

わが国における高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの事後評価*

Evaluation of state-wised construction processes of the expressway network in Japan*

松中亮治**, 柚木俊郎***, 青山吉隆****, 中川 大*****

by Ryoji MATSUNAKA**, Toshiro YUNOKI***, Yoshitaka AOYAMA**** and Dai NAKAGAWA*****

1. はじめに

1963年にわが国最初的高速道路として名神高速道路・栗東－尼崎間(71km)が開通して以来、わが国的高速道路は着実に段階的に整備され続け、そのネットワークは全国に拡大している。その結果、2000年4月現在では、約6,600kmの高速道路(厳密には、高速自動車国道(国土開発幹線自動車道)の供用延長。)が供用されるに至っており、今日のわが国の社会経済を支える重要な社会資本となっている。

上記のような背景のもと、高速道路ネットワーク整備が、わが国の社会経済に多大な影響を与えてきたことを鑑み、これまでも、その整備効果を定量的に把握するために事後評価を行った事例⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾はいくつかあるが、これらの研究では、プロジェクトの優先順位、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おらず、わが国的高速道路ネットワークの段階的整備プロセスが、社会経済的効率性の観点からみて最適なプロセスであったか否かについては明らかにされていない。高速道路整備のように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、ネットワークの段階的整備プロセスを考慮し、ネットワーク全体を長期的に評価する必要がある。先行研究においても、このような長期的視点から、都市内高速道路ネットワークの拡幅プロセス⁽⁶⁾⁽⁷⁾や、今後建設が予定されているわが国的高速道路ネットワークの整備プロセス⁽⁸⁾⁽⁹⁾などが分析されている。

本研究では、現在供用されているわが国的高速道路ネットワークを対象として、実際の段階的整備プロセスが、ネットワーク全体を長期的に評価した上で決定されるプロジェクトの長期動的優先順位に基づく最適な整備プロセスや、各プロジェクトの実施段階における個々のプロジェクトの評価結果に基づいて決定され

る動的優先順位に基づく整備プロセスと比較してどの程度効率的な整備プロセスであったかという視点から事後評価を行うことを目的とする。

2. 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の評価指標としては、費用便益分析による社会的な費用便益や財務分析による採算性が挙げられるが、プロジェクトの優先順位は用いる評価指標によって大きく異なる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。本研究では、利用者便益ならびに供給者便益といった社会経済的効率性の観点から高速道路ネットワークの形成が社会経済に及ぼしてきた効果を事後評価することを目的としているため、段階的整備プロセスの決定基準として、費用便益比を評価指標とする動的優先順位に基づいて整備プロセスを決定する費用便益比基準、ならびに、実施可能な全プロジェクト完了時の総純便益を評価指標とする長期動的優先順位に基づいて整備プロセスを決定する総純便益基準を用いることとした。

(1) 費用便益比基準

ネットワークの段階的整備プロセスのそれぞれの段階において、プロジェクト評価の際に用いられている費用便益比(B/C)が最も高いプロジェクトを採択する基準である。この基準では、費用便益比を用いて、プロジェクトの動的優先順位を決定し、その優先順位に基づいてプロジェクトを実施することになる。

ただし、費用便益比が1.0以上となることをプロジェクトの実施条件とし、費用便益比が1.0未満となるプロジェクトは実施せず、未実施の全てのプロジェクトの費用便益比が1.0未満となった段階で、ネットワークの整備を完了するものとする。なお、費用便益比(B/C)の計測には、次式を用いた。

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

ただし、

*Key words : 交通計画評価, 交通網計画, 道路計画

** 正会員 博(工) 岡山大学環境理工学部
(〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 TEL&FAX 086-251-8921)

*** 学生員 京都大学大学院工学研究科

**** フェロー 工博 京都大学大学院工学研究科

***** 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科

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
 d_k : プロジェクト k の工期
 r : 社会的割引率

$\kappa_{k(i)}$: プロジェクト $k(i)$ の建設開始年次
 (2000 年を0とする)
 $UB_{t,k(i)}$: プロジェクト $k(i)$ によって発生する t 年次の
 利用者便益
 $SB_{t,k(i)}$: プロジェクト $k(i)$ によって発生する t 年次の
 供給者便益
 $C_{t,k(i)}$: プロジェクト $k(i)$ によって発生する t 年次の
 建設費
 $\Delta RC_{t,k(i)}$: プロジェクト $k(i)$ 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
 $d_{k(i)}$: プロジェクト $k(i)$ の工期
 r : 社会的割引率

(2) 総純便益基準

総純便益基準は、長期的にネットワークの段階的整備プロセスを評価し、実施可能な全プロジェクト実施後の総純便益(Total Economic Net Present Value of Benefits minus Costs: TENPV)が最大となるようネットワークの段階的整備プロセスを決定する基準である。

この基準では、ネットワーク全体の評価指標として総純便益を用いてプロジェクトの長期動的優先順位を決定し、その優先順位に基づいてプロジェクトを実施することになる。

この基準によってネットワークの段階的整備プロセスを決定するためには、厳密には、全ての段階的整備プロセスのパターンについて評価する必要がある。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る。そこで、本研究では、この段階的整備プロセスを決定問題を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¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾を応用し、適応度として次式に示す総純便益を用いて、総純便益基準に従う段階的整備プロセスを探索した⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

なお、総純便益基準においても、費用便益比基準と同様に、費用便益比が 1.0 以上となることをプロジェクト実施条件とし、未実施の全プロジェクトの費用便益比が 1.0 未満となった段階で、ネットワークの整備を完了するものとする。

TENPV

$$= \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^{\kappa_{k(i)}}} \left(\sum_{t=0}^{d_{k(i)}+T-1} \frac{(UB_{t,k(i)} + SB_{t,k(i)}) - (C_{t,k(i)} + \Delta RC_{t,k(i)})}{(1+r)^t} \right) \quad (2)$$

ただし、

t : 年次(建設開始年次を0とする)
 $k(i)$: i 段階目に実施されるプロジェクト
 n : 実施プロジェクト総数

(3) 全プロジェクト実施

全プロジェクト実施は、ネットワークの段階的整備プロセスの各段階において、費用便益比が最も高いプロジェクトを採択し、未実施の全てのプロジェクトの費用便益比が 1.0 未満となっても、ネットワークの整備を完了せず、全てのプロジェクトを段階的に実施する基準である。

(1)、(2)で述べた費用便益比基準および総純便益基準では、プロジェクト実施条件を設けているため、実際の整備プロセスにおいては実施されている全てのプロジェクトが実施されるとは限らないため、上記の基準を用いてプロジェクトの実施条件を設定せず、全てのプロジェクトを実施する場合についても段階的整備プロセスを探索することとした。

3. 前提条件

本章では、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際の前提条件について、ネットワーク、ゾーン間一般化費用の計測、便益計測の順に述べる。

(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、後述するように、分析対象プロジェクトの便益を計測した。なお、計測の際のゾーン区分としては、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。

(a) 対象ネットワーク

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 県および近畿圏 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

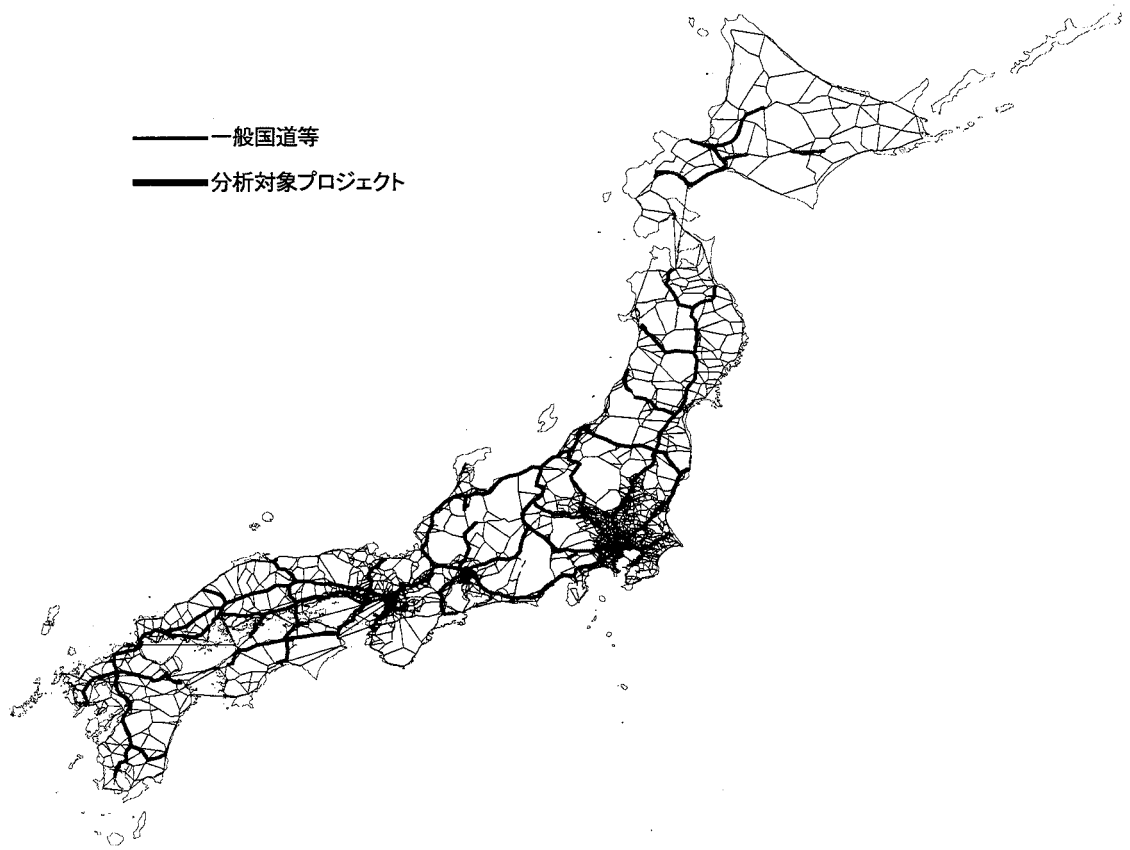


図1 構築した道路ネットワーク

路を網羅する既存道路ネットワークを構築した。構築した道路ネットワークを図1に示す。

構築したネットワークを構成する各リンクについて、リンク一般化費用の算定等に必要な道路条件(種別、級別、地形、沿道条件)、リンク長、指定最高速度、渋滞速度、可能交通容量、自由流限界交通量、平日24時間交通量(1985, 1990, 1994年)、建設費、通行料金等のデータを収録した。

(b) 分析対象プロジェクト

本研究では、2000年3月末現在供用されている高速自動車国道と本州四国連絡橋公団によって整備された一般国道自動車専用道路、計6,807kmを対象として、2で述べた3つのプロジェクト採択基準に従う段階的整備プロセスを探索した。その際、対象道路ネットワークを表1に示すように、61個のプロジェクトに集約した。ただし、ゾーン中心(都道府県庁)間の交通に影響を与えないと考えられるプロジェクトについては、分析対象から除外している。なお、分析対象とする高速道路以外の道路については、2000年4月現在のネットワークを用いた。

(2) ゾーン間一般化費用の計測

(a) OD交通量の推計

OD交通量の推計には、需要関数を用いることとし、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、道路交通センサス自動車起終点調査¹³⁾による、1985年、1990年、1994年のOD交通量、人口データ、ゾーン間一般化費用を用いて、次式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県内々および近畿圏2府4県内々のトリップを指す。推定結果は、表2に示すようにそれぞれ比較的良好な結果となった。

なお、ゾーン間一般化費用の計測に必要なリンク一般化費用については、道路交通センサス一般交通量調査¹³⁾による、1985年、1990年、1994年のリンク交通量を用いて、(c)で述べる方法で算出した。

$$D(GC_{i,j}) = \alpha \cdot POP_i^{\beta_1} \cdot POP_j^{\beta_2} \cdot GC_{i,j}^{\gamma} \cdot e^{2\delta_{i,j}} \quad (3)$$

ただし、

$GC_{i,j}$: 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)

表 1 分析対象プロジェクト一覧

番号	道路名	区間	供用距離 (km)	建設費 (億円)
1	東北自動車道	青森～滝沢	157.4	4,195.2
2	八戸自動車道	安代～八戸	68.0	1,910.7
3	東北自動車道	滝沢～北上金ヶ崎	64.6	1,301.8
4	秋田自動車道	秋田北～北上JCT	123.2	3,126.0
5	東北自動車道	北上金ヶ崎～村田	147.2	2,789.6
6	山形自動車道	酒田みなと～湯殿山, 月山～関沢, 笹谷～村田JCT	130.5	4,014.9
7	東北自動車道	村田～郡山	95.7	1,443.0
8	東北自動車道	郡山～手都宮	113.4	1,939.5
9	磐越自動車道	郡山JCT～いわきJCT	72.9	1,441.5
10	磐越自動車道	新潟中央JCT～郡山JCT	142.1	4,821.3
11	東北自動車道	宇都宮～川口JCT	105.0	2,955.5
12	常磐自動車道	水戸～三郷JCT	82.0	5,657.5
13	常磐自動車道	いわき四倉～水戸	105.9	3,829.6
14	東関東自動車道	潮来～市川JCT	113.3	7,375.3
15	関越自動車道	前橋～緑島	91.1	6,778.3
16	関越自動車道	長岡～前橋	154.4	7,594.0
17	上信越自動車道	更埴JCT～蕨岡JCT	119.0	6,709.9
18	中央自動車道	高井戸～甲府南	128.1	7,977.5
19	中央自動車道	甲府南～岡谷	80.4	2,432.0
20	上信越・長野道	岡谷～上越JCT	160.2	7,064.0
21	北陸自動車道	上越JCT～新潟空港	135.3	5,729.0
22	東名高速	東京～沼津	103.3	2,876.5
23	東名高速	沼津～浜松西	137.2	3,810.6
24	中央自動車道	岡谷JCT～小牧JCT	162.5	4,879.8
25	名神高速	小牧～米原JCT	56.7	1,227.3
26	東名阪・伊勢道	名古屋～伊勢	160.3	7,507.2
27	東海北陸自動車道	一宮JCT～飛騨清見, 五箇山～姫波小矢部JCT	144.6	6,765.5
28	北陸自動車道	金沢東～米原JCT	184.2	4,673.5
29	北陸自動車道	金沢東～上越JCT	171.2	7,033.7
30	名神高速	米原JCT～西宮	130.7	2,948.5
31	近畿・阪和・関空道	吹田JCT～海南, 泉佐野JCT～りんくうJCT	107.2	8,813.2
32	中国自動車道	吹田JCT～佐用	118.5	2,668.2
33	舞鶴自動車道	舞鶴東～吉川JCT	87.0	3,225.2
34	山陽自動車道	神戸JCT～山陽姫路西	62.7	2,616.7
35	山陽自動車道	山陽姫路西～倉敷	89.7	4,287.2
36	岡山自動車道	北原JCT～岡山JCT	43.8	1,070.8
37	山陽自動車道	倉敷～広島東	126.7	6,874.6
38	中国自動車道	佐用～北原	74.2	1,556.7
39	米子自動車道	落合JCT～米子	66.5	1,626.7
40	山陽自動車道	広島東～廿日市, 大竹～山口JCT	132.2	7,018.0
41	中国自動車道	北原～千代田JCT	137.3	2,542.2
42	中国自動車道	千代田JCT～山口JCT	144.3	4,838.9
43	中国自動車道	山口JCT～新門司	78.4	1,782.7
44	九州自動車道	新門司～唐櫃JCT	91.5	3,211.8
45	長崎自動車道	唐櫃JCT～長崎多良見	107.8	3,735.8
46	九州自動車道	唐櫃JCT～えびの	178.4	6,084.5
47	九州自動車道	えびの～鹿児島	71.8	1,742.0
48	宮崎自動車道	えびのJCT～宮崎	80.5	1,579.1
49	大分自動車道	大分宮河内～唐櫃JCT	145.1	5,679.7
50	高松・松山道	高松西～大洲	183.6	8,682.4
51	高知・徳島道	伊野～川之江JCT, 川之江東JCT～徳島JCT	164.0	8,130.1
52	浜田・広島道	浜田～千代田JCT, 広島北JCT～広島JCT	73.9	1,972.3
53	瀬戸自動車道	倉敷JCT～坂出JCT	44.3	7,602.6
54	神戸淡路鳴門自動車道	三木JCT～鳴門	98.6	14,978.5
55	東名高速	浜松西～小牧	105.4	2,961.0
56	西瀬戸自動車道	西瀬戸尾道～今治南	46.6	7,500.0
57	西名阪自動車道	松原JCT～天理	27.2	1,756.5
58	東京外環道	大泉JCT～三郷JCT	29.3	7,538.5
59	道央・札幌道	旭川釧路～札幌, 札幌～小樽	163.6	6,094.4
60	道央自動車道	札幌～長万部	193.8	5,333.0
61	道東自動車道	千歳東JCT～夕張, 十勝清水～池田	92.4	1,910.2
計			6806.7	278,222.1

上式を用いて各年の OD 交通量を推計する際に用いる人口データに関しては、1960 年から 2000 年までの各年次については、国勢調査による 5 年ごとの都道府県人口¹⁴⁾を線形補完した値を用いた。また、2001 年以降に発生する便益の計測に必要な将来の人口データに関しては、2001 年から 2025 年までについては、国立社会保障・人口問題研究所による 5 年おきの都道府県別将来推計人口¹⁵⁾を用い、データがない年次については線形補完し、2025

表 2(1) 需要関数推定結果(都市圏内々除く)

パラメータ	推定値	t 値
$\ln \alpha$ 定数項	11.67	27.02
β_1 出発地人口(人)	0.83	44.88
β_2 目的地人口(人)	0.97	56.81
γ 一般化費用(円)	-3.07	-147.00
λ 青函ダミー	1.61	37.48
補正決定係数		0.83
サンプル数		6,191

表 2(2) 需要関数推定結果(都市圏内々)

パラメータ	推定値	t 値
$\ln \alpha$ 定数項	1.1	0.37
β_1 出発地人口(人)	0.92	10.78
β_2 目的地人口(人)	0.91	10.69
γ 一般化費用(円)	-2.08	-13.50
λ 青函ダミー	—	—
補正決定係数		0.73
サンプル数		258

年以降については、都道府県別の推計値がないため、全国人口の中間推計値と、2025 年の各都道府県の人口シェアから算出した値を用いた。

(b) OD 交通量の配分

推定した OD 交通量を各リンクに配分する際には、比較的计算が簡便な分割配分法(Incremental Assignment Method:以下 IA 法と略す)を用いることとした。分割数は 5、配分比率は均等とした。ただし、後述するように、分割配分の対象は高速道路のみとし、一般道路については、リンク交通量として、道路交通センサス一般交通量調査¹³⁾(1994 年)の 24 時間交通量を用いることとした。

(c) リンク一般化費用

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。

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

ただし、

$LinkGC_l$: リンク l の一般化費用

ω : 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、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)¹⁶⁾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・台と設定した。

・通行料金

通行料金は、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設定した。

・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¹⁶⁾、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。

(d) 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、高速道路については、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、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式(3)に示した需要関数を用いて 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。

(3) 便益および費用の計測

本研究では、社会経済的効率性の観点から段階的整備プロセスを評価するため、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。

(a) 工期の設定

便益計測を行うためには、まず、各プロジェクトの実施に要する工期を設定する必要がある。なぜならば、プロジェクトの工期によって、各プロジェクトの実施時期、すなわち供用開始年次が決定するが、供用開始年次は社会的割引率を用いて割引く必要があるプロジェクトの便益や費用の現在価値に影響を及ぼすためである。本研究では、プロジェクトの工期は、プロジェクトの実施に要する建設費によって決定するとし、各年次において使用できる建設費予算に制約を設け、各プロジェクトの工期を算出することとした。

各プロジェクトの工期を算出する際には、複数のプロジェクトが同時に並行して実施されることはなく、一つのプロジェクトが完了した後、次のプロジェクトが実施されるとの仮定を置いた。そのうえで、各年次の予算制約のなかで、

プロジェクトを実施し、余剰金があれば、それを次のプロジェクトの実施費用に充当できるとし、予算が不足する場合には、翌年も引き続き当該プロジェクトが実施されるものとした。なお、各年次に使用できる予算の上限値には、各年次の建設費予算額¹⁷⁾を 2000 年の価格にデフレートした値を用いている。

(b) 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、次式に示すように、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。

$$UB_t = \sum_i \sum_j \int_{GC_{i,j}^w}^{GC_{i,j}^*} D(x) dx \quad (5)$$

ただし、

UB_t : 年次 t の利用者便益

$GC_{i,j}^w$: 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

$GC_{i,j}^*$: 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

(c) 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、人口変化に起因するゾーン間一般化費用ならびに交通量の変化を逐次算出するのではなく、供用開始年次と計測年次の総人口の比率により簡便に算出した。

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。

(d) 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した。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、(6)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。(6)式の補正済決定係数は、0.98と高い値であった。

$$RC_t = 0.1849 \times L_t + 0.1257 \times Rv_t + 3.295 \quad (6)$$

ただし、

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)

4. 段階的整備プロセス探索結果

(1) 探索結果の概要

2で述べた費用便益比基準および総純便益基準を用いて探索した段階的整備プロセス、整備プロセスの各段階で費用便益比が最も高いプロジェクトから順に全プロジェクトを実施した整備プロセス、ならびに、実際の整備プロセスについて、実施プロジェクト数、供用延長、総純便益の計測結果を表3、図2に示すとともに、費用便益比基準ならびに総純便益基準で採択されたプロジェクトを図3に示す。また、各プロセスによって実施されたプロジェクトの費用便益比を図4に示すとともに、各プロセスにおけるプロジェクト実施年次を表4に示す。なお、ここで示している実際のプロセスの計測結果は、3で述べた建設費予算制約のもとで、表1に示した61個のプロジェクトについて、プロジェクトを構成する各リンクの供用開始年次を供用延長で加重平均することによって求めた各プロジェクトの供用開始年次に基づいて、順にプロジェクトを実施していく

表3 段階的プロセス探索結果

段階的プロセス 決定基準	実施 プロジェクト数	供用延長 (km)	総純便益 (兆円)	比率
費用便益比基準	42	4,451.2 km	89.56	1.221
総純便益基準	45	4,798.5 km	111.57	1.521
全プロジェクト実施	61	6,806.7 km	88.21	1.202
実際のプロセス	61	6,806.7 km	73.37	1.000

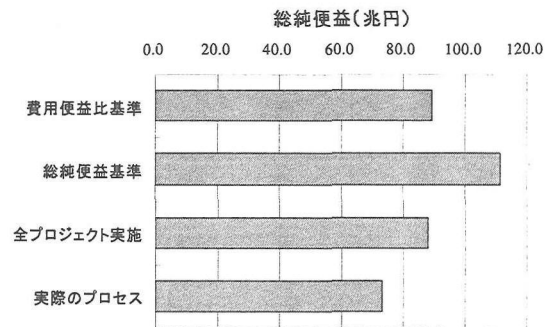


図2 総純便益(TENPV)の比較

段階的整備プロセスをシミュレートした結果であり、わが国の高速道路ネットワークの整備プロセスを厳密に再現したものではないが、比較対象とする費用便益比基準および総純便益基準と同じ条件でシミュレートしたものであり、実際の整備プロセスの概要を把握するには十分であると考え、以下の分析に用いることとした。

実際の整備プロセスでは、表3に示すように、61プロジェクトが実施され、約6,807kmの高速道路が供用されるが、費用便益比基準ならびに総純便益基準では、各プロジェクトの費用便益比が1.0以上となることをプロジェクトの実施条件としているため、それぞれ、42プロジェクト、約

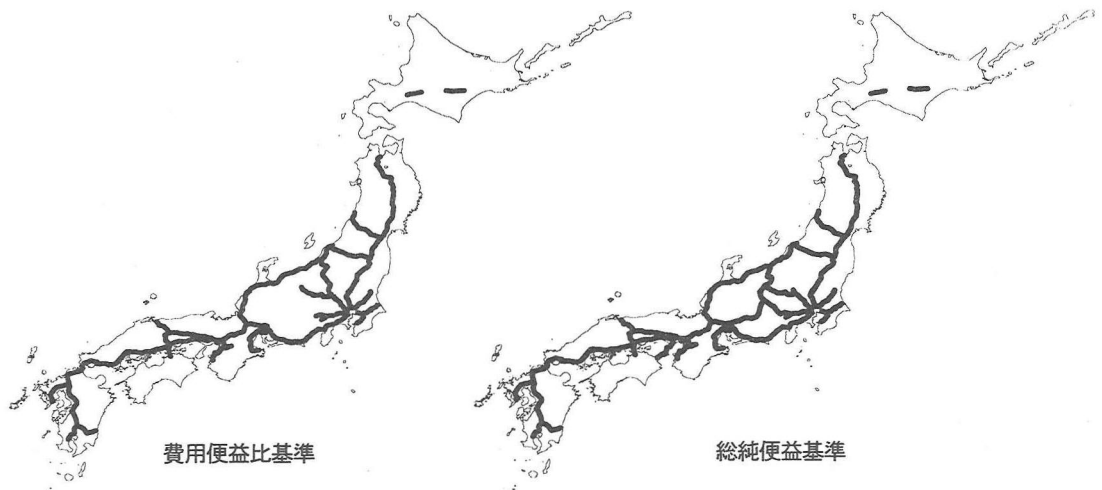


図3 形成されたネットワーク

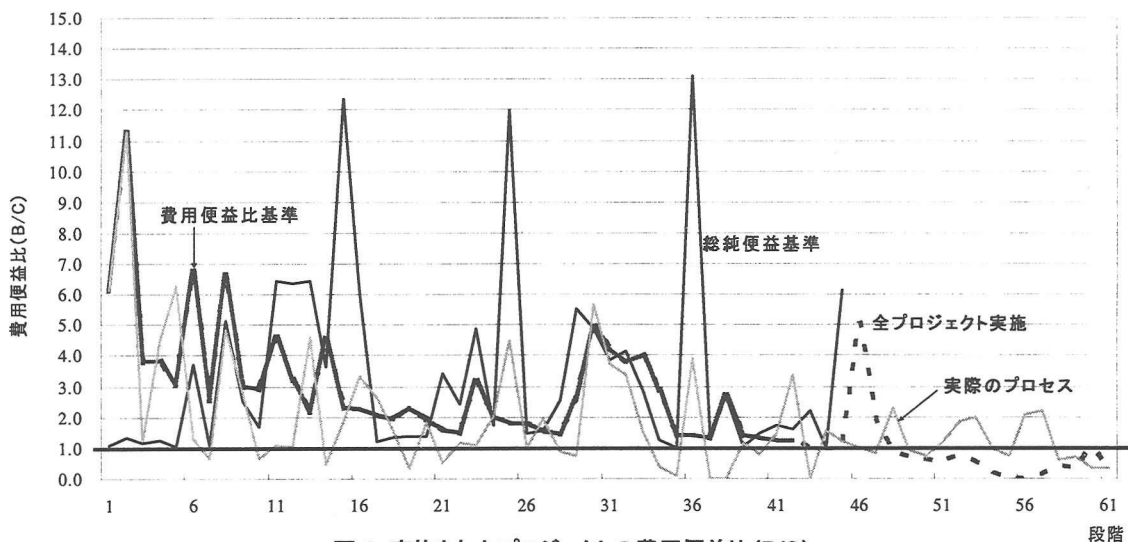


図4 実施されたプロジェクトの費用便益比(B/C)

表4 段階的整備プロセスの探索結果一覧

段階	費用便益比基準 プロジェクト 番号	費用便益比基準 供用開始 年次	総純便益基準 プロジェクト 番号	総純便益基準 供用開始 年次	全プロジェクト実施 プロジェクト 番号	全プロジェクト実施 供用開始 年次	実際のプロセス プロジェクト 番号	実際のプロセス 供用開始 年次
1	30	1964	35	1964	30	1964	30	1964
2	25	1964	15	1967	25	1964	25	1964
3	22	1965	37	1969	22	1965	55	1965
4	12	1967	43	1969	12	1967	22	1967
5	23	1968	17	1972	23	1968	23	1968
6	55	1969	57	1972	55	1969	57	1968
7	26	1972	23	1973	26	1972	18	1971
8	57	1972	12	1974	57	1972	11	1972
9	11	1973	11	1974	11	1973	8	1972
10	8	1973	7	1974	8	1973	32	1973
11	7	1973	26	1976	7	1973	43	1973
12	5	1974	55	1976	5	1974	38	1973
13	15	1975	8	1976	15	1975	7	1973
14	14	1976	5	1977	14	1976	24	1974
15	35	1977	22	1977	35	1977	28	1975
16	28	1977	14	1978	28	1977	5	1975
17	37	1978	45	1979	37	1978	15	1976
18	43	1979	6	1979	43	1979	3	1976
19	58	1980	46	1980	58	1980	47	1977
20	3	1980	28	1981	3	1980	41	1977
21	17	1981	58	1982	17	1981	48	1977
22	44	1981	47	1982	44	1981	44	1978
23	45	1982	44	1982	45	1982	19	1978
24	46	1982	40	1983	46	1982	46	1979
25	47	1982	30	1983	47	1982	26	1980
26	40	1983	18	1984	40	1983	29	1981
27	53	1984	53	1985	53	1984	42	1982
28	18	1985	32	1986	18	1985	1	1982
29	6	1986	3	1986	6	1986	21	1983
30	36	1986	36	1986	36	1986	12	1984
31	48	1986	38	1986	48	1986	14	1984
32	39	1986	39	1986	39	1986	31	1985
33	38	1986	61	1986	38	1986	16	1986
34	61	1986	48	1987	61	1986	59	1987
35	10	1987	20	1987	10	1987	60	1988
36	29	1988	25	1988	29	1988	45	1988
37	32	1988	29	1988	32	1988	2	1988
38	34	1988	34	1988	34	1988	13	1988
39	31	1989	1	1989	31	1989	53	1989
40	21	1990	31	1990	21	1990	40	1990
41	16	1990	24	1990	16	1990	52	1990
42	1	1991	21	1991	1	1991	35	1990
43			10	1991	54	1992	33	1991
44			54	1992	56	1993	37	1991
45			19	1993	24	1993	39	1991
46					19	1993	54	1993
47					20	1994	49	1993
48					49	1994	58	1994
49					4	1994	50	1994
50					27	1995	4	1995
51					51	1996	10	1995
52					50	1997	17	1996
53					59	1997	20	1996
54					39	1998	51	1997
55					60	1998	6	1997
56					42	1998	9	1998
57					41	1998	34	1998
58					52	1999	27	1998
59					9	1999	36	1998
60					13	1999	61	1999
61					2	1999	56	1999

4,451km(全プロジェクトの 65.4%), 45 プロジェクト, 約 4,799km(全プロジェクトの 70.5%)が, 実施された段階で, 残り全てのプロジェクトの費用便益比が 1.0 未満となり, ネットワーク整備が完了する. その結果, 表 1 に示すように, 総純便益は, 実際のプロセスでは, 約 73.4 兆円となるのに対して, 費用便益比基準で約 89.6 兆円, 総純便益基準で約 111.6 兆円となり, 実際のプロセスと比較して, 約 22.1%~52.1%大きな値となる.

実際のプロセスでは, 図 4 に示すように, 23 個のプロジェクトが費用便益比が 1.0 を下回る段階で実施されており, このことが, 実際のプロセスの総純便益が, 費用便益比基準ならびに総純便益基準による整備プロセスの総純便益の値を大きく下回る要因の一つであると考えられる. しかし, 全プロジェクト実施の場合, すなわち, 実際のプロセスに対して実施するプロジェクトは変更せずその整備プロセスのみを変更した場合, 費用便益比が 1.0 を下回る段階で実施されるプロジェクトは 16 個に減少し, 総純便益も約 88.2 兆円となり, 実際のプロセスの値を大きく上回る結果となった.

このことから, わが国の高速道路ネットワーク整備において, 実際のプロセスにおける総純便益が他のプロセスと比較して大きく下回った要因は, 費用便益の観点から妥当性を主張することができないプロジェクト, すなわち費用便益比基準と総純便益基準において採択されないようなプロジェクトが実施されてきたことよりも, 適切な段階で適切なプロジェクトを実施しておらず, プロジェクトの実施順序そのものが不適切であったことにあるといえる.

表 3 に示すように, 総純便益基準による整備プロセスの総純便益が, 費用便益比基準と比較して, 約 24.6%も大きな値となっていることから, プロジェクトの実施順序がネットワーク全体の総純便益に与える影響は非常に大きなもの

のであり、交通ネットワークの段階的整備においては、どのプロジェクトを実施するかどうかだけでなく、いつプロジェクトを実施するのも含めた整備プロセスの決定が非常に重要であるといえる。

(2) わが国の高速道路ネットワーク整備プロセスの検証

ここでは、実際の整備プロセスと、費用便益比基準および総純便益基準を用いて探索した整備プロセスとを比較・考察し、わが国の高速道路ネットワークの整備プロセスを検証する。

(a) 実際のプロセスと費用便益比基準によるプロセスの比較

実際の整備プロセスと費用便益比基準による整備プロセスでは、共に 1973 年頃までに、東名・名神高速道路が全通し、東北自動車道が村田 IC まで整備されており、初期段階において両プロセスの間に大きな差はみられない。両プロセスの間に大きな差が現れるのは 1973 年以降である。実際のプロセスでは 1973 年に中国自動車道の吹田―北房間、山口 JCT―下関間が整備されるのに対して、費用便益比基準では、東名阪・伊勢道、西名阪自動車道が整備されている。

その後、実際のプロセスでは、費用便益比基準では採択されない中央自動車道 岡谷 JCT―小牧 JCT 間や中国自動車道 北房―千代田 JCT 間などが比較的早期に整備されている。一方、費用便益比基準では、実際のプロセスでは 1990 年頃に整備される山陽自動車道が 1977 年頃から整備されている。

そして、両プロセスとも、路線は異なるものの、1983 年までに東北から九州南部までが高速道路で結ばれ、国土を縦貫する軸が形成されている。その後、実際のプロセスでは 1989 年に整備される瀬戸自動車道が、費用便益比基準では 1984 年に整備され、1987 年頃には、山形自動車道整備、岡山自動車道、米子自動車道、宮崎自動車道といった肋骨線が整備されている。これに対して、実際のプロセスでは、1989 年頃に、瀬戸自動車道が整備されるとともに、道央自動車道、長崎自動車道、常磐自動車道、いわき四倉―水戸間など地方部の路線が整備されている。

さらに、費用便益比基準では、1991 年に東北自動車道が青森まで延伸され、ネットワーク整備を完了しており、実際のプロセスにおいて実施される 19 プロジェクト、約 2,350km が実施されないという結果となった。一方、実際のプロセスでは本四架橋(神戸淡路鳴門自動車道、西瀬戸自動車道)、浜田・広島道、舞鶴自動車道、米子自動車道、秋田自動車道などの肋骨線、東京外環道、上信越自動車道などが整備されている。

以上、実際の整備プロセスと費用便益比基準によるプロセスの比較結果を整理すると、

- ・ 両プロセスとも 1980 年代前半に東北地方から九州南部までの国土縦貫ネットワークが完成しており、プロ

セスの初期段階においては、両プロセスの間に大きな差はみられない。

- ・ 東名・名神高速道路と中央自動車道あるいは中国自動車道と山陽自動車道といった並行路線について、実際のプロセスでは早い段階に整備された中国自動車道、中央自動車道の一部が費用便益比基準では不採択となっている。
- ・ 費用便益比基準では、東名阪・西名阪自動車道、東京外環道など大都市圏周辺のプロジェクトが比較的早期に実施されている。

といった特徴がみられる。

(b) 総純便益基準によるプロセスの検証

総純便益基準による整備プロセスは、実際の整備プロセスおよび費用便益比基準によるプロセスと比較して、初期段階から大きく異なるものとなっている。実際のプロセスや費用便益比基準によるプロセスでは 1971 年頃までに東名・名神高速道路が全通しているのに対して、総純便益基準によるプロセスでは、1973 年頃までに山陽自動車道 山陽姫路西―広島東間、関越自動車道 前橋―練馬間、西名阪自動車道、東名高速道路 沼津―浜松西間など、大都市圏周辺の路線が整備されている。特に首都圏においては、東京中心に放射状にネットワークが形成されている。

その後、総純便益基準では東北自動車道が北上金ヶ崎まで延伸され、東名高速道路が全通し、東関東自動車道、東京外環道の整備などが行われる一方、長崎自動車道、九州自動車道、北陸自動車道など地方部の路線も整備され、1983 年に山陽自動車道 広島東―山口 JCT 間、名神高速道路 米原 JCT―西宮間が整備され、実際のプロセスと同時期に、東北から九州南部までを結ぶ高速道路がほぼ完成することになる。この時点のネットワークは、費用便益比基準によるプロセスの同時点のネットワークと概ね同じものとなっている。

その後、総純便益基準によるプロセスでは、1985 年に瀬戸自動車道が整備され、1986 年に東北自動車道が滝沢まで延伸され、中国自動車道 吹田―北房間、岡山自動車道、道東自動車道など地方部の路線が整備されている。そして、1987 年に上信越・長野道 岡谷―上越 JCT 間、1988 年に北陸自動車道 金沢―上越 JCT 間が、1992 年に本州と四国を結ぶ 2 番目のルートとして神戸淡路鳴門自動車道 三木 JCT―鳴門間が、1993 年に中央自動車道 甲府南―岡谷間がそれぞれ整備され、これにより、中央自動車道が全通し、ネットワーク整備が完了する。その結果、実際のプロセスにおいて実施される 16 プロジェクト、約 2,008km が実施されないものの、費用便益比基準によるプロセスと比較した場合、費用便益比基準では整備される関越自動車道 長岡―前橋間を整備せずに、上信越・長野自動車道 岡谷―上越 JCT 間を整備することによ

り、神戸淡路鳴門自動車道、中央自動車道 甲府南一小牧 JCT 間の整備が可能となり、結果として、整備プロセスの変更により、実施されるプロジェクト数が3つ多い45プロジェクトとなっている。

以上、総純便益基準によるプロセスの検証結果を整理すると、

- ・ 総純便益基準によるプロセスでは、大都市圏周辺のプロジェクトを早期に実施し、総純便益額を最大化している。
- ・ 東名・名神高速道路と中央自動車道あるいは中国自動車道と山陽自動車道といった並行路線について、実際のプロセスでは早い段階に整備された中国自動車道の一部は総純便益基準においても不採択となっている。
- ・ 費用便益比基準で不採択となった中央自動車道については、関越自動車道 長岡一前橋間を整備せずに、上信越・長野自動車道 岡谷ー上越 JCT 間を整備することにより整備を可能としており、整備プロセスの変更によって、費用便益比基準と比較して、多くのプロジェクトを実施するとともに、総純便益を増加させている。

といった特徴がみられる。

(c) 実際の整備プロセスの検証

以上の考察を踏まえ、1963年の名神高速道路に始まったわが国の高速道路ネットワークの整備プロセスの検証結果を総括する。

実際の整備プロセスにおいては、23プロジェクトが、費用便益比が1.0を下回る段階で実施されているが、全プロジェクト実施の場合、費用便益比が1.0を下回る段階で実施されるプロジェクトは16個に留まることから、整備プロセス自体の改善の余地は大きかったといえる。特に、国土を縦貫するネットワークが完成していない整備プロセスの初期段階において、東名・名神高速道路と並行する中央自動車道が整備されるなど、必ずしもネットワーク全体の効率的な整備を目指したプロセスであったとはいえない。

しかし、実際の整備プロセスにおいてみられる国土縦貫道を整備し、その後、肋骨線や地方部の路線を整備していくというプロセスは費用便益比基準および総純便益基準によるプロセスにおいても共通してみられる傾向であり、この点では、実際のプロセスはある程度効率的であったといえる。ただし、縦貫軸を形成するプロジェクトには違いがみられ、このことが、総純便益額が小さくなった要因の一つと考えられる。

さらに、総純便益の最大化を目的とした総純便益基準では、プロセスの初期段階において都市部のプロジェクトが多く実施されており、また、費用便益比基準においても、都市部のプロジェクトのいくつかが比較的早い段階で実施されていることから、実際のプロセスにおいて、都市部

のプロジェクトと国土縦貫ネットワークの整備をバランスよく実施しなかったことも、総純便益額が小さくなった一つの要因である考えられる。

しかし、ランダムな順序で全61プロジェクトを実施した場合、総純便益の平均値は約65兆円であり、実際の整備プロセスによる総純便益はその1.12倍となっており、実際のプロセスは、費用便益比基準や総純便益基準によるプロセスと比較すると劣るものの、ある程度効率的なプロセスであったといえる。

5. さいごに

本研究では、費用便益比を評価指標とする動的優先順位に基づいてプロジェクトを採択する費用便益比基準、ならびに、実施可能な全プロジェクト完了時の総純便益を評価指標とする長期動的優先順位に基づいてプロジェクトを採択する総純便益基準に基づく整備プロセスを探索し、実際の整備プロセスと比較・考察することにより、社会経済的な効率性の観点から、わが国の高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの事後評価を行った。

その結果、費用便益比基準および総純便益基準に従う整備プロセスによる総純便益は、実際の整備プロセスと比較して、約22%~52%大きくなることを明らかにし、段階的整備プロセス、すなわち、プロジェクトの実施順序がネットワーク全体の総純便益に与える影響は非常に大きく、交通ネットワークの段階的整備においては、その整備プロセスが非常に重要であることを示した。そして、実際のプロセスにおいて、国土縦貫ネットワーク完成以前の初期段階において並行路線が整備されていることや、都市部のプロジェクトと国土縦貫ネットワークの整備をバランスよく実施しなかったことなどが、費用便益比基準ならびに総純便益基準と比較して、実際のプロセスにおける総純便益額が小さくなった要因と考えられることを指摘した。さらに、実際の整備プロセスによる総純便益額は、ランダムな順序で全てのプロジェクトを実施した場合と比較して1.12倍となっており、実際の整備プロセスは、ある程度効率的なものであったことを明らかにした。

最後に、本研究の結果として得られた段階的整備プロセスは、3で述べた前提条件のもとで、社会経済的効率性の観点から2で示した段階的整備プロセス決定基準に基づいて探索したものであり、評価基準や前提条件、本研究で仮定に大きく依存している点に留意する必要がある。

今後は、さらなる前提条件の精緻化や、社会経済的効率性の観点からのみの評価ではなく、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¹⁸⁾」に資するという観点からの評価など、より総合的な評価に取り組む必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 森杉壽芳, 大島伸弘: 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 No.7, pp.125-132, 1985.1.
- 2) 長澤光太郎, 小川俊幸, 由利昌平: 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, 1994.10
- 3) 山内弘隆, 上田孝行, 川合毅治: 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, 1999.5.
- 4) Tadashi ITOH, Yoshitaka AOYAMA, Dai NAKAGAWA, Ryoji MATSUNAKA: 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, 1999.9.
- 5) Tadashi ITOH, Dai NAKAGAWA and Ryoji MATSUNAKA: A study on the relationship between accessibility to expressway and socio-economic attributes of all municipalities in Japan, Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, CD-ROM, 2001.7.
- 6) Ryoji Matsunaka, Yoshitaka Aoyama and Dai Nakagawa: 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, CD-ROM, 2001.7.
- 7) 美濃雄介, 青山吉隆, 中川 大, 松中亮治, 赤堀圭佑: 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・論文集, Vol.19 No.4, pp.619-626, 2002.10.
- 8) 青山吉隆, 松中亮治, 野村友哉: 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, 運輸政策研究, Vol.5 No.2, pp.2-13, 2002.7.
- 9) 青山吉隆, 松中亮治: 全国高速道路網の整備順序と最適ネットワーク — ネットワーク・シミュレーションによる評価 —, ITPS Report 20021, 運輸政策研究機構, 2002.5.
- 10) J. H. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems, Univ. of Michigan Press, 1975.
- 11) D. E. Goldberg: Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- 12) Y. Davidor: GENETIC ALGORITHMS AND ROBOTICS, World Scientific Publishing, 1991.
- 13) 建設省道路局(編): 道路交通センサス, 1985, 1990, 1994.
- 14) 総務省統計局統計センター: 2000 年国勢調査, 2001.
- 15) 国立社会保障・人口問題研究所(編): 都道府県別将来推計人口, 厚生統計協会, 1997.
- 16) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編, 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, 1998.
- 17) 国土交通省道路局(監修): 高速道路便覧 2001 年版, 全国高速道路建設協議会, 2001.
- 18) 国土交通省: 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 —, 1998.

高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの事後評価*

松中亮治**, 柚木俊郎***, 青山吉隆****, 中川 大*****

従来から、高速道路ネットワークの整備効果を定量的に把握するための事後評価が行われてきたが、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おらず、わが国の高速道路ネットワークの段階的整備プロセスが、社会経済的効率性の観点から最適なプロセスであったか否かについては明らかにされていない。

そこで、本研究では、実際のわが国の高速道路ネットワークの段階的整備プロセスが、ネットワーク全体の長期的評価に基づく最適な整備プロセスや、各プロジェクトの実施段階における個々のプロジェクトの評価結果に基づく整備プロセスと比較してどの程度効率的な整備プロセスであったかという視点から事後評価を行った。

Evaluation of state-wised construction processes of the expressway network in Japan*

by Ryoji MATSUNAKA**, Toshiro YUNOKI***, Yoshitaka AOYAMA**** and Dai NAKAGAWA*****

Also in the conventional studies, the quantitative evaluations of expressway network have been implemented. However, in these studies, it is not considered that the evaluation results depend on the construction process. Thus, it is not made clear whether or not the state-wised construction process of the expressway network in Japan was the optimum.

Therefore, in this study, we evaluated the actual construction process of the expressway network in Japan, by comparing the actual process with the optimum process based on the long-range evaluation of the network and the process based on the evaluation of each project at each implementation step.