

自動車運転者の情報処理に関する研究（第1報）

- 音声情報提供のための車室内音環境の基礎的調査 -

環境エネルギー部	坂本 一朗
自動車安全部	森田 和元 益子 仁一 岡田 竹雄
環境エネルギー部	田中 丈晴

1. まえがき

最近の自動車用ナビゲーションシステム（カーナビ）の普及はめざましく、視覚による情報を補うために音声により情報を与えるものも増加している。また、ITS等の推進により、たとえば前方を走行中の自動車との車間距離が短くなった場合や、居眠り時に警報を発することによって運転者に危険を知らせる研究が進められており、実用化されてきている。

このような警報や音声情報を運転者に知らせる場合、そのときの音量をどの程度にすべきかということが重要な問題となる。音量が小さすぎると、運転者は聞き逃してしまう可能性が高く、逆に音量が大きすぎると驚いて誤操作をしてしまう可能性がある。したがって、最適な音量で情報を伝達する必要がある。

警報音の音量や周波数等については ISO においても議論されており、音量は暗騒音よりも 5～15dB 大きい音が望ましいとされている¹⁾。しかし、車室内の音は大きく分けて自動車そのものの車室内騒音と、ラジオや CD あるいはカセットテープなどのカーオーディオによる快適性のための音（以下、ラジオ/CD 音という）があると考えられる。したがって、音声情報を与える場合は、それらすべてを暗騒音として考える必要がある。

そこで、本研究では、音声や警報によって運転者に情報を与える場合、どの程度の音量が最適であるかを検討するための前段階として、ラジオ/CD 音を含めて実際に車室内がどの程度の音環境にあるかを調べることにした。

2. 実験方法

自動車の車室内の音は、車室内騒音とラジオ/CD 音

からなる。そこで、これらの音を個別に録音し、ミキサーで合成して被験者に聞かせ、被験者にラジオ/CD 音を車の中で聞いている程度の音量に調節してもらい、そのときの音の大きさを記録した。

車室内騒音の録音は、セダン型の中型乗用車(排気量 3000cc)および小型乗用車(排気量 1500cc)の2台を用いて、それぞれ都内の交通量が比較的多い一般道および高速道路を走行し、そのときの車室内騒音を助手席に設置したダミーヘッド(IEC959 適合、小野測器社 SQ-3220)によってバイノーラル録音した。ダミーヘッドの設置状況を図1に示す。

一方、ラジオ/CD 音の録音については、暗騒音が小さい場所でエンジンを停止した自動車のラジオや CD からの音を助手席のダミーヘッドによってバイノーラル録音した。

次に、実験室内において、上記の車室内騒音およびラジオ/CD 音をデジタルミキサーで合成し、ヘッドホンから被験者に提供した。被験者にはヘッドホンから音が聞こえたら、直ちにラジオ/CD 音の音量を通常車内で聞いている程度の音量にするよう指示した。被験者は聴力の正常な 20 代の男女各 8 名ずつ計 16 名と



図1 ダミーヘッドの設置状況

した。被験者に聞かせた音は、ランダムに選択したラジオからの音 (BGM を含む音声) を 16 種類と CD による音楽 (ポップスおよびロック) を 4 種類とした。ここで、CD による音楽の提供は一般道での走行条件のときのみとした。実験時に、被験者がヘッドホンからの音に集中しないように、車室内騒音測定時にビデオで撮影した走行状況の画像を同時に提供した。

3. 実験結果

3.1. 車室内騒音の解析結果

車室内騒音の解析を行うに当たり、測定はパイノール録音で行ったが、ISO において車内騒音測定は座席の中心から $0.2 \pm 0.02\text{m}$ 右側の位置 (左ハンドル車においては車内側) にマイクロホンを設置するように規定²⁾されていること考慮して、今回は右耳で測定された騒音を解析した。また、被験者にはダミーヘッドの特性を入れた音を提示したが、解析にあたってはダミーヘッドの特性を入れない音を解析した。自動車の騒音は車種や走行条件によって異なると思われるため、条件別に平均値を求めた。図 2 に、今回測定した自動車の車室内騒音の 1/3 オクターブバンド周波数の分析結果について走行条件別の平均値を示す。車室内騒音は走行時に変動するが、ほぼ一定の速度で走行していると思われる 5 秒間のデータを用いて解析を行った。図 2 から、騒音レベルが最も大きいのは小型車で高速道路を走行しているときであり、最も小さいのは中型車で一般道を走行しているときである。車室内の騒音は特にピークを持った周波数はなく、中型車は特に高速走行時で小型車に比べて 800Hz 程度以上の周波数の騒音が小さくなっている。

3.2. ラジオ/CD 音の解析結果

次に、車室内騒音を同時に聞かせた場合に、被験者が調整したラジオ/CD 音の大きさを解析した。図 3 に、ラジオ/CD 音を提供したときの全条件の騒音レベルの結果を示す。縦軸は、各被験者が調節したラジオ/CD 音の大きさと車室内騒音とのレベル差、横軸は車室内騒音のレベルを示す。実線はそれぞれ男女別の回帰分析結果を示したものである。相関係数は男性が 0.45、女性が 0.38 であった。ばらつきが大きいいため相関はあまり良くないが、性別による差の有無について、有意水準 5% で t 検定を行った結果、男女の有意な差が認められた。女性は男性よりも 6~7dB 程度音量を小さくしていると考えられる。また、男女ともに、

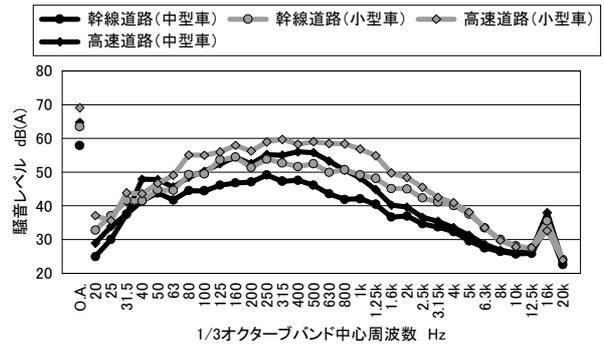


図 2 走行条件別の車室内騒音

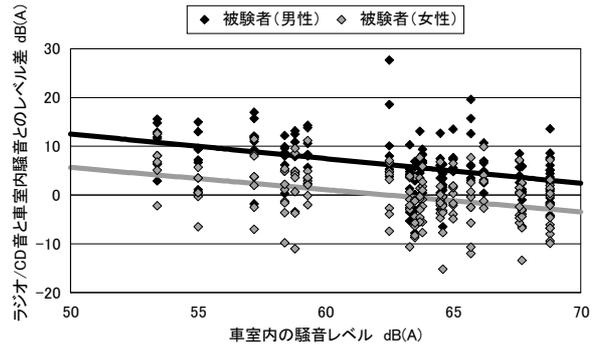


図 3 被験者が調整したラジオ/CD 音と車室内騒音との騒音レベルの差

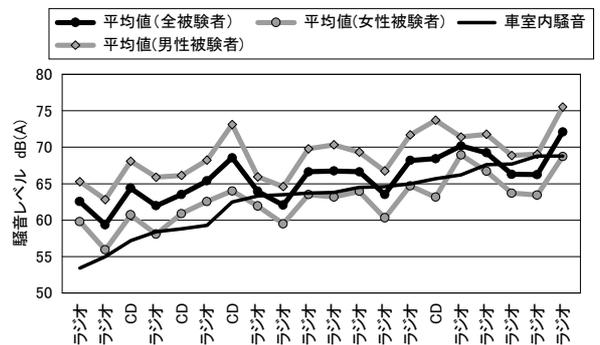


図 4 被験者が調節したラジオ/CD 音の平均値と車室内騒音の騒音レベルの平均値との関係

車室内騒音が大きくなるにつれてラジオ/CD 音と車室内騒音との差が小さくなっている。

図 4 は、すべての実験条件において、車室内騒音のレベルと、そのときに各被験者が調節したラジオ/CD 音のレベルの平均値を示したものである。平均値は全体および男女別に示している。車室内騒音はレベルの小さい順に並べている。また、横軸はそのときに与えた音の種類である。この図から、被験者が調節したラジオ/CD 音のレベルは必ずしも車室内騒音のレベルよりも大きいというわけではない。図 5 にその一例として、各被験者が調整したラジオ音のレベルが車室内騒音よりも小さい場合の、1/3 オクターブバンド周波

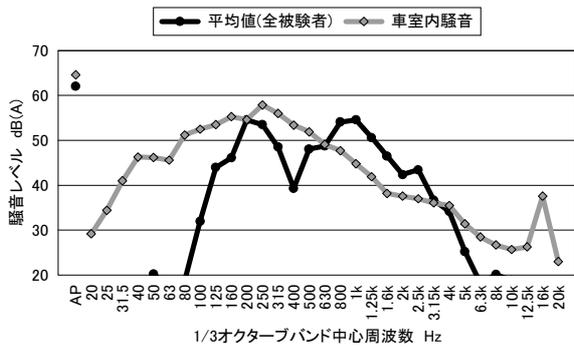


図5 被験者が調整したラジオ音の平均値と車室内騒音の周波数分析結果の比較（ラジオ音のオーバーオールレベルが車室内騒音よりも低い場合）

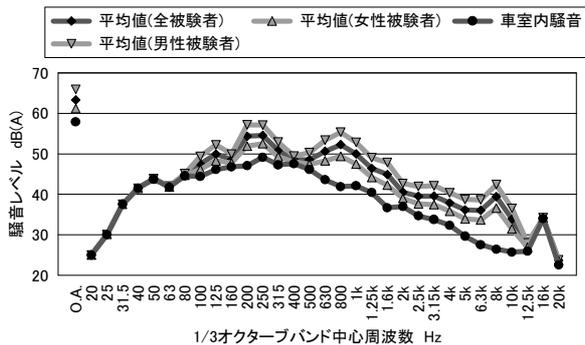


図6 ラジオ音と車室内騒音を合成したときの周波数分析結果（幹線道路，中型乗用車）

数の解析結果を示す。図5からラジオ音のオーバーオールの騒音レベルは小さくても、周波数分析の結果から、800Hz～2.5kHzの1/3オクターブバンドの周波数でラジオ音のレベルは車室内騒音のレベルよりも大きくなっており、被験者はラジオ音を認識していると考えられる。したがって、音声情報や警報を与える場合はそれらの周波数と、暗騒音となる車室内騒音の周波数を把握しておく必要があると考えられる。

3.3. ラジオ/CD音を合成した車室内音

上記の結果から、周波数の把握が重要であることが分かったので、車室内騒音とラジオ/CD音を合成した車室内騒音の周波数ごとのレベルを求めた。なお、音声と音楽とは音量の大きさや周波数が異なると考えられるので、ここではラジオ音とCD音を個別に解析した。

3.3.1. ラジオ音を合成した車室内音

車種別および走行条件別に、ラジオ音を各被験者が調節したレベルの平均値を求め、車室内騒音とエネルギー加算し、両者を合成したときの騒音レベルを求めた。その代表的な結果として、図6に中型自動車の一般道走行時の結果を、図7に小型自動車の高速走行時

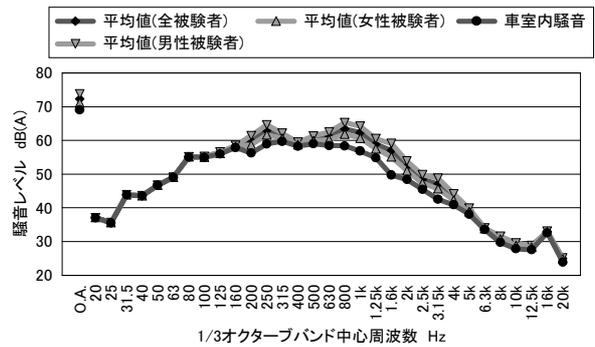


図7 ラジオ音と車室内騒音を合成したときの周波数分析結果（高速道路，小型乗用車）

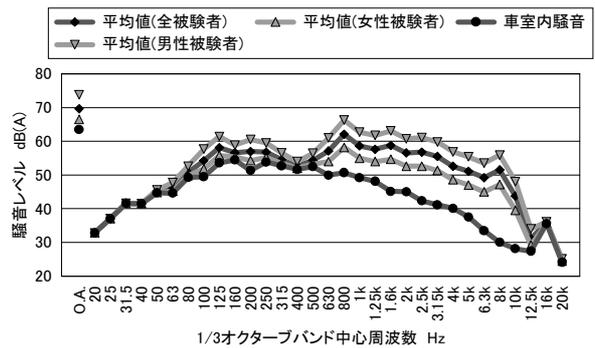


図8 CD音と車室内騒音を合成したときの周波数分析結果（幹線道路，小型乗用車）

の結果を示す。図6においては、一般道を走行時の中型車は車室内騒音がかなり静かであるため、ラジオ音によってほぼ全体の周波数帯域においてレベルが大きくなっている。図7の結果では、200Hz～315Hzおよび630Hz～4kHzでのレベルが大きくなっている。図7の結果は車室内騒音のレベルが最も高い結果なので、この結果が車内音のレベルの上限の一つの目安になると考えられる。

3.3.2. CD音を合成した車室内音

図8に、小型車の一般道走行時の結果を示す。CDによる音楽はレベルの大きさや周波数が時々刻々と変化するためこの結果はそのうちの一例であるが、630Hz以上の周波数帯でレベルが上昇しており、特に高周波域では10dB以上大きくなっている。この状態で音声による情報を与える場合は、音声の周波数帯域でCD音のレベルを上回るレベルで与えなければならないため実際には困難であり、CDの場合は音楽を一時中断する等の措置が必要になると考えられる。

3.4. 被験者に対するアンケートの結果

被験者に対して実験を行うに当たり、簡単なアンケートを実施した。その結果は以下のようである。

通常自動車を運転するときラジオや CD 等を聴くことがあるかという質問に対して、全員が通常ラジオあるいは CD 等を聴いているという回答であった。音量については、外の音が聞こえないくらいまで音量を上げる人や、車内で会話ができる程度の音量にしておりラジオ/CD 音が聞こえなくても音量を上げることはない等の回答があった。また、運転中は外の音が聞こえるように窓を開けて運転することが多いと回答した人も数人いた。今回の実験は窓を閉めた状態でのみの条件で実験を行ったが、窓を開けた場合は、車内の音環境はさらに多種多様な状態となると考えられる。

4. 暗騒音と警報との関係についての考察

運転者に与える警報については、音量や周波数等について ISO でも検討されており¹⁾、その中で、警報音の立ち上がり時間についても指摘されている。警報の種類を、直ちに行動が必要とされるもの(short-term)、行動を起こすことが必要とされるもの(medium-term)、将来的に行動が期待されるもの(long-term)の3種類に分類し、それぞれの立ち上がり時間を、1dB/ms、0.5~0.75dB/ms、0.33dB/msにするよう推奨されている。しかし、暗騒音が比較的大きい場合、運転者が認識する立ち上がり時間は遅くなると考えられる。図9は、65dBの車室内騒音に対して5dB、10dBおよび15dB大きい警報音が、1dB/ms、0.5dB/msおよび0.33dB/msの立ち上がり速度で発生したときのエネルギー加算した合成音の騒音レベルを示したものである。警報が発生してあるレベルに達した後に、合成音の騒音レベルが緩やかに増加していることが理解される。

各種の暗騒音レベルの場合に、運転者がどの時点で警報を認知できるかについては、今後の検討課題であると考えられる。

5. まとめ

本調査結果では、自動車運転者に音声や警報で情報を与えるための前段階として、カーオーディオによる音を含めた車室内の音環境について解析した。

その結果、次のようにまとめられる。

- (1) 車室内騒音が小さい場合は、ラジオ/CD音の音量は車室内騒音よりも大きくしているが、車室内騒

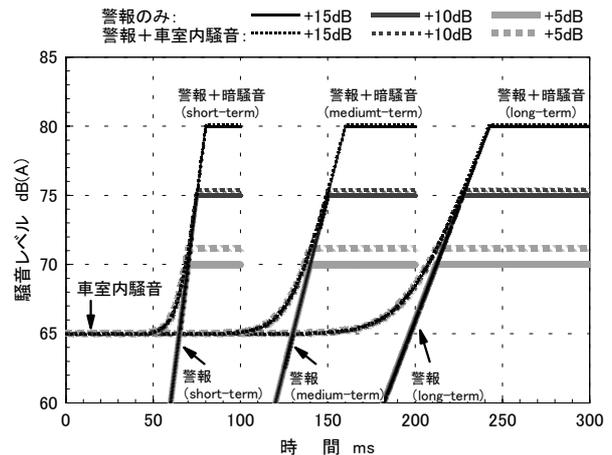


図9 ISOで推奨されている立ち上がり速度を有する警報と暗騒音をエネルギー加算したときの騒音レベル

音がある程度以上になるとその差はほとんどなくなる。

- (2) 音声等の認識はオーバーオール騒音レベルではなく、その周波数帯でのレベルがある程度以上大きいとその音声は認識される。したがって、音声等で情報を与える場合は、その周波数と車室内の音環境の周波数を把握しておくことが重要である。
- (3) アンケートの結果から運転者の多くが車内でラジオ/CD等を聴いていることから、音声等によって運転者に情報を与える場合、車室内騒音とラジオ/CD音を合成した騒音レベルを考慮する必要がある。
- (4) ISOで指摘されている警報の立ち上がり速度を検討する場合も、車室内の音環境を考慮する必要があると考えられる。

今後は、今回の結果を基に、ラジオ/CD音がある音環境で、音声情報や警報を与える場合、どのような与え方が適切であるかについて検討を行っていく予定である。

参考文献

- (1) ISO/DIS 15006 Revised, Road vehicles - Ergonomics aspects of transport information and control systems - Specifications and compliance procedures for in vehicle auditory presentation.
- (2) ISO 5128-1980(E), Acoustics - Measurement of noise inside motor vehicle.