

事業区間を内生化した事業評価方法の研究

小笹 俊成¹・塚井 誠人²・藤原 章正³

¹学生会員 修士(工学) 広島大学大学院国際協力研究科 (〒739-0046 東広島市鏡山1-5-1)

E-mail:kozasa@fukuyamaconsul.co.jp

²正会員 博士(工学) 広島大学大学院工学研究院 (〒739-0046 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

³正会員 博士(工学) 広島大学大学院国際協力研究科 (〒739-0046 東広島市鏡山1-5-1)

E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp

道路事業の採択・整備順序の検討では、先行プロジェクトの実施効果を受け、順次、継続プロジェクトを評価していく動的な評価方法が重要であることが知られており多くの研究もされている。しかしながら、評価対象の事業区間はいずれも固定して検討されており、事業区間の設定如何によっては整備順序等の結果が変わる可能性が指摘される。

そこで本研究では、事業区間設定を評価モデル内で考慮できる「事業区間を内生化した事業評価方法」の提案を行い、従来の事業区間固定タイプに対して、評価指標とした総純便益 (B-C) が高くなるとともに、整備順序として段階供用や部分供用が効果的に設定されることを検証した。

Key Words : 事業評価, 事業区間, 内生化, 整備順序, 便益

1. はじめに

近年の道路事業評価は、国土交通省の事業評価監視委員会に代表されるように、個別事業区間の費用対効果分析 (B/C) やそれに付随する整備効果に基づく整備効果を定量的に評価し、かつその必要性・妥当性を厳しく比較されるという事業評価手続を経て行われる。これらは、主として国土交通省から道路事業の費用便益分析マニュアル¹⁾や客観的評価指標などに基づいており^{2,3)}、手続の標準化が図られている。

一方、これらの道路事業評価に係わる研究として松中ら⁴⁾は、上記のマニュアルで非採択になったプロジェクトであっても、他のプロジェクトの実施状況を踏まえた、段階的整備プロセスの途中段階においては、採択の可能性を明らかにしており、特に周辺道路網の状況を考慮することの重要性を示している。また青山ら⁵⁾は、借入金の償還期間に着目して利子率に関する感度分析を行い、効率性の観点からは道路整備を途中で停止する方が望ましいことを指摘した。

しかしプロジェクトの途中段階において発生する便益を捉えるためには、各整備段階の便益を求めつつ、その組み合わせ最適化を図らなくてはならない。通常のプロジェクト計算手法としては、動的ネットワーク改修問題

をネットワークに適用する場合、制約条件や操作変数が極めて多いためにNP困難性に直面する。そこで上述の既往研究^{4,5)}は、近似解法である遺伝的アルゴリズムを採用している。

筆者ら⁶⁾は、これらを踏まえ、評価対象を道路事業に限らず、医療施設等の施設整備事業も含めた、道路・施設整備事業を対象とした事業採択・整備順序評価方法を提案し、その有用性を示した。

ただし、これらの評価は全て、事前に設定した事業区間を固定して検討されおり、事業区間の設定如何によっては整備順序等の結果が変わる可能性が指摘される。

そこで、本研究では、事業区間の設定も評価モデル内で考慮できる「事業区間を内生化した事業採択・整備順序評価方法」を提案し、従来の固定タイプに対する有効性について検証を行うこととする。

2. 道路事業評価モデル

(1) 評価指標式 (目的変数)

本研究では、費用便益分析で一般に用いられる総純便益 (プロジェクト便益の現在価値-プロジェクト費用の現在価値) を目的変数とする。なお実際の道路整備を考

え、毎年度の予算フレームと道路整備後のアウトカム目標をプロジェクト採択の制約条件として設定する。

$$\max_{\delta_{pt}} Y = \sum_t \sum_p \frac{1}{(1+r)^{t-1}} \delta_{pt} (B_{pt} - C_{pt}) \quad (1)$$

$$s.t. \{\delta_{pt}\} \in U_t, \forall t \quad (2)$$

ここで、 Y は評価値（総純便益）、 t は期間、 p はプロジェクト種別、 r は社会的割引率（4%）、 B_{pt} は t 期のプロジェクト p の便益、 C_{pt} は t 期のプロジェクト p の事業費、 δ_{pt} は t 期においてプロジェクト p を採択した場合1、しなかった場合0をとるダミー変数である。また式(2)は、 t 期において採択されるプロジェクト p に関する制約条件である。

(2) 便益算出方法

発生する便益は、ゾーン間の一般化費用の減少によるもののみとし、各ゾーン間の一般化費用と交通量の関係からプロジェクト実施による便益を消費者余剰測度を用いて算出する。また発生年次の異なる便益を基準年次のものと換算して考察するため、社会的割引率を用いて基準年次における価値に換算する。また、後述のケーススタディでは、評価対象期間は50年としている。

(3) OD交通量モデル式

便益算出の際に用いる交通量を求めるためのOD交通量について、発生集中交通量モデル、分布交通量モデルを設定する。

分布交通量モデル式

$$X_{ijt} = cA_{it}G_{jt} / T_{ijt} \quad (3)$$

発生集中交通量モデル式

$$A_{it} = \sum_m \lambda_m V_{imt} \quad (4)$$

$$G_{jt} = \sum_n \gamma_n W_{jnt} \quad (5)$$

ここで、 A_{it} はゾーン i の t 期の発生交通量、 G_{jt} はゾーン j の t 期の集中交通量、 V_{imt} はゾーン i の m 番目の説明変数、 W_{jnt} はゾーン j の n 番目の説明変数、 λ_m, γ_n, c はパラメータである。

(4) リンク交通量・一般化費用の算出

本研究では、(3)で得られるOD交通量を利用者均衡配分法によってネットワークを構築するリンクに配分する。配分計算に用いるリンクパフォーマンス関数（BPR関数）は式(6)とする

$$t_a(x_a) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a}{c_a} \right)^\beta \right\} \quad (6)$$

ここで、 t_a はリンク a の旅行時間、 t_{a0} はリンク a の

自由旅行時間、 x_a はリンク a の交通量、 c_a はリンク a の交通容量、 α, β はパラメータである。

(5) 事業費モデル式

プロジェクト p の t 期の事業費は、投資期間で均等分割されるものとして設定する。投資期間は事業費規模に応じて決定されるものとし式(8)で表現する。

$$C_{pt} = C_p / T_p \quad (7)$$

$$T_p = \rho \ln(C_p)^\mu \quad (8)$$

ここで、 C_p はプロジェクト p の総事業費、 T_p はプロジェクト p の投資期間、 ρ, μ はパラメータである。

(6) 事業区間の内生化方法

本研究の事業区間は、プロジェクト区間そのものであり、当初設定するプロジェクトを単独あるいは複数束ねて設定することで表現する。また一つの事業区間はその区間内で部分供用することはなく全区間を同時供用することとする。複数プロジェクトを束ねて一つの事業区間とするメリットは、式(8)で示されるプロジェクト投資期間が短くて済むことにある。例えば、図-1のようにI期とII期の区間をそれぞれ整備すると10年かかるが、I+II期区間として同時に整備すると、施工の効率性や大規模事業の重点投資等により、同じ事業費でも短期間で整備できるメリットが発生する。本研究では、事業期間が短くなるメリットと供用が同時に単独区間より供用年が遅れるというデメリットを表現した上で、それらの事業区間の組み合わせを内生化した最適化問題を定式化する。

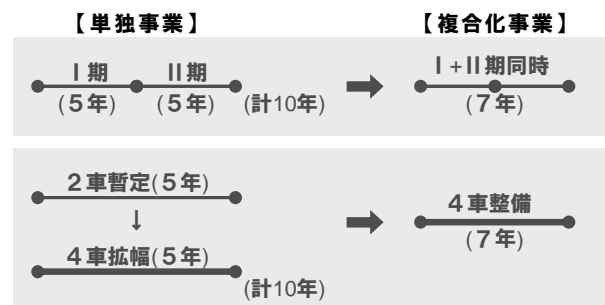


図-1 単独事業と複合化事業の事業期間の違いイメージ

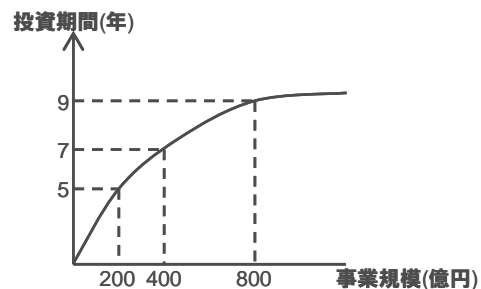


図-2 事業規模と投資期間の関係イメージ

(7) 解析方法

本研究では、ある制約条件（予算フレーム等）の下、総純便益（ $B - C$ ）を最大化するようなプロジェクトの採択及び整備順序を探索するための解法として遺伝的アルゴリズムを適用する。

検討フローを図-3に、各個体 i の遺伝子の設定を図-4に示す。遺伝子は道路整備順序を表現している。

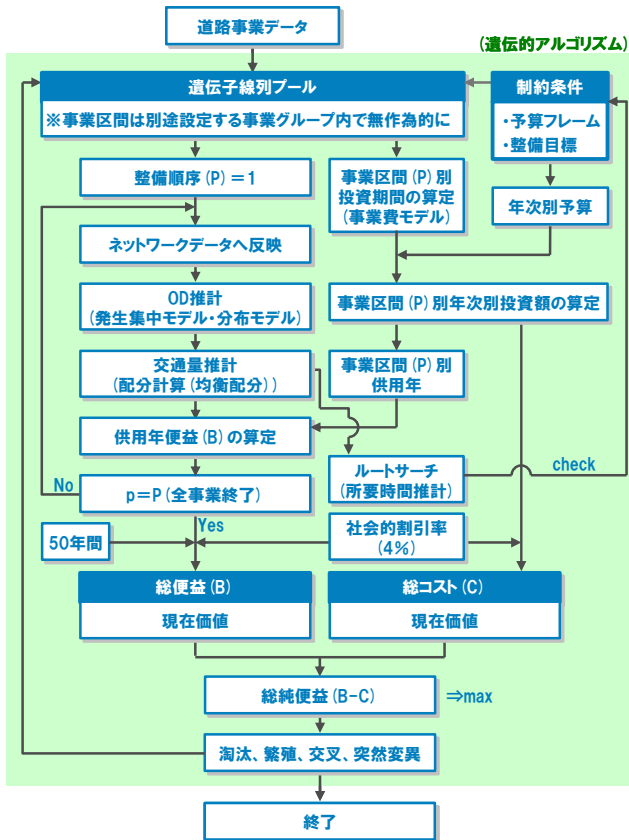


図-3 遺伝的アルゴリズムによる検討フロー

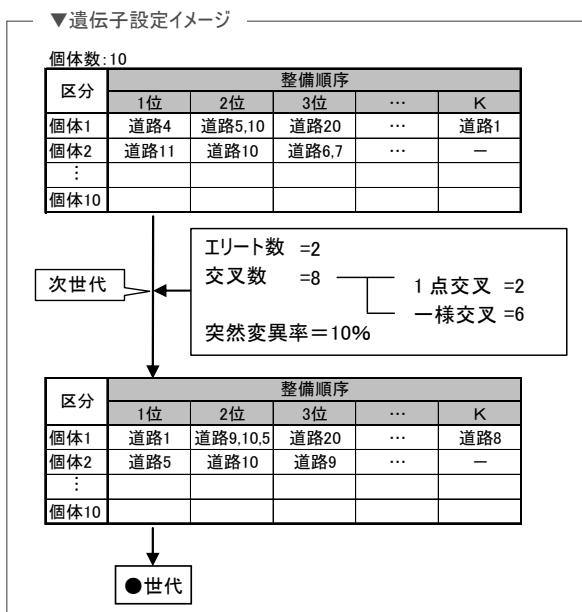


図-4 遺伝子の設定

ここで発生させる個体数は、10個体であり、それぞれについて、整備する道路をネットワークデータへ反映し、以下、OD交通量推計、リンク交通量推計（利用者均衡配分）、ルートサーチ（所要時間推計）を行った上で、評価値 Y_i を算出する。以上の手順を評価値の低い個体を淘汰しつつ N 世代繰り返し、最終的に得られる10個体から、評価値が最大となる個体の遺伝子情報を読み取って、整備事業及び整備順序を決定する。

3. 数値分析例

本研究では、数値分析例として仮想的な簡易ネットワーク及びプロジェクトを設定し、以下の3ケースの推定方法により最適な道路網及び整備順序を求め、その結果から本方法の有用性を確認することとした。

ケース① 事業区間 固定推定

ケース② 事業区間 固定推定（段階推定）

ケース③ 事業区間 内生推定（ケース①の発展版）

ケース①は、遺伝的アルゴリズムの個体遺伝子の設定において、プロジェクトの複合化を行わず各プロジェクトを単体で扱うケースである。

ケース②は、最適プロジェクトの採択と整備順序推定を2段階に分けて推定するケースであり、同時推定するケース①の最終的に採択された道路網が、最適道路網となっているかを確認するために設けたケースである。なおケース②の解析フローは図-5のとおりであり、Step1では、採択された全ての事業が完了した時点での便益を基準に事業選択を行うことに相当し、Step2では、Step1で採択された事業を固定し、その順序のみ検討する。

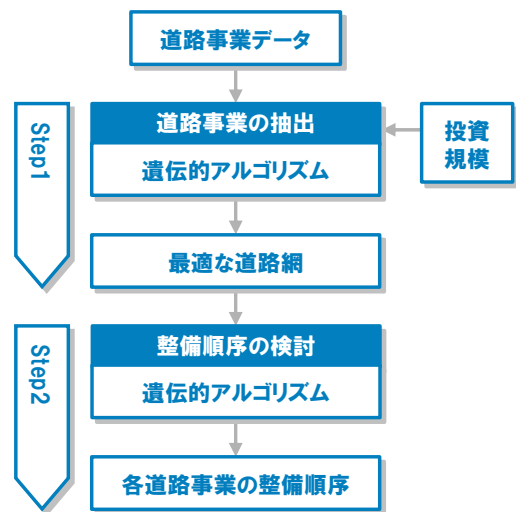


図-5 ケース②の解析フロー

ケース③は、ケース①の発展版であり、事業区間を内生化することで、より最適な道路網・整備順序が得られるか否かを、確認するためのケースである。

(1) 簡易ネットワーク・プロジェクトの設定

ケーススタディのため、図-6に示す簡易ネットワークを設定した。リンク数は124、ゾーン数は31(うち24~31は流出入ノード)である。

想定プロジェクトを表-1に示す。道路事業として、高規格幹線道路、バイパス事業、拡幅事業、線形改良に相当する計20事業を設定した。なお事業区間の設定におい

表-1 道路事業の設定

| 区分 | プロジェクト(p) | 延長(km) | 整備概要 | | | | 事業費(億円)(Cp) | | |
|----|-----------|--------|------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|
| | | | 整備前 | | 整備後 | | 暫定 | 完成 | |
| | | | 速度 | 車線数 | 速度 | 車線数 | | | |
| 道路 | 高規格 | 01 | 13.6 | 未整備 | 未整備 | 70 | 2車 | - | 700 |
| | | 02 | 17.2 | 未整備 | 未整備 | 70 | 2車 | - | 900 |
| | | 03 | 13.4 | 未整備 | 未整備 | 70 | 2車 | - | 650 |
| | | 04 | 8.4 | 未整備 | 未整備 | 70 | 2車 | - | 400 |
| | IC線 | 05 | 6.2 | 未整備 | 未整備 | 50 | 2車 | 250 | 400 |
| | | 06 | 4.5 | 未整備 | 未整備 | 50 | 4車 | 150 | 250 |
| | BP | 07 | 5.1 | 未整備 | 未整備 | 50 | 4車 | 200 | 300 |
| | | 08 | 5.2 | 未整備 | 未整備 | 50 | 4車 | 200 | 300 |
| | | 09 | 7.7 | 未整備 | 未整備 | 50 | 4車 | 300 | 450 |
| | | 10 | 1.4 | 未整備 | 未整備 | 50 | 4車 | - | 50 |
| | 拡幅 | 11 | 5.0 | 50 | 2車 | 50 | 4車 | - | 250 |
| | | 12 | 5.0 | 50 | 2車 | 50 | 4車 | - | 250 |
| | | 13 | 3.0 | 40 | 2車 | 40 | 4車 | - | 150 |
| | | 14 | 5.0 | 50 | 2車 | 50 | 4車 | - | 250 |
| | | 15 | 6.1 | 50 | 2車 | 50 | 4車 | - | 300 |
| | 線形改良 | 16 | 1.7 | 30 | 1車 | 40 | 2車 | - | 50 |
| | | 17 | 1.5 | 30 | 1車 | 50 | 2車 | - | 50 |
| | | 18 | 1.8 | 40 | 2車 | 50 | 2車 | - | 50 |
| | | 19 | 1.9 | 40 | 2車 | 50 | 2車 | - | 50 |
| | | 20 | 2.5 | 30 | 1車 | 40 | 2車 | - | 100 |

て単体プロジェクトを複合化する際のルールとして、隣接区間の複合化は認めるが、離れたプロジェクトを一つの区間として設定することは出来ないと仮定した。複合化可能な事業グループは図-6に示すとおりである。

(2) モデル係数及び制約条件の設定

本ケーススタディでは、既往研究等を参考に各モデルのパラメータを表-2のとおり設定した。またケーススタディの制約条件を以下のように設定した。

表-2 モデル係数等の設定

| 区分 | 内容 |
|---------------------|---|
| 発生交通量モデル | 発生量 $it=0.16 \times (\text{居住人口})_it + 5 \times (\text{病床数})_it$ ただし、居住人口、病床数とも t によって変化しない(固定)とする。 |
| 集中交通量モデル | 集中量 $it=0.16 \times (\text{居住人口})_it + 5 \times (\text{病床数})_it$ 便宜的に発生交通量モデルと同じとする。前提条件も同じ。 |
| 事業費モデル | 事業期間 $p=0.1 \times \ln(\text{事業費}p)^{2.4}$ |
| リンクパフォーマンス関数(BPR関数) | 所要時間=自由旅行時間 $\times (1+0.48 \times (\text{交通量}/\text{容量})^{2.82})$ 容量、自由旅行時間(=自由速度)は道路種別別沿道状況別車線数別に設定。 |

〔設定した制約条件〕

【予算フレーム：総額 3500 億円以下、計画期間 20 年】
⇒年間 175 億円

【附加目標 1：各ゾーンから市町中心地へのアクセス性】
⇒各市町の平均アクセス時間：20 分以内

【附加目標 2：各ゾーンから特定施設へのアクセス性】
⇒各市町の平均アクセス時間：60 分以内

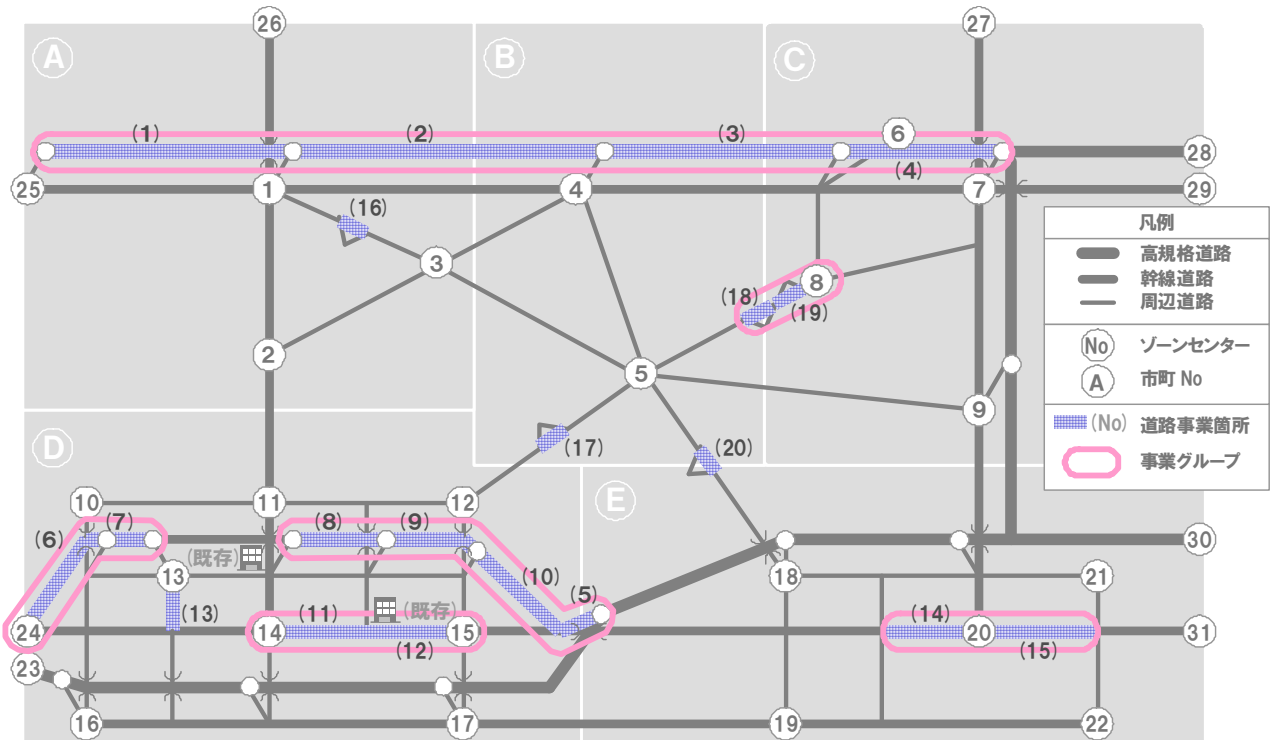


図-6 評価対象エリア・ネットワーク

(3) 制約条件の本モデルへの反映方法

a) プロジェクトの供用年と予算フレームの関係

各プロジェクトの1期分の投資額は式(7) (8)により設定される。t期における各プロジェクトの事業投資は、遺伝子で設定される整備順序に従って年間の予算フレームまで積み上げる。投資が完了した翌年を供用年として設定する。なお1期分の投資額が確保できなかった予算枠ぎりぎりのプロジェクトは不足分を翌年に繰り越すこととした。また供用年は投資が完了していても遺伝子の整備順序に応じて設定する。

b) アウトカム目標の反映

本ケーススタディで設定したアウトカム目標は、各ゾーンからある地点・施設までの平均アクセス時間であるが、各ゾーンからの所要時間は遺伝子による道路網設定を踏まえた交通量配分(利用者均衡配分)を実施した後で算出されるため、遺伝子設定後に制約条件を満足するか否かのチェックを行う形で反映している(図-3参照)。ただし遺伝子設定時においても交通量配分を実施する前の自由旅行時間状況下でのチェックを行い、致死遺伝子を減少させる工夫をした。

(4) 計算結果

a) プロジェクト採択結果の比較

各ケースにおけるプロジェクト採択結果を表-3に示す。事業区間を固定したケース①と②を比較すると、特徴的な違いとして、バイパス事業のNO 08, 09, 10と拡幅事業のNO 11, 12は並行する位置関係にある路線であるが、ケース②はバイパス事業のみを採択しているのに対して、

表-3 プロジェクト採択結果

| 区分 | NO | ケース | | | |
|------|------|---------|-----------------|--------------|---|
| | | ①事業区間固定 | ②事業区間固定 段階推定 | ③事業区間 内生化 | |
| 道路 | 高規格 | 01 | × | × | × |
| | | 02 | ● | × | × |
| | | 03 | × | ● | ● |
| | | 04 | × | ● | ● |
| | | 05 | ● | ● | ● |
| | BP | 06 | ● | ● | ◎ |
| | | 07 | ● | ● | ○ |
| | | 08 | × | ● | ◎ |
| | | 09 | ● | ● | ● |
| | | 10 | ● | ● | ◎ |
| | 拡幅 | 11 | ● | × | × |
| | | 12 | ● | × | ● |
| | | 13 | × | × | × |
| | | 14 | ● | ● | ● |
| | | 15 | ● | ● | ● |
| | 線形改良 | 16 | × | × | × |
| | | 17 | × | ● | × |
| | | 18 | ● | ● | × |
| | | 19 | ● | ● | × |
| | | 20 | × | × | × |
| 計 | | 12事業 | 13事業 | 11事業 | |
| 総事業費 | | 3,500億円 | 3,500億円 | 3,500億円 | |

注) ●:完成形(一括整備)、◎完成形(段階整備)、○暫定形、×:採択されず

ケース①は両方の事業を採択し、かつNO 08が欠落している。ケース②は交通量の多い便益の高い事業を重点的に投資しているように見える。

ケース③はバイパス事業のNO 07を暫定形、NO 06, 08, 10を段階整備で完成形とするなど、事業区間内生化の特徴が反映された結果と考えられる。

b) 制約条件の達成状況の比較

各ケースで採択されたプロジェクトの採択総事業費は表-3のとおりいずれも3,500億円であり、制約条件の満額となっている。

アウトカム目標の2指標の達成状況は図-7, 図-8に示すとおりであり、いずれのケースも制約条件の目標時間を満足している。

ケース間の比較をすると、全体的に大差はない。なおB市町だけケース①の所要時間が比較的短いですが、これは高規格道路事業のNO 02, 03, 04の採択の違いであり、NO 02を採択したケース①が結果として効果が高くなっている。

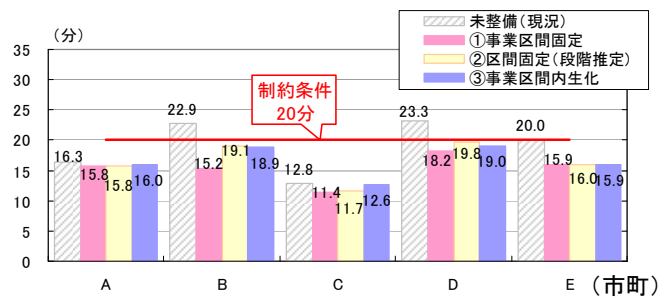


図-7 市町別中心地への平均所要時間(目標 1)

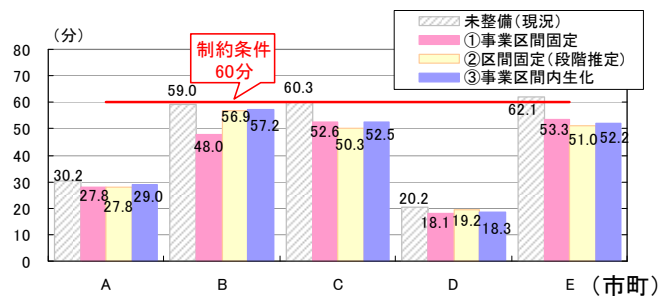


図-8 市町別特定施設への平均所要時間(目標 2)

c) 整備順序結果と総純便益結果の比較

各ケースで推定された整備順序結果及び総純便益結果を表-4に、総純便益の推移を図-9に示す。

整備順序を見ると、個別事業での若干の違いはあるが全ケースとも、都市部をイメージして設定した事業であるバイパス事業、拡幅事業の順序が先行しており、後半に中山間地を意識した線形改良事業、高規格幹線道路事業が続く形となっている。

表-4 整備順序結果及び総純便益結果

| 区分 | ケース①事業区間固定 | | | ケース②固定(段階推定) | | | ケース③事業区間内生 | | |
|--------------------------|------------------------|--------------|----------------|------------------------|--------------|----------------|------------------------|--------------|----------------|
| | 供用年 (t期) | 供用プロ ジェクト | 総純便益 (単純価値) | 供用年 (t期) | 供用プロ ジェクト | 総純便益 (単純価値) | 供用年 (t期) | 供用プロ ジェクト | 総純便益 (単純価値) |
| 1 | 4 | 5 | 12 | 4 | 5 | 12 | 4 | 5 | 12 |
| 2 | 7 | 14 | 35 | 7 | 14 | 35 | 7 | 6暫 | 49 |
| 3 | 7 | 11 | 63 | 8 | 15 | 70 | 8 | 10暫 | 81 |
| 4 | 8 | 15 | 97 | 8 | 6 | 111 | 8 | 14 | 104 |
| 5 | 8 | 6 | 137 | 8 | 17 | 115 | 8 | 15 | 139 |
| 6 | 13 | 12 | 162 | 10 | 10 | 153 | 12 | 7暫,8暫 | 164 |
| 7 | 14 | 7 | 179 | 15 | 7 | 172 | 14 | 12 | 185 |
| 8 | 14 | 18 | 182 | 15 | 18 | 173 | 15 | 8完,9完 | 207 |
| 9 | 15 | 9 | 187 | 16 | 9 | 193 | 15 | 10完 | 220 |
| 10 | 16 | 10 | 231 | 16 | 8 | 225 | 17 | 6完 | 230 |
| 11 | 17 | 19 | 235 | 17 | 4 | 232 | 19 | 4 | 237 |
| 12 | 24 | 2 | 242 | 19 | 19 | 233 | 24 | 3 | 248 |
| 13 | | | | 24 | 3 | 245 | | | |
| 総純便益 (50年間) (現在価値) | 1,208 (参考:B/C=1.51) | | | 1,180 (参考:B/C=1.50) | | | 1,276 (参考:B/C=1.53) | | |

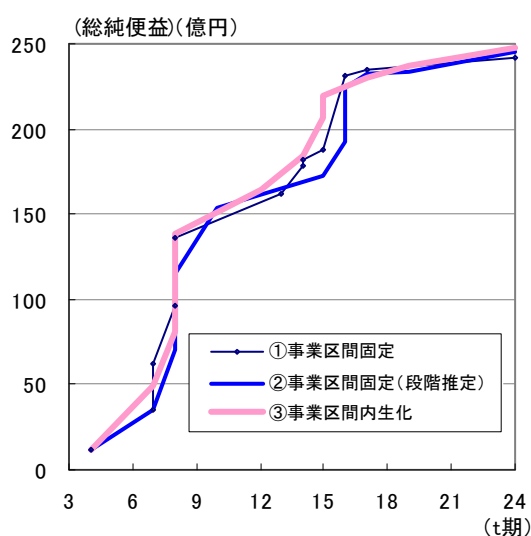


図-9 総純便益の推移

なおケース③では暫定供用の後に完成供用とするパターンや隣接区間を一つの区間として設定するパターンが見られる。これは、当初予想された、事業区間内生の特徴が反映された結果である。

総純便益(50年間)を比較すると、ケース①(1,208億円)と②(1,180億円)では、ケース①の方が高く、整備順序まで同時に推定することによって、トータルの総純便益の最大化がなされている。

またケース③は1,276億円と更に高いことから、暫定供用や区間複合化により、更に効果的な整備順序が推定されたと言える。

一方、最終的なネットワークにおける単年度の総純便益を見ると、ケース①(242億円)と②(245億円)ではケース②の方が高く、総純便益(50年間)とは逆の傾向となっている。これは懸念していた、途中段階では効果が高かったが最終的には効果が低いプロジェクトを採択しているためである。すなわち、プロジェクト採択と整

備順序検討を同時に行うケース①では、このような課題が含まれていることが明らかになったと言える。

このことは同時推定をしているケース③にも当てはまっており、今後対応が必要な課題である。

4. おわりに

本研究では、道路事業の採択・整備順序を評価するシステムとして、従来の事業区間を固定した方法に対し、事業区間をモデル内に反映した評価方法を提案した。また事業区間固定の従来タイプでは、計算方法として事業採択と整備順序を同時に推定する方法と段階的に推定する方法の2種類を行い、以下の成果を得た。

- i) 段階推定(ケース②)よりも同時推定(ケース①)の方が総純便益(50年間)が高く、整備順序を加味しながら最適道路網を推定する方法の有効性が示された。
- ii) 一方で、最終的に得られる最適道路網での単年度便益では、段階推定(ケース②)の方が高く、同時推定(ケース①)の場合、途中段階では効果が高いが、結果的(最終的)にはさほど必要でない事業区間が採択される可能性があることが示唆された。
- iii) 事業区間内生(ケース③)は、事業区間固定(ケース①)よりも総純便益が高く、事業区間を内生化することの本方法の有効性が示された。

今後、ii)で示唆される、同時推定で計算する場合の最終道路網での最適道路網確保に向け検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル, 2008.
- 2) 道路広報センター：平成17年度道路政策評価通達集, 2005.
- 3) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案), 1998.
- 4) 松中亮治, 谷口守, 舛岡田渡史：複数の段階的整備プロセス決定基準における非採択プロジェクトの採択可能性に関する研究, 土木計画学研究・論文集, vol.22, pp.667-674, 2005.
- 5) 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, pp.2-13, 2002.
- 6) 小笹 俊成, 塚井 誠人, 藤原 章正, 張 峻屹：地域別評価指標に基づく道路事業評価システムの研究, 応用地域学会研究発表会, 2010.

(2011.8.? 受付)