

## 1. 序論

近年、科学技術のめざましい進歩により、わが国の車社会は急速に発展したが、車社会の発展は騒音、都市の大気汚染、CO<sub>2</sub>による地球温暖化などの環境問題を引き起こした。自動車を引き起こす環境問題で最も日常に関係が深い騒音問題への対応策の一つとして、環境庁から「騒音に係る環境基準」<sup>1)</sup>の改訂が告示された。この改訂により道路交通騒音対策の評価法、予測法は整理されたが、依然として道路交通騒音対策は社会的に重要な課題である<sup>2)</sup>。

これまで、道路交通騒音対策は、自動車単体対策や交通流対策、道路構造対策、沿道対策などの多種多様な分野で研究が進められてきた。それによって、一つ一つの対策の効果が向上し、騒音の低減が図られてきた。しかし、実施する対策の種類と実施する場所の組み合わせとなると、その数は無限にあり、実際にすべての場合を検討することは不可能である。さらに対策を選定する時も、現在は実施者の経験や勘に頼らざるを得ない状況であって“最も効果的な”騒音対策が実施されているか疑問である。そこで、実施する騒音対策の効果を事前に予測し、要する費用と騒音防止効果とのバランスを考慮した選定を行える手法が求められている。

本研究では、道路交通騒音対策のうちの道路構造対策と交通流対策に焦点を当て、膨大な組み合わせに対して、実用上の最適解を効率よく検索することのできる「遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA)<sup>3)4)5)</sup>を用いて、現在まだ確立されていない騒音対策の最適選択手法を提案することを目的とする。

## 2. 騒音対策の最適選択に対する GA の適用

### 2.1 騒音対策の選択手法

一般道路を対象として、図-1に示す通り、①路面の改良、②低層遮音壁<sup>6)7)</sup>の設置、③遮音壁の設置、④環境施設帯の設置、⑤大型車進入制限、⑥速度規制の6対策を想定した。

騒音対策のユニットとしては「道路交通騒音の影響が概ね一定とみなせる区間」のことを“評価区間”、“建物群による減衰量に係るパラメータが同一とみなせる

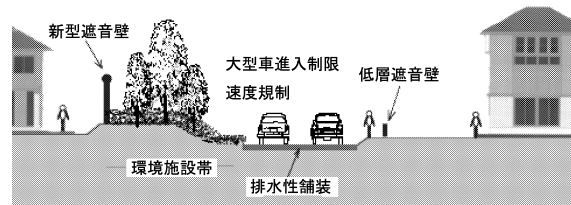


図-1 6種類の騒音対策

程度の大きさ」のことを“街区”とし、騒音対策の実施規模を騒音対策の種類によって、評価区間または街区の2種類の実施規模とした。

本研究で焦点を当てているものは、対策の組み合わせを選定することであるので、対策の効果の推定は、対策の種類ごとに一定の騒音減衰量を仮定するという極めて単純な取り扱いとする。ただし、大型車進入制限については、大型車を小型車に置き換えて考えたときの自動車のパワーレベル<sup>10)</sup>の減衰量だけすべての評価建物について減衰すると仮定し、式(1)で見積もることとする。

$$\Delta L_{WA} = 10 \log \frac{10^{0.65 \cdot N_H + N_L}}{N} \quad (1)$$

ここで、

- $\Delta L_{WA}$  : パワーレベルの減衰量 [dB]
- $N$  : 全自動車台数 [台/h]
- $N_H$  : 大型車類台数 [台/h]
- $N_L$  : 小型車類台数 [台/h]

である。

なお、速度規制は、すべての車両が同じ速度で走行していると想定し、現状の平均速度の8割を制限速度とすると仮定する。その効果は、速度規制の効果と同様にパワーレベルの低減量と考え、現状の平均速度が50~140km/hでは3dB、13~50km/hでは1dB減衰するとする。

騒音対策の評価の仕方は、このような騒音対策の効果を実際の騒音レベルから減算し、環境基準値(昼間)と比較するというものである。環境基準値は、環境省マニュアルにしたがって、近接空間については“幹線交通と担う道路に近接する空間”の基準値、そして、非近接空間においては“地域の類型”ごとの基準値を用

いた。

騒音対策に必要な費用をここでは、コストと呼ぶことにする。コストの算出に関しても、対策の組み合わせごとの相対的な比較だけが行えるように便宜的に仮定する。まず、対象地域における街区の長さをすべて等しいと仮定し、路面の改良、環境施設帯の設置においては道路幅や施設帯幅の違いによるコストの相違を無視するものとする。その上で、各対策に対して、“街区ごとの単価”を相対値で設定する。すなわち、路面の改良に要するコストを基準として、低層遮音壁の設置は2倍、遮音壁の設置は4倍、環境施設帯の設置は3倍と設定した。

政策的な騒音対策については、その対策が実施されると引き起こる社会的な影響をコストと同位なものと考え、実施難易度として設定する。実施難易度についても、便宜的に全対策を実施が困難なものとする。⑤、⑥の2対策を“実施困難”とし、①～④の4対策を“実施容易”とする。

ここで本研究で想定した、騒音対策の種類、騒音減衰効果量、実施規模、実施条件などを表-1にまとめて示す。

表-1 騒音対策の種類

対策の種類	種別/分類	減衰量 [dB]	実施規模		実施難易度	実施条件
			街区	評価区間		
路面の改良	アスファルト舗装	1	○	-	容易	-
	排水性舗装	3	○	-	容易	-
低層遮音壁	-	5	○	-	容易	-
遮音壁	統一型遮音壁	10	-	○	容易	$W_s \geq 6m$
	新型遮音壁	15	-	○	容易	$W_s \geq 10m$
環境施設帯	10m 以上	5	-	○	容易	$W_s \geq 10m$
	20m 以上	10	-	○	容易	$W_s \geq 10m$
大型車進入制限	-	式(1)参照	-	○	困難	$M_h \geq 17\%$
速度規制	13-50km/h	1	-	○	困難	-
	50-140km/h	3	-	○	困難	-

$W_s$ :歩道幅  $M_h$ :大型車混入率

## 2.2 GA の適用

騒音対策問題の選択手法として GA を用いるためには、解である対策の組み合わせを遺伝的に表現する必要がある。本研究では、騒音対策の組み合わせの解を“個体 (individual)”とし、それを図-1 に示した 6 対策の“染色体 (chromosome)”をもって構成するものとする。そして、各騒音対策の種別と分類を“遺伝子 (gene)”とする。1 個体での GA の解の表現の仕方を図-2 に示す。

解の候補を個体として遺伝的に表現した後に、自然淘汰の理論に基づいて遺伝的操作を行う。遺伝的操作によって、課題に対する各個体の評価値である適応度

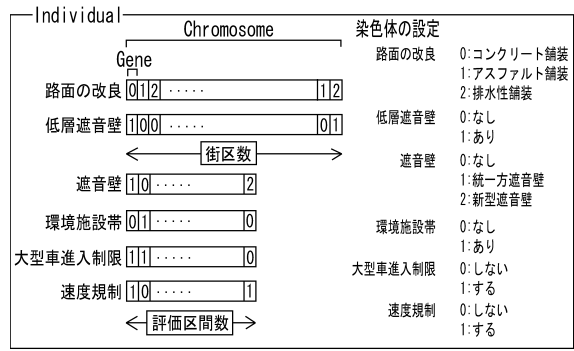


図-2 GA の解の表現

(fitness) が常に向上するように新しい世代を形成していく。

本研究では、騒音対策の組み合わせによる騒音減衰効果を環境基準の達成状況で評価することにする。街区ごとの建物数に対する基準達成建物数の割合を対象地域全域で平均したものを“平均達成率”(0.0~1.0)と定義する。また、実施可能な対策がすべて行われるときのコストに対する選択された対策に必要なコストの割合を“コスト率”(0.0~1.0)と定義する。また、交通流対策である大型車進入制限と速度規制は、物流への影響などの社会的な損失を齎す可能性があるため、全実施対策数に対するこれら2つの対策数の割合を“実施難易度”(0.0~1.0)と定義する。

上記3つの要素によって各個体の適応度を算出する評価関数を構成する。ただし、現状の騒音状態や予算などの条件によって、これらの要素の重要度は異なり、状況に応じて最適な騒音対策の組み合わせは異なると考えられるので、各要素に重み係数を乗じ、対策実施者の意思が反映可能な関数とする。加えて、GA では評価関数が(0.0~1.0)の間で変動するのが通例である。以上から、“評価関数” $F$ を式(2)で定義する。

$$F = (W_a \cdot R_a - W_c \cdot R_c - W_d \cdot R_d + 1) / 2 \quad (2)$$

ただし、 $W_a + W_c + W_d = 1$ とする。ここで、

- $R_a$  : 平均達成率 [-]
- $R_c$  : コスト率 [-]
- $R_d$  : 実施難易度 [-]
- $W_a$  : 平均達成率の重み係数 [-]
- $W_c$  : コスト率の重み係数 [-]
- $W_d$  : 実施難易度の重み係数 [-]

である。

## 3. GA の有用性の検証

本章では前章までに述べた騒音対策の最適選択手法の有効性を確かめることを目的とする。まず、正確さを

検証する。そのために、GAによって導き出された解と、実際にすべての組み合わせを算出し、その中で最も評価関数の値(F値)が高い解との比較を行う。これには、すべての組み合わせが計算できる程度のデータ量である必要があるため、ここでは、3評価区間、4街区で構成される市街地を例に、騒音対策の組み合わせの検索シミュレーションを行う。用いたデータを表-2に示す。ただし、評価関数の各重み係数は $W_a = 0.5, W_c = 0.2, W_d = 0.3$ とした。

表-2 対策前の沿道の対策実施状況

建物ID	路面の改良	低層遮音壁	環境施設帯	大型車進入制限	速度規制	環境基準達成状況
1-1-1	2	0	0	0	0	○
1-2-2	1	0	0	0	0	×
2-3-3	1	1	0	0	0	×
3-4-4						×
3-4-5	1	0	0	0	0	×
3-4-6						×

図-3を見ると、F値は常に右肩上がりに上昇しており、最適解に向かって世代を重ねている様子が伺える。生成された個体数(Individual)が260個体を越えたところで最適解に到達した。ここで得られた解の結果を表-3に示す。

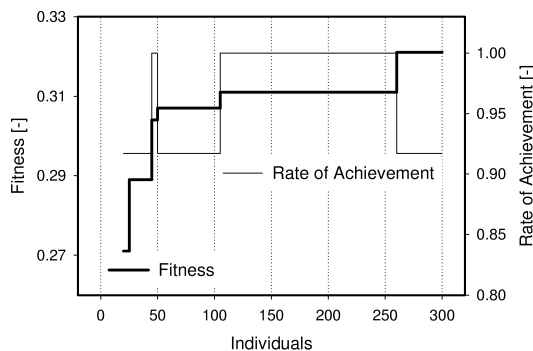


図-3 F値の収束状況

表-3 対策後の沿道の対策実施状況

建物ID	路面の改良	低層遮音壁	環境施設帯	大型車進入制限	速度規制	環境基準達成状況
1-1-1	2	0	0	0	1	○
1-2-2	2	1	0	0	1	○
2-3-3	2	1	0	1	0	○
3-4-4						○
3-4-5	2	1	1	0	0	×
3-4-5						○

この解が正しいかどうか検討するため、すべての組

み合わせ(18,432通り)についてF値を計算してみた。その結果、最も評価関数の高い対策の組み合わせは1つであり、GAの解と一致した。全検索では18,432回の評価が必要であるのに対して、本手法を用いると非常に少ない評価回数で最適解が得られている。このことから、GAは膨大な組み合わせの中から最適な解を少ない評価回数で導き出すことが可能であることが確認できた。

### 3.1 規模の拡大

実際に、この手法を使用する場合、広く市街地全域などで使用されることが予想されるため、福岡市全域を対象地域としてシミュレーションを行う。

対象地域は、342評価区間、3,794街区で構成されている。ただし、必要データがすべて揃っていない区間については割愛した。

図-4にそれぞれ、平均達成率とF値の推移を示す。最適解には約8万個体で到達している。これもすべて

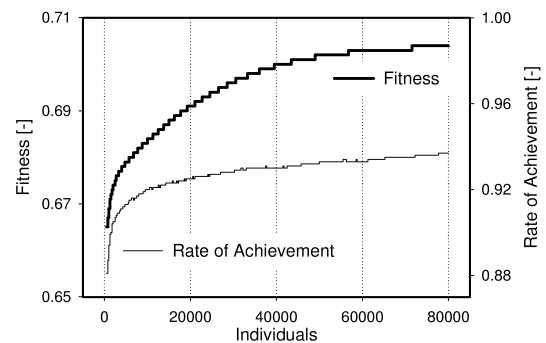


図-4 F値, 平均達成率の収束状況

の組み合わせ( $2.2 \times 10^{3,424}$ 通り)と比較して、非常に少ない評価回数である。GAによって検索、評価を行うと非常に少ない評価回数で解に到達することができる。この正確さと、少ない評価回数からで解に到達できることから、GAが道路交通騒音対策の選定に対して有用な手段であると言える。

### 3.2 重み係数の影響の確認

評価関数の重み係数は、騒音対策の選定にGAを使用する際、なるべく費用が安い対策を行いたいなどの実施者の意思を柔軟に反映するために必要な機能であり、評価関数に対して各要素の重み係数の影響を確かめることで、道路交通騒音対策の選択手法として、より実際に近い条件で使用することができるようになる。と考える。

検討方法は、前節の福岡市全体での結果を基準として、重み係数を変えた3パターンの比較である。前節の場合をF-1とし、F-2( $W_a = 0.3, W_c = 0.5, W_d = 0.2$ ), F-3( $W_a = 0.2, W_c = 0.3, W_d = 0.5$ )とする。

表-4 採用対策数の比較

	路面の改良	低層遮音壁	環境施設帯	大型車進入制限	速度規制	$R_a$	$R_c$	$R_d$	
F-1	990	785	1	0	8	80	0.94	0.24	0.05
F-2	397	57	0	0	1	13	0.79	0.05	0.03
F-3	262	15	0	0	0	0	0.75	0.03	0.00

表-4を見ると、平均達成率に重みを置いたF-1の $R_a$ がF-2,F-3の $R_a$ より高い平均達成率となっている。また、コスト率に重みを置いたF-2の $R_c$ がF-1,F-3の $R_c$ より低いコスト率となっている。実施難易度に重みを置いたF-3の $R_d$ がF-1,F-2の $R_d$ より低い実施難易度となっている。これらはすべて、重み係数を大きくしたものがより重要視された値をとるという期待通りの結果となっている。実施者の要望を反映する重み係数の影響により、平均達成率、コスト率、実施難易度のどれを重要視するかという実施者の要望に応じた対策を選定していると確認できた。

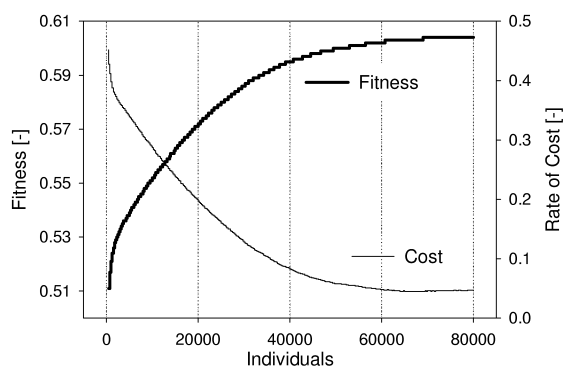


図-5 [F-2] F値,コスト率の収束状況

収束までの推移に着目すると、平均達成率に重みを置いている図-4は、世代を経ていくごとに高い平均達成率の個体を選んでいく傾向があり、図-5は、低いコスト率の個体を選んでいく傾向がある。

#### 4. 結論

身近な環境問題の一つである騒音問題の解決という目標に向かって、本研究では道路交通騒音対策の選択手法という分野からのアプローチを試みた。道路構造対策と交通流対策の中から計6対策に焦点を当て、解

を遺伝的に表現することで、騒音対策の選択にGAを用いた。また、対策の効果を評価するための平均達成率、対策の費用を評価するコスト率、対策の社会的な影響を評価する実施難易度を設定し、それらを基に評価関数を定義した。この評価関数によってGAが最適解を評価し、選定する。この手法を騒音対策の最適選択手法として提案した。

その有用性を確かめるために、まず、小市街地の沿道を想定し、この手法で得られた最適解と実際の最適解が一致することを確認した。そして、次に、対象地域を福岡市全域に広げ、一般市街地規模での検証を行い、対象地域の規模がどれだけ大きくなっても、GAが正常に機能していることと、GAによって少ない評価回数で評価できることを確認することができた。さらには、評価関数の重み係数を操作し、重み係数の影響を確認することで、平均達成率重視の対策を行いたい、コスト重視の対策を行いたいなど、実際に使用する際に想定されるような要望にも十分に対応できる柔軟で実用的な手法であるということが確かめられた。この手法は拡張性が高く、騒音対策の増加、対象地域の拡大縮小などが容易に行える。この点もこの手法の有用な点だろう。

今後は、本研究をより現実に則したものにしていけるため、本研究で便宜的に設定したコストの見積もりや減衰量の予測などをより精密にしていけることが課題である。

#### 参考文献

1. 環境庁告示 第64号 「平成14年度の環境基準について」(1998)
2. 福岡市環境局 「平成14年度の環境の状況並びに環境の保全及び創造に関する施策の実施状況を明らかにした年次報告書」(2003)
3. 白石洋一(訳) 「組合せ最適化アルゴリズムの最新手法 - 基礎から工学応用まで -」丸善(2002)
4. 川面恵司, 横山正明, 長谷川浩志 「最適化理論の基礎と応用 - GAおよびMDOを中心にして -」コロナ社(2000)
5. 平野廣美 「最適化アルゴリズムと遺伝的プログラミング - オブジェクト指向フレームワークによる構成と応用 -」パーソナルメディア(2000)
6. 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 石川賢一, 高木興一 「種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究」騒音制御 23,99-109(1999)
7. 鉢嶺清範, 上坂克巳 「技術資料 これからの低層遮音壁」騒音制御 23,148-152(1999)
8. 大西慶三 「小特集 - アクティブ制御のあゆみと今後 - 道路用アクティブ遮音壁」日本音響学会 59,420-421(2003)
9. 環境庁 「騒音に係る環境基準の評価マニュアルⅡ. 地域評価編(道路に面する地域)」(2000)
10. 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会 「道路交通騒音の予測モデル ASJ Model 1998」日本音響学会誌 55,281-324(1999)