

阪神・淡路大震災発生後の時点経過を追った OD交通量の変化に関する研究

倉内文孝*

飯田恭敬**

交通発生状況を把握することは、交通制御・管制を行う上で不可欠な情報である。しかし、阪神・淡路大震災のような非常時においてそれをリアルタイムで把握することは非常に困難である。本稿においては、阪神・淡路大震災の際に記録された交通量感知器のデータを用いて、OD交通量を推計し、交通発生状況の把握を試みる。得られた結果は、今後の大規模災害発生時の交通管理に有用な情報をもたらすものである。

Study on Origin / Destination Flow Fluctuations in the Period Following the Great Hanshin-Awaji Earthquake

Fumitaka KURAUCHI *

Yasunori IIDA **

Understanding the elements that precipitate traffic conditions is essential to the control and management of traffic. However, it is extremely difficult to arrive at a real-time understanding of this in times of emergency such as the Great Hanshin-Awaji Earthquake. This paper is an attempt to understand those elements by using data recorded on traffic sensors during that period to estimate origin/destination flow. The conclusions reached will provide helpful information for managing traffic in future large-scale disasters.

1. はじめに

阪神・淡路大震災においては、多くのインフラストラクチャが被害を受け、都市の交通機能は瞬時に麻痺した。機能低下した交通ネットワークに対して大きな交通需要が発生し、発災直後から長期間にわたって大渋滞が発生したのは周知のとおりである。我が国における地震等の自然災害に対応した交通制御に関する危機管理の意識は、今回の地震が発生す

るまでほとんどなかったといえる。今後、阪神・淡路大震災と同規模の地震がその他の地域でも発生しないとも限らない。今回の地震で得られた知見を、最大限今後の災害対策に活用する必要があるだろう。

現在までに、阪神・淡路大震災後の交通状況を把握するための試みは多く行われている。建設省道路局企画課道路路経済調査室においては、ある断面におけるリンク交通量を継続的に観測し、さらに、大阪市役所から神戸市役所間の35kmについて実車走行により所要時間を計測している¹⁾。同様に、継続的にビデオ観測を用いて、主要断面交通量が観測されている²⁻⁴⁾。このようなリンク交通量からの交通状況の実態は、徐々に明らかになりつつあるといえる。一方、地震のような非常時においては、交通目的や目的地が平常時とは大きく異なる可能性がある。そ

* 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻助手
Research Associate, Dept. of Civil Engineering,
Graduate School of Eng., Kyoto University

** 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻教授
Professor, Dept. of Civil Engineering,
Graduate School of Eng., Kyoto University
原稿受理 1997年9月3日

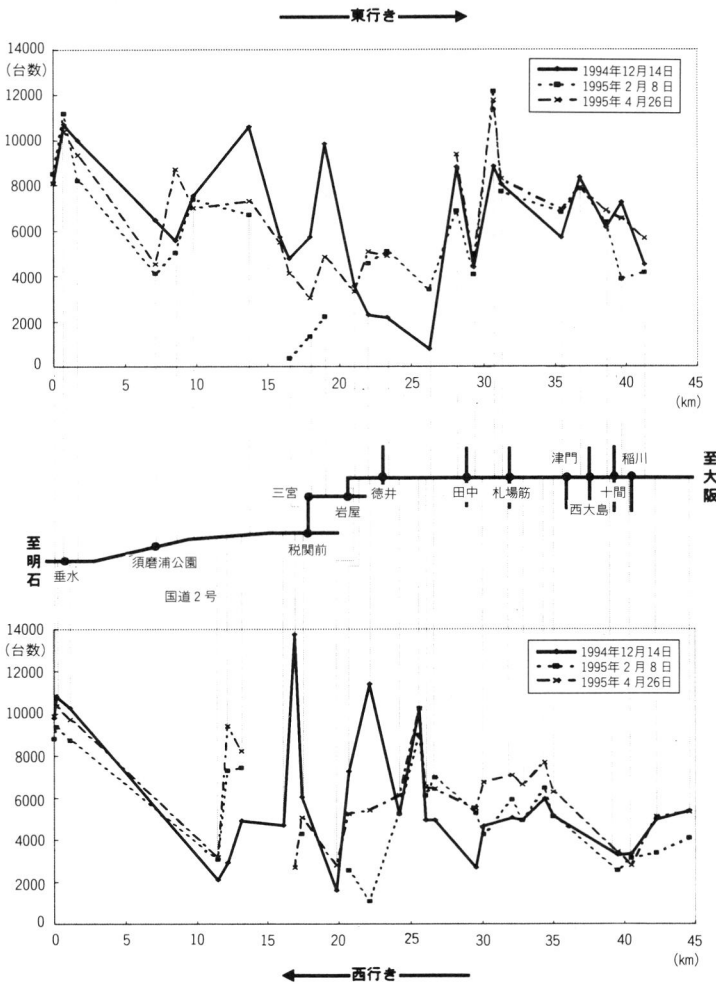


Fig.1 国道2号における交通量の推移

のため、平常時と同様の交通管理では十分な制御が困難である。震災時の自動車利用がどのように行われていたかは、多くのアンケート調査によって分析されている⁵⁻⁷⁾。味沢ら⁶⁾は、地震発生後2日間についてのダイアリー調査と、発生後1週間の交通行動データを収集している。これより、発生後2日間と1週間でも自動車の利用目的が大きく異なること、さらに、安否確認などの車両が多く存在していたことが明らかとなっている。また、若林ら⁷⁾は、通勤交通を対象を絞ってアンケート調査を実施、その中で通勤時間の大幅な増加が観測されている。これらの研究より、震災発生時の自動車の利用が平常時と大きく異なることが確認されている。とはいえ、交通需要の発生集中パターンが、震災発生時にどのように変化していたかを、アンケート調査を用いて把握することは、データの数と調査コストの制約上難

しい。しかしながら、交通需要の発生集中パターンは、交通の効率的な管理のために必要不可欠の情報である⁸⁾。

以上のような背景をふまえて、本研究においては、兵庫県警交通管制システムの車両感知器データ記録を利用して、時点経過を追った道路網交通量の推計を試みる。まず、交通量感知器データを用いてリンク交通量に関する考察を行う。その後、実ネットワークにおいて推計計算を行い、得られた結果から震災時の交通発生集中パターンの分析を試みる。

2. リンク交通量の推移

2-1 昼間12時間交通量の推移

ここでは、平日の昼間12時間交通量が日を追うことによってどのように変化していったかを考察することにする。なお、計算の際には1週間ごとの交通量感知器データの平均値を利用して考察を進める。東西方向の主要道路として、国道2号を、さらに南北方向として国道428号を分析対象とする。なお、グラフが切れているところは、交通量感知器のデータの欠損値が多く、集計ができなかったところである。また、ここに示す交通量は片側1車線の交通量である。

まず、国道2号について分析を行う。集計結果をFig.1に示す。東行きについて見ると、三宮、税関前より西においては震災前と比較的類似したパターンで交通量が推移しており、その量は若干小さいことがわかる。三宮から田中交差点までの区間においては、データの欠損が多いが、データがそろっている4月26日のデータと震災前を比較すると、その交通量は2倍程度になっている。この区間は、阪神高速神戸線の不通および交通規制の行われているところであり、その影響が大きく出たものと考えられる。田中交差点以東における交通量は、震災前とほとんど変わらない。次に、西行きについて見ると、田中

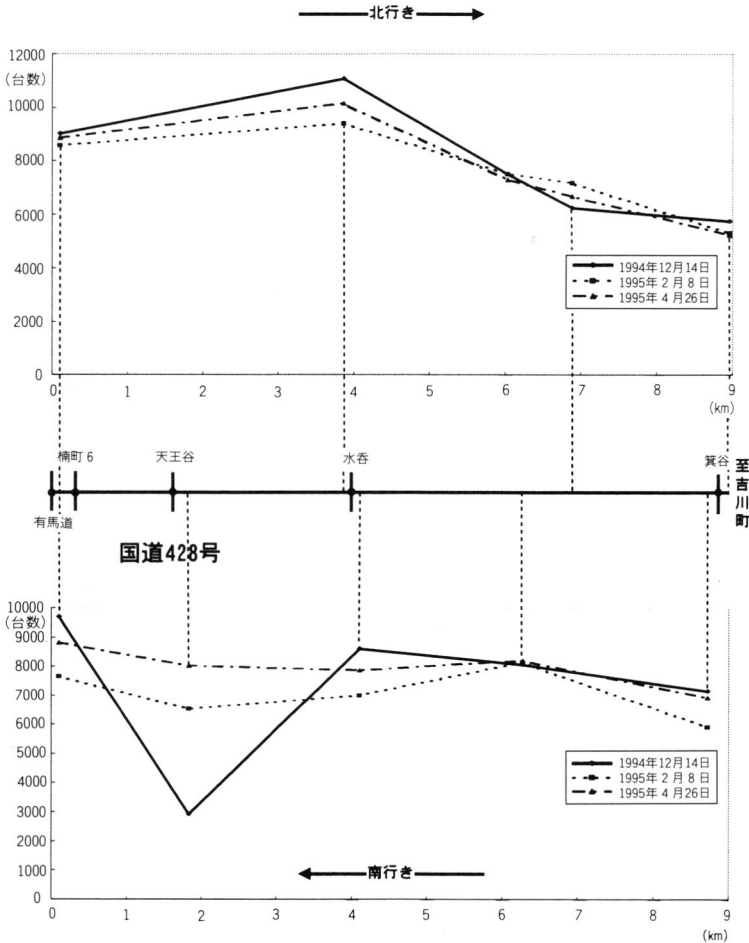


Fig.2 国道428号における交通量の推移

交差点以東では震災前より交通量の増加が見られる。この区間は、2月8日においては緊急物資輸送ルートに指定されており、そして4月1日以降4月28日までは6:00~21:00までの生活・復興関連物資輸送ルートとなっている。また神戸税関前以西においては、須磨浦公園より西では震災前とほとんど変化していないが、そこから税関前のところでは交通量がかなり増加している。最後に、税関前から田中交差点付近までの交通であるが、特に徳井交差点付近において交通量が激減している。このように、時系列的に見て、交通量の観測値は大きく変化していることがわかる。特に、東西共に、税関前から田中交差点の間の神戸市中心部においてその交通量の変化は激しい。

南北の交通を担う国道428号についての集計結果をFig.2に示す。国道428号は、発災直後からも交通規制は行われておらず、北周りで一般車両が流入で

きるルートである。まず北行きを見ると、震災前の傾向とほとんど変わらないことがわかる。交通規制が行われていないためか、交通量の傾向はそれ以前と変化していない。しかし、神戸市に流入する方向である南行きを見ると、天王谷付近の感知器において、観測が2倍以上になっている。これらの交通は、水呑交差点に西方向より流入してきた車両と推測される。

以上の考察より、交通規制が行われていた区間の交通量は震災前と大きく異なるが、そうでない区間についてはほぼ震災前と同様の交通の推移を示していることがわかる。

2-2 時間交通量パターンの推移

ここでは、1日のうちの交通発生パターンがどのように変化していたかを、国道2号岩屋付近と山手幹線御影町付近を例にとって考察する。なお、山手幹線は交通規制は行われておらず、国道2号岩屋

付近は、交通規制区間の直近に位置する感知器である。Fig.3,4に平日東行きの集計結果を示す。

Fig.3を見ると、山手幹線においては、災害後の交通量の発生パターンは震災前のものとほとんど同じであることがわかる。しかし、交通量は震災前と比較して、かなり増加している。さらに、震災前に見られた12時から13時の交通量の少ない時間帯が、震災後にはほとんど見られない。また、震災前には6時頃から始まる朝のラッシュが、震災後は4時頃から始まっており、逆に、震災前では17時台で落ち着きはじめる夕方のラッシュが、20時ごろまで続いている。このように、交通規制が行われていなかった山手幹線における1日の交通量の推移は、震災前のパターンとほとんど変わらないが、交通量の増加に応じてピークの立ち上がりの時間が前後に広がっていることがわかる。

Fig.4に示した国道2号においては、昼間は震災

前と比較して非常に交通量が少なくなっていることがわかる。これは、陸橋破損による岩屋交差点の容量減少と、岩屋交差点から始まる交通規制の影響と考えられる。昼間の交通量は震災前のおよそ半分程度にまで落ち込んでいる。逆に、深夜の時間帯における交通量は、震災前と比較してかなり増加している。昼間と夜間の震災後と比較すると、交通量はほとんど変わらず、夜間にもかなりの交通が国道2号を利用していたと考えられる。

以上より、震災が発生した後の交通状況は、交通規制に大きな影響を受けていること、そして震災前とはリンク交通量の推移から見てもかなり異なっていることが確認できる。

3. OD交通量の推計

3-1 OD交通量推計モデルの定式化

観測リンク交通量からのOD推計手法の開発は現在においても精力的に行われているが、本研究では、大規模ネットワークへの適用を目指すために、最も基本的なモデルを利用して定式化を行った。ここでは、既存ODパターンが存在している際に適用可能な、残差平方和最小モデルを適用する。なお、定式化は以下のとおりである⁹⁾。

[残差平方和最小化モデル(結合モデル)]

$$L = \sum_a \left(\sum_j \sum_j X_{ij} \cdot p_{aij} - Va^* \right)^2 + \sum_i \sum_j (T \cdot g_{ij} - X_{ij})^2 \Rightarrow \min \dots (1)$$

subject to

$$T = \sum_i \sum_j X_{ij} \dots (2)$$

- X_{ij} : ゾーン*i, j*間のOD交通量
 - g_{ij} : ゾーン*i, j*間の交通に関する既存OD確率 (既存単位OD表)
 - P_{aij} : ゾーン*i, j*間の交通がリンク*a*を利用する比率 (リンク利用率)
 - Va^* : 観測リンク交通量
 - T : 交通量*X_{ij}*の総和
- 推計にあたっては、あらかじめリンク利用率*P_{aij}*

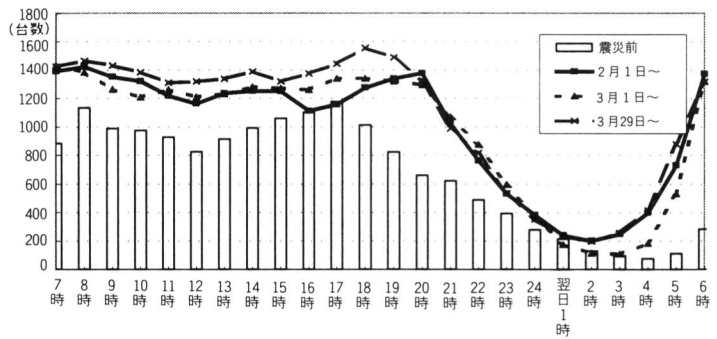


Fig.3 時間交通量の推移 (山手幹線御影町付近)

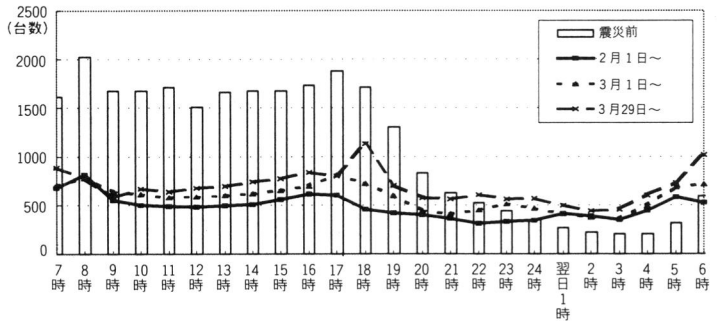


Fig.4 時間交通量の推移 (国道2号岩屋付近)

を計算しておく必要がある。本稿においては、Dialのアルゴリズムに基づき計算を行った。なお、計算の際のパラメータ α は0.5とし、リンクの所要時間は自由走行時間を用いて求めている。

一般的な残差平方和最小化モデルは、各発生交通量を未知数とする場合が多いが、ここではODパターンが大きく変化している可能性があることを考えて、OD交通量を未知数として定式化した。解は、連立一次方程式を解くことによって求められる。

3-2 交通量感知器データの概要

実ネットワークにおける分析を始めるにあたって、利用したデータについて簡単に説明しておく。本稿では兵庫県警尼崎管制センター、兵庫管制センターにより管理されている合計2,453個(尼崎:923個、兵庫:1,530個)の交通量感知器により観測された15分間交通量データを利用した。なお、これらの感知器は高車・低車や交通密度の観測といった機能を持たないため、ここでは全ての交通が同様のODパターンを持つものとして計算を進めている。

交通量感知器の中には、物理的な被害を受けたものも存在するが、感知器自体は被害を受けていないにもかかわらず、発災直後においては停電のため観測ができなかったものもある。また、交通量感知器

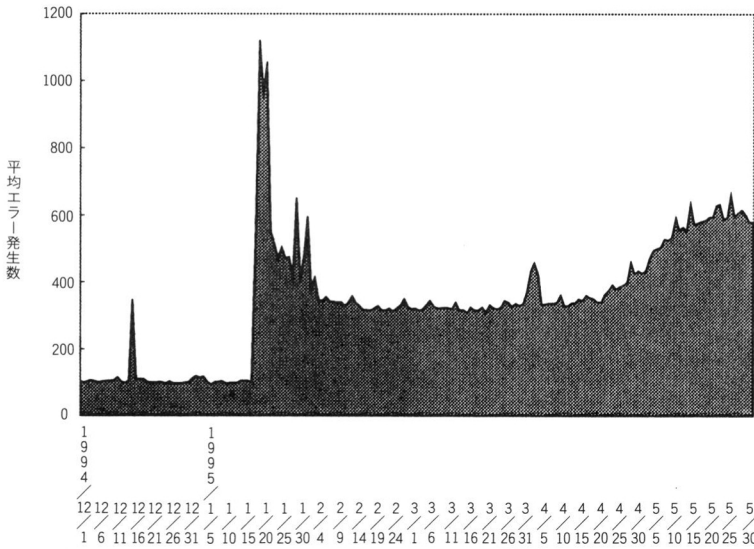


Fig.5 平均エラー感知器数の推移

倍程度で安定していることがわかる。なお、1995年5月に入るとエラー数が増加しているが、これは道路の本格補修のための道路線形・交差点形状の変更に伴う感知器の移設や、感知器自体の補修・機能チェックなどが開始された時期に対応しており、それらの影響と考えられる。この図より、発災後2、3日の交通状況の把握には感知器データの利用は難しいが、それ以降については利用可能であると考えられる。

は平常時の交通管理を主眼としているため、観測交通量がある上限と下限の範囲外であると、自動的に以前の同時帯のデータに置き換えられてしまう。本研究では、このようにデータが何らかの形で欠損しているものを除いて分析を行う。日ごとの平均エラー感知器数をFig.5に示しておく。これを見ると、発災直後には震災前の10倍にもエラーが増加しているが、それ以降2月ごろになればエラー数がほぼ4

3-3 計算に用いたネットワーク

本稿の計算は、効率性を考えて、被害の大きかった地域に限定した。具体的には、西区、北区、垂水区を除いた神戸市、芦屋市、西宮市とした。対象道路としては、比較的交通容量の大きな道路に限定した。また、インプットとして必要な既存ODパターンであるが、ここでは平成2年交通センサスを参考に作成した。計算に用いたネットワークの略図を

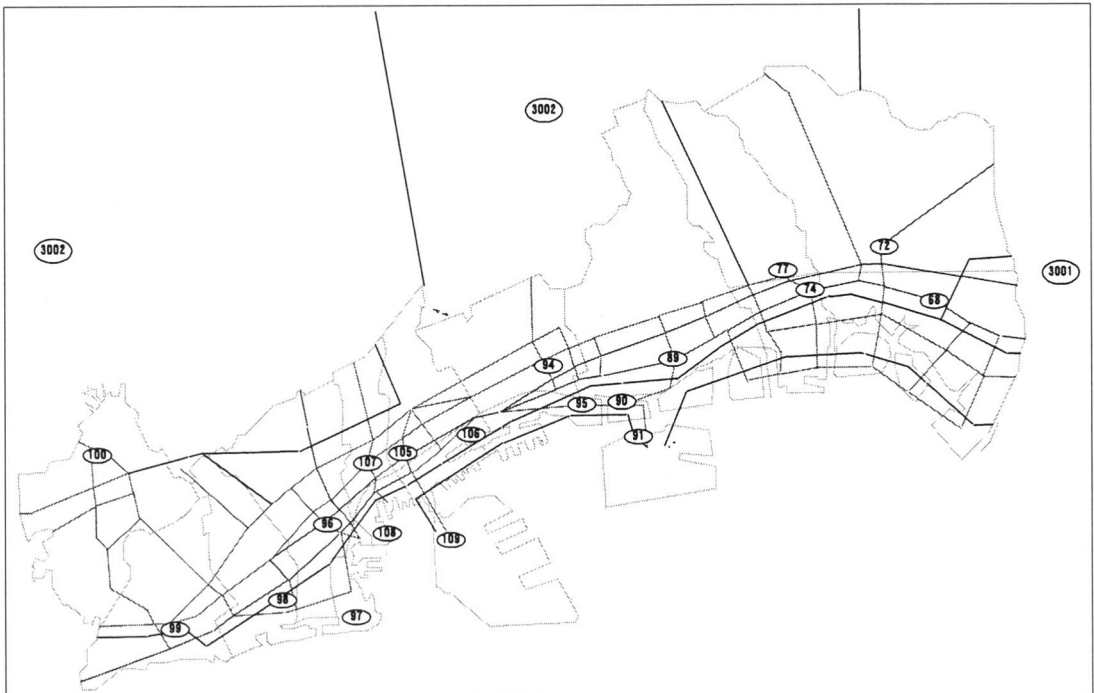


Fig.6 計算ネットワーク

Fig.6に示す。なお、分析の際には上記エリアをTable 1の四つに集約して行うことにする。

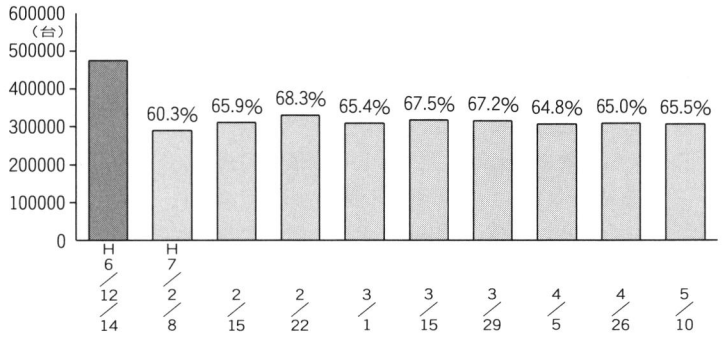
3-4 計算対象時点

計算対象時点は、1995年2月から1995年5月とした。この間で、交通規制の緩和やJRの全線復旧など、道路交通にインパクトを及ぼすと予測される事象を参考に、9時点の推定を行う。なお、曜日による変動も生じている可能性があるため、全ての推計日は水曜日とした。さらに、比較対象のために、1994年12月14日のデータを用いて、震災前の交通量の推計を行った。計算を行った時点とTable 2にまとめておく。

4. 道路網交通量の推計

4-1 総交通量の推移

まず、総交通量の12月14日時点の値に対する比率をFig.7に示す。これを見ると、発災直後においては震災前の交通量のおよそ6割程度しか発生していなかったことがわかる。さらにその値は、若干の上下をくり返しながら徐々に増加していく。しかし、今回の推計の最終時点である5月10日においても震災前の65%程度という結果となっており、阪神高速神戸線の不通の影響も大きいと思われるが、需要の回復にはかなりの時間がかかっていると考えられる。次に、主な交通インパクトとの関連性を見る。まず、2月22日から3月1日の間において一度交通量が減少している。この期間には交通規制の変更が行われており、それまでの災害対策基本法に基づく交通規制から、道路交通法による規制に変更された。これ



注) 図中%は平成6年(1994年)12月14日時点に対する比率。

Fig.7 総交通量の推移

により規制は緩和されたのであるが、緊急輸送車両の標章が災害対策基本法に基づいた交通規制の際には23万枚配布されたのに対して、その後の規制に対しては9万枚とおよそ半分になったこと¹⁰⁾、そして偽造標章の防止などを厳密に行ったことなどによって、結果的に交通量が減少したものと考えられる。次に交通量が減少しているのは3月29日から4月5日の間であるが、これは、4月1日のJR全線復旧の影響と考えられる。以上のように、総交通量から

Table 1 分析対象ゾーン分け

ゾーン名	セントロイド番号 (Fig.6に対応)	含まれる地域
芦屋・西宮	68, 72, 74, 77	芦屋市、西宮市全域
神戸市東部	89, 90, 91, 94, 95	神戸市東灘区、灘区
神戸市中心部	105~109	神戸市中央区
神戸市西部	96~100	神戸市兵庫区、長田区、須磨区
東側外部セントロイド	3001	-
北側外部セントロイド	3002	-
西側外部セントロイド	3003	-

Table 2 計算対象時点と計算のための諸量

日付	観測リンク数	ネットワークの諸量			備考
		リンク数	ノード数	セントロイド数	
1994/12/14	127	483	194	22	比較のための平常時データ
1995/2/8	104	366	144	22	
2/15	104	371	144	22	
2/22	105	371	144	22	乗り継ぎで神戸まで鉄道で移動可能
3/1	102	375	148	22	新交通規制に移行
3/15	106	375	148	22	
3/29	103	376	147	22	
4/5	97	376	147	22	JR全線復旧
4/26	97	394	158	22	新幹線復旧
5/10	87	394	158	22	交通規制時間帯の短縮

は、震災発生後の発生交通量は震災前のおよそ6割程度であり、その回復には非常に時間がかかっていることがわかる。

4-2 発生・集中交通量の推移

ここでは各地域における発生・集中交通量の推移からの考察を行う。発生交通量の推移をFig.8に示す。これを見ると、神戸市中心部を除いては交通量が減少していることがわかる。さらに、その後の傾向として、芦屋・西宮および神戸市東部の2地域については、時点を追うごとに交通量が回復していく兆しが見えるが、神戸市西部においては逆に減少しつつある。また、神戸市中心部では2月8日時点においても震災前よりも発生交通量が多くなっていることがわかる。

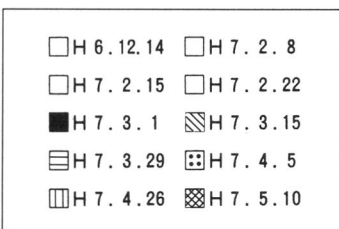
次に、各地域の集中交通量の推移を考察する。推定結果をFig.9に示す。これによると、全ての地域において集中交通量は減少している。特に神戸市中心部においてはその減少が激しく、通常時の半分程度でしかない。同様の傾向が芦屋・西宮地域においても見られる。一方、神戸市東部および神戸市西部においては、交通量は若干減少しているものの、その減少量は2、3割程度であり、集中交通量に関してはほとんど震災前と変化がなかったことがわかる。

以上の考察より、発生交通量および集中交通量は、震災後大きく変化していることが確認された。

4-3 対象地域外との交通量の関連性

本節では、対象地域外との交通量の関連性がどのようになっていたかを考察する。

まず、対象地域内を発生した交通が外部に位置するセントロイドへの程度流出していたかを考察する。結果をFig.10に示す。図より、震災前ではかなり多かった地域外の大坂方面（東部）への流出が半分近くまで減少していることがわかる。さらにその交通は4月



初めまで交通量の回復が始まっていない。一方、北東部および北西・西部への流出については、東部への流出ほど交通量の減少はなかったが、それでも6～7割程度に落ち込んでいる。また、北西部・西部への流出量は時点を追うことによってかなり回復していったが、北東部への流出に関しては5月に入ってやっと回復している。

次に、外部地域から被災地域への流入についての考察を行う。Fig.11に推計結果を示す。図を見ると、外部からの流入については、北東部および北西部・西部からは震災前とほとんど同様であることがわかる。それに対して、東部からの流入が5割にも満たない状況となっている。このような結果となった要因の一つに、阪神高速神戸線の不通が大きいと考えられる。つまり、流入についても流出についても阪神高速がないため、東部からの流入および東部への流出が減少したと思われる。

最後に、対象地域外との交通量はどのように推移したのかを考察する。ここでは、東部と西部の通過交通について分析を行う。推計結果をFig.12に示す。これによると、推計対象地域外を通過する交通は、震災によって大きく減少している。さらに、通過交通の割合は、震災後時点を追ってもあまり回復していないことがうかがえる。

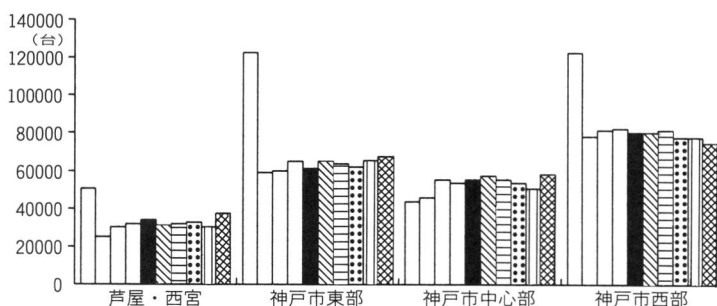


Fig.8 発生交通量の推移

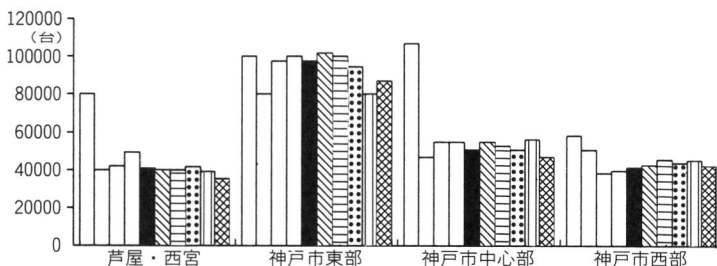


Fig.9 集中交通量の推移

5. おわりに

本稿においては、震災時の交通発生状況の推移を分析するために、兵庫県警で記録された交通量感知器によるデータを用いて分析を行ってきた。最後に、本研究で得られた成果をまとめ、今後の検討課題を明らかにしておく。

まず、交通量感知器データを集計することによって、道路交通量は、震災後大きく変化していることが明らかとなった。特に、交通規制が行われている区間の交通状況は、震災前のそれとは大きく異なるものとなる。さらに、1日の中での交通量の推移を考察した結果、交通規制が行われていないところにおいて、その交通発生パターンは震災前と類似したものになるが、震災前と比較して絶対的な交通需要が集中するため、大渋滞が発生していたと推測される。そのため、朝夕のラッシュ時間帯が前後に広が

っていることが明らかとなった。

次に、交通量感知器データを用いてOD交通量の推計を行った。その結果、震災直後の2月初めにおいて、総交通量は震災前の60%程度であり、そしてその量は5月までそれほど大きな変化をしていない。さらに、発生交通量や集中交通量の推移は、地域ごとに大きく異なり、交通需要の発生パターンが震災前とは大きく異なる可能性が高いことが確認された。特に、阪神高速道路神戸線の不通の影響が随所に見られ、大阪-神戸間の交通に大きな影響を及ぼしていることが確認された。

なお、本稿で行ったOD推計には幾つかの問題点が残されている。まず、車種による分類を行っていないことである。今回利用した交通量感知器が車種分類を行っていなかったため、ここでは全ての車両のODパターンは同一であるという仮定のもとに計算を進めたが、実際は貨物車両と乗用車では大きくODパターンが異なる可能性がある。その点についてさらなる考察が必要である。同様に、緊急車両と一般車両の分類も今回の推計では行っていない。この点についても改良が必要であろう。さらに、リンク利用率の算定を自由走行時間で行ったが、震災後大渋滞が発生したことは周知のとおりであり、そのためリンク利用率が現状を反映していない可能性も高い。この点についても改良、考察を行っていく必要があるだろう。

本研究の最終的な目標としては、阪神・淡路大震災で得られた事実を十分に考察し、今後の大規模災害に対する有用な知見を見出すことである。そのために、さらなる研究の方向として、道路施設や家屋の被害、もしくは被災者数など、比較的把握しやすいデータをもとに、災害発生後、交通需要パターンがどのように変化し、そしてそれが時点を追ってどのように推移するの

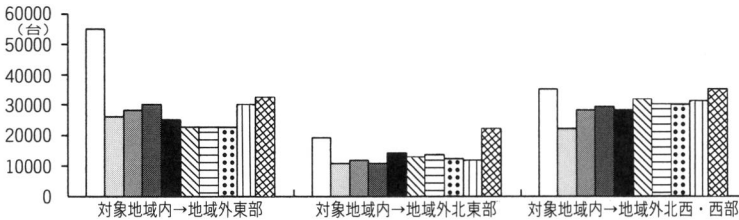


Fig.10 外部への流出状況

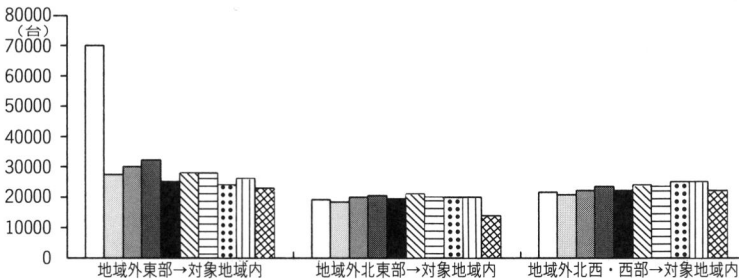


Fig.11 外部からの流入状況

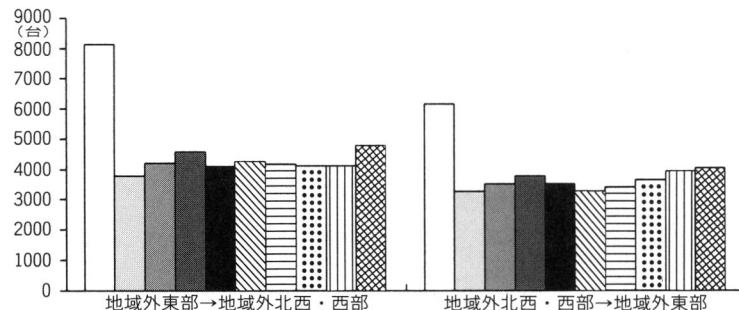


Fig.12 通過交通量の推移

かを考察することが必要である。今後は、各地域の被災状況と、交通の発生パターンとの間の関連性を明らかにしていきたい。

また、今回の分析により、交通規制が道路網交通量に大きな影響を及ぼしていることが示された。今後は、道路網交通量の推計結果と合わせて、交通規制の効果的な実施方法を総合的に分析していくことが必要と考えられる。特に、筆者らが提案している発生/集中交通量最大化モデル⁸⁾と交通規制との関係を研究することが課題と思われる。

〈謝辞〉

本研究は、財国際交通安全学会H723プロジェクトおよびH832プロジェクト（PL：飯田恭敬）において行われた研究の成果の一部である。ここに付記して深謝したい。また、本研究を進めるにあたって、計算の実施およびデータの整理に関して杉本昌彦氏（現静岡県）、牛場高志氏（京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程学生）、蔵所泰剛氏（京都大学工学部交通土木工学科学生）に協力頂いた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 建設省道路局企画課道路経済調査室「道路通行止め・交通規制等による交通への影響」『道路交通経済』No.72、pp.13～17、1995年
- 2) 内田、飯田「兵庫県南部地震被災地における9大学合同交通量調査の概要」土木計画学研究発表会講演集18(2)、pp.839～841、1995年
- 3) 村野、松本、内田「阪神・淡路大震災時の交通規制下における乗用車交通流」土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第IV部、pp.58～59、1996年
- 4) 松本、村野、内田「阪神・淡路大震災に伴う交通規制下の物流自動車交通流の分析」同上書、pp.60～61
- 5) 本間、森、木戸、齋藤「阪神・淡路大震災後の交通実態」同上書、pp.68～69
- 6) 味沢、家田、加藤「阪神大震災における被災者の生活と交通需要実態」同上書、pp.64～65
- 7) 若林、亀田、兼信、坪内「阪神・淡路大震災が通勤交通に与えた影響に関するアンケート調査の分析」同上書、pp.66～67
- 8) 倉内、飯田、杉本「地震時の利用可能道路網から見た適性交通量に関する研究」第1回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集、pp.165～168、1996年
- 9) 飯田、高山「リンクフローによるOD交通量推計モデル」『土木計画学講習会テキスト“交通ネットワークの分析と計画：最新の理論と応用”』pp.97～120、1987年