

被災直後から平常時復旧までの 交通変動パターンの逆推計

溝上 章志¹・中村 豪志²・田村 亮³

¹正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)
E-mail:smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本市 (〒862-8555 熊本市東区東本町16-30)
E-mail:gogo5454gogog5454@yahoo.co.jp

³学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)
E-mail:161d8822@st.kumamoto-u.ac.jp

平成28年4月に発生した熊本地震は道路をはじめとする社会基盤施設に甚大な被害をもたらした。被災直後は交通量は極端に減少したものの、復旧時には主要幹線道路や幹線はもちろん、補助幹線でも激しい交通渋滞が継続して発生した。しかし、被災直後にはODなどの交通パターンの変化を知るすべがない。本研究では車両感知器による常時交通量観測データから交通流動の構造的変化時点を推定する方法、災害直後から回復までの構造的変化時点における交通流動パターンを常時観測地点から逆時系列順に逆推計する方法を提案し、逆推計から得られた地震直後から復旧までの交通パターンについて解説する。

Key Words : OD reverse estimation, The observation traffic volume, Traffic counter, Kumamoto earthquake, Street closed,

1. はじめに

近年、阪神淡路大震災や東日本大震災をはじめとする大地震、九州北部豪雨や大型台風の北日本上陸による大水害などの自然災害が頻発している。今後も東・南海地震などの自然災害による被害の懸念は後を絶たない。

自然災害による道路や橋梁の損傷により、多くの地点で通行止めが発生し、交通にも大きな影響を与えている。通行止めなどの道路被害は、被災した人々や道路付帯施設などに直接的な影響（一次損失）を及ぼすだけでなく、それらを抱える地域の社会経済活動にも時に重大な影響（二次損失）を及ぼす¹⁾。早急な補修を行い、いち早く通行止めを解除し、通常交通パターンへ復旧することが求められる。

しかし、災害規模が大きく、通行止め地点の数が多い場合、早期の復旧は困難である。早期の復旧のためには交通への影響を緩和する効果の大きい地点から優先的に復旧を進めていくのが有効である。その場合、災害後の交通需要、特に分布交通量を把握していることが前提となる。しかし、被災により1人当たりの発生原単位や分布パターンも変化するし、通行止めの影響でOD間経路も変化しているはずである。2016年4月に発生した熊本地震でも、直後は各リンクで交通量は極端に減少したが、

その後の復旧時には主要幹線道路や幹線はもちろん、補助幹線に相当するような街路でも激しい交通渋滞が継続して発生し、6月になってようやく通常時の交通状況に落ち着いた感がある。災害後の交通パターンの平常時からの変化を把握し、できるだけ早期に通常交通パターンに戻すために、どのような被災道路区間を優先して復旧すべきかを検討することが求められる。



図-1 対象地域（熊本都市圏）

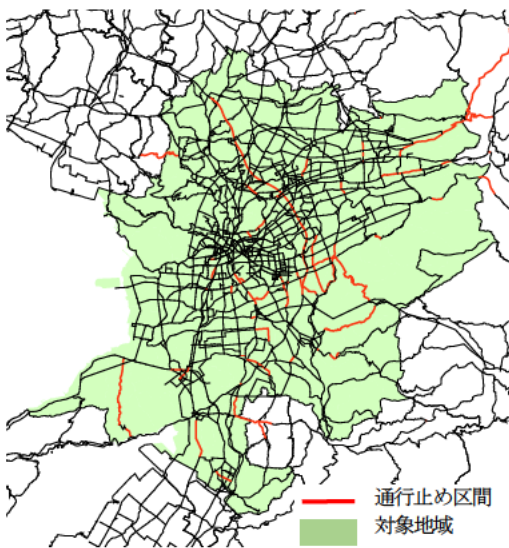


図-2 都市圏ネットワークと 4/16 の通行止め区間

本研究では熊本地震による交通パターンの変化を対象とし、推計時点をいくつか決定し、交通パターンが通常時に戻るまでの変化の分析を行う。対象地域は被害の大きかった益城町を含む 12 市町村熊本都市圏を対象とする。図-1 は対象地域と市町村名を示す。また既存のデータとして 2013 年実施の第 4 回熊本都市圏パーソナリティ調査データおよび熊本県警より提供していただいた、災害時でも継続的に観測が可能な車両感知器による観測交通量のデータを利用する。これらのデータを用いて本研究では地震後の OD 交通量の逆推計および分析を行う。

本研究は全 5 章で構成されている。2 章では車両感知器による常時交通量観測データから交通流動の構造的変換時点を推定する方法について説明を行う。3 章では災害直後から回復までの時系列的な交通流動パターンを常時観測地点から逆時系列順に逆推計する方法を提案する。4 章では逆推計から得られた地震直後から復旧までの交通パターンについて解説する。最後に本研究における成果について 5 章でまとめる。

2. 地震による交通流動への影響

(1) 都市圏道路網の通行止めと解除の経緯

2011 年に発生した東日本大震災では国道および県道だけでも 700 区間以上が通行止めとなり、避難者の移動や支援物資などの物流が滞る原因となった²⁾。熊本地震でも道路や橋梁の損壊、家屋の倒壊や火災などを原因とする通行止め区間が多数の地点で発生した。これらの通行止めは熊本都市圏内の交通環境に大きな影響を及ぼし、震災後の交通パターンの変化の原因の一つと考えられる。

本震の直後である 4/16 現在の熊本都市圏内の通行止め

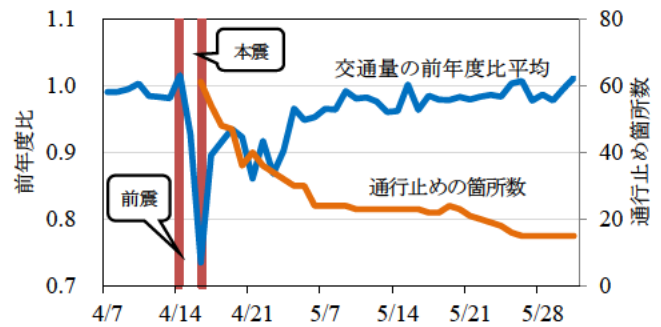


図-3 通行止め箇所と交通量の前年度平均の比の推移

は 61ヶ所にのぼる。図-2はその時点での熊本都市圏のネットワークであり、赤線が通行止め区間を示す。通行止め区間は地震被害の大きかった益城町をはじめ、熊本都市圏だけでなくその周辺部にかけて広く分布していた。

図-3に地震直後から1ヶ月半後の5/31までの熊本都市圏内の通行止め区間数の推移を示す。本震後をピークに約1週間で半数近くの区間で通行止めが解除され、1ヶ月半後には通行止め区間は4/16時の1/4以下の15箇所まで減少した。高速道路も植木IC-嘉島JCT間が約2週間の間、通行止めとなり、地域間の人流や物流に大きな影響を及ぼした。4/21や5/5などで通行止め数がそれ以前より増加している日があるが、これは時間が経過してから家屋が倒壊したり、新たに危険が発見されたために通行止めになった区間が生じたためである。

(2) 車両感知機データによる交通量の変動

OD 交通量の逆推計に用いる観測断面交通量データは熊本県警が熊本市内 38 交差点に設置している車両感知器による常時観測断面交通量である。常時観測断面交通量は 1 時間ごとに集計されている。今回は日単位の交通流動の変化を見るため、24 時間の計である日交通量を利用する。38 交差点×全方向の（通常、1 交差点について 4 方向であるが、3 方向が 13 箇所、2 方向が 6 箇所あるため）計 127 箇所における地震前の 4/7 から約 2 か月間の方向別日交通量の前年度比の平均値の推移を図-3 に併せて示す。なお、4/27~5/6 のゴールデンウィーク期間中は 2015 年と祝日が異なり、前年度比の変動が大きいため、今回は分析の対象から除外している。前震の 4/14 から本震の 4/16 にかけて、全観測箇所の日交通量の前年度平均比は約 75%まで減少していることから、地震前後で交通パターンも大きく変化したと考えられる。なお、以下では総トリップ数、OD パターン、経路選択比率などを全て含めて交通パターンと記す。その後、前年度比平均は徐々に回復し、5 月中旬~下旬には 1.0 に漸近していることから、おおよそこの時点では通常交通パターンに戻ったと考えられる。

本研究では、この交通パターンが通常の状態に戻る過程で、交通パターンの変化や通行止め区間の解除の時間

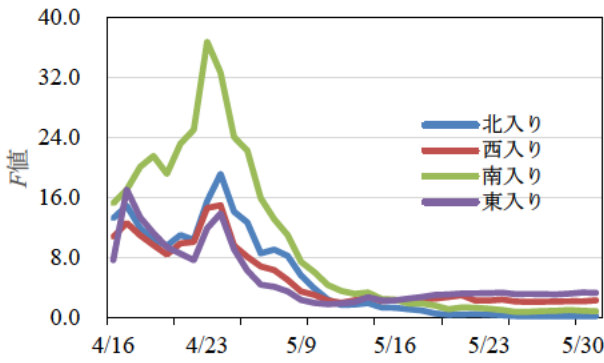


図4 代継橋交差点の1回目のChow TestのF値

的経緯によって起こると考えられるいくつかの代表的な交通流動の変化時点を見出し、これらの変化点ごとのOD交通量を当日の常時観測交通量から推計することによって、誰も知らない被災後の交通パターンの変化を推計することを試みる。

(3) 交通流動の構造変化

地震後のOD交通量の経時的な変動を分析するため、代表的な交通流動の変化時点（以下では構造的変化時点と記す）を決定し、地震直後や各構造的変化時点におけるOD交通量をその時点の常時観測交通量を用いて逆推計する。構造変化点を決定する手法として今回はChow Test^{3),4)}を使用する。

Chow Testとは、ある時系列データにおける構造的変化時点を見つける統計的手法である。所与の時系列データの全標本期間において、いずれの時点せで構造変化が起こったかは事前に不明である。そこで、ある時期において構造的変化が起きていると仮定し、全標本期間 N を2分割して前半期間 N_1 、後半期間 N_2 ($N = N_1 + N_2$)に分け、両期間でそれぞれ、回帰モデルを推定し、回帰の有意性を検定するF値によって、両者に構造的変化がないという帰無仮説をF検定する方法である。

ここでは127箇所の観測箇所すべてでChow Testを行うが、観測箇所ごとに構造的変化が検出される時点が異なることから、F値が最大となる観測箇所が最も多く現れる時点を都市圏全体の交通流動の構造的な変化時点とすることとした。

全ての観測箇所の日交通量の前年比について、4/16の地震直後から順次、Chow Testを行った。観測箇所の1つである代継橋交差点について、1回目のChow Testを行った結果を図4に示す。いずれの方向においても、4/24あたりでF値が最大となっている。この結果より、代継橋交差点における構造的変化点は4/24とする。全127観測箇所に対してこれと同様のChow Testを行い、全観測地点においてF値が最大となる時点をヒストグラムで表したのが図5である。これより、1回目の構造的変化時点は4/24とする。同様に4/25以降のデータに対してChow Test

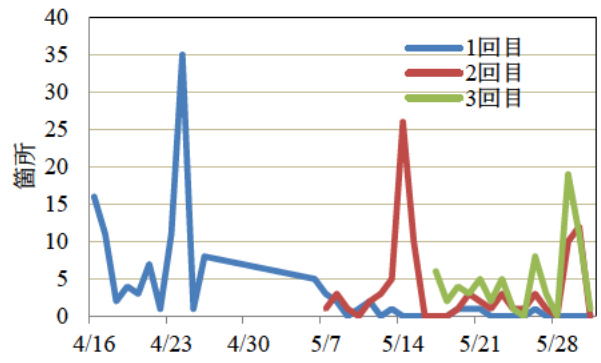


図5 Chow Testによる交通流動の構造的変化点の探索

を行った結果、2回目の構造的変化時点は5/14となった。以後、同様のChow Testの結果、3回目の構造的変化時点は5/29となり、それ以降は変化時点が現れなかったため、5/29をおおむね通常交通パターンに戻った時点とする。

3. 観測交通量による地震後の分布交通量の逆推計

(1) 分布交通量の逆推計

我々は震災直後から平常時までの折々の時点の交通パターンを知りたい。現況の交通量パターンはパーソントリップ調査のような起終点調査データから推計するのが一般的であるが、地震後にOD調査を実施することは困難である。本研究では、災害時でも比較的安定的、かつ継続的に計測可能な観測断面交通量データを用いて交通パターン、ここではOD交通量を逆推計することを試みる。観測交通量を用いてOD交通量を逆推計する手法⁹⁾については実務での適用例こそほとんどないが、1960年代から研究レベルでは行われており、様々なモデルが提案されている。

本研究では、計算が比較的容易である残差平方和最小化モデルを適用した。このモデルでは、先験的なODパターン p_{rs} と観測交通量データ x_a^* が入手可能であることが要件である。また、このモデルは目的関数と制約条件の組み合わせにより様々な定式化が可能であるが、ここでは以下に示すような発生交通量 O_r と総トリップ数 T を未知変量とし、第1項の道路区間モデルと第2項の発生交通量モデルを結合した目的関数を持つ結合モデルを適用した。

$$\begin{aligned} Min : L = & \sum_a (\sum_r \sum_s O_r \cdot p_{rs} \cdot p_{a,rs} - x_a^*)^2 \\ & + \sum_r (T \cdot p_r - O_r)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$s.t. \quad T = \sum_r O_r \quad (5)$$

ここでゾーン r からゾーン s へのOD間推移確率 p_{rs} ($\sum_s p_{rs} = 1.0$) とゾーン r の発生確率 p_r ($\sum_r p_r = 1.0$)、

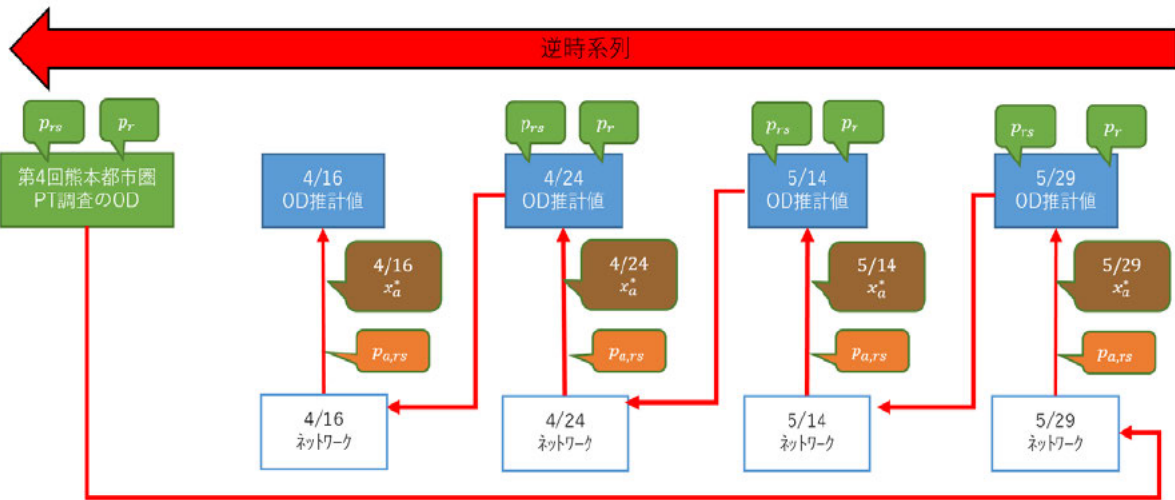


図-6 交通流動構造的変化点における交通パターンの逆時系列順逆推計

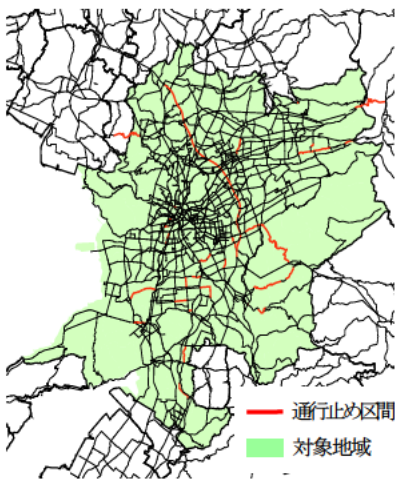


図-7 4/24 現在ネットワーク

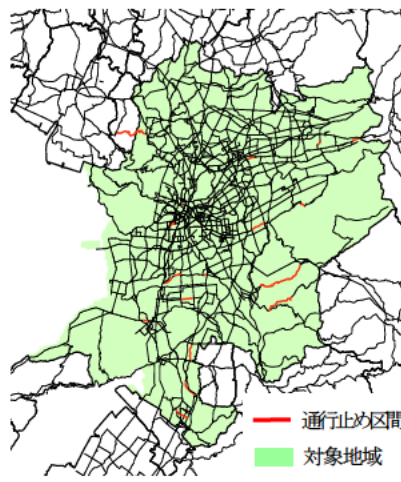


図-8 5/14 現在ネットワーク

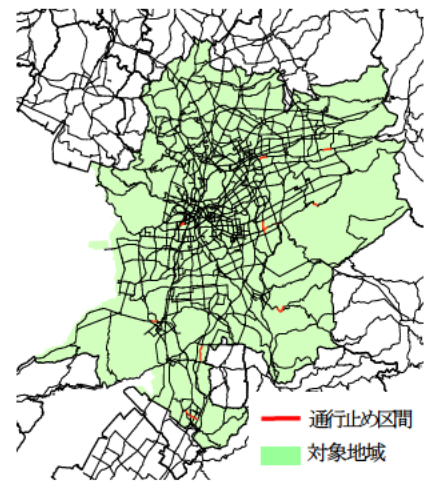


図-9 5/29 現在ネットワーク

および観測断面交通量 x_a^* は既知変量，ゾーン i からゾーン s へのOD間推移のうちリンク a を通過する確率である道路区間利用率 $p_{a,rs}$ は先験確率として与える。

残差平方和最小化モデルは，目的関数式(4)として第1項の道路区間モデルだけでも推計することは可能であるが，観測リンク数が少ない場合は推計誤差が大きくなるため，今回は少ない観測リンク数でも推計精度が高い結合モデルを適用した⁹⁾。

(2) 地震後のOD交通量の逆推計

残差平方和最小化モデルは既存の分布交通量の先験パターンを必要とする。地震後の交通パターンを逆推計するのに用いることができる分布交通量の先験パターンは，直近の2013年実施の第4回PT調査から推計されたCゾーン間のOD交通量である。このとき，逆推計は，通常，時系列順に行うのが一般的である。しかし，地震前後で分布交通量の先験パターンはかなり変化している可能性があるため，震災前のPT調査によるOD交通量を先験として地震後のOD交通量を逆推計すると精度の低下が

懸念される。

そこで，図-6に示すように通常時に回復した時点から過去に向かって逆時系列順に逆推計を行うことを考える。つまり，第4回PT調査のOD交通量を先験パターンとし，Chow Testによっておおよそ通常時に回復したと判定された5/29時点の道路ネットワークに配分して得られる $p_{a,rs}$ と5/29時点の観測交通量を用いて5/29時点のOD交通量を逆推計する。続いて，逆推計された5/29時点のOD交通量を，Chow Testによりその時点から5/29まで観測交通量のパターンに構造的変化がないと判定された5/14時点の道路ネットワークに配分して得られた $p_{a,rs}$ と5/14時点の観測交通量を用いて5/14時点のOD交通量を逆推計する。その後も4/24，4/16も同様の手順で逆推計を行う。このように，交通パターンに構造的変化の生じた時点ごとに遡って順次，OD交通量の逆推計を試みる。各逆推計時点の道路ネットワークは4/16時点が図-2であり，4/24，5/14，5/29時点の道路ネットワークはそれぞれ図-7～図-9である。

図-10に，逆推計されたOD交通量を各時点の道路ネッ

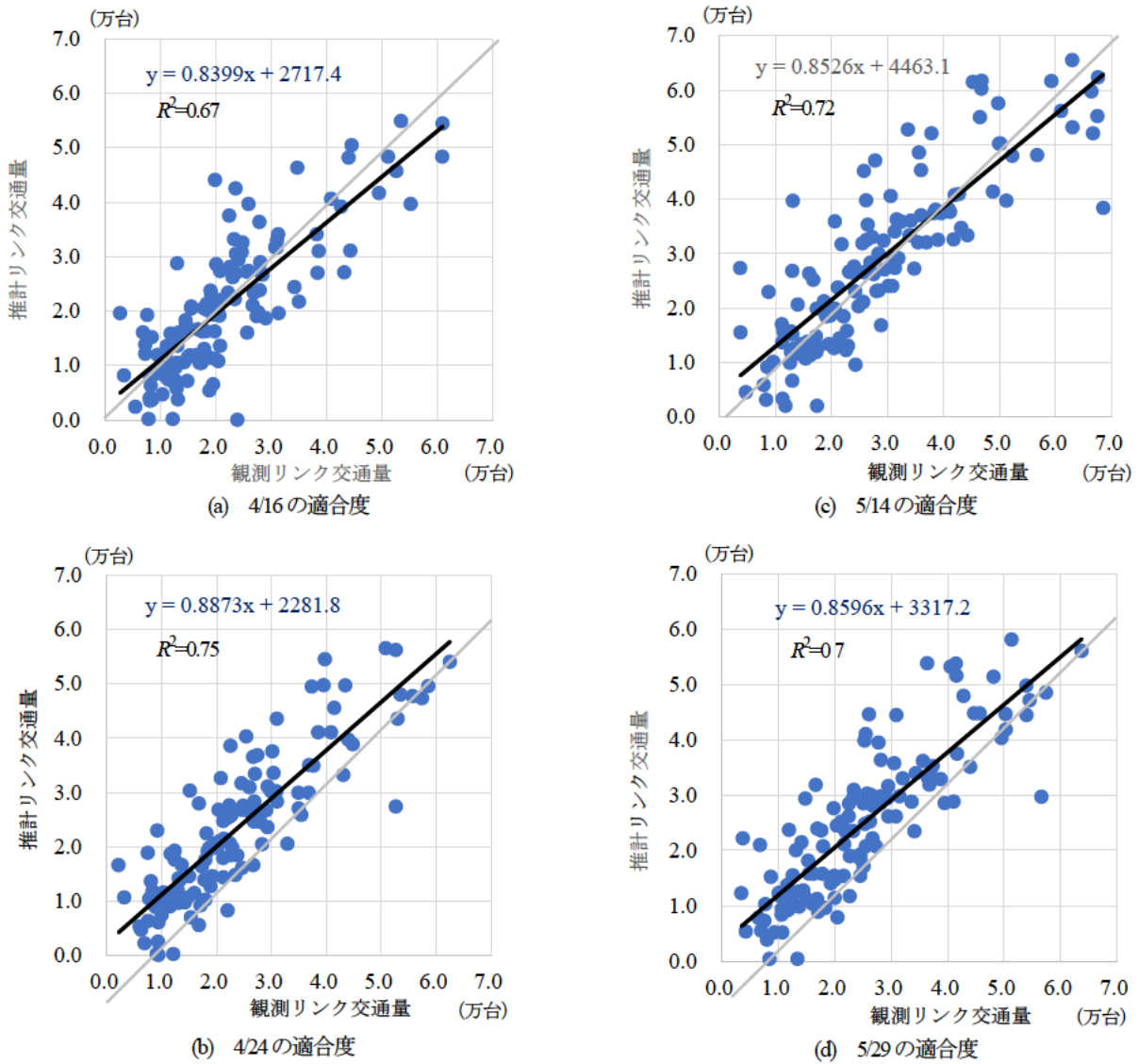


図-10 観測リンク交通量と推計リンク交通量の適合度

ネットワークに配分して得られる推計リンク交通量と観測リンク交通量との適合度を示す。決定係数は4/16時点が若干低いものの、他の時点は0.7以上となっており、両者の適合度はかなり高いといえる。

4. 地震後の交通流動の変化

(1) 総トリップ数の変化

残差平方和最小化モデルによって逆推計をした交通流動の構造的変化時点ごとの総トリップ数の推移を図-11に示す。通常時におおむね回復したと判断した5/29でもPT調査時よりもやや小さい約1,400千、地震直後の4/16には約1,079千まで総トリップ数は減少した。一方、地震から1ヶ月後の5/14の総トリップ数は約1,700千で通常時よりも約17.9%増加していたと推計された。

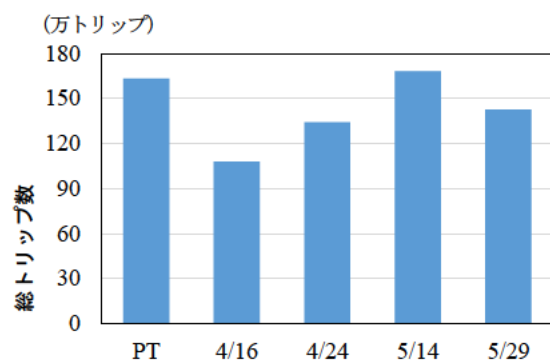


図-11 総トリップ数の変化

(2) 発生交通量の変化

図-12はそれぞれ4/16、4/24、5/14時点のゾーン別発生交通量の5/29のそれに対する比を示したものである。震災直後の4/16には嘉島町と熊本市の南区、西区を除くゾーンで5/29との発生交通量比が1.0を下回っている。熊本都市圏東部のゾーンからの発生交通量比はかなり減

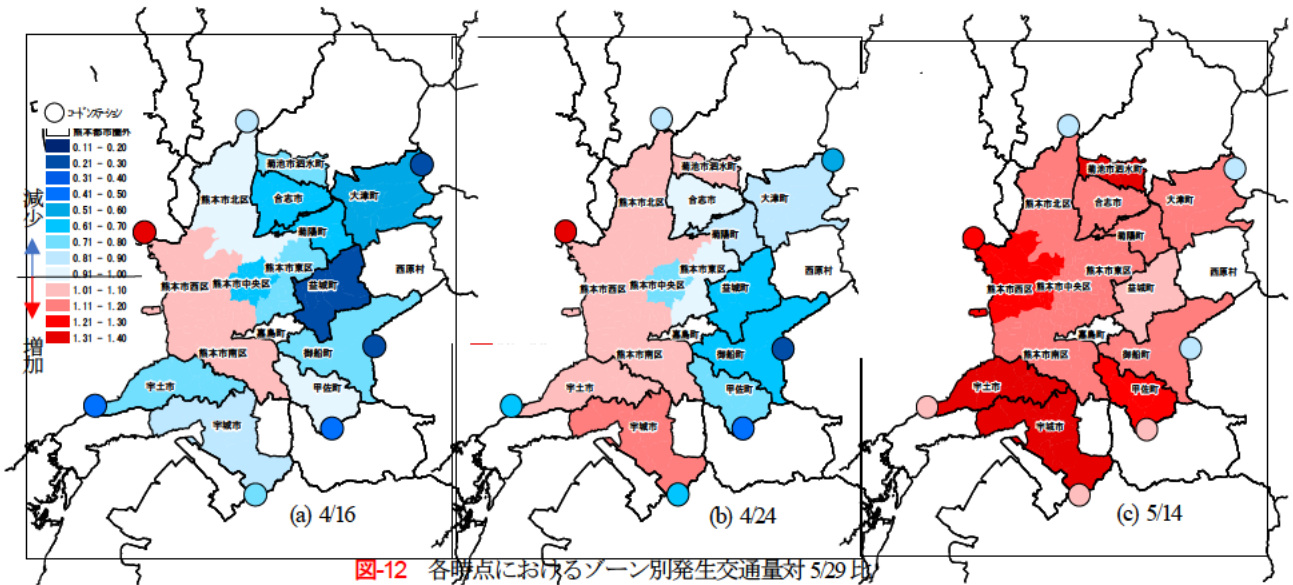


図-12 各時点におけるゾーン別発生交通量対5/29比

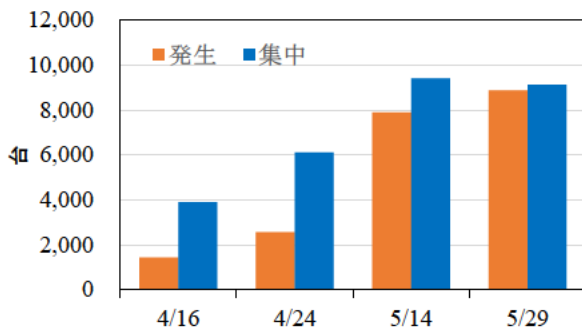


図-13 益城町木山・辻の城・寺迫・宮園ゾーン

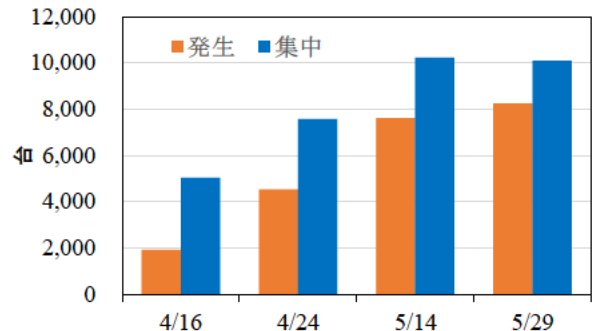


図-14 熊本市東区桜木・沼山津・花立ゾーン

少しており、その中でも益城町や大津町の発生交通量比はそれぞれ 0.32, 0.53 と極端に小さくなっている。益城町は熊本地震による人的、物的被害が最も大きかったこと、そのために町内外で通行止め区間が多く発生したことがその原因と考えられる。大津町は被害が大きかった阿蘇市や南阿蘇村を経由する国道 57 号の直下流部に当たるためと考えられる。一方、被害がそれほど小さくなく、通行止め区間も少なかった熊本市の西区や南区では、発生交通量比は 1.0 に近い値であり、通常時と大きな差はなかった。

4/24 になると宇土市や宇城市、西原村、熊本市北区などの熊本都市圏北部と南部の 5 つのゾーンでは、発生交通量比が 1.0 を上回るようになった。しかし、熊本都市圏東部では、発生交通量比は 1.0 を下回ったままで、通常時の 7 割前後であった。

震災から 1 ヶ月後である 5/14 には、総トリップ数自体が通常時である 5/29 の約 1.2 倍になると同時に、すべてのゾーンで 1.0 を上回るなど、発生交通量比が通常よりも大きくなっている。特に西原村、甲佐町、宇城市、宇土市、熊本市西区といった主要幹線道路の通過するゾーンでは発生交通量が 12 以上になっている。これらの結果から、発生交通量は被災直後に被害の大きかったゾーンを中心に大きく低下し、その影響は 4/24 頃まで続いたが、5/14 には発生交通量はすべてのゾーンで通常よ

り大きくなり、5/29 にはおおよそ通常時に戻るという経過をたどったといえる。

都市圏外からの流入については、6 箇所のコードンステーションのうち 5 箇所で、4/16 と 4/24 に発生交通量が通常時よりかなり減少した。5/14 になると都市圏南部からの流入は回復し、都市圏東部と北部でも 0.8 程度まで回復した。一方で、通行止めとなった九州縦貫高速道や混雑が著しかった国道 3 号線など、北部九州からの地域間主要幹線の代替路となった国道 501 号線では地震直後から 1.38 と、流入量は非常に大きくなっており、この路線で激しい混雑が続いたことを立証できている。

(3) 発生交通量と集中交通量の変化

図-13 と図-14 は、地震による被害が大きかった益城町木山・辻の城・寺迫・宮園ゾーンと熊本市東区桜木・沼山津・花立ゾーンにおける発生交通量と集中交通量の経時的変化を示している。これらのゾーンでは、地震直後の 4/16 と 2 週間後の 4/24 には発生交通量、集中交通量ともに通常よりかなり少なくなっており、特に発生交通量が極端に少なくなっている。5/14 には発生、集中ともに通常時の交通量におおよそ回復した。特に発生交通量の回復のスピードは大きい。地震による被害が大きかった益城町と熊本市東区のゾーンでは、避難者が多かったために、発生交通量は大きく減少し、救援等の車両の

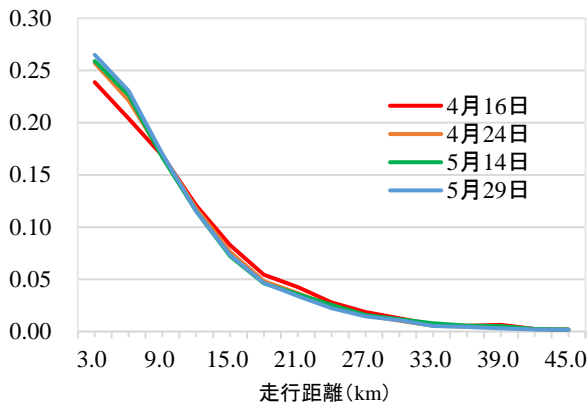


図-15 走行距離の分布

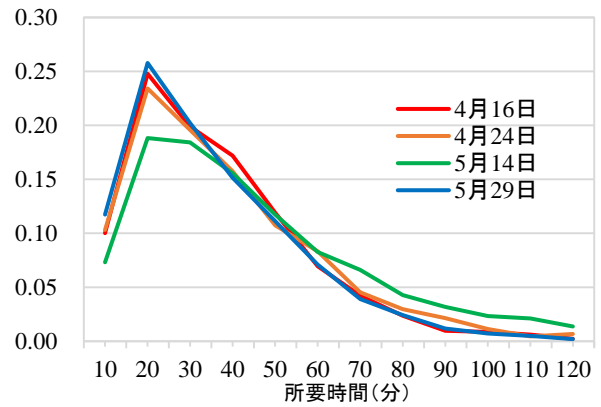


図-16 所要時間の分布

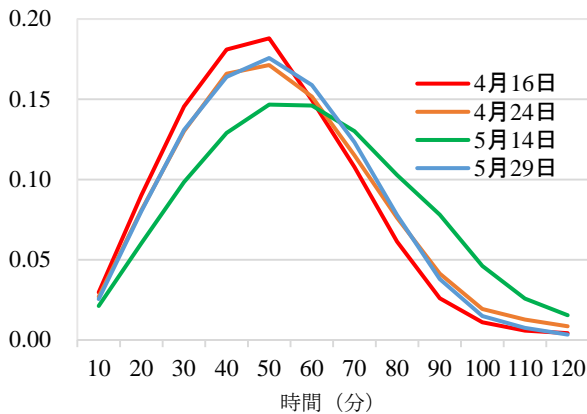


図-17 OD間所要時間の分布

表-1 走行距離と所要時間の平均値

	4/16	4/24	5/14	5/29
平均走行距離(km)	11.7	10.0	10.0	9.6
平均所要時間(分)	302	31.1	36.8	29.3
平均OD間所要時間(分)	49.1	52.3	59.2	51.6

流入により、集中交通量の方が発生交通量より大きくなったと考えられる。一方で、被害が小さかった地域では発生・集中交通量ともに大きな変化は見られなかった。

(4) 走行距離と所要時間の変化

トリップごとの走行距離と所要時間の分布を図-15と図-16に示す。また、それぞれの平均値を表-1に示す。走行距離については、4/24以降の3時点で平均値にも分布形にも大きな差異は見られないが、震災直後の4/16には10km以内の短距離トリップ比率が減少している。一方で、平均所要時間は5/14が最長の36.8分となり、通常時よりも2割程度大きくなっている。これは、震災からしばらく時間が経過して総トリップ数が通常よりも大きくなった上に、通行止め区間は依然として残っているために生じた交通混雑により、所要時間が増加したためと考えられる。

図-17にOD間所要時間の分布を示す。これも5/14が平均値も分布形も最大で、4/16はともに最小となっている。

(5) リンク交通量の変化

逆推計されたOD交通量を各時点の都市圏道路ネットワークに配分して得られた各時点のリンク交通量の対5/29比を図-18に示す。4/16には大半のリンクで交通量が減少しているが、4/24になると対5/29比の減少率は小

さくなり、郊外部では交通量の増加がみられるようになった。5/24には総トリップ数が通常より増えていることもあり、都市圏内の大半のリンクで交通量が通常時よりも増加し、混雑していたと考えられる。

図-19は熊本市西区の国道501号線周辺道路ネットワーク上の4/16、4/24、5/14時点におけるリンク交通量の対5/29比である。震災から1週間後の4/24に64.4%の増加となり最も増加率が高かった。これは地震直後から4/29まで高速道路の植木IC-嘉島JCT間が通行止めになっていたことにより、熊本都市圏外からの流出入の際に利用されたことが原因として考えられる。

図-20には道路網にも甚大な被害のあった益城町内の県道36号線と県道28号線におけるリンク交通量の対5/29比を示す。被害が大きかった震災後の4/16には交通量に大きな減少が見られ、特に県道28号線では6割以上も減少した。その後、4/24には34.4%、5/14には6.4%と、交通量の減少は徐々に回復した。これは震災後に通行止めとなった県道28号線上の7箇所が4月末までに5箇所が解除されたこともその理由の1つと考えられる。

5. おわりに

本研究では平成28年4月に発生した熊本地震を対象に、通常では把握が困難である災害直後から回復までの時系列的な交通流動パターンを常時観測地点から逆時系列順に逆推計する方法を提案した。本研究によって得られた知見を以下に示す。

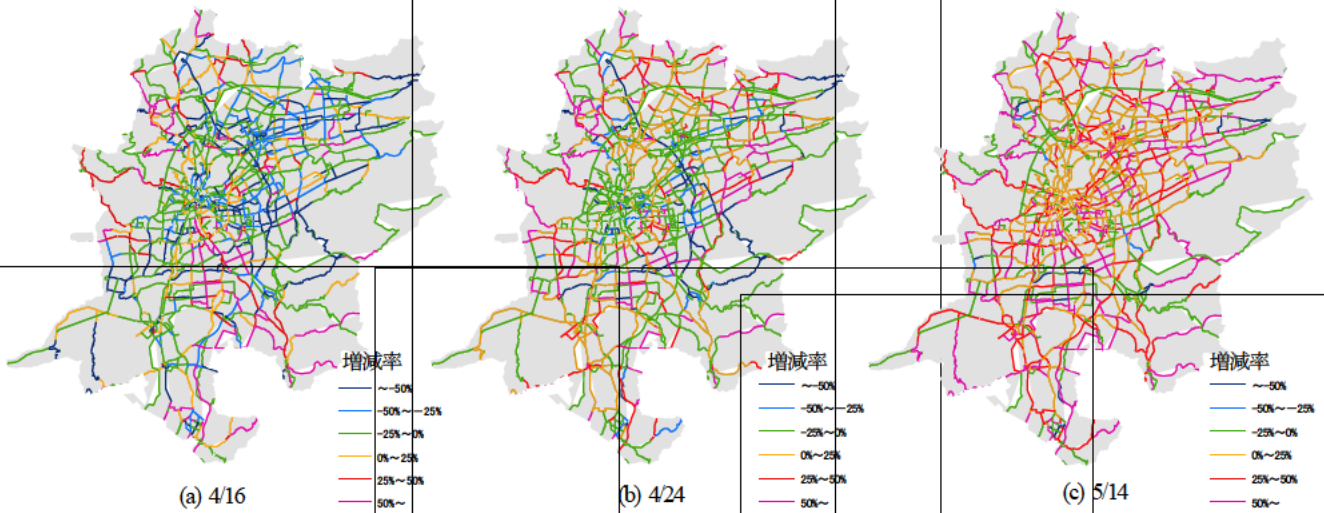


図-18 都市圏ネットワークのリンク交通量の対 5/29 比

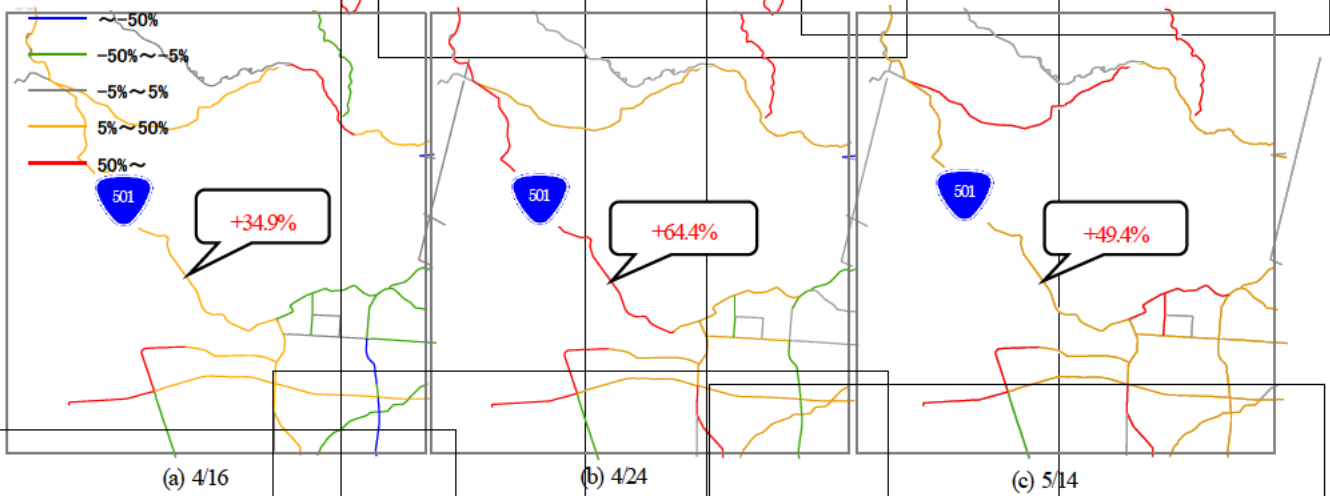


図-19 国道 501 号周辺におけるリンク交通量の対 5/29 比

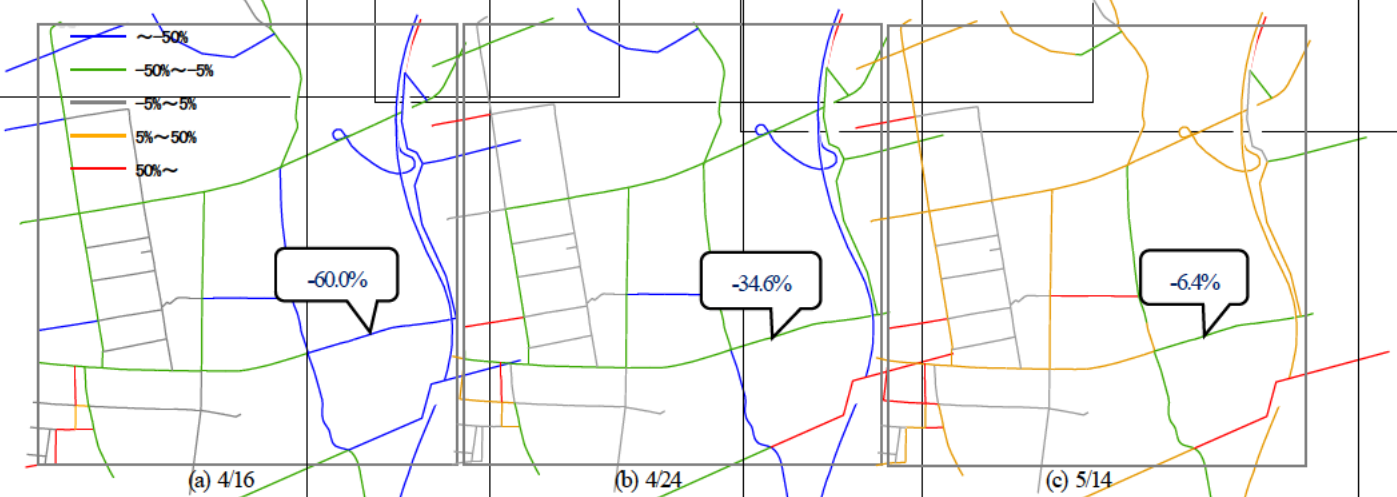


図-20 県道 28 号と第 2 空港線周辺におけるリンク交通量の対 5/29 比

1) 常時観測交通量に対して Chow Test を適用し、地震後の交通流動パターンの構造変化時点を決定した。また、その構造的変化時点の OD パターンを先験とし、その 1 時点前の構造的変化時点の OD 交通量を災害時でも入手可能な常時観測交通量を用いて逆向きに逆推計する方法

を提案した。
2) 熊本地震の場合は地震直後に 25% 近く総トリップ数が減少した。さらに、地域別の発生交通量比やゾーン別の発生・集中交通量の分析により、被害の大きかった地域での交通流動の変化は大きかったことがわかった。

3) 特に益城町や熊本市東区といった地震による被害が大きかった地域での変化が大きく、被害が比較的小さかった熊本都市圏北部から西部にかけての変化は比較的が小さかったことが分かった。

4) OD 間所要時間は地震直後は総トリップ数が激減したために通常よりかなり短くなったが、トリップごとの所要時間は地震直後よりも通常の交通パターンに回復した時点の方が短い。これより地震直後は通常より所要時間が長いトリップを行う移動が多かった。このような地震直後から通常時に戻るまでの都市圏内の交通パターンの変化を明らかにすることができた。

参考文献

1) 国土交通省：道路災害、技術移転のためのガイドブック

(道路防災)， pp.4-11, 2002.

- 2) 国土交通省：東日本大震災後の復旧・復興の状況，
<http://www.mlit.go.jp>
- 3) 二宮正司：Stepwise Chow Test を適用した事例データ分析，
大阪経大論集，大阪経大会編， pp.169-192, 2014.
- 4) 松浦克己：応用計量経済学 3, pp116-135, 郵政研究所月報,
1999.
- 5) 松井寛編：交通ネットワークの均衡分析, pp241-262, 土木
学会, 1998.
- 6) 南部浩之, 松本俊輔, 上坂克巳, 前川友宏, 倉内文孝, 飯
田恭敬：仮想ネットワークにおける OD 交通量逆推計モデ
ルの基本性能検証, 中央復建 C.技報/中央復建コンサルタ
ンツ株式会社編, pp.7-12, 2010.

A REVERSE ESTIMATION METHOD OF TRAFFIC PATTERN AT THE TIME OF A DISASTER BY USING OBSERVED TRAFFIC VOLUME

Shoshi MIZOKAMI, Goushi NAKAMURA and Ryo TAMURA

Reverse estimation of origin-destination traffic using the observation traffic volume is performed as a suggestion of grasp method with the traffic distribution pattern of the time of an accident. The target is made the Kumamoto earthquake which has occurred in April, 2016. I can think the traffic pattern changed because many road sections closed due to the Kumamoto earthquake. Kumamoto earthquake had a big influence on traffic environment by damage of social infrastructure. I can think the traffic pattern changed big because Street closed occurred at many spots because of the Kumamoto earthquake. So origin is different time series this time, and reverse estimation is performed. By this research, an estimation result, and, it's analyzed about a change in traffic flow at the time of an accident.