

複数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渋滞データ構築

清田 裕太郎¹・月舘 権二²・岩倉 成志³・野中 康弘⁴

¹学生会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒135-8584 東京都江東区豊洲3-7-5)
E-mail:me13028@shibaura-it.ac.jp

²非会員 東京都 港湾局 (〒135-0064 東京都江東区青海2-4-24 青海フロンティアビル)
E-mail:h10056@shibaura-it.ac.jp

³正会員 芝浦工業大学 (〒135-8584 東京都江東区豊洲3-7-5)
E-mail:iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

⁴正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2丁目13-14 マルヤス機械ビル)
E-mail:nonaka@doro.co.jp

東日本大震災時の都区部では、我が国においてこれまで観測されなかったグリッドロック現象を伴った大規模な渋滞現象を観測した。震災時の渋滞現象を明らかにすることは極めて重要であり、震災以後多く研究が行われてきた。震災時の渋滞現象は路側感知器やプローブデータによってこれまでに無いほど克明に観測されているが、それぞれの観測データが持つ特性がゆえにデータに粗密がある。本研究では、二種類のプローブデータと渋滞統計データをDRMリンクベースに統合し融合する手法を開発し、データ密度と精度の高い震災時の渋滞データベースの構築を試みた。その結果、ネットワーク全体のリンクカバー率が概ね70%程度確保でき、DRMリンクにおける速度情報の密度が向上したことを確認した。

Key Words : Great East Japan Earthquake, Urban gridlock, Big data, Probe data

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災時の都区部の道路では、我が国においてこれまで観測されなかったグリッドロック現象を伴った長時間かつ大規模な渋滞現象を観測した。今後発生が確実視されている大規模地震に備え、首都の耐災性向上のため、震災時の渋滞状況を明らかにすることは、極めて重要であり震災後の喫緊の課題である。東日本大震災時の渋滞現象は路側感知器やプローブデータによってこれまでに無い大量かつ克明に観測され様々な研究が行われている。しかし、観測されたデータが持つ情報量は膨大ではあるが、それぞれのデータの特性ゆえにデータに粗密であることがわかっており、時間的分解能が低下してしまうなど、単一の観測データでの分析には課題が多い。

そこで、本研究では震災時の渋滞現象をより高密度かつ精度の高いデータを用いて解析を行うため、複数のデータをデジタル道路地図（以下 DRM）のリンクベース

に統合することで、それぞれのデータが持つ情報を付加した震災時における都区部の渋滞データベースの構築を行う。本研究ではタクシプローブデータ、渋滞統計データに民間プローブデータを加え、3種類のデータを融合し、渋滞データベースの構築を試みる。さらに構築したデータの特性と今後の利用可能性について考察する。

2. 既往研究のレビュー

プローブデータや路側感知器のデータを用いた東日本大震災時の渋滞状況の解明は震災後から様々な視点から多く行われている。飯島・堀口ら^{1) 2)}は、東日本大震災時の交通麻痺状態の分析をプローブカーデータを用いたエリア交通流動性に着目し、分析を行っている。エリア交通流動性（1~2km四方のエリア内）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、この成果は筆者が行った研究成果³⁾と一致する。

津田ら⁴⁾は、タクシープローブデータを用いて首都直下型地震発生を想定した緊急車両走行状況の推定を試みている。東日本大震災時に観測された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上に展開した。その結果、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%低下すると指摘している。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。

Oshimaら⁵⁾は、東日本大震災時の道路状況を警視庁の車両感知器とタクシープローブデータを用いて一般道路の旅行速度を時系列で分析している。その結果、震災後の大規模の渋滞は、ネットワーク密度の高いエリアから速度低下が発生し、都心から郊外に拡大していったとしている。

一方、複数データを融合する研究は、王ら⁶⁾が、プローブデータとVICSデータ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ている。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。さらに、小出ら⁷⁾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⁸⁾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、プローブデータや路側感知器データを用いた震災時の渋滞状況の分析は、様々な視点で行われている。また、データ融合については、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り、未だ研究課題が多い分野である。

3. 分析方法

(1) データ概要

各データの概要を表-1に示す。タクシープローブデー

表-1 各データの概要

	タクシー プローブデータ	民間 プローブデータ	渋滞統計データ
観測形態	リンク完時間(秒)	リンク完時間(秒)	渋滞長(m)
速度情報	リンク長と リンク完走時間 から算出	リンク長と リンク完走時間 から算出	渋滞(10km/h以下) 混雑(20km/h以下)
集計単位	5(分)	15(分)	5(分)
DRMリンクコード 有無	有	有	無

タは、都区内を走行する約 3000 台のタクシーの位置情報を GPS で観測し DRM リンク毎の走行時間の平均値(秒)を5分ごとに集計したデータである。

民間プローブデータは、DRM リンク毎の走行時間の平均値(秒)を15分ごとに集計したデータである。

渋滞統計データは、JATIC が提供する路側観測機のデータで、渋滞長と速度情報を5分ごとに集計したデータである。ここで観測される速度情報は渋滞が 10km/h 以下、混雑が 20km/h 以下の2区分の速度区分で観測される。渋滞長(m)は、日本測地系で取得されているが、マップマッチングのため一度、世界測地系に変換を行う必要がある。

(2) 融合データの特性

2種類のプローブデータは、表-1に示したとおり、DRMのリンクコード情報を含んでいる。このことから、渋滞統計データを DRM リンクベースに対応させる手法を開発することで、各データを DRM リンクベースへの融合を行う。また、民間プローブデータについては、15分ごとの集計データであるが本研究では、時間的分解能の細かいデータベースを構築するため5分ごとの渋滞データベースを構築を行う。

3種類のデータを融合することで、それぞれのデータが待っている速度情報は、速度を細かく観測することのできる2種類のプローブデータの速度情報に、渋滞統計データの速度区分を付加することで、プローブデータの速度情報の確度は高くなる。また、3種類のデータの速度情報に矛盾が生じた場合には、矛盾が生じたリンクに対しフラグを付加し、単独データでの分析で発生する危険性のあるミスリードを回避することができる。

融合データの最大のメリットは、各データでカバーできていないリンクに対して、データ間でリンク情報を補完することができることである。このことで、ネットワークの全体のカバー率が向上し、データ全体の密度が高くなる。プローブデータでは観測できない渋滞長の情報を渋滞統計データから示すことができる。

(3) 分析対象範囲と時間帯

表-2に融合する各データの2次メッシュ別リンクカバー率を示す。タクシープローブは、取得範囲がタクシーの無線機基地局に依存するため、郊外に向かう程カバー率が低くなっていることが分かる。本研究の分析対象範囲は、タクシープローブデータが概ね50%のリンクカバー率で、民間プローブと渋滞と統計データも安定して取得される533945, 533946, 533935, 533936の4メッシュとした。対象範囲を図-2に示す。また、分析対象時間は2011年3月11日の14:30~23:55とした。

(4) データ融合の方法

前述した様に、本研究では3種類のデータをDRMのリンクベースに統合を行う。融合する2種類のプローブデータは、既にDRMのリンクコードをデータ内に含んでいるため、主に渋滞統計データをDRMリンクベースに統合するため手法を説明する。渋滞統計データをDRMリンクに統合する際に課題となったのが、渋滞長の先頭地点をDRMノードに対応させることである。さらに、対応した渋滞が延伸する方向を特定することが課題となった。

まず、DRMデータの座標系と渋滞統計データの測地系を統一する。渋滞長の先頭に該当する地点の緯度、経度の測地系をDRMデータの標準フォーマットである日本測地系に変換を行う。なお、正規化座標での変換を行う前は平均±11秒~12秒の誤差が生じる。

次に、渋滞統計データが持つ渋滞長の先頭座標をDRMのノード座標へマッチングを行う。しかし、DRMの交差点は複数のノードから構成される交差点が多く存在することから、渋滞長の先頭ノードと交差点ノードで対応する候補が複数ヒットしてしまう。ここで、マッチングの誤差範囲を2秒に絞り候補の抽出を行い、該当するDRMノードをGIS上に展開した。その後、立体交差やオーバーパス、アンダーパスに細心の注意を払い、目視で該当ノードとマッチングを行った。

次に、先頭ノードを特定した渋滞長が延伸する方向が対応するリンクを特定する。ここで、渋滞統計データから確認できる路線名称と上下区分のデータベースを作成し、東京都道路状況図⁸⁾を参考にてそれぞれの路線が対応するリンクをDRMリンク毎にマッチングを行った。その後、データベースから渋滞長が対応する方向のベクトルを角度判断し、対応するリンクへの連続性を求めるプログラムを構築した。しかし、オーバーパス、アンダーパスなど特異な構造を持つリンクへのマッチングは、

表-2 2次メッシュ別リンクカバー率

2次メッシュコード	タクシープローブ(%)	民間プローブ(%)	渋滞統計データ(%)
533924	5	41	23
533925	18	28	21
533926	19	18	40
533934	22	44	53
533935	58	35	58
533936	40	23	59
533937	12	7	-
533944	51	51	51
533945	65	38	66
533946	50	31	65
533947	11	10	-
533954	17	49	41
533955	24	34	48
533956	18	28	47
533957	18	8	-



図-1 対象2次メッシュコード

渋滞長先頭ノードと同様にGIS展開し、目視でのマッチングを行い各リンクに配分を行った。

以上で、渋滞統計データをDRMリンクベースに統合したデータベースが構築される。ここに、既にDRMリンクコードを持つ2種類のプローブデータの統合を行う。プローブデータは、それぞれ流入ノードと流出ノードのコードを含んでいるためDRMの各リンクにマッチングを行った。なお、マッチングの際にデータ間で速度情報に大きな矛盾が生じる場合はデータベース上でフラグを立てている。さらに、渋滞長データが各リンクに格納される際、リンク延長の何%支配しているか示すことができる。

4. 融合データの考察

(1) 融合したデータから得られる新たな視点

今回融合したデータの17:00のデータを外堀通り新橋駅付近について、可視化したものの一部を図-2に示す。渋滞統計データの二段階の速度区分を格子以上に形成し、その中に2種類のプローブデータを重ねることで、3種

類の速度情報を可視化している。図中①をみると、渋滞統計データが存在しない細道路のリンクをプローブデータが補完していることが分かる。また、図中②をみると二種類のプローブデータが連続的にリンクを補完していることがわかる。さらに、図中③をみるとプローブデータの速度情報が存在し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確度の高い優れたデータであるといえる。

(2) 融合したデータの整合性

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3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68%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2種のプローブ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10~20km/hのデータ数を見ると、あるリンクで渋滞統計データが10km/hの速度区分に対して、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18%、15~20km/hを示していたデータが10%存在することがわかる。

民間プローブとタクシープローブの速度差±1km/h以内での一致率は、0~10km/hで88%となり、5~10km/hで84%となった。速度が高くなるほど、プローブデータ間で速度の誤差が大きくなる傾向が確認できる。渋滞の速度区分内(10km/h以下)に存在する2種のプローブデータ間での一致率が高いことが分かった。プローブデータと渋滞統計データで速度一致しないリンクは、渋滞統計データでは信号サイクル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誤差が生じる可能性があると考えられる。

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時間帯別カバー率を図4に示す。3種を融合融合データの対象範囲におけるリンクカバー率は約74%のとなり、それぞれのデータがネットワークを補完しあい高くなったことを確認した。また、2種類のプローブデータではそれぞれ約40%~55%のカバー率となっている。民間プローブデータは、時間帯が遅くなるとカバー率が低下する傾向があり、タクシープローブは、逆に増加する傾向にある。渋滞統計データのみだと約51%のカバー率であった。路側感知器では他の2種類に比べ安定したカバー率となった。このことから、

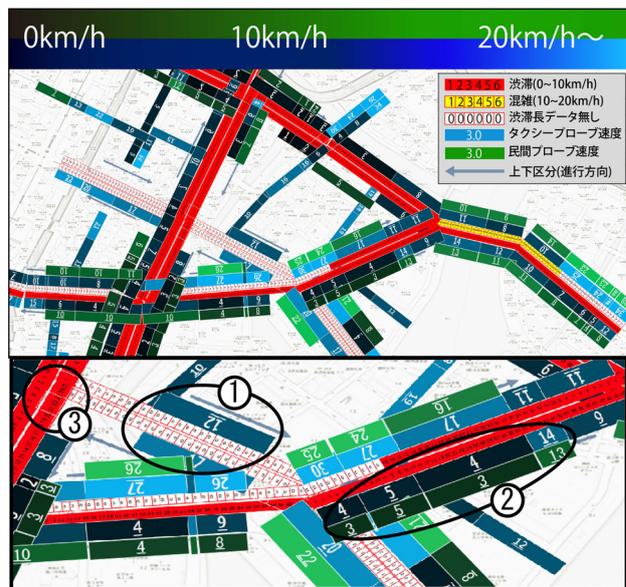


図2 融合データの可視化

表3 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	渋滞長データ	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	68%(13164/19352)

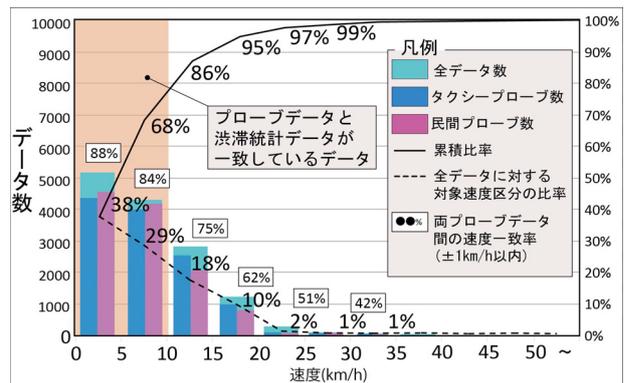


図3 プローブデータと渋滞統計データの整合性

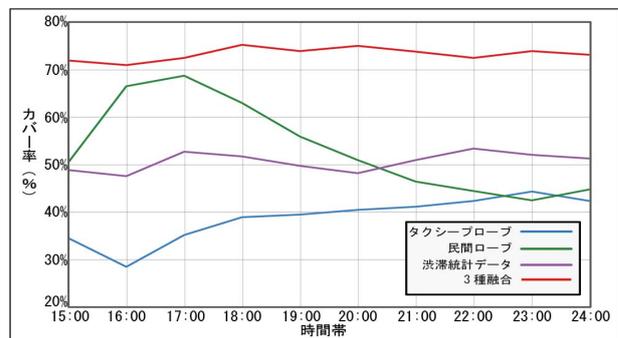


図4 時間帯別カバー率

プローブデータや渋滞統計データを単独で扱うよりもデータの密度が格段と高くなることが確認できた。

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

5. おわりに

本研究では、タクシープローブデータと民間プローブデータ、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。また、3種類のデータ間でそれぞれがカバーしていないリンクや速度情報が重なるリンクでそれぞれの速度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ことを確認した。さらに、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、本研究で構築した震災時の渋滞データに NAVITIME の点列データをデータベースに付加することで、ネットワーク全体をカバーする情報の密度と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。ここに感謝する。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) Evaluation of traffic control policy in disaster case by using traffic simulation model. Proc. of 19th World Congress on ITS 2012(Vienna), AP-00345, 2012.10.
- 5) 王立暁, 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.
- 6) 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.
- 7) 石田東生ほか: 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.
- 8) 東京都建設局道路管理部: 東京都道路現況調査, 2013.

Integration of plural probe vehicle and fixed censor data for understanding Tokyo grid-lock after the Great East Japan Earthquake

Yutaro KIYOTA, Kenji TUKIDATE, Seiji IWAKURA,
and Yasuhiro NONAKA