

最適な交通ネットワーク形成プロセスに関する研究*

A Study on the Optimum Traffic Network Formation

赤堀 圭佑**, 青山 吉隆***, 中川 大****, 松中 亮治*****

by Keisuke AKAHORI, Yoshitaka AOYAMA, Dai NAKAGAWA, Ryoji MATSUNAKA

1. はじめに

近年我が国においては、公共事業を取り巻く環境は非常に厳しくなりつつあり、事業の妥当性を的確に評価する必要性が高まっている。

このような状況の中、道路整備に代表される交通プロジェクトに関しては、事業の妥当性を的確に評価する手法として費用便益分析を行うことが一般的になりつつある。しかし費用便益分析は、評価対象プロジェクトの有無比較から便益を算出する場合に用いられ、対象プロジェクトの有無がネットワーク形成プロセスに及ぼす影響までは一般に考慮することができない。

費用便益分析の代表的な指標であるB/Cが、ある基準値未満のプロジェクトは実施しないという前提が存在する場合を考えてみる。ネットワーク形成プロセスによっては、後続プロジェクトのB/Cが増加することにより、採択されるプロジェクト数が増加し、結果として実施可能な全プロジェクト完了後の総便益が増加する場合も有り得る。すなわち、B/Cによるネットワーク形成プロセスは、実施可能な全プロジェクト完了後の総便益が最大となる保証はなく、また、総便益を最大化するようなネットワーク形成プロセスとは異なると考えられ、その結果としての実施可能な全プロジェクト完了後のネットワークパターンも異なると考えられる^{1) 2)}。

そこで本研究では、まず、後述する仮想ネットワークにおいてシミュレーションを行い、最適な交通ネットワーク形成プロセスを探索する。ここで最適な交通ネットワーク形成プロセスとしては、実施可

能な全プロジェクト完了後の総便益が最大となるような形成プロセスであると考え、そのプロセスを、複雑な離散型組合せ問題の解法に優れた手法である遺伝的アルゴリズム³⁾を用いて明らかにする。そして、最適な形成プロセスと、B/Cによる形成プロセスにおいて、両者を比較するとともに、その差の要因を明確にすることを目的とする。

2. ネットワーク形成プロセスの探索手法

本章では、以下に示す二つのネットワーク形成プロセスを求めるときの、仮想ネットワークにおけるシミュレーション、および遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)の適用方法について述べる。

形成プロセス①: 全プロジェクトをB/Cが大きい順に実施するネットワーク形成プロセス

形成プロセス②: 最終的な総便益が最大となるネットワーク形成プロセス
(GAを用いて探索)

ただし、B/Cが2.0未満のプロジェクトは実施できないものとし、また、実施可能な全プロジェクト完了後の総便益(TENPV)を次式のように定義した。

$$TENPV = \sum_L R \cdot B_L - \sum_L R \cdot C_L \quad \text{式(1)}$$

B_L : プロジェクトLの便益

C_L : プロジェクトLの費用

R: 基準年次の貨幣価値に換算するための係数

(1) シミュレーションの設定

(a) 仮想ネットワークの形状

図-1に示すような、 5×5 、 3×3 の二つの格子状に配置されたノード間が、それぞれ単独の交通プ

*Key words: 交通網計画, 交通計画評価, 公共事業評価法

**学生員, 京都大学大学院工学研究科

(京都市左京区吉田本町 TEL&FAX 075-753-5759)

***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

*****正会員, 工修, 京都大学大学院工学研究科

プロジェクトによって結ばれ、さらに海峡横断プロジェクトによってそれら二つの格子状ネットワークが結ばれるような仮想ネットワークを想定する。なお、各ノード人口については、人口移動を考慮することも可能であるが、人口移動を記述するモデルによって、ネットワーク形成プロセスが大きく変化する可能性があるため、本研究では一律100万人で一定とした。

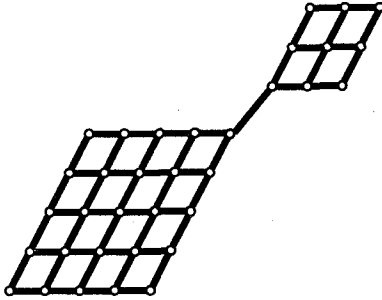


図-1 仮想ネットワークの形状

(b) 便益算出方法

発生する便益は所要時間の短縮及び走行費用の減少のみとし、各ノード間の最小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、発生時期の異なる便益を基準年の便益に換算して考察を行うため、まず式(2)に示すように、発生する便益を社会的割引率を用いて事業開始年次の価値に換算し、その値をさらに基準年における価値に換算した。

$$\text{(事業開始年次の便益)} = \sum_{i=d}^{d+T} \left\{ \frac{B_i}{(1+r)^i} \right\} \quad \text{式(2)}$$

- d : 事業開始年次から事業完了年次までの年数 (年)
- T : 供用開始年次から評価対象期間の最終年次まで (= 40年)
- t : 事業開始年次を0とする年次
- B_t : 事業開始年次から t 年目の便益
- r : 社会的割引率 (= 4%)

なお本研究では便益を算出する際に、道路整備に要する工期を考慮しないこととし、式(2)において $d=0$ とした。なお、評価対象期間は、現在の道路投資評価マニュアル⁴⁾に準拠し40年とした。また、本研究におけるシミュレーションでは、53プロジ

ェクトを30年で実施するとし、30年をプロジェクト数53で除した期間を1期とし、この1期に1プロジェクトを実施すると仮定した。

(c) 需要関数

便益算出の際に用いる交通量を求めるために、本研究では以下に示すグラビティタイプの需要関数を用いる。

$$D_{ij} = \alpha \cdot N_i^{\beta_1} \cdot N_j^{\beta_2} \cdot GC_{ij}^{\gamma} \quad \text{式(3)}$$

- i, j : ノード
- α, β, γ : パラメータ
- D_{ij} : ノード i からノード j への交通量
- N_i : ノード i の人口
- GC_{ij} : ノード i, j 間の一般化費用

また、パラメータ推定の結果を表-1に示す。

表-1 需要関数の推定結果

	パラメータ	t 値
定数項: $\ln \alpha$	6.056	14.17
出発地人口 (人): β_1	0.925	51.94
目的地人口 (人): β_2	0.994	55.85
一般化費用 (円): γ	-2.806	-158.16
決定係数 (補正 R^2)	0.845	

※使用したデータ

- ・交通量 : 道路交通センサス自動車起終点調査 (85,90,95年)
- ・人口 : 国勢調査人口 (85,90,95年)
- ・一般化費用 : 文献5) より引用

(d) 一般化費用とプロジェクト実施コスト

プロジェクト実施前後のリンク走行一般化費用、およびプロジェクト実施コストを表-2に示すように設定した。ここでプロジェクト実施コストの設定に関しては、旅行速度、時間価値、通行料金、走行費用原単位の四項目を考慮した。

表-2 設定した所要一般化費用と実施コスト

	通常プロジェクト	海峡横断プロジェクト
実施前一般化費用 (円)	6,400	32,000
実施後一般化費用 (円)	3,400	6,800
実施コスト (億円)	2,500	7,500

(2) 遺伝的アルゴリズムの適用方法

本研究では、最大化する目的関数として、式(1)に示す TENPV を考え、遺伝的アルゴリズムを適用し、ネットワーク形成プロセス②を求め、以下、その適用方法について簡単に述べる。

(a) 個体の遺伝子表現

本研究では、図-1に示す全53のプロジェクトに通し番号を付け、ネットワーク形成プロセスごとにプロジェクト実施順序にプロジェクト番号を対応させた線列により各個体の遺伝子表現を行った⁶⁾。

(b) 適応度、選択・淘汰、交叉方法

各個体の適応度として、式(1)に示す TENPV をそのまま用い、その適応度に基づき、エリート戦略・ルーレット選択を用いた。また交叉方法としては、Cycle Crossover 法および、コーディングを用いた一点交叉法の二種類の交叉方法を用いた⁷⁾。

3. シミュレーション結果の考察

(1) ネットワーク形成プロセスの比較

各期でB/Cが最大のプロジェクトから順に実施していく形成プロセス①と、最終的な総便益を最大にするようにプロジェクトを実施していく形成プロセス②、それぞれを図-2に示す。

形成プロセス①では、5×5における中央のノードを中心にネットワークの形成が進み、3×3側のネットワークが形成され始めるのは、5×5側のネットワークがある程度まで形成された後である。この形成プロセスにおいては、3×3側のプロジェクトが実施され始めるのは、53プロジェクト中で29番目であり、海峡横断プロジェクトが実施されるのは31番目と、比較的遅い段階で実施されている。

これに対し形成プロセス②では、特定のノードを中心として形成されていくわけではなく、分散してプロジェクトが実施されている。この形成プロセスにおいては、海峡横断プロジェクトが実施されるのは19番目、そして3×3側のプロジェクトが実施され始めるのは20番目と、比較的早い段階で実施されている。

このように、効率性を判断基準とするネットワーク形成プロセス①では、5×5側のネットワークの

みが早期に形成されるプロセスとなるのに対し、ネットワーク形成プロセス②では、海峡横断プロジェクト、および3×3側のネットワークも比較的早期に形成されるプロセスとなり、ネットワーク形成の早い段階で2つの格子状ネットワークを縦断する軸が形成されている。

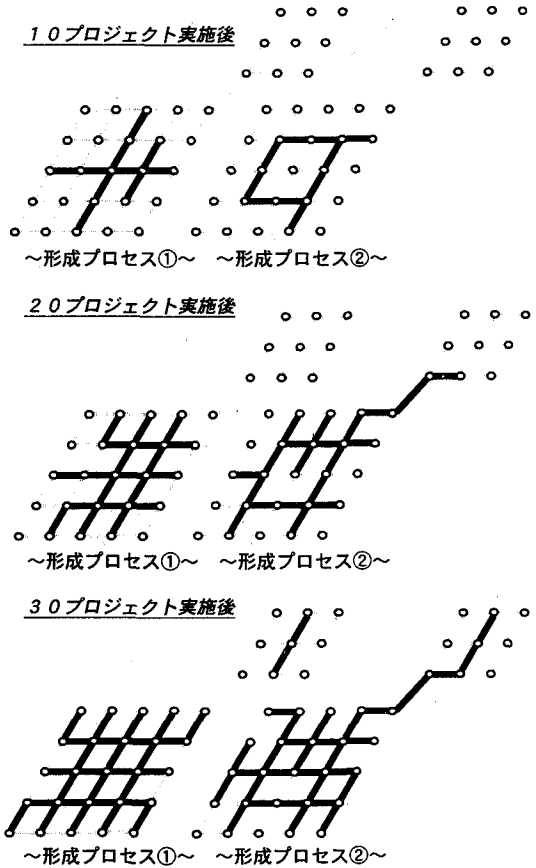


図-2 各段階におけるネットワーク形成状況

また、先述した二つの形成プロセスにおいて、実施可能な全プロジェクト完了後の TENPV、および採択されたプロジェクト数は、表-3に示すように大きな差が現れた。

表-3 シミュレーション結果の比較

	TENPV (兆円)	採択された プロジェクト数
形成プロセス①	11.73	38
形成プロセス②	12.64	47

(2) 最適な形成プロセスの決定要因に関する考察

本節では、最適なネットワーク形成プロセスの決定要因を明らかにするために、先述した二つの異なるプロセスによる、全ノード（都市）におけるアクセシビリティの分散を都市間の格差を現す指標として捉え、その推移を分析する。

ここで都市*i*のアクセシビリティ (Acc_i) は次式のように定義した。

$$Acc_i = \sum_j GC_{ij}^\gamma \quad \text{式(4)}$$

i, j : ノード

GC_{ij} : ノード*i, j*間の一般化費用

γ : 需要関数のパラメータ(=2.806)

このように設定したアクセシビリティを、一つのプロジェクトが実施される度に計算し、全都市における分散の変化を、二つのネットワーク形成プロセスにおいて算出した結果を、図-3に示す。

($\times 10^{-11}$)

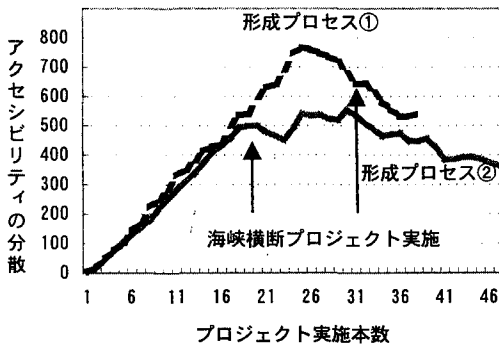


図-3 都市間の格差の推移

この図からも明らかのように、B/C という、効率性を判断基準とする形成プロセス①では、5×5側のプロジェクトだけが実施されていく前半においては、プロジェクトを実施するにつれ、都市間のアクセシビリティの格差が拡大している。その後、後半に3×3側のプロジェクト、および海峽横断プロジェクトが実施されることにより、都市間のアクセシビリティの格差は縮小していく。

これに対し形成プロセス②では、早い段階で2つの格子状ネットワークを縦断する軸を整備することで、形成プロセス①のような都市間のアクセシビリティの格差の拡大が抑えられている。

つまり、最適なネットワーク形成プロセスにおいては、都市間の格差を縮小するプロジェクトが早い段階で実施がされていることが明らかになった。

4. おわりに

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用い最適なネットワーク形成プロセスを求め、その形成プロセスはB/Cによる形成プロセスと異なることを示すとともに、実施可能な全プロジェクト完了後のネットワークパターンも異なることを示した。また両者の比較を行うことにより、最適なネットワーク形成プロセスを決定する要因についての考察を行った。その結果、最適なネットワーク形成プロセスにおいては、早期に軸を形成し、都市間の格差を縮小するプロジェクトの実施が必要であることを示した。

今後は、最適なネットワーク形成プロセスを決定する要因について、より論理的な考察を加えることを研究の課題とし、また、実際の我が国の高速道路ネットワークへのシミュレーションの適用を行う予定である。

なお、本研究は(財)運輸政策研究機構の研究補助を受けて実施したものであり、ここに謝意を表す次第である。

【参考文献】

- 1) Mehmet, A. T., M. Kurino, K. Kobayashi: Network Evolution Evaluation Rules, 土木計画学研究・論文集 No16, pp. 129-138, 1999. 9
- 2) 赤堀, 青山, 松中, 江口: 他リンクへの影響を考慮した大規模交通プロジェクトの整備効果, 関西支部年次学術講演概要, pp. IV-20-1, 2, 1999.
- 3) 北野 宏明: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1994.
- 4) 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), 1998.
- 5) 青山, 中川, 松中, 白柳, 野村: 地価指標を用いた都市間交通プロジェクトの便益計測システムの構築, 土木計画学研究・論文集 No17 (印刷中)
- 6) 田村, 杉本, 上前: 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 No482/IV-22, pp. 37-46, 1994. 1
- 7) 電気学会 GA 組合せ最適化手法応用調査専門委員会 編: 遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークスケジューリングと組合せ最適化, コロナ社, 1998.