

熊本地震における都市内交通，避難の実態と課題

桑原雅夫¹・原祐輔²・三谷卓摩³・川崎洋輔⁴・竹之内篤⁵・井料隆雅⁶，浦田淳司⁷

¹正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学助教 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: hara@plan.civil.tohoku.ac.jp

³正会員 東北大学助教 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: mitani@plan.civil.tohoku.ac.jp

⁴正会員 東北大学研究員 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: kawasaki-y@plan.civil.tohoku.ac.jp

⁵正会員 東北大学研究員 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: takenouchi@plan.civil.tohoku.ac.jp

⁶正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp

⁷正会員 神戸大学特命助教 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: urata@person.kobe-u.ac.jp

本研究は，2016年4月14日の熊本における前震以降の都市内交通と避難行動の実態について，移動体データを使って解析した結果を報告するとともに，それに基づく今後の課題を整理したものである。解析の結果，福岡方面から熊本中心部への移動は，九州自動車道の通行止めの影響を受け，代替経路の日中の旅行時間は平常時に比べて大きく増加したこと，都市内の幹線道路の渋滞もかなり悪化したこと，避難所やスーパー，銭湯などが新たな発集点となり，平常時とは違った交通渋滞を引き起こしていたことなどを，定量的に明らかにした。

Key Words : Kumamoto earthquake, probe data, urban congestion, evacuation demand

1. はじめに

本研究は，2016年4月14日の熊本における前震以降の都市内交通と避難行動の実態について，移動体データを使って解析した結果を報告するとともに，それに基づく今後の課題を整理したものである。熊本県熊本地方を震央とする前震は，4月14日21時26分頃に発生し，マグニチュード6.5，最大震度7を記録した。続く本震は，16日1時25分頃に発生し，マグニチュード7.3，最大震度7を記録した。さらに本震の後にも震度4.5の余震が数日間に渡り，断続的に生じた。本研究は，前震後の都市内交通の状況と避難の状況を主に移動体データを使って定量的に解析したものである。

2011年3月11日に発生した東日本大震災と比べると，熊本の本震発生時刻が深夜と大きく違っていたこと，津波の被害がなかったこと，本震後も大きな地震が連続して発生したことなどから，今回の大震災は，都市内の交通や避難について異なる状況を作り出していたことが予想された。本研究では，その違いを定量的に明らかにするために，前震の前後約1週間ずつの移動体データを用いて，平常時と災害後の主要経路の旅行時間の変化，ボトルネック地点の変化，発生集中点の変化，避難需要の特性などを解析する。また，この解析を通して明らかになったこれから必要とされる検討課題についてまとめた。

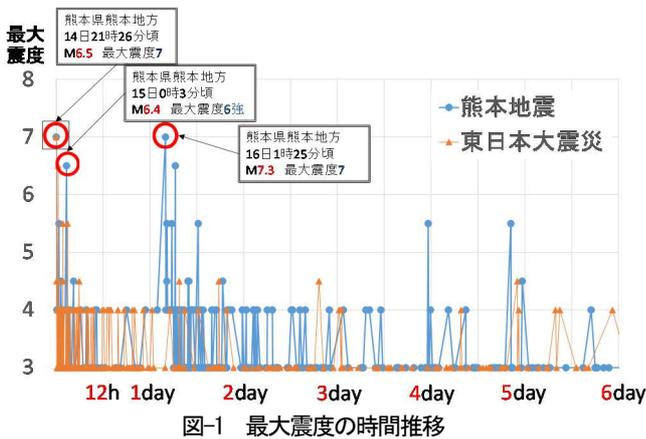
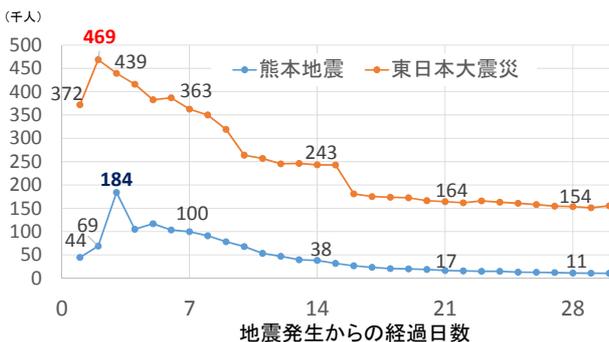


図-1 最大震度の時間推移



※熊本地震は熊本県資料，東日本大震災は国交省資料に基づいて作図
図-2 熊本県内避難者数の推移

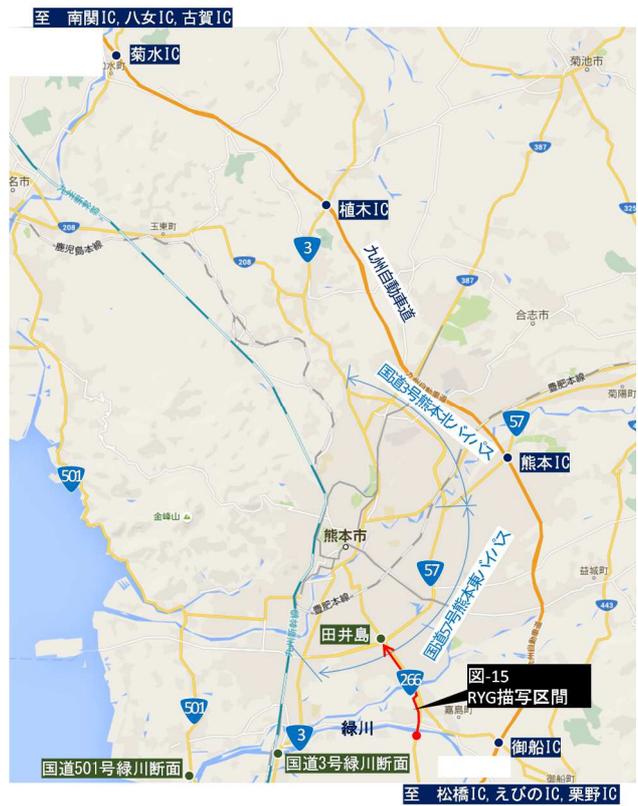


図-3 熊本市域の主要道路網

2. 震度，避難者数，道路損傷，復旧の推移

(1) 最大震度の推移

今回の前震，本震，余震を含めた熊本地震の発生状況を見ると，前震は，熊本県熊本地方を震央とするもので，4月14日21時26分頃に発生し，マグニチュード6.5，最大震度7を記録した．続いて，本震は，同じく熊本地方を震央とし，16日1時25分頃に発生し，マグニチュード7.3，最大震度7を記録した．さらに本震の後にも震度4.5の余震が数日間に渡り，断続的に生じている．（図-1参照）なお，東日本大震災と比較すると，前震が最大震度7と大きかったにも関わらず，36時間以内に本震が発生したこと，比較的大きな余震が継続したことが特徴的である．

(2) 地震による避難者数の推移

熊本県内の避難者数の推移（図-2）を見ると，本震翌日の17日（前震発生から3日後）がピークであり約184千人に達した．その後，水道，電気等ライフラインの復旧が進み，前震から7日後の時点で約100千人，14日後には約38千人，28日後には約11千人に減少している．東日本大震災と比較すると，避難者の減少率は本震後の連続した大地震のため小さい．

(3) 熊本市域の道路網

熊本市域の道路網を概観すると（図-3参照），熊本市内の道路網は，市内を通過する縦方向に国道3号，国道501号が位置する．また，その外郭には，国道3号，国道57号バイパスおよび九州自動車道が並行して位置する．なお，バイパスには，国道57号や国道266号等の放射道路が接続している．

(4) 地震による道路交通規制状況

広域交通ネットワークの大動脈である九州自動車道の状況（図-4）をみると，14日の前震直後，南関IC～えびのIC間が全面通行止めとなった後，翌日には植木IC～松橋IC間を除いて通行規制が解除された．

続いて，16日の本震直後，古賀IC～栗野IC間が全面通行止めとなったが，16日日中には古賀～植木IC間，八代IC～栗野IC間の通行規制が解除された．さらに19日朝には，植木IC～益城熊本空港IC間で緊急車両通行可の指定が行われた．なお，その後，4月29日には一部の区間において通行制限が残ったものの，全線が開通している．一方で，一般道路の状況を見ると，地震によって，道路に段差，亀裂，陥没，崩落等が生じたことにより，主要幹線道路を含む多数の箇所において，通行止め等の交通規制が行われている（図-5参照）．

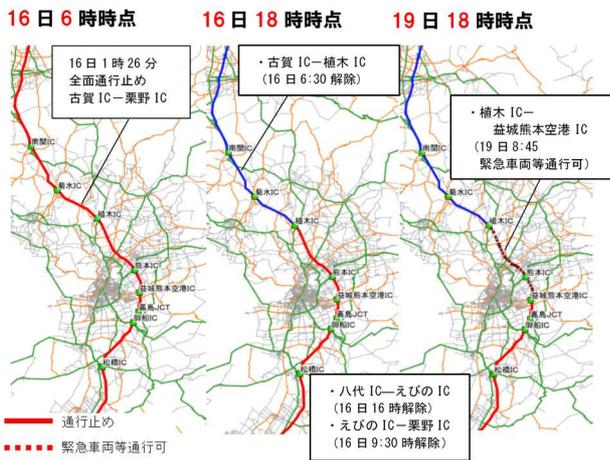
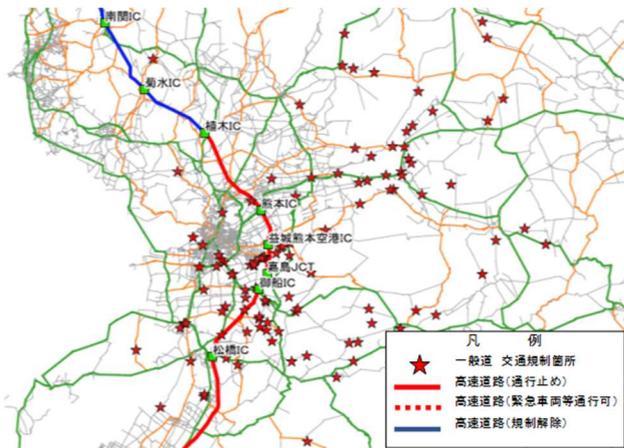


図-4 九州自動車道における通行規制・解除の時間推移



※熊本県、熊本市資料に基づいて作図

図-5 主な道路交通規制箇所図 (4月16日18時時点)

(5) 主要動線の確保

前述の道路交通状況に対して、広域から熊本市域に至る主要動線を確保するために、行政等も次のような迅速な対応を行った。

前震発生の翌日15日には、九州地整、熊本県、熊本市、警察等により、広域的な道路交通対策を調整するの場が設置された。

続いて本震翌日の17日には、植木ICでの渋滞緩和のため、料金所ブース(自動収受機械)に新たな人員が配置された。さらに18日には、九州自動車道植木ICの以北のIC(菊水、南関IC)から熊本市内への流入分散の誘導、代替路となった国道3号線の優先信号制御が実施された。

また、全面通行止めであった植木IC-益城熊本空港IC間について19日には緊急車両、物資輸送車両などの通行可指定が行われ、23日には高速バスも通行可となった。

3. 都市間交通の実態

都市間交通の中でも熊本市を中心とする南北軸の道路交通の実態について、経路旅行時間と渋滞長に着目して



図-6 八女ICから松橋ICまでの経路

分析を行った。使用データは、2016年4月14日から21日までの商用車プローブデータを用いて分析を行った。

(1) 熊本市通過交通の経路別旅行時間の分析

図-6)に八女ICから松橋ICまでの経路図を示す。熊本市の通過交通の区間として、八女ICから松橋ICまでを対象とした。抽出した経路は5経路である。平常時の一般的な経路である九州道を通行する高速経由、九州道が通行止めになったことから、代替経路として考えられる国道3号経由、国道3号の一部区間を代替する熊本北バイパスおよび熊本東バイパスを通行するバイパス経由、熊本市街地の迂回経路として誘導も行われていた国道501号南関IC経由、国道501号菊水IC経由を対象経路とした。

図-8)に八女ICから松橋ICまでの経路別時間帯別の旅行時間を示す。経路別の旅行時間は商用車プローブのリンク別旅行時間を1時間ごとに集計し、同時刻和により算出したものを旅行時間として図を作成した。いくつかの視点で、通過交通の実態について考察を行う。

ピーク時の旅行時間をみると、地震前に1時間程度であった旅行時間は、地震後に国道3号経由で最大5時間、バイパス経由では最大7時間まで増加していることがわかる。これは、九州道の通行止めに加えて、一般道でも道路損傷により大幅に容量が低下し、一部の通行可能な



図-7 八女ICから熊本市役所までの経路

経路に需要が集中したためと考えられる。

つぎに、日間変動をみると、本震後の16日、17日が旅行時間のピークとなっており、その後、19日以降は、旅行時間が徐々に減少している。つづいて、経路別の時間差に着目すると、15日、16日には国道3号経由とバイパス経由での旅行時間が大きく増加しており、経路による時間差に偏りがあることがわかる。これらは、地震直後には、旅行時間の情報がわからないことから利用頻度の高い経路に需要が集中したことが考えられる。19日以降は経路による旅行時間差は徐々に減少しており、渋滞の状況の把握や経路誘導等により、徐々に需要の集中が改善されたと考えられる。

最後に、日内変動をみると、2つの特徴がある。1つ目は、朝ピークの時間帯に旅行時間が増大していることがわかる。これは、物資が福岡方面から熊本および鹿児島方面へ輸送されることに加えて、熊本の郊外から中心部への通勤および生活交通も重なっているためと考えられる。2つ目に日中は渋滞するものの夜間には、どの日も地震前の旅行時間と同程度まで旅行時間が減少していることがわかる。これは、夜間には需要が減少し、容量に余裕があることを示唆している。

(2) 熊本市中心部への経路別旅行時間の分析

図-7に八女ICから熊本市役所までの経路図を示す。図

-6に示した経路からバイパス経由をのぞいた4経路を対象とした。

図-9に八女ICから熊本市役所までの経路別時間帯別の旅行時間を示す。熊本中心部への交通も通過交通と同様な傾向を示すため、中心部への交通に特徴的なものを以下に示す。

ピーク時の旅行時間をみると、福岡方面から熊本市役所までの旅行時間は、地震前に1時間程度であったが、地震後最大4時間まで増大した。

つぎに、緊急車両、物流車両のみ19日から益城熊本空港ICまで走行可能になったことからその効果について分析する。まず、緊急車両の通行は、19日8:45から可能となっているが、商用車プローブデータでは、19日13時以降、継続的に通行している車両がいることを確認できた。つぎに、高速経由の旅行時間については、20日、21日の朝ピーク時の旅行時間が国道3号経由に比べて短くなっていることがわかる。朝ピーク渋滞時の輸送時間短縮に効果があったことが確認できた。

(3) 渋滞長分析

図-10に八女ICから植木ICまでの時間帯別渋滞長分布を示す。1時間ごとの旅行速度が30km/h未満の区間を渋滞区間として、図を作成した。以下に分析結果を示す。

まず、ピークの渋滞長は、17日の夕方が最大で、15km程度であり、6時間程度継続していたことがわかる。交通需要は本震が発生した16日より17日の夕方から夜にかけてがピークであったと考えられる。

つぎに、渋滞している区間に着目すると、前震発生から植木ICまでの通行規制が解除するまでは、南関ICを先頭に渋滞が発生していることがわかる。つぎに、本震発生後の植木ICまでの通行規制が解除されてからは、植木ICおよび菊水ICを先頭にして、渋滞が発生していることがわかる。これは、平常時に比べて多くの車両が普段利用しない各ICを利用した結果、出口およびその先の一般道路の容量が低いことが原因と考えられる。

(4) 本章のまとめ

福岡方面から熊本中心部への交通および熊本市を通過する交通は、九州道の通行止めにより、代替経路に迂回を強いられることになった。その結果、国道3号やバイパスを経由する一般道路に交通が集中し、市内の生活交通とも重なることで、平常時の4から5倍へ旅行時間が増大するとともに、高速道路上での渋滞長も15kmをこえるなど、熊本市の南北軸交通へ大きな影響を与えたことが明らかとなった。

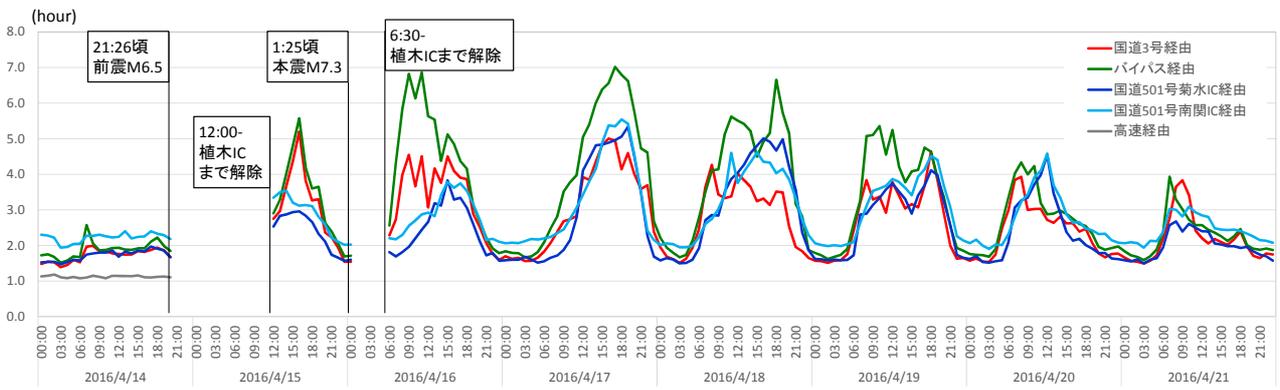


図-8 八女ICから松橋ICまでの経路別時間帯別旅行時間

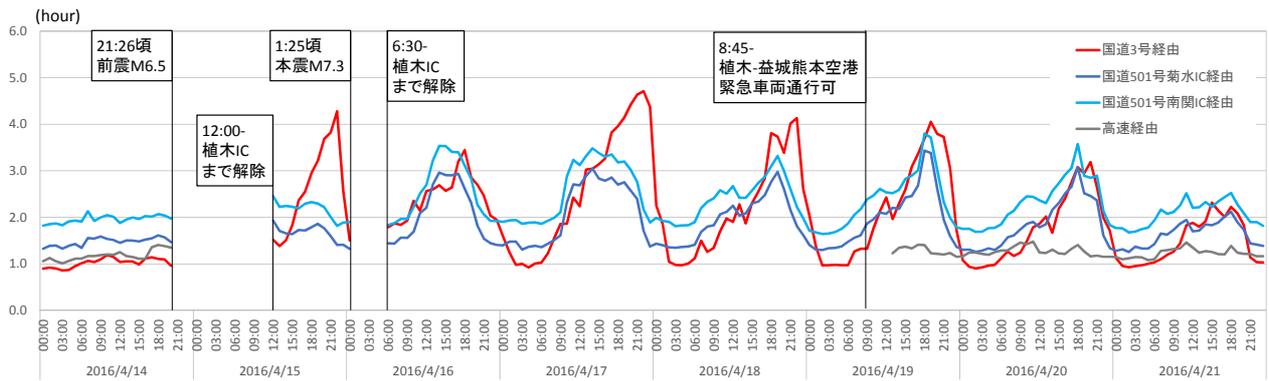


図-9 八女ICから熊本市役所までの経路別時間帯別旅行時間

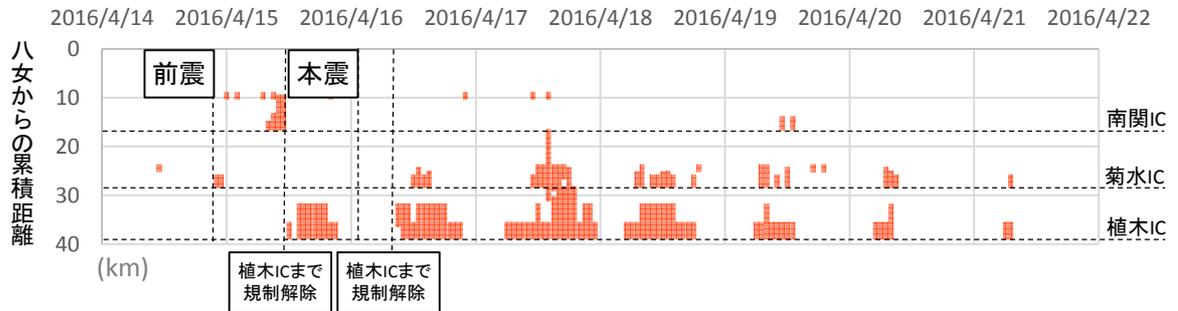


図-10 八女ICから植木ICまでの時間帯別渋滞長分布

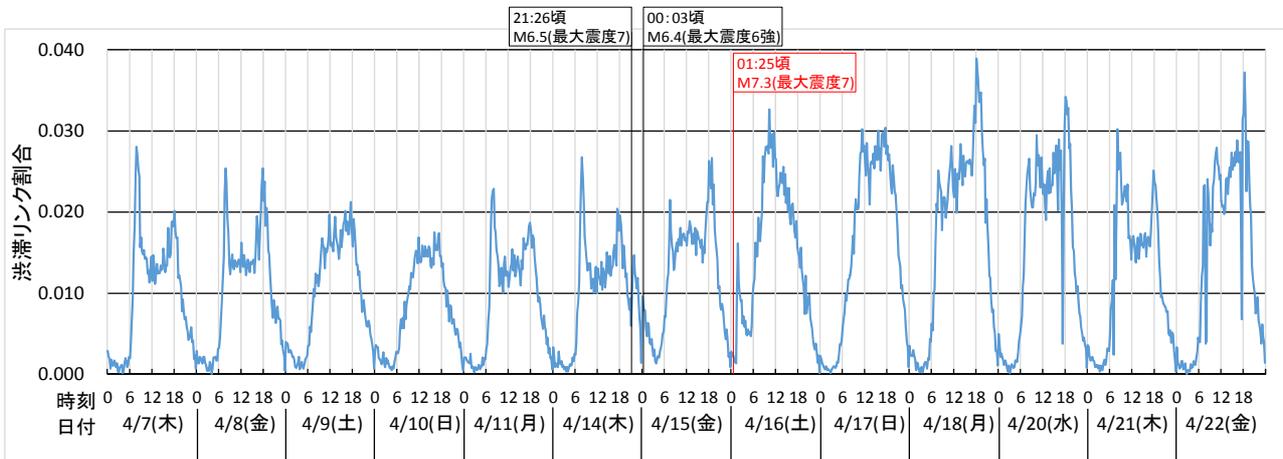


図-11 渋滞リンク割合の変化

4. 都市内交通の実態

(1) 熊本市内の渋滞状況分析

本節では、民間プローブデータを用いて熊本市内の渋滞状況を分析した。最初に、渋滞発生状況の時系列変化の分析結果について述べる。渋滞状況の時系列変化の評価指標として、渋滞リンク割合を

$$P_{jam,t} = \frac{C_{jam,t}}{C_{all}} \quad (1)$$

と定義する。ここで、 C_{all} はリンク総数、 $C_{jam,t}$ は時刻における渋滞リンク数である。なお、渋滞リンクは、15分間平均旅行速度が10km/h未満と定義する。

図-11に15分毎の渋滞リンク割合の変化を示す。同図を見ると、本震（4/16(木) 1:25頃）後に、本震前に比べて渋滞リンク割合が高い傾向が見られる。なお、発災後の渋滞リンク割合のピークは、4/18(月)の18:00-18:15でとなっている。本震直後の時間帯に着目すると、図中のように直前の時間に比べて、渋滞リンク割合が高まっており、深夜であっても避難車両による混雑がいくらか発生したと思われる。

図-12に平常時、震災直後および震災後ピークのリンク速度を示す。なお、平常時は、震災時ピークと同曜日、同時間帯のデータとした。平常時と震災直後を比べると、震災直後は、一部リンクで渋滞が見られるが、深夜であったこともあり、平常時ほど市内の中心部が渋滞していない。これは、渋滞リンク割合の分析結果と同傾向である。平常時と震災時ピークを比べると、震災後は、平常時に比べて面的に渋滞が悪化している状況が見られる。

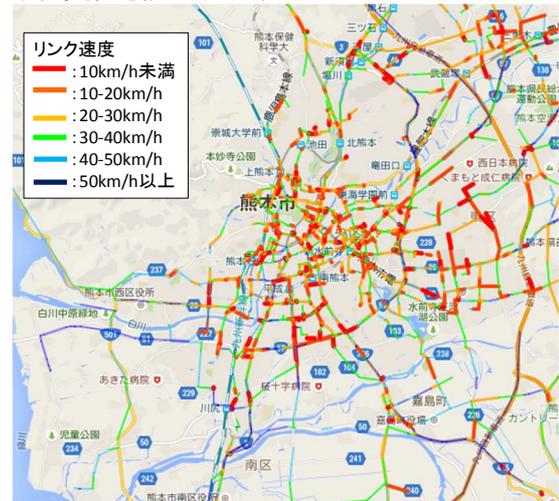
避難所や温泉施設の渋滞状況の例を図-13に示す。同図を見ると、施設周辺が渋滞している状況が見られる。この渋滞要因は、避難所や温泉施設等の生活に係る施設が発端点となり、交通が集中したためと推察される。

本震前後の渋滞箇所と比較のために、渋滞ボトルネック箇所の可視化を行った。渋滞ボトルネックは、

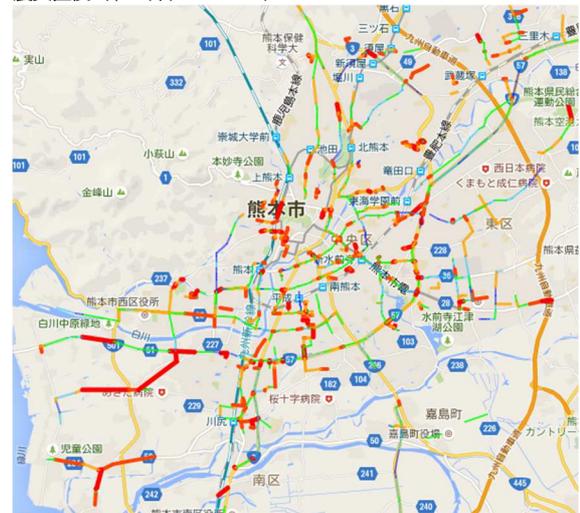
- リンクの15分間平均旅行速度が10km/h未満(渋滞発生リンク)の下流側ノード
- a)の下流リンクは非渋滞

の条件を満たす渋滞の先頭ノードと定義する。震災前後1日の15分間毎のリンク平均旅行速度を用いて、ノードがボトルネックとなった頻度を集計した。図-14に本震前後のボトルネック箇所の可視化結果を示す。図中の赤丸は渋滞ボトルネック箇所を示し、円の半径はボトルネックとなった頻度に比例する。同図を見ると、本震後は市内全域で渋滞が悪化した様子が確認される。特に、国道3号熊本北バイパス、国道57号熊本東バイパス、およびバイパスに接続する国道266号等の渋滞の悪化が顕著である。

平常時 (4/11(月) 18:00-18:15)



震災直後 (4/16(木) 1:30-1:45)



震災後ピーク (4/18(月) 18:00-18:15)

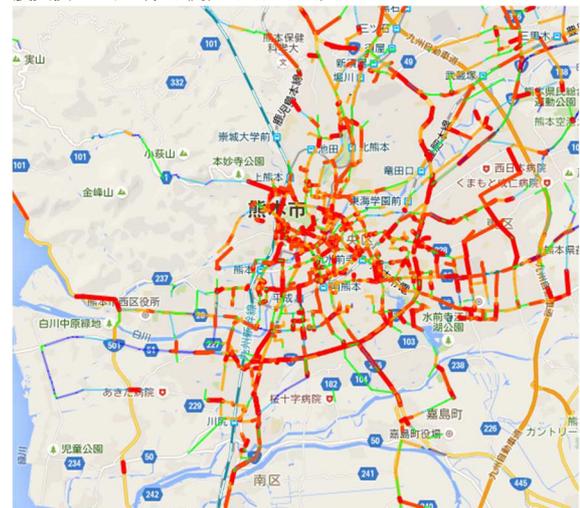


図-12 震災直後(4/16(木) 1:30-1:45)のリンク速度

図-15に本震前後の7~19時間の国道266号の緑川～田井島交差点間のRYGを示す。なお、RYGの描写区間の位置は、図-3を参照されたい。図-15を見ると、本震後の渋滞箇所は平常時もボトルネックとなっている傾向が見られる。特に加瀬川の渡河部の渋滞悪化が顕著であり、

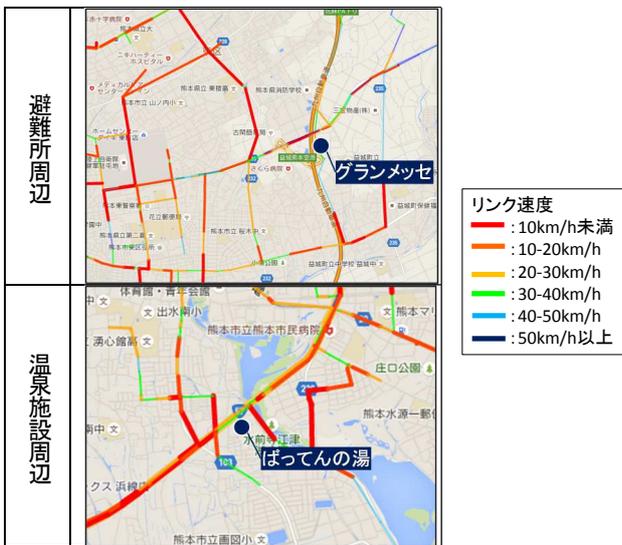


図-13 施設周辺のリンク速度(一例) [4/18(月) 18:00-18:15]

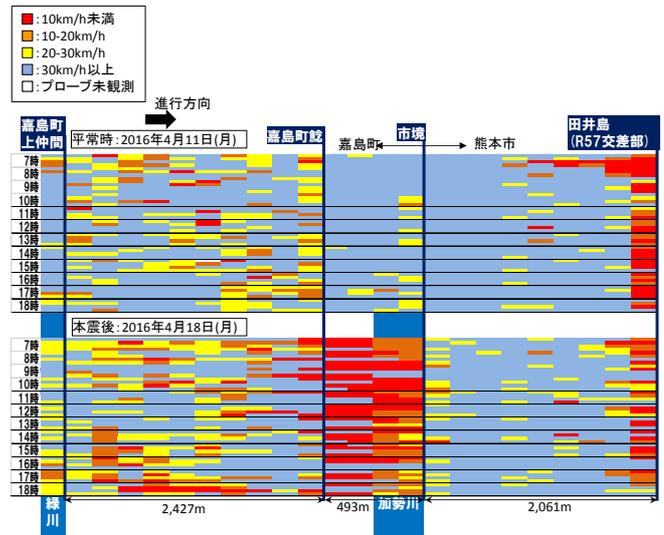


図-15 本震前後の国道266号(緑川～田井島)のRYGの比較

平常時 4/11(月)



震災後 4/18(月)

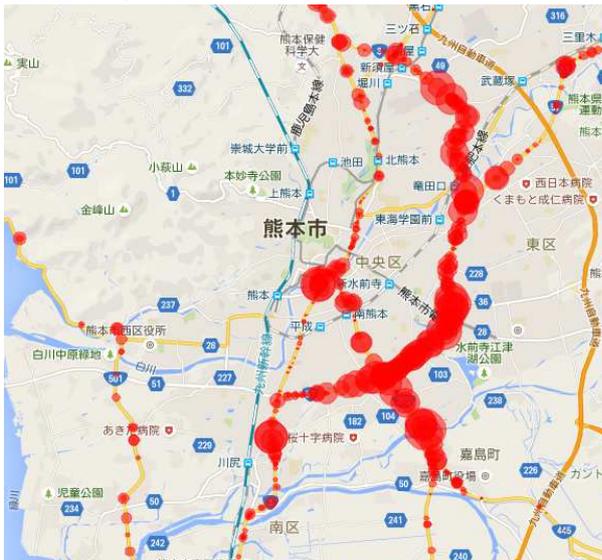
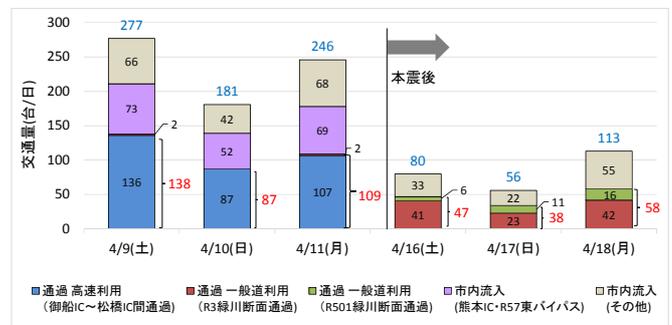


図-14 渋滞ボトルネックの比較



※赤字は通過交通の合計値

図-16 九州自動車道南関IC～菊水IC利用通過交通の変化

本震後は、日中慢性的に渋滞が発生している。

(2) 熊本市内の通過交通分析

本節では、商用車プローブデータを用いた熊本市内の通過交通の分析結果を述べる。九州自動車道南関IC～菊水IC間を利用する車両に着目し、分析を行った。通過交通は、九州自動車道南関IC～菊水IC間を利用し、かつ

- ① 九州自動車道三船IC～松橋IC間
- ② 国道3号緑川断面
- ③ 国道501号緑川断面

の何れか通過した交通を“通過交通”と定義する。①～③の位置は図-3を参照されたい。

九州自動車道南関IC～菊水IC間を利用する車両の通過交通量の変化を図-16に示す。同図を見ると、商用車プローブ台数は本震後、本震前に比べて3割程度まで減少している。商用車交通量が減少した理由は、本震後に九州自動車道が通行規制されていた影響と思われる。商用車の通過交通の割合は、本震前に比べて、本震後は増加している。また、本震後は、一般道(国道3号緑川断面、

国道501号緑川断面)利用の通過交通が増加しており、九州自動車道が規制により、通過交通が熊本市内に流入したと思われる。この通過交通の市内への流入が前節で述べた本震後の渋滞悪化の一因になっていると推察される。

5. 地震後のトリップ単位の交通行動分析

本章では、移動体データに基づいて、避難者の交通行動について分析を行う。本分析のために利用した施設情報は震災後に避難者の存在が確認された避難所（指定避難所に限定しない）、炊き出し場所、給水所、トイレ、営業が確認されている買い物施設（スーパーマーケット等）、ガソリンスタンド、銭湯・温泉の位置座標データである。これは、学生の有志団体「Youth action for Kumamoto ～若者向け熊本大分支援コミュニティ～」によって収集されたデータであり、Google クライシスレスポンスにおいて公開されていたものを利用した。

(1) トリップ数推移の分析

図-17は上記データの1日のトリップ数の推移を表している。平常時は日々、朝ピークと夕ピークをもつ山の形として、1日のトリップ数が表現されている。一方で、週末である(4/9, 4/10)は日中にピークをもつ山の形で表されている。地震発災後は、前震4/14の翌日である4/15は週末にもかかわらず、平日のようなトリップ推移を見せており、また本震(4/16)、本震翌日(4/17)は日中にトリップ数が多い山の形をしている。また、地震から日が経つにつれて、トリップ数が減少する傾向にあり、4/20, 21, 22はトリップ数が少ない。

(2) トリップ数と地震動の相関についての分析

次に、被害規模とトリップ数の関係性についての分析を行う。ここでは、熊本市周辺の4次メッシュごとにトリップの出発地・到着地となった数を集計し、その増減と分散についての分析を行う。分析においては、同じ曜日の平常時(1週間前又は2週間前)の数との差分を用いる。また、被害規模に関する具体的な空間データは入手できなかったため、震度により代替している(気象庁発表の推計震度分布図より作成)。メッシュごとに本震における震度を与え、その大きさと出発トリップ数(又は到着トリップ数)の関係性を分析する。

まず、図-18, 19は、出発地・到着地となったトリップ数の平常時との差分の分散(横軸)と増加率(縦軸)を示している。増加率はトリップ数が増加したメッシュの割合を示す。なお、差分の算出に当たり、平時・本震後と

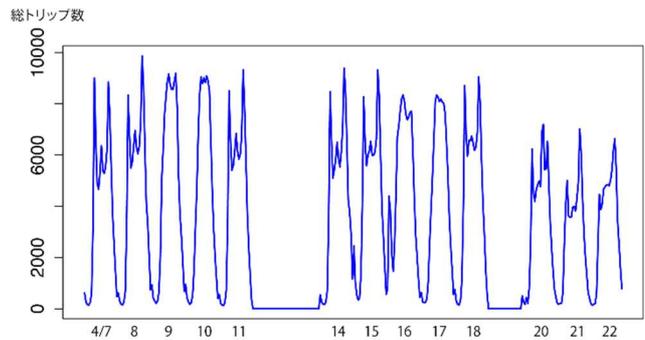


図-17 熊本都市圏のトリップ数の推移

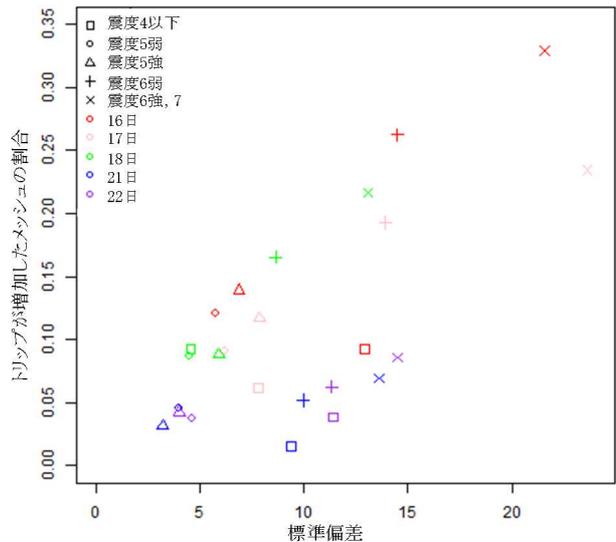


図-18 震度・日ごとの4次メッシュの出発トリップ数

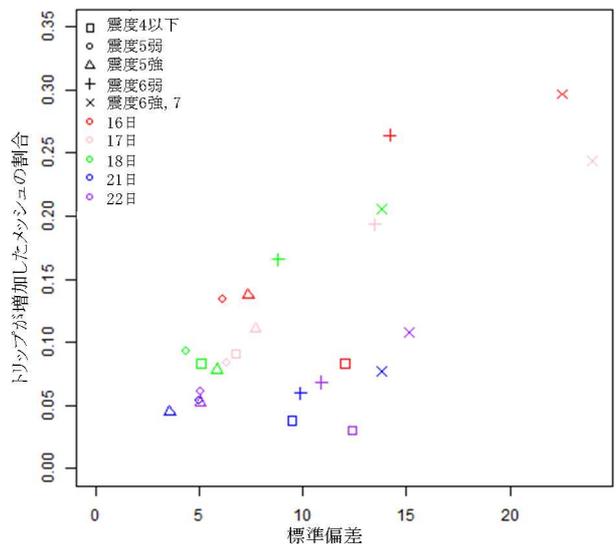


図-19 震度・日ごとの4次メッシュの到着トリップ数

もにトリップが発生しなかったメッシュは除いて集計している。図中のマークは震度、色は日付を示す。

出発トリップ数、到着トリップ数ともに同様の傾向を示しており、震度が大きいほど、トリップが増加したメ

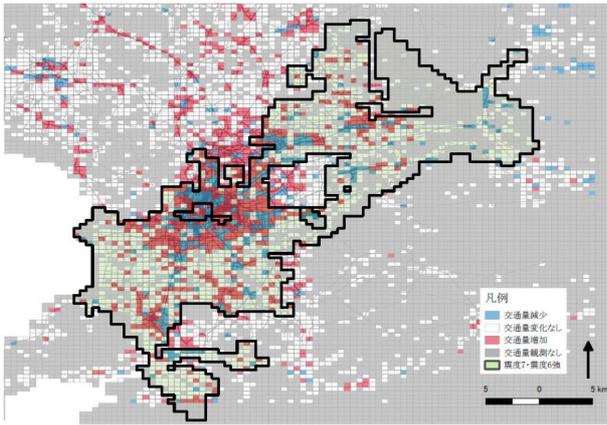


図-20 到着トリップ数の差分の空間分布(17日と10日の比較)

ツシュの割合が高く、同時に差分の標準偏差が大きくなっている。また、割合や標準偏差は、日ごとに徐々に小さくなる傾向にあるが、大小関係自体は同日の中では震度に拠っている。これは、震度が大きい地域ほど、平常時とは異なる交通状態が生じていたこと、トリップ数が増えていたことを示唆している。

次に、図-20は、4月17日と10日の到着トリップ数のメッシュごとの差分の空間分布を示す。黒線(薄緑塗)で囲ったエリアは震度6強以上であったエリアである。到着トリップ数が増加していることを示す赤のメッシュは、震度6強以上のエリアの中でも(熊本市内でも被害が大きかったとされる)熊本市中心部の東側・南側に偏っている。対して、熊本市中心部や阿蘇エリアは、到着トリップ数は減少または変化なしとなっている。震度6弱以下のエリアでも熊本市の北区や幹線道路沿いに赤のメッシュがみられる。ただし、こうした交通量増減の空間分布の一般的な傾向は明らかではなく、詳細な空間データと合わせた解析が必要であろう。

(3) トリップ目的地ごとの分析

次に、トリップ目的地ごとの累積トリップ数を分析することで、平常時とどのように異なる目的地へと人々の行動が集中しているのかを分析した。

まず、避難所への累積トリップを図-21に示す。前震は夜間に起きたこともあり、4/14の累積カーブは平常時と大きく変わらないのに対し、4/16は発災1時間後には深夜であるにもかかわらず、大きく累積トリップ数が増加している。そして、夜明けとともに、さらにトリップ数が増加していることがわかる。また、この傾向は数日続き、平常時よりも大幅に人々のトリップを集中させていることがわかる。

今回の災害時も緊急支援物資の一部滞りが報道されたように、食料や生活必需品が被災者のもとに届かなかつたため、一部の被災者が食料や生活必需品を買い求める

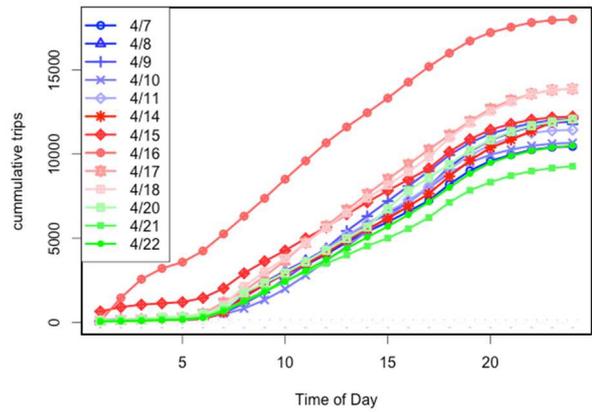


図-21 避難所への累積トリップ数

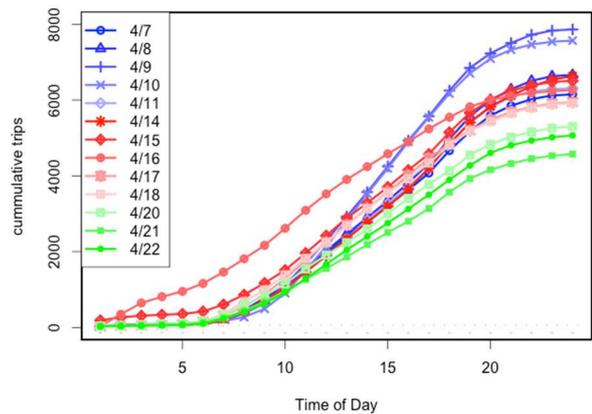


図-22 買い物施設への累積トリップ数

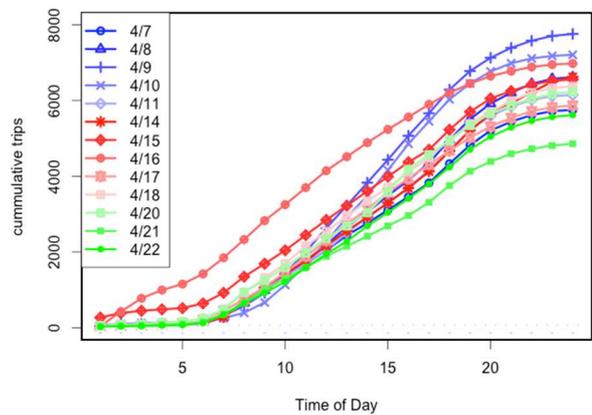


図-23 ガソリンスタンドへの累積トリップ数

行動の存在が報道された。そのため、当時営業されていたスーパーマーケット等への累積トリップを図-22に示す。この図からは、4/16に早朝から買い物施設へ集中する行動が存在したことを示唆している。また、それ以外の日も平常時と比べると午前中の買い物施設へのトリップが多かったことがわかる。しかし、1日の総量としては、平常時平日と同程度であったことが累積図からは示されている。

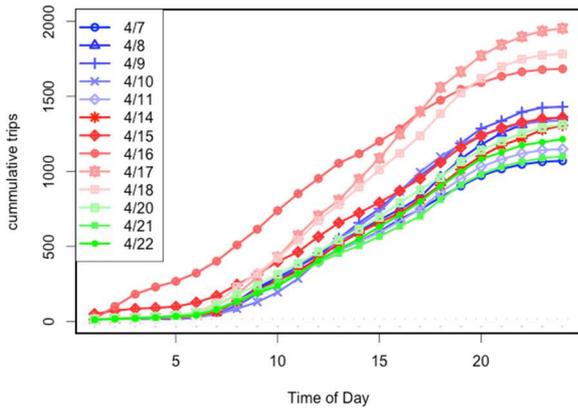


図-24 銭湯・温泉への累積トリップ数

同様の生活必需品であるガソリンスタンドへの累積トリップ数を示したものが図-23である。これもスーパーマーケットと同傾向であり、4/16は需要が集中しているが、震災後のそれ以外の日は午前中には多くなっているが、1日全体で見ると、大きく増加しているわけではないことが示されている。また、需要も日が経つにつれて減少している。

次に示す図-24は銭湯・温泉への累積トリップ数を表している。現地でのヒアリング等から、銭湯や温泉などの入浴施設周辺で大きな渋滞が発生したことが情報として得られている。これは水道やガスなどのインフラへのダメージによって、自宅での入浴ができない被災者が多く存在したことに起因している。累積図からは4/16, 17, 18に大きく入浴施設への累積トリップが増加していることがわかる。特に、他の施設と比べて特徴的であるのは、本震があった4/16よりも翌日、翌々日の方が累積トリップ数が多くなっていることである。ここから、入浴施設は発災直後よりも被災者生活が長引くに連れて、増加し始める交通需要であることが把握できる。この図からは、緊急支援物資と同様、仮設入浴施設の供給が、被災者の市内でのトリップ数を減少させるのに寄与することが示唆されている。

(4) 買い物施設のはしごトリップ発生の可能性

最後に、買い物施設へのトリップに着目し、詳細な分析を行う。今回、得られた交通行動データから、買い物施設へのトリップを行った後に、次に行く施設属性の割合を算出することができる。施設属性は2.(2)に記述した避難所、炊き出し場所、給水所、トイレ、買い物施設、ガソリンスタンド、入浴施設の6種類とそれ以外を加えた7種の施設属性への割合を計算した。

本研究では、買い物施設への「はしごトリップ」を分析するために、その割合を震災前から震災後までの期間を示したものが図-25である。この図から示されるよう

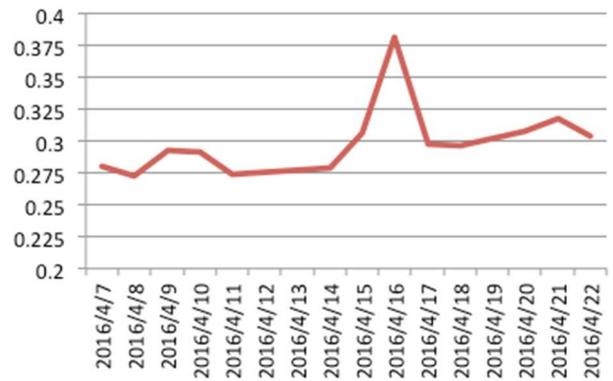


図-25 買い物施設から買い物施設へのトリップ割合の推移

に、震災前の平常時は平均的に0.275程度であり、週末は0.29程度であることがわかる。一方で、前震発生の翌日である4/15は0.307、本震当日の4/16は0.381と割合が大幅に増加し、被災者が食料や生活必需品を買い求める行動が発生していることが如実に示されている。この「はしごトリップ」はおそらく、ある商業施設へ到着したが目当てのものを入手することができず、更に別の商業施設へと繰り返しトリップを行っているためと解釈できる。これは緊急支援物資の遅れに依るものだけではなく、災害時という異常事象時において、より多くの物資を入手しておきたいという被災者の不安感に駆動された行動と考察できる（東日本大震災時に首都圏でも物資の買い占め行動が発生したことは記憶に新しい）。

(5) 本章のまとめ

本章の分析内容をまとめる。まず、震災前と比べて、熊本市内のトリップ数が大幅に増加したわけではないことが示された。にもかかわらず、他章で示されたように、都市間・都市内で大規模な渋滞が発生したということは、今後の避難計画や震災復興計画を考える上で重要な事実である。また、そのトリップの発生集中の傾向は、被害規模が大きいほど、平常時から大きく変化する。こうした変化が交通渋滞を生んだ可能性も想定される。同時に、災害直後の交通渋滞を最小限に抑えるためには異常時下の行動予測が必要だと考えられる。

次に、目的別の交通行動については、買い物施設やガソリンスタンドへのトリップ数は震災当日には増加するが、その後は落ち着く傾向がある。その一方で、入浴施設へのトリップは震災発生から数日後に増加する傾向があり、新たなトリップ集中地になることがデータより示された。最後に、買い物施設へのトリップ数自体は震災後落ち着くが、買い物施設間のはしごトリップの割合は平常時と比べて大幅に高い時期が震災後しばらく継続することが明らかとなった。これは一部の被災者が食料や生活必需品を求めて、買い物施設へのトリップを繰り返

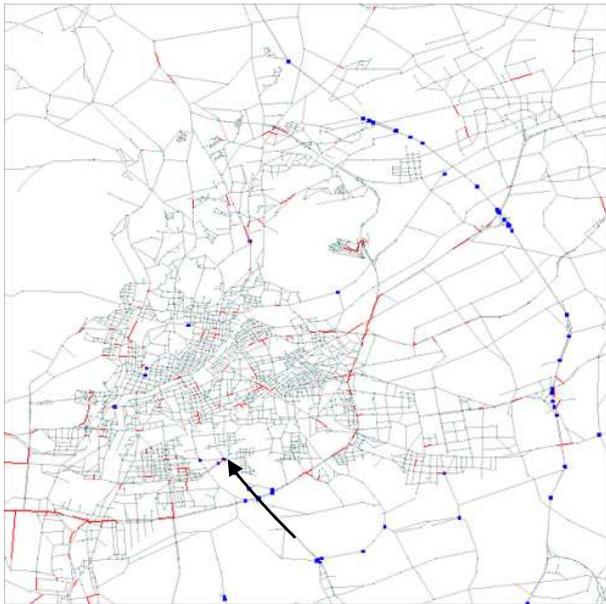


図-26 道路損傷個所とリンク平均速度

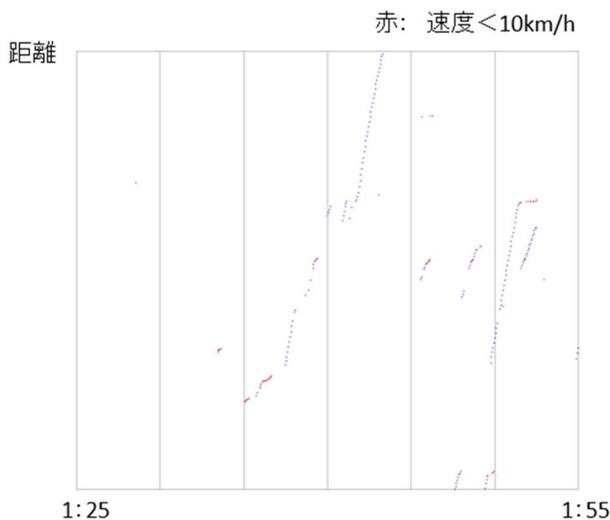


図-27 道路損傷区間の時間走行距離図

しており、これらの不要のトリップを減少させるためにも、緊急支援物資の適切な配分と被災者への物資不足に対する安心感を与える必要性が示された。

6. 移動体データによるアラート発信可能性

大災害が発生した場合、管理者はまず道路や建物の損傷や崩落などの被災状況を確認しなければならない。もしも、移動体データによって、どのあたりのインフラが被災している可能性が高いことをアラートで管理者に知らせることができれば、被災確認作業の効率化につながる。移動体データの一つであるプローブカーデータは、

道路を走行する車両の軌跡データなので、道路が損傷すれば必ずその痕跡は走行軌跡に現れると考えられる。そこで、熊本地震で被災した個所を中心に道路損傷の影響がプローブデータにどのように表れるかについて、予備的な検討を行う。

図-26は、本震直後の1:25～1:55の30分間において、リンクの5分間平均速度が10km/h以下となったリンクを赤で示している。一方、図の青点は、道路損傷個所であるが、5分間平均速度が低下したリンクとの相関は低い。理由としては、深夜帯のため走行しているプローブ車両が少ないため、道路損傷ではなく信号などによって停止したプローブ車が1台でもあると平均速度が低下してしまう可能性があることがあげられる。そのため、プローブデータをリンク平均速度などに集計してしまうと道路損傷との関係が希薄になってしまう。

図-27は、道路損傷個所を含む道路区間（図-23の矢印区間）の時間走行距離図である。車両の加減速の状況を描くと、明らかに道路損傷の痕跡が現れることがわかる。よって、道路損傷の可能性をアラートするためには、プローブデータをリンク単位で集計するのではなく、車両走行軌跡を書いて判断することがよいと思われる。ただし、本研究は予備的な検討に過ぎず、時間走行距離図から判断した結果が、道路損傷とどの程度相関があるのかについて、より精緻な定量的な検討が必要である。

7. まとめと今後の課題

本研究は、移動体データを使い、熊本地震直後の都市内の交通状況と避難者の行動について定量的な解析を行ったものである。主な結果は次のようにまとめられる。

1. 九州自動車道の通行止めの影響で、福岡方面からのアクセスに大きな障が出た。平常時1時間程度でアクセス可能な場所からも、一般街路の代替経路の旅行時間は日中は4時間以上にも及んだ。
2. 代替経路により、旅行時間の差が大きかったことが特徴的であった。緊急支援物資の輸送のため、他の経路よりも国道3号線が優先されていたという事情があった。
3. 代替経路の旅行時間は、時刻により大きく変動していた。日中の旅行時間は平常時の数倍にも達していたが、夜間は平常時とほぼ同じであった。
4. 4月16日深夜の本震直後は、深夜にしては混雑が多かったものの、東日本大震災直後のような大渋滞が発生することはなかった。

5. 都市内の日中は、北バイパスや東バイパスなどの主要幹線道路において、渋滞がかなり悪化し、平常時には見られないボトルネックが顕在化した。
6. 避難者が集中する避難所や日用品の買い付けに行くスーパーや銭湯、炊き出し所などが、新たな発生集中点となり、平常時とは異なった局所的な交通渋滞を作り出していた。特に、避難所、スーパー、銭湯、ガソリンスタンドへのトリップ数は、午前中の増加が目立った。



図-28 中央分離帯を切り欠いて車線を確保した事例

本解析は、災害時における都市交通問題、とくに道路の混雑やそれによる物資等輸送の障害における検討課題を示唆するものであり、主要な課題を以下に整理する。

1. 災害時には平時とは大きく異なる交通状況が突然発生する。これにより、平常時の経路が大幅に混雑した結果、日頃は選択肢とはなり得ない経路に需要が集中し得ることを今回の結果は示している。
2. ネットワーク全体を活用するには、情報提供が有効であるが、車両感知器が設置されていない細街路を含む路線や感知器が損傷した路線の交通状況を効率的に収集することが必要である。今回の災害では、複数の民間企業が移動体データに基づく混雑状況の提供を開始したが、災害時にはこれらの移動体データを集約させて、なるべく多くの道路の交通状況を信頼性高く把握する仕組みが必要である。
3. 日中の渋滞は激しくても、深夜や早朝の混雑はそれほどでもなかった事実を踏まえると、比較的空いている時間帯に需要を分散させるピークシフトも有効である。どの経路が混雑しているといった空間的な情報と合わせて、すいている時間帯の利用を促進させる時間的な情報の提供が望まれる。
4. 緊急交通路に指定されていた九州自動車道が被災したため、一般道への迂回を余儀なくされる状況が続いた。主要な一般道は、緊急交通路の予備路線には指定されていたが、一般街路は流入流出が多く緊急交通路として機能させることが難しい。今後大災害が予想されている地域では、少なからず同じような状況が予見されるので、一般街路を緊急交通路として有効に機能させるための検討が必要である。
5. 混雑する道路網上において、災害時の救急活動や物資輸送をスムーズに実施するには、優先的に通行させる車両の選別が必要となる。4/19以降、九州自動車道に緊急車両(救急、物流車両)が通行できるようになった時には、警察官やNEXCO職員

の不休の作業により目視で渋滞列車両を選別して通行させる措置が行われた。IT技術が進展している中、事前に指定された優先対象車両を現場で自動的に判別して通行権を与えられるような仕組みの検討が望まれる。

6. 災害時は平常時とは大きく異なる交通状況になるため、信号制御もそれに対応しなければならない。そのためには、現場の状況を把握する必要がある。今回は主要路線の全交差点に警察官を派遣し目視で対処する努力が行われた。しかし、より広域の災害においては、数多くの交差点に警察官を配置することは難しく、交差点の状況を、それほど人手によらずセンシングする仕組みの構築が求められる。さらにネットワーク全体の最適な制御を行うためには、災害時であってもローカルなセンシング情報を集約させられるロバストなシステムが必要である。地震から数か月が経過した現在でも、日々交通の流れが変化しており、とくに朝ピーク時には地震前よりもひどい渋滞が続いていると聞く。信号制御を主体とした交通制御は、災害後中長期の課題である。
7. 災害時にはさまざまな場面でさまざまな応急措置が必要となるが、交通においても同様のことがいえよう。復旧までの暫定措置であれば、平常時の基準にとらわれない柔軟な規制や制御をとることが合理的である。今回も、例えば図-28の安武商店前のように、建物倒壊恐れにより使用不可となった車道幅員を暫定的に確保する工夫が見られている。また、県庁通り沿いのガソリンスタンドでは、長い待ち行列が幹線道路になるべくはみ出ないように入口を取りまわす工夫が行われていた。
8. 地震後には、避難所やスーパー、炊き出しなど、平常時とは異なる需要の発集点を作り出された。交通容量の不足を需要側から解決するには、これらの新たな発集点において、バスや乗合タクシーの利用を積極的に活用することが有効であろう。

そのためには、事前に協定を結んでおく、必要に応じて制度改定を行っておくなどの事前の準備が必要である。

9. 物資関連の交通需要が道路網にかかる負荷を考えれば、生活必需品の備蓄も、交通需要側の対策という観点から考察する必要がある。今回は水の備蓄が十分でなく、備蓄の重要性が再確認された。
10. より長期的な視点においては、災害時の交通状況も考慮した交通インフラ整備計画の立案が必要となるだろう。この際には物資輸送をはじめとした交通需要の変化と各種のソフト的施策の実施が計画の前提となる。想定される災害において、どの程度の機能を交通インフラが分担すべきかを事前に定め、それを目指したインフラ整備が長期的には求められよう。
11. 災害時にまずもって必要なことは、道路や関連インフラ（周辺建物、信号、標識、感知器など）の損壊状況を把握することである。最終的には現場で確認することが必ず必要であるが、数多くの損壊を効率的に把握するためには、その可能性の高い個所を迅速に抽出してアラートを出すことである。本研究では、移動体データを活用したインフラ損傷のアラート発信の可能性についても検討した。その結果、リンクの平均旅行時間のような集計されたデータは道路損傷のアラート発信には力不足であり、車両軌跡データのような非集計データが有効であることが示された。ただし、アラートの信頼性を担保するには、車両軌跡の特徴量とインフラの損傷との関係について、さらなる研究が必要である。

以上は、本解析や関係機関へのヒアリングを通して明らかになった検討課題を整理したものであるが、これらの多くについては具体的な対策が提案できているわけではない。筆者らは関係各位と協力して検討課題を着実に解決し、今後予想されている大災害の減災に貢献したいと考えている。

謝辞：本稿をまとめるにあたり、被災された熊本大学の溝上章志教授、円山琢也准教授からは、現場に即したコメントや情報提供をいただいた。また、移動体データの解析にあたっては、NICT採択課題「多様なデータ融合による災害時のモビリティ支援」にて作成したものおよびDOMINGO共同研究体での解析を参考にしたとともに、富士交通・道路データサービスからは、商用車プローブデータの提供をいただいた。さらに、警察庁、熊本県警、熊本市の皆様からは現地対応に関する情報提供をいただいた。各位に厚く謝意を表します。

INVESTIGATION OF TRAFFIC AND EVACUATION ASPECTS AT KUMAMOTO EARTHQUAKE AND THE FUTURE ISSUES

Masao KUWAHARA, Yusuke HARA, Takuma MITANI, Yosuke KAWASAKI,

Atsushi TAKENOUCI, Takamasa IRYO and Jyunji URATA

This study investigates conditions of traffic and evacuation aspects at the Kumamoto earthquake occurred in the middle of April in 2016 using mobile data and extracts the future issues. From the quantitative analysis, the followings are revealed: travel times on several alternative routes from Fukuoka direction were substantially increased during daytime due to the closure of the Kyushu expressway, traffic condition on major arterials in Kumamoto also got worse, quite different traffic congestion was created at vicinities of unusual trip generation/attraction points such as evacuation shelters, super markets and a public bathhouse.