

## 巨大地震災害時の交通施設の機能低下に起因する 社会経済損失の計量化に関する研究

土屋 哲\*・多々納裕一・岡田憲夫

\* 京都大学大学院工学研究科

### 要 旨

今世紀中に発生が懸念される東海・東南海地震などの地震災害では、想定される被害の大きさや直接的な被災地域外への被害の波及といった点から、多主体の広域的な協調的施策が求められる。本研究では、空間的応用一般均衡モデルを用いて地域間の産業連関や業務トリップという形での旅客流動を考慮した地域経済のモデル化を行い、地震災害関連シナリオに伴う交通施設の機能低下に起因する被害の空間的帰着構造を分析する。

キーワード：間接被害，空間的応用一般均衡モデル，短期均衡，シナリオ分析

### 1. はじめに

我が国では、多くの人口・資産が都市域に集中している。そして、これらの都市の多くが、地震、台風などの大規模自然災害の脅威にさらされている。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りうる。

また、現代の我々の生活は、地域間の交流・交易という点で広域幹線交通網に大きく依存している。これはまた、洪水や地震などの自然災害時におこる交通の断絶によって発生する社会的損失も大きくなる可能性があることを意味している。実際に、1995年の阪神・淡路大震災の時には、神戸を中心に道路、鉄道、港湾といった交通機能が損傷し、物資の輸送や人々の移動に大きな影響が及んだ（運輸経済研究センター、1995）。また、2000年の東海豪雨の時にも、愛知県を中心として交通の途絶が起こり、東海道新幹線が約1日間運転を見合わせたことによる損失額はおよそ17億円、高速道路や一般道路が通行止めになることにより発生した自動車交通の迂回や渋滞による損失額はおよそ480億円と推計されている

（河川情報センター、2000）。

一般に、地震災害による被害は、地震によってもたらされる直接的な人的・物的損害である直接被害と、直接被害を起因として発生する社会的・経済的影響を間接被害として区別される。特に大都市等の人口・資産の集積した地域における大規模な災害は、直接的な損害を被った地域に加えて、被災をまぬがれた地域においても社会・経済的な損失を発生させ、間接被害が直接被害に比べて無視できないほど大きい。たとえば豊田ら(1997)は、阪神・淡路大震災による産業部門の経済的被害額について、主な被災地を対象にアンケート調査や事業所統計などのデータを用いて推計を行い、被災後1年間に生じた間接被害額合計が直接被害額を上回るほど大きかったのではないかと研究結果を発表している。また、Gordon et al. (1998)は、ノースリッジ地震による交通施設の被災がもたらした雇用への影響を直接被災地域とその周辺地域に分けて集計しているが、彼らの統計では、ロサンゼルス地域全体でみた間接的影響は被災地域の直接的影響のおよそ半分であるとしている。このことは、直接被害の軽減に加えて

間接被害を小さくするための方策が必要であることを意味している。

現在、我が国では東海地震や東南海・南海地震の発生が懸念されている。これらの地震によって発生する被害は、当該地域の直接的被害ばかりでなく、東海道新幹線や東名高速道路といった基幹交通の分断・機能麻痺に起因して東西の交流・交易が遮断されることにより間接的被害という形で全国に波及することが懸念されている。その場合、被害額は甚大なものになるとの予想もある。

このような問題意識を背景に、本研究では、東海地震・東南海地震を対象とし、地震の発生による経済的影響として、高速道路や高速鉄道といった広域社会基盤に生じた機能損傷が社会に及ぼす影響を分析するための方法とそのプロセスを提示することを目的とする。具体的には、交通機能の低下を、迂回や混雑に伴う地域間交通費用の変化として表現し、その変化が財の価格水準や企業の生産、あるいは家計の厚生水準に及ぼす影響を計測することを試みる。

## 2. 既往研究と本研究の枠組み

地震災害時の交通機能の損傷による経済被害に関する分析については、例えば以下のような研究をあげることができる。前述の Gordon et al. (1998) は、1994年のノースリッジ地震で交通施設の被災が業務へ及ぼした影響を、空間配置モデル (Spatial Allocation Model) を用いて分析し、この種の被害が65億ドル以上であると推計して、その額が構造物の被害総額 (250億ドル以上) に比べてずっと小さいものの、無視できない大きさであることを示した。高橋ら(1997) は、計量経済モデルと産業連関表を組み合わせ、阪神・淡路大震災の間接的な影響を捉えるために生産設備および輸送施設の被害を考慮した経済被害推定モデルを構築し、被害推計を行っている。また、Ueda et al.(2001) は、空間的応用一般均衡 (Spatial Computable General Equilibrium : SCGE) モデルを用いて、高速鉄道網が1年間被災した場合の経済被害を計算し、インパクトの大きさや被害の地域間波及について知見を得ている。本研究でもSCGEの枠組みでモデルを構築する。

このように、災害時の交通機能の損傷に着目した被害推計・被害予測に関する研究は数多くなされている。しかしながら、これらの分析では外的ショック後に達すると想定される均衡 (事後均衡) 状態として、すべての内生要因に制約のない長期均衡が想定されている。そのために通常、地域間の資本移動を考慮したSCGEモデルでは、災害の発生によって生

産資本の調整が生じ、生産資本の崩壊や交通条件の変化によって資本の限界生産性が低い地域から高い地域へと資本が移動することが想定されている。このため、被災をまぬがれた多くの地域で災害による正の便益が発生するという、あまり現実的ではない結果が得られる場合がある (例えば小池ら(2003))。しかしながら、現実には資本への投資には不可逆性がある。いったん資本投下を実施すると、そのコストの大半は sunk (埋没) してしまい、回収が困難になるという性質がある。このため、ひとたび形成された資本は、減耗によって連続的に減少するか、もしくは災害等による不連続な減少といった外生的な変化によってしか減少しないと考えることが適切であろう。

特に、本研究で対象とする交通施設の機能低下という条件下での経済では、その継続期間の長さゆえ、財・サービス市場における均衡は達成されるかも知れないが、労働や資本の調整が、対応する期間内に終了することは考えにくい。そこで、本研究では、平常時には労働市場、資本市場および財・サービス市場が均衡に達していると想定するが、警戒宣言発令下に生じる交通条件の変化に伴って、労働・資本市場での調整はなされず、財・サービス市場のみが均衡する状況を想定する。また、既往の研究では、交通条件の変化を地域間の交通費用の変化に置き換え、財・サービスの交易量の変化 (物資流動の変化) を内生的に求めるか、トリップを生産要素に加え、旅客流動の内生化を試みている (例えばUeda et al. (2001)) かのいずれかであった。本研究では、これらの既往の研究成果にもとづき、物資流動及び旅客流動の変化を同時に考慮したSCGEモデルを作成することとする。

## 3. SCGEモデルの定式化

### 3.1 主な前提条件

以下では、モデルの定式化を行う。主な前提条件は次のようである。

- (a)  $N$  地域から成る一国の閉じた経済空間を想定する。地域間は鉄道と道路の交通網で結ばれている。簡単のため、鉄道は旅客輸送のみを、道路は貨物輸送のみを取り扱うものと仮定する (Fig. 1)。
- (b) 各地域の経済主体に、家計と  $M$  種の産業を想定する。
- (c) 産業ごとに1つの企業が立地し操業している。企業  $i$  は、 $M$  種の中間投入財と労働、資本、フェイス・トゥ・フェイスコミュニケーションのための業務トリップを投入要素として用いてただ1種類

の財  $i$  を生産する。その行動は、利潤最大化行動に従う。

- (d) 家計は企業に資本と労働力を提供して賃金を得、財の消費を行い効用を得る。その行動は、効用最大化行動に従う。家計は立地に関して地域間の移動は行わず、消費活動もすべて居住地域内で行う。
- (e) 各市場は完全競争的であり、平常時には社会が長期均衡状態にあるものとする。交通施設の機能低下状況下では、後述の枠組みにて短期均衡に達すると想定する。

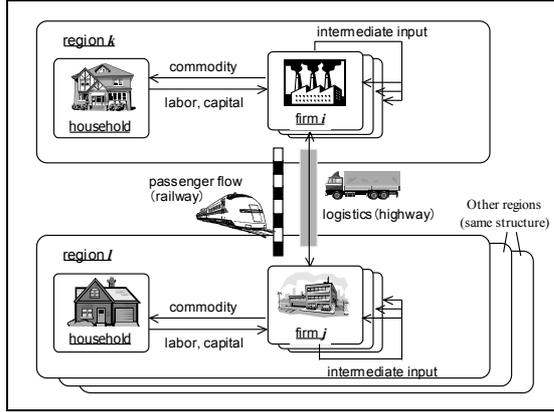


Fig. 1 Regional Economic System

### 3.2 家計の行動モデル

家計は、一定の所得制約の下で効用を最大化するように各財の消費量を決定する。家計はこの消費活動をすべて自地域内で行うものとし、ここでは各財の消費量に関してのみ意思決定を行うものとする。

$$U^k(d_i^k, y^k) = \max \left\{ \sum_{i=1}^M (\gamma_i^k)^\varphi (d_i^k)^{1-\frac{1}{\varphi}} \right\}^{\frac{\varphi}{\varphi-1}} \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^M q_i^k d_i^k = y^k = w^k L^k + rK^k \quad (2)$$

ただし、

$q_i^k$ : 財  $i$  の消費地価格、

$d_i^k$ : 家計の財  $i$  の消費量、

$y^k$ : 家計の所得、

$\gamma_i^k$ : 家計の財消費に関するシェアパラメータ、

$\varphi$ : 家計の財消費に関する代替パラメータ、

$L^k, K^k$ : 家計が保有する労働・資本の量

である。添字  $k$  は地域  $k$  における変数・パラメータであることを表す。

式(1), (2)を解くと、次の需要関数を得る。

$$d_i^k(\mathbf{q}^k) = \frac{\gamma_i^k (q_i^k)^{1-\varphi} y^k}{\sum_{j=1}^M \gamma_j^k (q_j^k)^{1-\varphi} q_j^k} \quad (3)$$

式(3)を(1)に代入すると、次を得る。

$$U^k(\mathbf{q}^k, y^k) = \left\{ \sum_{i=1}^M \gamma_i^k (q_i^k)^{1-\varphi} \right\}^{\frac{1}{\varphi-1}} y^k \quad (4)$$

### 3.3 企業の行動モデル

地域  $k$  に立地する企業  $i$  は、地域  $l$  で生産され、自地域内に輸送されてきた中間投入財  $j$  と労働、資本、業務トリップを生産要素として、規模に関して収穫一定となる一次同次の技術を用いて商品  $i$  を生産するものと仮定する。Fig. 2 に企業の生産構造を示す。このような階層化構造により、企業の利潤最大化行動を以下の3段階の最適化行動モデルで記述する。

**Stage 1** (生産量および中間財投入量の決定)

$$\pi_i^k = \max p_i^k Q_i^k - \left\{ \sum_{j=1}^M q_j^k X_{ji}^k + c_{Vi}^k(w^k, r, \tau^k) V_i^k \right\} \quad (5)$$

$$\text{subject to } Q_i^k = \min \left\{ \frac{X_{1i}^k}{a_{1i}^k}, \dots, \frac{X_{Mi}^k}{a_{Mi}^k}, \frac{V_i^k}{a_{Vi}^k} \right\} \quad (6)$$

**Stage 2** (労働、資本投入量の決定)

$$c_{Vi}^k(w^k, r, \tau^k) V_i^k = \min w^k L_i^k + rK_i^k + c_{Ti}^k(\tau^k) \kappa_i^k \quad (7)$$

$$\text{subject to } V_i^k = \alpha_{2i}^k \left\{ (L_i^k)^{\delta_{Li}^k} (K_i^k)^{\delta_{Ki}^k} \right\}^{1-\beta_i^k} (\kappa_i^k)^{\beta_i^k} \quad (8)$$

**Stage 3** (業務トリップ投入量の決定)

$$c_{Ti}^k(\tau^k) = \min \sum_{l=1}^N \tau^{kl} n_i^{kl} \quad (9)$$

$$\text{subject to } \kappa_i^k = \alpha_{3i}^k \prod_{l=1}^N (n_i^{kl})^{\delta_n^{kl}} \quad (10)$$

ただし、

$\pi_i^k$ : 企業  $i$  の利潤、

$p_i^k$ : 財  $i$  の生産地価格、

$Q_i^k$ : 企業  $i$  の生産量、

$q_i^k$ : 財  $i$  の消費地価格、

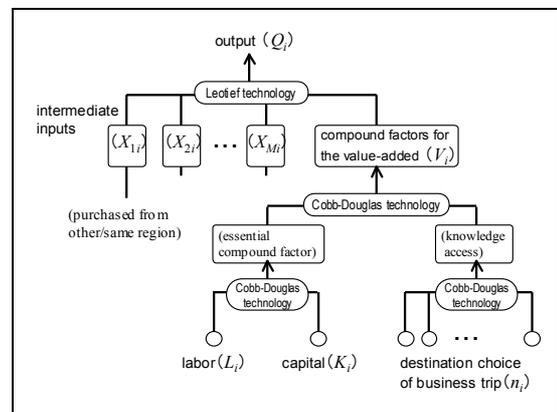


Fig. 2 Production Technology

$X_{ji}^k$ : 財  $i$  の生産に使われる中間投入財  $j$  の量,  
 $V_i^k$ : 企業  $i$  で付加価値を形成する合成生産要素,  
 $c_{Vi}^k$ :  $V_i^k$  の単位費用関数,  
 $w^k$ : 賃金率,  
 $r$ : 利子率,  
 $a_{ji}^k$ : 企業  $i$  の生産に関する投入係数,  
 $a_{vi}^k$ : 企業  $i$  の生産に関する付加価値率,  
 $\kappa_i^k$ : フェイス・トゥ・フェイスコミュニケーション  
 により獲得する知識アクセス,  
 $c_{Ti}^k$ :  $\kappa_i^k$  の単位費用関数,  
 $\tau^{kl}$ : 地域  $k$  から  $l$  への一般化旅客交通費用,  
 $L_i^k, K_i^k$ : 企業  $i$  に提供される労働・資本の量,  
 $\delta_{Li}^k, \delta_{Ki}^k$ : 企業  $i$  の労働, 資本のシェアパラメータ,  
 $\beta_i^k$ : 企業  $i$  の本質的合成生産要素 ( $L_i^k, K_i^k$  のみから  
 なる合成生産要素) と知識アクセスの間の代替  
 パラメータ,  
 $n_i^{kl}$ : 企業  $i$  の地域  $k$  から  $l$  へのトリップ数,  
 $\delta_n^{kl}$ : トリップの目的地選択に関するパラメータ,  
 $\alpha_{2i}^k, \alpha_{3i}^k$ : 比例定数

である。添字  $k$  は地域  $k$  における変数・パラメータであることを表す。この3段階最適化行動問題(5) – (10)を Stage 3 から Stage 1 の順に解くと、次のような需要関数を得る。

・業務トリップ需要関数

$$n_i^{kl} = \frac{\delta_n^{kl} \beta_i^k c_{Vi}^k(w^k, r, \tau^k)}{\sum_{l=1}^N \delta_n^{kl} \tau^{kl}} \quad (11)$$

・労働需要関数

$$L_i^k = \frac{\delta_{Li}^k (1 - \beta_i^k) c_{Vi}^k(w^k, r, \tau^k)}{\delta_{Li}^k + \delta_{Ki}^k} \frac{1}{w^k} \quad (12)$$

・資本需要関数

$$K_i^k = \frac{\delta_{Ki}^k (1 - \beta_i^k) c_{Vi}^k(w^k, r, \tau^k)}{\delta_{Li}^k + \delta_{Ki}^k} \frac{1}{r} \quad (13)$$

・中間財需要関数

$$X_{ji}^k = a_{ji}^k Q_i^k \quad (14)$$

・合成生産要素需要関数

$$V_i^k = a_{vi}^k Q_i^k \quad (15)$$

ただし、 $\beta_i^k \neq 0$  のとき、

$$c_{Vi}^k = \frac{1}{\alpha_i^k} \left\{ \frac{\prod_{l=1}^N (\tau^{kl})^{\delta_{li}^k}}{\beta_i^k} \right\}^{\beta_i^k} \left\{ \frac{(w^k)^{\delta_{Li}^k} (r)^{\delta_{Ki}^k}}{1 - \beta_i^k} \right\}^{1 - \beta_i^k} \quad (16)$$

であり、 $\beta_i^k = 0$  のとき、

$$c_{Vi}^k = (\alpha_i^k)^{-1} (w^k)^{\delta_{Li}^k} (r)^{\delta_{Ki}^k} \quad (17)$$

である。 $\alpha_i^k = \alpha_{2i}^k \cdot \alpha_{3i}^k$  とする。

### 3.4 地域間交易モデル

地域間交易に関する定式化は、文(1997)の方法を参考に、空間価格均衡モデルに確率要因を導入して構築することとする。地域  $l$  の企業が生産地  $k$  を財  $i$  の購入先として選ぶ確率を

$$S_i^{kl} = \frac{Q_i^k \exp\{-\lambda_i(p_i^k(1 + \phi_i^{kl}))\}}{\sum_{m=1}^N Q_i^m \exp\{-\lambda_i(p_i^m(1 + \phi_i^{ml}))\}} \quad (18)$$

で与える。ただし、

$$\phi_i^{kl} = \eta_i D^{kl} \quad (19)$$

とし、財  $i$  を地域  $k$  から  $l$  へ輸送するときの輸送費用率  $\phi_i^{kl}$  が、財  $i$  に固有のパラメータ  $\eta_i$  と地域  $kl$  間の交通抵抗  $D^{kl}$  の積で表されるとする。また、 $\lambda_i$  はスケールパラメータである。式(18)を用いると、地域  $l$  における財  $i$  の消費地価格均衡条件は式のようになる。

$$q_i^l = \sum_{k=1}^N S_i^{kl} p_i^k (1 + \phi_i^{kl}) \quad (20)$$

一方で、生産地価格の均衡は次の式により表される。

$$p_i^k = \sum_{j=1}^M q_j^k a_{ji}^k + c_{vi}^k(w^k, r, \tau) a_{vi}^k \quad (21)$$

### 3.5 経済均衡

前提条件より、平常時の経済社会の均衡では、生産地価格・消費地価格を通して財市場が地域間で均衡し、労働・資本市場が地域内で均衡する(長期均衡)。以下に、これらの均衡に関連する式を示す。価格均衡に関しては式(18)–(21)が、労働・資本と財に関しては、生産部門・家計部門の需要関数(式(3), (8), (11)–(14))と、以下の式(22)–(25)が成立する。

(a) 生産要素市場

生産要素(労働  $L^k$ , 資本  $K^k$ )市場は、家計が地域間移動を行わないという条件から各地域で均衡する。

$$\sum_{i=1}^M L_i^k = L^k \quad (22)$$

$$r\left(\sum_k \sum_i K_i^k - K\right) = \sum_i \sum_k p_i^k EX_i^k - \sum_l \sum_j q_j^l M_j^l \quad (23)$$

ただし、 $EX_i^k$ 、 $M_j^l$  はそれぞれ輸出、輸入を表す。

#### (b) 財市場

財市場に関しては、発地・着地ベースのそれぞれについて均衡式がつくれる。

$$Q_i^k = \sum_{l=1}^N z_i^{kl} (1 + \phi_i^{kl}) \quad (24)$$

$$\sum_{k=1}^N z_i^{kl} = \sum_{j=1}^M X_{ij}^l + d_i^l - M_i^l \quad (25)$$

ここに  $z_i^{kl}$  は、財  $i$  の地域  $k$  から  $l$  への交易量を表す。

次に、警戒宣言発令時や地震時の被災により交通施設の機能が低下した場合を考える。この場合の均衡は、地域間交通費用が変化し、労働・資本の移動がないとした条件の下で達すると想定する短期均衡である。いま、(0)を平常時、(1)を交通施設の機能低下時を表す記号とする。交通施設の機能低下時の均衡を求めるためには、鉄道交通費用の変化を受けた新たな業務トリップ需要関数

$$n_i^{kl} = \frac{\delta_n^{kl} \beta_i^k c_{Vi}^k (w^k, r, \tau^{k(1)})}{\sum_{l=1}^N \delta_n^{kl} \tau^{kl(1)}} \quad (11)'$$

と道路交通条件の変化を考慮した新たな輸送費用率

$$\phi_i^{kl(1)} = \eta_i D^{kl(1)} \quad (19)'$$

を式(11)、(19)の代わりに用い、さらに、資本及び労働を平常時の水準に固定して得られる合成生産要素需要を

$$V_i^{k(1)} = \alpha_{2i}^k \left\{ (L_i^{k(0)})^{\delta_{Li}^k} (K_i^{k(0)})^{\delta_{Ki}^k} \right\}^{1-\beta_i^k} (\kappa_i^{k(1)})^{\beta_i^k}$$

として与え、生産量(式(6))、中間財需要(式(14))を更新し、式(18)–(21)の交易に関する均衡条件と財市場の均衡式(24)、(25)を連立して内生変数を決定してやればよい。

### 3.6 被害の計量化の考え方

地震の発生や警戒宣言発令に伴う当該地域での交通施設の機能低下は、迂回等による交通費用の増加をまねき、財の消費地価格の変化、地域間交易パターンの変化を生じさせ得る。ひいては、財の生産地価格や企業の生産量へも影響を及ぼし、それが最終的に家計部門へと帰着する。このとき、市場内での変化は、ある主体にとっての効果が別の主体にとっての不効果として相殺され、最終的に交通費用増加の影響が家計の(不)便益となって表れる。したがって、経済被害は、家計の厚生水準の変化として等

価変分 (Equivalent Variation : EV) を用いて以下のように計測することができる。

$$U^k(\mathbf{q}^{k(1)}, \mathbf{y}^k) \equiv U^k(\mathbf{q}^{k(0)}, \mathbf{y}^k + EV^k) \quad (26)$$

式(4)、(26)より、等価変分  $EV^k$  は次で与えられる。

$$EV^k = \frac{u(\mathbf{q}^{k(1)}) - u(\mathbf{q}^{k(0)})}{u(\mathbf{q}^{k(0)})} \mathbf{y}^k \quad (27)$$

ここで、

$$u(\mathbf{q}^k) = \left\{ \sum_{i=1}^M \gamma_i^k (q_i^k)^{1-\varphi} \right\}^{\frac{1}{\varphi-1}} \quad (28)$$

である。

本研究では、分析対象として警戒宣言発令や地震発生に伴う交通機能の低下を想定して、このような状況下で達する均衡として短期均衡を想定しているため、式(27)のようにして計算された経済被害は、交通抵抗の増加に起因する部分と、労働・資本が最も効率的には配分されていないことに起因する部分からなる点に注意する。

## 4. 基準データ

本章では、次章以降の分析に用いるデータに関して述べる。まず、モデルのサイズとして Fig. 3、Table. 1 に示すような14地域 ( $N=14$ )、3産業部門 ( $M=3$ ) からなる国土空間を想定する。Table. 2 はパラメータ・外生変数の出典である。分析では1995年を平常時の長期均衡経済社会の基準年として関連データを準備する。本研究では、次章以降で述べるような警戒宣言発令時・被災時の均衡状態に関して、労働、資本の移動が短期には生じないという短期均衡を想定してモデルを構築している。この点に関しては、年単位で集計される産業連関表を用いて短期均衡を考察することに批判もあるかもしれない。しかしながら、本研究では、産業連関表など年単位のデータは比較的变化速度が遅いと考え、生産関数のパラメータ推定などに限定して用いている。また、短期的な均衡としては、旅客流動、物資流動等を中心に考慮する必要がある。これらの流動パターン変化の記述に関しては、日単位データである平成7年全国旅客純流動調査、あるいは3日単位のデータである平成7年全国貨物純流動調査を使用しており、この点においてデータと分析目的及び設定との不整合は生じていないと考えられる。

SCGE分析の基準データセットとなる産業連関表は平成7年全国9地域間産業連関表であるが、本研究のように、特定の地域への影響をより細かい単位で

Table. 1 Industrial Sectors

Industrial Sectors
1. Agriculture and Fishery
2. Mining and Manufacturing
3. Construction and Services

Table. 2 Source of Parameters and Data

Symbol	Source
$a_{ji}^k, a_{vi}^k$	Input-output table (1995)
$\beta_i^k$	Input-output table (1995)
$\delta_{Li}^k, \delta_{Ki}^k$	Input-output table (1995)
$\delta_n^{kl}$	Passenger net flow survey (1995)
$y^k, w^k, L^k, K^k$	Annual report on prefectural accounts (1995)
$\gamma_i^k$	Input-output table (1995)
$\varphi$	Ichioka (1991)
$\eta_i$	Input-output table (1995), Highway Timetable (2002) and Regional index of consumer prices (1997)
$\tau^{kl}$	Railroad Timetable (1996)
$D^{kl}$	Highway Timetable (2002)

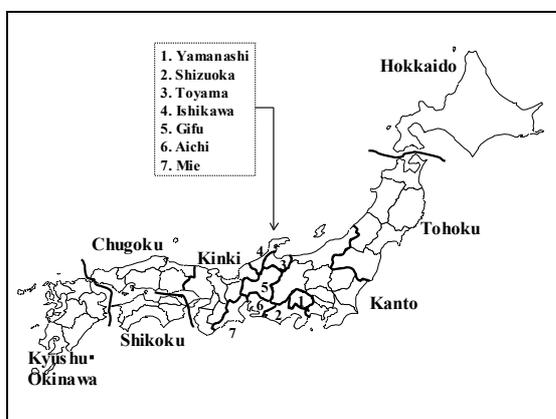


Fig. 3 14 Zones for Loss Estimation

見たい場合、地域を分割する必要が生じる。ここでは、全国 9 地域間表をベースに、県単位の産業連関表（地域内表）と全国貨物純流動調査を補完的に用いることで、関東地方から山梨県と静岡県を独立させ、中部地方を県単位に分割することを試みる。要点は以下のようなものである。

(a) 内生部門に係る部分は、地域内表を用いる。

(b) 全国貨物純流動調査（3 日間調査）を集計し、地域間交易量の割合を求める。これを用いて、地域間表の地域間交易データを按分する。これにより、少なくとも発着地の一方が本来の地域間表を構成する地域と同じ場合、その地域間交易量が推計できる。

(c) (b)以降の段階では、県間の地域間交易量に関して地域内表と貨物純流動調査の集計データを合わせて考える必要がある。しかしながら、本研究ではそれ以上の推計は行っておらず、未推計部分については現況再現性確認の対象から外している。この点については、今後より精緻化する必要がある。

ところで、式(18)に登場するパラメータ  $\mu_i$  については、通常のキャリブレーションにより値を決定することは困難である。そこで、値を何通りか変化させて均衡時の地域間交易量を求め、それを実際の地域間交易量と比較することで、データに最も合う値を採用する。このとき本分析では、産業連関表の分割に伴い推計によって求めた交易量は用いず、実データとして存在する地域間交易量に関してのみ推計値との差の二乗和をとり、大きさを比較している。

また、式(19)にある交通抵抗  $D_i^{kl}$  の指標として、道路時刻表(2002)より求めた地域間移動標準所要時間を用いる。この際、道路交通網として高速道路を中心とした路線網を想定し (Fig. 4), 最短時間経路配分ルールを適用する。すなわち、地域間の物資輸送は、最も所要時間の短い経路によって行われるものとする。警戒宣言発令時や地震による交通施設被災時には、速度制限や通行止めなどの影響で当該地域を中心に  $D_i^{kl}$  が変化するので、迂回による輸送経路利用状況の変化の可能性が考慮されるモデルとなる。

鉄道に関しても道路と同様のネットワークを想定する。鉄道の場合には、時刻表(1996)より交通費用  $\tau^{kl}$  が設定でき、これが交通抵抗の役割を果たす。

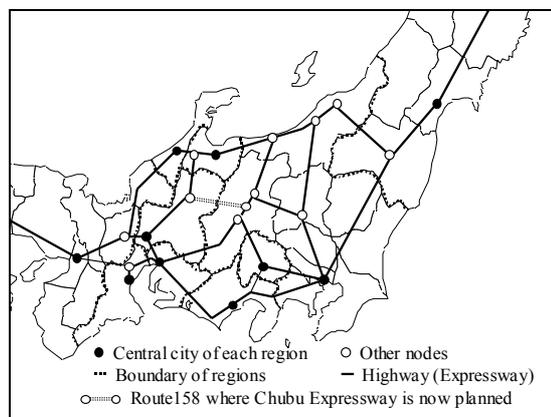


Fig. 4 Regional Highway Network

## 5. 東海地震警戒宣言発令時の交通規制に伴う経済損失の評価

### 5.1 概要と想定シナリオ

本章では、前章までで提示した分析プロセスに基づき、東海地震の警戒宣言発令による交通規制を想定した仮想的な交通費用の変化シナリオを用いて経済被害とその空間的な波及の様子を見ることとする。

地震予知活動に関連するリスクマネジメント手段としての警戒宣言の発令は、適切なタイミングで発令されれば人的・経済的被害の軽減が期待できる。その一方で、警戒宣言発令後も地震の発生にはなお不確実性が残り、東海地震に臨み備える期間が予想以上に長期にわたって続く可能性もある。この場合、警戒宣言に伴う経済的影響が大きなものとなり、被害額という点からのみ見た場合に、警戒宣言が必ずしも有効に機能したとは言えない状況が起こりうる。特に、当該地域の交通が長期間にわたって規制された状態が続くと、交通の迂回や取りやめによる損失が発生するばかりでなく、その影響が周辺にも及ぶ。

地域や国家がこのような巨大災害に対してリスクマネジメントを実施していく際には、人的被害の軽減を最優先としつつも、同時に経済被害を軽減することのできるような対策を施していくことが必要であろう。警戒宣言発令が有効なリスクマネジメント施策として実施されるためには、その実施に伴うコスト、すなわち被害の定量的な評価が必要であると考える。そこで本節では、東海地震の警戒宣言時に交通規制を主要原因として発生する経済被害を分析の対象とする。なお近年、警戒宣言の仕組みは従来の「白か黒か」型から「どの程度警戒すべきか」という多段階型に変わったが、本節で用いる警戒宣言は、「黒」あるいは「最も警戒を強めるべき」段階のものを想定する。

警戒宣言時には、東海地域を中心とした防災対策強化地域にて新幹線が運転を見合わせたり、道路交通規制が行われて外部から対象地域への流入ができなくなったりする。本モデルでは、山梨・静岡・愛知・三重の4県を警戒宣言の対象地域と想定し、これらの地域を通る交通は交通時間、すなわち交通費用が増加すると仮定して、モデル内で鉄道旅客交通費用（一般化費用） $\tau^{kl}$ や交通抵抗 $D_i^{kl}$ の値が大きくなることで表現する。

一方、東海地域の交通が規制された場合の代替ルートになりうる路線として、既存の路線網に加えて、現在北陸新幹線や中部縦貫自動車道が計画もしくは建設中の段階にある。このような交通基盤の整備が警戒宣言時にどのくらい被害を軽減させるのかを、

いくつかのシナリオの下での計算結果を比較することにより検討する。

以下の計算では、警戒宣言時の交通条件に関して次の3つのシナリオを想定して、分析を行う。

- scenario 1：警戒宣言対象地域内の高速道路の最高速度が40キロに制限される。また、新幹線も一部運転を見合わせ、東海道新幹線よりも北陸ルートを経由したほうが関東地方～近畿地方を速く移動できる状況を想定する。
- scenario 2：scenario 1に加えて北陸新幹線の供用を想定し、北陸経由による移動時間が短縮する。
- scenario 3：scenario 2に加えて中部縦貫自動車道の供用と交通規制緩和を想定する。中部縦貫ルートの所要時間が短縮する。さらに、警戒宣言時の速度規制がscenario 1の最高40キロから60キロに緩和される。

### 5.2 分析結果

以上の枠組みにより、警戒宣言発令後に達すると想定される均衡状態における生産地価格・消費地価格の変化を計算し、家計の厚生水準の変化を等価変分概念を用いて金銭評価することで、地域ごとの経済被害を算出する。その結果がFig. 5である。この図から、次のことが読み取れる。

- (a) 警戒宣言時の交通規制による東海地域を中心とした交通費用の変化（増加）による影響は、当該地域ばかりでなく全国へ波及する。
- (b) 交通を主要原因として家計部門に最終的に帰着する経済被害額は、scenario 1の下で全国1日当たり約1,100億円と計算された。このうち、地域単位で計算される関東地方の被害額が圧倒的に大きく、関東地方の経済規模や東海圏・京阪神圏との結びつきの強さがうかがえる。

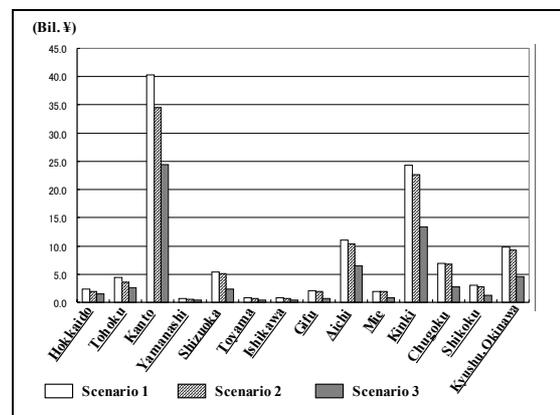


Fig. 5 Regional Economic Loss for 3 Scenarios on Transportation Network under the Tokai Earthquake Warning Declaration Announcement (billion JPY/day)

- (c) 西日本地方（中国，四国，九州・沖縄）への影響も小さくない。これは、西日本地方の経済が東海地方や関東地方と大きな関連性を持っているためと考えられる。
- (d) scenario 2, scenario 3 の下で警戒宣言が発令された場合の同様の経済被害はそれぞれ約 1,020 億円、約 620 億円と計算された。このことから、交通ネットワークの整備による被害軽減効果が大きいことが読み取れる。ただし、本モデルの構造では、地域間移動所要時間がこれらの被害軽減効果を決定付けている。既述したように、交通抵抗要因に関する議論は本研究の設定だけでは必ずしも十分ではない。この点は今後の課題としたい。

警戒宣言発令時の交通規制に伴う経済損失の評価に関しては、1日あたりの被害額、交通基盤整備による被害軽減額ともに大きな額になる。これはモデルで、警戒宣言の発令により東名・中央自動車道に交通規制区間が発生し、関東と関西を結ぶ基幹交通が北陸ルートのみになってしまうという厳しい状況下で達する均衡を考えているためでもある。数字の大きさから読み取れる結論についてはある程度限定的に理解されるべきであろう。

## 6. 東海・東南海地震時の基幹交通施設の機能損傷に伴う経済損失の評価

### 6-1 概要と想定シナリオ

本章では、警戒宣言発令時の交通規制に伴う経済損失の評価と同様の考え方で、東海地震による交通施設の機能損傷想定に基づく仮想的な交通費用の変化シナリオを用いて、経済被害とその空間的な波及の様子を見ることとする。

東海地震の被害想定（中央防災会議，2003）では、静岡県平野部のほぼ全域で震度6強以上の強い揺れが発生するものと予測されている。これと交通機関への施設被害影響予測結果（損害保険料率算出機構，2002）を参考に、静岡県内で東名高速道路，国道1号線，東海道新幹線の橋梁などが複数箇所損傷する状況を想定する。具体的には、次のようである。

- ・東名自動車道では、橋梁部などの損傷により富士IC～豊川ICが不通となる。
- ・静岡県と山梨県を結ぶ国道52号線は、複数箇所のがけ崩れにより不通となる。
- ・東海道新幹線においても同様に橋梁部などの損傷により静岡県内で不通となる。

これら被災時の交通条件を、モデルの中では交通時間、すなわち交通費用が増加すると考えて、道路輸

送の地域間移動所要時間  $D_i^{kl}$  や鉄道輸送の交通費用  $\tau^{kl}$  の値が大きくなることで表現する。また、前章と同様の交通ネットワークを想定し、地域間の物資輸送は最も所要時間の短い経路によって行われるものとする。このとき、上記の想定交通施設被災により地域間の物流経路が以下のように変化するものと仮定する。

- ・静岡以東地域～静岡県：富士ICから混雑した国道1号線を利用する。なお、「混雑した国道1号線」の所要時間は、平常時のその2倍とする。
- ・山梨県～静岡県：国道52号線を通る代わりに東京を経由する。
- ・関東地方以東～愛知県以西：平常時に東名自動車道を経由していた輸送は中央自動車道に迂回する。
- ・静岡県～北陸2県：静岡県内の道路被災状況では浜松がひとつの大きなネックであると仮定し、平常時に名古屋廻りで行われる輸送が、被災期間には関東地方を経由して行われるものとする。
- ・静岡県～愛知県以西：静岡県内では混雑した国道1号線を利用し、豊川IC以西では東名自動車道などの高速道を利用する。

なお、復旧期間は3ヶ月と仮定する。これは、資料（阪神高速道路公団など，2002）をもとに設定したものであるが、橋梁の被災が道路ネットワークに対して点的なものであることを考慮すると、3ヶ月よりも早期に応急的復旧がなされる場合も十分に考えられる。したがって、以下で行う被害の試算はどちらかといえば深刻なケースを想定しているともいえる。

これまで考慮してきた交通条件の変化は、代替路線の混雑を取り扱っていない。本研究では、複数の交通シナリオの下で分析を行うことで、地域内・地域間輸送に関する所要時間の変化と経済被害額との変化を見ながら両者の関係を把握する。物流に関して次の3つの交通シナリオを想定する。

- ・scenario A-1：本節でこれまで述べてきた交通条件
- ・scenario A-2：scenario A-1 に加え、東名高速道路の主たる代替路線として機能する中央自動車道の慢性的混雑（所要時間が平常時より10%増加）を考慮に入れた交通条件
- ・scenario A-3：scenario A-2 に加え、愛知県内、三重県内の所要時間がそれぞれ平常時より15%増加した交通条件

### 6-2 分析結果

以上の枠組みによって、被災下で達すると想定される均衡状態における生産地価格・消費地価格の変化を計算し、家計の厚生水準の変化を等価変分概念を用いて金銭評価することで、地域ごとの経済被

害を算出する。その結果を Table. 3 に示す。Table. 3 から、次のことが読み取れる。

- (a) 被災時の交通機能損傷による交通費用の変化(増加)による影響は、経済被害となって、被災地外へ全国的に波及する。
- (b) 家計に最終的に帰着する経済被害額は、想定シナリオの下で約2.8兆円と計算された。このうち、1都8県で構成される関東地方に帰着する被害額が圧倒的に大きい。また、近畿以西の西日本地方への影響も小さくなく、西日本地方と東海地域・関東地域との経済連関性をうかがわせる。以上 (a), (b) については 5-2 と同様のことが言える。
- (c) 東名自動車道が不通になった場合に代替路線として機能する中央自動車道の混雑を考慮した場合、交通費用が日常的に10%増加することにより、混雑が無かった場合に比べて約6000億円の被害額の増加が見られ、全国規模で約3.4兆円となった。また、これに加えて愛知県内、三重県内の(地域内)輸送にも混雑の影響を考慮したシナリオを用いて計算を行った場合、被害は全国規模で約3.5兆円となった。

### 6-3 東海・東南海地震同時発生時の被害試算

次に、東海・東南海地震同時発生時の被害について考える。東海地震と同様、東南海地震についても被害想定(中央防災会議, 2003)が行われ、想定震度分布などの情報が利用可能ではあるものの、基幹交通施設への影響の予測は東海地震ほど明確ではない。この点については今後更に検討していきたいと考える。

そこで本研究では、6-1 で行ったように仮想的な交通費用の変化シナリオを用いて分析を行うこととし、さらに感度分析として基幹道路の混雑を想定したシナリオ下での経済被害とその空間的帰着の様子を把握する。想定シナリオは、次の3つである。

- ・ scenario B-1 : scenario A-1 に加え、東名自動車道(愛知県側)の所要時間が平常時より10%増加し、愛知県内、三重県内の所要時間がそれぞれ平常時より30%、50%増加した交通条件
- ・ scenario B-2 : scenario B-1 に加え、中央自動車道の慢性的混雑(所要時間が平常時より10%増加)を考慮に入れた交通条件
- ・ scenario B-3 : 東名自動車道(愛知県側)の所要時間が平常時より25%増加し、愛知県内、三重県内の所要時間がそれぞれ平常時より35%、60%増加する。さらに、中央自動車道と名神自動車道の慢性的混雑(それぞれ所要時間が平常時より10%、5%増加)を考慮に入れた交通条件

Table. 3 Regional Economic Loss Estimated for Three Scenarios on Transportation Network under the Tokai Earthquake (Trillion JPY)

Region	scenario A-1	scenario A-2	scenario A-3
Hokkaido	0.08	0.09	0.10
Tohoku	0.14	0.17	0.17
Kanto	1.12	1.37	1.39
Yamanashi	0.01	0.02	0.02
Shizuoka	0.31	0.32	0.32
Toyama	0.02	0.02	0.02
Ishikawa	0.02	0.02	0.02
Gifu	0.05	0.06	0.07
Aichi	0.22	0.28	0.29
Mie	0.04	0.05	0.05
Kinki	0.44	0.55	0.57
Chugoku	0.12	0.15	0.16
Shikoku	0.06	0.08	0.08
Kyushu*	0.17	0.21	0.22
Total	2.81	3.39	3.48

(\* Kyushu and Okinawa)

Table. 4 Regional Economic Loss Estimated for Three Scenarios on Transportation Network under the Tokai, To-Nankai Earthquake (Trillion JPY)

Region	scenario B-1	scenario B-2	scenario B-3
Hokkaido	0.08	0.10	0.10
Tohoku	0.15	0.17	0.18
Kanto	1.18	1.42	1.48
Yamanashi	0.02	0.02	0.02
Shizuoka	0.32	0.32	0.33
Toyama	0.02	0.02	0.03
Ishikawa	0.02	0.02	0.03
Gifu	0.05	0.07	0.07
Aichi	0.26	0.31	0.33
Mie	0.05	0.06	0.06
Kinki	0.47	0.58	0.63
Chugoku	0.13	0.16	0.17
Shikoku	0.07	0.08	0.09
Kyushu*	0.18	0.22	0.24
Total	3.00	3.57	3.76

(\* Kyushu and Okinawa)

上記シナリオを用いた計算結果を Table. 4 に示す。Table. 4 によると、全国規模での経済被害は case B-1 で約3.0兆円である。また、case B-2 の場合で約3.6兆円、case B-3 では約3.8兆円であった。6-1～6-2 の試算結果と同様に、東名自動車道が機能不全に陥っている状況で東西交通の主たる代替機能を担う中央自動車道の混雑が慢性的に深刻なものである場合、他の地域の混雑に比べて被害の増加の程度が深刻なものとなりうる事が予想される。

## 7. おわりに

本研究では、東海地震の警戒宣言時や東海・東南海地震発生時に当該地域で交通機能が低下する状況を想定し、空間的応用一般均衡モデルを用いて地域間交通機能の損傷により発生する経済損失を計算するプロセスを示し、被害の試算を行った。特に、

- (a) 物流のための道路と旅客輸送のための鉄道いう2種類の交通を想定して地域間の経済連関性を描写したモデルを構築している点、
  - (b) 警戒宣言発令時や被災下の均衡状態に関して、労働、資本の移動が短期には生じないという、より現実的な仮定に基づく短期均衡を想定してモデルを構築している点、
- などが特徴である。

また、警戒宣言発令時あるいは被災時の交通機能の低下を想定して仮想的な計算シミュレーションを行い、交通条件の変化と被害の大きさの関係や、被害が警戒宣言の対象地域外へ波及する様子を見た。その結果、交通施設の機能低下に伴う迂回や混雑に起因する被害が全国に波及することなどが分かった。また、警戒宣言シナリオでは、交通網の整備に関していくつかのシナリオを想定して計算を行うことで、今後進展する可能性のある交通ネットワーク・交通条件の下での被害の試算も同時に行った。

本分析は多くの仮定に基づく仮想的なシミュレーションであり、分析内容に具体性を持たせるためには、改善の余地が多々ある。例えば、本研究ではすべての貨物輸送が道路交通によって行われ、すべての旅客輸送が鉄道によって行われると仮定しているが、これは現実的ではない。他の交通機関による輸送も考えられるし、ふだんトラックによって輸送されているものが、輸送経路が不通になったために他の交通機関にシフトすることも十分考えられる。本研究では旅客輸送と貨物輸送を区別するという限定的な状況を扱っているのみであり、今後は、マルチモードとしての交通の議論が必要であると考え。また、本研究のように SCGE モデルと交通ネットワ

ークを同時に考慮する場合には、両者を同じ空間で取り扱う難しさが伴う。経済モデル内で交通量配分をどのように考えるのか、地域内の交通移動をどう捉えるのかなど、いくつかの本質的な議論が残されている。

また、短期均衡を仮定した上で求めた被害には、交通費用の増加に起因する部分だけでなく労働・資本が最も効率的には配分されていないことに起因する部分がある。この点については、警戒宣言発令時・被災時においても労働・資本が適切に調整される長期均衡を仮定して求めた被害との差を見ることにより、両者の関係がより明確になるであろう。

以上の点を今後の課題としてモデルを拡張するとともに、災害の発生とその復旧過程をシナリオに組み込んだ分析の枠組みについて検討したい。

## 謝 辞

全国貨物純流動調査の利用にあたっては、財団法人 運輸政策研究機構よりデータを提供していただいた(承認番号14906)。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 市岡 修(1991)：応用一般均衡分析，有斐閣，281pp.
- 経済産業省（1995）：平成7年地域間産業連関表
- 小池淳司，上田孝行，秋吉盛司（2003）：社会資本ストック崩壊による経済的被害の空間的把握，土木計画学研究・講演集，Vol.27
- 国土交通省（1995）：平成7年全国旅客純流動調査
- JRグループ（1996）：JR時刻表，弘済出版社，1104pp.
- 総務省（1997）：平成9年消費者物価地域差指数
- 損害保険料率算出機構（2002）：東海・東南海・南海地震の被害想定結果（市区町村別被害想定結果一覧），CD-ROM
- 財団法人 運輸経済研究センター(1995)：MOBILITY, No.101
- 財団法人 運輸政策研究機構（1995）：平成7年全国貨物純流動調査
- 財団法人 河川情報センター（2000）：愛知県における秋雨前線豪雨災害調査業務報告書
- 高橋顕博，安藤朝夫，文 世一（1997）：阪神・淡路大震災による経済被害推計，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.149-156.
- 中央防災会議（2003）：東海地震に係る被害想定結果について，18pp.
- 中央防災会議（2003）：東南海・南海地震の被害想定について，45pp.

道路整備促進期成同盟会 (2002) : 道路時刻表, 武揚堂, 644pp.

豊田利久, 河内 朗 (1997) : 阪神・淡路大震災による産業被害の推定, 国民経済雑誌 第176巻第2号, pp. 1-15.

阪神高速道路公団, 財団法人 防災研究協会 (2002) : 地震時における道路ネットワークのシステム機能と復旧プロセスのシミュレーションモデルの構築 (報告書)

文 世一 (1997) : 地域間人口配分から見た交通ネットワークの評価ー集積の経済を考慮した多地域一般均衡分析ー, 東北建設協会, 建設事業の技術開発に関する助成 (助成番号95-06) 研究成果報告書, 58pp.

Gordon, P. and Davis, B. (1998) : Transport-Related Impacts of the Northridge Earthquake, Journal of Transportation and Statistics, pp.21-36.

Ueda, T., Koike, A. and Iwakami, K. (2001) : Economic Damage Assessment of Catastrophe in High Speed Rail Network, Proceedings of 1st Workshop for "Comparative Study on Urban Earthquake Disaster Management", pp.13-19.

## **Economic Loss Assessment caused by Lessened Transportation Network Function at a Great Earthquake**

Satoshi TSUCHIYA\*, Hirokazu TATANO and Norio OKADA

\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

### **Synopsis**

We have threats for giant earthquakes such as Tokai and To-Nankai earthquakes in a century. Cooperative strategy between regional-central government and individual firms may be required for countermeasures and risk management, due to propagation effect as well as high impacts of the damages. This report deals with regional socio-economic system by a spatial computable general equilibrium (SCGE) model, which considers both commodity and passenger flow. Economic loss is computed by this model with some lessened transportation network function scenarios at a giant earthquake.

**Keywords:** indirect economic loss, SCGE model, short-run equilibrium, scenario analysis