

# Genetic Algorithm を用いた道路舗装における効率的維持管理評価に関する研究\*

## A Study on Evaluation of Efficient Maintenance of Road Pavement Using Genetic Algorithm

寺島 令\*\*・内田賢悦\*\*\*・加賀屋誠一\*\*\*\*・萩原亨\*\*\*\*\*

By Ryou Terashima\*\*・Seiichi KAGAYA\*\*\*・Toru HAGIWARA\*\*\*\*・Kenetsu UCHIDA\*\*\*\*\*

### 1. 本研究の背景と目的・流れ

戦後の高度経済成長時代に多くの道路構造物が建設され、50年あまり経過した現在、それらの多くが更新時期を迎えている。現在の修繕計画は近視眼的な制御が行われる場合が多く、その結果として短命化やライフサイクルコストの上昇をもたらしているとの指摘がある。今後、多くの構造物が更新時期を迎える中、これらの更新を効率的に行うためには、ライフサイクルコストを考慮した長期的視点での計画的な修繕が必要とされている。そのため本研究では対象路線を例に、最善の修繕計画をGA(遺伝的アルゴリズム)<sup>1)</sup>を用いて算出することにする。同時に交通量が変化した際の最適化についても考察していく。また、既存研究ではケーススタディーでの最適化が行われていることが多いが、本研究ではGAを適用し最適な修繕計画を1つに絞る。以上のことを本研究の目的とする。

また、本研究の流れを図1に示す。

### 2. ライフサイクルコストの評価要因

ライフサイクルコストとは、長期的な経済性を検討するための概念であり、一般に建設費・維持費・廃棄費の和で考えられている。表1はLCCの道路舗装に関する評価要因を示している。一般的に、利用者費用となる事故や、不快さなどは数値化して表すことが難しく、LCCの評価要因では除かれていることが多い。そこで本研究においては、表2に示す要因に絞りLCCを考えていく。

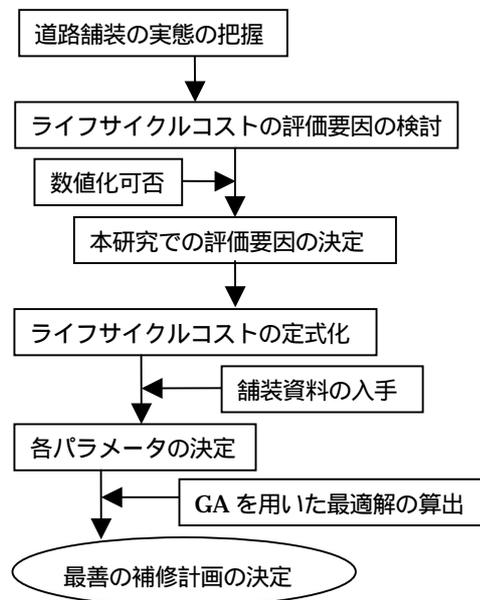


図1 研究のフロー

表1 LCC 評価要因

管理者費用	建設費
	将来の建設費または修繕費
	維持管理費用
	設計期間末における残存価値
利用者費用	旅行時間
	車両走行費用
	事故
	不快さ
	交通遅延時間に伴う費用
その他	環境負荷に関する費用

表2 本研究の評価要因

管理者費用	利用者費用
・修繕費	・車両走行費用
・維持管理費	・交通遅延費用
・残存価値	

\*キーワード 道路計画

\*\*学生会員 修士(工) 北海道大学大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻 (札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6211, Fax 011-706-6211)

\*\*\*正会員 博(工) 北海道大学大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻 (札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6210, Fax 011-706-6211)

\*\*\*\*フェロー 学博 北海道大学公共政策大学院 (札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6214, Fax 011-706-6214)

\*\*\*\*\*正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻 (札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6214, Fax 011-706-6214)

### 3. 評価対象区間

#### 3.1 評価対象区間

本研究では図2に示す国道5号線を対象とした。国道5号線は小樽と札幌を結ぶ片側3車線の道路であり、小樽方面からくる車葉必ず通る主要な道路である。評価対象区間の詳細<sup>2)</sup>は以下のとおりである。

始点 北24条東1丁目

終点 北15条東2丁目

区間延長 1,573m

総面積 15,411m<sup>2</sup>

交通量 D交通量

・平日 37,481台/12h 52,473台/24h

・休日 32,897台/12h 45,724台/24h

最高MCI : 8.6



図2 対象区間周辺図

#### 3.2 交通量の平均化

計算を簡潔化するため、道路利用者の経路選択はなにもと仮定し、交通量を50,229台と平均化した。

### 4. 道路性能指標

我が国では道路の性能を示す指標として、MCI (Maintenance Control Index) が用いられている。これは、ひび割れ、わだち掘れ、平坦性によって定まる道路性能の指標であり、以下の式<sup>3)</sup>で表される。

$$MCI(t) = 10 - 1.48F(t)^{0.3} - 0.29D(t)^{0.7} - 0.47\sigma(t)^{0.2} \quad (1)$$

F(t) : ひび割れ率 (%)

D(t) : わだち掘れ量 (mm)

(t) : 平坦性 (mm)

### 5. LCC 最小化問題の定式化

#### 5.1 LCC に関する費用

本研究でのLCCの算出においては、毎年かかるコストとして修繕費用、維持費用、残存価値、利用者走行費用、交通遅延費用について考えていく。

##### 5.1.1 修繕費用(OC(t))

オーバ-レイによる1m<sup>2</sup>あたりの修繕単価は、修繕面積の関数であり、修繕面積が大きいほど単価が安くなることから(図3)、修繕費用の算出にはロジスティック曲線を用いた式を用いた<sup>3)</sup>。修繕単価に修繕面積を乗じたものを修繕費用とする。

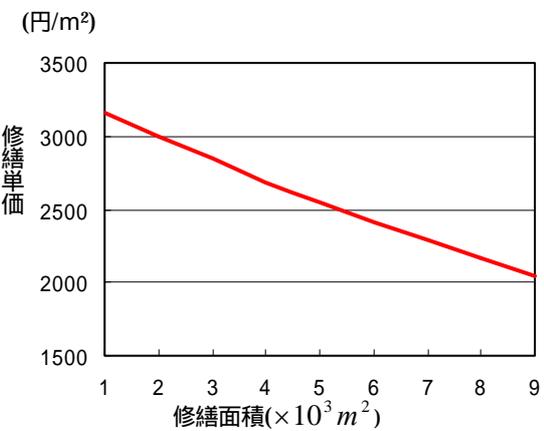


図3 修繕単価

$$OC(t) = \frac{1.24 \times 10^9}{1 + 3.70 \times 10^2 \times \exp(5.44 \times 10^{-2} \times s(t))} \times s(t) \quad (2)$$

s(t) : t年目の修繕面積 (×10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>)

##### 5.1.2 維持費用(MC(t))

道路管理者による維持管理(MC)とMCI(t)の関係は、建設省によって報告されている以下の式<sup>4)</sup>を用いる。

$$MC(t) = (180 - 18.8 \times MCI(t)) \times 10^5 \times S \quad (3)$$

S : 総面積

##### 5.1.3 残存価値

評価期間の最終年次におけるMCIからMCIが4以下になるまでの減価分を残存価値とし、T年目における資産価値(A<sub>T</sub>、B<sub>T</sub>)を推計した。

### 5.1.4 利用者走行費用(UC(t))

安崎らによる手法<sup>9)</sup>を参考に以下の式に示すように利用者走行費用を求めた。

$$UC(t) = (30.8 - 1.96 \times MCI(t) + 0.12 \times MCI^2(t)) \times \varphi \times l \quad (4)$$

$\varphi$  : 利用台数(台/年)     $l$  : 区間長 ( km )

$MCI(t)$  : t 年目における MCI の値

### 5.1.5 交通遅延費用(CC(t))

本来なら道路ネットワークを対象とした交通量配分等の交通モデルにより迂回費用を求める必要があるが、ここでは問題を簡単にするため、『工事による迂回、徐行に要する費用は修繕する面積  $s(t)$  に比例する』という仮定に基づき算出した。

$$t_a = t_a^0 \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{x_a}{c} \right)^\beta \right\} \quad (5)$$

$t_a^0$  : 自由走行時間     $x_a$  : 交通量     $c$  : 交通容量

道路性能曲線の式から、工事での車線減少による走行時間を算出する。  $\alpha$ 、  $\beta$  はパラメータであり北海道における値は  $\alpha = 0.14$ 、  $\beta = 2.95$  と既存研究<sup>9)</sup>により報告されており、本研究でもこの値を採用する。また、国道5号線の交通容量は、表3のように仮定する。

図4は、以上の仮定のもとから算出した  $s(t)$  に比例した走行時間である。修繕面積により、使える車線数が変化するという仮定のもと算出した。図4より、工事の影響による余分な走行時間損失を推計し、それに時間価値原単位を乗じ、以下に示す式により交通遅延費用を推計した。ただし、時間価値原単位は64(円・分/台)とした。また  $s(t)$  が5~10の時は工事日数が2倍に、10以上の時は3倍になると仮定した。

$$cc(t) = \begin{cases} 0.114 \times s(t) \\ 4.69 \times s(t) - 22.88 \end{cases} \times 64 \times \varphi \times d \quad (6)$$

$$cc(t) = \begin{cases} 5 \times s(t) \\ 10 \times s(t) \end{cases} \quad (7)$$

$$cc(t) = \begin{cases} 10 \times s(t) \\ S \times s(t) \end{cases} \quad (8)$$

$S_1$  : 最小補修面積     $d$  : 工事日数     $\varphi$  : 利用台数

### 5.2 修繕面積と MCI の関係

修繕面積と MCI との関係については対象区間全体の平均で考えることにした。つまり、t 年目に図4のように  $s(t)$  だけ修繕したとすると、t+1 年目には  $s(t)$  の

表3 国道5号線の仮想交通容量

	1車線	2車線	3車線
交通容量	10,000	32,000	50,000

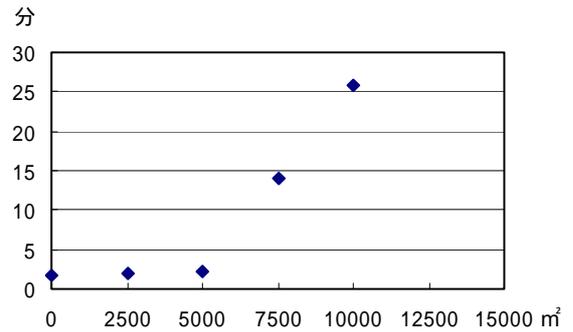


図4 修繕面積による走行時間

部分の MCI のみが最高値すなわち 8.6 に回復し、修繕しない部分の MCI は変化しないとの考え方のもと、翌年の MCI を定式化した。また、国道5号線の予測 MCI 式より線形近似を行い、修繕をしなくとも毎年の劣化が 0.3 ある<sup>9)</sup>という結果が得られたため、劣化も考慮し以下の式を得た。

$$MCI(t+1) = \frac{s(t) \times 8.6 + (S - s(t)) \times MCI(t)}{S} - \Delta MCI(\varphi) \quad (9)$$

$MCI(\varphi)$  : 劣化速度

### 5.3 定式化

一般的に LCC は建設費 + 維持費 + 廃棄費で表される。本研究においては廃棄費のかわりに残存価値を用い、また建設費は一定なので、計算では省略して考えた。LCC を最小化することを目的とした。また、毎年の維持費は式(13)で表せる。

$$\min_s LCC = C_0 + \sum_{t=1}^{T-1} \alpha^t C_t(s(t), MCI(t)) \quad (10)$$

$$+ \alpha^{T-1} (A_T + B_T MCI(T))$$

$$\text{w.r.t. } \mathbf{s} = (s(1), s(2), \dots, s(T-1))^T \quad (11)$$

$$\text{s.t. } s(t) = 0 \text{ or } s_1 \leq s(t) \leq S \quad (12)$$

$$C_t(s(t), MCI(t)) = UC(t) + CC(t) + OC(t) + MC(t) \quad (13)$$

$C_0$  : 建設費(円)

$\alpha$  : 割引因子 (割引率  $r = 0.04$  とする)

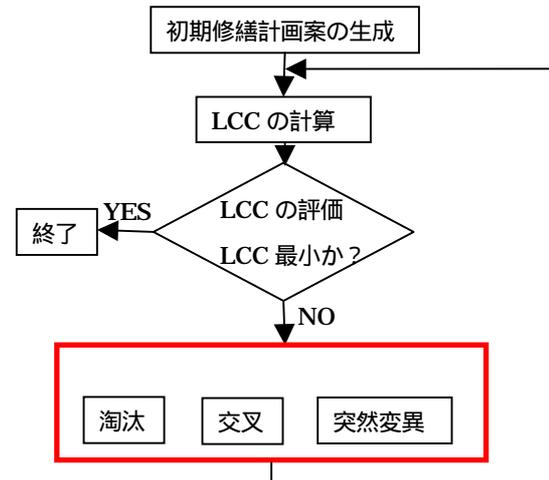
$MCI(t)$  : t 年目における MCI の値

$A_T$ 、 $B_T$  : T 年目の道路の資産価値に関するパラメータ

T : 評価期間(40年)     $l$  : 区間長(km)

## 6. 遺伝的アルゴリズムの適用

本研究では、目的関数が制御変数に関して凸関数となっていない、さらに制約条件も凸集合となっていないため標準的な最適化手法は適用できない。こうした理由から、本研究ではGAを採用した。GAは生物集団の進化過程に着想を得た確率的探索方法であり、本問題のような場合でも、短時間で最適解近傍に到達できるという特徴を有している。GAによる修繕計画の最適化の流れを図5に示す。



## 7. GAによる最適解算出の結果

図6はGAにより最適化された国道5号線の修繕計画である。施工後何年間かはそのままにしておいて、MCIが6程度になれば修繕するという最適解が得られた。また、図7は国道5号線における交通量を仮に5000台/日、L交通になった時の最適修繕計画を示したものである。交通量の違いによる比較を表4に示す。

図5 遺伝的アルゴリズムの流れ



図6 最適化された修繕計画



図7 交通量5000(台/日)とした時の最適修繕計画

## 8. まとめ

本研究の成果を以下に述べる。

- ・ 本研究では国道5号線を例とした最適な修繕計画を示すことができた。
- ・ 表4からわかるように、交通量が変われば修繕時期も変化し、維持すべきMCIの水準も変わることが示された。交通量が多いとユ・ザ・コストのウェイトが大きいためと推測される。

しかし、ここで示した結果は、仮想データをを用いた場合の最適解であり、実際には予算制約、利用者の不快さ、事故、環境負荷などを考慮する必要がある。したがって、現実の状況を反映した修繕計画とは言い難い。また、交通遅延時間の推定を簡潔化しているが、実際には道路利用者は、道路状況に応じた経路選択を行うものと考えられる。そういった細部に注目した最適修繕計画を得ることが今後必要となってくるだろう。

### 参考文献

- 1) 坂和正敏：遺伝的アルゴリズム、朝倉書店
- 2) 平成7年度道路交通センサス
- 3) 姫野賢治ほか：支持力を考慮に入れた舗装の修繕計画の最適解、舗装工学論文集、Vol.2, 17-22, 1
- 4) 建設省：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究、第41回建設省技術研究会報告、1987

表4 交通量の違いによる比較

交通量	50000 台/日	5000 台/日
総費用	117 億	11 億
修繕間隔	約2、3年	約6、7年
MCIの水準	6程度になったら修繕	5.5程度になったら修繕

- 5) 内田賢悦ほか：行動中止を考慮した災害時における交通ネットワーク・モデルに関する研究、土木学会論文集 No.779/-66, 1-10, 2005.1