

大阪大学大学院 学生員○松本 圭史

大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之

1. はじめに

近年、現場で蓄積された目視点検データを活用する統計的劣化予測手法に関する研究開発が著しい。なかでも、マルコフ劣化ハザードモデルの開発により、アセットマネジメントの実用化が急速に進展した。さらに、劣化過程に介在する施設ごとの異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾が提案され、社会基盤施設の劣化速度のベンチマーキング評価を行うことが可能となった。一方、既往の劣化予測モデルにおいては施設ごとの劣化速度を評価できる一方、領域ごとの劣化速度の評価を行えないという問題が存在する。そのため、領域ごとの劣化速度の評価を行う手法の開発が課題であった。以上の問題解決を図るために、本研究では領域ごとの劣化速度の評価を行うとともに、マネジメントマップの作成による評価結果の可視化を試みる。以下 2. で本研究の基本的な考え方を述べる。3. で混合マルコフ劣化ハザードモデルを説明する。4. で領域ごとの劣化速度の評価方法およびマネジメントマップの作成方法について記述する。最後に 5. で舗装の点検データを用いた実証分析を行う。

2. 本研究の基本的な考え方

統計的劣化予測を行う際に使用する点検データに着目すると、施設自体の状態を表す劣化情報（健全度やひび割れ幅等）と施設が置かれている環境を表す属性情報（交通量や降水量等）に大別される。また、社会基盤構造物（ここではコンクリート構造物を例に説明する）の劣化事象に着目すると、雨（酸性雨）が原因で発生する中性化や寒冷地で発生する凍害、海岸付近で発生する塩害被害など施設が置かれる環境ごとに様々な劣化要因が存在する。そのため施設の新規建設時には地域ごとの環境（属性情報）を考慮した建設が必要である。しかしながら、既往研究においては劣化情報を用いた施設ごとの劣化速度を評価することができる一方、領域（地域）ごとの劣化速度の評価が可能でないという問

題が存在した。そのため属性情報を用いた領域ごとの劣化速度を評価する手法が必要である。

本研究ではミャンマーの舗装を対象とした実証分析を行う。ミャンマーでは JICA のプロジェクト（貧困削減プロジェクト）によりインフラの整備が行われている。プロジェクトでは主に簡易舗装を用いて路線（道路）が建設されているが一部路線において重大な損傷が発生している。簡易舗装は費用面での安さや施工の容易さなどの利点がある一方で、耐久性が低いといった問題が存在する。そのため今後新たに路線を建設する際には、地域ごとの属性情報を考慮した舗装の選定（簡易舗装か耐久性の高い高級舗装かの選定）が必要である。

このような背景の下、本研究では社会基盤構造物の劣化が複合的な要因により発生する点に着目し、各路線の劣化速度（異質性）と属性情報との関係を推定することにより、属性情報を用いた領域ごとの劣化速度の評価を行う。具体的には、回帰分析を用いて劣化速度と属性情報の関係を推定することにより、領域ごとの劣化速度の評価を行うこととする。また評価結果を用いて新規建設路線を対象としたマネジメントマップの作成を行う。また、読者の便宜を図るために図-1 にマネジメントマップの作成フローを示している。

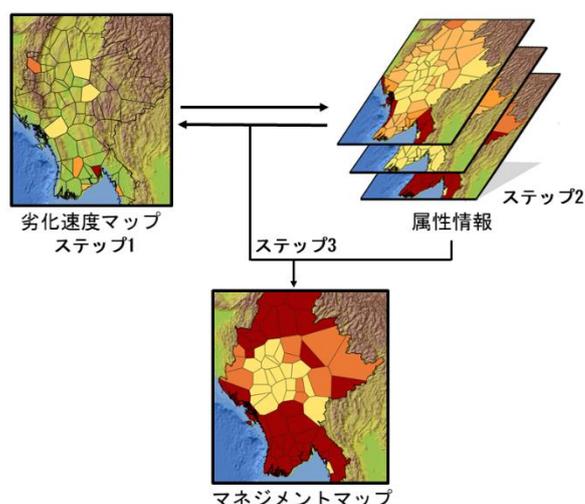


図-1 マネジメントマップ作成フロー

3. 混合マルコフ劣化ハザードモデル

各路線における劣化速度を評価する際に使用する混合マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾について説明する。点検において施設の健全度が離散的な I 段階で判定される場合、期間 z に健全度が i から j へ推移する確率 $\pi_{ij}(z)$ は

$$\pi_{ij}(z^k | \varepsilon^k) = \sum_{s=i}^j \prod_{m=i}^{s-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=s}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_m} \exp(-\theta_i \varepsilon^k z^k) \quad (1)$$

と表される。 θ_i は健全度 i のハザード率、 l_k は路線グループ k におけるある区間、 ε^k は各路線における異質性である。また、点検データが $k(k=1, \dots, K)$ 個の時、尤度は

$$\mathcal{L}(\Xi) = \prod_{i=1}^{I-1} \prod_{j=i}^I \prod_{k=1}^K \prod_{l_k=1}^{L_k} \pi_{ij}(z^k) \delta_{ij}^k \quad (2)$$

と表される。尤度が最大となるパラメータを推定することにより、個々の路線における劣化速度の評価を行うとする。(ステップ1)

4. 舗装劣化速度の領域別評価

マネジメントマップの作成にあたり領域ごとの属性情報が必要となるが、本研究で対象とするミャンマーのような途上国においては、属性情報に関する詳細なデータベースが完全に整備されていないという問題がある。そのため本研究では、属性情報が得られている地点の情報を用いて、大別的に領域ごとの属性情報を作成する。領域ごとの属性情報の作成にはボロノイ分割を用いている。(ステップ2)

各路線の異質性と各路線における属性情報との関係を回帰分析を用いて推定し、推定結果を用いてマネジメントマップの作成を行う。以下で具体的な回帰分析方法について説明する。ボロノイ分割により $k(k=1, \dots, K)$ 個の領域に分割されたとする。また、施設数が $i(i=1, \dots, I)$ 、施設が持つ属性情報が $n(n=1, \dots, N)$ 個存在するとする。このとき混合マルコフ劣化ハザードモデルにより推定された $\varepsilon_i(i=1, \dots, I)$ を被説明変数、施設が持つ属性情報 $X_{i,n}$ を説明変数として回帰分析を行う。回帰分析により推定されたパラメータにより $X_{k,n}$ を用いて $\xi_k(i=1, \dots, K)$ を推定することにより領域別の劣化速度を評価し、マネジメントマップの作成を行うとする。(ステップ3)

5. 実証分析

JICAにより建設された道路の目視点検データおよびMyanmarClimateReport(属性情報)のデータを用いて実

証分析を行う。路線ごとの劣化速度を混合マルコフ劣化ハザードモデルで推定し、推定結果と各路線の属性情報を用いて回帰分析を行った。回帰分析に際して、交通量と標高は最大値が1、降水量は100(mm/月)、幅員は5.5mを基準に0,1にダミー化することにより説明変数の基準化を行っている。推計結果は

$$\begin{aligned} \xi_i = & 2.86 \cdot \text{交通量} + 2.02 \cdot \text{降水量} \\ & - 2.28 \cdot \text{幅員} - 0.877 \cdot \text{標高} + 0.161 \end{aligned} \quad (3)$$

となった。推計結果を用いて交通量が750(台/日)、幅員が5.5mの場合のマネジメントマップを作成した結果を図-2に示す。これにより新規建設時における幅員が5.5m、事前調査で交通量が750(台/日)であった場合には、マネジメントマップ上で建設地域を参照し期待寿命が短ければ高級舗装、長ければ簡易舗装といった舗装選定を行うことが可能である。

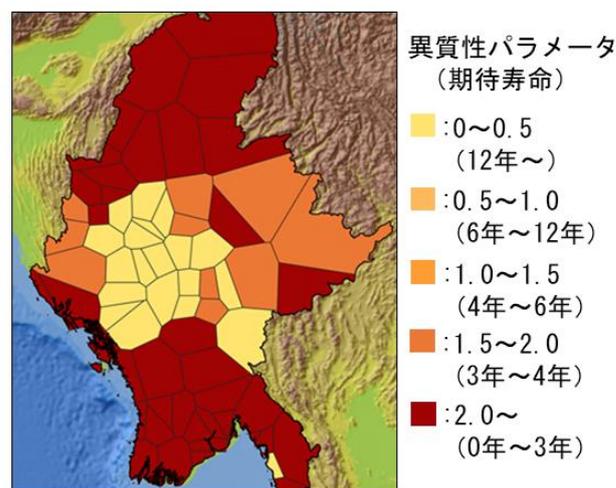


図-2 マネジメントマップ

6. おわりに

本研究では、社会基盤構造物の劣化が複合的な要因により発生する点に着目し、属性情報を用いた劣化速度の評価方法およびマネジメントマップの作成を提案した。具体的には、混合マルコフ劣化ハザードモデルにより推定された各路線の異質性パラメータと各路線における属性情報との関係を推定することにより、属性情報を用いた領域ごとの劣化速度の評価を行った。また、領域ごとの劣化速度をマネジメントマップの作成により、舗装の選定に対する使用法を提案した。

【参考文献】

- 1) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.