

プローブデータに基づく東日本大震災時の ドライバーの経路選択要因の分析

清田 裕太郎¹・岩倉 成志²・野中 康弘³

¹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: kiyota@doro.co.jp

²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

³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渋滞を観測した。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。本研究では、2種類のプローブデータとNAVITIMEジャパンの利用経路データに加え、日本道路交通情報センターの渋滞統計データをDRMリンクベースに統合し、バイズ更新によって融合を行った。その結果、ネットワーク全体のリンクカバー率が約75%となり、DRMリンクにおける速度情報の解像度が向上したことを確認した。また、NAVITIMEジャパンの点列データから震災時のドライバーの実選択経路を特定した上で、震災時の渋滞データベースを用いて、東日本大震災時におけるドライバーの経路選択要因の分析を行った。

Key Words : *Urban gridlock, Great East Japan Earthquake,*

1. はじめに

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。筆者ら^{1) 2)}は、東日本大震災以後、都区部のボトルネックや、首都高速の流出入交通の影響などの様々な渋滞要因に着目し、震災時の渋滞状況の解明を進めてきた。

これらの先行研究で用いているプローブデータや路側感知器のデータは、大量かつ克明に観測されているものの、各種データの特性によって時空間的な情報解像度が異なるため、現象解明に向けたそれぞれ単独のデータからアプローチすることには、分析精度上の限界があることが課題であった。

このことから筆者ら³⁾は、震災時の渋滞状況をより高密度かつ確度の高いデータを用いて解析を行うことを企図して、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し、それぞれのデータが持つ情報を付加した都区部の渋滞データベースの構築を行った。しかしながら、従前の研究では、データ統合の域にとどまる結果となっていた。

そこで本研究では、DRMリンクベースに統合した渋滞データベースをもとに、バイズ更新により複数データ

を融合する。また、渋滞を回避するための迂回交通が当時の渋滞を助長させた要因のひとつとして考えられる。

そこで、NAVITIMEジャパンの時空間的に連続した点列データを用いることで、震災時におけるドライバーの実利用経路を把握し、渋滞を迂回する交通が存在したかを明らかにする。さらに、前述した融合データベースを用いることで経路選択モデルを構築し、震災時の経路選択要因について分析を行う。

2. 既往研究の概観

前述したように、東日本大震災時の渋滞現象解明の研究として筆者ら¹⁾は、タクシープローブデータを用い、グリッドロック現象を伴った震災時の渋滞状況の分析を行った。ここでは、グリッドロック箇所とボトルネック箇所から都区部の脆弱な箇所の抽出を行い、グリッドロック現象の時空間的拡大や、渋滞方向について分析を行っている。しかしながら、単独データの分析では、それぞれ時空間的な情報解像度に粗密が存在すること事から、1時間ベース分析にとどまっている。さらに、筆者ら³⁾は、震災時の渋滞に影響を与えたひとつの要因として、首都高速の流出入交通に着目し、一般道に与えた影響に

ついて分析を行った。その結果、震災時において一般道に与える影響の大きかったランプの抽出を行っている。

大島ら⁴⁾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。さらに、大島ら⁵⁾は、単一グリッドネットワークにおける、グリッドロック現象の発生プロセスの検証を行い、グリッドロック現象の発生は、下流側リンクにおける交差点の合流比と右折車両の割合によって発生するとした。

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することで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、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。

プローブデータを用いて経路選択モデルの構築を行った研究として三輪ら⁹⁾は、名古屋市圏を走行したタクシー約1600台の9ヶ月間のデータを使用して、リンクコストテーブルを作成し、ODペア毎やODペア間で距離の異なる経路選択モデルを構築している。さらに、トリップ中の意思決定時点を生産化した動的な経路選択モデルを構築し、その結果終点までの距離の変化によって経路選択行動は変化することを明らかにした。

本研究では、三輪らの研究を参考に経路選択モデルの構築を試みている。

3. 分析データベースの構築

まず融合データ概要について記し、その後DRMへの

表-1 統合するデータ一覧

データ名	集計時間区分	観測データ	DRM リンク情報	統合後 生成データ	リンク カバー率
HITACHI タクシープローブ	5分	リンク旅行時間 (秒)	有	リンク旅行 速度	39%
民間プローブ	15分	リンク旅行時間 (秒)	有	リンク旅行 速度	48%
JARTIC 渋滞統計データ	5分	渋滞長 二段階速度区分	無	[渋滞長] [速度区分]	54%
NAVITIME 点列データ	秒単位	GPS 軌跡データ	無	リンク旅行 速度 [経路情報]	45%
統合データ	5分	-	-	各データから 得られる 全ての情報	74%

統合方法とベイズ更新の手法について述べる。

(1) データ概要

本研究で統合するデータの一覧と統合後のカバー率を表-1示す。また、以下に各データについて概要を示す。

タクシープローブデータは、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、日本道路交通情報センター(以降、「JARTIC」という)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10km/h以下(渋滞)、20km/h以下(混雑)の2区分の速度区分で観測される。

NAVITIMEジャパン点列データは、震災当時のドライバーの位置情報を秒単位で記録した点列データである。データはユーザ毎に経路IDを持っており追従することが可能である。本研究では、震災時の実利用経路の特定においても使用する。

(2) DRMリンクベースへのデータ統合手法

本研究では4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とナビタイムの点列データをDRMリンクベースに統合するため手法を説明する。

まず、渋滞統計データの統合手法は、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

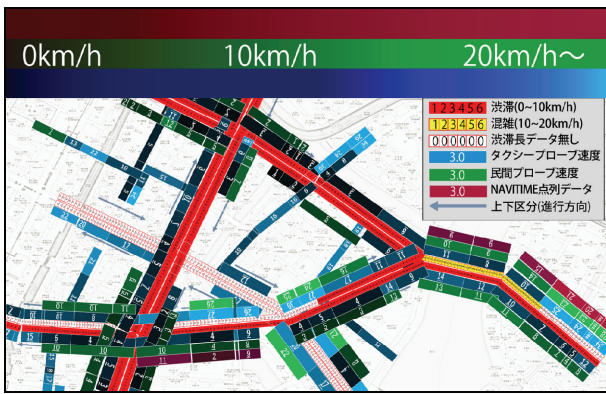


図-1 統合データの可視化

DRM のノード座標へマッチングを行う。しかし、DRM 上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マッチングしてしまう。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¹⁰⁾を参考に、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角度を判定パラメータとし、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、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。

NAVITIME ジャパンの点列データの統合手法は、まず DRM に対してマップマッチングを行い、各ユーザのトリップ端を誤差 2 秒以内で DRM ノードとマッチングを行う。この時、マッチングしたノードとトリップ端の点列との誤差を経路となる点列全てに各ユーザのトリップ毎に補正を行った。その後 DRM リンク毎に各ユーザの点列の情報を集計し、リンク間速度を算出した。

以上の手順により、渋滞統計データと点列データを DRM リンクベースに統合したデータベースが構築した。さらに、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。

図-1に統合したデータを一部エリア可視化したものを示す。渋滞統計データは、主要幹線道路をカバーしてい

るのに対して、その他のデータが街路などをカバーしており、それぞれのデータが補完し合うことで分解能の高いデータを構築した。また、データカバー率が向上し、全時間帯のネットワークカバー率は、表-1に示す通り 74%程度にまで向上した。

(3) ベイズ更新によるデータ融合手法

本章の2節で統合したデータについて、ベイズ更新による手法を用いて、速度情報の融合を行う。本研究では、情報が速度区分で表現されている、渋滞統計データを事前分布とし、他3種類（プローブデータ+NAVITIME）の速度情報の平均を期待値として与える。

リンク毎のプローブデータの速度情報が、 n 種存在するとき（本研究では最大3種類）、このデータが式 (1a) の正規分布に従うと仮定する。

$$N = \left(\bar{x}, \sigma_o^2 \right) \quad (1a)$$

ここに、

\bar{x} : プローブ速度の平均(期待値) σ_o^2 : 速度の分散

求めたい速度 μ_0 の事前分布を渋滞統計データとしたとき、式 (1b) の正規分布に従うと仮定する。

$$N = \left(\mu_o, \sigma_o^2 \right) \quad (1b)$$

ここに、

μ_o : 渋滞統計データの速度 σ_o^2 : 速度の分散

ここで、求めたい速度 μ_1 は事後分布であるのでベイズ更新後の期待値 = 旅行速度は次式 (1c) で表わされる。

$$N = \left(\mu_1, \sigma_1^2 \right) \quad (1c)$$

ここに、

μ_1 : 求めたい速度 σ_1^2 : 旅行速度の分散

以上から、ベイズ更新に用いる事前分布と事後分布を設定し、これをベイズ公式にあてはめると、求めたい事後分布の期待値である速度 μ_1 は、次式 (1d) で算出することができる。すなわち、渋滞統計データを事前分布とし、その他3種の速度の平均と分散から速度 μ_1 を算出している。

$$\mu_1 = \frac{\frac{n\bar{x}}{\sigma^2} + \frac{\mu_o}{\sigma_o^2}}{\frac{n}{\sigma^2} + \frac{1}{\sigma_o^2}} = \frac{n\bar{x}\sigma_o^2 + \mu_o\sigma^2}{n\sigma_o^2 + \sigma^2} \quad (1d)$$

ここに、

μ_1 : ベイズ更新後の速度 n : プローブデータ数

以上からDRMのリンクベースに統合した複数のデータをベイズ更新を用いて融合を行った。以降融合したデータベースを用いて分析を行う。

4. 経路選択モデルの構築

(1) 震災時におけるドライバーの利用経路の特定

まず、震災時におけるドライバーの利用経路の特定を行う。ここでは、3章2節において既にDRMリンクベースへのマップマッチングを行っているNAVITIMEジャパンの点列データを用いる。

参考として東京駅～永代橋を起終点としたODペアを図-2に示す。ここで示したODペアに対して、ユーザの利用した経路でODペアの起点と終点を含んでいるものを同一ODペアのトリップと仮定し、各経路間での走行距離と所要時間を比較した(表-2参照)。なお、ODペア間での経路比較をした時間帯は、震災発生後渋滞が慢性化した18時台に出発したトリップを用いて比較を行った。

その結果、迂回経路の所要時間と距離の関係をみると、ルートCが平常時における最短経路を選択している。ここで、Bを選択したユーザに着目すると、主要幹線道路の渋滞を迂回するように細道路を使用し、通常時の最短経路以外の経路を選択しているにも関わらず、所要時間がルートCより短くなっていることから渋滞の迂回に成功していると言える。また、渋滞迂回失敗例としては、ルートDとEである。この2種類の経路を選択したユーザは、細道路を利用しているが、所要時間が他の経路に比べて長くなっていることが分かる。このような、震災時特有の渋滞を迂回する交通によって走行台キロが増加することによって、渋滞を助長させた可能性は極めて高いと考えられる。

(2) 経路選択モデルの構築

NAVITIMEジャパンの点列データからは、実際ドライバーが選択した経路情報は正確に把握することができるが、選択されなかった経路については情報を得ることができない。しかし、経路選択行動を分析するためには、代替経路の情報を知る必要がある。

そこで本研究では3章3節で構築した、渋滞データベースを用いてリンクコストテーブルの構築を行う。なお、通常時、震災時と5分毎のリンク所要時間を使用し、二種類のリンクコストテーブルの構築を行う。ここで、構築したリンクコストテーブルを用いて、前述した三輪ら¹⁰⁾の経路選択モデルのアプローチを参考とし、スケールパラメータを用いたMNLモデルの構築を行う。



図-2 参考ODペア (東京駅～永代橋)

表-2 同一ODペアの経路情報の比較

ルート	経路長 (km)	震災時 所要時間 (分)	平常時 所要時間 (分)	所要時間 (震災-平常) (分)
ルートA	2.8	190	8	182
ルートB	2.9	171	11	160
ルートC	2.4	178	8	170
ルートD	2.8	228	8	220
ルートE	3.1	263	12	251

表-3 経路選択モデルパラメータ推定結果

説明変数	震災時		平常時	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
スケールパラメータ	-0.859	-19.9	-0.776	-20.3
行先リンクの渋滞発生回数	-4.33	-9.5	-1.812	-4.2
都道利用率	15.671	5.3	4.887	8.7
国道利用率	17.994	6.4	9.551	9.8
旅行時間	-0.272	-5.7	-0.188	-14.6
右左折回数	-0.194	-6.1	-0.443	-11.2
初期尤度	-5433.965		-4985.759	
最終尤度	-4733.294		-4389.455	
修正済尤度比	0.175		0.1452	

ODペア間の経路kを選択することで得られる誤差項であるスケールパラメータ μ を構造化した式(2a)が与えられ、 $\alpha=1$ のとき式(2b)から μ_{rs} が求められる。

$$\mu_{rs} = \frac{\pi}{\sqrt{\sigma}} D_{rs}^{\alpha} \quad (2a)$$

$$\mu_{rs} = \frac{\theta\pi}{\sqrt{\sigma}} \frac{1}{D_{rs}} \quad (2b)$$

ここに、 D_{rs} は、OD内の最短経路とした。

以上からスケールパラメータを構造化し、次式(2c)から、複数のODペアをプールし、MNLモデルで推定を行った。

$$p_i = \frac{\exp^{\mu V_i}}{\sum_i \exp^{\mu V_i}} \quad (2c)$$

(3) 経路選択モデルの推定結果

経路選択モデルのパラメータ推定結果を表-3に示す。説明変数には、都道及び国道の利用率、と旅行時間、右左折回数に加えて、震災時の渋滞状況影響を表現するため、行き先リンクでの渋滞回数を用いた。両モデルともパラメータの符号は正しく統計的に優位な値である。また、震災時の精度が平常時より高くなった。また、震災時の特性として、行き先リンクの渋滞発生回数は、平常時に比べて感度が高く、ドライバーが渋滞状況を加味して経路選択行っていたと考えられる。

さらに、震災時の実利用経路と推定したモデルで使用した選択確率 10%以上の経路を同 OD ペアに関して図-3に示す。図-3に示すように、推定した経路は、渋滞の発生回数の少ない路地に迂回する傾向がみられた。また、選択確率が 10%以上となる経路は 4 経路となった。震災時における実選択経路で該当 OD ペアでは 7 経路確認されている。なお、OD 間の旅行時間は、最短経路である震災時実利用経路の 178 分に対して、推定した経路を走行した場合は、195 分となった。震災時のモデルの全体傾向として、渋滞が発生していない、細道路を利用する傾向が見られた。また、平常時の経路選択モデルにおいても、一般道で交通混雑が発生する 18 時台のデータを用いていることから、渋滞を迂回するような細道路の利用が確認された。

5. おわりに

本研究では、複数のプローブデータや車両感知器のデータを統合し、ベイズ更新を用いて融合を行った。また、NAVIIME ジャパンの点列データから、震災時のドライバーの利用経路の特定を行い、同一 OD ペア間での利用経路の違いについて考察を行った。さらに、構築したデータベースを用いて震災時、平常時の経路選択モデルを構築した。構築したモデルから、震災時の渋滞を迂回する動きと同様の経路選択行動を確認した。

今後は、本研究で構築した経路選択モデルについて、OD ペアのサンプリング時のトリップ長さや、モデル精度などの詳細な検証を重ね、現状の課題を整理し、震災時における逐次経路選択モデルの構築を考えている。



図-3 推定モデルと実経路の比較

参考文献

- 1) 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基づく都区道路のボトルネック箇所の考察, 土木計画学論文集 D3, Vol.70, No.5, 2014.
- 2) 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流出入交通の一般道への影響分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.48, pp175.2013.
- 3) 清田裕太郎, 月舘権二, 岩倉成志, 野中康弘: プロ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, 第34回交通工学研究発表会, pp.37-45, 2014.
- 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) 大島大輔, 大口敬: シングルグリッドネットワークにおけるグリッドロック現象の発生条件, 土木計画学研究・論文集 Vol.70, No.5, 2014.
- 6) 王立暁, 姜美蘭, 山本俊行, 森川高行: プロブデータと 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 三輪富生, 森川高行, 倉内慎也: プロブカーデータを用いた動的な経路選択行動に関する基礎的研究, 土木計画学研究論文集, Vol.22 No.3, 477-486
- 10) 東京都建設局道路管理部: 東京都道路現況調査, 2013.