

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

学生氏名 水上 裕治

指導教員 皆川 勝, 梶谷 義雄, 吉田 郁政

大規模災害により交通網が被害を受けると、交通網による他企業との取引関係に依存した全ての企業活動が迂回ルートへの選択や、取引の中断を余儀なくされるなどの様々な影響を受ける。したがって、このような経済活動への影響をできるだけ効果的に減少させるためには、各経路や道路と経済活動との関係进行分析し、優先的に補強、修繕すべき重要経路を特定することが重要となる。一般に、産業間の取引構造は、産業連関モデルを用いた分析が行われてきた。しかし、交通網と産業間取引の関係は明示的ではないため、迂回路の使用に伴う経路コストの増加や、さらに経路コストの増加に伴う取引構造の変化について分析することは困難であった。

そこで、本研究では、災害時の交通状態を推計するための交通ネットワークモデル（利用者均衡配分モデル）と産業連関モデルを統合した災害時の経済被害推計モデルの開発を試みる。また2004年10月23日に発生した新潟県中越地震を例に当該モデルを適用することで、道路網復旧の効果等に関する実証的な分析を行った。

Key Words : *risk management, transportation network model, input-output model, economic loss, Mid-Niigata Earthquake*

1. はじめに

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回数及び死者、被害額の割合は、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、かつてはその発生確率や規模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¹⁾。

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いたこともあって、非常に大きな被害をもたらす結果となった。正確な予測ができない以上、災害は「いつか必ず発生するもの」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）がある。基本的に、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ことが数多くの専門家によって指摘されている。例えば、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のが現状である。

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、各産業間の取引の実に8割から9割近くが交通ネットワークシステムに依存しているためである²⁾。交通ネットワークはこれらの取引や日常生活が効率的に行われるように整備されているが、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、多くの輸送で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主要なもの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。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影響で発生する経済被害の見積もりを行う必要がある。多くの場合被災地域は比較的狭い地域である。また、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、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。

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推計に関する研究はこれまでも多数存在する。基本的に、ODフロー・データを得られると交通配分モデルを適用することが可能であることから、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。ODデータが得られない状況ではODフローをモデルによって推計する必要があり、例えば、Kimら⁴⁾は産業関連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。ChoとGordonら⁵⁾(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関連モデル、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。

また、Kimら⁶⁾(2002)は交通ネットワークモデルと産業関連モデルを統合しinterregional commodity flow model(ICFM)と呼ばれるモデルを開発した。EvanのAlgorithmとwillson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。Sohnら⁷⁾(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し、その結果、経済的観点から重要な経路と高い確率で破壊される重要路線は異なっているということを指摘している。

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、災害時における実際の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。

本研究ではKimらのモデルを拡張し、被災地域内における災害時のリンクの途絶を考慮した交通フローの推計を行いリンクコスト増加の観点から重要路線を特定するアプローチを取る。また、新潟県中越地震を例にモデルの適用を試みる。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。

2. 産業関連-交通ネットワーク統合モデル

(1) 地域間交通の設定

交通フローの設定

図-1に本研究で用いたモデルの簡単な概要構造を示す。

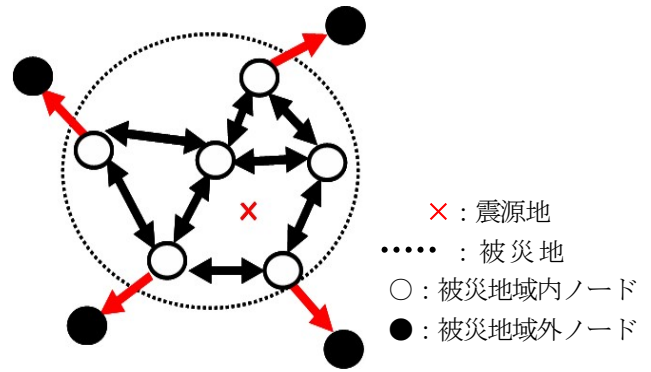


図-1 モデルの概要構造

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。

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

ただし、 f_a : 地域内のリンク a を使用する交通フロー、 h_{ijr}^m : m 産業の被災地域 i から被災地域 j へルート r を使用する交通(ton)

また、地域ノード i, j は $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2\}$ という集合であり、 Ω_1 は被災地域ノード : $\Omega_1 = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ 、 Ω_2 は被災地域外ノード : $\Omega_2 = \{n+1, n+2, \dots, 1\}$ である。ここで、リンク a を使用する場合は $\phi_{ijr}^a = 1$ 、その他の場合は $\phi_{ijr}^a = 0$ となる。

交通車両は産業用交通車両と非産業用交通に分類され

ることから、式(2)で表される。

a) OD フローの設定

OD フローは以下のように大別される。

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

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 は考慮しない。

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。

b) 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。

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

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。

c) 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(4)は物流センサ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。

$$\sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m o^m} \quad (4)$$

ここで、 h ：交通フロー(台数)、 x ：金銭フロー(円)、 r ：ルート番号、 m ：産業部門、 g ：交通フロー(ton)

への変換係数、 o ：交通台数への変換係数、 i, j ：ノード番号である。

(2) 交通センサを用いた解析

地域内交通および地域間交通について自動車起終点調査の結果を用いて解析する。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⁹⁾。

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庁所在地への交通時間とする。交通時間の算出には電子地図帳Z6のルート検索機能を用いた⁹⁾。

(3) 交通センサと地域間産業連関表を用いた解析

自動車起終点調査と地域間産業連関表を用いて解析を行う¹⁰⁾。被災地域と地域外の交通量は地域間産業連関表の取引関係より導き出し、被災地域内の交通量の算出には自動車起終調査の結果を用いる。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。

(4) 地域別産業連関モデルを用いた解析

被災地域内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算出し解析に用いる^{11) 12)}。ここで、各経路の均衡配分から、目的関数は式(5)で与えられる

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

ここで、 $j \in \Omega_1$ ならば $d_{jj} > 0$ 、 $j \in \Omega_2$ ならば $d_{jj} = 0$ 、 h ：交通量(ton)、 x ：交通量(円)、 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^m ：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、式(5)の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式(6)から式(11)を得る。式(6)は産業連関モデルから導かれるマテリアルバランス式である。

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

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)である.

各ルートの交通量は非負数となるため, 次式を得る.

$$h_{ijr}^m \geq 0, \quad (7)$$

物流センサスデータから得られた金額と重量の変換係数 g を用いて被災前の交通量(ton)と交通量(円)の関係式(8)を得る.

$$\sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m}, \quad (8)$$

ここで, $i \in \Omega, j \in \Omega$ である.

式(9)は被災後の地域間交通の交通量(ton)と交通量(円)の関係式である.

$$\sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m}, \quad (9)$$

ここで, $i \in \Omega_1, j \in \Omega_1$ である.

式(10)は被災後の被災地域内交通の交通量(ton)と交通量(円)の関係式である.

$$\sum_j \sum_r h_{ijr}^m = \frac{x_{ij}^m}{g^m}, \quad (10)$$

ここで, $i \in \Omega_1, j \in \Omega_2$ である.

各地域の生産量の限界は次式で得る. これは各地域の総人口から導かれる生産制約式である.

$$\sum_j x_{ij}^m \leq \hat{x}_{i\max}^m, \quad (11)$$

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 について解くと次式を得る.

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

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

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

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

ここで, γ, μ, θ はラグランジェ定数である. マテリアルバランス式を用いて解くと次式を得る.

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

ここで,

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

また, 生産制約により次式を得る.

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

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.

4. ケーススタディの設定と解析

(1) 新潟県中越地震における交通ネットワークの被害

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、がけ崩れなどを原因とした交通ネットワークの分断が多く発生した。新潟県はもともと地滑りの発生しやすい地形が多く、同年は例年にない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。

(2) 被災地データ

本研究では被害の大きかった中越地方を中心に市町村単位で22個のノードを設定し、それぞれを結ぶ主要道路を中心に49本のリンクを設定した。また、主要道路7本を延長させ、被災地域と被災していない地域とのリンクを設定した。図-2と図-3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^{13) 14)}。

ケーススタディでは各ノードの投入係数行列は新潟県のものと同じとし、各産業の従業員数の割合に従って輸出の量を決定した。最終需要は各ノードの人口に比例させて決定した。

被災地域外への交通は、被災地域内から被災地域外への一方通行とした。なお、産業間の取引から導かれる地域間交通量は新潟県内の被災地域外への交通を意味し、最終需要から導き出される交通量は県外への交通を意味している。

産業連関モデルの産業部門数は12部門のものをを用い、求められた交通量は365分割することによって、1日あたりの値とした。また、地震の後も生産活動は停止せず、最終需要は減少しないものとした。

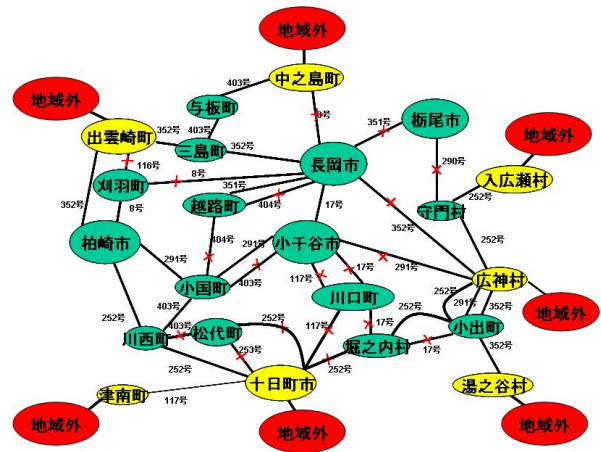


図-2 試算に使用したモデルの構造と10月23日の被害

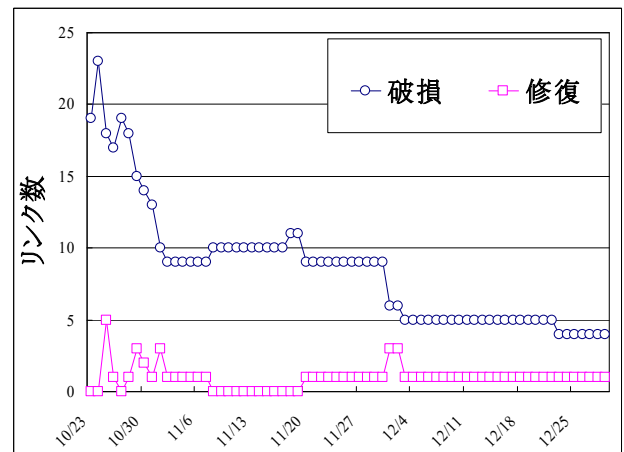


図-3 破損の発生と修復が行われたリンクの本数

5. 解析結果

(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。図-5から図-10は交通センサスを用いた解析、地域間産業連関表を用いた解析、各地域産業連関表を用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。図4のとおり、災害発生後の迂回を確認することができた。図5から図-10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

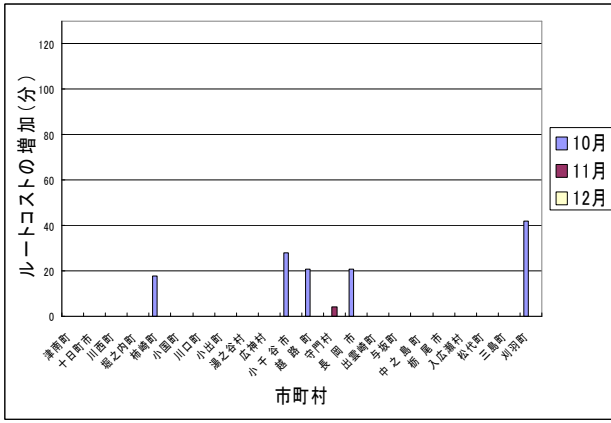


図-10 各地域産業連関表を用いた地域外へのルートコストの増加

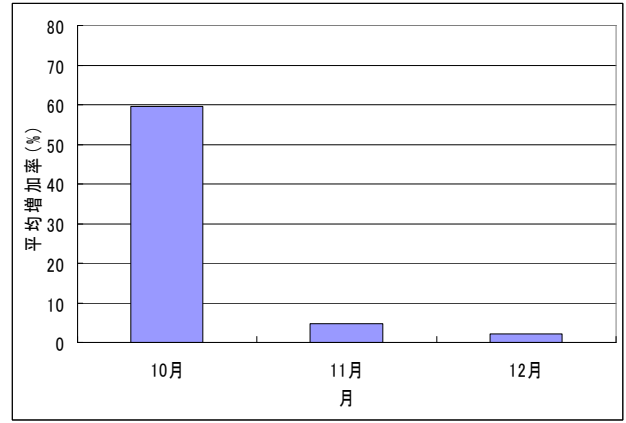


図-13 各地域産業連関表を用いたルートコストの平均増加割合

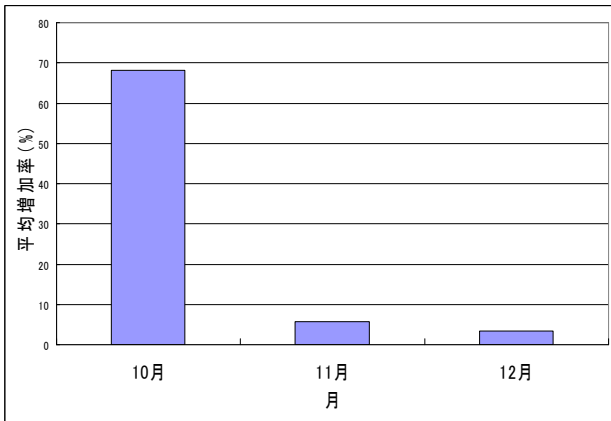


図-11 交通センサを用いたルートコストの平均増加割合

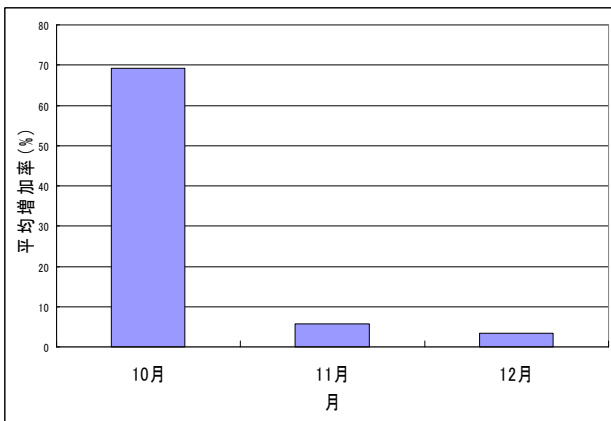


図-12 地域間産業連関を用いたルートコストの平均増加割合

(2) 経路コストの平均増加割合

ルートコストの平均増加割合を図-11から図-13にしめす。各ノードを目的とする交通のルートコストの増加時間は各解析法でそれほど大きな差は認められなかったが、ルートコストの平均増加率では地域間産業連関表を用いたものが交通センサ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を用いたものよりも値が大きくなったのではないかとと思われる。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。

(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。図-14と図-15には時間の経過に伴う災害前の各ノード間の移出移入総輸送台数の低下を示す。図-16には各地域ノードからの移出台数の低下台数、図-17には各ノードの移入台数の低下台数をしめす。こちらもリンクの復旧とともに震災前の値に近づいている。

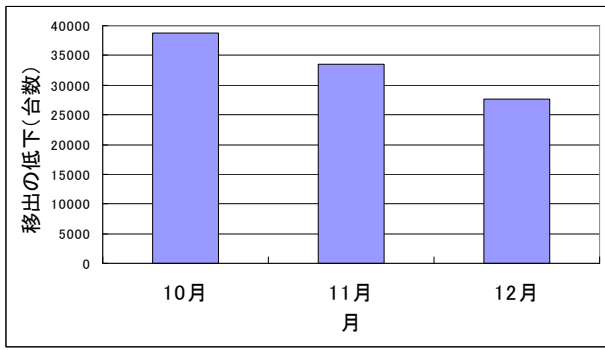


図-14 10月・11月・12月の移出量の低下

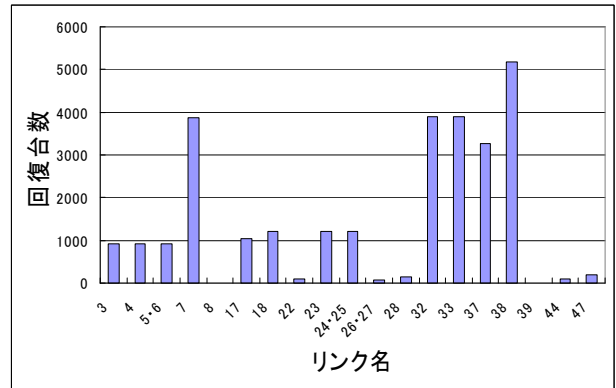


図-18 特定の1リンクだけ回復させた場合の輸送の回復台数

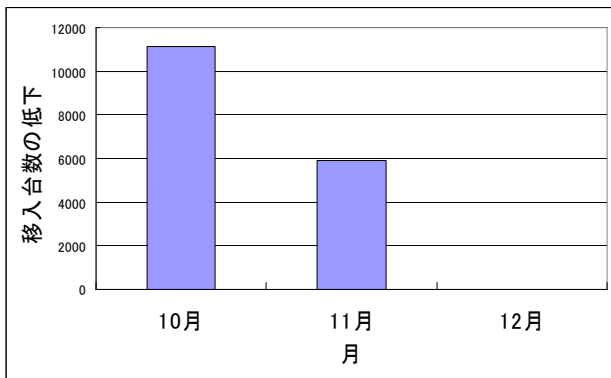


図-15 10月・11月・12月の移入量の低下

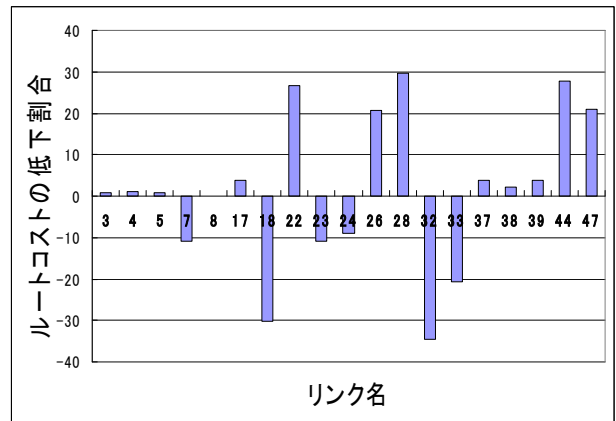


図-19 特定の1リンクだけ回復させた場合のルートコストの低下割合

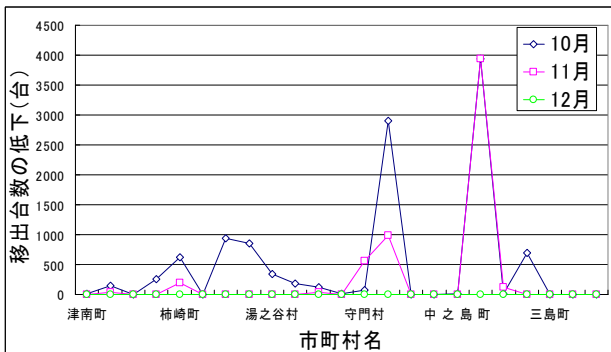


図-16 10月・11月・12月の各市町村の移出台数の低下

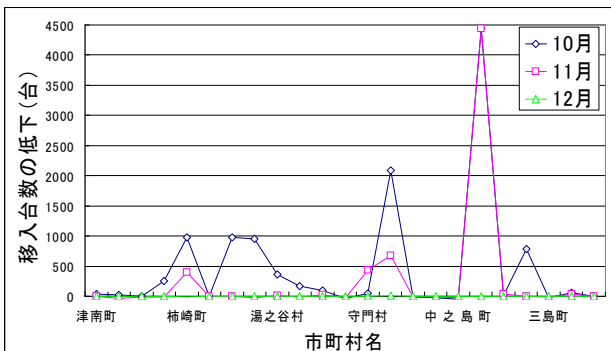


図-17 10月・11月・12月の各市町村の移入台数の低下

(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図-18と図-19に示す。

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、本研究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。

7. 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影響で発生する経済被害の見積もりを行う必要がある。多くの場合被災地域は比較的狭い。また、交通網の被害は被災地に集中して発生するため、被災地域を目的地や出発地とする交通フローは被災地域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、迂回路の使用、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できない。さらに、産業構造は災害によって一時的、または長期間にわたって変化する。

本研究では、交通センサスデータのほかに地域間産業関連モデル、各地域産業関連モデルと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した。また、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、各地域に産業関連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。一方で交通センサスを用いたモデルと地域間産業関連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、明らかになったことを以下に示す。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り、それらの導入が望まれる。

本稿では産業関連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つき、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。

謝辞: 本研究を進めるに当たり、皆川先生、吉田先生には数々の貴重なご意見をいただきました。また、梶谷先生にはお忙しい中、研究の基礎からご指導いただきました。新潟県土木部道路管理課様、国土交通省北陸地方整備局様には貴重な資料を提供していただきました。ここに厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1)内閣府、平成17年度防災白書、2003.6.
- 2)高森圭介、水谷仁：Newtonムック想定される日本の大震災、株式会社ニュートンプレス、2006.1.
- 3)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、2002.6.
- 4)Kim, T.J. : "A combined land use-transportation model when zonal travel demand is endogenously determined." *Transportation Research*, 17B 449-462. 1983.
- 5)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.
- 6) 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*, pp23-246. 2002.
- 7)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.
- 8)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.
- 9)株式会社ゼンリン：電子地図帳Z6.
- 10)平成7年地域産業関連表、財団法人 経済産業調査会
- 11)新潟県統計年鑑2004、新潟県総務管理部統計課、2004.
- 12)新潟県庁HP:にいがた統計BOX
<http://www.pref.niigata.jp/sougouseisaku/tokei/box/data/sangyou-renkan.ht>.
- 13)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.
- 14)新潟県土木部道路管理課提供資料:平成16年新潟県中越地震による通行規制状況、2005.11.

- 15)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.
- 16)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.
- 17)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.
- 18)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.
- 19)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.
- 20)武野秀樹:国民経済計算入門，有斐閣，2001.11.
- 21)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>.
- 22)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.
- 23)土屋哲，多々納裕一，岡田憲夫:新潟県中越地震による経済被害の計量化，京都大学防災研究所年報，第48号B，2006.4.
- 24)多々納裕一，梶谷義雄，土屋哲:新潟中越地震の社会的影響，京都大学防災研究所年報，第48号A，2006.4.

Retrofit and Recovery Strategy of Road Network Based on an Integrate Input-Output and Transportation Network Model

Yuji MIZUKAMI

When a large-scale disaster occurs, a road network system can be severely damaged. This damage causes economic loss due to the failure of trading goods inside and outside the physically damaged areas. Hence, the disaster influences not only the damaged companies, but also the non-damaged companies. It is important from the viewpoint of management to determine which route should be reinforced or quickly recovered by specifying the route to which damage can bring the greatest economic losses. Economic loss by a disaster has been analyzed using the input-output model. However, because the trading pattern could be changed due to the traffic network damage during a disaster, the structure of the input-output model must be arranged for the disaster mode.

The trading pattern after the disaster must be determined considering the increase in the transport time and cost by detours and congestions. In this way, an economic model that considers the road network model is necessary. Based on previous studies, this paper extends the models, which integrate the input-output model and road network models. As a case study, the Mid-Niigata Earthquake, which occurred on October 23, 2004, is then focused on, and the economic loss caused by the traffic damages is calculated.