

# 4 次元デジタルアセットマネジメント のためのシステム構想

大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 教授 かいと きよゆき  
貝戸 清之

## 1. はじめに

老朽化が進むインフラ群を適切に管理していくための方法論として、アセットマネジメントが注目されて久しい。後述するように、目視点検データを用いた統計的劣化予測に関する学術的な研究成果が数多く公表され、社会実装が目前に迫っている。

一方で実務面においても、トンネルや橋梁などでは5年に一度の近接目視点検が2014年に義務化され、2024年時点で2巡目が終了したことから、点検ビッグデータが蓄積されつつある。さらに、MMSやLPなどの3次元計測技術の急速な発展によって、インフラに対する膨大な点群データの取得が現実的な段階に達し、デジタルツイン(3次元モデルを中心とするプラットフォーム空間)の達成も間近となっている。

本稿では、デジタルツイン時代のアセットマネジメントを見据えた、データ統合と評価の多角化、統合的マネジメントによる多様な価値創造についての見解を述べる。

## 2. アセットマネジメントの概要

アセットマネジメントの方法論やスキームに唯一の正解はない。それゆえ、まず著者の考えるアセットマネジメントについて述べておく。著者等は目視点検データを用いた統計的劣化予測手法の開発に長年携わり、それをアセットマネジメントのコア技術(こだわり)としている。

アセットマネジメントの概要は図-1のとおりであるが、著者等の研究成果によって、従来は専門技術者の暗黙知に依拠してきた劣化予測を、目視点検データを用いて形式知にすることに成功し、その結果アセットマネジメントの各プロセスが有機的に連動できるようになったと考えている。

著者等はこのようなアセットマネジメントの社会実装を目指し、具体的には橋梁、トンネル、舗装、下水道、斜面・法面を対象に、それぞれ複数のインフラ管理者や民間企業との共同実施体制を構築して研究開発に取り組んでいる。

アセットマネジメントの難しさ(面白さ)は、インフラ管理者ごとに抱えるインフラの数量、種類、建設年代、投入できる予算、人員が異なるために、レディメイドなシステムを導入するだけでは社会実装が全く進まない点にある。とはいえ、インフラ管理者ごとにアドホックなシステムを開

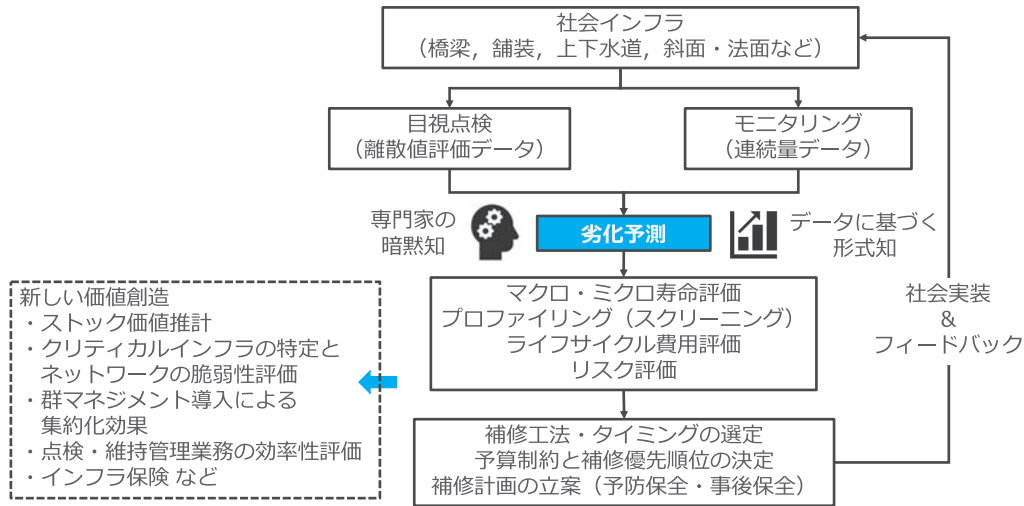


図-1 アセットマネジメントの概要

発しても意味がなく、マネジメントの基本的な枠組み（骨子）が必要になる。

著者等のアセットマネジメントは、質・量ともに多様な目視点検データに対して、適切な統計的劣化予測手法をコア技術として、システムを組み上げていく（カスタマイズしていく）。さらに、統計的劣化予測によって導出されるインフラの劣化曲線（劣化速度）や寿命を科学的な根拠として、最適な維持管理計画を立案するようなEBPM（Evidence Based Policy Making）の構築にも貢献できるものと考えている。

### 3. 統計的劣化予測手法の概要と体系

著者等が開発した統計的劣化予測手法では、基

本的には2回の目視点検データとそれらの点検間隔という3種類のデータのセットを一つのサンプルとして、大量のデータサンプルを用いて劣化曲線や寿命（最低ランクの健全度に到達する年数）を推定し、インフラの劣化予測を行う。図-2は統計的劣化予測手法を体系化した図であるが、それらはインフラに関連する点検データのタイプに応じて、主に4種類に分類される。

具体的には、①変状・損傷の数量を数え上げる点検の場合にはポアソンモデル系、②○、×のような二値評価の点検の場合にはワイブルハザード系、③一般的なインフラのように多段階評価の点検の場合にはマルコフハザード系、④センサー等のように連続量で獲得できる点検の場合には連続ハザード系のモデルを適用する。

これらのうち、③のマルコフハザード系の適用

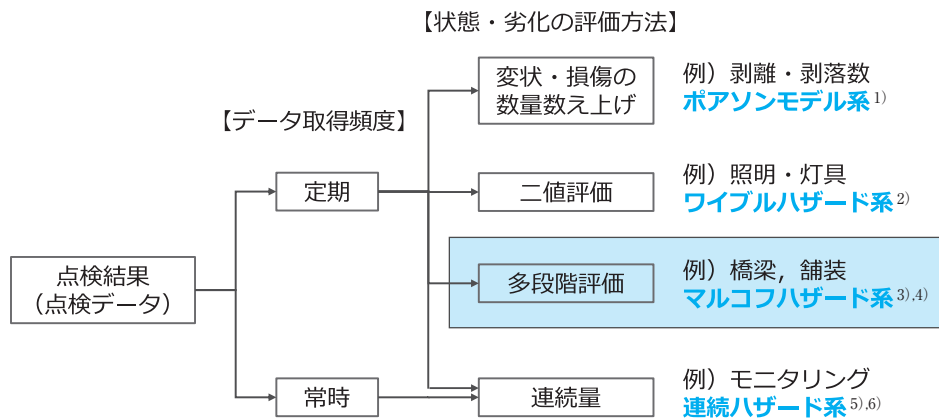


図-2 統計的劣化予測手法の体系

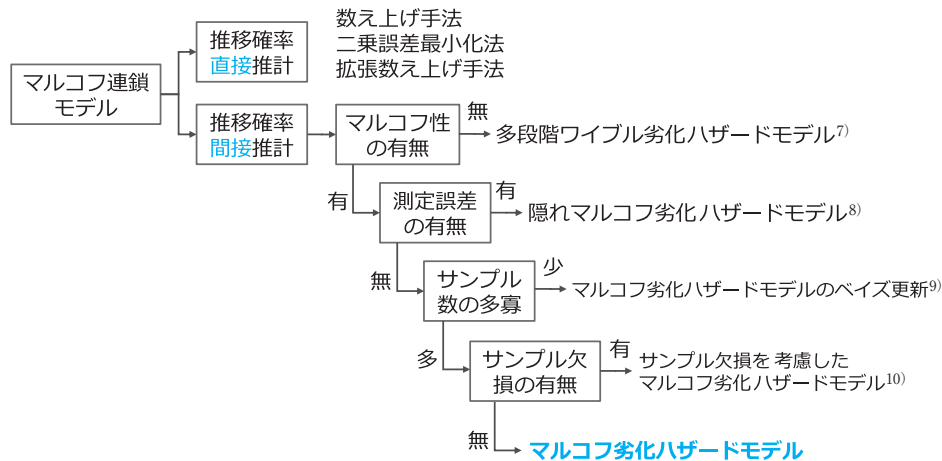


図-3 マルコフ系モデルの体系

事例が最も多く、図-3に細分化されるようにインフラ管理者が保有する点検データの質と量に応じた方法論が開発されている。また、マルコフハザード系をはじめ、統計的劣化予測は管理対象となるインフラ群の平均的な劣化予測を行うための手法であるが、個々のインフラや部材を対象としたミクロな劣化予測を行うための手法も開発済みである<sup>11),12)</sup>。

マルコフハザード系モデルでは、各データサンプルに劣化過程に影響を及ぼす因子（大型車交通量、環境条件など）を含めることにより、これらの劣化因子ごとの劣化曲線や寿命も得ることができる。

これまで著者等の研究グループでは個々のインフラ管理者と個別の共同研究を立ち上げ点検データなどを入手して、研究開発を実施してきたが、例えばxROADのようなオープンデータを利用して、マルコフハザード系モデルと互換性を確保できるようにモデルやシステムをカスタマイズ（xROADとのデータ連携によるデファクト標準化）することが重要である。

その上で、xROADから取得可能な（あるいは今後取得される）新しい情報を劣化要因として考慮した劣化予測を行い、予測精度の恒常的な精緻化を図る。例えば、使用条件としての大型車の軸重や走行速度、環境条件としての降水量、ゼロクロス回数（年間でゼロ度を跨ぐ日数）を考慮して、より精緻な劣化予測、より高度なアセットマネジ

メントを実現することが不可欠である。

#### 4. データ統合と評価の多角化

インフラのアセットマネジメントは、今後4次元デジタルアセットマネジメント（4D-DAM）に発展させていく必要がある（図-4）。例えば、コアとなるアセットマネジメントシステムへの入力データはxROADなどのオープンデータ、データベースと互換性を保有し、そのデータプラットフォームは点群データに基づく3Dモデルを用いるようなシステム設計が重要となる。

アセットマネジメントシステムには著者等の方法論のみが存在するような排他的な構造ではなく、データベースやデータプラットフォームと互換性を有する他のシステムとも接続可能となることが望ましい。すなわち、意思決定者がさまざまな場面に応じたアウトプットを選択・利用できるようなシステムにする必要がある。

実際に、アセットマネジメントは、階層化されたマネジメントサイクルを形成しており、各レベルの意思決定者が必要とする情報（システムアウトプット）は異なる。例えば、本社レベルでは5年から10年の長期維持管理計画を立案するための情報が求められ、支社レベルでは管轄内の年次から短期の維持管理計画に必要な情報が要求される。一方、事務所レベルでは、個別構造物の補修

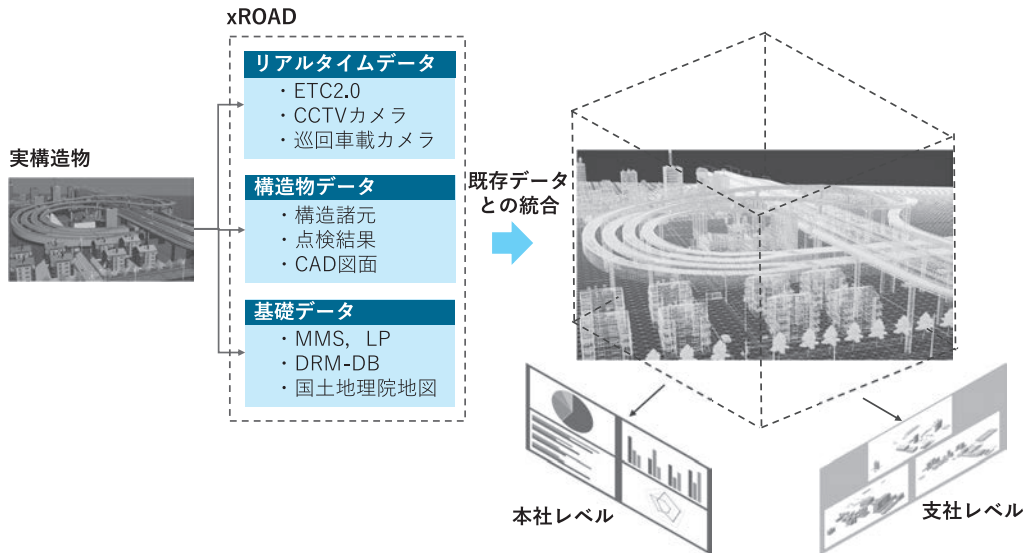


図-4 4D-DAM 構想

計画や、当該年度の点検計画を決定するための情報が不可欠である。

このような意思決定者の情報需要の多様性を満たす（評価の多角化を実現する）ことが4D-DAMには求められる。なお、階層化されたさまざまなアウトプットを出力するためには、システムだけでなく、データ分析を実施できる人材が必要となる。大学が果たすべき役割は、マネジメント分野におけるデータサイエンティストを育成することはもちろんであるが、研究成果を社会実装する際の一つの形態として、4D-DAMの実践に積極的に関わっていくことも必要であろう。

## 5. 統合的マネジメントによる多様な価値創出

高度経済成長期に団塊的に建設されたインフラの老朽化が進行する一方で、近年の地球温暖化に伴う気候変動による気象災害の激甚化・頻発化や、切迫する南海トラフ巨大地震や首都直下地震など、インフラがさらされる環境条件は過酷さを増している。インフラの老朽化問題への対応はアセットマネジメント（日常の管理）、自然災害への備えはリスクマネジメント（非日常への対応）として位置付けることができる。

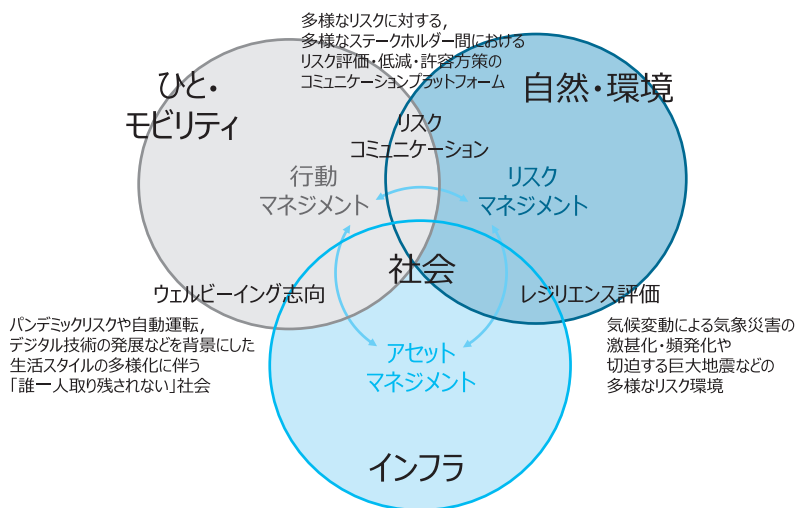


図-5 マネジメントの統合化構想

これまで両者は、学術的には独立して分権的に研究開発がなされてきた。しかし、実務においては日常と非日常を同時に捉えて施策を立案することが一般的であり、アセットマネジメントとリスクマネジメントを接合し、連動させることがそれらの社会実装には不可欠である。

さらに近い将来を見据えたバックキャスト型課題として、多様な価値判断をインフラ施策に取り入れるための政策デザイン論、気候変動を含む地球環境課題に対応した持続可能なインフラ政策の形成手法、多様なリスクをつなぐコミュニケーション論の開発を手掛けることも重要である。

以上述べてきた、筆者が考える「インフラ（アセット）」、「自然・環境（リスク）」、「ひと・モビリティ（行動）」の統合的なマネジメントの概念を図-5に示して、本稿のまとめとする。

#### 【参考文献】

- 1) 貝戸清之, 小林潔司, 加藤俊昌, 生田紀子: 道路施設の巡回頻度と障害物発生リスク, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.1, pp.16-34, 2007.2
- 2) 青木一也, 山本浩司, 小林潔司: 劣化予測のためのハザードモデルの推計, 土木学会論文集, No.791/VI-67, pp.111-124, 2005.6
- 3) 貝戸清之, 小林潔司: マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2, pp.336-355, 2007.6
- 4) 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, 2012.10
- 5) 水谷大二郎, 小林潔司, 風戸崇之, 貝戸清之, 松島格也: 連続量を用いた劣化ハザードモデル: 舗装耐荷力への適用, 土木学会論文集 D3, Vol.72, No.2, pp.191-210, 2016.6
- 6) 小林潔司, 貝戸清之, 松岡弘大, 坂井康人: 時系列モニタリングデータ活用のための長期劣化進行モデリング, 土木学会論文集 F4, Vol.70, No.3, pp.91-108, 2014.12
- 7) 青木一也, 山本浩司, 津田尚胤, 小林潔司: 多段階ワイブル劣化ハザードモデル, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136, 2005.9
- 8) 小林潔司, 貝戸清之, 林秀和: 測定誤差を考慮した隠れマルコフ劣化モデル, 土木学会論文集 D, Vol.64, No.3, pp.493-512, 2008.9
- 9) 貝戸清之, 小林潔司: マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2, pp.336-355, 2007.6
- 10) 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, 2007.1
- 11) 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, 2008.11
- 12) 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, 2012.10