

東北地方太平洋沖地震の際の鉄道不通に伴う道路交通への影響

Estimation of the traffic demand in Tokyo Metropolitan area due to the interruption of railway systems
after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

12TM0321 佐々木 優美
Yumi SASAKI

指導教員 丸山 喜久

SYNOPSIS

Railway systems are suspended to inspect the facilities and structures after the occurrence of large earthquake. If they are seriously damaged, the railway operations will be interrupted for a while to perform restoration work. This study estimated the number of people affected by the interruption of railway service in Tokyo Metropolitan area after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. To achieve the objective, the restoration situations of railway systems were compiled based on the survey by Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism. The lengths of traffic congestions recorded by Vehicle Information and Communication System (VICS) were also employed to evaluate the increment of traffic demand.

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、東日本の広範にわたり甚大な被害がもたらされた。首都圏では、震度5弱以上の地震動が観測され、鉄道の多くが施設点検や復旧のために運行を停止した。この影響で帰宅手段が閉ざされ、約515万人に及ぶ帰宅困難者が発生した¹⁾。

大量の帰宅困難者が一斉帰宅を開始した場合、道路上に人や車が溢れ、緊急車両の通行の妨げになる可能性がある。こうしたことから、切迫性の高い東京湾北部地震に備え、帰宅困難者対策を一層具体化する必要性がある。

帰宅困難者への対策には、その発生数と時間変動を把握する必要がある。しかし、既往の研究では地震時の鉄道構造物などへの物理的影響を検討しているものが多く、帰宅困難者の発生や鉄道利用者の他の交通ネットワークへの転換など、鉄道運休のための機能的影響を検討しているものは少ない。

本研究では、国土交通省が実施した首都圏の鉄道事業者30社を対象とするアンケート調査²⁾にもとづいた東北地方太平洋沖地震発生時の鉄道の運休状況と、大都市交通センサス³⁾、都市交通年報⁴⁾にもとづき算出した鉄道輸送人員とを比較することにより、この地震による鉄道不通影響人数を推計した。さらに、地震発生時に Vehicle Information and Communication System (VICS)によって観測された東京都区内の車両渋滞長を分析、比較することにより、地震発生に伴う鉄道の輸送力の低下がもたらした道路交通への影響について検討した。

2. 東北地方太平洋沖地震時の鉄道の運休状況

国土交通省は東京駅から80 km圏内の主要鉄道線区の鉄道事業者30社を対象として、アンケート調査²⁾を行っており、東北地方太平洋沖地震時の首都圏鉄道における運転再開日時が報告されている。本研究では、この報告書にもと

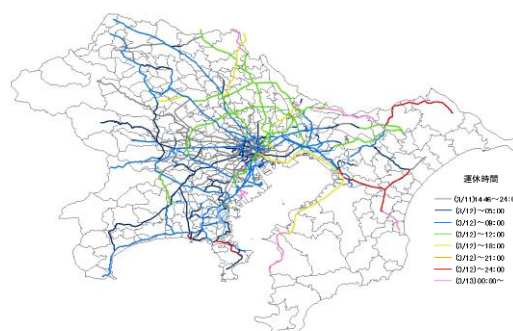


図-1 東北地方太平洋沖地震発生時における鉄道の運転再開日時

づき東北地方太平洋沖地震における鉄道の運転再開日時を整理した（図-1）。

本研究では JR 東日本、東武鉄道、西武鉄道、京成電鉄、京王電鉄、小田急電鉄、東京急行電鉄、京浜急行電鉄、東京地下鉄、相模鉄道の首都圏内における大手民鉄 10 社を対象として解析を行った。復旧済み駅間数を全駅間数で除し、駅間数からみた鉄道の物理的復旧率を算出したところ、地震発生から約5時間後の20時頃から東京メトロ銀座線や半蔵門線の一部が運転を再開し、3月11日の24時には39%の物理的復旧率であった。その後、翌日4時ごろから JR 東日本の一部が運転を再開し、地震発生から24時間後にはおよそ92%の物理的復旧率となった。

3. 東北地方太平洋沖地震による鉄道輸送機能への影響

(1) 鉄道輸送人員の推定

各路線の駅間の輸送人員を大都市交通センサス³⁾と都市交通年報⁴⁾のデータより推定した。本研究では、都心に経

済や活動が集中していることから、大都市交通センサスにもとづき上り線における1日当たりの駅間通過人員の定期券・普通券利用者の合計人数を利用した。この駅間通過人員数を鉄道路線に統合し、駅間の旅客の人数と駅間距離を掛け合わせることで輸送人キロを算出した。次に、都市交通年報を参照し、事業者別に集計された一人あたりの平均乗車キロで輸送人キロを除し、駅間の輸送人員を推定した。これを1日当たりの鉄道輸送人員として扱う。

図-2に各鉄道路線の鉄道輸送人員を示す。これによれば、首都圏では鉄道輸送人員が5万人/日程度までの路線が広域に存在している。また、神奈川、埼玉、千葉から都心へ向かう路線（JR東海道線、東北線、常磐線、総武線、東急田園都市線など）の一部区間において5万人/日を超える高い値となっている。とくに東急東横線（綱吉～日吉）で20～25万人/日、東急田園都市線（池尻大橋～渋谷）で25万人以上/日の鉄道輸送人員となっており、首都圏の中でとくに多い鉄道輸送人員となった。

(2) 東北地方太平洋沖地震による鉄道運休のための影響人数の時系列評価

前述した鉄道の運転再開日時と鉄道輸送人員を参照し、東北地方太平洋沖地震発生に伴う鉄道の輸送力への影響を時系列に検討を行う。図-3に大手民鉄10社ごとに地震発生に伴う鉄道不通影響人数の推移を示す。東北地方太平洋沖地震は日中に発生したため、本研究で推計した1日当たりの上り線の鉄道輸送人員の半数が、都心から下り線で郊外へ移動することができなかったものと仮定し、これを鉄道不通の影響を受けた人数と仮定した。図-3より、地震発生直後に鉄道が運休した影響を受けた人数はおおよそ1,040万人であったと推計され、3月11日の24時でも影響を受けていた人数はおおよそ490万人であった。また、復旧済み駅間の輸送人員を全駅間の輸送人員で除し、輸送人員の観点からの鉄道機能の復旧率を算出したところ、3月11日の24時時点の機能的復旧率は53%であり、3月11日24時時点の物理的復旧率よりも14%程度高い値となった。

内閣府¹⁾によれば、帰宅困難者は東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、茨城南部を含めた首都圏で約515万人と推計されている。本研究での一都三県での推定人数は、内閣府による集計と近い値となった。

4. 地震発生時の道路交通状況の推定

Vehicle Information and Communication System (VICS)は、一般に広く流通し、主要道路に設置された車両感知器などによって渋滞長を計測するシステムである。VICSで観測される渋滞情報は渋滞、混雑、順調の3区分に表現される。本研究では東北地方太平洋沖地震発生後の道路交通状況を把握するため、VICSによって5分おきに得られた渋滞長（100m単位で記録）を1時間単位で集計し、解析を行った。

(1) 東北地方太平洋沖地震時と平常時の渋滞長の比較

東北地方太平洋沖地震時と平常時において、VICSの渋滞長を集計、比較した。地震時は2011年3月11日～12日、平常時は地震の1週間前で地震時と同様の天候状況⁵⁾であった2011年3月4日～5日とした。対象とする道路は都心部から東西南北に走る国道246号、国道20号、国道4号、国道14号とし、各道路における下り線の渋滞長変化を整理した。

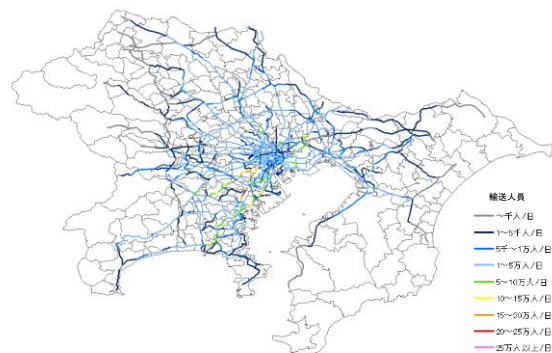


図-2 本研究で推定した1日当たりの輸送人員

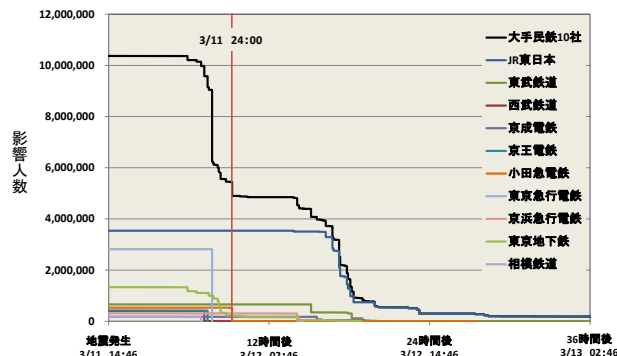


図-3 東北地方太平洋沖地震の際の鉄道不通影響人数

VICSによって観測された道路交通状況と鉄道輸送人員を比較することを目的に、各道路に並行する鉄道路線の駅間に対応するVICS観測区間を1つの評価区間と設定し、この区間ごとに1時間当たりの渋滞長を集計した。さらに、各区間の延長で除することで正規化を行い、これを渋滞長比率として扱う。また、並行する鉄道路線がない道路区間については、VICS観測区間ごとに渋滞長を集計した。

一例として、地震時および平常時における渋滞長比率の差を表-1、地震時と平常時における時間帯別の渋滞長比率を図-4に示す。表-1によれば、地震が発生した14時台から地震時と平常時の渋滞長比率に5%以上の差が生じ始めており、地震の影響で渋滞が発生しているものと考えられる。これは翌6時台まで続き、平常時と比べて最大50.8%増加した区間もある。図-4によれば、平常時では表参道～外苑前を中心とする区間で渋滞長比率が大きく、郊外に向かうほど渋滞長比率は小さくなる傾向がある。平常時の18時台には表参道～外苑前の渋滞長比率が50%を超える高い値となるものの、21時台には10%以下まで低下し渋滞が解消している。しかし、地震時では平常時の渋滞長比率が低い区間においても渋滞長比率が高く、さらに渋滞が解消されるまでに時間を長く要している。

(2) 地震による道路交通需要増に伴う影響人数の推計

平常時と比較し、渋滞長比率が大きくなった一つの要因として鉄道利用者の道路交通への転換が考えられる。そこで本項では、鉄道不通に伴う道路交通需要の増加によって、渋滞や混雑の影響を受けた人数をVICSの渋滞長をもとに道路区間ごとに推定し、平常時の場合と比較する。さらに、地震による道路交通需要の増加に伴う影響人数の鉄道不通影響人数に対する割合を既存のアンケート調査結果などと比較する。

表-1 地震時と平常時における VICS の渋滞長比率の差（国道 246 号線）

駅間	12時台	13時台	14時台	15時台	16時台	17時台	18時台	19時台	20時台	21時台	22時台	23時台	24時台	0時台	2時台	3時台	4時台	5時台	6時台	7時台	8時台	9時台	10時台	11時台
二子玉川～用賀	-0.9%	-2.8%	-0.9%	0.0%	32.3%	26.8%	24.9%	31.4%	32.3%	30.4%	42.4%	33.2%	29.5%	16.6%	7.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-2.8%	1.8%	-9.2%	-6.5%
用賀～桜新町～駒澤大学	0.0%	0.7%	-3.9%	-0.4%	5.4%	3.2%	1.4%	6.1%	8.2%	8.6%	8.6%	7.9%	8.6%	9.7%	11.8%	8.6%	6.1%	0.4%	0.4%	0.0%	-1.1%	1.8%	-5.0%	-8.9%
駒澤大学～三軒茶屋	-1.5%	1.5%	-1.5%	6.2%	6.7%	12.9%	14.4%	17.5%	15.0%	18.6%	17.5%	15.5%	13.9%	15.5%	16.5%	11.9%	3.6%	1.0%	2.6%	0.0%	-1.0%	0.5%	-6.2%	-10.3%
三軒茶屋～池尻大橋	2.3%	0.6%	-2.3%	-8.1%	4.0%	11.5%	14.4%	15.0%	6.3%	13.8%	13.8%	14.4%	13.8%	11.5%	9.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-1.2%	0.0%	-1.2%	-9.8%
池尻大橋～渋谷	0.0%	0.0%	-2.5%	17.4%	36.0%	34.8%	42.2%	39.7%	27.9%	38.5%	23.6%	27.9%	29.8%	29.2%	23.0%	34.8%	29.8%	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	-1.2%	-7.4%
渋谷～表参道	0.0%	0.0%	23.9%	12.7%	18.3%	40.9%	23.3%	-4.2%	35.2%	45.8%	4.2%	27.5%	27.5%	14.1%	44.4%	47.9%	50.8%	50.8%	24.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.7%	-2.1%
表参道～外苑前	-7.3%	-21.8%	-20.5%	-9.7%	-7.3%	-8.5%	-7.3%	19.3%	32.5%	43.5%	37.6%	35.1%	36.3%	33.8%	19.3%	36.3%	-8.7%	0.0%	-14.5%	-15.7%	3.6%	3.6%	1.2%	-4.8%
外苑前～青山1丁目	-2.3%	-10.8%	-7.0%	-7.0%	-3.5%	-4.7%	-3.5%	3.5%	8.2%	15.3%	14.1%	14.1%	11.7%	11.7%	1.2%	11.7%	-9.4%	-7.0%	-7.0%	-7.0%	-1.2%	0.0%	0.0%	-4.7%
青山1丁目～赤坂見附	-4.3%	-1.8%	-6.8%	11.5%	24.7%	20.5%	15.7%	26.6%	24.7%	27.2%	28.4%	25.9%	24.1%	24.1%	29.0%	26.6%	6.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.6%	4.8%	-10.9%
千代田区赤坂見附～平河町	-3.8%	-3.4%	-1.3%	0.8%	4.7%	4.2%	4.7%	5.1%	4.7%	5.1%	5.1%	3.8%	3.4%	3.4%	5.1%	3.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	4.2%	-7.6%
平河町～三宅坂	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.4%	0.6%	-0.4%	0.6%	1.7%	1.7%	1.3%	1.1%	0.9%	1.5%	2.0%	1.5%	0.7%	0.9%	0.0%	0.4%	0.0%	-0.2%	-0.6%	-0.2%

赤字：地震時渋滞長比率－平常時渋滞長比率＞5%口

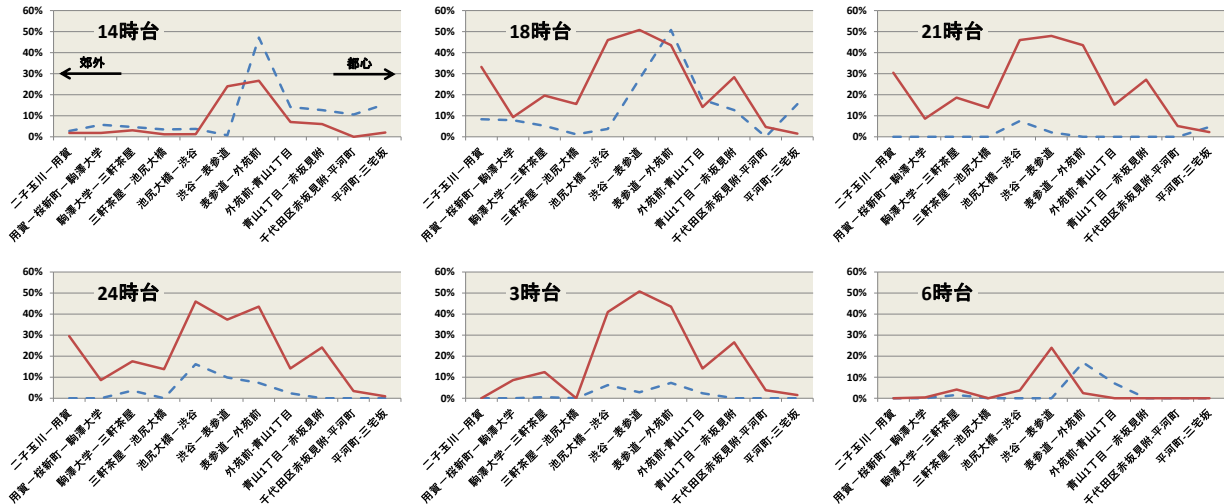


図-4 国道 246 号線の地震時(3/11～3/12)と平常時(3/4～3/5)における VICS の渋滞長比率(実線：地震時, 破線：平常時)

表-2 地震による道路交通需要増に伴う影響人数の推定方法

ケース	地震時	平常時	道路交通需要増に伴う影響人数
1	渋滞	渋滞	$1.41(n_{post} - n_{pre})$
2	渋滞	非渋滞	$1.41(n_{post} + C_a - C)$
3	非渋滞	渋滞	0
4	非渋滞	非渋滞	$1.41(C_a - C)$

添字 post は地震時, pre は平常時を表す

交通容量を超過した車両台数 n を VICS の渋滞長 l を用いて推定した。先行する車両の最前部から後続の最前部までの距離である車頭間隔が一樣であると仮定し、渋滞長を車頭間隔で除すことにより車両台数を算出する。車頭間隔は式(1)によって示される最小安全車頭間隔は式(1)によって示される最小安全車頭間隔の式⁹⁾を用いる。

$$S = 0.00818V^2 + 0.139V + 4.62 \quad (1)$$

ここで、 S は最小安全車頭間隔 (m)、 V は車速 (km/h) である。本研究では、停止時 ($V=0$) における最小車頭間隔である 4.62 m を平均車頭間隔として仮定した。VICS によって渋滞が観測されていた場合、ある道路区間に1時間あたりに存在した累積車両台数は、VICS の渋滞長 l を1時間単位で集計すれば、以下のようになる。

$$N_{VICS>0} = C_a + n \quad (2)$$

ただし、 C_a は対象とする道路区間の交通容量を表し、その推定方法は後述する。

VICS で渋滞が観測されていない時間帯では、交通容量 C_a 以下の交通量 C が存在している。したがって、非渋滞時に、ある道路区間に1時間あたりに存在した累積車両台数は以下のようになる。なお、交通量 C の推定方法は後述する。

$$N_{VICS=0} = C \quad (3)$$

式(2)、(3)で得られたある道路区間の1時間あたりの累積車両台数 N に平均乗車人数を乗ずることによって、当該道路区間における1時間あたりの累積人数 P とした。平均乗車人数は、道路交通センサス⁷⁾における乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車の平均乗車人員と発生集中交通量との加重平均より求めた 1.41 人とした。

本研究では、地震時と平常時の累積人数を表-2のように比較し、交通需要の増加に伴う累積人数の増加分を推定した。これを地震による道路交通需要増に伴う影響人数とする。各道路区間の交通容量 C_a と交通量 C は、道路交通センサスの時間帯別交通量⁸⁾を用いて推定することとした。渋滞時の交通量は、交通容量とみなすことができる⁶⁾。そこで、道路交通センサスの7時台～18時台の下り線の交通量を、VICS の渋滞長集計区間(表-1)に対応するように整理する。前項で集計した1時間当たりの平常時の渋滞長を参照し、VICS で渋滞長が観測された時間帯の交通量の平均値を交通容量 C_a とみなした。一方、VICS によって渋滞が観測されないときの交通量 C は、平常時に VICS で渋滞が観測されなかった時間帯の交通量の平均値とした。なお、道路交通センサスで時間帯別交通量が未調査である区間に関しては、

表-3 地震による道路交通需要増に伴う影響人数とその鉄道不通影響人数に対する割合

対象路線	国道246号線	国道20号線	国道4号線	国道14号線	4道路
対象日時	(3/11)15時台～(3/12)6時台		(3/11)15時台～(3/12)8時台		
道路交通需要増に伴う影響人数	11.9万人±0.7万人	24.0万人±2.2万人	27.1万人±1.3万人	7.5万人±0.3万人	70.5万人±4.5万人
鉄道不通影響人数	126.3万人	410.5万人	138.3万人	171.9万人	847.0万人
鉄道不通影響人数に対する割合	9.4%±0.6%	5.9%±0.5%	19.6%±0.9%	4.4%±0.1%	8.3%±0.6%

前後区間の交通容量 C_d 、交通量 C を車線数で重みづけし平均した。地震による道路交通需要増に伴う影響人数の集計は、国道246号線および国道20号線では、対象日時を地震発生時から渋滞長比率の差（地震時－平常時）が5%以下に回復するまでの3月11日15時台～3月12日の6時台までとした。国道4号線および国道14号線については、3月12日6時台までに渋滞長比率の差が5%以下に回復せず、3月12日の15時台に渋滞長比率の差が5%以下となる。しかし、その時間帯まで検討対象とすると翌日の交通の影響が含まれる可能性が高いため、国道4号線および国道14号線では並行する鉄道路線の運転再開日時である3月12日の8時台までを対象期間に設定した。

対象日時における時間帯別の対象日時における時間帯別の地震による道路交通需要増に伴う影響人数を表-2にしたがって推定し、さらに鉄道不通影響人数に対する割合を算出した（表-3）。なお、表中では集計結果の平均値と標準偏差を示している。

地震による道路交通需要増に伴う影響人数の鉄道不通影響人数に対する割合は、国道246号線で9.4%±0.6%、国道20号線で5.9%±0.5%、国道4号線で19.6%±0.9%、国道14号線で4.4%±0.1%となり、とくに埼玉方面に向かう国道4号線における割合が高かった。また、4道路全体の自動車利用者数の増加分の鉄道不通影響人数に対する割合は8.3%±0.6%と推定された。東北地方太平洋沖地震では、首都高速道路の全線通行止めにより一般道への車両の大量流出により渋滞が助長されたとの報告がある。本研究の対象道路の1つである国道4号線においては、延長3 km以上の長いグリッドロック⁹⁾が認められた。このことは、本研究での国道4号線における推定結果（表-3）が他対象道路と比較し高い値となった一因であると考えられる。

廣井らは東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県を調査エリアとしたインターネット調査¹⁰⁾によって東北地方太平洋沖地震発生当日のトリップデータの分析を行っている。これによれば、地震発生当日の主な交通手段のうち自動車の占める割合は、自分で運転した人は23.6%、送迎による人は7.0%であった。本研究では、地震による道路交通需要増に伴う影響人数を鉄道不通の影響を受けた人数に対する割合で評価しており、廣井らの送迎による自動車の利用率と調和的な結果が得られた。

VICSは主要幹線の渋滞長を広域に観測しているので、地震当日の交通状況をアンケート調査よりも詳細に分析することが可能と期待される。例えば、道路交通需要増に伴う影響人数には各路線の地域性が強く影響していることも考えられる。このような現象を明らかにするには、アンケート調査だけでは、膨大なサンプル数を要することが予想されるためやや困難と思われるが、VICSは平時から高頻度、高密度に観測されており、定量的な結果を得るのに十分なデータが利用できるものと考えられる。この点に関しては、今後の検討課題としたい。

5. まとめ

本論文では、首都圏の鉄道事業者30社を対象とするアンケート調査にもとづいた東北地方太平洋沖地震時の鉄道の運休状況と、大都市交通センサス、都市交通年報にもとづいた鉄道輸送人員を比較することにより鉄道不通影響人数を推計した。さらに、VICSによって観測された都区内の車両渋滞長を分析、比較することにより、地震に伴う鉄道の輸送力低下による道路交通への影響について検討し、以下のような結論を得た。

- ・地震発生から約5時間後の20時頃から銀座線や半蔵門線の一部が運転を再開し始め、3月11日の24時には39%の物理的復旧率であった。
- ・地震発生直後の鉄道不通影響人数はおよそ1,040万人と推計され、3月11日の24時までその影響を受け続けた人数はおよそ490万人であった。
- ・道路交通需要増に伴う影響人数の鉄道不通影響人数に対する割合は、国道246号線で9.4%±0.6%、国道20号線で5.9%±0.5%、国道4号線で19.6%±0.9%、国道14号線で4.4%±0.1%となり、とくに埼玉方面に向かう国道4号線の道路交通需要が高まった。また、4道路では8.3%±0.6%となり、アンケート調査等の結果と調和的であった。

参考文献

- 1) 内閣府・首都直下地震帰宅困難者等対策協議会：首都直下地震帰宅困難者等対策協議会最終報告，2012。
- 2) 国土交通省・大規模地震発生時における首都圏鉄道の運転再開のあり方に関する協議会：大規模地震発生時における首都圏鉄道の運転再開のあり方に関する協議会報告書，2012。
- 3) 国土交通省：第11回大都市交通センサス調査結果集計表 駅別発着・駅間通過人員表，2010。
- 4) 財団法人運輸政策研究機構：平成22年版都市交通年報，pp165-168，2011。
- 5) 気象庁：過去の気象データ検索，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>（2014/11/11閲覧）
- 6) 米谷栄二，渡辺新三，毛利正光：交通工学，オーム社，pp117-121，1986。
- 7) 国土交通省：道路交通センサスからみた道路交通の現状，推移，http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data_shu.html（2014/11/11閲覧）
- 8) 一般社団法人交通工学研究会：平成22年度道路交通センサス，時間帯別交通量表。
- 9) 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，4p，2012。
- 10) 廣井悠，関谷直也，中島良太，藁谷峻太郎，花原英徳：東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関する社会調査，地域安全学会論文集，No.15，pp.343-343，2011。