九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

沿道騒音対策の選択手法に対する組合せ最適化アルゴリズムの適用

穴井, 謙
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

藤本, 一壽
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

https://doi.org/10.15017/19050

出版情報：都市・建築学研究. 6, pp.173-178, 2004-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第6号，2004年7月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.6, pp. 173～178, July. 2004

沿道騒音対策の選択手法に対する組合せ最適化アルゴリズムの適用

Application of a Combinatorial Optimization Algorithm as the Selection Technique for Countermeasures against Road Traffic Noise in City Areas

穴井　謙*，藤本一壽*
Ken ANAI and Kazutoshi FUJIMOTO

Since the control of noise pollution is implemented as a public work in Japan, it is important to enforce the control measures with the greatest effect and at a minimum investment. The areas affected by noise pollution are numerous, and the countermeasures to be taken against noise are various. It is most important, therefore, to decide which measures should be applied and to which locations in order to decrease the level of noise as much as possible at a constant cost. However, the number of combinations of measures and locations is so huge that it is difficult to find optimal solutions manually. With such a background, the purpose of this study is to present a new selection technique, for the optimal measures against noise pollution in city areas, through a computer simulation. In this paper, the application of a genetic algorithm is proposed which can search for practical optimal solutions, on the basis of the theory of natural selection, without performing all searches. Numerical simulations are performed to verify the validity of the proposed method. This method is worthwhile in its practical use for performing countermeasures against road traffic noise over a widespread area and incorporates a balance between the environment and costs.

Keywords: *Noise pollution-control, Road traffic noise, Combinatorial optimization, Genetic algorithm, Numerical simulation*
騒音対策，道路交通騒音，組合せ最適化，遺伝的アルゴリズム，数値シミュレーション

1. はじめに

わが国では主要幹線道路に近接して市街地が形成されることが多く，沿道の住宅地では道路交通騒音の防止が重要な課題となっている．騒音に係る環境基準[1]の改訂により道路交通騒音対策の推進が図られているが，依然として沿道における騒音状況は劣悪である[2]．

沿道の騒音対策を実施するにあたっては，騒音の状況が概ね一定と見なせる区間を単位として具体的な対策を講じるため，市街地全体では騒音対策を必要とする区間が多数存在する．また騒音対策の方法も，排水性舗装の敷設や低層防音壁の設置などさまざまである．したがって，どのような騒音対策をどこに実施すれば効率的な騒音防止が図れるかを考えようとすると，騒音対策の方法と実施箇所の組み合わせ(騒音対策パターン)は膨大な数になり，いずれの騒音対策パターンが最も効率的かをすべての組み合わせについて検討することは困難である．また，沿道の騒音対策は一般的には公共事業として実施されるため，最小の投資で最大の効果を上げることが求められる．したがって，騒音対策パターンの決定にあたっては，実施する騒音対策の効果を事前に的確に予測し，要する費用と騒音防止効果とのバランスを考慮した最適な騒音対策パターンを選択することが求められる．しかしながら，現状では，実施する騒音対策パターンの決定は実施者の経験や勘に頼らざるを得ないという状況にあり，効率的な騒音対策が実施されているか疑問である．

このような現状を鑑みて，本研究では，市全域の沿道を対象に，どのような騒音対策をどこに実施すれば効率的な

*　都市・建築学部門

騒音防止が図れるかを検討するための手法を提案しようとするものである．新しい環境基準では，基準値を達成し維持するために，自動車単体対策，交通流対策，道路構造対策，沿道対策などを総合的に実施することとしているが，本研究では，このうちの道路構造対策と交通流対策に焦点を当てる．

膨大な数の騒音対策パターンから最適な組み合わせを選定するには，コンピュータの援用が不可欠であると考えられる．本研究では，膨大な組み合わせに対して，全探索を行わずに実用上の最適解を効率よく探索する汎用的アルゴリズムである遺伝的アルゴリズム (*Genetic Algorithm*; GA) [3,4] の応用を試みる．

騒音対策パターンを決定するためには，対策に対する騒音低減効果を予測する必要があるが，そのためには，対象地域の道路 (構造，幅員，舗装性状など) や沿道建物 (道路からの距離，立地密度，住戸数など) の情報が必要である．昨今，各自治体には，これらのデータが地理情報システム (*Geographic Information System*; GIS) 上に整備されつつある [5]．それを活用することで，本研究で行おうとする，GA を用いた沿道の騒音対策パターンの最適選択手法の検討が可能になると考える．

2. 騒音対策選択手法

本手法で対象とする騒音対策の種類，実施単位，実施条件などについて，また各対策に要するコストの設定について概略を述べる．

2.1 騒音対策の種類

一般道路を対象に，**Fig. 1** に示すように，(1) 路面の改良，(2) 低層遮音壁 [6,7] 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 種類の対策を想定した．(1)〜(4) は道路構造対策であり，(5)，(6) は交通流対策である．そして，路面の改良には密粒舗装と排水性舗装の 2 種類を，遮音壁には統一型遮音壁と新型遮音壁 [8] の 2 種類を考えることにした．

2.2 騒音対策の実施単位

環境省 (庁) の騒音に係る環境基準の評価マニュアル [9] (以下，環境省マニュアルと略す) では，騒音状態の把握および評価は，道路構造および交通条件などから「道路交通騒音の影響が概ね一定とみなせる区間」(“評価区間”) に分割し，また「建物群による減衰量に係るパラメータ... 中略... が同一とみなせる程度の大きさ」(“街区”) に区分して行うとしている．

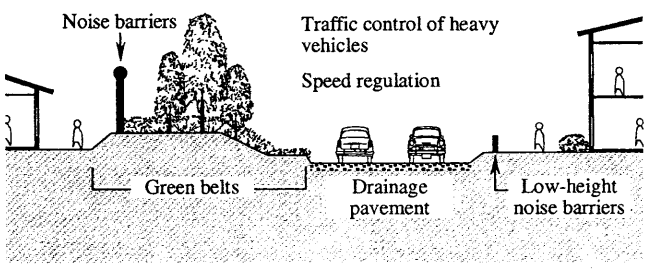

Fig. 1 *Example model of the kinds of countermeasures*

ここでは，これに倣って，騒音対策の実施単位を対策の種類によって “評価区間” または “街区” とすることにした．すなわち，路面の改良と低層遮音壁の設置は，比較的小規模の地域に対して実施可能と考えて “街区” を，遮音壁の設置，環境施設帯の敷設，大型車進入制限，速度規制は，比較的大きな範囲で実施する必要があるため “評価区間” を，それぞれ実施単位とした．

2.3 騒音対策の条件

沿道の状況によって想定した対策の実施が困難な場合があり得るため，対策ごとに以下のような実施条件を設け，それを満たさない箇所では当該対策を選択しないこととした．遮音壁は建物から十分離れた位置に設置しなければ日照障害などの弊害を引き起こす恐れがあり，また環境施設帯はある程度の奥行きを確保できなければ騒音効果が望めない．そこで，遮音壁や環境施設帯が設置可能かどうかを現状の歩道幅で判断することとし，遮音壁は 6m 以上，環境施設帯は 10m 以上の歩道があることを実施条件とした．

また，大型車進入制限は，大型車がある程度走行していない箇所で実施しても効果が期待できない．そこで，制限した場合に 2dB 以上の減衰量が期待できるよう，現状の大型車類混入率が 17% 以上であることを実施条件とした．

2.4 対策効果の推定と評価

本論文は対策パターンの選択手法に焦点を当てているので，対策の効果 (騒音減衰量) 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した．例えば，排水性舗装路面による自動車のパワーレベルの補正 [10] について，走行速度や敷設経過年などを考慮しないで，一律に −3dB とした．

ただし，大型車進入制限の効果は，2 車種分類の場合に大型車類が小型車類に入れ替わったと考え，そのときの自動車のパワーレベル [10] の減衰量がすべての評価建物で減衰すると仮定し，式 (1) で見積もることにした．

$$\Delta L_{\mathrm{WA}} = 10\log_{10}\left(\frac{10^{0.65}\cdot N_{\mathrm{H}} + N_{\mathrm{L}}}{N}\right) \tag{1}$$

ここで，

ΔL_{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．

また，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，現状の平均速度から 2 割減の速度に抑えられると仮定した．その効果は，大型車進入制限の場合と

Table 1 *Kinds of countermeasures against road traffic noise*

Measures	Noise attenuation	Unit of enforcement	Rate of difficulty for enforcement	Enforcement requirements
Improvement of road surface				
Asphalt pavement	1dB	Block	–	–
Drainage pavement	3dB			
Insertion of low-height noise barriers	5dB	Block	–	–
Insertion of noise barriers				
Unified type of Japan	10dB	Section	–	Width of sidewalk: 6m and over
New type	15dB			
Installation of green belts				
10m and over	5dB	Section	–	Width of sidewalk: 10m and over
20m and over	10dB			
Traffic control of heavy vehicles	*Eq.* (1)	Section	ON	Mixing rate of heavy vehicles: 17% and more
Speed regulation				
13~50km/h	1dB	Section	ON	–
50~140km/h	3dB			

同様にパワーレベルの低下分で捉えられると考え，現状の平均速度が 50 – 140km/h では定常走行中，13 – 50km/h では非定常走行中であるとして，それぞれ 3dB，1dB の効果があると設定した．

本報告で想定した騒音対策の種類，騒音減衰効果，実施単位，実施条件などを **Table 1** にまとめて示す．

このような騒音対策の効果を現状の昼間の騒音レベルから減算し，環境基準値 (昼間) と比較する．環境基準の値は，環境省マニュアルにしたがって，建物ごとに "幹線交通を担う道路に近接する空間" の基準値，あるいは，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．そして，環境基準の達成状況の優れた騒音対策パターンを選定することとした．

2.5 対策に要するコスト

騒音対策に要するコストの算定に関しても，次に示すように，相対的な比較だけが行えるような便宜的な方法を用いた．まず，対象地域における街区の長さは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ことにし，対策種類ごとに "街区ごとの単価 (相対値)" を設定した．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 倍とした．なお，各対策の種別には段階をつけ，1 段階ごとに同等のコストが発生するとし，例えば新型遮音壁は統一型の 2 倍のコストが必要になるとした．

3. GA の適用

GA は自然の進化過程を模倣し，ある有利な特徴をもつ個体はより長く生きのびることが可能で，子孫にもその有利な特徴を伝えられるという，自然淘汰の理論に基づく探索技術である．効率よく解を探索し，実用上の最適解を速やかに発見する探索アルゴリズムとして有効であるとされている．ここで，本論文で提案する騒音対策の選択問題への GA の適用方法について述べる．

3.1 解の遺伝的表現と遺伝的操作

GA における解の候補は個体 (*individual*) と呼称される．個体は 1 つあるいは複数の染色体 (*chromosome*) によって特徴付けられ，さらに染色体は遺伝子 (*gene*) の集合から構成される．

騒音対策の選択手法として GA を用いるためには，解である対策パターンを遺伝的に表現する必要がある．本論文では，騒音対策の解を **Table 1** に示した対策の種類別に 6 つの染色体で構成する．1 個体の GA 表現モデルを **Fig. 2** に示す．

各染色体は，当該対策の実施単位である評価区間数あるいは街区数の遺伝子を有する．"対策の状態" が遺伝子で，"対策の実施箇所" が染色体によって示され，"対策の種類" と等しい数の染色体によって "騒音対策パターン"

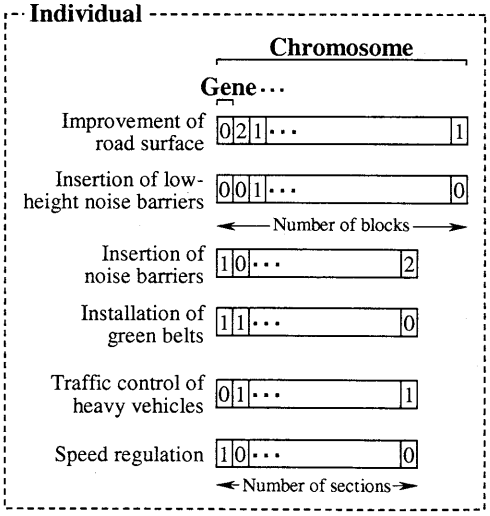

Fig. 2 *GA expression model for an individual*

である個体が表現される．なおGAプログラムでは，例えば既存の低層遮音壁を撤去してしまうような，現状より減衰量の下がる対策を選択しないように，遺伝子に現状からの増設分の値を保持させるように設定する．

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．すなわち，個体集合(*population*)と呼称される解候補の集団に対して，親の選択(*selection*)，交差(*crossover*)といった各種遺伝的操作を施す．本論文では，適応度の高い個体ほど選択される確率が高くなるようにルーレット選択を行い，交差は1染色体あたり交差箇所を任意に2箇所に設ける2点交差とした．そして，課題に対する各個体の評価値である適応度(*fitness*)が向上するように新しい世代(*generation*)を形成する．このとき，任意の個体を突然変異(*mutation*)させ，個体集合が局所解の集まりに陥らないように配慮し，また，実施条件に適わない個体は生成されないように配慮する．このような過程を何世代も繰り返すことにより，最終的に最適解あるいはそれに近い解を得ることができる．

3.2 評価関数

自然界において環境への適応の高い生物が生存するのと同様に，GAにおいては適応度の高い個体の特徴が次の世代へ継承される．ここで，騒音対策における適応度の算出モデルについて述べる．

騒音対策では，対策による騒音の減衰効果が大きいこと，対費用効果が高いことが重要である．本論文では，各対策パターンの騒音減衰効果を環境基準の達成状況で評価することにした．街区ごとの建物数に対する基準達成建物数の割合を全域で平均したものを“平均達成率”$(0.0-1.0)$と定義し，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”$(0.0-1.0)$と定義した．そして，平均達成率が高くコスト率が低いほど，対費用効果が高い騒音対策パターンであると考えた．

交通流対策である大型車進入制限と速度規制は，物流への影響など見積もることが難しい社会的な損失をもたらす可能性があり，安易には実施できない対策であると考え，本論文では全実施対策数に対するこれら2つの実施対策数の割合を“実施難易度”$(0.0-1.0)$と定義し，この値が低いほど実施に際して障害が少ない騒音対策と考えた．

各個体の適応度を算出する評価関数を，上記3つの要素で構成する．現状の騒音状態や予算などによって，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パターンは異なると思われるので，各要素に重み係数を乗じ，例えば環境基準の達成率を重視して対策を行いたいなど，対策実施者の意思が反映可能な関数とした．以上から，“評価関数”$\mathcal{F}$を式(2)で定義する．$\mathcal{F}$は$0.0-1.0$の値をとる．

$$\mathcal{F} = \frac{1 + w_a \cdot R_a - w_c \cdot R_c - w_d \cdot R_d}{2} \tag{2}$$

ただし，

$$w_a + w_c + w_d = 1$$

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．

3.3 必要データ

ここで，GAを用いて**Table 1**に示した騒音対策を組み合わせて最適な騒音対策パターンを検討するために必要な入力データを列記する．対策の評価を簡略化した本手法でも大量の入力データが必要であり，手作業による最適解の導出が困難であることが伺える．

各対策について現状の実施状況を把握する必要があるため，

- 街区ごとの舗装面種別
- 街区ごとの低層遮音壁設置状況
- 評価区間ごとの遮音壁設置状況
- 評価区間ごとの環境施設帯設置状況
- 評価区間ごとの大型車進入制限状況
- 評価区間ごとの速度規制状況

が必要である．また，各対策の実施条件を判断し，減衰量，コストなどを見積もるためのデータとして，

- 評価区間ごとの街区数
- 評価区間ごとの大型車類混入率 [%]
- 評価区間ごとの車速 [km/h]
- 街区ごとの建物数
- 街区ごとの歩道幅 [m]
- 建物ごとの騒音レベル [dB]
- 建物ごとの環境基準値 [dB]

が必要である．

これらの大量のデータは，各自治体で整備されているGISデータを活用することで入手可能であると考える．

4. シミュレーション

これまでに述べた騒音対策の最適選択手法の有効性を検討するために，まず小規模の問題を解く．その後，都市広域規模の問題へ拡張し，本手法の有効性を確認する．

4.1 手法の検証

すべての組み合わせを容易に計算できるデータとして，3評価区間，4街区で構成される市街地を例に，騒音対

Table 2 *Conditions along the road before the simulation*

L_{Aeq} in daytime [dB] (Achievement of Environmental Quality Standards)	62.3 (OK)	64.0 (NG)	61.0 (NG)	71.2 (NG)	78.9 (NG)	64.3 (NG)
Number of sections	3					
Number of blocks	2		1		1	
Number of buildings	1	1	1		3	
Width of sidewalk [m]	12.0	2.1	10.0		9.0	
Mixing rate of heavy vehicles [%]	10		10		17	
Speed [km/h]	60.0		60.0		90.1	
Environmental Quality Standards in daytime [dB]	70	55	55	55	55	55
Present situation						
Improvement of road surface	2	1	1		1	
Insertion of low-height noise barriers	0	0	1		0	
Insertion of noise barriers	0		0		0	
Installation of green belts	0		0		0	
Traffic control of heavy vehicles	0		0		0	
Speed regulation	0		0		0	

策パターン探索シミュレーションを行った．用いたデータを **Table 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．すべての組合せの数は，18,432 通りである．

Fig. 3 を見ると，$\mathcal{F}$ 値は右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．生成された個体数が 500 個体を超えたところで最適解に到達した．得られた解の結果を **Table 3** に示す．

この解が正しいかどうかを検討するため，すべての組み合わせについて $\mathcal{F}$ 値を計算してみた．その結果，最も評価の高い対策パターンは 1 つであり，GA の解と一致した．全探索に対して，本手法では 1/37 程度の評価回数で最適解が得られている．

また，**Fig. 3** に環境基準の平均達成率の推移も併せて示した．途中で幾度か 1.0 を示したが，最終的には 0.92 となっている．これは，$\mathcal{F}$ 値が，選択された対策の騒音低減効果だけでなくコストなども考慮した指標であるからであり，定義した評価関数が正常に機能していることを示す．

以上から，本論文で提案した GA を用いた騒音対策選択手法は有効な手法であると確認できた．

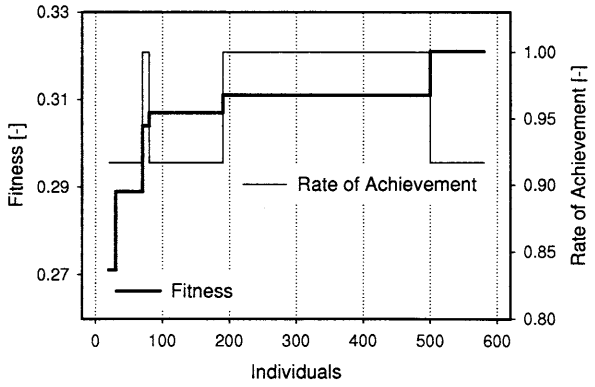

Fig. 3 *Example of the convergence of value $\mathcal{F}$ in the simulation for verification*

Table 3 *Conditions along the road after the simulation*

Environmental Quality Standards in daytime [dB]	70	55	55	55	55	55
Result of simulation						
Improvement of road surface	2	2	2		2	
Insertion of low-height noise barriers	0	1	1		1	
Insertion of noise barriers	0		0		1	
Installation of green belts	0		1		0	
Traffic control of heavy vehicles	0		0		0	
Speed regulation	1		0		0	
L_{Aeq} in daytime [dB] (Achievement of Environmental Quality Standards)	59.3 (OK)	53.0 (OK)	53.0 (OK)	53.2 (OK)	60.9 (NG)	46.3 (OK)
Rate of achievement	0.92					
Rate of cost	0.50					
Rate of difficulty for enforcement	0.13					
F	0.32					

4.2 都市広域への拡張

GA を用いた本手法を，例として福岡市全域に対して適用した．ただし，評価に必要なすべてのデータが揃っている箇所のみ抽出し，全域で 342 評価区間，3,794 街区，30,050 建物である．すべての対策が市全域で実施可能だと仮定すると，全対策パターン数は $2.18 \times 10^{3,424} (= 3^{3,794} \times 2^{3,794} \times 3^{342} \times 2^{342} \times 2^{342} \times 2^{342})$ になる．従って，全探索を行うことは不可能である．

初めに，評価関数の各要素の重み係数を，達成率：0.5，コスト率：0.2，難易度：0.3 としてシミュレーションを行った．これは環境基準の達成率の向上を重視した探索である．結果を **Fig. 4** に示す．$\mathcal{F}$ 値の変動は，小規模の場合と同様に右上がりであり，最適解あるいはそれに近い解に向けて収束していった．生成された個体が 84,000 を超えたところで最適解あるいは実用解に到達した．

環境基準の平均達成率は 0.94 であり，各対策の実施結果は次のようである．路面の改良：940 街区，低層遮音壁の設置：808 街区，統一型遮音壁の設置：6 評価区間，環境施設帯の設置：0 評価区間，大型車進入制限：6 評価区間，速度規制：78 評価区間である．福岡市の幹線道路沿道では，遮音壁や環境施設帯を設置できる歩道幅が確保されておらず，ほとんどの箇所で実施されなかった．

次に，コストおよび難易度を重視して，評価関数の各重み係数を，達成率：0.2，コスト率：0.3，難易度：0.5 としてシミュレーションを行った．$\mathcal{F}$ 値の推移と，環境基準の達成率，コスト率，実施難易度のそれぞれの変動を **Fig. 5** に示す．コスト率および実施難易度が下降するに従って，$\mathcal{F}$ 値は上昇した．さらに，この探索は結果的に環境基準の達成状況を軽視していたため，平均達成率も下降していった．対策パターンの結果は，路面の改良は 250 街区であり，他の対策は全く施されなかった．難易度を設定した 2 つの対策は採用されず，コストを低く設定した排水性舗装のみを実施する対策パターンとなり，環境基準の平均達成率は先ほどのシミュレーション結果より低く，0.74 であった．評価関数が正しく機能した結果と思われる．

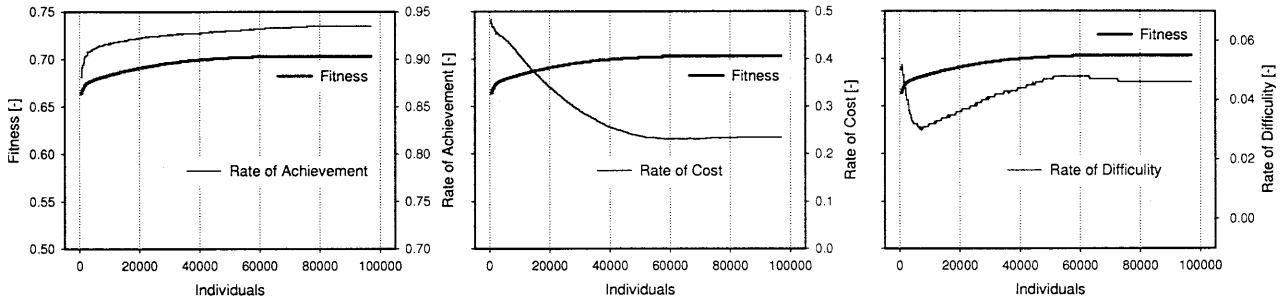

Fig. 4 *Examples of the convergence of value $\mathcal{F}$ and factors* ($w_a = 0.5$, $w_c = 0.2$, *and* $w_d = 0.3$)

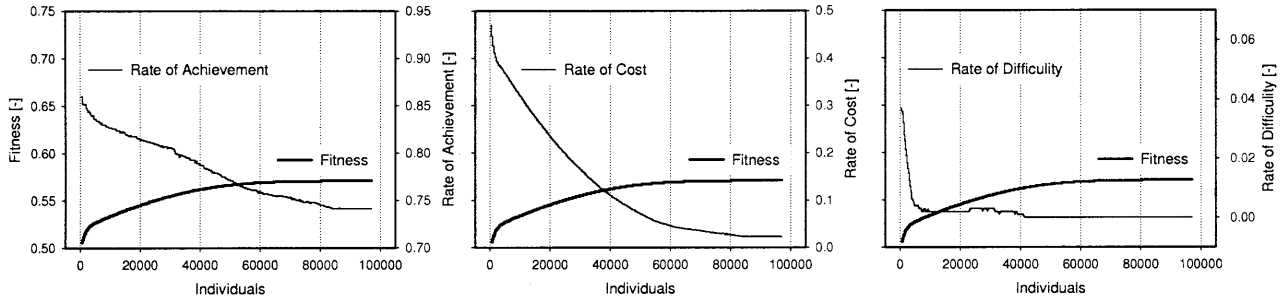

Fig. 5 *Examples of the convergence of value $\mathcal{F}$ and factors* ($w_a = 0.2$, $w_c = 0.3$, *and* $w_d = 0.5$)

5. まとめ

都市広域の沿道の騒音に対して，どのような騒音対策をどこに実施すれば効率的な騒音防止が図れるかをコンピュータを用いて検討するための，GA を用いた最適選択手法を提案し，小市街地の沿道を対象にしたシミュレーションからその妥当性を検証し，さらに対象規模を都市広域へ拡張した問題へ適用することにより本手法の有効性を確認した．本手法により，さまざまな幹線道路沿道について評価区間あるいは街区ごとに合理的な騒音対策を実施することができる．また，提案した評価関数を操作することにより，コスト低減を重視したり，実施が容易な対策を重視するといった選択も可能であり，実用的にも価値のある手法だと考えている．

ただし，本手法で用いている対策効果の予測や対策に要するコストの見積もりは，現時点ではあくまでも便宜的なものであるため，本手法を実際に用いようとするときには，より精緻な騒音予測法の組み込みと騒音対策に必要な費用の正確な見積もりが不可欠である．また，言うまでもないが，解の候補とされていない，すなわち GA の個体に表現されていない対策は決して選択されることがないため，一般的な騒音対策を網羅することが必要である．これらは今後の課題である．

謝辞

本研究の一部は，文部科学省 21 世紀 COE プログラム "循環型住空間システムの構築" によるものである．

参考文献

1) 環境庁告示 第 64 号: 騒音に係る環境基準について, 1998.

2) 福岡市環境局: 平成 15 年度ふくおかの環境, 2004.6.

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, 2002.3.

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, 2000.10.

5) Kazutoshi Fujimoto and Ken Anai: "Geographic information system for evaluation of road traffic noise along the road", FORUM ACUSTICUM SEVILLA 2002, paper n.NOI-04-008, 2002.9.

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**, pp.99-109, 1999.4.

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**, pp.148-152, 1999.6.

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**, pp.420-421, 2003.7.

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)–, 2000.4.

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 RTN-Model 2003", 日本音響学会誌 **60**, pp.192-241, 2003.4.

(受理：平成 16 年 6 月 17 日)