

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	桑原 雅夫 (くわはら まさお)	国立大学法人東北大学 未来科学技術共同研究センター		教授
②研究 テーマ	名称	交通流理論とAI学習による非日常の発見とアラート発信		
	政策 領域	[主領域] (※政策領域が複数の場合、 主領域と副領域を記入)	公募 タイプ	タイプIV (ソフト分野)
		[副領域]		
③研究経費 (単位:万円) ※端数切捨て。実際の研究期間に 応じて記入欄を合わせること	平成30年度	令和元年度	令和2年度	総合計
	4729	4863	4999	14591
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職 (※令和3年3月31日現在)			
梅田 祥吾	株式会社オリエンタルコンサルタンツ・技術主査			
川崎 洋	九州大学大学院システム情報科学研究院・教授			
横山 大作	明治大学理工学部・准教授			
江藤 和昭	株式会社オリエンタルコンサルタンツ・執行役員 東北支社長			
飯星 明	本田技研工業株式会社・技師			
堀口 良太	株式会社アイ・トランスポート・ラボ ・代表取締役			
丹治 和博	一般財団法人日本気象協会・統括主幹			
浦山 利博	アジア航測株式会社先端技術研究所			
稲垣 宏	株式会社富士通交通・道路データサービス			
吉井 稔雄	愛媛大学・教授			

⑤ 研究の目的・目標

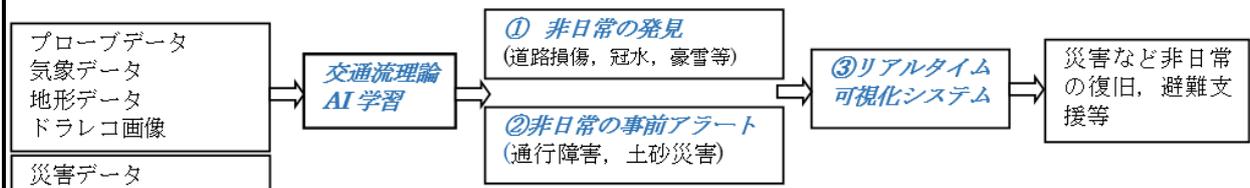
本研究は、交通流理論とAI学習を用いて、移動体データと気象・地形データ等を融合解析し、リアルタイムに非日常の「発見」と「事前アラート発信」を行う手法を開発するものである。AI学習は、大量のプローブデータ、気象データなどを学習して、現象の規則性や潜在的なパターンを見つけ出す有用な手法であり、これに交通工学の知見を援用することにより、従来は見つけ出せなかった非日常の早期発見や予知を行える可能性を探る。

対象とする非日常は、災害時の道路損傷、豪雪時の車両スタック、冠水等を中心として、その発見と事前アラートについて研究開発を行うが、観光地やイベント時の交通渋滞についても検討を行う。

非日常の発見と事前アラートに関する個別の開発技術はリアルタイム可視化システムに組み込み、インターネット経由で管理者にリアルタイムに情報を提供できる仕組みを構築する。

⑥ これまでの研究経過・目的の達成状況

研究全体を「①非日常の発見」、「②非日常の事前アラート」、「③リアルタイム可視化システム」という3つのタスクに分け、交通、気象、画像処理、計算技術、地理情報およびプローブデータ収集組織という幅広い専門家を、各タスクに配置した。



まず非日常の「被災状況」と「交通・気象の状況」に関するデータをセットで収集することが必要であり、自然災害15事例(豪雨：9事例、大雪：3事例、地震：3事例)、イベント・観光6事例について、データ収集を行った。

「非日常の発見」の技術開発としては、Uターン、方向変更、速度変化等の特異な車両挙動に基づいて、局所的な非日常を抽出する方法と、広域的な非日常を発見する手法について、手法の提案と精度検証を行った。また、ドラレコ画像による道路冠水、落下物、事故等の検出手法について事象の発見精度の向上を図った。

「非日常の事前アラート」については、降雪による車両スタックについて、全国適用を狙ったアラート手法と、局所的なスタック危険性をアラートする手法を提案し検証を行った。また、広範囲の土砂災害危険箇所を抽出するアルゴリズムを提案し、処理の高速化を図った。

これらの個別開発技術は、「リアルタイム可視化システム」に組み込み、リアルタイムで交通状況、気象状況を提供するとともに、1kmメッシュ単位の特異な交通状況を判定したり、車両スタックや土砂災害リスクを、インターネット経由で事前アラートするシステムを構築した。本システムは、道路管理者に複数回の試用をお願いし、実務に活用できるシステムとすること心掛けた。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

中間評価における指摘事項については、以下のように対応した。

1. 「個別研究項目間の関係や研究全体を通じたまとまりに留意していただきたい」というご指摘については、個別開発技術を管理者等に情報提供するリアルタイム可視化システムに統合させ、研究全体にまとまりを持たせた。
2. 「非日常の発見や事前アラートの発信について、どの程度の時間遅れを伴って分析、予測が可能なのが示されるとよい、事前アラートの受信側として、道路や交通の管理者だけでなく、一般道路利用者を想定することも考えるとすれば、その場合の課題について議論があるとよい」というご指摘の予測の時間遅れについては、道路管理者との意見交換によりニーズを把握し、スタックリスクアラート、広域エリア交通ブレイクダウンアラート、土砂災害リスクアラートを実装し、5分～1時間程度でアラートすることを可能とした。また、受信者側については、道路管理者以外に運送事業者への情報提供を視野に入れて、その課題整理を行った。（情報の不確実性を考慮して、本研究では一般利用者への提供は、見合わせた。）
3. 「立ち往生の事前アラートについては、融雪材散布や除雪に関する情報を加味すること。可視化システムでは、提供画像の見やすさも重要な事項となると考えられる」というご指摘については、融雪材散布や除雪に関する情報を入手する仕組みを構築できなかったもので、提案手法にはこれらを組み込んでいないが、手法の検証の際には除雪状況を加味して検証を行った。また、リアルタイム可視化システムについては、道路管理者への試用実験から得たコメントを参考にした他、WEB専門家の意見を取り入れて、画面の見やすさやUIの改良を行った。

⑧研究成果

「非日常の発見」の技術開発としては、プローブデータを用いたUターン検出による道路損傷の発見を提案して北海道胆振東部地震に適用し、中山間地における発見についての可能性を確認した（図1）。しかし、熊本地震のような都市部においては、Uターンが平常時から数多くみられ非日常の発見に効率的につながらないという問題が見つかったため、車両の進行方向と速度変化をメッシュ単位で観測して非日常を発見する手法を合わせて開発し、熊本地震後の状況に適用して検証を行った（図2）。提案手法は、マップマッチングを必要とせず、必要とする点データも最小限としており、簡便かつリアルタイム性に優れている。



図1 Uターン検出箇所（北海道胆振地震時）

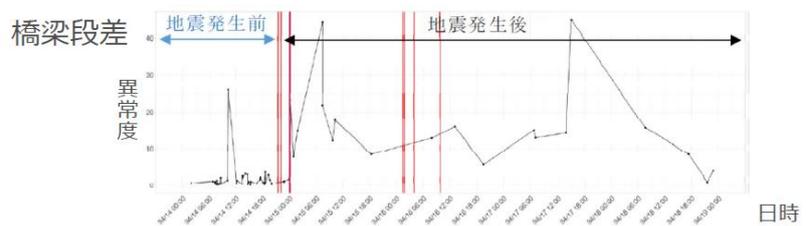


図2 熊本地震における道路損傷の発見（44 検証の一例）

また、数キロ四方を対象とする広域エリアにおける非日常を発見する手法について、MFDを用いた手法開発と仙台市を対象とした検証（図3a）を行うとともに、2次元ネットワーク上の交通モニタリングについても、状態空間モデルを用いた手法の拡張と適用実験を行った（図3b）。

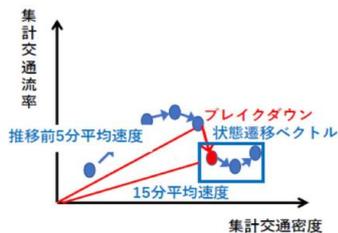


図3a MFDによる広域エリアの非日常発見とリスク閾値例

1. 状態遷移ベクトル
交通密度差 > 0.3 [台時/5分]
2. 遷移前交通流状態 (5分平均速度)
遷移前速度 > 15[km/h]
3. 遷移後交通流状態 (15分平均速度)
遷移後速度 < 12[km/h]

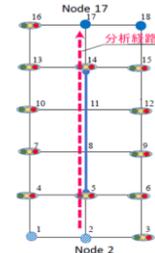
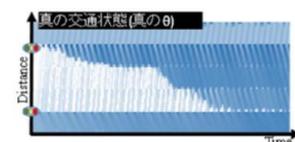


図3b 2次元ネットワークの交通モニタリング



ドラレコ画像解析については、大きな人的労力を必要とする教師画像のラベル付けの省力化のために、教師画像の半自動生成技術の開発を行った。また、事象抽出アルゴリズム改良、車両輪郭抽出手法の提案を行い、道路冠水、落下物等の検出精度の向上を図った（図4）。

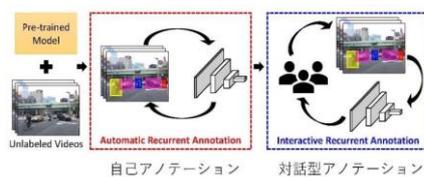


図4a 半自動教師ラベル付けプロセス

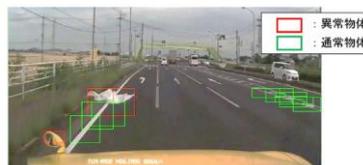


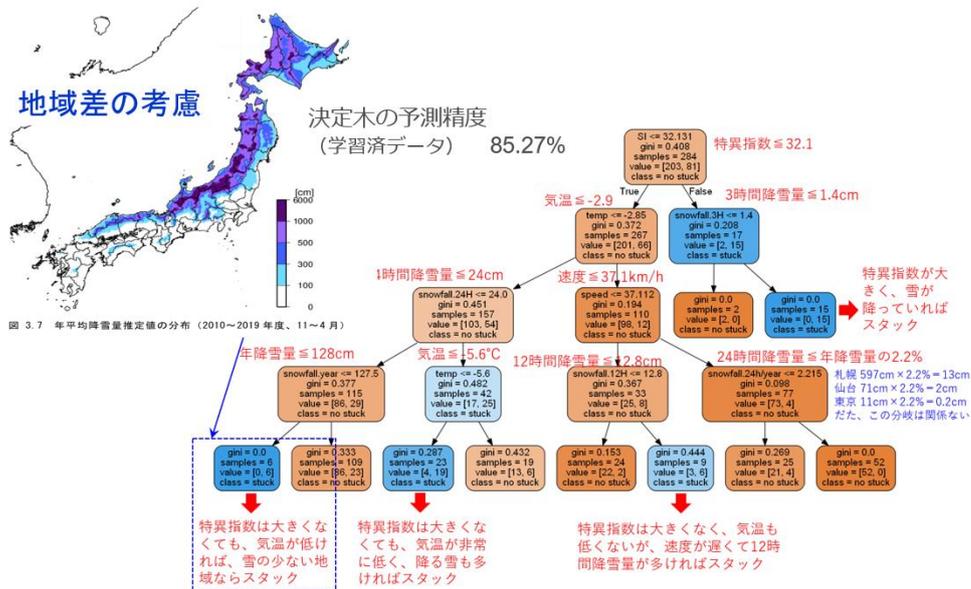
図4b 道路上の落下物検出例



図4c インターバル画像からの車両輪郭抽出例

⑧研究成果 (つづき)

「非日常の事前アラート発信」については、降雪による車両スタックについて、全国適用を狙ったアラート手法を決定木により行い、豪雪地域だけでなく雪の比較的少ない地域に対しても適用可能なアラートの閾値を設定した (図5)。



一方、局所的なスタック危険性をアラートする手法の構築もあわせて行い、プローブ速度、台数、降雪量、気温などの説明変数を用いた状態空間モデルを提案し、61か所のスタック事象に適用して検証を行った (図6)。

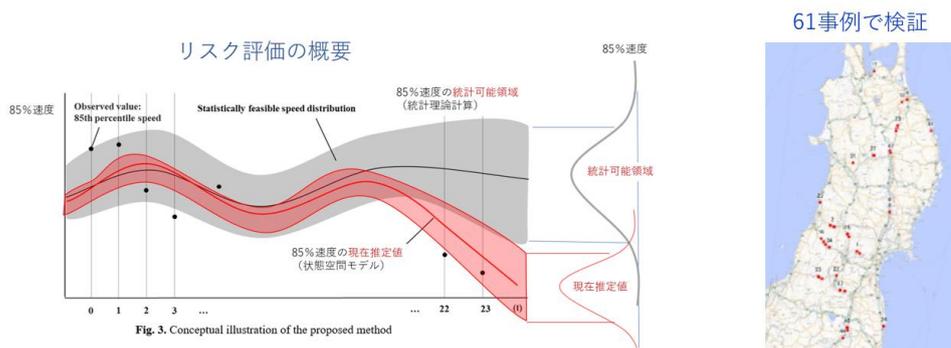


図6 状態空間モデルによる局所的なスタックリスク評価システム

さらに、豪雨による土砂災害危険箇所を抽出するアルゴリズムを、地形と土壌雨量指数を用いて提案し、全国の土砂災害のアラート発信が可能となるよう計算の高速化を図った (図7)。



図7 土砂災害リスクの表示例

⑧研究成果（つづき）

以上の個別開発技術は、「リアルタイム可視化システム」（図8）に組み込み、リアルタイムで交通状況、気象状況を提供するとともに、1kmメッシュ単位の特異な交通状況、車両スタックや土砂災害のリスクを、インターネット経由で事前アラートするシステムを構築した。リアルタイム可視化システムは、道路管理者に複数回の試用をお願いし、実務ニーズを把握しながら実用できるシステムとすること心掛けた。

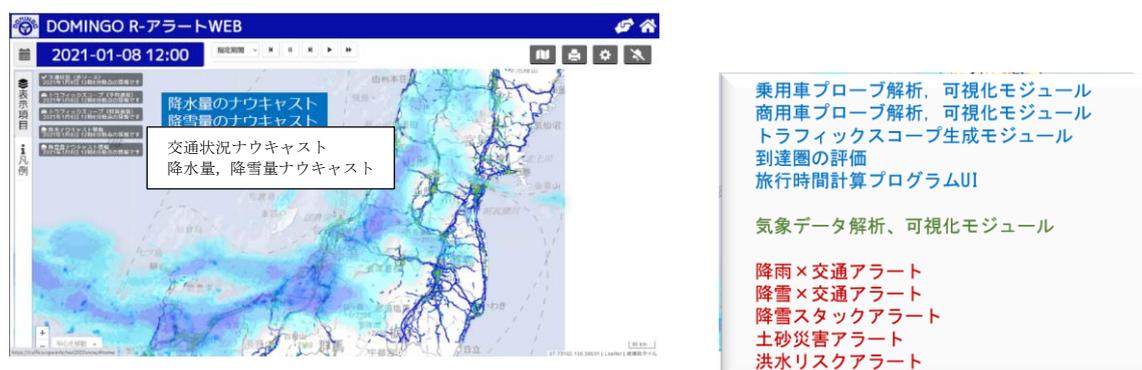


図8 リアルタイム可視化システム

左：交通状況=RYGで色分け表示，降水量=青色の濃淡表示

右：リアルタイム可視化システムのメニュー一覧

以上のように本研究は、「多様な交通関連データの融合」、「リアルタイム性」という特徴を持つシステム開発を行ったものであり、以下の社会的なインパクトがあると考えられる。

1. 近年頻発する地震による道路損傷，豪雪による車両スタック，豪雨による土砂災害といった災害に対して，非日常を早期に発見するとともに，そのリスクを事前にアラートすることは，安全で迅速な避難支援，予防通行規制，情報提供，道路復旧，救命救急，支援物資輸送に貢献する。
2. 道路管理者との緊密な連携をとりながら研究開発を進めてきており，地域特有のニーズに合致するようにカスタマイズすることで，管理業務や運送事業者の業務に比較的短時間で利用できるシステムが構築できた。
3. 移動体データ，気象データ等を融合活用した技術を開発しており，大きなインフラ投資を伴わないので，我が国地方都市やアジア諸都市への展開が可能である。
4. 本研究で収集した多くの被災状況データ，交通・気象・地理データ，および研究開発の成果は，今後の災害時を中心とした非日常の発見と予知に関する研究の端緒になると思われる。

⑨研究成果の発表状況

1. Shogo Umeda, Yosuke. Kawasaki, Masao. Kuwahara, Akira Iihoshi, Risk evaluation of traffic standstills on winter roads using a state space model, Transportation Research Part C, 125, 2021.
2. 梅田祥吾, 川崎洋輔, 桑原雅夫, 飯星明, プローブ車両データを用いた冬季道路交通における異常事象の発生危険性評価, 土木学会論文集 D3, 76(5), I_1371 - I_1387, 2021
3. Yosuke Kawasaki, Yusuke Hara, Masao Kuwahara, Traffic state estimation on a two-dimensional network by a state-space model, Transportation Research Part C, 113, 2020.
4. Le Trung Nghia, Akihiro Sugimoto, Shintaro Ono, Hiroshi Kawasaki, Attention R-CNN for Accident Detection, 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2020), 2020.
5. 森本裕治, 吉井稔雄, 坪田隆宏, AIを用いたネットワーク交通流ブレイクダウン発現予測モデル, 第61回土木計画学研究発表会, 2020.
6. 丹治和博, 桑原雅夫, 梅田祥吾, 堀口良太, 飯星明, DOMINGO プロジェクトとリアルタイムモニタリング・アラートシステムの開発—大雪時の道路交通障害の検知に向けて—, 雪工学会誌 2020年7月号, 2020
7. 川崎洋輔, 梅田祥吾, 桑原雅夫, 機械学習による西日本豪雨時の商用車の迂回の検出および迂回原因の分析, 土木学会論文集 B1 (水工学) ,75(1) ,143–154,2019.
8. 丹治和博, 桑原雅夫, 梅田祥吾, 川崎洋輔, 堀口良太, 飯星明, 須藤哲寛, 大雪時の交通障害とリアルタイムモニタリングシステムについて, ゆみみらい 2019 in 新庄, 2019.
9. Umeda, S, Kawasaki, Y, Kuwahara, M, Analysis of Traffic State at Heavy Rain Disaster Using Probe Data, Journal of Disaster Research 14(3) 466 – 477, 2019.
10. 尾高慎二, 吉井稔雄, 奥原瑠依, 神戸信人: 交通事故が CBD 街路網の MFD 形状に与える影響の分析, 第 60 回土木計画学研究発表会 (土木計画学研究・講演集 (CD-ROM) ,Vol.60) , 富山, 2019.

⑩研究成果の社会への情報発信

ウェブ

リアルタイム可視化システム < <https://trafficscope.info/test2019snow/>>

公開イベントによる情報発信

1. Masao Kuwahara, Traffic monitoring immediately after a major natural disaster using probe data, Vulnerability Assessment of Transport Systems due to Flooding in Selected Asian Cities, EASTS IRG-38, 2021年3月30日, WEB開催, 参加人数約70人
2. 桑原雅夫, 交通流理論とAI学習による非日常の発見とアラート発信に関する研究, 成果報告会: 多様なビッグデータを活用した道路技術研究開発, 東京大学 武田先端知ビル 武田ホール, 2019年2月22日, 参加人数約100人
3. 桑原雅夫, 防災とデータサイエンス ~不確実な災害への対応~, 令和元年度, 防災に関するシンポジウム, 土木学会東北支部, 2019年12月4日, 参加人数約100人
4. 桑原雅夫, センシングデータによる交通工学のブレークスルー, 第1回交通工学研究会シンポジウム, 福岡, 2019年12月9日, 参加人数約200人
5. 桑原雅夫, 交通モニタリングとリスクアラート, 第H30環境×交通スマートIoT実証実験ハッカソン, 2019年2月23日, 参加人数約50人

⑪研究の今後の課題・展望等

1. 継続的な開発技術の検証

本研究で開発した技術は、研究期間内にも検証を行ってきたが、災害の種類、日時、場所を網羅したより多くの検証が必要と考える。継続的な検証の蓄積は、本研究で開発した技術の改善のためだけでなく、これから行われるであろう災害関連の研究開発にも大いに役立つと思われる。

2. 継続的なデータ蓄積

災害などの非日常事象は、災害の種類、日時、場所によって状況が変化するので多くのバリエーションがある。一方、平常時の事象に比べればきわめて稀有な事象であり、関連データの継続的かつシステマティックな蓄積が必要と考える。一般に、この分野の研究開発のためには、被災状況と計測データ（プローブ、気象データなど）をセットで収集する必要がある。本研究でも、日時と場所を合わせたデータをセットで収集するのに多くの労力を割いた。今後の研究開発のためには、これまでの関連研究で収集したデータと今後収集するデータを、整理して蓄積しておく仕組みが必要である。

3. 研究開発フェーズから実用化への移行

新道路技術開発の性格上、本研究では学術研究だけではなく、実務に利用できる技術開発を心がけてきた。しかしながら、開発技術を実務利用してもらうためには、適用地域・災害に対するカスタマイズ、利用者との調整、技術検証の蓄積、信頼性あるデータサーバの確保、システム故障対応、資金調達など、多くの課題が残されている。実用化への移行のためには、このようないわゆる「死の谷」を渡らなければならない。そのためには行政の支援が必要である。

⑫研究成果の道路行政への反映

1. 地震、豪雪といった災害に対して、非日常を早期に発見するとともに、そのリスクを事前にアラートすることは、安全で迅速な避難支援、通行規制や情報提供、道路復旧、救命救急、支援物資輸送に貢献する。特に、近年頻発している豪雪時の車両スタックによる長時間の通行不能に対して、そのリスクを事前にアラートするシステムは、予防通行止め、除雪、融雪剤散布などのスタック防止策について、行政の意思決定に貢献する。

2. 道路管理者との緊密な連携をとりながら研究開発を進めてきており、地域特有のニーズに合致するようにカスタマイズすることで、比較的短時間で道路管理業務や運送事業に利用できるシステムである。

⑬ 自己評価

1. 本研究開発のためには、交通だけでなく、気象、地理情報、画像処理、計算技術、DB、データ収集組織といった、多岐にわたる専門家を集めることが必要であったが、熱意のある専門家を効率的に組織することができた。とくに、プローブデータと気象データの提供が得られたことは、研究実施のために貴重であった。
2. 多くの専門家に参画いただいた分、研究項目も多岐にわたったが、当初の研究目標をほぼ達成することができ、開発した複数の要素技術をリアルタイム可視化システムというまとまりのあるシステムに統合できたので、十分な成果が上げられたものと考えている。