

## 道路ネットワークの分権的運営形態に関するゲーム論的分析

山口大学工学部 正会員 ○榊原 弘之 山口大学大学院 学生員 高橋 啓介

## 1. はじめに

一般に、交通ネットワークを構成する各リンクは、高い相互関連性を有しており、集権的に運営することが望ましい。しかし、意思決定の迅速化等の要請から、分権的なネットワーク運営が選択されるケースも多いと考えられる。このような場合、分割しても効率性が損なわれないような運営形態にすることが必要となる。本研究では維持管理問題を対象に、有料道路のネットワークを分割して分権的に運営した場合の個別の運営者の行動をゲーム論的に分析する。

## 2. 分析の枠組

本研究における分析の枠組を図1に示す。まず、運営者ごとに管理区間が分割された道路ネットワークを所与として、運営者は「自らが管理する各道路リンク(以下リンク)がどの状態に達したら補修を行うか」を事前に決定する。道路ネットワーク上のリンクの劣化過程をマルコフ連鎖により記述し、交通量とは独立とする。各リンクが  $i=1, \dots, n$  の  $n$  通りの状態をとり得るものとし、最良の状態( $i=1$ )を除いた( $n-1$ )通りの状態について、「状態  $i$  に達したら来期までに完全に補修する」という( $n-1$ )通りの選択肢が存在するものとする。本研究ではこれを「補修戦略」(図2)と呼ぶ。

リンク  $l$  の状態が  $i_l$ 、交通量が  $v_l$  であるときのリンク  $l$  のリンクコスト関数を  $f_l(v_l, i_l)$  とする。  $m$  本のリンクから成る道路ネットワークで各リンクの状態の組  $(i_1, \dots, i_m)$  が生じたとき、各リンクの交通量はリンクコスト関数に基づいた利用者均衡配分により決定されるとする。すなわち、リンク  $l$  の交通量は各リンクの状態の組  $(i_1, \dots, i_m)$  に依存するものとし、  $v_l(i_1, \dots, i_m)$  と表す。  $(i_1, \dots, i_m)$  において運営者が自ら管理するリンク  $l$  から得る利得を次式で定義する。

$$R_l(i_1, \dots, i_m) = I_l(v_l(i_1, \dots, i_m)) - C_l(k_l) \quad (1)$$

ここで  $I_l(v_l(i_1, \dots, i_m))$  は交通量  $v_l(i_1, \dots, i_m)$  に規定される通行料収入であり、  $C_l(k_l)$  はリンク  $l$  において選択した補修戦略  $k_l$  の実行に要する費用を意味する。

各リンクにおける補修戦略が決定されれば、補修戦

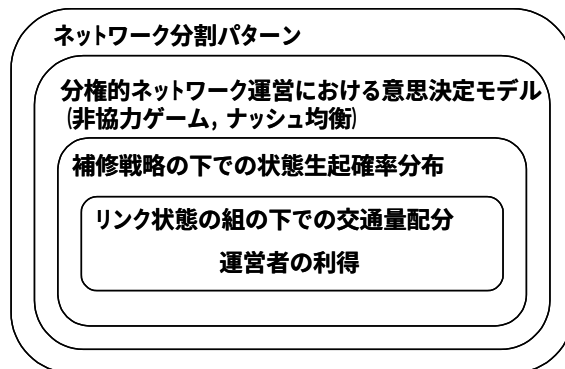


図1 分析の枠組

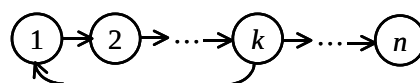
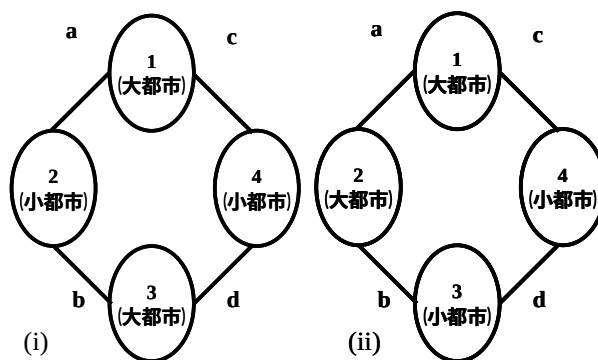
図2 補修戦略  $k$ 

図3 都市の配置パターン

略の下での各状態の定常確率分布から、運営者が各リンクから得る利得((1)式)の期待値を求めることができる。各リンクにおける補修戦略の組  $(k_1, \dots, k_m)$  の下での運営者  $j$  の利得の総和は次式で定義される。

$$P_j(k_1, \dots, k_m) = \phi((i_1, \dots, i_m), (k_1, \dots, k_m)) \sum_{l \in L_j} R_l(i_1, \dots, i_m) \quad (2)$$

ここで  $\phi((i_1, \dots, i_m), (k_1, \dots, k_m))$  は補修戦略の組  $(k_1, \dots, k_m)$  の下での各リンクの状態の組  $(i_1, \dots, i_m)$  の生起確率、  $L_j$  は運営者  $j$  が管理するリンクの集合である。各運営者は(2)式を最大化するように、補修戦略を選択し、ナッシュ均衡が実現するものとする。

## 3. 道路ネットワークの分割問題

ネットワークを分権的に運営する場合、あるリンクが劣化して状態が低下することにより、他の運営者は以下の2種類の影響を受けると考えられる。

キーワード 道路ネットワーク、分権的運営、維持管理問題、ゲーム理論

連絡先

〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9355

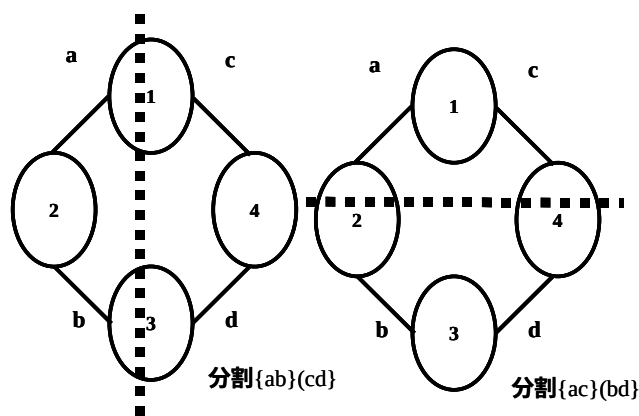


図4 ネットワークの分割パターン

**競合効果：**あるルート上のリンクの状態が低下した場合，他のルートへ利用者が転移すること。

**補完効果：**ある OD ペアについて，あるルート上のリンクの状態が低下した場合，OD 需要自体が減少すること。

本研究で数値計算と対象とする四角形ネットワークについて，都市の配置パターン及びネットワーク分割パターンを図3，図4に示す。都市規模の差は OD 交通量の違いとして与えられる。図3(i)では，分割{ab}{cd}において，2人の運営者は2大都市間の交通を巡って競争関係にある。一方，分割{ad}{bc}においては，2人の運営者はそれぞれ異なる大都市を起点としたネットワークを運営しており，2大都市間の移動に際しては，必ず両者の運営するリンクを利用する必要がある。図3(ii)では，分割{ab}{cd}と分割{ad}{bc}共に，どちらか一方のみが2大都市間のリンクを運営している。

#### 4. 数値計算結果に関する考察

以下では，リンクの状態数を  $n=3$  とし，利得関数((1)式)，リンクの状態の遷移確率行列，OD 需要を与える関数，リンクコスト関数を仮定して数値計算を行った結果を示す。表1～表4に利得関数を変化させたときの各運営者のナッシュ均衡点と，分割しない（ネットワークを集権的に運営する）場合の最適補修戦略の計算例を示す。通行料が増加し，補修費用が低下すれば利得は大きくなり，通行料の単価が減少して，補修費用が上昇すれば利得は小さくなる。表中の4つ1組の数値は，リンク  $a, b, c, d$  に関する補修戦略を表している。例えば(2,2,2,2)の場合，すべてのリンクにおいて状態2で補修する戦略がナッシュ均衡であることを意味する。結果の比較から，以下の点が明らかとなった。

・表1では，4つのケースすべてにおいて，分割{ad}{bc}のナッシュ均衡点と最適補修戦略が一致している。

表1 (i)・補完効果有の結果

| 利得         | 大       |                    | →                  | 小       |  |
|------------|---------|--------------------|--------------------|---------|--|
|            | ケース1    | ケース2               | ケース3               | ケース4    |  |
| 分割{ab}{cd} | 2,2,2,2 | 2,2,2,3<br>3,2,2,2 | 3,3,3,3            | 3,3,3,3 |  |
| 分割{ad}{bc} | 2,2,2,2 | 2,2,2,2            | 2,2,3,3<br>3,3,2,2 | 3,3,3,3 |  |
| 分割なし       | 2,2,2,2 | 2,2,2,2            | 3,3,2,2            | 3,3,3,3 |  |

表2 (i)・補完効果無の結果

| 利得         | 大       | →                  | 小       |
|------------|---------|--------------------|---------|
|            | ケース1    | ケース2               | ケース3    |
| 分割{ab}{cd} | 2,2,2,2 | 2,3,2,2<br>3,2,2,2 | 3,3,3,3 |
| 分割{ad}{bc} | 2,2,2,2 | 2,2,2,2            | 3,3,3,3 |
| 分割なし       | 3,3,3,3 | 3,3,3,3            | 3,3,3,3 |

表3 (ii)・補完効果有の結果

| 利得         | 大 → 小   |         |         |         |
|------------|---------|---------|---------|---------|
|            | ケース1    | ケース2    | ケース3    | ケース4    |
| 分割{ab}{cd} | 2,2,2,2 | 2,2,3,2 | 2,3,3,3 | 3,3,3,3 |
| 分割{ad}{bc} | 2,2,2,2 | 2,2,3,2 | 2,3,3,3 | 3,3,3,3 |
| 分割なし       | 2,2,2,2 | 2,2,3,2 | 2,3,3,3 | 3,3,3,3 |

表4 (ii)・補完効果無の結果

| 利得         | 大       | →                  | 小       |
|------------|---------|--------------------|---------|
|            | ケース1    | ケース2               | ケース3    |
| 分割{ab}{cd} | 2,2,2,2 | 2,3,2,2<br>3,2,2,2 | 3,3,3,3 |
| 分割{ad}{bc} | 2,2,2,2 | 3,3,2,2            | 3,3,3,3 |
| 分割なし       | 3,3,3,3 | 3,3,3,3            | 3,3,3,3 |

このうち，ケース3においては，一方の運営者がリンク  $a(c)$  を，他方の運営者がリンク  $b(d)$  を優先的に補修する戦略をとることにより，2つの大都市間に整備水準の高いルート  $a-b(c-d)$  が確保されている。このとき，ネットワークが分権的に運営されているにも関わらず，運営者間での自発的な補修戦略の調整がなされている。しかし，分割{ab}{cd}のナッシュ均衡点と最適補修戦略を比較すると，分割{ab}{cd}では補修のタイミングが遅れる。従って，この場合は分割{ab}{cd}よりも分割{ad}{bc}の方が望ましい。

・表3では，4つのケースを通じて，分割{ab}{cd}と分割{ad}{bc}のナッシュ均衡点はともに，分割なしの場合の最適補修戦略と一致しており，ネットワークを分割することによる影響は少ない。

・表2，表4では，どちらの分割においても，効率性の観点からは過大な維持管理が実施される。

#### 5. おわりに

本研究の分析結果から，分割形態が適切であればネットワークを分割することによって必ずしも非効率性が生じるとは限らないことが明らかとなった。また，ネットワークの分割の可否は，大都市が連担しているか分散しているか等の国土構造にも依存することが明らかとなった。