

# 道路橋メンテナンスにおけるAI技術の活用

金澤文彦

## 1. はじめに

近年、道路橋の高齢化が進み、メンテナンスの重要性が高まるなか、橋長2.0m以上の道路橋について5年に1回を基本とした近接目視点検が義務化されている。橋梁点検は、帳票や報告書作成等現場以外の作業も多く、これまで以上に作業の効率化が求められている。維持修繕費用は、今後より一層の増加が予想され、適切な点検・診断をもとにしたメンテナンスが求められている。橋梁についての専門知識を持った熟練技術者の減少などの問題も顕在化してきており、今後の省力化や診断レベルの維持は喫緊の課題である。

このため土木研究所では、AI技術に着目して、産学官による「AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」（以下「AI共同研究」という。）に着手した。

本稿では、点検業務、診断業務、データ基盤構築におけるAIの活用について、業務支援につながる開発要求事項を踏まえ、近年の土木分野でのAI活用に関する研究動向を参考に開発の方向性を考察し、AI共同研究の内容を報告する。

## 2. AI（機械学習）の概要

近年、画像認識を中心にして様々なAIの手法が開発されてきた。表-1に点検、診断で活用が見込まれる手法として、深層学習、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）、敵対的生成ネットワーク（GAN）、決定木、ベイジアンネットワークの概要を紹介する。

## 3. 点検業務でのAIの活用

### 3.1 現状の点検業務と課題

橋梁点検では、有資格者が一つ一つの部材を近接目視で確認し、調書に写真、コメント、損傷スケッチの作成等を行い多くの時間を要している。

点検は次の工程となる診断を適切に行うために

表-1 AI（機械学習）の概要

AIの手法	概要
深層学習 (ディープラーニング)	DNN(Deep Neural Network)を用いた深層学習には、教師データ有り学習と教師データ無し学習がある。学習方法は、出力層のノード誤差から隠れ層のノード誤差を順番に算出し、その誤差に基づき結合部の重みを更新する誤差逆伝搬法を採用し、誤差が最小になったところで、学習を終了するモデルである。
畳み込みニューラルネットワーク (CNN: Convolution Neural Network)	画像認識分野で広く利用されている深層学習の一種で、畳み込み層とプーリング層を用いて、入力画像の特徴抽出を行い、全結合層を通して画像のカテゴリを分類するモデルである。畳み込み層は、抽象化した特徴量を次の層に伝える層で、プーリング層は、前の層の特徴量のうち代表的な値(最大値又は平均値)を次の層に伝えて特徴量を圧縮する層である。これらの層を複数経ることで入力のある変換に対して不変性を持つことができる。出力層は、前の層の値を受け、確率ベクトルを出力する層である。全結合層は、前の層の全てのノードが当該層の個々のノードに対し相互に連結されている層であり、隠れ層の後半や出力層に設けることが多い。
敵対的生成ネットワーク (GAN: Generative Adversarial Networks)	学習データ集合に含まれるデータとよく似たデータを生成する生成器(generator)と、入力が学習データセット由来か生成器由来かを判別する識別器(discriminator)という2つのニューラルネットワークを同時に競争させながら学習することで、目的のデータに近い新しいデータを生成する学習モデルである。
決定木 (decision tree)	ルールを使って条件分岐を行うルールベースのモデルであり、木構造に描くことができ、できるだけ同じようなデータが集まるように分岐基準を設定してデータを分類する学習モデルである。得られた結果の意味を解釈しやすいかどうかの視点から有用なモデルである。
ベイジアンネットワーク (Bayesian network)	現実の事象をグラフ(ノードと矢印)で表し事象間の関係性を確率で表現するモデルで、改良版エキスパートシステムと言える。(従来のエキスパートシステムは、与えられた条件に対して当てはまる回答を行う仕組みで推論規則に柔軟性が欠けていた。)不確実性を含む事象の予測や合理的な意思決定、観測結果から原因を探る障害診断などに利用できる。

必要な情報を漏れなく提供することが目的であり、情報の量、内容、精度等は診断から要求されるものである。診断の前工程として見落としなく情報を取得して損傷の疑いのある変状を抽出するために点検調書が最適なものになっているか再確認しておく必要がある。

### 3.2 AIの活用

#### 3.2.1 開発要求事項

点検業務支援においてAIに期待される機能(以下「点検AI」という。)として、①要点検部位への誘導とフォーカス、②画像等センサによるデータの採取、③採取データの分析、④前回点検データ等との比較、⑤点検調書におけるスケッチやコメントなどの自動作成等を提案している<sup>1)</sup>。

#### 3.2.2 関連する既存研究

点検AI開発に関連する既存研究を紹介する。

コンクリート構造物を対象に、ひび割れ幅

Collaborative Research on the use of AI for Efficient Bridge Maintenance

0.2mm以上、検出精度80%以上を目標に、CNN等を用いてひび割れの位置、形状、幅、経年進展を自動で算出し、描画可能なシステムや分割撮影した画像を高精度に自動でパノラマ合成する技術が開発されている<sup>2)</sup> (3.2.1開発要求事項の③、④、⑤に関連)。

橋梁のコンクリート床版の剥離検出を対象に、損傷画像とそれに対応した損傷位置のアノテーション画像(あるデータに対して関連する情報を注釈として付与した画像)を教師データとして、CNNを用いて「剥離」と「鉄筋露出」の損傷位置を推定する学習モデルが開発されている<sup>3)</sup> (①、⑤に関連)。

トンネル点検では、幅0.3mm程度のひび割れを判別できる走行型計測車両による計測後、迅速に展開図を作成し、損傷個所の健全度診断を行い、効率的に点検調書を作成するため、計測車両のカメラ画像や計測データを用いてCNN、GANによるトンネルの変状位置や形状を自動的に検出するモデルの開発が行われている<sup>4)</sup> (①、②、⑤に関連)。

### 3.2.3 開発の方向性

画像認識技術には、クラス認識(入力画像内の物体の属する概念を予測する技術で、例えば様々な形式や色彩の橋梁画像を見て「橋梁」と出力するもの)、画像生成(新規に画像を生成するもの)、画像キャプション生成(画像の内容を自然言語で記述すること)などがある<sup>5)</sup>。

3.2.1の開発要求事項に対して、CNNによるクラス認識技術、GANによる画像生成技術の適用は実現性が高いと考えられ、点検調書のコメント作成には画像キャプション生成技術の適用が可能性として挙げられる。

開発にあたって、学習データの解像度、損傷個所の切り出し方、データの枚数などによって判定精度にばらつきが生じるため留意が必要である。

さらに、現在の橋梁点検では行われていないが、最近顕在化している道路橋床版上面の土砂化の問題を考えると、その主要因は、路面からの浸透水がコンクリートの空隙を満たし輪荷重による水圧でモルタルが破壊されて生じるなどと言われている。外観では見ることができない舗装下及び床版中の水分分布を、電磁波レーダの画像からCNNなどを用いて検知して劣化範囲を判別する技術の

開発ができれば、土砂化の予防保全措置を取り得る可能性があると考えている。

## 4. 診断業務でのAIの活用

### 4.1 現状の診断業務と課題

道路橋を診断する際に、点検から得られる外観の劣化状況等から劣化要因を推定し、部材の状態を評価して、対策の要否を判定することとなる。診断技術者の経験と知見をもとに総合的に判断しており判定作業に多くの時間を要するとともに、定性的なため判定内容にばらつきが生じており、信頼性の点で課題となっている。

### 4.2 AIの活用

#### 4.2.1 開発要求事項

診断業務支援においてAIに期待される機能(以下「診断AI」という。)として、①必要な詳細調査の指示、②損傷種類(病名)の特定、③損傷の進行度の推定、④原因の特定、⑤措置方法(処方)の提案、⑥措置の総合判定と説明が必要である。論理的かつ説得力のある所見や代替案などを示す必要があり、ブラックボックスにならないよう診断ロジックを学習させたいという診断結果を説明できるモデルが適していると提案している<sup>1)</sup>。

あわせて、診断ロジックの信頼性を高めるためにも、部材ごと損傷ごとに損傷メカニズムを解明し、劣化状態に応じた点検手法、診断方法、措置方法をセットとする対処情報を体系化する研究を進める必要がある。

#### 4.2.2 関連する既存研究

診断AI開発に関連する既存研究を紹介する。

RC橋梁、PC橋梁を対象としコンクリート構造物の劣化診断ソフトが開発されている。環境・供用条件などの諸元を事前に説明変数として入力し、点検結果等から構造上の変状、ひび割れ状況などを入力し、各変数の重み係数を定めて演算したうえで、各部位の劣化原因を推定し、劣化程度、第三者影響度を判定するものである<sup>6)</sup> (4.2.1開発要求事項の②、③、④に関連)。

橋梁部材の点検データを用いて劣化状態について多クラスの判別モデルを構築している。劣化状態のクラスと劣化要因となる説明変数の間で線形関係を明示できる一般化線形モデル(GML: Generalized Linear Model)を用いて、劣化状

態を判別するための要因となる150の説明変数の重みを視覚化し対策の照準を明示している。また、今後の劣化進行に関する感度分析の方法も提案している<sup>7)</sup> (③、④に関連)。

コンクリート構造物の外観上の劣化状況(写真)や劣化に関する諸元情報をもとに、劣化要因判定(主要な7項目(ASR、塩害、中性化、凍害等))、健全度判定(5段階)のクラス認識にCNNを用いたモデルが開発されている<sup>8)</sup> (②に関連)。

#### 4.2.3 開発の方向性

点検調書から得られるデータを用いて、部材ごとと損傷ごとに劣化状態の判定要因について一般化線形モデル等を用いて統計的に分析することにより、診断の際に重要視する要因を抽出することができる。これにより現状の平均的な技術レベルでの診断方法を確認できると考える。

また、熟練の診断技術者の判断ロジックをもとに、決定木等ルールベースの手法を用いて学習させることにより、4.2.1の各開発要求事項を判断するための判断基準を可視化することで、説明力の高い診断所見を示すことが可能になると考える。

さらに、診断する際に根拠となる様々な判定要因の関係性についてベイジアンネットワーク等を用いて、統計データをもとに確率的な構造で表現することで、観測された要因の統計量から他の要因や判定結果の確率分布を推論することができるため、判定に関係の深い要因を明らかにすることができ、診断ロジックを可視化し説明力の高い技術として活用可能性があると考えられる。

これらの手法を相互に補完して用いることにより、熟練の診断技術者の判断を再現して診断ロジックの信頼性を確保するとともに、不確かな要因を観測等で明らかにするたびに診断ロジックを修正してレベルアップさせ、熟練の診断技術者でも気づかなかった判定要因の発見、若手技術者の教育にも活用できると考える。

判定精度を高めるために、熟練の診断技術者の判断ロジックをデータとして蓄積して教師データの量を確保するため、維持管理業務のなかでデータの蓄積がルーチン化されるしくみを考える必要がある。また、安全側の判定となるよう、AIが誤判定した際のリスク軽減防止についても検討する必要がある。

## 5. データ基盤の構築

### 5.1 現状のデータ基盤と課題

メンテナンスの記録段階では、点検・診断結果とともに実施した措置について、次回の定期点検時等に効果を確認するため、部材単位で記録を行わなければならない。

現在は、調書を2次元図面や表形式で作成しているため、部材ごとの損傷状況や措置状況について空間把握、経年比較や診断に必要な十分な情報の検索が難しいなどの課題がある。

### 5.2 AIの活用

#### 5.2.1 開発要求事項

メンテナンスサイクルを通じて変状や措置状況等の空間把握や経年比較を容易にするために、地理空間上で3D(3次元)データ構造で保管・更新し、データマイニングや統計分析可能なシステムとする必要がある。

#### 5.2.2 関連する既存研究

例えば、多視点画像3D構築技術(SfM: Structure from Motion、大量の画像から3Dモデルを自動生成する画像解析技術)により3Dモデルを用いた橋梁維持管理システムが開発されている<sup>9)</sup>。

#### 5.2.3 開発の方向性

地理空間情報上で3Dモデルを基図としたシステム開発により、正確な座標情報に基づいたデータ管理が可能となり、変状・補修箇所の位置や形状の特定、変状・補修数量の正確な把握と時系列管理を行うことができる。また、これらの機能に点検AI、診断AI等のAIを組み合わせることにより、点検・診断等に必要な情報の検索・表示などをシステム上で行うことが可能になると考える。

## 6. AI共同研究

土木研究所は、AI・システム開発者、診断技術者、コンサルタント、道路管理者で構成する25者と、点検AI、診断AI、データ基盤の開発を内容とする共同研究を、平成30年9月から4年間の研究期間で開始した(図-1)。この研究体制のなかで、前章までに考察した開発の方向性を具体的に検討していきたいと考えている。

点検AIの開発については、ロボット等による点検作業の補助や一部自動化を目指し、ひび割れや腐食等の変状の検出・識別、要点検箇所への誘導等を可能とし、センサ等から取得した点検データについて、前回との比較分析や、診断を行うために必要な精度で必要十分な情報を効率的に抽出するための技術を開発する。

診断AIの開発については、周辺環境、取得画像、各種非破壊試験結果の分析等を通じ、様々なデータ・物理量と劣化との関係を明らかにするとともに、損傷の種類を特定し、その原因に至る要因への措置方法を提案する技術を開発する。例えば、熟練の診断技術者の診断ロジックを可視化し、診断を支援する技術を開発する。また、将来的な点検調書作成の自動化を想定し、診断AIのインプットデータとして最適な点検調書のフォーマットを検討する。

データ基盤の開発については、点検調書データ、診断ロジックの言語化データ等を対象として、AI活用の目的に応じた教師データのセットを整備する。また、3次元化された構造データ上に橋梁カルテデータ、点検データ、診断所見等を重畳して、システム上で点検AI、診断AIで開発した技術なども統合してメンテナンスサイクルを通じて活用できるシステムを検討する。

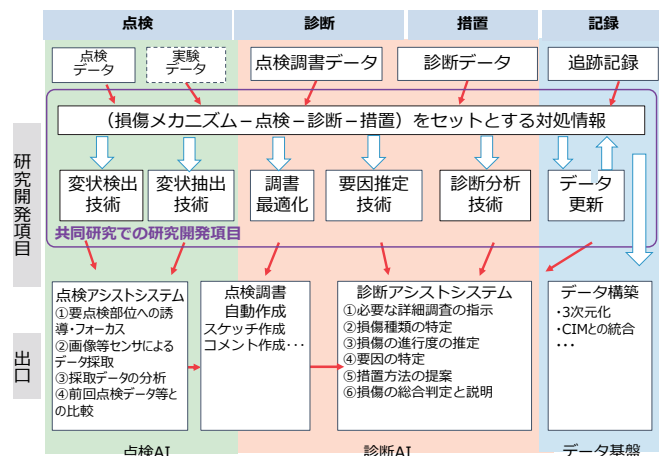


図-1 AI共同研究の全体像

## 7. おわりに

今後、道路橋メンテナンスにおいて、業務の効率化、技術レベルの維持に貢献できるよう、AI共同研究の体制のもとでAI活用技術の開発を促進していくこととしている。

### 参考文献

- 1) 西川和廣：道路橋メンテナンスサイクルへのAI導入に関する一考察、土木学会第73回年次学術講演会、2018.8
- 2) 藤重紀、佐藤久、白石有佳、早坂洋平、永見武司、小林匠、増田健：道路構造物ひび割れ自動検出技術の開発、土木学会第73回年次学術講演会、2018.8
- 3) 柏貴裕、長井宏平、龍田齊、Helmut Prendinger、井林康、Juanjo Rubio：畳み込みニューラルネットワークを用いたコンクリート床版の損傷検出、土木学会第73回年次学術講演会、2018.8
- 4) 榎本真美、藤原広志、松原健二、重田佳幸、安田亨：AIを用いた道路施設の変状箇所個別抽出モデルの開発、建設コンサルタント業務研究発表会、2018.9
- 5) 原田達也：画像認識、MLP機械学習プロフェッショナルシリーズ、講談社、2017.8
- 6) 松山公年、吉田典明、尾崎裕司、藤原鉄朗：コンクリート構造物の劣化診断ソフトの開発、こうえいフォーラム第13号、2005.1
- 7) 安野貴人：予測メンテナンスとインフラ劣化学習モデル、人工知能学会、2018.3.16
- 8) 町田敦志、喜多敏春、多田徳夫、武井宏将、近田康夫：ディープラーニングによる橋梁（コンクリート部材）の劣化要因・健全度判定モデルの構築、土木学会第73回年次学術講演会、2018.8
- 9) 新名恭仁、野中秀樹、笹田航平、小林裕介、西岡英俊、長峯望：多視点画像三次元モデルの土木構造物維持管理への適用に向けた新たな試み、土木学会第72回年次学術講演会、VI-967、2017

金澤文彦



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
橋梁構造研究グループ長、博士（工学）  
Dr. Fumihiko KANAZAWA