

## 情報技術によるインフラ高度化 Advanced Infrastructure with ICT

石川 雄章<sup>\*1</sup>

Yusho ISHIKAWA

Project Professor, University of Tokyo

### Abstract

In order to develop management of infrastructure facilities with ICT highly and to create new business with infrastructure innovation utilizing ICT Intelligent platform, we are working on the following two subjects of research. The first one is rationalization of inspection and maintenance work utilizing data analyses of inspection data, sensor monitoring data, etc. and sophistication of facility management such as efficiency of work by utilizing ICT equipment. The second is establishing a mechanism of technical support and technology transferring based on codified knowledge of manual etc. and tacit one of experts to support technical judgments on infrastructure management. The results of research in last fiscal year show that it is possible to estimate the soundness of the structure, to extract the cautionary section and to judge the damage by using data analyses of various methods of past inspection data of bridges, tunnel and railroad bed. We plan to study strategies to utilize data analyses in each scene of field inspection, diagnosis, repair and record visualization in infrastructure maintenance.

●**Keywords:** Management of infrastructure, ICT Intelligent platform, Data analyses, tacit knowledge

### 1. 緒言

日本では、高度経済成長期に大量の社会資本が整備されたため、トンネル、橋梁、上下水道、電気、ガス等の様々な土木インフラの老朽化が進行しており、安全性の低下や維持管理コストの増大が懸念されている。また、生産年齢（15～64歳）人口の減少とともに技術者も急激に減少しており、粗雑工事の増加や技術力の低下が指摘されている。

一方、情報通信技術分野では、AI（人工知能）、VR（仮想現実）、IoT等の技術の革新が進んでおり、それらの技術を活用することで、点検・維持管理等の現場業務の効率化、診断や補修に関する技術者の判断支援、経営やマネジメントの高度化など、それぞれの業務においてイノベーションを創出することが期待されている。

こうした状況のなか、東京大学では2009年に、日本を代表するインフラ企業等と東京大学大学院情報学環が共同で「情報技術によるインフラ高度化」社会連携講座（以下「本講座」）を設立し、①ICT活用による施設マネジメントの高度化、②情報活用による技術支援・技術伝承、に関する共同研究を実施している。また、本講座では、シーズとニーズ、技術と運用、理論と実践を結合し新しい価値を生み出すこと、公物管理や情報技術における産官学の横断的な人的・知的なネットワークを創り出すことを目的に、研究会なども運営している。

本稿では、情報技術によるインフラ高度化の取り組みの一つとして、最近注目されているAI（人工知能）、機械学習をインフラの維持管理に適用した本講座（Ⅱ期）における共同研究の概要、東日本旅客鉄道(株)と共同で行った道床補修計画の効率化に関する研究の概要について紹介する。

<sup>\*1</sup>東京大学大学院情報学環 特任教授

## 2. 社会連携講座(Ⅱ期)における共同研究の概要

本講座(Ⅱ期)では、構成員である首都高速道路(株)、東京地下鉄(株)、東京電力パワーグリッド(株)、東日本高速道路(株)、東日本旅客鉄道(株)、日本電信電話(株)が保有するインフラ関連のデータに機械学習モデルを適用することで、点検・診断などインフラ維持管理を効率化・高度化するための研究(以下「本研究」)を行っている。

“データを活用したインフラ維持管理の効率化・高度化”という点では各社ともに同じ研究テーマではあるが、各社それぞれ保有するインフラ(道路、鉄道、電力等)が異なり、社内における運用ルール等もサービスや社内組織に応じた内容であるため、データ分析に求められる業務上の目標や分析結果の見方も各社ごとに違ったものになる。その一方で、管理対象となる構造物(橋、トンネル等)は、設計基準や管理水準、劣化現象、補修方法など類似している部分も多く、各社の研究成果を横断的に比較することで新たな気づきが得られたり、各社に共通する汎用性の高いモデルが生み出される可能性もある。そこで、本研究では次のように研究を進めた。

データ分析～活用までのプロセスは、データ分析における一般的な枠組みを採用し、全ての企業を同一のプロセスで分析を行った。具体的には、業務改善やリスク低減等の成果目標を設定し、成果目標に資する分析目標を設定する「業務理解/データ理解」、各企業から受領したデータの内容を理解し、分析目標に応じた形にデータのクレンジングや加工等を実施する「データ準備/調整」、データ間の関係性を可視化して特徴を把握し、統計分析の手法でデータから有用な知識

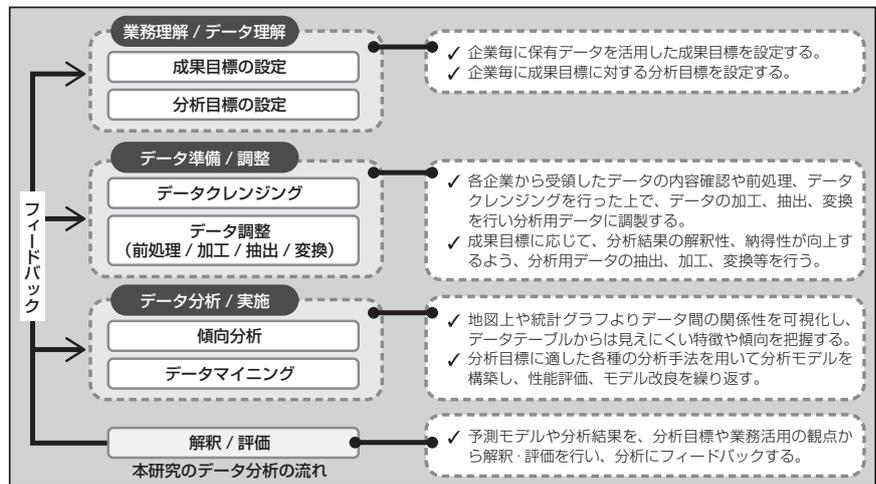


図1 データ分析のプロセス

を抽出する「データ分析」、データ分析の結果を分析目標や業務活用の観点から解釈・評価を行い分析等にフィードバックする「解釈/評価」の4つの段階からなるプロセスである(図1)。

以下、4つの段階について具体的に述べる。「業務理解/データ理解」では、保有データからの制約を考慮しつつ、各社が重要視している課題をもとに成果目標、分析目標を設定している(表1)。「データ準備/調整」では、データ分析の対象となるデータの品質を確保しつつ、適切な形に加工することが求められるが、各社が保有するインフラ維持管理のデータが分析に必要な品質であることは稀である。実際には、実務者による手動での登録も多く、値に実務上の暗黙知が存在する場合や、所定の形式と異なる値の登録、値の表現の揺れなどの課題に対処する必要がある。

表1 企業毎の成果目標・分析目標設定

	成果目標	分析目標	対象
A社	洞道点検手法簡略化への提案(ケーブル背面損傷把握の検討)	ケーブル背面と画像確認可能領域の点検データをもとに、ケーブル背面の損傷推定を行い、洞道の変状程度の判別を実施	シールド湾岸洞道
B社	点検周期適正化への提案(対象物に応じた点検回数変更の検討)	鉄蓋の種類、設置条件等のデータをもとに、劣化進行の傾向分析、要因分析を行い、劣化の遅速に関する特徴を抽出	マンホール鉄蓋
C社	トンネル内点検の打音点検時の見落とし防止、打音点検の効率化	上床のはく離・はく落について、複数路線に共通するor路線固有の影響要因や発生頻度の高い要注意区間を抽出	トンネル
D社	RC床版を有する橋梁の点検・補修計画の最適化(リスク低減)	第三者被害損傷が懸念される水切り部の損傷状態を推定するモデルを構築し、判別性能と影響要因の抽出・評価を実施	橋梁-RC床版
E社	床版の健全度状態推定と点検/補修計画立案の効率化	各構造物の劣化機構を考慮して、より判別性能と納得性の高い健全度推定モデルを構築し、実務での有効性を評価	橋梁-RC上部工
F社	路線の特徴を踏まえた道床の状態推定と補修計画立案の効率化	過年度に構築した道床補修判別モデルを他の路線適用し、判別性能、説明変数の納得性及びモデルの汎用性を評価	道床

また、そうした基礎的な対処を行った上で、現場や工学知見に合う説明変数の選定、業務における管理単位に合わせた値のカテゴリ化や集計、複数の台帳データテーブルの統合等、分析目的に応じたデータの調整を行わなければ有用な分析結果は得られない。特に、インフラ維持管理に関するデータはマーケティングデータ等と比較してデータ量も少ないため、適切なデータセットが生成できるかが有用な成果を出すためのカギとなる。「データ分析」では、データ分析によって明らかにしたいこと(分析目標)と分析に使用するデータの性質(量的/質的)や量によって選択すべき分析手法が異なる。また、現場への分析モデルの適用を考えると現場職員の納得性が重要な要素となるため、深層学習のように分析性能が良好でも分析内容が不透明の手法よりも、線形分析のように分析性能が多少劣っても分析内容の確認ができる手法が好まれる傾向にある。「解釈/評価」では、「データ分析」で所要の分析性能が確認されたのちに、業務に適用した場合の効果を机上で試算するとともに、実業務における分析結果の利用方法を現場職員に示して評価を受けることで有用性を評価した。また、その評価結果をデータ準備やデータ分析等にフィードバックすることで、予測モデルや分析結果の有効性・妥当性を高めるという手順を踏んだ。実際には、データセットと分析手法の適切な組み合わせを見出すまでに何種類もの試行・修正を繰り返し、分析結果を見ながら利用方法の仮説をチューニングする必要があった。この「解釈/評価」の検討は現在も続いており、実業務への導入方法と有効性の検証は、今年度の研究テーマとなっている。

このように研究を進めた結果、実際の業務で利用される事例も出てきている。しかし、データ分析を業務に取り入れたいと考えた場合、最初から上記のプロセスと利用方法をイメージするのはかなりハードルが高い作業であり、普通は、データ分析の成果は何ができるか、効果は期待できるか、をある程度イメージしてから分析に取り掛かりたいと思うだろう。そのため、本講座では、業務目線からデータ分析の優良事例にアプローチできるよう、分析結果の活用方策を利用場面や利用方法の視点で体系的に整理するための枠組みを作成した(表2)。今後、データ分析の活用事例をこの枠組みに沿って整理して事例集としてまとめるとともに、業務活用、分析モデル、データ調整等に共通する知見を整理する予定である。

表2 分析結果の活用策の全体像

成果イメージ 【業務計画/運用】、【基準/ルール/指標】、【技術的判断支援】、【機器/ツール】、【活用者/評価内容】					
現場点検	現場業務の見直し(規程)	点検優先度の策定(運用)	人材育成の強化(統計的根拠)	タブレット等ICTツールの現場活用	リアルタイム/状態監視
診断	個別損傷の判別/推定	構造物総合評価指標/判定モデルを策定	要因分析/データ構造理解	知見の共有	現業の形式化/明文化
措置補修	現在状態の過去実績との相関/乖離分析	対策優先度の選定の策定	経営マネジメント現場の参考指標の可視化	構造物健全度の将来予測(時間的推定)	補修手法の選定/補修効果の評価
記録可視化	路線傾向把握	地図可視化/GIS分析	時間傾向把握	Open Dataの利用促進	技術的データの交換・開示・活用

### 3. 道床補修計画の効率化に関する研究概要

次に、東日本旅客鉄道(株)と共同で実施している道床補修計画の効率化に関する研究について紹介する。現行の道床補修業務では、現場担当者間で道床変状の評価のバラツキがある、道床補修計画と実績との間に差が多く計画の修正作業に手間がかかる等の課題がある。このため、統計的手法によって導出された道床補修対象箇所の特徴からしき値を参考に精度の高い道床補修計画の立案を行い、業務のコストダウンや変状発生リスク低減を図ることが研究の目的である。平成29年度の分析では、学習用データに道床補修実績データ(道床変状)、軌道変位データ(劣化)、設備諸元データ(諸元)、通過車両データ(運用)から26項目、32km区間22万件を用いた。分析手法は、変数自動選択混合判別予測モデル<sup>1)</sup>を用いた。これは量的データを線形判別分析、質的データを数量化理論Ⅱ類の2手法を混合した判別モデルであり、目的変数に関連が少ない説明変数や説明変数同士の共線性を除外し、準最適な説明変数の組み合わせを求めるSFFS法<sup>2)</sup>を用いている。

前年度のデータで構築した判別モデルに今年度の軌道変位データ、諸元データ等を投入して道床補修対象箇所の特徴からしき値を導出し正解データと比較した結果、複数路線(貨物路線、旅客路線)、複数年(4ヵ年データ)とした8セット全てで、一定水準の判別予測性能(発見率:8割以上、回避率:8割以上)を実現した。また、この分析結果の有用性について現場担当者に確認したところ、『技術者は目視で確認できる表面上の変状をもとに道床補修箇所の判断を行う傾向があるが、判別モデルは表面上の変

状以外のデータ(軌道変位、諸元等)も考慮して道床補修対象箇所を判別しており、技術者が判断する際の参考データとして有効『従来の道床補修計画と判別モデルにより作成した優先度の両方を組み合わせると、より精度の高い計画が立案できる可能性がある』等のコメントがあった。平成30年度は、過年度研究で得られたノウハウやモデルを他の路線に横展開し有用性を確認するとともに、研究成果を道床補修計画の立案等の業務支援に試行的に導入し、業務改善効果を評価して実用化に向けた改善を行う予定である。

なお、社会連携講座に参加しているインフラ企業各社においても同様の研究を実施しており、平成29年度の主な研究成果は以下の通りである(表3)。詳細については、本講座のHPをご覧ください<sup>3)</sup>。

表3 平成29年度の社会連携講座の研究成果(主なもの)

	データ分析の概要	対象
A社	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ シールド洞道-2,159リングを対象に、壁面画像の確認可能領域の点検データから洞道の損傷判定を実施</li> <li>➤ 耐力評価の対象となる「軸方向ひび割れ」では、洞道上面の損傷の集中を確認、97.7%の損傷を検出</li> <li>➤ 劣化評価の対象の浮き・はく離では、水の溜まる箇所を説明変数に加えることで94.6%の損傷を検出</li> <li>➤ 『見える部分』からの損傷判定の有効性を確認</li> </ul>	洞道
E社	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 橋梁484橋-3,154径間を対象に、点検管理、橋梁台帳等のデータを基に、RC床版の健全度を推定</li> <li>➤ 健全度IV以上か否かを劣化機構毎に91.6%(疲労)、97.8%(塩害)、100%(その他)で判別、影響項目は劣化メカニズムとの一致を確認、実務者が納得できる結果</li> <li>➤ 推定結果を健全度評価業務に活用し、評価資料作成の省略による業務効率化や見落とし防止を期待</li> </ul>	橋梁
F社	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 営業路線32km-約55,000区間を対象に、変位、諸元、補修実績データを基に、道床補修候補箇所を判別</li> <li>➤ 前年度データで構築したモデルに当年度データを適用し補修候補箇所を推定した結果、補修実績箇所と約8割合致、3年分のデータですべて同等の精度を実現</li> <li>➤ 目視で確認できない劣化箇所に対し、道床補修候補の見逃し防止に期待できる</li> </ul>	道床

## 4. 結言

インフラ維持管理の分野においてAI、VR、IoT等の新技術への取り組みが進んでいるが、その多くは技術面が先行し、必ずしも業務に根付いているとは言えないのが現状である。また、業務に導入する場合でも、検出や作業の自動化、業務の効率化、コスト削減といった面が強く、新サービスの創出、リスクの低減、技術力の向上といった新たな価値を創出する取り組みはあまり見受けられない。

そうしたなか、本稿で紹介した社会連携講座の研究成果は、データと機械学習という切り口から、今後のインフラ管理におけるリスク低減や技術力の向上といった新たな価値を生み出す可能性を示している。インフラ維持管理の分野におけるデータは、マーケティング等の分野と比べてデータ量は少ないが単なる無機質なデータではなく、土木技術者の知識のフィルターを通して蓄積された意味を内包した情報であることが多い。したがって、統計分析の手法に加えて構造的なメカニズムの知識や業務ノウハウといった知恵と経験による“補助線”を引くことで、新しいマネジメントの方法を生み出せる可能性がある。

一方、こうした技術者の知恵と経験はインフラ各社が保有する最も貴重な資産の一つであるが、ここ数年で多くの経験豊富な技術者が現場を離れていくことになる。彼らの知恵と経験をどうやって次の世代に引き継いでいくのか、生産年齢人口20%減の時代を見据えた各企業に共通する喫緊のかつ本質的な課題であろう。

現在の課題は将来の価値創造の源である。次の世代に単なるデータを引き渡すのではなく、意味を持つ情報として暗黙的な理解を明示的にデータで表現するAI等の新技術を活用することができれば、技術者のリタイアという課題は技術の発展的な継承と業務革新という価値創造の契機となるだろう。AIをはじめとする新技術は、人の作業に代わるだけでなく、人との相互作用によって高いレベルで協業することが期待されている。次の世代が中心となって、経験豊かな先達の知恵や他企業の知見を取り入れながら、AI等の最新の技術をうまく利用して、新しいインフラ維持管理の在り方、仕事の進め方を生み出してくれることを期待したい。

### 参考文献

- 1) 長谷川隆、石川雄章、長内圭太、吉田謙一、千田篤史、インフラ保全向け点検優先度予測手法の研究開発と鉄道施設(道床)メンテナンスデータによる評価、情報処理学会研究報告、vol.2016-IS-138、No.5、2016
- 2) Pudil, et al. Floating Search Methods in Feature Selection. Pattern Recognition Letters, Vol. 15, No. 11, pp. 279-283, 1994.
- 3) 東京大学情報学環「情報技術によるインフラ高度化」社会連携講座、社会連携講座の活動成果の概要、available from [www.advanced-infra.org/riaii.html](http://www.advanced-infra.org/riaii.html)