

災害時の道路ネットワーク寸断の経済的影響 分析に関する一考察

土屋 哲¹・谷本 圭志²

¹正会員 鳥取大学大学院准教授 工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101)

E-mail: tsuchiya@sse.tottori-u.ac.jp

²正会員 鳥取大学大学院教授 工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101)

わが国は、大規模災害、特に大規模地震の脅威にさらされている。特に、人口・資産の集中した都市域において大規模災害が発生した場合、その被害は甚大なものとなる恐れがある。特に、幹線交通網の途絶・寸断は、交易・交流の遮断に起因して被害が全国に波及していく可能性があり、甚大な経済損失が生じうる。

本研究では、こうした広域交通の地震リスクマネジメント施策検討のための経済被害推計の点から、交通流と地域経済モデルを統合した被害推計の枠組みについて検討する。本概要ではまず、簡単な地域・ネットワーク構成の仮想モデルについて計算を行い、実証分析に向けた課題などを考察する。

Key Words : Disaster Loss Estimation, SCGE Model, Traffic Assignment

1. はじめに

我が国は、大規模災害、特に大規模地震の脅威にさらされている。特に、人口・資産の集中した都市域において大規模災害が発生した場合、その被害は甚大なものとなる可能性がある。あるいは、現代のわれわれの生活は、地域間の交流・交易という点で幹線交通網に大きく依存しており、自然災害時におこる交通の断絶による社会的損失も大きくなる。東海・東南海地震・南海トラフ地震などの巨大災害の発生が懸念されている現在、新幹線や高速道路といった基幹交通の分断・機能麻痺が起これば東西の交易・交流が遮断され、これに起因する被害は全国に波及していく可能性があり、甚大な経済損失が生じうる。

本研究では、広域交通の地震リスクマネジメント施策検討のための経済被害の推計について検討を行う。特に、経済被害評価手法として定着したと言ってもよい空間的応用一般均衡モデルを基礎に、交通の混雑を考慮するために交通配分に基づく旅行時間・財輸送時間の変動を組み込んで被害評価を行う枠組みについて、簡単な数値分析とともに考察していく。

2. 本研究の考え方

災害時の交通機能の損傷による経済被害の推計については、近年、空間的応用一般均衡モデル (SCGEモデル) や産業連関分析といった経済モデルを用いたアプローチや、交通ネットワークの配分計算を用いたアプローチにより精力的に研究がなされている。

播磨らは、交通ネットワークに対する効率的な災害対策の立案のため、全国規模の交通ネットワークを用いて、交通量の変化にともなう混雑の発生を考慮した上で災害の地域的波及効果を捉えることができるような方法論を提案している。

具体的には、全国規模での交通ネットワークを用いて、あるOD交通需要が与えられた場合の交通量の配分計算を利用者均衡 (UE) に基づいて行い、それによって決定される交通時間に基づいて経済モデル (SCGEモデル) から交通需要を決定するというプロセスを循環的に繰り返すことで、災害時の交通需要と交通量の変化を決定し、経済被害額を推計するというものである。

このアプローチでは、SCGEモデルから出力されるOD交通需要をゾーン内の1点を代表点として与え、そこですべての交通の発生・集中が生じるものとして両モデルの接合を図っていた。しかし、SCGEモデルと交通ネットワーク配分モデルとでは、実際に想定する単位ゾーン

の空間スケールがかなり異なり、上記のような考え方で交通の発生・集中を扱うことには問題もある。

本研究では、この点を改良し、交通モデルで扱われるゾーンすべてから交通が発生・集中するようなモデルへと拡張して、主要道路の寸断に伴う経済被害の評価を行う方法を提案する。

上述のように、本研究では、交通モデルより得られるゾーン間交通時間をSCGEモデルへ入力し、また、SCGEモデルで得られる地域間交易(額)を交通量に変換してこれを新たな交通モデルの入力値として繰り返し計算を行う。ただし、交通モデルで取り扱っているゾーンサイズはSCGEモデルのゾーンサイズよりもかなり細かく、交通モデルと経済モデルとで別々のゾーンを想定するならば、一方のモデルの出力を他方のモデルへ入力できる形に変換する必要がある。

3. 交通量配分と一般均衡モデルの統合

(1) 統合モデルの概略

まず、経済や交通の挙動を確認するために、シンプルな地域・ネットワークを例として作成し、数値計算をおこなう。具体的には、図1に示すような2地域から成る経済と、その中で地域間をつなぐ道路ネットワークである。この図において、想定した経済空間の外部とのやり取りは無く、2つの地域の間で交易が生じているものとする。2地域間は道路で結ばれており、道路ネットワークは12のノードと19のリンクから構成されている。地域1に2ゾーン、地域2に3ゾーンが含まれ、図1中のゾーン番号は、各ゾーンのセントロイドとなるノードを表している。

また、基準値としての交通量を、OD表形式で表1のように与えることとする。

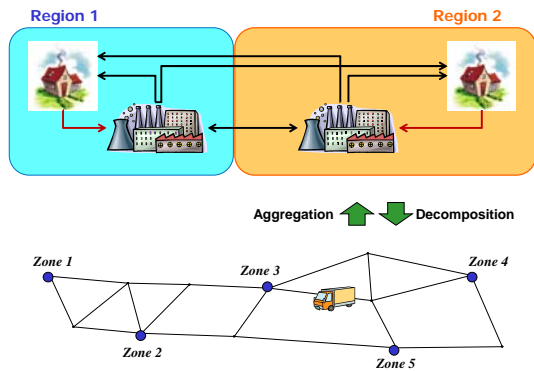


図-1 2地域・5ゾーンからなる地域経済の例

表-1 想定OD交通量(台/日)

発着	ゾーン1	ゾーン2	ゾーン3	ゾーン4	ゾーン5	
地域1	ゾーン1	0	7,680	4,320	2,880	2,400
	ゾーン2	7,680	0	2,880	1,920	1,440
地域2	ゾーン3	4,320	2,880	0	3,360	2,400
	ゾーン4	2,880	1,920	3,360	0	2,880
	ゾーン5	2,400	1,440	2,400	2,880	0

(2) SCGEモデル

SCGEモデルの定式化については文献⁹⁾にほぼ従うものであるため、本稿ではその詳細の記述を省略するが、計算の出力となる地域間での財の交易需要が交通需要と連動し、交通量配分モデルの入力に変換可能であるとの考え方に立つこと、同様に、交通量配分モデルの出力として得られるゾーン間旅行時間SCGEモデルの入力に変換可能であると考え、いずれの変換も、異なる空間単位の数量をどう集計・分割するかという点が重要となる。以下にこれを記す。

(3) 交通量の配分

本統合モデルに用いる交通量配分モデルとして、利用者均衡配分分析を用いる。道路網や鉄道網などに代表される交通ネットワークは点(ノード)の集合とそれらを結ぶ線(リンク)の集合で表現できる。交通の利用者均衡配分分析は、このネットワークの考え方をを用いた交通量推計手法の中でも、道路網計画や都市交通整備の評価などに幅広く用いられている手法である。本研究においてもこの手法は有用であると考えられる。

(4) OD旅行時間からSCGE地域間輸送費用率へ

交通モデルから出力されたOD旅行時間をSCGEモデルで用いる地域間の輸送費用率に変換する。まず、空間的な集計を

$$T^{RS} = \ln \left(\sum_r \sum_s \exp \left(\frac{v^{rs}}{V^{RS}} t^{rs} \right) \right) \quad (1)$$

のような形で求めることとする。ここに、

T^{RS} : 地域RS間の旅行時間(財輸送時間)

V^{RS} : 地域RS間の旅行時間

v^{rs} : ゾーンrs間の旅行時間

t^{rs} : ゾーンrs間の旅行時間

である。

本研究で用いるSCGEモデルでは、交易の輸送コストを輸送費用率という形で表し、災害による交通サービスの低下を、輸送交通時間の増加による輸送費用率の上昇として考えることとし、 T^{RS} の変化率がSCGEモデルへの入力となる。

(5) 地域間交易量とOD交通需要

SCGEモデルから出力される地域間交易需要（金額ベース）を交通モデルの入力とするためには、これを交通モデルのゾーン間交通量に変換する必要がある。本研究ではキャリブレーションによって交易量と交通量を関連づけるものとする。

次に、ゾーン間交通量の推定は四段階推計法に基づき、①各ゾーンの発生・集中交通量を推定、②BPR型修正重力モデルを用いることで各Bゾーン間交通量（分布交通量）を推定、する方法をとるものとする。本稿に示す例では、簡単のため交通は全て物流を想定しているが、家計需要を考慮することも可能であろうし、緊急交通を適切に組み込むことで、モデルの適用可能性が広がることが期待される。

本統合モデルでは、(2)～(5)を繰り返す方法で全体を計算する。交通量など全体の変数が変化しなくなった点を均衡状態とみなし、経済的影響の評価点とする。

(6) 2地域・5ゾーンの例

想定リンクの途絶前後でリンク交通量がどのように変化したかを図2に示す。図中の×印のついたリンクは、災害により途絶を想定するリンク（全1つ）である。すなわち、災害により地域1～2をまたぐ2つ道路のうち1つが寸断との想定である。なお、図2におけるリンク途絶の影響は交通量配分のみに着目したものである（利用者均衡配分を行っただけの結果）であり、経済にはまだ影響が及んでない状況のものである。リンクに付されている数値は、配分されたリンク交通量（*100）である。これより、災害による1リンク途絶の前後で、特に地域1～2をまたぐ区間の交通量がほぼ倍増し、混雑していることが判る。この区間の車両速度を見ると、平均時速が災害前の40km/h弱から災害後約6km/hと大きく変化し、混雑していることが判る。また、その他のリンクでは、ゾーン間の交通をできるだけ円滑に流すため、ゾーン4発着の交通が迂回している様子などが見てとれる。

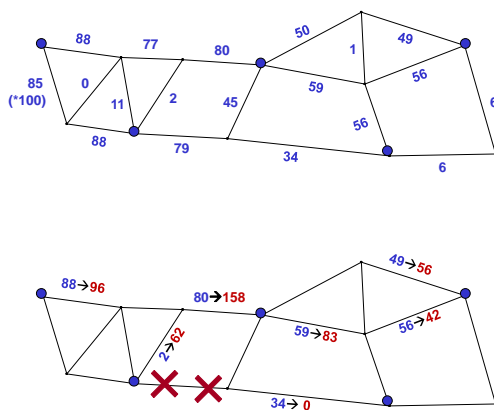


図-2 道路寸断前後のリンク交通量

表-2 本例題の繰り返し計算と経済被害の結果

アプローチ	地域1被害	地域2被害	被害合計
1	16.92	85.84	102.76
2	20.94	106.21	127.15
3	20.94	106.21	127.15

次に、既述の方法でおこなった計算結果として、道路寸断に伴う地域経済被害を表2に示す。表2中では、3つのアプローチの結果を示し、比較考察を可能としている。アプローチ1は、本稿で示すアプローチをそもそも用いず、混雑を考慮せずに交通量の配分が最短経路によりなされると仮定した場合の計算結果である。アプローチ2は、混雑を考慮して利用者均衡により交通配分を行うものの、イテレーション計算は行っていない場合の結果である。最後に、アプローチ3が本稿で示すアプローチをフルに用いた場合の結果である。モデルが簡易なものであることもあり、イテレーション回数は数回で十分であった。

なお、表2中の数値は、輸送費用率1.2～1.5%の上昇を入力として計算した結果であるが、基準データとして用いた（仮想）産業連関表の数量と比較すると、計算された被害額はいずれの地域においても粗付加価値額の約0.2%程度の大きさであった。

4. 実証分析

3.で示した分析プロセスに基づき、これをわが国を対象とした実証分析へと展開し、経済被害など空間的に波及する影響を計測する。シミュレーションを行うためのシナリオとして神戸市（兵庫県）と大阪市（大阪府）間の高速道路（該当リンク2本）が途絶するケースを想定する。分析に用いるデータとして、SCGEモデルでは都道府県間産業連関表を用いる。また、利用者均衡分析にもとづく交通量の配分には、実際の高速道路と国道（番号二桁まで）をもとに265ノード、488リンクからなる道路ネットワークデータを作成し（図3）、データセットとする。3.と同じように、経済単位となる空間（県）は複数のゾーンからなるようにし、95ゾーンの設定とした。

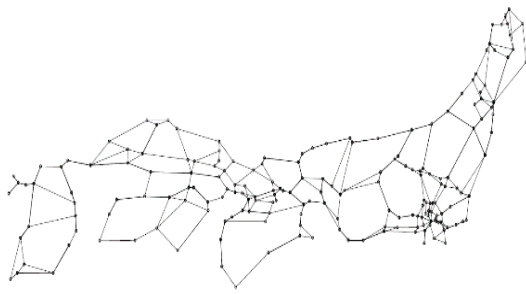


図-3 道路したネットワーク図

交通政策等による影響は、輸送費用の変化や財価格の変化を招き、財価格や交易パターンの変化を生じさせ、それらの影響は最終的に家計へと帰着する。したがって、交通環境の変化がもたらす経済的影響は家計の効用水準の変化として等価変分を用いて計算することができる。都道府県別に計算された等価変分を足し合わせた結果が図4右の棒グラフである。比較のために、シナリオを適用して利用者均衡配分分析を行い、得られた輸送マージンよりSCGEモデルによる計算を一度だけ行った場合、すなわち繰り返し計算を行わない場合 (3.(6) のアプローチ2に相当) の値も同時に示す。

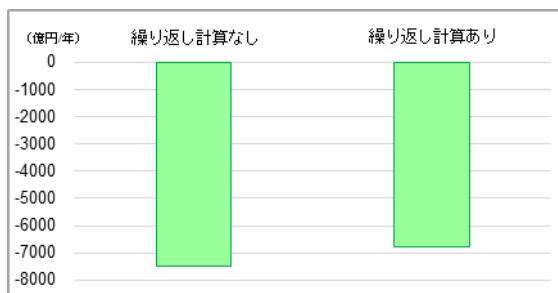


図-4 経済被害の比較

繰り返し計算を行わなかった場合 (通常のSCGE分析) での被害額は約7500億円/年、繰り返し計算を行った場合での被害額は約6800億円/年と、700億円の差となって表れたことは、交通と経済を統合した本モデルを用いた評価の意義を示唆するものである。

また、道路の途絶による影響が大きかった近畿地方以西の都道府県別の被害額を図5に示す。道路の途絶の影響が直接的に表れた兵庫県と大阪府は、大きな被害額として表れた。

最終的な経済効果である等価変分の値は、兵庫県が大きなマイナスとなった。大阪府に関しても、経済的つながりの強い兵庫県との間の道路が途絶したことで、兵庫県に次いで大きな被害額となった。

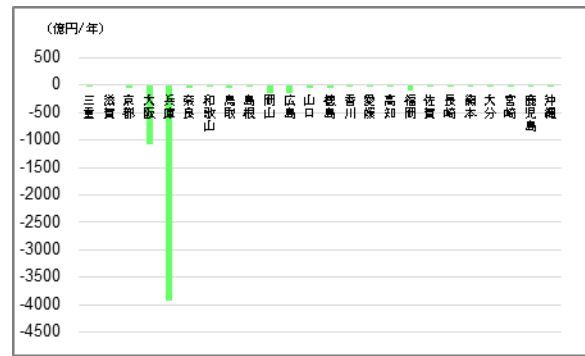


図-5 近畿以西の経済被害

また、製造業の生産額上昇が見られた神奈川県や愛知県、埼玉県は価格の上昇もあり、生産量には大きな影響がなく、需要量は減少していることから等価変分が負の値になっていると考えられる。

次に、道路の途絶による都市レベルへの影響を見るために、交通量の変化に着目する。本統合モデルによって得られたOD間交通量のうち、近畿地方の交通量の変化をみると、道路の途絶による影響を直接的に受ける兵庫県の各都市は、近畿地方の他の都市に行く際の所要時間が増加し、それに伴う生産額の減少や流動量の減少から、交通量の減少となって表れている可能性がうかがえた。同様に、近畿地方内各都市から兵庫県内の都市に向かう交通量も減少している。大阪府に関しては、兵庫県内の都市に向かう交通量のみが減少し、途絶している道路を介さずに行くことができる他の近畿地方への交通量は減少していないことがわかった。

5. おわりに

本研究では、交通整備評価に用いられる利用者均衡配分分析とSCGEモデルを取り上げ、それぞれの利点を活かしながら空間スケールに応じたアウトプットを可能とする交通・経済の統合モデルの構築を試みた。その上で、一定区間の道路が利用不可能になったケースについてシミュレーションを行い、繰り返し計算有無の比較から、統合モデル構築の意義について確認することができた。

実証分析に向けては、道路交通に関するキャリブレーションに追加的な検討が必要と思われる。

参考文献

- 1) 上田孝行編著：Excel で学ぶ地域・都市経済分析，コロナ社，2010。

(2016.?.?? 受付)