

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)  
令和元年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学  
研究開発プログラム」

「科学的エビデンスに基づく社会インフラのマネジメント  
政策形成プロセスの研究」

貝戸 清之  
(大阪大学大学院工学研究科, 准教授)

## 目次

1. 研究開発プロジェクト名 .....	2
2. 研究開発実施の具体的内容 .....	2
2-1. 研究開発目標 .....	2
2-2. 実施内容・結果 .....	2
2-3. 会議等の活動 .....	12
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況 .....	13
4. 研究開発実施体制 .....	13
5. 研究開発実施者 .....	15
6. 研究開発成果の発表・発信状況，アウトリーチ活動など .....	17
6-1. シンポジウム等 .....	17
6-2. 社会に向けた情報発信状況，アウトリーチ活動など .....	17
6-3. 論文発表 .....	17
6-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） .....	17
6-5. 新聞／TV報道・投稿，受賞等 .....	18
6-6. 知財出願 .....	18

## 1. 研究開発プロジェクト名

「科学的エビデンスに基づく社会インフラのマネジメント政策形成プロセスの研究」

## 2. 研究開発実施の具体的内容

### 2-1. 研究開発目標

以下に本プロジェクトの達成目標を箇条書きで、アウトプット（成果物）→アウトカム（社会への影響・効果）のように列挙する。

- ・科学的根拠を政策形成へ活用するための意見集約と理解促進の仕組み作り  
→管理者の人的・予算的リソースの制約と制約下における政策形成プロセスの明確化
- ・管理者が保有する点検データに応じた劣化予測やライフサイクル費用評価手法の開発  
→ 管理者の技量に依らず、情報量に応じた政策形成の同質性と公平性を担保する。  
→ 政策形成を下支えする科学的根拠の提示方法を確立する。
- ・インフラ長寿命化政策形成(個別施設毎の長寿命化計画の立案)プロセスへの試行的導入  
→ インフラ長寿命化に要する社会的費用削減を達成する。  
→ 本邦技術による海外途上国支援の道筋をつける(新しいインフラ輸出施策として)
- ・インフラ点検政策形成プロセスへのバックデータの提供  
→ 科学的根拠に基づく点検周期の最適化を図り、安全性確保を実現する。
- ・社会インフラのマネジメントを超えたデータサイエンス×マネジメント分野の創出  
→ 土木業界における新しい技術継承，知識共有，新規ビジネスの形態を創出する。  
→ 他の公共インフラ政策，教育・医療・金融政策などへの適用可能性を検討する。  
→ 政策と科学の共進化を目的とする新しい科学技術分野を創出する。
- ・以上を体系的に整理した書籍の出版  
→ 当該分野の広報と基礎資料の提供。

### 2-2. 実施内容・結果

#### (1) スケジュール

研究開発の実施項目	2019年度 (6カ月)	2020年度 (12カ月)	2021年度 (12カ月)	2022年度 (12カ月)
1. 科学的エビデンス創出フェーズ				
インフラ管理データの相互比較検証	←→			
インフラに対する統計的劣化予測	←→			
2. マネジメント政策形成フェーズ				
補修効果の事後評価手法の開発	←→			
補修プロファイリング手法の開発	←→			
3. 価値創造フェーズ				
評価実施と効果検証	←→			

## (2) 各実施内容

### 今年度の到達点①

インフラ管理者ごとに、マネジメント政策形成のために蓄積しているデータの相違を認識し、次年度以降に本格的に実施する統計的劣化予測手法や、マネジメント政策形成フェーズの開発に向けた方法論の特徴や課題を明らかにする。

#### 実施項目①：インフラ管理データの相互比較検証

##### 実施内容

インフラの目視点検データおよび維持管理に必要なデータは、管理者によって記録する内容が異なる（データベースの構成が異なる）。例えば、インフラの部材を最小単位としてIDで管理する場合がある。このような場合には同一部材に発生した複数の劣化・損傷事象は部材単位で集約され、個々の劣化・損傷事象を把握することはできない。一方、インフラの部材に生じる劣化・損傷事象を最小単位としてIDで管理する場合もある。この場合には、劣化・損傷ごとに劣化曲線の算出や、部材の寿命評価が可能となる。したがって、高速道路、国、地方自治体などの管理者のデータ（データベース）を相互比較して、点検データ（データベース）のデータ構成を把握するとともに、獲得される点検データに応じた劣化予測モデルを選定、必要に応じて開発することが重要となる。これらの問題意識を共有化するために、本プロジェクトの研究参加者とインフラ管理者を交えた研究会（以下、インフラマネジメント政策研究会）を立ち上げ、既存の点検手法およびデータベースに関する議論を交わすとともに、実点検データの提供を受け、統計的劣化予測を行う。さらに、現在は構造台帳、点検データ、補修履歴情報、図面などは全て独立したデータベースで管理されているが、マネジメント政策形成という観点から求められるデータベース構成（データベースの標準化）に関しても研究会の中で議論する。なお、研究会に参画するインフラ管理者は基本的には研究協力者という立場で参画頂くことになるが、議論を積極的に行うために、一部の管理者には研究実施者として参画頂く。

### 今年度の到達点②

代表的なインフラ管理者（例えば高速道路）を対象に点検データを取得して、マルコフ劣化ハザードモデル（データの取得がスムーズであれば、混合マルコフ劣化ハザードモデル）を試行的に適用して、本プロジェクトのアウトプットを研究実施者および研究協力者の間で共有し、次年度に向けた土台形成を行う。

#### 実施項目②：インフラに対する統計的劣化予測

##### 実施内容

インフラ管理者が蓄積している点検データに応じた統計的劣化予測を検討する。特に、高速道路など、点検データが質・量ともに充実している管理者に対しては研究代表者等が開発済みのマルコフ劣化ハザードモデルや混合マルコフ劣化ハザードモデルを直接的に使用できると想定しているが、地方自治体など点検データが質・量ともに不足している管理者に対しては、別途統計的劣化予測モデルの開発を手掛ける。データの量に関しては、データ量と推計精度との関係を考察して、信頼性の高い劣化予測および余寿命評価を行うために必要な点検データ数を統計的検定手法に基づいて評価する。さらに、データの質に関して、質が低いデータはデータの一部が欠損していることが多いことから、欠損データを潜在変数として統計的劣化予測モデルに組み入れるとともに、モデル

パラメータの推定をベイズ推定法を援用して構築する。統計分析の結果については、インフラマネジメント政策研究会にて、管理者間におけるインフラ寿命の相違に関する考察を行うとともに、マネジメント政策を形成する上での科学的エビデンス（劣化曲線や平均寿命）をどのようにアウトプットしていくのか（アカウンタビリティを果たすツールとしての視点も考慮する）について集中的に議論を行う

### （3）成果

#### 実施項目①：インフラ管理データの相互比較検証

成果：阪神高速道路，西日本高速道路，国道（近畿地方整備局管内）の橋梁に関するデータベースに対して，点検における損傷評価の相違，データの記録方法の相違などを比較して整理した（本年度は橋梁データベースを想定していたが，舗装や下水道に関しても一部入手可能であったので，本年度の成果に含める）。さらに，各管理者の所有している情報の量と質の相違によって，適用可能な劣化予測モデルを分類するとともに，マネジメント政策形成という観点における各手法の特徴，利点をまとめた。また，マネジメント政策形成に求められるデータベースの在り方について議論を交わす中で，従来言われてきたような中央集約型のデータベースではなく，ブロックチェーン技術を援用した分散型のデータベースについても検討していくことが必要との意見があったことから，次年度に集中的に議論することとした。この活動については，価値創造フェーズに含めるか，本フェーズと連動させていくかは今後判断していく。以下には，今回検討した中で最もデータ蓄積が乏しい管理者のデータベースを使用した舗装マネジメント政策の具体的事例を示す。

#### 劣化・属性情報を用いたマネジメントマップによる舗装選定手法の提案： ミャンマーにおける舗装選定への適用

#### 1. はじめに

近年，目視点検データに基づく統計的劣化予測モデル<sup>1)</sup>の発展に伴い，アセットマネジメントの実践的研究や実務への試行的導入が進んでいる。その一方で，社会基盤施設によっては点検自体が困難である場合や，点検が可能であっても人的/財政的リソースの制約によって点検データが蓄積していない場合も少なくない。しかし，社会基盤施設に対する点検データの獲得・蓄積することが難しい場合であっても劣化に影響を及ぼすと考えられる要因（構造条件，使用条件，環境条件）に関する属性情報が社会基盤施設のネットワーク全体または管轄領域全体で利用可能であることは多い（例えば，降水量や交通量など）。一部の社会基盤施設の劣化情報をもとに，属性情報などの代替情報によって管理対象となる社会基盤施設全体の劣化を間接的に予測することができれば，アセットマネジメントを実行する上で有用な技術となる。本研究では，点検データが使用可能な一部の社会基盤施設に対し，混合マルコフ劣化ハザードモデル<sup>2)</sup>を用いて劣化予測を行い，劣化予測結果とその施設が有する属性情報を用いてネットワーク全体の劣化予測を示したマネジメントマップを作成する。

#### 2. 本研究の基本的な考え方

実証分析で対象とするミャンマーの舗装選定問題に関してまず初めに説明する。ミャン

マーでは貧困削減プロジェクトが国際協力機構（JICA）の円借款事業として、建設省道路局のもと2013年から始動し、現在も進行中である。このプロジェクトでは、州・地域間の貧困格差の是正と均衡のとれた国家開発を達成することを目指し、貧困層への裨益効果が高く緊急性の高い生活基盤インフラ（道路・橋梁/ 電力/給水）の新設・改修が行われている。プロジェクトで建設される路線（道路）は主に簡易舗装を用いて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の舗装選定（簡易舗装か耐久性の高い高級舗装か）の選定の見直しが必要である。以上の問題意識のもと、本研究ではマネジメントマップの作成により新規建設時における舗装選定問題に取り組むとする。

具体的なマネジメントマップ概要を説明するとともに、作成フローを図-1に示す。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劣化速度と各路線が持つ位置情報を紐付けて劣化速度マップを作成する。この劣化速度マップは路線が位置する箇所及びその路線と同程度の劣化と想定される地域以外の劣化速度を表示することはできない。一方で、属性情報マップを劣化速度マップを再現できるように重ね合わせることでマネジメントマップを作成する。これにより劣化速度マップ上において表示されなかった領域の劣化速度の評価を行い、新規建設路線の舗装選定時の判断材料に用いることが可能となる。

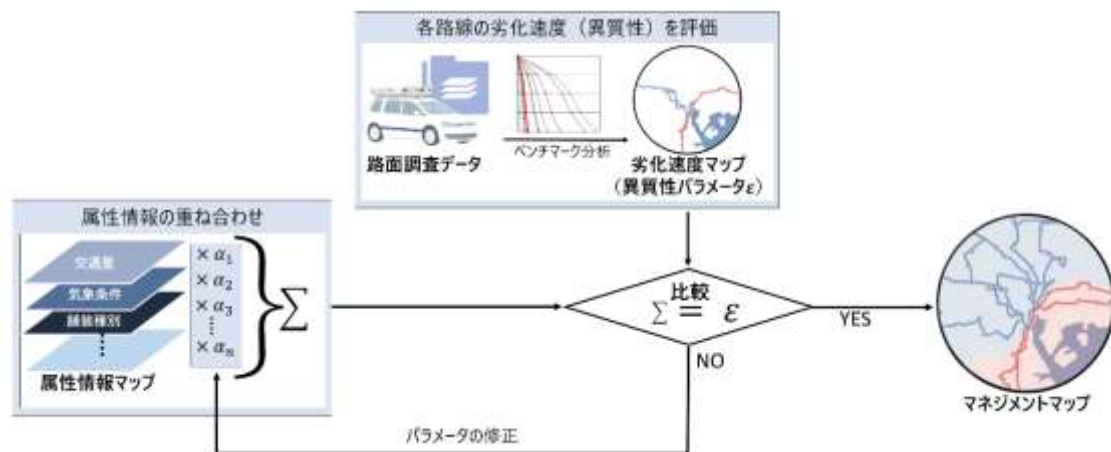


図-1 マネジメントマップの作成フロー

### 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<sup>2)</sup>について説明する。混合マルコフ劣化ハザードモデルは、施設全体の平均的な劣化予測にとどまらず、施設グループ間の異質性を考慮できるモデルである。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

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

と表される。  $\theta_i$  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、  $\varepsilon^k$  は各路線における異質性パラメータである。 また、グループ数が  $k(k = 1, \dots, K)$  個の時、尤度は

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

と表される。 この尤度が最大となるパラメータを階層ベイズ推計を用いて推定することにより、各路線の劣化速度の評価を行うこととする。

#### 4. マネジメントマップの作成方法

本研究では、属性情報が利用可能な地点の情報を使用しボロノイ分割を用いて、属性情報マップの作成を行った。作成された属性情報マップを劣化速度マップを正解値となるよう重ね合わせることでマネジメントマップを作成することとする。以下で具体的なマネジメントマップの作成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  $x_{i,n}$  を説明変数とする時、線形回帰モデルは、

$$\varepsilon_i = \beta_{i,0} + \beta_{i,1}x_{i,1} + \dots + \beta_{i,N}x_{i,N} + e_i \quad (3)$$

と表される。  $e_i$  は誤差項であり、  $e_i$  が平均0、分散  $\sigma^2$  の正規分布に従うとき、回帰分析により推定されたパラメータと領域ごとの属性情報  $X_{k,n}$  を用いて  $\tilde{\varepsilon}_i(i = 1, \dots, K)$  を

$$\tilde{\varepsilon}_i = \beta_{k,0} + \beta_{k,1}X_{k,1} + \dots + \beta_{k,N}X_{k,N} \quad (4)$$

と表現することにより領域別の劣化速度の評価を行い、マネジメントマップを作成する。

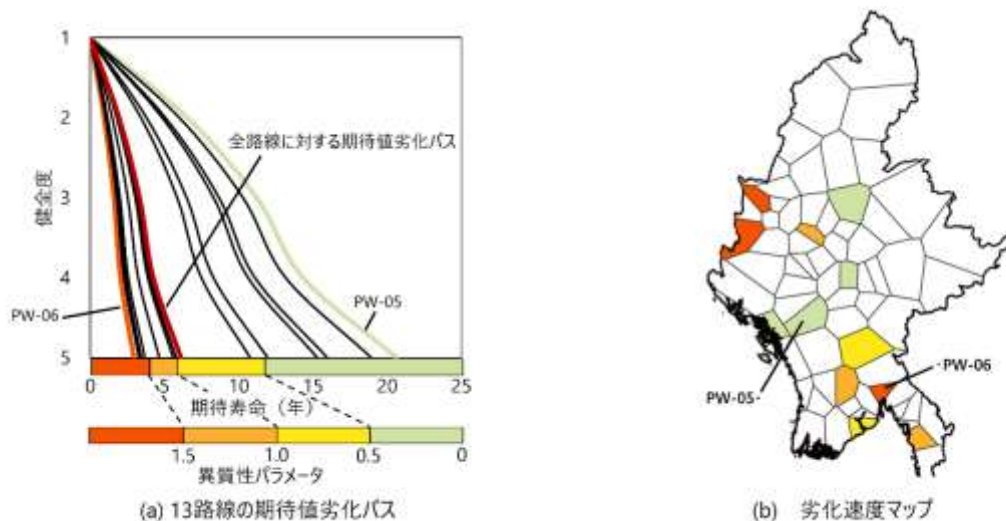


図-2 路線別期待値劣化パスおよび劣化速度マップ

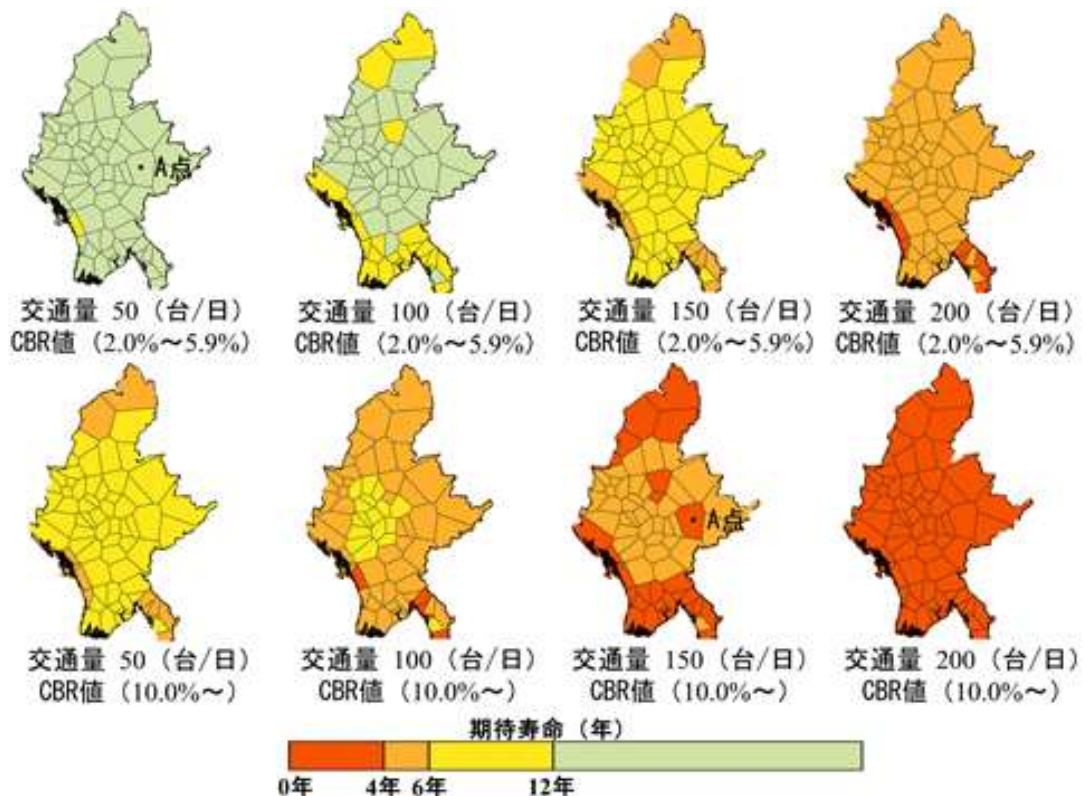
#### 5. 実証分析

JICA プロジェクトで建設された路線の目視点検データおよび Myanmar Climate Report (属性情報) のデータを用いて実証分析を行う。混合マルコフ劣化ハザードモデルにより各路線

の劣化速度を評価し、その劣化速度をカラーバー表示したものを**図-2(a)**に示す。また各路線が存在する領域を同色で表示したものを**図-2(b)**に示す。作成された劣化速度マップを正解値として属性情報マップの重ね合わせによりマネジメントマップを作成した。回帰分析に際して、交通量と降水量は最大値が1、CBR 値は2.0%~5.9%を0、10%以上を1と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、

$$\xi_i = 1.36 \cdot \text{交通量} + 0.451 \cdot \text{降水量} - 0.675 \cdot \text{CBR 値} + 0.137 \quad (5)$$

となった。推計結果を用いて作成した、交通量が4パターン、CBR 値が2パターンの計8パターンの条件別マネジメントマップを**図-3**に示す。それぞれのマネジメントマップにより、交通量と CBR 値の組み合わせと、当該領域における簡易舗装の期待寿命を把握することができる。例えば、図中の A 点に路線を建設するとき CBR 値が10.0%以上、月間交通量が150（台/日）と想定される場合、期待寿命が4年以下であるため高級舗装を用いた建設が望ましい。一方で、月間交通量が50（台/日）、CBR 値が2.0%~5.9%の場合、期待寿命が12年以上となり簡易舗装を用いた建設が望ましい。また CBR 値が10.0%以上の場合であっても、通行規制によって交通量を制限することで期待寿命を延ばすことができる。このような建設予定地域の条件に合ったマネジメントマップを使用することで舗装選定や通行規制の指標に活用することが可能である。



**図-3 条件別マネジメントマップ**

## 6. おわりに

本研究では、舗装点検データ及び属性情報を用いた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路線ごとの異質性パラメータとその路線が有する属性情報を用いてマネジメントマップを作成した. また, 条件別のマネジメントマップの作成による具体的な舗装選定や通行規制に対する活用法を示した.

## 参考文献

- 1) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.
- 2) 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.

## 実施項目②: インフラに対する統計的劣化予測

成果: 阪神高速技術から阪神高速道路の点検データを提供して頂き, マルコフ劣化ハザードモデルおよび混合マルコフ劣化ハザードモデルを試行的に適用して劣化曲線推定, 平均寿命予測を実施した. また, 舗装点検データや下水道管路データなども入手可能であったので, それらに対してもこれらのモデルを適用して劣化曲線や平均寿命を得た. さらに, 研究実施者間で, マネジメント政策を形成する上での科学的エビデンス (劣化曲線や平均寿命) をどのようにアウトプットしていくのか (アカウントビリティを果たすツールとしての視点も考慮する) を議論し, 案を作成した. さらに, 今後インフラの老朽化に伴い, 補修・補強がなされるインフラの増加が見込まれる, すなわち補修による点検データの欠損が数多く見込まれることから, サンプル欠損を考慮した統計的劣化予測モデルの定式化と推定手法の開発を行った. 以下には, サンプル欠損を考慮した劣化予測モデルと高速道路における適用事例を示す.

## サンプル欠損を考慮した劣化予測モデルに基づく簡易補修の実施タイミングの提案

### 1. はじめに

橋梁やトンネルに対する五年に一度の定期点検の実施が道路法施行規則で定められている. その際に, 安全性の向上と予防保全を目的に, 点検時措置 (点検時の簡易補修) が施されることがある. 点検時措置は補修のために損傷に再接近する必要がなく, さらに点検業務総額の数%の費用で実施可能であることから実務的にその有用性が確認されているものの, 点検時措置の効果を実証的に示した事例は存在しない. また効果が最大限発揮されるタイミングを明らかにすることにより, 点検時措置に関する実施判断の効率化が期待される. 点検時措置の効果の評価は, 点検時措置が実施された場合の劣化過程と, 実施されなかったと仮定した場合の劣化過程の比較が有効である. しかし, 前者は点検データから獲得可能な一方で後者は獲得不可能である. 本研究では点検時措置が実施されなかった損傷の劣化情報に基づいて後者の補完を試みるが, これらには点検データの収集に起因するサンプル欠損<sup>1)</sup>が生じているため, 従来の劣化予測モデルを用いると, 措置の効果を過小評価する恐れがある. 本問題をサンプル欠損バイアスとして議論を行う. サンプル欠損の選択的考慮によりサンプル欠損が発生する属性を特定した上でバイアスの除去を行い, 措置の効果の評価を行う. 加えて, 点検時措置を実施するべきタイミングの提案を行う.

## 2. 本研究の基本的な考え方

本研究で用いる点検データは、異なる2時点における点検に関するもので、順に前回点検、今回点検と称する。点検では措置前判定として損傷の状態が4段階の健全度で記録される。点検時措置の必要性が認められる損傷には点検時措置を実施の上、措置後判定として同様に4段階の健全度が再度記録される。一方、点検時措置が不要な損傷に対しては、点検時措置を実施しないが、便宜上措置後判定として措置前判定と同じ健全度が記録される。点検時措置は劣化速度が相対的に大きい損傷に対して実施されると仮定する。

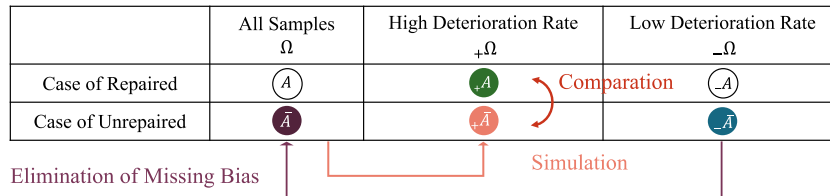


図-4 劣化過程の分類と評価の流れ

獲得されたサンプルの集合を $\Omega$ 、 $\Omega$ の要素のうち劣化速度が大きいものの集合を $+\Omega$ 、小さいものの集合を $-\Omega$ とする。この3つの集合に対して点検時措置が実施されたとした場合、されなかったとした場合に実現する6通りの劣化過程について考え、これを図-4に示す。このうち点検データとして獲得可能であるものは $+A$ 、 $\bar{A}$ である。 $+A$ および $\bar{A}$ は点検時措置の実施の有無のみならずサンプル元来の劣化速度が異なるため、これらの比較に基づいて点検時措置の効果の評価はできない。 $\bar{A}$ に発生しているサンプル欠損バイアスを除去することにより $\bar{A}$ を推定し、 $\bar{A}$ に従う劣化現象のシミュレーション結果の劣化が速く進展したものに着目することにより $+\bar{A}$ を推定する。 $+A$ と $+\bar{A}$ は点検時措置の実施の有無のみが異なる劣化過程の組であるため、これらの比較に基づいて点検時措置の効果の評価をする。

$-\Omega$ は劣化速度が小さいサンプルを要素として持つ集合であるため、 $\bar{A}$ を $-\Omega$ に基づいて推定する場合、劣化速度を過小評価してしまう。これは、劣化速度が大きいサンプルが $-\Omega$ の要素として獲得できない点を考慮していないため生じる問題で、このメカニズムで劣化速度が過小評価される問題をサンプル欠損バイアスと称する。また、劣化速度が相対的に大きいサンプルが欠損している状態をサンプル欠損と称する。サンプル欠損の発生の有無は劣化前の状態である前回措置後判定に依ると仮定し、前回措置後判定が $i(i = 1, 2, 3)$ において、それぞれサンプル欠損が生じているか否かを区別した $2^{4-1} = 8$ パターンを選択的考慮を行う。

## 3. モデルの定式化

損傷の進展過程にマルコフ劣化ハザードモデル<sup>2)</sup>を仮定する。期間 $z$ の健全度が $i$ から $j$ への推移確率 $\pi_{ij}(z)$ は

$$\pi_{ij}(z) = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_m} \exp(-\theta_k z) \quad (6)$$

である。 $\theta_i$ はハザード率である。サンプル $k(k = 1, \dots, K)$ について前回措置後判定 $i^k$ 、今回措置前判定 $j^k$ 、点検間隔 $z^k$ が得られ、 $\xi^k = (i^k, j^k, z^k)$ 、 $\Xi = (\xi^1, \dots, \xi^K)$ とする。サンプル欠損を考慮しない $\Xi$ が生起する尤度は

$$\mathcal{L}(\Xi) = \prod_{k=1}^K \prod_{i=1}^I \prod_{j=i}^I \pi_{ij}(z^k)^{\delta_{ij}^k} \quad (7)$$

である。パターン  $s (s = 0, \dots, 2^{I-1} - 1)$  の選択的考慮では、前回措置後判定を  $i$  としたとき、 $s$  の2進数表記  $s_{(2)}$  の下から  $i$  桁目  $d_i(s)$  が1ならばサンプル欠損を考慮し、0ならば考慮しない。パターン  $s$  の尤度は

$$\mathcal{L}_s(\Xi) = \prod_{k=1}^K \prod_{i=1}^I \prod_{j=i}^I \{\pi_{ij}(z^k)^{1-d_i(s)} \tilde{\pi}_{ij}(z^k)^{d_i(s)}\}^{\delta_{ij}^k} \quad (8)$$

であり、特に  $\mathcal{L}_0(\Xi) = \mathcal{L}(\Xi)$  である。 $\tilde{\pi}_{ij}(z)$  は修正推移確率で

$$\tilde{\pi}_{ij}(z) = R(j|i, \boldsymbol{\beta}) \pi_{ij}(z) \quad (9)$$

と表される。補正係数  $R(j|i, \boldsymbol{\beta})$  は、理論的な健全度分布  $P(j|i, \boldsymbol{\beta})$  に対する観測された健全度分布  $H_{ji}$  の比である。 $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) < 1$  ならばサンプル欠損が生じており、 $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1$  ならば生じているとはいえない。 $d_i(s) = 1$  である  $i$  に対して  $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1 + \gamma_s$  となる  $j$  が存在する  $s$  については、サンプル欠損が生じているとの仮定と結果が矛盾するため、パターン  $s$  を棄却する。 $\gamma_s$  は十分小さい正数であり、棄却に関する余裕である。

マルコフ劣化ハザードモデルにおいて、健全度が1から  $j$  に推移するために要する時間の累積分布関数は

$$F_j(\zeta_j) = \prod_{k=1}^{j-1} \theta_k \sum_{k=1}^{j-1} \frac{1 - \exp(-\theta_k \zeta_j)}{\theta_k \prod_{m=1, \neq k}^{j-1} (\theta_m - \theta_k)} \quad (10)$$

である。これを用い、 $F_j^{-1}(\alpha)$  によりシミュレーションの結果下側  $100\alpha\%$  点を得る。

#### 4. 推計手法

${}_+A$  の推定にあたっては、 ${}_+\Omega$  にサンプル欠損を考慮しない推計を行う。尤度は式(7)に基づく。パターン  $s$  の推計を考える。 ${}_+\bar{A}_s$  の推定にあたっては、まず、 ${}_-\Omega$  にサンプル欠損の選択的考慮により  $\bar{A}_s$  を推定する。尤度は式(3)に基づき、 $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1 + \gamma_s$  に従い棄却の可否を判断する。ただし、 $\gamma_s = 0.1$  とする。 $\bar{A}_s$  に従う劣化現象を式(10)を用いてシミュレーションし、下  $100 \cdot {}_+K / ({}_+K + {}_-K)\%$  点相当の結果を  ${}_+\bar{A}_s$  として得る。

#### 5. 実証分析

橋梁管理者により収集された点検データを用い、実証分析を行う。なお、実証分析では点検時措置として行われた防錆剤の効果に着目する。

$\bar{A}_s$  の推定結果を図-5に示す。ただし、推計が収束した  $s = 0, 2, 4, 6$  のみ示す。 $s = 0, 2, 6$  は  $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1 + \gamma_s$  により棄却され、 $4 = 100_{(2)}$  よりサンプル欠損は前回措置前判定が3のサンプルで生じていると判断できる。

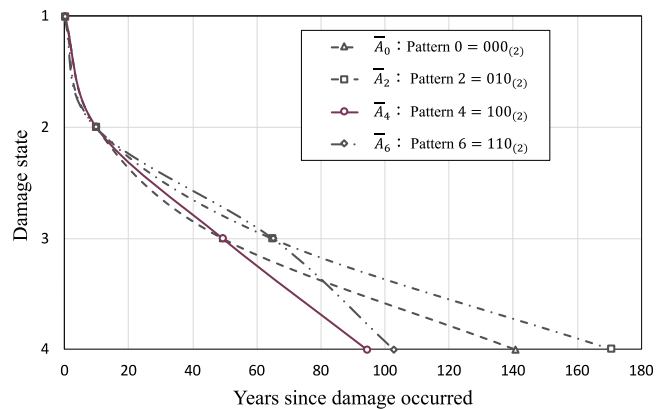


図-5 サンプル欠損を考慮した劣化予測結果

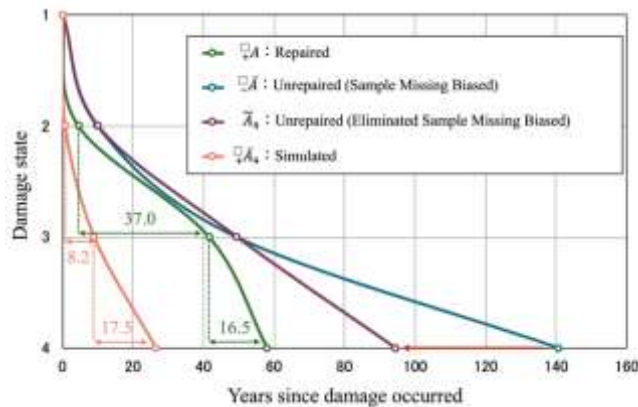


図-6 点検時措置の有無による劣化予測の相違

${}_+A, {}_+\bar{A}_4, {}_+\bar{A}_4$ の推定結果を図-6に示す。これらとの比較を目的に、 ${}_-\bar{A}$ の推定結果も示す。 ${}_-\Omega$ にサンプル欠損を考慮しない推計を行い、尤度は式(2)に基づく。

${}_-\Omega$ に対してサンプル欠損を考慮しなかった場合の劣化過程が ${}_-\bar{A}$ であり、考慮した場合の劣化過程が ${}_+\bar{A}_4$ である。前者が健全度3から4にかけて寿命が伸びている一方で、後者は伸びが抑えられ、サンプル欠損による劣化速度の過小評価が解消されていることが確認できる。

${}_+\Omega$ に対して点検時措置が実施された場合の劣化過程が ${}_+A$ であり、実施されなかったと仮定した場合の劣化過程が ${}_+\bar{A}_4$ である。点検時措置の実施により、健全度2から3へ推移するために要する年数が37.0年から8.2年と短縮されていることが確認できる。一方、健全度3から4へ推移するために要する年数はいずれも17年程度であり、点検時措置の効果は確認されず、状態が著しく悪い損傷への効果は期待されない。つまり、以下に挙げる場合に点検時措置の実施は有効であるといえる。

- 健全度3以上の損傷に対して、点検時措置の実施により健全度2以下まで回復させられる見込みのある場合
- 健全度2以下の損傷に対して、次回点検までに健全度3以上に進展する恐れが大きく、健全度2以下に留めさせられる見込みのある場合

以下に挙げる場合は点検時措置の効果は有意に見られないといえるため、実施を見送った上で本補修による補修を行う方が効率的である。

- 点検時措置を実施しても健全度3以上に留まる見込みのある場合

## 6. おわりに

点検データの収集に起因するサンプル欠損を選択的に考慮した上で点検時措置の効果の評価を行い、点検時措置を実施すべきタイミングの提案を行った。

### 参考文献

- 1) 小林潔司, 熊田一彦, 佐藤正和, 岩崎洋一郎, 青木一也: サンプル欠損を考慮した舗装劣化予測モデル, 土木学会論文集F, Vol.63, No.1, pp.1-15, 2007.
- 2) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.

### (4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

データの入手がどれほど進むかによって、研究の進捗が大きく左右される状況であったが、研究開始以前より各管理者とのネットワークが構築できていたために、データのやり取りはスムーズであった。そのため、当初の予定と比較してやや研究は進んでいると判断できる。「科学的エビデンスに基づく社会インフラのマネジメント政策形成プロセス」に必要な要素技術の開発のみならず、次年度は政策形成プロセスの研究にも力を入れていく予定である。

## 2-3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2019/10/4	研究打ち合わせ	大阪大学	研究概要の説明, 役割分担
2019/10/8	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2019/10/21	研究打ち合わせ	大阪大学	研究の進捗確認
2019/11/7	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2019/11/18	研究打ち合わせ	大阪大学	研究の進捗確認
2019/12/4	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2019/12/12	研究打ち合わせ	阪神高速	研究の進捗確認
2019/19	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2020/1/10	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2020/1/18	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2020/1/23	研究打ち合わせ	阪神高速技術	研究の進捗確認
2020/2/10	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2020/3/6	研究打ち合わせ	京都大学	研究の進捗確認
2020/3/31	研究打ち合わせ	大阪大学	研究の進捗確認

### 3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

特に該当なし。

### 4. 研究開発実施体制

#### (1) 科学的エビデンス創出グループ (貝戸清之)

大阪大学大学院 工学研究科

京都大学 経営管理大学院

東北大学 災害科学国際研究所

株式会社 パスコ

阪神高速技術 株式会社

株式会社 三菱総合研究所

実施項目①： インフラ管理データの相互比較検証

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「点検ビッグデータを用いたデータサイエンス技術によってインフラの寿命や、補修・更新に関する需要を予測する（科学的エビデンスを提示する）ことは可能か」に対する解決策を検討するために、インフラ管理者ごとに保有情報の相違を明らかにする。

実施項目②： インフラに対する統計的劣化予測

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「点検ビッグデータを用いたデータサイエンス技術によってインフラの寿命や、補修・更新に関する需要を予測する（科学的エビデンスを提示する）ことは可能か」に対する解決策を検討するために、統計的劣化予測手法の開発と実際の目視点検データを用いた実証分析を行う。

#### (2) マネジメント政策形成グループ (貝戸清之)

大阪大学大学院 工学研究科

京都大学 経営管理大学院

東北大学 災害科学国際研究所

株式会社 パスコ

阪神高速技術 株式会社

株式会社 三菱総合研究所

実施項目①： 補修効果の事後評価手法の開発

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「劣化予測結果をどのよう

に活用することによって老朽化インフラに対するマネジメント政策形成プロセスを進化させることができるのか」に対する解決策を検討するために、インフラの劣化予測に重大な影響を与える補修行為に対する影響を考慮した劣化予測とライフサイクル費用分析手法を開発する。

実施項目②： 補修プロファイリング手法の開発

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「劣化予測結果をどのように活用することによって老朽化インフラに対するマネジメント政策形成プロセスを進化させることができるのか」に対する解決策を検討するために、補修戦略の選定を行うための補修プロファイリング手法を提案する。

### (3) 価値創造グループ (貝戸清之)

大阪大学大学院 工学研究科

京都大学 経営管理大学院

東北大学 災害科学国際研究所

株式会社 パスコ

阪神高速技術 株式会社

株式会社 三菱総合研究所

実施項目①： 評価実施と効果検証

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「劣化予測結果が、補修・更新計画立案を超えたさらなる価値創造を成し得るのか」「本プロジェクトで取り組むデータサイエンス技術が他分野（不完全情報下において意思決定・政策形成が求められる分野）のマネジメント政策形成へ適用可能であるのか」に対する解決策を検討するために、インフラマネジメント研究会での議論を中心に、本プロジェクトにおける分析結果全体を俯瞰的に評価するとともに、政策立案を超えた本プロジェクトの波及効果、波及効果を達成するために必要な追加開発項目（今後の課題）を抽出する。

## 5. 研究開発実施者

### 科学的エビデンス創出グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
貝戸 清之	カイト キョユキ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	准教授
小濱 健吾	オバマ ケンゴ	大阪大学大学院	NEXCO西日本高速道路 学共同研究講座	特任准教授
水谷 大二郎	ミズタニ ダイジロウ	東北大学	災害科学国際研究所	助教
小林 潔司	コバヤシ キヨシ	京都大学	経営管理大学院	特任教授
青木 一也	アオキ カズヤ	株式会社パスコ	経営戦略本部 技術革新部	室長
塚本 成昭	ツカモト シゲアキ	阪神高速技術 株式会社	技術部	課長
慈道 充	ジドウ ミツル	一財)阪神高速道 路技術センター	調査研究部 調査研究第二課	係長
二宮 陽平	ニノミヤ ヨウヘイ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	日本学術振興 会DC1
篠崎 秀太	シノザキ シュウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
橋詰 遼太	ハシヅメ リョウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程

### マネジメント政策形成グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
貝戸 清之	カイト キョユキ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	准教授
小林 潔司	コバヤシ キヨシ	京都大学	経営管理大学院	特任教授
小濱 健吾	オバマ ケンゴ	大阪大学大学院	NEXCO西日本高速道路 学共同研究講座	特任准教授
水谷 大二郎	ミズタニ ダイジロウ	東北大学	災害科学国際研究所	助教
玉越 隆史	タマコシ タカシ	京都大学	経営管理大学院	特定教授
慈道 充	ジドウ ミツル	一財)阪神高速道 路技術センター	調査研究部 調査研究第二課	係長



塚本 成昭	ツカモト シゲアキ	阪神高速技術株式会社	技術部	課長
宮崎 文平	ミヤザキ ブンペイ	三菱総研	次世代インフラ事業本部	副主任 研究員
二宮 陽平	ニノミヤ ヨウヘイ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	日本学術振興会DC1
篠崎 秀太	シノザキ シュウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
橋詰 遼太	ハシヅメ リョウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程

価値創造グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
貝戸 清之	カイト キヨユキ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	准教授
小林 潔司	コバヤシ キヨシ	京都大学	経営管理大学院	特任教授
小濱 健吾	オバマ ケンゴ	大阪大学大学院	NEXCO西日本高速道路 学共同研究講座	特任准教授
水谷 大二郎	ミズタニ ダイジロウ	東北大学	災害科学国際研究所	助教
青木 一也	アオキ カズヤ	株式会社パスコ	経営戦略本部 技術革新部	室長
宮崎 文平	ミヤザキ ブンペイ	三菱総研	次世代インフラ事業本部	副主任 研究員
二宮 陽平	ニノミヤ ヨウヘイ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	日本学術振興会DC1
篠崎 秀太	シノザキ シュウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
橋詰 遼太	ハシヅメ リョウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程

## 6. 研究開発成果の発表・発信状況，アウトリーチ活動など

### 6-1. シンポジウム等

特に該当なし.

### 6-2. 社会に向けた情報発信状況，アウトリーチ活動など

- (1) 書籍・冊子等出版物，DVD等  
なし.
- (2) ウェブメディアの開設・運営  
なし.
- (3) 学会（6-4. 口頭発表）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等  
なし.

### 6-3. 論文発表

- (1) 査読付き（  0  件）
  - 国内誌（  0  件）
  - 国際誌（  0  件）
- (2) 査読なし（  0  件）

### 6-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

- (1) 招待講演（国内会議  0  件，国際会議  0  件）
- (2) 口頭発表（国内会議  1  件，国際会議  0  件）
  - ・山岸拓歩（大阪大学），二宮陽平（大阪大学），貝戸清之（大阪大学）：橋梁の長寿命化を目的とした点検時応急措置の効果の評価，第60回土木計画学研究発表会・秋大会，富山大学，2019.12.1
- (3) ポスター発表（国内会議  1  件，国際会議  0  件）

### 6-5. 新聞／TV報道・投稿，受賞等

- (1) 新聞報道・投稿（  0  件）
- (2) 受賞（  0  件）
- (3) その他（  0  件）

### 6-6. 知財出願

- (1) 国内出願（  0  件）
- (2) 海外出願（  0  件）