

地震リスクを考慮した全国ネットワークにおける交通流動量の影響分析*

Impact Analysis of Traffic Flow in the Nationwide Network under Risk of Earthquakes*

高橋 清**・田中伸治***

By Kiyoshi TAKAHASHI** and Shinji TANAKA***

In the present transportation network without enough substitute routes, not only local but nationwide traffic is highly influenced when a part of the network is damaged. For the purpose of evaluating the function of the nationwide network damaged by earthquakes, the author built a model to assess traffic flow considering the risk of earthquakes around Japan and suggested indices to evaluate the transportation network. The simulation using this model made influences in damaged networks clear, that is, the traffic flow of each link increases or decreases depending on its location with respect to damaged areas.

Keywords: Planning of Disaster Prevention, Risk Management, Traffic Network, Evaluation of Transportation Planning

1. はじめに

阪神・淡路大震災では交通基盤施設においても多大な被害があり、被災地域内の交通のみならず、全国的な旅客・貨物流動も大幅な迂回を余儀なくされるなど大きな影響を受けた。これは、現状の交通ネットワークに代替性確保の面で不十分な地域があり、ある地域の被害が全国交通流動に影響を与えることを示している。そこで、被災時にも信頼性の高い交通ネットワークを構築するために、交通ネットワークが災害により受ける影響を把握する必要がある。

本研究では、発生する地震により交通施設が確率的に被害を受ける交通ネットワークを想定し、交通流動が受ける影響について分析するツールの開発を目的とする。また、これを複数の交通機関からなる全国ネットワークに適用するシミュレーションを行い、様々な地震の発生を考慮した全国規模の交通流動の影響について分析を行う。

2. 既往の研究

災害時の交通ネットワークの信頼性に関する研究は、次のようなものがある。川上¹⁾は伊豆半島の道路網を対象にしてリンクの交通容量・交通量を求め、それを元にリンクの混雑度・犠牲度を導いている。そしてその組み合わせを三角座標上に表し、各リンクがどのような特性を持つかを分析している。榎谷²⁾は仮想的ネットワークにおいて行列演算により各カットセットごとに道路網容量・発生可能交通量を求め、どのリンクから補

*キーワード：防災計画、リスクマネジメント、交通網計画、交通計画評価

**正員、工博、東京大学大学院社会基盤工学専攻 TRIP 交通研究室

(東京都文京区本郷 7-3-1、

TEL03-3812-2111Ext.6116, FAX03-5800-6868)

***学生員、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

表1 既往の研究

		ネットワーク		災害		結果			
		対象地域	モード	種類	与え方	施設被害	出力値	評価指標	利用
1)	川上(1982)	伊豆半島	道路	地震	確定的	ポアソン過程	リンク交通容量・リンク交通量	混雑度・犠牲度	リンクごとの特性
2)	樹谷(1984)	モデル	道路		確定的	ポアソン過程	カットセットごとの交通量	道路網容量・発生可能交通量	補強リンク順位・抑制OD順位
3)	若林(1996)	阪神	道路	地震	確定的	シナリオ設定		リンクの確率重要度	ケース間比較・代替案比較
4)	朝倉(1995)	四国	道路	通行規制	確定的	過去のパターン	中止トリップ数	ODペア信頼度	ODペア信頼度
5)	南(1996)	山口県	道路		確定的	任意切断	経路代替性指数(所要時間から)	経路代替性指数	費用最小整備計画
6)	国土庁(1996)	全国	道路・鉄道・航空		確定的	任意切断	リンク交通量	一般化費用	経済面での影響

強すべきか、抑制を受けやすいODはどれかといったことを示している。さらに、施設強化後のネットワークの評価も行っている。若林³⁾は、阪神地域の道路ネットワークを対象として、6種類の被害ケースを想定し、リンク信頼度からノード間信頼度を求め、それを元に各リンクの重要度を確率的に表している。これによりケース間の比較や代替案比較を行っているが、交通量配分は行っていない。朝倉⁴⁾は、四国の道路ネットワークにおいて、過去の通行規制実績の各状態でネットワーク計算を行い、許容所要時間超過による中止トリップ数の割合からODペア間信頼度を求めている。また、南⁵⁾は所要時間から経路代替性指数を定義し、山口県の道路ネットワークにおいて費用が最小となる整備計画を求めている。しかし、交通量配分は行っていない。

以上をまとめると、従来の研究は被害・影響を分析する対象地域がある自治体もしくは地方に限定されており、道路網など単一の交通機関を扱ったものが大半である。しかし、阪神大震災の際のように、一地域の交通経路の遮断が全国的な影響を及ぼすことを考えたとき、交通ネットワークの分析を全国規模で行うことは重要である。国土庁⁶⁾は全国の交通ネットワークを対象として、交通機関としても道路、鉄道、航空を想定した交通量配分を行い、災害の影響を一般化費用として求めている。また、災害として地震を想定したもの

では、地震の規模、位置などは前提条件としてあらかじめ与えた上で分析を行っており、施設の被害も被災地域は全てのリンクを切断し影響を分析するなど、仮定が現実的ではない。

3. 地震リスクを考慮したネットワーク分析モデル

(1) モデルの概要

本研究で構築するモデルは図1で示す3つのサブモデルから構成される。①都市間幹線交通流

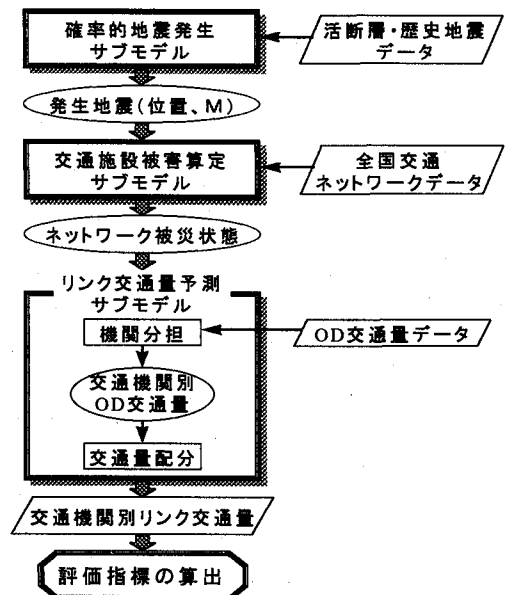


図1 ネットワーク分析モデルの構成

動を考慮した全国ネットワークを対象とする、②複数の交通機関を同時に扱い、その間の転換量も考慮する、③地震を地域特性に応じて確率的に発生させる、ことを基本方針とする。本モデルは図1に示すように3つのサブモデルからなる。

a) 確率的地震発生サブモデル

活断層型地震・海溝型地震という2つのタイプの地震を説明するデータとして活断層・歴史地震を利用する。全国の活断層⁷⁾・歴史地震⁸⁾の分布から図2に示すように全国に900余りの地震発生可能地点を設定し、活断層については断層長さ・活動度など、歴史地震については発生時規模に基づきそれらを重みづけする。この重みを考慮してそれらのうちの1つをランダムに選択することで、地震発生地点とする。また、地体構造区分から定められるその地域の最大マグニチュードに基づき、発生規模と頻度の関係 Gutenberg-Richter 式

$$\log n(M) = a - bM \quad (\text{式1})$$

$n(M)$: 規模 M 以上の地震の発生回数

a, b : 定数

を満たすように乱数を発生規模に割り当て、その

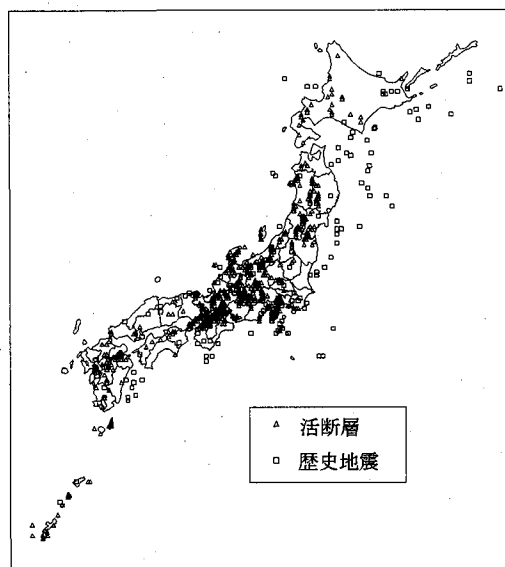


図2 設定された地震発生可能地点

地震の発生規模を確率的に与える。

b) 交通施設被害算定サブモデル

a) で求められた発生地震の位置と規模から、各交通施設が存在する地点の震度を次の距離減衰式⁹⁾を用いて求める。

$$e^I = (100/\Delta)^2 e^{M_k - 0.00166(\Delta - 100)} \quad : \Delta \geq 100 \text{ km} \quad (\text{式2})$$

$$I = M_k + 2 \log(r_0/r) - 2k(\log e)(r - r_0) \quad : \Delta \leq 100 \text{ km} \quad (\text{式3})$$

I : 気象庁による震度

M_k : 河角による地震の規模

Δ : 震央距離

r : 震源距離

r_0 : $\Delta = 100 \text{ km}$ における震源距離

次に、過去の地震の被害調査データをもとにした自治体の地震被害想定¹⁰⁾を参考に、震度に応じた交通施設の被害率 γ を求める。これから、各破壊が独立なポアソン過程であるとする、その施設の機能する確率(安全率)は

$$p = \exp\{-(\nu + \varepsilon)\} \quad (\text{式4})$$

ε : 不確定項(正規乱数)

となる。ここで、不確定項は実際の地震では同じ震度でも交通施設が壊れる場合と壊れない場合があることを考慮して加えたものである。施設(リンク)が k 個の区間から構成されている場合、この施設の被害確率 P は区間 m の安全率 p_m を用いて

$$P = 1 - \prod_{m=1}^k p_m \quad (\text{式5})$$

と表される。これと基準値との比較によりその施設の被災度を判定する。これをすべての施設について行い、ネットワークの被災状態を求める。

c) リンク交通量予測サブモデル

被災状態ネットワークにおいて各交通機関ごとに最短経路探索を行い、運賃等の費用と時間から構成される一般化費用による OD 間所要コストを求める。この各機関の所要コストから次式のような集計ロジットモデルを用いて交通機関 i の機関分担率 P_i を求める。

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(U_j)} \quad (\text{式 6})$$

U_i : 交通機関 i の効用

この機関分担率を全交通機関の OD 交通量に乗じて交通機関別 OD 交通量を求める。今回対象とする交通機関は、自動車、鉄道及び航空機とする。これを各交通機関のネットワークに最短経路探索により配分し、各交通機関のリンク配分交通量を求める。

(2) 評価指標

本研究による全国交通ネットワーク評価のための指標として、以下の 3 点を考え定義する。

①交通施設損壊度数 : $\sum_{i=1}^n d_i / n$

②リンク配分交通量期待変動量 :

$$\sum_{i=1}^n |f_i - f_0| / n$$

③リンク配分交通量期待変動比 :

$$\sum_{i=1}^n \frac{|f_i - f_0|}{f_0} / n$$

ここで、

n : 地震の発生回数

d_i : i 回目被災状態(1=被災、0=機能)

f_i : i 回目リンク配分交通量

f_0 : 平常時リンク配分交通量

②変動量、③変動比については平常時リンク交通量に対する増加及び減少に分けて指標化する。ここで「期待」という言葉を用いたのは、これらの値は全国で発生する様々な地震が交通流動に与える影響の平均、すなわち期待値と考えられるからである。

4. シミュレーションによる評価指標の分析

(1) 設定条件

構築したモデルを、航空は定期路線、鉄道は新幹線・在来線、道路は高速道路・一般国道からなるネットワークに適用するシミュレーションを行った。使用したデータは表 1 の通りである。な

表2 交通ネットワークデータ

モード	レベル	ノード数	リンク数
航空	定期路線	47	191
鉄道	新幹線・在来線	198	596
道路	高速道路・一般国道	572	2496

お、航空に対するアクセス手段としては道路のみとする。また、鉄道は新幹線と在来線、道路は高速道路と一般道からなるネットワークを対象とする。さらに、交通量データは幹線旅客純流動データ(H2)を全国 170 のゾーンに分割したものを用いた。これらをもとに、全国に位置・規模($M=6.0$ 以上)の異なる 500 回の地震を確率的に発生させるシミュレーションにより各評価値の算出を行った。

(2) 計算結果

本研究では特に、本州中央部を中心に持ち上げシミュレーション結果の分析を行う。交通施設が地震により被害を受けていない平常時においては、交通量配分計算の結果と現状の値とはほぼ同じとなり、モデルの現状再現性が確認された。

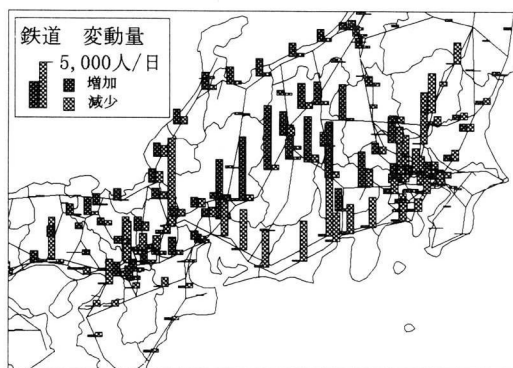


図3 鉄道のリンク配分交通量期待変動量

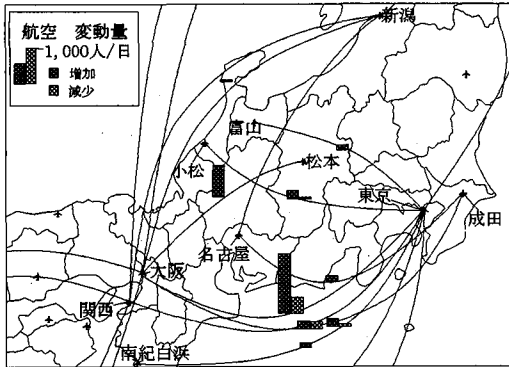


図4 航空のリンク配分交通量期待変動量

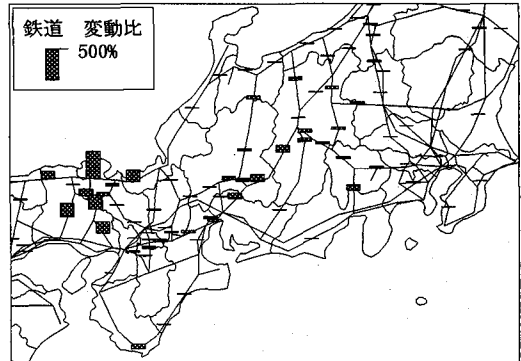


図6 鉄道のリンク配分交通量期待変動比（増加）

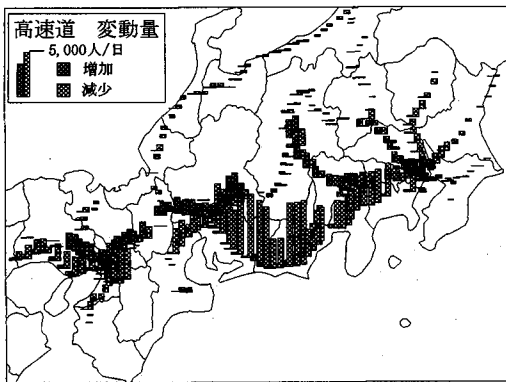


図5 高速道のリンク配分交通量期待変動量

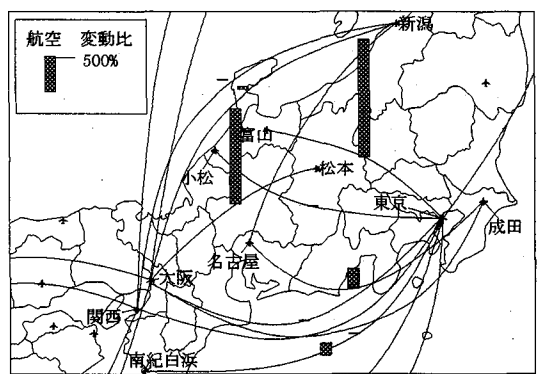


図7 航空のリンク配分交通量期待変動比（増加）

ネットワーク被害の影響であるリンク配分交通量の期待変動量を鉄道、航空および高速道路のネットワークに関について図3～図5に示す。この評価値が増加するということは、災害時にそのリンクが代替経路として重要となることを示し、減少は平常時に交通量が多いため自身が被災した際に影響が大きいことを表していると考えられる。鉄道で増加が大きい路線は中央線、信越線、北陸線で、減少が大きい路線は東海道・東北新幹線、東海道線である。航空は量は鉄道ほど大きくないが各路線とも増加が大きい。高速道路は東名と、阪神間に減少の大きい路線が集中している。

次に、これらの値の平常時に対する比率である期待変動比を増加分について図6、図7に示す。兵庫県付近の福知山線や播但線で大きな値とな

っている。また、航空については、東京～富山、大阪～松本などの路線で10倍を超える値となっている。

(3) 評価指標から見た交通ネットワークの考察

図3から、東海道新幹線・東海道線で影響を受けた交通が中央線に迂回し、また、関西以西から東北方面への交通は北陸線を代替経路に選択していると思われる。また、航空を示した図4において東京～大阪の増加が大きいことから鉄道の減少の一部は航空にも転換していると考えられる。図4では減少している航空のリンクもある。この原因として考えられることは、空港が被災した場合と隣接県から空港へのアクセス交通機関（道路）が被災した結果、航空のリンク交通量が

減少したと考えられる。高速道路の図5でも鉄道ほど明瞭ではないが東名で減少が大きく、鉄道と同じ傾向があることが分かる。これは言い換えれば平常時はこの路線に交通が集中していることを示している。この減少分は並行する一般道、あるいは他の交通機関に転換したものと考えられる。

次に、期待変動比についてであるが、これは平常時には利用が少ないが被災時に代替経路として多く用いられる路線を示している。図6の鉄道で大きな値をとった福知山線や播但線は阪神大震災でも迂回ルートとして利用されたものであり、災害時には代替経路として重要な役割が期待されるものといえる。図7の航空では被災時には比較的近距离の路線も重要なものとして浮上することが示されている。この結果は、本州におけるいわゆる「肋骨」系の地上交通ネットワーク整備が不十分であり、一般化費用からみても運賃の高額な航空機に頼らざるを得ない状況であることを示していると考えられる。

5. まとめ

本研究では、複数の交通機関からなる全国交通ネットワークが地震により被害を受けた際の影響を分析するモデルを構築し、全国的な地震リスクの影響を内包した評価指標を提案した。また、実際に開発したモデルを用いたシミュレーションを行うことにより、交通流動が受ける影響の期待値を明らかにした。

その結果、地震のリスクを前提としたネットワーク整備を行う際の代替経路の明示化や、代替交通手段の必要性を明らかにすることができた。

今後の課題としては、被害算定を精緻なものとする、貨物流動にも分析を拡大するといったことを通じて、リスク存在下での交通流動を求め、さらにはそれを達成するために必要なネットワークの弱点を指摘し、効果的な補強箇所を提示する

ことが考えられる。

参考文献

- 1) 川上英二:道路交通システムの機能上の耐震性の一評価方法,土木学会論文報告集 No.327,pp1~12,1982.11
- 2) 榊谷有三:震災時における道路網の機能性能の評価法,交通工学 Vol.19,No.5,pp3~17,1984
- 3) 若林拓史:地震災害時の道路網連結信頼性と確率重要度による重要区間の評価:阪神道路網を例として,土木計画学研究・講演集 No.18(2), pp613~616, 1995.12
- 4) 朝倉康夫・柏谷増男・為広哲也: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, 1995.8
- 5) 南正昭・高野伸栄・佐藤馨一:リダンダントな道路網の構成方法に関する基礎的研究,土木計画学研究・論文集 No.13,pp733~742,1996.8
- 6) 国土庁:交通システムの信頼性向上に関する調査,1996.3
- 7) 活断層研究会:新編日本の活断層-分布図と資料,東京大学出版会,1991
- 8) 宇佐美龍夫:新編日本被害地震総覧,東京大学出版会,1987
- 9) 萩原尊禮:日本列島の地震-地震工学と地震地体構造,鹿島出版会,1991.1
- 10) 埼玉県:埼玉県地震被害想定策定調査報告書,1982.3