

プローブデータによるエリア流動性情報の生成と 全国展開に向けた取り組み

花房比佐友^{†1} 飯島護久^{†1} 小宮粹史^{†1} 堀口良太^{†1}

概要：本稿では、プローブデータから求める MFD (Macroscopic Fundamental Diagram) に基づいたエリア流動性情報「トラフィックスコープ」について、全国の道路ネットワークを対象に運用する際の技術的課題やその解決への取り組みについて紹介する。プローブデータは、走行情報が広域的に網羅できる一方で、エリアごとでサンプル数に偏りがあり、広域にわたって安定した情報提供を行う上での課題となっている。ここではまずプローブデータによるトラフィックスコープの作成方法について解説し、特異日における交通状況を解析した結果について考察を加えながら今後の取り組みなどについて紹介する。

キーワード： プローブデータ、交通情報、Macroscopic Fundamental Diagram

An Application of Traffic Information based on Macroscopic Fundamental Diagram to Countrywide Road Network

HISATOMO HANABUSA^{†1} MORIHISA IJIMA^{†1}
TADASHI KOMIYA^{†1} RYOTA HORIGUCHI^{†1}

1. はじめに

堀口ら[1]が開発したトラフィックスコープは、プローブデータをはじめとするリアルタイム交通データを入力し、解析対象エリアの Macroscopic Fundamental Diagram (以下、MFD) の状態を解析しながら、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状態 (いつもと異なる状況) を検知する手法である。MFD を活用する交通状況理解に関する研究は、Daganzo, Geroliminis ら[2]をはじめ、近年様々なアプローチで行われている。その中でも、トラフィックスコープは、リアルタイム交通情報としての情報提供に視点を置き、ある程度データが少ない状態でも混雑の度合い、交通状態の異常を知ることができるように開発されたものである。

現在の日本における交通情報は、道路交通情報センター、VICS (Vehicle Information and Communication System)、プローブ情報を収集している事業者等が配信しており、それは概ね路線単位での混雑情報などである。その交通情報を受信することができるカーナビは、配信された情報を基にして目的地までの経路を探索し、ドライバーに渋滞回避道路へと案内する。このような情報の主な利用者は、運転中のドライバーであることが多い。その際、何か異常な状況が配信されれば運転しているドライバーは回避行動をとることができるが、これから運転する人にも周知できることにより、自動車での移動をやめるなど、周辺への混乱をきた

すリスクを減らす交通行動 (公共交通の利用など) を期待することもできる。トラフィックスコープがテレビやスマートフォン、デジタルサイネージへのデータ放送など、様々なメディアにおいて情報が配信され、直感的でわかりやすい交通情報が広くあまねく市民の目に触れることによって、気象情報のようにより最適な交通行動を選択してもらう一助になると考えている。図 1 にトラフィックスコープのイメージを示す。

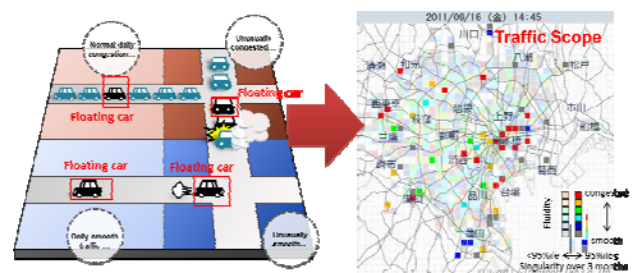


図 1 トラフィックスコープのイメージ

現在、筆者らは、リアルタイムプローブデータ[3]による東京 23 区を対象としたオンライン運用デモ (以下、東京トラフィックスコープ) を行っており、台風時や地下鉄等の事故時など、様々な交通状況に対する分析を進めてきた。[4][5]図 2 にデモサイトを示す。たとえば、公共交通のトラブル情報と照らし合わせることによって、トラブルがあった駅周辺の異常が検知され、その周辺の交通の集中・混

雑が把握できることも確認されている。ゲリラ豪雨による影響も同様で、降雨地域における速度低下を見られ、いつもとは違う状況であることを示すことができた。しかしながら、今後東京以外の地域に適用する際は、東京 23 区のようにデータ量も多く、リアルタイム運用も安定して行えるとは限らない。異なる地域でも、同様の処理によって交通状況が把握できるかどうかは、全国版として適用する際に検証すべき事項であり、取り組むべき課題でもあるといえる。そこで本稿では、トラフィックスコープの指標計算の基礎となっている MFD、またトラフィックスコープの概要について解説しながらトラフィックスコープを全国展開するための技術的な課題について述べ、課題解決に向けた取り組みについて紹介する。また、プローブデータを全国版トラフィックスコープシステムに適用し、イベント時や異常気象時における交通状況の特異性について異常検知および把握が可能かを検証した結果について報告する。最後に、全国版システムの運用に向けた展望を述べる。

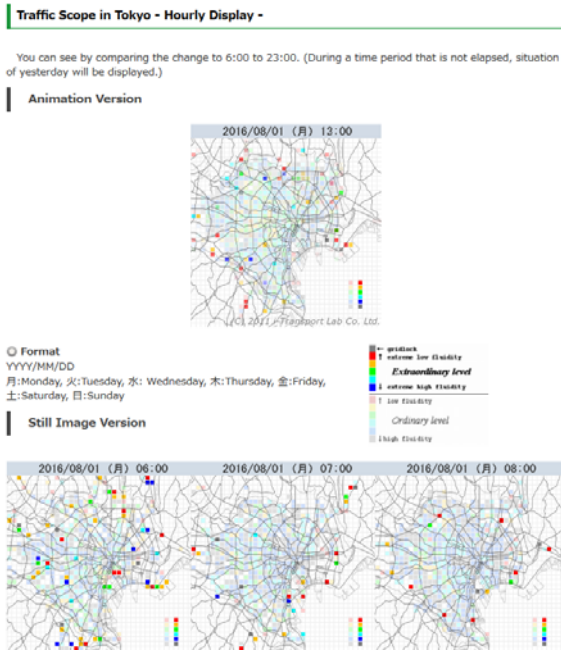


図 2 東京トラフィックスコープ

2. MFD と集計 QK

MFD とは、あるエリア内における交通状態をマクロ的な視点で理解するための概念で、あるエリアにおける空間上の存在台数と走行量の関係性を理解することに役立つ。MFD 上における交通状態は、一般的にはプローブ情報、または感知器情報を利用した単位時間当たりのプローブ走行台数と走行距離から求めることができる。具体的には、横軸をエリア内の存在台数、縦軸に走行量とした 2 次元図である。このとき、横軸の存在台数は集計存在台数(集計 K)、縦軸の走行量を集計交通量(集計 Q)と呼ぶ。ゆえに集計

QK は、ある領域(ゾーン)で囲まれた道路ネットワークの集計値である。ある集計時間帯 τ における、あるゾーンの集計交通量 Q_τ 、エリア存在台数 K_τ は以下のように計算される。

$$Q_\tau = \sum_{j \in J} l_j n_{j\tau} \quad (1)$$

$$K_\tau = \sum_{j \in J} T_{j\tau} n_{j\tau} \quad (2)$$

ここで、

J : あるゾーンに属するリンクの集合。

l_j : リンク j の長さ [km]。

$n_{j\tau}$: リンク j の時間帯 τ におけるプローブ通過台数 [台]。

$T_{j\tau}$: リンク j の時間帯 τ における平均旅行時間 [時]。

これにより、プローブ情報による集計 QK、またシミュレーションによる集計 QK を MFD 上に展開することができる。

ここで、MFD 上集計 QK の特性について解説する。図 3 にあるエリアにおける集計 QK を示す。エリア内がある密度(集計 K)までは交通量(集計 Q)が増加しても概ね自由流(車間が短くなって速度を落とすなど、ほかの車両による大きな影響を頻繁に受けずに走行できる状況)に近い状態で推移する。これはいわゆるエリア全体が非渋滞に近い状態であることを示している。一方、集計 K が大きくなるにつれて、集計 Q にばらつきが生じはじめ、あるレベルを上限に横ばいあるいは逆に低下し始める状況が見受けられる。これは、ある一部(交通量が多い主要交差点付近など)の区間において混雑・渋滞が発生しており、エリアを通過するための旅行時間も増加し、結果車速も低速となる状況が見え始めているということである。集計 QK からわかるとおり、集計 Q を集計 K で割ることによりそのエリアの平均的な速度を知ることができる。

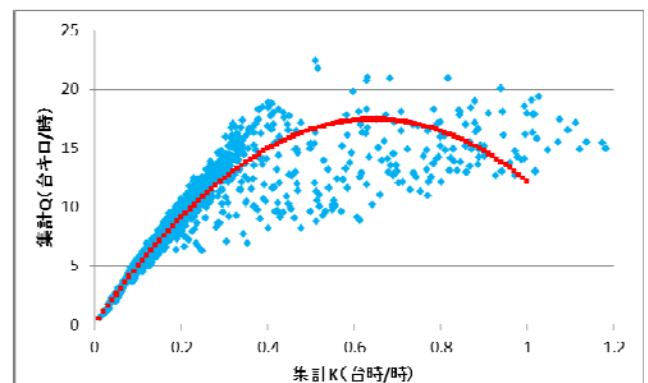


図 3 あるエリアの集計 QK

3. トラフィックスコープの計算手順とオンラインシステムの仕組み

ここで、トラフィックスコープの計算手順について概説する。トラフィックスコープの入力データは、時刻、緯度、経度で構成されたプローブデータを想定し、計算を行う。ただし、リンク単位の集計値（通過台数、平均旅行時間）でも計算は可能である。図4に計算手順の概要を示す。収集したプローブデータから、まずは過去1か月～3か月分における集計QKの計算を行い、MFD上に展開する。次に、展開された集計QKから近似曲線を求め、通常の集計QKパターンとする。その後、リアルタイムで収集されるプローブデータから今の集計QKが計算され（過去1時間分のプローブ情報で算出）、通常の集計QKパターンからのかい離状況から通常の交通状況との違いを指標化した「特異指数」、MFDの特性からわかる交通の流動性を指標化した「混雑指数」が算出される。

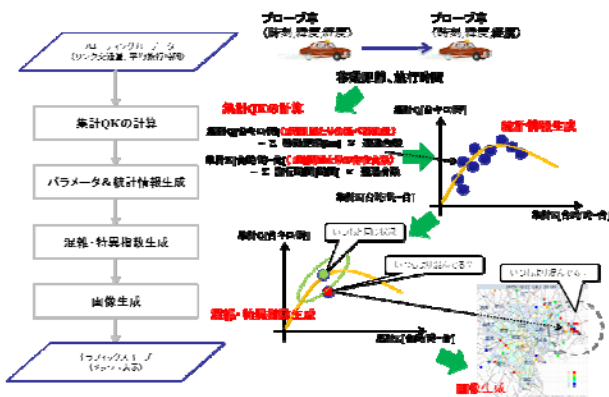


図4 計算手順

以上の計算は、図5に示すオンラインシステム（東京23区を対象とした運用デモ）で実行され、結果を画像化して出力している。オンラインシステムにおいては、クラウドサーバを用いてプローブ集計情報を収集し、Webサーバ等で情報を配信する仕組みとしている。現在は15分おきに情報更新され、約3分の所要時間でトラフィックスコープの計算から画像生成まで行うことができる。



図5 オンラインシステムの構成

4. 全国版に向けた取り組み

(1) 全国展開するための課題

近年のプローブデータ活用に関する技術の発展は目覚ましいものがあり、現在はプローブデータを活用した様々なサービスが展開されている。それは、カーナビに限らずGPSロガーやスマートフォンなど、様々なデバイスから簡単に収集できるようになってきたことや、収集されるデータ量が膨大になってきたことが背景として考えられる。最も基本的と思われる時刻、緯度経度から構成されるようなプローブデータが持つ特徴としては、交通状況把握のための広いカバレッジが期待できることや走行軌跡が把握できることである。ただし、車両感知器等、常設しているセンサー系データとは違い、ある路線を走行するプローブデータの一定時間内におけるサンプル数が総じて安定する保証はない。さらに、データが比較的少ないと考えられる地方部においては、十分なサンプルが得られずに、今までと同様の方法で処理ができない可能性も考えられる。

リンク旅行時間情報をプローブデータから推定する技術においては、過去の統計情報と現在直近の情報と組み合わせる手法など、安定した情報を作成できる技術が開発されてきた。トラフィックスコープも同様に、統計情報とリアルタイム情報との組み合わせで指標が計算されるが、全国版への展開のためには、データ量に関わらず、指標が安定的に計算できる手法を構築することが急務である。以上のような状況から、全国規模での計算の際は、各地域のプローブデータのデータ量と普段の収集サンプル数レートを考慮しながら、以下の課題に取り組んでいく必要がある。

- (a) プローブデータのデータ量に応じた統計情報の生成、およびトラフィックスコープの計算方法の検討。
- (b) トラフィックスコープの画像化する際の表示（特異指数、混雑指数の色分け）をどの地域においても示す状態が同様になる閾値設定の手法の検討。
- (c) 全国のデータを処理できる計算手法およびシステム構成の検討。

(2) 全国版に向けた取り組み

前章にて挙げた課題に対しては、対策に取り組んでおり実装と検証を行っている。表1に全国版に向けた対応策を示す。東京トラフィックスコープでの運用実績、予想される全国のデータ量から必要な対処について検討し、まずは過去1年間の全国データでの計算量、東京トラフィックスコープの結果との整合性を確認しながら適用性を検証した。

なお、全国版トラフィックスコープにおいても、情報更新間隔は15分とし、プローブ取得から画像作成までの目標処理時間を3分としている。

表 1 全国版に向けた対応策

課題	東京トラフィック スコープ	全国版
データ量に応じた統計情報の生成	過去 1 か月の平均値を集計.	地域に応じて過去 3 か月までの平均値を集計.
データ量に応じたリアルタイム情報(集計 QK 値)の生成	過去 1 時間分のプローブデータで生成.	地域に応じて 2 時間程度までのプローブデータで生成.
画像の作成 (閾値設定)	特異指数の 95 パーセンタイル以上を異常と判断.	地域に応じて判別閾値(パーセンタイル値)を変更するモデル式.
システム構成 (クラウドサーバ上での運用)	1 CPU による計算.	複数 CPU による広域エリア単位での並列計算.

5. 実データによる広域データ解析

ここで、実データによるトラフィックスコープの解析結果を紹介する。

本研究においては、2014 年 2 月 14 日に振った大雪における関東圏から中京圏における交通状況、および 2014 年 8 月 1 日に開催された花火大会による影響について解析を行った。図 6 に 2 月 14 日の大雪時の特異指数の時間遷移、図 7 に通常時(2 月 7 日)との速度差、図 8 に速度差の図

をさらに拡大したものを示す。大雪は 9 時前後に名古屋付近を通過し、午後 5 時頃に関東圏へ到達している。その際、山梨の山間部においては車両が通行できないなどの交通障害が発生し、大混乱をもたらした。トラフィックスコープからもその様子がうかがうことができ、雪の降り始めと思われる時間帯に異常が起り始め、次第にその状況が関東西側の山間部から伝わり、大きな速度低下を引き起こしていることがわかる。特に図 8 の拡大図においては、降雪の直後に通行実績がなく、通行できなくなったと思われる区間が検知された。実際に通行止めとなった区間もあり、トラフィックスコープによって時々刻々と状況が遷移していく様子が確認できた。

また、図 9 に 2014 年 8 月 15 日の花火大会開催時の特異指数を示す。昼間および夕方から夜にかけてはとりわけ異常な状況は見受けられないが、8 時 45 分ごろにおいては、花火大会が終了したときであり、帰宅するなど一斉に行動する状況がトラフィックスコープの特性指標から見てとれる。このように、当日開催された花火大会によって通常とは異なる交通状況になっていることが確認された。

イベント終了後においては、帰宅など来場時よりもより強い目的で一斉行動が誘発されることが多く、歩行者も含めある場所に交通が集中し、混乱を発生させることがある。トラフィックスコープではその状況を検知することができるが、怪我や事故を防ぐために、未然に防ぐ方策も議論していく必要がある。今後は過去のトラフィックスコープ解析データを基に事前に混乱のリスクを予測するような手法についても検討していく。

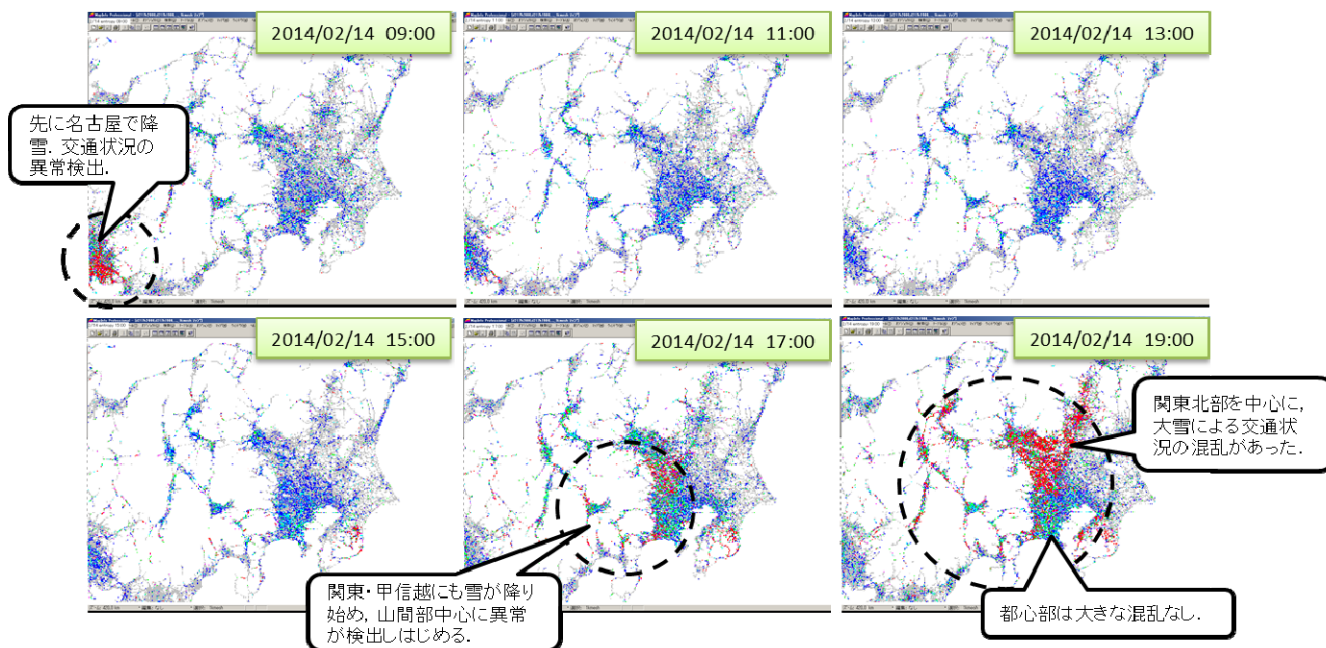


図 6 2014 年 2 月 14 日(大雪)の特異指数

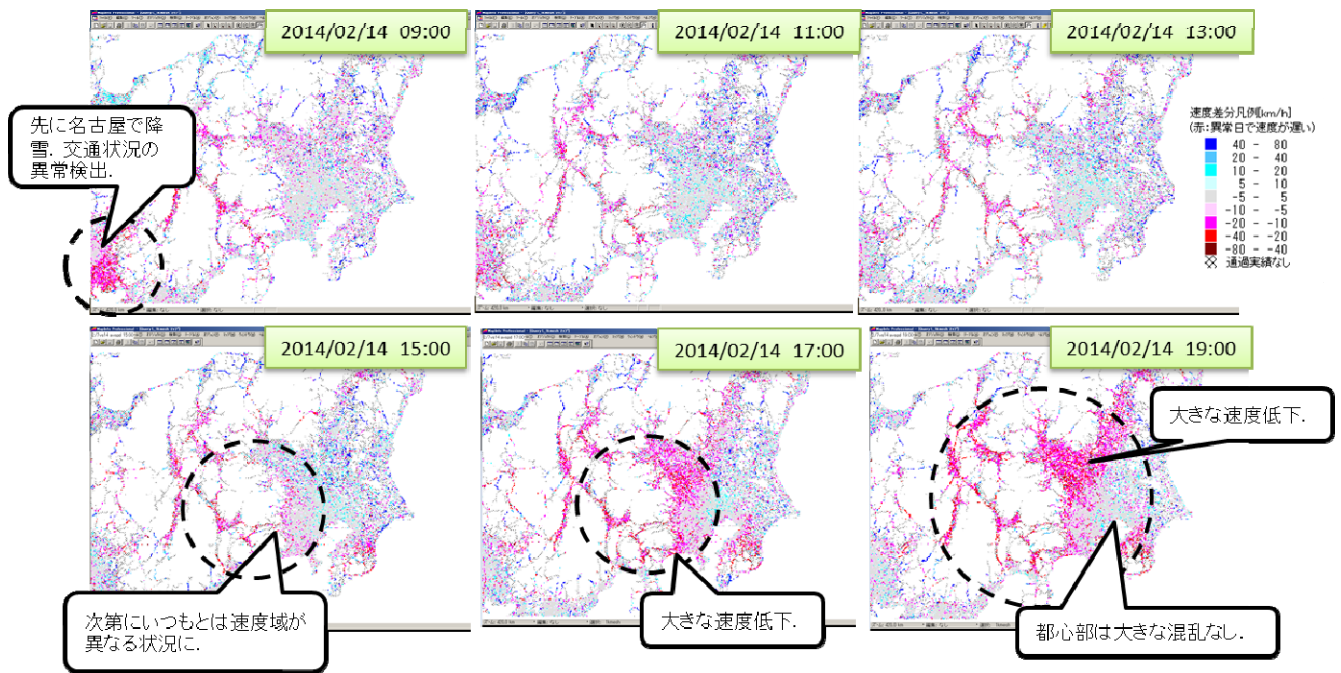


図 7 2014年2月14日(大雪)における(通常時との速度差)

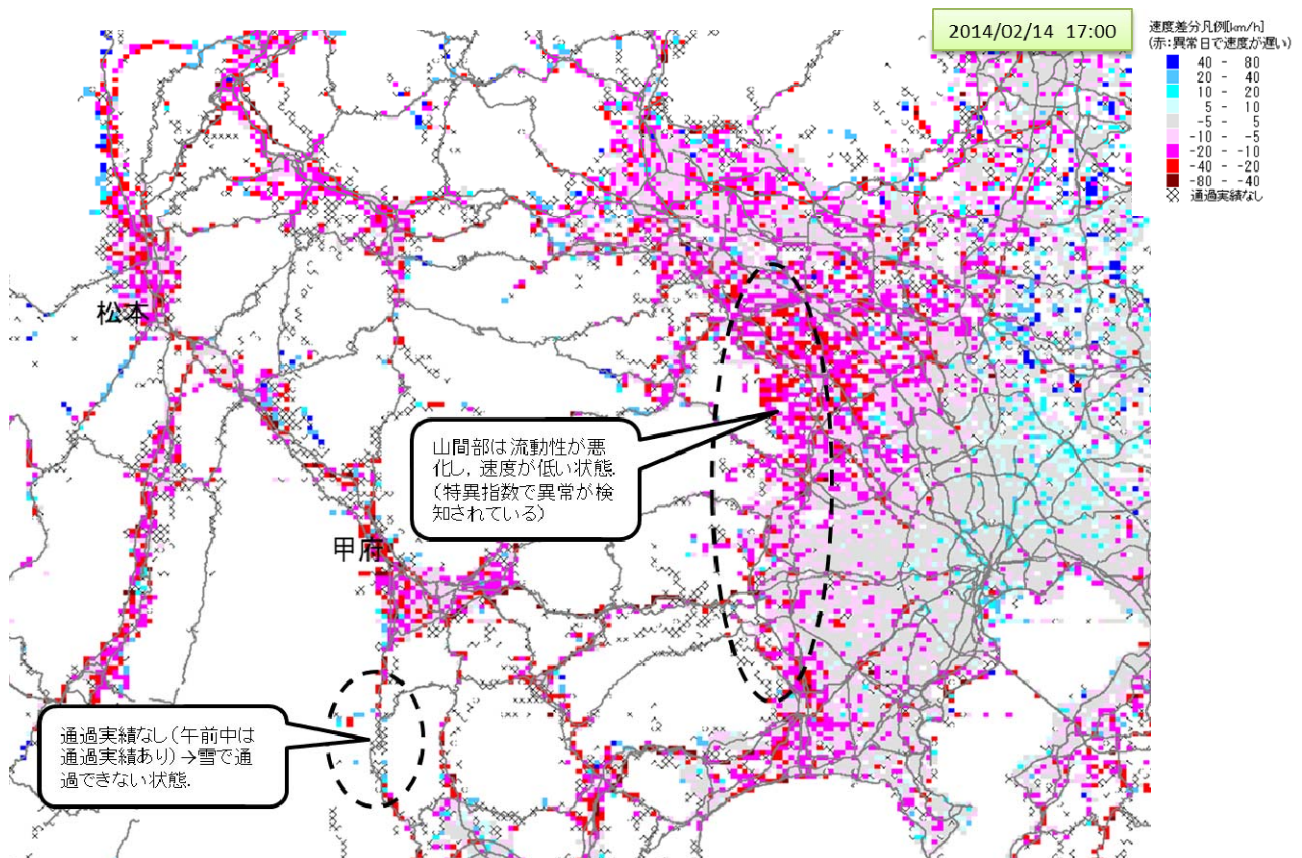


図 8 2014年2月14日(大雪)における(通常時との速度差)

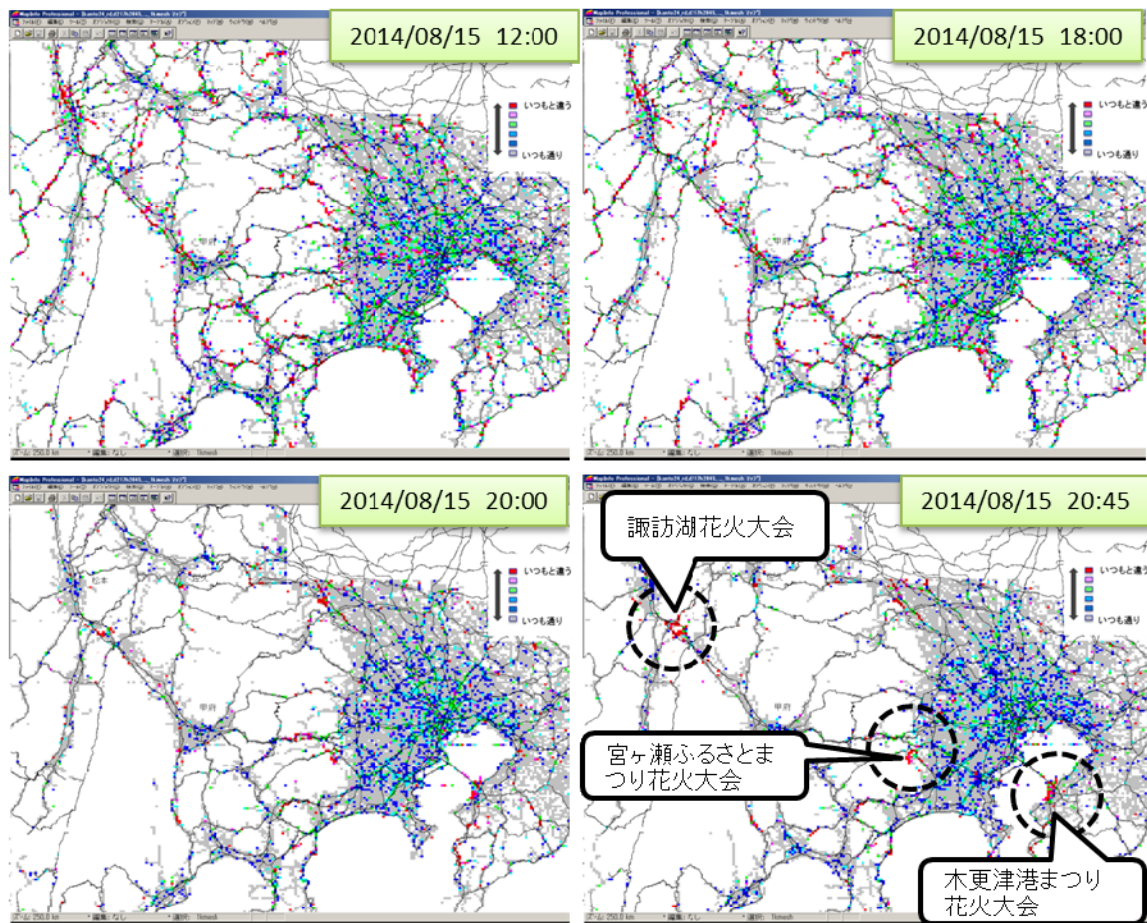


図 9 2014年8月15日（花火大会イベント）における特異指数

本研究において全国のデータを解析している際、エリアによってはデータ量が少ない個所が見受けられた。特に都市部から離れた地域で多いが、データ量が少ない場合、トラフィックスコープの混雑指数と特異指数の数値が安定せず状況を誤判定しやすリスクがあることが分かった。理由としては、ある時間帯における状況において、1台もしくは数台分のプローブデータから混雑指数と特異指数を計算することが多くなると、対象エリア全体の状況がその数台分のプローブが代表していることになるからで、結果にばらつきを生じやすくなる。

図 10 にあるエリアにおける混雑指数と特異指数の特徴を示す。下段の図は、ある2つのエリアにおける MFD 上にプロットされた各時間帯における集計 QK の状態と 2 次曲線で近似した平均的な集計 QK 曲線である。一方、上段の図は下図の集計 QK を含めた数エリアにおける混雑指数の分散および特異指数の分散の状況を示す。図 10 の下段左図においては、データ量が十分にあるエリアであり、集計 QK の分布から交通状況の特徴がよく理解できる。一方下段右図のエリアにおいては、データ量が十分でないため、集計 QK の分布も理論通りとはいかず安定していない。それらのエリアが上図（混雑指数の分散および特異指数の分散の状況）でどの位置づけにいるかを確認したところ、デ

ータ量が十分なエリアにおいては、分散が小さく結果が比較的安定しているエリアの集団にいることがわかった。一方、データ量が十分でないエリアは、分散が大きく結果が比較的安定しない状況にあることがわかった。このことから、データ量や結果のばらつき状況などを考慮し、状況に応じて結果を安定的に解析できる手法を開発する必要があると考えられる。

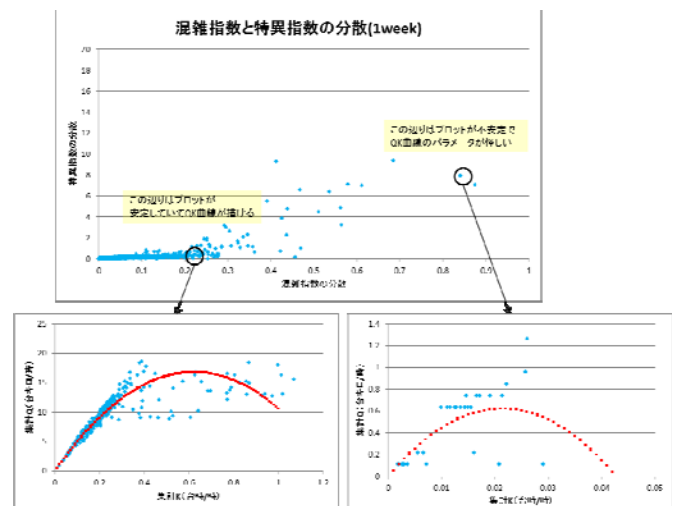


図 10 データ量による混雑指数と特異指数の特徴

6. 今後の展開について

本稿では、トラフィックスコープの計算ロジックの概要とシステム構成について説明し、全国版の運用に向けて実データでの適用について紹介した。最終的に本研究においては、以下の成果を得た。

- (a) 現在運用している東京トラフィックスコープの仕組みを応用したシステム構成で、全国データによる解析処理が可能となった。
- (b) 全国データによる解析でも、大雪や花火大会などのイベントにおいて特異なエリアの検出を行うことができた。
- (c) 全国で十分なデータがない場所における解析について検討の余地があり、データ量に応じて集計範囲を変更するなどの対応を実装する必要がある。
- (d) 検出した特異な状況として検出したエリアの交通状態の信憑性を保証するための方法について検討の余地がある。
- (e) 特異な交通状況の把握からさらに発展し、積極的にリスク回避するための技術開発について議論する必要がある。

したがって、今後においては、全国版のリアルタイム運用に向けて以下の課題について取り組み、トラフィックスコープを高度化していく予定である。

- (a) データが少ないエリアや時間帯における処理方法の開発。
- (b) 特異な状況を示したエリアの状況理解のための仕組みの開発。トラフィックスコープと様々なデータ（気象情報、SNS 情報などの収集と紐付）の重ね合わせなど。
- (c) 特異な交通状況になりうるリスクを解析する手法の開発。

謝辞 本研究の実施にあたり、東京大学生産技術研究所の柴崎教授、関本准教授、瀬戸助教、金杉研究員には、全国版トラフィックスコープシステム開発に向けて多くの助言をいただいた。また、本田技研工業株式会社にはプローブデータ利用についてのご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Horiguchi, M. Iijima and H. Hanabusa: Traffic Information Provision Suitable for TV Broadcasting Based on Macroscopic Fundamental Diagram from Floating Car Data, Proceedings of 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Madeira Island, Portugal, 19-22 September 2010..
- [2] An analytical approximation for the macroscopic fundamental

diagram of urban traffic, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 42, Issue 9, November 2008, Pages 771-781.

- [3] FUJITSU Intelligent Society Solution SPATIOWL (スペーシオウル) 位置情報サービス タクシープローブ交通情報サービス メッシュ交通情報 デモンストレーション, <http://www.fujitsu.com/jp/solutions/business-technology/intelligent-data-services/convergence/spatiowl/function/trafficinfo/mesh-demo/index.html>.
- [4] 飯島護久, 堀口良太: プローブデータに基づくエリア流動性情報提供に関する研究, 第9回 ITS シンポジウム 2010 予稿集, pp.1-4, 2010.12.
- [5] 飯島護久, 堀口良太: 東日本大震災時のメッシュ交通情報を用いた都区部における交通流動性分析, 第29回日本道路会議, 2011.11.1-2.