帰宅困難者を考慮した震災時における 交通対応策に関する研究

中川大¹・青山吉隆²・松中亮治³・田中宣好⁴

¹正会員 工博 京都大学大学院工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail: nakagawa@utel.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²フェロー会員 工博 京都大学大学院工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail: aoyama@utel.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 博(工学) 岡山大学環境理工学部 (〒700-8530 岡山市津島中3-1-1)

E-mail: matsu@cc.okayama-u.ac.jp

⁴学生会員 京都大学大学院工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail: n.tanaka@kuciv.kyoto-u.ac.jp

阪神淡路大震災以降、震災時の交通現象については様々な研究によって詳しく解明されてきている。しかしながら、遠方からの通勤者など、震災直後に自力で帰宅することが困難となる帰宅困難者については阪神淡路大震災では大きな問題とならなかったこともあって、どのような影響がもたらされるか分析は進んでおらず、政策的にも有効な対応策が打ち出されている状況ではない。本研究では、帰宅困難者の発生が被災地内での物資供給と交通の状況に与える影響を分析するとともに、複数の対応策を示したうえでその効果を比較する。対応策は、通行規制などの直接的な交通対策に留まらず、物資輸送の配分方法、帰宅困難者の帰宅方法、備蓄の増強などに関するものを対象とする。

Key Words urban disasters, relief transport plan, relief goods distribution

1. はじめに

都市における人々の活動は時間とともに大きく変動しているため、突発的な災害が発生した場合、その発生時刻によってその後の緊急対応の状況は大きく異なると考えられる。とりわけ都市圏が拡大した現在においては、自力で帰宅することが困難となる帰宅困難者が多数にのぼることが予想される時間帯もあり、震災直後の交通や物資の供給状況はそれによって大きな影響を受ける可能性がある。しかしながら現在までのところ、この帰宅困難者の問題への対応はその人たちの帰宅方法の検討に留まっており、帰宅困難者の発生が被災地内にどのような影響を及ぼすかについては分析も遅れており、それに対する有効な対応策が打ち出されている状況には至っていない。

帰宅困難者は、都市によっては数10万人から100万人を超える規模で発生する可能性があると考えられており^{1), 2)}、それによる帰宅交通や物資供給のための行動が、震災直後の被災地内の限られた交通容量のなかで相当な負荷をもたらす可能性が高い。例えば、

帰宅困難者が、被災した場所に留まることになれば、被災地に供給すべき物資の需要量が大きくなり、物資供給のための車両が増加することになる。また、早期の帰宅を目指せば徒歩にせよ自動車・バス等を利用するにせよ、緊急時の道路交通容量に大きな負荷を与える。いずれにしても、帰宅困難者への対応は、震災後の緊急輸送において重要な要素となるものであり、その影響を踏まえたうえで対応策を確立しておく必要がある。

そこで、本研究では、帰宅困難者が震災後の被災地内における物資供給と交通状況に対して与える影響を明らかにし、それに対応するための複数の方策を示したうえで、それらの効果を比較する。具体的には、まず地震発生時における対象地域内の人の空間的分布を求め、これをもとに帰宅困難者数をゾーン別に推計する。そのうえで震災発生後1週間程度の混乱期における都市内の人と物資の時間的・空間的な動きを捉える震災時都市活動シミュレーションシステムを用いて、帰宅困難者が発生している状況において交通と物資供給がどのように変化していくかを分析する。

さらに、その状況を改善するための複数の対応策を示し、その効果を比較する。対応策は、通行規制などの直接的な交通対策に留まらず、物資輸送の配分方法、帰宅困難者の帰宅方法、備蓄の増強などに関するものを取り扱う。これは、震災直後の交通は単に発生した交通量をさばくという視点だけでは解決することが難しく、交通の発生そのものを抑えることや、物資の適切な配分を行なうことなど総合的な対応策が重要であるということを示した阪神淡路大震災の教訓⁹⁾に基づくものである。

具体的な計算は、圏外からの通勤や観光による来訪が多く、人の時間的・空間的分布の変化が大きい都市の一つである京都市を対象として行う。

2. 帰宅困難者の影響と震災直後の交通対応策に関する従来の研究

(1) 帰宅困難者の影響

阪神淡路大震災は地震発生が通勤時刻前であったことだけではなく、1月の連休明けの早朝という、都市圏外からの来訪者が最も少ないと考えられる時間帯の一つであったこともあって、帰宅困難者が大きな問題となることはなかった。しかし、帰宅困難者は、地震の発生時期や発生時刻によっては相当な規模で発生することが多くの都市において予想され、この問題への対応は防災計画を考えていく上で重要な課題となっている。

帰宅困難者への対応策は、各都市の地域防災計画等においても十分に示されていないため、現状においては相当な混乱が予想される。帰宅困難者の行動は主に、被災した場所に留まるか、自宅等を目指して移動するかであると考えられるが、前者の場合は供給すべき物資の量が増大し、後者の場合は帰宅のための交通が発生する。いずれにしても物資の需給関係や道路交通の状況に大きな影響を与えるため、これらの相互の関係を踏まえた上で対応策を早急に検討する必要がある。

(2) 従来の研究

これまで阪神淡路大震災を対象として被災地内の人や物資の動きに関して様々な分析が行われてきた。例えば、人の動きに関しては、避難交通や安否確認などの目的別に発生頻度を分析したもの^{4), 5)}、物資の動きに関しては、救援物資の内容や量的分布を分析したもの^{6), 7)}など多数の研究があげられる。また、道路交通現象に関する研究も、自動車交通量の質的・量的把握^{8), 9), 10), 11)}や交通規制に関する分析^{12), 13)}など多数

あげられる。また、人と物資の移動とその相互関係を捉えたもの¹⁴⁾や、震災時に発生する基本的な交通問題を整理して教訓を指摘したもの^{15), 16), 17)}などもあり、震災時の交通現象の解明は進んでいる。

しかしながら、これらはいずれも、阪神淡路大震災の経験に基づくもので、その時には大きな問題とならなかった帰宅困難者による影響は直接の分析対象とはしていない。一方、パーソントリップ調査等を用いて阪神淡路大震災の被災地内における人の時間的分布を求めた研究もあり^{18), 19)}、都市内における人口分布の時間的変化を考慮することの重要性については認識されてきている。しかしながら、これまでのところ、帰宅困難者を取り扱った調査・研究等の多くは、帰宅困難者をいかに帰宅させるかという視点からのものが多く^{1), 2)}など、被災地内における物資供給なども含めた緊急時の交通対応全般に関連する根本的な問題であるという視点からの現象分析には至っていない。

そこで本研究は、帰宅困難者が震災後の被災地内の物資供給と交通状況に与える影響を分析するとともに、その対応策の提示と効果の分析を行う。そのため、都市活動を、人の動き・物資の動き・車両の動きの3要素として表現する「震災時都市活動シミュレーションシステム」を用いることによって、震災時における都市活動の時間的・空間的な動きを捉え、これらの3要素が相互に影響しあっている状況を考慮して、帰宅困難者の影響を分析する。

3. 都市内における人の時間的・空間的分布

まず、都市内における平常時の人の活動分布を求めるため、対象都市である京都市をゾーンに分割し、ゾーン別・時間帯別にゾーン内滞在者数を算出する。ここで、ゾーン内滞在者数とは、その時間にゾーン内にいる人の合計で、ゾーン内に常住してその時間にも留まっている人と、ゾーン外からの来訪者の合計である。このうちゾーン外からの来訪者については、帰宅困難者の判定や震災後の行動分析に用いるためその常住地および来訪の際に用いた交通手段を求める。京阪神都市圏内からの移動のデータはパーソントリップ調査を用い、都市圏外からの来訪は観光調査年報²⁰⁾を用いる。ゾーンは、パーソントリップの小ゾーンを基に58ゾーンに区分した。

なお、観光目的による来訪者の数は日変動が大きい。本来はその変動を考慮すべきであるが、分析に用いることができる精度で来訪者の日変動を求めたデータはないため本研究では観光調査年報による

年間訪問者数の日平均値を用いた。

以上の前提のもとで、時間帯別の滞在者数をゾーンごとに求めた。その結果として、都心地区のゾーンの例を図-1に、周辺地区のゾーンの例を図-2に示す。

また、これらの図には滞在者のうちの帰宅困難者の数も示している。東京都地域防災計画¹⁾などでは20km以上離れたゾーンからの来訪者は徒歩での帰宅が困難であるとしており本研究も同様に、20km以上離れたゾーンから自動車以外の手段で来訪している人を帰宅困難者とした。なお、これらの図中には既に来訪中の人数に加えて、その時点で移動中の人数も示している。

また、対象地域全域における帰宅困難者数の時間推移を図-3に、帰宅困難者の空間的分布を図-4に示す。時間帯により来訪者数や帰宅困難者数は大きく変動しており、また、その空間的分布は大きく広がっていることが分かる。

図-1 時間帯別・滞在者数(都心部ゾーンの例)

図-2 時間帯別・滞在者数(周辺部ゾーンの例)

図-3 帰宅困難者数合計

図-4 帰宅困難者の空間的分布(13時)

4. 震災時都市活動シミュレーションシステム

震災発生時の被災者数や物資の需要と、それに伴う交通需要等の時間的・空間的变化を動的に把握するため、人と物資と車両の動きを表す震災時都市活動シミュレーションシステムを構築する。システムはこれまでに構築してきたもの^(14), 21)を改良したもので、本研究ではこれまで組み込まれていなかった帰宅困難者の取り扱いとそれに伴う物資流動の変動を考慮できるように改良した。道路交通シミュレーションモデルの特徴やこれまでの検証内容等については文献^(14), 21)に記している。以下に、システムの概要と本研究における改良点を示す。

(1) システムの構成

システムは大きく分けると基本データ作成部分、核となる都市活動モデル部分、およびデータアウトプット部分から構成される。

a) 基本データ作成

計算を行うにあたって基本となるデータは、対象都市の道路ネットワークデータ、地震発生時の道路交通状況データ、ゾーン別の滞在者数・帰宅困難者数・被災度等であり、それぞれ統計資料・パーソントリップ調査データ等を用いて作成する。

b) 震災時都市活動モデル

震災時都市活動モデルは、さらに「個人・非個人トリップ発生モデル」、「物資輸送分布・消費モデル」、「道路交通シミュレーションモデル」の3つのサブモデルから構成される。

「個人・非個人トリップ発生モデル」は、震災時における個人および公的な活動の発生トリップ数を求めるもので、「物資輸送分布・消費モデル」は、物資の需給状況を算出するとともに、輸送トリップの分布交通量を求めるものである。また、「道路交通シミュレーションモデル」では刻々と変化する自動車交通流をシミュレートする。

個々のサブモデルの結果は、次の時刻の計算において、他のサブモデルのデータとして入力することによって各々のモデル間の相互の影響を考慮する。

本研究では帰宅困難者の行動を考慮するため下記の内容を備えたモデルに改良した。

①震災発生時点における各ゾーンの滞在者にそれぞれ自宅ゾーン（すなわち震災後に帰宅を目指すゾーン）と来訪交通手段との情報をもたせ、帰宅困難者の行動を考慮できるようにする。

②帰宅困難者の帰宅手段としてバスによる輸送を考慮することができるようにするため、道路交通シミュレーションにバス交通を組み込む。帰宅困難者の輸送バスは、被災地の滞在者数を減らす効果がある一方で、道路交通には負荷を与えることになるためその影響を考慮するものである。

③帰宅困難者等の行動によって刻々と変化する滞在者数に対して必要な物資を計算するため、物資需要の計算を時間の経過に応じて逐次再計算できるようにする。

表-1 発生するトリップ目的

主体	種類	目的
個人	非物資輸送	避難、救助救援、状況把握、通勤通学、支援
	物資輸送	物資調達
非個人	非物資輸送	緊急車両等
	物資輸送	公的物資輸送

④パーソントリップ調査の圏域外からの来訪者を考慮できるようにする。

⑤以上の結果、対象地域内での帰宅困難者の分布と物資の状況を表現し、道路が混雑して物資輸送が滞れば各ゾーンに供給される物資が不足し、物資の不足によってさらに個人による物資調達行動が発生することによって一層の道路混雑を招くという循環的な関係を表現することができるようにする。

c) データのアウトプット

ゾーン別の物資の充足率、時刻ごとの走行中の車両台数、道路リンク混雑状況など計算の過程において求められる数値をアウトプットする。

(2) 各サブモデルの概要

a) 個人・非個人トリップ発生モデル

震災時の個人および非個人のトリップ発生量とそのOD分布を算出する。震災時に発生するトリップ目的として、表-1に示すものを考慮する。トリップ発生率やOD分布は阪神淡路大震災時の分析に基づいて設定する。具体的な設定方法は、次章の事例の中で説明する。また、非個人の物資輸送（公的物資輸送）については、次項の物資輸送分布・消費モデルで算出する。

b) 物資輸送分布・消費モデル

①物資輸送分布

公的な供給物資の各ゾーンへの配分方法に関しては、個人の自由意志による物資調達行動とは異なり、計画的に配分することも可能である。

人と物資の時間的・空間的分布を考えたとき、物資の輸送配分方法は重要な要素となるため、計画的に行なわれるケースと非計画的なケースを比較できるように、以下の3つの配分方法を用意する。いずれの場合も、物資輸送の総量はその時点での被災地内の需要を満たすように設定し、対象地域への流入リンクを通じて被災地外から供給されるものとする。

i) 被災者数比例分布（非計画的な場合に相当）

外部からの物資供給が出発地点の位置にかかわらず、単に被災度に応じて行なわれる場合を表すもの。

効率的な配分方法ではないが、阪神淡路大震災の時には、物資の出発地点にかかわらず、被災度が大きく報じられた地区に物資が集中して運ばれるなど、物資の配分に問題があったことが明らかになっている³⁾。また、現在も多くの都市の地域防災計画において配分方法を指示する視点はなく、空間的な配置を考慮せずに、被害の大きい地区に物資が運び込まれる可能性が高いため、その状況を表現するものとして設定する。

図-5 分析に用いた道路ネットワーク
(▲は、震災後に想定した走行不能箇所)

ii) 重力モデルによる分布 (iとiiiの中間的な場合に相当)

ゾーン毎の物資需要とそのゾーンまでの所要時間を考慮して、重力モデルを用いて分布量の計算を行うもの。空間的な配置がある程度考慮された配分方法である。このモデルは輸送主体が、各ゾーンの物資の不足状況とともに、その時点での道路の所要時間によって、目的地となるゾーンを選ぶ状況を想定したものである。

iii) 区域指定分布 (計画的に配分される場合に相当)

出発地点からできるだけ近いゾーンに運ぶなど物資輸送を全体として最も効率的にする配分方法によって輸送するもの。すなわち、被災地への流入地点によって物資供給の区域を定めるもので、モデルとしては線形計画法のHicthcook型の輸送問題を利用している。被災地内における輸送車両の錯綜を減少させることにもなり、重力モデルよりさらに効率的であると考えられる。

②物資の消費

各ゾーンに運び込まれた物資によってゾーンごとの物資需要量は減るがその後の消費によって再び増加する。したがって、食料等の消耗品については時間の経過に伴って消費による需要量の増加を考慮する。

この際、食料品については、当日のうちに消費しなかった分は無効になるものとし、備蓄物資は残量がある限り利用できるものとする。

c) 道路交通シミュレーションモデル

道路ネットワーク上において刻々と移動する車両の状況を表現する。車両は、所要時間が最短となる経路を走行するものとする。最短経路の探索はWarshall-Floyd法を用い、5分おきに最短経路情報を更新する。

リンク上の車両の走行速度は、その時点でのリンク上の車両数に基づいて、交通密度と走行速度の関係を表したJ. DrakeによるK-V式によって決定する。この際、各車両の走行速度は、後続車両の影響を受けずリンク始点流入時に決定された走行速度によってリンク終点まで走行するものとする。

なお、リンクの所要時間は刻々と変化し、最短経路も変化するため、走行する経路の選択には、出発時点での最短経路を最後まで走行する方法や、現在位置の交差点からの最短経路を逐次走行する方法など様々な方法が考えられる。シミュレーションでは、どの方法も計算可能であるが、次章の分析では、現在位置の交差点からの最短経路を逐次走行する方法を用いている。震災時の混乱時期においては、最短経路が正確に把握できない状況を想定することも考えられるが、次章においては複数の対応策の比較を目的としているため、ランダム性の入らない経路選択方法を用いた。

5. 帰宅困難者を考慮した震災時の交通状況の分析

(1) システムの条件

a) 道路ネットワーク

対象とする京都市の道路ネットワークは、主要道路を網羅したものとし、リンク数は863、ノードはゾーン拠点ノード58、被災地外拠点ノード8、交差点ノード195を設定した。対象とする道路ネットワークを図-5に、設定内容を表-2に示す。

b) 想定した被害の内容

阪神淡路大震災クラスの被害を想定するものとし、各ゾーンの被害は、内閣府による被害想定支援マニュアルを用いて計算した。計算の際に設定した条件は表-2に記載した。

公共交通機関は、鉄道がすべて不通となることを想定した。したがって、鉄道で来訪していた人のうち20km以上離れたゾーンからの人は帰宅できずに被災したゾーンに留まり、5. (3)に示す帰宅困難者の移動

方策にしたがって移動するものとする。20km未満のゾーンからの鉄道による来訪者は、徒歩によって帰宅するものとする。バスも多くの路線が不通となることが予想されるが、徒歩によって帰宅することが可能であり、それらの人の帰宅のための車両発生はないと考える。

道路ネットワークの損壊に関しては、京都市の調査研究²²⁾に基づいて耐震性に関する危険度が大きな橋梁、および山間部路線、街中の狭部など、合計21ヶ所が走行不能になると想定した。その位置は、図-5のなかに記載した。

また、地域防災計画では緊急輸送路を指定し、緊急通行車両を優先的に走行させることを想定しているが、阪神淡路大震災の経験から市街地内で交差点などの流入部の多い道路網においては震災直後から有効に機能させることは難しいと考えられる^{3), 17)}ため、優先道路は設定していない。

c) ゾーンデータおよび物資備蓄に関する設定

各ゾーンの常住人口、発生時刻別の帰宅困難者数、震災による被災度等は表-2に示した。また、物資の備蓄データの設定方法も同様に表-2に示した。

d) トリップの発生

①個人トリップ

個人による非物資輸送トリップについては、阪神淡路大震災の研究^{4), 23)}を用いてトリップ発生量を求める。また物資調達行動については、物資の充足率に応じて発生率が異なり、充足率が低いときに多くの調達行動が起きるといふ状況を表現する。これは、渋滞が発生して物資が不足すれば、個人が物資を調達することとなりそれがまた道路に負荷をかけるという状況を表現するものである。

②非個人トリップ

非個人トリップは、緊急自動車とその他公的車両として、それぞれ阪神淡路大震災時に得られたデータに基づいて¹⁴⁾発生量を求める。また、分布については4.(2)b)に示した3つの配分方法による。

(2) 対応策が実施されない場合の計算結果

まず、現在の状況において特別な対応策が実施されない場合を想定して、震災後の物資供給と道路の状況を分析する。

物資輸送方法は、現状では計画的な配分方法が指示される状況ではないため被災者数比例分布を用いる。また、地震発生時刻は、8時、10時、13時、17時の4つの時刻を設定して計算した。

表-2 分析に用いるデータの作成方法

データの種類と作成方法	
道路ネットワークデータ	高速道路、自動車専用道路、国道、都道府県道、その他片側2車線以上の道路とゾーン間を結ぶ主要な道路をリンクとして用いる。リンクの持つデータはリンク長、車線数、起終点ノード番号、路線ランク、交通規制対象の有無、それぞれのリンクは方向別に設定し、双方向に通行可能な道路は互いに逆向きで並行する2本のリンクとして考える。ノードは、交差点ノード、ゾーン拠点ノード、被災地境界ノードの3種類とする。
ゾーンデータ	常住人口、発生時刻別の帰宅困難者数及び想定被災度を求める。常住人口は、住民基本台帳による。帰宅困難者はパーソントリップ調査及び観光調査年報より求める。被災度は内閣府防災部門による被害想定支援ツールによって、震源の種類・位置・深さ・長さ・発生時期・発生時間から基準地域メッシュごとの建造物の被害数を計算。この建造物の被害数と住宅・土地統計調査報告による建造物の総数を用いて建造物の倒壊率を計算。地震の規模は、阪神淡路大震災と同程度のマグニチュード7.6、震源地は京都市防災計画において最大の被害をもたらすと想定されている花折断層として各ゾーンの被災度を算出した。
備蓄データ	公的な備蓄物資の品目とその備蓄量については地域防災計画を参考に設定。 家庭での物資の備蓄量は、飲料水の備蓄を0.29日分、食糧の備蓄を0.80日分 ¹⁾ と設定する。
地震発生時交通状況データ	地震が起こる瞬間に走行中の各車両の目的地や自宅などのデータと各リンクの走行車両台数や所要時間などのデータ及び地震発生後に各ゾーンから帰宅する車両数のデータを作成。マイカーはパーソントリップ調査、貨物車両は道路交通センサス一般交通量調査のデータを用いる。
物資需要率データ	経日的な物資の需要量は、阪神淡路大震災のデータに基づく分析による需要率 ¹⁴⁾ を用いて求める。居住に支障を来す住居被害を受けた第1次被災者と居住は可能であるが生活物資確保の上で支障を来す第2次被災者に分類して計算。物資は、飲料水・食料品・衣料品・日用品・プレハブ住宅・テントシートの6種類に分類し、それぞれについて日別の需要割合を設定する。

発生時刻によって異なる項目は、発生時点における帰宅困難者数、帰宅を目指す車両数、発生時点の道路交通の状況、2日目以降の物資を供給するために確保できる時間の長さなどである。

計算結果として算出されるのは、震災発生から7日間分の道路交通や物資供給の状況で、それらのなかからまず、道路交通の状況を表すものとして、時刻

図-6 走行車両台数の変化（対応策が実施されない場合）

<発生時刻 13 時>

<発生時刻 17 時>

図-7 対応策が実施されない場合の物資充足率
（震災3日目昼食時）

ごとの自動車の走行台数を図-6に示す。走行台数は、いずれの場合にも、初期に必要な物資が運ばれる2日目・3日目において特に多いが、そのなかでも発生時刻が17時の場合に一番多く、次いで発生時刻が13時の場合が多い。

発生時刻が17時の場合、2日目早朝においても大きな交通量となっており、初日の道路状況が2日目にも影響を残していることがわかる。17時に発生した場合、帰宅困難者が多いうえ、発生時点においてすでに道路上の車両数が多く走行速度が低いこと、発生後に帰宅を目指す車両数も多いことなど、初期の条件が厳しいため、それが2日目以降にも大きな影響を及ぼしていると考えられる。また、図-7は、走行車両台数が多い結果となった13時発生と17時発生の場合について、各ゾーンの物資充足率を示したもので、3日目の昼食時における消耗品の状況をあげている。いずれにおいても80%以上の物資が充足するゾーンは限られており、特に17時発生の場合の充足率は低くなっている。

また、それぞれの発生時刻における混雑リンク（時速5km以下のリンク）の平均本数の推移を図-8に示した。2日目・3日目には特に多くのリンクで厳しい混雑が発生しているが、充足率が低い17時発生の場合には、個人による物資調達車両が発生して、さらに混雑する状況が、図-6および図-8からわかる。

(3) 対応策の提示と効果計測

現状においては帰宅困難者への対応策は明確ではなく、前節で求めたように震災直後において渋滞や物資不足が相当規模で発生すると考えられる。そこで、対応策として下記のような方策を考え、その効果

を計測する。

a) 物資輸送方式の改善

①被災度の空間分布を考慮した輸送方式

被災地全体の需要と道路ネットワークの情報が提供され、空間分布を配慮した輸送が行なわれる場合として設定する。計算上は、4.(2)b)に示した重力モデルによる分布を用いる。

②流入地点によって輸送区域を指定する方式

輸送問題の最適解にしたがって、流入地点ごとに輸送区域を指定する方法。被災地内の輸送車両の錯綜を減らすケースとして4.(2)b)の区域指定分布を用いる。

b) 帰宅困難者を考慮した備蓄

現在の私的・公的な備蓄に加えて、各ゾーンの最大帰宅困難者数に応じた備蓄を行うケース。具体的には最大帰宅困難者数の1日分の必要物資を各ゾーンの備蓄として加える。

c) 帰宅困難者の移動方策

現状では帰宅困難者を帰宅させる方策は具体的に示されていないが、実際には何らかの方策が必要である。そこで帰宅のためのバスを、①2日目・3日目に運行するケース（帰宅困難者早期帰宅方策）と、②6日目・7日目に運行するケース（帰宅困難者中期帰宅方策）の2通りを考える。

効果の計測はまず、これらのそれぞれの改善策が単独で実施された場合について行い、次に改善策を組み合わせる場合についても検証する。なお地震発生時刻は、対応策が実施されない状況につ

図-8 混雑リンク(時速5km以下)の平均本数の変化
(対応策が実施されない場合)

いての分析で最も厳しい交通状況となった17時に設定した。

まず、各対応策別の走行車両台数の推移を図-9に示す。対応策を実施した結果、いずれの場合も削減されており、特に区域指定輸送方式が少なく、被災度の空間分布を考慮した輸送方式がそれに次いで少ない。また、早期帰宅方策はバス輸送のために2日目の走行車両台数が対策なしを若干上回るが、その後は必要な物資供給量が減少するため走行車両も少なくなる。なお、中期帰宅方策は6日目以降の対応であるので、この図では対策なしと同じになる。

また、各ゾーンの3日目昼食時の物資供給の状況に対応策別に図-10に、混雑リンク数の変化を図-11にそれぞれ示す。

注) 中期帰宅施策は5日目までは、対策なしと同じになる。

図-9 対応策別の走行車両台数

図-10 対応策実施時の各ゾーンの物資充足率（3日目昼食時）

図-10のように、被災度の空間分布を考慮した輸送方式の場合、ほとんどのゾーンにおいて充足率が改善されている。また、輸送区域を指定する輸送方式の場合も大きく改善されるゾーンが多い。図-11より、混雑リンク数も、特に3日目・4日目において、対策のない場合より改善されていることがわかる。しかしながら、人口の少ない周辺部で、供給率の低いゾーンが生じており、均等な配分とはなっていない。この方式は全体としては供給率が高くなるが、ゾーン間で格差が生じる点で問題がある。

備蓄量を、帰宅困難者を考慮して増加した場合も、全域において改善が見られる。この施策は初期の渋滞発生を防ぐ効果があり、そのことが2日目以降の発生台数の抑制に効果をもたらし、その結果、充足率も高くなっているものと考えられる。図-11から、混雑リンク数も減少しているが、備蓄によって必要車両数が直接減少する2日目だけではなく、3日目・4

日目の改善にもつながっていることがわかる。

また、帰宅困難者を早期に帰宅させる方策も、被災地における物資需要を削減する効果があり、対策なしと比較して改善されている。帰宅困難者を6・7日目に帰宅させる中期帰宅方策は、当初の5日間においては対策なしと同じであるため、この時点までには効果が表れない。走行車両台数の推移からわかるように5日目までにある程度、初期の混乱が収まっているため、この方策の実質的な効果は小さいと言える。

(4) 組合せ施策の効果

これらのことを踏まえて、複数の方策を組み合わせた場合の効果について分析した。組み合わせる施策は、「被災度の空間分布を考慮した輸送方式」、「備蓄量の増加」、「帰宅困難者早期帰宅」の3つとした。物資の輸送方法については区域を指定する配分方法

図-11 混雑リンクの平均本数の変化

も有力であるが、被災地間での格差が生じる結果となったため、ここでは被災度の空間分布を考慮した輸送方式を用いて検証を行う。

これらを組み合わせた改善策について計算した結果、各日の走行車両台数の推移は前掲の図-8のなかに示しており、物資充足率については図-12に3日目昼食時の状況を示した。また、図-11のなかに混雑リンク数の変化を示している。

図-9、図-11から、組合せ方策によって走行車両台数および混雑リンク数が大きく改善されることがわかるが、これは備蓄による初期の物資輸送車両数の削減や、配分方法の改善による輸送の効率化が行なわれ、さらにそれらによる走行環境の改善によってそれぞれのトリップの所要時間が減少していることなどが複合的に作用して効果を発揮しているものと考えられる。帰宅困難者の早期帰宅のための輸送は、2日目・3日目の交通量を増やす要因となるが、他の方策との組合せによってその増加分は吸収されており、その後において被災地の物資需要を削減する効果をもたらしている。

それらの結果、図-12に示すように物資充足率も全域にわたって改善されており、これらの施策を組み合わせることで実施することの効果は大きいことが分かる。

6. おわりに

本研究は、震災時の交通への影響がいまだ明らかとはなっていない帰宅困難者の問題を対象として、その影響を分析するとともに、複数の対応策を提示

図-12 組合せ施策による物資充足率
(3日目昼食時)

し、その効果を分析したものである。

モデル分析は様々な仮定を含むものであることに留意する必要があるが、現状には大きな問題があり、対応策には一定の効果が見られることは明らかになったと考える。

従来の震災時の交通対応策は、通行を規制することが中心となっており、発生そのものを抑えるための具体策や、空間的・時間的に効率化を図る方策が十分でないが、本研究で示したように輸送配分の効率化や備蓄の増加など交通規制策以外にも効果のある方策があることがわかる。

また、震災発生の初期段階における物資の不足によって個人の物資調達車両がより多く発生するという現象を考慮して分析した結果、それによって混雑が増幅され物資供給と交通は厳しい状況に陥ると考えられること示された。初期段階での車両の発生を

防ぐことが極めて重要であると言えるが、その点については、交通規制などの現場の対応策に留まっている現在の地域防災計画には課題が多く、本研究の結果も踏まえて緊急に対応する必要があると考える。

なお、本研究では、備蓄を増加させるために必要な経費や場所の確保、帰宅困難者の輸送のためのバスの調達方法など施策の具体化にあたっての課題の吟味までは至っておらず、実際の施策実現にはこれらの要素も含めて考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 東京都地域防災計画 震災編, 東京都防災会議, 1998.
- 2) 関西広域連携協議会: 災害時の昼間流入人口問題の解決に向けて, 2002.
- 3) 中川大: 地震直後の交通渋滞と防災交通計画, 交通工学 Vol. 30, 増刊号, pp. 22-27, 1995.
- 4) 富田安夫, 林良嗣, 家田仁, 中川大: 自動車交通の削減可能性からみた兵庫県南部地震後における交通行動実態分析, 第31回日本都市計画学会学術論文集, pp. 775-780, 1996.
- 5) 岸野啓一, 本田武志: 震災後の交通行動に関する考察, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 333-338, 1997.
- 6) 小谷通泰: 阪神・淡路大震災時における救援物資の都市内輸送の実態と今後の課題, 土木計画学研究・講演集 No. 18(1), pp. 472, 1995.
- 7) 中下光治, 小谷通泰, 長岡数朗: 震災時における避難所への救援物資輸送の実態について, 土木計画学研究・講演集 No. 19(2), pp. 335-338, 1996.
- 8) 塚口博司, 川村智司, 中辻清恵, 戸谷哲男: 空中写真を用いた震災直後における道路交通状況に関する分析, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 259-266, 1997.
- 9) 田中伸治, 桑原雅夫, 赤羽弘和, 吉井稔雄: 災害時における交通需要推定と交通シミュレーションを用いた交通管理策の評価, 土木計画学研究・講演集No. 22(2), pp. 499-502, 1999.
- 10) 内田敬: 兵庫県南部地震被災地域における幹線交通量の観測(9大学合同調査), 交通科学, Vol. 25, No. 1, No. 2合併号, pp. 33-38, 1996.
- 11) Nakagawa, D., Itoh, T., Yoshikawa, K. and Kobayashi, H.: The Characteristics of Traffic Conditions Immediately after the 1995 Kobe Earthquake, Journal of Natural Disaster Science. Vol. 20, pp. 11-20, 1998.
- 12) 宇野伸宏, 飯田恭敬, 谷口栄一, 牛場高志: 阪神・淡路大震災後の道路網の機能低下と交通規制の影響, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 201-208, 1997.
- 13) 秋田直也, 小谷通泰: 大規模災害時の交通規制下における自家用車利用意向に関する分析, 土木計画学研究・論文集 No. 17, pp. 641-648, 2000.
- 14) 中川大, 若山真樹, 伊藤雅: シミュレーションを用いた震災時の緊急物資輸送計画に関する研究, 土木計画学研究・論文集14, pp. 353-360, 1997.
- 15) 中川大: 震災緊急対応時の交通問題—大震災の教訓と都市災害への対応策—, 自然災害科学J. JSNDS 特集号, pp. 18-23, 1995.
- 16) 中川大: 交通復興の理念, 都市政策, 第79号, pp. 43-48, 神戸都市問題研究所, 1995.
- 17) 中川大: 地震後の大渋滞と災害後の道路, 高速道路と自動車, 第38巻, 第9号, pp. 12-13, 1995.
- 18) 奥村誠, 永野光三: 安否確認のための電話利用量の予測, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 661-668, 1997.
- 19) 中野敦, 本田武志: 都市における時刻別地域別人口分布と震災被害に関する研究—P T調査データの分析に基づいて—, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 75-82, 1997.
- 20) 京都市観光調査年報 平成12年, 京都市産業観光局, 2001.
- 21) 中川大, 伊藤雅, 青山吉隆: 震災時の都市内の活動分布を考慮した地域防災計画の実効性の検証, 都市計画論文集. No. 34, pp. 703-708, 1999.
- 22) 京都市域における総合的な地震被害の想定に関する調査研究, 京都市防災会議, 1994.
- 23) 小谷通泰, 松本誠, 峠尾哲也, 今井秀幸: 阪神・淡路大震災時におけるマイカー利用の実態と今後の課題, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 339-346, 1997.

(2004. 5. 6 受付)

TRANSPORT MEASURES FOR EARTHQUAKE DISASTERS IN CONSIDERATION OF THE PEOPLE WHO ARE DIFFICULT TO ESCAPE FROM THE DISASTER AREA

Dai NAKAGAWA, Yoshitaka AOYAMA, Ryoji MATSUNAKA and Nobuyoshi TANAKA

About the transportation phenomenon in case of an earthquake disaster, it has been solved in detail by various researches after the Kobe earthquake. However, it is not in the situation that analysis does not progress what kind of influence is brought about by the people who are difficult to escape from the disaster area to their home, since it did not become a big problem in the Kobe earthquake. In this research, influence of these people to the transportation situation after an earthquake disaster is clarified, and after some countermeasures for corresponding to it are shown, the effects of these countermeasures are compared by "an urban activity simulation system in case of an earthquake disaster". The countermeasures considered here are relating with the distribution method of relief goods, method for going back home and reinforcement of a stockpile, and comparing the effect shows the direction of the transportation countermeasures in consideration of the correspondence to earthquake disasters.