

スマート道路モニタリングシステムの開発

Development of a Smart Road Monitoring System

首藤 悠 ・ 高松 伸一
SHUTO Yu ・ TAKAMATSU Shinichi

要 旨

少子高齢化に端を発して起こる社会問題への対策として、日本政府は科学技術政策Society5.0を提唱し、情報技術を駆使して効率化した都市（スマートシティ）を構築するプロジェクトを推進している。

これに対しKYBでは、保有技術を応用して自治体の道路維持管理業務を支援する新たなサービスビジネスを打ち出し、スマート道路モニタリングシステムと銘打って開発に着手した。開発にあたり、自治体の実情を反映したサービスを実現するために、島根県益田市の協力のもと、この地をテストベッドとして活動を進めている。

スマート道路モニタリングシステムは、データ収集、データ転送、データ分析の3つのサブシステムで構成され、これらは従来よりKYBの保有する車両の計測技術や分析技術に加えて、AI/IoT技術を利用したものとなっている。

開発の結果、道路パトロール時の車両挙動計測とそのデータの分析を通じて、道路維持管理業務を効率化するサービスの基本システムを構築することができた。現在、その成果は国の認めるところとして、さらなる技術開発を継続している。

Abstract

As a measure against social problems caused by the declining birthrate and aging population, the Japanese government has proposed the Science and Technology Policy “Society 5.0” and promotes a project to build an efficient city (smart city) by making full use of information technology.

In response to this, KYB applied its own technology and launched a new service business that supports the road maintenance work of local governments, and started developing this as the Smart Road Monitoring System. In order to achieve a service that reflects the actual situation of the local government, we have developed the system with the cooperation of Masuda City in Shimane Prefecture, where it is being used as a test bed.

The Smart Road Monitoring System consists of three subsystems: data collection, data transfer, and data analysis. These subsystems have been using AI/IoT technology in addition to vehicle measurement and analysis technology owned by KYB.

As a result of the development, we were able to build a basic system of service that makes road maintenance work more efficient by measuring vehicle behavior during road patrol and analyzing the data. At present, the achievements are recognized by the government, and further technological development is continuing.

1 緒言

少子高齢化の進む日本では、将来の人口減少により市場規模が縮小し経済発展が停滞することや、生産年齢人口減少により公共サービスの提供体制が破

綻することなどが危惧されている。そこで日本政府は、これらの課題解決に向けた科学技術政策として、“Society5.0”を提唱している。Society5.0では、IoTやAI等の先端技術を利用し、仮想空間と現実空間を高度に融合させることで、経済発展と社会的課題の解

決を両立する社会を目指しており、このような社会を体現するモデル都市、すなわちスマートシティの創造を目標に、国家プロジェクト¹⁾が進められている。

このような政府の取り組みを視野に、KYBでもスマートシティ創造への貢献策の検討を行った。この中では様々な提案がなされたが、従来から持つ保有技術の強みを活かした新たなビジネスとして、モノづくりとサービスを融合するスマート道路モニタリングシステムの構想がまとまり、開発に着手することとなった。

スマート道路モニタリングシステムは、自治体の業務を、IoTやAIなどの先端技術によって効率化することを狙いとしたサービスである。このシステムでは、本章冒頭に述べたような生産年齢人口の減少を受け、労働者不足に陥っている自治体を想定し、自治体のインフラ資産である道路の維持管理業務を支援することに焦点を当てている。

近い将来、このような労働者不足に悩む自治体は大いに増加し、税収減と相まってインフラの維持管理は深刻化することが見込まれる²⁾。この対策として、少数の労働者で業務を遂行できるよう、労務負担を軽減することや、費用負担の軽減を企図するサービスは、Society5.0の構想に合致したソリューションである。

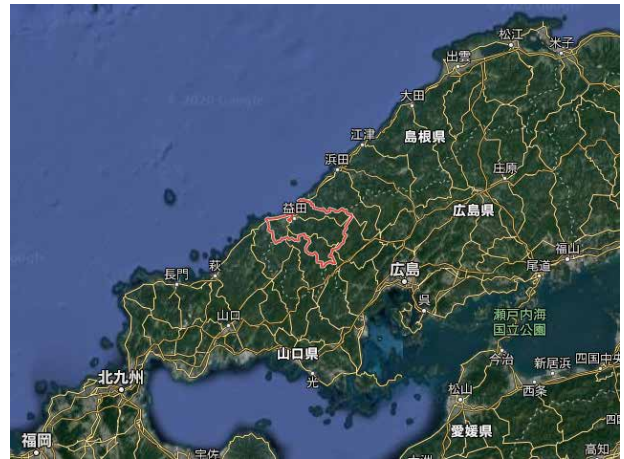


図1 島根県益田市（Google mapより）



図2 スマートシティモデル開発体制

2 開発体制

前述の通り、スマート道路モニタリングシステムは自治体向けに構想されたサービスである。このため、より有益なサービスを実現するには、社内で技術開発を進めるばかりでなく、自治体の業務実態を把握して開発目標を定め、実際に利用してもらって評価する必要がある。そこで、スマートシティ規格作成に向けた各種プロジェクトを展開する「一般社団法人益田サイバースmartシティ創造協議会」

(MCSCC: Masuda Cyber Smart city Creative Consortium)の会員となり、スマートシティのテストベッドの一つである島根県益田市(図1)の協力のもと、この地を舞台に開発活動を開始した。このKYBとMCSCC、および益田市の連携について、スマートシティを推進する国の位置づけも踏まえた関係図を図2に示す。この関係の中で、KYBは益田市の有する課題を抽出し、その解決のための技術開発を行ったうえ、益田市の環境を利用して開発技術の評価を行う。この取り組みに対し、MCSCCは両者の調整役を担い、スマートシティモデルとしての成果を日本政府に示してロビー活動を行うことで、政府から権威が付与され、サービス普及の基盤を固めていく、といった構図である。

3 道路維持管理の実情

MCSCCに加わったのち、スマート道路モニタリングシステムの開発をスタートさせるにあたり、まずは開発目標を定めるために、益田市における道路維持管理業務の実情を聞き取り、実際の業務に同行して調査した。

このような調査の結果、道路維持管理業務は、最終的な道路補修作業の担い手が異なる2つの系統に大別されることが分かった。一つは道路パトロール車両での管理道路巡回を通じて路面の損傷個所を確認し、市職員の手によって適宜の補修を行う小規模補修業務、もう一つは広範囲にわたる損耗が確認された路面に対し、正確な測定調査を行った後、国に対して補修予算を申請して、専門業者に外注して大掛かりな工事を行う大規模補修業務である。

これら規模の異なる補修業務は、いずれも道路パトロール車両による巡回を起点に路面の実態を把握することから始まり、必要な補修の規模によって異なる選択肢を辿る。また、この規模の違いにより、自治体に与える課題の性質にも違いがある。

小規模補修では、危険性の高い箇所を迅速に見出し素早く補修することが重要である。写真1に示すように、益田市の道路パトロールでは山間を巡る道程なども多く含まれ、写真2のような異常箇所を見つける度に停車確認することも頻繁である。このような視界の悪い経路を含む長大な道路を、くまなくパトロールして回ることの労務負担は、非常に大きなものとなっている。

一方の大規模補修では、国への予算申請の証拠資料として必要な、損傷度測定のための調査費用が高額であるという課題がある。正確な定量値を把握する必要があることから、高額な機器を備える専門業者に調査を委ねることとなるが、調査費用に割り当てられる財源は十分でないため、数年に一度、管理道路の総延長のうち、わずか数%を測定するに留まる。

業務の具体的な様態については自治体ごとの差異があると思われるが、道路維持管理の枠組みはどの自治体でも類似すると考えられたため、上述の様に把握できた益田市の実情に立脚し、開発目標の設定を行った。



写真1 山岳部の市道



写真2 路側への落石

4 開発目標

前章に記載の調査情報をもとに、IoTやAIを活用して労務負担を軽減することや、従来よりも安価かつ広域を調査できる方式で路面性状の測定を行うことを狙いとして、開発目標を定めた。目標は、データの収集や分析を司るサブシステムを構築して連動させることで、道路の状態計測やそのデータの蓄積、分析を通じた診断の機能を持つ、スマート道路モニタリングシステム（図3）を開発することである。

個々のサブシステムの機能概要を以下に示す。

- ①データ収集システム：道路パトロール車両に各種センサを取り付け、パトロール中の経緯度座標とセンサデータをセットで収集する。
- ②データ転送システム：市庁舎とKYBの分析拠点とでセキュアなネットワークを構築し、相互にデータを送受信する。
- ③データ分析システム：益田市から受信したデータをもとに、経緯度座標ごとの路面性状を診断し、診断結果を視認可能な地図に出力する。

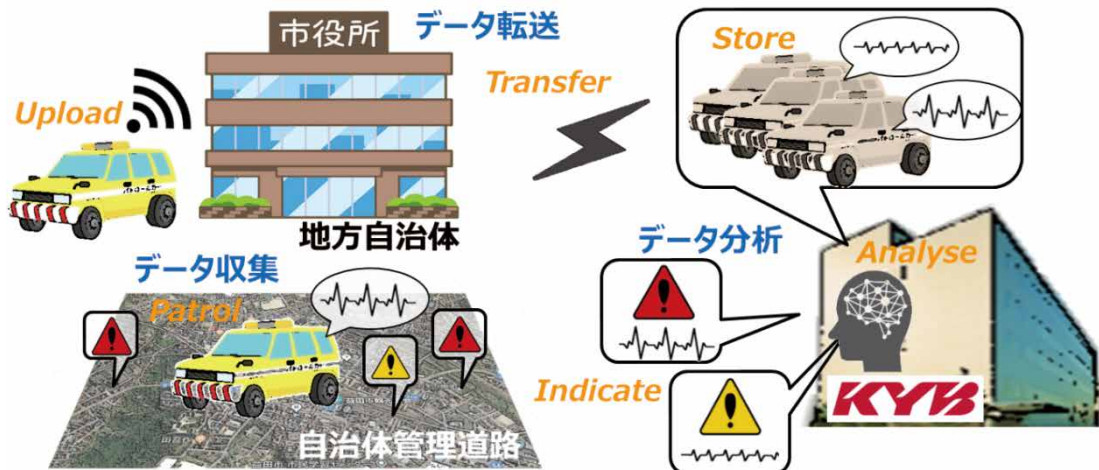


図3 スマート道路モニタリングシステム

5 システム開発

以下に、スマート道路モニタリングシステムを構成するデータ収集、データ転送、データ分析の3つのサブシステムについて記述する。

5.1 データ収集システム

益田市の管理道路を道路パトロール車両で巡視する際に、その車両挙動を計測する狙いで、市の利用車両を改造し、センサとロガーを搭載した計測車両を構築した。この改造により収集される車両挙動のデータは、走行中の路面からの入力を反映した振る舞いを記録するため、後述するデータ分析システムを利用することで、路面の損耗状態を推定できるものと見込む。また、この車両に搭載したロガーは、市職員の利便性や収集データの画一性などを企図して開発した専用機を利用している。これらの計測車両や配置したセンサ、ロガーについて、以下の各項で詳述する。

5.1.1 計測車両化改造

益田市では、道路パトロール業務に対し、写真3のような車両を利用しているため、この車両を計測車両とする改造を行った。

この改造にあたりいくつかの制約があった。例えば、リース車両であるため、リース終了後に原状復帰できるよう、可逆的な改造に留めておく必要があることや、用具が多数搭載（写真4）されるため、十分な車室空間の確保が必要となることなどである。

これらの制約から、車体への穴開けや接着等、車両にとっての破壊や汚損に繋がる加工を一切行わず、既存の隙間やねじを利用する治具を設計して機器を固定するといった工夫を行った。また、配線や機器は露出を避け、助手席下の隙間などに設置している。このような工夫を経たうえで、前述したような山道を日々走行したとしても、安定した計測が行えるよう、機器の耐久性や構成の信頼性には十分に配慮している。



写真3 計測車両化した益田市パトロール車両



写真4 ラゲッジスペースの使われ方

5.1.2 利用センサ

車両各部へのセンサ配置を図4、計測項目の一覧を表1に示す。全球衛星測位システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）による経緯度に加え、4輪全てに対し車体側とタイヤ側（ばね上とばね下）の3軸加速度およびサスペンション変位を収集することを基本とし、さらに慣性計測装置による姿勢情報や、ステアリング角度による運転情報の取得など、車両挙動の詳細が把握できる構成となっている。この構成は、後の分析を通じ計測項目や精度の評価を行う狙いがあり、まずは質/量ともに充実したデータを得られる計測車両を仕立てている。

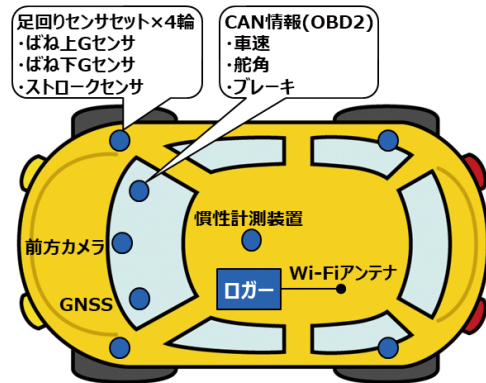


図4 センサ配置

表1 計測項目

名称	計測対象	種別	CH数
ばね上Gセンサ	4輪ばね上-上下方向加速度	アナログ	4ch
ばね下Gセンサ	4輪ばね下3軸加速度	アナログ	12ch
ストロークセンサ	4輪サスペンション変位	アナログ	4ch
慣性計測装置	車体ロール・ピッチ・ヨー挙動	アナログ	6ch
手動ボタン	道路イベント	デジタル	4ch
GNSS	自己位置計測	デジタル	1ch
前方カメラ	前方路面画像取得	デジタル	1ch
CAN情報(OBD2)	舵角・車速・ブレーキ等	デジタル	5ch

5.1.3 専用ロガー

前述のように、構築した計測車両では多様なセンサを利用しており、収集される信号は数種の通信方式が混在したものとなっている。このため、多様な通信方式に対応してデータを記録できるロガーが必要であり、またセンサ信号を増幅するためのアンプや、センサへの電源供給も不可欠である。しかしながら、5.1.1項で述べたように、車室内で機器の設置に利用できる空間には大きな制約がある。電源やアンプ、ロガーもこの制約を免れず、一般に大型化してしまう傾向にある市販品の利用は難しいという問題があった。

さらに、仮にこれら機器サイズの問題が解決できたとしても、データ収集のための機器操作にも問題がある。実際のデータ収集の手順を考えると、機器類の電源をONにしたのち、計測開始のトリガを起動させなければならず、計測を終えるタイミングでは、停止操作をして電源をOFFにする必要がある。これらの操作は、頻繁に停車を繰り返す道路パトロール業務をさらに煩雑にし、操作ミスや操作忘れによるデータの未収集に繋がる恐れが大きいほか、作業者に従来以上の業務負担を与えてしまう。

このような機器類のサイズの問題と、操作負荷の問題を一挙に解決するため、コンパクトながら必要な機能を集約した専用ロガーを開発した。このロガーの外観を写真5に示す。専用ロガーはおおむねA4大のサイズの中に、電源供給および信号増幅の回路を組み入れ、様々な通信規格に対応した80chの信号を記録できるようにしたロガーである。

専用ロガーは、必要機器を全て小型化して搭載してあることから、これ一つで計測車両に配置した多様なセンサからの信号を全て記録できるうえ、助手席下など、デッドスペースとなっている空間に格納することも容易い。さらに、組み込まれたプログラムによって起動/終了処理の管理がなされ、計測車両のエンジンONに連動した計測開始と、エンジンOFFに連動した終了処理が自動実行される。このとき、終了処理を行っている地点が予め設定された

Wi-Fi基地局の近傍であった場合には、自動的に無線通信が開始され、記録した収集データをサーバに転送する。これらの機能により、作業者は計測について何ら意識することなくパトロールを行うだけで、車両挙動データが収集され、データがサーバに蓄積されることとなる。なお、データの喪失や車両のバッテリー枯渇が起こらないよう、データ保存処理と電力管理は十分に配慮した設計となっている。



写真5 専用ロガー

5.2 データ転送システム

益田市で収集されたデータを、神奈川県相模原市にあるKYB社内に設置した分析サーバへ転送するため、図5に示すデータ転送システムを構成した。このシステムは、益田市側とKYB側の2つのローカルエリアネットワーク（LAN）をインターネットによって接続し、LAN内部で利便性高く最適化されたデータ転送を行うとともに、LAN間では暗号通信によりセキュアな通信を実現する構成となっている。このシステムの構築にあたり課題となった、ネットワーク構造と無線通信方式、具体的な転送手順について、以下の各項に述べる。

5.2.1 ネットワーク構造

開発当初、データ転送に関しては世に数多ある通信技術を利用するだけで良く、開発上の課題は少な

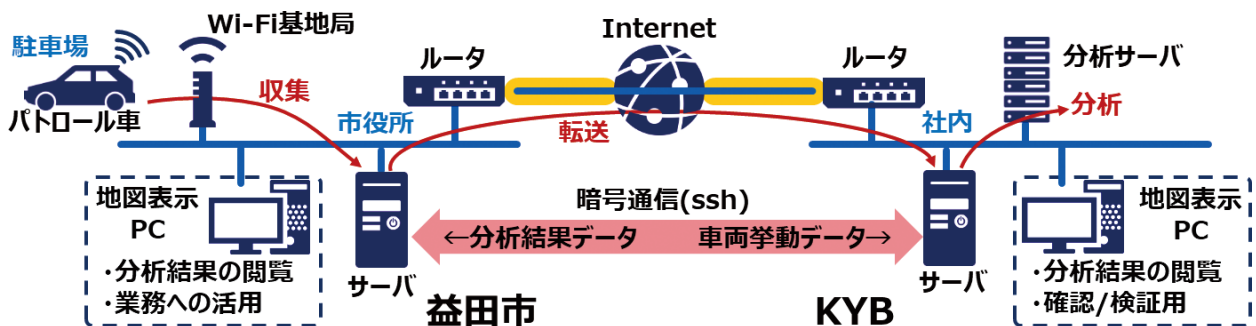


図5 データ転送システム

いと考えていたが、この考えは早期に改めざるを得なくなった。益田市役所は地方自治体の行政機関であるため、住民情報等、様々な重要情報を扱っており、近年ではこういった情報が流出しないよう、市役所のネットワークからは直接インターネットに接続できないようになっていたのである。市役所の業務の要に応じインターネットを利用するためには、より上位の行政機関である県のネットワークを介して行う必要があり、セキュリティを担保するため、利用には厳正な審査を経ての登録が必要となる。本件のように、研究開発を旨とした取り組みに対しては門戸が開かれていないため、通常の手続きで所望の通信環境が整備される望みは薄かった。

そこで、市役所内に新たなLANを構築する手段を採った。市役所内に、市の業務で用いる公的ネットワークと切り離れた新規のネットワークを敷設し、市の業務と独立したLANを形成する。このLANの下に、計測車両が収集したデータを受信するためのWi-Fi基地局と保存するためのサーバ、後述するデータ分析システムによって診断された結果を閲覧するためのPC、およびインターネット接続のためのルータを設置した。

5.2.2 無線通信方式

既に述べている通り、データ収集を行ったのち、車両に蓄積されたデータの転送にはWi-Fiによる無線通信を利用している。無線通信を採用した理由は、データの取り出しにあたり、データを保存したメディアや転送ケーブルの抜き差しなど、操作を要する方法では職員の業務に負担を強いることになってしまうためであり、無線通信の採用は必須の要件である。しかしながら、採用する通信方式にはいくつかの選択肢があった。

表2に、代表的な無線通信規格の一覧を示す。車両に搭載した専用ロガーから、拠点に設置されたサーバまでデータを転送する目的で無線通信を行う場合、選択肢としてはWi-Fi+FTTH、携帯網、LPWAの3種が挙げられた。

まず、Wi-Fi+FTTHは、無線通信規格であるWi-Fiと敷設された光通信網（FTTH：Fiber To The Home）を併用する方式である。この方式には安価に高速通信が行えるメリットがあり、計測車両による1日の収集データ量は最大20GBほどにのぼるが、Wi-Fi+FTTHであれば転送時間と費用に関しては問題とならない。ただし、短距離にしか到達しないWi-Fiの特性上、通信可能な範囲が限られるという制約がある。

次の携帯網は、3G/4G/5Gなど、携帯電話で利用される無線通信規格を利用する方式である。この

方式は、携帯電話のサービスを提供する通信事業者の事業戦略に依存するものの、人口密集地帯ではほぼ完全に通信が確立できるうえ、高速通信が可能という特徴がある。デメリットは、人口密集地帯以外では通信途絶となる可能性が高いことと、料金形態が通信量に応じた従量課金であることである。試算によれば、20GBものデータを携帯網利用によって送信した場合、約8千円もの通信費が発生することとなる。したがってこの方式を採用すれば、本開発を通じて提供する道路維持管理業務支援サービスの収益の大部分は、そのままKYBを通り抜けて通信事業者に納まる見込みとなる。

もう一つの方式であるLPWAはLow Power Wide Areaの略称であり、その名の通り、省電力で広域をカバーする無線通信方式である。市内の要部数か所に基地局を設置すれば、益田市内全域で通信が行えるような広域性と安価な費用が特徴だが、高速通信には向かず、一日当たり20GBものデータの転送には実用性を見込めない。

このような無線通信方式の特徴を整理し、通信データ量を踏まえたうえで、採用する方式を検討した。最終的には、市職員の道路パトロールが毎日午前と午後の二回行われ、昼食時や退勤時となる昼/夕の時間帯に計測車両が市役所敷地内に戻るという益田市の業務パターンと、パトロールした路面の診断結果は翌日に確認できればまず十分であるという情報に照らし、Wi-Fi+FTTHを採用した。この決定により、無線通信は市役所敷地内等、通信地域を制限されるものの、毎日のデータ転送を行うに十分な廉価性と高速性が確保された。

表2 無線通信規格の特性比較

方式	規格	転送性能	通信コスト	メリット・デメリット	評価
Wifi + FTTH	IEEE802.11b/g	~54Mbps	13K円/月	ネットワークの設置要	△
	IEEE802.11n	~600Mbps		ネットワークの設置要	○
	IEEE802.11a	~54Mbps		野外での利用禁止	×
	IEEE802.11ac	~600Mbps		ネットワークの設置要	△
携帯	3G	~14Mbps	300K円/月	データの転送コストが高い	×
	4G	~100Mbps			△
LPWA	Lora	~250Kbps	13K円/月	ネットワークの設置要 帯域が不足	×
	SIGFOX	~100bps	—	帯域が不足	×

5.2.3 データ転送手順

構築したデータ転送システムは、職員が道路パトロールから戻って車両のエンジンを切った際に、専用ロガーが自動でWi-Fi基地局を探索することから始まる。市役所内の駐車場内に設置された基地局との接続が確立されると、専用ロガー内のデータが市役所内のサーバへ転送される。このとき、通信障害

やエンジン再起動によるデータ転送の中断が起これば、データ欠損が生じないように制御して中断処理が行われ、後に改めて再送処理が実行される。サーバ内に蓄積されたデータは、毎日昼／夕の2度、インターネットを介してKYBのサーバに自動送信され、夜には送信を完了し、KYBのサーバに当日分の収集データが蓄積された状態に至る。このシステムは、2019年5月の運用開始以来、現在まで安定して機能しており、相当量の車両挙動データが蓄積されている。

5.3 データ分析システム

本システムの目的は、計測した車両挙動データから路面性状を診断することである。このため、システムの要点は車両挙動データを入力、路面性状を出力として入出力の関係を明らかにし、入力に対し精度良く出力を算出するモデルを作ること他にない。この関係を数式で表すと、式(1)となる。ここで、 X は入力となる車両挙動データ、 y は出力となる路面性状データ、 L は入出力を関係づけるモデルである。

$$y = LX \tag{1}$$

今回、入力は5.1.2項で述べたセンサ構成からなる多チャンネルの時系列データ、出力は路面性状評価指標（※5.3.3項にて後述）である。式(1)では簡単のため、出力データを単一変数としたが、複数の路面性状評価指標を併用する場合は出力もベクトル化されるため、多入力多出力のモデルとなる。このようなモデルを構築する場合、関係式と条件式の組み合わせが膨大となることから、一般に、人の手によって精度の良いモデルを作成することは困難である。一方、統計学を根拠としたAIを用いてモデルを作成する場合、一定のアルゴリズムを利用することで組み合わせ計算の膨大さは無害化され、比較的容易に実現することが可能である。そのため、本システムではAIを用いて路面性状診断モデルを作成することとした。以下、順を追ってこのモデルの作成手順を解説する。

5.3.1 AIモデル

まず、本システムで用いたAIのモデルについて説明する。一般的にAIと言うと、コンピュータを用いて人間のような判断を行うソフトウェアの総称といった広い概念を指す。この中でも、式(1)に示したような、適切なモデルを構築することで未知の入力から正しい出力を推定する手法は、教師あり学習と呼ばれる。図6に示す通り、教師あり学習は、AIという大枠の中にある、機械学習の一分野である。教師あり学習にも様々なモデルが存在し、一部には、昨今注目を集めるディープラーニングも含まれる。

今回構築するデータ分析システムの精度目標とし

ては、従来益田市職員が把握していた路面性状診断と同等以上の診断精度を掲げた。これを実現するAIモデルとしては、予断を持たず、教師あり学習のモデルを複数併用することとした。

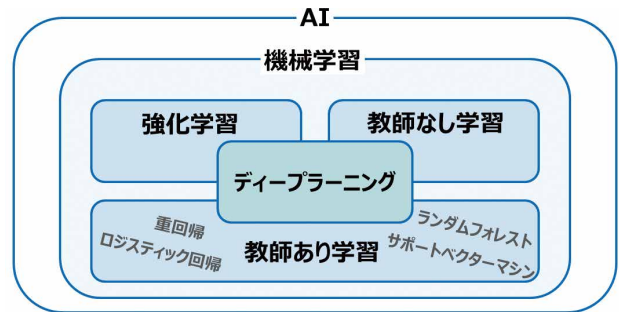


図6 AIモデルの選定

5.3.2 AIの学習

教師あり学習を行う場合、予め入出力が揃った既知のデータ、すなわち教師データを準備し、図7に示す分析精度向上の過程を経て精度の良いAIモデルを作成する。これは式(2)として表され、車両挙動データ X_i をAIモデル L に入力して得られた路面性状推定値 LX_i と、既知の路面性状データ y_i との差が最小となるAIモデル L を探査することを表す。

$$\arg \min_L \left(\sum_{i=1}^n (y_i - LX_i)^2 \right) \tag{2}$$

精度の良いモデルが構築できた後、車両挙動データをAIモデルに入力し、出力される路面性状推定値を利用したシステム運用が可能となる。システム運用では、式(2)における路面性状データ y_i は把握できていないが、分析精度向上の過程での精度確立を根拠として、路面性状推定値 LX_i が十分高精度であるものと解釈して利用される。

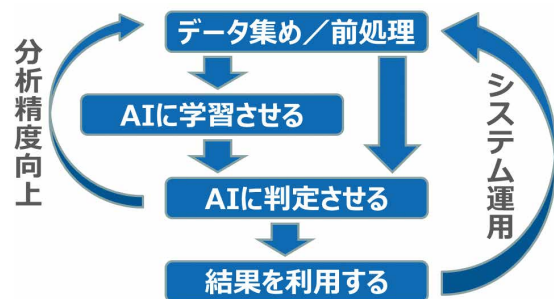


図7 AIを用いた分析システム運用イメージ

5.3.3 データの準備

このようなAIモデル構築の手順から、モデル構築には教師データを十分な量用意する必要がある。

5.1節で説明したデータ収集システムによる収集データは、教師データのうちの入力データに相当するが、これに対する出力データ、つまり路面性状の正しい情報を記録したデータが不足しているため、このデータの準備を行った。

路面性状のデータ準備では、MMS (Mobile Mapping System) による測定を行った。これは写真6に示すような、レーザスキャナやカメラ、ジャイロセンサなどの計測装置を搭載した車両により、道路表面の凹凸等、物理的な性状を直接測定する方法である。 (株)三英技研の協力により益田市内の路線を測定し、同じ路線をデータ収集システム搭載車両にて走行することで、入力となる車両挙動データ、および出力となる路面性状のデータを揃え、教師データとした。このときMMSにより測定した路面性状データは、国際ラフネス指標 (IRI: International Roughness Index)、ひび割れ率、平坦性、わだち掘れなど、いずれも路面性状評価のために広く利用されている定量評価指標である。以降では簡単のため、この中からIRIを採り上げて解説する。



写真6 MMS搭載車両 (株式会社三英技研HPより転載)

5.3.4 路面性状診断

益田市での聞き取り結果から、従来より路面性状として補修不要/要経過観察/要補修の3水準で診断結果を把握していることが分かっていたため、データ分析システムの出力も同じ3水準に揃えることとした。これらの水準に対し、定量的な損傷程度は把握できていないものの、定性的には、舗装された平滑路面のような良路を補修不要、路面表層に軽度の損傷がある状態を要経過観察、安全で快適な走行を脅かす程度の損傷がある状態を要補修と判断していることがわかった。これら3水準として想定する路面としての例を写真7に示す。

路面性状評価指標の一つであるIRIは、自動車乗車中に体感や目視によって推測することでも、ある程度の精度を期待できる指標とされており、路面性状とIRIの関係は図8のように表される。この図を参考に、定性的な補修不要/要経過観察/要補修の3水準を、定量値であるIRIと対応付けて、以下のように設定した。これにより、AIモデルから補修不要/要経過観察/要補修の3水準が出力可能となる。

- ・補修不要 : $0 \leq IRI < 2$
- ・要経過観察 : $2 \leq IRI < 4$
- ・要補修 : $4 \leq IRI$



写真7 路面性状診断出力の例

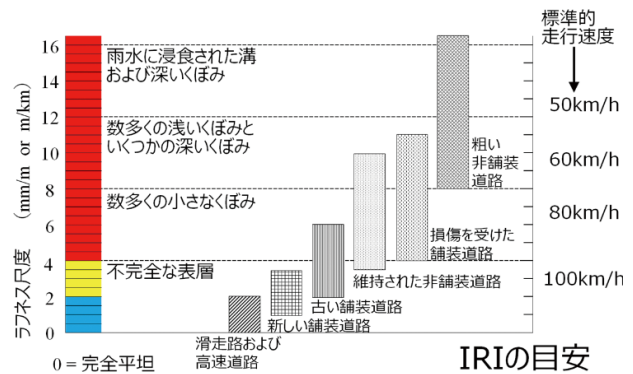


図8 IRI値と3水準の関係³⁾

5.3.5 データの前処理

データをAIに利用可能な形式に加工する工程を前処理という。データ転送システムによりKYBのサーバに蓄えられた車両挙動データに対し行った前処理について、以下に概要を記述する。

まず、車両挙動データの元の形式の概要を図9に示す。このデータは、経緯度と車両挙動の計測値とが時系列に記録されたものである。このデータ形式を前提に、車両挙動データに対して行う前処理を説明する。

時系列のデータから路面性状を診断する際、適切な処理を行わずに全データを利用して診断を行うと、データに含まれる走行区間全体で1つの診断を下すことになる。これでは細かく地点を特定し、各所での損傷を把握して道路維持管理に役立てる用途を満足できない。そのため、時系列のデータを一定時間ごとに区切り、区切られた時間帯に含まれる走行区間を路面性状診断の最小単位に据えることで、区間の分解能を向上させる。

次に、AIモデルを学習させるため、上記データから特徴量と呼ばれる数値を算出する。特徴量とは、最大値や平均値などの基本統計量や、車両挙動を代表する数値として定義した値などである。この特徴量の設定が分析精度に寄与するため、車両挙動分析の知見を活かして定めた。特徴量を算出することで、一定時間ごとにまとめられた時系列データは少数の特徴量データに置き換えられ、学習にけるデータの量を効率的に縮約することができる。

上述の時間分割と特徴量算出の前処理を経て、分析に用いるデータは図10の形式に再編される。



図11 地図表示ソフト上への描画

時刻	経度	緯度	車両挙動（時系列）		
			センサ1	...	センサ n
0					
⋮					
⋮					
⋮					

図9 車両挙動データ

No.	時刻	経度	緯度	車両挙動（特徴量）			路面性状評価指標		
				x1	...	xn	y1	...	ym
1									
2									
3									
⋮									

図10 前処理後のデータセット

5.3.6 AIの分析結果と精度検証

前処理を経て整備された教師データのうち、8割を学習用、2割を検証用として分け、学習用データを用いてAIモデルを学習させた。十分に精度を高めた後、AIモデルに検証用データを入力して路面性状評価指標の推定値を獲得し、3水準の路面性状診断出力に変換した。この出力を地図表示ソフト上に描画した結果を図11に示す。

従来の益田市の業務には比較対象が無いため、定量評価は難しいものの、地図への出力結果についての職員の認識において、従来の方法に基づく認識との齟齬が無いことから、従来相当の精度で分析が行えているものと思料される。

また、AIモデルによる分析では、益田市の従来の診断に揃えて3水準の出力としているが、その背後ではIRI、ひび割れ率、平坦性、わだち掘れなどの各路面性状評価指標の推定値が数値出力されるため、定量性

を備えた資料としての利用可能性を備えている。

6 開発成果と反響

以上のように、スマート道路モニタリングシステムは開発の第一ステップを終え、自治体の道路維持管理業務を支援するための路面性状診断が実現可能であることを確認できた。通常の製品開発であれば、この実行可能性検証を経て獲得した知見を一度整理し、さらなる開発の具体化に向けて社内での検討を進める段階である。しかしながら、冒頭に述べたように、本取り組みは国や自治体と連携しているため、フォーラムでの講演や、新聞・TVでの報道を通じた公表とともに開発が進められており、既に得られた反響も大きい。そこで、以下の各節にて、国や自治体との連携や、寄せられた反響について記述する。

6.1 益田市からの評価

益田市に対してスマート道路モニタリングシステムの開発提案を行った時点では、システムの全容は絵に描いた餅であり、具体的な現実性を帯びてはいなかった。しかしながら、各サブシステムの機能が実装され、成果が形付いていくにつれ、道路維持管理業務に携わる職員から、具体的な要望や課題が挙げられるようになった。これらの声をもとに、適宜開発目標を修正して完成した本システムの評価は高く、特に、従来では把握できていなかった路面性状の具体的な様態が、定量的な数値や直観に訴える地図情報として示され、記録が蓄積していくこと、それにも関わらず、利用者である自治体職員には一切の労苦を伴わないことが好評を博している。

このように評価されるシステムの実現は、実務課題を抱える自治体と連携しての開発であればその成果であり、KYB内部で完結した開発体制だったならば、完成したシステムは砂上の楼閣となっただろう。開発にご協力頂いた益田市職員の方々のご厚情には感謝が尽きない。

6.2 国との連携

スマート道路モニタリングシステムの開発は、令和元年度に公募された、国土交通省スマートシティモデル事業⁴⁾として行われた取り組みでもある。この公募には73のコンソーシアムからの応募があり、その中から選出された15の先行モデルプロジェクトのうちの一つに、MCSCCを通じた本活動がある。

本報で述べた初年度の成果は、評価機関である有識者委員会の定めた、以下の4点の評価項目すべてにおいて高く評価されている。

- ①先進性：早期に社会実装可能な具体性がある
- ②効率性：都市経営の効率化に資する
- ③継続性：継続的で自律的な運営である
- ④汎用性：他の都市にも移植可能である

これを受け本活動では、引き続き令和二年度の事業にエントリし、国と連携した開発を推進していく。

6.3 他都市展開

益田市や国との連携の他、MCSCCを通じて他都市への水平展開についても検証を行っている。2019年11月には熊本県八代市に招かれ、計測車両を伴った訪問のうへ、指定された路線を走行して現地の路面性状を題材にシステムを実演した(図12)。

この取り組みでは、構築済みのデータ転送システムが無い場合機能は制限されるものの、携行可能なまでに縮小した状態でもシステム運用可能なことを示し、高い移植性と有用性を評価された。



図12 熊本県八代市での出張診断

7 結言

本報に述べた開発により、スマート道路モニタリングシステムは実効可能性検証を終え、技術面での実現性を確認することができた。また、開発に並行して取り組んだ国や自治体との連携を通じ、実際の課題に直面する現場の中で柔軟に開発目標を定めたことで、高い評価を得られた。

スマートシティの実現には、都市の抱える課題の要衝を見極め、実務者が自律的に運用できるサービスを構築することが鍵となる。実務者の視点を見落とした理想論では、運用の現場に馴染むシステムの開発は難しいため、早期に連携の体制を整えて開発に臨めたことは幸いであった。今後もこの紐帯を強め、国や自治体、KYBなど、関係するすべての者にとって有益で、持続可能なサービスを打ち立てられるよう、ビジネスモデルの開発を進めていく。

近年では、KYBにおいてもAI/IoT技術を利用し生産支援・開発支援・計測分析等を行う例が増えてきている。本取り組みもそのうちの一つとして、従来技術にAI/IoT技術を融合させ、新たな付加価値を生むモデルケースとなることを目指したい。

最後に、本開発に携わり多大なご協力を頂いた社内外の関係各位に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局報道発表, “スマートシティの実現に向けた計画を策定”, 令和2年4月24日
- 2) 国土交通省 第6回道路技術小委員会, “これからの舗装マネジメント”, 平成28年
- 3) 池田拓哉, 東嶋奈緒子, “国際ラフネス指数の計測方法に関する研究”, 土木学会舗装工学論文集第3巻, 1998年
- 4) 国土交通省スマートシティプロジェクトチーム事務局 報道発表, “スマートシティモデル事業 いよいよ始動”, 令和元年5月31日

著者



首藤 悠

2016年入社。基盤技術研究所運動制御研究室所属。主に振動制御技術の開発に従事。



高松 伸一

2007年入社。基盤技術研究所要素技術研究室所属。技術士(機械部門)。主に四輪用ショックアブソーバ、電動パワーステアリングの研究に従事。