【特集】

IoT × GIS と社会インフラマネジメント

杵見周彦*・蒔苗耕司**

Convergence of IoT and GIS for Civil Infrastructure Management

Tadahiko MASUMI*, Koji MAKANAE**

Abstract: Civil infrastructure which supports our lives exists in every field of physical space. In order to continue to use this enormous civil infrastructure, it is necessary to plan and process civil infrastructure management in which finding damaged parts and making appropriate repairs. However, human and budget resources have been limited to realize sufficient management in the current situation. As a breakthrough, the realization of the smart infrastructure management by fusion of IoT which can monitors and analyzes everything in the physical space with GIS which can link physical space and cyber one is expected. In this paper, we discuss the possibility of civil infrastructure management by making full use of IoT in various physical spaces, and the needs of GIS.

Keywords: IoT (Internet of Things), GIS, 社会インフラマネジメント (Civil Infrastructure Management)

1. はじめに

社会インフラには、我々の生活に欠かせない電気、ガス、上下水道、通信等の供給基盤や、経済活動を支える陸・海・空の交通インフラ等があり、物理空間のあらゆるフィールドに展開されている。

これらのうち、交通インフラの道路に着目すると、国土交通省の道路統計調査（平成28年4月1日時点）によれば、道路の総延長は約121万km、橋長15m以上の道路橋は約16万7千橋（2m以上は約70万橋とされている）、道路トンネルは約1万箇所と膨大であり、これらの社会インフラを利用し続けるためには、損傷箇所を見つけ、適切な修繕を行う維持管理が必要である。

橋梁やトンネルについては、5年に1回の定期点検が義務付けられており、近接目視や必要に応じて打音検査等を実施して、その健全度を評価し、修繕の優先順位を決めている。しかし、点検は経験のある技術者が時間をかけて行っており、人口減少と高齢化社会の進行で、慢性的な人手不足となっている。また、各自治体の財政状況が厳しいことも相まって、点検や修繕が十分に行える状況になく、効率的に社

会インフラマネジメントを行うことが喫緊の課題である。

近年、IoT（Internet of Things：モノのインターネット）の概念が登場し、あらゆる「モノ」にセンサーを取り付けて見える化し、これをビッグデータとして蓄積し、AI（Artificial Intelligence：人工知能）によって高度な分析をするシステムが次々と登場してきている。これにより、従来の手法では見いだすことができなかった、極めて複雑な非線形の相関関係をも明らかにすることが可能となってきた。IoTを、社会インフラの広大な物理空間に張り巡らすことでイノベーションが起これば、社会インフラマネジメントの課題に対して、ブレークスルーとなる可能性を秘めている。

また、GISについても技術的な革新が目覚ましく、空間情報及び利用環境の整備が進んでおり、社会インフラ系システムの重要な構成要素となっている。GISは、物理空間でモニタリングされたデータや、AIで分析されたデータを、サイバー空間にマッピングする橋渡しの役目を担っており、IoTを社会インフラマネジメントに広く展開する鍵を握っている。

* JIPテクノサイエンス株式会社, masumi@cm.jip-ts.co.jp

** 宮城大学 事業構想学群 価値創造デザイン学類, makanae@myu.ac.jp

と言える。

本稿では、さまざまな物理空間におけるIoTを駆使した社会インフラマネジメントの可能性を検討し、更なる効率化を目指すために、GISに求められるニーズについて考察する。

2. インフラマネジメントの物理空間への展開

社会インフラを維持管理するために、モニタリングするIoT基盤をあらゆる物理空間に展開し、サイバー空間に投影していく必要がある。ここでは、社会インフラの存する物理空間を地上空間、地下空間、水空間に分類し、それぞれの空間におけるIoT×GISを適用したインフラマネジメントについて述べる。

2. 1. 地上空間の社会インフラ

地上空間は最も多くの社会インフラが存在する空間であり、マネジメントのための取り組みも急速に進んでいるものの、インフラの点検作業は人手に頼っているのが現状である。IoTを活用することによって、対象構造物にセンサーを固定して計測を行う常時モニタリング、または移動体にカメラやセンサーを設置して計測を行う定期モニタリングを行い、これをビッグデータとして蓄積・解析することにより、異常を検知し、事故につながる前に適切な修繕を行うことが可能になる。

近年、橋梁やトンネル等の土木構造物やその附属物を常時モニタリングするために、対象構造物にIoTセンサーを設置する取り組みが行われている。2012年に供用が開始された東京ゲートブリッジでは、国土交通省により設計段階からモニタリングシステムの導入が計画され、施工された(NTTデータ、2014)。このシステムでは、気象情報や橋梁の挙動を計測するために、風向風速、雨量、地震、変位、加速度、ひずみ等のセンサーが設置されている。加速度の計測等を行っている光ファイバーセンサーは、20年近い耐用年数があるとされており、電力供給は光ファイバーケーブル両端から行うことで、センサーの可用性、保守性を確保している。また、収集した情報をビッグデータとして蓄積・解析する仕組みも有しており、即時の異常検出が可能なシス

テムを構成している。このような取り組みを幅広く普及させるためには、既設橋梁への設置技術の確立や、コスト低減が必要である。GISと橋梁データベースを連携させることにより、対象とする橋梁に対して、地理的環境や橋梁構造が類似した橋梁を抽出し、その情報を予測に取り入れることにより、計測箇所を絞り込むことが可能になると考えられる。

移動体による定期モニタリングでは、道路舗装や鉄道軌道等の線の構造物上を車両により走行して計測する取り組みがある。線の構造物の定期モニタリングでは、1回で数十キロから数百キロ走行しており、コストを低減させるためには、特殊車両を用いずに、いかに一般車両で日常的にモニタリングするかが鍵となる。例えば道路では、タクシーや路線バス、パトロールカー等で日常的にモニタリングすることで、異常として検出された箇所のみを追加で点検対象とすればよく、大幅な効率化につながり、コストが1/20になった事例がある(家入、2018)。このようなモニタリング車両の計測データは、動画撮影の場合、数十ギガから数百テラバイトにも及ぶストリーミングデータであり、現状では事後的に取り込み分析されているが、刻々と変化する車両位置と、計測されたストリーミングデータをリアルタイムにGISに取り込んで分析する、リアルタイムGISの取り組みがある(ESRIジャパン、2018)。ストリーミングデータをGIS上に取り込むことで、空間情報によるフィルタリング等が可能になり、空間情報を使ったリアルタイムなイベントの発生による異常検知が可能になると考えられる。また、リアルタイムGISは、ドローンや自走ロボットの位置情報管理にも適用可能と考えられ、自己位置や飛行・走行ルートの特等処理に活用できる可能性がある。

以上のように、地上空間では、IoTは常時モニタリングと定期モニタリングという形での活用が主流であるが、GISに対するニーズとしては、以下の3つが挙げられる。

① GISの継続性

対象構造物の数十年単位の耐用年数の期間において、地図データの更新やGISの技術的更新があっても計測データを適切にマッピングできるよ

うに、GISの長期にわたる継続性が必要とされる。

② 空間演算の適用による高付加価値化

GISにマッピングされた情報から空間的な特徴を引き出す空間演算をモニタリング情報と連携させて分析することにより、IoTモニタリングシステムの分析機能を高付加価値化することができる。

③ リアルタイム性

計測データをリアルタイムにGISにマッピングすることによって、空間情報を使った障害検知や、ドローンや自走ロボットの位置情報に関する処理精度が向上するものと考えられる。

2. 2. 地下空間の社会インフラ

地下空間には、水道管、ガス管、電力、通信等のライフラインが張り巡らされており、ビルや地下トンネルと合わせて立体的に構成されている。地下空間は、目視が困難な環境が多く、特にIoTの活用が期待されている。

上水道の配水管のストック量は約56万km、下水道管が約45万kmにも及んでおり、維持管理が十分に行き届かず、耐用年数を超えた設備が増加しているのが現状である（国土審議会、2013）。また、施工時に現場で変更が行われ、その情報が図面情報に反映されていない等、情報管理が適切でない場合もあり、他事業者による掘削工事にも影響を与えていることも多い。そのため、工事に際しては試掘を行って現況を確認しており、工事の効率化において課題となっている。このような課題に対して、例えば、地中を面的に連続してスキャンできる技術が開発されており（ジオサーチ、2010）、地下の埋設物の3Dマップを作成し、工事に必要な地下空間の情報を適切に得ることができる。このような手法が広まれば大幅な省力化が期待できる。

以上のように、地下空間においては、埋設管等の対象物の位置や形状の正確な把握が必要な状況であり、GISに対するニーズとしては、以下の2つが考えられる。

① 最終状態の図面と整合した地下GIS

施工後の最終的な状態を正確に空間情報として記録できるシステムが必要である。さらに利用時には、改修工事や他工事の施工業者が閲覧可能

な地下埋設物マップが構築され、AR（Augmented Reality：拡張現実）により重畳表示できれば理想的である。

② 面的スキャンから作成した地下GIS

地下の面的スキャンによる地下埋設物の3Dマップ作成を広範囲に行い、GISと関連づけて公開することで、既設の埋設物にも対応した地下埋設物マップが利用可能になる。

2. 3. 水空間の社会インフラ

水空間の社会インフラとして、海洋では、例えば港湾における栈橋、海上における船舶の航路標識、海底の通信ケーブル等が挙げられる。また、河川ではダムや橋梁の橋脚等も水中部を有している。これらのマネジメントを行うためには、適切な水空間のGISが必要であり、また、地下空間同様、目視が困難な環境へのIoTの活用が期待されている。

水空間で利用するためのGISとして、陸域用GISデータを利用しても、海岸線の精度が低かったり、水深データがなかったりするため、十分に活用することができない。精度の高い海岸線や水深の情報として、海上保安庁が刊行する航海用の電子海図があるが、縮尺毎に用途が設定されており、各々の縮尺でカバーされる海域セルの範囲が、大縮尺であるほど限られているのが現状である。今後、より広く活用するためには、大縮尺でも用途に関わらず広範囲の海図を整備することが必要である。

港湾の栈橋の点検では、床版の下面側が水面となっているため、ROV（Remotely Operated Vehicle：無人潜水機）等による点検技術が検討されている。航路標識については、海上のブイ等に設置されているため、IoT機器を設置した無線の遠隔モニタリングが行われている。海底の通信ケーブルは、保守用船舶により、損傷・切断されたケーブルの修理を行っているが、一部の作業はマニピレータを持ち数メートルの潜行が可能なROVで行っている。

ダムや河川橋梁の橋脚においても、水中部の損傷状況把握のため、ROV活用の検討が行われている。しかし、実際には混濁により、ROVの位置把握が難しかったり、対象構造物が不鮮明に写ったりする等の課題がある。

以上のように、水空間では、GISデータの整備が必要である一方、遠隔モニタリングやROVの活用が進んでいる。水空間におけるGISに対するニーズとしては、以下の2つが考えられる。

① 精度の高い海洋GIS

海洋における社会インフラマネジメントを行うにあたっては、利用しやすい海岸及び海底地形に関する情報がWebGIS等により提供されれば、地上空間の社会インフラマネジメントと同等の機能を提供することが可能になると考えられる。

② ROVの自律制御への対応

水空間では、地上空間以上に自己位置の特定が困難であり、リアルタイムGIS等の技術の応用により、ROVの自律制御能力の向上が期待される。

3. 考察

これまで見てきたように、地上空間、地下空間、水空間において、社会インフラは無数存在しており、今後は更に宇宙空間にまで広がることが想定される。これらを維持するために、IoT機器やロボットを駆使した社会インフラマネジメントの研究開発が進められている。これを支えるGISには、①社会インフラの耐用年数をカバーする継続性、②分析機能への空間演算の適用による高付加価値化、③地下空間や水空間等の新領域のGISデータの整備、④高度なロボット制御等に使えるリアルタイムGISの整備、といったニーズがあると考えられる。GIS自身がこれらのニーズに合わせて整備されることで、社会インフラマネジメントの適用範囲拡大と高度化が可能になると考えられる。

また、IoTシステムに高度な付加価値を与えるAIを、IoT×GISに取り込むことにより、更なる高度な分析が可能になると考えられる。GISにより、IoTデータに空間的要素を加えることで、空間的な演算を駆使した空間データマイニングを行うことが可能となるが、これにIoTと親和性の高いAIによる処理を組み合わせることができれば、人手では処理できない膨大な量の情報から新たな価値を持つ相関関係が導き出きだされ、意思決定支援等に応用されることが期待される。

このように、IoT×GISは大きな可能性を秘めている反面、規模が拡大する傾向にあり、適切に運用するためには、そのシステムをも維持管理していくことが必要となってくる。今後は、IoTそのものも社会インフラとなり、マネジメントの対象となることが想定され、GISにおいても、情報量が増えて稼働期間が長くなるにつれ、維持するための仕組みの構築が必要になるものと考えられる。

4. おわりに

近代に整備された大量の社会インフラは、更新時期を迎えつつあり、適切な管理が急務であるとともに、新たな社会インフラについても、始めから管理する仕組みを取り入れることが求められている。これらの社会インフラをスマートにマネジメントするために、IoTシステムも拡大し、膨大なデータを生み出し続けている。GISは、進化を続けながらこの中枢を担い、これまでGISが利用されることのなかった分野にもプラットフォームとして広がり、データ分析や意思決定支援等に新しい価値を与えていくことが期待される。

IOT×GISの強力なタッグは、これからも、数々のイノベーションを生み出すであろう。

参考文献

- 家入正隆 (2018) スマートフォンを用いた道路の路面性状把握システム. <<https://asocio2018.jisa.or.jp/pdf/jip-ts-jp.pdf>>
- 株式会社NTTデータ (2014) 世界でも稀な『土木+ICT』先進システム, 50個以上のセンサーから膨大なデータを収集. <https://www.scopenet.or.jp/main/scope_net/pdf/Vol71.pdf>.
- 国土審議会水資源開発分科会調査企画部会 (2013) 施設の老朽化対策と適正な維持管理. <<http://www.mlit.go.jp/common/001020125.pdf>>.
- ジオサーチ株式会社 (2010) 「スケルカ」技術とは. <<http://www.geosearch.co.jp/tech/index.shtml#03>>.
- ESRI ジャパン (2018) GIS基礎解説 リアルタイムGIS. <<https://www.esri.jp/gis-guide/gis-usage/realtime-gis/>>

(2019年5月11日編集委員会より依頼, 2019年6月
13日原稿受理, 2019年12月27日デジタルライブラ
リ掲載)