



貝戸 清之



青木 一也

# 貝戸 清之 青木 一也

大阪大学大学院 工学研究科  
地球総合工学専攻 准教授

京都大学経営管理大学院  
道路アセットマネジメント政策講座 客員准教授

## データ蓄積途上国における舗装マネジメント — ミャンマーを対象とした舗装マネジメントマップの作成 —

小林潔司JAAM会長がAsset Management Journal創刊号で指摘された<sup>1)</sup>ように、日本型アセットマネジメントは、マルコフ劣化ハザードモデル<sup>2)</sup>の開発によって急速に進歩した。マルコフ劣化ハザードモデルの最大の特徴は、点検データからリアリティのある劣化曲線を推定・定量化できる点、すなわち点検データがあれば管理対象となる構造物群の平均的な劣化曲線を得ることができる点にある。さらに、構造物の劣化に影響を及ぼすであろう劣化要因に応じた劣化曲線も得ることができる。舗装を例にあげると、大型車交通量や舗装種別に関する情報が利用可能であるならば、それらの多寡、種別に応じた劣化曲線を得ることができる。マルコフ劣化ハザードモデルが2005年に開発されてから約15年が経過し、その間に個別の構造物の劣化を予測するベンチマーク分析<sup>3)</sup>や、異質な劣化グループを絞り込むプロファイリング技術<sup>4)</sup>など、数多くの要素技術が開発され続けているが、今日においてもなおマルコフ劣化ハザードモデルが日本型アセットマネジメントの技術的基盤であるといっても過言ではない。実際に、これまで数多くの学術論文をはじめ、実務における豊富な試行的導入実績があるので、多くの読者がマルコフ劣化ハザードモデルによる劣化曲線を何らかの形で目にされたかと思う。ただ、マルコフ劣化ハザードモデルという高尚な名称が原因なのか、論文に複雑な数式を多用することが原因なのか、どうも敷居が高く導入に躊躇する印象を持たれているような気がしてならない。あるいは統計分析であるがゆえに、高速道路や国道のように高品質なデータが大量に蓄積されている構造物以外では適用できないという思い込みを持たれてい

るのかもしれない。そこで、本稿では最近著者らが経験したインフラに関するデータが全く整備されていない途上国における舗装マネジメントの事例を紹介したい。

### ミャンマーにおける貧困削減プロジェクト

ミャンマー連邦共和国(以下、ミャンマー)における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、ミャンマー建設省道路局のもとで実施されている。2013年からのフェーズ1を経て、現在フェーズ2が進行中である。フェーズ1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・改修が行われた。なかでも道路に関しては、地域間を結ぶ14路線が新規に建設された。地域間の格差是正を目的とした道路であることから、より安価な建設費用で可能な限り地域間のアクセス性を確保するために、全14路線のうち12路線で簡易舗装が採用されている。簡易舗装の構造耐久性は高くなく、大型車交通量や集中豪雨により急激な劣化の進行が引き起こされる恐れがある。また、将来的な経済発展に伴う交通量の増加が見込まれる場合には、簡易舗装から高級舗装への更新を検討する必要がある。しかしながら、ミャンマーにおいては道路の定期的な点検の実施によるデータの蓄積とその分析を行う取り組みは現在まで定着しておらず、舗装の劣化に与える交通量や地域特性等の要因分析は行われていない。

そこで、フェーズ2では、フェーズ1で建設された道路舗装を対象として、目視調査による定期点検を導入し、舗装の劣化

状態を把握する活動を始めた。舗装区間を起点から200mごとに分割し、区間ごとの損傷の発生状況について、ポットホール、ひび割れ、その他の損傷の発生度合い等を定期的に記録し、点検の時系列データを整備している。また、路線ごとの交通量調査を行い、車種別の交通量の変化を把握している。道路ネットワーク計画において導入する舗装構造の検討は重要な課題であり、舗装の劣化の予測と劣化速度に与える要因分析を行うことによって、設計段階において交通需要の他、劣化特性を考慮した適切な舗装構造の選択を検討することが可能である。本稿では、フェーズ2で対象となっている簡易舗装12路線の目視調査データを用いて、道路舗装の劣化特性を分析、寿命評価を行うことにより、今後のミャンマー全国での新規建設路線の舗装設計における適切な舗装構造を検討するための方法を提供することを目的とする。

以上のように、本プロジェクトでは、①ミャンマーにおいて新規建設した簡易舗装の寿命評価(我が国の道路建設技術の評価)、②ミャンマー国内における舗装の点検・調査に関する仕組み作り、③点検データの分析手法および新規道路建設時の舗装構造選定手法の開発という壮大な内容を扱うが、如何せん利用可能なデータは上記12路線(平均で約20km/路線)に対する1年間の目視調査データ+アルファのみである。

### ミャンマーの舗装マネジメントマップ

学術論文ではないので数式は割愛して、結論から述べることにする。図1はミャンマーの国土を74分割して、それぞれの地域における簡易舗装の寿命を条件別に示

したマップである。著者らはこれを舗装マネジメントマップと呼んでいる。同図は、交通量50台／日、100台／日、150台／日、200台／日の4ケース、CBR値が2.0%～5.9%と10%の2ケース、合計8ケースのマネジメントマップを示している。それぞれのマネジメントマップより、交通量とCBR値の組み合わせに応じて、当該地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。例えば交通量が日平均200台以上見込まれ、CBR値が10%の地域（同図中の下段右端）で簡易舗装を選択すると、ミャンマー国内のいずれの地域に道路を新設したとしても、その期待寿命は4年以内である。したがって、この条件下で簡易舗装を選択することは不適切であり、高級舗装を選択することが望ましい。より具体的に、図中のA地域に生活道路を新規建設する計画があると仮定する。交通量が月間200台見込まれ、CBR値が10%の場合に簡易舗装を採用すると、前述の通りに期待寿命は4年以内である。この地域において、通行規制によって交通量を半数（200台→100台）に制限したとしても期待寿命を数年程度しか延ばすことはできない。その一方で地盤改良を実施するなど、CBR値を2.0%～5.9%にすることが可能であるならば交通量が月間200台で

あったとしても期待寿命が4～6年に延伸され、さらに通行規制を課すことによって期待寿命を6～12年（100台／日）、12年以上（50台／日）に延ばすことができる。以上のように、マネジメントマップを活用して新規建設道路に対する舗装選択を支援することができる。これが今回のプロジェクトにおける著者らの最終的な成果物であり、ミャンマー政府に提案予定のアウトプットである。

### 舗装マネジメントマップの作成

では、以上のようなマネジメントマップをどのように作成したのか。まず、ミャンマーの国土を74分割したが、これは降雨量の観測地点がミャンマー国内で78箇所（うち4箇所は使用せず）であったためである。簡易舗装の劣化要因として考えられる降雨量が74地点でしか観測されていないのである。これ以外に標高や気温のデータを獲得している。これらのデータは74地点よりも数多く観測されているが、最も観測地点数の少ない降水量に合わせて74地点に集約した。これらの情報（属性情報）に加えて、交通量やCBR値（政策変数）を一つ一つミャンマー74地点に表示させた属性情報マップを重ね合わせて、舗装マネジメントマップを作成した。マネ

ジメントマップの作成概要を図2に示すので、併せて参照されたい。当然のことながら、このときにそれぞれのマップを単純に重ね合わせるだけでは、マネジメントマップに表示された数値は舗装寿命を表してはいない（算出された数値を寿命と考えることに何の根拠もない）。そこで、それぞれのマップに重みを付けて重ね合わせた。この重みの設定が「ミソ」であり、ここでマルコフ劣化ハザードモデルが登場する。つまり、別途点検データを用いてマルコフ劣化ハザードモデルで12路線の寿命を推定しておいて、その路線が存在する地域の寿命として設定する（詳細は後述するが、路線は12路線のみ利用可能であったために、舗装寿命は最大で12地域分しか獲得できない）。これを劣化速度マップと呼ぶ。劣化速度マップに表示された寿命と整合するように、それぞれの属性情報マップを、重みを調整しながら重ね合わせていった。言うなれば、マルコフ劣化ハザードモデルにより推定された寿命を正解値として、舗装の劣化に影響を及ぼす可能性のある情報を、重ね合わせることによってマネジメントマップを作成している。マルコフ劣化ハザードモデルにより正解値を獲得できるという点に著者らの手法の強みがある。

図1：ミャンマーの舗装マネジメントマップ（簡易舗装の条件別寿命推定）

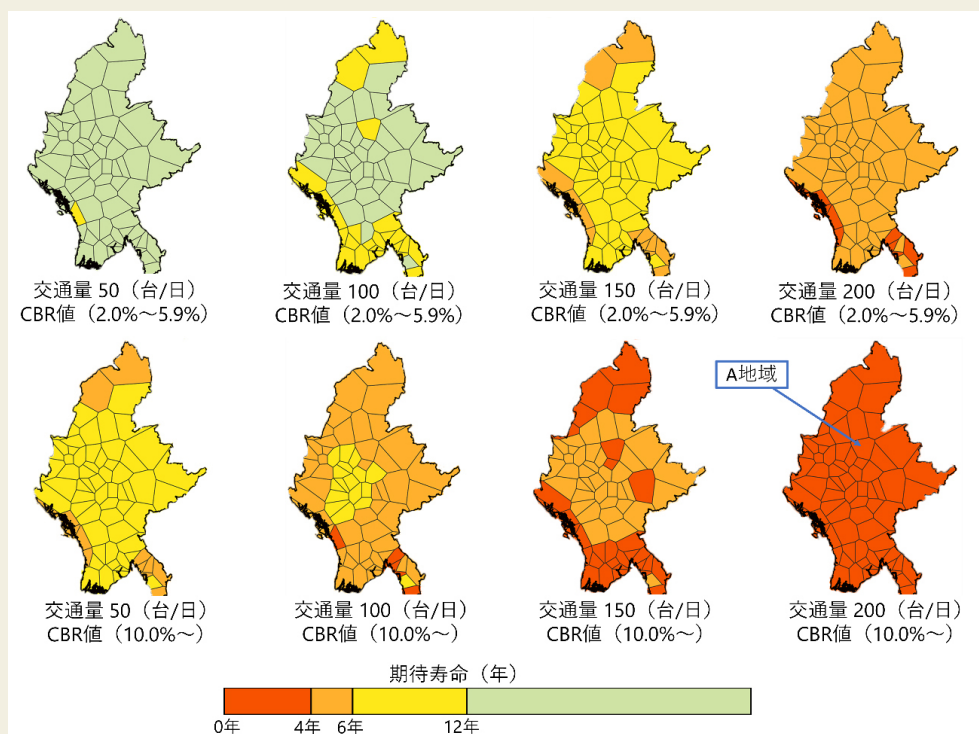
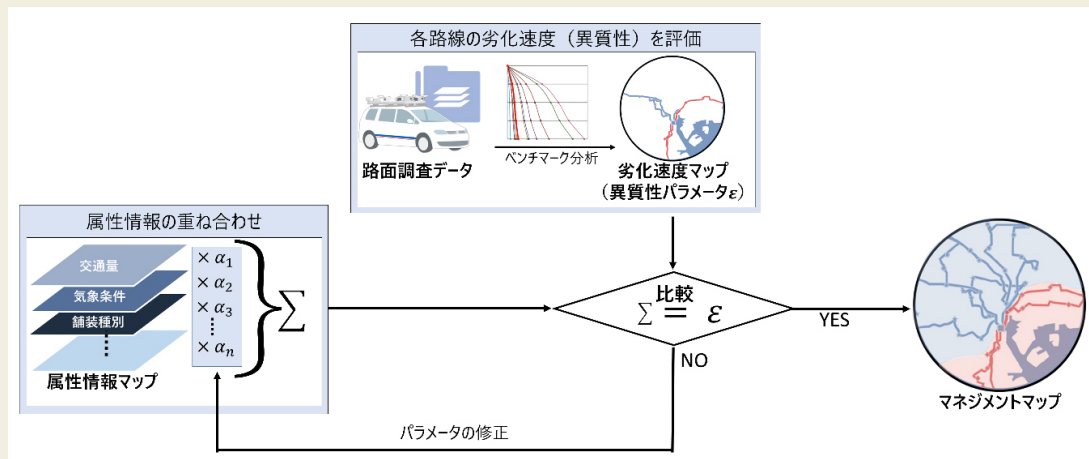


図2：舗装マネジメントマップの作成概要



## マルコフ劣化ハザードモデル による簡易舗装の寿命推定

これまで利用したデータについて改めて述べておきたい。マネジメントマップを作成する上で必要となる属性情報として利用したのは、降水量、気温、標高のみである。一方で、点検データに関しては本プロジェクト（フェーズ2）が実施されるまで、「点検データが全くない」という状態であった（語弊があるといけないので、正確に述べると、分析に利用できるような点検データがない）。本プロジェクトの対象は生活道路である。高速道路や国道でさえも点検が実施されていない。少なくとも統計分析が実施できるようなデータベースは存在しない。交通量さえも全ての路線で獲得できていない状況である。まして、生活道路ではなおさらデータが蓄積されていない。今回の分析では、生活道路12路線についてのみ情報が獲得できる。実際に、2019年1月から2019年12月まで、現地で5段階の目視調査と交通量調査を実施してもらい、そのデータを毎月送付してもらった。ようやく1年間分の点検データ、交通量データと構造諸言（道路幅員やCBR値）に関する一部のデータを得た。

このような条件のもと、混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いて推定した12路線の劣化曲線を一括して図3（a）に示す。混合マルコフ劣化ハザードモデルに基づくベンチマーク分析により、12路線それぞれの劣化曲線を求めることが可能となる。同図に示すように、期待寿命が3年以下の路線αから、20年以上の路線βが存在す

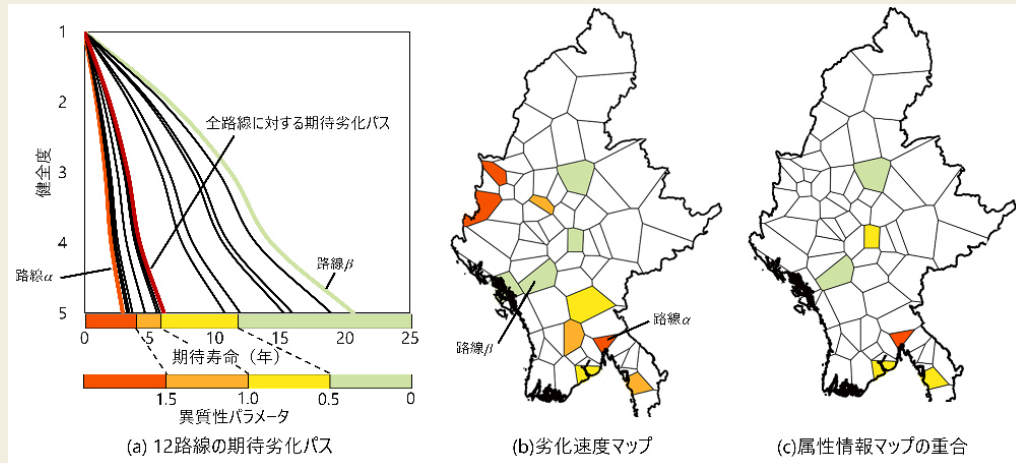
ることがわかる。全路線に対する劣化曲線の期待寿命が約6.1年であることを踏まえると、簡易舗装の期待寿命は路線ごとに大きく変動することが理解できる。これらの期待寿命に基づいて、劣化速度マップを作成する。劣化曲線を推計した12路線は道路区間ごとに緯度・経度情報を有している。本プロジェクトでは、ミャンマー全土を74地域に分割したが、12路線がそれぞれいずれの地域に属するかは容易に判断できる。また、図3（a）には期待寿命をカラーバー表示しているが、それぞれの路線の期待寿命のカラーをそれぞれの路線が存在する地域に対して同じ色で配色した劣化速度マップを図3（b）に示す。当然のことながら、劣化速度マップは実際に点検データを獲得して劣化曲線と期待寿命が推定できた路線が位置する地域のみが着色される。参考までに、図3（a）で示した路線αと路線βが属する地域を図3（b）に示しておく。さらに、図3（c）には劣化速度マップを再現できるように重み調整を行ったあとの属性情報マップを示す。劣化速度マップと整合的であることが理解できる。このマップを用いて図1のマネジメントマップが作成されている。以上のように、実際の点検データを用いて路線の劣化曲線や期待寿命を推計できる点がマルコフ劣化ハザードモデルの特徴である。

## マネジメントシステムの カスタマイズ戦略

舗装に限らず、インフラを維持管理する

ことの目的は管理者個々で異なる。また、管理するインフラの数量や種別、インフラに対して実施している点検や、点検を通して蓄積されているデータ量も異なる。したがって、レディメイドなマネジメントシステムをそのまま使用しても、システムを動かすために費やした労力ほどの成果が得られないことも少なくない（使用したとしても上手くいかない）。一方で、舗装、特に路面は他のインフラと比較して寿命が短いこと、また路面状態が悪くなると、道路利用者の安全性を直接脅かす要因となることから、実務においてはすでに維持修繕、補修、更新の考え方が定着している。舗装マネジメントシステムを導入せずとも、管理者は維持修繕に関する意思決定を日常的に実施している。また、その際には当然、年間の維持補修費用も勘案済みであろう。そのような中で、実務に有用なマネジメントシステムを作るとなると、ほぼ完全なオーダーメイドにならざるを得ない。その一方で、舗装マネジメントシステムの開発には開発者のある種の「こだわり」＝コア技術が必要（著者らの場合は劣化予測モデル）である。ただし、コア技術を中心に据えて信念を貫きながらも、開発者には、管理者のニーズに合わせたカスタマイズ可能な柔軟性の高いシステム開発が求められる。本稿で示した事例は、ミャンマーの生活道路を対象とした事例であるが、いま、国内外、さらには構造物を問わず、インフラ管理の実務と整合的な、現場に根ざした実務指向型のマネジメントシステムを構築しなくてはならない。なお、

図3：ミャンマーにおける簡易舗装の期待劣化パスと劣化速度マップ



JAAM内に設置されたアプリケーション小委員会では、マルコフ劣化ハザードモデルをコア技術とするマネジメントシステム（アセットメトリクス）のWebアプリケーションを公開しており、管理者の実情に沿ったマネジメントシステムのカスタマイズ戦略を展開中である。

【謝辞】本研究の一部は、土木学会インフラマネジメント技術国際展開研究助成「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」（研究代表者：貝戸清之）および国立研究開発法人科学技術振興機構、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」（研究代表者、貝

戸清之）」の助成を受けて実施した。また、著者らはアセットマネジメントに関して、日頃から小林潔司JAAM会長（京都大学名誉教授）のご指導を賜っている。ここに記して感謝申し上げる。

#### 【参考文献】

- 1) 小林潔司：「対談」JAAM小林潔司会長に聞く, Asset Management Journal, Vol.1, pp.3-6, 2019.
- 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.69-82, 2005.
- 3) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司：劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.

- 4) 小林潔司, 中谷晶一, 大迫湧歩, 安部倉完：橋梁の劣化速度の異質性を考慮した補修戦略プロファイリング, 土木学会論文誌D3, Vol.73, No.4, pp.201-218, 2017.

かいときよゆき／大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻准教授。2000年東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻修了、博士(工学)。2001年米国コロムビア大学客員研究員、2002年民間コンサルタント主任研究員を経て、2007年大阪大学大学院工学研究科附属フロンティア研究センター特任講師、2011年より現職。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に関する学術研究を行っている。

あおきかずや／京都大学経営管理大学院道路アセットマネジメント政策講座客員准教授。1997年九州大学工学部建設都市工学科卒業、株式会社バスコ入社、2006年京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻博士課程修了、京都大学博士(工学)、2013年より現職。JAAMアプリケーション小委員会委員長。客観的データに基づくインフラ資産のアセットマネジメントの研究、国内外のプロジェクトに参画している。