

## 新旧道路インフラの着工・補修タイミングに関する 分権的意思決定の分析

榊原弘之\*

田村伊正\*\* 梅本喬寛\*\*\*

道路ネットワークを構成する個別の道路は、互いに混雑緩和や負荷軽減などの機能補完性を有している。一方、道路ネットワークの整備には国、都道府県、市町村、道路会社等のさまざまな主体が関与しており、それらの主体間の連携が適切でない場合には、道路整備のタイミングの遅れなどの非効率性が生じる可能性がある。本論文では2都市間にすでに1ルートの道路が整備されている状況において、新たにもう一つのルートを整備する状況を想定する。その際、新ルートの着工と在来ルートの補修が、分権的に意思決定されるとする。機能補完の程度、在来ルートのインフラの状態が意思決定に与える影響を数値計算により示す。

### Analysis on Decentralized Decision Making on Construction and Repair of Roads Infrastructure

Hiroyuki SAKAKIBARA\*

Koremasa TAMURA\* Takahiro UMEMOTO\*

Road links forming network are complement each other. On the other hand, many organizations such as central government, local governments and private companies, are involved in construction and management of road network. When cooperation between organizations is not appropriate, inefficient decisions may be made. In this paper, we suppose the situation where one route exists between two cities and a new route is planned to be constructed. It is assumed that construction of the new route and repair of the existing route are decided by different decision making bodies. Numerical examples show that interaction between two routes and decision making bodies affects timings of construction and repair.

#### 1. はじめに

道路ネットワークは、国、都道府県、市町村、公的企業(道路公社等)など、複数の機関が管理する道路によって構成されている。これら各機関は必要に応じて協議・連携しつつ、それぞれの管理する区間

の運営に関する意思決定を行っている。

今後、国から地方への道路管理権限の移譲や、民間企業による部分的な道路運営への参入が進展すると予想される。その結果として、より分権的な道路ネットワーク運営が実現される可能性がある。その際、各機関の間の連携が有効に機能しなければ、非

\* 山口大学大学院理工学研究科准教授  
Associate Professor, Graduate School of Science and  
Engineering, Yamaguchi University

\*\* 榊間組広島支店土木事業部長  
The Head of Civil Engineering Dept.,  
Hiroshima Branch Office, Hazama Corporation

\*\*\* 九州北部リハウス㈱  
Kyushu Hokubu Rehouse Corporation  
原稿受理 2007年6月4日

効率的な意思決定が行われる可能性がある。

分権化による組織運営上の改善等を考慮せず、道路ネットワークの問題に限定した場合、ネットワーク運営の分権化は必ず非効率性をもたらす。しかし運営ルールが適切に設計された場合は、非効率な意思決定が行われる可能性を抑制することができる。筆者らは既往研究<sup>1)</sup>において、道路ネットワーク上における各運営主体に対する管轄領域の設定が、各運営主体の維持管理戦略に対して与える影響を分析した。その上で、非効率な意思決定が行われる可能性を抑制するための管轄領域の設定方法について議論を行った。

一方本論文では、道路ネットワークに新たな道路が追加される状況を想定する。その上で新たな道路の着工タイミングと、既存の道路の補修タイミングを選択する意思決定問題を定式化する。道路の新設はネットワーク上の交通流動を変化させる。分権的な運営主体は自らの管轄領域において最適なタイミングを選定する。ルート間、運営者間の相互作用の強さが意思決定に与える影響を分析し、分権的な道路ネットワーク運営上の課題について考察を行う。

## 2. 新旧道路インフラの着工・補修タイミングの意思決定問題

### 2-1 新旧道路インフラの着工・補修タイミングの意思決定問題

本論文では、新たな道路の建設が計画されている状況において、この道路の着工タイミングと、すでに整備されている道路の補修タイミングを意思決定する状況を想定する。Fig.1に示すように、ある地域に二つの都市が存在するものとし、これらをそれぞれ都市1、都市2と呼ぶ。都市1、2の間にはすでに1ルートの道路が整備されており、これを在来ルートと呼ぶ。一方、両都市を直結する第2の道路の建設が計画されており、これを新ルートと呼ぶこととする。

分権的な意思決定状況をモデル化するため、二つの道路運営主体を想定し、それぞれ運営者1、運営者2と呼ぶこととする。運営者1は新ルートを管轄し、新ルートを着工するタイミングを選択する。一方運営者2は在来ルートを管轄し、在来ルートの補修に関する意思決定を行うものとする。

実際の道路ネットワーク運営問題において、Fig.1の各ルート、各運営者の例を以下に挙げる。

【例1】高速道路の着工



Fig. 1 新旧道路インフラの着工・補修タイミングの意思決定問題

新ルート：高速道路

在来ルート：並行一般道路

運営者1：高速道路会社等

運営者2：並行一般道路の管理者(国、都道府県等)

【例2】バイパス道路の着工

新ルート：バイパス道路

在来ルート：旧道

運営者1：道路公社等

運営者2：旧道の管理者(国、都道府県、市町村等)

### 2-2 ルート間の機能補完関係と運営者間の相互作用

2-1で想定した状況において、運営者1は新ルート、運営者2は在来ルートに関する意思決定を行う。一般に両ルート、両運営者の間には、以下のような相互関係が存在するものと考えられる。

#### 1) ルート間の機能補完関係

新ルート、在来ルートはともに都市1、2を直結している。新ルートが利用可能になると、これまで在来ルートを利用していた都市1、2間の交通需要の一部が、新ルートに転移することが考えられる。新ルートの建設によって在来ルートの交通量が減少した場合、一般に運営者2が在来ルートの維持管理に要する費用が軽減される。

例えば、2-1の【例2】において、バイパス道路の開通によって旧道の交通量が減少した場合、舗装や構造物の劣化の進行が緩和され、維持管理費用が軽減されることなどが考えられる。また運営者2(旧道の管理者)が、沿道の騒音公害等の外部費用も考慮する必要がある場合、バイパスの開通は外部費用の軽減につながる場合もあると考えられる。

以上のように新ルートは、在来ルートが有している機能の一部を補完する役割を有しており、新ルートの開通は在来ルートを管理する運営者2の利得にも影響を及ぼす。ただし新ルートが在来ルートの機能を補完することができる程度は、新ルートと在来

ルートの空間的配置、在来ルート沿道からの交通需要等に依存するものと考えられる。

2) 運営者間の意思決定の相互作用

完全に分権的な意思決定状況においては、運営者1、2は自らの管轄領域(新ルート、在来ルート)のみを考慮して意思決定を行う。これはゲーム理論<sup>3)</sup>における非協力ゲームモデルが想定する状況である。しかし実際の道路ネットワーク運営においては、運営者はネットワーク全体における自らの管轄領域の役割をある程度考慮して意思決定するものと考えられる。2-1の【例1】における高速道路会社、【例2】における道路公社等は、それぞれ並行一般道路や旧道の状況をある程度考慮して着工タイミングを選択するものと考えられる。したがって、実際の運営者は自らの管轄領域外の状況をある程度考慮しつつ、最終的には分権的に意思決定を行うものと考えられる。

次章では以上のようなルート間、運営者間の相互作用を明示的に考慮した意思決定モデルを定式化する。

3. モデル化

3-1 モデルの基本的構成

本章では前章で想定した状況における各運営者の分権的意思決定をモデル化する。まず意思決定時点 $t$ 期を表し、 $t$ は $t = 1, 2, \dots, T$ のいずれかの値をとる有限期間の意思決定問題とする。 $T$ は最終意思決定時点である。

任意の意思決定時点 $t$ 期( $t = 1, 2, \dots, T$ )における在来ルートのインフラの状態は、状態変数 $s$ により一括して表されるものと仮定する。 $s$ は $s = 1, 2, \dots, S$ のいずれかの値をとるものとし、 $s = 1$ において在来ルートのインフラは最良の状態にあり、 $s = S$ において最も劣化が進行した状態であるとする。在来ルートのインフラの劣化過程はFig.2に示すような

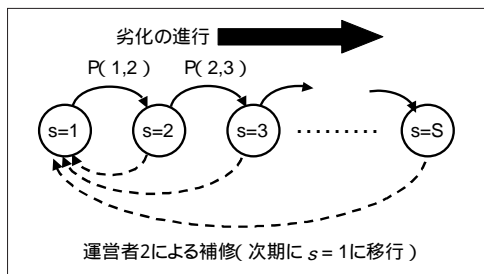


Fig. 2 在来ルートのインフラの劣化過程と補修劣化の過程と補修

マルコフ連鎖により記述されるものとし、一期後に $s$ から $s'$ へ遷移する確率を $P(s, s')$ と表す。劣化過程は $s = 1$ から $s = S$ へ向う不可逆的な一方向の過程である。一方在来ルートを管理する運営者2は、任意の意思決定時点 $t$ 期においてインフラを補修することができるものとする。 $t$ 期に補修が選択された場合、 $t$ 期におけるインフラの状態 $s$ にかかわらず、次期( $t + 1$ 期)においてインフラの状態は $s = 1$ の最良の状態に移行するものとする。

Fig.3に本モデルで想定する、各期 $t$ における意思決定順序を示す。まずFig.2に示す過程に従って、当該の期における在来ルートのインフラの状態 $s$ が決定する。この状態 $s$ を認知した上で、運営者1は新ルートを今期に着工するか否かを決定する(着工のタイミング決定)。在来ルートのインフラの状態と、運営者1の意思決定を受けて、運営者2は今期に在来ルートのインフラを補修するか否かを決定する(補修のタイミング決定)。

運営者1、2はともに各期に二者択一の選択を行う必要がある。ただし両者の意思決定は性質が異なる。運営者1がある期において新ルートの「着工」を選択した場合、それ以降の期においては「非着工」を選択することはできない。すなわち運営者1の選択肢「着工」は不可逆的な選択肢である。この点でFig.3は新ルートが未だ着工されていない期における意思決定順序を示すものといえる。一方運営者2がある期において「補修」を選択すれば、次期に在来ルートのインフラの状態は $s=1$ の最良の状態に移行する。しかしFig.2に示すように再びインフラの劣化が進行することから、運営者2はその後の期において再び「補修」を選択する必要が生じることもあり得る。

Fig.4は新ルートの着工以後の各期における意思

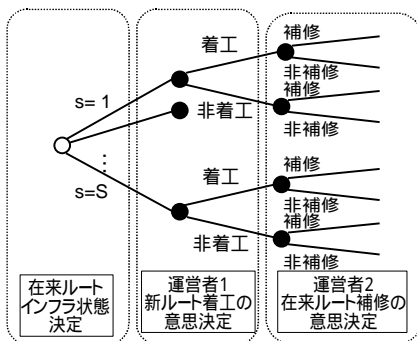


Fig. 3 各期における意思決定順序(新ルート着工以前)

決定順序を示している。新ルートの着工後、運営者1は具体的な選択肢を有さない。運営者2は在来ルートのインフラの状態を認知した上で、今期にインフラを補修するか否かを決定する。

$t = 1$  から  $t = T$  に至る各期の一連の意思決定過程をFig.5に示す。当初は新ルートが未着工のため、Fig.3に示す順序に従って意思決定が行われる。運営者2の選択に依存して、次期における在来ルートのインフラの状態が決定される。ある期において運営者1が新ルートの着工を選択した後は、Fig.4に示す順序に従って、運営者2が補修のタイミングを決定する。

各運営者の意思決定に伴って発生する費用を以下のように定義する。

$C_c$ : 新ルートの建設費用

$C_c(t)$ : ( $t - 1$ ) 期までに新ルートの着工が選択されなかった場合に、 $t$  期において発生する機会損失

$C_{r,s}$ : 状態  $s$  の在来ルートのインフラの補修に要する費用 ( $s = 1$  を除く)

$C_{m,s}$ : 状態  $s$  の在来ルートの経常的な維持管理に要する費用

各費用項目の意味と、費用の変動に関する仮定を以下に列挙する。

- $C_c$  は運営者1が新ルートの着工を選択した期に発生する費用であり、運営者1が負担する。着工の時期にかかわらず一定であると仮定する。
- $C_c(t)$  は  $t$  期において新ルートが未完成であることによって生じる損失である。これは「 $t$  期に新ルートが利用可能であった場合に生じる便益」と解釈することが可能である。運営者1が意思決定の際に考慮するものとする。本論文では、 $C_c(t)$  は  $t$  とともに増加するものと仮定する。この仮定は、新ルートが利用可能であることの便益が、時間とともに増大すると仮定していることを意味し、 $t$  が大きくなるほど新ルートを着工する必要性が高まる。
- $C_{r,s}$  は在来ルートの状態  $s$  のインフラを、次期までに  $s = 1$  の状態に補修する (Fig.2参照) ために必要な費用である。運営者2が在来ルートのインフラの補修を選択した期に発生し、運営者2が負担する。 $C_{r,s}$  は、 $s$  とともに増加するものと仮定する。これはインフラの劣化が進行するほど、補修によ

り多くの費用を要することを意味する。

- $C_{m,s}$  は当該の  $t$  期において在来ルートのインフラの補修が選択されない場合、経常的な維持管理のために必要な費用であり、運営者2が負担する。 $C_{m,s}$  は、 $s$  とともに増加するものと仮定する。これは、インフラの劣化が進行するほど、経常的な維持管理にもより多くの費用を要することを意味する。

### 3 - 2 相互作用を考慮したパラメータの導入

2 - 2 に示したように、新旧道路インフラを異なる運営者が管轄する場合においても、両ルート間、両運営者間には一定の相互作用が存在することが多いと考えられる。これらの相互作用をモデル中で明示的に考慮するために、以下の2種類のパラメータを導入する。

#### 1) ルート間の機能補完関係を考慮したパラメータ

新ルートによる在来ルートの機能補完と、それに伴う運営者2の負担軽減効果を考慮するため、新ルートの完成後、在来ルートの経常的な維持管理費用  $C_{m,s}$  が軽減されるものと仮定する。また  $C_{m,s}$  の割引率は一定であるとし、( $0 \leq \alpha < 1$ ) により表す。新ルート完成後の在来ルートの経常的な維持管理費用は  $C_{m,s}$  となる。

$\alpha = 1$  の場合、新ルートによる在来ルートの機能補完効果は存在せず、在来ルートの経常的な維持管理費用は  $C_{m,s}$  のままである。 $0 < \alpha < 1$  の場合は一部補完効果が存在する。 $\alpha = 0$  の場合は新ルートの完成後在来ルートの経常的な維持管理費用は  $0$  となり、新ルートは在来ルートの機能を完全に代替可能

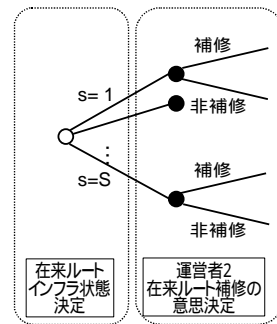


Fig. 4 各期における意思決定順序 (新ルート着工以後)

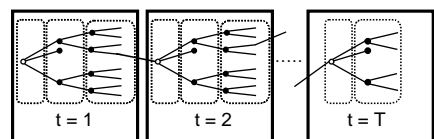


Fig. 5 各期の一連の意思決定過程

である。

## 2) 運営者間の意思決定の相互作用を考慮したパラメータ

各運営者が、自らの管轄領域外の道路ネットワークの状態をある程度考慮して意思決定するものと仮定する。このうち運営者2が意思決定する在来ルートのインフラの補修は、新ルートの状況に影響を及ぼさない。そのため、運営者2は新ルートの状況を考慮せずに独立に意思決定することが可能である。

そこで本論文では、運営者1のみが管轄領域外の在来ルートにおける発生費用をある程度考慮して意思決定するものと仮定する。後述するように、各運営者は意思決定時点以降の発生費用の現在価値の総和を最小化するように意思決定する。運営者1は新ルートに関わる発生費用と、在来ルートに関わる発生費用のうち比率  $\alpha$  の額の総和を最小化するような選択を行うものとする。

$\alpha = 0$  のとき、運営者1は在来ルートからの発生費用を全く考慮せず、新ルートからの発生費用のみを考慮して意思決定を行う。 $0 < \alpha < 1$  の場合、運営者1は在来ルートからの発生費用の一部を考慮する。 $\alpha = 1$  の場合は、運営者1は在来ルートからの発生費用をすべて考慮する。 $\alpha = 1$  の場合、運営者1は新ルート、在来ルートにより構成される道路ネットワーク全体からの発生費用を最小化するような選択を行うため、集権的な意思決定主体となる。

### 3-3 意思決定問題の定式化

3-1および3-2において設定されたパラメータを用いて、運営者1、2の意思決定問題を定式化する。まず以下の関数を定義する。

$V_0^1[s, t]$ :  $t$  期において新ルートが未着工であり、在来ルートのインフラの状態が  $s$  である場合の、運営者1の最小化された総費用

$V_0^2[s, t]$ :  $t$  期において新ルートが未着工であり、在来ルートのインフラの状態が  $s$  である場合の、運営者2の最小化された総費用

$V^1[s, t]$ :  $t$  期に新ルートが着工され、在来ルートのインフラの状態が  $s$  である場合の、運営者2の最小化された総費用

$V^2[s, t]$ :  $t$  期以前に新ルートが着工されており、在来ルートのインフラの状態が  $s$  である場合の、運営者2の最小化された総費用

本論文では、以上の四つの関数を総費用関数と呼

ぶ。総費用関数は  $t$  期以降に発生する全費用の  $t$  期における現在価値であるとする。

各総費用関数は以下のように決定される。まず  $T$  期(最終期)においては、新ルートは着工されるべきものと仮定する。一方、運営者2は  $T$  期において新たに補修を実施するインセンティブを持たないとする。以上の仮定により、次の4式が与えられる。

$$V_0^1[s, T] = C_c + C_f(T) + C_{m,s} \quad \dots\dots(1)$$

$$V_0^2[s, T] = C_{m,s} \quad \dots\dots(2)$$

$$V^1[s, T] = C_{m,s} \quad \dots\dots(3)$$

$$V^2[s, T] = C_{m,s} \quad \dots\dots(4)$$

$t$  期( $t < T$ )の総費用関数は、以上の4式より後ろ向き帰納法(backward induction)を用いて求められる。Fig.3に示すように、各期においては運営者1、運営者2の順に意思決定を行う。後ろ向き帰納法を用いる場合、より後の意思決定を先に決定する。そこでまず運営者2の総費用関数を求める。 $t$  期において新ルートが未着工であり、在来ルートのインフラの状態が  $(s > l)$  である場合の運営者2の最小化された総費用  $V^2[s, T]$  は、次式で与えられる。

$$V_0^2[s, t] = \min \left\{ C_{r,s} + V^2[1, t+1] C_{m,s} + \sum_{s'=s}^S R(s, s') V^2[s', t+1] \dots \right\} \quad (5)$$

ここで  $(t+1)$  期に運営者1が新ルート着工を選択しない場合は、

$$V^2[s, t+1] = V_0^2[s, t+1]$$

となり、新ルート着工を選択する場合は、

$$V^2[s, t+1] = V^2[s, t+1]$$

とする。また  $\beta$  は1期後の発生費用に対する時間割引率( $0 \leq \beta \leq 1$ )である。(5)式は運営者2が、 $t$  期に補修を選択した場合(第1項)と補修を選択しなかった場合(第2項)の総費用を比較し、より小さい方を選択することを意味している。すなわち運営者2は、第1項が第2項より小さい場合は  $t$  期に補修を実施し、第2項が第1項より小さい場合は補修を実施しない。

$t$  期に新ルートが着工され、在来ルートのインフラの状態が  $s$  である場合の、運営者2の最小化された総費用  $V^2[s, t]$  は、次式で与えられる。

$$V_1^2 = [s, t] \\ = \min \left\{ C_{r,s} + V_2^2 [1, t+1], C_{m,s} + \sum_{s'=s}^s R(s, s') V_2^2 [s', t+1] \right\} \dots (6)$$

$t$  期に新ルートが着工された場合、 $(t+1)$  期には新ルートが利用可能となっている。したがって、 $(t+1)$  期における総費用関数は  $V_1^2 [s, t+1]$  となる。(6)式と同様、第1項が第2項より小さい場合に運営者2は補修を選択する。

同様に  $t$  期以前に新ルートが着工されており、在来ルートのインフラの状態が  $s$  である場合の、運営者2の最小化された総費用は、次式で与えられる。

$$V_2^2 = [s, t] = \min \{ C_{r,s} + V_2^2 [1, t+1], \\ C_{m,s} + \sum_{s'=s}^s R(s, s') V_2^2 [s', t+1] \} \dots (7)$$

$(t+1)$  期における総費用関数、

$V_0^2 [s, t+1], V_1^2 [s, t+1], V_2^2 [s, t+1]$  の値が得られれば、(5), (6), (7)式の値は決定される。したがって、後ろ向き帰納法が適用可能である。また  $s=1$  の場合は、以下のように決定される。

$$V_0^2 [1, t] = C_{m,1} + \sum_{s'=1}^s R(1, s') V_1^2 [s', t+1] \\ V_1^2 [1, t] = C_{m,1} + \sum_{s'=1}^s R(1, s') V_2^2 [s', t+1] \dots (8)$$

$$V_2^2 [1, t] = C_{m,1} + \sum_{s'=1}^s R(1, s') V_2^2 [s', t+1]$$

次に  $t$  期における運営者1の総費用関数を決定する。運営者2の意思決定問題と同様、運営者1は  $t$  期に新ルートを着工した場合、しなかった場合の総費用を比較し、より小さい方を選択する。

$$V_0^1 [s, t] = C_{r,s} + V^2 [1, t+1]$$

の場合、すなわち  $t$  期に新ルート未着工という条件下で運営者2が補修を選択する場合、 $V_0^1 [s, t]$  は次式で与えられる。

$$V_0^1 [s, t] \\ = \min \{ C_c + C_n(t) + V_1^1 [s, t], \\ C_n(t) + V_0^1 [1, t+1] + C_{r,s} \} \dots (9)$$

$$V_0^2 [s, t] = C_{m,s} + \sum_{s'=s}^s R(s, s') V^2 [s', t+1]$$

の場合、すなわち  $t$  期に新ルート未着工という条件下で運営者2が補修を選択しない場合、 $V_0^2 [s, t]$  は次式で与えられる。

$$V_0^1 [s, t] \\ = \min \{ C_c + C_n(t) + V_1^1 [s, t], \\ C_n(t) + \sum_{s'=s}^s R(s, s') V_1^1 [s', t+1] + C_{m,s} \} \dots (10)$$

(9), (10)式とも  $(t+1)$  期の総費用関数の値と、 $V^1 [s, t]$  から帰納的に値を求めることができる。以下では(1)~(10)式で定式化される意思決定問題について、相互作用を規定するパラメータ、との関係について解析的検討を行う。

= 1 の場合、(2)~(4)式より次式が与えられる。

$$V_0^1 [s, T] = V^2 [s, T] = V^2 [s, T] = C_{m,s} \dots (11)$$

(5)~(7)式と(11)式より、 $t=1, \dots, T$  の任意の期において、次式が成立する。

$$V_0^1 [s, t] = V^1 [s, t] = V^2 [s, t] \dots (12)$$

(12)式は、新ルートの着工状況が運営者2の意思決定に影響しないことを意味している。= 1 の場合、新ルートは在来ルートの機能を代替することができない。このとき運営者2は、新ルートの着工タイミングとは独立に、在来ルートの補修タイミングを決定する。一方運営者1も、自らの新ルート着工に関する意思決定が運営者2の選択に全く影響を及ぼさないことから、在来ルートの状態とは無関係に着工時期を選択することになる。

次に = 0 の場合は、(1)式および(9)式はそれぞれ以下ようになる。

$$V_0^1 [s, T] = C_c + C_n(T) \dots (13)$$

$$V_0^2 [s, t] = \min \{ C_c + C_n(t), \\ C_n(t) + \sum_{s'=s}^s R(s, s') V^1 [s', t+1] \} \dots (14) \\ (t=1, \dots, T-1)$$

(13), (14)式において、在来ルートからの発生費用  $C_{r,s}, C_{m,s}$  は  $V_0^1 [s, t]$  に含まれない。つまり運営者1は新ルートに起因する費用  $C_c, C_n(t)$  のみを考慮して意思決定を行う。この場合も在来ルートの状態は新インフラの着工に影響を及ぼさない。

一方、 $0 \leq < 1$ 、 $0 < \leq 1$  の場合、運営者1、

Table 1 数値計算におけるパラメータ設定

パラメータ設定					
$t = 1, 2, \dots, 100 (T=100)$					
$s = 1, 2, 3, 4, 5 (S=5)$					
$R(s, s') = \begin{pmatrix} 0.99 & 0.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.98 & 0.02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.97 & 0.03 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.96 & 0.04 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$					
$C_s = 150$					
$C(t) = 0.1t$					
$(C_{r2}, C_{r3}, C_{r4}, C_{r5}) = (33, 36, 39, 42)$					
$C_{ms} = EXR(0.5(s-1))$					
$= 0.95$					

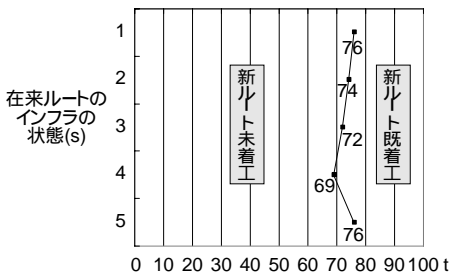


Fig. 6 新ルートの着工タイミング (  $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$  )

2の意思決定の間に相互作用が生じる。新ルートの完成後は、機能補完効果により、在来ルートからの発生費用が軽減されるため、新ルートの着工が近づくると運営者2は補修を手控えることが起こり得る。一方運営者1は在来ルートの費用(の一部)を考慮するため、在来ルートの劣化が進行している場合に、新ルートの着工時期を繰り上げる可能性が存在する。

4. 数値計算結果

前章で構築したモデルについて数値計算を行う。Table 1に以下の数値計算におけるパラメータの数値設定を示す。

Fig.6は  $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$ の場合の新ルートの着工タイミングを示している。図中の数値(76, 74, ..., 76)は在来ルートのインフラの状態ごとに、該当の期以降において、運営者1が新ルート着工を選択することを意味している。例えば在来ルートのインフラの状態が  $s = 1$  であるとき、第76期以降であれば、(9)、(10)式において、

$$V_0^1[s, t] = C_s + C_n(t) + V^1[s, t] \quad \dots\dots(15)$$

が成立し、運営者1は新ルートを着工する。Fig.6より、このケースにおいては早い場合で第69期、遅くとも第76期までに新ルートが着工される。

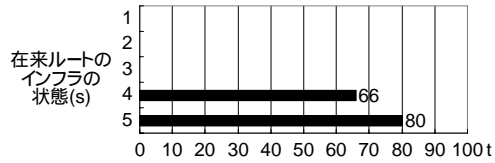


Fig. 7 在来ルートの補修継続期間 (  $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$  )

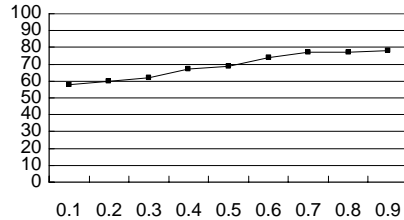


Fig. 8 と新ルート着工タイミングの関係 (  $\beta = 0.5, s = 4$  )

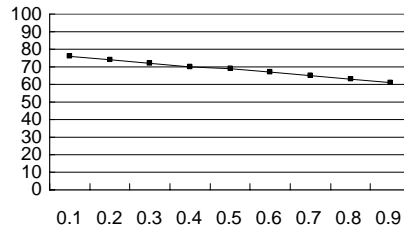


Fig. 9 と新ルート着工タイミングの関係 (  $\alpha = 0.5, s = 4$  )

在来ルートのインフラの状態によって、新ルートの着工タイミングは異なる。 $s = 1$  から  $s = 4$  までは、 $s$  が大きくなるほど(在来ルートのインフラの劣化が進行するほど)新ルートの着工タイミングが早期化している。在来ルートのインフラが劣化するほど、運営者2の総費用(5式)は増加する。 $\alpha > 0$ の場合、運営者1は在来ルートからの発生費用をある程度考慮して意思決定を行う。早期に新ルートを着工すればルート間の機能補完関係により、在来ルートからの発生費用が軽減されることから、新ルートの着工タイミングが早期化するものと考えられる。一方  $s = 5$  の着工タイミングは、 $s = 1$  の場合と同じ(第76期)である。

運営者1、2の意思決定の相関関係を明らかにするために、在来ルートの補修継続期間をFig.7に示す。Fig.7は在来ルートのインフラの状態が  $s = 4$  である場合、第66期までは補修が選択され、 $s = 5$  である場合は第80期まで補修が選択されることを示している。 $s = 1, 2, 3$  の場合は補修は選択されない。

以上より、第1期より第66期までの期においては、在来ルートのインフラの状態が  $s = 4$  に達した段階で補修が行われ、第67期以降においては、 $s = 5$  に達するまで補修が行われなかったことが明らかとなった。

新ルートが着工され、在来ルートからの発生費用が軽減される時期が近づいたために、 $s = 4$ の段階における補修が手控えられているものと考えられる。一方、 $s = 5$ の段階における補修は、新ルートの着工後まで継続されている。すなわち $s = 5$ に達した  
在来ルートのインフラは、次期において $s = 1$ に更新されている。Fig.6において $s = 5$ の着工タイミングが $s = 1$ と同じであるのは、運営者1が在来ルートの補修実施を予測するためであると考えられる。

次に相互作用を規定するパラメータ  $\alpha$  と新ルート着工タイミングの関係を分析する。Fig.8はTable 1のパラメータ設定で  $\alpha = 0.5$ として固定し、 $\beta$ を変化させた場合の $s = 4$ における新ルートの着工タイミングの変化を示している。 $\beta$ が小さく、新ルート供用開始に伴う在来ルートの維持管理費用の低減が大きいほど、新ルートが早期に着工されることが分かる。またFig.9は、Table 1のパラメータ設定で  $\alpha = 0.5$ として固定し、 $\beta$ を変化させた場合の $s = 4$ における新ルートの着工タイミングの変化を示している。 $\beta$ が大きく運営者1が在来ルートからの発生費用を大きく考慮するほど、新ルートは早期に着工される。

以上の数値計算結果に基づいて、運営者の分権的な着工・補修タイミング選択が及ぼす影響について考察を行う。新ルートによる在来ルートの機能補完効果が大きい場合( $\beta$ が小さい場合)、新ルートを早期に着工することによる在来ルートの総費用軽減が期待される。このような場合に運営者がより分権的に意思決定を行うと( $\alpha$ が小さい場合)、新ルートの着工が遅れることによる損失が生じる可能性がある。一方機能補完効果が小さい( $\beta$ が大きい)場合は、分権的意思決定による非効率性が生じる可能性は小さくなるものと考えられる。したがって、道路ネットワークの運営を分権化する際には、ルート間の機能補完関係が小さくなるように各運営者の管轄領域を設定する必要があると考えられる。

## 5. おわりに

本論文では、都市間に新たな道路の建設が計画されている状況を想定して、分権的な運営主体による着工・補修タイミングについてモデル分析を行った。ルート間の機能補完関係が大きく、運営主体が分権的に(管轄領域外を考慮せずに)意思決定を行う場合ほど、非効率的な意思決定が行われる可能性が高まると考えられる。一方、機能補完関係が小さい場合

には、分権的な意思決定による着工・補修タイミングへの影響は小さいものと考えられる。

以上の分析結果の政策的含意について考察を行う。実際の道路ネットワークにおいては、在来ルートに並行する新ルートを建設する場合に、既存ルートを運営する主体とは異なる主体に新ルートの建設・運営を委ねるケースが存在する。これまでは国等が上位の計画機関として着工タイミングの調整等を行ってきたため、本論文で議論したような非効率性が顕在化しなかったものと考えられる。しかし地方分権化や、ニュー・パブリックマネジメント<sup>4)</sup>における実施機関の裁量の拡大により、運営者間のコンフリクトが発生する可能性も考えられる。したがって、各運営者の選択を誘導するような運営ルールの設計が必要である。具体的には、新ルートの運営者に対して在来ルートの運営を同時に委ねたり、在来ルートの運営費用の一部負担を求めるなどのルールが必要とされる。以上の点に関しては、今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) 榊原弘之、高橋啓介、坂元鉄兵「道路ネットワークの分権的運営モデル」『土木計画学研究・論文集』Vol. 22, No. 1, pp. 19-30, 2005年
- 2) 梅本高寛「新旧社会基盤の維持管理・新設に関する統合的意思決定モデル」山口大学卒業論文、2002年
- 3) 岡田章『ゲーム理論』有斐閣、1995年
- 4) 大住荘一郎『ニュー・パブリック・マネジメント』日本評論社、1999年