

# 音響機器を用いた仮想交通実験による自動車の静音化が交通安全性に及ぼす影響分析

## Influence of the Silence of Automobile on Traffic Safety by the Virtual Traffic Experiment

金 利昭

By Toshiaki KIN\*\*

### 1. はじめに

自動車の技術革新の進む現在、エンジン自動車の音は年々小さくなっているが、さらに電気自動車・燃料電池車・ハイブリッドカーの出現によって自動車の静音化が急速に進むと予想される。

自動車の騒音は不快であり公害であるが、一方で静音化した自動車が歩行者の近くをすり抜けることは危険でもあり、安心感を低下させると考えられる。静音化の進んでいる高級自動車や歩道を走行する自転車にひやりとしたという話はよく耳にする。また、一部の歩行者や自転車利用者は、道路を横断する際に音だけを頼りに横断する傾向がある。今後、電気自動車等の静音自動車が普及した場合、音に頼ってしまったために車の存在に気づかず車と接触してしまうといった事故の発生が考えられる。たとえ事故が起こらなかつたとしても、突然自動車が現れる事は、人々に恐怖を与えることがあるだろう。

今後、環境問題やエネルギー問題解決のために、電気自動車やハイブリッドカーを普及させることが望ましいが、そのためにも交通計画側での受け入れ態勢を整えておく必要があり、今後の対策を考える上で、静音化の影響範囲と安全・安心感の低下の度合いを把握することが必要不可欠であると考えられる。著者らのこれまでの研究<sup>1)~3)</sup>では、実走行による現地観測調査や騒音計測などから、静音自動車は一般のエンジン自動車に比べてその存在に気がつかない、あるいは気づくのが遅れることがあるということがわかっている。しかしながら、その明確な影響範囲までは明らかになっていない。また、このような現地調査や騒音調査では属地的要因に大きく左右されるために影響範囲を正確に特定することは困難である。

そこで本研究の目的は、現地調査で収集した交通音と背景音を合成することで、実験室内で行う仮想交通実験装置を開発し、これを用いて実験室内で様々な場面を再現して静音自動車の影響範囲を明らかにすることである。

### 2. 静音自動車と今回の実験車両

走行中の自動車から出る騒音には、表1のようなものがある。これらの音は、速度が速くなるにつれて大きくなっていく。本研究で対象とする静音自動車は原動機からのエンジン音と排気音が極めて小さいものである。今回の調査では、静音自動車の代表としてハイブリッドカープリウス、コンパクトカーの代表としてホンダフィット。一般的な自動車の代表として、スバルレガシィを用いる(表2)。

表1 騒音発生要因

音源	種類	音源	種類
原動機	エンジン音	ロードノイズ	タイヤからの発生音
	排気音	動力伝達機構	ブレーキ音
	風切り音		変速機

表2 測定対象車両諸元

車種	トヨタプリウス	ホンダフィット	スバルレガシィ
L x W x H	4445 x 1725 x 1490mm	3845 x 1675 x 1525mm	4670 x 1695 x 1490mm
車両重量	1250kg	1000kg	1300kg
乗車定員	5名	5名	5名
原動機種類	水冷直列 4気筒横置DOHC	水冷直列 4気筒横置SOHC	水冷水平対向 4気筒DOHC
総排気量	1496cc	1339 cc	1994cc
タイヤサイズ	185/65R15	175/65R14	205/55R16

### 3. 仮想交通実験の枠組み

仮想交通実験の手順は図1の通りである。

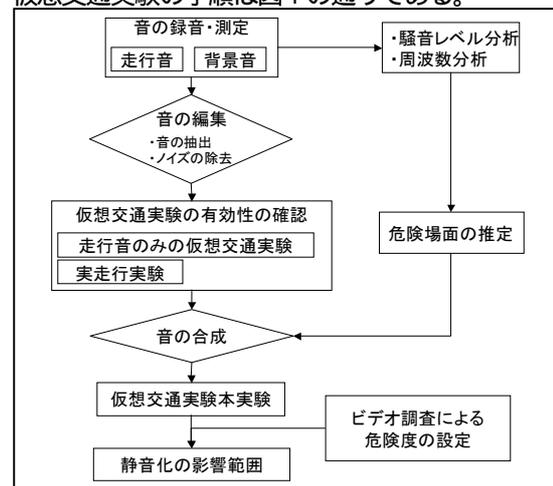


図1 仮想交通実験フロー

### 4. 仮想交通実験装置の開発

#### (1) 自動車走行音の収集

##### a) 自動車走行音の観測地点の選定

今回の調査では、実験車両を走らせ騒音計による騒音レベルの測定と、デジタルビデオカメラによる自動車走行音の録音を同時に行う。条件を満たした観測地は常陸

\* キーワーズ: 交通安全, 地区交通, 電気自動車, 静音化

\*\* 正員 工博 茨城大学工学部都市システム工学科

(茨城県日立市中成沢町 4-12-1, E-mail: tkin@mx.ibaraki.ac.jp

Tel:0294-38-5171, Fax:0294-38-5249)

太田市郊外で2箇所見つけることが出来た。測定地点として2箇所を設定した理由は、舗装の優劣によるロードノイズの影響を知るためである。

測定地点A(常陸太田市、栗原町)

交通量は1時間に30台程度で、周囲に騒音発生源もなく暗騒音レベルは35dB前後、道路勾配は0%、900m以上の直線道路と条件を満たす道路であった。舗装状態は特に痛んでもおらず普通といえる。観測地点Aではプリウス、フィット、レガシィすべての実験車両で測定を行った。測定期間2004年12月14日・23日。

測定地点B(常陸太田市、亀作町)

まだ全線開通していない新しい道路である。そのため舗装状態が非常に良く交通量も非常に少ない。暗騒音レベルは35dB前後、道路勾配はほぼ0%、ほぼ直線の道路であった。観測地点Bではフィットの測定のみを行った。測定期間2004年12月21日。

#### b)測定機材

デジタルビデオカメラに音声と映像を記録した。

録音に用いた機器は『sony デジタルハンディカム DCR-PC120』である。よりクリアな音声を録音するために『sony ガンズームマイク ECM-HS1』を取り付けた。

騒音計は『リオン株式会社 精密騒音計 NL-32』を用いた。

#### c)測定方法

自動車走行音の録音では実際に車を走らせることで車の走行音の録音・自動車走行音の騒音レベル測定の2つの測定を同時に行った。対象とする場面は、各車両の10km/h、20km/h、30km/h 走行時、アイドリングからの発進、停車状態からの発進である。アイドリングからの発進とはエンジンがかかっていていつでも発進できる状態、停車状態からの発進とは車のキーがオンになっていない、つまり自動車が完全に止まっている状態から車を始動させて発進することである。

### (2)背景音の収集

今回の測定では、ある程度騒音レベルが高いということとを条件に住宅街、駐車場、駅前、国道沿い、大学構内など11地点で測定を行った(表3)。測定機材は自動車走行音の収集と同様である。録音対象地にビデオカメラと騒音計を一定時間設置することで測定を行った。

表3 背景音の録音地点

観測点名称	測定の狙い	特徴
水戸駅北口駐車場	混雑した駐車場	周囲の交通量が多い、車の出入りが頻繁である
水戸駅北口周辺地駐車場	混雑した駐車場	周辺の交通量が非常に多い、歩行者が非常に多い
水戸駅北口	人込み	歩行者が非常に多い
水戸駅北口ペDESTリアンデッキ	活気のある商店街	歩行者が非常に多い、周辺の商業施設からの音楽などが聞こえる
国道6号	国道からの音	国道6号沿い
茨城県日立市西成沢町	住宅街	国道6号から20mほど入った地点、国道を走る自動車の音が聞こえる
日立市住宅街	住宅街	国道6号から20mほど入った地点、国道を走る自動車の音が聞こえる
茨城県日立市西成沢町	混雑した駐車場	複数の商業施設が入っており、車の出入りが頻繁である
オープンモール駐車場	混雑した駐車場	複数の商業施設が入っており、車の出入りが頻繁である
茨城大学工学部生協前	人込み	歩行者が非常に多い
茨城大学生協前	人込み	測定を行った時期は学園祭の開催中で人が非常に多かった。たくさんの売店が並び非常に活気があった
茨城大学保健センター前	活気のある商店街	測定を行った時期は学園祭の開催中で人が非常に多かった。たくさんの売店が並び非常に活気があった
茨城大学体育館前	活気のある商店街	測定を行った時期は学園祭の開催中で人が非常に多かった。たくさんの売店が並び非常に活気があった

### (3)仮想交通実験音の作成

#### a)動画から走行音の分離抽出

仮想交通実験を行うためには、デジタルビデオカメラで録音した動画から、音声だけを抜き出す必要がある。まずビデオ編集ソフト「Ulead Video Studio」を用いて動画をAVIファイルに変換。そのAVIファイルを音声ファイル変換ソフトを用いてWAVEデータを作成する。変換するWAVEデータの設定はCDで用いられる44100Hz、16bit、Stereoに合わせた。

#### b)サウンド編集ソフトによるノイズの除去

録音の際「サー」というヒスノイズが録音されたため、サウンド編集ソフト『DigiOnSound4』を用いてノイズ除去を行った。補正をかけたことで、音の特性が変わり実験結果に影響を与える可能性がある。そのため、各条件で補正なし・補正強・補正弱の3つの音を作成し実験することで、補正の有無による影響を確認することとする。

### (4)抽出した走行音の有効性の検証

作成した実験音で走行音のみの仮想交通実験の結果が、実際の事例と一致するのを知るために出来るだけ同一の環境で仮想交通実験と実走行実験を行った。

走行時の気づく距離は、音によって車の存在に気がついたら手を挙げて合図をさせた。またアイドリングからの発進では車が走り出したと思ったら合図を、停車状態からの発進では、車が走り出す準備が出来たと思ったら合図をさせた。

分析をおこなった結果、30km/h 走行時以外では、走行音のみの仮想交通実験と実走行実験の結果には有意差がなく分散比は『補正強』が最も小さいという結果が出た。この結果、仮想交通実験は現実の場面を再現していると言ってよい。また、30km/hの結果では実走行実験と比べて仮想交通実験がより遠くで気づく傾向があった。本来であれば音を加工することで実走行実験と結果を縮めるのが望ましいが、今回はより厳しい条件での測定を行うために、あえてこのままのデータで仮想実験本実験を行うこととする。

### (5)騒音レベル分析と周波数分析に基づく危険場面の設定

静音自動車がどのような場面で危険なのかを推測し、仮想交通実験で再現するべき場面を把握するために騒音計による騒音レベルの分析と周波数分析を行った。

周波数分析の結果、今回録音した背景音は自動車走行音をマスキングする効果が高いため、SN比を元に危険場面を設定する。マイナスのSN比となるとマスクされる音がまったく聞こえなくなるということはないが、ここではSN比の正負を安全性の目安とする。測定回数すべてがマイナスの場合は『×』、ひとつでもマイナスの場合は『△』、すべてがプラスの場合は『○』とする(表4)。仮想交通実験では、『×』の場合が危険な場面と考え再現する。

表4 想定される危険場面

設定場面	車種	自動車の状態					
		30km/h走行時	20km/h走行時	10km/h走行時	アイドリングからの発進	アイドリングからの発進	停車状態からの発進
雑踏・商店街	プリウス	x	x	x	x	x	x
	フィット	x	x	x	x	x	x
	レガシイ	x	x	x	x	x	x
駐車場・幹線道路沿い	プリウス		x	x	x	x	x
	フィット			x	x	x	
	レガシイ				x		
住宅街	プリウス			x	x	x	
	フィット				x		
	レガシイ						
非常に静かな郊外	プリウス				x		
	フィット						
	レガシイ						

5. 仮想交通実験による静音化の影響範囲の測定

(1) 仮想交通実験の概要

実験で、用いる走行音以下の通りである(表5)、フィットの測定地AとBを用いることで、路面状態の気づく距離への影響を把握することとする。危険場面として、駐車場や幹線道路沿いといった場面があるが、そういった場面の音には必ず調査対象車両以外の走行音が混入するため、正確な実験を行うのが困難である。周波数分析の結果より、背景音のマスク効果はほぼ同等と考えられるので、1つの生活の録音レベルを調節することで様々な場면을再現することが出来る。今回は、茨城大学生協前で収集した背景音を用いる。場面の設定の基準となる騒音レベルは、自分で測定した結果と、一般的な騒音の指標に基づいて設定した(表6)、実験音は、背景音4通りと走行音18通りの組み合わせで72の音を作成した。

被験者は22歳から25歳までの茨城大学の学生7名である。被験者には作成した72個の実験音を3回ずつ聞いてもらった。この時、車種は速度、背景音の設定がばらばらになるように音を聞かせたことで、被験者には慣れによる気づく距離・音の感じ方への影響はないように配慮した。

今回測定したデータは、危険度という定義を用いて分類することとする。危険度は、歩行者が車の存在に気づいてから避けるまでの時間を基準としている(表7)、歩行者の観測調査は2002年12月3日・18日と2004年10月14日(木)東京駅周辺にて行った。

表5 実験に用いる車両走行音

車種	車両状況	車種	車両状況
プリウス	10km/h走行時	フィット 測定地点B	10km/h走行時
	20km/h走行時		20km/h走行時
	30km/h走行時		30km/h走行時
	アイドリングからの発進		アイドリングからの発進
	停車状態からの発進		停車状態からの発進
フィット 測定地点A	10km/h走行時	レガシイ	10km/h走行時
	20km/h走行時		20km/h走行時
	30km/h走行時		30km/h走行時
	アイドリングからの発進		アイドリングからの発進
	停車状態からの発進		停車状態からの発進

表6 合成する背景音の目安

背景音の録音レベル	被験者が聞く騒音	設定場面
そのまま	70dB	騒々しい雑踏
元データの50%	60dB	駐車場、国道沿い
元データの15%	50dB	一般的な住宅街
合成なし	40dB以下	非常に静かな住宅街、深夜の市内

表7 危険度指標

走行時		車の存在に気づいてから通過するまでの時間	危険の程度	感じ方		
危険度	記号			とても安心	安心	安全
危険度1		10秒以上	気づいてからゆっくりと避けられる			
危険度2		10秒未満5秒以上	気づいてから比較的ゆっくりと避けられる			
危険度3		5秒未満2秒以上	気づいたらすぐに避ける必要がある			
危険度4	x	2秒未満	運転者が注意を払わないと接触の危険もある			
危険度5	x x	最後まで気づかない	運転者が注意を払わないと接触してしまう			

アイドリングからの発進		車の発進に対して気づくかどうか	危険の程度	感じ方
危険度	記号			
危険度1		気づく	車の動きを見て避けることが出来る	安全
危険度2	x	気づかない	運転者が注意を払わないと接触してしまう	危険

駐車状態からの発進		走り出す準備が出来たことに対して	危険の程度	感じ方
危険度	記号			
危険度1		発進前に気づく	車の発進を予期し、注意することが出来る	安全
危険度2		発進後に気づく	車の動きを見て避けることが出来る	どちらでもない
危険度3	x	何も気づかない	運転者が注意を払わないと接触してしまう	危険

(2) 仮想交通実験結果

測定結果は以下のように分類された(表8)、プリウスが10・20km/hで走行すると駐車場や住宅街程度の騒音レベルの中でも、音により車の存在に気づくことが出来ずとても危険である。また、周囲の騒音がほとんどない状態であっても、プリウスの10・20km/hでは音により車の存在に気づいたらすぐに避けなければならず、安全かもしれないが、安心ではないといえる。30km/h走行時であればとても静かな状況ならば安心であるが、住宅街程度の騒音レベルであっても安心でなくなり、それ以上であれば危険なことが分かった。

この結果から、プリウスはほぼ同じサイズのレガシイよりも圧倒的に気づきにくく、プリウスよりも小型のフィットと比べても気づきにくいことが分かった。

表8 仮想交通実験測定結果

車種	背景音状況	車両状況	危険度					車種	背景音状況	車両状況	危険度					
			1	2	3	4	5				1	2	3	4	5	
プリウス	合成なし	10km/h	0	0	2	1	0	フィット 測定地点B	合成なし	10km/h	0	2	1	0	0	
		20km/h	0	5	16	0	0			20km/h	3	18	0	0	0	
		30km/h	0	11	9	1	0			30km/h	3	18	0	0	0	
		50dB	10km/h	0	0	0	11			10	10km/h	0	0	13	8	0
		20km/h	0	0	3	18	0			20km/h	0	0	19	2	0	
		30km/h	0	0	15	6	0			30km/h	2	2	11	6	0	
	60dB	10km/h	0	0	0	0	21		10km/h	0	0	0	3	18		
		20km/h	0	0	0	0	21		20km/h	0	0	0	19	2		
		30km/h	0	0	0	20	1		30km/h	0	0	0	21	0		
		70dB	10km/h	0	0	0	1		20	10km/h	0	0	0	0	21	
		20km/h	0	0	0	1	20		20km/h	0	0	0	0	2		
		30km/h	0	0	0	13	8		30km/h	0	0	0	18	3		
フィット 測定地点A	合成なし	10km/h	4	13	4	0	0	レガシイ	合成なし	10km/h	2	0	0	0	0	
		20km/h	18	3	0	0	0			20km/h	13	8	0	0	0	
		30km/h	4	17	0	0	0			30km/h	18	3	0	0	0	
		50dB	10km/h	0	0	16	5			0	10km/h	0	2	18	1	0
		20km/h	0	0	16	5	0			20km/h	0	0	19	2	0	
		30km/h	0	10	11	0	0			30km/h	0	18	3	0	0	
	60dB	10km/h	0	0	0	21	0		10km/h	0	0	0	21	0		
		20km/h	0	0	0	21	0		20km/h	0	0	0	10	11		
		30km/h	0	0	1	20	0		30km/h	0	0	15	6	0		
		70dB	10km/h	0	0	0	0		21	10km/h	0	1	1	4	15	
		20km/h	0	0	0	2	19		20km/h	1	0	1	19	0		
		30km/h	0	0	0	21	0		30km/h	0	0	2	19	0		

網掛けは最頻値

(3) 車種による影響の確認

危険度の変化の要因が、車両によるものであるかを確認するために数量化 2 類を用いて分析を行った。目的変数は危険度で、説明変数は車種・背景音状況・車両速度である。

ここでは例として走行時の危険度 3 と 4、つまり安全と危険を分ける要因を載せる(表 9)。車種の違いによる影響を見てみると、車種間で明確な差が出ていることが分かる。この結果、車種の違いが危険度を分ける要因となっていることが読み取れる。フィットが一番気づきにくく、レガシィが一番気づきやすい。この時、フィット A とフィット B の差は非常に僅かで、舗装の優劣により明確な差があるとは言いがたい。これ以外の危険度を分ける要因も同様の結果であった。

表 9 数量化 2 類結果

アイテム	カテゴリ	度数	カテゴリスコア	レンジ
10km/h 走行時	車両速度	336	-0.0415	0.0837
20km/h 走行時		336	-0.0007	
30km/h 走行時		336	0.0422	
プリウス	車種	252	-0.1037	0.2203
フィットA		252	0.0021	
フィットB		252	-0.0150	
レガシィ		252	0.1166	
合成なし	背景音	252	0.3826	0.7009
50dB		252	0.1881	
60dB		252	-0.2525	
70dB		252	-0.3183	
判別の中率		91.7%		
相関比		0.7271		

6. 静音化の影響範囲のまとめ

仮想交通実験の結果から静音自動車、小型自動車、一般自動車の危険場面を示す。静音自動車で安全な場面となる背景音の騒音レベルは、一般の自動車と比べて 20 dB、コンパクトカーと比べても 10 dB 小さいことがわかった。そのため、住宅街などといった静かな場面であっても、危険場面が存在することが判明した。

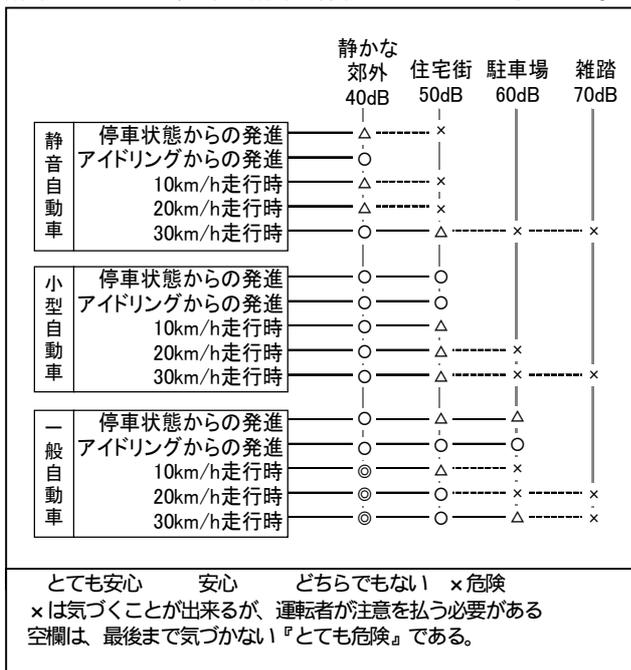


図 2 静音化の影響の影響範囲

7. 対策案

対策案としてまず最初に考えられることは、静音自動車に音を付加することである。しかし、走行中に絶えず音を発することは、騒音となり交通工学上望ましくない。そのため、クラクション以外に任意のタイミングで音を出せる装置が妥当であると考えられる。この時の音は、背景音の周波数帯 300~1300Hz を避けることで、周囲の人から認知されやすくなる。こういった装置を導入することで、最も危険と考えられるアイドリングからの発進の危険度を下げることが出来る。

今回の仮想交通実験で明らかになった静音化の危険場面は 10・20km/h 走行時と発進時の背景音 50 dB 以上、30km/h 走行時の背景音 60 dB 以上の時など、多数存在する。そのためハード面での対応だけではすべての場面をカバーできない。そのため、歩行者・運転者共にマナーの向上をする必要がある。

< 運転者側の対策 >

- ・歩行者に後方から近づく際に歩行者が車の存在に気づいていない事を前提に運転する
- ・後方から歩行者に接近する時は、歩行者の予想外行動に対処できるように、減速する又は側方余裕を多めにとる

< 歩行者側の対策 >

- ・音の静かな自動車が存在することを十分意識する
- ・歩車分離の出来ない道路では、出来るだけ端を歩く
- ・道路を横断する時は、必ず後方確認を行う

8. 結論

自動車走行音、背景音を収集し、動画から音声の分離抽出、ノイズの除去を行い実験のベースとなる音声ファイルを作成した。

周波数分析、騒音レベル分析を行ったことで、背景音は自動走行音をマスクする効果が強いことがわかった。実走行実験と実験室内で走行音のみの仮想交通実験を行い、その結果を分散分析によって比較したことで、仮想交通実験が実際の場面を再現できることを示した。仮想交通実験を行ったことにより静音自動車、一般自動車の危険場面を把握し、静音自動車の安全な場面の騒音レベルが一般の自動車と比べて 20 dB、コンパクトカーと比べても 10 dB 小さいことがわかった。

参考文献

- 1) 金利昭・一瀬仁志：超小型自動車の出現と道路交通上の課題、第 55 回土木学会年次学術講演会、pp. 550~551、1998.10
- 2) 金利昭・一瀬仁志：多様化する私的距離交通手段の特性比較と共存性の考察 超小型自動車の出現とその課題、高速道路と自動車、第 43 回、第 9 号、pp. 14~25、2000.9
- 3) 飛田祐作・金利昭：自動車の電化に伴う静音化が交通安全性に及ぼす影響に関する考察、土木計画学会・論文集、Vol.21、9P.2004.9