

## 2. 音源数と音色数が記憶に与える影響の検討

---

### 2.1 本章の目的

機器操作を行う場合，人間の記憶に関わる認知的資源を効果的に使用することは重要である．特に，自動車運転という認知的に高負荷な作業を行いながら，別に情報機器操作を行いたい場合は，残された資源を有効に活用しないと，情報機器操作の作業性が低下するばかりか，運転に影響が出てくることが予想される．したがって，記憶に関わる資源をより有効に使うことのできる方式の検討は重要だと考えられる．この点において，従来の車載情報機器から呈示される音声は音源の位置（音源数）が単一であった．また，呈示される音声の種類（音色数）も 1~2 種類であった．しかし，人間は普段，音空間を立体的に聴取しており，カクテルパーティ効果を上手に使って音を聞き分けている．したがって，情報機器からさまざまな情報を聞き分ける際に，立体的な地理情報を用いたカクテルパーティ効果を期待するためには，情報機器においても音源の位置を複数にすることが考えられる．情報機器から複数の音源をもって音声情報を呈示すると人間の記憶特性にどのような影響を与えるのだろうか．この点，これまでの聴覚ディスプレイ研究や VR 研究の分野における先行研究に該当するものは見当たらなかった．そこで，本章では自動車運転環境において，運転に関係ない情報を聴取した場合に，音声情報が呈示される音源数と音色数の違いが記憶特性に対してどのような影響を与えるかについて実験的検討を行った．

### 2.2 記憶実験音源の配置

#### 2.2.1 実験計画と音源配置計画

音源数と音色数を要因とした 2 要因の分散分析（被験者内計画）を行う．音源数の水準数は 3（水準変数は 1, 3, 5），音色数の水準数は 2（水準変数は 1, 3）とした実験計画を行った（表 2.1）．なお，音源数が 1 の場合（A 群および B 群）は従来の車載情報機器における情報呈示手法である．

表 2.1 実験計画表

		音色数 (Timbres)	
		1	3
音源数 (Sources)	1	A群	B群
	3	C群	D群
	5	E群	F群

音源の配置は、どのように行うかによって当然結果が異なってくることが予想される。本研究では、バイノーラル音響を用いるので、頭部伝達関数はダミーヘッドマイク固有のものとなる。人間は個人ごとに異なる頭部伝達関数を持っていると考えられる。したがって、ダミーヘッドマイク録音された音響を聴取した場合に、自分の伝達関数とダミーヘッドマイクの伝達関数の相互作用を経た音響の聴取をしていることになる。この問題については、厳密な音源定位を必要としなければ、多少の誤差は許されるという[2-1]。しかし、これは音源を定位させる面によって変わってくる。例えば、垂直面上に音源を配置すると水平面上の場合に比べて定位精度が劣化するという報告がある[2-2]。水平面上においても、自動車用の衝突防止警告システムに立体音響を適用した研究[2-3]では、特に前後の警報音を同時に呈示した場合に、取り違いの問題が起きやすいことが指摘されている。同様に、ホワイトノイズを呈示した場合に、同時呈示でない場合でも、取り違いがあることが報告されている[2-4]。

そこで、本研究では以上のような問題を避けるために仮想音源を被験者の耳の高さの水平面上前方に配置した。音源の配置間隔については、人は純音の場合でも10°程度の違いを弁別できる[2-5]ことから、伝達関数の個人差を考慮して30°とした。距離は80cmとした。音源は左右差と正中面における音源において差が出た場合に説明できるように、必ず正面に音源を設置した。また、左右差が見られる場合を想定して、左右の音源は対照となるよう設置した。例としてD群の音源配置を図2.1に示す。音色は、性差による影響を避けるため、3種類の男声とした。ただし、それぞれの声質は、あらかじめ予備調査を行って全ての被験者が弁別できたものを選定した。

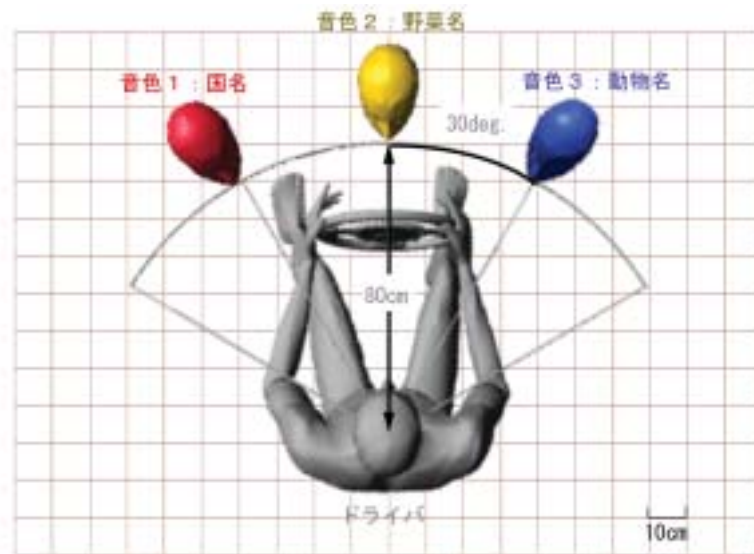


図 2.1 音源配置(D群)

## 2.2.2 音響刺激の収録

刺激の収録は以下のとおり行われた。

### (1) 収録場所

早稲田大学人間科学部 100 号館 401 号室 AV スタジオ

### (2) 使用機材

- ・ダミーヘッドマイク (図 2.2)
- ・ハードディスクレコーディング用 PC (MacintoshG4-400 / Apple Computer)
- ・ミキサ (MI-5000 / Victor)

### (3) 収録条件

ダミーヘッドマイクからミキサを経由して MacintoshG4-400 に取り込み、波形編集ソフト (Sound Edit 16 / Macromedia) 用いて編集された。



図 2.2 ダミーヘッドマイク

## 2.3 実験課題および測定項目

### 2.3.1 実験課題

実験課題は，デュアルタスク環境を想定して以下のように設定された．

#### (1) 擬似運転作業課題

運転作業に代わる認知負荷をかけるためにトラッキングタスクを課すことが考えられる [2-6]．本研究では自動車の運転映像を見ながら，前方車両を追跡する，トラッキングタスクを課すことで，認知負荷をかけた．

#### (2) 記憶課題

副次課題は，各音源から発せられる単語をできるだけ多く記憶する，記憶課題であった．呈示に用いた単語は3つのカテゴリをもたせた．これらは，被験者が運転に際して特定のイメージをもたないできるだけ一般的なものとして，「国名」，「野菜名」，「動物名」とした．また，情報量を統制するため，全ての単語の長さは4音節とした．呈示は20単語を平均0.14秒/音節の話速で呈示した．単語間の空白は0.3秒とした．

### 2.3.2 測定項目

#### (1) 作動記憶量

人間の記憶は大きく分けると 感覚情報記憶， 作動記憶，そして 長期記憶の3つであるといわれている [2-7]．このうち，作動記憶は理解，判断などを行うために一時的に情報を蓄積，利用するために存在しているといわれている．さらに，このなかに情報を記憶する単位であるチャンクが普通  $7 \pm 2$  あるといわれている [2-8]．そして，入力された情報が作動記憶において，長期記憶庫との連携によって精緻化や体制化といった整理がうまくなされると，このチャンクに保存できる情報が多くなり，その結果理解や判断が効果的に行われると考えられる．また，作動記憶に情報を保持できる時間は音声情報の場合，例えば3チャンク使用における50%減衰時間は7秒といわれており [2-9]，それ以上の時間記憶を保持するためには長期記憶の助けが必要である．一般的に，逐次音声対話型の情報機器の設定操作はいくつものステップを踏んで行う必要がある．したがって，作業に必要な情報をより多くより長い時間記憶できることが，理解しやすいUIに必要であると考えられる．そこで，本章では音源数と音色数要因が人間の記憶に与える影響を作動記憶量として計測した．

#### (2) メンタルワークロード

メンタルワークロードとは，作業者に対する精神的作業の負担を指し，ISO10075「精神的作業負荷に関する人間工学の原則-一般的用語及び定義」によって定義されている．この中で「精神的」とは，“人間の認知，情報処理，感情の働きすべてを含むもの”と定義されている．精神的作業負担は「精神的負荷によって個人の内容に直ちに起こる影響（長期に渡る影響ではない）であって，各人の対処様式を含み，個人の習慣およびそのときの

条件に依存するもの」と定義されている。ある作業において正確性や迅速性を求められる場合、人間には精神的な作業負荷がかかる。その負荷によって人間が感じる負担は作業に対する減退的効果 [2-10] をもたらすといわれているので、精神的作業負担は低いほど良いと考えられる。本研究では、メンタルワークロードとして NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index) [2-11] を用いた。元々はパイロットのメンタルワークロードの測定を目的として開発された手法である。測定項目は 6 つの尺度項目から成り立っている。なお、作業課題の内容によって、各項目の説明文および各評価項目の適用の是非を検討する必要がある。表 2.2 に、尺度項目と、本研究で用いたカーナビゲーションシステム評価用に質問項目を変えた説明文を示す。NASA-TLX の特徴は、6 つの評価項目に関して、それぞれ感じたメンタルワークロードの程度が反映されて評価点となることである。

表 2.2 NASA-TLX における尺度名と本研究において用いられた質問文

尺度名 (端点)	質問文
知的・知覚的要求 (小さい/大きい)	どの程度の知的・知覚的活動(考える, 決める, 記憶する, 見る, 聞くなど)を必要としましたか。課題(ルート走行)はやさしかったですか、難しかったですか。単純でしたか複雑でしたか。正確さが求められましたか大きざっぱでよかったですか。
身体的要求 (小さい/大きい)	どの程度の身体的活動(押す, 回す, 制御するなど)を必要としましたか。課題(ルート走行)はラクでしたかキツかったですか。ゆっくりできましたか辛び辛びやらなければなりませんでしたが。
作業成績 (良い/悪い)	設定された課題(ルート走行)の目標をどの程度達成できたと思いますか。目標の達成に関して自分の運転にどの程度満足していますか。
タイムプレッシャー (弱い/強い)	遅延や情報表示が発生する頻度のために感じる時間的切迫感がどの程度でしたか。ペースはゆっくりとして余裕があるものでしたか、それとも速くて余裕のないものでしたか。
努力 (少ない/大きい)	ルートを正しく走行するために、精神的・身体的にどの程度いっしょうけんめいに作業しなければなりませんでしたが。
フラストレーション (低い/高い)	ルート走行中に、不安感, いらいら, ストレス, 迷いをどの程度感じましたか, あるいは逆に, 安心感, 満足感, 充足感, 楽しさ, リラックスをどの程度感じましたか。

被験者は作業終了直後に、説明文を参考に作業を振り返り、6 項目の評価を行う。評価は両端が低い/高い、または良い/悪いとされた 12cm の線分(図 2.3)に印をつける。線分上に記された位置を 0~100 の数値として読み取り、素点とする。



図 2.3 NASA-TLX 評価用紙の例

メンタルワークロード値を求めるには、幾つかの方法が考案され、現在検討されている [2-12]。これは、元来の算出法である WWL (Weighted Workload) が一対比較を前提としているため、被験者に大きな負担がかかる恐れがあるからである。そこで、この手続きを簡便化する方法が提案されている。本研究では WWL と相関が高い AWWL (Adaptive WWL) を用いることで被験者の負担の軽減を図った。

### (3) 心理的な評価構造モデルの抽出

英国の臨床心理学者 G.A.Kelley (1955) は、「人間は経験を通じてコンストラクト・システムと呼ばれる各人に固有の認知構造をつくりあげ、その認知構造によって環境およびそこでの様々なできごとを理解し、またその結果を予測しようと努めている」というパーソナル・コンストラクト理論を提唱した [2-13]。これは、評価のメカニズム (評価構造) は、個人差があり、また、学習によって変化することを認める立場であり、その評価構造を把握する面接手法としてレポーター・グリッド手法を開発した。これをもとに讃井・乾 (1986) は、被験者のコンストラクト・システムのうち環境評価に関する部分だけを抽出する、評価項目間の階層的な構造を明らかにするためにラダーリングという手法を導入すると 2 点の改良を加えたレポーター・グリッド発展手法を提案した [2-14]。また、インタビューの主観的な設問を排除した面接の手順を定め、従来は専門的な訓練が必要とされた深層面接調査が容易に実施できるようになった。なお、レポーター・グリッド発展手法という名称は現在では「評価グリッド法」に改称されている。本研究では、インタビュー法による評価グリッド法を適用した。評価構造モデルの抽出を行うことで、実験条件が被験者の心理的な構造にどのような影響を与えるかを調べた。

## 2.4 実験システム

### (1) 擬似運転シミュレータ

トラッキングタスク用の擬似運転シミュレータは、臨場感を高めるため、コンテンツ収録用車両を用いて収録した実写映像を使用した (図 2.4)。実写映像には編集後、オーサリングソフト (Director / Macromedia) を使用して UI を付加した (図 2.5)。



図 2.4 コンテンツ収録用車両



図 2.5 擬似運転シミュレータ

## (2) 呈示システム

呈示システムは、以下の構成であった(図 2.6)。

- ・トラッキングタスク用 PC (Machintosh G4-400 / Apple Computer)
- ・デジタルプロジェクタ(U3-810WZ / Plus)
- ・スタジオモニタ用ヘッドフォン(MDR-CD900ST / Sony)

呈示音声の音量は、ISO/DIS 15006 Revised に従い、受聴者の利得する音圧としてロードノイズより 5dB(SPL)高く設定した。すなわち、聴取者の音圧利得はロードノイズを 1kHz において 60dB(SPL)とし、音声は 65dB(SPL)とした。ロードノイズはコンテンツ収録車両の車内運転席の位置で録音したものを映像と同期させて呈示した。

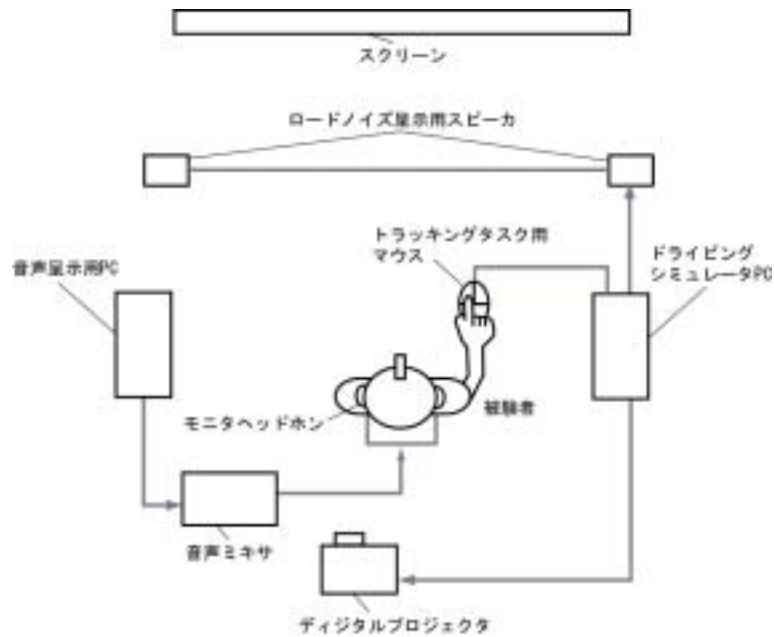


図 2.6 呈示システム構成

## 2.5 予備実験

### 2.5.1 目的

記憶実験を行う前に、そもそも音源の分離ができているかどうかを調べないと、要因の効果が薄れることが予想される。そこで、予備実験として音源定位感を調べる実験を行った。

### 2.5.2 方法

ダミーヘッドマイク(HATS Type 4182 / B&K)によって収録した音声を PC(Thinkpad X22 / IBM)より、耳介挿入型イヤホン(ER-4B / Etymotic Research)を介して被験者に呈示した。音圧レベルは 50 dB(A)とした。

音源の配置は、計 5 箇所、記憶実験と同じ配置であった。具体的にはそれぞれ外耳の高さ水平面上において正面と左右それぞれ 30°と 60°の位置で距離 80cmとした。被験者は、19 歳~21 歳の健聴な大学生 8 人(男 6 人、女 2 人)であった。なお、距離は頭頂部から音源までの水平距離とした。

### 2.5.3 結果

音源の定位感調査を行った結果を図 2.7 に示す。被験者によっては若干音源の混同が見られるが、8 人中 7 人が音源方向を区別できていた。



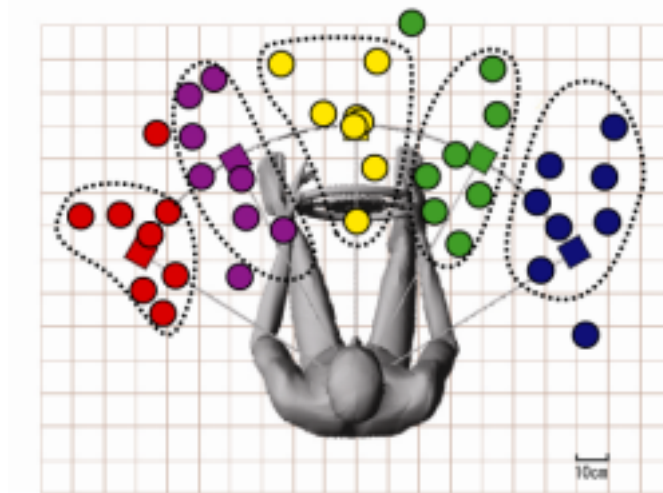


図 2.7 音像定位感調査結果

## 2.6 記憶実験

### 2.6.1 実験場所および被験者

#### (1) 実験場所

神奈川工科大学福祉システム工学科・AVルーム

#### (2) 被験者

自動車運転歴のある，視聴覚の健全な大学生 13 人（19 才～22 才，男 8 人・女 5 人）

### 2.6.2 実験手順

以下の手順で実験を行う。

(1) 実験システムに着座状態で実験に対する教示を行った。

(2) シミュレータによる擬似運転課題と音声呈示による記憶課題を行った。音声の呈示は、順序効果を相殺するためにランダムな位置，順番で行った。

(3) タスク終了後に記憶している単語を調査用紙に記述させた。

(4) NASA-TLX による作業負担調査について，質問紙に記述させた。

(5) 5 分間の休憩期間を設けた。

(6) 6 群終わるまで (2)～(5) をくり返した。

(7) 評価グリッド法のラダーリングをインタビュー法を用いて行った。

実験の様子を図 2.8 に示す。



図 2.8 実験風景

## 2.7 結果

### 2.7.1 記憶課題

記憶課題の正答数について、2 要因  $2 \times 3$  の分散分析を行った。その結果、要因間に交互作用は認められなかった ( $F(2,24)=1.60, p>.10$ )。そこで各要因の主効果について調べたところ、音源数要因の主効果において有意差が認められた ( $F(2,24)=4.12, p<.01$ )。さらに多重比較の LSD 検定を行ったところ、1 音源と 3 音源、3 音源と 5 音源の間でそれぞれ有意差が見られた ( $MSe= 3.1944, p<.05$ )。平均のグラフを図 2.9 に示す。なお、音源位置ごとの正答数については、特に顕著な偏りは見られなかった。

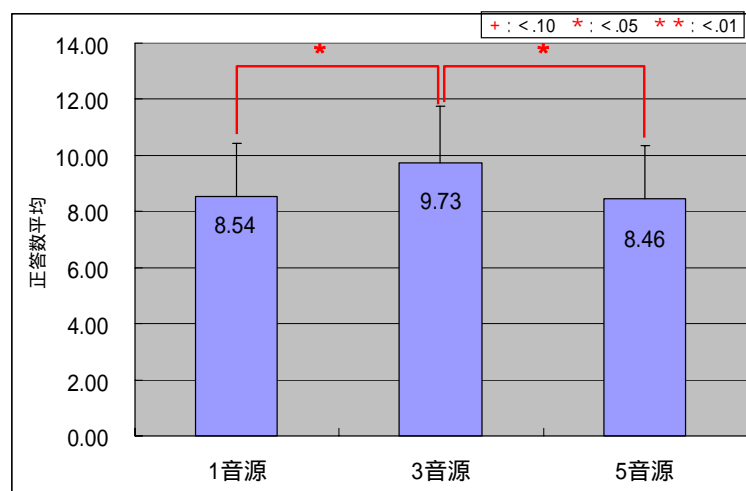


図 2.9 正答数平均(音源数要因)

### 2.7.2 メンタルワークロード評価

AWWL 得点について 2 要因 2×3 の分散分析を行った。その結果，要因間に交互作用は認められなかった ( $F(2,24)=1.66, p>.10$ )。そこで各要因の主効果について調べたところ，音源数要因の主効果において有意差が認められた ( $F(1,12)=4.18, p<.10$ )。平均のグラフを図 2.10 に示す

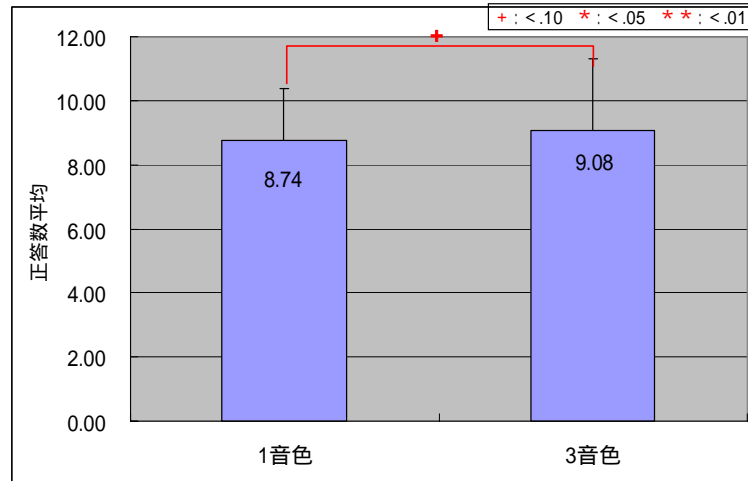


図 2.10 メンタルワークロード得点平均(音色条件)

### 2.7.3 心理的な評価構造モデルの抽出

各群におけるポジティブな面での評価構造モデルをまとめた。(図 2.11~2.16)。カッコ内はプロトコルを提出したのべ人数である。

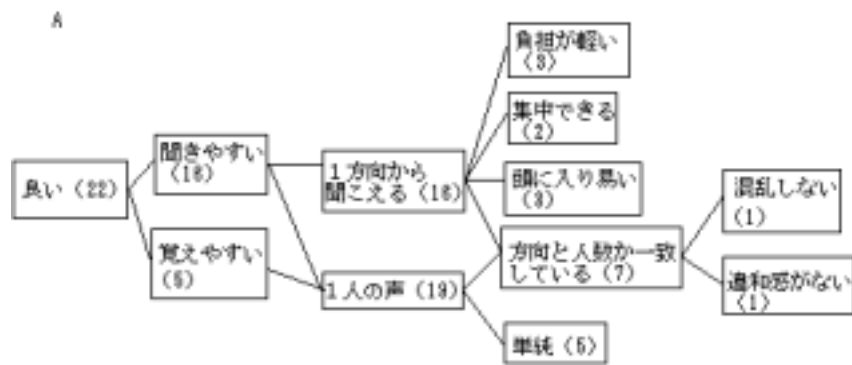


図 2.11 A 群評価構造モデル



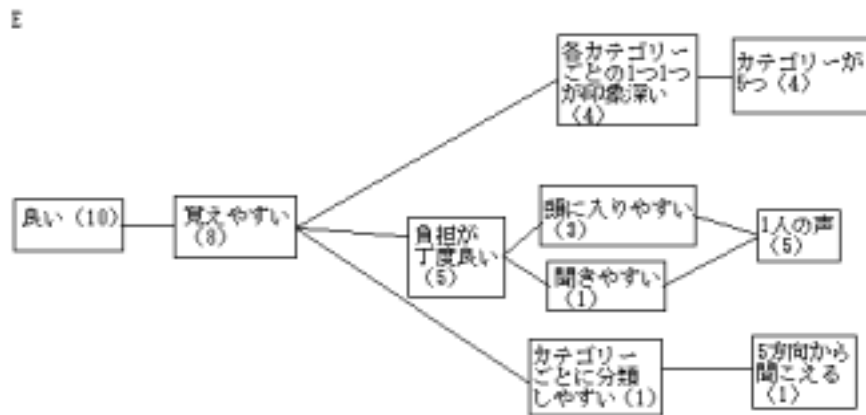


図 2.15 E 群評価構造モデル

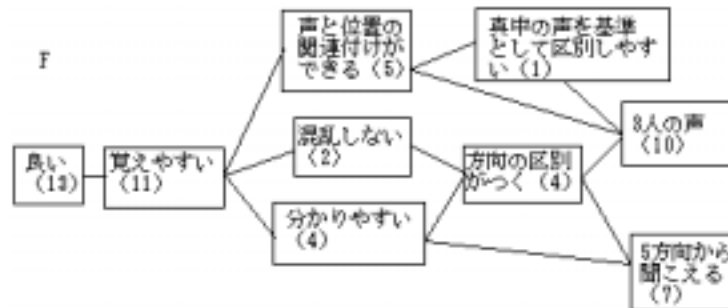


図 2.16 F 群評価構造モデル総合

## 2.8 考察

記憶課題の結果より、音源数は1から3に増加すると音色数に関わりなく顕著な記憶力向上が認められた。しかし、3から5に増加すると、音色数に関わりなく顕著に減少がみられた。このことは、音源数を3にすることで、聞こえてくる単語のカテゴリと音源位置とを関連づけることによって作動記憶と長期記憶の連携がうまく行われたため、音源の場所という手がかりがない単音源の場合に比して記憶保持特性が向上したと思われる。一方、音源数が5に増えると、作動記憶に存在すると思われる容量を超えてしまったことによって、長期記憶との連携が効果的に行われなかったために記憶力が低下した可能性がある。

メンタルワークロードの結果より、音色数が1から2に増加したことによって、音源数に関わりなく負担が増加する傾向にあることがわかった。このことは明らかではないが、実験手続きが影響を及ぼした可能性がある。今回の実験の要因の一つである音色は本来

「音の印象」と密接に関わりをもっており，例えば同じ高さの音でも音色の違いで楽器の種類が変わることが知られている [2-15]．しかし，今回の実験では文脈効果をほとんど期待できない単語の羅列であったため，音色情報との関連性を薄めてしまい，結果として音色数の増加によってカクテルパーティ効果を得るための精神的負担が強いられた可能性が考えられる．

分類された評価構造モデルからは，1 音色条件に関して「聞きやすさ」という点で評価していることがわかった．一方，音源数の増加によって「覚えやすい」というプロトコルがみられた．このことから，主観的には音源数が多くなる群ほど「覚えやすい」ことにつながり，逆に音色数が少ない群では「聞きやすい」と感じられることが示唆された．このことは，音色数が2より1の方が，メンタルワークロードが低い傾向にあることと一致した結果といえる．

## 2.9 まとめ

本章では，自動車運転環境において運転と直接関係ない音声情報を聴取した場合，情報享受において音源数と音色数が作動記憶量にどのような影響を与え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．

(1) 音源数が1, 3, 5の場合，音色数に関わりなく1に比して3の場合に顕著な作動記憶量向上が認められた．したがって，従来の単一音源の呈示手法に比して音源数を3に増加させる手法は音声情報の作動記憶量を増進させる働きがあり，有用性が期待できる．

(2) しかし，音源数を5にすると3の場合に比べて顕著な作動記憶量の減少が見られ，音源数増加における限界の存在を示唆した．

(3) 音色数は1から2に増加した場合，音源数に関わりなく記憶特性に顕著な効果が見られなかった．

(4) 音色数が1から2に増加した場合，音源数に関わりなく主観的な負担が増加する傾向にある．ただし，より実際の場面ではこれと異なる結果となる可能性が示唆された．