

5. 実証実験

5-1 実証実験結果まとめ

民間事業者の保有する先進技術を本市域において実際に試行し、技術活用による維持管理業務の効率化について検証を行った。実証実験より、多くの最新技術で既存維持管理作業の効率化が見込まれることがわかった。実証実験結果のまとめは、次のとおり。

表 5-1 実証実験結果まとめ

技術名称	概要	結果
①道路巡視支援システムによる道路地物の位置判定	道路巡回時にスマートフォンで撮影した画像から、AIを用いて道路地物（道路標識やカーブミラー等）の位置を判定するシステム	AIを用いて自動でカーブミラーの位置を把握できた。今後自動で道路附属物の状態の判断が可能になれば、巡回時の補完になることが考えられる。
②加速度センサーを用いた舗装損傷状況の把握	プローブデータ活用による路面状態の異常検知システムはあいおいニッセイ同和損害保険(株)の保険契約車両や前田道路の巡回車などの走行データを活用することで、専用車両を必要としない路面状態の異常検知システム	簡易なセンサーで1か月間という短期間にも関わらず、市内を網羅し、段差箇所の可視化が可能となった。機器設置の簡易さと得られるビッグデータを分析することで予防保全的に劣化箇所の把握が可能となる。
③合成開口レーダ（SAR）を用いたインフラ施設の変位傾向把握	衛星SARデータを用いて対象地域の地盤変動を解析するシステム	衛星SARにより取得したデータと路面下空洞調査の結果を重畳することで、路面下空洞が発生しやすいエリアと地盤変動エリアに関係性があることが示唆された。
④道路巡回用舗装AIと舗装シミュレーション	道路巡回車両に搭載したドライブレコーダーにより取得した画像をAIで解析し、舗装劣化箇所を自動抽出するシステム	ひび割れやポットホール等の劣化箇所が抽出でき、工事箇所選定の効率化につながることもわかった。

【実証実験のまとめ】

● 加速度センサーを用いた舗装損傷状況の把握と道路巡回用舗装AIの実用性

- 路面性状調査結果との突合した結果、振動検知は路面性状調査におけるIRIと整合が高く、IRIが高い箇所として示されている区間に対して、振動検知でも検知していた。
- AI判読については、ひび割れが顕著に存在している区間で、AI判読もされていることが分かった。
- 一方、AI判読では雨上がりの路面の微細な濡れやL字側溝と舗装の境界をひび割れと誤検知する場面が存在していた。
- 今後の実装では長い期間実装し、ビッグデータの特性を生かし、誤差も含めた傾向把握により劣化箇所が集約されると考えられる。
- 特にAI判読において本実証実験では汎用的な学習データを用いた検出だったが、今後は市道の特徴や天候を考慮した学習データを用意することで、精度向上が図れると考えられる。

5-2 各技術の概要及び実証実験結果の詳細

(1) 道路巡視支援システムによる舗装損傷状況と道路地物の位置と状態判定（前田道路株式会社）

- システム概要

道路巡視支援システムは、道路巡回時にスマホで撮影した画像からAIを用いて舗装の損傷状況と道路地物（道路標識、カーブミラー等）の位置と状態を判定するシステムである。

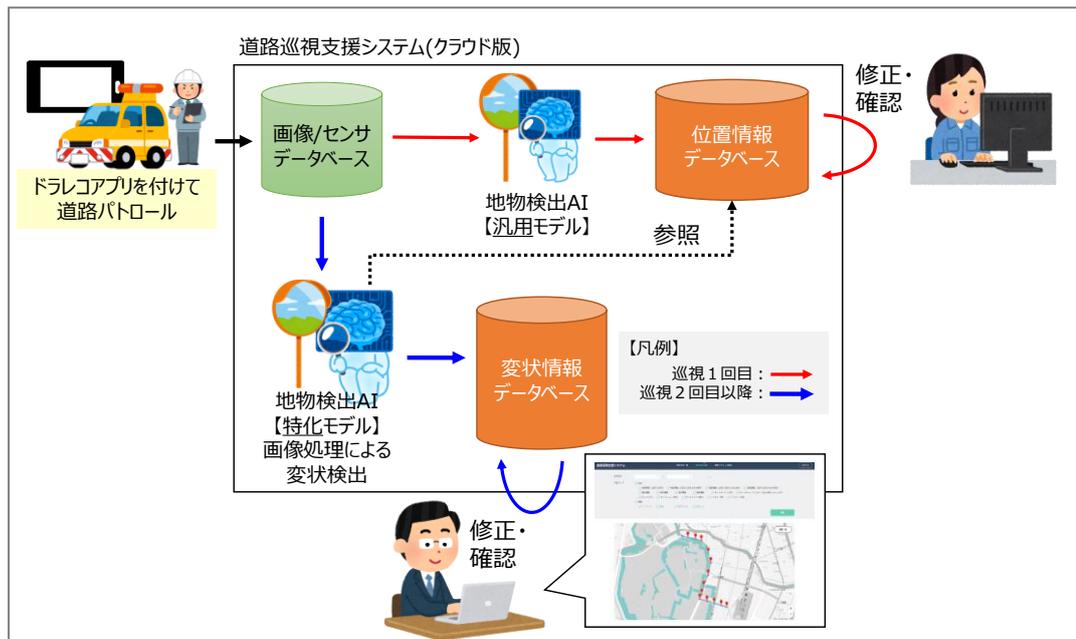


図 5-1 道路巡視支援システム概要

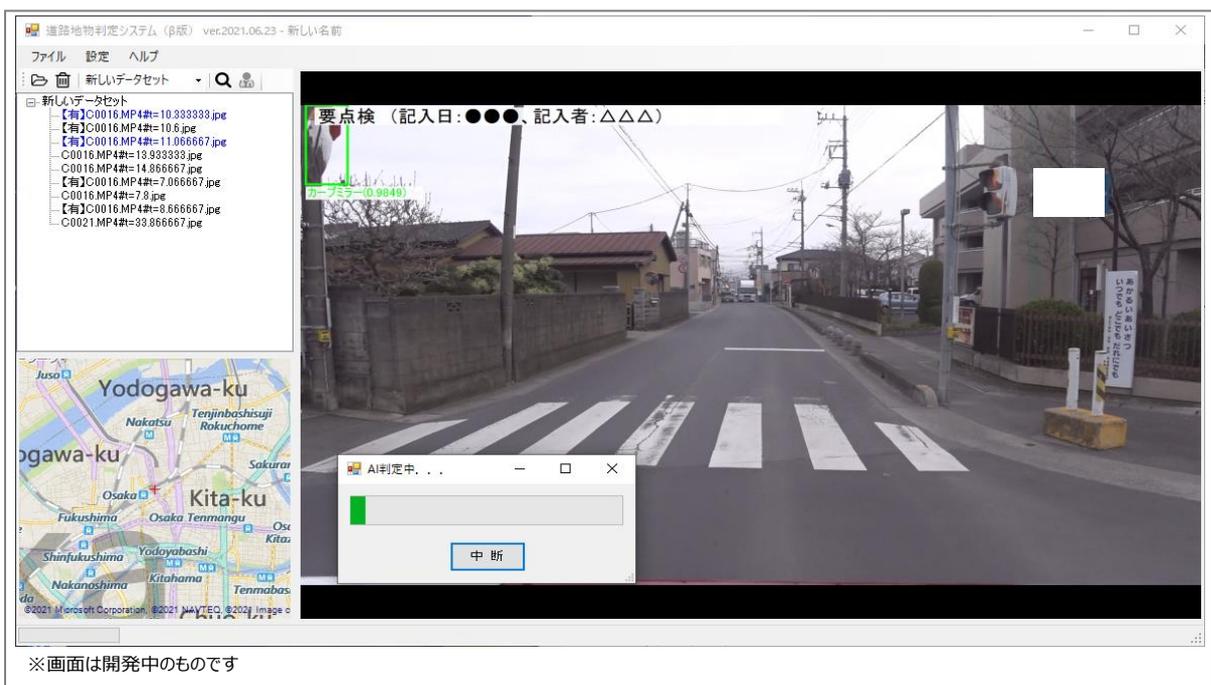


図 5-2 道路巡視支援システム画面（道路管理地物の判定）



図 5-3 道路巡視支援システム画面（舗装の損傷状況診断）



図 5-6 実証実験の機器の様子

地物検出AIを用いて、本市域内のカーブミラーの位置情報推定の試行を実施した。Google ストリートビューを用いて人力でプロットした位置データをカーブミラーの暫定正解データとして地物検出AIの推定結果と比較した。

AIによる検出結果は、次のとおり。



図 5-7 AIによる検出結果(カーブミラーがない路線の例)



図 5-8 AIによる検出結果（カーブミラーがある路線の例）

カーブミラーが沿道に存在しない路線での撮影画像からはカーブミラーが検出されておらず、カーブミラーが存在する路線での撮影画像からカーブミラーが検出されていることが分かる。

カーブミラーが映り込んだ画像の撮影位置と地点ごとの画像は、次のとおり。撮影画像内でカーブミラーが抽出されていることが分かる。



図 5-9 カーブミラーが映り込んだ画像の撮影位置



図 5-10 地点 1 における撮影画像

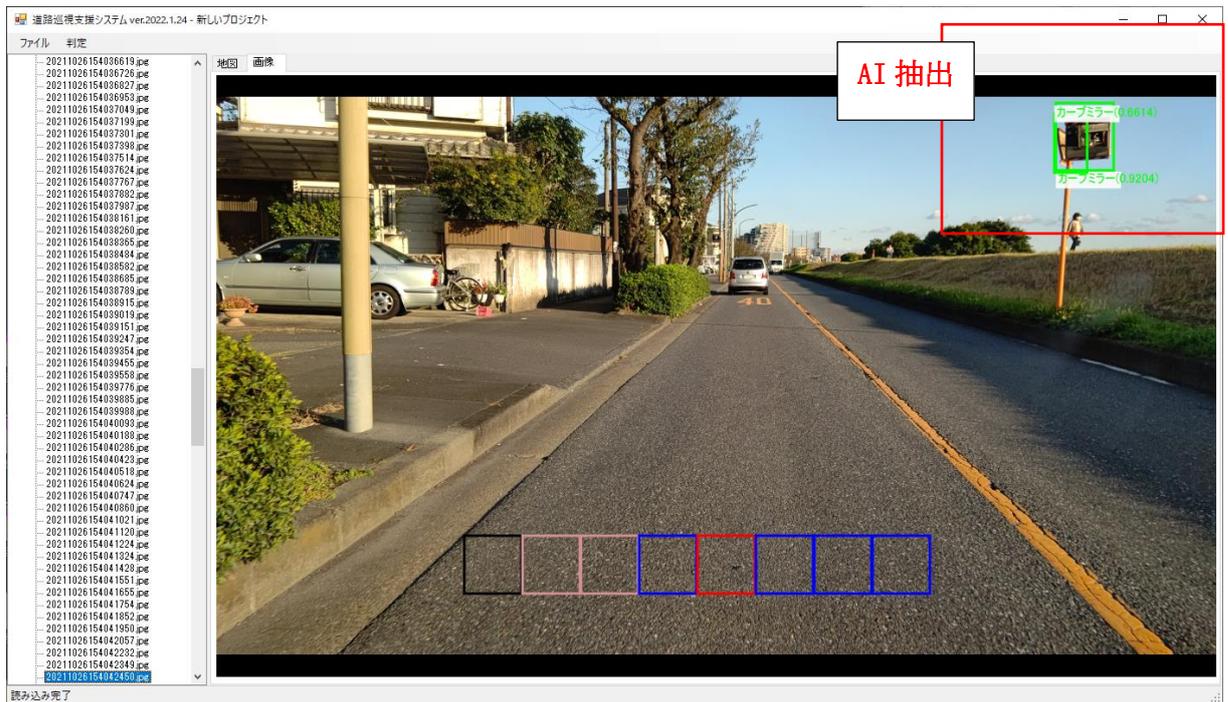


図 5-11 地点 2 における撮影画像

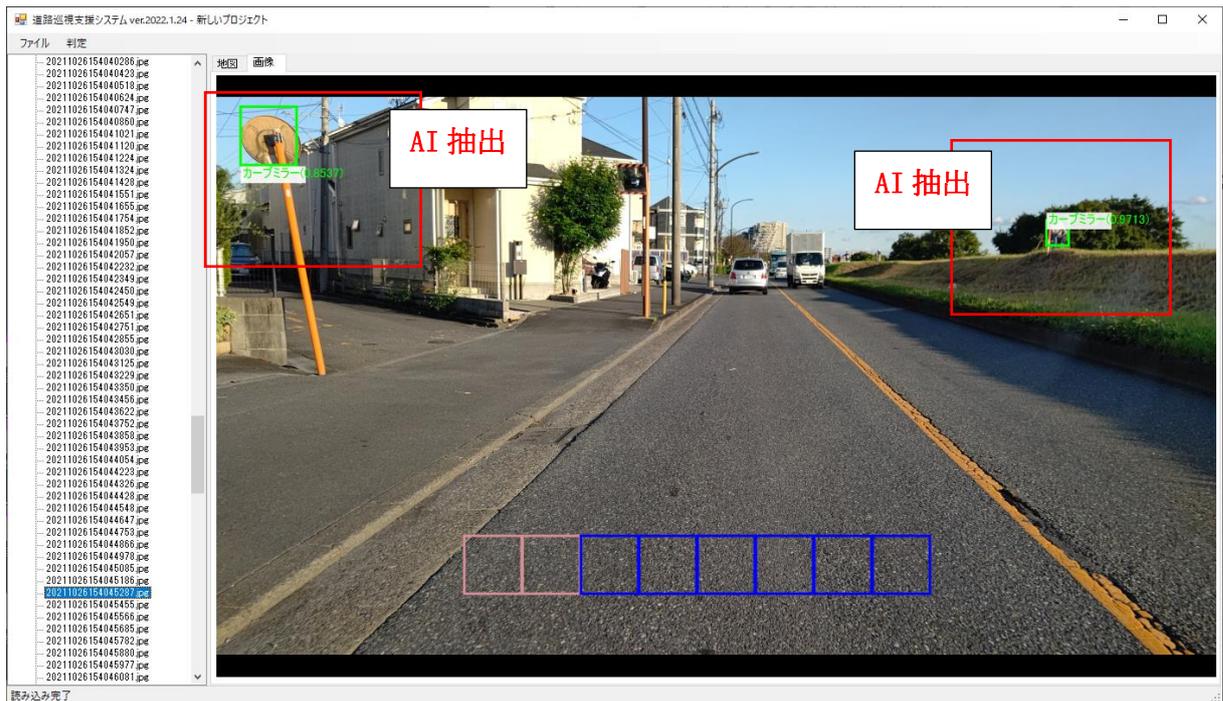


図 5-12 地点 3 における撮影画像

また、上記路線以外ではカーブミラー以外の道路標識のA I抽出も実証実験内で確認することができた。



図 5-13 別地点における道路標識抽出画像

ガードレール、バリカー（車止め）の検出が可能であるが、本市内での今回の実証実験では事例が少ないため記載することができなかった。ただし、現在、研究段階ではあるが、今後自動で道路附属物の抽出が可能であり、状態の判断が可能になれば、巡回時の補完になることが考えられる。

(2) 加速度センサーを用いた舗装損傷状況の把握（前田道路株式会社・あいおいニッセイ同和損害保険株式会社）

● システム概要

プローブデータ活用による路面状態の異常検知システムはあいおいニッセイ同和損害保険(株)の保険契約車両や前田道路(株)の巡回車などの走行データを活用することで、専用車両を必要としない路面状態の異常検知システムの実現を目指すものである。システムの概要は、次のとおり。



図 5-14 システム概要

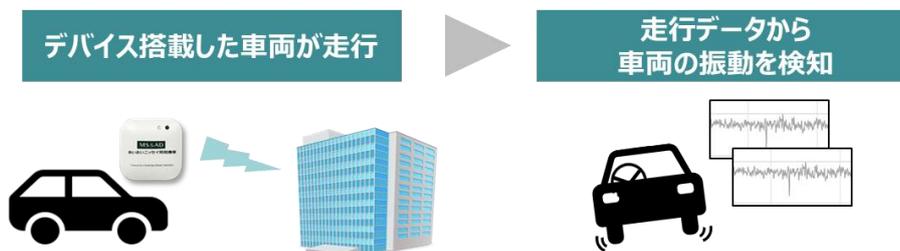


図 5-15 振動探知のイメージ

複数のデバイスを使い分けることで、自動車の車種や年式に縛られずに情報を取得可能とし、幅広い属性の走行データを活用することができる。

表 5-2 デバイス一覧

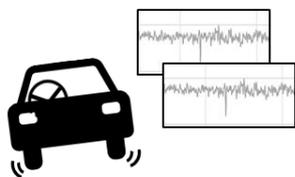
デバイス		通信車載器	ドライブレコーダー
			
対象車種		全車種（後付け可能）	
取得情報	位置・速度	○	
	加速度	○	
	映像	—	○

実際に車が揺れている場所を振動探知箇所とし、発生原因の特定・改善・改善後の効果検証を行うことで、快適なまちづくりに寄与することができる。振動探知箇所データの活用案は、次のとおり。

■活用案

1. 舗装損傷状況把握
⇒舗装修繕業務実施の優先順位付けに活用
2. 道路形状起因の車の縦揺れ発生状況把握（例：橋の継ぎ目など）
⇒道路形状の改善に活用
3. 効果検証
⇒舗装修繕や道路形状改善の実施後に、走行中の振動が減少しているかを確認

走行データから
車両の振動を検知



検知した振動を基に
路面異常箇所を推定・可視化



図 5-16 振動探知箇所データの活用イメージ

- 本市内実証実験結果
本市内にて、巡回車両にテレマティクスデバイスを搭載し実証実験を実施した。
- ・ 概要
対象期間：2021年12月の1ヶ月
対象車両：巡回車両・作業車両・路面性状車両など18台
- ・ 設置イメージ



- ・結果（詳細な図面は後述）



図 5-17 実証実験結果

(3) 合成開口レーダ (SAR) を用いたインフラ施設の変位傾向把握 (日本電気株式会社 (NEC))

- システム概要

合成開口レーダ (SAR : Synthetic Aperture Radar) (以下、SAR) とは、人工衛星などの飛行体に搭載されたアンテナからマイクロ波を地上に向けて照射し、対象物からの反射波を用いて画像を生成するアクティブセンサーである。一般的にアンテナが大きいくほど分解能が高いため、分解能を向上させる仕組みとして飛行体の移動とともにマイクロ波の送受信を繰り返して仮想的に大きなアンテナを作り出すことから「合成開口」の名が付いている。SAR画像の特徴として、悪天候下や夜間観測が可能であるほか、位相に基づく距離情報を有している。これを解析することで、高精度かつ広域に地表面変位を計測できる。飛行体の種類として航空機もあるが、本実証では、少ない空気抵抗で軌道が安定し、周期的観測が可能な衛星搭載 SAR を用いる。近年、衛星 SAR に対する関心の高まりに伴い、数多くのベンチャー企業がコンステレーション化*を目指して大規模な打ち上げ計画を立てており、今後更なる発展も期待される。

*コンステレーション化: 多数の衛星に協調した動作を行わせ機能させるシステム

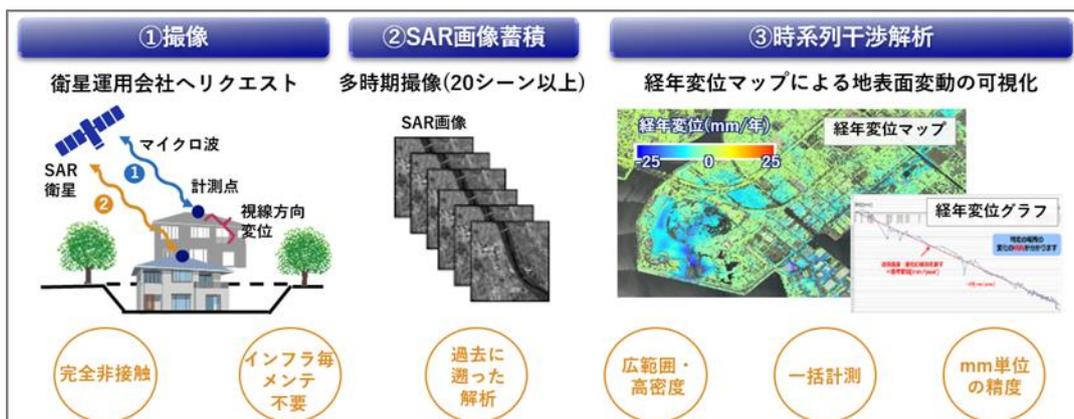


図 5-18 衛星 SAR における撮像から時系列干渉解析のフロー

*時系列干渉解析：主に経年変位や地盤変動をマップとして可視化する手法

- 本市内実証実験概要

衛星 SAR データを用いて本市全域の地盤変動を解析し、ふるまいについて地形構造の観点から考察を行う。次に、路面下空洞調査と衛星 SAR 解析結果との比較を実施し、路面下空洞および陥没に対する衛星 SAR 活用可能性について検討する。

- 本市内実証実験結果

衛星SARデータを用いて本市全域の時系列干渉解析を実施し、全体傾向として北側は比較的安定し、南側に衛星から遠ざかるような動きがみられる結果を得た。本市の地形は北側が武蔵野台地、南側が多摩川低地と異なる地盤で構成されているため、それぞれの地盤特性から生じたふるまいを捉えられた可能性がある。

表 5-3 衛星諸元

衛星名	Sentinel-1
周波数帯	Cバンド
分解能	約20m×約5m
軌道方向	南行軌道
撮像期間	2017年4月～2021年8月

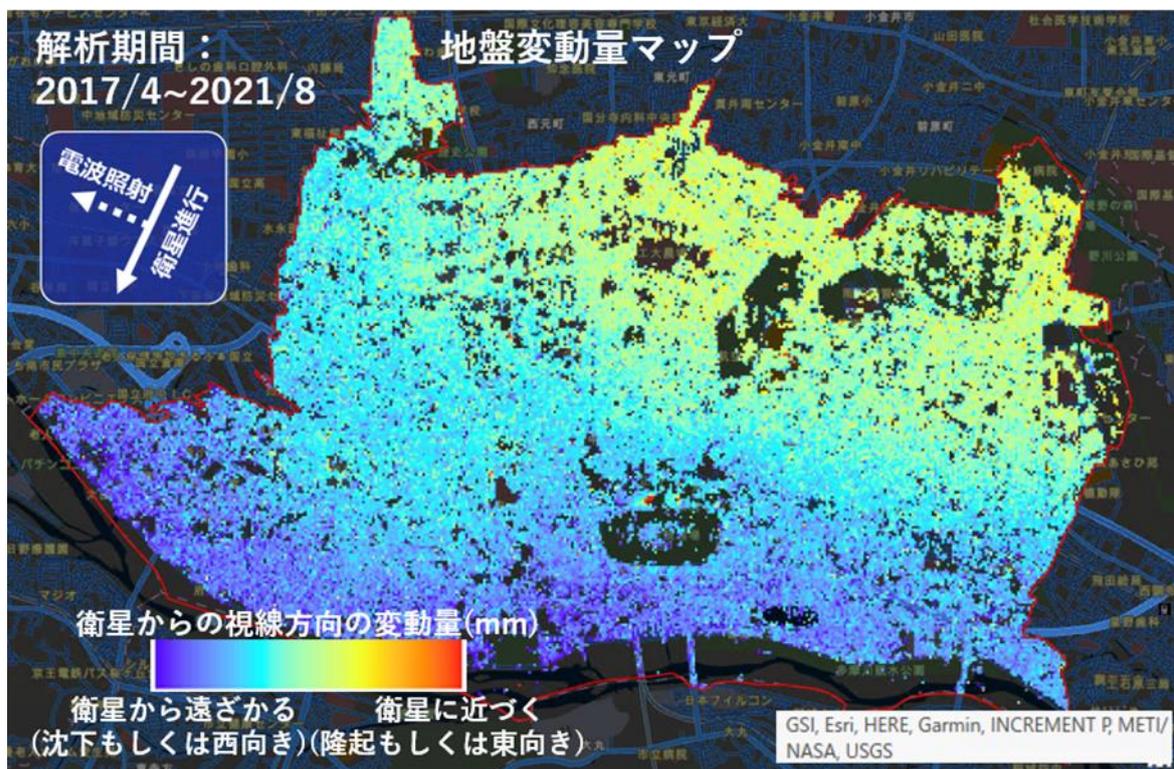


図 5-19 衛星SARデータを用いた時系列干渉解析結果

次に、衛星SAR解析結果と路面下空洞調査結果との比較検証について記載する。
 まずは検証に用いたデータについて説明する。

・路面下空洞調査データ

2014年度に実施した路面下空洞調査データより補修地点を抽出(65/72地点)

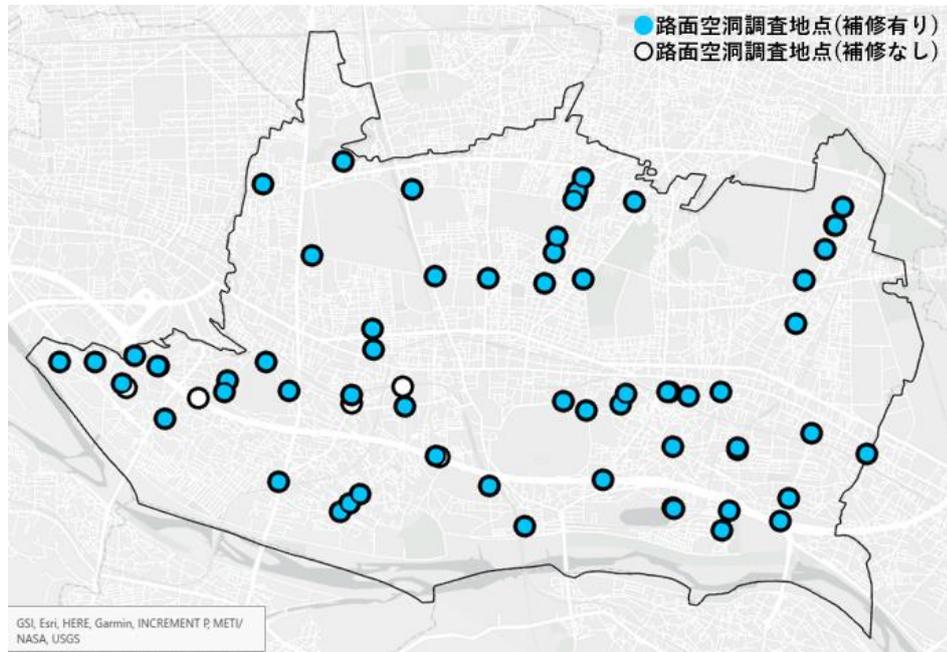


図 5-20 路面下空洞調査地点(●：補修有、○：補修無)

・衛星SAR解析データ

路面下空洞調査との比較に用いるのは道路領域の地盤変動情報のみであるため、
 国土地理院から提供されている基盤地図情報を用いて、前述のSAR解析結果から
 道路領域に隣接するグリッドのみ抽出。

なお、路面下空洞調査年度と衛星SARデータの時期が異なる点について、路面
 下空洞調査実施年度時点ではまだ当該衛星の本格運用開始前でデータがないため
 あるが、地盤特性が数年の間に大きく変わる可能性は低いことを鑑みて検証を実施
 した。

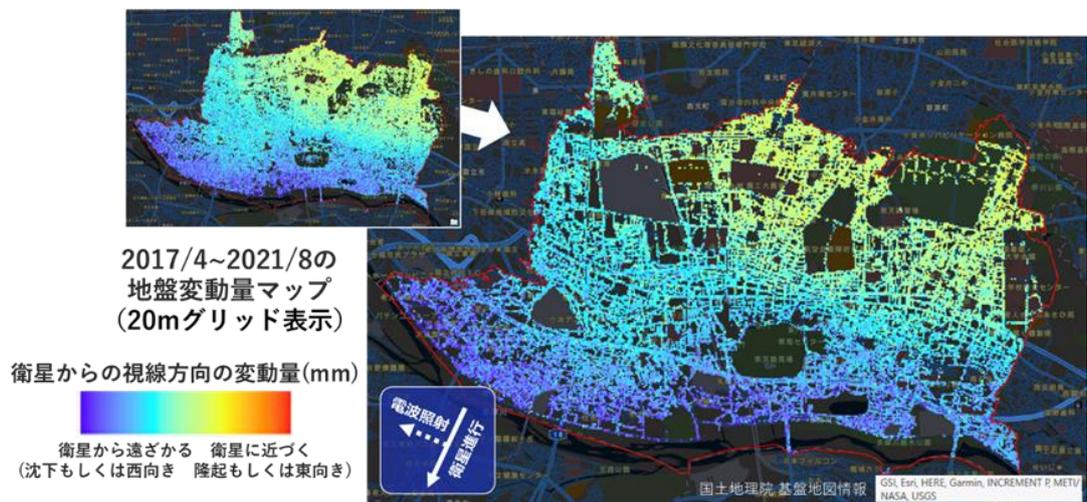


図 5-21 衛星SAR解析結果から道路領域のみ抽出

路面下空洞調査データと衛星SAR解析結果を重畳した結果を下図に示す。

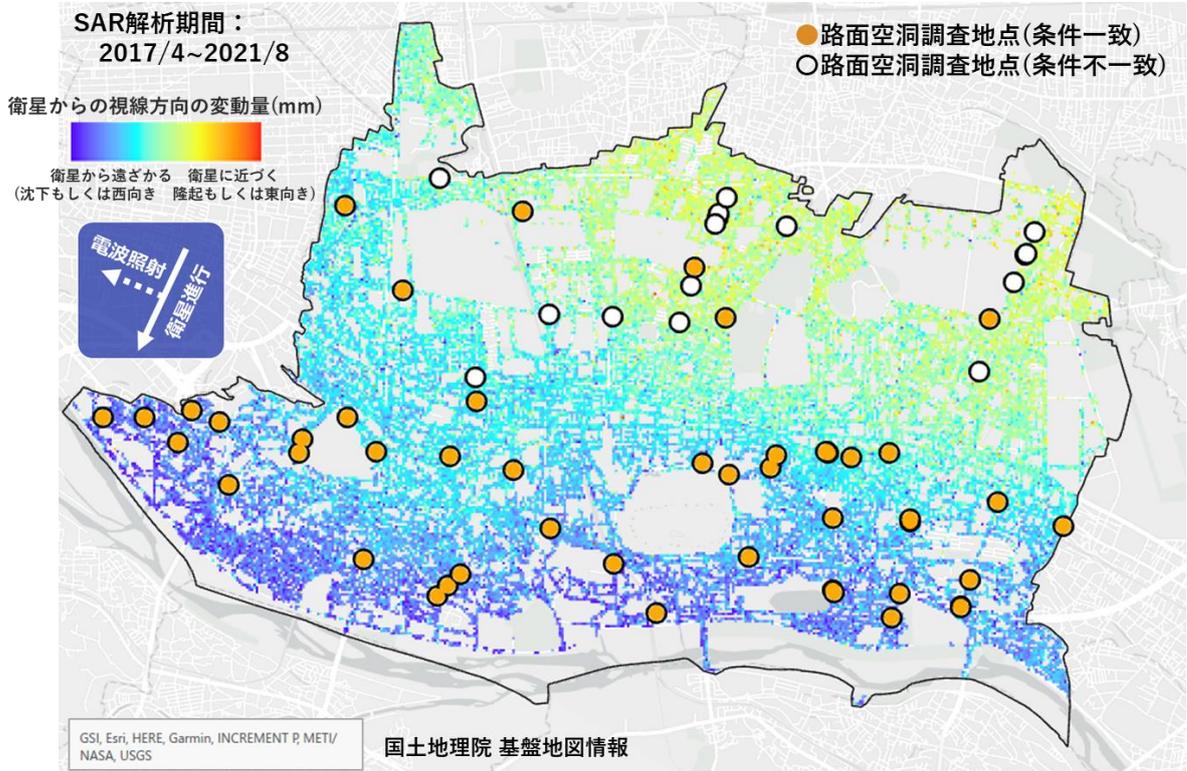


図 5-22 路面下空洞調査データと衛星SAR解析結果との重畳

路面空洞調査地点(補修有)、かつ半径50m以内に地盤変動量が-10mm以下のグリッドが存在する調査地点を抽出した結果、48/65(約74%)が該当する結果を得た。これは、路面下空洞が発生しやすいエリアと地盤変動がみられるエリアに関連がある可能性を示唆するものである。

また、路面下空洞調査地点から半径50m以内かつ地盤変動量が-10mm以下のグリッドを抽出した結果を下図に示す。これにより、路面下空洞調査箇所以外にも路面下空洞が発生している可能性のあるエリアをピックアップすることが期待できる。

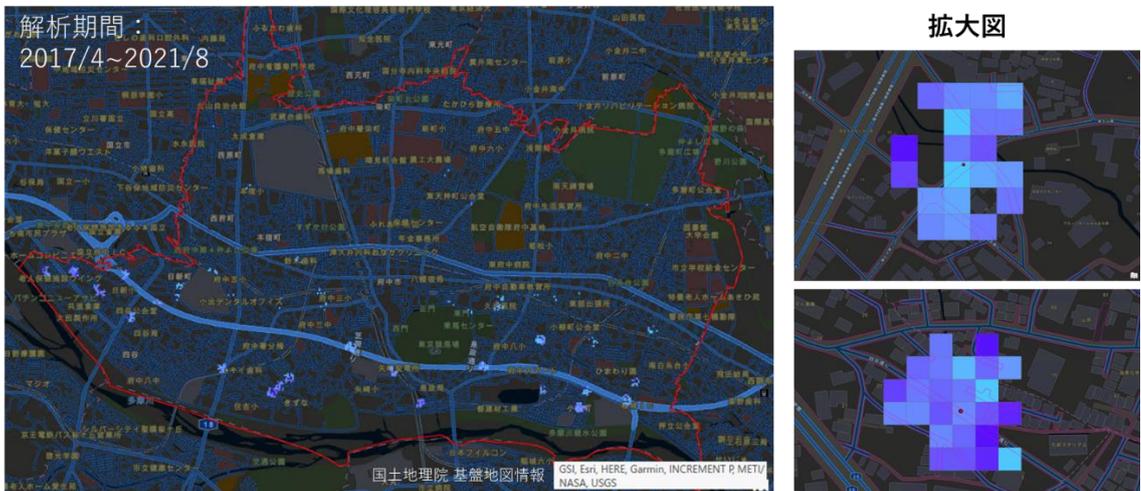


図 5-23 路面下空洞調査地点近傍で沈下がみられたエリア

● 今後の展望

・路面下空洞の生成可能性推定に対する衛星SAR活用検討

路面下空洞が生成されやすい地盤や地盤変動がある地盤に関して専門家とのディカッション等を通して理論的な枠組みを検討予定。また、興味深い取組として、東京大学が藤沢市、福岡市と空洞ポテンシャルマップの作成を試みた事例もある。

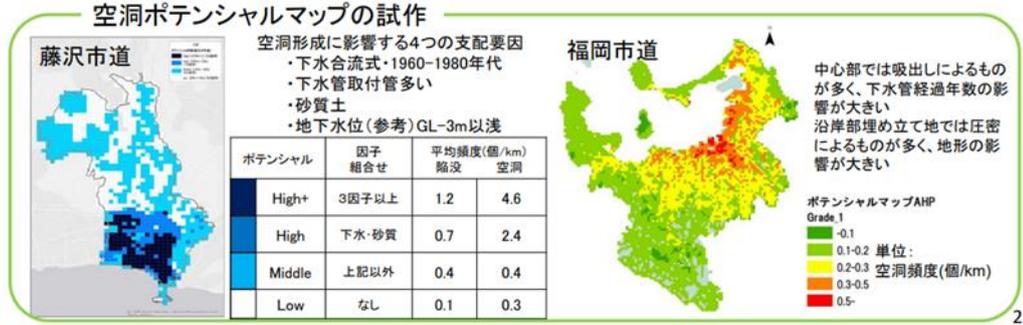


図 5-24 空洞ポテンシャルマップ

出典：東京大学生産技術研究所「道路構造及び空洞特性に適応した陥没危険度評価と合理的路面下空洞対策についての研究開発」

・拡大可能性がある路面下空洞のピックアップに対する衛星SAR活用検討

今後、路面空洞の拡大有無についての情報を紐づけることで検証できる見込みであり、近隣自治体の情報及びフィールドを活用し検証を検討していく。

-空洞：約150万件以上の空洞が発生していると推定

表 5-4 FY2014~2015 空洞調査データ(道路延長 10,091 km)

道路管理区分	単位道路延長あたり 空洞数 (個/km)
国・道・府・県	0.59
東京都・政令市	2.06
東京 23 区	2.09
その他自治体	1.37

典型的な路面下空洞

- ・ 深さ 0.3-0.6m
- ・ 厚さ 0.6m未満が約半数
- ・ 面積 0.25-2 m²

出典：「路面下空洞の発生状況の分布と考察」第72回土木学会年次学術講演会

-陥没：管路施設による陥没は年間約3,000件、その他要因含め約9,000件発生

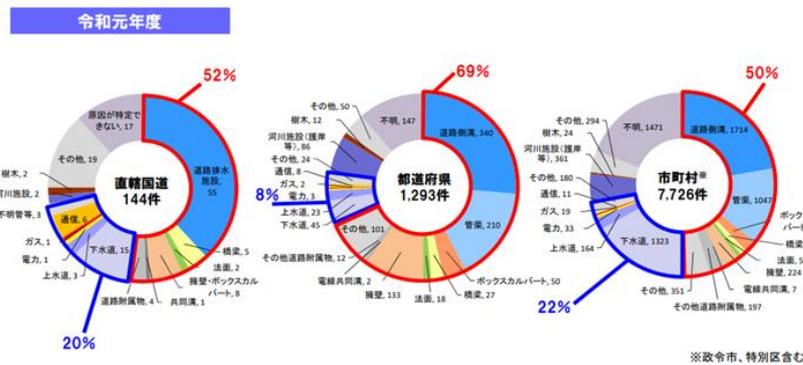


図 5-25 道路の陥没発生件数とその要因 (令和元年度)

出典：国土交通省

表 5-5 藤沢市における空洞サイズと陥没危険度

No.	調査時期	深度 (m)	縦断 (m)	横断 (m)	陥没 危険度	調査時期	深度 (m)	縦断 (m)	横断 (m)	陥没 危険度	【参考】近接する下水道管		
											布設年	分類	管種
1	平成28年10月 (初回調査)	0.4	0.8	0.5	C	平成29年4月 (第1回モニタリング)	0.4	0.8	0.6	B	1969年	合流式	ヒューム管
2		0.3	2.3	0.5	A		0.3	2.3	0.8	A	1974年		
3		0.4	0.9	0.3	C		0.4	1.0	0.4	C	1962年		
4		0.4	0.6	0.3	C		0.4	0.6	0.4	C	1962年		
5	平成29年4月 (第1回モニタリング)	0.3	1.0	0.6	A	平成29年10月 (第2回モニタリング)	0.2	1.0	0.6	要緊急	1969年	合流式	ヒューム管
6		0.4	0.6	0.4	C		0.3	0.7	0.6	A	1968年		
7		0.7	0.5	0.4	C		0.6	0.6	0.5	C	1968年		
8	平成30年4月 (第3回モニタリング)	0.3	0.6	0.3	A	平成30年11月 (第4回モニタリング)	0.2	0.7	0.4	要緊急	1963年	合流式	陶管

「当面安心と判断される深さとサイズであった空洞が数か月の間に緊急補修を要するほど急成長した事例が確認された。一方で、数年間変化しない安定的な空洞も多数存在している為、見極めが必要である。」

出典：藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究成果報告

- ・路面下空洞が地表面変位として顕在化した箇所の特定制に対する衛星SAR活用検討
空洞生成から拡大までのメカニズムについて、基本的に下から上へと成長するため地表面に顕在化しないまま進行することも多いが、過去起きた事例では、衛星SARで大規模陥没発生前に急激な沈下を捉えた例もいくつかある。

今後、衛星SARの高空間/時間分解能化も進むことから、検知に向けて検証を継続する。

-モデル実験で、路面下空洞が地表面まで達していない段階でも繰り返し荷重によって疲労破壊的に陥没が起きうること、さらに陥没前には表面変位がみられる結果を示し、路面沈下量調査による陥没進行度の評価可能性を示唆。

出典：名古屋工業大学、三菱電機株式会社

「管渠周辺地盤における空洞進展と陥没発生メカニズム」

-博多駅道路陥没事故において事後解析で予兆を捉えた事例

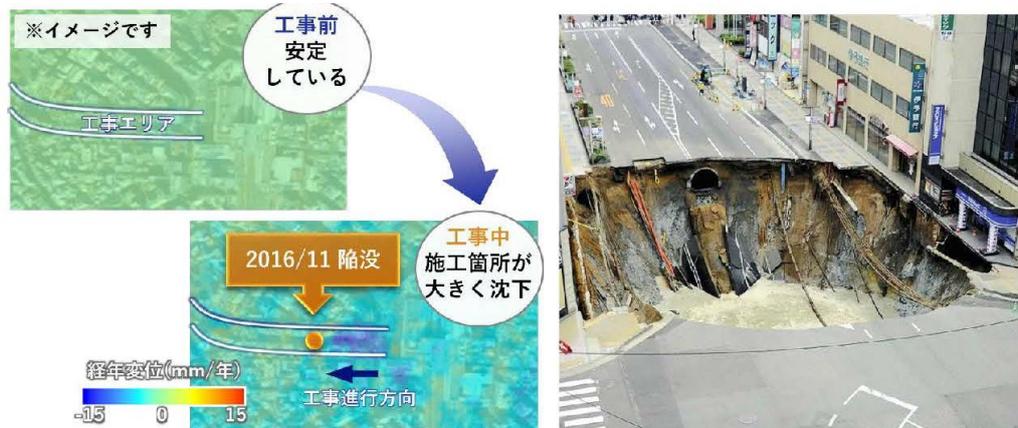


図 5-26 衛星SAR時系列干渉解析結果 (左) と陥没発生時の写真 (右)

SAR解析データ提供：NEC

-工事に伴う大規模陥没の予兆の検知

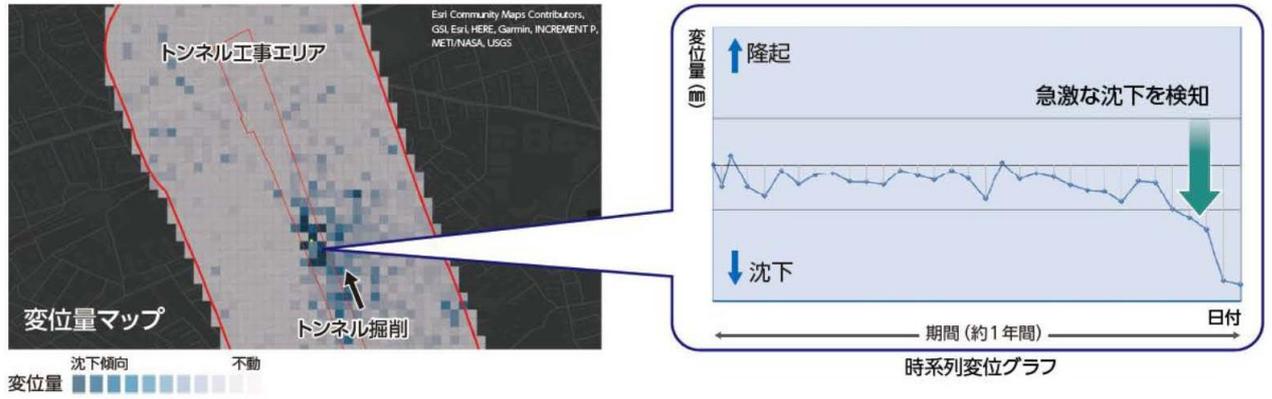


図 5-27 衛星 S A R 時系列干渉解析結果 (左) と時系列変動グラフ (右)

S A R 解析データ提供 : N E C

(4) 道路巡回用舗装A I と舗装シミュレーション (国際航業株式会社)

- システム概要

道路巡回用舗装A I と舗装シミュレーションは道路巡回を支援するシステムで、巡回車等にカメラ・GPSを搭載し画像を取得し、取得画像をA I で解析できる。

- ・道路巡回、パトロールを支援するシステム
- ・巡回車などにカメラ、GPSなどを搭載し画像を取得
- ・取得した画像は位置情報とともにリアルタイム閲覧が可能

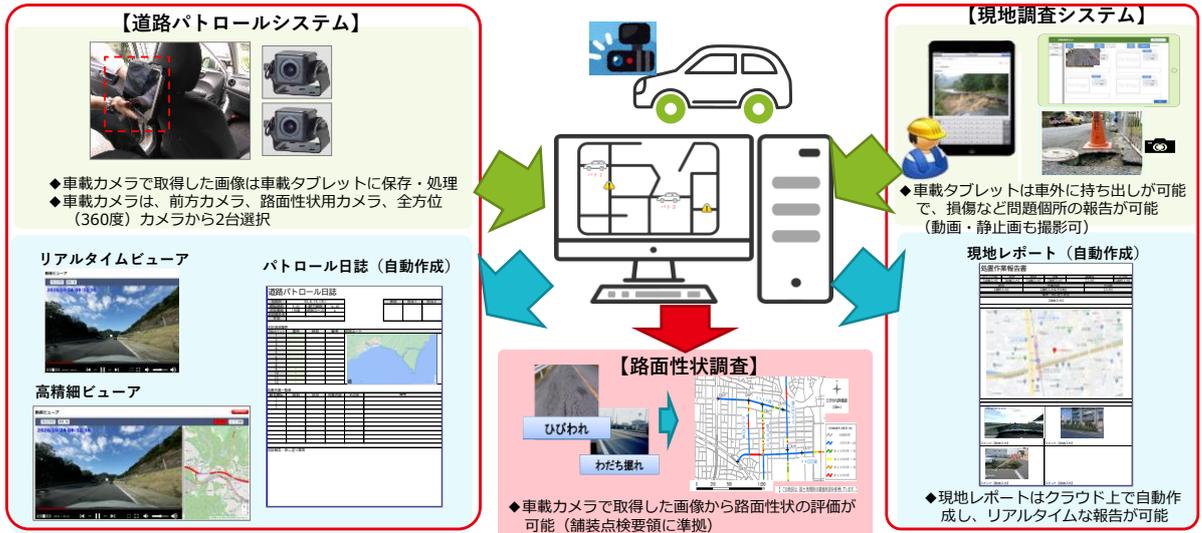


図 5-28 道路巡回用舗装A I と舗装シミュレーション概要

巡回員を補助する役割として広域を撮影するカメラを配置し、振り返りができるように自動でシステム内にて取得画像を整理できる。



図 5-29 車載カメラと動画ビューア画面

予め重要ポイント(舗装劣化箇所、要望の多い箇所等)を設定しておくことができ、地図付きで重要ポイントのレポートを自動作成できるため、重要ポイントの効率的な経過観察を図ることができる。また、道路付属物等の破損が発生した際には、過去に取得した画像と比較することで、破損時期を絞り込むことが可能となる。



図 5-30 AI 解析による自動異常検出と経過観察のイメージ

● 本市内実証実験結果

本市内において、道路巡回車にカメラやGPS等を搭載し、市域の舗装劣化箇所のAI自動抽出を試行した。実証実験の結果、ポットホールやひび割れ等の劣化箇所を抽出することができ、工事箇所選定の効率化を図れることが分かった。

日付 2021/6/25

写真・位置図台帳

基本情報				
県	市町村	地番	緯度	経度
東京都	府中市	北山町4丁目	35.69123	139.45593

位置図

出典: <https://maps.sinc.jp>
地理院の「標準地図」を加工して作成

凡例	● 検出位置
----	--------

検出結果写真

写真番号 20210625_TS001_REC_0008_005621

2021/06/25 09:12:17

凡例	□ ポットホール	□ 亀甲ひび割れ
----	----------	----------

コメント

図 5-31 AI 舗装点検レポート

● 路面性状調査サンプル図面

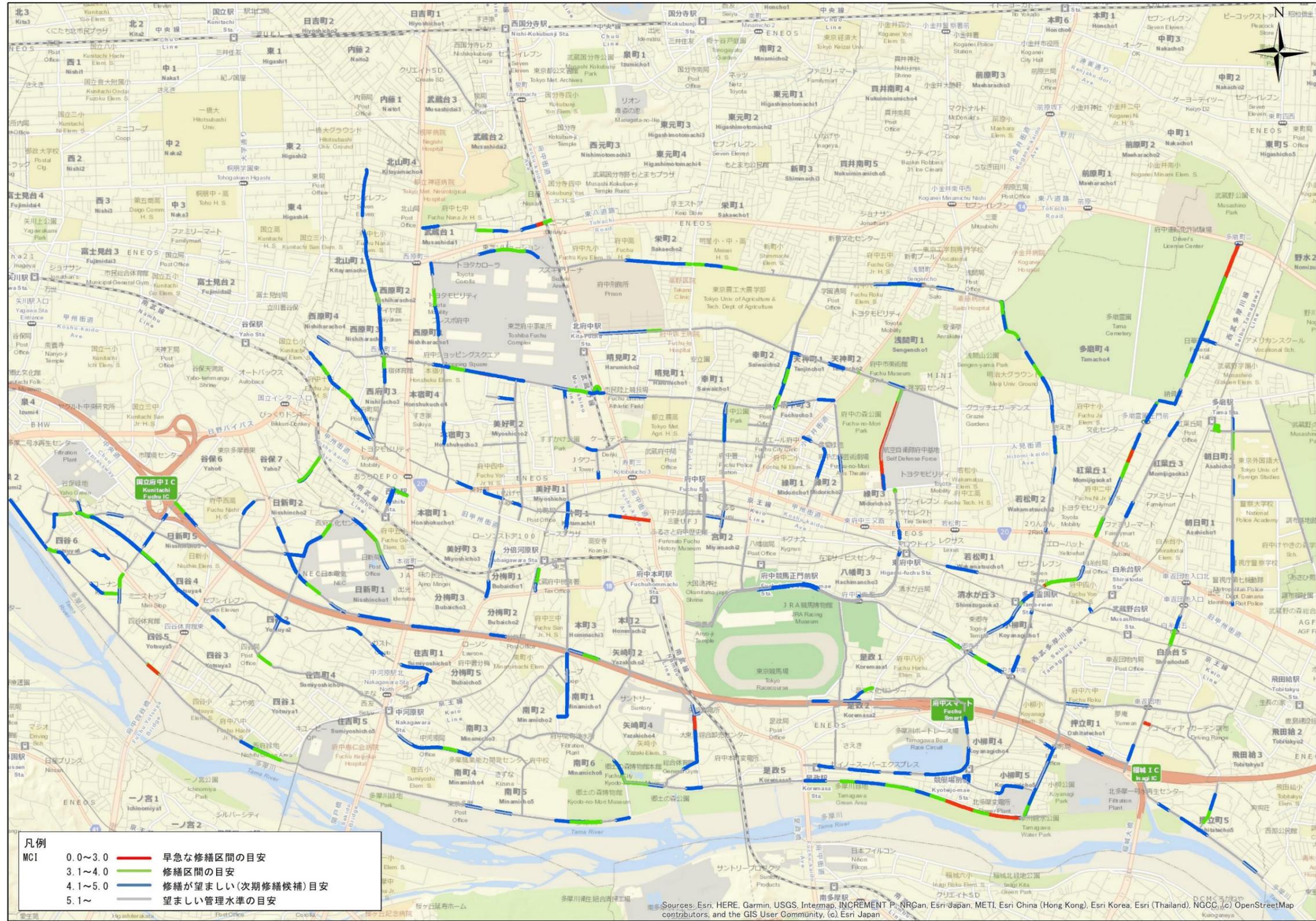


図 5-32 路面性状調査データ

SAR解析期間：
2017/4~2021/8



●路面空洞調査地点(条件一致)
○路面空洞調査地点(条件不一致)

衛星からの視線方向の変動量(mm)



衛星から遠ざかる 衛星に近づく
(沈下もしくは西向き 隆起もしくは東向き)

国土地理院 基盤地図情報 GSI, Esri, HERE, Garmin, INCREMENT P, METI/NASA, USGS

図 5-33 衛星SARによる路面下空洞調査(補修済み)の半径50m以内に地盤変動量が-1.0mm以下のグリッドが存在する地点の抽出結果

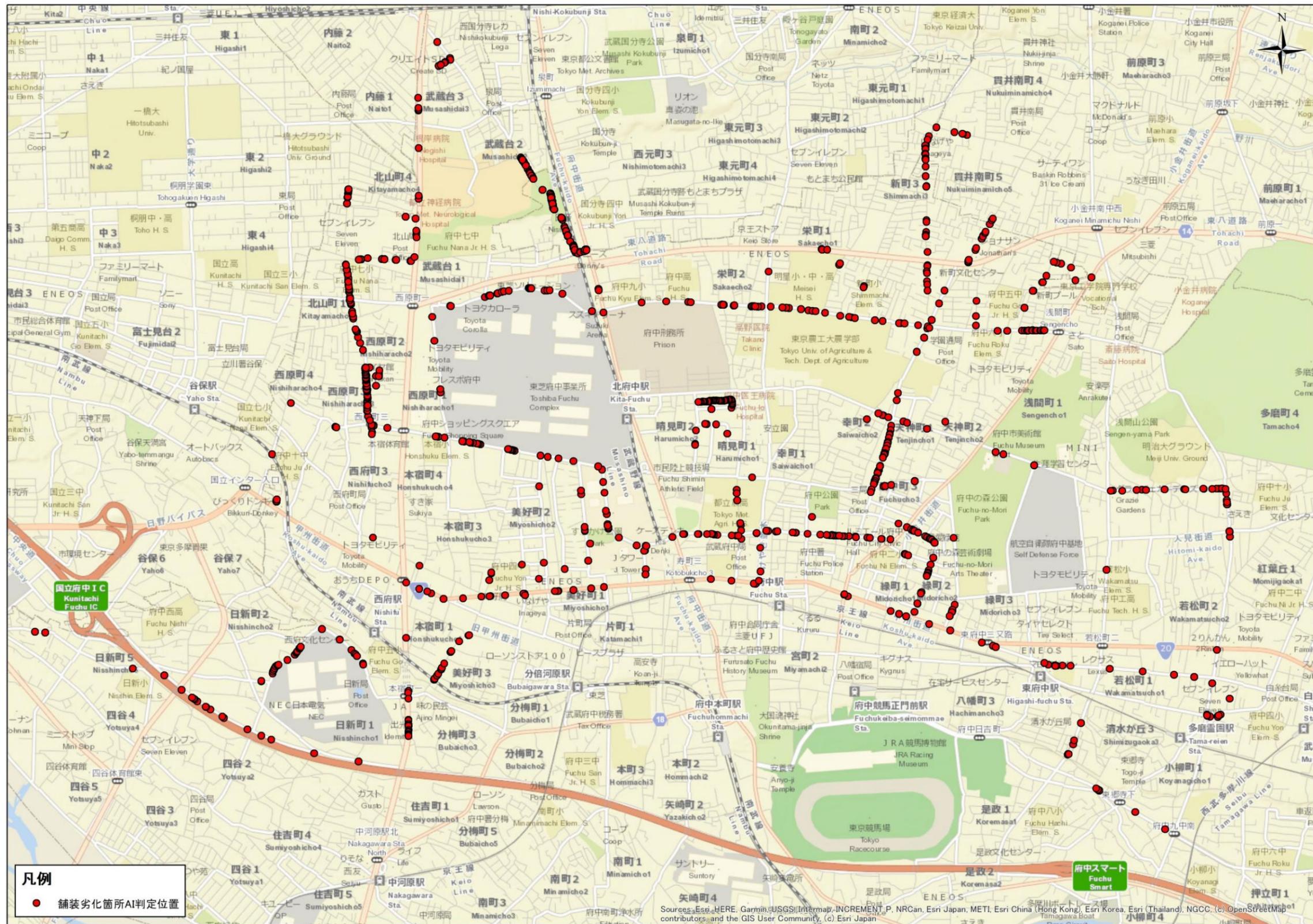


図 5-34 舗装 AI による舗装劣化箇所の抽出結果

- プローブデータ活用による路面状態の異常検知

※路面異常箇所へのデータはあくまで走行データから取得したものであり、市道以外の道路の走行データも含まれている。

府中市全域 網羅状況

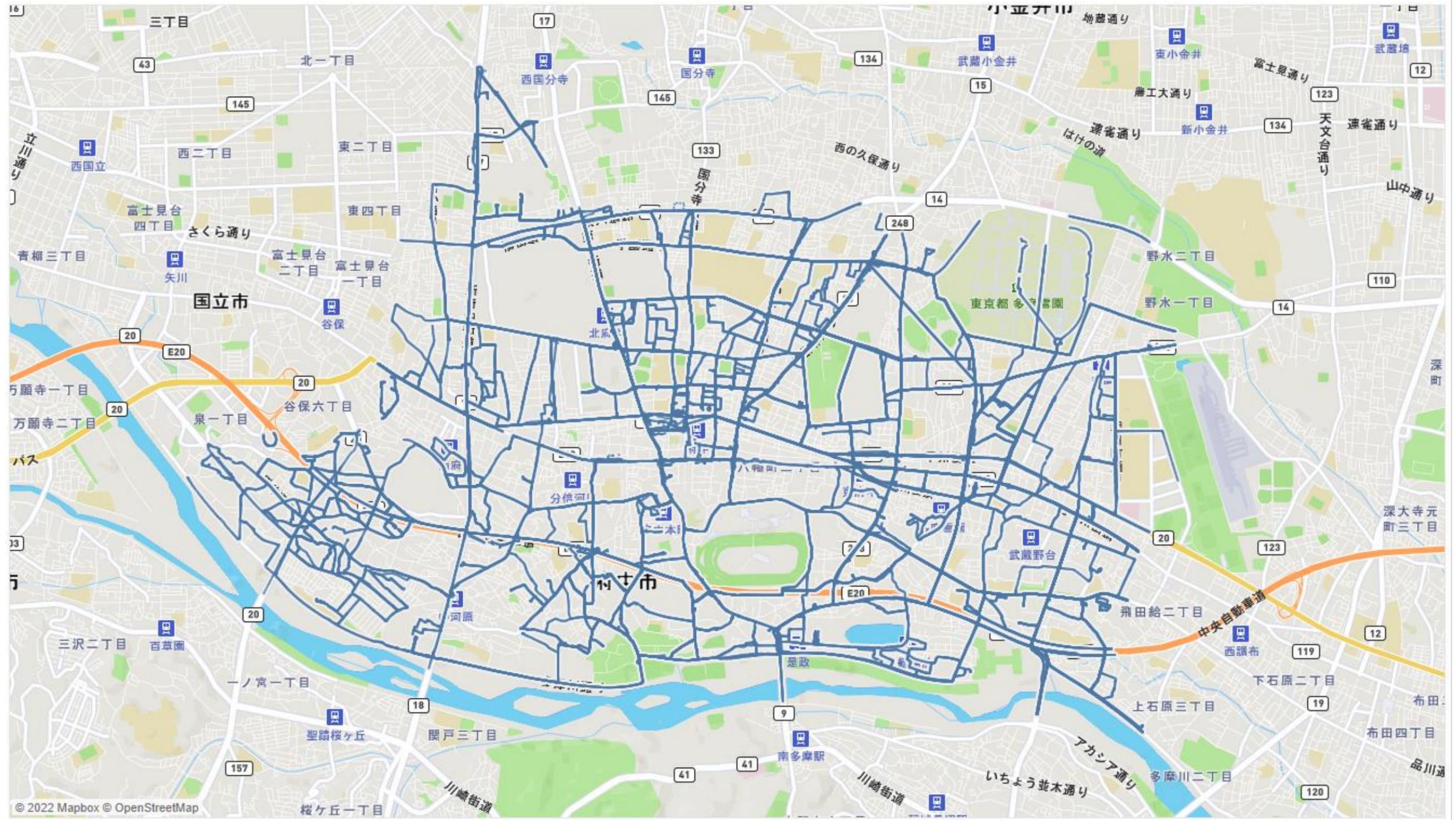


図 5-35 プローブデータ活用による市内の網羅状況

府中市全域 路面異常箇所

※路面異常箇所のデータはあくまで走行データから取得したものであり、市道以外の道路の走行データも含まれている。

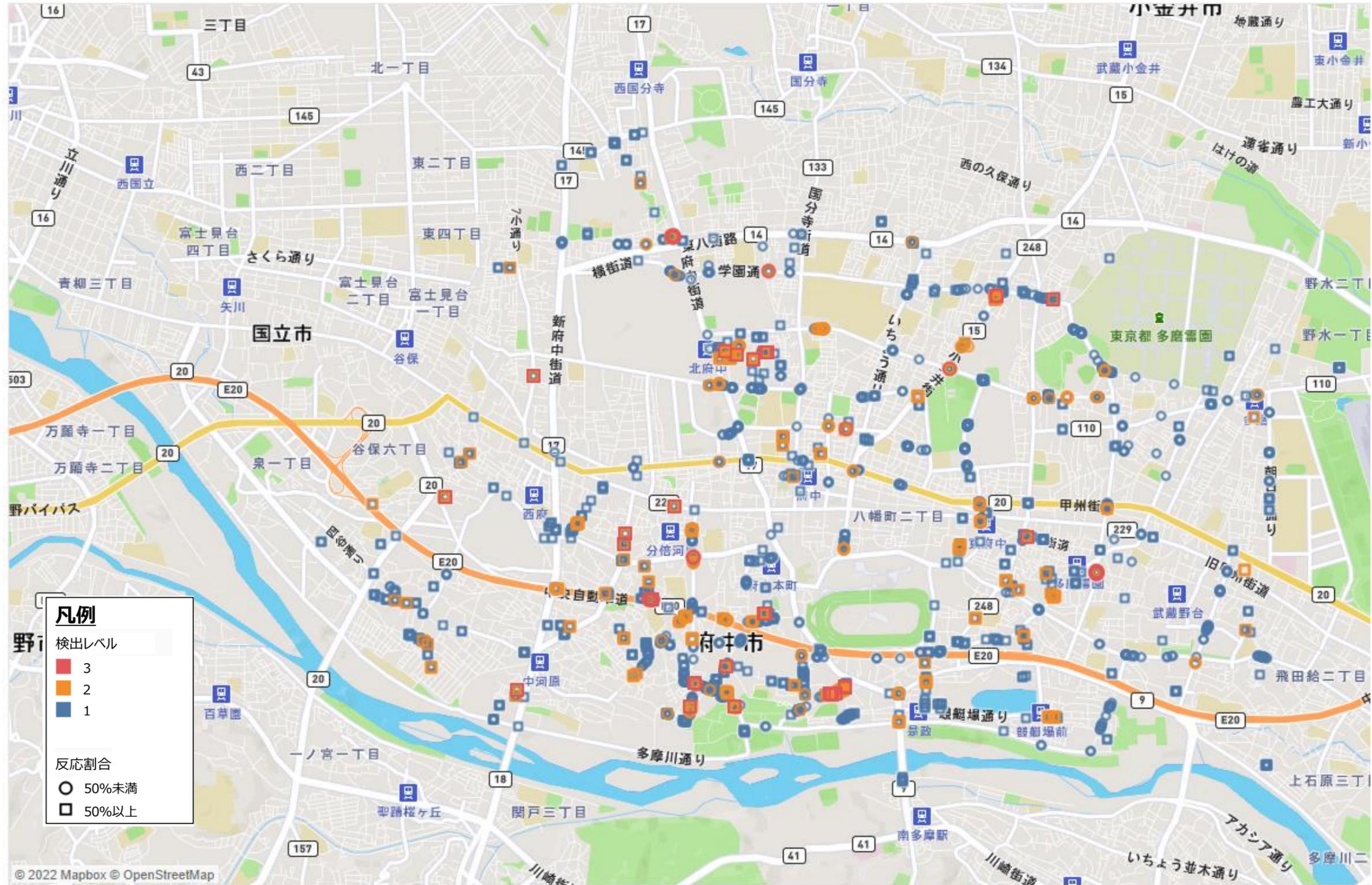


図 5-36 プローブデータ活用による路面状態の異常検知