

新旧インフラの統合的意思決定問題のゲーム論的分析

山口大学工学部 正員 ○ 榊原弘之 山口大学工学部 梅本喬寛

1. はじめに

本研究は既存のインフラ(旧インフラと呼ぶ)の補修と、新たに建設されるインフラ(新インフラと呼ぶ)の着工の統合的意思決定問題を取り上げる。特に、新・旧インフラの管理者(それぞれ新・旧プレイヤーと呼ぶ)による分権的な意思決定の下でもたらされる結果についてゲーム論的分析を実施する。

2. 意思決定問題の定式化

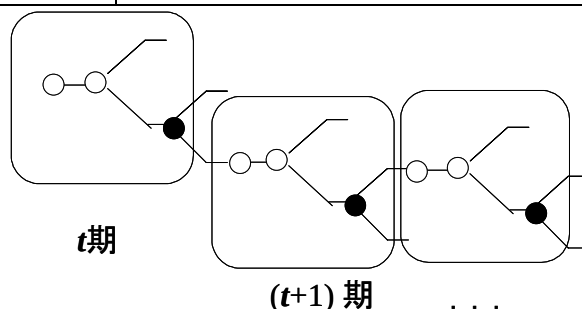
以下では新・旧インフラの着工・補修に関する意思決定問題を定式化する。意思決定時点を t 期とし、旧インフラの状態を $s(s=1,2,3,4,5)$ と表す。新・旧インフラの発生費用の項を表 - 1 に表す。さらに、旧インフラの劣化過程をマルコフ連鎖によりモデル化し、その遷移確率行列において、一期後に s から s' へ遷移する確率を $P(s,s')$ と表す。さらに時間割引率を β とする。

新インフラによる旧インフラの機能補完を明示的に考慮するため、新インフラの完成後、旧インフラから定常的に発生する費用 $C_{m,s}$ が一律に減少すると仮定し、その割引率を $\rho(0 \leq \rho \leq 1)$ と表す。つまり $\rho=1$ の場合新インフラによる旧インフラの機能補完は存在せず、 $0 < \rho < 1$ の場合は一部補完効果が存在し、 $\rho=0$ において新インフラは旧インフラを完全に代替可能であるとする。ここでは新・旧プレイヤーは独自の判断で着工、補修を選択するとする。新プレイヤーが旧インフラからの発生費用を負担する比率を α と表す。つまり $\alpha=0$ は、「新プレイヤーは旧インフラからの発生費用を全く負担しない」、 $0 < \alpha < 1$ は、「新プレイヤーは旧インフラからの発生費用の一部を負担する」、 $\alpha=1$ は、「新プレイヤーは旧インフラからの発生費用をすべて負担する」ことを意味する。

本研究における各プレイヤーの意思決定過程を図 - 1 に示す。まず各期において旧インフラの状態が決定される。次に新プレイヤーが今期における新インフラ着工の可否を選択し、旧プレイヤーは旧イン

表 - 1 新旧インフラからの発生費用

旧インフラからの発生費用	
$C_{r,s}$	補修費用(s と共に増加)
$C_{m,s}$	サービス水準低下に伴う損失(s と共に増加)
新インフラからの発生費用	
C_c	新インフラの建設費用(一定)
$C_n(t)$	t 期における機会損失(t と共に増加)



- 旧インフラの状態決定
- 新プレイヤーの意思決定(着工, 非着工)
- 旧プレイヤーの意思決定(補修, 非補修)

図 - 1 プレイヤーの意思決定過程

フラ補修の可否を選択する。 t 期において旧インフラの状態が s である場合の新・旧プレイヤーの意思決定は、以下に示す総費用を最小化する選択として定式化することができる。

(i) 新インフラ着工未選択時

旧プレイヤー：旧インフラ補修の意思決定
着工決定時

$$V_0^o[s,t] = \min \left\{ C_{r,s} + \beta V_1^o[1,t+1] C_{m,s} + \beta \sum_{s'=s}^n P(s,s') V_1^o[s',t+1] \right\} \quad (1)$$

未着工時

$$V_0^o[s,t] = \min \left\{ C_{r,s} + \beta V^o[1,t+1] C_{m,s} + \beta \sum_{s'=s}^n P(s,s') V^o[s',t+1] \right\} \quad (2)$$

ここで

$$V^o[s,t] = \eta[s,t] V_0^o[s,t] + \{1 - \eta[s,t]\} V_0^o[s,t]$$

$$\eta[s,t] = \begin{cases} 0 & ([s,t] \text{ で新インフラ未着工}) \\ 1 & ([s,t] \text{ で新インフラ着工}) \end{cases} \quad (3)$$

キーワード 新旧インフラ, 維持管理, 分権的意思決定, タイミング選択

連絡先 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 - 16 - 1・0836-85-9355・0836-85-9301)

新プレイヤー：新インフラ着工の意思決定

$$V_0^N[s, t] = \min \left\{ C_c + C_n(t) + \alpha V_0^O[s, t] + \beta C_n[t+1] C_n(t) + f[s, t] \right\} \quad (4)$$

ここで $f(s, t)$ は t 期において新インフラが着工されなかった場合の t 期における旧インフラ発生費用と来期以降の総費用の和を意味し、次式で与えられる。

$$f[s, t] = \begin{cases} \alpha C_{r,s} + \beta V_0^N[1, t+1] \\ \left(C_{r,s} + \beta V_0^O[1, t+1] \right. \\ \left. < C_{m,s} + \beta \sum_{s'=s}^n P(s, s') V_0^O[s', t+1] \right) \\ \alpha C_{m,s} + \beta \sum_{s'=s}^n P(s, s') V_0^N[s', t+1] \\ \left(C_{r,s} + \beta V_0^O[1, t+1] \right. \\ \left. > C_{m,s} + \beta \sum_{s'=s}^n P(s, s') V_0^O[s', t+1] \right) \end{cases} \quad (5)$$

(ii) 新インフラ完成後

旧プレイヤー：旧インフラ補修の意思決定

$$V_1^O[s, t] = \min \left\{ C_{r,s} + \beta V_1^O[1, t+1] + \rho C_{m,s} + \beta \sum_{s'=s}^n P(s, s') V_1^O[s', t+1] \right\} \quad (6)$$

$\rho=1$ の場合、新インフラが完成しても旧インフラから発生する費用は軽減されない。従って、補修に関する旧プレイヤーの意思決定は新インフラの有無に依存しない。一方、新プレイヤーも自らの新インフラ着工に関する意思決定が旧プレイヤーの選択に全く影響を及ぼさないことから、旧インフラの状態とは無関係に着工時期を選択することになる。また $\alpha=0$ の場合は、新プレイヤーは新インフラに起因する費用のみを考慮して意思決定を行なう。従ってこの場合も旧インフラの状態は新インフラの着工に影響を及ぼさない。

一方、 $0 \leq \rho < 1$ 、 $0 < \alpha \leq 1$ の場合、新旧両プレイヤーの意思決定の間に相互作用が生じる。新インフラの完成後は旧インフラから発生する費用が軽減されるため、新インフラの着工が近づく旧プレイヤーは補修を手控えることが起こり得る。一方新プレイヤーは旧インフラの費用の一部を負担するため、旧インフラの劣化が進行している場合、新インフラの着工時期を繰り上げる可能性が存在する。

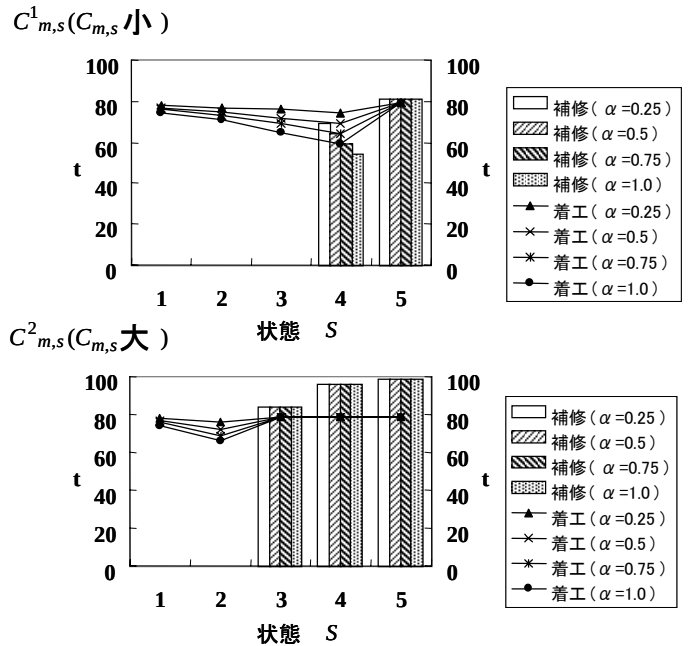


図 - 2 パラメータと意思決定の関係

3. 数値計算例

2. で構築したモデルで数値計算を実施し、パラメータとプレイヤーの意思決定との関連性を明らかにする。図 - 2 は、 $\rho=0.5$ として、 $C^1_{m,s}$ ($C_{m,s}$ が小さい場合) 及び $C^2_{m,s}$ ($C_{m,s}$ が大きい場合) について、新インフラの着工時期及び旧インフラの補修継続期間を示している。パラメータと意思決定の関係について以下の点が明らかとなった。

- ・ α が大きく、新プレイヤーが旧インフラからの発生費用を考慮するほど、着工時期が早くなり、補修が早期に終了する。
- ・ 旧インフラの劣化が進行するほど (s が大きくなるほど)、補修の継続期間が長くなる。この結果、 s が増加しても必ずしも着工時期は早期化しない。
- ・ $C_{m,s}$ が大きくなると (図 - 2 下)、補修の継続期間が長期化することにより、着工時期が遅くなるケースが存在する。

新旧プレイヤーが分権的に意思決定を行う状況では、着工時期が最適なタイミングと一致せず、総費用の増加をもたらす可能性が存在する。例えば α が小さい場合、新プレイヤーが旧インフラの状態と無関係に着工時期を選択する結果、旧インフラの補修費用の増加をもたらすことがある。効率性からの乖離の検討結果については講演時に譲る。