

再帰型ロジットモデルを適用した 災害時における経路選択行動の分析

本山 莉紗子¹・岩倉 成志²・野中 康弘³

¹学生会員 芝浦工業大学大学院 建設工学専攻 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)

E-mail:ME17105@shibaura-it.ac.jp

²正会員 芝浦工業大学教授 (〒135-8548 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:y_nonaka@doro.co.jp

再帰型ロジットモデルは選択肢集合を与えずにパラメータ推定をできるため、道路ネットワーク上での経路選択行動分析への適用に向け、研究が進められている。本研究では、逐次意思決定がされており、平常時より経路選択肢が多かったと考えられる災害時の経路選択要因分析のために適用する。簡単な格子ネットワーク上で再帰型ロジットモデルによって、グリッドロックによる道路サービス水準の変化が経路選択に及ぼす影響を表現できた。

Key Words :Route choice model, recursive logit model, route choice, Disaster network

1. はじめに

(1) 研究背景と目的

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震が発生し、東京23区内では最大震度5弱を観測した。地震発生直後、高速道路は緊急点検のため、全線通行止めになり、翌12日の1時から徐々に通行止めが解除された。この約半日に及ぶ高速道路全線通行止めに伴って、一般道では交通量が増加し、緊急車両の通行をきたす程のグリッドロック現象が発生した。これは、大きく迂回して走行したことによる走行台キロの増加が一因と考える。また、警視庁は必要に応じて震度5強で交通規制をかけることを発表している¹⁾。交通規制内容の詳細は表1を参照されたい。このことから、今後確実視されている南海トラフ地震や首都直下型地震で交通規制をかけた場合、震災当日に緊急自動車専用道に指定されている国道246号線等の7路線を通行していた一般車両は、他の経路を選択することになり、震災時以上に迂回するドライバーが増加すると考えられる。よって、非常時はカーナビなどでの情報でドライバーを上手に誘導することで迂回行動を抑制し、走行台キロを軽減させることが重要である。そのためには、震災時特有のドライバーの経路選択特性を分析する必要がある。また、東日本大震災時には迂回行動

表1 地震発生時の交通規制

震度	規制道路	規制内容
震度5強	環状7号線	都心方向へ流入を禁止
	環状8号線	都心方向への流入を抑制
震度6弱以上	環状7号線	都心方向へ流入を禁止
	環状8号線	都心方向への流入を抑制
	緊急自動車専用路に指定されている7路線	緊急自動車以外の車両の通行禁止
	緊急交通路に指定されている38路線	災害応急対策に従事する車両以外通行禁止

が見られたことから、ドライバーは近視的な道路状況から経路選択をしていたと考えられる。より詳細な分析をするためには、当時時々刻々と変化していた道路状況を反映させる必要があると考える。

通常のロジットモデルではパスの選択肢集合を与える必要があり、選択肢が膨大にある道路ネットワークでは推定が困難であった。しかし、Fosgerau²⁾が提案した逐次選択を繰り返す再帰型ロジットモデル (Recursive Logit model 以下、RLモデル) は、選択肢集合を列挙することなく、選択肢が膨大にある道路ネットワークでの推定が可能である。

そこで、本研究では、RLモデルを用いて実道路ネットワーク上において、時々刻々と変化する道路状況を反映した震災当日のドライバーの経路選択モデルを構築することを目的とする。

力石ら³⁾、金子ら⁴⁾や大山ら⁵⁾は、実道路ネットワーク

上において RL モデルの適用可能性を示し、実ネットワークに適用する際の課題点を以下のように指摘している。

- ・ 経路集合を与えないことによる膨大な周回経路が発生する点
- ・ パラメータ推定の可否は初期値に大きく依存している点
- ・ IIA 特性を考慮したモデルの検討
- ・ 巨大な逆行列計算に対応するための計算アルゴリズムの高速化

また、大山ら⁵⁾は災害時には近視眼的経路選択行動を取っているという仮定の下、空間割引率 β を導入した一般化 RL モデルを提案し、 β の導入により β が周回経路の発生に影響を与えることを明らかにした。さらに、ケーススタディとして、一般化 RL モデルを東日本大震災時に適用し、災害時には近視的な意思決定が重視されていることを示した。災害時には近視的な意思決定がされることを考えると災害時の行動分析をする上で、サンプルが行動をしていた時間の道路状況に合わせた LOS を使用して分析する必要がある。しかし、力石ら³⁾と金子ら⁴⁾は時間経過による道路状況の変化を考慮せずに、静的なネットワークでパラメータ推定をしている。大山ら⁵⁾は、東日本大震災の道路状況の変化を考慮するために 1 時間帯ごとに LOS を変えて分析をしている。従って、東日本大震災時の時々刻々と変化する道路状況を捉えた LOS で経路選択行動分析を行った研究はないと思われる。このことから本稿では、LOS を逐次更新しながらドライバーの行動分析をすることに研究の新規性があると考え

る。本稿では、デジタル道路地図（以下 DRM とする）ネットワークを模した有向格子ネットワーク上でグリッドロックが経路選択に与える影響を分析するために、2 章でグリッドロック発生・延伸による経路選択確率の変化の分析を行う。そして、3 章ではケーススタディとして、東日本大震災時のデータを使用して、RL モデルを用いてパラメータ推定を行う。4 章で本研究の整理をし、5 章で今後の展望について述べる。

2. グリッドロック発生・延伸による選択経路の変化の分析

この章では DRM を模した有向格子ネットワーク上で、ある交差点でグリッドロックが発生したと仮定したときのグリッドロック発生前から延伸までの経路選択確率の変動を分析する。

(1) 分析対象

ネットワークは図 1 に示す。ノード数は 36 ノードあり、図 1 の緑枠は交差点を表わしている。交差点内リンク長

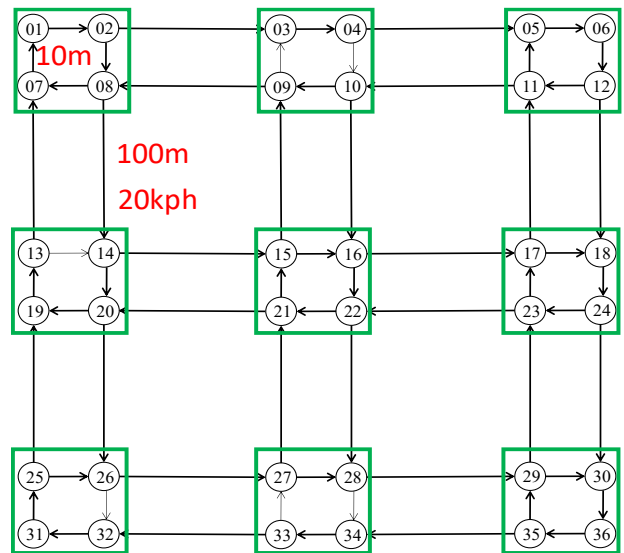


図 1 平常時を仮定した格子ネットワーク

は 10m、交差点間リンク長は 100m とセットする。道路サービス水準のベースは時速 20km/h とする。グリッドロック発生を仮定したリンクに関しては、リンク速度を 2km/h とした。

経路選択確率算出経路は、ノード 1 からネットワークに流入し、ノード 36 から流出する 154 経路の経路選択確率の変動を分析する。なお、この 154 経路は同じノードを 2 回以上通過しない経路であり、ZDD により算出した。つまり、154 経路は交差点および街区での周回を含まない経路となっている。

(2) 分析方法

経路選択確率算出は、RL モデルを用いて算出する。あるドライバーの経路 σ は RL モデルでは式(1)で表される。

$$P(\sigma) = e^{-\frac{1}{\mu}V(k_0)} \prod_{i=0}^{l-1} e^{\frac{1}{\mu}v(k_{i+1}|k_i)} \quad (1)$$

ここで、 μ : スケールパラメータ、 v_n : 各リンク間の効用、 v_n^d : 候補経路のログサムである。

確率算出の際に用いた効用関数 v_n は式(2)である。

$$v_n = -0.1T \quad (2)$$

ここで、 T はリンク所要時間である。

分析の手順は以下のとおりである。

- 平常時（図 2A）の経路選択確率を算出する
- グリッドロックが発生したと仮定して経路選択確率を算出する（図 2B）

図 2B) のノード 17, 18, 23, 24 の交差点でグリッドロックが発生したと想定する。

- グリッドロック延伸を仮定して経路選択確率を算出する（図 2C）
- さらにグリッドロックが延伸したと仮定して経路

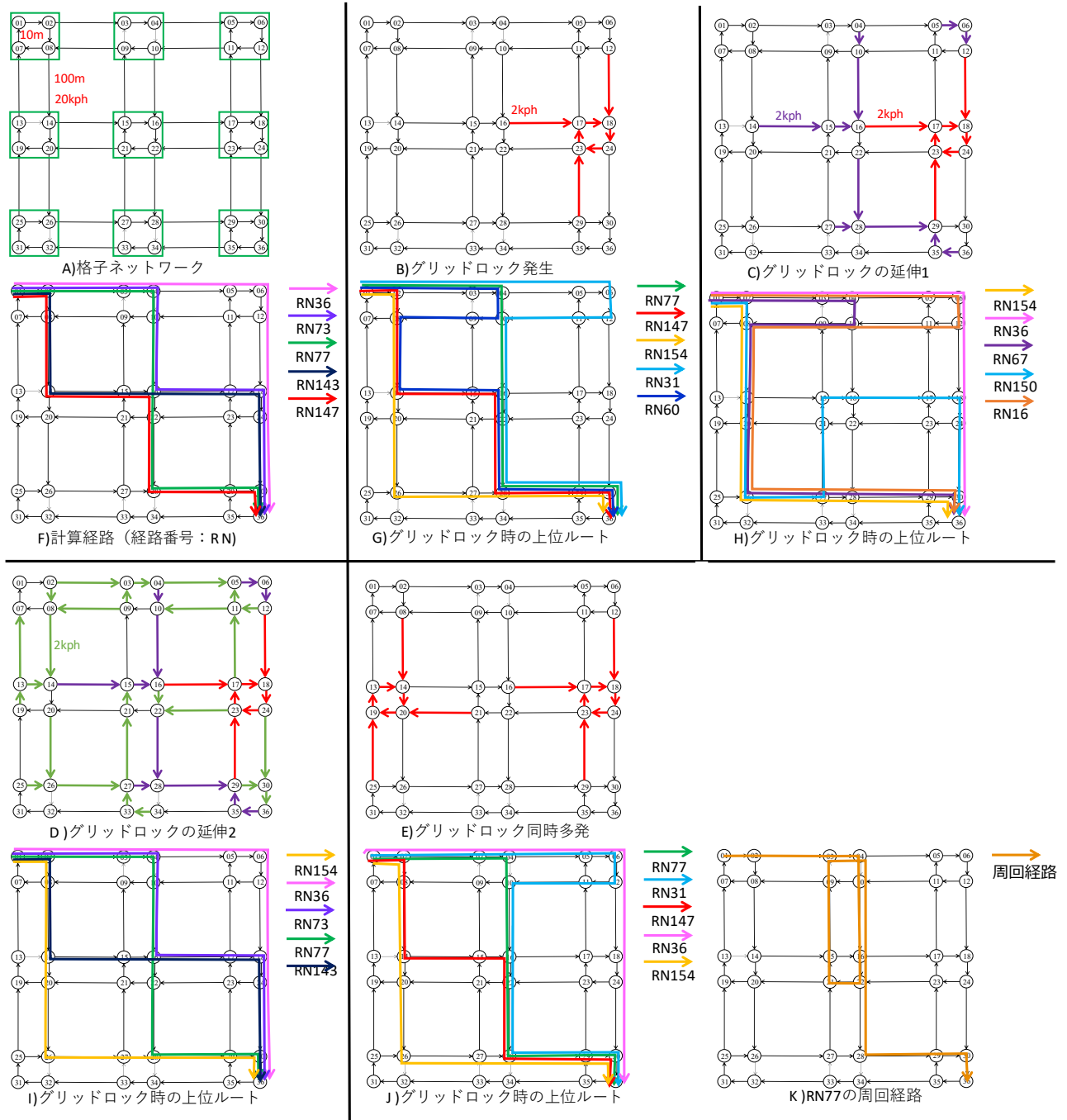


図2 各道路状況における選択確率上位5経路

選択確率の算出する (図 2D))

- e) グリッドロックが同時多発したと仮定して経路選択確率を算出する (図 2E))

このa) からe) で算出された確率を比較し、グリッドロック発生時の経路選択の分析を行う。

(3) 分析結果

各段階での選択確率の上位5経路を図 2F)~J)に、選択確率を表3に示す。

- a) 平常時

各リンクの速度は同一にしてあるため、主要経路の選

択確率が同一となっている。

今回確率算出に使用した154経路の合計選択確率は1.0にはならなかった。これは、RLモデルは周回を含む全経路からセットした経路の選択確率を算出しているためである。これにより、RLモデルは選択し得ない周回経路も選択肢の中に含んでしまうことを示した。

- b) グリッドロック発生時

図 2F)とG)を比較すると、ノード17, 18, 23, 24を通過する経路の選択確率が低下し、迂回する経路 (RN31, RN60) が上位に選択される可能性があることがわかる。加えて、表 3よりRN77, RN147, RN154の選択確率が上

表3 各道路状況における経路選択確率

A)平常時			B)グリッドロック発生		C)グリッドロック延伸1		D)グリッドロック延伸2		E)グリッドロック同時多発	
順位	経路番号	経路確率	経路番号	経路確率	経路番号	経路確率	経路番号	経路確率	経路番号	経路確率
1	RN36	0.0031	RN77	0.0075	RN154	0.1082	RN154	0.4226	RN77	0.0271
2	RN73	0.0031	RN147	0.0075	RN36	0.0042	RN36	0.0836	RN31	0.0005
3	RN77	0.0031	RN154	0.0075	RN67	0.0004	RN73	0.0836	RN147	2.E-09
4	RN143	0.0031	RN31	0.0001	RN150	0.0001	RN77	0.0836	RN36	5.E-10
5	RN147	0.0031	RN60	0.0001	RN16	2.E-06	RN143	0.0836	RN154	5.E-10
154経路の合計選択確率		0.0200			0.0236			0.1130	0.8407	
周回経路の合計選択確率		0.9800			0.9764			0.8870	0.1593	

昇した。

c) グリッドロック延伸1

グリッドロックが延伸すると、選択確率は低いもののRN16やRN150の経路が出現している。RN154の経路はグリッドロックの影響を受けないリンクを選択しているため、グリッドロック発生時よりも選択確率が上昇している。

d) グリッドロック延伸2

さらにグリッドロックが延伸し、ネットワークのほぼ全域がグリッドロック状態になると、上位に選択される経路は平常時と同じような経路となる。つまり、ドライバーは身動きが取れないような状況下では、流れている道路を選択しようとはせずに、最短経路を選択する可能性があることが示唆される。周回経路の合計確率がグリッドロック延伸1時点よりも減少していることから示唆される。

e) グリッドロック同時多発

グリッドロックが同時多発した場合、1か所でグリッドロックが発生した場合と同様、速度が低下しているリンクを通過しない経路（RN77, RN31）の確率が高く算出された。また、速度が低下していないリンクを通過する経路の選択確率がどれくらいか確認するために、RN77の経路がノード22で右折し、ノード21→15→9→3を通り、再びRN77の経路を辿る図2Kの周回経路の選択確率を算出したところ、0.00025となった。このことから、複数グリッドロック発生時でも、速度が低下していないリンク同士が接続されている場合、RLモデルでは周回経路の確率が高く算出されてしまうことがわかる。

以上より、簡単な格子ネットワークではあるが、RLモデルによって、グリッドロックによる道路サービス水準の変化が経路選択に及ぼす影響が表現できることを示した。

表2 データ概要

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
HITACHI タクシープローブ	5分	リンク旅行時間(秒)	有	リンク速度(km/h)
民間プローブ	15分	リンク旅行時間(秒)	有	リンク速度(km/h)
NAVITIME 点列データ	秒単位	リンク旅行時間(秒) 経路情報	無	リンク速度(km/h) 経路情報
JARTIC 渋滞統計データ	5分	速度区分から算出したリンク旅行時間(秒)	無	速度区分 (10km/h,20km/h,50km/h)
三者統合データ	5分	-	-	リンク速度(km/h)
統合データ	5分	-	-	リンク速度(km/h)

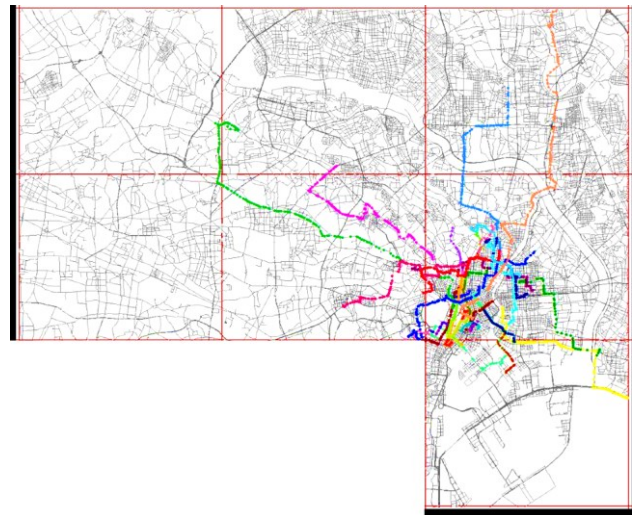


図3 分析対象範囲と経路

3. ケーススタディー

ケーススタディーとして東日本大震災時のデータを使用し、RLモデルを適用してパラメータ推定を行う。

(1) データ概要

データ概要を表2に示す。RLモデルのパラメータ推定にはリンクデータと実績経路データが必要である。

リンクデータの作成手順について説明する。タクシープローブ・民間プローブ・NAVITIME点列データを主計時間区分を5分にし、三者データを調和平均により統合した。(以下、三者統合データとする)次に、三社統合データではデータの欠損が多いため、欠損しているリンクには、前後5分間のリンク速度との関係を考慮して、

JARTIC渋滞統計データの10km/h, 20km/h, 50km/hで補完し、リンクデータとして用いる統合データを作成した。

実績経路データはNAVITIME点列データをDRMネットワークにマッチングさせて、作成した。

(2) 分析対象

分析対象メッシュは2次メッシュコード533936, 533944~533846, 533954~533956の7メッシュである。サンプル数は31サンプルである。

(3) パラメータ推定結果

極めて少ないサンプルでの推定結果であるが、 $V=-0.01009T$ が推定され、Many to Manyでのパラメータ推定が可能であることが明らかになった。ここでTは所要時間(分)である。次に変数でパラメータ推定を行い、 $V=-0.0100628T+0.01043423RD$ が推定された。ここでRDは主要道路ダミーである。t値は算出できなかったが、尤度比0.3を得ている。少ないサンプル数での推定であるため、パラメータの信頼性を評価することはできない。さらに、逆行列算出際に0除算されている可能性があり、初期尤度が算出できないという課題を抱えている。今後はサンプル数を拡大させて、初期尤度算出の課題を分析していきたい。

4. まとめ

格子ネットワーク上にグリッドロックを発生・延伸させたことにより、グリッドロックによる道路サービス水準の変化が経路選択確率に及ぼす影響をRLモデルで表現できた。また、既往研究で指摘されていたRLモデルの周回問題について、グリッドロック発生ネットワーク上でも確認ができた。災害時は実際に周回した経路があると考えられるが、モデル上で選択可能性のある周回経路と選択可能性が低い周回経路の線引きを如何にするかが課題である考える。

ケーススタディとして、RLモデルを東日本大震災時

の経路選択要因の分析に適用した。本研究ではRLモデルがMany to Manyで推定可能であることを示せた。本研究でのパラメータ推定は十分なサンプル数が確保できていない中で行った。発表ではサンプル数を拡大させ、パラメータの信頼性の評価を行いたい。また、研究目的であったLOSを逐次更新しながらパラメータ推定する段階まで至らなかった。この点についてもプログラムを作成し、発表でパラメータ推定結果を示したい。最後に、本研究で使用したリンクデータは欠損が非常に多いため、データ欠損リンクのリンク所要時間を如何にして補完し、当時の道路状況に近いネットワークを作成するかが今後の課題である。

謝辞：本研究は、(一財)日本デジタル道路地図協会の研究助成を得て実施している。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 警視庁 HP,
http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kurashi/saigai/shinsai_kisei/index.html, 2018.7
- 2) Mogens Fosgerau, Emma Frajinger, Anders Karlstrom : A link based network route choice model with unrestricted choice set, Transportation Research Part B, Vol.56, pp.70-80, 2013
- 3) 力石真, 田名部淳, 大口敬 : プローブデータを用いた貨物車経路選択行動のモデル分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, Page.196, 2016
- 4) 金子法子, 福田大輔 : リンクベース再起型ロジットモデルの首都圏における経路選択分析の適用, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, Page.194, 2016
- 5) 大山雄己, 羽藤英二 : 一般化RLモデルを用いた災害時の経路選択行動分析, 交通工学論文集, 第3巻, 第5号, pp1-10, 2017.7

(?)

ANALYSIS OF ROUTE CHOICE BEHAVIOR IN TOKYO AFTER THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE USING A RECURSIVE LOGIT MODEL

Risako MOTOYAMA, Seiji IWAKURA and Yasuhiro NONAKA