

異なるカテゴリ尺度で得られた鉄道騒音に対する不快感反応の ファジィ理論に基づく相互比較*

田畑 亨*¹ 矢野 隆*² 川井敬二*² 上野文男*¹

(1997年11月25日受付)

【要旨】異なるカテゴリ尺度を用いて、均質な住民に対して鉄道騒音に関する社会調査を実施し、尺度の違いが不快感反応へいかに影響するかを検討した。暴露-反応関係を尺度間で比較することで、4段階尺度は住民が表現語を確実に識別できる段階幅であり、正確な調査データが収集し易いことを明らかにした。また、自然言語を定量表現するファジィ理論を導入し、不快感の反応指標のファジィ集合を直線近似した標準メンバシップ関数に係数倍とべき乗倍を付加することで定式化した。これより、5段階尺度で調査された各反応指標が自然言語的意味に最も適合することが分かった。更に、4、5段階尺度間の調査結果が相互比較できることを明らかにした。

キーワード 鉄道騒音, カテゴリ尺度, 不快感反応, ファジィ集合, 自然言語

Railway noise, Category scale, Annoyance response, Fuzzy set, Natural language

1. はじめに

環境騒音に関する社会調査はこれまで数多く実施され、膨大なデータが蓄積されている。これらのデータの有効利用を目的として、研究手法の主流は新たな大規模調査の実施より種々の調査結果を相互に比較することに移行しつつある¹⁾⁻¹²⁾。これらの文献における比較研究を容易にすることを目的として、Fields¹³⁾は論文を conference papers, journal articles, extended reports の3ランクに分け、それぞれが具備すべき項目を提案している。

文献による比較研究において、主要な検討項目の一つは騒音暴露量-不快感反応関係の比較である。その際に問題となるのは、各調査において用いられた異なる物理的評価尺度と心理的評価尺度をいかにして共通の尺度に変換するかということである。物理的な評価尺度としては等価騒音レベル L_{Aeq} が世界的に共通の指標となりつつあるが、心理的な評価尺度としては国際的に標準化されたものはまだない。

騒音のうるささの評価尺度の構成に関しては、これ

まで幾つかの研究が報告されている。例えば、Fidell¹⁴⁾は、まず、言葉の意味から5段階の尺度を構成し、表現語ラベルの異なる4種類の5段階尺度を用いて種々の音に対する反応を調査し、尺度間に顕著な差がないことを明らかにした。また、米国での調査では、主に“not at all”, “slightly”, “moderately”, “very”, “extremely”の5段階尺度が使われており、調査の継続性を考慮して同様の尺度の使用を推奨している。更に、Levine¹⁵⁾はロサンゼルスでの調査で、降旗¹⁶⁾は長野地域での調査でそれぞれ独自に7段階の尺度を構成している。

日本音響学会の騒音問題に関する社会調査・調査委員会¹⁷⁾によって騒音の影響に関する標準的な調査票が提案されている。その中で様々な音について悩まされることがあるかどうかを調査しているが、どの程度、悩まされるのかは尋ねておらず、不快感反応の一般的な指標である% highly annoyed を求めることはできない。Fields¹⁸⁾は、多くの文献調査から“not at all”, “a little”, “moderately”, “very much”の4段階尺度が世界的に使用頻度が高いということを指摘し、国際的な比較のためには異言語間で言葉の意味の等価性の問題が少なく、感覚的になじみ易い10段階の数値尺度が適切であるとし、これらの尺度を用いた質問項目を社会調査の共通項目とすることを提案している。このような状況を背景として、現在、国際的な標準尺度を策定する動きがある。

さて、以上の研究は何段階でどのような表現語ラベルを付した尺度が適当であるのかを検討したものでは

* Fuzzy theory-based comparison of annoyance responses to railway noise obtained with different category scales,
by Toru Tabata, Takashi Yano, Keiji Kawai and Fumio Ueno.

*¹ 熊本電波工業高等専門学校

*² 熊本大学工学部

(問合先: 田畑 亨 〒861-1102 熊本県菊池郡西合志町須屋 2659-2 熊本電波工業高等専門学校電子制御工学科)

ない。山下ら¹⁹⁾は日本語の意味に基づいて4~7段階の尺度を構成し、聴感実験によってこれらの尺度による反応の違いを検討した。その結果、% highly annoyed のような反応指標にはカテゴリに付した数値よりも言葉の方が重要であり、被験者は言葉の意味を峻別していることを明らかにした。更に、矢野らは社会調査で用いられている段階数と表現語の現状調査²⁰⁾を参考にして決定した4種類の尺度を用いた4種類の調査票を使って、鉄道騒音に関する社会調査を行った²¹⁾。現実生活での反応に基づいて% very annoyed や% rather annoyed のような反応指標を尺度間で比較し、山下らの実験結果とほぼ同様の結論に達した。

本研究は、矢野らによる鉄道騒音の不快感に関する調査データ²¹⁾に以下のような新たな分析方法を試みて、尺度の違いが不快感反応へいかに影響するか、またどのような尺度が社会調査に適しているかを精緻に検討することを目的とする。まず、移動平均化法や最小2乗法による多項式近似を導入して、異なるカテゴリ尺度で得られた不快感反応の詳細かつ安定した変化を求める。次に、ファジィ理論による自然言語の持つ意味的あいまいさを定量表現する手法^{22),23)}を社会反応に適用して、騒音の暴露量と不快感の反応指標との関係に関して尺度間の相互関係の規則性を抽出し、4種類の尺度の得失を検討する。

なお、ファジィ理論を騒音評価へ適用した研究として、加藤ら^{24),27),29)}や山口ら^{25),26),28)}の一連の研究がある。彼らは人間の心理的評価には本来、あいまい性が存在するとの立場から、主観的判断の性質や構造にファジィ理論を適用している。すなわち、心理実験により音の種々の物理的特性に対する心理的印象に関してメンバーシップ関数を推定し、心理的評価の予測手法を検討している。

これに対し、本論文では、実際の社会調査における不快感反応の度合いを測る目安となる反応指標の評価を研究対象としており、このため、異なる心理的評価尺度を用いて得られた各反応指標の評価に対して自然言語的ファジィ述語表現を適用したものである。この

ような社会調査データを精緻に検討し相互に比較することは、これまでの異なる尺度で得られた社会調査の成果を比較したり、標準的な尺度を提案する際に役に立つものと考えられる。

2. 調査データの新しい処理法

2.1 評価尺度

鉄道騒音に関する社会調査や騒音測定の概要についてはすでに文献²¹⁾にて報告したので、参照していただきたい。調査に使用した4種類の段階数と表現語を有するカテゴリ尺度を表-1に示す。表中の数字はカテゴリ番号を表す。

本調査では空気汚染、悪臭、振動、騒音等の種々の環境要因に対する不快感の評価の中で、鉄道騒音の影響の程度を尋ねている。従って、一般に騒音の影響の評価として用いられている“うるさい”という表現ではなく、騒音だけでなく他の要因の影響評価にも共通して使える“不快である”という表現を用いた。

また、程度表現語に関しては、山下ら¹⁹⁾の聴感実験の研究成果や筆者らによる段階数と表現語の現状調査²⁰⁾を参考にして決定したが、以下の検討に際して、評価尺度の等間隔性を確認する必要がある。

そのため、社会調査データと騒音データに系列範囲法を適用して、カテゴリ尺度を距離尺度に変換し、カテゴリの数値尺度と距離尺度との相関係数を求めたものが図-1である。尺度段階数が増すと相関係数が小さくなる傾向が現れ、山下らの実験研究と同様の傾向が見られる。しかし、どの尺度においても相関係数は0.98以上と高く、 χ^2 検定の結果、相関係数には尺度間で有意差は見られず、表-1のどの尺度もほぼ等間隔であると見なすことができる。なお、以降の検討は表-1の尺度を用いて得られた反応を前提としたものである。

2.2 従来の処理法

本論文では、ある騒音レベル範囲に暴露されている人々のうち、最上位カテゴリ又は最上位カテゴリから何段階かのカテゴリ範囲に反応した人々の割合のこと

表-1 調査で使用した4種類の段階数と表現語

4段階尺度	5段階尺度	6段階尺度	7段階尺度
1. 不快でない	1. 不快でない	1. 不快でない	1. 不快でない
2. 少し不快である	2. 少し不快である	2. 少し不快である	2. 少し不快である
3. かなり不快である	3. 不快である	3. 不快である	3. やや不快である
4. 非常に不快である	4. かなり不快である	4. かなり不快である	4. 不快である
	5. 非常に不快である	5. 非常に不快である	5. かなり不快である
		6. 耐えられないくらい不快である	6. 非常に不快である
			7. 耐えられないくらい不快である

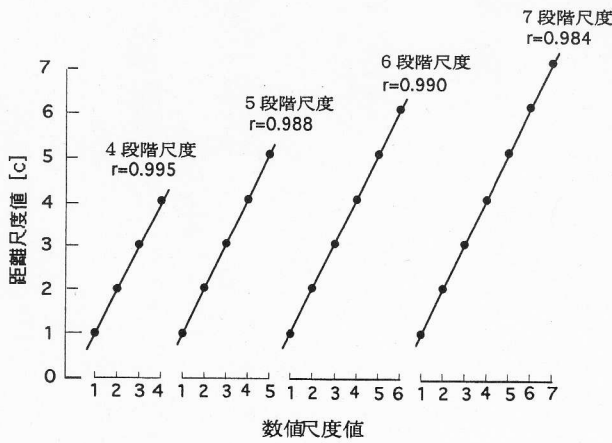


図-1 数値尺度と距離尺度との関係

を“反応指標”と呼ぶ。これに対して一つのカテゴリだけに反応した人々の割合のことを“反応割合”と呼ぶことにする。

環境騒音に対する住民反応の度合いを測る目安として、非常に大きな不快感を抱く住民がどの程度存在するかが重要な要素と考えられる。すなわち、騒音に関する社会調査の反応指標として、ある騒音レベル範囲に暴露される人々のうち、どれだけの人が特定のカテゴリ（例えば、very annoyed）に反応するかというパーセント割合（% very annoyed）が用いられている。それらは数 dB 程度の間隔の等価騒音レベル $L_{Aeq(24h)}$ に対する反応指標として折線グラフで表示されてきた。

図-2 に、鉄道騒音の暴露量と 4~7 段階尺度に対する代表的な反応指標である % very annoyed との関係を示す。ここで、% very annoyed は 4 章に後述するが、4, 5 段階尺度の場合は最上位のカテゴリに、6, 7 段階尺度の場合は上位二つの 2 カテゴリグループに反応した人の割合とした。

図に示すように、各尺度の反応指標はデータが少ない低レベルと高レベルの $L_{Aeq(24h)}$ 値において、大きくばらつき安定していない。また、各反応値を算出するために、 $L_{Aeq(24h)}$ 値の数 dB 間隔の始点と終点を様々に設定すると、特にデータの少ない最低レベルや最高レベルの暴露範囲では、折線グラフの形状は大きく変化した。このことから、本手法を用いて異なる段階数での反応指標の差異を暴露量の全範囲にわたって詳細に比較することは困難であると思われる。

2.3 新しい処理法の提案

上記の問題点を解決するために、筆者らは新たなデータの処理法を幾つか提案する。

(1) 移動平均化法による折線表示

数 dB 間の平均値を折線近似した従来の平均化法によるグラフ表示は、前述したように平均値の算出処理

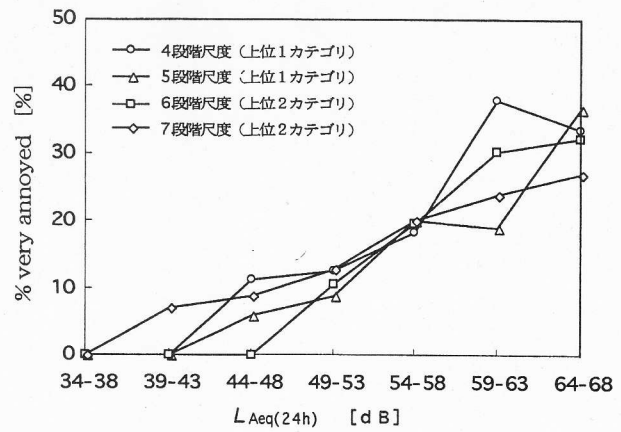


図-2 暴露量と % very annoyed との関係 (従来表示例)

の違いで結果がばらつき、不正確である。このため、1 dB ごとの各等価騒音レベル $L_{Aeq(24h)}$ 値において、その値より前後の数 dB 間で分布する暴露量にわたって、不快感反応の相対度数のパーセント割合の平均を求めて折線表示する方法を用いた。

この処理法を用いて、4 種類の異なるカテゴリ尺度においてそれぞれのカテゴリの反応割合、及び反応指標の暴露量との関係を、3, 4 章に示した。その結果、データの少ない最低レベルや最高レベルの暴露範囲を除き、各 $L_{Aeq(24h)}$ 値の変化に対する不快感の反応結果の微妙な変化を忠実に表現することができた。

(2) 多項式近似による曲線表示

最小 2 乗法により各データ値の最も近くを通り誤差が最小になる滑らかな多項式曲線で近似し、各カテゴリに対する反応割合や反応指標を曲線表示した。この結果を同様に 3, 4 章に示すが、移動平均化法にて得られた折線近似曲線と良く一致する滑らかな曲線表示が実現できた。

この表示法は各 $L_{Aeq(24h)}$ 値の変化に対するばらつき誤差を打ち消すことができるため、結果の特徴を抽出し易いものと考えられる。また、社会調査の原データが手元になく、文献から平均化されたデータしか得られない場合には移動平均化法による処理を用いることができない。その際、本手法は有効であり、移動平均化法と同程度の詳細な騒音レベル変化に対する反応割合変化の関係を抽出することができる。

社会調査の原データを用いても、平均化法や移動平均化法により抽出した二つの加工データを用いても、最小 2 乗法による多項式近似で得られた曲線は全く同一なものが得られた。これより、新たに提案した移動平均化法による折線表示や多項式近似による曲線表示などにおけるデータ処理法が妥当であり、従来法より正確に調査データを比較、検討できることを示唆していると思われる。

(3) ファジィ集合近似による曲線表示

不快感の反応指標の一つは、住民が暴露量に対して“annoyed”といううるささを表現した自然言語の形容詞（評価語）に対応する反応の程度を表している。また他の反応指標は，“annoyed”が“very”とか“rather”など不快さの違いを表現する副詞（程度表現語）で修飾された形容詞句に対応する反応の程度を表すものと見なせる。従って、形容詞の意味的あいまいさをファジィ集合にて定量表現し、形容詞を修飾する副詞はそのファジィ集合の演算子であると見なすファジィ理論を導入することは妥当であると考えられる。

5章で述べるが、各反応指標のメンバーシップ関数は、 $L_{Aeq(24h)}$ 値に比例して線形変化する標準ファジィ集合のメンバーシップ関数をべき乗倍することで定式化できると予測される。そして、ファジィ集合による曲線表示結果は、移動平均化法や最小2乗法で求めた形状と良く一致し、定式化が有効であることを示唆している。

3. 騒音の不快感に関する調査の適正段階数の予測

図-3(a)～(d)に、4～7段階尺度における騒音暴露量と各カテゴリに対する反応割合との関係を示す。ここで、各マークは移動平均値で、1dBごとの各 $L_{Aeq(24h)}$ 値の前後9dB間の反応度数のパーセント割合の平均を求めたものである。 $L_{Aeq(24h)}$ 値の変化に対して、反応割合のばらつきが小さく、しかも、その変化の特徴が読み取り易い妥当な間隔として、9dB間隔を選択した。

ただし、最低レベルや最高レベルの暴露範囲では、移動平均を算出するための $L_{Aeq(24h)}$ 値範囲は9dBから7dB、5dB、3dBまでと順次小さくして算出し

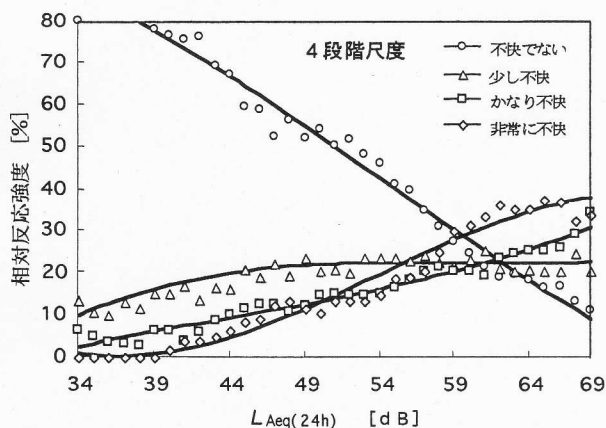


図-3(a) 暴露量と4段階尺度の各カテゴリ反応割合との関係

た。このため、低レベル34～36 dB間、高レベル66～68 dB間は表示精度は悪く、ばらつきが生じている恐れがあると予想される。

また、各実線は最小2乗法による多項式近似した結果を表示している。

図-3(a)は4段階尺度を用いた場合、“暴露量の増加に伴い上位カテゴリの反応割合が増加する”ことが

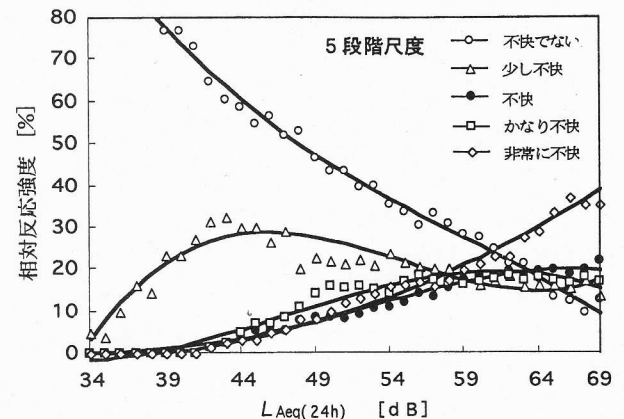


図-3(b) 暴露量と5段階尺度の各カテゴリ反応割合との関係

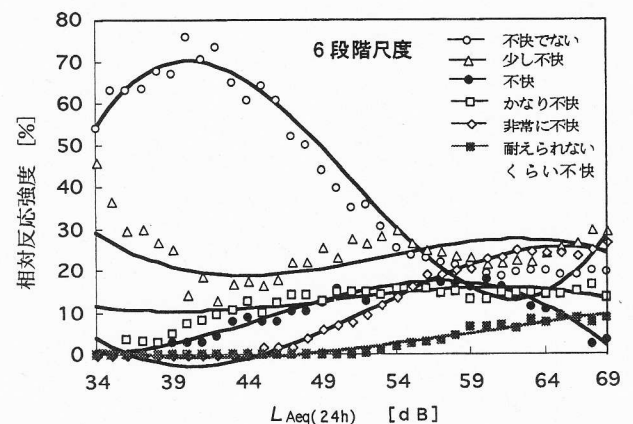


図-3(c) 暴露量と6段階尺度の各カテゴリ反応割合との関係

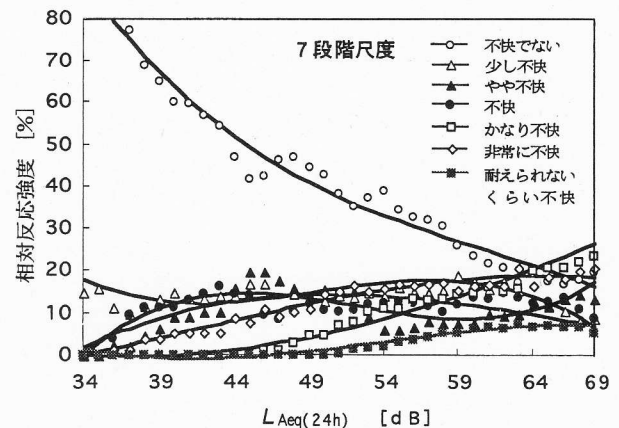


図-3(d) 暴露量と7段階尺度の各カテゴリ反応割合との関係

明らかであることを示している。

しかしながら、図-3(b)の5段階尺度の“不快である”と“かなり不快である”という反応割合には、“暴露量の増加に伴い上位のカテゴリの反応割合が増加する”という当然、予測されるべき規則性が明確には現れていない。同様のことが図-3(c)の6段階尺度における“不快である”と“かなり不快である”や図-3(d)の7段階尺度の“やや不快である”や“不快である”などの中位のカテゴリ間において見られる。

これは、段階数が多いと選択する表現語の数が多く細分化され、心理的に尺度間隔が狭くなるためと予測され、“中位カテゴリで、暴露量に対して人間が感じる不快感に相当する表現語を選択する識別感度が不確かになる”ためと予想される。

このように、新しいデータ処理法により暴露量と各カテゴリの反応割合との関係を厳密に調べた結果、“筆者らの選定したカテゴリ尺度を用いた場合、4段階尺度は住民が不快感反応に対応する表現語を確実に識別できる段階幅であり、より正確な調査データの収集が可能である”ことが明らかになった。

すなわち、それら各カテゴリ範囲は(1)“不快でない”カテゴリ、(2)“少し不快”カテゴリ、(3)“やや不快”、“不快”、および“かなり不快”の3カテゴリグループ、(4)“非常に不快”と“耐えられないくらい不快”の2カテゴリグループの4種類に大別され、グループ内の識別は不確かであると判断される。

ただし、5段階尺度の場合、表現語“不快”の代わりに“やや不快”を用いるなどカテゴリ3とカテゴリ4の尺度間隔を広げるような表現語を使用すれば、人間の識別はより明確になるであろう。

更に、6段階尺度の“不快でない”と“少し不快である”のカテゴリ1, 2間で見られるように、選択判断のあいまいさが、一方のカテゴリを選択することでその割合が増加し、他方の割合が減少するという両グラフの形状が相補的に影響し合う問題点も生じている。この点からも6, 7段階尺度では人間が識別するには分離幅が小さ過ぎ、利用するに適切な段階数ではないものと判断される。

4. 各カテゴリ尺度における反応指標の直接比較

不快感の程度が大きい上位カテゴリの何段階かに反応した人々の割合が意味のあるデータとして評価され、反応指標として用いられてきた。従来より、反応指標として、% very annoyed, % rather annoyed, % annoyedなどの英語表現された形容詞句が割り当てられている。しかし、これらの反応指標は、異なるカテゴリ尺度において、上位カテゴリから何段階までの反応割合をとるかは研究者の判断にまかされており、厳密には標準化されていない。

このため、表-2の反応指標のカテゴリグループ分けに示すように、一般的と考えられるカテゴリグループをそれぞれの反応指標として定義した。% very annoyedは4, 5段階尺度の場合は最上位の“非常に不快”カテゴリを、6, 7段階尺度の場合は上位二つの“耐えられないくらい不快”と“非常に不快”の2カテゴリグループに反応した人の割合とした。

また、% rather annoyed, % annoyedはそれぞれ下位のカテゴリを一つずつ追加することで定義した。ただし、4段階尺度の場合、段階数が少ない関係で% rather annoyedと% annoyedは同一カテゴリを用いている。

本研究では各カテゴリ尺度における反応指標間の関係を把握するため% more or less annoyed (多少、不快と反応した人々の割合)を新たに定義した。これは% annoyedのカテゴリグループに下位のカテゴリを一つずつ追加した。

図-4(a), (b)に、4~7段階の4種類のカテゴリ尺度において、各反応指標間の相違を明らかにするために、騒音暴露量と代表的な反応指標である% very annoyedと% rather annoyedとの関係を示した。ここで、移動平均化法にて得られた結果をマークで表示し、最小2乗法により多項式近似したものを曲線で表示している。各図に示すように、移動平均化法にて得られた結果と最小2乗法による多項式近似した結果は良く一致しており、全暴露範囲にわたって各段階数における反応指標の詳細な変化を表現している。

表-2 4種類のカテゴリ尺度の不快感反応指標

反応指標	段 階 数			
	4段階尺度	5段階尺度	6段階尺度	7段階尺度
very annoyed	4	5	5+6	6+7
rather annoyed	3+4	4+5	4+5+6	5+6+7
annoyed	(3+4)	3+4+5	3+4+5+6	4+5+6+7
more or less annoyed	2+3+4	2+3+4+5	2+3+4+5+6	3+4+5+6+7

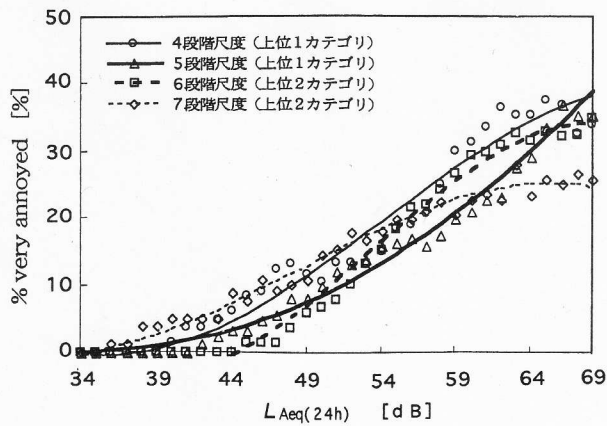


図-4(a) 暴露量と% very annoyed の関係

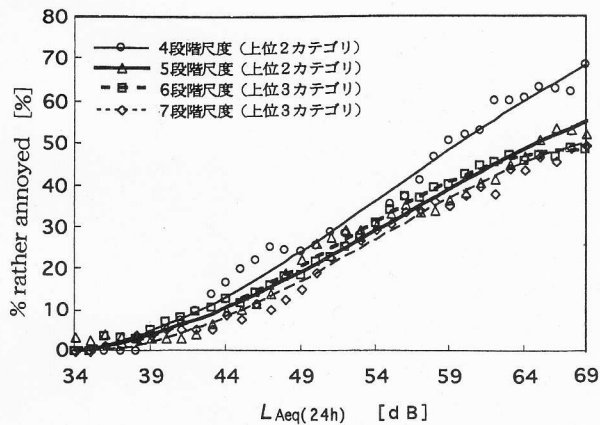


図-4(b) 暴露量と% rather annoyed の関係

にもかかわらず、各反応指標の占有割合が各カテゴリ尺度で異なっているため、このまま段階数の異なる各反応指標の変化の特徴を抽出するのは依然として困難であると判断された。

5. 不快感反応指標のファジィ集合表現

ファジィ理論で扱うファジィネスには、自然言語の意味に含まれるあいまいさや人間の主観的判断に依存するあいまいさなどが含まれることは周知である。

一方、不快感反応の社会調査結果は、使用する表現語に含まれる意味的あいまいさやそれらの言葉を選択する際の人間の主観的判断に依存するあいまいさが含まれている。このため、これらのあいまいさはファジィ理論で取り扱うファジィネスと深い関係があると予想される。

ファジィ集合論の応用として、L.A. Zadeh により、自然言語の“young”とか“many”などの形容詞をファジィ集合で表し、更に修飾語を付けた“very young”とか“pretty many”などといった言葉をファジィ集合で定量表現する手法が提案された。ここで、形容詞を表現するファジィ集合は副詞を付加することで修飾的意味を持った別のファジィ集合に変換され

る。

この観点から、上位カテゴリの反応割合をグループ化した各反応指標の違いは、人間が不快さを示す形容詞“annoyed”を表すファジィ述語であり、更に、この形容詞に“非常に：very”とか“かなり：rather”とか修飾語の副詞が付加された形容詞句的なファジィ述語表現の違いに相当すると見なせる。

各カテゴリ尺度において、暴露量に対する反応指標の変化を、自然言語の副詞が演算子として付加された形容詞句の意味的あいまいさを表現したファジィ集合のメンバーシップ関数にて定量表現することを試みる。

一般に、ファジィ集合論での形容詞のファジィ集合“A”を表現するメンバーシップ関数を“ μ_{AS} ”とすると、自然言語に関するファジィ集合特有の演算が成り立つ³⁰⁾。

- (1) ファジィ集合“very A”はファジィ集合“A”の集中化 (concentration) に相当し、以下の関係式で表される。

$$\mu_{AV} = \text{CON}(\mu_{AS}) = (\mu_{AS})^2 \quad (1)$$

- (2) ファジィ集合“rather A”はファジィ集合“A”を明暗強化 (intensification) し、正規化 (normalization) したものに相当し、以下の関係式で表される。

$$\mu_{AR} = \text{NORM}(\text{INT}(\mu_{AS})) \quad (2)$$

- (3) ファジィ集合“more or less A”はファジィ集合“A”を拡大化 (dilation) したものに相当し、以下の関係式で表される。

$$\mu_{AM} = \text{DIL}(\mu_{AS}) = (\mu_{AS})^{0.5} \quad (3)$$

式(2)に示すように、ファジィ理論では演算子“rather”は形容詞のべき乗で修飾する意味と異なる言語定義がなされている。しかしながら、騒音不快感の反応指標では“rather annoyed”は“very annoyed”と“annoyed”の中間的意味として定義し、“more or less annoyed”を含めて同種類の定義の一つとして使用されている。

このことから、各反応指標は“rather”を含めた各副詞が付加された形容詞句を定量表現するファジィ集合であり、形容詞を表現する標準メンバーシップ関数に特定のべき乗倍が演算子として付加されているメンバーシップ関数で表現できるものと定義づけた。

5.1 メンバーシップ関数の定式化

鉄道騒音が住民の主要な不快要因の一つである場合、“うるさい”と感じる不快感反応は暴露量の増加に比例して単純に増大すると見なせる。これより、形容詞“annoyed”に匹敵するファジィ集合を標準ファジィ集合とすると、そのメンバーシップ関数も暴露

量の増加に比例して増加すると理想化し、 $L_{Aeq(24h)}$ 値に比例する直線で近似できると仮定する。

暴露量 x の変化に対し、 i 段階尺度 (i は 4 から 7 の整数) の各反応指標を表した標準ファジィ集合のメンバーシップ関数 μ_{Si} は、数値属性が明確に決められないので、不快でたまらない状態をメンバーシップ関数値 1 とし、全く不快でない状態を 0 とした。また、図-4(a), (b) に示されるように、各反応指標は暴露量 $L_{Aeq(24h)}=34$ [dB] を始点とした曲線で描くことができることから、以下の直線式で定義した。

$$\mu_{Si} = a_i(x - 34) \quad (4)$$

ここで、 a_i は i 段階尺度の標準ファジィ集合の直線の傾きである。

更に、実際の各反応指標を、副詞的演算子が付加されたファジィ集合群と見なし、標準ファジィ集合のメンバーシップ関数 μ_{Si} である一定直線に係数倍 c とべき乗 b の両方が複合的に作用する拡張されたメンバーシップ関数で定式化する。

(1) 集合“very annoyed”のメンバーシップ関数 μ_V は以下の式で表される。

$$\mu_V = c_v \{a_i(x - 34)\}^{b_v} \quad (5)$$

(2) 集合“rather annoyed”のメンバーシップ関数 μ_R は以下の式で表される。

$$\mu_R = c_r \{a_i(x - 34)\}^{b_r} \quad (6)$$

(3) 集合“annoyed”のメンバーシップ関数 μ_A は以下の式で表される。

$$\mu_A = c_a \{a_i(x - 34)\}^{b_a} \quad (7)$$

(4) 集合“more or less annoyed”のメンバーシップ関数 μ_M は以下の式で表される。

$$\mu_M = c_m \{a_i(x - 34)\}^{b_m} \quad (8)$$

ここで、べき乗 b は反応指標曲線の湾曲の大きさを変化させる。その物理的意味は自然言語のうろさを表す形容詞句的ファジィ述語のあいまいな意味を定量表現するもので、副詞が修飾されて集中化や拡大化の程度が大きいほど湾曲の程度は大きくなる。

一方、反応指標を的確にファジィ集合表現するために、標準メンバーシップ関数に係数倍 c を付加するという拡張した定式化法を導入した。係数倍値 c は反応指標曲線の相対的な大きさを変化させるもので、ファジィ集合の正規性の程度を表している。

不快反応の調査データに含まれるあいまいさは 2 種類のものが考えられる。一つは、住民が抱く不快感の主観的な認識の不確かさに起因する普遍的なあいまいさである。住民の不確かな認識の下に、対応する表現語が選択され、あいまいさを含む調査結果が得られる。このあいまいさを量的に正確に把握することは重要である。

もう一つはカテゴリ尺度の段階数の多さに起因するあいまいさである。段階数が多くなると、選択する表現語の数が細分化されるため、不快感の認識に対応させる表現語選択の判断が不確かになる。このあいまいさは調査方法上の段階数に起因し生じるもので、住民の不快反応を正確に把握することを困難にする。

いずれにしても、これらのあいまいさが含まれる反応指標は特定の表現語の出現頻度の割合でもって定義されているため、一つの表現語の選択がすべての表現語の採択率に大きく影響する。

この結果、あるカテゴリに対する反応割合が最大となる暴露量でも特定の表現語が絶対的に選択されることがなくなり、反応割合はメンバーシップ関数は最大値が 1 より小さいものとなり、暴露量の変化に対し、大きい広がりをもつ曲線となる。このように正規性が損なわれことを表現するために、定式化において係数倍を付加する手法を導入している。

5.2 反応指標の標準ファジィ集合の推定

移動平均法で求めた各カテゴリ尺度の反応指標データを用いて、 $L_{Aeq(24h)}=34$ [dB] を始点とする直線式をべき乗倍して得られる曲線が各データ値の最も近くを通り誤差が最小になる直線の傾きの値とべき乗値 b の最適値を最小 2 乗近似により算出する。

このようにして得られた直線の傾きの値とべき乗値の相互の関係より、べき乗値が 1 となる時の傾きの値 a_i を算出する。この結果、 $L_{Aeq(24h)}=34$ [dB] を始点とし、傾き a_i を有する直線式が標準ファジィ集合のメンバーシップ関数として推定される。

更に、得られた直線式を式(5)～式(8)に代入することで、各反応指標のメンバーシップ関数の係数倍 c が算出される。

段階数の異なる 4 種類のカテゴリ尺度において、暴露量変化に対する反応指標の標準ファジィ集合直線を図-5 に示す。ここで、4～7 段階尺度の標準ファジィ

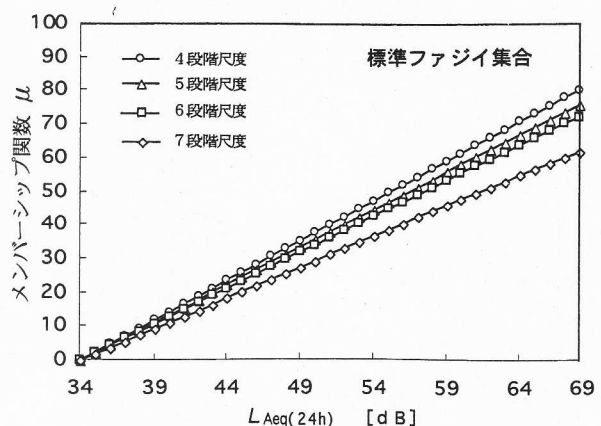
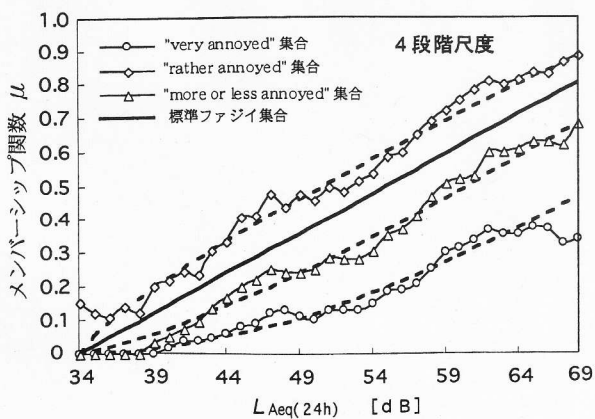
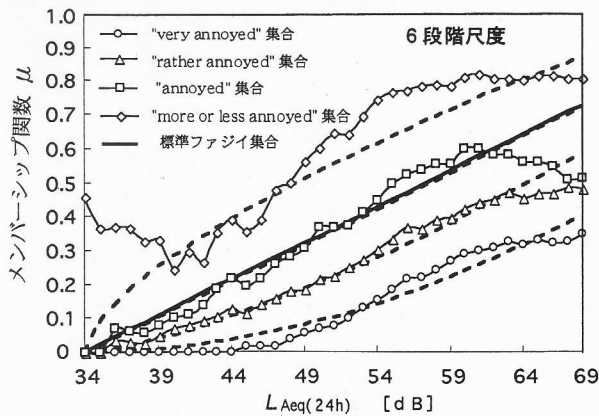


図-5 カテゴリ尺度の違いによる反応指標の標準ファジィ集合



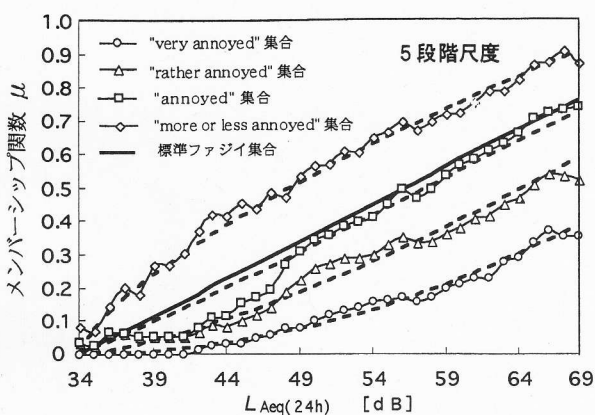
$$(b_v=1.8, b_r=1.3, b_m=0.8, c_v=0.69, c_r=0.91, c_m=1.05)$$

図-6(a) 4段階尺度の反応指標のファジィ集合



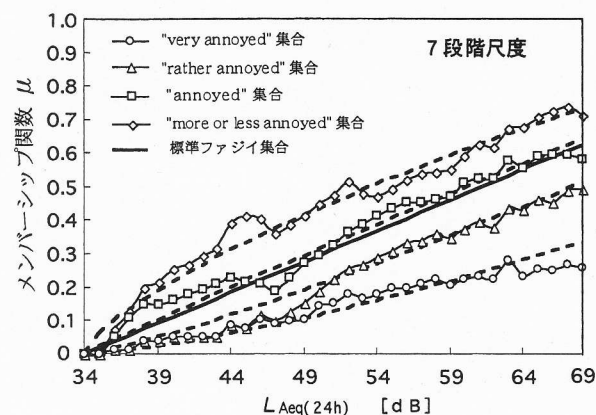
$$(b_v=1.95, b_r=1.41, b_a=1.02, b_m=0.65, c_v=0.75, c_r=0.92, c_a=1.0, c_m=1.07)$$

図-6(c) 6段階尺度の反応指標のファジィ集合



$$(b_v=2.0, b_r=1.41, b_a=1.06, b_m=0.7, c_v=0.67, c_r=0.86, c_a=0.97, c_m=1.1)$$

図-6(b) 5段階尺度の反応指標のファジィ集合



$$(b_v=1.4, b_r=1.2, b_a=0.95, b_m=0.7, c_v=0.65, c_r=0.9, c_a=1.0, c_m=1.02)$$

図-6(d) 7段階尺度の反応指標のファジィ集合

集合直線の傾きはそれぞれ $a_4=0.0237$, $a_5=0.0223$, $a_6=0.0213$, $a_7=0.0183$ となった。

各標準ファジィ集合直線の傾きの違いはカテゴリ尺度の違いに起因していると思わせる。このため、直線の傾きが小さく、すなわち正規性が損なわれる影響を少なくする点で、段階数の少ないカテゴリ尺度の使用が望ましいと言える。

5.3 各カテゴリ尺度における反応指標のファジィ集合表現

4~7段階の4種類のカテゴリ尺度において、暴露量と反応指標のファジィ集合との関係を図-6(a)~(d)に示す。ここで、移動平均化法にて得られる結果をマークを付加した折線で表示しており、同時に、最小2乗法によりファジィ集合近似したものを破線で曲線表示した。

図に示すように、4, 5段階尺度での各反応指標のファジィ集合曲線は移動平均化法で求めた折線と暴露量の全範囲で良く一致し、ファジィ集合のメンバーシップ関数による定式化が適切であることが明らかとな

った。

これに対し6段階尺度の場合、反応指標のファジィ集合“more or less annoyed”などは、調査データが相補的に影響し暴露量の一部の範囲で理論と大きくずれる結果が生じた。更に7段階尺度では、ファジィ集合曲線と移動平均化法で求めた折線データとほぼ一致するが、中位カテゴリの表現語を選択しがちな傾向が強まり、各反応指標のファジィ集合は標準直線に近づく。

このように、6, 7段階のカテゴリ尺度の反応指標は自然言語の意味と異なる曲線形状となりファジィ理論的検討からは、これらの段階数の使用は望ましくないという結果が得られた。

6. カテゴリ尺度の異なる反応指標の相互比較

各反応指標のファジィ集合のメンバーシップ関数におけるべき乗値 b と係数倍値 c の尺度間の比較を図-7, 図-8に示す。図-7に示すように、集合“very an-

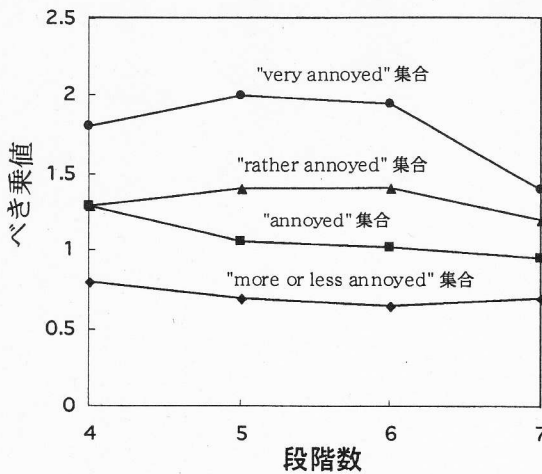


図-7 カテゴリ尺度の違いによる反応指標のファジィ集合のべき乗値の変化

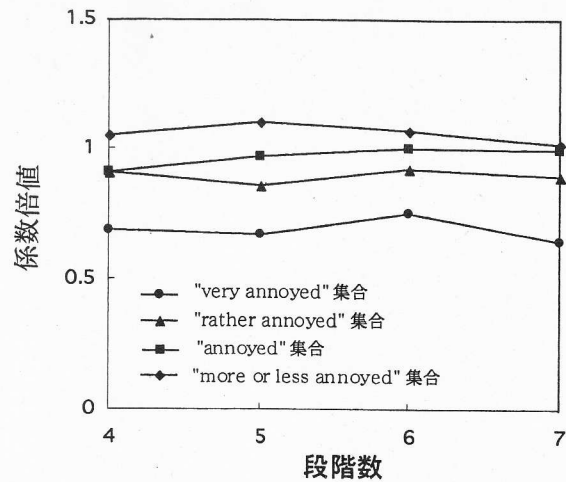


図-8 カテゴリ尺度の違いによる反応指標のファジィ集合の係数値の変化

noyed”は5, 6段階のカテゴリ尺度において、べき乗値が2.0となり、式(1)で示すように、副詞“very”の演算子の働きに等しい修飾効果が得られることが分かった。

これに対し4段階尺度では、べき乗値が1.8と若干、小さくなる。これは、段階数が少ないために反応指標の全体に対する占有割合が大きいためと予想される。一方、7段階尺度では、1.4と非常に小さい。これは、段階数が大きく識別感度があいまいになり中位カテゴリの表現語を選択し易くなるためと思われる。

また、集合“rather annoyed”はすべての段階数において、べき乗が1.2~1.4の近接した値が得られた。更に、集合“annoyed”は5, 6, 7段階尺度において、べき乗が1.0となり、集合“more or less annoyed”は各段階尺度で0.65~0.8となった。

図-8において、4, 5段階のカテゴリ尺度の場合、係数値 c は集合“very annoyed”から集合“more or less annoyed”に向かって、概ね均等に増加している。しかし、6, 7段階のカテゴリ尺度において、その増加の割合が集合“more or less annoyed”に近いほど、著しく抑制される。

カテゴリ尺度の段階数が大きくなると正規性は損なわれ、メンバーシップ関数の最大値は1よりかなり小さくなるはずである。しかしながら、6, 7段階尺度では係数値の値 c はそれほど小さくならない。これ

は段階数の増加により表現語の選択のあいまいさが反応指標に含まれる普遍的なあいまいさを打ち消すためと予想され、調査データの信頼性が低いことを意味する。

以上の考察より、5段階尺度で調査された各反応指標はファジィ理論で定義された自然言語的意味に適合するデータが収集されており、“% very annoyed”などの割り当てられた英語ラベルに適合する段階数であると言える。

正確な調査データが収集できる点では4段階尺度が望ましく、各反応指標の名称が自然言語的意味表現に適合している点では5段階尺度が望ましい。このため、それぞれのカテゴリ尺度で社会調査されたデータを相互に補正し、2種類の尺度間で各反応指標を比較することは重要であると推察される。

これら二つのカテゴリ尺度間の調査データを相互比較のために求めた補正のための実験式を以下に示す。

$$\mu_4 = c_4 \left\{ \frac{a_5}{a_4} \left(\frac{\mu_5}{c_5} \right)^{1/b_5} \right\}^{b_4} \tag{9}$$

$$\mu_5 = c_5 \left\{ \frac{a_4}{a_5} \left(\frac{\mu_4}{c_4} \right)^{1/b_4} \right\}^{b_5} \tag{10}$$

ここで、 a_4, b_4, c_4 は4段階尺度、 a_5, b_5, c_5 は5段階尺度における定数である。標準ファジィ集合の傾きは $a_4=0.0235, a_5=0.0220$ とした。他の値は表-3に示す概略的な定数値を用いた。

表-3 カテゴリ尺度間の相互比較のための概略値

段階数	反応指標値							
	% very annoyed		% rather annoyed		% annoyd		% more or less annoyed	
	Cv	bv	Cr	br	Ca	ba	Cm	bm
4段階尺度	0.7	1.8	0.9	1.3	—	—	1.1	0.8
5段階尺度	0.7	2.0	0.9	1.4	1.0	1.1	1.1	0.7

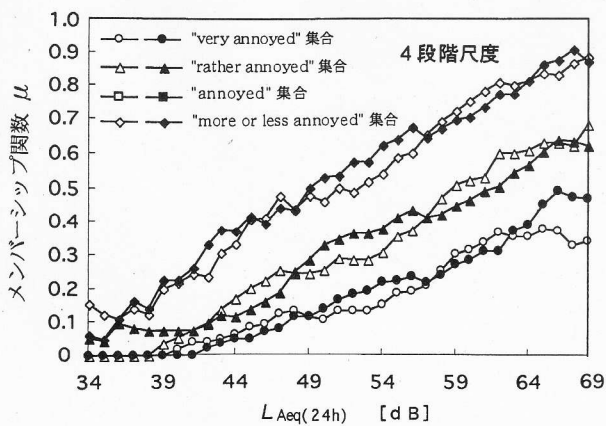


図-9 4段階尺度のファジィ集合と5段階尺度データより補正されたファジィ集合との比較

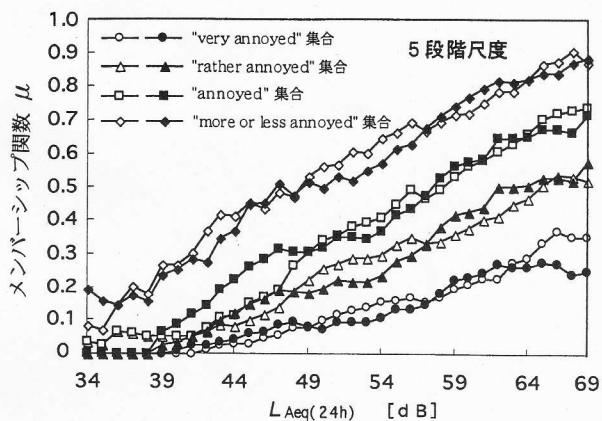


図-10 5段階尺度のファジィ集合と4段階尺度データより補正されたファジィ集合との比較

図-9, 図-10に4, 5段階尺度で調査された反応指標と実験式(9), (10)を用いて5, 4段階尺度より補正して求めた反応指標との比較を示す。白抜きマークを有する折線が実際に調査されたカテゴリ尺度のファジィ集合で、塗りつぶしマークを有する折線が別のカテゴリ尺度で調査されたデータを補正したファジィ集合である。両者は良く一致し、補正が有効に行われていることを示している。

7. 結 論

均質な反応住民に対して調査した、4~7段階尺度を用いた鉄道騒音の不快感反応データより、段階数の違いが反応結果へいかに影響するかを検討した。

まず、移動平均化法や多項式による最小2乗近似法を用いた新たなデータ処理を行い、他の段階尺度の場合と比較して、4段階尺度は正確な調査データが収集し易いことを明らかにした。

また、自然言語の形容詞に対して副詞をその演算子として働かせるファジィ集合理論を導入し、暴露量と反応指標との相互関係を分析した。その結果、反応指

標は、直線近似した標準ファジィ集合のメンバーシップ関数に、正規性が損なわれる程度を示す係数倍と、曲線の湾曲の程度を示すべき乗倍の両方を複合的に作用させることで定式化できることが分かった。

これより、5段階尺度における反応指標がその形容詞句のファジィ述語の定義された自然言語の意味表現に最も一致していることが明らかになった。

更に、それぞれに特徴を有する4, 5段階尺度の調査データに対して、相互比較するための補正式を提案した。補正結果は実験結果と良く一致し、補正が有効であることが明らかとなった。

なお、本研究は平成7, 8年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2)(課題番号:07650692, 代表研究者, 矢野隆)の援助によった。

文 献

- 1) T.J. Schultz, "Synthesis of social surveys on noise annoyance," J. Acoust. Soc. Am. **64**, 377-405 (1978).
- 2) K.D. Kryter, "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise," J. Acoust. Soc. Am. **72**, 1222-1252 (1982).
- 3) J.M. Fields and J. G. Walker, "Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: A railway noise vs aircraft and road traffic comparison," J. Sound Vib. **81**, 51-80 (1982).
- 4) F.L. Hall, "Community response to noise: Is all noise the same?," J. Acoust. Soc. Am. **76**, 1161-1168 (1984).
- 5) J.M. Fields, "The effect of numbers of noise events on people's reactions to noise: An analysis of existing survey data," J. Acoust. Soc. Am. **75**, 447-467 (1984).
- 6) R.F.S. Job, "Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction," J. Acoust. Soc. Am. **83**, 991-1001 (1988).
- 7) U. Moehler, "Community response to railway noise: A review of social surveys," J. Sound Vib. **120**, 321-332 (1988).
- 8) S. Fidell, T.J. Schultz and D.M. Green, "A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations," J. Acoust. Soc. Am. **84**, 2109-2113 (1988).
- 9) S. Fidell, D.S. Barber and T.J. Schultz, "Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise," J. Acoust. Soc. Am. **89**, 221-233 (1991).
- 10) D.M. Green, S. Fidell, "Variability in the criterion for reporting annoyance in community noise surveys," J. Acoust. Soc. Am. **89**, 234-243 (1991).
- 11) J. Igarashi, "Comparison of community response to transportation noise: Japanese results and annoyance scale," J. Acoust. Soc. Jpn. (E) **13**, 301-309 (1992).
- 12) J.M. Fields, "Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas," J. Acoust. Soc. Am. **93**, 2753-2763 (1993).
- 13) J.M. Fields, "Proposed guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys," Proc. 15th Int. Congr. on Acoustics, 89-92 (1995).
- 14) S. Fidell and S. Teffeteller, "Scaling annoyance for social surveys of community reaction to noise expo-

- sure," Bolt and Newman Inc. Rep. No. 4211 (1980).
- 15) N. Levine, "The development of an annoyance scale for community response assessment," J. Sound Vib. **74**, 265-279 (1981).
 - 16) 降旗建治, 柳沢武三郎, "住民反応に基づいた自動車騒音の評価尺度の再構成とその有用性," 音響学会誌 **44**, 108-115 (1988).
 - 17) 騒音問題に関する社会調査・調査委員会, "騒音問題に関する社会調査・調査委員会報告," 音響学会誌 **48**, 119-122 (1992).
 - 18) J.M. Fields, "Progress toward the use of shared noise reaction questions," Proc. 1996 Int. Congr. on Noise Control Engineering (inter-noise 96), 2389-2394 (1996).
 - 19) 山下俊雄, 矢野 隆, 小林朝人, "騒音のうるささの尺度構成に関する実験研究," 音響学会誌 **50**, 215-226 (1994).
 - 20) 矢野 隆, 小林朝人, "環境評価に使われる尺度にする調査 その2 カテゴリー尺度に割り当てられる評価語の集計," 日本建築学会研究報告 中国・九州支部, 第10号・2 (環境系) (1996).
 - 21) 矢野 隆, 泉 清人, 山下俊雄, 田畑 亨, "異なるカテゴリ尺度で得られた鉄道騒音に対する社会反応の比較," 音響学会誌 **53**, 13-23 (1997).
 - 22) L.A. Zadeh, "Fuzzy sets," Inf. Control **8**, 338-353 (1965).
 - 23) L.A. Zadeh, "A-fuzzy-sets-theoretic interpretation of linguistic hedges," J. Cybern. **2**, 4-34 (1972).
 - 24) 加藤裕一, 山口静馬, "ファジィ理論に基づく変動騒音の心理評価法," 音響学会誌 **47**, 305-309 (1991).
 - 25) 山口静馬, 加藤裕一, 老松建成, "騒音のパワースペクトル情報に基づく心理的応答の一予測手法," 音響学会誌 **49**, 2-9 (1993).
 - 26) 山口静馬, 老松建成, 加藤裕一, "物理的遮音対策と心理的騒音評価との関連付けに対する一試み," 音響学会誌 **50**, 521-528 (1994).
 - 27) 加藤裕一, 山口静馬, 老松建成, "ファジィ理論に基づく騒音刺激入力に対する新たな心理応答モデルの提案と実験的検討," 音響学会誌 **51**, 663-671 (1995).
 - 28) 山口静馬, 佐伯徹郎, 加藤裕一, "主観量のあいまい性と文脈効果を考慮した変動騒音に対する心理的応答予測," 音響学会誌 **52**, 760-769 (1996).
 - 29) 加藤裕一, 山口静馬, 老松建成, "騒音に対する心理的応答予測問題へのファジィ系列範ちゅう法の適用," 音響学会誌 **53**, 362-371 (1996).
 - 30) K.J. シュマッカー, ファジィ集合—自然言語演算とリスク解析— (啓学出版, 東京, 1990), 第3章, p. 31.