室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

複合交通騒音の不快感の評価に関する研究(1)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 泉, 清人 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1107

複合交通騒音の不快感の評価に関する研究 (1)

泉　　清人

On the evaluation of the annoyance due to mixed traffic noises (1)

Kiyoto IZUMI

Abstract

The evaluation of mixed source noises has been considered as an important and urgent problem to be solved for the environmental noise study. In order to contribute to this problem a series of the Simulated Domestic Living Room experiments were carried out both at the Institute of Sound and Vibration Research and Muroran Institute of Technology. In Experiment I (ISVR) and Experiment Ⅲ (Muroran) the dose-response relations of separately reproduced aircraft, railroad, and road traffic noises were investigated. Whereas in Experiment Ⅱ (ISVR) and Experiment Ⅳ, aircraft and road traffic noises were systematically combined and the dose-response relations of the mixed source noises were investigated. The findings are summarized as follows : ① The Simulated Domestic Living Room procedure is validated to a satisfactory extent through four independent experiments carried out in two different countries. ② L_{Aeq} is proven useful to the evaluation of annoyance due to the same noise source. It shows, however, a discrepancy in evaluating the annoyance due to different noise sources. Hence L_{Aeq} cannot be used as a unified scale to evaluate the environmental noises of combined sources. ③ Among six important proposals for the evaluation of combined noises, Dominant Source Model showed better agreement with the reported annoyance of the subjects. It also showed better applicability to the social survey data of community noises.

1．序　　論

A．はじめに

近年の騒音評価研究のなかで等価騒音レベル (L_{Aeq}) の有効性が広く認められ，L_{Aeq}, およびこれを基礎尺度とする評価法が，単に研究上のみならず行政上においても最も重要な騒音評価指標として採用されるようになった。一般に L_{Aeq} は，同一種の騒音の評価尺度としては他に優れた適合性を示すことが多い。しかし，異種騒音の統一的評価尺度として問題のあることは，つとに1960年代以来，多くの研究者によって指摘されてきた。一方，近年の都市環境において自動車騒音の増大は著しいものがあり，多くの騒音現場において自動車騒音との重合を考えずに，他の騒音の評価をすることが不可能となりつつある。このような事態を背景として，複合騒音の評価法の確立が強く求められるようになっている。[1)]

この研究の目的は，上述の通りの先進諸国における研究の趨勢を踏まえて，自動車騒音を背景

音とする各種交通騒音の複合環境の評価方法を求めようとするものである。著者は1983-84年に文部省在外研究員として Institute of Sound and Vibration Research, the University of Southampton (ISVR) に滞在して，上記課題の実験的研究を行った。その後1984年以降室蘭工業大学において同じ課題の実験を続けている。この小論はこれら一連の実験を総括するものである。

B．模擬居間実験室による実験の手法

模擬居間実験室におけるこの一連の実験は，従来の無響室における聴感実験と基本的に異る考え方によっている。従来の聴感実験においては，聴覚にかかわる刺激－反応の関係を純粋かつ厳密に求めようとする姿勢が基本となっている。一方，模擬居間実験の目的は，日常生活の中における人間の騒音反応を，より概括的，工学的に把えようとするところにあり，窮極的には社会調査との整合を期待している。換言すれば，従来の聴感実験と社会調査との連結を目的としているといえる。以下，この手法の具体的な特徴を述べる。

i．実験室

実験室においては，日常生活を出来るだけ忠実に再現することを目指している。音響的に外部空間と隔離し，かつ，コントロールルームにより正確な音場制御をすることは従来の方法と変らないが，下記の諸点が特徴的である。

①日常の家具・調度を置く。

②擬窓を設ける。

③内装を一般住宅と同様にする。

④スピーカを天井・壁に隠蔽する。

ii．音源

スピーカシステムにより現実音を再生し，かつ，コントロールルームにおいて音響的・視覚的にモニターすることは従来の方法と変らないが，以下の特徴を有する。

①家屋による外部騒音の減衰を考慮し，音圧レベルのみならず，周波数特性についても補正・加工する。

②音圧レベルの大小とレベル変動の大小を整合させる。音圧レベルの大きな音は音源に近いところで収録した騒音を使用するので，一般にレベル変動も大きくなる。

③音源の種類とスピーカ位置を工夫する。航空機騒音は天井隠蔽スピーカから，交通騒音は壁隠蔽スピーカから再生する。

iii．実験方法

実験方法に関する主な特徴は以下の通りである。

①被験者に日常生活における態度を再現させるように工夫を行う。多くの場合，読書・あみもの等の無音の日常生活行為を行わせ，態度の水準を整える。

②長時間暴露を行う。10分～30分の長時間同一刺激に暴露して，日常生活における騒音反応を抽出しようとする。

③Home Question を使用する。

④評価用語に Annoyance を使用する。模擬居間実験によって得られる不快感は Perceived Noisiness の一種であるが，被験者への教示においては Annoyance を用い，より強く被験者の不快感反応を抽出しようとする。

⑤評価尺度には両端にラベリングした単極数値尺度を使用する。さらに，社会調査との比較をするために，実験終了時に，被験者毎に "a little annoying, moderately annoying, very annoying" の評価用語を尺度上に位置づけさせ (Calibration), % Highly Annoyed の算出に使用する。

C．用語の定義

この論文で使用する主要な用語の定義は以下の通りである。

①不快感：音によって生じる不快感には，音そのものに起因する不快感（聴覚的要因の不快感）と，音に随伴して生じる不快感（非聴覚的要因の不快感）がある。Noisiness が前者を限定して意味するのに対して，Annoyance は両者を包含した総体的な不快感をいう。したがって，一般に実験室においては Noisiness の測定が可能であり，これに対して Annoyance は社会調査においてはじめて測定することが出来るものとされている。模擬居間実験室において測定することの出来る属性は Noisiness の 1 種であり Annoyance そのものではない。しかしながら，模擬居間実験の究極的目的は現実の騒音環境の再現にあるので，その教示には Annoyance・うるささを使用して，より現実的状況に近い被験者の不快感反応を抽出しようとしている。この論文で使用している不快感も模擬居間実験の環境の下で再現される不快感を限定的に意味している。C.G. Rice はこれを reported annoyance と呼んでいる。

② Home Question, Home Annoyance：模擬居間実験の教示においては，被験者に単に騒音に対する不快感を求める方法と，『自宅の居間でくつろいでいるときにこの音がずっと続いていることを想像して』不快感を評定することを求める方法がある。前者を Laboratory Question といい，後者を Home Question という。Home Question で得られる不快感反応を Home Annoyance という。

③ SSV　：Subjective Scale Value. 被験者の評定尺度上の評定値，および，その統計的平均値。

④ Total Annoyance, Total L_{Aeq}：複合騒音の評定は，複合騒音全体に対する不快感と，複合騒音を構成する要素の個別騒音に対する不快感の 2 つについて求めることが出来る。前者を Total Annoyance といい，そのレベルを Total L_{Aeq} であらわす。これに対して後者を Source Specific Annoyance といい，その個別騒音のみのレベルを Source Specific

L_{Aeq} であらわす。

⑤ラベリング：評定尺度の両端あるいはその間の任意の位置に評定用語をあてはめること。

⑥ Calibration：評定尺度法には数値尺度を使用する方法と，カテゴリー尺度を使用する方法がある。前者には数値で示される尺度の等間隔性を期待するのに対して，後者には間隔の絶対レベルの再現性を期待している。Calibration とは，数値尺度にカテゴリー化した感覚の絶対レベルを対応させることをいう。

⑦% Highly Annoyed：一般の騒音の不快感を求める社会調査においては，"Not at all annoying, a little annoying, moderately annoying, very annoying, extremely annoying" などのカテゴリー尺度を使用する。このカテゴリーによる評定値を数値化する方法の１つとして，very annoying, extremely annoying の評定数のパーセンテージを使用することが多い。この比率を % Highly Annoyed という。

⑧ L_{Aeq} ：等価騒音レベル (Equivalent Sound Level)。変動する騒音の評価法として使用されるもので，騒音エネルギーの時間平均をデシベル表示したもので，下式の通り定義される。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt \right)$$

ここに，T ：観測時間

$L_{(t)}$：時刻 t における騒音レベル (dBA)

2．実験Ⅰ－異種騒音の単独評価 (ISVR)

A．実験の目的

既述の通り，L_{Aeq} は騒音の評価尺度，あるいは，その基礎尺度として他に優れた尺度であることは，既に周知の事実となっている。しかしながら，異種騒音の不快感の統一的尺度として L_{Aeq} を採用した場合，その適合性にしばしば疑義が持たれている。実験Ⅰの目的は，模擬居間実験室の環境の下で，典型的な異種交通騒音の不快感を L_{Aeq} によって統一的に評価することが可能であるか否かを検証することである。もし，これらの異種騒音の不快感が L_{Aeq} によって統一的に評価することが可能であれば，L_{Aeq} を積極的に採用することが出来る。しかし，もし，これら騒音の不快感が L_{Aeq} によって一義的に評価できないことが明らかとなれば，新たな複合騒音の評価尺度を求める研究が必要となるわけである。

B．実験の手順

実験Ⅰは，典型的な交通騒音である自動車騒音・航空機騒音・鉄道騒音の３種の騒音を模擬居間実験室においてそれぞれ単独に再生して，被験者にその不快感を評価せしめるものである。実験は ISVR の模擬居間実験室 Simulated Domestic Living Room において行われた。図－１はこの

実験室の平面である。

実験は以下の手順で行った。

① General Instructions による実験目的の説明

②実験参加の合意書の記入

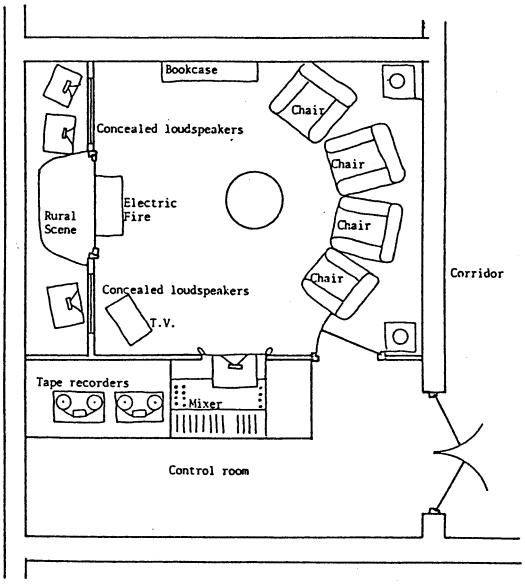
③メディカル・チェックリストの記入

④聴力測定

⑤実験の教示

⑥実験

⑦評定用語の Calibraion



図－1　実験室の平面（ＩＳＶＲ）

① General Instructions では，実験目的の概要と，実験音・実験方法の概要を述べ，同時に実験に危険が伴わないことを被験者に教えて，平静な気持で実験に臨むよう工夫している。②実験参加の合意書は ISVR で行う多くの実験に共通して使用しているもので，被験者が実験に任意参加したものであることと，いつでも実験を中止する権利を持っていることを認識して，被験者自身の立場を明らかにすると同時に，将来万一法的トラブルが生じた場合に備えている。③メディカル・チェックリストも ISVR の共通様式で，聴力に生理的障害の無いことと，一時的な体調のくずれ（風邪）をチェックしようとするものである。④聴力測定は ISVR の聴力測定ブースで実施した。ベケシー式のオージオメーターで125～8,000Hz の10オクターブのそれぞれにつき ISO 基準の等価最小可聴音圧レベル±20dB を合格範囲とした。⑤実験の教示においては，実験時間・実験音・評価方法の具体的な内容を述べると同時に，この実験が模擬居間実験であり，リラックスして持込みの本や備え付けの本を読みながら，日常生活を模擬することを求めている。⑥実験の回答用紙は，両端をラベリングした10段階単極数値尺度で，How annoying would you find the noise you have just heard, if you heard it all the time in your living room in the evening? という教示で Home Annoyance を求めている。また，⑦評定用語の Calibration においては，社会調査の％ Highly Annoyed との比較を行う目的で，数値尺度と評定用語の整合を求めている。

C．被験者・実験音・実験方法

実験に採用した被験者は合計30人で，Southampton 大学の学生および若手研究者である。研究者の多くと学生の一部は聴感実験の経験を有している。また，被験者の国籍は５ヶ国に及んでいるが，外国人は全て長期間のイギリス滞留者であり，言語・生活感覚などイギリス人と際立った差は認られなかった。

実験音の概要を表－1に示す。音源の種類は，自動車騒音・航空機騒音・鉄道騒音の3種である。自動車騒音・鉄道騒音については，ISVRに保存されている録音テープのうちから，目的に適うものを選定した。航空機騒音については，ヒースロー空港近傍で新たに収録した。

表－1　実験音の概要（実験Ⅰ，Ⅱ）

種　類	自動車騒音	航空機騒音	鉄道騒音
L_{Aeq} 35 dB 44 dB	NASAテープ。 高速道路から 遠く離れて収録 レンジ：20 dBA	ヒースロー近く のハム島で収録 旅客機　5回 頭上飛行	ウィンチェスターの 国鉄線路より 100m で収録。電車・ディ ーゼル車5回通過
L_{Aeq} 53 dB	ECテープ。 高速道路T2よ り 72mで収録 レンジ：30 dBA	同上の空港近く で収録 旅客機　5回 頭上飛行	同上。 線路より 50mで収録 電車・ディーゼル車 計5回通過
L_{Aeq} 62 dB 71 dB	ECテープ。 高速道路T2よ り 35mで収録 レンジ：40 dBA	ヒースロー空港 近傍で収録 旅客機離陸3回 着陸2回	同上。 線路の近傍で収録 電車・ディーゼル車 計5回通過

交通騒音のレベルと変動には密接な関係があり，一般に音源に近くレベルの高い騒音は立上り・立下りが急でレベル変動が大きい。したがって，同一の音源テープを増幅・減衰させることではレベルの再現は不十分である。呈示レベルの高い騒音には，音源に近い位置で収録したテープを採用し，呈示レベルの低い騒音には，これに応じて，遠距離で収録したテープを使用する必要がある。この点の配慮の結果，表－2に記載した実験音を決定している。

実験音の呈示レベルは，3種の音源それぞれ35，44，53，62，71 L_{Aeq} とした。したがって実験音の数は3種×5レベル＝15音である。1つの実験音の継続時間は10分とし，自動車騒音にあっては連続的に，航空機騒音・鉄道騒音にあっては5回/10分間の出現頻度とした。

実験音の呈示順序は，Incomplete Factorial Design によった。これは Southampton 大学数学科の統計数学者 Dr. John のプログラムによるもので，Carry-over Effect を最大限に相殺する目的で15行5列のマトリックスを組んだものである。被験者30名を2名ずつ15群とし，各群にこのマトリックスの1行を評定せしめた。したがって各被験者は，継続時間10分の騒音を5回づつ評定したわけである。

D．実験結果

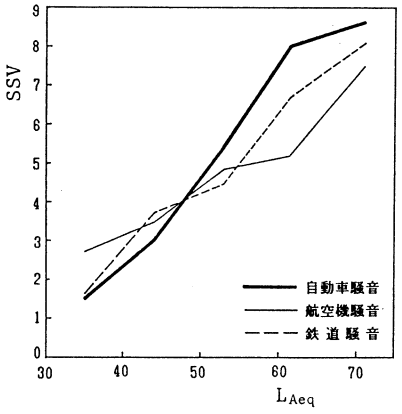
実験は順調に進行し，被験者のうち，教示に従う評定作業に困難を申告した人はいなかった。しかし，模擬居間実験における評定値の分散は，一般の聴感実験にくらべてかなり大きいことが特徴的である。15の実験音についての評定値の標準偏差の平均は，SSV 1.456であり，自動車騒音のそれは1.393，航空機騒音のそれは1.440，鉄道騒音のそれは1.534であった。

しかしながら，騒音レベルと評定値の間には明らかな相関がある。図－2は音源の種類別に評定値の平均の SSV と L_{Aeq} の相関を示したものである。騒音種類別にみると SSV と L_{Aeq} には一次の相関が明らかに認められ，検定結果もこれを裏付けている。しかし，その相関には音源別に

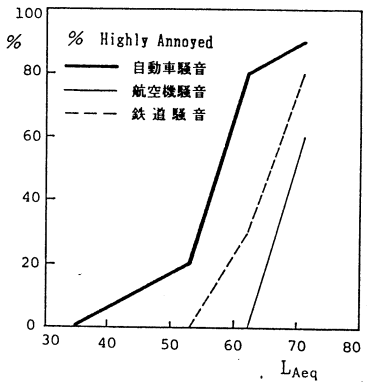
組織的な変化があり，中高レベル部でこれらのSSVに大きな相違が認められる。分散分析の結果，自動車騒音と航空機騒音の62 dBA および71 dBA の2対のデータに5％水準で有意差が認められた。

音源別のSSVの相違は，% Highly Annoyed を算出することで，より明瞭になる。既述の通り，実験の最後の手順で，被験者の評定の数値尺度と評定用語の Calibration を行っている。この "very much annoyed" にあてられた数値以上の評定値をもとに模擬居間実験における% Highly Annoyed を算出した。図－3は音源別の% Highly Annoyed である。騒音の不快感が音源の種類によって，同じL_{Aeq}であっても，大きく異ることが明瞭となる。

なお，実験結果について，国籍別と熟練度別の分析を試みた。実験データの少ないこともあり，精度の高い分析は出来なかったが，国籍や熟練度による実験値の有意差を検出することは出来なかった。



図－2　実験結果（実験Ⅰ）



図－3　評定の%Highly Annoyed（実験Ⅰ）

E．考察

以上，自動車騒音・航空機騒音・鉄道騒音を音源とする異種騒音の不快感の評定実験を模擬居間実験の手法によって行った。これらの騒音のそれぞれについては，SSV－L_{Aeq}の明らかな相関が認められた。しかしながら，その相関関係は音源別に組織的に異っており，L_{Aeq}でSSVを統一的に予測することの出来ないことが明らかとなった。

さて，既往の諸家の研究から，航空機騒音や鉄道騒音の不快感は，その出現頻度と関係していることが知られている。[2] しかしながらこの実験においては，実験規模の点から，航空機騒音も鉄道騒音も出現頻度を5回/10分の1種類に限定している。したがって，前節で述べたSSV－L_{Aeq}の相関関係も，航空機騒音と鉄道騒音については5回/10分の出現頻度についてのみの相関関係を示すに過ぎず，出現頻度が変れば，その関係も変ることが推察される。

以上の2つの事実から，以下の結論を導くことが出来る。

①自動車騒音，航空機騒音，鉄道騒音による不快感は L_{Aeq} と良く対応する。

②しかしながら，異種騒音の不快感の統一的評価尺度として，L_{Aeq} をそのまま適用することは出来ない。

3．実験Ⅱ－自動車騒音と航空機騒音の複合評価 (ISVR)

A．実験の目的

実験Ⅰの結果，L_{Aeq} は自動車騒音，航空機騒音，鉄道騒音のそれぞれの評価尺度としては有効であるものの，これら異種騒音の統一的評価尺度とはなり得ないことが明らかとなった。このことから，異種騒音の複合状態の不快感の評価には，L_{Aeq} をそのまま使用出来ないことが推論される。そこで，実験Ⅱにおいては，自動車騒音と航空機騒音の複合状態に限定して模擬居間実験を行い，複合騒音に関する刺激－反応の関係を明らかにして，複合騒音の不快感の評価方法の確立に資する知見を得ようとする。

B．実験方法

実験Ⅱは，実験Ⅰに引続いて，ISVR の Simulated Domestic Living Room で行った。使用した機器も実験Ⅰと同様である。実験の手順は以下の通りである。

①General Instructions による実験目的の説明

②実験参加の合意書の記入

③メディカル・チェックリストの記入

④聴力測定

⑤実験の教示

⑥実験

⑦評定用語の Calibration

実験の教示および実験そのものを除いて，すべての詳細は実験Ⅰと同様である。

実験音の種類は航空機騒音と自動車騒音の２種で，使用した録音テープは実験Ⅰで使用したものと同一である。

実験は自動車騒音を暗騒音とし，これに航空機騒音を重畳させることを基本としている。実験音の配列は完全ラテン方格法によった。自動車騒音および航空機騒音の呈示レベルをそれぞれ４レベルとし，これらのすべての組合せの16種の複合音を実験音の総数とした。自動車騒音の呈示レベルは35，42，49，56 dB L_{Aeq}，航空機騒音の呈示レベルは０，40，50，60 dB L_{Aeq} である。

これらの実験音の組合せは以下の方法によった。まず，自動車騒音を１次単位とし４×４の完全ラテン方格をつくる。つぎに航空機騒音を２次単位とし，これを同じく４×４のラテン方格に配置し，１次単位の各成分に重畳させて16行16列のマトリックスを構成した。

被験者は ISVR の学生および若手研究者16人とした。各被験者にはそれぞれ16のすべての実験

音（複合音）を評定させた。1つの実験音の継続時間を10分とし，日を置いて8音づつ2回の実験を行わしめた。1回の実験にあたっては4音（40分）の評定ののち，10分の休憩時間を設け，続いて次の4音の評定を行わせた。被験者には2回の実験終了後，拘束時間に見合う5ポンドの謝金を支払った。

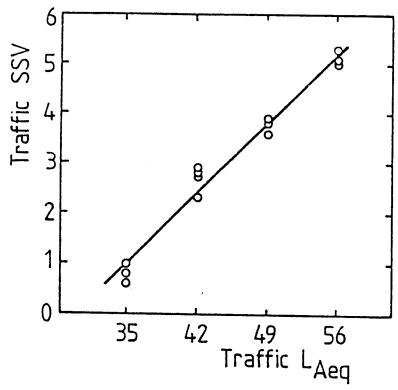
評定はそれぞれの複合騒音を聞いた後に，①騒音全体の不快感，②航空機騒音の不快感，③自動車騒音の不快感を，それぞれ両端にラベリングした0～9の10段階数値尺度に記入せしめるものである。評定の形式は，実験Ⅰと同じくHome Questionである。

C．実験結果

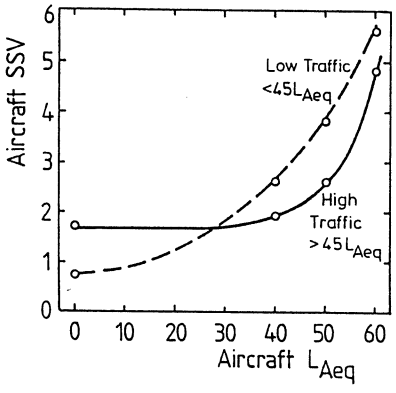
実験の結果，16種の実験音についての評定値の標準偏差はSSV 1.684であり，全体の不快感についてのそれぞれは1.723，航空機騒音のそれは2.019，自動車騒音のそれは1.311であった。

さて，この実験の具体的課題は，複合騒音全体の不快感Total Annoyanceをその全体のレベルTotal L_{Aeq}によって評価出来るか否か，また，それが不可能の場合には，個別騒音の不快感Source Specific Annoyanceに基づいて，いかにして正確に評価するかである。

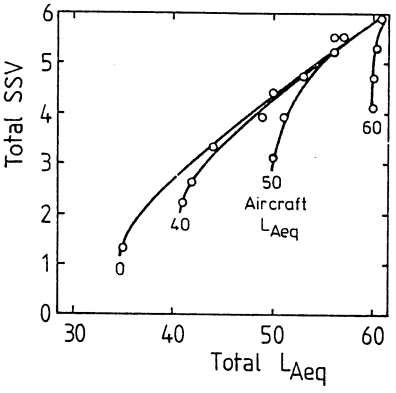
実験結果から，まず個別騒音に関する刺激－反応の関係を見る。図－4は複合状態における自動車騒音のSource Specific L_{Aeq}とSource Specific Annoyanceの関係を示すものである。自動車騒音のAnnoyanceはこれに重畳する航空機騒音のレベルにほとんど関係なく，きれいに一次的相関を示している。一方，航空機騒音については，重畳する自動車騒音のレベルの影響が認められ，自動車騒音の35，42 dB L_{Aeq}と49，56 dB L_{Aeq}との結果が異っていることが明らかとなった。そこで，自動車騒音45 dB L_{Aeq}を境界として刺激－反応の関係をまとめたも



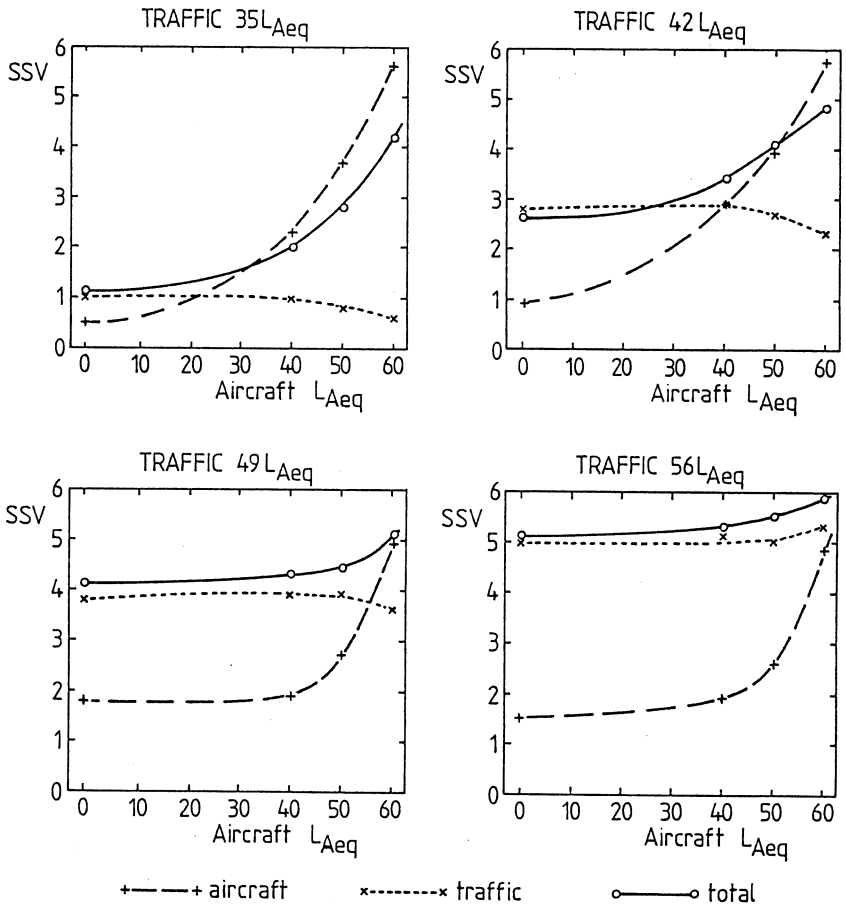
図－4 自動車騒音のSource Specific Annoyance（実験Ⅱ）



図－5 航空機騒音のSource Specific Annoyance（実験Ⅱ）



図－6 Total AnnoyanceとTotal L_{Aeq}（実験Ⅱ）



図－7　Total AnnoyanceとSource Specific Annoyance（実験Ⅱ）

のが図－5である。社会調査においてしばしば指摘される航空機騒音の不快感に対する暗騒音レベルの影響，すなわち，暗騒音レベルの上昇とともに航空機騒音の不快感が過小評価されるという事象と同じ結果を示している。

図－6は騒音全体に関するもので，Total L_{Aeq} と Total Annoyance の相関を示している。この図はパラメータとして航空機騒音レベルをとっているが，自動車騒音レベルをパラメータとしても，当然のことながら，データの分散は変らない。

図－7は，自動車騒音，すなわち，暗騒音の L_{Aeq} 別に Total Annoyance と Source Specific Annoyance を示したものである。

これらの実験結果から以下のことが明らかとなる。

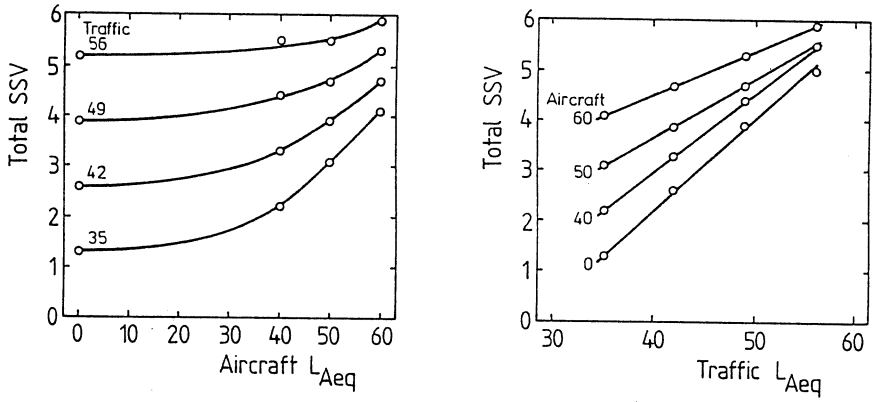
①全体の不快感 Total Annoyance は個別騒音のレベルに複雑な影響を受ける。

② Total Annoyance は，暗騒音レベルの高い領域においては Source Specific Annoyance の加算化

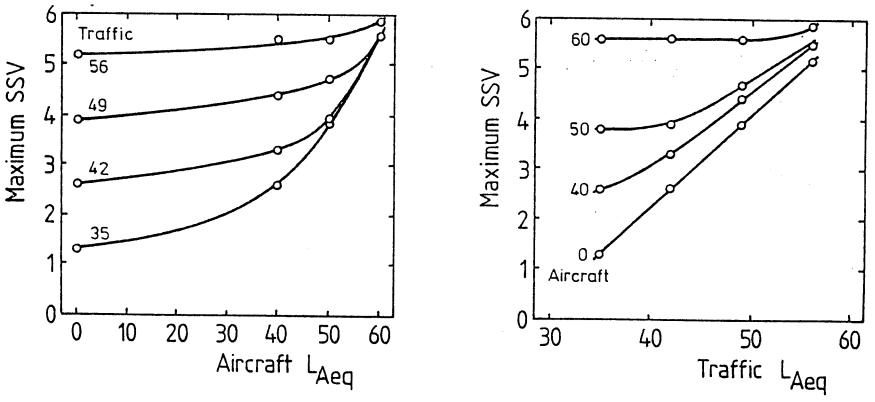
の傾向を示すが，暗騒音レベルの低い領域ではこの傾向はなくなり，Source Specific Annoyance の平均化の傾向を示す。

③航空機騒音の Source Specific Annoyance は，暗騒音レベルの高い領域で抑制される傾向を示す。

④自動車騒音の Source Specific Annoyance には航空機騒音の影響は少ないが，航空機騒音レベルが自動車騒音レベルを上廻ると，僅かながら抑制される傾向を示す。



図－8 Total Annoyanceの予測モデル（実験Ⅱ）



図－9 Maximum Annoyanceの評価モデル（実験Ⅱ）

D．考察

前節の結果から，複合騒音の Total Annoyance は単に Total L_{Aeq} によるのみでは予測することが出来ず，また，個別騒音のレベルと複雑に関係していることが明らかとなった。そこで，Total Annoyance を個別騒音レベルによって表現する試みを行い，図－8を得た。これは，自動車

騒音と航空機騒音の個別のレベルをパラメータとしてTotal SSVをプロットし，そのスプライスラインを引いたものである。Total SSVとパラメータとは組織的な関係を示しているものの，完全なモデルとして完成しているものではない。しかし，今後のモデル化への有効な知見を提示している。

さて，既往の社会調査において，複合騒音環境の全体的評価が，そのTotal L_{Aeq}ではなく，卓越する音源のレベルに基づくとする知見がある。この知見は必ずしも研究者の間で疑義なく認められているものではないが，今後の研究展開に重要な示唆を与えるものである。

図－9は，上記の知見にしたがって，複合騒音の各レベルにおいて，その状態でのSource Specific Annoyanceのうち最も不快なもの(Maximum SSV)をもってその騒音環境を代表するものとして，要素の騒音のL_{Aeq}との相関を求めたものである。C. G. Riceはこれを Dominant Source Model（卓越音源モデル）と命名している。[3] モデルの適合性については後に検討するが，将来の研究のための重要な知見としてここで整理，記述しておきたい。

4．実験Ⅲ－異種騒音の単独評価（室蘭工大）

A．実験の目的

実験Ⅲの主たる目的は，ISVRにおいて実施した実験Ⅰと同じく，異種騒音の不快感をL_{Aeq}によって統一的に評価することが出来るか否かを検証することである。同時にこの実験では，欧米における模擬居間実験の手法が日本においても等しく可能となるか，また，この方法で得られる知見に普遍性があるのか否かを検証しようとしている。

B．実験方法

図－10は室蘭工大の模擬居間実験室の平面概要で，ISVRの模擬居間実験室におおむね準ずる構造をしている。しかし，スピーカは隠蔽されておらず，吸音力も大きめである。

実験に使用した音源の種類は航空機騒音および自動車騒音の2種で，その呈示レベルをそれぞれ4水準とし，あわせて8種の実験音を8×8完全ラテン方格を用いて，2人ずつ8群計16人の被験者に評価せしめた。実験の手順は以下の通りである。

①実験の概要および目的の口答説明(General Instructions)

②実験の教示

③実験音1～4の評定

④休憩（10分間）

⑤実験音5～8の評定

⑥Calibration

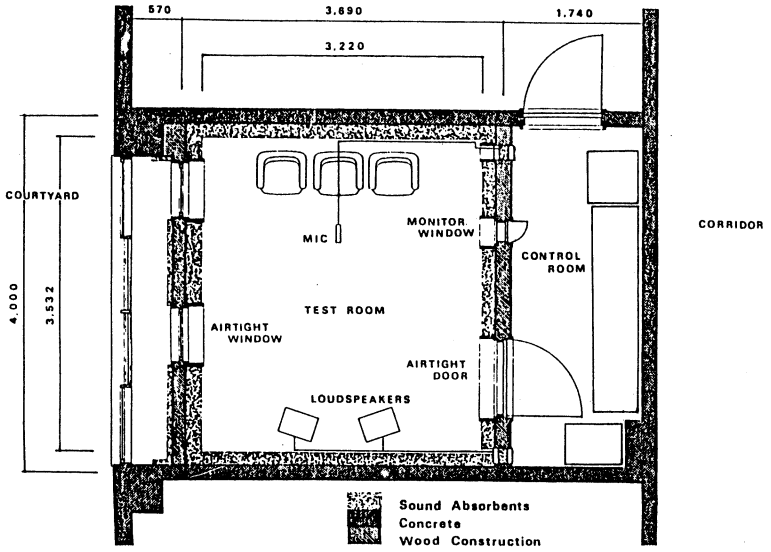
表－2は，実験音の概要を示すものである。録音はすべて野外で行った。そこで，実験室での再生にあたっては家屋による減衰を考慮して，JIS 1419『建築物の遮音等級』に規定された基準

周波数特性（D曲線）にもとづいて周波数補正を行った。1つの実験音の継続時間は10分間とし，自動車騒音は連続的に，航空機騒音は2回/10分の出現頻度とした。

被験者は室蘭工業大学学生で，聴感実験の経験を有していない。評価尺度は，1～10の10段階単極数値尺度とし，その両端に『全然うるさくない』と『我慢できないくらいうるさい』という用語をラベリングした。

表－2　実験音の概要（実験Ⅲ，実験Ⅳ）

騒音種別	実験用レベル (L_{Aeq})	音源	時間特性	備考
航空機	32,42 dB	B 747 SR 離陸時	ピークー10dB で19秒	航路側方 300 m 機体へ最短 350 m
	52,62 dB	B 747 SR 着陸時	ピークー10dB で 8秒	航路直下 200 m 機体へ最短 200 m
自動車	35,45 dB	4車線国道より 100 m	変動レンジ 10dB	183台／時 大型車混入率 7.4％
	単独評価 52,62 dB 複合評価 55,65 dB	2車線国道より 10 m	変動レンジ 15dB	344台／時 大型車混入率 20.4％



図－10　実験室の平面（室蘭工大）

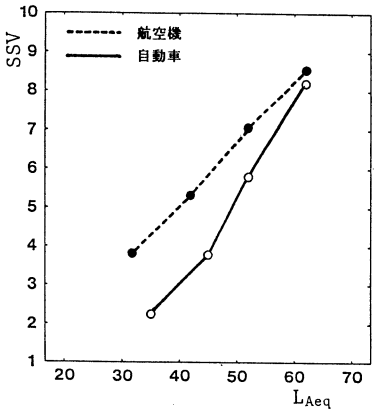
被験者にはくつろいで新聞・雑誌の黙読することを指示した。実験完了後，％Highly Annoyedの算出のため，『少しうるさい』，『ほどほどにうるさい』，『非常にうるさい』の評価用語を，10段階尺度へあてはめさせた(Calibration)。被験者には，拘束時間に見合う500円/時間の謝金を支払った。

C．実験結果

図－11は，この実験の結果で，被験者全員の評定値の平均と騒音レベルの相関を示したものである。一般の聴感実験に比べて評定値の分散は大きいが，その平均値はきれいな直線性を見せている。T検定の結果，航空機と自動車のSSVの平均値には，52 dBで5％水準，それ以下のレベ

ルで1％水準で有意差が認められた。図－12，図－13は，回帰直線とその95％信頼区間，および評定値の95％信頼区間を示す。回帰検定の結果，航空機騒音・自動車騒音ともに直線性の有意性が認められた。なお，ロジスティック曲線への回帰を見たが，この変域においては，ロジスティック回帰の優位性は認められなかった。

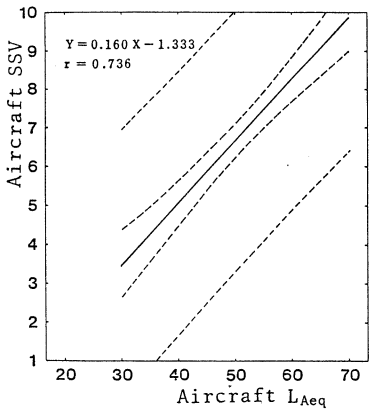
図－14は，両騒音に関する回帰直線の95％信頼区間を比較したものである。L_{Aeq} が航空機騒音・自動車騒音それぞれの不快感の評価尺度とはなるものの，これら異種騒音の統一的評価尺度とはならないことを示している。



図－11　実験結果（実験Ⅲ）

D．考察3

表－3は，NASA および ISVR で行われた同種の実験の一覧である。実験の中には単独評価実験と複合評価実験の両方を行っているものもあるが，この場合単独評価実験の結果のみを比較の対象とした。これらの実験はすべて，①模擬居間実験で，② Home Question により，③0～9 Annoyance 尺度で，騒音の不快感を求めている。以下にこれらの実験結果の比較を行いたい。なお，比較にあたっては欧米の0～9尺度による SSV は，本実験の1～10尺度の値に置換している。



図－12　航空機騒音のSource Specific Annoyance（実験Ⅲ）
－回帰直線、その95％信頼区間及びSSVの95％信頼区間－

航空機騒音については，同じ L_{Aeq} レベルであっても，飛行の出現頻度がその Annoyance に影響する。そこで，本実験と同程度の頻度のものと，これとは異る頻度のものに分けて，図－15，および図－16に比較した。ハッチ部は，本実験の回帰直線の95％信頼区間である。出現頻度の類似しているものは，その Annoyance 評価が極めて良く整合しているのが判る。

図－17は，同様に自動車騒音に関する諸家の実験の比較である。自動車騒音についてはすべて連続的に変動させているので，一括して比較が可能である。Large の1例を除いて，その傾向は良く類似しており，この種の実験の妥当性と普遍性を示唆している。

以上，航空機騒音と自動車騒音の単独評価に関する模擬居間実験を行い，諸家の同様の実験結果と比較して考察した。この結果，以下の結論を導くことが出来る。

①模擬居間実験の手法は普遍的に成立するとする論拠が得られた。

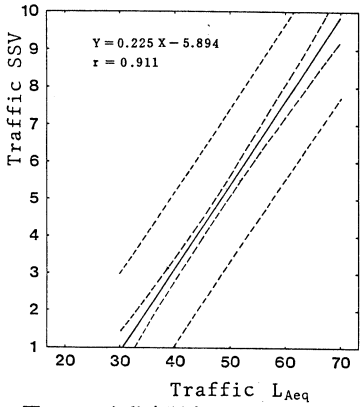
②自動車騒音，および，航空機騒音の不快感のそれぞれは L_{Aeq} と良く対応する。

③しかしながら，これらの騒音の統一的評価尺度として，L_{Aeq} をそのまま適用することは出来ない。

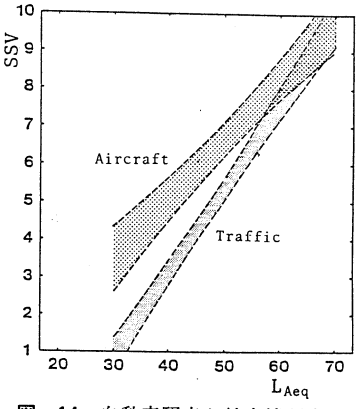
5．実験Ⅳ－自動車騒音と航空機騒音の複合評価（室蘭工大）

A．実験の目的

実験Ⅳの目的は，ISVR で行った実験Ⅱと基本的に同じである。実験Ⅰおよび実験Ⅱにおいて，L_{Aeq} は異種交通騒音のそれぞれの評価尺度としては有効であるものの，これら異種騒音の統一的評価尺度とはなり得ないことが明らかとなった。そこでこの実験においては，自動車騒音と航空機騒音に関して，刺激－反応の関係をより明瞭に浮彫りにして，複合騒音の不快感の評価方法を求めようとするものである。



図—13 自動車騒音のSource Specific Annoyance（実験Ⅲ）
—回帰直線、その95%信頼区間及びSSVの95%信頼区間—



図—14 自動車騒音と航空機騒音のSSVの比較（実験Ⅲ）
—回帰直線の95%信頼区間—

B．実験方法

実験Ⅳは，実験Ⅲに使用したそれぞれ4水準の航空機騒音と自動車騒音を組合せた16の複合騒音を実験音として，複合評価の実験を行うものである。実験音は，Carry-over Effect を相殺するため，実験Ⅱと同様に，自動車騒音を1次単位，航空機騒音を2次単位として，ラテン方格を用いて組合せて16行16列のマトリックスに配置している。被験者には，実験規模の関係から，ラテン方格の最初の8列についての評定を行わしめた。実験の手順は以下の通りである。

①実験の概要および目的の口答説明 (General Instructions)

②実験の教示

実験音1～4の評定

④休憩（10分間）

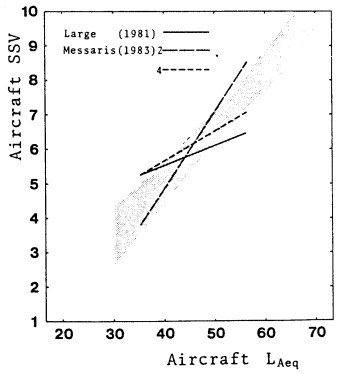
⑤実験音5～8の評定

⑥Calibration

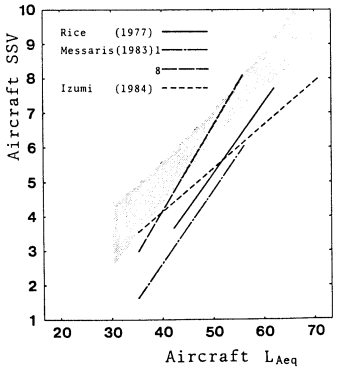
本実験においては，表－4に示す5種類の教示を使用した。一般に社会調査においては，まず騒音全体の不快感 (Total Annoyance) を聞き，後に航空機・自動車などの個別騒音の不快感

表－3　比較した実験の一覧（実験Ⅲ）

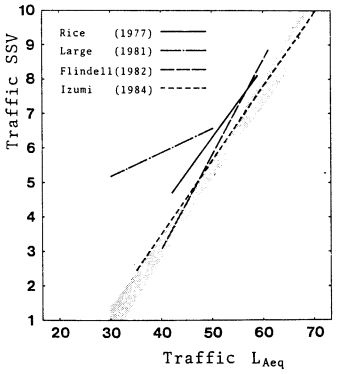
研究者	C.G.Rice [2] 1977	J.B.Large [4] 1981	I.H.Flindell [5] 1982	N.G.Messaris [6] 1983	K.Izumi [3] 1984
実験室	NASA.IER	ISVR.SLR	ISVR.SLR	ISVR.SLR	ISVR.SLR
実験音	航空機騒音 自動車騒音	航空機騒音 自動車騒音	鉄道騒音 自動車騒音	航空機騒音	航空機騒音 自動車騒音 鉄道騒音
航空機の頻度	各種	2回／10 min	———	1,2,4,8回／15min	5回／10 min
暴露時間	25 min／音	10 min／音	5 min／音	15 min／音	10 min／音
被験者	9人／音 計16人	16人／音 計48人 学生·教職員·市民	40人／音 計40人 学生·教職員·市民	16人／音 計16人 学生・研究者	15人／音 計30人 学生・研究者
評定尺度	0－9尺度	0－9尺度	0－9尺度	0－9尺度	0－9尺度
実験中の作業など	ブリッジの競技	休息・読書 あみもの等	自由休息 自由読書	自由休息 自由読書	自由休息 自由読書



図－15　航空機騒音のSSVの諸家比較(1)
（出現頻度の類似しているもの）



図－16　航空機騒音のSSVの諸家比較(2)
（出現頻度の類似していないもの）



図－17　自動車騒音のSSVの諸家比較

(Source Specific Annoyance) を聞くことが多い。Rice は，この質問の順序により評価にバイアスが生じることを論じている。[3] しかしながら実験室実験においては，単に順序のみならず，3者を共に聞く場合，被験者に加減の計算意識が生じ，これにより評価にバイアスがかかるおそれが十分に予期される。

そこで本実験では，80人の被験者を16人づつ5群に分け，表－4の通りの5種の教示を与えた。教示B1，B2は『複数質問』で，ISVR における実験Ⅱと同じく，同一の複合騒音について3種の評定を行わしめるものである。B1とB2は Total Annoyance と Source Specific Annoyance についての設問の順序を変えている。これに対して，教示B3，B4，B5は『単一質問』であり，被験者各人には1種の質問のみを行い，被験者を3群用意して Total Annoyance と Source Specific Annoyance を求めるものである。教示および回答用紙のフォーマットは，実験Ⅲに準じ

ている。

被験者は室蘭工大の学生であり，おおむね実験Ⅲに参加している。

表－4　複合評価実験の概要（実験Ⅳ）

教示種別	教示の内容	被験者数
複数質問法	B1：航空機騒音・自動車騒音・騒音全体の順に評価させる。	16人
	B2：騒音全体・航空機騒音・自動車騒音の順に評価させる。	16人
単一質問法	B3：航空機騒音のみの評価をさせる。	16人
	B4：自動車騒音のみの評価をさせる。	16人
	B5：騒音全体のみの評価をさせる。	16人

C．実験結果

実験結果を分散分析したところ，教示B1とB2の『複数質問』による結果には有意差が認められず，これらとB3，4，5の『単一質問』によるものとの間には有意差を検出した。評定値の分散についてみると，複数質問法による結果と単一質問法による結果の間には明瞭な差は認められなかった。しかし，単一質問法の結果は，①その趨勢が論理的に単独評価実験の結果と矛盾しないこと，②被験者のバイアスが，よりかかり難いと推察されること，③次節以降の各種の分析に，より矛盾なく合致することから，複数質問法に比べて単一質問法の信頼性が高いと判断出来る。したがって，以下各節では，主として単一質問法による結果にもとづいて分析を進める。

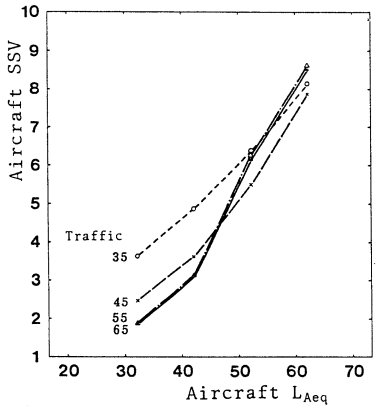
D．考察

図－18，図－19は，複合状態における航空機騒音および自動車騒音の L_{Aeq} とそれぞれのSource Specific Annoyanceの相関を示す。それぞれパラメータには他の騒音の L_{Aeq} をとっている。航空機騒音のAnnoyanceには背景騒音としての自動車騒音の組織的な影響が明らかに出ている。背景騒音のレベル別に直線回帰を行い，その回帰係数について検定した結果，有意差が認められた。これは，同じ騒音が閑静な地域において喧騒な地域よりうるさく感じられるという一部の社会調査での知見と対応している。

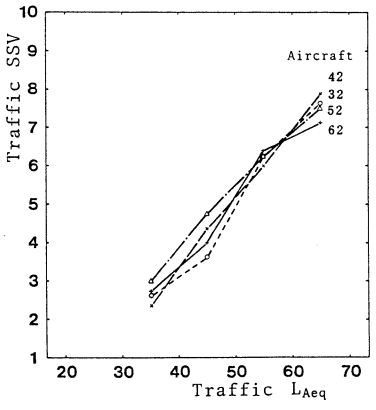
一方，自動車のSource Specific Annoyanceには，図－19で明らかなように，航空機の L_{Aeq} による組織的な影響は認められない。分散分析の結果も，これを裏付けており，重畳する航空機騒音レベル別に見た平均値にも回帰係数にも有意差は認められなかった。

以上見た通り，航空機と自動車のAnnoyanceに交互効果のあることから，Total L_{Aeq} のみによってTotal Annoyanceが一義的に定まらないことが推論される。図－20は，この事実を本実験の結果によって明らかに示している。

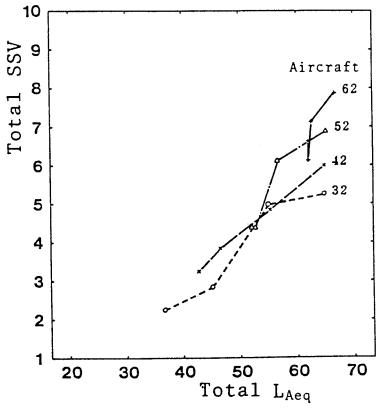
図－21は，Total L_{Aeq} とTotal Annoyanceの回帰直線とその95％信頼区間，およびAnnoyance評定値の95％信頼区間を示す。回帰検定によれば，一次回帰で十分であり，かつ，直線性の成立が認められた。しかし，相関係数は0.657と低く，評価値の95％信頼区間の広さから見ても，



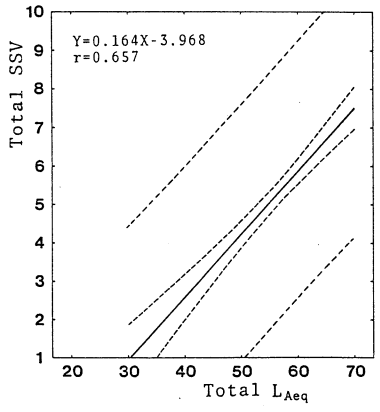
図—18　航空機騒音のSource Specific Annoyance (実験Ⅳ—単一質問)



図—19　自動車騒音のSource Specific Annoyance (実験Ⅳ—単一質問)



図—20　Total AnnoyanceとTotal L_{Aeq} (実験Ⅳ—単一質問)



図—21　Total Annoyanceの回帰直線、その95%信頼区間及び評定値の95%信頼区間

Total L_{Aeq} のみにて Total Annoyance を予測することには，実効的な意義が小さいと結論せざるを得ない。

6．総合考察

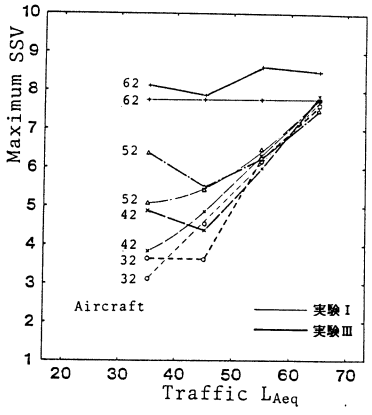
A．各種評価尺度の比較と Dominant Source Model

複合騒音の評価とは，複合騒音環境の全体の不快感 (Total Annoyance) を要素の騒音の物理量 (Source Specific L_{Aeq}) によって予測することにほかならない。この観点から，1960年代の

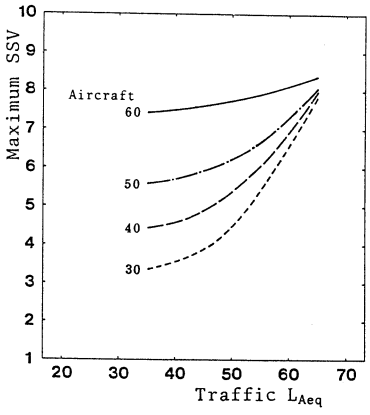
表—5 複合騒音の評価モデル

モデル	式	エネルギー効果	異種音源の実効レベル	実効レベルの変化	音源間の交互効果
(1)エネルギー加算モデル	$A_T=f(L_T)$	◎	×	×	×
(2)独立効果モデル	$A_T=\sum_{i=1}^{n} f_i(L_i)$	◎	○	○	×
(3)エネルギー差モデル	$A_T=f_1(L_T)-f_2(\lvert L_1-L_2\rvert)$	◎	×	×	◎
(4)反応加算モデル	$A_T=f(L_T+\sum_{i=1} D\times 10^{(L_i-L_T)/10})$	◎	◎	○	○
(5)抑制・加算モデル	$A_T=f(L_T+E)$	◎	◎	×	◎
(6)卓越音源モデル	$Ad=f_{di}(L_{di})$	◎	◎	◎	○

◎ 直接考慮している
○ 間接的に考慮している
× 考慮していない



図—22 Maximum SSVとSource Specific L_{Aeq}の比較
(実験Ⅱ・実験Ⅳ)



図—23 Dominant Source Model
(実験Ⅱ・実験Ⅳ)

Rathe,[7] Robinson[8] 以来10指に余るモデルが提案されている。[9]一方，C. G. Rice は，複合騒音の不快感は Total Annoyancce によって把握するよりも，それぞれの状態における個別騒音の不快感 (Source Specific Annoyance) のうち最も不快であるもの (Maximum Annoyance) によって把握することが現実的であろうという視点から，Dominant Source Model を提案した。[3]これらの提案のうち主要なもの6種を整理すれば，表－5の通りである。

表－6　複合騒音の評価モデルの適合性（モデルによる実験値の決定係数と誤差のRMS）

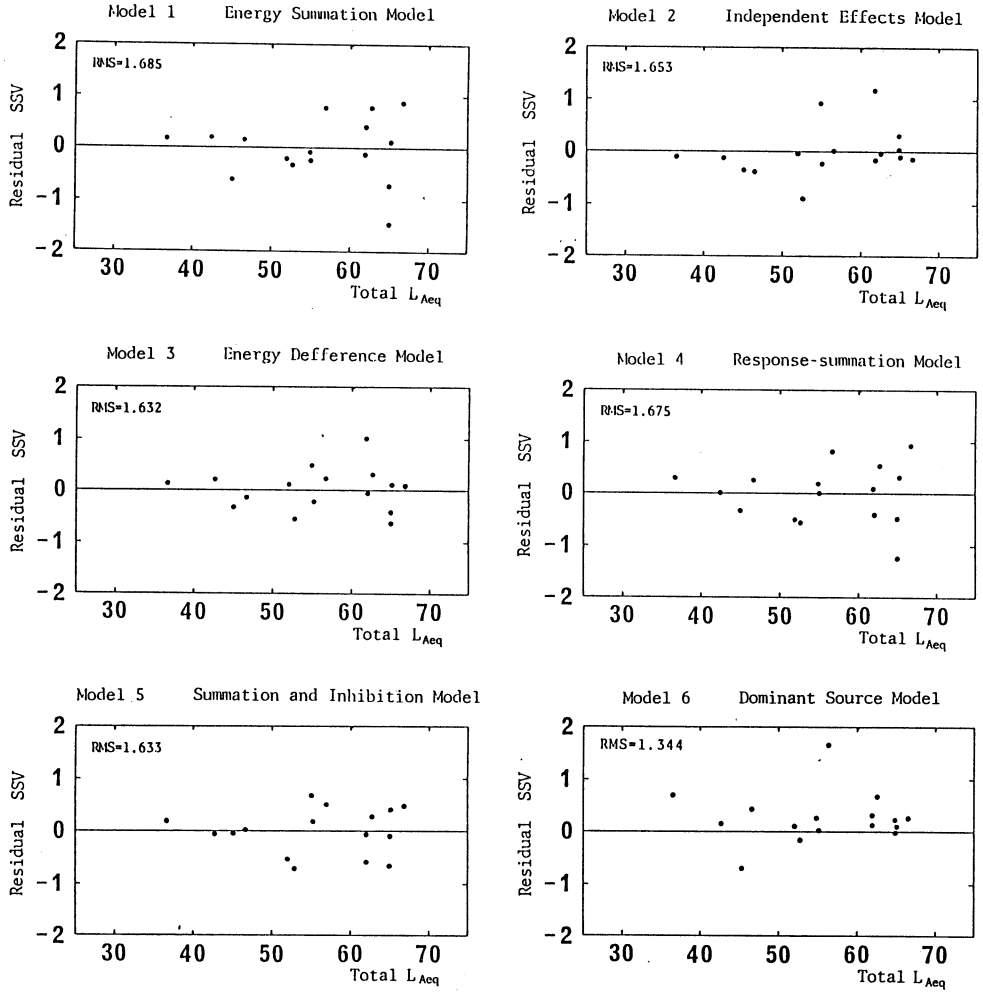
モデル	式	R^2	RMS
エネルギー加算モデル	$A_T=0.164L_T-3.967$	0.431	1.685
独立効果モデル	$A_T=0.102L_A+0.086L_R-3.020$	0.455	1.653
エネルギー差モデル	$A_T=0.188L_T-0.053_{DIFF}-4.629$	0.469	1.632
反応加算モデル	$A_T=0.166\ (L_T+3.340\times10^{(L_A-L_T)/10})-4.306$	0.441	1.675
抑制・加算モデル	$A_T=0.177L_{T\ (CORR)}-4.282$	0.464	1.633
卓越音源モデル	$Ad=\max(A_A, A_R)$ $A_A=0.053L_A+0.003L_A\times L_R+3.847$ $A_R=0.166L_R-3.125$	0.587	1.334

L_T : Total L_{Aeq}　　L_{DIFF} : $|L_A-L_R|$　　A_T : Total Annoyance
L_A : Aircraft L_{Aeq}　　$L_{T\ (CORR)}$: L_T+E　　A_A : Aircraft Annoyance
L_R : Traffic L_{Aeq}　　A_R : Traffic Annoyance
Ad : Maximum Annoyance

さて，実験Ⅳの結果を Dominant Source Model の立場から整理し，実験Ⅱと比較したのが図－22である。国・被験者・設備など実験条件の相違にも拘らず，傾向も絶対レベルも類似している。双方の実験値の分散の大きさを考えると，二者はほとんど同じ結果を出しているということが出来る。図－23は，両実験にもとづいた Dominant Source Model である。

ここで複合騒音の6つの評価尺度に実験Ⅳの結果をあてて，その適合性の検討を行いたい。表－6はこれらの評価尺度に実験結果を摘要した場合の式およびこれによる決定係数と誤差の RMS を示す。また，図－24は，これらの誤差を Total L_{Aeq} にもとづいて図示したものである。6つの評価尺度の適合性は，全体の誤差の RMS で見ると一見大差はない。しかしながら，Total L_{Aeq} の大きな範囲で Dominant Source Model による誤差が小さくなるのに対して，その他の評価

尺度による誤差はむしろ大きくなっている。騒音評価の現実的問題は騒音の大きな領域で発生することから見て，Dominant Source Model の優位性は明らかである。実験データは未だ十分ではなく，これのみにて Dominant Source Model を強く主張することは必ずしも妥当ではないが，今後の研究展開のための重要な知見である。



図—24 複合騒音の評価モデルの適合性（実験Ⅳ—単一質問）

B．社会調査との比較

以上，模擬居間実験により航空機と自動車の複合騒音の不快感の定量化を試みた。最後にこの実験結果と社会調査との比較を行いたい。

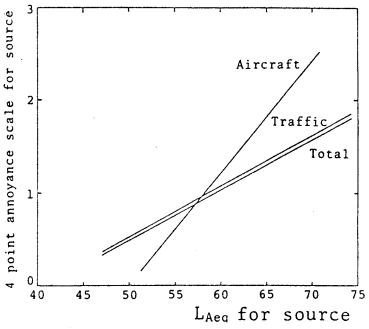
自動車騒音を背景音とする航空機騒音の社会反応を実験室実験での反応と比較する際に，２つの技術的な問題がある。その１つは，背景音の大小が航空機騒音の Annoyance に影響を与える

か否かという問題であり，もう一つは，いわゆるField-Laboratory Calibrationで，実地と実験室における被験者の反応の絶対レベルの差を如何に補正するかという問題である。

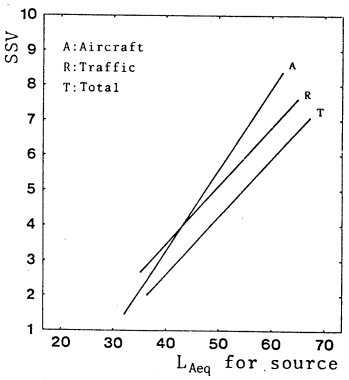
まず，第1の問題に関して，実験Ⅳで得られた航空機のSource Specific Annoyanceの回帰直線を，背景をなす自動車騒音の大小別に算出したところ，Low Background (Traffic ＜45 dB L_{Aeq}) の航空機騒音は，低レベルでHigh Background (Traffic ＞45 dB L_{Aeq}) のそれを明らかに上廻っていた。F検定の結果，両者の評定値には1％水準で有意差が認められた。

一方，Field-Laboratory Calibrationに関しては，Flindellの重要な研究がある。実地と実験室との被験者の反応には，①心理的効果の相違，②家屋の遮音効果，の両者が分離できずに影響するという立場から，数次にわたって，Southampton市内での住宅の窓外の騒音実測と，居住者の自宅内および模擬居間実験室内での反応測定を行った。この結果，実地と実験室内でのAnnoyanceの補正量として，18 dB L_{Aeq} を得ている。Largeは，Flindellの研究を参考にして，イギリスの一般住宅に関する実地－実験室の補正量として15 dB L_{Aeq} を提唱している。

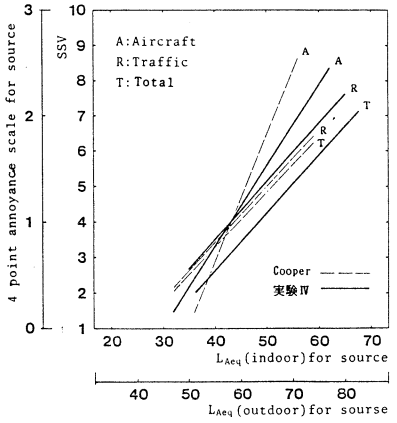
さて，図－25は，Cooperらによる Heathrow 空港周辺5地区415人の社会調査の結果の一部である。Cooperらは，特に背景騒音の影響を求めるために自動車騒音のレベルの異る地区を選定してこの調査を行っている。航空機・自動車・全体のそれぞれの L_{Aeq} と Source Specific Annoyance を求めて，図－25の結果を得ている。一方，図－26は実験Ⅳにおける同じ結果の回帰直線を示したものである。Cooperらの調査が本実験の High Background に相当するので，航空機騒音の回帰直線は High Background



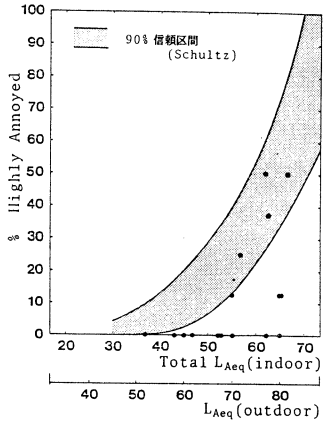
図－25　複合騒音のTotal Annoyance とSource Specific Annoyance (Cooperらの社会調査)



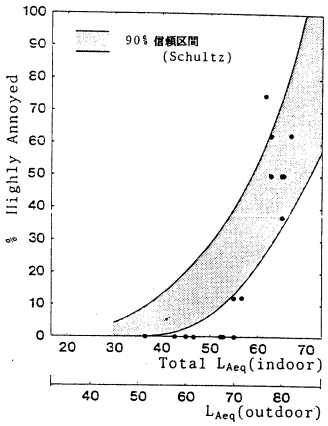
図－26　複合騒音のTotal Annoyanceと Source Specific Annoyance (実験Ⅳ－単一質問)



図－27　複合騒音のAnnoyanceに関する実験と社会調査の比較 (Cooperらの調査と実験Ⅳ－単一質問)



図—28 Total Annoyanceの%Highly Annoyedと社会調査結果との比較
(実験Ⅳ とSchultzの研究との比較)



図—29 Maximum Annoyanceの%Highly Annoyedと社会調査結果との比較
(実験Ⅳ とSchultzの研究との比較)

のものを採用した。図－25と図－26における回帰係数と絶対レベルはかなり良く類似している。Large の説にしたがって実地－実験室レベル補正を15 dB L_{Aeq} として両者を比較したのが，図－27である。調査と実験という条件の大きな相違を考えると，両者は極めて良く整合しているということが出来る。

Schultz は，先進諸国の社会調査を整理・総括して，社会調査における% Highly Annoyed と L_{Aeq} の発展型である Ldn（昼夜等価騒音レベル）の関係を図示し，かつ，データの90%範囲を算出している。[11] そこでこの知見と本実験の結果を比較するために実験Ⅳの Calibration を行い，Total Annoyance と Maximum Annoyance の% Highly Annoyed を算出した。図－28は Total Annoyance, 図－29は Maximum Annoynce を Schultz の90%範囲に載せたものである。模擬居間実験，特に，Deminant Source Model が社会調査とある程度の整合性を示すことが判る。

7．結　　論

以上，Southampton 大学 ISVR および室蘭工業大学において行った一連の模擬居間実験を記述した。以下はこれらの 4 シリーズの実験を総括して得られた知見である。

①模擬居間実験の方法について

実験室実験と社会調査研究との整合をはかることは，騒音評価研究の重要な課題である。この目的のために開発された模擬居間実験の方法により，アメリカ (NASA), イギリス (ISVR), 日本（室蘭工大）において行った実験結果は，きわめて良好な整合性を見せている。また，これらの実験結果は，既往の研究による知見と一致するところが多い。これらのことから，模擬居間実験は将来の騒音評価研究のための有効な方法となり得ることが結論出来る。

②等価騒音レベル L_{Aeq} について

L_{Aeq} は，近年先進諸国において，騒音に関する研究および行政の両面で最も重要な評価尺度として広く使用されている。この一連の実験結果により，L_{Aeq} は自動車・航空機・鉄道などの個別の騒音の評価尺度として良好な適合性を示すことが追認された。しかしながら，L_{Aeq} にもとづく刺激－反応の関係は音源の種類によって異ることが明らかとなり，したがって，これらの騒音の統一的評価尺度として L_{Aeq} をそのまま使用できないことが導き出された。

③複合騒音に関する刺激－反応の関係について

自動車と航空機の複合騒音について刺激－反応の関係から，以下の事項を確認することが出来た。

1) 自動車騒音の不快感はこれに重畳する航空機騒音のレベルにほとんど影響されない。

2) 航空機騒音の不快感はこれに重畳する暗騒音としての自動車騒音のレベルに組織的な影響をうける。すなわち，同じレベルの航空機騒音であっても，暗騒音レベルが高くなるにつれてその不快感は減少する。

3) 複合騒音全体の不快感は，全体の騒音レベルのみによっては評価できない。全体の不快感の評価のためには，要素の騒音の個別レベルを考慮した新しい評価方法が開発されなければならない。

④複合騒音の評価方法について

複合騒音の不快感の評価方法については，すでに多くの提案があるが，このうち6つのモデルが重要と考えられる。この一連の実験結果にもとづいて6つのモデルの適合性を検討した結果，モデルの適合性には大差は認められなかった。しかしながら，Dominant Source Model（卓越音源モデル）の有効性が他に比較して良好であり，かつ，社会調査との整合性も良いことが認められた。

複合騒音の不快感の評価方法の確立は，騒音評価研究の重要な課題である。また，実験室実験と社会調査研究との整合も重要な課題である。模擬居間実験の方法はこれらの課題にとってきわめて有効な方法であることが，この一連の実験的研究によって明らかとなった。今後，方法と理論の両面にわたる洗練を重ねて，課題の究明に資して行きたい。

この研究の端緒は Southampton 大学 ISVR における文部省在外研究によっている。

C. G. Rice 氏は，ISVR において実験の便宜を与えていただき，また，貴重な討論をいただいた。N. Messaris 氏は，ヒースロー空港における騒音の収録や実験室の運用についてご協力をいただいた。A. McKenzie 氏は，実験Ⅱの運用に多大のご協力をいただいた。滴草久人君には，実験Ⅲ・Ⅳの運用と解析に多大のご協力をいただいた。ISVR の聴覚研究ユニットおよび室蘭工大建築環境研究室のすべての諸氏には，実験と解析の両面において数々のご協力をいただいた。上記のすべての方々に心から感謝を捧げて小論を終える。

（昭和61年5月21日　受理）

参考文献

1）泉　清人：日本建築学会音シンポジウム　*27*，1（1986）
2）C. G. Rice：J. Sound Vib., *52*, (3) 345 (1977)
3）C. G. Rice & K. Izumi：Institute of Acoustics proceedings (1984), 287
4）J. B. Large：BAA Report *183*, 1 (1981)
5）I. H. Flindell：PhD Thesis, Southampton University (1982)
6）N. G. Messaris：MSc Thesis, Southampton University (1983)
7）E. J. Rathe & J. Muheim：J. Sound Vib., *7*, (1) 106 (1968)
8）D. W. Robinson：J. Sound Vib., *14*, (3) 279 (1971)
9）S. M. Taylor：J. Sound Vib., *81*, (1) 123 (1982)
10）T. J. Schultz：J. Acoust. Soc Am., *64*, (2) 377 (1978)
11）泉　清人：日本建築学会音シンポジウム　*26*，29（1985）
12）泉　清人：日本建築学会大会学術講演梗概集，123（1984）
13）泉　清人他：日本建築学会北海道支部研究報告集　*58*，33（1985）
14）泉　清人他：日本建築学会北海道支部研究報告集　*58*，37（1985）