3
精神的要求	25.3	64.3	71.7	49.0
身体的要求	24.3	50.6	64.1	32.2
時間的圧迫感	29.8	62.3	62.4	36.0
作業達成度	23.3	53.8	54.4	27.0
努力	18.6	64.1	73.3	45.2
不満	20.5	49.7	55.1	27.2
AWWL	29.6	63.9	70.3	42.2

数値が大きいほど負担が大きい

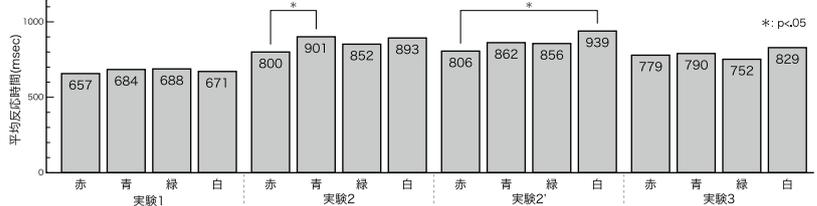


図7 各色における反応時間の比較

【3】結果と考察

3.1 行動指標 平均反応時間、反応時間 1000msec 以下のサンプル率、誤答率の結果を表 3 に示す。平均反応時間に関して、全ての実験及び色に対して 1000msec 以下という結果になった。これは、一般に人の知覚反応時間が 0.7-1 秒程度とされる危険回避の知見²⁾に当てはまる結果であり、単純光を用いた情報保障の有用性が示されるものと考えられる。

反応時間 1000msec 以下のサンプル率に関して、実験 1、3 の全色では 90% 以上、実験 2、2' では 80% 以上のサンプルが反応時間 1000msec 以下という結果であった。視覚認知における知見³⁾として、運転者が規制標識を標識注意運転した場合の認知率は 84-90% であり、実験 1、3 はこれを十分に満たしたが、実験 2、2' では妥当な結果を得られなかった。

誤答率に関して、実験 1 の赤と青にのみ有意な差が確認できたが、提示数に対し誤答サンプル数が非常に少なくデータの信憑性が高いとは言えない。また各実験における誤答率は約 3% と低く、単純光を用いた色認知は誤認しづらい可能性が示唆された。

各実験における反応時間の比較の結果を図 6 に示す。各実験における反応時間に関して、実験 1 が有意に早く ($p < .0001$)、実験 3 が次点 ($p < .05$)、実験 2 及び 2' は最も遅い結果となった。実験 2、2' 間にも有意な差は得られなかった。実験 2、3 はともに視覚を扱う二重課題であったが、T2 と T3 を比較したとき、比較的人通りの少なく視界を広く保てる環境下における歩行ルートの確認は、標的を探しだす探索課題よりも視覚的な負担度が小さいと考えられる。また、歩行タスクの各身体動作についても負担の小さいものであったと推測できる。

各色における反応時間の比較の結果を図 7 に示す。実験 1、2、2' において、赤が最も平均反応時間が早く、実験 2 では青 ($p < .05$)、実験 2' では白 ($p < .005$) に対して有意に反応が早い結果となった。また、白

は実験 2'、3 において最も反応時間が遅く、これは、白以外の赤、青、緑は有彩色であり、実験環境色にない色であったため、彩度差が生じ明度差に加えて視認性が向上したと推測される。一方で、白は無彩色であることから、見えやすさの関係において機能する要素が明度差のみであり、結果として視認性が低くなったと考えられる。緑は、実験 2、2' では反応が 2 番目に、実験 3 では最も早かったものの有意な結果は得られなかった。

実験 2、2' におけるカウンティングエラーの結果を図 8 に示す。被験者ごとのデータのばらつきが見られ、実験 2、2' 間に有意な差は認められなかった。しかし、実験 2' のエラー数が実験 2 よりも大きくなる傾向が見られた。これは、背景が動画化し画面に生じた明暗が標的図形を視認しづらくしたためだと考えられる。

3.2 心理指標 NASA-TLX による精神的作業負担度評価の結果をそれぞれ表 4、図 9、図 10 に示す。NASA-TLX の 6 項目に関して、全ての項目で実験 1 が実験 2、2' に対して有意に小さい結果となった。実験の内容から、実験 1 の値が小さいという結果は妥当と言える。また、身体的要求では、実験 2' と実験 3 に有意な差があった。屋外での歩行タスクのような受動的な動作による身体的要求は比較的小さく感じられ、視覚探索課題による能動的な目線の動きに身体的負担を感じる事が推測された。

評価値の小さい順に 1-6 の重み付けを行った AWWL (Adaptive Weighted Workload) の値は、実験 1 が実験 2、2' に対して有意に小さく ($p < .0001$)、実験 3 についてもまた、実験 2' に対して有意に小さい結果となった ($p < .05$)。したがって、本研究における実験 2' が最も心理的に困難な課題であると言える。これは行動指標における結果と同様に、視覚的な負担度の大きさは身体的負担度の大きさよりも心理的な負担に影響すると推測できる。

【4】実験4

4.1 実験概要 これまでの実験から、HMDを用いた場合の反応は危険回避に要する時間的要件を十分に満たすことがわかった。これを情報保障手段として適当としたうえで、実際の光源の見え方を考察するために、LED光源を用いた実験4を行った。

本実験で使用した実験機とその詳細をそれぞれ図11、図12に示す。被験者には、実験3と同様に歩行ルートを歩きながら、実験機から発する光源を見つけ次第歩行タスクを行わせた。被験者及び実験環境は実験3と同様とした。

評価方法として、実験1-3と同様の各色の見え方の比較についての3項目、さらにHMDとの視認性の比較、屋外での使用、身体反応、情報保障手段として適性について4項目の5段階評価を行った。

4.2 結果と考察 それぞれの実験における色の見え方の結果を表5に示す。全ての項目に対して、赤の評価が高い傾向が見られた。また、実験1-3に関して白は高い評価を得たが、実験4では最も低い評価となった。本研究に用いた不透過仕様のHMDは、画面に侵入する環境光を遮り、画面と表示される円との間に明度差を生じさせることで一定の視認性が確保されていた。これに対して、実験4で用いた実験機のLED光源は光を遮断する仕組みがないため結果として視認性が低くなったと考えられる。また、「赤や青色の光は環境色にないためか、よく見えた」という自由記述からも無彩色である白における評価が相対的に低くなったと推測できる。

視認性が良いという項目では、実験1-3において白の値が有意に小さく、青が有意に大きい結果となった。また、赤、緑は光源条件によらず一定の視認性が得られた。また、体の反応がしやすいという項目についても同様の傾向が見られた。危機感を感じるという項目では、全ての実験において赤が最も評価が高く、青の評価が低い結果であった。いずれも一般的な色彩心理に沿う結果となった。

実験4の主観評価の結果を表6に示す。視認性、身体反応の項目において評価の中心値3を下回った。前述のように、視認性が低くなった結果、直感的な動作に移行できなかったものと考えられる。しかし、屋外での使用や単純光を用いることに対しては前向きな回答が得られた。HMDとの視認性の違いに戸惑う被験者が多く、単純光における一定以上の視認性を獲得することが評価向上のために必要となる。

【5】結論

本研究の結果から、一般的な危険回避の知見を満たし、屋外歩行時の情報保障手段として単純光が有用であるとわかった。また、歩行動作における精神的作業負担が伴う場合においても同様の結果が得ら

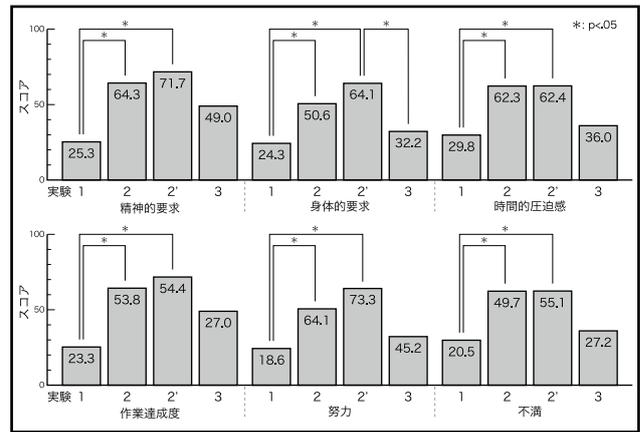


図9 NASA-TLX: 各評価項目の比較

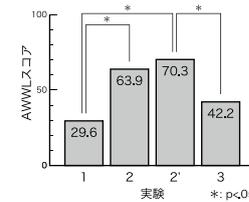


図10 NASA-TLX: AWWLの比較



図11 使用した実験機

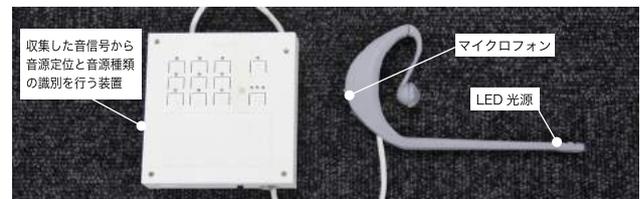


図12 実験機の詳細

表5 各実験における色の見え方の結果

評価項目	視認性が良い				体の反応がしやすい				危機感を感じる			
	赤	青	緑	白	赤	青	緑	白	赤	青	緑	白
実験1	2.4	3.7	2.3	1.7	2.4	3.5	2.0	1.9	1.1	3.4	2.9	2.6
2	2.3	3.1	2.5	2.1	2.1	3.1	2.4	2.4	1.3	3.1	3.0	2.6
2'	2.6	3.4	2.6	1.4	2.5	3.1	2.5	1.5	1.2	3.5	3.1	2.3
3	3.0	3.0	2.8	1.2	3.0	3.2	2.6	1.2	1.4	4.0	2.6	2.0
4	1.6	2.4	2.6	3.4	1.6	2.8	2.2	3.4	1.0	3.0	2.8	3.2

■ < 2.0, 3.0 < ■ 数値が小さいほど評価が良い

表6 実験4 主観評価

評価項目	平均値
HMDと比較して視認性が良いか	2.6
屋外での使用に適しているか	3.2
直感的に体が反応できたか	2.6
危険な状況を知るための方法として、単純光を用いることは適しているか	3.8

■ 数値が大きいほど評価が良い

表7 自由記述の一部抜粋

- ・視認性が良いと反応しやすいが、危機感とは比例していない。
- ・ディスプレイを中心にいても外視野でHMDの色に反応できた。
- ・画面が複雑になるにつれて、HMDの色の区別が付きにくい。
- ・体の反応は別にして、色の認識は特に意識しなくてもできた。
- ・HMDを見ていた方の目に少しの疲労を感じた。
- ・太陽光の下よりも、日陰の方が光は見やすい。
- ・単純光とHMDでは光の見え方が違う。
- ・赤や青色の光は環境色にないためか、よく見えた。
- ・歩行タスクのルートを曲がるときに注意がそれる。

れた。光源色については、赤色について高い評価が得られたが、単純光源そのもの及び無彩色光源を屋外で扱う場合には、環境光を遮り明度差を確保する必要があるとわかった。

本研究では歩行時において、情報量の少ない単純光を用いることで、直感的な動作を促し、人の反応時間の理論値を得ることができた。しかし、周囲の危険な状況を可視化して伝えるためには、音の方向や種類、危険度の大きさなどの表現についても今後研究する必要がある。

【注釈及び参考文献】

- 1) アノバム社、一般社団法人 日本補聴器工業会：JapanTrak 2015 調査報告
- 2) 林 洋：実用自動車事故鑑定工学、技術書院、p.204, 2002.4
- 3) 三井達郎、矢野伸裕、木平真：運転者の規制標識認知に影響する要因に関する研究、土木計画学研究・論文集、Vol.18, No.5, pp.833-842, 2001