

災害時のリアルタイムモニタリング・アラートシステムの 実証的検証

川崎洋輔^{*1} 桑原雅夫^{*1} 梅田祥吾^{*1} 堀口良太^{*2} 小宮粹史^{*2} 永井慎一^{*3} 大畑長^{*4} 浦山利博^{*5}
戸高弘統^{*6} 須藤哲寛^{*6}

東北大学大学院情報科学研究科^{*1} (株)アイ・トランスポート・ラボ^{*2}
本田技術研究所^{*3} (株)オリエンタルコンサルタンツ^{*4}
アジア航測株式会社^{*5} 一般財団法人 日本気象協会^{*6}

本研究では、災害時のリアルタイムモニタリング・アラートシステムの検証結果と今後の開発方針を報告する。これまでに気象、プローブ、Twitter、画像等の多様なデータを融合した被災と交通状況をモニタリングするシステムの開発を行ってきた。実証実験での検証の結果、降雨時のアラート機能は、実務で用いているものに比べて性能が高いことがわかった。また、使い勝手、情報の拡充およびアラート機能の高度化に関して、課題があることがわかった。最後に、実証実験結果を踏まえて、今後、開発する AI 技術と交通流理論による非日常の発見とアラート検出技術の開発コンセプトを述べる。

Empirical verification of real-time monitoring and alert system in case of disaster

Yosuke Kawasaki^{*1} Masao Kuwahara^{*1} Shogo Umeda^{*1} Ryota Horiguchi^{*2} Tadashi Komiya^{*2} Shinichi Nagai^{*3}
Takeshi Ohata^{*4} Toshihiro Urayama^{*5} Hironori Todaka^{*6} Norihiro Sudo^{*6}

Graduate School of Information Sciences, Tohoku University ^{*1} i-Transport Lab. Co., Ltd. ^{*2}
Honda R&D Co., Ltd. ^{*3} Oriental Consultants Co., Ltd. ^{*4}
Asia Air Survey Co., Ltd. ^{*5} Japan Weather Association ^{*6}

In this paper, we report about development of real-time monitoring and alert system. We have been developing a system to monitoring disasters and traffic conditions fused with various data such as weather, probes, Twitter, images and so on. We report the system verification result in the case of disaster in the field experiment. As a result, it turned out that there was a problem in terms of usability and alert function improvement. Finally, we describe the concept of unusual discovery and alert detection technology based on AI technology and traffic flow theory to be developed in the future.

Keyword: *Real-time monitoring, Abnormality detection, Disaster situation*

1. はじめに

わが国では、東日本大震災、熊本地震、福井豪雪、西日本豪雨、北海道胆振東部地震など、多様な形態かつ大規模な災害が発生している。近年、こうした災害は、多頻度化・激甚化しており、防災だけではなく、被害を最小限に食い止める減災対策の重要性が強く認識されている。そこで筆者らは、東日本大震災の後に大学および民間企業からなる DOMINGO

(Data Oriented Mobility Information Group) 共同研究体を結成し、災害時の避難支援に資するシステムの開発を進めてきた。具体には、“避難交通シミュレーション”、“リアルタイムモニタリング・アラートシステム”の開発を行ってきた。ここでは、このうち、リアルタイムモニタリング・アラートシステムに焦点をあてる。本システムは、プローブデータや気象データ等の多種多様なデータを融合解析し、被災と交通状況をリアルタイムモニタリングするとともに、交通障害発生のアラートを発信する²⁾⁹⁾。本論文では、実証実験に発生した災害時のデータを用いたシステム検証結果を報告する。最後に、実証実験結果を踏まえた今後開発する AI 技術と交通流理論による非日常の発見とアラート検出技術の開発コンセプトを述べる。

2. システム概要

本節では、リアルタイムモニタリングシステムの概要について述べる。

2-1 データ

表 1 に、データー一覧を示す。同表のように、システムでは、4 カテゴリ、6 種類のデータを扱っている。このうち、GIS 以外は、センシングデータであり、逐次、システムで収集・処理・可視化を行っている。

2-2 システムの機能

リアルタイムモニタリングシステムの画面例を図 1 に示す。同図に示すように、システムでは、日本全国のデータをリアルタイムに処理し、複数の情報をマッシュアップできる。システムの機能は、大きく“モニタリング機能”と“アラート機能”に分類される。表 2 に機能一覧を示す。同表に示すように、モニタリング機能では、旅行速度や Twitter、気象情報等、5 種類の情報を可視化可能である。モニタリング機能の詳細は、参考文献⁶⁾を参照されたい。ここでは、アラート機能に着目し、その内容を述べる。アラート機能は、表 2 に示す 5 種類を実装している。

表 1. データー一覧

カテゴリ	データ
(1)交通	1) プローブデータ(小型車)
(2)気象	2) 降雨量, 3) 降雪量
(3)SNS	4) Twitter(テキスト, 画像) 5) スマートフォン画像
(4)GIS	6) 地形情報, 道路, 施設情報

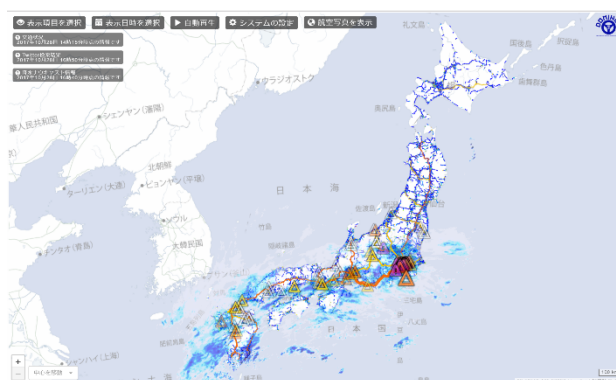


図 1 リアルタイムシステムの画面例

表 2. 機能一覧

カテゴリ	内容
(1)モニタリング機能	1) 旅行速度 2) メッシュ(1km×1km)の平均速度 3) Twitter 情報 (テキスト, 画像) 4) 降雨・降雪分布 5) スマホ画像のマッピング
(2)アラート機能	1) トラフィックスコープ 2) 降水×交通アラート 3) 降雪×交通アラート 4) 洪水リスク 5) 土砂災害リスク (静的情報)

以下に各々の内容を述べる。

- 1) トラフィックスコープ：プローブデータをリアルタイムに入力し、解析対象メッシュの Macroscopic Fundamental Diagram (以下 MFD) の統計情報とリアルタイム情報を組み合わせ、交通流動性および特異指数 (いつもと異なる状況) をメッシュ単位で算定・可視化する手法である。ここで、特異指数とは、過去の集計 MFD とリアルタイムに生成した MFD のかい離から、通常の交通状況との違いを指標化したものである。詳細は、参考文献⁸⁾を参照されたい。
- 2) 降水×交通アラート：降雨強度とトラフィック

スコープの関係により、豪雨時の交通障害アラートを判定・可視化するアラート情報提供機能を実装した。アラート判定の閾値を以下に示す。

閾値：「1 時間累積雨量 30mm/h 以上」かつ
「メッシュ平均速度 20km/h 以下またはトラフィックスコープの特異指数 15 以上」

この閾値は、過去の災害時の気象と交通状況の解析結果により設定したものである。閾値設定の詳細は、参考文献⁹⁾を参照されたい。アラートの可視化の例を図 2 に示す。同図のようにアラートは、アラート発生メッシュ(1km×1km)がマップ上で強調されるとともに、右側に、降水量や交通状況の統計情報が可視化されている。降水×交通アラートについては、過去の災害を対象とした評価結果を後述する。

- 3) 降雪×交通アラート：プローブデータによる走行速度と降雪量の解析結果⁵⁾⁷⁾⁹⁾から 12 時間降雪量と 1 時間降雪量に基準値を設け、これにトラフィックスコープによる交通状況を複合させてアラート発信する。アラートの可視化の例を図 3 に示す。同図のように、降水×交通アラートと同様の可視化方式としており、アラートのメッシュのマッピングと統計情報の可視化を行っている。アラート内容および検証結果の詳細は、参考文献⁵⁾⁷⁾⁹⁾を参照されたい。
- 4) 洪水リスク：レーダ雨量を用いて各メッシュへの流下を考慮し、上流域における平均雨量を算出し、過去のデータとの比較から順位値(過去の 25 年×365 日の平均雨量の多い順に順位付け)を算出し、順位が高いメッシュをリスクが大きいメッシュとして表示している。
- 5) 土砂災害リスク：国土地理院数値地図に公開されている土砂災害に関する危険箇所の有無と傾斜度から評価した土砂災害のリスクを表示している。メッシュごとに、危険箇所の有無と道路の有無、斜面の傾斜の組み合わせによりリスクの高さを色分けしている。なお、本情報は、静的なデータであり、逐次、データ更新はしない。

3. 実証実験

本節では、システムの実証実験の内容と精度検証の結果について述べる。

3-1 実験概要

本システムの有用性や課題を把握するための実証実験を実施した。実証実験では、道路管理者に

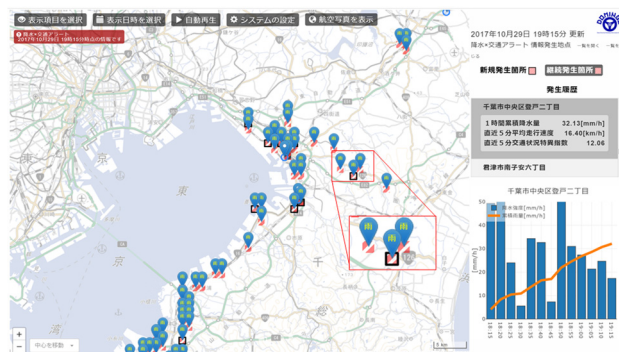


図 2 降水×交通アラートの可視化例

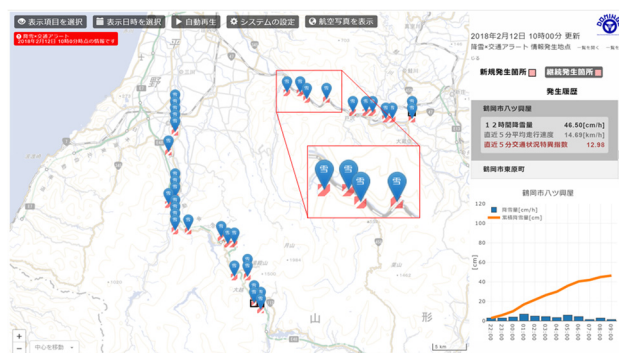


図 3 降雪×交通アラートの可視化例

システムを試用いただき、使い勝手やニーズをヒアリングした。実証実験はこれまでに以下の 4 回 (① 2017 年 1 月 25 日～2 月 25 日, ② 2017 年 10 月 25 日～11 月 30 日, ③ 2017 年 12 月～2018 年 2 月, ④ 2018 年 9 月～10 月) 実施している。ここでは、第 2 回実証実験における降水×交通アラートの精度の定量的な検証結果と、各実験での道路管理者へのヒアリング結果を述べる。

3-2 降水×交通アラート機能の検証結果

本節では、リアルタイムモニタリング・アラートシステムに実装した降水×交通アラートに関する検証結果を述べる。ケーススタディとして、第 2 回実証実験期間における台風 22 号襲来時 (2017/10/29) 時の千葉県を対象にシステム検証を行った。

まず、アラート発信と被災状況の空間分布を分析するために、アラート発信したメッシュと実際に被災したメッシュの重ね合わせを行った。重ね合わせの結果を図 4 に示す。同図では、アラートの頻度をヒートマップ表示している。青枠は、アラート情報と被災 (道路規制) 情報が重なった場所である。図に示すようにアラートと被災が一部重なっている箇所の他、アラート発信したセルの隣接セルで被災が

起きている。被災メッシュの隣接メッシュでシステムがアラート発信できれば、被災の概ねの場所が把握ができるため、実務上は有用と考える。

次に、F 値¹⁰⁾を用いてシステムのアラート性能を定量的に評価することを考える。F 値を以下に定義する。実際の状況とシステムのメッシュ単位での平常/被災の関係を表 3 のように定義する。例えば、TP とは、システムが被災と推定（アラート発信）し、実際の状況が被災したメッシュである。以上より、F 値を以下に定義する。

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (2)$$

$$\text{F-measure} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3)$$

上記の TP, FP, FN, TN には、評価対象時間帯 ($t=1, 2, \dots, T$) における各々の出現頻度の総和を入力する。F 値は、0～1 の範囲をとり、高いほど性能がよい¹⁰⁾。次に、システム評価の空間設定を図 5 に示す。前述（図 4）の解析結果を踏まえ、図 5 のように時刻 t において、システムが被災と推定したメッシュの隣接メッシュいずれかが被災していれば、TP であると判断した。

本節では、実験時の閾値による F 値に加えて、閾値を変更させた場合の F 値も算定し、実験時よりも F 値が改善する閾値を探索した。F 値の算定結果を図 6 に示す。図 6 の上段は、降雨量と平均速度を用いた場合、下段は、降雨量と特異指数を用いた場合の F 値の可視化結果である。同図では、F 値のレンジによって色分けしている。軸の赤枠は、実験時の閾値である。同図を見ると、閾値の値によって F 値のばらつきが見られる。また、実験時の閾値よりも F 値が高くなる閾値があることが確認される。

1) 実験時の閾値を使った F 値、2) 図 6 で最も高い F 値、3) 現況の実務の閾値（降雨 30mm/h 以上）を用いた場合の F 値を図 7 に示す。同図に示すように現況「降雨 30mm/h 以上」に比べて、「降雨 30mm/h 以上×平均速度 30km/h 以下」のシステムの閾値を用いた方が F 値が高い（アラート発信性能がよい）。しかし、システムの F 値の絶対値は低く、性能面で課題がある。また、1 ケースのみ（台風 22 号）しか検証できていないため、今後、検証ケースを追加し、更にシステムの性能を検証することで、アラート機能をチューンナップする必要がある。

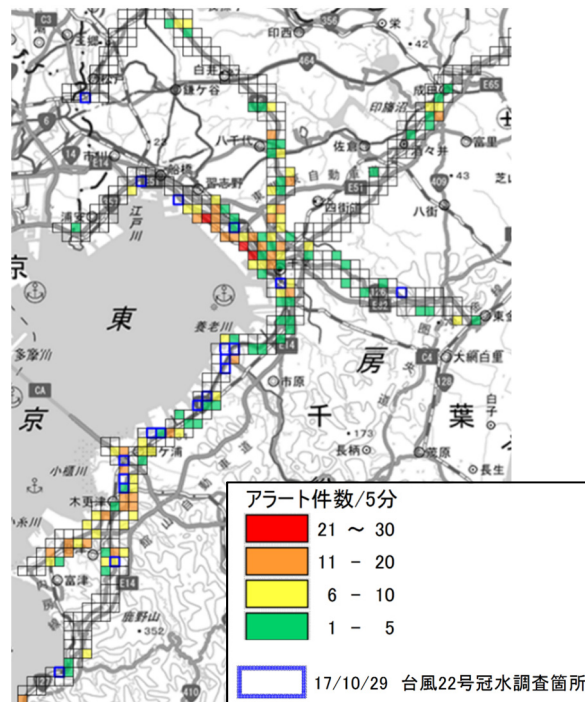


図 4 アラート発信および被災の状況

表 3 実際の状況とシステムの関係の定義

システム	実際の状況	
	被災	平常
	被災 TP(True Positive)	平常 FP(False Positive)
	平常 FN(False Negative)	TN(True Negative)

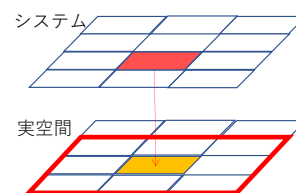


図 5 システム評価の空間設定

3-3 ユーザー意見の整理

本節では、実証実験時の道路管理者へのヒアリング結果を述べる。ヒアリングでの主なニーズ・意見を以下に整理する。

- 1) 使い勝手の向上に関するもの；「複数の情報を重ねると見づらい」、「プローブの情報は、上下線がわかるように表示してほしい」ならびに「他の日の情報と比較したい」等、実務で使用する上での使い勝手に関する意見が寄せられた。
- 2) 情報の充実に関するもの；「リアルタイムでなくてもよいので、路線（区間）単位で、気象や交通の統計情報グラフ化されるとよい」、「大型車の

情報もわかるとよい」など、状況をきめ細やかに把握するための情報へのニーズが寄せられた。

- 3) アラート機能の高度化に関するもの；「被災する箇所が予測できると良い」「より確度の高い被災箇所の情報があるとよい」、「除雪のタイミングが判断できる情報が欲しい」等、予測や的確な情報へのニーズが寄せられた。

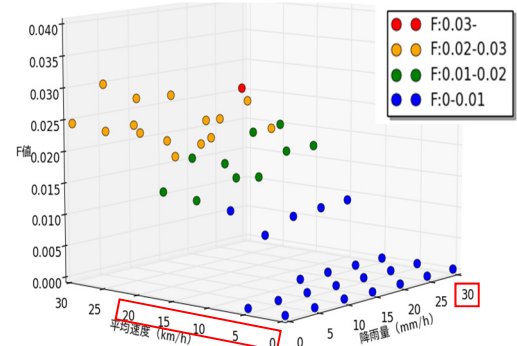
上記の意見を踏まえ、今後は、次回実証実験に向けて、1) 使い勝手の向上および2) 情報の充実にに関して、システム改良を進める予定である。また、3)のアラート機能は、交通流理論と AI 学習を活用し、高度化を図ることを考えている。その内容の詳細は次節で述べる。

4. 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

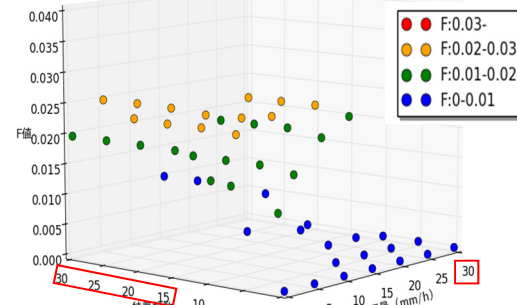
本節では、アラート発信機能の高度化について、今後の開発方針を述べる。図 8 に今後、開発するシステムのコンセプトを示す。同図に示すように、今後は、これまで用いた気象やプローブデータ(小型車)、SNS の他、ドライブレコーダー(ドラレコ)、商用車プローブ、ドローン等の新たなセンシングデータを拡充する。そして、センシングデータを、交通流理論と AI 技術で解析し、発災害前の(1)事前のアラート発信と発災害後の(2)非日常の発見を行う機能を開発する。各機能の開発コンセプトは以下の通り：

- (1) 事前のアラート発信：発災害前のセンシングデータを解析し、事前に被災のアラートを発信（予測）する機能である。発災害前には、図 8 に示すように集中豪雨・豪雪、車両の速度低下やスリップ等、発災の予兆となる現象が出現すると考えられる。従って、過去の災害事例のデータを用いて、発災害前のセンシングデータと被災との関係を学習し、発災の予兆となる現象発生の閾値や確率分布を推定する。そして、学習結果と災害時に新たに得られるセンシングデータを用いて、被災前の事前アラート発信を行う。
- (2) 非日常の発見：センシングデータはスパースなため、交通流理論に基づくモデルを用いて、発災害後の非日常時のエリア全体の交通流を推定する。非日常時のモデルパラメータを事前推定することは難しいため、モデルパラメータは、逐次得られるセンシングデータを用いて、オンライン学習し、推定する。

加えて、逐次得られるセンシングデータを用いて、非日常の現象（交通障害や被災箇所）を



(a)降雨量，平均速度によるアラートの F 値



(b)降雨量，特異指数によるアラートの F 値

図 6 F 値の算定結果

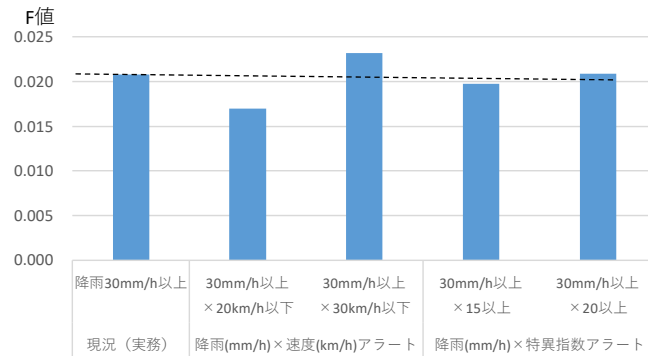


図 7 閾値別の F 値の比較

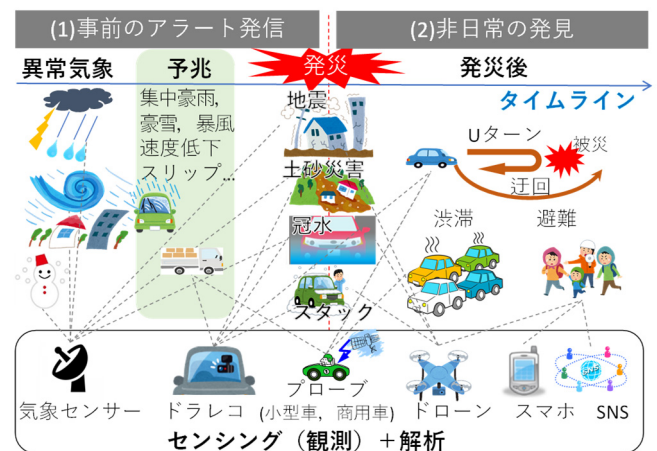


図 8 開発コンセプト

迅速に発見する技術を開発する。例えば、発災

時の車両軌跡を用いて、被災箇所での U ターンや迂回を行う車両を検出することで、被災箇所を推定する。DOMINGO では、2 台の車両軌跡の類似度を評価する手法を開発している¹¹⁾。その技術に平常時の車両軌跡の学習結果を組み合わせることで、平常時と異なる被災箇所での U ターンや迂回等の車両挙動の検出を試みる。

また、ドライブレコーダーで得られる位置情報と画像・動画も活用する。例えば、冠水や積雪といった被災時のドライブレコーダーの画像を事前に学習する。なお、被災時の画像は、少ないため、ウェブ上のオープンデータ等を活用し、出来るだけ学習データを増やす工夫を行う。そして、学習結果を用いて、災害時のドライブレコーダー画像を解析し、積雪や冠水といった非日常の事象を検出することを試みる。

5. おわりに

本稿では、災害時のリアルタイムモニタリング・アラートシステムの内容およびシステム検証結果を述べた。降雨×交通アラートの検証の結果、現況の閾値よりもシステムのアラートの方が精度よく被災を検出できることがわかった。また、システムに関して道路管理者へヒアリングした結果、使い勝手の向上や情報の充実ならびにアラート機能の高度化に関するニーズ・意見が寄せられた。

以上より、今後は、以下の方針で開発を進める。

- 1) 使い勝手の向上や情報の充実を図り、システムを改善する。
- 2) センシングデータを拡充するとともに、AI 技術を活用することで、アラート発信機能を高度化する。
- 3) 将来的には、これまで対象とした、自然災害(大雪、大雨、土砂災害など)に加えて、観光やイベント等も含めた非日常の現象による交通障害も視野に入れたシステムを開発する。

謝辞：本研究は国土交通省の「道路施策の質の向上に資する技術研究開発」の研究テーマ「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」によって実施されている。ここに記して感謝の意を表する。また、実証実験では、国土交通省東北地方整備局、能代河川国道事務所、千葉国道事務所および東日本高速道路株式会社東北支社で実際に本システムを利用し、システムへの意見徴収への協力を頂いた。併せてここに深く感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) DOMINGO HP
<http://www.cps-project.sakura.ne.jp/domingo-web/index.html>
- 2) 川崎 洋輔, 桑原 雅夫, 木村 洋一, 戸高 弘統, 大坪 裕哉, 松沼 毅, 松永 義徳, 永井 慎一, 小宮 粹史, 堀口 良太: 多様なデータ融合による災害時のモビリティ支援に向けた災害時のリアルタイムシステムの開発, 第 13 回 ITS シンポジウム Proceedings, 2015.
- 3) 丹治和博, 川崎洋輔, 原祐輔, 桑原雅夫, 古市信道, 須藤哲寛, 浦山利博, 松永義徳, 池田晃三, 永井慎一: 多様なデータ融合による災害時のモビリティ支援に向けた災害リスク情報生成に関する研究, 第 13 回 ITS シンポジウム Proceedings, 2015.
- 4) 川崎洋輔, 桑原雅夫, 原祐輔, 堀口良太, 小宮粹史, 戸高弘統, 浦山利博, 大坪裕哉, 永井 慎一: 災害時のリアルタイムアラート情報提供システムの構築, 第 14 回 ITS シンポジウム Proceedings, 2016.
- 5) 丹治和博, 桑原雅夫, 川崎洋輔, 須藤哲寛, 浦山利博, 高遠陶子, 永井慎一: 豪雨および豪雪時の交通障害アラート情報の構築, 第 14 回 ITS シンポジウム Proceedings, 2016.
- 6) 川崎洋輔, 桑原雅夫, 堀口良太, 小宮粹史, 戸高弘統, 須藤哲寛, 浦山利博, 田中淳, 永井 慎一: 災害時のリアルタイムモニタリング・アラートシステムの開発と検証, 第 15 回 ITS シンポジウム Proceedings , 2017.
- 7) 丹治和博, 桑原雅夫, 梅田祥吾, 川崎洋輔, 須藤哲寛, 野村茂行, 浦山利博, 高山陶子, 飯星明, 今井武: 豪雨時の交通障害アラート検出と情報提供支援技術の開発, 第 15 回 ITS シンポジウム Proceedings , 2017.
- 8) 花房比佐友, 飯島護久, 小宮粹史, 堀口良太: プローブデータに基づくエリア流動性情報の全国展開に向けた取り組み, 第 13 回 ITS シンポジウム, 2015.
- 9) 丹治和博, 桑原雅夫, 梅田祥吾, 野村茂行, 須藤哲寛, 川崎洋輔, 堀口良太, 飯星明: 首都圏大雪時における交通障害とリアルタイムモニタリング・アラートシステムについて, 第 33 回寒地技術シンポジウム, 2017.
- 10) 加藤直樹, 羽室行信, 矢田勝俊: データマイニングとその応用, 朝倉書店, 2014.
- 11) Yoshida, M., Umeda, S., Kawasaki, Y., and Kuwahara, M. : Incident Alert by an Anomaly Indicator of Probe Trajectories, International Symposium of Transport Simulation International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardisation (ISTS and IWTDCS' 18), Ehime, Japan, August, 2018.