

# 実点検データを用いた統計的劣化予測に基づく インフラマネジメント技術のミャンマー国での展開

## (空間マッピングを用いた舗装劣化速度評価)

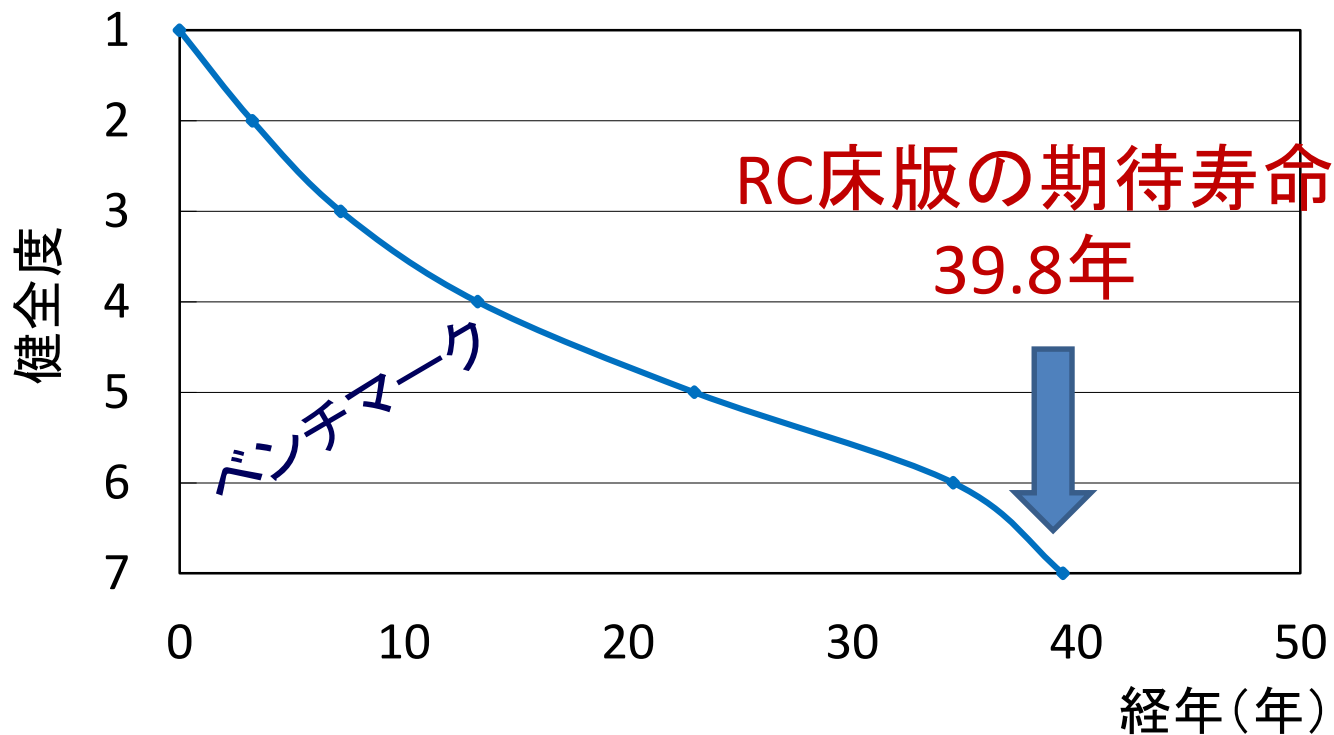
大阪大学大学院 貝戸清之

2020.08.26

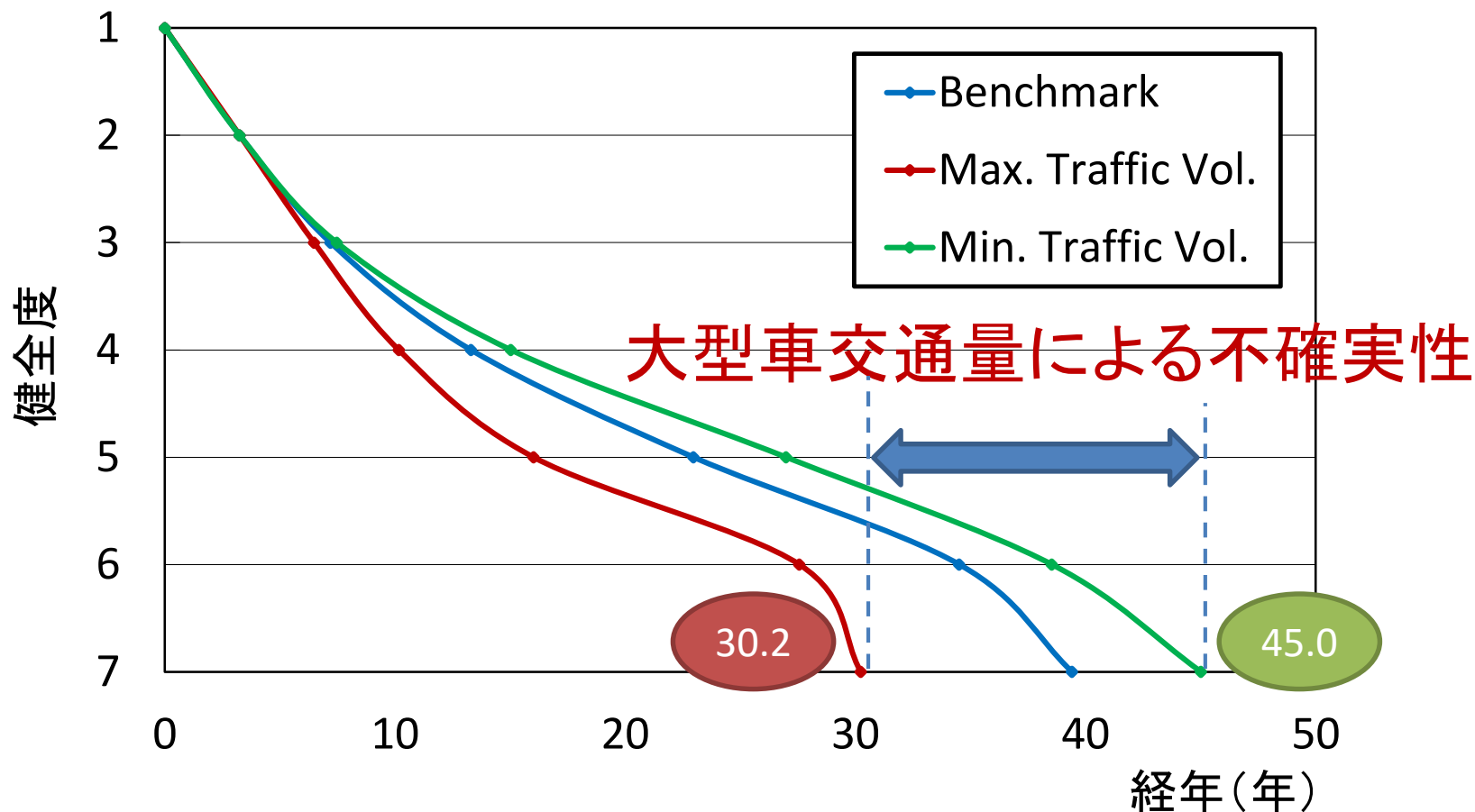
- 32,821の目視点検データ(健全度1~7)を使用
- 橋梁RC床版の期待寿命: 約40年

健全度評価基準

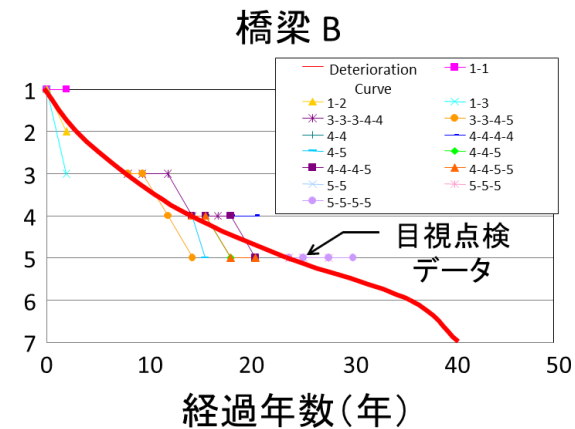
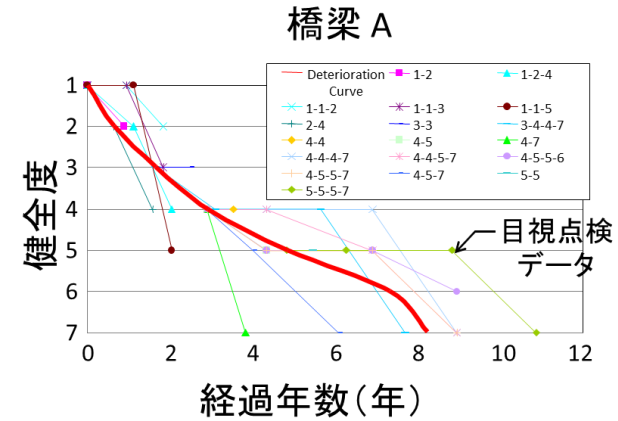
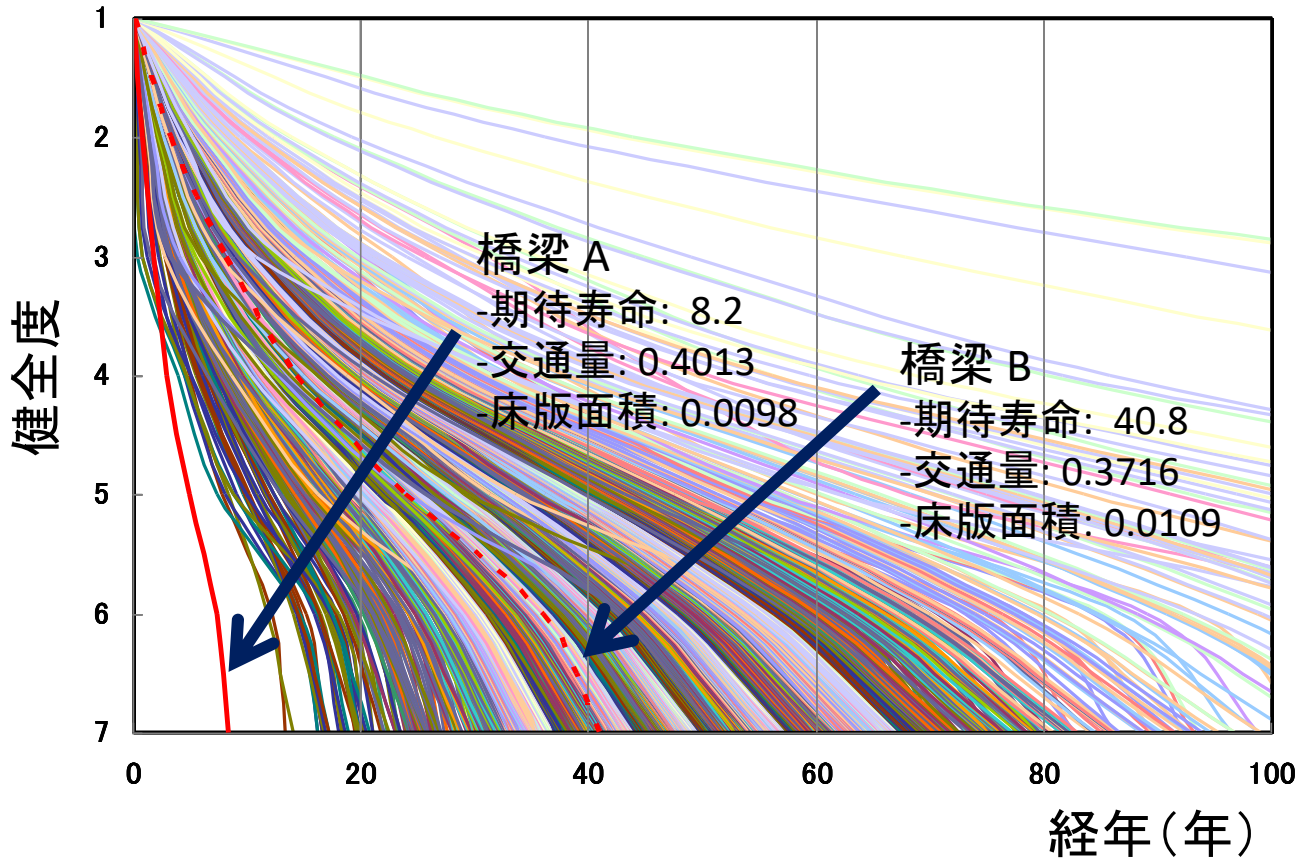
健全度	
7	新設
6	7と5の間
5	軽微な劣化は確認できるが、要求性能は満たす
4	5と3の間
3	深刻な劣化, あるいは要求性能を満たしていない
2	3と1の間
1	崩壊, または潜在的な危険がある



- ・32,821の目視点検データ(健全度1~7)を使用
- ・大型車交通量による寿命の変動:約30年~45年程度



橋梁数: 1,481



## マルコフ推移確率

$$\pi_{ij}(z) = \text{Prob}[h(\tau_B) = j | h(\tau_A) = i]$$

$$= \sum_{m=i}^j \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} \exp(-\lambda_m z)$$

点検間隔  
(既知情報)

$$(i = 1, \dots, I-1; j = i+1, \dots, I)$$

$$\begin{cases} \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} = 1 & (m = i) \\ \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} = 1 & (m = j) \end{cases}$$

➔  $\lambda_s$  :健全度  $s$  から健全度  $s+1$  へのハザード率

津田, 貝戸, 青木, 小林: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計,  
土木学会論文集, No.801/I-73, pp.69-82, 2005.10



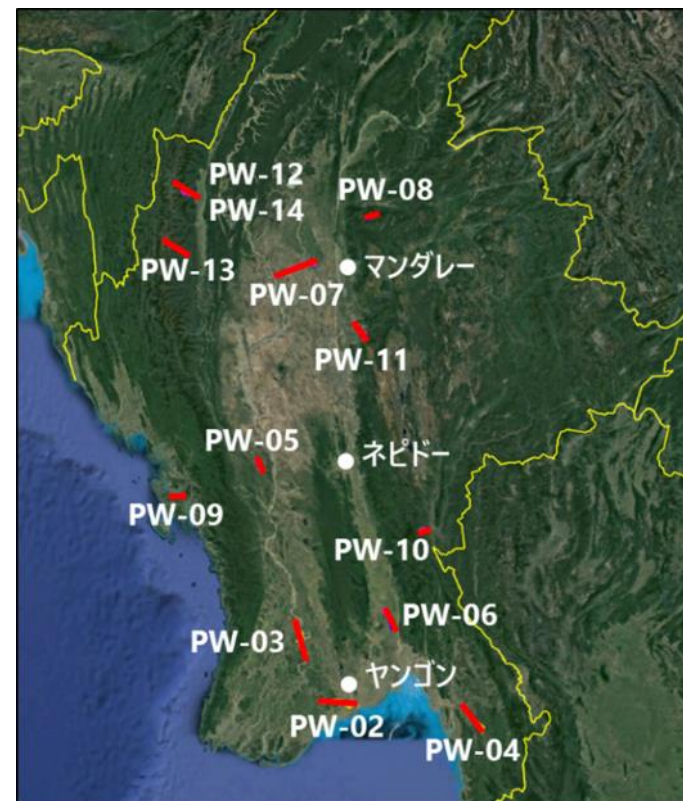
## ミャンマーにおける貧困削減プロジェクト（国際協力機構（JICA））

- 州・地域間の貧困格差の是正と均衡のとれた国家開発を目標
- 生活基盤インフラの新設・改修が実施
- 有償資金協力による円借款事業
- ミャンマー全土に14路線を建設
- 12路線を簡易舗装\*を用いて建設

\*：建設費が安価である反面，耐久性の低い舗装

### 新設道路における舗装の損傷

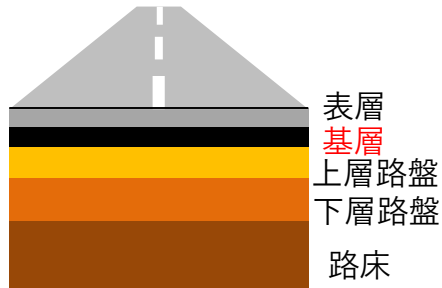
- 南部や山間部で局所的な損傷が発生
- 交通需要の急激な増加や降雨が原因



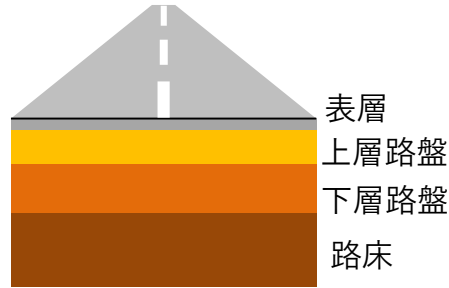
**舗装劣化速度の把握が必要**

## ➤ 高級舗装と簡易舗装

高級舗装



簡易舗装  
(浸透式マカダム工法)



### 高級舗装

交通量が多い道路

表層 5cm~

基層 有り

### 簡易舗装

交通量が少ない道路

表層 3~4cm

基層 無し

### 建設当初の想定

簡易舗装の耐用年数として10年程度を想定

### 現在の舗装の状況



大規模な損傷



損傷補修箇所の再損傷

### 舗装マネジメントの必要性

既存の路線 : 交通量規制等

**新規建設路線 : 舗装の選定**



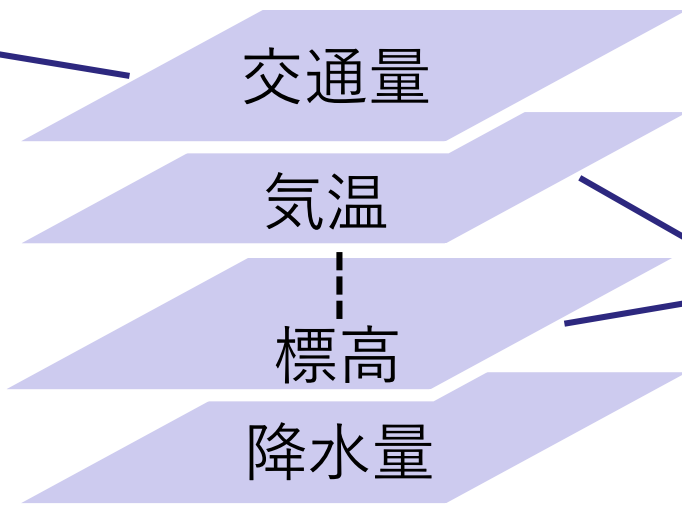
## ▶ 様々な舗装の劣化要因



交通量の多い地域で  
舗装の劣化が発生



降水量の多い地域で  
舗装の劣化が発生



標高が高く、気温の低い  
地域で舗装の劣化が発生

## 劣化要因

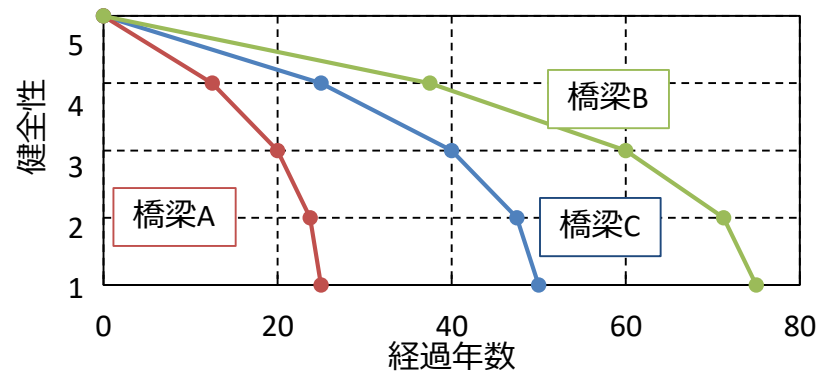
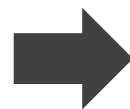
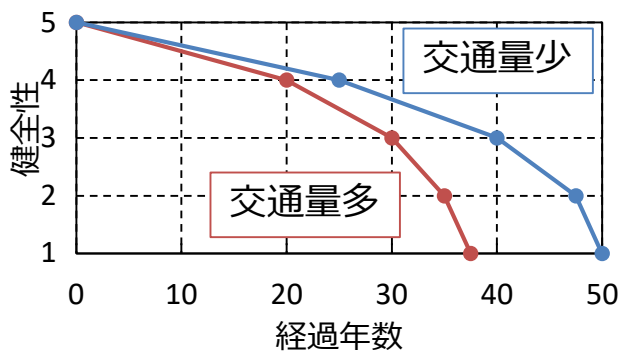
**複合的な要因が舗装の劣化に関係**

# 点検データを用いた統計的劣化予測モデル



マルコフ劣化ハザードモデル

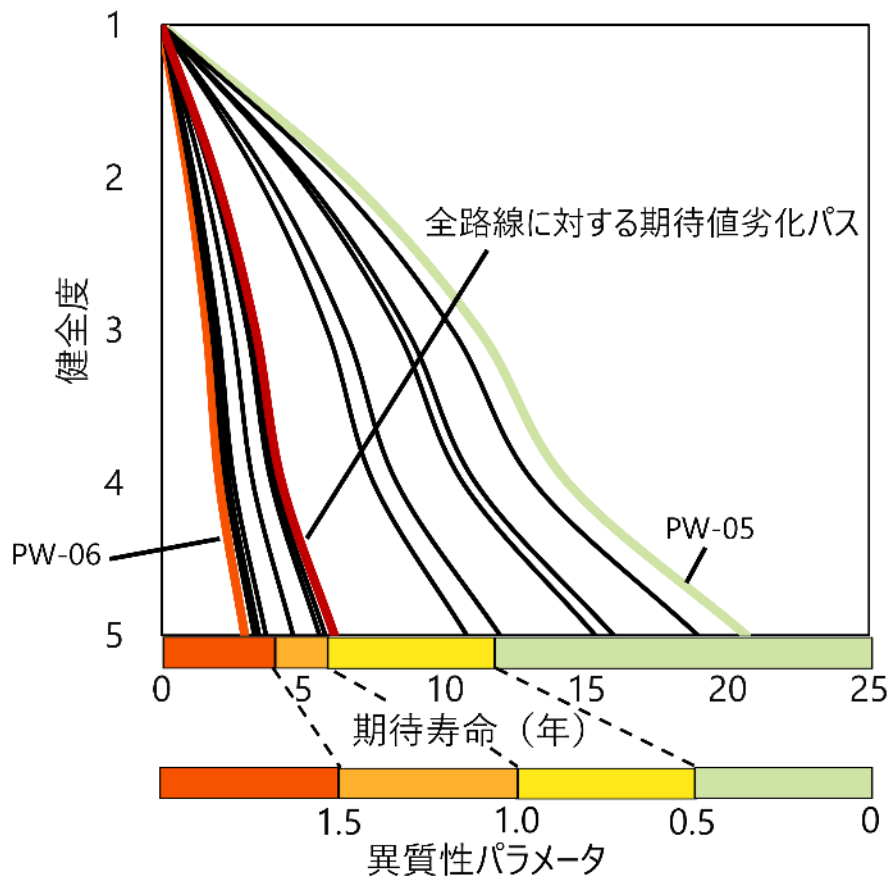
混合マルコフ劣化ハザードモデル



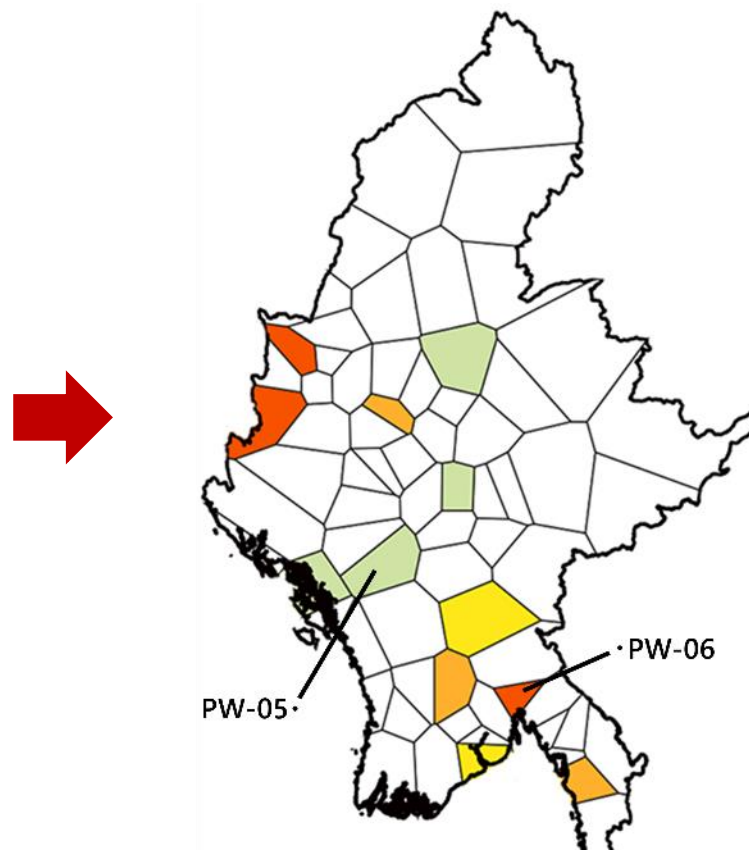
可観測な劣化要因  
(大型車交通量, 床版厚保等) の抽出

橋梁ごとに不可観測な劣化要因  
(施工状態, 地盤条件) の抽出

## 混合マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推計 ベンチマークの期待寿命は6年



(a) 13路線の期待値劣化パス

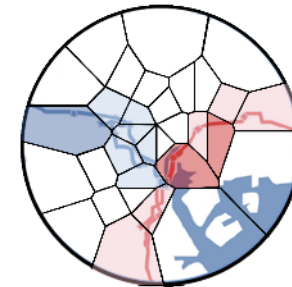


(b) 劣化速度マップ

## 劣化速度評価における問題と展望

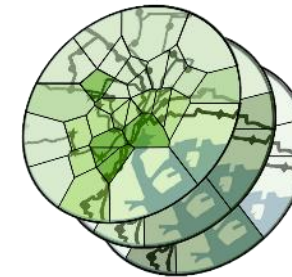
### 点検データの獲得困難性

- ・管理者の人的/財政的リソースの制約
- ・開発途上国における地域格差や民族問題
- ▶ 網羅的に点検データを獲得することが困難



### 属性情報の活用可能性

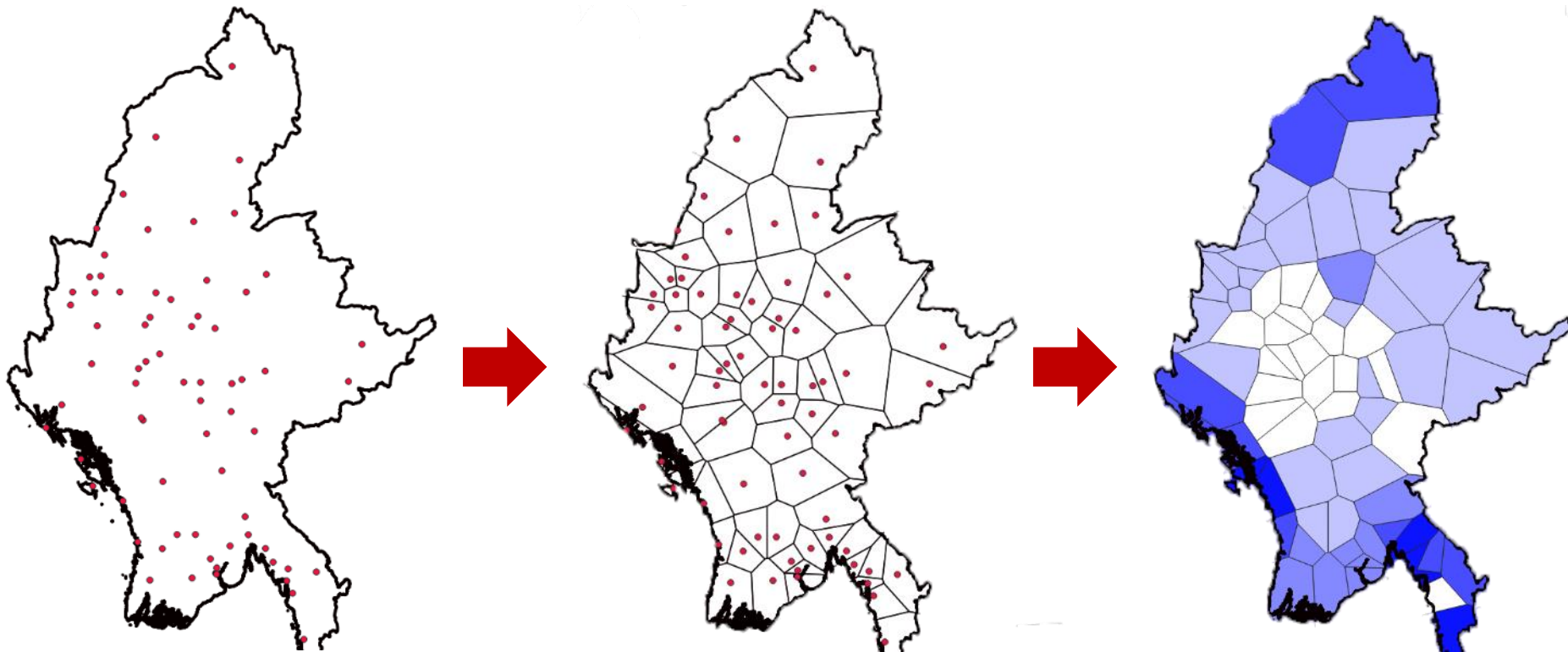
- ・維持管理や劣化予測目的外での情報整備
- ・衛星情報や航空測量を用いた情報入手
- ▶ 点検データ未獲得地域において使用可能



点検データ未獲得地域における属性情報を用いた劣化速度評価

空間マッピングを用いた劣化速度評価

## 属性情報の観測点に対して分割



(a) 降水量等の74観測点

(b) 観測点を中心とする  
ボロノイ分割 (74領域)

(c) 降水量に関する  
属性情報分布

**ボロノイ分割により領域分割を行い属性情報分布を作成**

# ステップ2：劣化予測モデルの説明

## 混合マルコフ劣化ハザードモデル

$$\theta_i = \exp(\beta_{i,1} + \beta_{i,2}x_2 + \beta_{i,3}x_3 + \dots + \beta_{i,n}x_n)$$

$\theta$  : ハザード率

$\beta$  : 未知パラメータ

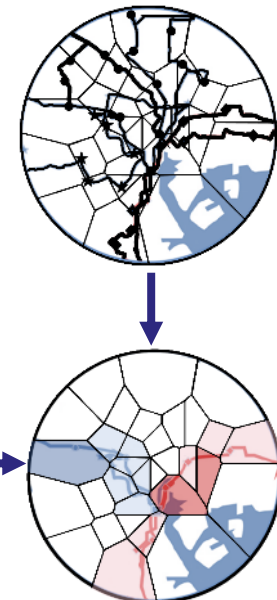
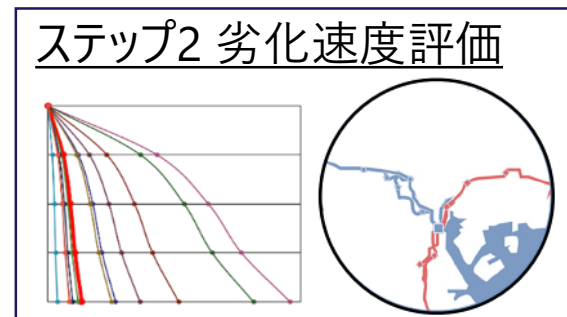
$X$  : 説明変数

$$\theta_i^k = \theta_i \varepsilon^k \quad \varepsilon : \text{グループごとの異質性を表すパラメータ}$$

$$\pi_{i,j} = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_k Z)$$

$\pi_{i,j}$  :  $i$ から $j$ に健全度が推移する確率

$Z$  : 点検間隔



➤ 2019年1月～12月の点検データ（2月を除く）を使用

## 【健全度判定基準】

健全度	判定基準
1	損傷なし
2	ポットホール・ひび割れの発生、パッチングが必要
3	区間の30%未満が損傷（ひび割れ・ポットホール・パッチング）
4	区間の30%以上が損傷（ひび割れ・ポットホール・パッチング）
5	路盤の損傷等の重大な損傷の発生、更新が必要
6	舗装端部の劣化
7	その他の損傷

## 【健全度の推移】

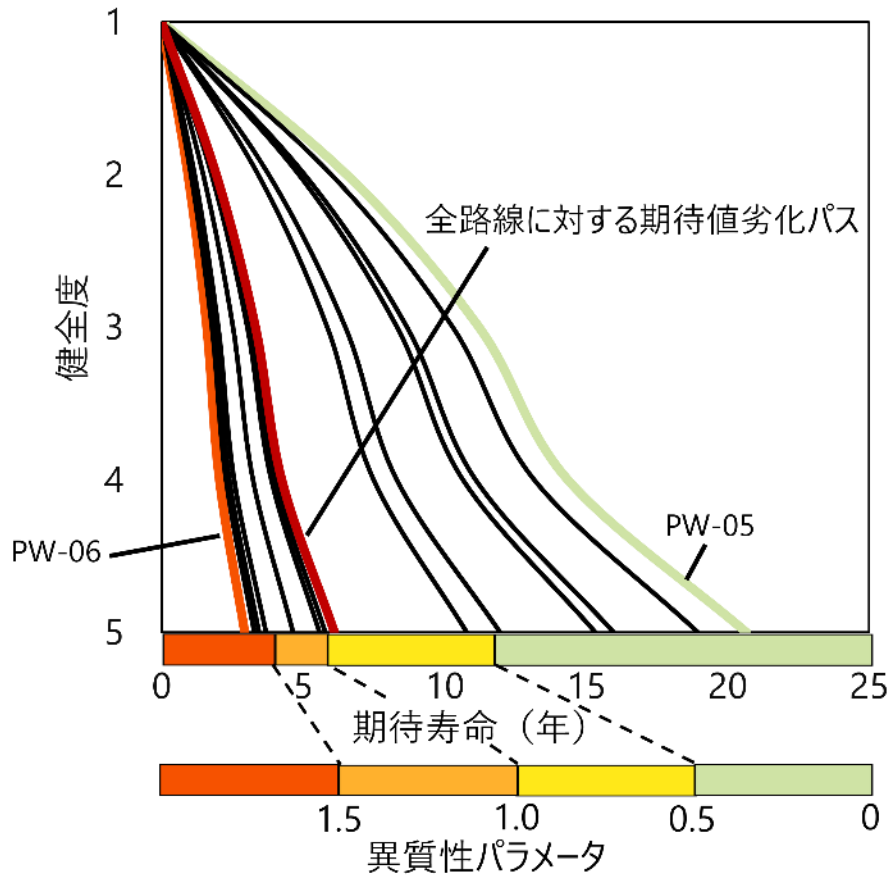
		事後健全度				
		1	2	3	4	5
事前健全度	1	7,012	234	40	9	10
	2	-	1,587	49	11	6
	3	-	-	566	22	1
	4	-	-	-	410	0
	5	-	-	-	-	56

全データ数：10,013

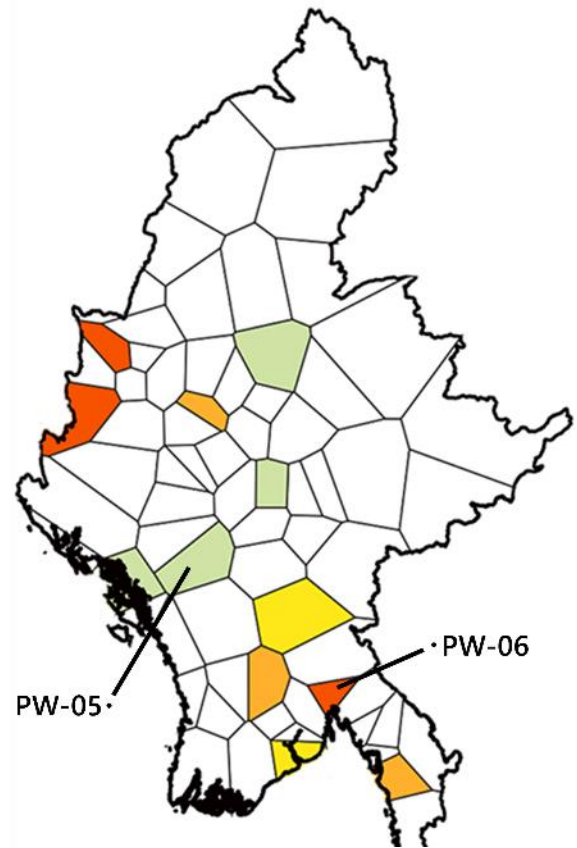
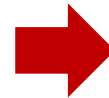
健全度は7段階評価  
健全度1～5のデータを推計に使用

# ステップ2：推計結果

## 混合マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推計 ベンチマークの期待寿命は6年



(a) 13路線の期待値劣化パス



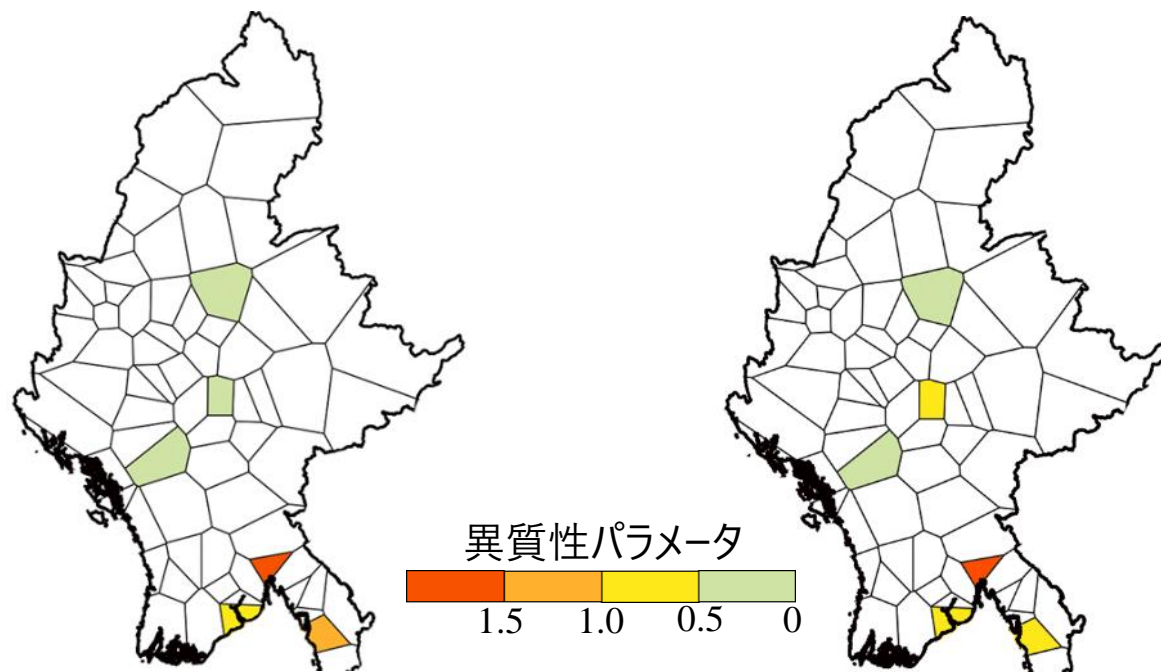
(b) 劣化速度マップ



## 推定結果

定数項 $\theta_0$	降水量 $\theta_1$	CBR値 $\theta_2$	交通量 $\theta_3$	偏差パラメータ $\sigma$
-1.42	0.621	-0.655	1.44	0.217

## 部分的劣化速度分布と統計的マッピングモデルの比較



(a) 部分的劣化速度分布

(b) 統計的空間マッピングモデル

## 統計的マッピングモデル

$$\varepsilon^k = \exp(B^k)$$

$$B^k = \theta z^k + \sigma \omega^k$$

$\varepsilon^k$  : 異質性パラメータ

$z^k$  : 説明変数 (属性情報)

$\omega^k$  : 領域 $k$ に固有な確率誤差項

$\theta$  : パラメータベクトル

$\sigma$  : 偏差パラメータ

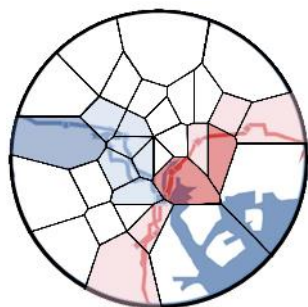
領域を $Q$ 分割

点検データ獲得地域

$k (k=1, \dots, K)$

点検データ未獲得地域

$k (k=K+1, \dots, Q)$



部分劣化速度分布



降水量  
交通量  
標高...

部分属性情報分布

点検データ獲得地域の劣化速度と属性情報の関係を推定

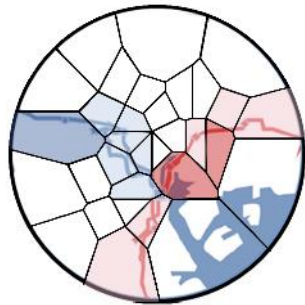
## 空間マッピングの作成

$$\bar{\varepsilon}^k = \exp(\theta \bar{z}^k) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \exp(\sigma \omega^k) f(\omega^k) d\omega^k$$

$\theta$  : パラメータベクトル

$\sigma$  : 偏差パラメータ

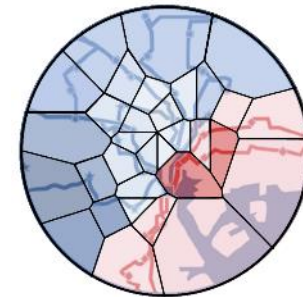
$z^k$  : 説明変数 (属性情報)



部分劣化速度分布



$k (k=K+1, \dots, Q)$   
の劣化速度を推定



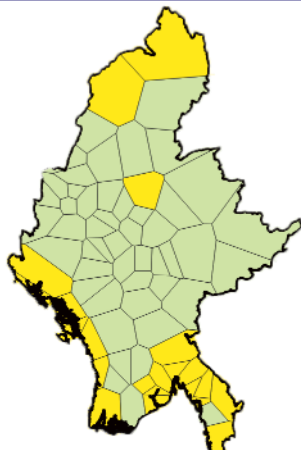
空間マッピング

**点検データ未獲得地域の劣化速度を推定**

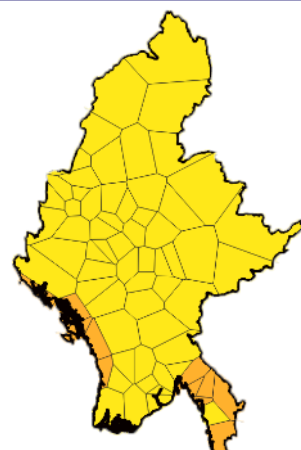
# ステップ4：空間マッピングの作成



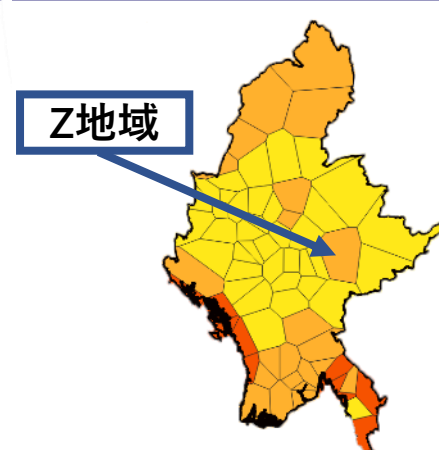
交通量 50 (台/日)  
CBR値 (10.0%~)



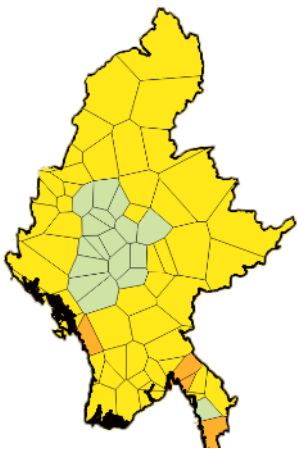
交通量 100 (台/日)  
CBR値 (10.0%~)



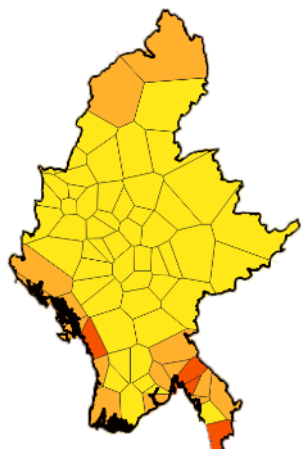
交通量 150 (台/日)  
CBR値 (10.0%~)



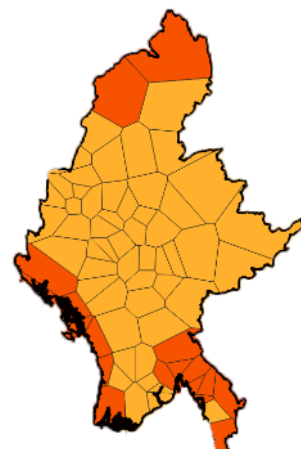
交通量 200 (台/日)  
CBR値 (10.0%~)



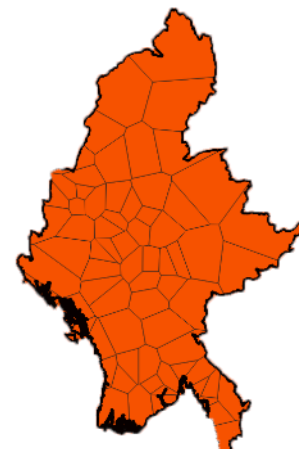
交通量 50 (台/日)  
CBR値 (2.0%~5.9%)



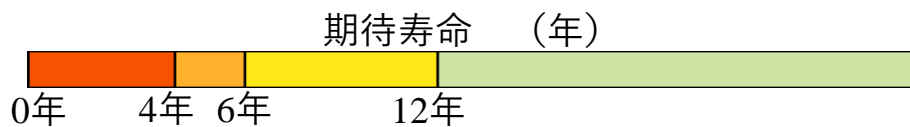
交通量 100 (台/日)  
CBR値 (2.0%~5.9%)

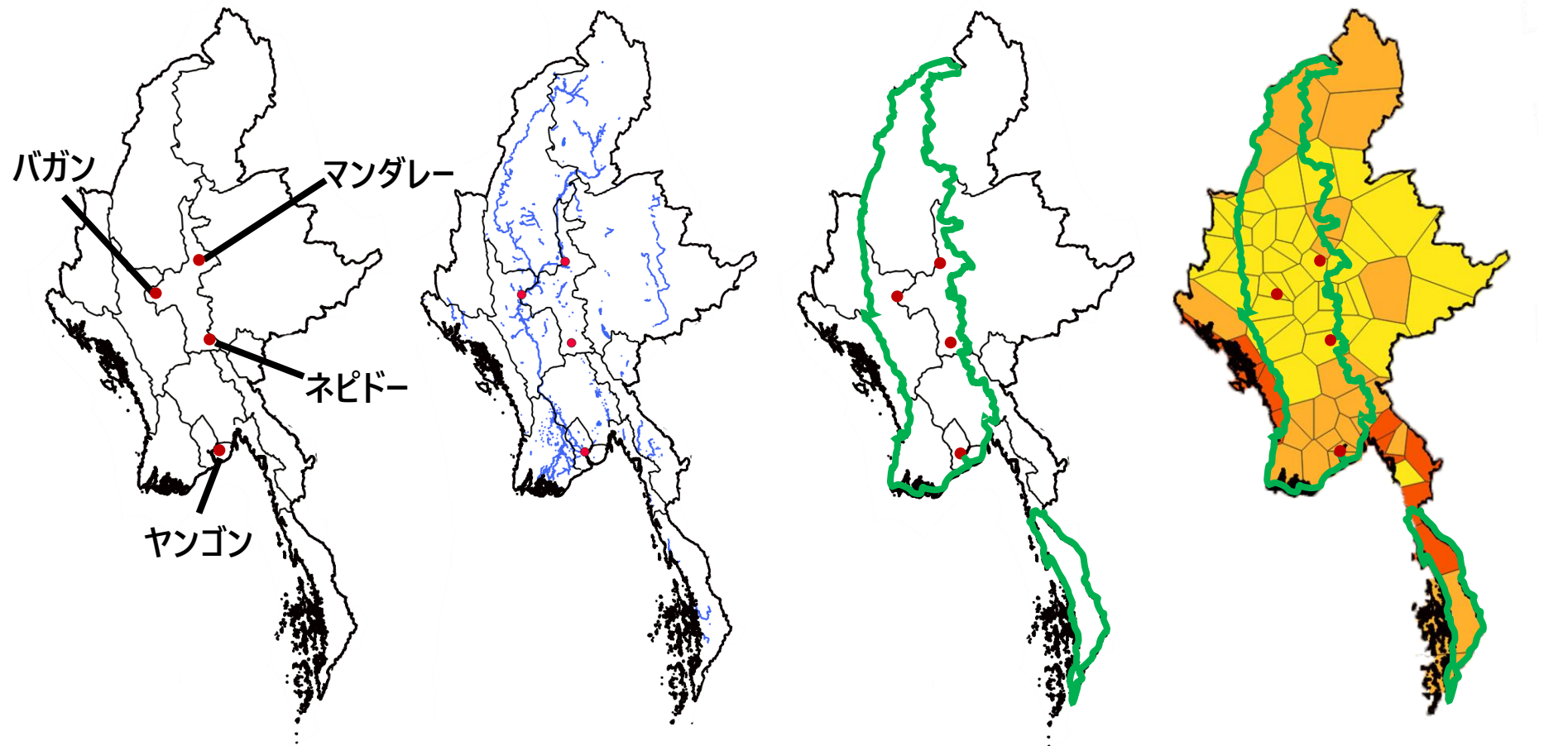


交通量 150 (台/日)  
CBR値 (2.0%~5.9%)



交通量 200 (台/日)  
CBR値 (2.0%~5.9%)





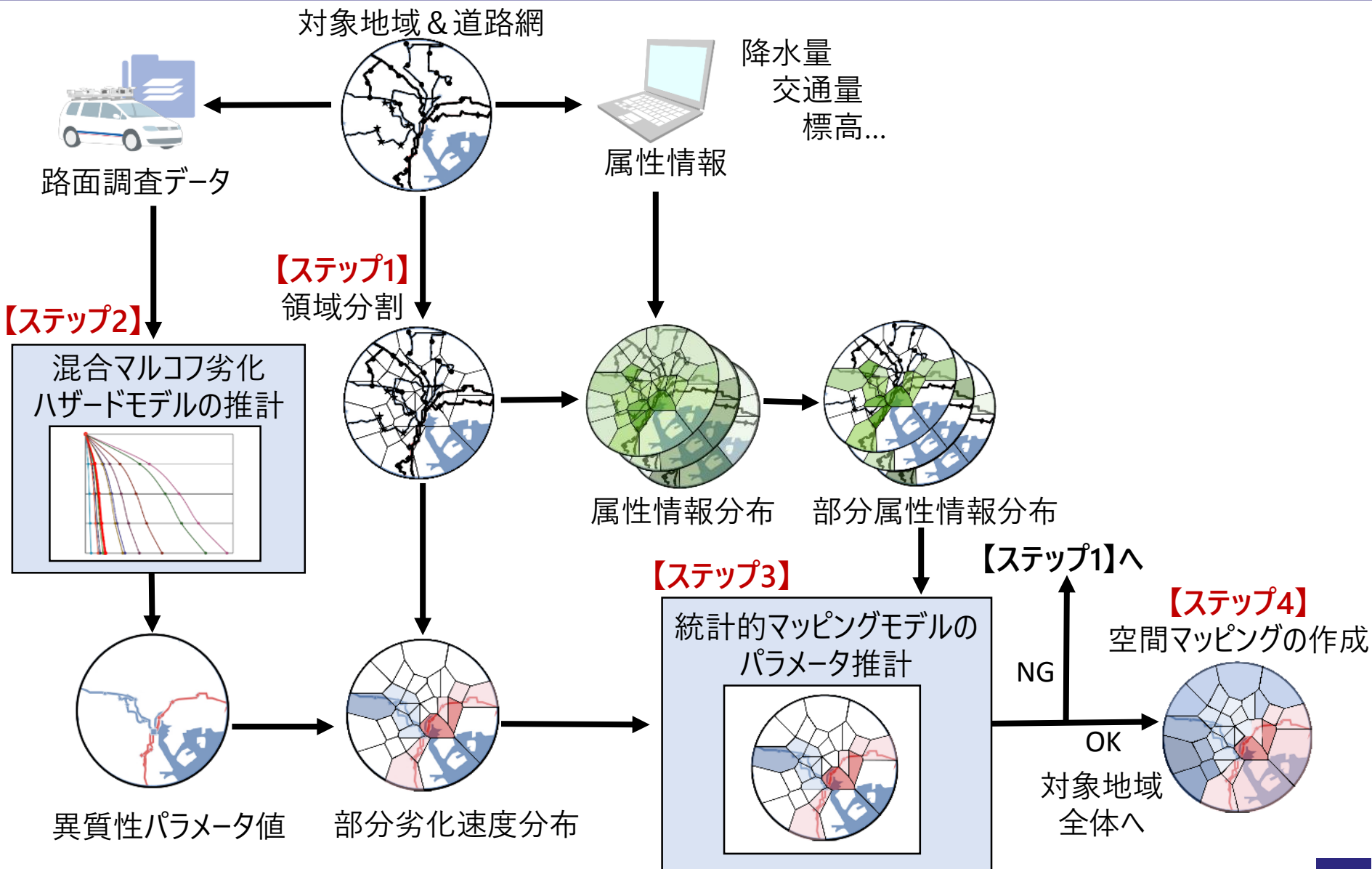
(a) ミャンマー行政区

(b) 主要な陸水  
(河川, ダム湖)

(c) 7管区

(d) 7管区と空間マッピング

# 空間マッピングを用いた劣化速度評価



## Kyoto Modelのデファクト標準化

- ベトナム, ミャンマー, エチオピア, インドネシア, ...  
    **JICA推薦による留学生（建設省等の実務者）の受け入れ**
- **日本側の実務者（コンサルタント）**