

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

清田 裕太郎¹・野中 康弘²・岩倉 成志³

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

³正会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒135-8584 東京都江東区豊洲3-7-5)

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

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が発生した。発災時において首都高速は速やかに一般交通を排除し、緊急輸送道路としての機能確保が求められるため、震災時等における首都高速出入口付近の交通現象を解明し、都市道路ネットワーク全体の交通運用方法のあり方を検討することが重要である。

本研究では、東日本大震災時において首都高速の流出入交通が一般道の交通状況に与えた影響を5分毎の日本道路交通情報センターの一般道渋滞状況データと首都高速出入口の車両感知器とを用いて定量的に検証する。

Key Words : traffic gridlock, Great East Japan Earthquake, Tokyo metropolitan expressway

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ける都区内の交通混乱は記憶に新しい。近い将来発生が確実視される南海トラフ巨大地震および首都直下地震等を念頭に置いた防災対策が東日本大震災後に多く見直された。内閣府・文部科学省ではこれらの地震震度分布の想定を見直し、いずれも強い地震動の範囲が従来想定より拡大する予想を2012年3月末に発表した¹⁾。一方、中央防災会議、東京都、国土交通省、警視庁、交通事業者により大規模震災時に発生する交通の混乱や帰宅困難者等の課題に対する検討が進められ2012年9月に首都直下地震帰宅困難者等対策協議会の最終報告がまとめられている²⁾。

警視庁は2012年3月初旬に震度6弱以上及び震度5強の大地震が発生した際の交通規制見直しを発表し、人命救助・消火活動等に從事する緊急自動車等を円滑に通すための交通規制として、環状7号線内側方向への一般車両の通行禁止、環状8号線から都心方向への一般車両の流入抑制、首都高速をはじめとする緊急自動車専用路の一般車両の通行禁止を謳っており、首都高速を通行中の一般車両にあつては、交通情報板や警察官等の誘導に従って付近の出口から降りるよう促している³⁾。

首都高速は発災時において緊急輸送道路としての機能を速やかに確保することが求められ、東日本震災時における首都高速出入口付近の交通現象の解明を通して、都市道路ネットワーク全体の交通運用方法のあり方を検討する意義は大きい。筆者ら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、発災直後の渋滞発生要因として首都高速の通行止めの影響を指摘した⁴⁾。しかし、タクシープローブデータは時空間的分解能が低いことから、より詳細に渋滞現象を分析するため、首都高速の車両感知器データと日本道路交通情報センターの一般道渋滞状況データを用いて、入口閉鎖と近傍出口での流出を促す情報提供に伴う一般道の交通量及び渋滞規模の状況に分析の重点を置き、首都高速流出入交通が一般道のグリッドロック現象に及ぼした影響について複数の指標により検証を行った⁵⁾。

本研究では、上記分析における評価指標の客観性を高めたうえで、首都高速の流出入交通が渋滞拡大の要因となった可能性のある出入口を特定する。あわせて、東日本大震災が発生した時間帯以外に同規模の地震が発生した場合を想定し、首都高速の流出入交通の影響を強く受ける可能性のある時間帯について検討する。

2. 分析データ

(1) 首都高速車両感知器データの概要

首都高速の車両感知器は、主に交通状態や所要時間情報を提供することを目的として、高速本線上と出入口口に設置されている。本研究では都心環状線の出入口に設置されている車両感知器データを使用する。出入口車両感知器データからは、5分毎の交通量(q)、占有率(Occ)を取得する。ただし、車両感知器は出入口毎に設置されているものの、設置位置は明確ではない。

(2) 一般道渋滞状況データの概要

日本道路交通情報センターから提供される一般道の渋滞情報データを使用する。一般道の渋滞状況は当該センターのビューアで確認できる。5分毎の平均速度によって区分され、20km/h以下は混雑状態として黄色で描写、10km/h以下は渋滞状態として赤色で描写される。描写される渋滞をビューア上で選択することで、渋滞長に関する情報が取得できるシステムとなっている。

なお、分析対象日は通常時と震災時の比較を行うため2011年3月4日(通常時)と同年3月11日(震災時)を対象とする。また、分析対象時間帯は、発災前と発災直後の渋滞状況を把握するため14:00～17:00を分析対象時間とする。

3. 分析方法

東日本大震災時に首都高速流入交通が一般道の交通状況に及ぼした影響を検証するにあたって、首都高速の車両感知器データを用いて、首都高速流入交通の影響指標を検討する。接続一般道に対して交通量増減に寄与する出口と入口の関連付けを行い、出入口の車両感知器から取得した流入交通量の推移を整理したうえで、発災後の1時間(14:45-15:45)を対象に首都高速の入口閉鎖に伴い一般道の利用を強いられた、本来は首都高速に流入する交通量(本研究では交通負荷量という)を算出する。

次に、一般道の渋滞状況データを用いて、通常日と震災日の渋滞長データを比較し、通常時の渋滞状況に対して、発災直後の時間帯における渋滞状況の悪化の程度を定量化する。これらの指標から、首都高速の流入交通が一般道の交通状況に影響を及ぼした可能性のある出入口を特定する。

(1) 首都高速流入交通の交通負荷量の算出

首都高速流入交通が一般道に及ぼす交通負荷量の算出方法を説明する。図-1から通常時(3月4日)の流入交通量を Q_{in} 、震災時において首都高速の入口閉鎖に伴い流入することのできなかつた交通量を Q'_{in} とする。

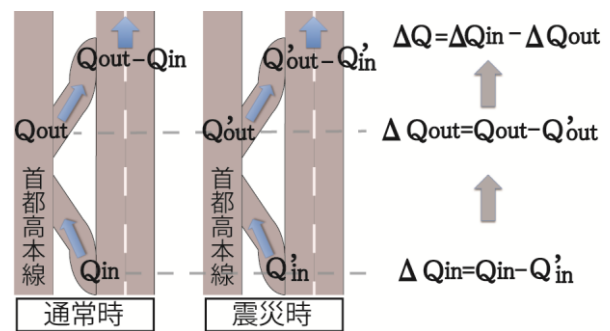


図-1 首都高速流入交通の交通負荷量算出の概念

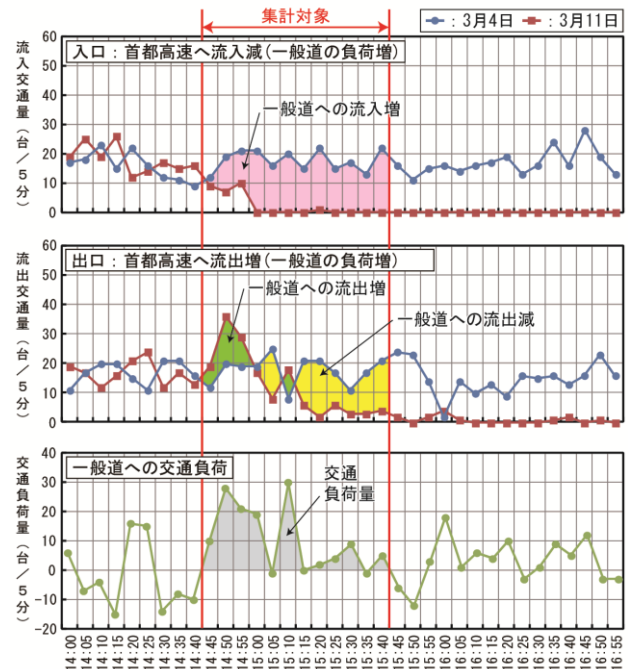


図-2 一般道の交通負荷量(飯倉流入交通)

同様に流出交通量を通常時は Q_{out} 、震災時は Q'_{out} とすると、それぞれの関係は次のように表わすことができ、 ΔQ が震災時における一般道への交通負荷量として算出される。

[交通負荷量(ΔQ)算出式]

$$\Delta Q_{in} = Q_{in} - Q'_{in} \quad (\text{震災時流入交通量変化})$$

$$\Delta Q_{out} = Q_{out} - Q'_{out} \quad (\text{震災時流出交通量変化})$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{in} - \Delta Q_{out} \quad (\text{交通負荷量})$$

ここに、

Q_{in} : 通常時流入交通量 Q'_{in} : 震災時流入交通量

Q_{out} : 通常時流出交通量 Q'_{out} : 震災時流出交通量

飯倉出入口の事例を図-2に示し、交通負荷量の算出方法を具体的に説明する。通常時の流入交通量 Q_{in} と震災

時における流入交通量 Q_{in} の差である流入交通量差 ΔQ_{in} を求めると、図-2上段の赤着色部が震災時における一般道への流入増となる。同様に、通常時の流出交通量 Q_{out} と震災時における流出交通量 Q'_{out} の差である流出交通量差 ΔQ_{out} を求める。図-2中段の緑着色部が一般道への流出増、黄着色部が一般道への流出減となり、震災時における一般道への流出増はこの差分をもって算出される。以上の結果から、流入交通量差 ΔQ_{in} と流出交通量差 ΔQ_{out} により交通負荷量 ΔQ を求めると、図-2下段の灰着色部が得られる。

(1) 一般道渋滞状況の増加率の算出

飯倉出入口を例として、一般道渋滞状況の評価方法について説明する。通常時(3月4日)と震災時(3月11日)における日本道路交通情報センターの一般道渋滞状況(渋滞図)を時系列で比較して図-3に示す。震災時には15時に飯倉出入口間に位置する飯倉片町交差点において渋滞の発生が確認できる。発災直前の14時30分から14時45分にも出入口周辺で一時的な渋滞が観測されているが、発災直後に発生した渋滞が広域に拡大していく様子がみてとれる。一方、通常時(3月4日)同時刻の飯倉出入口周辺において渋滞は発生しているものの、震災発生後と同規模の渋滞が発生していないことが確認できる。なお、図-4は飯倉入口と飯倉出口を結ぶ延長線上にある飯倉片町交差点を先頭とする渋滞長の推移を通常時と震災時で比較したものであるが、これからも震災時の渋滞が通常時の渋滞に対して、発災直後から相対的に拡大している様子がわかる。

一般道渋滞状況の評価にあたっては、上記の渋滞状況の変化を定量化することが必要である。渋滞の評価には最大渋滞長評価や渋滞量評価など様々なものがあるが、本研究では発災後の飯倉に着目し、この時間帯で推移する時間帯別渋滞長の最大値を比較する。震災当日の14:45~15:40に接続交差点で発生した最大渋滞長を指標e、同様に通常時の同時刻の最大渋滞長を指標fとし、震災時の最大渋滞長を通常時の最大渋滞長で除し算出したものを指標gとして評価する。ここで指標gは、震災時における最大渋滞長が通常時の同一時間帯の最大渋滞長の何倍であるかを表す指標となる。

4. 首都高速流出入交通の一般道への影響分析

前項までの分析方法により、震災時における首都高速の流出入交通が高速出口付近の一般道へ及ぼす影響を分析した結果を表-1に示す。

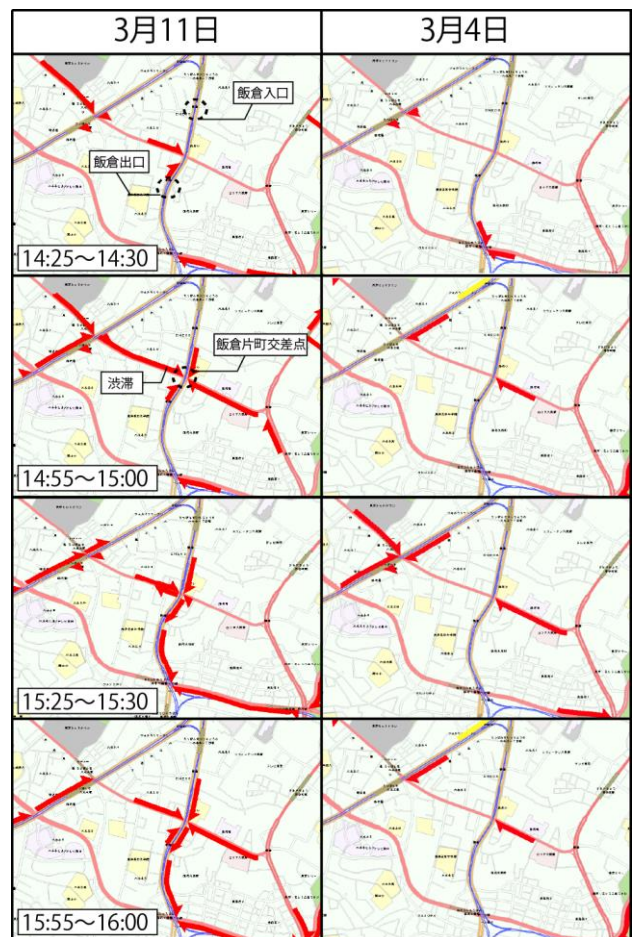


図-3 3月4日(通常日)3月11日(震災日)の飯倉入口付近交通状況比較

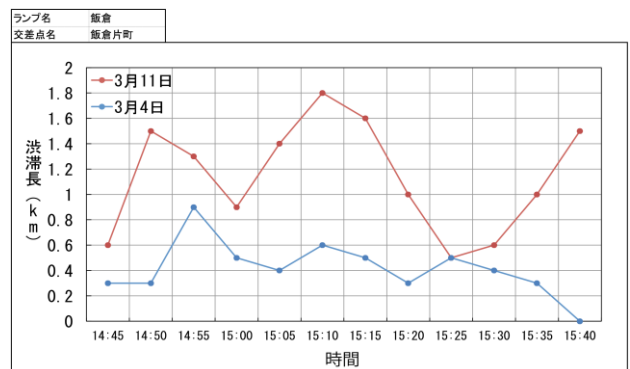


図-4 飯倉片町交差点渋滞長推移

(1) 交通負荷量による評価

首都高速都心環状線を対象とした ΔQ_{out} (指標a)、 ΔQ_{in} (指標b)、 ΔQ (指標c)の算出結果を表-1に整理する。 ΔQ_{out} は、交通負荷量(ΔQ)の算出式をみるとわかるように負の値であるのため、各出口の流出交通は、通常時に比べて減少傾向にあることがわかる。このことから、発災後に首都高速から離脱した流出交通量が増加したことにより首都高速周辺一般道の渋滞が悪化したわけではなく ΔQ_{in} である首都高速に流入することができなかつ

表-1 首都高速都心環状線の一般道交通負荷指標

※新富町は入口なし、神田橋は出口を誤封鎖

			影響あり				影響なし							
			霞が関(外)	飯倉	江戸橋	京橋	新富町	銀座	芝公園(内)	芝公園(外)	代官町	呉服橋	宝町	神田橋
首都高速	a	代表IC名												
		ΔQ_{out} 台/時	346	60	11	49	76	123	156	58	80	82	107	40
	b	ΔQ_{in} 台/時	573	186	149	229	0	324	333	317	270	121	174	170
	c	ΔQ (交通負荷量) 台/時	227	126	138	180	-76	201	177	259	190	39	67	130
一般道路	d	V' out(直後/直前)	0.91	0.66	0.90	0.80	0.92	1.12	1.02	1.01	0.79	0.89	1.14	0.48
		道路名	六本木通り	外苑東通り	昭通	昭通	新大橋通り	晴海通り	日比谷通り	桜田通り	内堀通り	外堀通り	八重洲口前通り	本郷通り
		交差点名	財務省上	飯倉片町	江戸橋北	宝町	入船橋	万年橋	芝公園グランド前	赤羽橋南	竹橋	呉服橋	宝町入口ランプ	神田橋
	e	最大渋滞長(3.11) km	0.4	1.8	2.2	1.4	1.5	0.3	1.9	0.9	0.9	1.4	0.9	0.9
	f	最大渋滞長(3.04) km	0.2	0.9	1.0	0.4	0.2	0.0	0.4	0.7	0.0	1.7	0.5	0.9
	g	e/f	2.0	2.0	2.2	3.5	7.5	-	4.8	1.3	-	0.8	1.8	1.0

た交通量の影響大きいことが分かる。また、飯倉出口ランプの速度をみると、発災後は渋滞までには至っていないが、前述した様に交通量が減少しているにもかかわらず、速度が低下している様子がみてとれる(表-1：指標d)。以上のことから発災時における首都高速周辺の一般道では、速度低下はみられるも流出交通量は、通常時に比べ減少していたことから流入交通の影響が強いことが分かる。

出入口周辺の一般道に対する震災時の交通負荷量 ΔQ (指標c)をみると、通常時の出入口間における交通量に対して発災時の交通負荷量が増加していること $a < b$ となっていることから見て取れる。なお、飯倉出入口において通常時の流出入交通量にほとんど差がないことから、通常時に比べ震災時の交通負荷が大きかったことがわかる。このことから震災時において、首都高速入口閉鎖に伴い本線に流入することのできなかった流入交通量 Q'_{in} が通常時より減少していた震災時における流出交通量 Q'_{out} の減少値より大きく、一般道への交通負荷量 ΔQ を増加させたことがわかる。

(2) 渋滞状況による評価

一般道の渋滞状況を図-3、図-4で比較を行い、通常時に震災時と同規模の渋滞が発生していないことを確認し、各接続交差点の震災時の時間内最大渋滞長(指標e)が通常時の最大渋滞長(指標f)の何倍であるかは、 e/f (表-1：指標g)に示す。指標gをみると、震災時において通常時より渋滞長が2倍以上となった交差点は、12箇所中8箇所となった。ほとんどの交差点で震災の影響を受けて通常時に比べて渋滞が拡大したことがわかる。

(3) 首都高速流出入交通が影響した地点の抽出結果

以上のアプローチから、首都高速都心環状線各出入口で同様の検証を行い、表-1の指標に従い発災直後において首都高速の流出入交通が一般道の交通状況に影響を及ぼしたと考えられる出入口として以下の出入口抽出した。指標cの交通負荷量 ΔQ の値が大きい、かつ指標dにおい

て速度低下がみられ、さらに渋滞長指標gが通常時に比べ2倍以上ある出入口を首都高速の流入出交通が一般道に影響を与えた考えられる出入口として抽出した。その結果、都心環状線においては、霞が関(外回)、飯倉、京橋、江戸橋の4箇所が抽出された。なお、新富町は入口が無いので ΔQ_{in} は0となること、神田橋の流出交通に関しては、恐らく現場で判断を誤ったとされる出口の誤封鎖があったことを確認しているため、影響がある出入口と判断した。

5. 交通負荷量が最大となる時間帯の推定

東日本大震災が発生した14時46分という時間帯は朝夕のピークに比べて相対的に交通量の少ない時間帯である。同クラスの地震が別の時間帯で発生すると、各出入口における流出入交通は当然のことながら異なり、発生する渋滞の規模も異なる。したがって、ここでは東日本大震災の発生時間帯以外のどの時間帯で同規模の地震が発生すると、一般道がクリティカルな交通負荷を受けるかについて検討する。

(1) 交通負荷量算出式のモデル化

東日本大震災クラスの発災後における首都高速の対応をみると、一般道交通に対しては入口閉鎖、本線交通に対しては近傍の出口からの流出を促す情報提供となっている。そこで、同クラスの地震が発生する際にも同様の対応をすることを想定し、発災後における首都高速道路流出入交通の時間推移のモデル化を試みる。この際、検討単位時間は1時間とし、したがってモデル化も1時間単位での動向を捉えるものとする。

まず、流入交通に関しては、ほとんどの入口が15:00に閉鎖されていることから、発災後の15分間で入口閉鎖が実行されることを想定する。また、発災から入口閉鎖の間の交通量は漸減傾向にあることから、これを加味す

ると、図-5左に示すように震災時の $\angle Q_{in}$ は通常時のある1時間の Q_{in} の7/8倍程度になると仮定する。次に、流出交通に関して、本線交通の強制流出は行わず、情報提供により近傍の出口からの流出を呼びかけるにとどまっている。これにより、各出口とも震災後約1時間をかけて交通量がゼロになるまで一様に減少する傾向にある。そこで、図-5右に示すように震災時の $\angle Q_{out}$ は通常時のある1時間の Q_{out} の1/2倍程度になると仮定する。以上をまとめると、各時間帯の交通負荷量の推定式は以下のよう考えることができる。

この推定式により、震災当日の交通負荷量を推定し、1時間の交通負荷量の実績値と比較したところ、RMS誤差が25(台/時)程度となり、再現性が高いことを確認している(図-6)。

[交通負荷量($\angle Q$)推定モデル]

$$\angle Q_{in} = \frac{7}{8} q_{in}(h) \quad (\text{震災時流入交通量推定式})$$

$$\angle Q_{out} = \frac{1}{2} q_{out}(h) \quad (\text{震災時流出交通量推定式})$$

$$\angle Q = \angle Q_{in} - \angle Q_{out} \quad (\text{交通負荷量推定式})$$

(2) 発生時間帯別交通負荷量 $\angle Q$ の抽出結果

都心環状線の各出入口における3月3日0時台～3月4日23時台を対象に、上記の推定式から算出した1時間単位の交通負荷量($\angle Q$)を図-7に示す。また、都心環状線の各出入口をエリア別に集計した結果をあわせて図-7に示す。さらに、各出入口の交通負荷量($\angle Q$)の最大値と出現時間帯をまとめて表-2に示す。

表-2から、都心部で一般道の交通負荷量が最も大きな時間帯は、3月3日、4日ともに17時台となる。また、両日ともに9:00～11:00の時間帯でも一般道の交通負荷量が多いことがわかる。各エリア別にみると、北エリアと東エリアにおいても、3月3日、4日ともに17時台となった。しかし、南西エリアでは0時台、南東エリア21:00、23:00台で交通負荷量が最も大きくなった。全体の中で17時台に交通負荷量突出するエリアは北エリアであった。また、17:00台の交通負荷が高いことから14:00～15:00に発生した東日本大震災は、その後の交通負荷最大となる時間帯に大きな影響を与えたことが考えられる。このことから、夕方の交通負荷が増大する昼過ぎから17:00台までに交通負荷量が上昇する最も渋滞が拡大する時間帯だと考察する。一般道においても各時間帯の交通量やそれに伴う一般道の渋滞状況は異なることから、首都高速出入口付近の一般道における各時間帯の渋滞状況もあわせて評価することが必要である。

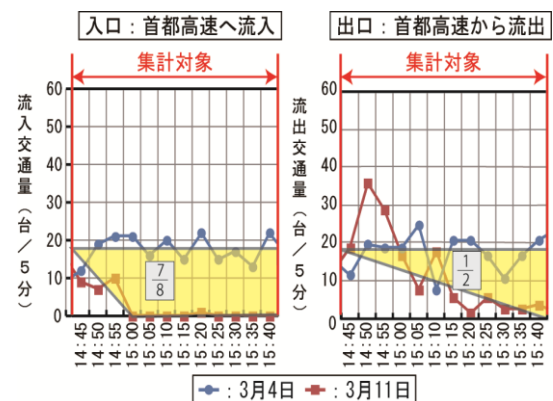


図-5 震災時の流出入交通の推移

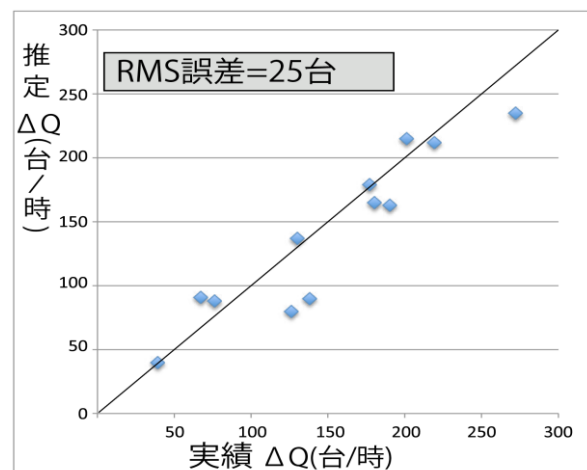


図-6 $\angle Q$ の震災時の実績値と推定値の相関

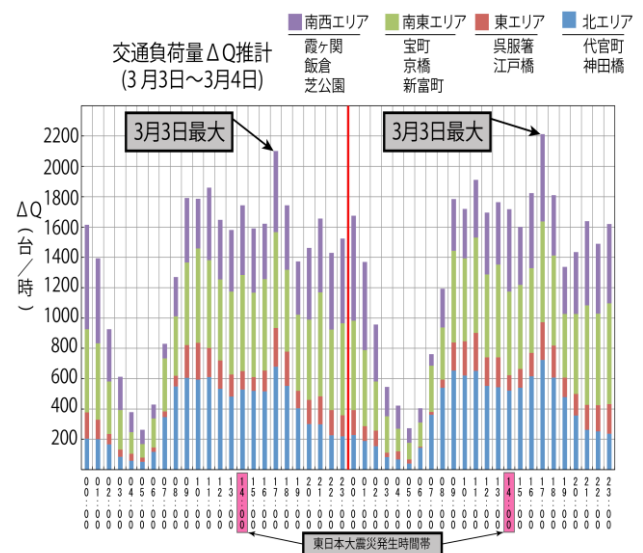


図-7 都心環状線エリア別の交通負荷量 $\angle Q$ (3月3日～3月4日)

6. おわりに

本研究では、東日本大震災時における首都高速の流入交通量と一般道の交通状況の関係性を考察した。また、震災時における一般道渋滞状況を整理し、首都高速の流

出入交通量が一般道に与える交通負荷量を算出した。その結果、一般道への影響は、首都高速からの流出交通量の増加によるものよりも、首都高速本線に流入することができずに一般道利用を強いられた交通の影響が非常に強いことがわかった。

首都高速都心環状線において首都高速の流出入交通の影響があった出入口4箇所を抽出した。また、各出入口で交通負荷量 ΔQ を抽出し、流出入交通の影響があった出入口を抽出した。さらに、交通負荷量推定モデルを構築し、都心部の各出入口において交通負荷量が最大となる時間帯を推定した。その結果から東日本大震災が発生した時間帯は、交通負荷が上昇する時間帯であり、震災時の渋滞現象を継続的に悪化させる時間帯であった事を考察した。今後は、同様の分析を首都高速全線に展開し、首都高速の全出入口について都区内全体において首都高速の流出入交通の影響の分析を行い、グリッドロック現象との関係性の分析を行っていききたい。

謝辞：本研究を遂行するに際し、データ提供等で首都高速道路(株)の遠藤学史氏にご支援を頂いた。本研究は（一財）日本デジタル道路地図協会の研究助成を受けた。また、当時研究室に所属していた藤井元樹(東京地下鉄株式会社)の尽力によるものが非常に大きい。ここに記して謝意を示す。

表-2 各時間帯の交通負荷量 ΔQ 推計

IC名	3月11日	3月3日最大		3月4日最大	
	ΔQ (台/時) (14:45~15:45)	時間帯	ΔQ (台/時)	時間帯	ΔQ (台/時)
霞ヶ関	227	461	0:00	432	0:00
飯倉	126	126	22:00	151	0:00
江戸橋	138	161	10:00	160	11:00
京橋	180	220	17:00	219	17:00
新富町	-76	120	8:00	120	8:00
銀座	201	321	21:00	340	0:00
芝公園(内)	177	14	5:00	27	6:00
芝公園(外)	259	303	17:00	333	17:00
代官町	190	518	17:00	554	17:00
呉服橋	39	136	18:00	126	17:00
宝町	67	190	19:00	193	21:00
神田橋	130	234	9:00	234	10:00

参考文献

- 1) 内閣府：防災情報ページ
<http://www.bousai.go.jp/>
- 2) 警視庁：大震災発生時における交通規制,
http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/shinsai_kisei/new_1.htm.
- 3) 警視庁：震度5強が発生した場合の交通規制,
http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/shinsai_kisei/new_2.htm.
- 4) 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, 2012.11
- 5) 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影響, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM 4pages, 2013.6.