震災直後の交通施設復旧施策と経済影響分析

小池 淳司¹・宮本 佳直²・右近 崇³

¹正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

²学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: 154t141t@stu.kobe-u.ac.jp

³正会員 主任研究員 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社

(〒461-8516 名古屋市東区葵1-19-30 マザックアートプラザ)

E-mail: takashi.ukon@murc.jp

本稿では、交通施設の損壊という短期的な被害を入力条件としてシナリオ下における地域間所要時間の変化を算出する交通モデルと、地域間所要時間の変化に反応して経済被害額を算出する経済モデルの2種類のサブモデルを組み合わせることにより、短期的経済被害計測モデルを構築した。中京都市圏を対象に南海トラフ地震を想定した事例分析を行った結果、インフラ施設の損壊により産業別・地域別それぞれにおいて中間財や労働供給量の減少といった複合的な被災要因によって被害が生じることが示唆された。また、復旧シミュレーション分析および在庫を考慮した経済影響分析から、効率的な復興のためには復旧タイミング・地域特性・被災要因といった複数の要素を勘案した包括的な対策が講じられるべきである、という結論を得た。

Key Words : *economic damage assessment in the short-run, optimum recovery plan analysis*

1. はじめに

日本はこれまでその地形的な条件から度重なる地震災害に見舞われてきた。1995年には兵庫県南部地域を震源とした阪神・淡路大震災が発生し、同地域に深刻な被害を与えた。2011年3月11日に起きた東日本大震災では、地震動による被害のみならず津波や原子力発電所の被災などの複数の要因により、これまでにない広範囲において被害を受けることとなった。また、自動車産業などの大規模なサプライチェーン構造を持つ産業が広く被災したことで日本全体の経済に大きな影響を与えた。

この時、東日本大震災への政府の対応が阪神大震災のときと比べて遅れていることが大きく問題視された。当時の記事を引用すると、「(阪神淡路大震災)当時の村山政権は震災発生3日後に小里貞利氏を震災担当相に任命し、現地の陣頭指揮に当たさせた。復興基本法は発生36日後には成立し、その3日後には復興対策本部が初会合を開いた。一方、菅政権では震災から1カ月半もたちながら、復興対策本部も復興担当相も置かれていない」といった批判が見られ、震災発生から5年以上が経過した現在においても被災地域経済への影響は継続している。また、東日本大震災の際には、地震動や津波に

よる生産設備の損壊や販売先の被災といった中・長期的な被害だけでなく、一時的に道路や鉄道が被災したことによる人材不足や中間財調達の遅れといった短期的な要因によって企業の生産が滞ることとなり²⁾、被災地域のみならず日本全国にその影響が波及した。

わが国では今後30年以内に70%の確率で南海トラフを震源とした大規模な地震が発生すると言われており³⁾、震災直後に速やかに人命救助・救援に取り組むための準備を整えていくことは、非常に重要である。それと同時に、震災直後の対応は、その後の経済復興に対して時間的にも空間的にも影響を及ぼすことから、震災後に復興過程を見据えて、事前に広域的に広がる経済取引活動の長期低迷(停滞)を抑制する視点をもって、効率性および公平性の視点から被災した交通インフラの初動の復旧施策のあり方を検討する、あるいは、被災直後の限られた情報の中で、直後に発現しうる経済被害をシミュレートし、復旧活動に反映させることは重要であると考えており、本研究はこの点に意義を見込んでいる。

ただし、経済被害がこういった要因に起因するかは地域ごとの地理的条件や産業構造によって異なることは想像に難くない。そのため、画一的な政策の実施はうまく作用しない可能性があり、効率的な復旧・復興政策の検

討にあたっては被災地域において地域ごとの地理的条件や被災要因を把握した上で包括的な対策をとることが重要である。

これまで、災害を対象とした経済被害予測の研究は多数行われている。例えば、小池ら[2014]⁴⁾や土屋ら[2006]⁹⁾では、一般均衡体系に基づく分析モデルを用いて、付加価値関数にコブダグラス型関数を採用し、生産要素（労働、資本）の代替性を考慮したモデル構造となっている。加えて、災害時を想定するため、生産要素の地域間移動を制限するなど市場均衡条件に工夫を行ったとしても、一般均衡解の算出においては、需要と供給の一致を条件としたシミュレーションが行われており、得られた数値解は、中・長期的な時間スケールを考慮した結果として解釈される。また、瀬谷ら[2011]⁶⁾は、応用都市経済（CUE）モデルを用いて、東京 23 区の水害脆弱性評価を行っているが、人々や企業の立地行動変化を均衡条件として捉えており、非常に長期的な時間スケールを前提とした評価となる。さらに、中野・多々納[2008]⁷⁾は自然災害による経済ストックの減少と復興投資、フローの回復過程を整合的に扱うため、経済成長理論に基づく Ramsey モデルを採用し、産業間の相互依存性を考慮した自然災害による経済被害の評価方法を検討している。ただし、Ramsey モデルは国家単位の経済成長率について議論されるため、超長期的な均衡状態を仮定していることが知られている。これらの既往研究の分析モデルは、中長期や超長期的な視野での均衡状態を前提としており、災害直後に生じる経済の混乱状態を踏まえた短期的な被害を描写した結果として、許容できるか、否かという点が争点となる。

また、労働力と資本等を生産要素とする生産関数を用い、生産要素量の低下をインプットとして経済被害（生産被害）を推計する方法も数多く見られる。例えば、中央防災会議「首都直下型地震の経済的被害の推計 [2013]」⁸⁾では、震災による従業者の死亡、疎開、通勤支障に遭遇する率（交通機関毎に、災害後の時間経過に伴い通勤可能となる通勤者数のシナリオから算出）から労働力低下を推計し、また、建物被害と電気・水道等のストック稼働率から資本ストックの低下を推計することで、生産被害を算出している。その他の要素として、規模の大きい業種、特化係数の高い業種の従業者数等から、経済中枢機能指標を算出し、生産要素の変数として考慮している。そのほか、製造業に関して、東日本大震災前後の鉱工業生産指数の変化の過程より、被災地における資本ストックや人的被害以外の生産低下の要因と考えられる生産減少の推移をサプライチェーン寸断による影響指数として扱い、生産関数から推計される生産水準に外生的に乗じて推計が行われている。なお、交通寸断による影響は、基本的に都道府県間の人流と物流を対

象としているが、生産関数の投入要素の変化として生産水準に与える影響を推計するものではなく、迂回、取りやめによって生じる損失額として計上されている。

さらに、Kim et al.[2002]¹⁰⁾は、アメリカの州間高速道路を対象として、震災による交通ネットワークの途絶（変化）が、地域間取引の混乱を通じて経済に与える影響を推計している。この研究では、産業別の地域間商品取引額データ（重量換算）に基づき、地域間の交通ネットワークにおけるリンク容量と移動コストの関係を示すリンクパフォーマンス関数を考慮して、中間需要および最終需要として相互に取引される交易量を輸送コストが最少になるように収束解を求めて定常状態を再現している。災害による交通ネットワークの途絶の経済的な影響は、迂回輸送コストの増加として示される。

東日本大震災における交通関係の復旧状況の推移¹⁰⁾では、高速道路や直轄国道は短期間で機能回復が図られている。東北道・常磐道は 1 日後には緊急車両の通行が可能となり、13 日後には東北道は全線一般開放が実現、21 日後には常磐道の全線一般開放に至っている。また、岩手県・宮城県・福島県内の直轄国道（国道 4 号、45 号、6 号）は、1 日後には国道 4 号の機能確保（一部迂回路）、2 日後には復旧率 90%以上を実現した（原発規制区間を除く）。

本研究では、こうした道路の機能回復の迅速性も念頭に置きながら、中京都市圏を対象に、南海トラフ地震の発生に伴う浸水被害により交通インフラが被災する想定のもと、経済的被害の総額を捉えようとする視点ではなく、災害直後における道路の復旧策や強靱化施策に焦点を当てた検討を行うことを目的としている。本研究の短期的経済被害計測モデルは、被災直後の状況を想定するため、生産要素の代替性がないとするレオンチェフ型生産関数を前提としており、どれか 1 つの生産要素が必要な水準に達しなければ、当初予定する生産量を維持できない状況を再現することを意図している。その生産要素の中で、交通インフラを活用した移動・輸送に係るものとして、労働（通勤）、中間財搬入、生産物出荷に対象を絞る。震災直後における労働力不足、中間財搬入量の減少、生産物出荷量の減少に伴う生産変化（生産量の減少）を短期的影響として切り出した計測を行う。なお、本研究は、前述のとおり、被災による経済的被害の総額を掴むことを念頭においた検討ではないため、資本ストック損傷（被災）が経済的被害に与える部分は捨象していることに留意が必要である。

また、複数の復旧シミュレーション施策を仮定し、それぞれの施策による復旧効果を多角的な視点から定量的に分析する。さらに、在庫を考慮したシミュレーション分析を行い、経済被害および復旧効果に与える影響が時系列によって異なることを示し、最終的には、効率的な

復旧施策について提言を行うことが本研究の目的である。

2. 短期的経済被害計測モデル

(1) モデルの全体構造

本研究のモデルの全体構造は図-1 に示すとおりである。本モデルは短期被害シナリオ下における所要時間を計測する所要時間計測モデルと、所要時間の変化に反応して生産量を決定する経済被害計測モデルを組み合わせで構築した短期的経済被害計測モデルである。

所要時間計測モデルでは、道路や鉄道などインフラ施設の被災をシナリオとして被災下における地域間所要時間が計算される。一方、経済被害計測モデルでは、地域間所要時間の変化に応じてシナリオ下の労働供給量・中間財搬入量・生産物出荷量が算出される。

これら3つの変数をレオンチェフ型で特定した生産関数に組み込むことにより最終的に地域別・産業別のシナリオ下における生産量が決定されるモデルである。モデルの前提条件は以下に示すとおりである。

1. I個に分割された地域を想定する。
2. 対象地域にはN種類の産業が存在する。
3. 対象期間は発災直後の短期的な状況を想定する。
4. 経済主体は貨物の搬入・搬出および生産活動を行う企業と、通勤行動により企業に労働量を供給する家計の2主体を想定する。
5. 交通手段は自動車と鉄道の2手段であり、通勤行動には自動車、鉄道の両方が、貨物輸送に関しては自動車のみが使用されるものとする。
6. 交通行動において、短期的には企業、家計ともに目的地、交通手段は変化せず、発生交通量および経路選択行動のみが変化するものとする。
7. 企業の生産行動はレオンチェフ型生産関数により記述され、短期的には労働供給量、中間財搬入量および生産物出荷量の3つの要素量にしたがって、最終的な生産量を決定するものとする。
8. 労働供給量、中間財搬入量および生産物出荷量はそれぞれ地域間の所要時間の増加分に反応して減少するものとする。

(2) 所要時間計測モデル

所要時間計測モデルでは、地域間所要時間を算出するにあたり対象地域の道路および鉄道ネットワークをそれぞれ構築し、道路ネットワークに関しては交通量配分、鉄道ネットワークに関しては混雑を考慮しないという仮定から最短経路探索をそれぞれ行うことにより、手段別の地域間所要時間を算出する。最終的に道路および鉄道に通行不可シナリオを与えることで、シナリオ下のネットワークにおける地域間所要時間を算出する構造である。

図-1 モデルの全体構造

また、本研究の目的に照らすと、道路ネットワーク利用に関しては、利用可能経路の存在状況、迂回等の経路の状況によっては、物流が滞り、通常の生産活動が行えないことも考慮すべきであると考えられる。交通需要予測では、発生交通量、目的地、交通手段、経路を順に推定する4段階推定法を用いることが一般的であり、物流の取りやめなどの状況は、発生交通量の変化を考慮することで表現可能である。

しかしながら、本シミュレーションにおいては、簡略化のため、目的地、交通手段は変更されないという仮定に加えて、発生交通量をも変化しないとする前提にて、所要時間計測モデルを活用して経路選択行動分析（分割配分法）のみを実施しておりシミュレーションのアプローチには課題を残す。

(3) 経済被害計測モデル

企業の生産行動は、災害直後の短期的な状況下では、生産要素間の代替が不可能であるという状況を表現するため、式(1)に示すレオンチェフ型生産関数に従うものとする。以下、 i, j, k ：地域を表すラベル、 m, n ：産業を表すラベルとする。

$$y_j^n = \min \left(\frac{l_j^n}{a_{lj}^n}, \frac{k_j^n}{a_{kj}^n}, \frac{x_j^{mn}}{a_{jm}^{mn}} \right) \quad (1)$$

ただし、 y_j^n ：生産量、 l_j^n ：労働、 k_j^n ：資本、 x_j^{mn} ：中間財、 $a_{lj}^n, a_{kj}^n, a_{jm}^{mn}$ ：投入係数である。

本研究では、交通施設の被災による影響のみに焦点を当てていることから、資本に対する直接的な被害は考慮せず、労働供給量・中間財搬入量・生産財出荷量、つま

り式(1)における l_j^n, x_j^m, y_j^n のみその影響を受けることを想定している。被災時の各要素が減少した状況下における要素制約下生産量は式(2)-(4)のように定義される。

$$y_{l_j}^n = \frac{l_j^{n'}}{a_{l_j}^n} \quad (2)$$

$$y_{x_j}^n = \min \left\{ \frac{x_j^{1n'}}{a_{x_j}^{1n}}, \frac{x_j^{2n'}}{a_{x_j}^{2n}}, \dots, \frac{x_j^{mn'}}{a_{x_j}^{mn}} \right\} \quad (3)$$

$$y_{y_j}^n = r_{y_j}^n \cdot \bar{y}_j^n \quad (4)$$

ただし、 $y_{l_j}^n, y_{x_j}^n, y_{y_j}^n$: 要素制約下生産量、
: 平常時の生産量、 $l_j^{n'}$: 被災下の労働、 $x_j^{mn'}$: 被災下の中間財、 $r_{y_j}^n$: 生産財出荷量の減少割合である。

$y_{l_j}^n, y_{x_j}^n$ は式(1)における労働あるいは中間財それぞれの要素のみが減少した場合の生産量を表しており、 $y_{y_j}^n$ は生産財出荷量の減少割合に従って生産量を減らすものとしている。これらの要素制約下生産量のもと、被災下における生産量 $y_j^{n'}$ は最終的に式(5)のように決定される。

$$y_j^{n'} = \min(y_{l_j}^n, y_{x_j}^n, y_{y_j}^n) \quad (5)$$

つまり、式(5)は労働量の減少・中間財の減少・出荷量の減少の3つのうち最も影響の大きい要因がボトルネックとなり、その要因のもとでの生産量を最終的に選択するという行動を表現したものである。例えば、労働量や中間財が平常時のように確保できたとしても、輸送経路が被災することで、通常より輸送に余分に時間がかかる場合、企業は初めから出荷可能な水準で生産を停止することを意味している。

なお、生産関数を構成する各変数 l_j^n, k_j^n, x_j^m は、第3章で詳述する付加価値額ベースの総生産データに投入係数を掛け合わせたものとして定義している。つまり、労働量 l_j^n は付加価値ベースの生産額に対する労働投入量(額)を表現しており、資本および中間財についても同様に付加価値ベースの投入量(額)である。したがって、最終的に算出される生産量も付加価値額ベースの数値としての産出額である。

以下に、所要時間計測モデルより算出された所要時間から労働供給量・中間財搬入量・生産物出荷量が決定される構造について記述する。

a) 労働供給量の決定

本研究では、シナリオあり/なし(以下、with/without)間のゾーン間所要時間の差分(増加分)を労働時間の減少量と定義し、その減少割合分だけ労働量が減少するという仮定を置いている。平常時の1日当たり1人当たりの労働時間を8時間と想定し、withにおける労働量の減少割合を式(6)のように定義する。

$$r_{l_j} = \frac{\sum_i (8 - 2E_{ij}^{car})N_{ij}^{car} + (8 - 2E_{ij}^{rail})N_{ij}^{rail}}{\sum_i 8N_{ij}^{car} + 8N_{ij}^{rail}} \quad (6)$$

ただし、 r_{l_j} : 労働量の減少割合、 $N_{ij}^{car}, N_{ij}^{rail}$: 通勤トリップ数、 $E_{ij}^{car}, E_{ij}^{rail}$: ゾーン所要時間の差分である。

式(6)の右辺における分母は without におけるゾーン j に通勤する人々の総労働時間を、分子は with におけるゾーン j に通勤する人々の総労働時間をそれぞれ表現している。式(6)を用いて、with におけるゾーン j 産業 m の労働量は式(7)のように定義される。人流 OD 作成に用いた第5回中京 PT データでは業種を第1次～第3次産業には分類可能だが、本研究では簡単化のため産業によらず労働量の減少割合は等しいと仮定している。

$$l_j^{n'} = r_{l_j} \cdot \bar{l}_j^n \quad (7)$$

ただし、 $l_j^{n'}$: with における労働量、 $\bar{l}_j^n$: without における労働量である。

b) 中間財搬入量及び生産物出荷量の決定

労働量と同様に、中間財搬入量及び生産物出荷量についてもその減少量を考慮する。本研究では、物流量を発生方向で集計したものを生産物出荷量、集中方向で集計したものを中間財搬入量として定義している。なお、この物流量のデータによって、地域間・産業間のサプライチェーンの構造にもたらす影響を表現している。中間財搬入量及び生産物出荷量については、目的地までの所要時間がある比率以上に大きくなる場合において搬入あるいは出荷を取りやめるという条件を設けており、その条件下における中間財搬入量 $I_{ij}^{m'}$ 及び生産物出荷量 $F_{jk}^{n'}$ を用いて、with における中間財搬入量及び生産物出荷の減少割合を式(8)、式(9)のように定義する。

$$r_{x_j}^m = \frac{\sum_i I_{ij}^{m'}}{\sum_i \bar{I}_{ij}^m} \quad (8)$$

$$r_{y_j}^n = \frac{\sum_k F_{jk}^{n'}}{\sum_k \bar{F}_{jk}^n} \quad (9)$$

ただし、 $r_{x_j}^m$: with における中間財搬入量の減少割合、 $\bar{I}_{ij}^m$: without における中間財搬入量、 $I_{ij}^{m'}$: with における ij 間産業 m の中間財搬入量、 $r_{y_j}^n$: with における生産物出荷量の減少割合、 $\bar{F}_{jk}^n$: without における生産物出荷量、 $F_{jk}^{n'}$: with における生産物出荷量である。

式(8)、式(9)を用いて with における産業 m からゾーン j の産業 n への中間財搬入量は式(10)、ゾーン j における産業 n の生産財出荷量は式(再掲 4)のように定義される。

$$x_j^{mnx'} = r_{x_j}^m \cdot \bar{x}_j^{mn} \quad (10)$$

$$y_{y_j}^n = r_{y_j}^n \cdot \bar{y}_j^n \quad (\text{再掲4})$$

ただし、 x_{mn}^i : with における中間財搬入量、 $\bar{x}_j^{mn}$: without における中間財搬入量である。

3. データセットの整備方法

(1) 対象範囲およびデータセットの概要

対象範囲は図-2に示すとおり三重県北部、岐阜県南部及び愛知県全域からなる中京都市圏である。ゾーン分割は市区町村区分の111ゾーンであり、セントロイドは各ゾーンの市役所、区役所、町役場、村役場にそれぞれ設定している。分析対象地域として中京都市圏を選択した理由としては、近く南海トラフ地震の発生が予想されていることに加え、自動車産業や化学及び石油産業が多く立地していることから原材料の輸送が活発に行われており、被災実態を要因別に分析するのに適切であると考えたためである。以下において、表-1に示す交通データセットおよび経済データセットについてそれぞれ、本研究ゾーン単位である市区町村レベルでの整備を行う。

(2) 所要時間計測モデル

a) 道路ネットワーク

デジタル道路地図(DRM)¹¹⁾をもとに本研究ゾーン中心(セントロイド)からのアクセス・イグレスリンクと一体的な道路ネットワークを構築した(図-3)。各リンクの交通容量に関しては、島川・鹿島[2009]¹²⁾をもとに道路種別ごとに設定しており、リンク速度はH22道路交通センサスのデータより12時間平均速度を用いている。高速道路料金は初乗り150円、距離制単価を1km当たり24.6円に設定している¹³⁾。また本研究では計算の簡略化のため、細街路は考慮していない。

また、外部地域からの交通影響を考慮するために西日本と東日本地域から交通容量無限大、速度40km/hの仮想的な道路リンクを複数設定している。

表-1 整備したデータセット

項目	利用データ
道路 NW	H24 デジタル道路地図 (DRM) ¹¹⁾ H22 道路交通センサス ¹⁴⁾
公共交通 NW	H23 国土数値情報 ¹⁵⁾
人流 OD	H23 中京圏 PT 調査 ¹⁶⁾
物流 OD	H22 全国貨物純流動調査 ¹⁷⁾
地域別産業別 生産額	H23 経済活動別総生産 ^{18), 19), 20)} H24 年経済センサス活動調査 ²¹⁾ H25 工業統計調査 ²²⁾ H17 産業連関表 ^{23), 24), 25)}
投入係数	H17 産業連関表 ^{23), 24), 25)}

b) 鉄道ネットワーク

国土数値情報の鉄道データをもとに、鉄道ネットワークを構築し、本研究ゾーン中心からのアクセス・イグレスリンク、鉄道駅乗り換えリンクを一体的なネットワークとし、鉄道ネットワークを構築した(図-4)。道路ネットワークと異なり、混雑を考慮しないため各リンクの交通容量は無限大に設定しており、速度は鉄道会社問わず一律60km/hに設定している。鉄道駅間の乗り換えに関

図-2 中京都市圏市区町村ゾーン

図-3 中京都市圏道路ネットワーク

図-4 中京都市圏鉄道ネットワーク

しては、鉄道駅間の距離が 400m 以内(徒歩 5 分圏内)であれば乗り換えを考慮するものとし、時速 4.8km/h、交通容量無限大の鉄道駅間乗り換えリンクを作成した。運賃は 1km あたり 15 円の乗車運賃に加え、鉄道会社ごとの初乗り運賃を加算することで設定した。

また、道路と同様、外部地域として西日本と東日本地域から交通容量無限大、速度 60km/h の仮想的な鉄道リンクを複数設定している。

c) 人流及び物流 OD 表の整備

人流 OD 表に関しては、H23 中京圏 PT 調査をもとに OD トリップを目的別・手段別に集計し、本研究ゾーン単位におけるトリップデータとして整備した。集計区分としては、移動目的を通勤のみを対象とし、移動手段を自動車および鉄道として集計しているため、2 種類の人流 OD 表を整備することとなる。

物流 OD 表に関しては、H22 全国貨物純流動調査(物流センサス)の 3 日間調査をもとに、発地・着地間の輸送貨物重量を集計し、本研究ゾーン単位での重量ベースの OD データとして整備した。集計区分としては、輸送手段は自動車のみを対象とし、輸送品目は 15 分類として集計しているため、15 種類の物流 OD 表を作成することとなる。なお、第三次産業と建設業に関しては、対応する物流 OD が存在しないため中間財の減少量と生産物の出荷量の減少の影響は考慮できないことに注意する必要がある。

(3) 経済被害計測モデル

a) 投入係数の設定

地域別投入係数に関しては、各県の H17 産業連関表における統合小分類をもとに、産業 35 分類に業種統合を行うことで、県別の投入係数表を整備した。

本研究では分析の基本年度を H23 年度としているが、各県の産業連関表についてはデータ整備当時に H23 産業連関表が未公表であったため、H17 年度のデータを用

いている。なお、現在(平成 29 年 2 月時点)は各県ともに H23 年度のデータが公表されているため、より厳密には当該年度のデータを用いて地域別投入係数表を更新することが望ましいが、本研究では H17 年度と H23 年度の中京都市圏における産業構造が大きく変化しないものと想定し、投入係数の値に関しては H17 時点のデータを用いて分析を行う。

b) 地域別産業別生産額の作成

地域別産業別生産額データの作成方法を表-2 に示す。データの作成方法は産業別・地域別に異なるため、以下のように分類する。

- (i) 名古屋市以外の東海 3 県の市町村における製造業以外の GRP データは、各県の H23 経済活動別市町村内総生産の産業別生産額データをそのまま用いることで整備する。
- (ii) 名古屋市 16 区における製造業以外の GRP データは、愛知県の H23 経済活動別市町村内総生産の各産業の GRP データを H24 経済センサス活動調査における名古屋市内各区の各産業の従業者数で按分することで推計する。
- (iii) 東海 3 県市町村における製造業の生産額データは、秘匿推計を行った H25 工業統計「製造業出荷額等」に「H17 各県産業連関表」の付加価値比率を乗じて市区町村別業種別付加価値額を算出し、各県の H23 経済活動別総生産を上記指標で按分することにより算出する。

4. インフラ施設損壊による経済影響分析

(1) 計算条件

a) 交通施設被災シナリオの設定

本研究で想定しているシナリオは、津波による浸水域において水位が0.01m以上と想定されている区域に対応する道路及び鉄道路線を使用不可とする、というもので

表-2 地域別産業別生産額データの作成方法

産業分類		東海3県の市町村	名古屋市16区
第1次産業	農業	各県の平成23年度経済活動別総生産	平成23年度経済活動別総生産をH24年経済センサス活動調査の従業者数で按分して算出 (ii)
	林業		
	水産業		
	鉱業	(i)	【名古屋市における鉱業の総生産は計上なし】
第2次産業	製造業	各県の平成23年度経済活動別総生産のうち、製造業の総生産の数値を「平成25年工業統計」に「平成17年度各産業産業連関表」の付加価値比率を乗じて算出した市区町村別業種別付加価値額を用いて按分することにより算出 (iii)	
	建設業	各県の平成23年度経済活動別総生産	平成23年度経済活動別総生産をH24年経済センサス活動調査の従業者数で按分して算出 (ii)
第3次産業	電気・ガス・水道業		
	卸売・小売業		
	金融・保険業		
	不動産業		
	運輸・通信業		
	サービス業	(i)	

ある。津波による浸水域は図-5に示すとおりであり、中部地方整備局が作成した「南海トラフの巨大地震」²⁶⁾に記載されている区域を参照している。シナリオについてより詳細には、道路ネットワークでは浸水域に対応する路線について完全に通行不可としており、鉄道ネットワークでは浸水域の対応箇所を含む最寄りの乗換駅間について鉄道を使用不可とし、徒歩で移動するものとした。

b) 物流の取りやめに係る閾値の設定

本研究では、シナリオによりゾーン間所要時間が一定の比率以上になると物流を取りやめることを想定している。今回の分析では、この物流の取りやめに係る閾値の設定に関して、本シミュレーションでは、中京都市圏内々の物流に関しては1.5、外部地域から中京都市圏への物流に関しては1.2として設定しているが、本設定に明確な根拠はない。経済的被害の総額について精緻な推計を行う際には、取りやめに係る閾値の設定は非常に重要な条件の1つであると考えられるが、本シミュレーションは、被害総額の精緻さよりも、経済的被害の分布に違いが生じる点について示すことに視点を置いており、閾値の妥当性について検討を行っていないことに課題がある。

(2) 地域別経済被害額

シナリオ計算の結果、中京都市圏全体での総経済被害額は一日当たり約420億円と算出された。これは中京都市圏の一日当たりGRPの約40%にあたる数字であることから、この被害が継続すると同地域の経済に甚大な被害を及ぼすことがうかがえる。

この被害の分布を地域別に見たものが図-6である。これをみると、津波の影響で沿岸部を中心として被害が広がっていることがわかる。一方、愛知県東部や岐阜県といった内陸部に関してはほとんど被害が出ていないことがわかる。これは、木曽三川の対応路線が被災したことで、沿岸部沿いの交通に関しては大幅に所要時間が増加するのに対して、内陸部に関しては四日市市、名古屋市や豊田市といった主要都市への通勤あるいは物資輸送を

図-5 浸水域シナリオの設定

する場合でも、その移動方向が南北方向であることから所要時間には大きな影響を与えないためだと考えられる。

(3) 産業別経済被害額

図-7に示す産業別の日当たり経済被害額をみると、製造業の被害額が最も大きく一日当たり約115億円の経済被害が見込まれており、製造業だけで全経済被害額の1/4以上を占めていることになる。一方、第1次産業についてはほとんど被害を受けていない。これは、他産業に占める第1次産業の生産額の割合が小さいためであるが、産業別の経済被害割合をみると、沿岸部に多く立地する水産業が70%と甚大な被害を受けていることがわかった。

続いて、中京都市圏の産業被害実態を詳細に把握する

図-6 地域別一日当たり総経済被害額

図-7 産業別一日当たり総経済被害額

図-8 製造業における業種別一日当たり経済被害額

ために製造業を業種別(24分類)に分けて被害の内訳を観察する。前項の図-8に示す製造業における業種別一日当たり経済被害額をみると、輸送機械産業の被害が圧倒的に大きく一日当たり約31億円となった。これは、製造業全体の被害額の約27%にあたり、産業全体で見ても輸送機械産業だけで被害額の8%を占めるものである。この理由としては、中京都市圏にトヨタ自動車やスズキ、デンソーなど自動車関連企業が多く立地しており、大規模なサプライチェーン構造を有していることから本研究で表現している中間財における輸送被害に大きく影響を受けているためと考えられる。

被害の実態を詳細に分析するにあたり製造業に焦点を当てた理由としては、被害が最も大きい産業であること以外に、中京都市圏が製造業について巨大な産業構造を有しており、本研究の主目的である労働供給量・中間財搬入量・生産物出荷量それぞれの減少という要因別分析を行うのに適切であると判断したためである。また、卸売・小売業及びサービス業についても被害が非常に大きく算出されているが、本研究で物流データとして用いている全国貨物純流動調査では第三次産業に対応する物流データが存在しないため、同産業について中間財及び生産物の輸送に係る被害計測ができないことから製造業を分析対象とすることは適切だと考えられる。

(4) 輸送機械産業における地域別・要因別経済被害額

最後に、製造業の中で最も被害額の大きい輸送機械産業について着目し、労働供給量・中間財搬入量・生産物出荷量のうち最も被害に起因した要素はどれであることを地域別に分析する。図-9は輸送機械産業における地域別・被災要因別一日当たり経済被害額を表したものである。最も被害に起因した要素ごとに地域ごとに色分けを行っており、赤色が労働供給量の減少、青色が中間財搬

図-9 地域別・被災要因別一日当たり経済被害額 (輸送機械産業)

入量の減少、緑色が生産財出荷量の減少を表している。

被災要因でみると、地域によって被災要因が異なり、複合的な要因で被災していることが見て取れる。沿岸部周辺についてはほとんどの地域において、中間財が届かないことによる影響が最も地域経済に影響を与えた要因であることがわかる。これは、主要な自動車産業が沿岸部周辺に立地しており、木曽三川部やその他沿岸部地域の通行不可により中間財の輸送を阻害されたことが原因であると考えられる。渥美半島では沿岸部であるにもかかわらず、労働量の減少が被害の主要因として表れているが、これは先端部の田原市にトヨタ自動車の工場が立地していることから、物流のほとんどを豊田市と行っており、所要時間への影響を大きく受けないためである。一方、内陸部に関しては、物流の影響よりも労働供給量の減少が最も大きな被災要因である地域が多く、これに関しても4.(2)で述べたように内陸部同士の物流のやり取りはもとより、沿岸部の主要都市との物流に関してもその移動方向が南北方向であるため中間財輸送に関してはその影響が小さかったのだと考えられる。被害額でみると、中間財の減少が主要因である被害が全体の98.5%を占めており、被害が沿岸部周辺地域に集中していることがわかった。さらに、その中でもトヨタ自動車や本田技研のような主要な自動車関連企業の立地する地域において被害が大きく表れていることがわかる。

5. インフラ施設復旧シミュレーション分析

(1) 計算条件

a) 被災路線のグルーピング

復旧施策による被害軽減効果分析を行うにあたり、道路および鉄道の被災路線についてグルーピングを行う。道路に関しては図-10に示すように被災路線を20個のグループに分類する。一方、鉄道に関しては復旧効果が道

図-10 被災路線のグルーピング(道路)

表-3 整備したデータセット

道路種別	復旧費用(千円/km)
高速自動車道	30,000
都市高速道路	212,000
一般国道	8,000
主要地方道（都道府県道）	5,000
主要地方道（指定市道）	5,000
一般都道府県道等	3,000
指定市の一般市道	500

路に比べて小さいことから被災路線全体を一つのグループとして考えることとする。設定した被災路線グループに対して、1：復旧する、0：復旧しないを乱数により設定することで、ランダムな復旧施策パターンを作成する。本研究では、合計30パターンの復旧施策を作成した。

今回のシミュレーションでは、以下のc)で示すように推計結果の中で、効率性の高いあるいは公平性の高い復旧パターンが存在しうることを示すことを目的として、復旧施策パターンをランダムで設定している。復旧施策パターンの中身について、個別議論を行う場合には、復旧の組み合わせについてシステマティックに探索する方法が必要であると考えられる。

b) 路線別復旧費用の設定

次に、復旧施策ごとにかかる復旧費用を算出するため、路線別の単位距離当たり復旧費用を設定する。道路路線の復旧費用としては表-3に示すとおりであり、国土交通省が公表している単位距離当たり維持管理費²⁷⁾を用いており、鉄道路線に関しては私鉄およびJR各社において値に差があったため²⁸⁾、1kmあたり1,000万円として設定している。復旧費用に維持管理費を用いている理由としては、道路および鉄道においてそれぞれの路線種別の整備費用が入手できなかったためである。

本来、それぞれの路線毎で、劣化状況も異なり、利用されている材料なども異なるため、浸水被害による復旧費用を正しく積算するためには、交通インフラの被災予測を用いるなどして詳細に積み上げる必要があると考える。また、災害直後において、復旧を担う建設業が対応可能な状況にあるか、すなわち、建設業の供給制約も復旧費用の大小に影響すると考えられる。復旧費用の精緻化に際しては、上記の視点を踏まえた詳細な積算が必要であるが、本研究では、復旧費用について、1つの数値例として算出したものを活用しており、簡略化のため、復旧費用の詳細な積算は捨象し、維持管理費が高い路線は、復旧費用も想定的に高くなることを前提とした復旧費用を採用した。

c) 復旧施策評価指標の設定

・効率性指数の定義

本研究では、復旧施策の効率性を評価するための効率

性指数を式(11)のように定義する。効率性指数の意味合いとしては、復旧施策を実施したことによる総経済被害軽減額を復旧に要した総費用で除した単位費用当たりの被害軽減額である。したがって、効率性指数が大きい復旧施策ほど効率性が高いと判断できる。本研究では、効率性指数を活用して、復旧施策パターンの相対的な順序付けを行うことを意図したものであり、復旧費用と経済被害軽減額の費用対効果を検討することを目的としたものではない。以下において、 s ：復旧施策を表すラベルとする。

$$E_s = \frac{DR_s}{C_s} \quad (11)$$

ただし、 E_s ：効率性指数、 DR_s ：一日あたり総被害軽減額、 C_s ：復旧に要する総費用である。

・公平性指数の定義

次に、地域間および産業間の公平性について議論するために、厚生経済学の分野において所得分配の不平等さを測る指標であるジニ係数を用いて、公平性指数を式(12)のように定義する。公平性指数の意味合いとしては、地域あるいは産業間の被害軽減割合に対してジニ係数を計測したものであるため、その値が小さいほど公平性の高い復旧施策であると判断できる。以下、 K ：評価対象を表すラベル、 i, j ：評価対象の要素を表すラベルとする。

$$G_s^K = \frac{\sum_i \sum_j |r_{s,i}^K - r_{s,j}^K|}{2n^K R_s^K} \quad (12)$$

$$\left(R_s^K = \sum_i r_{s,i}^K \right)$$

ただし、 G_s^K ：公平性指数、 $r_{s,i}^K$ ：被害軽減率、 n^K ：評価対象の要素数である。

なお、公平性指数を計算するにあたっては、公平性の評価に対してバイアスを与える要素を除くため、以下の仮定を設けている。

1. 総被害額の軽減率が90%以上および10%以下の復旧施策に関しては公平性指数の計算を行わない。

(シミュレーション結果の中で、総被害額の軽減率が90%以上となるケースは殆ど全ての施設を復旧するようなシナリオの結果、また、被害軽減率10%以下は殆ど全ての施設を復旧しないようなシナリオの結果と考えられ、極端な復旧パターンの結果による偏りを排除するため。)

2. 一日当たり経済被害額が100万円以下の産業あるいは地域は公平性指数の計算を行わない。

(被害額が微少である場合に、公平性指数の算出にて振れ幅が大きくなることを排除するため。)

3. 地域間における公平性指数の計算の際には、本研究ゾーン単位である市区町村区分ではなく国土交通省が定めている中京都市圏22地域区分²⁹⁾を用いる。

図-11 復旧施策別効率性指数

(道路の復旧パターンの想定において、自地域に存在する区間だけを対応することは想定し難く、隣接する複数の市区町村に跨る道路として広域的に発揮される機能を復旧することにつながると考えられるため、最小の自治体単位ではなく広域的なエリアとして衡平性指数を算出することが妥当であると考えたため。)

(2) 効率性指数による評価

復旧施策パターン別に算出した効率性指数の計算結果を図-11に示す。効率性指数としてはパターン17が約34と最も大きく、次いでパターン30、29、23、15などの復旧施策において効率指数が20を超えており、費用当たりの経済被害軽減額で見たときに他の復旧施策パターンよりも効率がよいといえる。反対に、パターン1やパターン10などは効率性指数が著しく小さく効率性の低い復旧施策であることがうかがえる。棒グラフの上側のラベルは鉄道復旧を含む施策であるかどうかを表したものである。これを見ると、効率性指数の高い復旧施策は軒並み「鉄道復旧なし」であり、費用当たりの経済被害軽減効果で見た場合に、鉄道の復旧は効率的ではないと考えられる。これは、鉄道の空間的な影響範囲が道路に比べて狭いことに加えて、道路の復旧が通勤と物流どちらにも反応するのに対して、鉄道の復旧は通勤にしか作用しないことが要因と考えられる。

次に、効率性指数が大きい復旧施策について比較分析を行うことにより、復旧路線の地理的な関係性の観点から効率性に寄与する要因を特定する。効率性指数の大きい上位4パターンに関して、それぞれ復旧路線を示したものが次項の図-12である。比較分析の結果、短期的な状況下において以下の知見が得られた。

1. 木曽三川部の復旧は効率的である。
 2. 名古屋市中心部の復旧は非効率である。
 3. 知多半島、渥美半島先端部の復旧は非効率である。
1. においては、木曽三川部が上流の方まで浸水域に指定されていることから同箇所を横断するトリップに大きな影響を与えていたためである。2. は名古屋市中心部(グループ9)のみ復旧費用の高い都市高速道路が被災したことに加え、被災箇所が局所的であることから復旧効

図-12 効率性指数上位4パターンの復旧箇所

果が小さいことが復旧効率が悪くなった要因である。3. に関しても、被災箇所が交通量の少ない箇所であることから復旧効果が小さく、短期においては非効率という結果になったと考えられる。

(3) 衡平性指数による評価

続いて、図-13、図-14に示す地域間および産業間における衡平性について分析を行う。なお、衡平性指数の値が記されていない箇所については、前述したように総被害軽減率が90%以上あるいは10%以下の復旧施策であり、バイアスを控除するため、衡平性指数の計算から排除している。

まず、地域間における衡平性について着目すると、衡平性指数の低い復旧施策においては「鉄道復旧あり」、衡平性指数の高い施策においては「鉄道復旧なし」となっている。つまり、効率性指数の場合とは反対に、衡平性の観点から見れば、短期的には鉄道を復旧した方が望ましいという結果である。これは、鉄道の復旧が労働量不足が被害の主要因となっている地域の被害軽減に大きく寄与するためである。本研究では、道路は物流行動と通勤行動の両方に作用することを想定しており、道路の復旧は沿岸部周辺地域の物流が滞ることにより被害を受けている地域の被害を大きく軽減させる一方で、平常時の鉄道による通勤行動が多くみられる地域においては、労働量の不足を十分に解消できない。したがって、地域間の衡平性に着目した場合には、道路のみの復旧では不十分であり、鉄道も併せて復旧することが望ましい。

次に、産業間の衡平性について着目すると、鉄道復旧の有無と衡平性との間に関連性は見られない。そこで、産業間の衡平性が著しく悪いパターン6およびパターン15について分析を行った結果、石油・石炭産業について被害軽減率が著しく低く、同産業の被害が産業間の衡平

性を押し下げていることがわかった。中京都市圏における石油・石炭産業の生産額は四日市地域と知多地域においてその90%以上を占めており、また、図-15に示す衡平性の低いパターン6における復旧箇所をみると、木曾三川の沿岸部の復旧率が低いことに加え、名古屋市中心部も未復旧であることから四日市-知多間の交通が阻害されていることが見て取れる。知多地域は原料となる石油・天然ガスなどの鉱産品のほとんどを四日市地域からの移入に頼っているため、両地域間の物流が阻害されると石油・石炭産業に甚大な被害が生じることとなる。ただし、この結果は自動車のみによる貨物輸送を想定したものであり、船舶などによる輸送は考慮していないことに注意が必要である。以上の分析から、中京都市圏のように特定の産業が集積する地域が被災した場合には、当該地域の被害を軽減しないと産業間の衡平性が低下する可能性があることが示唆された。したがって、産業間の衡平性に着目した場合には、被災地域の産業構造を十分に考慮した復旧施策を立案する必要がある。

図-13 復旧施策別衡平性指数(地域)

図-14 復旧施策別衡平性指数(産業)

図-15 復旧箇所(パターン6)

6. 在庫率を考慮した経済影響分析

(1) 計算条件

a) 在庫率の反映方法

在庫率の計算への反映方法に関しては、遠香、小池[2012]³⁰⁾を参照する。工業統計調査では都道府県および政令指定都市について産業別に「原材料使用額」および「原材料及び燃料の年末在庫額」の統計が整備されている。そこで、式(13)に示すように、これら両者の比率により地域別・産業別の在庫率を算出する。

$$Z_i^n = \frac{\text{inventory}_i^n}{\text{material}_i^n} \quad (13)$$

ただし、 Z_i^n ：在庫率、 inventory_i^n ：原材料及び燃料の年末在庫額、 material_i^n ：1年間の原材料使用額である。

上記で定義した地域別・産業別在庫率は「1年間の原材料使用額」に対する「年末時点での在庫額」の比率であるため、被災から在庫がなくなるまでの期間の対年間比率ととらえることができる。そこで、在庫率が低いほど被災後の影響を受けるまでの期間が短く、在庫率が $z\%$ であれば0.5週間($\equiv 0.01$ 年) $\times z$ の期間分だけ、被災後にも生産を継続できるものとする。

本研究では、被災下取引先が中間財の搬入を取りやめる場合においても、在庫分は生産活動を続けるものと仮定する。したがって、労働供給量の減少、中間財搬入量の減少、生産財出荷量の減少の3種類の被災要因のうち在庫率を考慮することによって影響を受けるのは中間財搬入量の減少である。在庫率を考慮した場合の中間財制約下生産量 $y_{xi}^n(t)$ は式(14)、第 t 期における最終的な生産量 $y_i^{n'}(t)$ は式(15)のようにそれぞれ表される。

$$y_{xi}^n(t) = \begin{cases} y_{xi}^n & : Z_i^n(t) = 0 \\ GRP_i^n & : Z_i^n(t) = z \end{cases} \quad (14)$$

$$y_i^{n'}(t) = \min\{y_{li}^n, y_{xi}^n(t), y_{yi}^n\} \quad (15)$$

ただし、 y_{xi}^n ：在庫がない場合の中間財制約下生産量、 GRP_i^n ：平常時の生産量である。

b) 地域別・産業別在庫率の設定

各県のH25工業統計調査における「原材料使用額」および「原材料及び燃料の年末在庫額」を用いて、東海3県と名古屋市における在庫率を表-4のように整備する。色の濃淡は各地域ごとに、どの産業において在庫率が多いかを表している。名古屋市において秘匿箇所となっている石油・石炭製品および皮革製品の在庫率については、愛知県の同業種の値を代用することで設定している。

また、それぞれの在庫率ごとに計算を行うとその試行回数が非常に多くなってしまったため、本研究では在庫率の数値を切り上げて扱うことにより、計算回数を減らす工夫を行った。

(2) 在庫率が経済被害額に与える影響

a) 製造業における経済被害額の推移

製造業における在庫率に応じた一日当たり経済被害額の推移を示すと、図-16のようになる。まず、中京圏全体でみると、一日当たりの経済被害額は災害発生から1か月ごろまで急激に増加しており、それ以降はほとんど被害額が増加しないことがわかる。これは、被災後1か月までに多くの産業において在庫が尽きてしまうことで中間財が届かないことによる影響を受けてしまうためである。また、被災後1か月以降はほとんどの産業において在庫がない状態であるため製造業全体で原材料調達が困難となっていることがうかがえる。

地域別には、愛知県における被害が中京都市圏全体で見ても大きな影響を与えており、次いで三重県、名古屋市の影響が大きく表れている。岐阜県については直接的に被害を受けていない内陸部であることと、通常時においても製造業のGRPが他の地域に比べて小さいことから、在庫がなくなったとしても被害額の観点からみると深刻な被害には至らなかったのだと考えられる。被害の大きい愛知県について詳細に被害実態を観察すると、被害発生後0.5週間の時点において一日当たり経済被害額が大きく跳ね上がっている。これは、輸送機械産業において在庫がなくなってしまったことによるものであり、前述したように愛知県はトヨタ自動車などの大規模な自動車

表-4 地域別・産業別在庫率

製造業業種分類	名古屋市	愛知県	岐阜県	三重県
製造業計	4.60%	2.68%	5.73%	2.95%
食料品製造業	6.16%	4.87%	3.67%	6.03%
飲料・たばこ・飼料製造業	3.75%	3.74%	2.07%	1.45%
繊維工業	4.00%	4.27%	6.06%	12.02%
木材・木製品製造業(家具を除く)	5.61%	7.80%	9.10%	5.19%
家具・装備品製造業	0.00%	4.52%	10.62%	10.23%
パルプ・紙・紙加工品製造業	1.48%	3.97%	5.10%	4.13%
印刷・同関連業	0.90%	1.49%	1.62%	1.23%
化学工業	5.36%	16.60%	14.38%	4.60%
石油製品・石炭製品製造業	7.82%	7.82%	0.00%	0.29%
プラスチック製品製造業(別掲を除く)	3.28%	2.02%	4.59%	3.32%
ゴム製品製造業	3.89%	2.14%	1.68%	1.66%
なめし革・同製品・毛皮製造業	5.21%	5.21%	0.00%	0.00%
窯業・土石製品製造業	16.52%	9.01%	7.10%	5.15%
鉄鋼業	3.08%	6.66%	3.89%	7.26%
非鉄金属製造業	2.64%	3.00%	5.98%	3.31%
金属製品製造業	3.96%	2.97%	5.85%	3.80%
はん用機械器具製造業	5.75%	2.68%	8.61%	5.92%
生産用機械器具製造業	3.92%	6.56%	4.60%	9.44%
業務用機械器具製造業	5.46%	8.23%	1.41%	7.24%
電子部品・デバイス・電子回路製造業	34.69%	1.45%	4.86%	3.52%
電気機械器具製造業	1.95%	2.76%	5.14%	1.96%
情報通信機械器具製造業	12.48%	2.36%	2.50%	7.11%
輸送用機械器具製造業	5.35%	0.81%	6.23%	1.04%
その他の製造業	2.25%	1.95%	13.76%	2.77%

図-16 一日当たり経済被害額の推移(製造業)

関連企業が密集していることから、自動車部品が届かないことによる影響を強く受けたのだと考えられる。

被害発生後1.5週間の時点ではプラスチック、ゴム製品、金属製品、はん用機械、電気機械、情報通信機械の6産業において一度に在庫がなくなり、災害発生後3.5週間の時点では鉄鋼業および生産用機械産業において在庫が不足することで被害が大きく拡大していることがわかる。

次に、図-17に示す製造業における累積被害額に着目すると、一日当たり経済被害額が災害発生後拡大していくことにより、特に被災後1か月以内において製造業の総経済被害額は指数関数的に増加していくことがわかる。中京圏全体における被害額でみると、災害発生後1週間時点においては製造業における被害額は約200億円であるが、災害発生から2週間後においては約600億円、1か月が経過した時点では約1,800億円に被害額が拡大している。つまり、被災後1か月の間においては、被災期間が2倍になると総被害額は3倍に拡大するような推移の仕方を示し、短期的には被災期間が延びるほど、その伸び幅以上に総被害額が増加していくことがわかる。

以上の結果から、在庫率を考慮した場合、1か月以内の短期的な段階においては被害額が指数関数的に増加することから、被害の拡大を防ぐためにはより早期の復旧施策実施が望ましいことが示唆された。さらに、一日当たり経済被害額の推移から、被害の拡大の仕方は地域別・産業別に異なるため、地域ごと産業ごとの在庫状況を十分に把握した上で復旧の順序を考慮した対策を講じる必要があると考えられる。

b) 輸送機械産業における地域別・要因別被害額の推移

次に、輸送機械産業に着目して、在庫率を考慮することで地域別の被災要因がどのように推移していくかを分析する。図-18は輸送機械産業における地域別在庫率と一日当たり経済被害額の関係を示したものであり、図-19は地域別・被災要因別一日当たり経済被害額の推移を表したものである。図-19の各期間の被害分布図は図-18の横軸の期間に対応しており、合わせて見ることで、中京都市圏全体の集計レベルで見た場合の被害に対して、その地域別の分布および被災要因を時系列に沿って観察可能である。

図-17 総経済被害額の推移(製造業)

まず、被災後 0~0.5 週間における被災実態をみると、**図-18** では、この期間においてはどの地域においても在庫が残存している状態であるにもかかわらず、一日当たり約 5 億円、割合でみると最終的な一日当たり被害額の約 16%の被害が生じている。これは、**図-19** に示すように労働供給量の減少と生産財出荷量の減少によるものであり、在庫の影響が作用しない要因による被害である。被災後 0.5 週を過ぎると愛知県の在庫がなくなり、一日当たりの経済被害額は跳ね上がる。愛知県は、前述したようにトヨタ自動車など大規模な自動車関連企業が立地している地域であるため、一日当たり経済被害額の増加分も最終的な一日当たり被害額の 53%と半分以上を占めるものとなっている。被災後 1 週間が経過すると三重県の在庫が底をつき、中間財の減少による影響を受け始める。一日当たり被害額としては、約 8 億円の被害額増加が見込まれ、地域別にみると三重県全域において中間財の減少による影響を受けていることがわかる。その後は名古屋市および岐阜県において在庫切れの影響を受けることになるが、両地域においては在庫率が 6%および 7%と比較的大きく、在庫が尽きることによる影響が表れるのは被災してから 3 週間目以降である。また、その被害の増加額も小さく両地域合わせて約 1 億 4,000 万円ほどであり、愛知県(名古屋市除く)および三重県の 2

図-18 在庫率と経済被害額の関係(輸送機械産業)

図-19 地域別被災要因の推移(輸送機械産業)

地域での約 95%を占めていることになる。最終的に、すべての地域で在庫がなくなるのは被災後 3.5 週間以降であるが、第 4 章および第 5 章は在庫の尽きたこの期間を対象に分析を行ったものととらえることができる。

以上の分析から、輸送機械産業に着目すると、潜在的な被害額の大きい愛知県および三重県において在庫率が低いことから、被害が早期に拡大し地域的に見ても広い範囲で中間財不足による影響が発現することがわかった。したがって、輸送機械産業に関していえば、初めの 0.5 週間は愛知県、0.5~1 週間までは三重県を優先して復旧するような時間的な段階を考慮した復旧施策が効率性の面では望ましいと思われる。

(3) 在庫率を考慮した復旧施策効果分析

最後に、在庫率を考慮した状況で復旧施策を実施した際の効果について分析を行い、得られる知見について整理を行う。在庫を考慮した場合の復旧効果を見るにあたり、今回は第 5 章で行った復旧施策の効率性分析において、最も効率であると判断された復旧施策パターン 17 について分析を行う。**図-20** は在庫を考慮した状態において復旧施策パターン 17 を実施した場合の復旧効果を、被災後 0~0.5 週間と被災後 3.5 週間以降、つまり、すべての地域において在庫が存在する初めの期間とすべての地域において在庫がなくなった最後の期間の 2 期間について示したものである。

まず、被災後 3.5 週間以降に復旧施策を実施した場合について、**図-19** と **図-20** の対応期間について見比べると、三重県全域および愛知県の名古屋市以西について、中間財の減少による被害が大きく軽減されていることがわかる。一方、被災後 0~0.5 週間に復旧施策を実施した場合については、三重県や愛知県北部の出荷能力の低下が被害の主要因である地域について被害が軽減していることが見て取れるが、労働量の減少が被害の主要因であ

図-20 施策実施後の地域別被災要因の分布(輸送機械産業)

図-21 施策実施後の地域別被災要因の分布(輸送機械産業)

る地域に関しては、ほとんど被害が軽減されていない。ここで、図-21 に示す施策実施前後の一日当たり経済被害額の変化をみると、被災後 3.5 週間以降に関しては約 75%の被害が軽減されていることがわかるが、被災後 0-0.5 週間においては約 50%の被害軽減効果しか見られない。後者においては、そもそもの被害額が少ないことも要因の一つとして考えられるが、それ以上に大きな原因は今回の分析で選択した復旧施策パターン 17 の復旧効果の特性にあると考えられる。復旧施策パターン 17 は、図-19 における被災後 3.5 週間以降のすべての地域・産業について在庫が存在しない場合を対象に効率性を追求した施策であるため、前述したように「三重県全域および愛知県の名古屋市以西について、中間財の減少による被害が大きく軽減する」(より厳密には物流に対する被害を軽減する)という特性を持つ施策としてとらえることができる。したがって、被害地域の大部分が労働量不足である被災後 0-0.5 週間の時点における同施策の適用は、効率の悪い結果をもたらしたのだと考えられる。

ここまでの分析結果から示唆されることは、復旧期間によって最適な復旧施策が変わってくる可能性がある、ということである。在庫を考慮することで被害を受ける地域や被災要因が時系列により異なってくることを考慮すると、効率的な復興のためには復旧タイミング・地域特性・被災要因といった複数の要素を勘案した包括的な対策が講じられるべきだと考えられる。

7. おわりに

本研究では、短期的経済被害計測モデルを構築し、中京都市圏を対象に交通施設が損壊した場合の被害について分析を行った。また、明らかにした被害実態に対し復旧シミュレーション分析を行うことにより、効率性および公平性の 2 つの観点から最適な復旧施策の模索を行った。ただし、ここまでの分析は在庫の存在を考慮しておらず、災害発生後すぐに生産活動に影響を及ぼすことを想定した分析である。この意味では、これら 2 種類の分析はそれぞれ、在庫が尽きた最終的な状態という一時点における空間的な被害額および復旧施策に関する分析ととらえられる。一方、第 6 章の在庫を考慮した分析では、被害が生じる地域やその被災要因が時系列により異なることが示唆されたことから、時間的な影響を加味した分析といえる。したがって、本研究では空間的にだけでなく時間的にも最適な復旧施策を議論可能である枠組みを提示した。また、中京都市圏を対象に分析を行った結果として、効率的な復興のためには復旧タイミング・地域特性・被災要因といった複数の要素を勘案した包括的な対策が講じられるべきである、という結論を得た。

今後の研究発展方向性として、まず、推計した被害額の精緻化および当初の研究目的を達成するためには、被災時における所要時間の算出時において発生量の変化を考慮して推計した所要時間に基づき、経済被害推計を実施する必要がある。また、中部圏を対象とした南海トラフ巨大地震の浸水被害に対して、道路の復旧施策パターンのあり方について詳細に議論を深めるためには、復旧パターンの設定に際して、事例としてのランダム設定ではなく、システムティックな方法を採用することが望ましい。さらに、効率性指標および公平性指標の精緻化に向けて、各種インフラの被害想定に応じた復旧費用の算定および被災後の短期における復旧を担う建設業の供給制約を考慮する方法について検討することが求められる。こうして精査した分析モデルを、関東地方や近畿地方といった他地域に対して適用し、実証の蓄積を進め分析モデルの挙動についての確認が重要である。

参考文献

- 1) 時事ドットコムニュース, 【図解・社会】東日本大震災・政府の大震災への対応 (2011 年 4 月 26 日), http://www.jiji.com/jc/graphics?p=ve_soc_jishin-higashinohon20110426j-01-w530, 2016/7/27 アクセス
- 2) 浜口伸明:「東日本大震災による企業の被災に関する調査」の結果と考察, RIETI Policy Discussion Paper, Series 13-P-001, 2012.
- 3) 地震調査研究推進本部, http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/kaiko/k_nankai.htm, 2016/1/19 アクセス
- 4) 小池淳司, 佐々木剛, 佐々木康朗, 山崎清: 市区町村単位の SCGE モデルを用いた東日本大震災の経済被害の空間的把握, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 5, pp. 151-159, 2014.
- 5) 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の枠組み, 土木計画学研究・論文集, No. 23, No. 2, pp. 365-372, 2006.
- 6) 瀬谷創, 山形与志樹, 中道久美子, 堤盛人: CUE 型住宅立地モデルを用いた広域都市圏における水害脆弱性評価, 第 44 回土木計画学研究発表会, 土木計画学研究・講演集, Vol. 44, CD-ROM, 2011.
- 7) 中野一慶, 多々納裕一: 産業間の相互依存性を考慮した自然災害による経済被害の整合的評価方法, 土木計画学研究・論文集, No. 25, No. 1, pp. 255-266, 2008.
- 8) 中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキング: 首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要～経済的被害～, 2013.
- 9) 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*, Vol. 81, pp. 223-246, 2002.
- 10) 国土交通省: 東日本大震災における交通関係の復旧状況の推移, https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/teigen/t01_data01.pdf, 2017/7/13 アクセス
- 11) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会: デジタル道路地図, 2012.
- 12) 島川陽一, 鹿島茂: 交通量配分のための入力データ

- の作成法, Theory and Applications of GIS, Vol. 17, No. 2, pp. 69-75, 2009.
- 13) NEXCO 中日本：料金の計算方法を教えてください. , <https://highwaypost.c-nexco.co.jp/faq/toll/findout/23.html> , 2016/2/3 アクセス
 - 14) 国土交通省：道路交通センサス, 2010.
 - 15) 国土数値情報：鉄道, 2014.
 - 16) 中京都市圏総合都市交通計画協議会：第 5 回中京都市圏パーソントリップ調査, 2011.
 - 17) 国土交通省：全国貨物純流動調査, 2010.
 - 18) 愛知県：市町村民所得, 2011.
 - 19) 岐阜県：経済活動別市町村内総生産, 2011.
 - 20) 三重県：経済活動別市町村内総生産, 2011.
 - 21) 総務省統計局：経済センサス活動調査, 2012.
 - 22) 経済産業省：工業統計調査, 2013.
 - 23) 愛知県：産業連関表, 2005.
 - 24) 岐阜県：産業連関表, 2005.
 - 25) 三重県：産業連関表, 2005.
 - 26) 中部地方整備局：南海トラフの巨大地震, http://www.cbr.mlit.go.jp/kisojyo/jishintsunamitaisaku/pdf/1_130214.pdf, 2016/2/3 アクセス
 - 27) 国土交通省：費用便益分析マニュアル(案), <http://www.mlit.go.jp/road/zaigen/hyoka/manuan.html>, 2016/1/10 アクセス
 - 28) 国土交通省：Jr 旅客会社, 大手民鉄及び地下鉄事業者の基準単価・基準コスト等の公表について, <http://www.mlit.go.jp/common/001098962.pdf>, 2016/1/10 アクセス
 - 29) 中京都市圏総合都市交通計画協議会：パーソントリップ調査データの概要, <http://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/chukyo-pt/offer/index.html>, 2016/1/10 アクセス
 - 30) 遠香尚史, 小池淳司：高速道路破断に伴う経済的影響の空間的把握地域間産業連関を用いた短期的影響分析, 高速道路と自動車, 第 55 巻, 第 3 号, 2012.

(2017. 2. 24 受付)

SHORT-RUN ECONOMIC ASSESSMENT OF THE TRANSPORTATION RECOVERY POLICY AFTER AN EARTHQUAKE

Atsushi KOIKE, Yoshinao MIYAMOTO and Takashi UKON

This paper develops a short-run economic damage assessment model. The model contains two sub models. One is the conventional traffic assignment model, which calculates traveling time under the damaged transportation infrastructure. The other is the economic damage assessment model, which determines the decrease in production level in the short run. This model can analyze the factors that affect economic damage the most in each industry in each zone. As a case study, we applied this model to the Chukyo metropolitan area to evaluate the short-run economic damage of the Nankai Trough Earthquake. In addition, we also analyzed the effects of recovery plans for transport facilities and the influences on the time shift of the economic damage by considering inventories of intermediate goods. As a result, it is assumed that the comprehensive policy, considering the recovery timing, the damage factor and the regional characteristics, should be planned.