

都市防災計画

－阪神・淡路大震災における交通システム機能障害をふまえて－

神戸大学工学部 富田安夫

1. はじめに

都市防災計画は極めて広範囲にわたっており、これらに全般について扱うことは、筆者の能力を大きく越える。そこで、本稿では、都市防災計画の一部を構成する交通計画に限定して扱っている。以下では、阪神大震災における交通システム機能障害の状況を整理し、これをふまえて、今後、防災上考慮すべき事柄をまとめている。さらに、耐災性のある道路整備を行う上で重要と考えられる道路ネットワークの信頼性に関する研究について簡単に紹介している。

2. 交通機能障害のメカニズム

阪神大地震により、生活・生産の態様が一瞬にして変質し、交通システムへの需要が質的にも量的にもドラスティックに変化した。たとえば、上水道が破壊されたために飲料水の供給が断たれたり、また自宅でガスや電気を用いて食事を作ることができなくなったために、水や食糧を他地域から大量にしかも短時間に搬入しなければならないという、交通システムに対して全く新しい需要が発生した。そして事実、地震直後から著しい数の車が短時間の間に域外から流入した。

このような交通の「需要」の急激かつ大規模な変化の一方で、交通システム自身が寸断され、交通の「供給」もその容量が不連続かつ大幅に縮小された。これら需要サイド・供給サイドのミスマッチの結果が交通麻痺である。図-1は、交通システムの需要項目とその発生要因、供給項目とその阻害要因の主なもの挙げ、それらの関係を示したものである。

需要サイドとしては、まず、地震直後には負傷者の救援や避難のための交通が発生し、やがて避難者への物資供給・ボランティア活動などの交通も増加していった。さらには、復旧・復興活動や買い出し・通勤などの交通も加わり、一層大きな交通需要として膨れ上がった。一方、供給サイドは、幹線道路は高架道路の倒壊や信号機の故障などにより、細街路は建物倒壊や電柱の転倒などによって、交通機能を大きく低下させた。このような需給ギャップの結果が、交通遮断や麻痺という状態であり、これによって救援・救助・復旧活動が妨げられ、さらに、これによって需要発生および供給阻害が助長される結果となった。

ところで、これら需要と供給の変化がモニターされておらず、行政担当部局は、マスコミの報道を通しての情報にかなり依存している部分もみられた。どこでインフラが崩壊し、供給容量が急減しているか、また、どこでいかなる緊急の交通需要が発生しているかを、当初は全くといってよいほど把握できていなかった。そのため、どこまで一般車等の交通を規制すべきかの判断もできない状況にあったと言えよう。リアルタイムのモニタリングシステムとしては、道路交通情報センターがどこで渋滞しているかを把握しているのみであった。したがって、交通システムにとっては、結果としての交通渋滞をモニターするのではなく、その根本原因である需要と供給の変動を常時モニターするシステムを持っている必要が明らかになった。以下では、これら各々の要素がどのように作用したのかについて考察を加える。

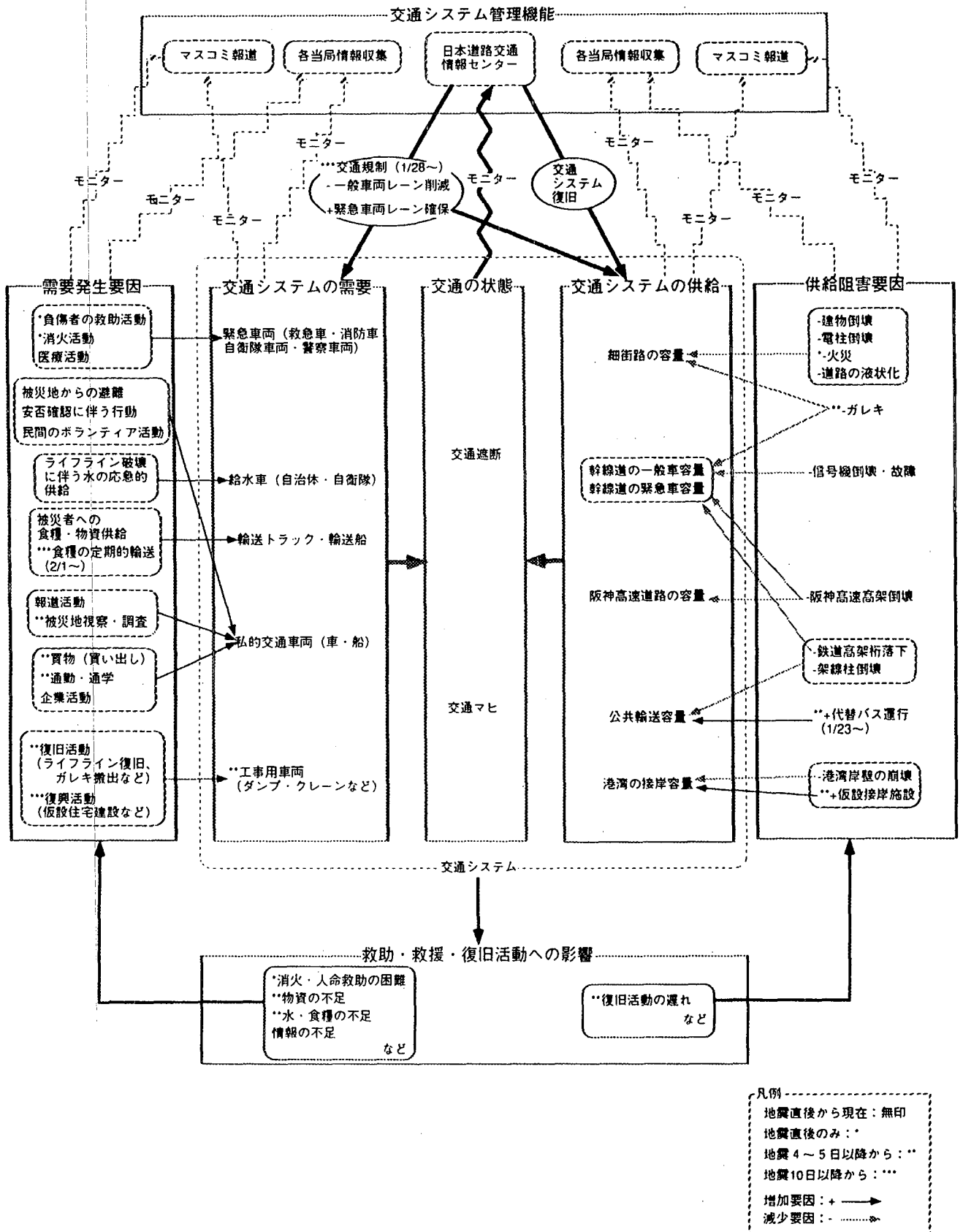


図-1 交通システムの機能障害メカニズム

3. 交通システムの需要サイド

3-1 地震直後における特異な交通需要

地震直後には、以下に示すような平常時とは全く異なった交通需要が発生した。

- 1) 建物倒壊による被災者の救助活動や、発生した火災の消火活動に伴う交通
- 2) ライフラインや交通施設の被害に対する応急措置を行うための交通
- 3) 緊急時の業務遂行のための出勤交通
- 4) 親戚・知人の救援・安否確認のための交通
- 5) 救援物資輸送のための交通
- 6) 被災地から避難する交通

これらの交通需要は、いずれも地震直後から大量に発生し、しかも被災地全域にわたって広域的に同時に発生した。これらの交通は、いずれも個人にとっては重要なものであったであろうが、交通供給量が大きく減少している場合には、その程度によって規制されるべきものと考えられる。例えば、地震直後にあっては、1), 2), 3)の交通に比べ、4), 5), 6)の交通の緊急性は低いと思われる。また、これらの交通の中には、その需要を減らすことができたであろう交通もある。例えば、親戚・知人の救援・安否確認のための交通は、電話の通信容量が不足しなければ発生しなかった交通である。また、数日間の水・食糧等の備蓄ができておれば、交通の状況によっては数日間の救援物資輸送を控えることが可能であり、震災後の被災地外へ避難するための交通量も抑制できたであろう。(なお、地震後における交通規制の困難さ、地震後の交通のいずれもが緊急性を有していたことは中川論文¹⁾において詳しく論じられている。)

ここでは、こうした交通需要特性がどのような混乱をもたらしたかについて、救援物資輸送交通を取りあげ、物資の搬入状況と、交通システムが遮断された中で物資輸送がどのような方法によってなされたかについて、現地でのヒアリングを交えて報告する。

3-2 食糧・飲料水の搬入状況

交通需要の変動を把握するためには、まず、地震以降の救援物資の必要量の推移を見る必要がある。その算定の基礎となる避難者数の変化を神戸市についてみると、図-2のとおりである。神戸市全体(図-2の①)をみると、避難所の宿泊者数は、震災後2日目にピーク約22万人に達し、これに対して避難所での宿泊をしない避難者を含む配食者数は、約5日遅れてピーク約23万人に達している。本来ならば、配食者数が宿泊者数を上回るべきであるが、震災後約4日間は下回っている。これは、震災直後には、各避難所に対して十分な食糧が供給できていなかったことを示すものである。このギャップは5日間で延べ25万人に達しており、食糧のすべてが避難所の宿泊者に供給されたとしても25万人分の食糧が不足したことを意味している。しかし、食糧は避難所宿泊者以外にも必要であり、食糧配給必要者数を配食者数のピーク人数23万人であると考えれば、このピーク人数と配食者数のギャップこそが実際の食糧不足数であることから、これを求めると延べ32万人分の食糧となる。

長田区役所でのヒアリングによれば、地震直後の2日間ぐらいはほとんど飲料水・食糧は届かず、ようやく3日目くらいから届き始める。しかし、マスコミによって不足と報道されると過剰に水や食糧が予告もなく運び込まれてしまい、数人の区役所職員だけで深夜や明け方にも寝ずにトラックから下ろす作業を強いられた。また、逆に、現地へ届けられた食糧が整理しきれず無駄になったなどと報道されると不足し、現に1月23日に

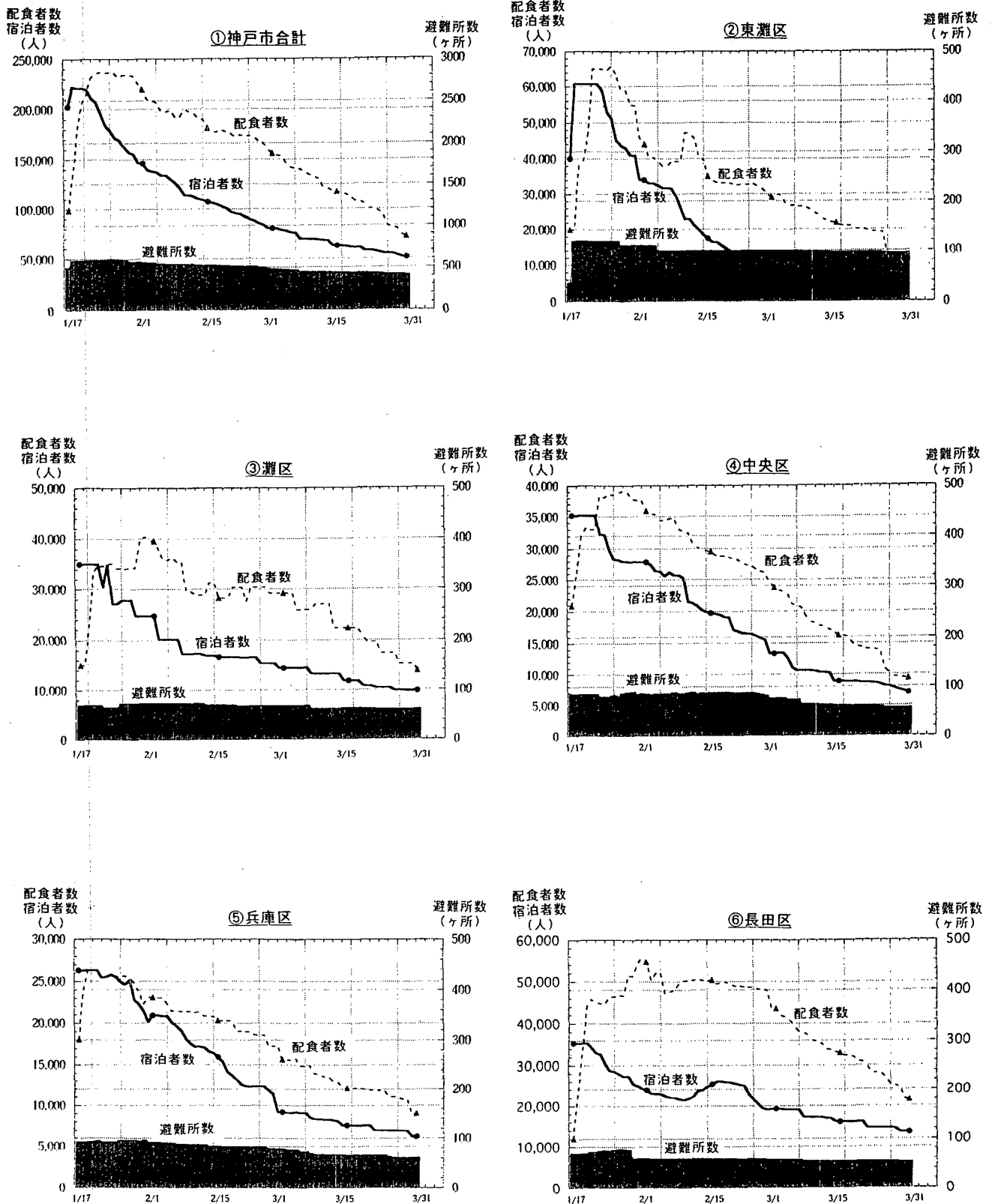


図-2 神戸市内避難所の宿泊者数、配食者数、及び避難所数の推移 (その1)

(神戸市民生局資料より作成)

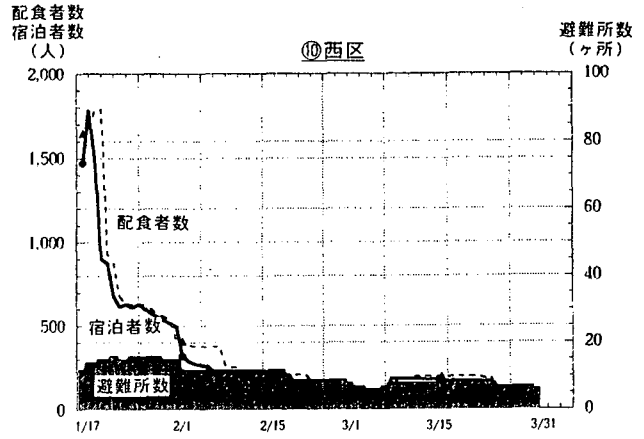
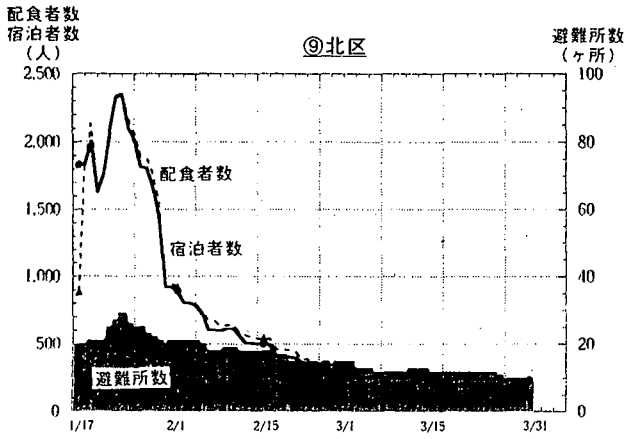
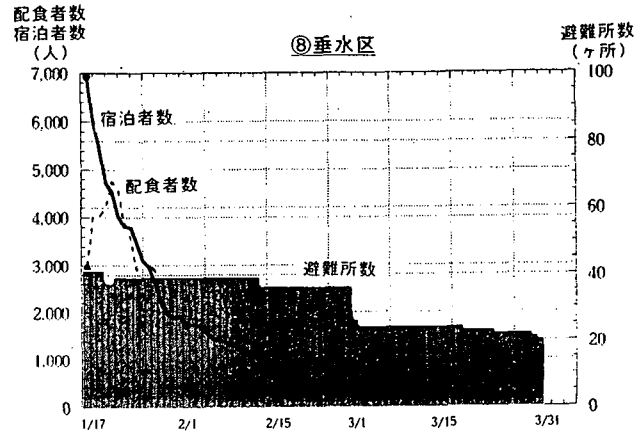
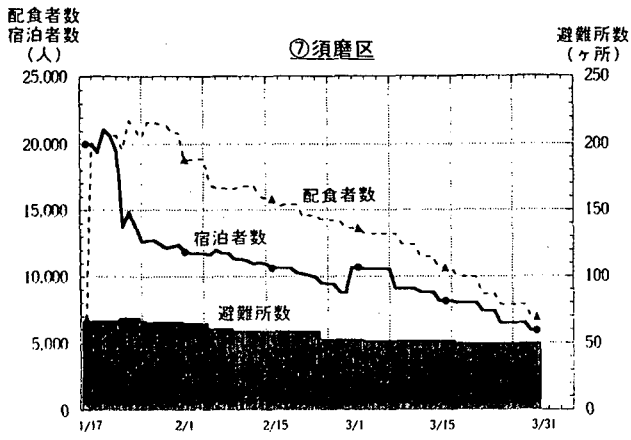


図-2 神戸市内避難所の宿泊者数、配食者数、及び避難所数の推移 (その2)
 (神戸市民生局資料より作成)

はかなりの避難所で食糧が途絶えた。また、域外からトラック単位で搬送される食糧・物資はところ構わず直接避難所へ運び込まれるケースが多かったため、幹線道路沿いの見つけ易い避難所には多く届けられたが、幹線道路から奥へ入った所に位置する避難所へは届きにくかった。このように、物資供給のための情報が不足していたことも、円滑な物資供給ができなかったことの大きな一因であると考えられる。（なお、写真-1.2は、長田区における避難所および緊急物資搬入の状況の一例である。）

3-3 緊急救援物資の輸送状況

生活緊急救援物資の供給者としての神戸市および各区役所は、主食としての食糧および一般物資（ボランティア物資）をそれぞれ以下のような方法により輸送した。

まず、主食となる食糧については、震災直後、被害の比較的小さい西区・北区を除く神戸市全域に関して、ヘリコプターで空輸した後、各区役所を経由して、各避難所へ輸送された。この方法は、震災直後、緊急に物資輸送する上ではある程度は有効であったと考えられるが、その後の物資輸送量の増大によって、ヘリコプターによる輸送量に限界が生じ、積み替えのための人手不足や避難所まで輸送するための車両の不足などの問題が発生した。

そこで、震災2週間目（2月1日）以降は、食糧提供および避難所までの輸送のすべてを食品製造業者に業務委託する方式に切り替えられた。このことによって業者の車両や人手を有効に活用できるとともに、直接避難所まで輸送することにより積み替えのための労力が節約され、比較的円滑な食糧輸送が可能となった。

次に、一般物資（ボランティア物資）については、震災直後は、全国各地から各区役所へ集められ、そこで仕分け作業を行った後に、各避難所へ届けられていた。しかし、区役所では、保管スペースや人手が少なく、輸送用の車両が少ないことから、まもなく処理能力の限界に達し、区役所前の道路わきには緊急物資が積み上げられる状況となった。一方、品物によっては足りない状態が続くなど、在庫管理が全くできない状態となった。また、配送拠点として機能すべき区役所のほとんどが被災地内に位置していたために、全国各地から区役所への輸送（幹線輸送）と区役所から避難所への輸送（端末輸送）がともに被災地内の交通混雑の影響を受け輸送効率が低下したことである。また、こうして幹線輸送と端末輸送が錯綜することによって被災地内での交通混雑を一層助長させた。

そこで、震災後2週間目（2月1日）以降は、配送拠点を各区役所から、被災地の外部あるいは周辺部に位置する4箇所の配送拠点（摩耶埠頭倉庫（灘区）、新神戸駅舎（中央区）、グリーンナ（西区）、しあわせの村（北区））に集約し、ここから各避難所へ輸送する方式に変更されたため、被災地内の交通量の削減にいくらかでも貢献したものと考えられる。また、十分な物資の収納スペースを確保する上で有効であった。さらに、この時期にはボランティアの協力によって人手や車両も確保できるようになり、こうして在庫管理がより円滑になったと考えられる。こうすることにより、生活物資供給の不安定さがもたらした避難者の精神的な混乱をやわらげることにもつながった。

4. 交通システムの供給サイド

震災後には、阪神間を結ぶ主要な鉄道であるJR東海道本線、阪神線、阪急線がいずれも寸断され、主要な道路は国道2号線を除いていずれも大きな被害を受けた。また、陸上交通の代替的役割を期待されていた海上交通についても神戸港が壊滅的被害を受けたためにほとんどの機能を停止した。以下では、土木学会²⁾および

日本都市計画学会³⁾による緊急報告会資料、並びに筆者らによる現地視察を踏まえて考察を行っている。

まず、鉄道は主として高架橋の桁落下等により至る所で寸断されたため(写真-3,4)、地震直後は、阪急が西宮北口～須磨浦公園間、JRが甲子園口～西明石間、阪神が甲子園～須磨浦公園間で運転不能となり、平日約65万人を運んでいた阪神間の鉄道輸送がすべて停止した。その後、各鉄道会社がそれぞれ復旧にあたり、4月1日のJRの開通によって2ヵ月半ぶりに阪神間が一本の鉄道により結ばれることになった。この間、鉄道の寸断区間はバス輸送によって代替された。その輸送量は、1月23日(地震後7日)に3万人/日であったものが、1月28日(震災後12日)には一般国道43号線にて専用バスレーン(写真-5)が設定されたことによって10万人/日となり、3月1日(地震後1ヶ月半後)には、投入バス台数の増加、輸送区間の短縮、乗降方法の工夫などによって約23万人/日(平常時の約35%)まで回復している。

道路についても、鉄道同様に高架橋に大きな被害があり、震災24時間後において阪神地域で通行可能な主要幹線道路は、図-3に示すように国道2号線のみであった。また、表-1は、西宮市断面でみた震災前後の東西方向の交通量の比較であり、平常時には約21.5万台/12hの交通量が流れていたが、震災後1ヶ月後では5.5万台/10h(平常時の約25%)となっている。この大きな要因は、平常時に約9万台/12hを分担していた阪神高速道路神戸線とその高架下の国道43号線が、阪神高速道路の倒壊によってともにほとんど使用不能となったためである(写真-6)。一方、一般に平面道路自体の被害は比較的少なかった。しかしながら、家屋倒壊、電柱倒壊(特にトランスを載せたもの)および火災により多くの細街路が通行不能又は困難となった(写真-7,8)。加えて、信号機倒壊・故障により東西幹線の道路交通の渋滞、混雑に拍車をかけた。また、南北の幹線は、鉄道高架桁落ちによる寸断やトンネル部分での混雑によって大きく交通容量が減少した。

このように陸上輸送が被害を受けた場合、その代替的役割を期待される海上輸送についても、港湾岸壁が摩耶埠頭のごく一部の耐震岸壁を除いて壊滅状態となり、ほとんど機能しえなかった。(写真-8,9は、六甲アイランドにおけるコンテナ埠頭の破壊の状況の一例である。)

5. 交通の状態および救助・救援・復旧活動への影響

以上のような大量の交通需要の発生と供給量の減少の結果が、震災後の交通の大渋滞である。読売新聞*)によれば、自衛隊の連絡幹部が伊丹の駐屯地から神戸市役所まで約25kmを移動するのに、平常時なら自動車で約1時間であるのに対して、地震当日には、その中間点である西宮からは自動車を自転車に乗り換えて3時間30分を要した。また、あるタクシー運転手は、大阪空港から神戸まで往復約60kmに、平常時なら2時間程度であるが、地震当日には36時間を要したと述べている。このような交通麻痺状態の結果、消防車の火災現場への到着が遅れ、水・食糧・その他の一般物資の安定供給が妨げられた。さらに、クレーン車の到着の遅れは崩壊した建物の下敷きになった人々の救出活動を遅れさせるとともに、道路・鉄道など交通施設や上水道・ガス・電気などのライフラインの復旧活動も迅速性を欠くものとなった。そして、これらの障害が一層交通渋滞を増長する方向に働いた(図-1参照)。

このような交通麻痺の直接的な原因としては、よく言われているとおり、1)交通規制が遅れたこと、2)緊急車両許可証の発行枚数が多すぎたことなどが考えられる。しかし、より根本的な原因としては、1)交通規制を行うための情報収集が円滑に行えなかったこと、2)各部門でばらばらに情報をもっており情報の一元化がなされなかったこと、3)これらの情報をもとに総合的に分析・判断を下す組織がなかったことなどを指摘することができる。

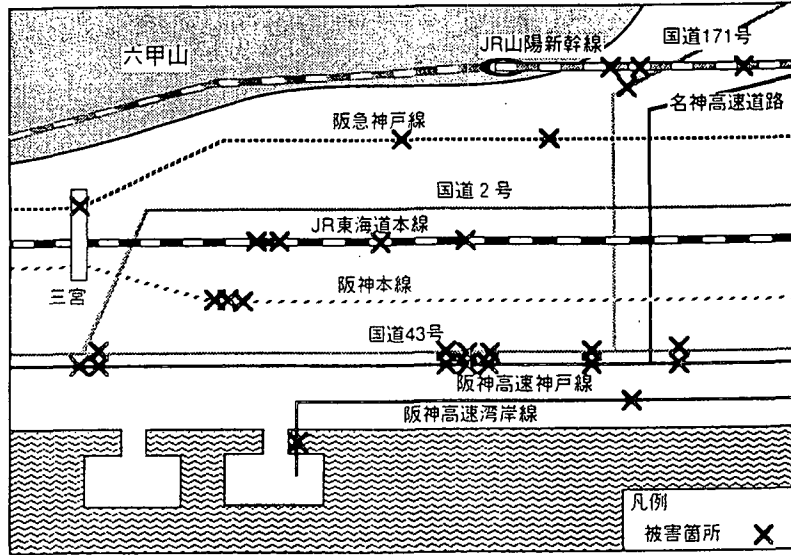


図-3 阪神間における鉄道及び道路網とその被害箇所概略図

表-1 道路の交通量（西宮断面）

	平常時	震災1ヵ月後
一般国道2号線	2.6万台(4車線)	2.8(4車線)
一般国道43号線	6.6 " (8 ")	1.4(2車線, 一部4車線)
臨港線	1.3 " (4 ")	1.3(4車線)
阪神高速・神戸線	8.6 " (4 ")	-
阪神高速・湾岸線	2.4 " (4 ")	-
合計	21.5万台	5.5万台

注1: 平常時の一般国道2号線, 43号線, 臨港線は1990年道路交通センサスの12時間交通量、阪神高速道路湾岸線は1994年平均交通量(阪神高速道路公団)による。

注2: 震災後1ヵ月後の交通量は、土木計画系の大学研究室合同交通量調査(平成7年2月15日(水), 8:00~18:00)による。

(参考文献3)より作成)

われわれは、唯一、道路交通情報センターによる交通状態のリアルタイムでの把握機能を持っていた（図-1参照）。しかし、これでは、交通システムに出現している結果を見ているだけであることを意味する。必要なのは結果としての情報ではなく、どこで建物や高速道路が倒壊して通れないのか？ どこで食糧や飲料水、物資が不足し、それを運ぶ交通サービスを必要としているのか？ そして、今どこにどんな緊急車と一般車が何台ずつ走っているのか？ などといった、その原因あるいは背景についてのリアルタイム情報こそが必要であったが、そのかなりの部分をテレビなどのマスコミの中継番組に依存していたものと見受けられた。さらには、その情報を収集・分析して指令を出す交通システム管理機能とでもいうべきものが決定的に欠けていることに気づくのである。この機能とは、図-1に示す需要発生要因、供給阻害要因、交通状態の変化について、随時モニタリングすることによってこれらの情報を適切に把握し、これに基づいて交通システムそのものを包括的に時々刻々管理するシステムである。また、この機能は、道路だけでなく鉄道や港湾などすべての交通システムを横断的に統括するべきものであることは言うまでもない。

6. おわりに

6-1 今後の交通計画において考慮すべき事項

以上、現地における独自に行なったヒアリング並びに既存の報告等をもとに、需要および供給の観点から交通システムの機能障害の分析を行なった。これらをもとに、交通計画上考慮すべき事項について私見をまとめると以下の通りである。

交通需要の側面としては、交通需要を交通供給の容量低下に応じて抑制することが必要であり、事前に交通の重要度に応じた交通規制の方法について計画を立てておく必要がある。一方、交通規制による混乱を軽減するために、交通需要そのものを減少させることが必要である。例えば、緊急食糧等の備蓄を行っておくことは、緊急時における物資輸送のための交通需要の軽減のためにも必要である。また、物資輸送方法にしても、被災地内における交通需要を減少させるために、配送拠点を被災地の外部に設置するよう配慮することが望ましい。その他、知人・友人の安否確認のための交通を抑制するためには、被災地域における電話等の通信容量に余裕を持たせることも必要であろう。

交通供給の側面としては、個々の交通施設レベルでの耐震性とネットワークとしての信頼性との2つの見方がある。交通施設レベルについては、地盤条件や個々の施設の重要度に応じた耐震性の強化および見直しが必要であろう。例えば、活断層付近や幹線交通施設の交差部分などについては耐震性の強化が必要であろう。ネットワークの観点からは、防災上、リダンダントにすべきことが改めて明らかとなった。平常時において阪神間の70%の自動車交通を受け持っている阪神高速道路神戸線と国道43号線がほとんど使用不能となることによって、阪神間の交通機能は麻痺した。望ましくは、これを代替すべき高速道路網が六甲山の裏側にあり、両者が六甲山の下を通じてトンネルによって結ばれておれば、阪神間の交通機能の混乱は軽減されたはずである。

さらに、交通システム全体の観点からみると、今回のように交通が麻痺し、なかなか解消しなかった根本的な原因は、交通需要および供給に関する情報をリアルタイムで得るシステムが存在しなかったことに加え、さらにはこれらの情報を分析した上で総合的な交通管理を行なう機能および組織がなかったことにあると考えられる。したがって、今後は、このような情報収集の方法や交通管理機能および組織についても検討しておくことが不可欠であろう。

6-2 道路ネットワークの信頼性の評価に関する研究

上記の事項のうち、道路ネットワークの整備にあたっては、道路ネットワークの信頼性に関する研究が有効であると考えられる。以下では、これらの研究について簡単に紹介しておく。

道路ネットワークの信頼性に関する研究とは、緊急時には少なくとも道路の連結性が保証される必要があり、この信頼性を信頼性工学を応用して定量的に分析しようとする研究である。道路の信頼性を扱う場合、ある2点間の連結性を対象とする“2点間信頼性”と、すべての2点間の連結性の信頼度である“全点間信頼性”あるいは1点とその他のすべての点とが連結されていることを保証する“SAT(Source of All Teraminal Reliability) 信頼性”がある。2点間信頼性については、例えば、小林⁵⁾、若林・飯田^{6), 7)}などの研究があり、若林⁸⁾によって六甲山の裏側に高速道路が整備された場合の大阪-神戸間の2点間信頼性に関する研究もなされている。また、全点間信頼性, SAT信頼性については木俣⁹⁾などの研究があり、この研究では、防災拠点とその範疇に属するすべての街区との連結性の信頼度が分析されており、防災拠点を中心とした地区レベルの道路整備のための指標を提供している。

これらの研究は、各道路区間の信頼度が与えられることが前提となっているが、この信頼度をどのように与えるかが大きな問題である。道路が不通となる場合としては、災害によって物理的に通行不可能となる場合と、道路渋滞によって機能しなくなる場合とが考えられる。前者について厳密に算定するためには、道路構造、地盤条件、沿道条件等などの多様な条件の考慮が必要となるが、この点に関しては、FTA(Fault Tree Analysis), FMEA(Fault Mode and Effect Analysis)などの応用が可能であり、岡田¹⁰⁾、太田・坂井¹¹⁾などの研究がある。また、後者については、交通需要やその起終点パターンに依存することになるため、ドライバーの交通行動自体を含めた分析が必要となる。このような交通需要も考慮した研究としては、飯田・若林¹²⁾、朝倉・柏谷¹³⁾などの研究がある。

なお、道路ネットワークの耐災性の指標としては、上記の信頼性以外にも、ネットワークの道路容量自体を評価した研究(榎谷¹⁴⁾)や、ネットワークの冗長性(リダンダント)を直接指標化した研究(岡田¹⁵⁾)などもなされている。

(本稿は、富田・林「震災後の交通システム機能障害」(土木学会誌, pp58-65, 1995. 6)に加筆・修正を行ったものである。)

参考文献および出所

- 1) 森康男: 交通施設の被災状況, 「阪神・淡路大震災の被害実態と復興都市づくりの展開」, 日本都市計画学会 関西支部・日本建築学会近畿支部, pp21-26, 1995. 3
- 2) 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, pp16-21, 1995
- 3) 森康男・飯田恭敬・谷口栄一・新田保次・宇野伸宏: 道路グループ報告(交通), 「阪神 大震災被害調査-緊急報告会資料-」, 土木学会, pp53-61, 1995. 2
- 4) 読売新聞・朝刊(1995年4月18日): 検証・阪神大震災-交通渋滞-
- 5) 小林正美: 道路網・ネットワークシステムの信頼度解析法に関する研究, 第15回日本都市計画学会学術研究発表会,

pp385-390, 1980

- 6)若林拓史・飯田恭敬:交通ネットワーク信頼性解析への信頼性グラフ理論適用の考え方,土木計画学研究・講演集 10, pp125-130, 1987
- 7)若林拓史・飯田恭敬ほか:道路網信頼性の近似解析方法の比較研究,土木学会論文集, No. 407/IV-11, pp107-116, 1989
- 8)若林拓史:地震災害時の道路ネットワークの信頼性と確率重要度,土木学会第50回年次学術講演会, pp104-105, 1995
- 9)木俣昇ほか:地震時緊急道路網のシステム信頼性評価に関する基礎的研究,土木計画学研究・論文集6, pp145-152, 1988
- 10)岡田憲夫ほか:降雪期における道路ネットワーク・システムの信頼性評価法に関する研究,土木学会第41回年次学術講演会, pp15-16, 1986
- 11)太田裕・坂井忍:街路の地震時危険度事前評価の一方法,国際交通安全学会誌, Vol. 14, No. 3, pp60-67, 1988
- 12)飯田恭敬・若林拓史:ODパターンと道路網パターンの相違による道路網信頼性のマクロ的考察,交通工学, Vol. 23, No. 3, pp915-922, 1988
- 13)朝倉康夫・柏谷増男ほか:災害時における交通処理能力の低下を考慮した道路網の信頼性評価モデル,土木計画学研究・論文集, No. 12, pp475-484, 1995
- 14)榎谷有三:災害時における道路網の機能性評価法,交通工学, Vol. 1, No. 5, pp3-17, 1984
- 15)岡田憲夫:ネットワーク特性を考慮した道路機能水準計量指標化に関する研究,土木学会論文集, 第389号/IV-8, pp65-74, 1988

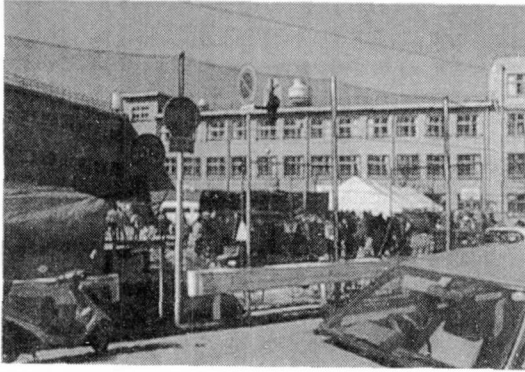


写真-1 長田区の避難所



写真-2 緊急救援物資の搬入

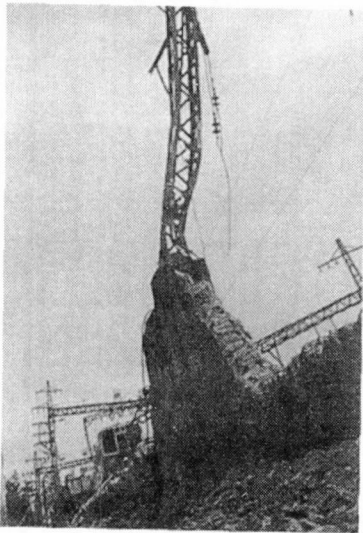


写真-3 鉄道構造物の崩壊による不通

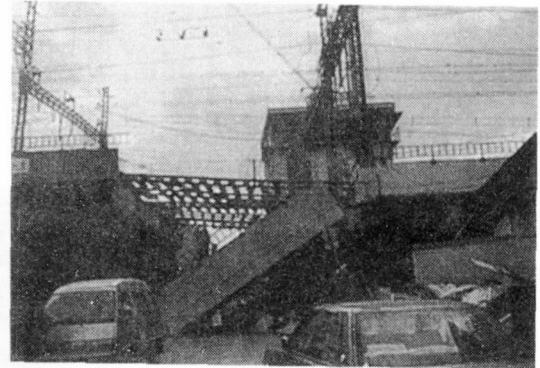


写真-4 鉄道高架橋落下による南北道路通行不能



写真-5 交通規制後の国道43号線のバス専用ルート



写真-6 阪神高速道路の倒壊



写真-7 建物崩壊による道路通行不能



写真-8 火災による延焼と細街路の通行不能

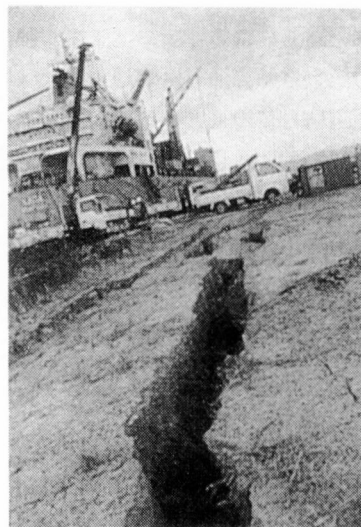


写真-9 六甲アイランド岸壁の崩壊