

平成 18 年度 修士論文

産業連関－交通ネットワーク統合モデルに基づく
道路網の耐震化/復旧戦略

水上 裕治

平成 19 年 3 月

武蔵工業大学 大学院 工学研究科 都市基盤工学専攻

建設情報マネジメント研究室

目次

第1章	序論	1
4.1	背景と目的	2
第2章	産業連関モデルと交通ネットワークモデル	4
4.1	本章の概要	5
4.2	産業連関モデル	6
4.5.1	産業連関表	6
4.5.2	投入係数表	8
4.5.3	逆行列係数表	9
2.1	交通ネットワークモデル	12
2.3.1	ワードドロップの原則と均衡配分	12
2.3.2	リンクパフォーマンス関数	12
2.3.3	最短経路探索アルゴリズム	14
2.3.4	均衡配分アルゴリズム	15
2.3.5	OD 調査および道路状況	16
第3章	産業連関 - 交通ネットワーク統合モデル	17
3.1	本章の概要	18
3.2	既存の研究	19
3.3	産業連関モデルと交通ネットワークモデルの統合	20
3.3.1	地域間交通に設定	20
3.3.2	交通センサスおよび地域間産業連関表を用いた解析	22
3.3.3	地域別産業連関表を用いた解析	22
第4章	新潟県中越地震をもちいたケーススタディ	25
4.1	本章の概要	26
4.2	新潟県中越地震の概要と被災地データ	27
4.3	被災地域・リンク・ノードの設定と被害状況	28
4.4	産業連関モデルの設定と地域間交通	32
4.5	解析結果	34
4.5.1	経路コストの増加と迂回	34
4.5.2	経路コストの平均増加割合	38
4.5.3	輸送量の低下量	39
4.5.4	特定の1リンクだけ回復させた場合の	

輸送量とルートコストの低下量	41
4.6 考察	42
まとめ	43
まとめ	44
参考文献	45
付録	47

第1章

序論

1.1 研究の背景と目的

1.2 本論文の構成

1.1 背景と目的

日本は災害大国である。その位置、地形、地質、気象などの自然的条件から、台風、豪雨、豪雪、洪水、土砂災害、地震、津波、火山噴火などによる災害が発生しやすい国土である。

平成18年度版防災白書によれば、世界全体に占める日本の災害発生割合は、マグニチュード6以上の地震回数20.8%、活火山数7.0%、死者数0.4%、災害被害額18.3%など、世界の0.25%の国土面積に比して、非常に高くなっている。

これらの自然災害に対して、かつてはその発生を予測する試みが盛んに行われていた。技術の進歩により台風、豪雨などの予測はある程度行うことができるようになったが、こと地震に関してはその事象の複雑さから、現在まで確実な予測方法が確立されていないのが実情である。

1995年（平成7年）1月17日（火）に発生した兵庫県南部地震では、「近畿地方に大地震はおきない」という“迷信”のために防災対策がおろそかになっており、非常に大きな被害をもたらしたという側面がある。正確な予測ができない以上、災害は「発生するもの」と想定し、「いかに備え、いかに被害を少なくするか」という減災が重要である。

被害には住民の死傷、構造物の倒壊やそれに伴って発生する電気、水道、ガスなどのライフラインの損傷といった災害地固有の被害（直接被害）と、災害地の生産活動が著しく低下したことを原因としてバタフライ効果のように広範囲の地域、多数の産業に長期間にわたって影響を及ぼす被害（間接被害）があり、その性質から間接被害をもたらす経済損失は直接被害に比べ圧倒的に大きなものである。上記した兵庫県南部地震では、倒壊した高速道路の復旧などはおおむね三ヶ月程度で終了したが、貨物の取引量などは震災前の水準は回復しておらず、震災から12年が経過した現在でも被害が続いているという現状である。

間接被害発生の原因として、交通ネットワークの破損があげられる。なぜなら、今日の経済活動は主に都市部を中心に行われ、各産業間の取引は主に交通ネットワークシステムに依存しているためである。交通ネットワークはこれらの取引や日常生活が最適に行われるように計画されているが、大規模災害に対し非常に脆弱な面があり、災害発生時には簡単に破損するため、流通の途絶が発生する。引き起こされる流通の途絶の影響は、産業の取引構造を通して波及し広範囲の地域に経済的影響を引き起こす。

2004年10月23日夕刻に発生した新潟中越地震はその典型的なケースである。この災害では交通ネットワークが激しく損傷し、多くの輸送が迂回路を使用しなければならず増加する輸送コストは経済被害の原因の1つとなった。さらに、取引の停止による経済被害は被災地域外へも波及した。したがって、交通ネットワークの損

傷によって引き起こされる損失を把握することや、破損すると大きな経済被害をもたらす重要経路を特定することは災害後の復旧計画の立案や平常時の補強防災計画を導くために重要である。ODフロー・データと交通配分モデルを使用して交通コストの増加を把握することはできるが、多くの場合、被災地は小さなエリアであり、ODフロー・データをそのまま用いることは不可能である。さらに災害時には、一時的、または長期間にわたって産業間の取引構造が変化するという問題がある。Kimら¹⁾は産業連関モデルと交通ネットワークモデルを統合し、広域的な地域間におけるODフローとリンクフローを導き出す手法を提案している。本研究ではODフロー・データを用いて狭小な地域の交通の途絶が広域的な地域間の交通にどのような影響を与えるか調べるとともに、kimらのモデルを拡張し、被災地域内の各市町村間および被災地域内から被災地域外への交通に焦点をあてる。

<本論文の構成>

第2章では本研究の基礎となる産業連関モデルと交通ネットワークの概要を示す。

第3章では災害時の経済被害を論じた既存の研究の紹介と、本研究でもちいた交通センサス、地域間産業連関表、各地域産業連関表の構成、解析のフローを示す。

第4章では新潟県中越地震を対象に、製作した統合モデルを用いて解析を行うまでのフローと、経済被害の解析を行う。

第5章には本研究によるまとめを示す。

第2章

産業連関モデルと交通ネットワークモデル

2.1 本章の概要

2.2 産業連関モデル

2.3 交通ネットワークモデル

2.1 本章の概要

本章では、本研究の基礎となる産業連関分析の作成の経緯と概要、経済は急の分析方法について示す。また、交通ネットワークモデルを用いる際の基礎的な部分となるリンクコスト関数や最短経路探索、均衡配分モデルの概要について示す。

2.2 産業連関モデル

2.2.1 産業連関表

「現代経済学」の大きな柱として、ミクロ経済とマクロ経済がある。一企業・個人の経済活動分析に用いられるミクロ経済に対して国という大きな経済をとらえる際に用いられるのがマクロ経済である。マクロ経済では個別の経済活動を集計し、経済変数の決定と変動に注目し、適切な経済指標、望ましい経済政策などの考察を行なうものである。産業連関表はマクロ経済の一分野である²²⁾。

産業連関表とは、産業ごとの生産・販売等の取引額を行列形式にした指標で、投入産出表 (Input-Output Table)、略してI-O表とも呼ばれる。最初の産業連関表は、アメリカの経済学者であるワシリー・レオンチェフ (W.W.Leontief:1906~1999年) が、1936年に発表した。その後、1944年にアメリカ戦時生産局計画部が提した「もし第二次世界大戦が1945年6月に終戦と仮定した場合、同年暮れの雇用状況はどうか」という問題に対して、産業連関表を用いたレオンチェフ・グループによる分析が、外の分析方法に比べ最も高い的中率の予測結果を示したことによりその評価を決定的なものとした⁸⁾。

財・サービスといった産業ごとの生産構造 (どの産業からどれだけ原料等を入手し、賃金等を払っているか)、販売構造 (どの産業に向けて製品を販売しているか) をみることができ、経済構造の把握、生産波及効果の計算などに利用されている。その精度の高さからアメリカを初め世界各国で作成されており、日本では総務省が中心となり各省庁共同で5年ごとに作成されている。

産業連関表の構造

産業連関表とは経済循環のかたちをしめしたもので、ある一定区域におけるある一定期間 (通常は1年間) の経済活動について、その投入と産出の産業間の取引を行列表示してまとめたものである。

例として2つの産業からなる簡単な産業連関表を表2-1に示す。

表2-1 産業連関表

		中間需要		最終需要	生産額
		産業1	産業2		
中間投入	産業1	x_{11}	$x_{12} (B \rightarrow A)$	F_1	X_1
	産業2	$x_{21} (A \rightarrow B)$	x_{22}	F_2	X_2
粗付加価値		V_1	V_2		
生産額		X_1	X_2		

投入構造 (タテ方向)

まず、表をタテの列方向にみると、表頭の各産業がその製品を生産するのに要した費用の構成（投入：Input）、つまり、生産のために原材料をどこからどれだけ買ったか（いくら支払ったか）が分かる。さらに、企業の利潤等、生まれた価値はいくらかが分かるようにもなっている。このうち、生産のために使用した原材料のことを「中間投入」といい、生産活動によって生み出された価値、すなわち、生産活動に伴って支払われた賃金（雇用者所得）や企業の儲け（営業余剰）などのことを「粗付加価値」という。

産出構造（ヨコ方向）

表をヨコの行方向にみると、表側の各産業が生産した商品の販路の構成（産出：Output）が分かる。つまり、生産物をどこへどれだけ売ったかを示している。このうち、各産業へ原材料として販売される分を「中間需要」といい、家計、政府などで消費されたり、企業などの投資や外国の需要に応じて輸出したりする分を「最終需要」という。

なお、粗付加価値額と最終需要の間には、以下のような関係がある。ここで V :

粗付加価値額, F : 最終需要, M : 輸入額.

$$V = F - M \quad (2-1)$$

表全体

産業連関表を全体的にみると、粗付加価値部門と最終需要部門を「外生部門」といい、中間投入部門及び中間需要部門を「内生部門」という。また、タテの列方向からみた投入額の計（国内生産額）とヨコの行方向からみた産出額の計（国内生産額）とは、すべての部門について相互に一致しており、この点が産業連関表の大きな特徴となってる（三面等価の原則）。産業連関表のタテ・ヨコの各部門の関係は次のとおり。

[各行、各列の部門ごとに成立]

ア 総需要額と総供給額は等価

イ 国内生産額は中間投入額と粗付加価値額を加算したものである。

また、中間需要額と最終需要額を加算したもののから輸入額を減じた値である。

[部門の合計額についてのみ成立]

ウ 粗付加価値額合計は国内生産額合計から中間投入額合計を減じた額で、最終需要額合計から輸入額合計を減じた額である。

- エ 最終需要額合計は国内生産額合計と輸入額合計の合計から中間需要額合計を減じた額である。また、粗付加価値額合計と輸入額合計の合計と等しい。

推計の方法

作成用データの収集

- ・ 1次統計データの収集（国勢調査，工業統計調査，家計調査など）
- ・ 産業連関表用の特別調査（商品流通調査，サービス産業・非営利団体等投入調査など）

産業連関表の作成

- ・ 県内で生み出される財・サービスを3，800部門に細分化して生産額を推計。基本分類で最終需要額，粗付加価値額などを推計。

2.2.2投入係数表

投入係数表は経済循環の因果関係をあらわしたもので産業連関表より導かれる。それぞれの産業の縦の各原材料などの投入額を，おのおのの生産額で割ったものである。求められた値は，ある産業で生産物1単位を生産するのに必要な諸部門からの原材料などの投入量を示し，投入係数と呼ばれる。これを表にまとめたものが投入係数表である。例として表1-1に示した産業連関表より求められた投入係数表を表1-2に示す。

図2-2 投入係数表

		中間需要	
		産業1	産業2
中間投入	産業1	$a_{11} = x_{11} / X_1$	$a_{12} = x_{12} / X_2$
	産業2	$a_{21} = x_{21} / X_1$	$a_{22} = x_{22} / X_2$

投入係数表では，生産額に対する他産業の中間需要を割合で表している。よって，最終需要に変動が生じた時に発生する中間需要の変化の連鎖を追うことが出来る。

2.2.3逆行列係数表

逆行列係数表は，経済循環の働きをあらわしたもので，投入係数から求められる。ある部門に1単位の最終需要があった場合，それが各産業部門に対して直接・間接にどれだけの生産波及を及ぼすかその波及効果の大きさを示した係数表である。逆行列係数の求め方を図1，図2の例を用いて示す。

2部門の横行の需給バランス式は

$$x_{11} + x_{12} + F_1 = X_1 \quad (2-2)$$

$$x_{21} + x_{22} + F_2 = X_2 \quad (2-3)$$

この式を投入係数を用いて表すと

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + F_1 = X_1 \quad (2-4)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + F_2 = X_2 \quad (2-5)$$

この式を行列を用いて表すと

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

$$AX + F = X \quad (2-7)$$

Xについて解くと

$$X = (I - A)^{-1} F \quad (2-8)$$

この逆行列部分を用いて逆行列係数表を作成する。

逆行列係数は産業間の連鎖反応の最終効果をあらかじめ表にしてある。そのため特定部門の生産1単位をあげるのに必要とされる他産業の生産水準が、最終的にどのくらいになるかを産出することが出来る。そのため最終需要Fを想定すれば逆行列をもちいて需要変化後の産業連関表をもとめることができる。

以上をふまえて表2-3にあらわした2行2列の簡単な産業連関表をもちいてケーススタディを行う。

表 2-3 2行2列の産業連関表

		中間需要		最終需要	生産額
		産業 1	産業 2		
中間投入	産業 1	10	20	70	100
	産業 2	40	100	60	200
粗付加価値		50	80		
生産額		100	200		

まずは生産額でそれぞれの中間投入を除する。これにより投入係数表が得られる。

表 2-4 2行2列の投入係数表

		中間需要	
		産業 1	産業 2
中間投入	産業 1	0.1	0.1
	産業 2	0.4	0.5

さらにこの投入係数表をもちいて逆行列係数表をもとめる。逆行列係数表は $(I-A)^{-1}$ で求められることから、

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.5 \end{bmatrix} \right\}^{-1} \quad (2-9)$$

これを解くことにより表 2-5 逆行列係数表がもとめられる。

表 2-5 2行2列の逆行列係数表 $(I-A)^{-1}$ 型

	産業 1	産業 2
産業 1	1.220	0.244
産業 2	0.976	2.195

生産額 X は $(I-A)^{-1}$ に最終需要 F を乗じたものであることから、もとめられた逆行列係数表に最終需要を乗じると総生産額となる。

表 2-6 逆行列係数の確認

	産業 1	産業 2	最終需要	総生産学
産業 1	1.220	0.244	70	100
産業 2	0.976	2.195	60	200

A の最終需要が 30 増加し、100 となったとすると総生産額は $X = (I-A)^{-1} \times F$ であることから、次のような値となる。

表 2-7 総生産学の計算結果

	産業 1	産業 2	最終需要	総生産学

産業 1	1.220	0.244	100	136.585
産業 2	0.976	2.195	60	229.268

A, B それぞれの生産額は B では約 30, A でも約 36.6 の増加があることがわかる。このように A 部門のみの最終需要が変化しても取引の関係から B 部門の生産額も増加し、また、A 部門も B 部門の生産額増加を促した結果、30 しか最終需要を変化させていないにもかかわらず 36.6 生産額増加が見込める。

このように産業連関表を用いれば最終需要が変化した場合の生産額の変化が容易に分かる。

2.3 交通ネットワークモデル

交通計画の分野では、交通ネットワーク計画がその中心的な位置を占め、過去交通ネットワークに関する研究が数多くなされてきた。交通ネットワークは点（ノード）と線（リンク）の集合からなる構造で表現される。

交通ネットワークに関する研究は、交通ネットワークフローに関する研究と交通ネットワークの計画に関する研究に大別され、本研究は交通ネットワークフローに関する研究の中心、いわゆる交通量均衡配分問題について扱う。

2.3.1 ワードロップの原則と均衡配分

交通ネットワークは一般に、ノードとリンクからなる抽象化されたネットワーク構造である。ノード間の交通量は OD（Origin-Destination）フローとして交通センサスから求めることが出来るが、リンク上の交通量は利用者均衡配分をもちいる。利用者均衡配分では前提条件として Wardrop の原理がもちいられる。

Wardrop の第一原則（等時間原則）

それぞれのドライバーは自分にとって最も旅行時間の短い経路を選択する。（最短経路選択ルール）その結果として、起終点間に存在する経路のうち、利用される経路の旅行時間は等しく、利用されない経路の旅行時間より小さいか、せいぜい等しいという状態となる。

Wardrop の第二原則

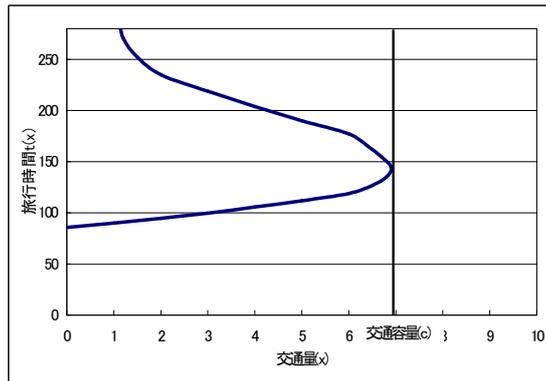
道路ネットワーク上の総旅行時間が最小となる。

第一原則と第二原則は同時に満たされることもあるが、一般には成立しない。「利用者均衡配分法」とは、このうち第一原則を満たすように交通量を配分する方法であり、第二原則を満たす配分方法は「システム最適配分」と呼ばれる。

2.3.2 リンクパフォーマンス関数

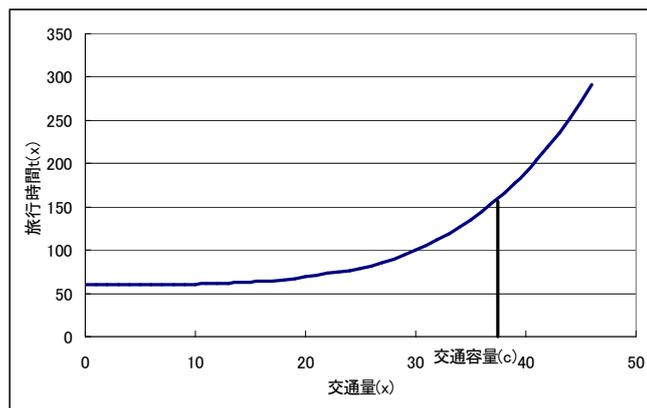
リンクパフォーマンス関数とは、ネットワークを構成する個々のリンクのサービス水準（旅行速度や旅行時間）をリンク交通量とリンク属性（リンク交通容量や自由旅行速度）の関数としてあらわしたものである。

交通量と旅行時間の関係をグラフ 2-1 に示す。交通量増加とともに旅行時間は増加し、リンクの交通容量を超えると交通台数は減少に転じる。



グラフ 2-1 交通量 x と旅行時間 $t(x)$ の関係

旅行者均衡配分においてリンク交通量を一意に求めるためには、リンクパフォーマンス関数は、全ての交通領域において虚偽の増加関数として定義されなければならないため、概形をグラフ 2-2 のように変化させる。



グラフ 2-2 均衡配分分析のための概形

グラフ 2-2 を表す式は数多く提案されているが、代表的なものとして米道路路曲が 1964 年に提案した BPR 型の式を示す。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{c_a} \right)^\beta \right\} \quad (2-10)$$

ここで、 t_a は旅行時間、 t_{a0} は自由旅行時間、 x_a はリンク交通量、 c_a は交通容量、 α 、 β はパラメータである。

交通量が交通容量に達したときに、旅行時間が自由旅行時間の $(1+\alpha)$ 倍になることから、パラメータ α 大きくなればなるほど急激に上昇する（傾きが大きい）グラフとなる。また、パ

ラメータ β は立ち上がり（傾き）を規定し要領以上の傾きが大きくなる。（図 2-1）

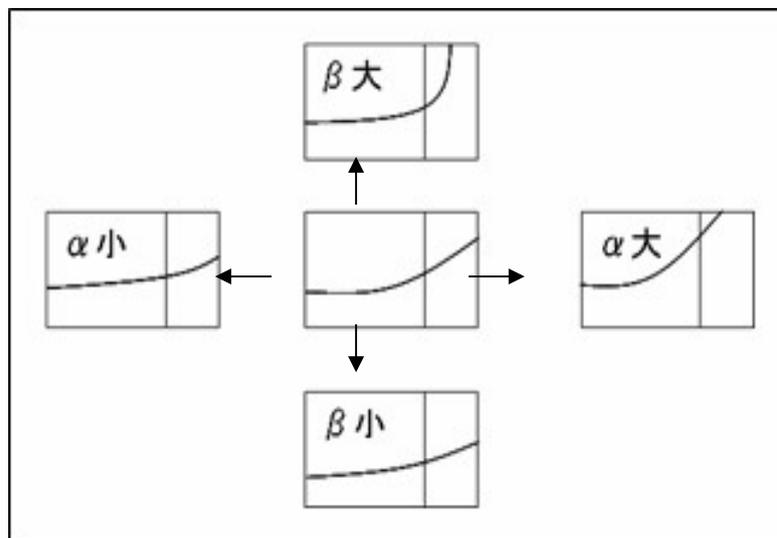


図 2-1 パラメータの変化と関数の変化

なお、パラメータのオリジナルの値は $\alpha=0.15$, $\beta=4$ であり、値は米国の道路のものであることから我が国の道路事情に対応したパラメータの推計が試みられており、その結果これらの値は細かく求める必要はなく、一般道で 1～2 種、高速道路 1 種でよいと推計されている。

Wardrop の原理とリンクパフォーマンス関数を用いることにより導かれる非線形連立方程式により、各リンクに流れるべきフローをもとめることができる。しかしこの式は道変数が数百～数万存在するため直接説くのは困難である。そこで、非線形連立方程式をそれと等価な数理最適化問題として扱う。

求めるべき数理最適化問題の目的関数 Z は以下のような式となる。

$$z = \sum_a \int_0^{f_a} d_a(\omega) d\omega \quad (2-11)$$

Wardrop の原理より、目的関数 Z が最小値となるような交通量 x を求めればよい。目的関数 Z は交通量 x とリンクパフォーマンス関数 d を求めることにより、一次変数式となる。そこで、目的関数 Z が最小となるような変数値（降下ステップサイズ）を 1 次探索アルゴリズムでもとめる。

2.3.3 最短経路探索アルゴリズム

Warshall-Floyd

起点一終点型と呼ばれる、全てのノードごとに2点間の最短路・最短距離を求めるものである。以下に手順を示す。

1. リンクの始点*i*から終点*j*に向かう枝がある場合はその距離 d_{ij} を、ない場合は ∞ とした直接距離行列を作成する。
2. 次に、*i*から*j*に別の1点を経由した場合（枝2本）の最短路・最短距離を求め、距離行列を更新する。その際、次に経由する点を p_{ij} として記憶しておく。
3. 更新された距離行列を用いてこの操作を再度行えば、枝4本まで使った最短路・最短距離が求まる。この操作を $2h \geq n-1$ となるまで h 回繰り返す。（ n はノードの個数）

Dijkstra 法

一基点多終点型とよばれるアルゴリズムは特定の始点からすべてのノードへの最短路・最短距離を求めるもので、一基点一終点型のアルゴリズムよりも効率が良い。本研究ではその中でも一般的なダイクストラ法（Dijkstra 法）をもちいる。以下にダイクストラ法の手順を示す

1. あるノードを出発点とする。出発点に隣接するノードとのリンクコストを求め、リンクコストが最小なノードにマークをつけて確定する。
2. マークのついたノードに隣接するノードのリンクコストを求め、この時点で計算されているノード（マークのついていないもの）のコストの中で最小の値を持つノードをマークし、確定する。
3. 以上の操作をすべてのノードにマークがつくまで繰り返すと、各ノードに得られる値が出発点からの最短経路となる。
4. まだ出発点になっていないノードを出発点とし、以上の操作を繰り返す。

2.3.4 均衡配分アルゴリズム

Flank-Wolfe 法

目的関数 z が最小値となるような解法は PARTAN 法や Bar-Gera 法などがあるが、最も一般的な方法として Flank-Wolfe 法がある。以下に計算手順を示す。

1. 最短経路に全 OD 交通量を流す
2. 交通量からリンクコスト（リンクパフォーマンス関数の値）を産出
3. 全 OD 交通量を最短経路に流す
4. 1 から 3 の結果を減ずる（ d 値となる）
5. Z が最小となるような降下ステップサイズを求める
6. 設定した各リンクの交通量に降下ステップサイズと d 値を乗じたものを加える
7. 6 の結果を収束判定する
8. 判定を満たさない場合は 2 にもどる^{10) 11) 12)}。

2.3.5 OD 調査および道路状況

OD調査と道路状況は交通センサスとして調査・集計されている。交通センサスは、全国の道

路と道路利用の実態を捉え、将来の道路整備の方向を明らかにするため、全国の道路状況、交通量、旅行速度、自動車運行の出発地・目的地、運行目的等を調査するもので、道路に関する国勢調査ともいうべきものである。国土交通省を中心として概ね5年ごとに調査が行われている。

交通センサスは交通量・旅行速度などの実測を行う「一般交通量調査」、アンケート調査等により地域間の自動車の動きを把握する「自動車起終点調査」大別される。「一般交通量調査」は、高速道路、一般国道、都道府県道、一部の指定市の一般市道を対象として、道路の幅員構成や整備状況を調査する「道路状況調査」と、自動車・二輪車・歩行者の交通量を観測する「交通量調査」、自動車で実走して速度を測定する「旅行速度調査」の3つが調査される。このうち「交通量調査」と「旅行速度調査」については、平日は全箇所を対象に1日ずつ調査が行われるが、休日は全箇所を対象とせず、休日交通量が卓越した区間を道路管理者が選定し、調査が実施されている。「自動車起終点調査」は、路上やフェリーで行き来する自動車の運転者の方に協力をいただくアンケート調査（路側OD調査）と、自動車所有者から無作為に選定された方に協力をいただくアンケート調査（オーナーインタビューOD調査）が実施されている。路側OD調査については平日の1日、オーナーインタビューOD調査については平日・休日のそれぞれ1日を対象に車の使われ方（いつ・どこからどこへ、など）がアンケートで調査されている²²⁾。

第3章

産業連関 - 交通ネットワーク統合モデル

3.1 本章の概要

3.2 既存の研究

3.3 産業連関モデルと交通ネットワークモデルの統合

3.1 本章の概要

本章では交通ネットワークモデルと産業連関モデルの統合モデルについて述べる。統合モデルの目的は災害後の交通量と交通コストの産出である。基本的に、いったんODフロー・データを得ると配分モデルを適用することでリンクコストを求めることが可能であるため、災害時の交通の試算ではODフローを見積ることが主要な問題となる。これらを試みた既存の研究から、代表的なものを紹介する。また、本研究で用いた地域間産業連関表を用いて地域間ODフローを算出する手法と、交通センサスデータを用いて交通フローを算出する手法、調査されていない小さなエリアの産業連関表を構築し、交通フローを算出方法について述べる。

3.2 既存の研究

交通ネットワークの損傷によって引き起こされる経済的損失を見積もることを試みた研究はこれまでも多数存在する。ODフローを見積もるための代表的な手法の1つは相互地方の計量経済モデルを用いるものである。例えば、Choとゴードンら²⁾(2001)はSouthern California Planning Model (SCPM)と呼ばれる計量経済モデルを構築し産業連関モデル、交通ネットワークモデル、通勤や出荷などの人々の交通現象を統合することによりODフローを導いた。

Kimら³⁾(2002)は交通ネットワークモデルと産業連関モデルを統合しinterregional commodity flow model (ICFM)と呼ばれるモデルを開発した。確率的均衡配分モデル(部分線形化法: Evansアルゴリズム)とウィルソンの繰り返し平衡法に基づいて、運送費を計算することが可能である。ソンら⁴⁾(2003)はモデルを1812年のニューマドリッド地震の分析に適用され、その結果、経済的観点から重要な経路と高い確立で破壊される重要路線は異なっているということが指摘された。

日本においても地域間交通を交易係数として捉えたタイプの研究は多いが、災害時において実際にルート選択を検討したような研究は限られている状況にある。

このように、経済的損失と輸送損害に関するモデルとケーススタディはいくつか提案されている。

本研究ではキムらのモデルを改良し被災地域と被災地域外との交通に焦点をあてる。また、新潟県中越地震を例に試算し、実際の災害や復旧状況と比べ評価をおこなう。

3.3 産業関連モデルと交通ネットワークモデルの統合

3.3.1 地域間交通の設定

○交通フローの設定

図3-1 に本研究で用いたモデルの簡単な概要構造を示す。

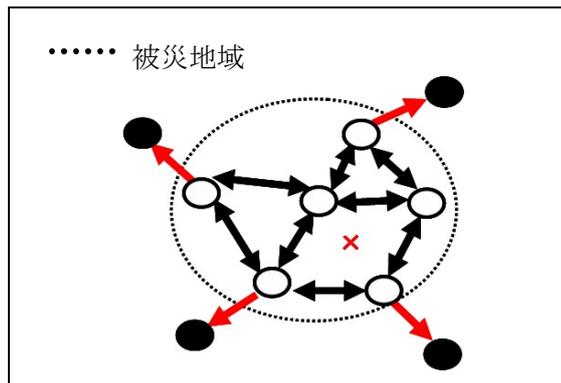


図3 - 1 モデルの概要構造

被災地域から被災地域外へ移動する地域間交通の影響を調べるために、交通ネットワーク上に被災地域内ノードと被災地域外ノードの2種類のノードを設置した。ここで、各リンクの交通フローは次式で与えられる。

$$\sum_m \sum_{ijr} h_{ijr}^m \phi_{ijr}^a = f_a \quad (3-1)$$

ただし

f_a : 地域内の交通フロー, h_{ijr}^a : m産業の被災地域 i から被災地域 j へリンク r を使用する交通(ton)

地域ノード $K = \{\Omega_1, \Omega_2\}$

$\Omega_1 = \{1, 2, 3, \dots, n\}$: 被災地域

$\Omega_2 = \{n+1, n+2, \dots, 1\}$: 被災地域外

ここでリンク r を使用する場合 $\phi_{ijr}^a = 1$ であり, その他の場合は $\phi_{ijr}^a = 0$ となる。また, 被災地域外ノードと直接リンクでつながっている被災地域内ノードを境界地ノー

ドと設定する.

○OD フローの設定

OD フローは以下のように大別される.

$$OD = OD_1 + OD_2 + OD_3 + OD_4 \quad (3-2)$$

ここで OD_1 は被災地域内から被災地域外への地域間交通(内外交通), OD_2 は被災していない地域から被災地域への地域間交通(外内交通), OD_3 は被災地域内の交通(内内交通), OD_4 は被災していない地域での交通(外外交通)である. 本研究では, 被災地域ノードと地域外ノード間の交通に着目するため, OD_4 考慮しない.

災害発生後は道路状況の悪化や救援などのための緊急車両などが被災地域に進入することから, 一般の交通は被災地域には向かわないと考えられるため, 被災後の OD_2 は 0 になるとした. また, 被災地域から地域外への交通についても災害地域からできる限り早くに離脱するものと考えられることから, 被災後の OD_1 は目的地に関係なく最もルートコストが安価となる境界点ノードに向かうものとした.

○地域間交通時間の設定

地域内ノードから地域外ノードへの交通時間は境界地点ノードまでの交通時間と, 境界地ノードから目的地地域外ノードへの交通時間を加算したもので表す.

地域内ノードから地域外ノードへの交通時間

$$T = T_{in} + T_{out} \quad (3-3)$$

ここで, T_{in} は境界地ノードまでの交通時間, T_{out} は境界地点ノードからも目的地地域外ノードへの交通時間である. 災害前の解析では T_{out} も考慮したうえで均衡配分を行うが, 災害後は T_{in} だけとし, 被災地域からできる限り速く離脱するものとする.

○交通フローと金額の変換式

交通フローと金銭フローの変換式は産業ロットデータから得られた金額と重量の変換係数 g と, 輸送重量から輸送台数への変換係数 o を用いる. (3-4 式)

$$h_{ij}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m o^m} \quad \forall m, i \in K, j \in K \quad (3-4)$$

ここで h は交通フロー(台数), x は金銭フロー(円), m は産業部門, g は交通フロー(ton)への変換係数, o は交通台数への変換係数, i, j はノード番号である.

3.3.2 交通センサスおよび地域間産業連関表をもちいた解析

自動車起終点調査と地域間産業連関表をもちいて解析を行う. 被災地域ノードと地域外ノードの交通量は地域間産業連関表より導き出し, 被災地域内の交通量は自動車起終調査の結果をもちいる. 導き出される交通量を用いて均衡配分を行い, 交通コストを算出する. 得られる地域間交通量は北海道, 東北, 関東(除く新潟), 中部, 近畿, 中国, 四国, 九州, 沖縄, 新潟の被災地外ごとに得られるため, 災害発生前の交通コストについてはこれらの10地域ごとに解析を行う. 各地域への交通時間は, 地域に区分されている各都道府県の県庁所在地への平均交通時間とする.

また, 地域間の交通についても自動車起終点調査の結果をもちいて解析する. この調査結果は全都道府県ごとに交通量が得られるため全都道府県への交通コストを求める.

各都道府県への交通時間は, 境界地ノードから各都道府県県庁所在地への交通時間とする.

3.3.3 地域別産業連関モデルを用いた解析

被災地域内の交通量についても各市町村ノード別に産業連関表を作成し, 被災地域内の交通量を導き解析に用いる.

ここで各経路の均衡配分から, 目的関数は式(3-5)で与えられる

$$\min_{h,x} Z(h,x) = \sum_a \int_0^a d_a(\omega) d(\omega) + \sum_{mj} d_{jj} \frac{x_{ij}^m}{g^m} + \sum_m \frac{1}{\beta^m g^m} \left\{ \sum_{ij} (x_{ij}^m) \ln(x_{ij}^m) \right\} \quad (3-5)$$

ここで, $j \in K_1$ ならば $d_{jj} > 0$, $j \in K_2$ ならば $d_{jj} = 0$

ただし h : 交通量(ton), x : 交通量(円), f : 地域内交通フロー, x_{ij}^m : m 産業の被災地域 i から被災地域 j への交通, $da(\omega)$: リンクパフォーマンス関数, β : 産業部門 m の感度パラメータ, g^m : 産業部門 m の変換係数(円/ton)である.

ここで第一項はリンクパフォーマンス関数であり, 第二項はノード内の交通を表す. また, 第三項はエントロピー項である.

また, 条件式として以下の(3-6)式から(3-11)式を得る.

s.t.

産業連関モデルから導かれるマテリアルバランス式

$$\sum_i (x_{ij}^m) = \sum_n a^{mn} \left(\sum_k x_{jk}^n \right) + y_j^m - M_j^m, \quad \forall m, j, \forall Nk \in K \quad (3-6)$$

交通量非負数

$$h_{ijr}^m \geq 0, \quad \forall m, i, j \quad (3-7)$$

通常の場合の交通量(ton)と交通量(円)の関係式

$$\sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m}, \quad \forall m, i \in K, j \in K \quad (3-8)$$

被災した場合の交通量(ton)と交通量(円)の関係式
地域間交通

$$\sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m}, \quad \forall m, i \in \Omega_1, j \in \Omega_1 \quad (3-9)$$

被災地域内交通

$$\sum_j \sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m}, \quad \forall m, i \in \Omega_1, j \in \Omega_2 \quad (3-10)$$

また、各地域には生産量に限界があるため生産制約式を設定する。

$$\sum_j x_{ij}^m \leq x_{i\max}^m, \quad (3-11)$$

ここで a^{mn} : 投入係数, y_j^m : 産業部門 m の j 地域における域内最終需要(円), M_j^m : 産業部門 m の j 地域の被災地域外からの移輸入量(円), E_j^m : 移輸出から導き出される産業部門 m の被災地域外輸送量である。
これらをラグランジェの未定乗数法をもちいて交通量 x について解くと

$$x_{ij}^m = \delta_i^m \varepsilon_j^m \eta_i^m \exp(-\beta^m \mu_{ij}^m) \quad (3-12)$$

$$\delta_i^m = \exp(-\beta^m g^m \sum_l \gamma_l^i a_i^{lm} - 1.0) \quad (3-13)$$

$$\varepsilon_j^m = \exp(\beta^m g^m \gamma_j^m) \quad (3-14)$$

$$\eta_i^m = \exp(-\beta^m g^m \theta_i^m) \quad (3-15)$$

ここで γ , μ , θ はラグランジェ定数である。ここで、マテリアルバランス式を用いると

$$\varepsilon_j^m = \frac{\sum_n a^{mn} \sigma_j^n + y_j^m}{\left\{ \sum_{i \neq j} \sigma_i^m \eta_i^m \exp(-\beta^m \mu_{ij}^m) \right\} + \sigma_j^m \eta_j^m \exp(-\beta^m g^m)} \quad (3-16)$$

ただし

$$\sigma_{jk}^n = \left\{ \sum_{k \neq j} \sigma_j^n \varepsilon_k^n \theta_j^n \exp(-\beta^n \mu_{jk}^n) \right\} + \sigma_j^n \varepsilon_k^n \theta_j^n \exp(-\beta^n d_{jj}) \quad (3-17)$$

また、生産制約により

$$\theta_i^m \geq \frac{-\ln \hat{x}_i^m}{\beta^m g^m \ln \sigma_i^m \sum_j (-\beta^m \mu_{ij}^m) \varepsilon_j^m} \quad (3-18)$$

ウィルソンの繰り返し平衡法と交通均衡配分を交互にもちいることで輸送量 x と交通コスト μ を算得する。

また、被災地域外への交通の総額は、各産業間の取引額と最終需要から一定の割合で導かれるものとし、その割合は各地域、各産業の事業所数、事業所規模、従業員から算出する。

第4章

新潟県中越地震をもちいたケーススタディ

4.1 本章の概要

4.2 新潟県中越地震の概要と被災地データ

4.3 被災地域・リンク・ノードの設定と被害状況

4.4 産業関連モデルの設定と地域間交通

4.5 解析結果

4.6 考察

4.1 本章の概要

前章まで出述べた内容と製作した産業連関 - 交通ネットワーク統合モデルを適用して新潟県中越地震の被害の分析を行う。解析の際に用いた各パラメータを示し、解析結果と考察を示す。

4.2 新潟県中越地震の概要と被災地データ

新潟県中越地震は2004年(平成16年)10月23日(土)午後5時56分に新潟県小千谷市を震源として発生したマグニチュード6.8の直下型の地震である。小千谷市, 十日町市, 長岡市, 見附市周辺で, 51名が死亡, 4,794名が負傷, 避難した住民は最大で約10万3千人(10月26日)を数え, 家屋の全半壊はおよそ1万6千棟に上った。

この地震では亀裂や陥没などのほか土砂崩れ, がけ崩れになどを原因とした非常に多くの交通ネットワークの分断が発生した。新潟県はもともと地滑りの発生しやすい地形が多く, 同年は7月に大規模な水害が発生したことや過去最多の台風の上陸があったことから例年になく多雨に見舞われていたため, 地盤が緩み, 地震をきっかけに多くの土砂崩れが発生した。交通の被害は北陸自動車道や関越自動車道などの高速道路, 国道17号や国道8号などの多くの一般国道の他, 多くの県道や生活道路で発生した。山間部の集落の一部は周辺の道路が全て通行止めとなったことから全ての通信・交通手段を失って孤立した。

一方, 比較的範囲の広い地方間や県間の交通は迂回路を使用することによって取引の低減を押しえられた。例えば新潟県と東京都間の交通は関越高速道路が破損したため長期間制限されたが, 信越高速道路と磐越高速道路を迂回路として用いることが可能であった。深刻な交通の途絶は震源地を中心に比較的狭い範囲の被災地域内交通で顕著に発生している²³⁾。

4.3 被災地域・リンク・ノードの設定と被害状況

本研究では新潟県中越地方でも特に被害の激しかった地区を被災地域として設定し、被災地域内の国道、高速道路を中心に主要道路を抽出、道路上の地域を被災地内ノードを22個設定した。被災地域、主要道路、被災地域内ノードの設定は図4-1から図4-2のとおりである。

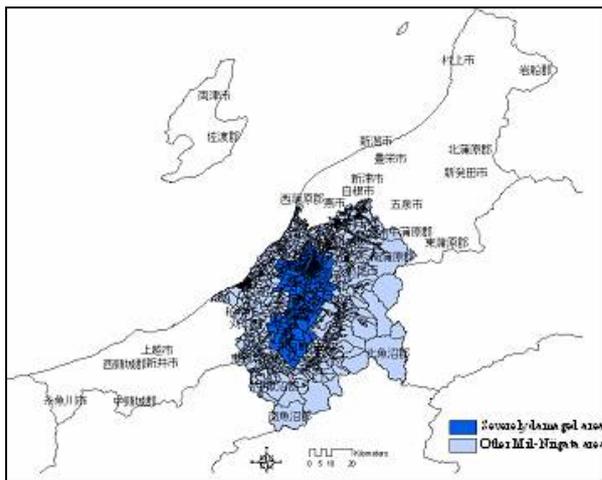


図4-1 新潟県中越地方と被災地域

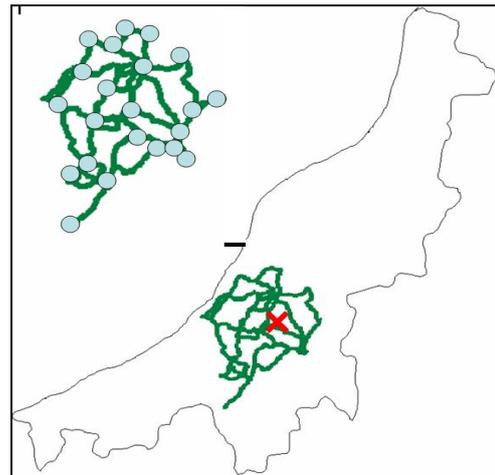


図4-2 被災地域とリンク・ノード

図4-3に解析に使用するリンクとノードを示す。黄色に示されているノードは境界地ノードである。ノード番号とリンクの設定を表4-4、表4-5に示す^{13) 14)}。

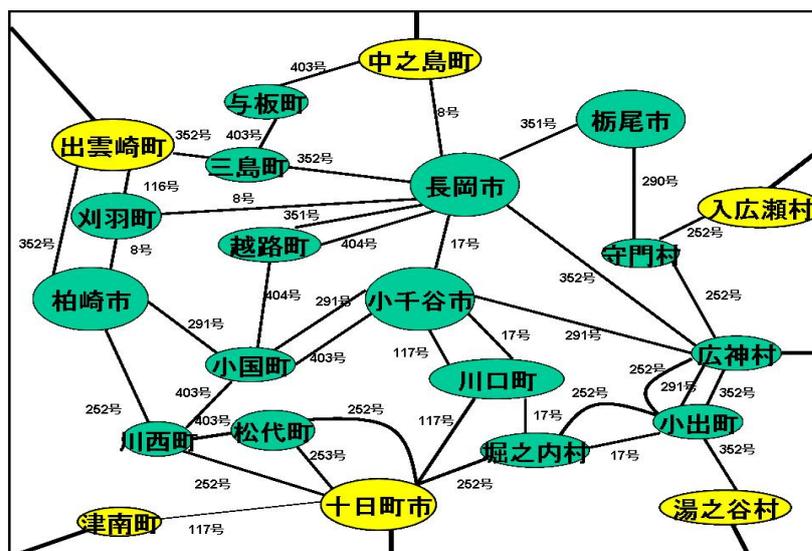


図4-3 設定したリンクとノード

表4-4 各地域とノード番号の対応

ノード番号	市町村名	ノード番号	市町村名
N1	津南町	N16	与坂町
N2	十日町市	N17	中之島町
N3	川西町	N18	栃尾市
N4	堀之内町	N19	入広瀬村
N5	柿崎町	N20	松代町
N6	小国町	N21	三島町
N7	川口町	N22	刈羽町
N8	小出町	N23	地域外ノード
N9	湯之谷村	N24	仮想ノード
N10	広神村	N25	仮想ノード
N11	小千谷市	N26	仮想ノード
N12	越路町	N27	仮想ノード
N13	守門村	N28	仮想ノード
N14	長岡市	N29	仮想ノード
N15	出雲崎町	N30	仮想ノード

表4-5 リンクの設定と容量

リンクNo.	ノード名	ノード名	時間	交通容量	リンクNo.	ノード名	ノード名	時間	交通容量
1	1	2	16.2	29758	28	6	12	20	32393
2	2	3	8	4909	29	12	14	15	31875
3	2	20	14	14030	30	12	30	7	17708
4	3	20	16	13722	31	14	30	7	17708
5	2	24	7	14030	32	10	11	45	51847
6	20	24	7	14030	33	10	14	45	42121
7	2	4	23	17100	34	11	14	23	57139
8	4	8	8	17207	35	10	13	7.8	6382
9	4	25	3.5	31911	36	13	19	12	7527
10	8	25	3.5	31911	37	13	18	34	27474
11	8	9	7	5431	38	14	18	25	64825
12	8	10	8	8989	39	14	17	14	104741
13	8	26	1.5	1882	40	16	17	6	5161
14	10	26	1.5	1882	41	16	21	7	5791
15	8	27	3.5	4466	42	14	21	22	13034
16	10	27	3.5	4466	43	15	21	13	12431
17	4	7	19	26297	44	15	22	8	11144
18	2	7	24	34902	45	5	22	12	39201
19	3	6	21	19638	46	5	15	38	34156
20	3	5	42	26754	47	14	22	22	13035
21	5	6	23	26486	48	15	23	—	—
22	6	11	21	18460	49	17	23	—	—
23	7	11	10.3	18921	50	19	23	—	—
24	7	28	3	57139	51	10	23	—	—
25	11	28	3	57139	52	9	23	—	—
26	6	29	16	22660	53	2	23	—	—
27	11	29	16	22660	54	1	23	—	—

なお、解析時には各リンクの復路および地域外ノードへの交通も換算するため、解析に使用したリンク数は各地域産業連関表を用いたもので108本、地域間産業連

関表を用いたもので234本，交通センサを用いたもので766本である。

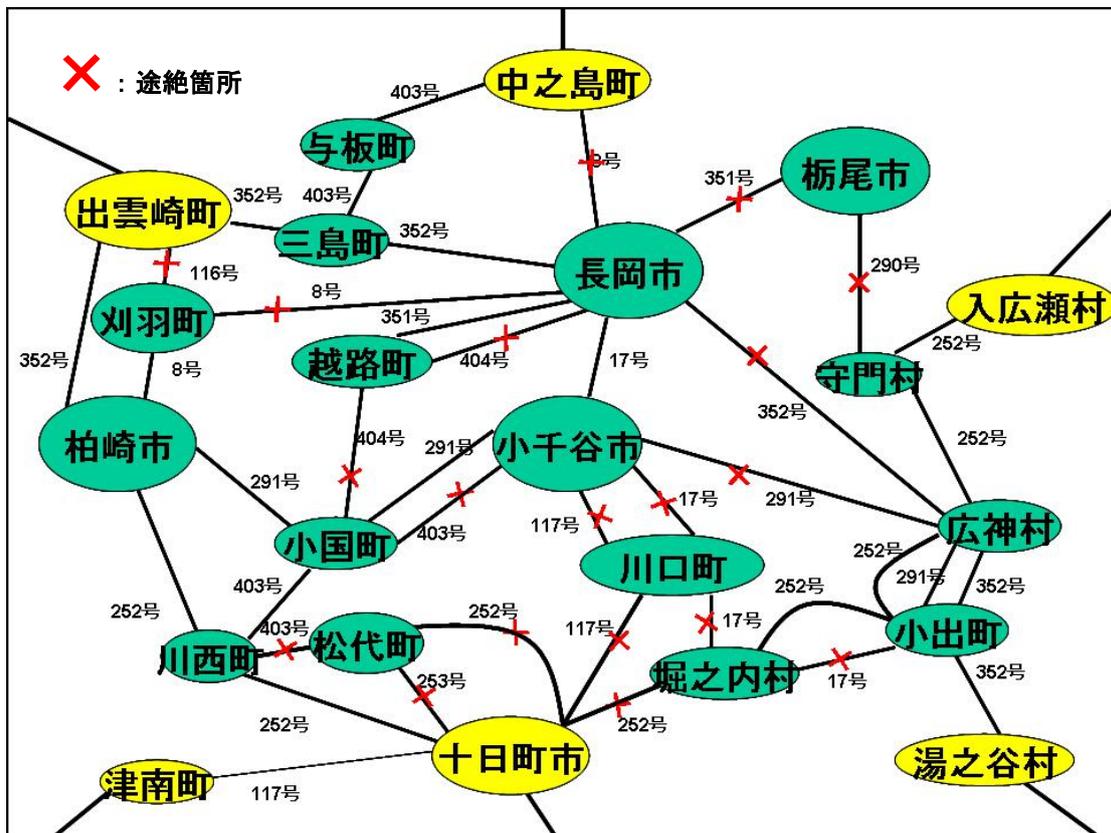
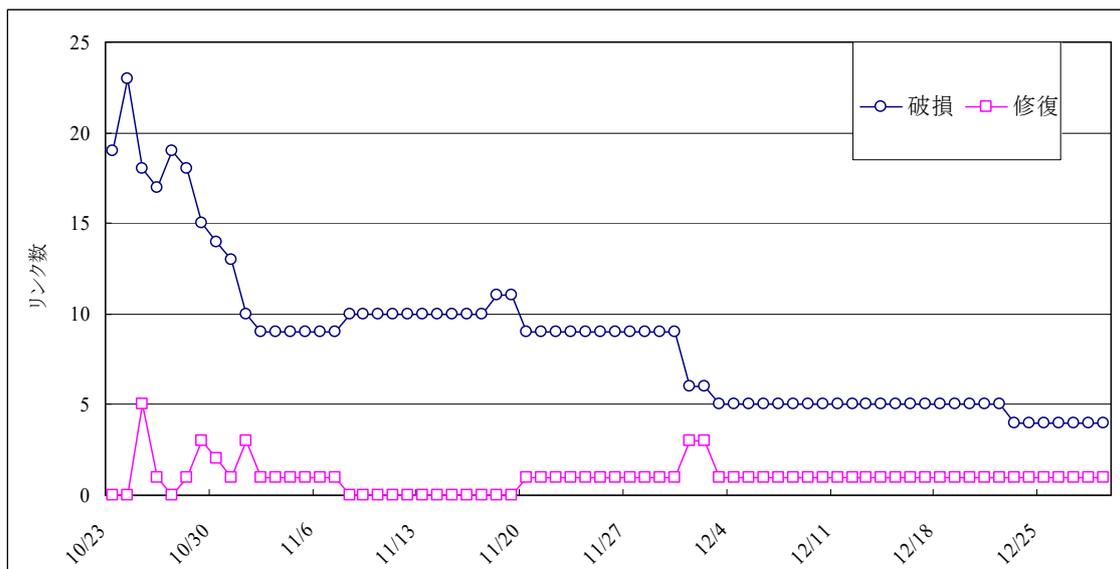


図 4-4 10月23日のリンクの破損状況



グラフ4-1 リンクの途絶本数と復旧本数

図4-4は試算に使用したモデルの構造と2004年10月23日の交通ネットワークの被害の状況である。半数以上のリンクが被害を受けていることが分かる。

地震発生後しばらくはおおきな余震が続き、新たな土砂崩れの発生によって復旧工事が妨げられた。復旧作業が進むのは約1週間後からである。11月上旬には多くの道路の復旧が進み12月にはほとんどの道路の復旧が完了した^{5) 6)}。(グラフ4-1)

4.4 産業連関モデルの設定と地域間交通

産業連関モデルは平成7年地域間産業連関表46部門および平成12年新潟県産業連関表13部門を用い、使用する産業部門数は各産業連関表から12部門に圧縮して使用した。各産業部門と変換係数 $g \cdot o$ の値は表4-6のとおりである¹⁹⁾。

表 4-6 産業部門，金額と重量の変換係数，重量から台数への変換係数

部門名	g	o
農林水産業	0.047	3.464
鉱業	0.000	22.090
製造業	0.099	2.381
建設	0.213	6.106
電力・ガス・熱供給・水道	0.213	1.774
商業	0.050	1.737
金融・保険	0.213	0.113
不動産	0.213	0.129
運輸	0.097	1.894
通信・放送	0.213	0.335
サービス	0.213	0.268
公務・その他	0.213	0.191

また，産業連関表は都道府県単位でしか発行されていない。本研究では各地域の各部門就業者数の割合と新潟県産業連関表から各地域産業連関表を算出する。表4-7・表4-8に割合を示す²⁴⁾。

表 4-7 新潟県産業連関表に対する各地域各部門の割合

ノード番号	市町村名	農林水産業	鉱業	製造業	建設	電力・ガス・ 熱供給・水道	商業
		N1	津南町	0.020	0.016	0.003	0.006
N2	十日町市	0.023	0.042	0.020	0.023	0.018	0.016
N3	川西町	0.008	0.009	0.004	0.005	0.003	0.002
N4	堀之内町	0.007	0.001	0.005	0.005	0.003	0.003
N5	柿崎町	0.005	0.011	0.007	0.005	0.004	0.004
N6	小国町	0.008	0.000	0.004	0.004	0.001	0.002
N7	川口町	0.004	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
N8	小出町	0.005	0.006	0.005	0.006	0.008	0.005
N9	湯之谷村	0.002	0.002	0.003	0.004	0.007	0.002
N10	広神村	0.006	0.004	0.004	0.006	0.001	0.002
N11	小千谷市	0.020	0.024	0.027	0.016	0.022	0.015
N12	越路町	0.006	0.012	0.008	0.006	0.003	0.005
N13	守門村	0.004	0.001	0.002	0.003	0.001	0.001
N14	長岡市	0.034	0.118	0.085	0.063	0.073	0.090
N15	出雲崎町	0.004	0.002	0.003	0.002	0.001	0.002
N16	与坂町	0.002	0.006	0.005	0.003	0.003	0.003
N17	中之島町	0.008	0.007	0.008	0.006	0.003	0.005
N18	栃尾市	0.013	0.002	0.017	0.011	0.009	0.007
N19	入広瀬村	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
N20	松代町	0.007	0.000	0.001	0.003	0.003	0.001
N21	三島町	0.002	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003
N22	刈羽町	0.003	0.002	0.003	0.002	0.011	0.001

表 4-8 新潟県産業連関表に対する各地域各部門の割合 2

ノード番号	市町村名	金融・保険	不動産	運輸	通信・放送	サービス	公務・その他
		N1	津南町	0.001	0.001	0.002	0.002
N2	十日町市	0.013	0.009	0.009	0.009	0.018	0.014
N3	川西町	0.001	0.000	0.002	0.002	0.003	0.003
N4	堀之内町	0.002	0.000	0.003	0.003	0.003	0.003
N5	柿崎町	0.002	0.003	0.005	0.005	0.004	0.004
N6	小国町	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003
N7	川口町	0.001	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002
N8	小出町	0.004	0.002	0.004	0.004	0.006	0.005
N9	湯之谷村	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.004
N10	広神村	0.001	0.001	0.003	0.003	0.003	0.003
N11	小千谷市	0.012	0.008	0.012	0.012	0.015	0.014
N12	越路町	0.004	0.002	0.005	0.005	0.005	0.005
N13	守門村	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
N14	長岡市	0.114	0.099	0.078	0.078	0.084	0.059
N15	出雲崎町	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002
N16	与坂町	0.003	0.001	0.003	0.003	0.002	0.003
N17	中之島町	0.003	0.002	0.006	0.006	0.003	0.003
N18	栃尾市	0.005	0.003	0.008	0.008	0.007	0.008
N19	入広瀬村	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
N20	松代町	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002
N21	三島町	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002
N22	刈羽町	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002

交通センサスを用いた解析と地域間産業連関表を用いた解析の災地域と被災地域外間の交通を表4-9に示す^{16) 17)}。

表4-9 交通センサス、地域間産業連関を用いた解析での地域間交通

都道府県	交通センサス		地域間産業連関表		
	移入台数	移出台数	地域	移入台数	移出台数
北海道	16	0	北海道	1801.14	581.9796
青森県	3	0	東北	3155.506	1534.095
岩手県	2	8			
宮城県	35	15			
秋田県	15	9			
山形県	116	23			
福島県	353	162			
茨城県	86	39			
栃木県	128	85	関東(除く新潟)	2239.708	17822.74
群馬県	770	275			
埼玉県	534	287			
千葉県	184	118			
東京都	269	168			
神奈川県	180	121			
山梨県	126	36			
長野県	1320	1077			
静岡県	81	1			
富山県	314	72			
石川県	88	67			
岐阜県	14	11			
愛知県	152	20			
三重県	5	6			

都道府県	交通センサス		地域間産業連関表					
	移入台数	移出台数	地域	移入台数	移出台数			
福井県	36	8	近畿	987.693	1969.88			
滋賀県	12	19						
京都府	11	8						
大阪府	55	61						
兵庫県	46	4						
奈良県	24	3						
和歌山県	2	0						
鳥取県	0	0	中国	532.7466	946.5548			
島根県	3	0						
岡山県	11	2						
広島県	11	22						
山口県	0	0						
徳島県	0	0	四国	1454.021	468.0183			
香川県	0	0						
愛媛県	8	2						
高知県	0	0	九州	98.09376	1154.167			
福岡県	5	0						
佐賀県	3	0						
長崎県	0	0						
熊本県	0	0						
大分県	0	0						
宮崎県	0	0						
鹿児島県	0	0						
沖縄県	0	0				沖縄	40293.83	92.79938
新潟県	84366	84746				新潟	40293.83	91079.68

4.5 解析結果

4.5.1 経路コストの増加と迂回

各経路コストの増加の結果から、特に増加量の大きかった津南町への交通と迂回の概要を示す。図4-5は小千谷市から津南町への交通の動向を示したものである。グラフ4-2からグラフ4-7は交通センサをもちいた解析，地域間産業連関表をもちいた解析，各地域産業連関表をもちいた解析の結果のうち，津南町と地域外を目的とした交通のルートコストの増加である。なお，リンクが破損したために孤立し，経路コストが無限大となり到達することが不可能になったものについてはグラフに表示していない。また，地域外への交通について境界地ノードからのルートコストの表示は0となる。

到達することが不可能になったノードとその他のノードを目的とした交通のルートコストの増加については付録を参照されたい。

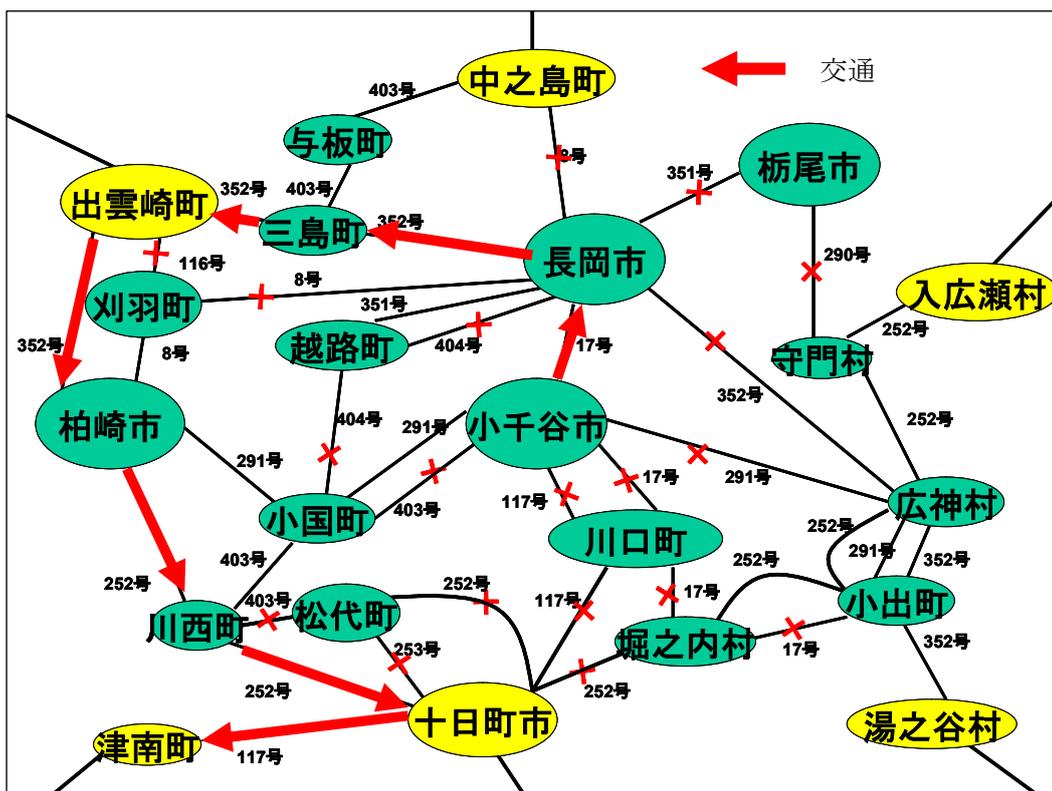
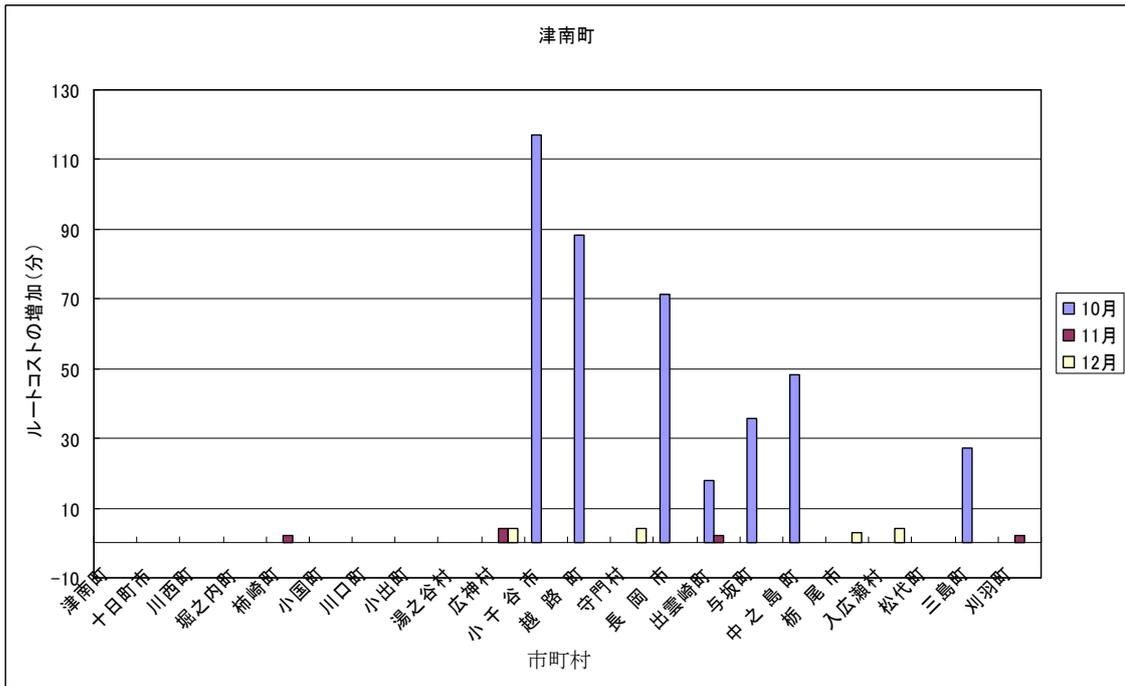
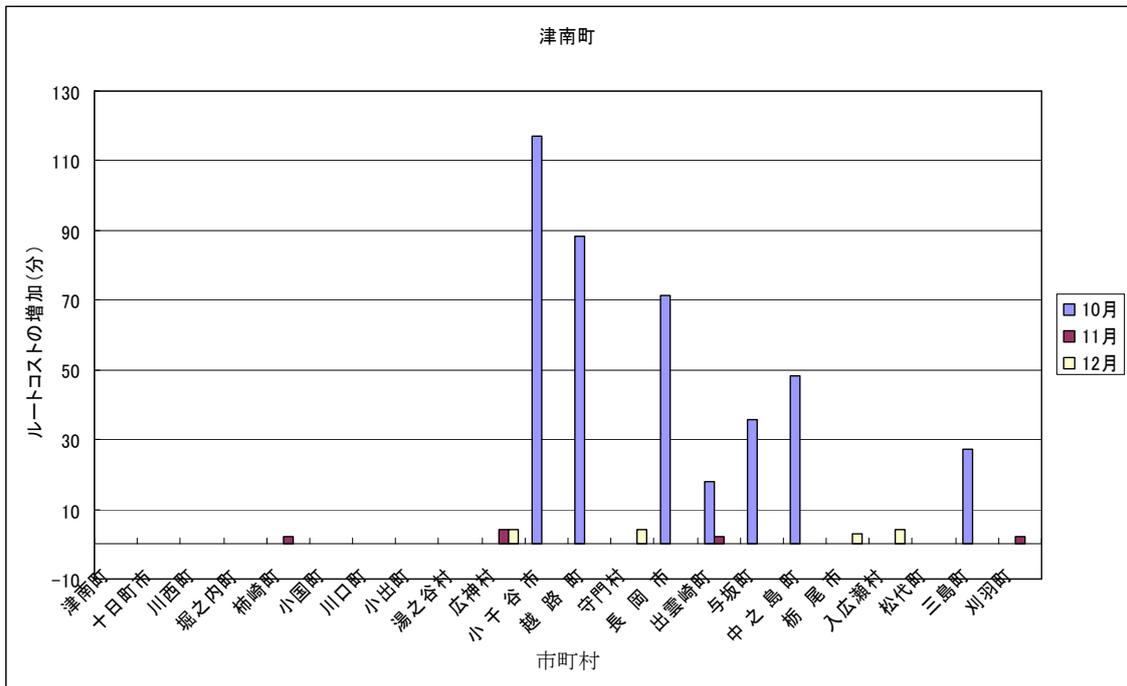


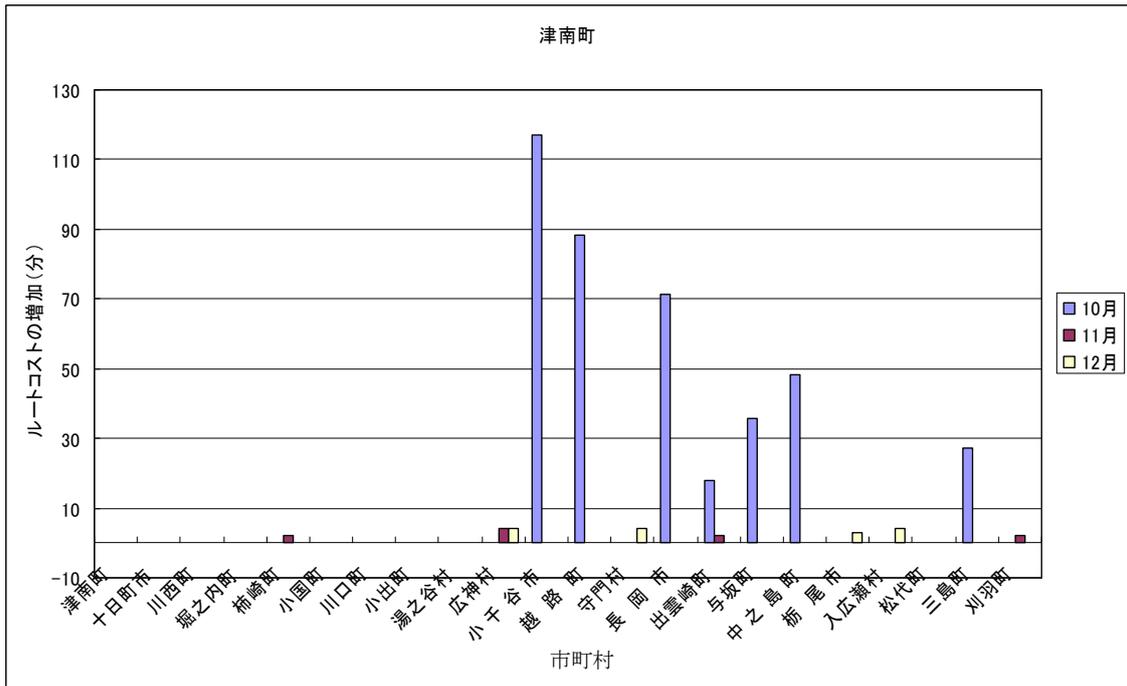
図4-5 災害発生後の交通状況 小千谷市から津南町への交通



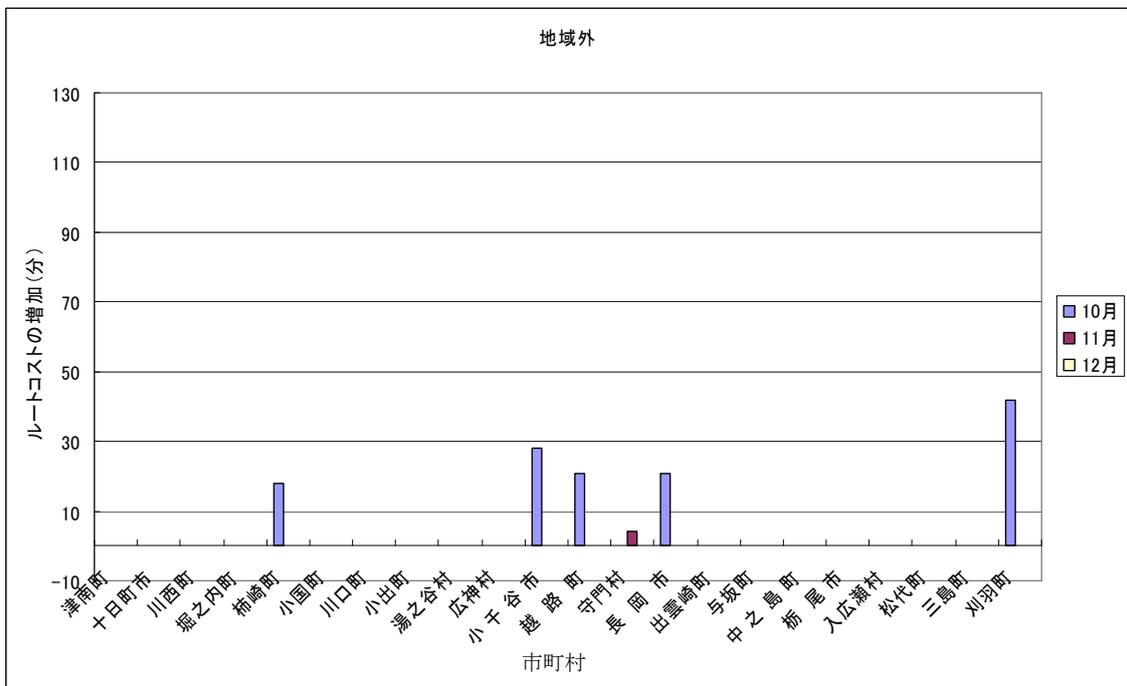
グラフ4-2 交通センサスを用いた結果・津南町へのルートコストの増加



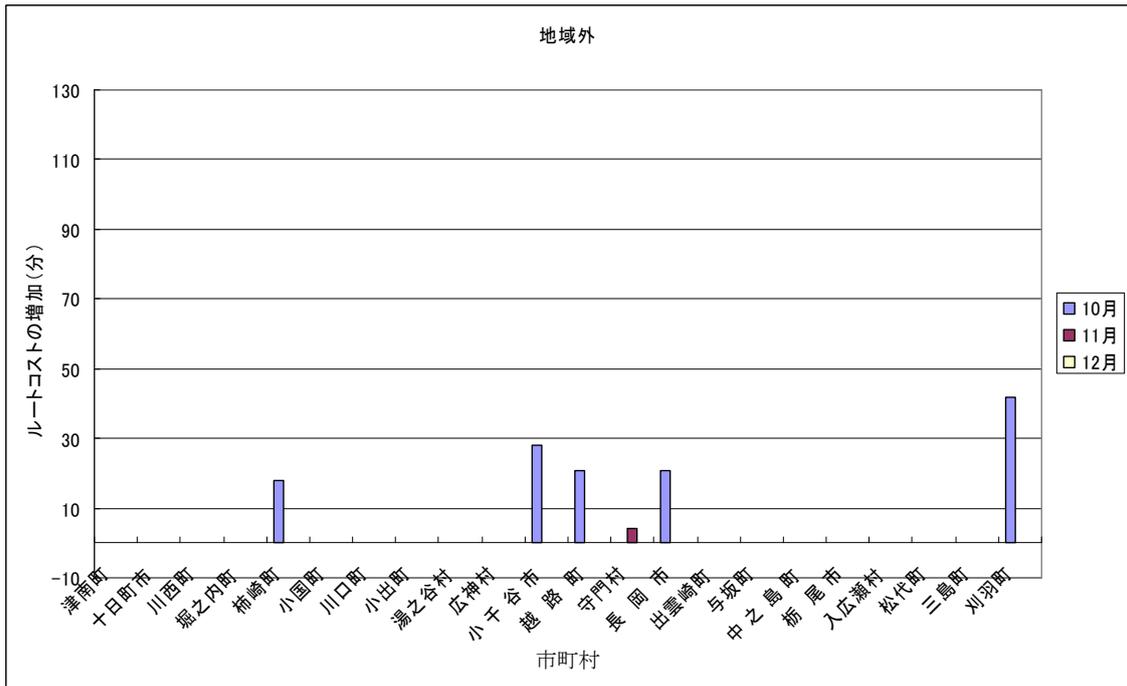
グラフ4-3 地域間産業連関を用いた結果・津南町へのルートコストの増加



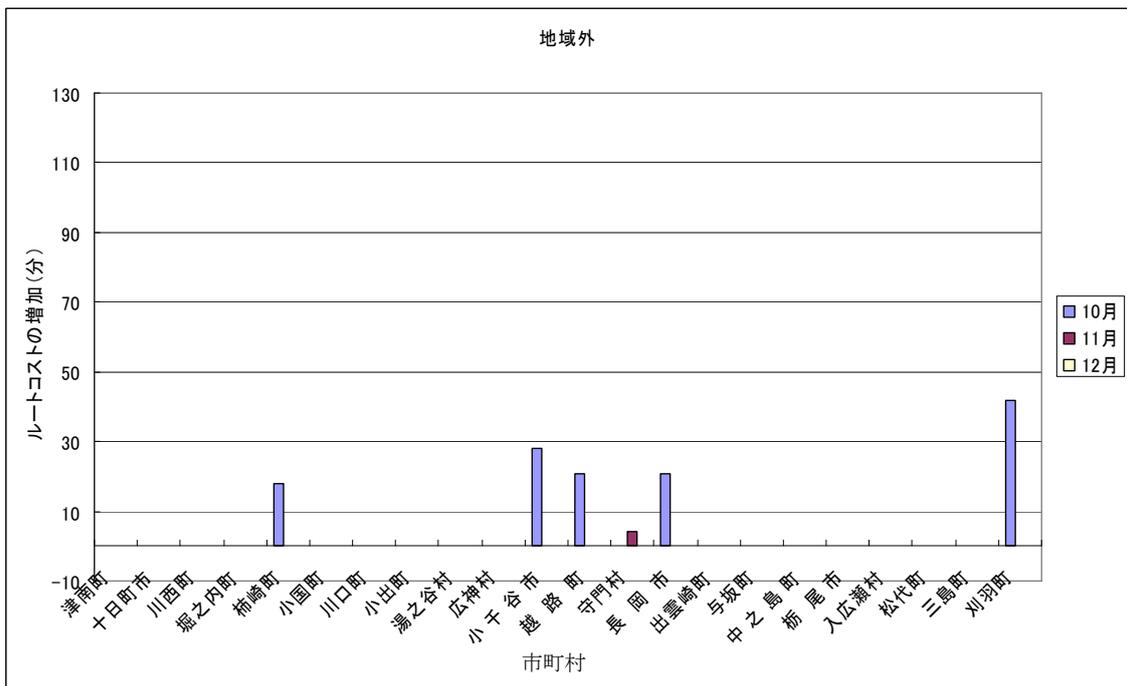
グラフ4-4 各地域産業連関モデルを用いた結果・津南へのルートコストの増加



グラフ4-5 交通センサスを用いた結果・地域外へのルートコストの増加



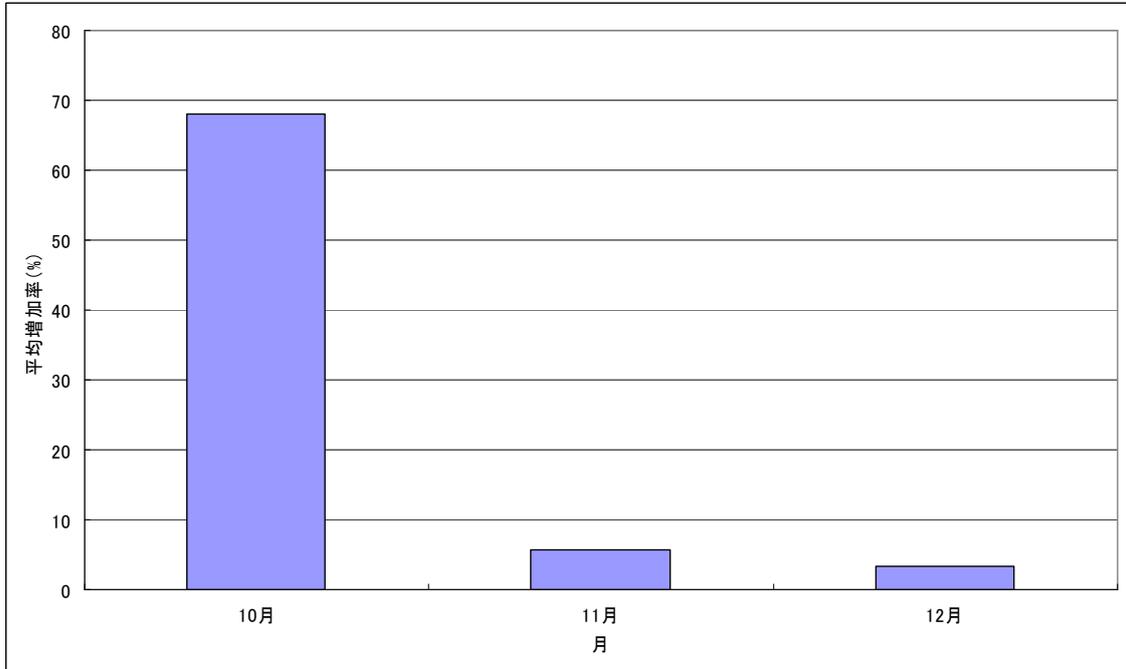
グラフ4-6 地域間産業連関表を用いた結果・地域外へのルートコストの増加



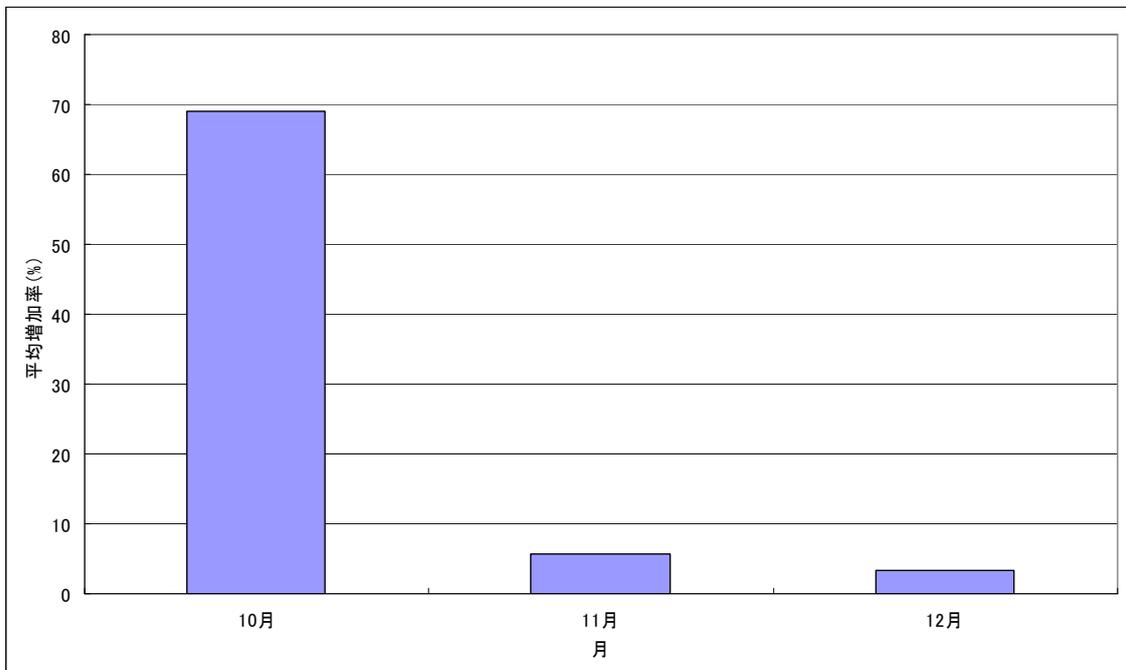
グラフ4-7 各地域産業連関表を用いた結果・地域外へのルートコストの増加

4.5.2 経路コストの平均増加割合

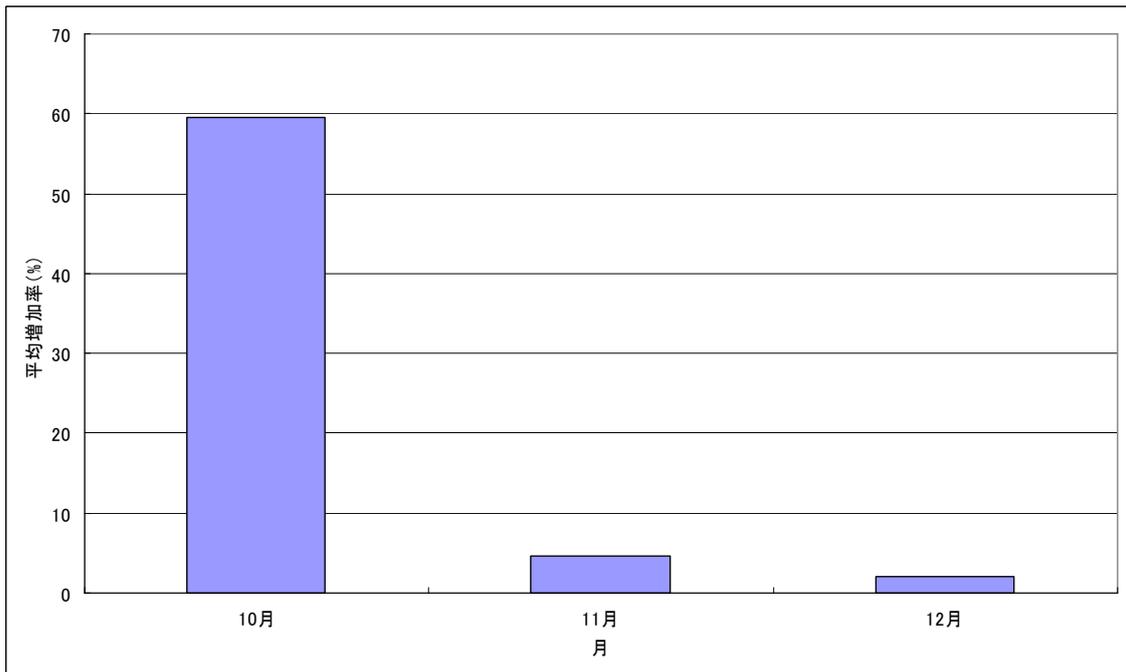
それぞれの結果でのルートコストの平均増加割合をグラフ4-8から4-10にします。



グラフ4-8 交通センサを用いた結果・ルートコストの平均増加割合



グラフ4-9 地域間産業連関を用いた結果・ルートコストの平均増加割合

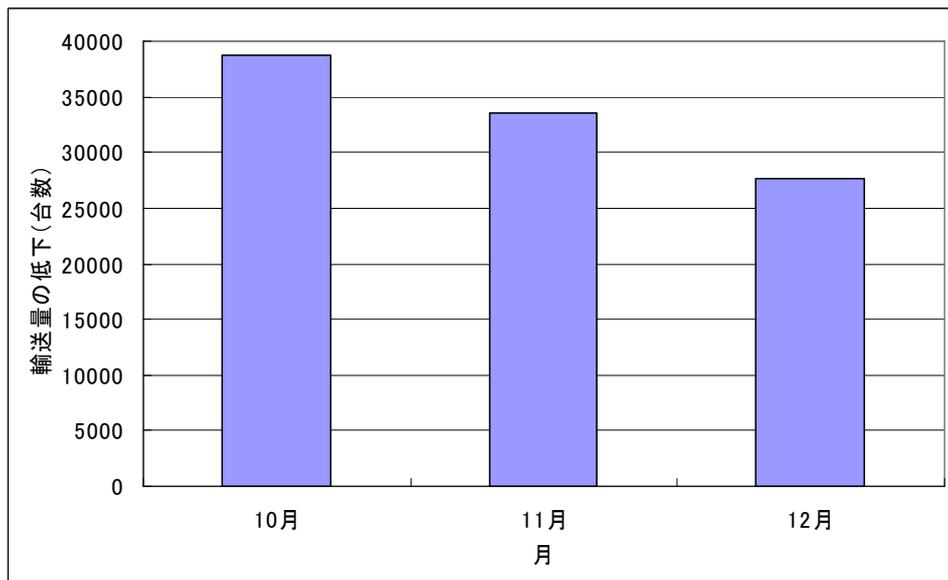


グラフ4-10 各地域産業連関表を用いた結果・ルートコストの平均増加割合

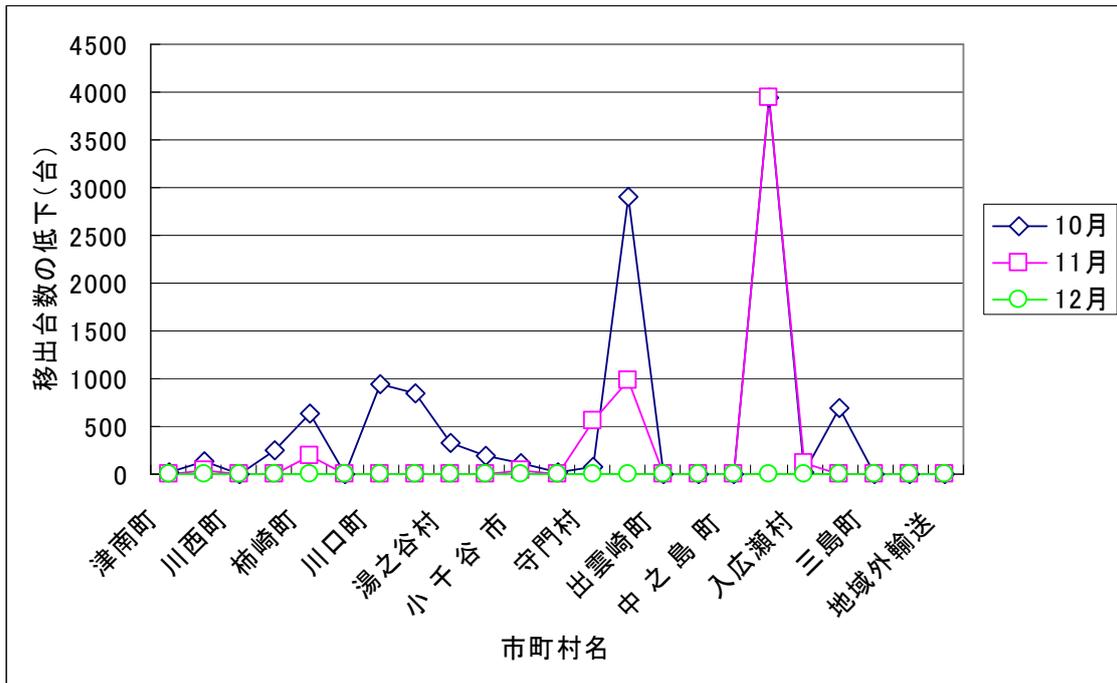
4.5.3 輸送量の低下量

各地域産業連関表をもちいた解析では、交通コストにあわせて交通量も変化する。グラフ4-11にはそれぞれの月の災害前の各ノード間の交通量の総輸送台数の低下を示す。

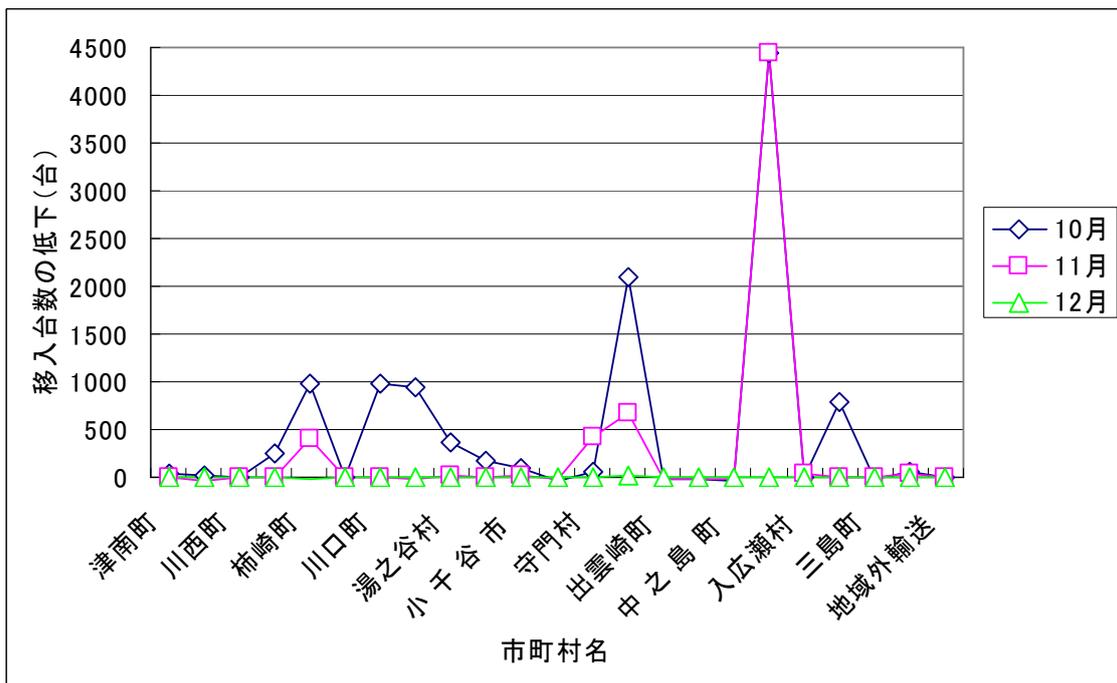
グラフ4-12には各地域ノードからの移出台数の低下台数、グラフ4-13には各ノードの移入台数の低下台数をしめす。



グラフ4-11 10月・11月・12月の輸送量の低下



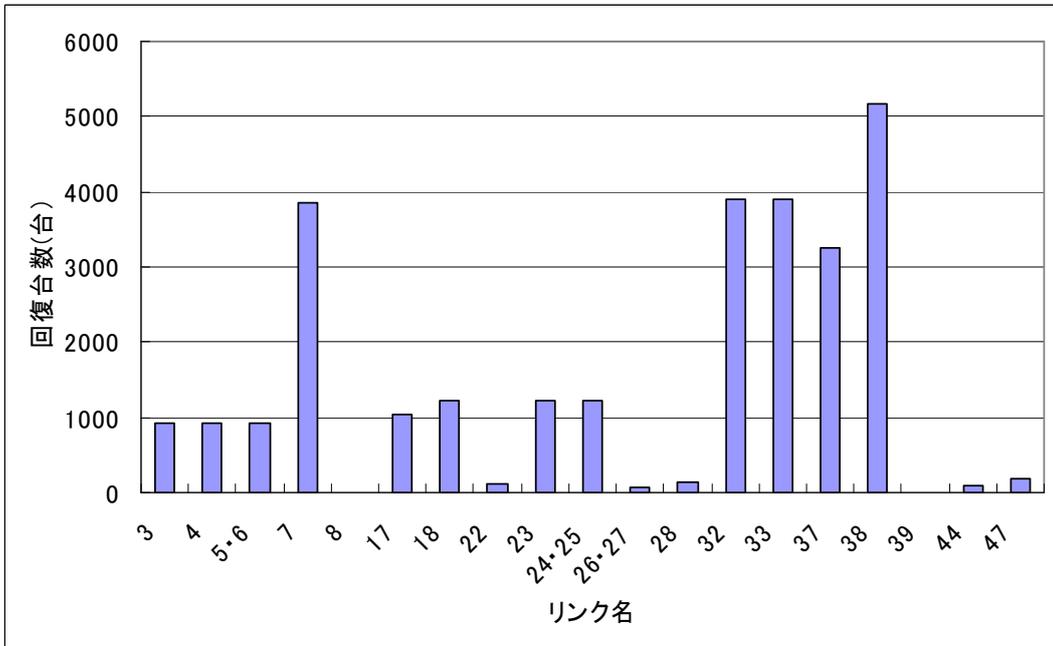
グラフ4-12 10月・11月・12月の各市町村の移出台数の低下



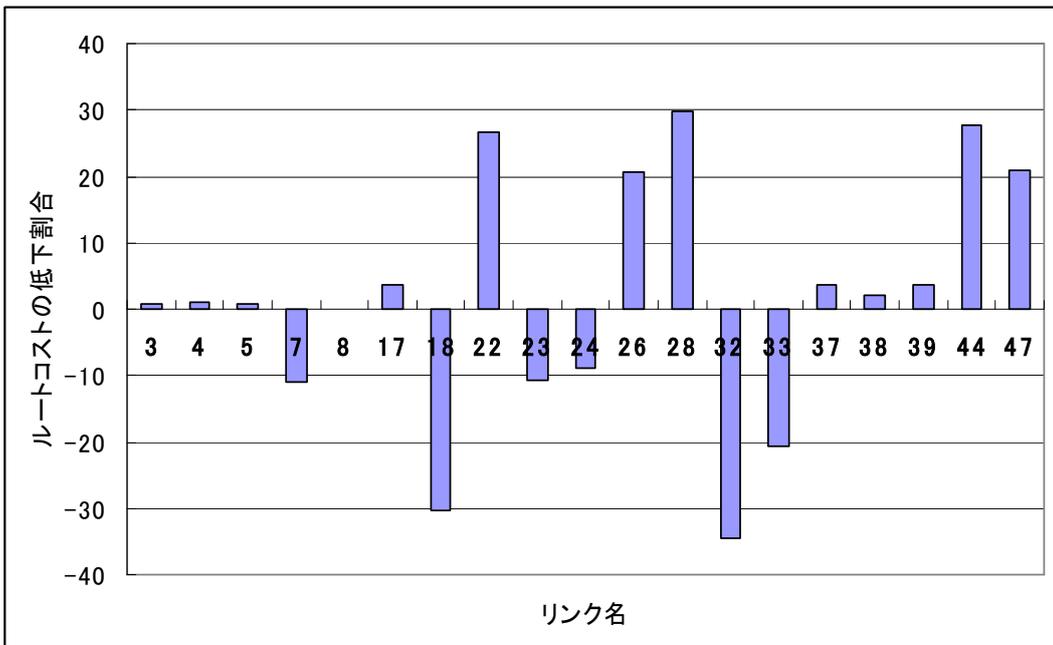
グラフ4-13 10月・11月・12月の各市町村の移入台数の低下

4.5.4 特定の1リンクだけ回復させた場合の輸送量とルートコストの低下量

各地域産業連関表を用いたもので、10月のリンクの途絶状況から1本だけ復旧したと仮定した場合の輸送の回復台数と10月の結果からのルートコストの低下割合を示す。



グラフ4-14 特定の1リンクだけ回復させた場合の輸送の回復台数



グラフ 4-15 特定の1リンクだけ回復させた場合のルートコストの低下割合

4.5 考察

図 4-5 のとおり，災害発生後の迂回を確認することができた．グラフ 4-2 からグラフ 4-7 に示すように増加の激しいところで 120 分程度の増加が発生している．地域外への輸送時間は各ノードから境界地ノードへの交通時間である．これらも経路によっては 40 分程度の輸送時間の増加が発生した．

グラフ 4-2 からグラフ 4-7 の結果では交通センサス，地域間産業連関表，各地域の産業連関表を用いた結果に差はあまり見られないが，グラフ 4-8 からグラフ 4-10 が示すとおりルートコストの平均増加率は地域間産業連関表を用いたものが交通センサスを用いたものよりも若干高く，各地域産業連関表をもちいたものは他の二つに比べて約 10%低い値となった．地域間産業連関表を用いた地域間交通の算出では，空輸や鉄道輸送を輸送手段として選択していないため交通センサスを用いたものよりも値が大きくなったのではないかと思われる．各地域産業連関表を用いたものが最も増加率が低かったのは，交通コストにあわせて交通量が変化するためである．交通コストの増加に伴い交通量が変化するのは現状に対応しているが，正確な各地域の産業連関表を作成するのは非常に困難であるため交通事象を的確に再現しているとは考えにくい．どの結果も時間の経過とともに低下し，12 月には震災前に近い値となった．

グラフ 4-11 からグラフ 4-13 は各地域産業連関表を用いた場合の輸送量である．こちらリンクの復旧とともに震災前の値に近づいている．

グラフ 4-14，4-15 は 10 月のリンクの破損状態から特定のリンクだけを回復させた際の交通量の回復とルートコストの増加を示したものである．特にリンク番号 7 番，32 番，38 番，39 番を回復させた場合，交通量の回復が高い．

一方，ルートコストの回復は 22 番や 28 番が高く，18 番や 32 番を回復させた場合，逆にルートコストが高くなっている．これはリンクを回復させた結果交通量が増加し，そのために交通渋滞が発生したためと思われる．道路の補修を行った場合，逆に交通渋滞を引き起こす可能性を示している．なお，実際の補修は 8 番，38 番から行われた．これは交通コスト，交通量のどちらもあまり回復するリンクではない．今回の結果から見ればよい手順とはいえないが，本件急では補修工事の費用便益効果の考慮がされていないためこれらをモデルに組み込む必要があると考えられる．

第5章

まとめ

5.まとめ

5. まとめ

今日の産業間の取引は主に道路交通ネットワークシステムに依存している。大規模災害によって引き起こされる経済損失を軽減するためには重要経路特定を特定し、事前策として補強を施すことや、事後策として効率的な復旧計画を立案することが重要である。これらを行うには大規模災害によって引き起こされる交通ネットワーク損傷の経済被害の見積もりを行う必要がある。しかし、多くの場合被災地域は比較的狭い地域であり、交通網の被害は被災地に集中して発生するため、被災地域を起点または終点とする交通フローは周囲の交通網が壊滅的な被害を受ける場合が多い。被災地域内では、地域が孤立するために輸送が不可能になる、迂回路を使用、ルートコスト増加に伴う交通の取りやめなどが発生する。よって通常時のODフローデータをそのまま用いることは不可能である。さらに、災害による産業構造は一時的、または長期間にわたって変化する。

第3章に示すように本研究では、交通センサデータのほかに地域間産業連関モデル、各地域産業連関モデルについて交通ネットワークモデルを統合させ、交通ネットワーク損傷時の交通コスト増加の試算を試みた。また第4章に示すように試算例として新潟県中越地震をとりあげ、道路情報や被害の実態と回復状況、その他の経済データを用いて交通コストの増加を試算した。その結果、各ルートコストの上昇や道路の補修に伴うコストの低下、被災地域の交通ネットワークの損傷が地域内交通だけでなく被災地域と被災地域外間の交通に影響を及ぼすことなどが示された。また、それぞれの結果を比較した結果、各地域に産業連関データを設定したモデルではルートコストに伴う輸送量の低下を示した。一方で交通センサを用いたモデルと地域間産業連関を用いたモデルを比べることで金銭の取引関係だけでは交通輸送を過剰に計上することを示し、モデルの発展性を示した。さらに、各損傷経路についてルートコストの低下率と輸送量の回復を算出し重要と思われる路線やルートの回復手順によっては交通渋滞を悪化させることなどを示した。

研究により、得られた課題や検討が必要なことを、以下に示す。

災害後に交通量の回復と交通コストの軽減を効率的に行い、経済被害が可能な限り軽減する復興計画を立案するためには重要路線の特定が必要となり、本モデルの活用が可能となる。しかし、重要路線の特定には路線を補修する際の費用の観点の検証や、産業間の取引だけでなく家計の交通行動やレスキュー隊の緊急車両など、災害時特有の要素を考慮に入れる必要がある。それらの導入が望まれる。

本稿では産業連関モデルから導かれた交通量を単純に365分割して試算に用いているが、産業間の取引は季節や月ごとに特徴がある。例えば新潟県の場合農林水産

部門が大きな生産量を誇っているが、農林水産部門は季節によって取引の形態が大きく異なることは容易に想像が付き、災害発生時の季節的な影響は無視できない。モデルの精度を高めるためにはそれらの要素の導入も望まれる。

参考文献

【参考文献】

- 1) Kim, T.J.: “A combined land use-transportation model when zonal travel demand is endogenously determined.” *Transportation Research*, 17B 449-462. 1983
- 2) Cho, S., Gordon, P., Moore II, J.E., Richardson, H.W., Shinozuka M. and Chang, S.: “Integrating transportation network and regional economic models to estimate the cost of a large urban earthquake.” *Journal of Regional Science*, 41 (1) 39-65. 2001
- 3) Kim, T.J. , Ham, H. and Boyce, D.E. : “Economic impacts of transportation network changes: Implementation of a combined transportation network and input-output model.” *Papers in Regional Science* 223-246. 2002
- 4) Sohn, J., Kim, T.J., Hewings, G.J.D., Lee, J.S. and Jang, S.G. : “Retrofit Priority of Transport Network Links under an Earthquake.” *J. Urban Planning & Development*, 195-210, 2003
- 5) 国土交通省道路局企画課道路事業分析評価室提供資料, 平成16年10月23日新潟県中越地震による一般車両の前面通行禁止の状況, 2005.12
- 6) 新潟県土木部道路管理課提供資料, 平成16年新潟県中越大震災による通行規制状況, 2005.11
- 7) 井出 眞弘 著: Excel による産業連関分析入門, 産能大学出版部 2003.3
- 8) 林 敏彦 著: アメリカ経済入門 URL
http://www.stanford-jc.or.jp/research/publication/DP/pdf/DP2003_001_J.pdf
- 9) 日本経済新聞 やさしい経済用語の解説
URL <http://www.nikkei4946.com/today/0211/index.html>
- 10) 土木学会 土木計画学会研究委員会交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理論と解法 -, 土木学会, 2005.7
- 11) 太田勝敏, 古木守靖:道路交通需要予測の理論と適用・第I編 利用者均衡配分の適用に向けて, 土木学会, pp.35-105, 2006.8
- 12) 太田勝敏, 古木守靖:道路交通需要予測の理論と適用・第II編 利用者均衡配分モデルの展開, 土木学会, 2006.8
- 13) 国土交通省北陸地方整備局, 北陸地方の道路時刻表
http://www.hrr.mlit.go.jp/toyama/yakudachi/jikoku_niigata.html, 2006.1.
- 14) 平成11年交通センサス結果資料, 新潟県土木部道路管理課提供資料*, 2005.1
- 15) 新潟県庁HP, にいがた統計BOX
<http://www.pref.niigata.jp/sougouseisaku/tokei/box/data/sangyou-renkan.ht>
- 16) 平成11年自動車起終点調査, 国土交通省北陸地方整備局提供資料, 2006

- 17) 平成7年地域産業連関表, 財団法人 経済産業調査会
- 18) 松田真治, 小地域産業連関表の作成の試行とその活用—2000年鳥取市産業連関表の作成—, 2006
- 19) 第7回全国貨物純流動調査(物流センサス)結果, 国土交通省
- 20) 新谷洋二, 都市交通計画, 技報堂出版, 1993,5
- 21) 武野秀樹, 国民経済計算入門, 有斐閣, 2001.11
- 22) 国土交通省 中部地方整備局ホームページ
<http://www.cbr.mlit.go.jp/road/kisya/2005/1216consensus.pdf>
- 23) 新潟県ホームページ, 新潟県中越大震災に関する情報,
http://www.pref.niigata.jp/content/jishin/jishin_1.html
- 24) 新潟県統計年鑑 2004, 新潟県総務管理部統計課, 2004