論　説

地方公共団体の橋梁維持管理への ICT 活用の可能性

長井　宏平*

橋梁の定期点検が義務化され 5 年が経ち，全国の約 73 万橋の点検が一巡し本格的に橋梁維持管理のサイクルを回す段階に入った。一方で，橋梁の 7 割以上を管理している市町村では，予算，人材，技術力が不足していることが指摘されており，かぎられたリソースのなかで効率的に維持管理をすることが求められている。近年の情報通信技術（ICT）の発達は，維持管理の効率化に有用であると期待されている。橋梁点検データベースはビッグデータと呼ばれる域に入っており，現場の管理の効率化や，将来の損傷度予測，予算予測に活用されている。タブレット端末を用いた橋梁点検は現場の点検時間と点検結果の登録時間の短縮に有用である。損傷の検知には AI の活用が期待されている。また，橋梁データと道路ネットワークデータなどの空間情報と組み合せて新たな管理指標を生み出すことなどが可能となる。今後，インフラの重要性をより一般市民に理解してもらうことは重要になり，ICT の積極活用により，市民によるインフラ損傷の投稿などが試みられている。オープンデータ，オープンパブリックの時代に即した，橋梁データの活用が望まれている。

キーワード：地方公共団体，橋梁データ，ICT 活用，空間情報，オープンデータ

1．はじめに

地方公共団体の橋梁維持管理に人材不足，予算不足，技術力不足が具体的に認識され始めて 10 年ほどが経つ。この問題が顕在化したのは，国が地方公共団体へ橋梁の長寿命化修繕計画の策定を促したからであり（長寿命化修繕計画策定事業費補助制度，市町村道については 2007～2013 年[1]），当時，定期点検を行っていなかった多くの地方公共団体が約 5 年をかけて橋梁を点検し，補修などが必要な橋梁に対して修繕計画を立てた。この過程で，多くの地方公共団体がこれまで実質的に橋梁を点検していなかったことが明らかになり，劣化が相当に進んだ橋梁が，たとえば山間部の短い橋梁で多く見つかることとなった。2012 年に笹子トンネルの事故を契機に，現在の 5 年に一度の定期点検の制度化がなされ[2]，その 1 巡目が終わろうとしている現在，実際には多くの地方公共団体では 2 回目の点検がされている。地方公共団体の人材不足，予算不足，技術力不足については，さまざまな観点から指摘や考察がなされ，現在は技術者育成や橋梁点検の効率化について取組みがなされている。国も地方公共団体を技術的にも支援すべく地方整備局に道路メンテナンスセンターを立ち上げるなど積極的である。今後も，人材育成や診断支援，予算確保の取組みが進んでいくであろう。

* Kohei NAGAI

東京大学
生産技術研究所 准教授

一方，情報通信技術（ICT）を活用した効率化の試みも始まっており，研究ベースの取組みから社会実装，損傷検知技術からオープンデータ活用，一般への広報活動まで幅広い。このようなことが可能になったひとつの要因は，ICT の飛躍的な技術革新であり，インターネット通信技術，ビッグデータ分析技術，AI 技術がその代表となる。もうひとつの要因が，橋梁点検データベースの構築である。定期点検をもとに橋梁の損傷情報がデータベースとなったことで ICT との連携が可能になり，これが意味することは，単に橋梁データのみの分析を行うに留まらず，橋梁データを世の中のほかのデータを組み合せて新たな価値を生み出す可能性を示している。内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）インフラ維持管理・更新・マネジメント技術で取り組まれた課題はこれを加速させるものであり，旧来の建設産業分野とは異なった分野からの参画を得ている[3]。

地方公共団体の抱える諸問題の解決に ICT への期待は大きい。点検，診断，処置，記録のサイクルの実行と，そのサイクル自体を改善し効率化するためには，データを活用することが必須であり，その素材となる点検データの整備が進んでいる。一方で，現在幅広い多くの ICT 活用が提案されており乱立状態ともいえ，どのような技術を用いることが各地方公共団体にとって効率的かの判断が難しく，ICT 技術を使いこなす技術力も個別の地方自体での取組みでは限界があるのも現状である。本稿では，地方公共団体の橋梁維持管理に関する橋梁データや ICT 活用の現状，将来の可能性について，単に点検効率化技術に留まらず他分野技術との活用の観点から，筆者らの主に新潟県市町村での取組みを紹介しつつ，解説する。

2．地方公共団体の橋梁データベース

橋梁データベースがあれば，分析や活用がすぐにできる

と思いがちであるが，そう簡単ではない。データの種類と精度，つまりデータの「質」が高いとはいえないのが現状である。これは本質的には，データ分析をするためにデータを取得していないことが原因である。点検は主に，点検箇所ごとに目視の状況に応じて損傷度を決め，それらの総合として部材や橋梁単位の損傷度が決まり，最終的には対策を含めた判定がなされる[4)]。対策の決定がデータ取得の目的であり，将来の損傷進行の可能性などを検討できる枠組みになっていない。たとえば，同じコンクリートのひび割れの長さや幅でも，鉄筋腐食などで進行性のあるものと，初期の乾燥収縮などが原因でおそらく進行しないひび割れを，進行性の有無も合せて記録すれば，将来予測の精度は上がるはずであるが，記録上は同じ損傷度で，所見として文章で書くことになり，反映は難しい。また，点検の精度も点検員によるばらつきが指摘されており，各損傷度のデータ自体の精度を評価するのは難しい[5)]。

また，後述する空間情報との融合に関しても，橋梁の位置情報は最重要データであるが，それが記録されていなかったり，誤った位置のままで記録されている場合もある。記録が義務で無かったり，点検者の入力間違いが原因であるが，それはこの情報の活用方法を示していないことが問題である。どのように活用するか，そのためにどの程度の精度が必要なのかを示せば，点検員はそれに従ってデータを取得してくれる。つまり，目的が無いとデータの質は下がるのである。

また，地方公共団体の橋梁点検データは，基本的には地方公共団体ごとに管理され独立した異なるデータベースにあり，統合には手間がかかる。たとえば研究用に地方公共団体のデータを集めようとすると，個別に依頼し，フォーマットの異なるデータを編集する必要が生じる。県によっては，県の建設技術センターなどである程度取り纏めているので，その場合は，活用が容易となる。点検の精度や判定基準についても，点検員によって異なり，たとえば同じ講習を受けていればある程度，基準が統一されるが，異なる地域で同じ判断基準で損傷レベルが判断されているか分かってない。点検データベースを地方公共団体も含めて全国で統合することが理想ではあるが，現状では，各管理者にとって統合作業，改めての登録作業が負担であり，それに対するメリットがない。規模の小さな地方公共団体では橋梁の維持管理担当者は数名で，管理橋梁数も百から数百程度と少なく，事務職員が担当している場合もあり，統合データベースを作るメリットを，たとえば，管理費用が下がる，労力が減る，構造物の安全度が上がる，といった指標で具体的に示さないかぎり難しい。

以上のように，現在の地方公共団体の橋梁データは，質の低い膨大なデータが地方公共団体ごとに分散して格納されている状態である。とはいえ，これはデータ活用の取組みが初期段階だからであり，今あるデータでできる分析や活用の試みから発展させ，必要なデータの種類や精度を示し，データ取得の種類と質を向上していけばよいのである。

3. 橋梁データベースの活用

3.1 将来の橋梁健全予測と予算予測

ばらつきの大きなデータではあるが，橋梁点検データは群として捉えると劣化の傾向を理解できる。これを活用して橋種など種別ごとの健全度の低下モデルを作成すれば，将来の橋梁健全度の推計が可能となる。これに橋梁ごとの重要度に応じた補修のシナリオや補修費用をインプットとすれば将来の予算予測が可能となる。**図 - 1** は筆者らが過去に行った新潟県市町村の橋梁健全度を建設後経過年で整理したものの一例である[6, 7, 8)]。横軸は建設後経過年で縦軸は健全度を数値に変換したもので数字が大きい方が劣化している。プロット数の多さをバブルチャートで示している。データの幅が非常に大きい，つまり建設後数年で劣化するものもあれば，経年を経ても健全なままの橋梁もある。しかし各年の平均値をみると直線的に健全度が低下しており，傾向を掴むことが可能である。地方公共団体の市町村道の橋梁は，国道や県道と比較して，短い橋が多い。

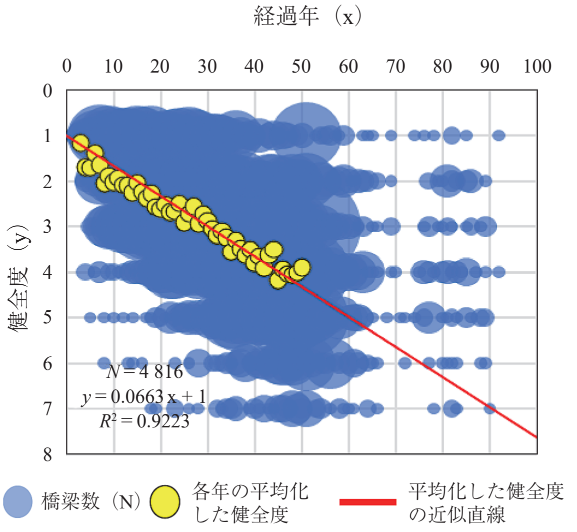

図 - 1　新潟県市町村橋梁劣化度の整理の例

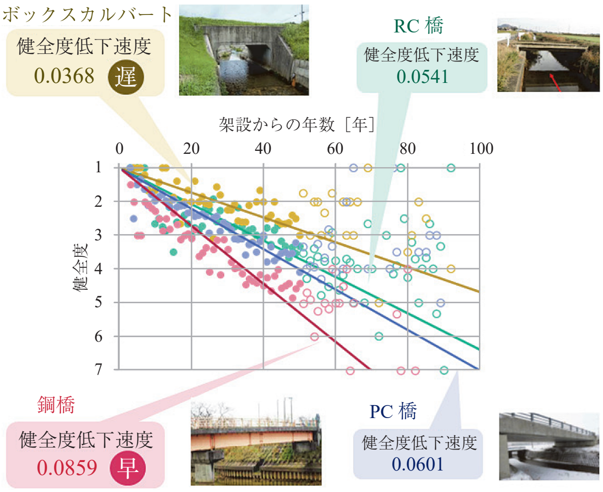

図 - 2　橋種別の劣化度の整理の例

短い橋は長い橋に比べてデータを整理すると健全度の低下が遅いことが分かっている。また，ボックスカルバートの割合も高く，ボックスカルバートは桁端が無く損傷しづらい。筆者らは過去に新潟市の橋梁の健全度と予算の将来予測を行ったが，その際は橋梁種別を鋼橋，RC 橋，PC 橋，ボックスカルバートの 4 種類（図 - 2），橋長を 14.5 m 以上と未満の 2 種類，海岸沿い橋梁か否かの 2 種類の組合せで，計16パターンの健全度低下モデルを作成して予測を行った。これは，市町村橋梁の特徴を反映したものであり，国道データや県道データを用いるのは適切ではない。推計結果は，新潟市の橋梁維持管理計画策定に活用されている[9]。なお，このような健全度低下モデルがあると，個別橋梁の健全度の将来予測が可能のように思えるが留意が必要である。あくまでモデルはばらつきの大きなデータから傾向を得たものであり，さまざまな統計手法を駆使したり複数回の点検データを用いたとしても，将来予測に平均化したモデルを適用した際は，高い精度は望めない。これは，橋梁が多様な部材の組合せのうちもっとも劣化した箇所で健全度が決まることに加えて，建設時の施工の良否の影響，環境の影響，排水機能の不具合など，個別の局所的な状況の影響が大きいことなどが理由であり，ほかの一般的な工場製品や，道路舗装のように比較的均質な材料の劣化に対するデータ分析とは異なることを認識する必要がある。現在のデータの種類や精度，橋梁劣化の特徴を考慮すると，大枠で傾向をつかみ，おおよその将来予測から，必要な予算を推計していくことが実用的に有用で，実際に多くの管理者で行われている。このような推計は規模の小さな市町村で独自に行うのは容易ではないので，県単位などで纏めて行うことが望まれる。各地域の大学の取組みにも期待したい。

3.2　写真データの活用

橋梁点検では多くの写真が撮影され記録される。写真は実際の状況を記録し，現場以外での健全度診断にも有用であるが，写真データ自体の活用は限定的である。橋梁点検のガイドラインなどには，写真の撮り方におおよそのルールはあるが厳密ではない。また，画像の解像度や保存方法も一律ではなく，データベースとして検索や抽出がしやすい環境になっていない場合も多い。橋梁点検データベースのデータ量のうち，実際はほとんどは写真データであり，今後も定期点検のたびに累積していくことに対して活用がなされないのは不合理であり，今後の取組みが期待される。

AI 技術の発達が目覚ましく，建設産業にも導入が進み始めている。とくに AI の適用が優位性を発揮するのは画像関係の分析である。数字データの分析や活用は，データが膨大で種類が多くとも，多くの場合はニューラルネットワークなどの統計的手法により AI を用いなくても同様の結果が得られる。しかし画像処理については圧倒的に AI の方が適している。現在の橋梁維持管理に対しての AI 活用は主に損傷検知であり，ひび割れ検知は教師データとなる画像が多くあるので，高い精度の検知システムの商用サービスも提供されている[10]。また，非常に多くの適用の事例が早いサイクルで研究論文として公表されているので，たとえば Automation in Construction（Elsevier）などの国際論文誌をみると，日本の建設業界の AI 活用や BIM に関する研究が遅れをとっていることが分かる。この分野のスピード感は従来のコンクリート工学分野とは違うことの認識も必要であり，研究者には世界の先端技術を日本に円滑に移転する役割がある。

地方公共団体の点検写真の特徴の一つに，過度に劣化した損傷写真が多くあることがある。重度の鋼材腐食，コンクリートの剥離や鉄筋露出など，初期の施工品質が悪かったことと長年に渡り点検がされていなったことで，国道や県道には無い画像データがある。筆者らはこれらを用いてコンクリートの剥離と鉄筋露出を全層畳み込みネットワーク（Fully Convolutional Network; FCN）を用いて検知する AI システムを作成した（図 - 3）。剥離や鉄筋露出のデータセットがまれであることがオリジナリティとなり，国立情報学研究所 Prendinger 教授との共同研究で AI の理論的にも独自性をもたせた研究が実施できたが[11]，やはりデータセット依存の側面はあり，研究単独でなく社会実装を目的に置いた開発が重要であると感じている。現在，損傷検知システムの社会実装に向けた開発スピードは速く，近い将来に，たとえばドローンや高解像度カメラからの撮影から瞬時に損傷個所を検知する技術が実用化され，とくに点検の合理化を進めたい地方公共団体への適用が期待されている。

また，橋梁支承部の腐食についても，過度な腐食が生じ

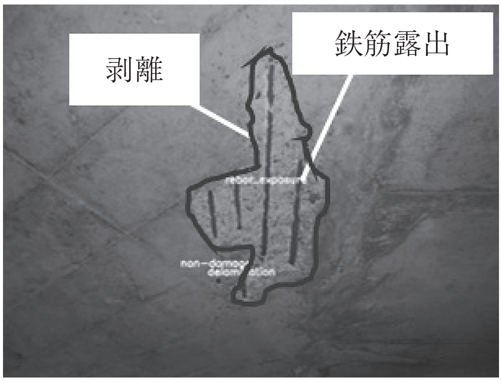

図 - 3　AI による損傷自動抽出（FCN）

図 - 4　AI による支承画像作成（GAN）

ている点検写真が，地方公共団体のデータベースには存在する。鋼製支承が腐食した際の対策の判定は，計算で耐力を推定することが容易ではないために，見た目からの判断が主となる。AI 技術を用いれば，現在の腐食状況から将来の腐食状況の予測画像を作り出すことも可能となってくる。つまり，現在は主に損傷検知の技術開発が行われいるが，AI は画像を作り出すことも得意としており，将来の損傷画像を作り出し，維持管理計画に活用することも期待される。図 - 4 は著者らの研究で，敵対的生成ネットワーク（Generative Adversarial Networks; GAN）を用いて，腐食した鋼製支承の画像を学習させ，イラストから腐食した鋼製支承を描かせたものである [12]。

AI を用いた研究開発が増加しているが，保有しているデータセットの独自性と，実際に維持管理の効率化に使えるかの社会実装性を見極めた観点で取り組まないと，AI を専門とする情報技術分野の研究者には立ち向かえない。

4. タブレット端末を用いた橋梁点検

ICT 活用で維持管理の効率化を図る取組みのうちもっとも具体的に適用が進んでいるのはタブレット端末を用いた橋梁点検である。軽量で小型のタブレット端末での点検は，現場での取扱いが容易であるとともに，過去データの参照も容易にする。拡張現実（AR）を活用して過去の損傷位置や状態の表示，スマートグラスとの組合せなどが期待され技術開発が進んでおり，入力作業も容易になる。新潟市では長岡高等専門学校の井林教授が開発したシステムを用いて，橋長の短い橋梁数百橋の点検の試行を始めている [13]。このシステムはカンボジアなどの海外でも使われている [14]。橋長の短い小規模橋梁は橋梁形式がシンプルで記録過程がシステム化しやすい。また，点検後のデータベースへの入力作業が不要になることで時間短縮が図れる（写真 - 1）。点検現場で用紙にペンで入力すると，そののち，パソコンへの打込みが必要となるが，この時間を実質ゼロにすることが可能になる。これは費用削減効果が高い。ただし，ひび割れ図や損傷図の入力はまだ効率化されておらず，小規模橋梁に適用の試行は留まっている。ここに AI による自動損傷検出が組み込まれることを期待している。損傷個所を写真から直接検出して記録すれば，これまでの手書き損傷図より正確で，次回点検時の比較も定量的になり，写真の撮り方のルールも具体的にできる。タブレット端末システムの導入は，点検コストの削減につながるなど明示的なメリットが多い。予算や人員不足，短い橋梁が多い地方公共団体に広がっていくと期待される。

写真 - 1　タブレット端末による小規模橋梁点検試行

5. 空間情報との融合

5.1　迂回路計算と橋梁重要度への反映

橋梁データに位置情報があると他分野のデータとの連動が可能になり，活用の可能性が飛躍的に高まる。気象データや道路ネットワークはその代表的例である。気象データからは橋梁が過去に経験した温度や降雨，降雪などの情報が得られ，損傷原因や将来リスク推定の一助となる [15]。交通ネットワークデータは，橋梁の使われ方の推計に有用である。気象分野も交通分野も計測や将来の推計に関する研究が盛んであり，それらの研究成果との連携も可能となる。

地方公共団体に対して，著者らは橋梁位置データと道路ネットワークデータを用いて，橋梁通行止め時の迂回路計算プログラムを作成し，新潟県市町村の約 9 000 橋に対して計算を行った（図 - 5）[16]。地方公共団体の山間部など

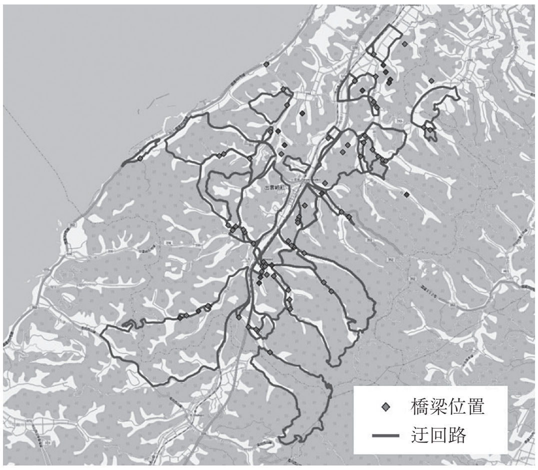

図 - 5　山間部橋梁の迂回路計算結果

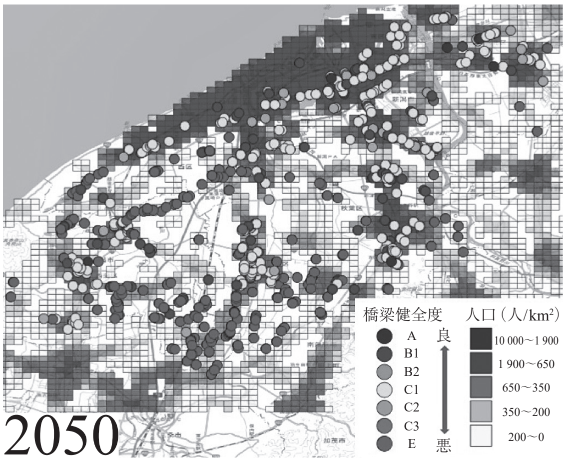

図 - 6　橋梁健全度と人口の将来予測例（2050 年）

では利用度は少ないが，損傷などで橋梁が通行止めになった際に迂回路が長く近隣の利用者の生活への影響が非常に大きい橋梁がある。主要道にない橋梁は管理水準が低く設定され損傷時には通行止めも認めることが多い。たとえ周辺人口が少なくとも，緊急車両の到着時間などを考慮すると，迂回路距離が長い橋梁は，通行止めにしない管理が望まれる。しかし，すべての橋梁の迂回路距離をひとつひとつ確認することは容易ではない。作成した迂回路計算プログラムは橋梁位置を入力すれば自動で迂回路を計算する。計算時間は1橋1秒以下で手作業より早い。これにより新潟市管理約4 000橋すべての迂回路を計算し，従来，通行止めを認めていた橋梁のうち，迂回路距離が3 km以上と迂回路の無い橋梁は，管理水準を通行止めの前に対策を実施するカテゴリーに引き上げた。国際連合が掲げる持続可能な開発目標（SDGs）の「誰一人取り残さない」は，開発途上国だけでなく日本の山間部にもあてはまる。これを実現可能にするのはICT活用である。また，山間部の利用頻度の少ない橋梁の交通量を計測するシステムも開発している[17]。

5.2　将来の人口減少と橋梁劣化

総務省は500mメッシュの将来の人口推計を公表しており，とくに山間部の人口が減ることが分かっている。地方公共団体にとっては，人口減少で橋梁の利用者が減ることが分かっているなかで橋梁の老朽化が進み，補修が必要となり，さらに税収が減ることも予想されているので，将来予測に基づいた補修優先度決定や廃橋，橋梁集約を計画することが必要になってくる。前述の橋梁劣化の予測と，人口減少を考慮した維持管理シナリオ作成も，データ活用により可能になる（図 - 6）。

5.3　人工衛星データの維持管理への活用

とくに山間部の橋梁の維持管理は，日常点検の頻度を下げざるを得ないことも予想される。そのような場合に，橋梁を遠隔でモニタリングする可能性として，人工衛星データの活用が考えられる。現在，合成開口レーダ（SAR）を用いれば，理論的には垂直方向ではミリメートル単位で変位の計測が可能になっている[18]。人工衛星データから，橋梁の位置を正確にモニタリングできれば，災害時を含め，大きな変状が起きた際などの一次スクリーニングの手段として期待できる。解像度や精度に未だ向上が望まれるが，技術革新のスピードは速いので，利活用の検討は今から始めるのが良い。

著者らは，過去から現在の人工衛星データの比較から，建設年不明橋梁の建設年を推定する研究を，カンボジアの橋梁を対象に進めている（図 - 7）[19]。カンボジアでは国道橋梁の約4割が建設年不明であり，データベースの構築や将来の劣化予測のためのデータが不足している。日本でも，とくに地方公共団体では建設年不明橋梁が多数あり（新潟県市町村では5割以上），この方法を適用したいと考えている。NASAの人工衛星Landsatのデータは一部無料で公開されているほか，国内外の多くのデータが利用可能であり，Google Earth Engineを用いれば誰でも分析ができる。

6．市民協働とオープンデータ

6.1　住民参加の維持管理

ICTを活用すると，一般の市民の橋梁維持管理への参加を促せる可能性がある。認知度が高いシステムとしては千葉市が行っている千葉レポがあり[20]，市民が道路などの不具合を見つけた際にスマートフォンから損傷写真と状況をアップできるものである。同様のシステムはいくつかの地方公共団体で運用されており，公開非公開，対応の有無など違いはあるがICT活用によるインフラ維持管理への住民参加が試みられている。欧米ではオープンデータ，オープンパブリックの意識が高く，税金の使い道や，インフラ損傷情報を可視化するアプリ，たとえばWhere does my money go？〜税金はどこへ行った？〜[21]，Fix My Street[22]などがある。橋梁維持管理についても，データを可能な範囲で公開することでより効率的な方法を，管理者だけでなく広く市民から，たとえばアイデアソンやハッカソンなどを通して得ていくことで，地域に適したイノベーティブな方法が生まれるかもしれない。

6.2　橋梁健全度のオープンデータ

橋梁の老朽化がどの程度で，維持管理のためにどれほどの負担が必要かを市民に理解してもらうことは，税金を使ってインフラの維持管理を進めるために重要である。土木学会では，国土交通省や道路管理者などから公開，もしくは提供されているデータをもとに，橋梁にかぎらずトンネルや舗装，水道分野などの老朽化や維持管理体制などを指

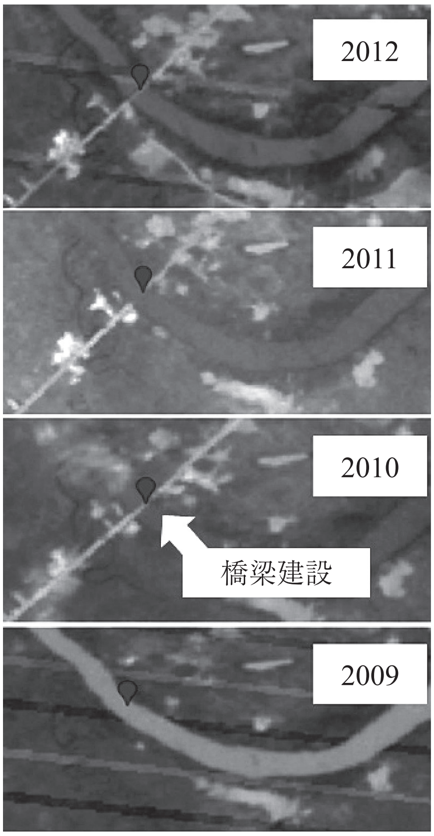

図 - 7　人工衛星Landsatデータによる橋梁建設年推定

標化し，2017 年からインフラ健康診断書として公表している[23]。2019 年度版では橋梁の評価は「C →」で「要注意」である。これはアメリカの Infrastructure Report Card[24] などを参考に取り組み始めたものであり，広く一般市民にインフラの劣化の状況や維持管理の取組みへの理解を得るためのものである。構造物が劣化していることを公表すると市民から苦情がくるのではという心配もあるが，本来はインフラは市民のためのものであり，正確な情報を開示して説明し理解してもらえる能力を管理者やエンジニアが身に着けるべきである。土木学会のインフラ健康診断書が一般に広く周知され，対話の手段として用いられることが望まれる。

7. おわりに

インフラ維持管理に関わる ICT 活用について，地方公共団体への適用可能性の観点から，主に著者の取組みを中心に紹介した。ICT を活用した研究開発は非常に活発で，具体例をあげると際限が無く，サイバー空間においてあらゆるデータと繋がる可能性を秘めており，今後も加速的な進歩が予想され，社会実装も進むであろう。とくに維持管理の効率化のための分析やパッケージ化されたシステムは地方公共団体への適用性が高い。しかし注意も必要である。一旦データとなると，数字のみが代表値となりデータの精度やばらつきなどが見えなくなる。構造物は基本的に一点ものであり，同じ場所で数十年単位で使用されるものである。その特異性を理解したうえで適切にモノ（フィジカル空間）からデータ（サイバー空間）へ変換することに私達コンクリート工学者の役割がある。そのうえで，他分野や市民との協働を進めることが ICT 活用を通じてイノベーションを起こすために必要である。その際，私達のモノや言葉を適切に変換して伝えることが鍵となる。また，相手の言葉や手法をある程度理解することも必要である。これは簡単なようで，実際に協働してなにかを実現しようとすると難しいものであり，データサイエンスをある程度理解してコミュニケーションができる素養が求められる。あらゆる境界を超えてイノベーションを起こすための多様性を，私達個人にも組織にも備えることが重要となる。

参 考 文 献

1）国土交通省：長寿命化修繕計画策定事業費補助制度要綱，2007.
2）国土交通省道路法施行規則第四条の五の五
3）内閣府戦略的イノベーション創造プログラム，インフラ維持管理・更新・マネジメント技術：https://www.jst.go.jp/sip/k07.html（2019-10-21）
4）国土交通省道路局：橋梁定期点検要領，2019.
5）前田慎一，那須清吾：道路橋点検における技術者能力とデータ精度の関係性分析，第 55 回土木計画学研究発表会・春大会，2017.
6）小池真登，長井宏平：新潟県市町村における橋梁点検データを用いた経年劣化傾向分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.1339-1344，2015.
7）松藤洋照，長井宏平，柏　貴裕：市町村管理橋梁における健全度低下傾向の分析手法の提案，第 32 回日本道路会議，⑵ 道路管理・修繕・更新部門，no.2070，2017.
8）松藤洋照，長井宏平，井林　康：新潟県及び県下市町村管理橋梁の経年劣化傾向比較，土木学会第 71 回年次学術講演会，Ⅰ，pp.179-180，2016.
9）新潟市，新潟市橋梁アセットマネジメント検討委員会第 4 回委員会資料：https://www.city.niigata.lg.jp/kurashi/doro/road/doroizi-kanri/doroijikanri/kyoryoijikanri/kyouryouasetto/somu.pw20170327173626083.files/04_siryou003.pdf（2019-10-21）
10）富士フイルム，社会インフラ画像診断サービス「ひびみっけ」
11）Juanjo Rubio, Takahiro Kashiwa, Teera Laiteerapong, Wenlong Deng, Kohei Nagai, Sergio Escalera, Kotaro Nakayama, Yutaka Matsuo, Helmut Prendinger: Multi-class Structural Damage Segmentation Using Fully Convolutional Networks, Computers in Industry, Vol.112, 2019.
12）Hitoshi Tatsuta, Kohei Nagai, Takanori Nomura: Automatic Judgement of Steel Bridge's Degrade by Deep Learning, Proceedings of The 8th International Conference of Asian Concrete Federation（ACF2018），pp.1189-1193, 2018.
13）新潟市土木総務課：タブレット端末を活用した小規模橋梁点検の取組み，北陸の建設技術，Vol.331，pp.15-16，2019.
14）渡邉正俊・井林　康：「開発途上国における橋梁維持管理システム」，土木施工，Vol.56，No.12，pp.76-79，2015.
15）子田康弘，梅内大輔，岩城一郎，石川雅美：GIS を活用した東北地方におけるコンクリート構造物の劣化ハザードマップの構築，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.2，pp.1447-1452，2010.
16）坂田理子，長井宏平，金杉　洋，井林　康：橋梁点検データを活用した市町村橋梁の迂回路計算システムの開発，土木学会第 71 回年次学術講演会，Ⅵ，pp.89-90，2016.
17）佐々木勇凱，長井宏平，藤原康宣，井林　康：利用頻度の低い山間部橋梁の重要度評価のための簡易交通量計測，土木学会第 73 回年次学術講演会，Ⅵ -126，pp.431-432，2018.
18）JAXA/EORC 衛星 SAR によるインフラ解析事例：https://sites.google.com/view/jaxa-infrastructure-monitor/（2019-10-21）
19）Eam Sovisoth, Venkata Bhargavi Thakur, Kohei Nagai, Prakhar Misra, Wataru Takeuchi, Estimation of the Bridge Construction Year in Cambodia by Analysis of Landsat Satellite Data, Proceedings of the 3rd Asian Concrete Federation Symposium, Paper ID S3-1-4, 2019.
20）千葉市，ちばレポ（ちば市民協働レポート）：https://www.city.chiba.jp/shimin/shimin/kohokocho/chibarepo.html（2019-10-21）
21）Where does my money go?：https://app.wheredoesmymoneygo.org/（2019-10-21）
22）FixMySreet　https://www.fixmystreet.com/（2019-10-21）
23）土木学会：インフラ健康診断書：http://committees.jsce.or.jp/reportcard/system/files/ 道路部門 _0.pdf（2019-10-21）
24）ASCE, infrastructure Report Card：https://www.infrastructurereportcard.org/（2019-10-21）

【2019 年 10 月 21 日受付】