

# 大規模高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの最適化手法とその応用

高速道路網は長期間にわたって、段階的にネットワークが形成されていく。このため、個々のプロジェクトの短期的な評価のみによって優先順位を決定していく段階的整備プロセスでは必ずしも最適なネットワークが形成されることは保証されない。

そこで、本研究では、ネットワークの段階的整備プロセスを最適化するための方法論を提案するとともに、その方法論をわが国の高速道路ネットワークに応用する。そして費用便益や事業者の採算性の観点から長期的に最適な整備プロセスを探索し、短期的なプロジェクト採択基準に基づく整備プロセスとの比較を行い、さらに複数の指標を用いて高速道路網整備のあり方について考察する。

キーワード | 高速道路ネットワーク、段階的整備プロセス、費用便益、採算性、遺伝的アルゴリズム

青山吉隆  
AOYAMA, Yoshitaka

京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻教授

松中亮治  
MATSUNAKA, Ryoji

京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻助手

野村友哉  
NOMURA, Tomoya

京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻大学院生

## 1 はじめに

道路整備等の公共プロジェクトの妥当性・効率性を評価するための手法として用いられている費用便益分析は、社会的観点から個々のプロジェクトの経済的効率性を評価するための手法であり、複数の代替案のなかから最適なプロジェクトを採択することができる有用な手法である。しかしながら、道路ネットワークは、個々のプロジェクトが長期にわたって段階的に実施されることにより形成され、かつ、各プロジェクトの実施の有無が、相互にそれらの評価に影響を及ぼし合っている。したがって、各プロジェクトの各段階における評価のみによって実施プロジェクトを決定していく段階的整備プロセスは、ネットワーク全体を長期的に評価した場合、必ずしも最適な整備プロセスであるという保証はない。そのため、莫大な事業費と数十年という長期にわたる整備期間を要し、社会経済に及ぼす影響が甚大である高速道路ネットワークの今後の整備のあり方について考察する際には、長期的に整備プロセス全体を評価することは極めて重要であるといえる。しかし、大規模かつ複雑化したネットワークにおいては、段階的整備プロセスのパターン、すなわち、プロジェクトの実施順序パターンはほとんど無数に存在するため、全てのパターンを評価することは実際上不可能であり、ネットワークの最適な段階的整備プロセスを効率的に探索する必要がある。

また、わが国の高速道路ネットワークのように、その整備資金を通行料金という形で利用者の負担により賄い、

独立した事業者によって整備が進められている場合、プロジェクトの評価基準としては、社会的観点からの費用便益という基準だけでなく、事業者の採算性という基準が不可欠である。さらに、評価方法は未だ確立されていないものの、高速道路整備の目的の一つとされている「国土の均衡ある発展<sup>1)</sup>」に資するという観点からの評価も必要である。このように、高速道路ネットワークを形成するプロジェクトを評価する際には、複数の基準があり、どれか一つの基準のみによる評価は適切でなく、複数の基準による評価結果から総合的にプロジェクトの優先順位および実施時期を決定する必要がある。

上記の点を踏まえ、本研究では、今後建設が計画・予定されている、わが国の高速道路ネットワークを対象として、社会的な純便益や事業者の採算性など、複数のプロジェクト採択基準、すなわち、段階的整備プロセスの決定基準を設定し、これらの基準に従う段階的整備プロセスを明らかにする。その際、段階的整備プロセス全体の長期的な最適化については、離散型組合せ最適化問題として捉え、複雑な離散型組合せ問題の効率的な解法である遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm: 以下GAと略す) を応用することにより、最適な段階的整備プロセスを探索する。そして、各基準に従う高速道路ネットワークの段階的整備プロセス全体を総便益や採算性、国土の均衡ある発展という観点から長期的に評価することを目的とする。

上記目的に従い、まず、2.において、関連する既往研究を整理し、本研究の特徴を明確にし、3.では、本研究

で用いる段階的整備プロセスを決定するためのプロジェクト採択基準について述べる。つづく4.では、最適な段階的整備プロセスを探索するために構築したシステムの概要について述べ、5.では、プロセス探索の際の前提条件について整理する。そして、6.では、構築したシステムによって探索した各基準に従う段階的整備プロセスを比較・考察するとともに、総純便益、借入金償還期間、30分圏人口カバー率といったネットワーク全体の評価指標を用いて、段階的整備プロセスを長期的に評価する。

## 2 既往の研究

本研究に関連する既往の研究としては、(1)ネットワークの最適整備順序に関する研究、(2)高速道路ネットワークの評価に関する研究がある。

### 2.1 最適整備順序に関する研究

道路ネットワークの最適な整備順序決定問題に離散型組合せ問題の優れた解法であるGAを応用した既往研究は既にいくつか存在する。

このうち田村ら<sup>2)</sup>の研究は、仮想的な道路ネットワークの新設・改良の最適な整備順序決定問題にGAの適用を試みたものであり、解のランダムサーチによる解法との比較からGAの有効性を検討した先駆的な研究である。田村らは、さらにこの研究を発展させ、実際の道路ネットワークへのGAの適用を試みている<sup>3)</sup>。また、青山ら<sup>4)5)6)</sup>の研究では、最適な整備順序の効率的な探索方法としてGAを応用している。

本研究では、これら既存研究の成果を踏まえ、高速道路ネットワークの最適な段階的整備プロセスの探索に、GAを応用した。本研究において対象とする高速道路ネットワークは、非常に規模が大きく、また、既往の研究では、OD交通量を所与として、分析が行われているもの<sup>2)3)4)5)6)</sup>が多いが、分析対象としている高速道路ネットワークにおいては、その整備による誘発交通の発生を無視することはできない。従って、本研究で対象とする高速道路ネットワークの最適な段階的整備プロセスの探索においては、需要予測を整備プロセスの各段階ごとに繰り返すなど、膨大な計算量が必要となり、効率的な解の探索が困難となる。そのため、本研究で構築したシステムにおいては、過去の探索結果の効率的利用などによって、計算時間を大幅に短縮した。

### 2.2 高速道路ネットワークの評価に関する研究

個別の高速道路プロジェクトを評価対象とした研究は

多数あるが<sup>7)</sup>、高速道路ネットワーク全体を評価対象として、分析しているものとしては、高速道路ネットワーク整備の事後評価を行った<sup>8)9)10)11)</sup>が挙げられる。これらの研究は、実際の段階的整備プロセスを評価したものであると捉えることができるが、プロジェクトの採択基準、すなわち、整備プロセスの違いによる評価結果の相違については考慮されていない。

一方、今後建設が計画・予定されている高速道路ネットワークを対象とした評価を行ったもの<sup>12)</sup>もある。しかし、採算性の観点から整備計画の評価を行っているものの、新たなプロジェクトの実施によってもたらされる誘発交通の発生や、既存ネットワークの交通量の変化といった、道路のネットワーク機能が適切に評価されておらず、ネットワークの段階的整備プロセス全体を適切評価しているとはいえない。また、社会的な費用便益という観点からの評価もなされていない。

### 2.3 本研究の特徴

以上の点を踏まえ、本研究の特徴を整理し以下に示す。

- (1) わが国の高速道路ネットワークを対象として、長期的に最適な段階的整備プロセスを効率的に探索するシステムを構築する。
- (2) 個々のプロジェクトの短期的なプロジェクト採択基準に従う段階的整備プロセスに加え、社会的な純便益や事業者の採算性の観点から長期的に最適な段階的整備プロセスを実際に探索する。
- (3) 探索した段階的整備プロセスをもとに、社会的な純便益や採算性、国土の均衡ある発展という観点から、高速道路ネットワークの整備プロセス全体を長期的に評価し、比較考察する。

## 3 段階的整備プロセス決定基準

高速道路ネットワークの段階的整備プロセスを決定するためのプロジェクト採択基準としては、費用便益分析と財務分析が挙げられる。また、社会的な費用便益、採算性の各々について、個々のプロジェクトの費用便益比や収益改善率を基準とする短期的な評価と、ネットワークの段階的整備プロセス全体の長期的な評価が考えられる。さらに、本研究で対象とする高速道路ネットワークの整備計画に関しては、現行の計画通りに全てのプロジェクトを実施する、あるいは逆に、全てのプロジェクトの実施を凍結するという選択もあり得る。そこで、本研究では、段階的整備プロセスの決定基準として以下の7基準を用いることとした。

・費用便益比基準

各期において次式に示す費用便益比( $B/C$ )が最も高いプロジェクトから順に実施する。ただし、費用便益比( $B/C$ )が1.0未満のプロジェクトは実施しない。

$$B_k / C_k = \frac{\sum_{t=0}^{d_k+T-1} \frac{UB_{t,k} + SB_{t,k}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{d_k+T-1} \frac{C_{t,k} + \Delta RC_{t,k}}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

- $t$  : 年次(建設開始年次を0とする)
- $UB_{t,k}$  : プロジェクト $k$ によって発生する $t$ 年次の利用者便益
- $SB_{t,k}$  : プロジェクト $k$ によって発生する $t$ 年次の供給者便益
- $C_{t,k}$  : プロジェクト $k$ によって発生する $t$ 年次の建設費
- $\Delta RC_{t,k}$  : プロジェクト $k$ によって発生する $t$ 年次の管理費増加額
- $T$  : 評価対象期間(=50年)
- $d_k$  : プロジェクト $k$ の工期
- $r$  : 社会的割引率

・短期採算性基準

各期において次式に示す収益改善率が最も高いプロジェクトから順に実施する。ただし、収益改善率が負となるプロジェクトは実施しない。なお、次式に示す収益改善率は、対象プロジェクトのみの採算性を示す指標ではなく、プロジェクト実施により発生する高速道路ネットワーク全体の料金収入増加額で、管理費増加額のみならず、プロジェクト実施に伴う金利負担増加分についても賄うことができるか否かを示す、ネットワークの外部性を考慮した指標である。

$$PC_k = \frac{\Delta Rv_{\tau,k} - (D_k \times i_{\tau} + \Delta RC_{\tau,k})}{C_k} \quad (2)$$

- $PC_k$  : プロジェクト $k$ の収益改善率
- $\tau$  : プロジェクト $k$ の供用開始年次
- $\Delta Rv_{\tau,k}$  : プロジェクト $k$ によって発生する $\tau$ 年次のネットワーク全体の料金収入増加額
- $D_k$  : プロジェクト $k$ によって発生する借入金
- $i_{\tau}$  : 年次 $\tau$ の利率
- $\Delta RC_{\tau,k}$  : プロジェクト $k$ によって発生する $\tau$ 年次の管理費増加額
- $C_k$  : プロジェクト $k$ の建設費

・総純便益基準

ネットワーク全体の評価指標の一つである次式に示す全プロジェクト完了時の総純便益(Total Economic Net Present Value of Benefits minus Costs:  $TENPV$ )が最大となるよう各プロジェクトの実施順序を決定する(GAを応用し準最適解を探索)。ただし、費用便益比( $B/C$ )が1.0未満のプロジェクトは実施しない。

$$TENPV = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^{k_i}} \left( \sum_{t=0}^{d_i+T-1} \frac{(UB_{t,i} + SB_{t,i}) - (C_{t,i} + \Delta RC_{t,i})}{(1+r)^t} \right) \quad (3)$$

- $n$  : 実施プロジェクト総数
- $k_i$  : プロジェクト $i$ の建設開始年次(2000年を0とする)

・長期採算性基準

ネットワーク全体の評価指標の一つである全プロジェクト完了時点からの借入金償還期間が最短となるよう各プロジェクトの実施時期を決定する(GAを応用し準最適解を探索)。ただし、収益改善率が負となるプロジェクトは実施しない。

・全プロジェクト実施(費用便益比基準)

計画されている全てのプロジェクトを実施する。その際、各段階において費用便益比( $B/C$ )が最も高いプロジェクトから順に実施する。この場合、費用便益比( $B/C$ )が1.0未満となるプロジェクトについても実施する。

・全プロジェクト実施(短期採算性基準)

計画されている全てのプロジェクトを実施する。その際、各段階において収益改善率( $PC$ )が最も高いプロジェクトから順に実施する。この場合、収益改善率( $PC$ )が負となるプロジェクトについても実施する。

・プロジェクト実施を凍結

全てのプロジェクトの実施を凍結。すなわち、既存路線からの料金収入のみで借入金を償還する。

本研究では、以上の7つの基準によってプロジェクトを採択し、高速道路ネットワークの段階的整備プロセスを探索する。そして、総純便益、借入金償還期間、30分圏人口カバー率といったネットワーク全体の評価指標を用いて、整備プロセス全体を長期的に評価する。

## 4 段階的整備プロセス探索システムの概要

本章では、部分最適ではなく全体最適な段階的整備プロセスを探索するためにGAを応用し構築したシステムの概要を述べる。

GAはJ. H. Hollandによる1975年の理論的考察<sup>13)</sup>により広く知られるようになり、1989年にはGoldberg<sup>14)</sup>によってアルゴリズムの枠組みが整理され、多方面に応用されるようになってきている<sup>15)16)17)18)</sup>。さらに、最近では、複雑系(complex system)<sup>19)</sup>の理論の一つである自己組織化(self organization)の研究にも適用されている。例えば、青山ら<sup>5)</sup>は、わが国の高速道路ネットワークを模した仮想ネットワークを対象とし、GAを応用し最適なネットワークの段階的整備プロセスを探索し、整備プロセスの早い段階でネットワークを縦断する軸が自己組織化されることを明らかにしている。

GAは、個体(individual)と呼ばれる複数の解を同時に保持し、それらの個体間で遺伝情報を交換する交叉演算等の遺伝演算(genetic operators)を用いて新たな個体の集合、すなわち個体群(population)を生成し、改善していく点が大きな特徴である。各個体は、それぞれ染色体(chromosome)によって特徴づけられ、染色体は複数の遺伝子(gene)の集まりによって構成されている。染色体上で各遺伝子が置かれている位置を遺伝子座(locus)と呼ぶ。GAの基本プロセスは、1)初期解集合の設定、2)評価、3)終了判定、4)遺伝演算の適用の4つのプロセスから構成される。以下、このプロセスに従い、本研究で構築したシステムの概要を述べる。

### 4.1 初期解集合の設定

本システムで探索する解は、最適なネットワークの段階的整備プロセス、すなわち、プロジェクト実施順序である。そこで、各プロジェクトに一意のナンバリングを行い、各プロジェクトに付されたナンバーを遺伝子(gene)とする。そして、プロジェクトの数だけの遺伝子座(locus)を用意し、遺伝子を各遺伝子座に配することにより一つの個体(individual)を構成し、先頭の遺伝子座に置かれている遺伝子に該当するプロジェクトから順に実施するものとし、ネットワークの段階的整備プロセスを表現する。解探索開始時には、ランダムに上記個体を複数生成し、初期集合とする。

### 4.2 評価

本研究では、段階的整備プロセスの最適化基準としては、3.で述べたように、全プロジェクト完了時の総純便益ならびに全プロジェクト完了時点からの借入金償還期

間を用いる。そのため、各個体の遺伝情報に基づきプロジェクトを順に実施する過程において、個々のプロジェクトが実施されることによって発生する便益、料金収入、管理費等を逐次計測する。そして、費用便益比( $B/C$ )あるいは収益改善率( $PC$ )が一定値を上回るというプロジェクトの実施条件を満たすか否かを判定し、実施条件を満たす場合、上記プロセスを繰り返すこととし、満たさない場合には、以降のプロジェクトは実施できないものとし、その時点で、その個体の総純便益、償還期間を算出する。なお、終了条件としては、世代数を用いることとし、世代数が30,000に満たない場合は、次に述べる遺伝演算を適用し、解集合を更新する。

### 4.3 遺伝演算の適用

各個体の総純便益あるいは借入金償還期間を適応度とし、以下に述べる各遺伝演算を適用する。

#### 4.3.1 選択(再生)

次世代の親となる個体の選択を行う際には、計測した適応度をもとに、エリート保存選択(Elitist Preserving Selection)ならびにルーレット選択(Roulette Selection)<sup>20)</sup>を用いた。エリート保存選択とは、適応度の最も高い個体を、そのまま次世代に残すための選択方法である。また、ルーレット選択とは、適応度の高い個体ほど、次世代の個体を生成するための親となる確率が高くなるよう選択する方法である。

#### 4.3.2 交叉

選択された(個体群サイズ-1)個の親となる個体を対象として、交叉を行う。交叉方法としては、a)コーディングを用いた一点交叉(one point crossover using coding)、b)サイクルクロスオーバー(cycle crossover)の2種類の手法<sup>20)</sup>を適宜使用した。

一点交叉とは、親となる個体の染色体の1点をランダムに選び、その前後で2個の遺伝情報を入れ替える操作である。しかし、本研究で対象としている段階的整備プロセスの最適化問題の場合、単純な一点交叉では、交叉後の染色体の中に、同じプロジェクトが2回出現したり、逆に1回も出現しない状況が生じ得る。そこで、染色体にコーディングを施すことによって、この問題を回避している。

#### 4.3.3 突然変異

突然変異の方法としては、親個体の染色体から2つの遺伝子座をランダムに選択し交換する方法を用いた。なお、突然変異確率は、個体群の多様性に応じて0.1~0.7の値を適宜用いることとした。

## 5 前提条件

本章では、高速道路ネットワークの段階的プロセスを探索する際の前提条件について、ネットワーク、便益計測、借入金償還計算の順に述べる。

### 5.1 ネットワーク

本研究では、以下に述べる道路ネットワークを用いて、ゾーン間OD交通量、ゾーン間一般化費用、料金収入、管理費等を算出し、分析対象プロジェクトの便益ならびに償還期間を計測する。なお、本研究では、計測の際のゾーン区分として、沖縄を除く45都府県と北海道を4ゾーンに分割した計49ゾーンを用いた。

#### 5.1.1 分析対象プロジェクト

今後建設が計画されている高速道路として、本研究では、「国土幹線自動車道建設法による法定予定路線」11,520kmならびに「国土交通大臣指定に基づく一般国道自動車専

用道路」2,480km、計14,000kmから構成される高規格幹線道路網のうち、図1に示す2000年4月現在未供用の高規格幹線道路(沖縄を除く46都府県、4,587km)を対象として、3.で述べた各基準に従う段階的整備プロセスを探索する。その際、表1に示すように、対象道路ネットワークを43個のプロジェクトに集約した。この結果、



図1 分析対象とした高速道路ネットワーク

表1 分析対象としたプロジェクト一覧

プロジェクト番号	路線名	区間	供用距離		建設費(億円)
			総延長	2車線区間延長	
1	八戸自動車道	青森中央JCT～青森東、天間林～六戸三沢、八戸北～八戸JCT	47.5	47.5	1,468.9
2	三陸・東北横断道	宮古～三陸、大船渡～石巻、利府西～富谷、花巻JCT～釜石	240.5	240.5	7,776.7
3	常磐自動車道	亘理～いわき四倉	109.0	109.0	4,917.9
4	日本海沿岸自動車道	小坂JCT～大館北、大館南～能代南、八竜～昭和男鹿半島	113.1	113.1	4,396.0
5	日本海沿岸自動車道	河辺JCT～酒田みなと、鶴岡JCT～新潟空港	203.5	203.5	9,324.0
6	東北中央自動車道	湯沢～新庄、尾花沢～山形中央	91.0	91.0	3,435.9
7	東北中央自動車道	山形中央～南陽高島、米沢北～相馬JCT	125.0	125.0	6,417.0
8	北関東・東関東道	友部JCT～水戸南、茨城町JCT～潮来	65.3	0.0	3,001.4
9	北関東自動車道	栃木都賀JCT～友部JCT	66.1	0.0	3,679.8
10	北関東自動車道	高崎JCT～岩舟JCT	52.5	0.0	3,968.8
11	圏央・館山道	つくばJCT～松尾横芝、東金～木更津JCT、木更津南JCT～富津竹岡、鋸南勝山～館山	144.0	0.0	6,985.5
12	圏央自動車道	茅ヶ崎JCT～青梅、鶴ヶ島JCT～つくばJCT	128.6	0.0	6,430.0
13	東京外環自動車道	三郷JCT～市川JCT	18.7	0.0	9,429.4
14	東京外環自動車道	大泉JCT～東京	25.6	0.0	7,680.0
15	第二東名高速	東京～伊勢原JCT	41.5	0.0	13,504.3
16	第二東名高速	伊勢原JCT～清水、吉原JCT～尾羽JCT	99.5	5.0	24,654.6
17	第二東名高速	清水～豊田JCT、引佐JCT～三ヶ日JCT	166.0	13.0	23,765.0
18	中央横断自動車道	佐久JCT～長坂JCT	62.0	62.0	1,938.3
19	中央横断自動車道	双葉JCT～吉原JCT	71.5	71.5	6,168.6
20	三遠南信自動車道	飯田～引佐JCT	98.0	98.0	2,940.0
21	中部縦貫自動車道	福井北～油坂峠、飛騨清見～平湯、上高地～松本JCT	137.0	137.0	4,110.0
22	東海北陸自動車道	飛騨清見～五箇山	38.0	38.0	1,261.6
23	東海環状自動車道	四日市JCT～大垣中央JCT～豊田東JCT	145.0	0.0	7,250.0
24	第二東名・名神	豊田JCT～名古屋南、湾岸弥富～四日市JCT	64.0	0.0	8,844.6
25	第二名神	亀山JCT～高槻JCT、大津JCT～草津JCT	85.5	0.0	15,184.9
26	第二名神	高槻JCT～神戸JCT	36.5	0.0	7,329.5
27	京奈和自動車道	木津～和歌山JCT	83.8	83.8	2,514.0
28	京都縦貫・北近畿豊岡道	丹波～綾部JCT、舞鶴大江～宮津、春日JCT～豊岡	100.0	100.0	3,000.0
29	舞鶴自動車道	敦賀JCT～舞鶴東	73.0	73.0	4,874.9
30	紀勢自動車道	御坊～勢和多気JCT	223.0	223.0	9,194.3
31	鳥取自動車道	竜野JCT～山崎JCT、佐用JCT～鳥取	68.0	68.0	2,522.9
32	山陰道、米子道	鳥取～羽合、大栄～淀江大山、米子～境港	80.5	80.5	2,715.0
33	山陰道、山陽道	松江玉造～江津、美祿JCT、宇部JCT～下関JCT	249.8	249.8	8,257.8
34	松江尾道道、西瀬戸自動車道	宍道JCT～尾道JCT、生口島北～生口島南、大島北～大島南、今治南～東予丹原	149.5	136.5	6,470.6
35	高松道、徳島道	鳴門～津田東、さぬき三木～高松西、鳴門JCT～阿南	84.0	84.0	4,822.3
36	松山・高知道	大洲南～宇和島北、宇和島南～伊野	185.5	185.5	7,147.4
37	東九州自動車道	小倉東～豊津、豊前～宇佐	44.5	44.5	2,647.5
38	九州横断自動車道	延岡～嘉島JCT	95.0	95.0	3,077.3
39	東九州自動車道	大分宮河内～清武JCT	170.7	170.7	7,837.2
40	東九州自動車道	清武JCT～隼人東	141.3	141.3	5,400.0
41	道央自動車道	七飯～長万部	89.1	89.1	1,792.0
42	後志自動車道	黒松内JCT～小樽	102.0	102.0	3,060.0
43	道東自動車道	夕張～十勝清水、池田～釧路	173.0	173.0	5,260.9
計			4587.6	3453.8	276,456.8

段階的整備プロセス,すなわちプロジェクトの実施順序の順列は,  $43! \cdot 6.0 \times 10^{52}$ 通り存在することになる.このため,4.で述べた効率的な探索システムを用いた準最適解の探索が不可欠となってくるのである.

また,各年度においてプロジェクト実施に使用できる予算に制約を設け,その制約のもとに,プロジェクトを順に実施すると仮定する.各年度の予算制約は,一律1兆円/年とし,その範囲内であれば,1年に複数のプロジェクトを実施することができるものとした.なお,ゾーン中心(都道府県庁)間の交通に影響を与えないプロジェクトについては対象から除外している.

建設費については,「高速道路便覧(2001年版)<sup>21)</sup>」,「日本道路公団年報(平成12年版)<sup>22)</sup>」に記載されている路線に関してはその値を用いることとし,記載されていない路線に関しては,4車線区間:一律50億円/km,2車線区間:一律30億円/kmと仮定した.

また,本研究では,工事進捗率や現在までに要した建設費に関する路線別データを入手することができなかったため,建設中の路線全てを他の未着工路線と同様に扱うこととし,段階的整備プロセスの探索開始年次である2000年4月以降に新たに着工するものと仮定した.

### 5.1.2 構築した道路ネットワーク

本研究では,沖縄を除く46都道府県を対象として,2000年3月末現在供用中の高速自動車国道,都市高速道路,一般国道(ただし,大型車が通行不能な狭隘な一般国道を除く),両側4車線以上の主要地方道・首都圏1都7県及び近畿圏2府4県の両側2車線以上の主要地方道・一般都道府県道・指定市の一般市道,主要なフェリー航路を網羅する既存道路ネットワーク,ならびに,分析対象とする2000年4月現在未供用の高規格幹線道路ネットワークを構築した.ネットワークに含まれるリンク数は22,466,ノード数は14,319であり,各リンクについて道路種別,リンク長,指定最高速度,渋滞速度,自由走行交通量,渋滞交通量,平日24時間交通量(1985,90,94年),建設費,通行料金等のデータを収録した.

### 5.1.3 リンク一般化費用

ここでは,ゾーン間一般化費用の計測の際に用いる各リンクの一般化費用を計測する際の設定について述べる.

各リンクの一般化費用は,次式に示すように,リンク所要時間,時間価値,通行料金,走行費用から計測した.

$$LinkGC_l = \omega \cdot LinkT_l + Fare_l + RunC_l \quad (4)$$

$LinkGC_l$ :リンク  $l$  の一般化費用

$\omega$ :時間価値

$LinkT_l$ :リンク  $l$  の所要時間

$Fare_l$ :リンク  $l$  の通行料金

$RunC_l$ :リンク  $l$  の走行費用

#### ・リンク所要時間

高速道路のリンク所要時間は,Incremental Assignment Method(IA法)により計測した各リンクの交通量から  $Q-V$ 式を用いて算定する.また,一般道については,道路交通センサス一般交通量調査(1994年)のリンク交通量から  $Q-V$ 式を用いて算定した値に,信号による所要時間の遅れを加えた値を用いている.

#### ・時間価値

時間価値については,道路投資の評価に関する指針(案)<sup>23)</sup>に記載されている乗用車類および普通貨物車の平日・休日の時間価値を,平休日比ならびに乗用車類・普通貨物車の走行台数比で加重平均し,90円/分と設定した.

#### ・通行料金

通行料金  $s$ (円)は,2000年における日本道路公団管轄の高速道路の料金体系を基に次式より設定した.なお,本研究では,将来にわたり通行料金の水準は不変であると仮定している.

$$s = (r_p \cdot a_p + r_f \cdot a_f) \times L + 150 \quad (5)$$

$L$ :走行距離(km)

$a_p, a_f$ :係数(普通乗用車: $a_p=24.6$ ,  
普通貨物車: $a_f=29.52$ )

$r_p$ :乗用車類の割合(=57.68%,億台ベース)

$r_f$ :普通貨物の割合(=42.32%,億台ベース)

( $r_p, r_f$ :道路交通センサス一般交通量調査をもとに算出)

#### ・走行費用

走行費用としては,燃料費,オイル,タイヤ・チューブ,車両整備(維持・補修),車両償却の5項目を考慮することとし<sup>23)</sup>,乗用車類・普通貨物車の走行台数比で加重平均し,高速道路・一般道路それぞれについて走行速度ごとに設定した.

### 5.1.4 ゾーン間一般化費用

計測したリンク一般化費用を用いて,Dijkstra法により,ゾーン間の最小一般化費用を計測する.その際,全てのリンクについてIA法によりゾーン間OD交通量を配分しリンク交通量を計測し,高速道路については,計測したリンク交通量を用いてリンク一般化費用を更新する.そして,計測したゾーン間一般化費用から後述する需要関数

を用いてOD交通量を推定し、IA法の初期値として用いたOD交通量との誤差が1%未満になるまで繰り返し計算を行いゾーン間一般化費用の収束値を求めた。

## 5.2 便益計測

本研究では、プロジェクト実施によって発生する利用者便益、および、供給者便益を計測する。なお、評価対象期間は50年とし、便益額は、社会的割引率(4%)を用いて、供用開始時点の貨幣価値に換算した。

### 5.2.1 利用者便益

利用者便益としては、所要時間短縮便益ならびに走行費用減少便益の2項目を計測することとし、次に示すように、消費者余剰測度によって算出した。なお、便益計測の簡便化のため、ゾーン間一般化費用については、評価対象プロジェクトの供用開始年次の値を評価対象期間にわたって用いることとした。

$$UB_t = \sum_i \sum_j \int_{GC_{i,j}^w}^{GC_{i,j}^{wo}} D(x) dx \quad (6)$$

$UB_t$  : 年次  $t$  の利用者便益

$GC_{i,j}^{wo}$  : プロジェクトを実施しないときのゾーン  $ij$  間の一般化費用

$GC_{i,j}^w$  : プロジェクトを実施したときのゾーン  $ij$  間の一般化費用

$D(x)$  : ゾーン間需要関数

上式で用いるゾーン間の需要関数は、都市圏内々交通に係るODと、それ以外のODの2種類について、1985年、1990年、1994年のOD交通量と人口データ、及び各年次における道路ネットワークから算出されるゾーン間一般化費用を用いて、次に示す重力モデルを用いて推定した。ここで、都市圏内々とは首都圏1都7県内々及び近畿圏2府4県内々を指す。なお、推定した需要関数の自由度補正済決定係数は、それぞれ0.72、0.83であり、比較的良好な結果となった。

$$D(GC_{i,j}) = \alpha \cdot POP_i^{\beta_1} \cdot POP_j^{\beta_2} \cdot GC_{i,j}^{\gamma} \cdot e^{\lambda \delta_{i,j}} \quad (7)$$

$GC_{i,j}$  : ゾーン  $ij$  間の一般化費用(円)

$POP_i$  : 都道府県  $i$  の人口(人)

$\delta_{i,j}$  : 青函ダミー(青森 - 函館間を通過するODペア: 1)

$\alpha, \beta, \gamma, \lambda$ : パラメータ

便益計測や償還計算に用いる将来のゾーン間OD交通量を推計する際に使用する将来の人口データについては、2025年までは、国立社会保障・人口問題研究所に

よる都道府県別将来推計人口<sup>24)</sup>を用い、2025年以降は、国立社会保障・人口問題研究所による全国人口の中位推計値と、2025年の都道府県人口シェアから算出した値を用いた。なお、上記推計によると、2050年の全国の人口は、1億49万人と2000年人口の約80%に減少することが予測されており、本研究の需要予測においても、将来の交通需要は減少する結果となる。

### 5.2.2 供給者便益

供給者便益としては、プロジェクト実施による高規格幹線道路網全体の料金収入の増加額を計測する。ただし、評価対象プロジェクトの供用開始年次以降の料金収入については、便益計測の簡便化のため、対象プロジェクトの供用開始年次以降の他のプロジェクトの実施による交通量の変化を考慮せず、供用開始年次と計測年次の総人口の比率により算出した。

なお、2000年の道路ネットワークを用いて算出した日本道路公団管轄路線の路線別料金収入と実際の路線別料金収入の相関係数は0.96と高く、高精度の現況再現性を有しているといえる。

### 5.2.3 費用

費用便益比を求める際の費用として、建設費(用地費を含む)、および、プロジェクト実施による高規格幹線道路網全体の管理費の増加額を計測した。

建設費は、各年度の期首に一括して発生するものとする。管理費については、料金収入と供用総延長にのみ依存すると仮定し、日本道路公団管轄の各路線の管理費と料金収入及び距離の重回帰分析の結果から、次式を用いて管理費を算出することとした。ただし、供給者便益計測の場合と同様に、プロジェクト供用開始年次以降の料金収入については、供用開始年次と計測年次の総人口の比率により算出した。なお、道路構造物の経年劣化等による管理費の増加は考慮していない。

$$RC_t = 0.1849 \times L_t + 0.1257 \times Rv_t + 3.295 \quad (8)$$

$RC_t$  : 年次  $t$  の管理費(高規格幹線道路網)

$L_t$  : 年次  $t$  の高規格幹線道路供用総延長

$Rv_t$  : 年次  $t$  の料金収入(高規格幹線道路網)

## 5.3 借入金償還計算

高規格幹線道路網を形成する路線には、日本道路公団以外に、本州四国連絡橋公団、国、地方道路公社によって建設・管理運営されることとなっている路線もあるが、本研究では、評価対象とする計画路線の約95%を建設・管理運営することになっている日本道路公団を対象とし

て、借入金の償還計算を行うこととした。

現在、日本道路公団では、高速道路を建設する際、道路債券・長期借入金などの借入金によって資金を調達し、高速道路全体の料金収入から管理費、支払利息、改良費を差し引いた額を償還準備金に繰り入れ、高速道路の建設に投下した借入金の償還を行っている。

そこで、本研究では、この借入金償還計算をモデル化するにあたって、年次  $t$  の資金バランスを表す  $BL_t$  を次式で定義する。既往の文献では、借入金の償還計算を行う際に減価償却費や除却費を計上しているもの<sup>12)25)</sup>もあるが、これらの費目は、償還計算には無関係である<sup>26)</sup>ため、ここでは、計上していない。

$$BL_t = JHRV_t - \{JHRC_t + Db_{t-1} \times i + C_t + Im_t\} \quad (9)$$

$JHRV_t$  : 年次  $t$  の日本道路公団の料金収入

$JHRC_t$  : 年次  $t$  の日本道路公団の管理費

$Db_t$  : 年次  $t$  の期末借入金残高

$C_t$  : 年次  $t$  の建設費

$Im_t$  : 年次  $t$  の改良費

$i$  : 利率

$BL_t > 0$  の場合、借入金の償還が可能であり、 $BL_t$  を借入金の償還に充当すると仮定し、逆に、 $BL_t < 0$  の場合は、 $-BL_t$  を新たに借入れることによって資金収支をバランスさせると仮定する。従って、年次  $t$  の期末借入金残高  $Db_t$  は、次式で計算できる。

$$Db_t = Db_{t-1} - BL_t \quad (10)$$

なお、借入金の利率については、平成10年度末における有利子負債の残高(24兆1,642億円)と、平成11年に支払った、有利子負債に係る利息(8,649億円)から、3.58

3.6%とした。将来における借入金利率については不確定な部分が多いため、将来にわたって3.6%の利率を用いることとした。また、各年度の改良費については、正確に予測することは困難なため、平成2年度から11年度までの10年間の料金収入に占める改良費の割合の平均値(8.94%)を参考に、各年度の料金収入の9.0%を改良費として計上することとし、採択されたプロジェクトを全て実施した後の料金収入については、最後に実施されるプロジェクトの供用開始年次と計測年次の総人口の比率により算出した。また、借入金の償還計算の際に用いる2000年期首の借入金残高については、本研究では、工事中の路線についても新たに着工するものと仮定しているため、平成11年度(1999年度)末負債残高26兆6,463億円から平成11年度貸借対照表の資産の部・固定資産

に記載されている建設仮勘定44,229億円を除いた22兆2,234億円を用いることとした。

## 6 段階的整備プロセス探索結果

### 6.1 探索結果の比較

5.で述べた前提条件のもとで、3.で述べた7つの段階的整備プロセス決定基準を用いて探索した結果を表2に示す。表2に示すように、用いた決定基準によって、実施されるプロジェクトは大きく異なる結果となる。図2に、総純便益基準によって実施されたプロジェクトを示すとともに、各決定基準によって形成されたネットワークの総純便益( $TENPV$ )、償還期間、30分圏人口カバー率を図3~5に示す。

費用便益比基準ならびに総純便益基準では、表2ならびに図2に示すように、地方部の路線も含む同じ14プロジェクトが実施され、新たに953.3kmの高速道路が供用された段階で、残りの全プロジェクトの $B/C$ が1.0を下回り建設が完了する。つまり、費用便益比基準と総純便益基準の相違点は、今後建設が計画・予定されているわが国の高速道路ネットワークの場合、採択されるプロジェクトにあるのではなく、その実施順序、すなわち、段階的整備プロセスにあることが明らかとなった。一方、短期採算性基準では、表2に示すように、主に都市部の4プロジェクト(244.4km)が実施された後、残り全プロジェクトの収益改善率が負となり建設が完了し、長期採算性基準では、短期採算性基準で実施された4プロジェクトのうち、都市部の2プロジェクト(111.1km)が実施されるのみで建設が完了する。費用便益比基準、総純便益基準では、供用される2車線区間が全体の63.3%となるが、短期採算性基準では27.8%、長期採算性基準では、供用されるのは全て4車線以上の都市部の区間のみとなった。このように、採算性基準では、主に都市部のごく一部の路線しか整備することができず、特に、償還期間を最短化する長期採算性基準では、わずか100km余りのプロジェクトが実施されるのみである。

### 6.2 プロセス全体の評価

ネットワークの段階的整備プロセス全体を評価した場合、図3に示すように、総純便益( $TENPV$ )は、長期的にその最大化を目的とした総純便益基準が最も大きく、8.30兆円となり、費用便益比基準の8.18兆円と比較して約1,200億円(1.5%)大きくなっている。次いで、短期採算性基準の6.77兆円、長期採算性基準の5.74兆円という結果となった。また、全てのプロジェクトを実施した場合、それぞれ3.09兆円、2.93兆円と、費用便益比基準の約

40%程度の総純便益しか得られないことが明らかとなった。この結果から、今後建設が計画・予定されているわが国の高速道路ネットワークにおいては、短期的なプロジェクト採択基準である個々のプロジェクトの費用便益比に基づく整備プロセスは、社会的な純便益の観点から最適なプロセスであるとはいえず、整備プロセス全体を考慮したうえで、整備プロセスを決定する必要があるといえる。さらに、今後建設が計画・予定されている路線全てを建設することは、社会的な純便益の観点からも最適な選択ではなく、また、逆に、計測対象としているプロジェクトのなかには、費用便益比が1.0を上回るものもあり、全プロジェクトの実施凍結は、社会的に望ましいも

のであるとはいえない。

一方、償還期間については、図4に示すように、長期的にその最短化を目的とした長期採算性基準と短期採算性基準の間に大きな差はなく、ともに約23年とプロジェクト実施を凍結した場合と比較して、償還期間が3年短縮され、償還完了年次も約2ヶ月～半年早くなっている。さらに、費用便益比基準、総純便益基準でも約23年で償還が完了し、これらの基準の間に大きな差はみられない。したがって、費用便益比基準、総純便益基準、短期採算性基準、長期採算性基準によるネットワークの段階的整備プロセスを、総純便益および償還期間から評価した場合、償還期間では各プロセス間に大差はないが、



図2 総純便益基準による採択プロジェクト

表2 高速道路ネットワークの段階的整備プロセス探索結果

段階的プロセス決定基準	実施プロジェクト	供用延長 (うち2車線区間)	総純便益 (億円)	建設 終了年度	償還 完了年次	償還期間 (年)
短期的 最適化	費用便益比基準 25,8,14,31,13, 35,26,10,9,22, 21,18,41,7(実施順)	953.3 km ( 603.1 km)	81,794.02	2007年	2031.76	23.76
	短期採算性基準 25,14,8,31 (実施順)	244.4 km ( 68.0 km)	67,715.45	2002年	2026.69	23.69
長期的 最適化	総純便益基準 25,10,13,31,14, 35,41,8,22,26, 18,21,7,9(実施順)	953.3 km ( 603.1 km)	82,969.85	2007年	2031.81	23.81
	長期採算性基準 25,14 (実施順)	111.1 km ( 0.0 km)	57,418.32	2002年	2026.35	23.35
全プロジェクト 実施	費用便益比基準 全43プロジェクト	4,587.6 km ( 3,453.8 km)	30,925.38	2027年	2083.28	55.28
	短期採算性基準 全43プロジェクト	4,587.6 km ( 3,453.8 km)	29,282.59	2027年	2081.35	53.35
2000年で 凍結	—	0.00 km ( 0.00 km)	—	1999年	2026.87	26.87

総純便益では、費用便益比基準、総純便益基準が大きく上回っており、短期採算性基準、長期採算性基準によるプロセスは社会的にみて望ましいプロセスであるとはいえない。

また、全てのプロジェクトを実施する場合は、個々のプロジェクトの費用便益比に基づいて実施するプロジェクトを採択した場合、2083年に償還が完了し、償還期間は約55年となり、個々のプロジェクトの採算性に基づいて実施するプロジェクトを採択した場合、2081年に償還が完了し、償還期間は約53年となった。このように、総純便益基準、費用便益比基準、短期採算性基準ならびに長期採算性基準については、償還期間に大きな差は見られず、全てのプロジェクトの実施を凍結するよりも、いくつかのプロジェクトを実施した場合の方が、むしろ、借入金の償還期間は短縮されることが明らかとなった。さらに、全てのプロジェクトの実施は、採算性の観点からは、やはり、最も望ましくない選択であることが明らかとなった。

次に、国土の均衡ある発展という観点から形成されたネットワーク全体の評価を行う。評価指標としては、医療等の多様なサービスを受益できる可能性や地方部と都

市部の交流連携を深めるなどの多様な評価指標が考えられるが、本研究では、インターチェンジからの30分圏人口カバー率を用いることとした。各決定基準によって形成された高速道路ネットワークについて、2000年時点の人口を用いて計測した30分圏人口カバー率を比較すると、図5に示すように、全プロジェクトを実施した場合、カバー率は5.6%上昇し、新たに686万人が30分以内でインターチェンジに到達可能となる。一方、費用便益比基準ならびに総純便益基準では159万人(1.28%)、短期採算性基準、長期採算性基準では、それぞれ、わずか29万人(0.23%)、2万人(0.02%)が30分以内で到着可能となるだけである。

以上のように、探索した段階的整備プロセスは、評価基準によって、その優劣が大きく異なるものの、現時点でのプロジェクト実施凍結は、社会的な純便益、国土の均衡ある発展という観点からは、最も望ましくない選択であり、採算性の観点からも最適な選択であるとは言えない。また、全てのプロジェクトを実施した場合、社会的な総純便益は正となるものの、その値は費用便益比基準や採算性基準などと比較するとかなり小さくなる。

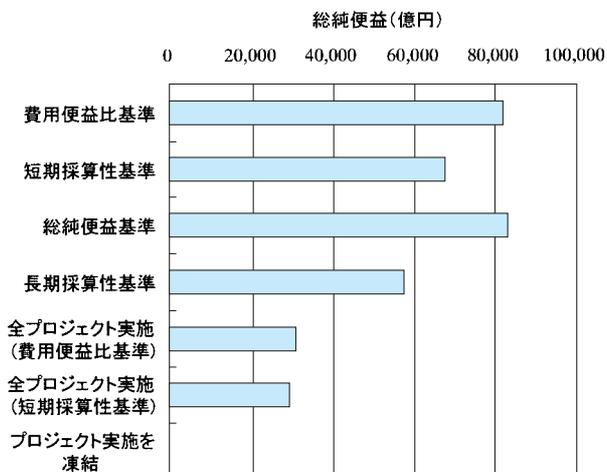


図3 総純便益 (TENPV) の比較

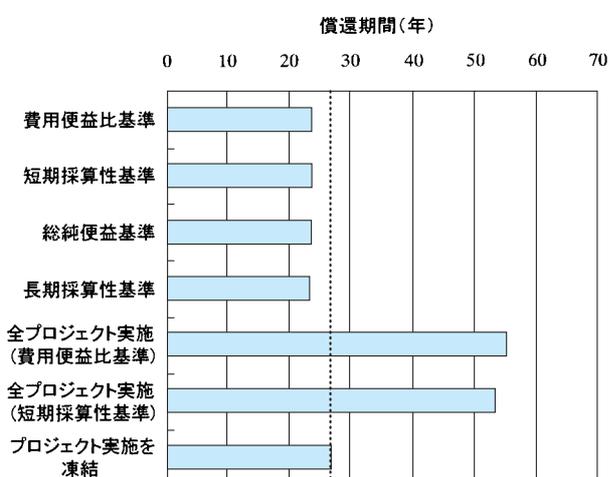


図4 償還期間の比較

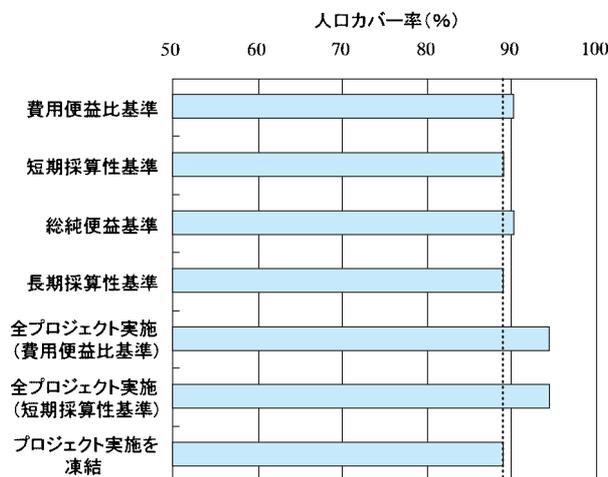


図5 30分圏人口カバー率の比較

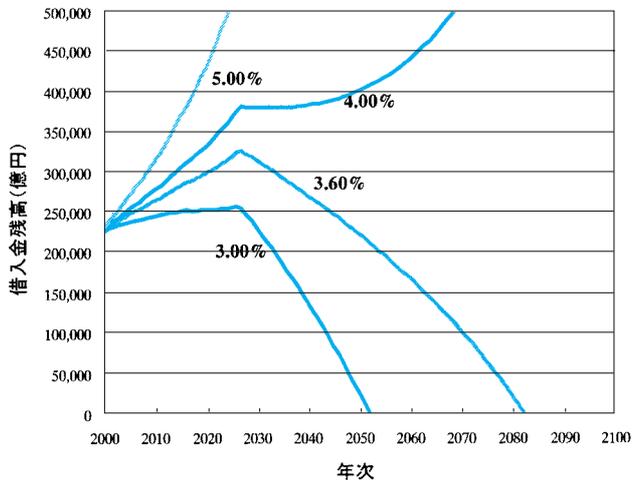


図 6 借入金利率の変化が償還期間に及ぼす影響  
- 全プロジェクト実施（費用便益比基準） -

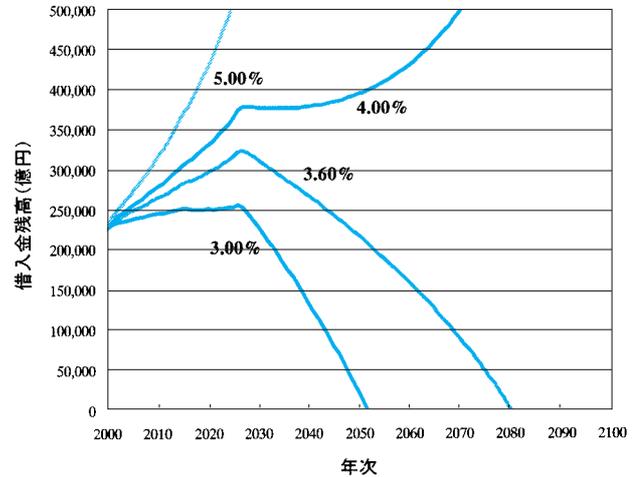


図 7 借入金利率の変化が償還期間に及ぼす影響  
- 全プロジェクト実施（短期採算性基準） -

### 6.3 借入金利率による感度分析

借入金の償還に際しては利率による影響が大きいと考えられるため、全プロジェクトを実施する場合について利率の変化が償還期間に及ぼす影響を分析した。その結果を図 6、7 に示す。図 6、7 に示すように借入金利率が 3.0% に低下した場合、費用便益比基準では 2053 年に、採算性基準では、2052 年に償還が完了し、償還期間も約 25 年と大幅に短縮される。しかしながら、借入金利率が 4.0% に上昇した場合、両基準とも、償還は不可能となる。このように、将来の動向が不確定である借入金利率によって、借入金の償還期間は大きく変動するため、常に最新の社会経済動向を反映させた計画の見直しが必要不可欠であるといえよう。

## 7 結論

本研究では、ネットワークの段階的整備プロセスを最適化するための方法論を提案するとともに、長期的に最適な段階的整備プロセスを探索するために、遺伝的アルゴリズムを応用した探索システムを構築した。そして、この方法論を全国高速道路ネットワークに応用し、7つの決定基準に従う段階的整備プロセスを探索した。さらに、得られた各プロセスを社会的な純便益、事業者の採算性、国土の均衡ある発展という3つの観点から評価し比較考察した。

その結果、従来のプロジェクト評価に用いられている各段階における最適プロジェクトをつみ重ねて、全体のネットワークを形成する整備プロセスは、プロセス全体の総純便益という観点からも最適な整備プロセスではなく、整備プロセス、すなわちプロジェクト実施順序の変更によって、総純便益を約 1,200 億円上昇させることが可能であることが明らかとなった。また、現時点での全プロ

ジェクトの実施凍結は、どの観点からみても最適な選択ではなく、費用便益や事業者の採算性の観点から採択するプロジェクトを峻別し実施することによって、純便益を増加させるのみならず、事業者の採算性をも改善し得ることを明らかにした。さらに、事業者の採算性の観点からプロジェクトを採択した場合、プロジェクトの社会的な費用便益からプロジェクトを採択した場合と比較すると、借入金償還期間については大きな差はみられないものの、社会的な総純便益は大きく低下することを明らかにした。一方で、今後建設が計画・予定されている全プロジェクトの実施は、国土の均衡ある発展という観点からは、30分圏人口カバー率を 5.6% 上昇させるものの、非常に巨額の投資資金を必要とし、採算性を大きく悪化させるため、費用便益比が低いあるいは、収益改善率が負となるプロジェクトについては、個々のプロジェクトを様々な視点から吟味したうえで、実施の是非を決定する必要があるといえる。また、借入金利率についての感度分析の結果、全プロジェクトを実施する場合、利率が 0.6% 低下すると償還期間が約 25 年短縮され、逆に 1.0% 上昇すると償還が不可能となる。このことから、常に最新の社会経済動向を反映させた高速道路網計画の見直しが必要不可欠であるといえよう。

最後に、現在、整備計画の是非や将来の採算性など今後の高速道路整備のあり方については、様々な議論があるが、それらの議論は、高速道路網の段階的整備プロセスを考慮した費用便益や採算性の計測結果によって裏付けられなければならない。言うまでもなく、本研究の結果は、3で述べた前提条件をもとに2で述べたプロセス決定基準に基づいて試算したものであり、前提条件が異なれば、結果は異なるものとなる点に留意する必要がある。また、本研究で用いたプロセス決定基準以外にも、例えば、償還期間 50 年以内という制約条件下で総純便益を

最大化するといった決定基準も現実的と思われるが、本研究で得られた計測結果は、今後のわが国の高速道路ネットワークのあり方を考察する上で貴重な情報であると考えられる。

謝辞：本研究の遂行においては、財団法人運輸政策研究機構から2年半にわたって研究助成を得た。また、運輸政策研究所の中村英夫所長から、研究を進めるにあたり貴重な示唆を頂いた。ここに、謝意を表する次第である。ただし、本稿に関する一切の責は筆者が負っている。

#### 参考文献

- 1)国土交通省[1998]；第5次全国総合開発計画21世紀の国土のグランドデザイン - 地域の自立の促進と美しい国土の創造 - 。
- 2)田村 亨,杉本博之,上前孝之[1994]；“遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用”，『土木学会論文集』,No.482/IV-22,pp.37-46.
- 3)田村 亨,杉本博之,長濱裕朗[1995]；“道路整備順位決定問題における遺伝的アルゴリズムの応用と課題”，『土木計画学研究・講演集』,Vol.17(1),pp.69-72.
- 4)Ryoji Matsunaka, Yoshitaka Aoyama and Dai Nakagawa [2001]；“An optimization of the construction/improvement process of the urban road network using a Genetic Algorithm”，*7th international conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*.
- 5)赤堀圭佑,青山吉彦,中川 大,松中亮治[2000]；“最適な交通ネットワーク形成プロセスに関する研究”，『土木計画学研究・講演集』,Vol.23(1),pp.499-502.
- 6)美濃雄介,青山吉彦,中川 大,松中亮治,赤堀圭佑[2001]；“都市内高速道路網における拡幅プロジェクト実施順序に関する研究”，『土木計画学研究・講演集』,Vol.24(1),pp.353-356.
- 7)例えば,上田孝行[1999]；“東海北陸自動車道の整備効果”，『地域学研究』,第29巻 第1号,pp.187-193.

- 8)森杉壽芳,大島伸弘[1985]；“幹線交通網形成の簡便な事後評価モデルの提案”，『土木計画学研究・講演集』,Vol.7,pp.125-132.
- 9)長澤光太郎,小川俊幸,由利昌平[1994]；“高速道路の整備効果 - 高速道路のない日本に関する仮想的検討 - ”，『高速道路と自動車』,第37巻第10号,pp.20-28.
- 10)山内弘隆,上田孝行,川合毅治[1999]；“一般均衡モデルによる高速道路の費用便益分析”，『高速道路と自動車』,第42巻 第5号,pp.22-30.
- 11)Tadashi ITOH, Yoshitaka AOYAMA, Dai NAKAGAWA, Ryoji MATSUNAKA [1999]；“An evaluation of Japan's financial systems for road construction - considering their contribution to economic growth”，*Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.3. No.4, pp.291-306.
- 12)加藤秀樹と構想日本[2001]；“道路公団解体プラン”，文藝春秋。
- 13)J. H. Holland[1975]；“Adaptation in Natural and Artificial Systems”，*Univ. of Michigan Press*.
- 14)D. E. Goldberg[1989]；“Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning”，*Addison-Wesley*.
- 15)三宮信夫,喜多 一,玉置 久,岩本貴司[1998]；“遺伝アルゴリズムと最適化”，朝倉書店。
- 16)坂和正敏,田中雅博[2000]；“遺伝的アルゴリズム”，朝倉書店。
- 17)北野宏明編[2000]；“遺伝的アルゴリズム4”，産業図書。
- 18)Yuval Davidor[1991]；“GENETIC ALGORITHMS AND ROBOTICS”，*World Scientific Publishing*.
- 19)M. Mitchell Waldrop[1992]；“COMPLEXITY : the emerging science at the edge of order and chaos”，*Simon & Schuster*.
- 20)電気学会GA組合せ最適化手法応用調査専門委員会編[1998]；“遺伝アルゴリズムとニューラルネット - スケジューリングと組合せ最適化 - ”，コロナ社。
- 21)全国高速道路建設協議会[2000]；“高速道路便覧”，2000年版。
- 22)日本道路公団[2000]；“日本道路公団(JH)年報”，平成12年版。
- 23)道路投資の評価に関する指針検討委員会編[1998]；“道路投資の評価に関する指針(案)”，財団法人日本総合研究所。
- 24)国立社会保障・人口問題研究所(編) [1997]；“都道府県別将来推計人口”，厚生統計協会。
- 25)緒方弘道,日本道路公団職員有志[2002]；“高速道路の建設続行は幻想だ”，『論座』,2002年3月号,pp.14-37。
- 26)宮川公男[2002]；“高速道路料金 償還主義をやめて値下げを”，『朝日新聞』2002年2月21日朝刊 私の視点。

(原稿受付 2002年3月8日)

---

## The Optimization Method of Stage-wised Construction Process of Large-scale Expressway Network and its Application

By Yoshitaka AOYAMA, Ryoji MATSUNAKA and Tomoya NOMURA

Expressway networks are generally constructed in stages over a long period of time. Thus it is not guaranteed that the stage-based network construction process, in which the prioritization is based only on a short-term evaluation of each project, is optimal.

In this study, we propose methodology for optimizing the stage-based construction process, and search for optimum construction processes for future Japanese expressway network. Moreover, we compare these optimum processes with the stage-based construction process, and consider the future course for Japanese expressway network construction.

---

**Key Words** ; **expressway network, stage-based construction process, costs and benefits, profitability, genetic algorithm**

---