

# プローブデータと渋滞統計データの融合による東日本大震災時の都区部の渋滞データの構築 Integration of probe vehicle and fixed censor data for understanding Tokyo gridlock after the Great East Japan Earthquake

○清田 裕太郎<sup>1</sup>, 月舘 権二<sup>2</sup>, 岩倉 成志<sup>3</sup>, 野中 康弘<sup>4</sup>

○Yutaro KIYOTA<sup>1</sup>, Kenji TUKIDATE<sup>2</sup>, Seiji IWAKURA<sup>3</sup>, Yasuhiro NONAKA<sup>4</sup>

2011年3月11日に発生した東日本大震災で首都東京の交通網は完全に麻痺した。道路交通網においても例外ではなく、大規模なグリッドロック現象が発生した。今後首都東京で発生する地震に備え、震災時におけるグリッドロック現象の時空間拡大プロセスの分析を行い震災による渋滞現象の実態を明らかにすることは極めて重要である。震災当時の渋滞現象は路側感知器やプローブデータによって、かつてない大量かつ克明な渋滞状況が把握できている。しかし、それぞれのデータ特性によってデータに粗密がある。本研究では、タクシープローブデータと渋滞統計データを DRM フォーマットに統一し、当時の道路状況をより確度が高く、広範囲かつ高密度にカバーした渋滞状況データベースの構築と、そのデータベースの有用性の考察を行う。

**Keywords:** 東日本大震災, グリッドロック, データ融合, ビッグデータ

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災時において都区部の道路交通網では、グリッドロック現象を伴った交通渋滞が発生した。都区部の道路網全体が長時間かつ広範囲に渡って著しい渋滞に見舞われ、震災時における都区部の道路ネットワークの脆弱性が浮き彫りとなった。内閣府から平成25年3月に発表された首都直下型地震の被害想定をまとめた最終報告<sup>1)</sup>では、大規模地震発生直後から深刻な道路交通麻痺が発生することが懸念されており、「まったく動かない交通渋滞」が発生する可能性が非常に高いことが指摘されている。大規模地震が発生した際、都区内の道路ネットワークが再び麻痺する可能性が非常に高いといえる。

わが国において、都市部における大規模震災時の道路状況を広範囲かつ長時間にわたって複数の定量データで観測した事例は過去なかったが、東日本大震災当時の渋滞現象は路側感知器やプローブデータによって、かつてない大量かつ克明な渋滞状況が把握することができている。しかし、それぞれのデータ特性によってデータに粗密があることから、複数のデータでそれぞれの情報を補うことで、より高密度で確度の高い、広範囲の震災時渋滞データを構築でき、これにより当時の都区部の渋滞状況を明らかにできると考える。

本研究では、デジタル道路地図(以下 DRM)のリンク内所要時間が取得可能なタクシープローブデータ(以下プ

ローブデータ)と、速度情報と渋滞長が取得可能な日本道路交通情報センターの渋滞統計データを DRM ベースに統合する手法を開発し、フォーマットの一元化を行うことで震災当時の道路状況をより正確に把握するための渋滞状況データを構築し、このデータベースの有用性について考察する。

本論文の構成として、まず2章で大規模地震時の渋滞研究とデータ融合に関する既存論文を概観するとともに、国内外におけるグリッドロック現象の定義を整理する。3章では、本研究におけるデータ融合の方法を述べる。4章では、融合データの有用性を考察し、最後に5章では、まとめと今後の展望を述べる。

## 2. 既存研究の概観

東日本大震災を対象とした路側感知器やプローブデータを分析した既存研究および観測データの融合を扱った研究を整理する。また、筆者らが対象とするグリッドロック現象の定義について述べる。

### 2.1 東日本大震災時の渋滞研究

東日本大震災の交通状況を対象とした既存研究では、プローブカーデータや、車両感知器などの常時観測データが多く用いられている。筆者ら<sup>2) 3)</sup>はこれまでタクシープローブデータを活用して、東日本大震災時の都区部におけるグリッドロック現象の時空間的拡大プロセスを分析し、震災直後の渋滞発生要因として首都高速の通行

1 学生会員, 修士 (工学), 芝浦工業大学大学院建設工学専攻

〒135-8584 東京都江東区豊洲 3-7-5 e-mail: me13028@shibaura-it.ac.jp Phone: 03- 5859-8354

2 非会員, 東京都港湾局

3 正会員, 博士 (工学), 芝浦工業大学

4 正会員, 博士 (工学), 株式会社道路計画

止めの影響を指摘した。

飯島・堀口ら<sup>45)</sup>は、プローブカーデータを用いたエリア交通流動性に注目して、東日本大震災時の交通麻痺状態の分析を行っている。エリア交通流動性というエリア内(1~2km四方)の交通状態指標を用いて、発災後どのタイミングでどの場所から交通困難な状態が波及したかを考察している。その結果、初期の交通渋滞は15:00頃に皇居北側の都心部から発生したことを指摘している。なお、この成果は筆者らの研究成果と一致する。

津田ら<sup>6)</sup>は、タクシープローブデータを用いて東日本大震災時の交通状況から、首都直下型地震発生を想定して、緊急車両走行状況の推定を試みている。タクシープローブデータから、一般車両の平均旅行速度を1kmメッシュ単位でGIS上に展開し、道路種別や道路特性で走行性に違いがでること、発災時に放射状の幹線道路では、速度が最大80%低下することを指摘している。また課題として、首都直下型地震時の道路寸断による交通状況は推定できていないことを記している。

門間ら<sup>7)</sup>は、東日本大震災発生前後における東京23区内の交通状況をプローブデータから分析している。23区を4エリアに分解し、エリア毎の地震発生後の平均旅行速度の変異を分析している。さらにエリア毎の混雑継続時間から、大渋滞発生から解消までの時間を考察している。千葉ら<sup>8)</sup>は、プローブデータに加えSUICA、PASUMOのバスICカードデータを動線データとして、震災時の交通状況を考察している。プローブデータとICカードデータから震災当日の旅行平均速度と所要時間を算出した結果、震災直後の速度低下時刻は道路規格が高いほど早く、国道規格の道路における15時台は、直前の14時台と比べて約40%の速度低下が発現したことを指摘している。

以上にとり上げた震災時の道路状況を把握する研究には、プローブデータを用いたものが多く、ほとんどの研究において単一データのみで分析を行っている。複数のデータを用いている場合でも個々に分析を行い、それぞれのデータごとに考察し、考察結果を組み合わせるといったものとどまっている。また、都区部で長時間に渡って車両速度が大幅に低下したことや、ボトルネック箇所の考察がおこなわれているが、データの密度が粗ければ、分析結果をミスリードする可能性もある。データ融合を行うことで、より高密度で確度の高い、震災時の渋滞状況の分析が可能であると考えられる。

## 2.2 観測データ融合に関する研究

プローブデータの旅行速度と路側センサーデータとの融合に関する研究としては以下があげられる。王ら<sup>9)</sup>は、プローブとVICSとの速度差の要因としてVICSの上限値とタイムラグの影響や交通状況の影響を考察することで両データの相関を高められる可能性を示した。VICSでプ

ローブを補完推計した場合の実旅行速度との精度を考察し、VICS単独よりも改善可能としている。小出ら<sup>10)</sup>は、VICSが直進を前提とした計測のため、プローブの直進流出と右折流出のそれぞれの補正関数を推定して、VICS情報を補正する方法を提案し、VICS情報単独よりも交通状況への感度が高い推計結果が得られることを示した。

石田ら<sup>11)</sup>は、首都高の路側観測機とプローブの速度の相関分析をおこなった。また、比較的長い旅行区間の速度推計に、区間全てを走行していない異なるプローブデータを接合して、旅行時間を推計する方法を検討したが、旅行区間の距離が長くなると旅行時間が不正確となる問題や、各リンクが相互に相関があり独立には扱えないなど複数の課題を提示している。

以上のように、プローブデータと路側センサーデータとの融合については、複数の課題の提示やVICS情報の精度を改善する方法にとどまっておらず、未だ研究課題が多い分野である。

## 2.3 グリッドロックの定義

最も古いGridlockという用語の起源は、1980年当時のニューヨーク市の交通技術者Roy Cottam とSam Schwartzが発案したとされており、1980年4月末のニューヨークタイムズ紙においてニューヨークの公共交通ストライキによって発生した大渋滞をGridlockという名称で説明している<sup>12)</sup>。

海外における理論的研究では、Daganzoら<sup>13)</sup>やMahmassaniら<sup>14)</sup>による先行研究がある。Daganzoらは、Gridlockは、単一リンクで発生する交通集中で表現されるべきではなく、都市内交通において流入制限がない状態のネットワーク内の交通量が過剰に増えた時、そのネットワークの累積交通量に達する前にネットワークが機能を失う渋滞現象として、Gridlockを取り上げている。また、Mahmassaniによると、同様の渋滞現象の記述を、zero-flowとなるネットワーク内において、容量が最大車両台数に達せずにネットワーク内のヒステリシスによって、車両台数が変動する渋滞現象であるとしている。Mahmassaniはグリッドロックの基本的特徴として複数箇所が発生する大渋滞が伝搬して大規模に広がることを指摘している。

国内では、田中<sup>15)</sup>らが交通シミュレータSOUND上で発生する双方向の通行を妨げるエラー現象としてのグリッドロック現象の解決策を論じている。これについて、仮想リンクを設けることで、エラー現象としてのグリッドロックを解消している。

筆者ら<sup>2) 3)</sup>が行った研究では、広域に広がるネットワークでの大規模渋滞現象としてグリッドロックの用語を用いるが、観測できるデータは、リンク速度のみであることから、Daganzo や Mahmassani が定義する zero-flow

としては扱えない。このため、著しい速度低下状況として時速 5km/h 未満が 2 時間にわたって連続したリンクをグリッドロック区間とし、これが都市域に多発的広域的に広がる状態をグリッドロック現象と定義している。

### 3. 分析方法

本研究では、DRM のリンク内所要時間が取得可能なプローブデータと、日本道路交通情報センターの渋滞統計データを DRM ベースに統合することで単一データでは、情報を持たないリンクの情報を補完しデータ密度の向上を図り、両データが情報を持つリンクについて、確度の向上を図る。

#### 3.1 データ概要

##### (1) タクシープローブデータ

株式会社日立製作所情報・通信システム社から提供される都内を走行する約 3000 台のタクシーの走行軌跡データである。DRM リンクごとにタクシーの走行時間を 5 分ごとに記録したものである。

##### (2) 渋滞統計データ

日本道路交通情報センターが提供する渋滞長と速度を 5 分ごとに集計したデータである。速度の区分は 20km/h 以下(混雑)と、10km/h 以下(渋滞)の 2 段階区分され、速度の詳細はわからない。渋滞長の位置情報の測地系は、DRM の標準フォーマットである日本測地系ではなく世界測地系で取得されている。

#### 3.2 融合データの特性

融合してできるデータの特性を表 1 に示す。プローブデータは既に DRM ベースに対応しているため、渋滞統計データを DRM に対応させる手法を開発することでデータの融合を行う。

二種類のデータを融合することで、速度情報は、例えば、速度を細かく観測できるプローブデータの速度情報が 5km/h の DRM リンクに、二段階の区分で観測される渋滞統計データで取得される速度区分が 10km/h 以下の速度情報を付加することで、プローブデータで観測した速度情報の確度が高くなる。また、渋滞統計データが常時観測している箇所以外の速度データをプローブデータで補うことができ、お互いのデータでカバーされていない DRM リンクを補間することができる。さらに、プローブデータから取得することができない渋滞長の情報を渋滞統計データで示すことができる。

#### 3.3 データ融合の方法

本研究で融合する二種類のデータの内、プローブデー

表 1 融合データの特性

データ特性 \ データ	プローブデータ	渋滞統計データ	融合データ
速度の精度	○	△	○
道路のカバー率	△	△	○
渋滞長の把握	×	○	○

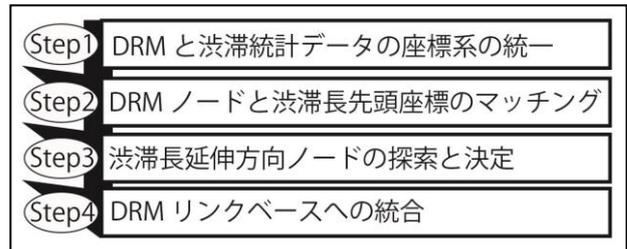


図 1 渋滞統計データの DRM 統合の手順

タについては、すでに DRM と整合しているため、主に渋滞統計データを DRM に統合する方法を述べる。

データ統合のステップを図 1 に示す。DRM に統合する際に問題となったのが、Step2 の渋滞長の先頭ノードの特定と、Step3 の渋滞長の延伸方向の特定である。

##### (1) Step1 座標系の統一

Step1 では、DRM の座標系と渋滞統計データの測地系の統一を行う。DRM の標準フォーマットでは、ノードの緯度経度は日本測地系であることから、渋滞統計データの先頭座標を取得し、取得した緯度経度を日本測地系の緯度経度に変換を行った(正規化座標の緯度経度変換前は、±11 秒～12 秒程度誤差が生じる)。

##### (2) Step2 渋滞長先頭ノードのマッチング

Step2 では、座標系の統一後に渋滞統計データの渋滞長の先頭座標を DRM のノード座標にマッチングさせる。しかし、DRM の交差点は複数のノードで構成される箇所が存在することから、渋滞統計データの渋滞長先頭と DRM のノードに対応する候補が複数存在する。このため、GIS に展開した DRM から渋滞長先頭ノードの候補を抽出し渋滞統計データと目視で特定する。

##### (3) Step3 渋滞長延伸ノードの特定

Step3 では、渋滞長の対応する先頭ノードが定まった後に、渋滞長が延伸するリンクがどの方向に対応するかを特定する。渋滞長の延伸方向は、渋滞統計データから確認した路線名称と上下区分をリストアップし、東京都道路現況調査<sup>16)</sup>を参考に路線が対応するリンクを DRM リンク毎にマッチングさせた。そのデータベースから渋滞長が対応する方向をベクトルの角度で判断し、連続性を求めるプログラムを構築した。ただし、アンダーパスやオーバーパスが存在するリンクや、接続ノード同士の角度が浅い箇所については、手動でマッチングを行い、渋滞長を各リンクに配分した。

##### (4) Step4 DRM リンクベースへの統合

Step4 で DRM リンクベースに統合した渋滞統計データとすでに DRM と整合しているプローブデータが DRM

リンクベースに統合され、震災時の渋滞状況データベースが構築された。

#### 4. 融合データの考察

##### 4.1 融合したデータで得られる新たな視点

今回融合したデータを一部可視化したものを図2に示す。渋滞統計データの速度区分にプローブデータを重ねることで、二段階の速度区分内の詳細な速度を示している。図中①の円をみると渋滞統計データで渋滞長が表示されていないリンクにプローブデータが対応し、速度情報を補完していることがわかる。また、図中②の円をみると渋滞統計データが対応しない細道路などのリンクをプローブデータが補完していることがわかる。さらに、図中③の円にはプローブデータがカバーできていないリンクを渋滞統計データが補完していることがわかる。以上より本研究で融合してできた渋滞データは、融合前より高密度で精度の高い優れたデータであるといえる。

##### 4.2 融合したデータの速度の整合性

渋滞統計データの2段階の速度区分と、プローブデータの速度データで両者の速度が異なるリンクの存在を検証した。分析条件と分析結果を表2に示す。両データの累積比率を0~10km/hで見ると、全データ中の整合性は65%となった。全データとは、14:30-23:55間の5分ごとの渋滞統計とプローブデータの両データが存在するリンクの総数である。また、同条件での速度分布を図3に示す。例えば、横軸の15~20km/hのデータ数を見ると、あるリンクで渋滞長が10km/hにもかかわらず、リンクと対応するプローブデータが10~15km/hを示していたデータが全データ数中19%、15~20km/hを示していたデータが7%あることがわかる。速度一致しないリンクは、渋滞統計データでは、信号のタイミングや、車両が全く動かない事で定点感知器が反応せずに誤差が生じる可能性が考えられる。14:30-23:55の対象時間帯における環状八号線内のDRMリンク数に対する渋滞統計とプローブデータの両データが存在するリンクの総数は、全体の61%となった。プローブデータのみだと約44%となり、渋滞統計データのみだと約51%となった。このことから、プローブデータだけで分析するよりもデータの密度が高くなったことが確認できた。

以上から複数の観測データを用いることで、当時の状況を精度も密度も高く分析できることがわかる。

#### 5. おわりに

タクシープローブデータと渋滞統計データの融合手法を開発し、震災時渋滞データベースを構築した。2種

表2 速度情報の整合性分析の条件と結果

分析条件	対象地域	環状8号線内約3000リンク
	対象日時	2011/3/11 14:30~23:55
両方を満たす	渋滞統計データ	渋滞(10km/h以下)かつリンク全てが渋滞
	プローブデータ	リンクに対応したデータがある
分析結果	速度の一致率	65%(7365/11331)

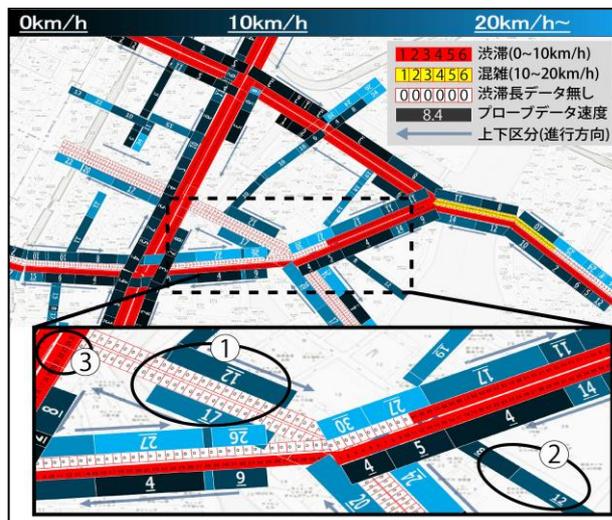


図2 融合データの可視化

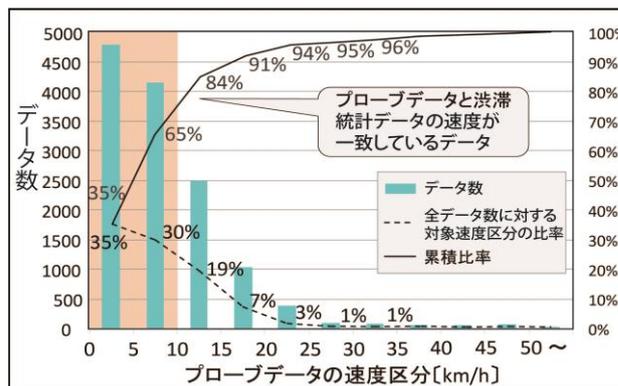


図3 渋滞統計データとプローブデータの速度分布

類のデータ間でそれぞれがカバーしていないリンクや、重なるリンクの情報を付加することでデータ全体の密度と精度が向上した。また、渋滞統計データから付加したリンクごとの渋滞長情報もプローブデータの細かい速度情報と合わせて確認することが可能である。今後は、他社が提供する一般車両のプローブデータの情報を本研究で構築したDRMベースのデータベースに付加することで、リンク全体をカバーする情報の密度を向上させ、さらに速度情報の精度を高め、震災時の渋滞を明らかにしたい。

#### 謝辞

本研究は日本デジタル道路地図協会ならびに科学研究費挑戦的萌芽課題番号 25630219 の研究助成を得て実施した。また、本研究を遂行するにあたってご協力いただいた一般財団法人計量計画研究所の毛利雄一氏、牧村和彦氏、株式会社道路計画の石田貴志氏に感謝する。

## 参考文献

- 1) 内閣府：防災情報ページ
- 2) 清田裕太郎，岩倉成志，野中康弘：東日本大震災時の都区内道路のグリッドロック現象に関する基礎的考察，土木計画学研究・講演集，Vol.46，CD-ROM 4pages，2012.
- 3) 清田裕太郎，岩倉成志，野中康弘：東日本大震災時のグリッドロック現象における首都高速の影響分析，土木計画学研究・講演集，Vol.47，CD-ROM 4pages，2013.
- 4) 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. -
- 5) 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.
- 6) 津田圭介，胡内健一，許斐信亮：首都直下地震発生時に想定される緊急対応車両の走行状況の推定，こうえいフォーラム21号，pp.37-45，2013.
- 7) 門間俊幸，橋本浩良，上坂克巳，酒井大輔，丹下真啓：プローブデータを用いた震災直後の都内の道路交通サービス状況の分析，第44回土木計画学会研究発表論文集，paper No.17，2011.
- 8) 千葉尚，中村俊之，森尾淳，牧村和彦：動線データが語る震災時の都内の交通状況プローブカーデータ，交通系 IC データから，IBS Annual Report 研究活動報告 2011.
- 9) 王立暉，姜美蘭，山本俊行，森川高行：プローブデータと VICS データの融合による旅行時間推定に関する研究，土木計画学研究・論文集 Vol.23，No.4，2006.
- 10) 小出勝亮，宮崎要，堀口良太，赤羽弘和：VICS 情報とプローブ情報の融合手法の研究，第30回土木計画学研究発表会講演集，Vo.30，CD-ROM，2004.
- 11) 石田東生ら：複合データによる道路サービス・パフォーマンス情報システムの研究開発，道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート，No.21-3，2012.
- 12) New York Times ; APR 3，1980.
- 13) Carlos F.Daganzo : Urban gridlock :Macroscopic modeling and mitigation approaches, Transportation Research Part B 41 49-62, 2007.
- 14) Hani S.Mahmassani, Meead Saberi, Ali Zockaie K : Urban Network gridlock :Theory, Characteristics, and Dynamics, Procedia-Social and Behavioral Sciences 80 79-98, 2013.
- 15) 田中伸治，花房比佐友，堀口良太，桑原雅夫：交通シミュレーションのグリッドロック問題解消策の検討，生産研究 61(4)，751-754，2009.
- 16) 東京都建設局道路管理部：東京都道路現況調書，2013.