

修正費用便益分析による地方部高規格幹線道路の整備順位決定*

*Determining Priority of the Expressway Improvement in Rural Area
using the CBA with Regional Weighting**

田邊 慎太郎** 井田 直人*** 佐々木 恵一**** 田村 亨*****

By Shintaro TANABE** Naoto IDA*** Kei-ichi SASAKI**** Tohru TAMURA*****

1. はじめに

近年、わが国では、財政逼迫下の事業効率性・優先順位に関するアカウンタビリティを果たすために、費用便益分析を中心とした事業評価が行われている^{1,2)}。これまで、北海道のような広域分散型の地方部では、均衡ある発展を目指した社会資本整備が進められてきた。ここでの広域分散型とは、拠点都市間の時間距離が大きな地域のことである。これらの地域の事業評価においては、地域や都市の活性化支援や社会福祉・医療においても道路整備の必要性が高いといわれる。その一方で、当該地域では交通需要が分散しその発現する便益が小さいため、都市部と比較したときの整備順位が低くなる。

本研究の目的は、地域間公正を考慮した費用便益分析を用いて、地方部の道路整備区間の効率的な整備順位を求めることである。前者については既に、道路投資の評価に関する指針検討委員会(2000)³⁾が、修正費用便益分析を提案している。本研究では、この修正費用便益分析の値を、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms, 以下GAと呼ぶ)の目的関数とし高規格幹線道路整備の整備順位を求める⁴⁾。手法上の工夫点は、GAの目的関数に便益の累積を取り込んだことである。

2. 修正費用便益分析⁵⁾

(1) 概説

修正費用便益分析は、地域格差の是正という政策的観点に基づき社会資本整備が行われた場合に、厚生水準の

低い(例えば、所得水準の低い)地域で発現する社会的便益は、厚生水準の高い(例えば、所得水準の高い)地域で発現する社会的便益よりも社会的厚生水準に大きく寄与するという考え方を基本とする。その上で、この地域間の社会的厚生水準の比を地域修正係数として定義し、道路整備によって発現する便益にそれを乗じ費用便益分析を行うものである。

(2) 地域修正係数の定義⁶⁾

地域修正係数はある地域*i*とある地域*j*があり、両地域住民の限界効用の増加によって増加する社会的厚生の程度を比として表し、便益の係数としたものである。本研究で用いる地域修正係数は、道路投資の評価に関する研究会(2000)⁴⁾、長谷川(2000)⁵⁾、上田(1998)⁶⁾で示されている地域修正係数 ϕ_i の導出方法により、単位所得が増加したことによる効用及び社会的厚生の変化分の比として表した。ここで、社会的厚生関数にCES(Constant Elasticity of Substitution)型社会的厚生関数やAtkinson型社会的厚生関数を仮定すれば、式(1)で表される⁷⁾。

$$\phi_j = \frac{\frac{\partial W}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial V_j}}{\frac{\partial W}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial V_i}} = \left(\frac{V_j}{V_i} \right)^{-\varepsilon} \frac{\frac{\partial W}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial V_j}}{\frac{\partial W}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial V_i}} \cdots \quad (1)$$

ここで、*i* =基準都市のラベル、

j =比較都市のラベル、

ϕ_j =地域*j*における地域修正係数、

W =社会的厚生関数、

V($\cdot$) =間接効用関数、

Y =所得、

ε =地域間格差への配慮の度合いを示すパラメータ。

地域修正係数 ϕ_i を求めるための間接効用関数は、(2)式に示すCobb-Douglas型間接効用関数を用いる。ここでの効用関数の変数には、地域物価水準、住宅支出水準、所得水準を用いることとした。これらの3つの変数は、最大公約数として地域間の効用を求めるのに適しており、全地域で統一して統計が採られている。

* キーワーズ：公共事業評価、計画手法論

** 正員 社団法人北海道開発技術センター
(札幌市中央区南1条東2丁目11,
TEL:011-271-3028, E-mail: tanabe@decent.or.jp)

*** 学生員 室蘭工業大学大学院建設システム工学専攻
(室蘭市水元町27-1, TEL:0143-46-5289,
E-mail: s0921010@mmm.muroran-it.ac.jp)

**** 正員 工博函館高等専門学校都市環境工学科
(函館市戸倉町14-1, TEL:0138-59-6498,
E-mail: sasaki@hakodate-ct.ac.jp)

***** 正員 工博室蘭工業大学建設システム工学科
(室蘭市水元町27-1, TEL:0143-46-5287,
E-mail: tamura@mmm.muroran-it.ac.jp)

$$V(P_i, R_i, Y_i) = P_i^{-a} \cdot R_i^{-b} \cdot Y_i \cdots \cdots (2)$$

ここで、 P_i =地域物価水準、
 R_i =住宅支出水準、
 Y_i =所得水準、

a, b =それぞれ代表世帯を表すパラメータ。

また、パラメータ a, b は、地域性を反映しない代表住民の支出割合であり、いま、代表世帯の支出が合成財支出と住宅支出で構成されることと仮定する($a=1-b$)。

さらに、(2)式より、 $\frac{\partial V_i}{\partial Y_i} = P_i^{-a} \cdot R_i^{-b}$ なので、基準都市 i に対する比較都市 j の地域修正係数 ϕ_j は式(3)で表される。

$$\phi_j = \left(\frac{P_j}{P_i} \right)^{-(1-b)(1-\varepsilon)} \left(\frac{R_j}{R_i} \right)^{-b(1-\varepsilon)} \left(\frac{Y_j}{Y_i} \right)^{-\varepsilon} \quad (3)$$

ここで、 P =地域消費者物価水準、

R =住宅支出水準、

Y =所得水準、

b =代表世帯の家計消費支出に占める住宅支出の割合、

ε =地域間格差への配慮の度合いを示すパラメータ。

特に、 ε (公平性への社会的配慮の強さを表すパラメータ、 $\varepsilon \geq 0$)は、この値を大きくすることにより ϕ_i の値が大きくなり、公平性への配慮度合いを高めることができる。 ε の値の決定について、道路投資の評価に関する委員会(2000)³⁾では、初期値として $\varepsilon=0.5$ から始め、社会的合意を得ながら ε を変化させて将来社会的合意を目指すことを提案している。

3. 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms)⁸⁾

(1) 線列の生成とコーディング

線列を生成する操作のことをコーディング呼び、本研究では10進法コーディングを用いた。一本の線列は整備順位を示しており、線列の並びが左から5, 10, 6,..., 9と並んでいる場合に、まずリンク5を建設し、順次10, 6,..., 9と建設していくことを示している。そのため、一本の線列には対象整備路線番号が重複しないように並べる必要がある。本研究では、ルーレットルールを用いて遺伝子座に1~63の数値を配置し、線列を生成した。

(2) 目的関数

本研究では、修正費用便益分析の値を、GAの目的関数とし高規格幹線道路整備の整備順位を求める。したがって、第 t 期における便益 B_t 、第 t 期における費用 C_t と

すると、目的関数は(4)式のように表される。

$$\text{目的関数} = \sum_{t=1}^n \left\{ \left(\sum_{i=1}^{208} (\phi_i B_{it} - C_{it}) \right) / (1+r)^t \right\} \cdots (4)$$

ϕ_i =都市 i の地域修正係数、 B_{it} = t 期における都市 i の便益

t = 共用年次より20年、 i = 市町村ラベル

r = 社会的割引率 (4.0%)、 C_t = t 期における建設費

大規模な社会資本整備においては、複数年次に渡って事業が行われるが、本研究では、単年度の予算を一定として、事業が単年度内で終了し順次供用していくと仮定する。具体的には、遺伝子線列の始めの遺伝子から順に一年の予算制約下(3,474.3億円)で建設可能な延長(69.485km)を建設し、建設にかかる期間(20年)を設定する。もし、当該年次にインターチェンジ間が完成すれば開通とし、インターチェンジ間が完成しなければ次の年の予算で建設を続けることとする。

このように事業方法を仮定した上で、目的関数の計算に次のような工夫をした。図-1は、工夫のイメージを示したものである。

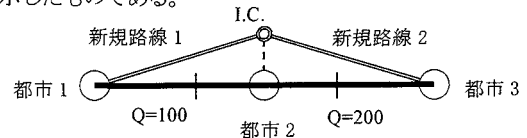
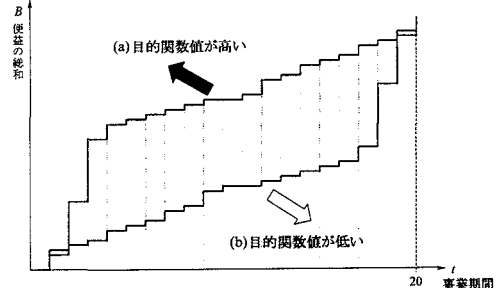


図-1 整備順位と便益の関係

図-1の上段の道路ネットワーク図は、都市1と都市3を結ぶ新規路線の建設を考え、その中間にインターチェンジを作る設定である。この場合、都市1と都市2の間に100台/日、都市2と都市3の間に200台/日の交通量があるとして、新規路線1と新規路線2のどちらを先に事業化すればよいのであろうか。最終的には、両方の路線は事業化されるのであるから、両事業が完成した時点の便益のみを考えるなら、どちらを先に事業化してもよい。しかし、事業化の過程に意味を持たせて、事業期間中の便益の総和(累積)を考えると、便益の大きい新規路線2を早期に供用した方が、累積の便益は大きくなる。



- (a) 大きな便益が早期に発現する整備順位のとときの便益の総和
- (b) 比較的小さい便益が早期に発現する整備順位のとときの便益の総和

図-2 便益の累積

図－2はこれを図示したもので、事業期間中の便益の総和を縦軸にとり、事業期間を横軸にとると、便益の大きい路線から事業化する方が目的関数値を高くできることを示している。

本研究で扱うネットワークの最適組合せ問題においては、時系列的に供用区間の便益を合算していることを意味しており、道路ネットワーク効果を加味して便益計測を行っているといえる。つまり、早期に大きな便益が発現することが社会的に望ましいとすれば、図－2の折れ線が左側へシフトするような最適な組合せを目的関数とすることとなり、これが目的関数の最大値を求めることと同値になることは明らかである。

(3) その他の設定

本研究でGAを計算するための条件設定は、参考文献3)などの経験⁴⁾⁹⁾から、以下のように定めた。交叉法は標準リスト法とし、交叉確率75%、突然変異1%とした。また、収束条件は、目的関数の代替値が以降の20世代で更新されない場合、と設定した。

また、本研究で扱う便益は時間短縮効果であり、第 t 期における都市間最短時間距離をダイクストラ法によって算出し、第 $t+1$ 期において新たに共用する区間を利用した場合の最短経路を再計算し、それらの差を短縮時間としている。区間交通量の算出においては、予算制約のない場合の第0期における交通量の解で63!個(1.98261E+87個)という天文学的数字となり、それに応じた交通量配分計算が必要となる。本研究においては各々の組合せにおける交通量配分計算を行わず、OD交通量の5割を高規格幹線道路への転換交通量として区間交通量を算出した。したがって、新規供用によって見込まれる開発交通や距離もしくは交通費用に応じた経路選択、将来の交通量の増加は考慮していない。また、便益 B は、式(4)より算出された地域修正係数 ϕ_j に独立である。

本来、新規供用によって変化する地域修正係数 ϕ_j を動的に再計算する必要があるが、本研究では開始年に固定している。

さらに、目的関数における費用 C_i には第 i 期の建設費を用い、建設費のみより純現在価値によって整備順位を決定している。このことは、分析対象とした路線の事業規模が整備順位の分析結果を支配している可能性がある。本研究ではこれまでの建設費の規模が今後も変わらないとして分析した結果であることに留意すべきである。

4. ケーススタディ

(1) 分析データ

表－1は、本研究で用いた分析データを示しており、調査主体が新たな調査を実施することなく、既存資料より整備順位が求められるよう配慮した。

(2) 分析対象地域およびネットワーク

本研究では、前述のように、交通量配分を行わないことから、交通が閉鎖的であつ、他の影響による将来交通量の影響を受けにくい北海道を分析対象とした。北海道は政令指定都市である札幌市(人口1,836千人、2002年2月1日現在)を中心として放射状に高規格幹線道路が整備される計画となっている。したがって、各路線の末端部がネットワーク化しないという特性を持っており、整備順位に差異が生じやすいと想定される。なお、新たな道路整備五箇年計画¹⁰⁾における整備計画は、図－3に示すとおりであり、整備計画総延長1,825kmに対して供用延長445km整備率24%である。本研究では、残る整備計画延長1,380kmを予定されたインターチェンジ間63区間で区切り、これら区間の最適な整備順位を試算することとした。また、地域修正係数 ϕ_j の算出にあたっては、

式(3)のパラメータ b を家計調査年報と住宅統計調査より全道の平均値を算出し、代表世帯のパラメータとした。なお、基準都市は札幌市となっている。

表－1 データ一覧^{11)～18)}

項 目	書誌等	出 展
OD 交通量	平成6年度道路交通センサス平日BゾーンOD表	北海道開発局
リンクデータ (時間距離)	道路時刻表 2000～2001	道路整備促進期成 同盟会全国協議会
事業費	維持管理費	道路投資の評価に 関する指針(案)
時間価値 (平成4年価格)	道路行政平成7年版	ぎょうせい
地域修正係数	消費者物価指数年報(平成11年)	総務庁統計局
	家計調査年報(平成11年)	総務庁統計局
	個人所得指数 (2001年版)	日本マーケティング 教育センター
	住宅統計調査 (平成10年)	総務庁統計局
	都道府県地価調査標準価格 一覧平成12年版	(財)土地情報セン ター

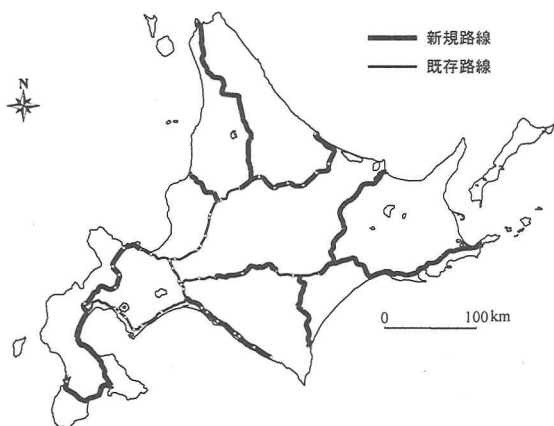


図-3 対象ネットワーク

(3) 分析結果と考察

分析においては、地域修正係数を考えない場合、 $\varepsilon=0.5$, $\varepsilon=1.0$, $\varepsilon=1.5$ の4つの場合を計算した。ここでは、地域修正係数を導入する意義を明らかにするため、地域修正係数を考えない場合と $\varepsilon=1.5$ の2ケースについて、説明する。

図-4は、2つのケースについて修正費用便益分析による整備順位を計算し、2つのケースで整備順位が異なった箇所と、整備順位が同じ場合の順位をまとめたものである。これより、以下のことが分かる。

- ① ε の大きさに関わらず、札幌を中心とした放射状に路線から整備すべきことが分かった。
- ② ε によって整備順位が入れ替わる路線は、図-4で点線に囲まれた区間、例えば、稚内方面、網走方面、釧路方面などの交通量の少ない端末区間である。

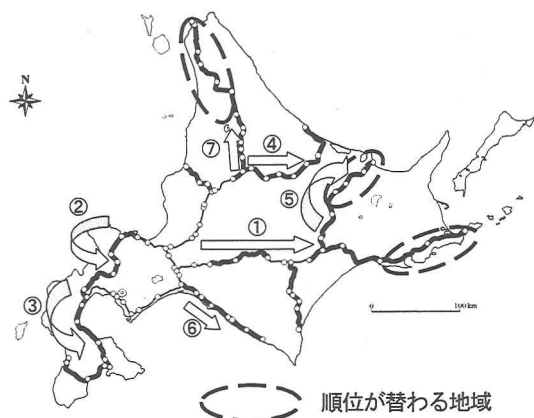


図-4 地域修正係数の有無による順位の変化

- ③ ε の違いによっても整備順位が変化しない路線について、その整備順位を示すと、札幌～釧路、小樽～倶知安、長万部～函館、旭川～丸瀬布、本別～北見、苫小牧～静内、比布～名寄、という順番であった。

上記の分析結果が生じた理由について、検討する。図-5は、212市町村ごとに求めた地域修正係数により算出した時間短縮便益を、14支庁ごとに集計したものである。これより、地域修正係数の有無（有る場合は $\varepsilon=1.5$ ）により、交通量の比較的多い後志支庁・渡島支庁と、交通量の少ない留萌支庁の、合計3支庁において発生する便益が逆転していることが分かる。表-2は、地域修正係数がある場合の支庁間OD別の時間短縮便益を示したものである。これより、札幌都市圏のある石狩支庁に向かって残りの13支庁から交通が流入しているため、時間短縮便益は石狩支庁と13支庁間で特化していることが分かる。以上、図-5と表-2から分かることは、地域修正係数の有無による支庁別の便益の違いは小さく、地域修正係数を用いても交通量の多い石狩支庁から放射状に道路整備を行うという順位自体を逆転させるには至らないことが分かった。

また、本研究では、一年間の工事予算（3474.3億円／年）を制約条件として、20年間で総延長1389.72kmの高規格道路整備を行なうと仮定しているが、計算の結果、 ε によって整備順位が入れ替わる時点は15年目と19年目の2時点であった。図-6と図-7に、19年目の整備順位の違いを示すが、これらの路線は交通量の少ない端末区間である。

なお、本分析結果は、仮定を置いた整備順位の最適解である。

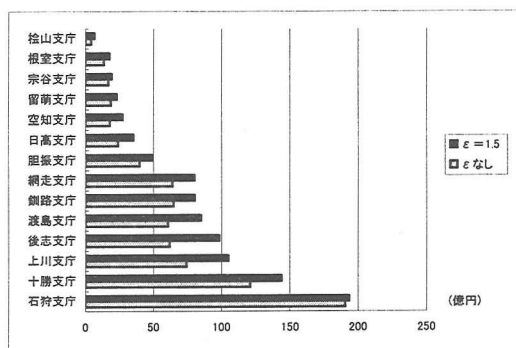


図-5 14支庁別時間短縮便益

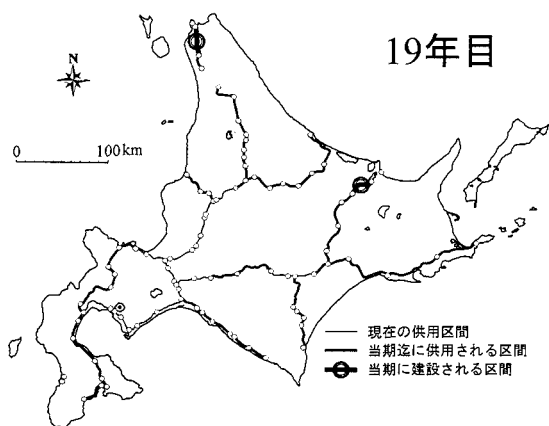


図-6 $\varepsilon=0.0$ の場合の19年目の整備区間

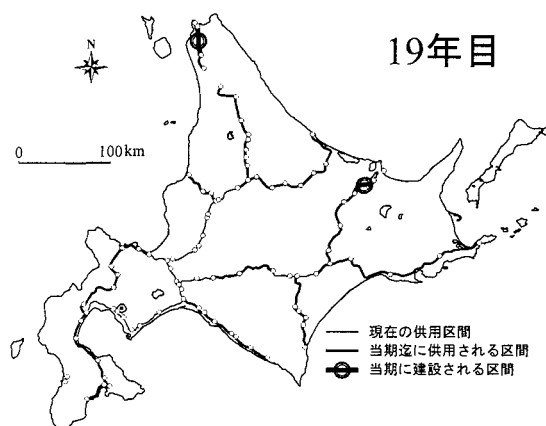


図-7 $\varepsilon=1.5$ の場合の19年目の整備区間

表-2 支庁間OD別の時間短縮便益 ($\varepsilon=1.5$ の場合)

(単位: 十万元)

	石狩	後志	十勝	釧路	根室	胆振	空知	宗谷	留萌	上川	日高	渡島	網走	檜山
石狩	204,965	152,959	300,468	123,285	20,670	66,520	16,635	58,547	37,463	74,129	68,854	110,300	149,334	12,868
後志	-	24,406	46,334	20,165	5,193	32,372	18,407	3,097	5,294	59,528	13,292	22,365	43,658	1,306
十勝	-	-	46,080	21,950	7,346	13,856	9,029	2,046	898	24,158	5,854	15,416	12,299	1,005
釧路	-	-	-	8,299	194	5,478	3,039	2,019	201	15,762	377	6,004	3,248	766
根室	-	-	-	-	126	658	2,661	185	670	2,402	27	868	1,921	10
胆振	-	-	-	-	-	9,080	2,813	1,916	4,900	19,293	1,539	12,743	4,961	38
空知	-	-	-	-	-	-	444	278	408	2,522	167	204	1,736	28
宗谷	-	-	-	-	-	-	-	326	182	2,964	214	3,131	2,323	0
留萌	-	-	-	-	-	-	-	-	110	3,523	69	4,038	708	108
上川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,856	632	6,471	5,393	146
日高	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	734	1,147	1,101	32
渡島	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,529	1,473	30
網走	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,683	845
檜山	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10

4. おわりに

本研究は、修正費用便益分析を用いて、地方部の道路整備区間の効率的な整備順位を求めたものである。本研究から分かったことは、以下の点である。

- ① 修正費用便益分析の値を GA の目的関数として設定し、目的関数に便益の累積を取り込んだ道路の整備順位決定法を提案した。
- ② 北海道の高規格道路整備を対象として、時間短縮便益に地域修正係数を掛けて分析したが、札幌一極集中という北海道の交通需要特性から、地域修正係数の有無による便益の違いは大きくないことが分かった。

本研究の実用性を考え、GA を用いて修正費用便益分析を適用する際の留意点をまとめる。

まず、GA を用いることの妥当性と限界について説明する。GA は離散的組合せ最適問題の近似解を求めるひとつの手法である。よって、本研究のように 63 個のリンクの組み合わせを扱うような場合には有力な

手法である。ただし、より大規模な交通網を対象とする場合は計算時間も多くなり、遺伝子線列の設計に何らかの工夫をしなければ近似解も求められない。例えば、本研究のように道路整備順位を決定する場合は、経験的にある程度連続した区間 (複数のリンクの連続区間) を整備するのが一般的であり、リンクの組み合わせを探索するときに、一定の建設費になるまで複数の連続リンクとして扱うといった遺伝子線列の設計ルールを考えるべきであろう。

次に、修正費用便益分析に適用する際の留意点であるが、修正費用便益分析における地域修正係数は市町村毎にあらかじめ算出されるものであり、整備するリンクの順番が決まれば、その目的関数の計算も簡単に求めることができる。GA は、考えられる膨大な数の「整備するリンクの組合せ (順番)」の中から目的関数を最大化するような (最適な) リンクの組合せを見つけ出す手法であるが、その探索は初期条件 (最初に検討するリンクの順番) に大きく影響を受けることから、交通量と地域修正係数から対象リンクにあらか

じめ複数のランクを付けておき、目的関数を高めるリンクの組合せ(ランクの高いリンク群)からGAの探索を始めることも有用であろう。本研究では、対象リンク数が比較的少なかったことからこのような工夫は行なわなかったが、全国規模の高規格道路の整備順位を探索する場合には、大いに検討の価値がある。

今後の検討課題は、次のとおりである。

- ① ある供用年(第 t 期)に便益が発現し所得の増加が想定される。この所得の増加によって変化するであろう地域修正係数 ϕ_{it} は、本研究においては考慮していない。第 $t+1$ 期に変化するであろう地域修正係数 ϕ_{it} を求めようとすれば、家計の間接効用関数を組み込んだ地域経済モデルを一般均衡体系の枠組みで定義し、第 t 期における所得増加を計測した後、全都市の地域修正係数を逐次修正していく必要がある。
- ② 本研究においては交通量配分計算を行わず、OD交通量の5割を高規格幹線道路への転換交通量として区間交通量を算出した。このため、新規供用によって見込まれる開発交通はもとより、交通費用の変化に応じた経路選択を考慮していない。この前提条件を今後、より現実的なものへと変えていく必要がある。

謝 辞

本論文の投稿に際して、東北大学大学院森杉壽芳教授、同大学院林山泰久助教授、東京工業大学大学院上田孝行助教授、岐阜大学大学院高木義朗助教授には、多大なる助言を頂いた。ここに記して、謝辞を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省編:道(Michi)ROADS IN JAPAN 2002, 道路広報センター, 2001.
- 2) 森杉壽芳・御巫清泰:第3章, 公共投資と経済政策, 土木学会編新体系土木工学49 社会資本と公共投資, pp151-pp193, 技報堂出版, 1981.
- 3) 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)第2編総合評価, 財団法人日本総合研究所, pp.61-81, 2000.

- 4) 田村亨・杉本博之・上前孝之: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.37-49, 1994.
- 5) 長谷川専:修正費用便益分析の考え方, 土木計画学ワンデーセミナーシリーズ 19 土木計画における公平論を巡って, pp.111-121, (社)土木学会土木計画学研究会, 2000.
- 6) 上田孝行, 長谷川専, 森杉壽芳, 吉田哲生:地域修正係数を導入した費用便益分析, 土木計画学研究・論文集 No.16, pp.139-145, 1998.
- 7) 小林潔司:公共システム整備のための評価指標 - 研究系譜と今後の課題-, 土木学会論文集, No.425/IV-14, pp.81-90, 1991.
- 8) 石田良平・村瀬治比古・小山修平:パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森北出版株式会社, 1997.
- 9) 長濱祐朗:GAによる首都高速道路の新設路線工事の順位決定について, 室蘭工業大学建設システム工学科.
- 10) 建設省道路局:新たな道路整備五箇年計画, 1998.
- 11) 北海道開発局:平成6年度道路交通センサス, 平日BゾーンOD表, 1995.
- 12) 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, 1997.
- 13) 道路行政研究会編:道路行政, 1996.
- 14) 総務庁:平成11年消費者物価指数年報, 総務庁統計局, 1999.
- 15) 総務庁:平成11年家計調査年報, 総務庁統計局, 1999.
- 16) 日本マーケティング教育センター:2001年個人所得指標, 日本マーケティング教育センター, 2000.
- 17) 総務庁(1993):平成5年度住宅統計調査, 総務庁統計局.
- 18) 財団法人土地情報センター:都道府県地価調査, 財団法人土地情報センター, 2000.

修正費用便益分析による地方部高規格幹線道路の整備順位決定*

田邊 慎太郎** 井田 直人*** 佐々木 恵一**** 田村 亨*****

近年、財政逼迫などを背景に政府は、事業箇所の優先順位について説明責任を問われている。本論文では、遺伝的アルゴリズムを道路整備順位決定問題に適用し、特に、純現在価値(Net Present Value)が低く、地域間の差異が不明瞭な地方部における整備順位決定問題について分析した。地域間の差異を明示的に扱うために、本研究では地域修正係数を用いた修正費用便益分析を援用した。本研究では、北海道の高規格幹線道路の整備計画路線を対象に分析を行った結果、修正費用便益分析によって地方部路線では整備順位が変わり得ること示した。

Determining Priority of the Expressway Improvement in Rural Area using the CBA with Regional Weighting**

By Shintaro TANABE** Naoto IDA*** Kei-ichi SASAKI**** Tohru TAMURA*****

The government is required to be accountability clearly about the priorities of construction route by the citizens. In this paper, we applied to help the decision making of construction route priorities, and analyzed the construction route priorities in rural areas that are only produced less traffic volume and benefits as Net Present Value (NPV). So, we incorporated the adjusted cost-benefit analysis (CBA) with regional weighting due to deal the differences of each region explicitly. As the result, we showed that changing the construction route priorities might occur with rural areas by using the adjusted CBA.
