

長期視野からの軽微な空港施設補修政策に関する一考察*

国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 ○石倉 智樹

1. はじめに

空港施設ストックの保全は、安全な航空輸送サービスを支える重要なものである。特に離発着に利用される滑走路の保全には細心の注意が払われなければならない。一方、空港施設保全も公的な事業であるため、財政制約の基で効率的に実施すべきという性格を持つ。社会資本整備が進み既設ストックが増大すると、維持管理・更新費も増加し、予算制約が無視できない要素となる。劣化予測技術¹⁾、アセットマネジメント技術²⁾は、このような背景の下で発展してきたものであり、空港施設においても主に滑走路を対象に検討が進められてきた。しかし、小規模な舗装パッチや、安全面への影響度が比較的小さな誘導路・エプロン舗装を対象とする補修のような、軽微な維持管理については、アドホックな対応がなされている。そこで本研究は、長期的な視野から（ストックの質的劣化が許容可能な範囲という意味において）軽微な空港施設補修政策を検討するための一つの方法論について考察する。

2. 軽微な補修の長期視野最適政策モデル

本研究は、一定期間を対象に、ストックの質的劣化による不便益を考慮した、動的な純便益最大化計画問題として“軽微な”空港施設補修政策を取り扱う。この問題設定は、質的劣化により不便益は生じるが運航停止に至るほどの機能劣化は生じないこと、一定期間後には大規模なメンテナンスが予定されており終末期に達成すべき質的水準に明示的制約がないこと、を想定したものである。

モデルの前提として、1.各期には外生的な予算制約が存在する、2.各期の航空需要に応じて便益がもたらされており、需要成長率は施設ストック水準とは独立かつ外生とする、3.施設ストック水準の低下によって便益が減ずる、4.補修により施設ストックの質的水準が回復するが、劣化によって回復量が減少する、5.補修コストは一定とする、という条件を設ける。これらのうち、4.と5.の条件は、モデルを簡略化するために設定したものであるが、実質的には質的劣化により補修コストが増大することを意味する。以上の前提の下で、便益から補修コストを差し引いた純便益（現在価値化された）を、対象期間全体で最大化することを考える。モデルを以下のように定式化する。

$$\max_{\{c_t\}_{t=0}^{\infty}} \int_0^{\infty} [U(q_t) \cdot D(k_t) - c_t] e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad 0 \leq c_t \leq B_t \quad (2)$$

$$D(k_t) = 1/[1 + \exp(\gamma(\eta \cdot K - k_t))] \quad (3)$$

$$\dot{k}_t = -\delta k_t + (\alpha \cdot \frac{k_t}{K}) c_t \quad (4)$$

$$k_0 = K_0 \quad (5)$$

$$q_t = g(t) \quad (6)$$

キーワード：空港計画，動的最適化，Bang-Bang 制御，アセットマネジメント

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所 TEL046-844-5032

ここで, U : 便益, D : 不便益因子, q_t : t 期の航空需要, k_t : t 期の空港施設ストック質的水準, B_t : t 期の予算制約, K : 基準となる質的水準(完全に健全な状態), ρ : 割引率である. また, $\alpha, \gamma, \delta, \eta$ はパラメータである. (1)の最適化問題を解くために, 以下のように現在価値ハミルトニアンを定義する.

$$H = [U \frac{1}{1 + \exp(\gamma(\eta \cdot K - k_t))}]e^{-\rho t} + \lambda(-\delta k_t + \alpha \frac{f(k_t)}{K} c_t) \quad c_t \in [0, B] \quad (7)$$

最大値原理より, 最適経路は以下の条件を満たす.

$$\max_{\{c_t\}} H(c_t, k_t, \lambda_t) \quad \text{for all } t \in [0, T] \quad (8)$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial k_t} \quad (9)$$

$$\lambda(T) = 0 \quad (10)$$

ここで, $\frac{\partial H}{\partial c_t} = -e^{-\rho t} + \lambda_t \cdot \frac{k_t}{K} \alpha$ であるので, 制御変数 c_t は閉区間 $[0, B]$ において線形である. したがって, ハミルトニアンを最大化する c_t は, 端点解

$$c_t = \begin{cases} B_t & (\lambda_t > \frac{K}{k_t} \frac{e^{-\rho t}}{\alpha}) \\ 0 & (\lambda_t < \frac{K}{k_t} \frac{e^{-\rho t}}{\alpha}) \end{cases} \quad (11)$$

となり, すなわち Bang-Bang 解³⁾として得られこととなる. また, (9)の条件より, 随伴変数 λ については,

$$\dot{\lambda} = -U \frac{\gamma \cdot e^{\gamma(\eta K - k_t)}}{[1 + e^{\gamma(\eta K - k_t)}]^2} + \lambda_t (\delta - \frac{\alpha \cdot c_t}{K}) \quad (12)$$

という再帰的關係が得られる. これを, 初期条件(5), 横断性条件(10)および, 式(11)の条件と合わせて解くことにより, 最適経路 c_t, k_t が導出される.

3. 考察とまとめ

本モデル帰結の一つの特徴は, 各期における最適補修コストが, 式(11)に示されるように, ゼロ或いは予算制約限度の2値のみで表される点にある. すなわち, 各期のストック質的水準および補修のシャドウプライス(随伴変数として推定された)に応じて, 補修を実行するか実行しないかを判断すれば良いということとなる. 本モデルの挙動をシミュレーションにより検証したが, 紙面の都合上, 計算結果は講演時に示すこととする. 今後は, スtock質的水準の劣化と不効用の関係(本稿では式(3)の仮定), および劣化の過程と修繕による回復の過程について, 計量的な分析を基に精緻にモデルへ反映させることが課題である.

参考文献

- 1) 青木一也: 土木施設の劣化リスクの計量化手法, 土木計画学研究・講演集, No.36, CD-ROM, 2007.
- 2) 小林潔司, 上田孝行: インフラストラクチャ・マネジメント研究の課題と展望, 土木学会論文集, No.744/IV-61, pp.15-27, 2003.
- 3) Kamien, M.I. and Schwartz, N.L.: Dynamic Optimization, Elsevier, 1991.