

## 中間財の代替にかかる費用が被災地経済の回復過程に及ぼす影響：二部門経済成長モデルを用いて

中野一慶\*・多々納裕一

\* 京都大学大学院情報学研究科

### 要 旨

本研究では中間財および最終財を生産する2つの産業部門を有する経済成長モデルを構築し、地域間の中間財の代替にかかる費用が被災地経済の回復過程に及ぼす影響を分析する。中間財を含むすべての財が国際的競争下にあり被災後にも地域外から代替的に中間財が調達可能な場合を考え回復過程を分析する。その際の代替にかかる費用によって被災地経済の回復過程を比較し①地域間の中間財の代替にかかる費用が高ければ被災を免れた産業にも生産量低下という「カスケード効果」が生じること②中間財の代替にかかる費用が高い場合の方が相対的に早期の回復が達成されうること示す。またこれら2つの効果を考慮に入れて、カスケード効果の発生による経済被害総額の拡大効果の大きさを試算する。

**キーワード：** 中間財の代替費用，経済復興過程，カスケード効果，経済成長理論，

### 1. はじめに

1970年代以降、産業連関分析や応用一般均衡モデルといった経済モデルを用い、災害による経済被害の計量化に関する研究が蓄積されてきている（例えばRose et al, 1997; Okuyama et al., 1999, 2004; Rose and Guha, 2004; Rose and Liao, 2005）。これら先行研究は主にライフライン途絶の影響など非常に短期的な影響を分析したものが多かった。一方で自然災害に関するいくつかの実証的な研究により、災害が地域経済のGDP（国内総生産）に与える負の影響は大きくないことが指摘されてきた（例えばDacy and Kunreuther, 1969; Ellson et al., 1984; Albara-bartland, 1993; Tol and Leek, 1998）。その理由として被災後の建設需要がGDPを押し上げる効果や、復旧時の設備の更新によって新規の生産技術が導入されやすくなる効果が指摘されている（例えばSkidmore and Toya, 2002; Benson and Clay, 2004; Cuaresma et al, 2008）。そのため、復興の過程も含めて経済被害を計量化するような試みには関心が払われることは少なく、短期的な影響を取り扱う経済モデルが開発されることが多かった。

しかし実際には復興にはコストがかかり、それを

まかなうために地域外から資金の借入を増加させる場合がある。こうして増加した負債は被災地域の経済のフロー（GDP）が回復した後もその地域に残存し、地域経済に長期的に影響を及ぼす可能性がある。しかし従来、多くの実証研究ではGDPのみに着目して長期的な経済への影響が議論されることが多く、こうした負債の効果も含めて長期的な災害の影響を分析する試みは十分でなかった。著者ら(2008)はこうした問題意識から、復旧時の負債の増加により家計の消費が長期的に減少しうることを経済成長モデルを用いて理論的な見地から指摘した。

また著者ら(2008)は同時に“カスケード効果”が経済被害を甚大化させる大きな要因であることを指摘した。本研究は地域間の中間財の代替にかかる費用がカスケード効果を生む1つの重要な要因であることを示すことを主要な目的の1つとする。もしある中間財部門が被災すると中間財の供給が減少する。このことが最終財部門の生産に影響を及ぼす場合がある。これはしばしば“カスケード効果”と呼ばれる。もし代替的な中間財が被災地域外から調達できるなら、その被害波及効果は少なく押さえることができよう。このことから中間財の代替にかかる費用がカスケード効果を生む重要な要因となる可能性が

ある。

また本研究は中間財の代替にかかる費用がカスケード効果による被害の拡大だけでなく、復旧のスピードにも影響することを示す。本研究は以下のような構造に着目する。もし代替の費用が高ければ、カスケード効果が生じることで災害直後には経済被害は大きくなる。この場合には甚大化する被害を少しでも減らそうと、復旧のインセンティブは比較的高くなる可能性がある。一方、もし代替の費用が低ければカスケード効果による被害波及効果が生じないが、復旧のインセンティブは比較的高くないことが考えられる。このことから、復旧の過程もまた中間財の代替にかかる費用によって影響を受ける可能性が考えられる。

本研究ではこのような問題意識のもとで、中間財および最終財を生産する2つの産業部門を含む開放型の経済成長モデルを構築し、以下の2点を明らかにする。

- ・ 地域間の中間財の代替にかかる費用が高いことが要因となって、被災していない産業にも生産量減少という「カスケード効果」が発生すること
- ・ 中間財の代替にかかる費用が高い場合にはカスケード効果の発生と同時に、相対的に迅速な経済の回復が実現されること

本論文は以下のような構成となる。2節では中間財生産部門、最終財生産部門からなる2部門経済成長モデルを定式化する。3節では2節で定式化された最適化問題の解と市場均衡条件を示し、被災前の経済成長経路を求める。4節では災害後の経済成長経路を中間財の代替費用の大きさによって比較する。5節では本研究の主要な結論と今後の課題を取りまとめる。

## 2. 開放型二部門経済成長モデルの定式化

### 2.1 中間財の代替にかかる費用

本研究は被災後に代替的な中間財を被災地外から調達する際のコストに着目する。中間財を生産する企業が被災した場合、最終財を生産する部門が生産減少は軽減するために代替的な中間財を被災地外から調達しはじめる場合がある。代替的な中間財を地域外から調達して投入し始めることは被災前に比べコストの増加を招く可能性が考えられる。最終財部門の企業は代替的な中間財の使用のために生産工程の調整が必要となるかもしれない。一方で、被災した中間財企業は被災地外に立地する自社工場の生産能力を増強したり、他社の生産設備を借りたりする経営努力により最終財企業への供給を継続しようとする場合がある。こうした対応は被災した工場から

の技術の移転を必要とし、中間財企業にとっては生産にかかる費用の増大につながる可能性がある。このことは最終財企業が入手可能な中間財の価格が被災前に比べて高くなってしまうことにつながる。本研究はこのような構造を考え、中間財の代替にかかる費用というのが被災地外から調達する際の価格として表現できると考え、以下のモデル化を行っている。

### 2.2 モデルの定式化

#### (1) モデルの前提

当該国には中間財を生産する産業部門（以下中間財部門）と最終消費財を生産する産業部門（以下最終財部門）の2つの産業部門があり、家計がいるとする。中間財部門は最終財部門に中間財を供給する。消費財は国際的に取引され、価格 $p$ で取引されるとする。中間財市場は完全競争市場であり、openである。そのため国際的な取引が可能であると仮定する。資本市場はopenであり利子率 $r$ は世界市場での均衡により定まるものとする。当該国の保有資本が世界全体での資本総量に比して十分小さく、当該国の資本の変化が世界利子率には影響しないものとする。このとき世界利子率を $r$ とおくと、当該国にとって $r$ は外生パラメータとなる。また家計は代表的家計を仮定する。企業が資本を保有しており、家計は企業の全株式を所有していると想定する。人口や労働については国外への移動が容易でない国を想定し、人口変動についても取り扱わないこととする。Fig. 1は分権経済モデルの概要である。

本研究では経済成長モデルは連続時間の動学的最適化モデルとして定式化される（Ramsey, 1928; Cass, 1965; Koopmans, 1965; Barro and Sala-i-Martin, 2004; Turnovsky, 1997）。このような経済成長モデルを災害の影響の分析に用いたものとしては例えばIkefuji and Horii (2006)などがあるが、本研究のように負債の増加の影響と中間財の代替の費用の影響に着目したものはない。

#### (2) 中間財部門の定式化

中間財部門は資本と労働を投入することによって生産を行う。資本は国際市場での均衡により価格が決まっているとし、価格を1とする。企業は資本を所有し、投資の経路を決定する。投資には設備の据付費用などの調整費用(Barro and Sala-i-Martin, 2004)がかかると仮定する。また、 $t$ 時点の生産を $Y_1(t)$ 、投資を $I_1(t)$ 、資本を $K_1(t)$ 、賃金率を $w$ 、調整費用関数を $T$ 、雇用労働量を $L_1$ とする。以下では特に必要がない限り $t$ を省略して記述することにする。最大

化問題は以下のように定式化できる。

$$\max \int_0^\infty (qY_1 - I_1(1 + T(I_1/K_1)) - wL_1)e^{-rt} dt \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \dot{K}_1 = I_1 \quad (2)$$

$$K_1(0) = \text{given} \quad (3)$$

$$I_1 \geq 0 \quad (4)$$

ここで式(2)は資本の蓄積式である。Hayashi(1982)に従い、調整費用は投資と資本に対し一次同次と仮定する。また式(4)は、ひとたび導入された資本は購入時と同じ価格では売却ができないという仮定である。これはしばしば投資の不可逆性の仮定と呼ばれる。また本研究では労働の変化を取り扱わないものとし、雇用労働量や賃金率は後に述べる定常状態における値で一定と仮定する。この最大化問題はハミルトニアンを用いた最大値原理によって解くことができる。

中間財部門の生産関数を  $F(K_1, L_1)$  とする。また中間財部門の資本のシャドウプライスを  $\mu(t)$  とする。当座、投資の不可逆性の条件を無視すると、最適化の一階条件は式(2)と以下の3式からなる。

$$q \frac{\partial F}{\partial K_1} + \left( \frac{I_1}{K_1} \right)^2 T'(I_1/K_1) + \dot{\mu} = \mu r \quad (5)$$

$$-1 + T(I_1/K_1) - \frac{I_1}{K_1} T'(I_1/K_1) + \mu = 0 \quad (6)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_1 \mu e^{-rt} = 0 \quad (7)$$

式(5)は、資本を1単位増加するときの限界収入が株主である家計の求める収益率と一致することを示している。左辺第1項は限界生産物の価値、第2項はキャピタルゲインの増分、第3項は調整費用が減少することによる収入の増分である。また式(6)は1単位の投資による費用増分がシャドウプライスと一致する点で投資を決定することを示している。式(7)は横断性条件である。

いま、

$$F(K_1, L_1) = A_1 K_1^\alpha L_1^{1-\alpha} \quad (8)$$

$$T(I_1/K_1) = (\gamma/2)(I_1/K_1) \quad (9)$$

とおく。すると式(5)と(6)は

$$qA_1\alpha K_1^{\alpha-1} L_1^{1-\alpha} + (-1 + \mu)^2 / (2\gamma) + \dot{\mu} = \mu r \quad (10)$$

$$I_1/K_1 = (-1 + \mu)/\gamma \quad (11)$$

と書き直すことができる。

### (3) 最終財部門の定式化

最終財部門の企業は、資本と中間財、労働を投入することによって生産をおこない、キャッシュフローの現在価値を最大化する。 $t$ 時点における生産を  $Y_2(t)$ 、投資を  $I_2(t)$ 、資本を  $K_2(t)$ 、雇用労働量を  $L_2$ 、投入する中間財の量を  $Z_1^2(t)$  と表す。以下では特に必要がない限り  $t$  は省略して記述する。最大化問題は以下のように定式化できる。

$$\max \int_0^\infty (pY_2 - qZ_1^2 - I_2 - wL_2)e^{-rt} dt \quad (12)$$

$$\text{s.t. } \dot{K}_2 = I_2 \quad (13)$$

$$K_2(0) = \text{given}, \quad (14)$$

$$I_2 \geq 0 \quad (15)$$

ただし中間財部門と同様雇用労働量は一定と仮定する。最終財部門についても投資の不可逆性を仮定する。生産関数を  $H(K_2, Z_1^2, L_2)$  とする。ハミルトニアンを用いて最大化問題をとくと最適化の一階条件は式(13)と以下の4式で表される。

$$p \frac{\partial H}{\partial K_2} - \lambda r = -\dot{\lambda} \quad (16)$$

$$-1 + \lambda = 0 \quad (17)$$

$$p \frac{\partial H}{\partial Z_1^2} = q \quad (18)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_2 \lambda e^{-rt} = 0 \quad (19)$$

ここで  $\lambda$  は最終財部門の資本のシャドウプライスである。式(16)は1単位資本を増加させるときの収入の増分が株主である家計の求める収益率と一致することを意味している。式(17)は資本のシャドウプライスが1に保たれることを示している。式(18)は毎期の中間財の限界価値生産物が中間財価格に一致することを示す式である。いま、

$$H(K_2, Z_1^2, L_2) = A_2 K_2^\beta (Z_1^2)^{1-\beta-\eta} L_2^\eta \quad (20)$$

とする。このとき式(16)(17)(18)は以下のように変形される。

$$pA_2\beta K_2^{\beta-1} (Z_1^2)^{1-\beta-\eta} L_2^\eta = r \quad (21)$$

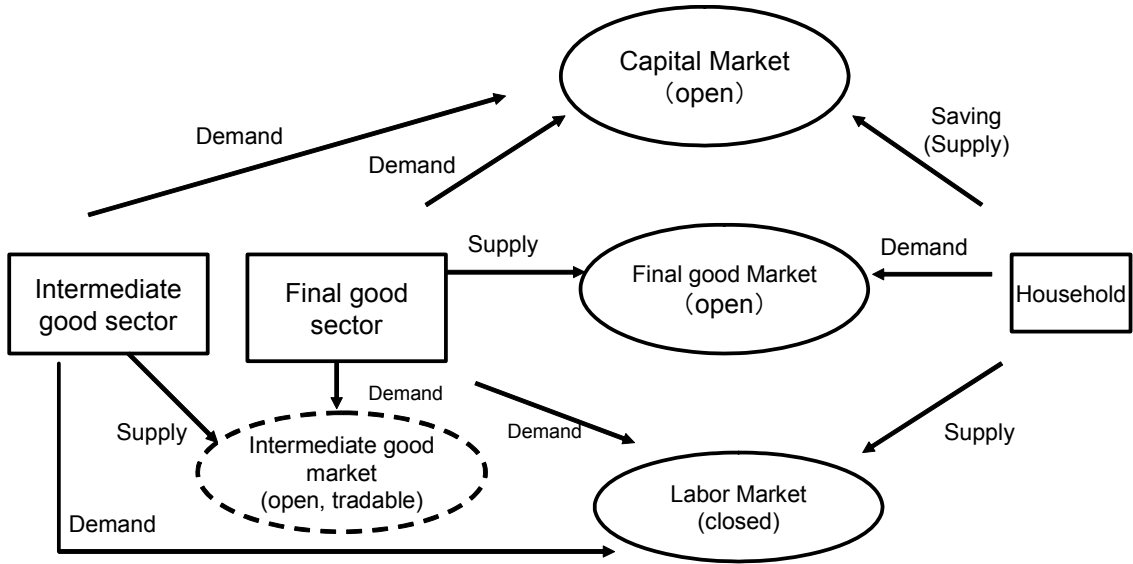


Fig. 1 Outline of the model

$$pA_2(1-\beta-\eta)K_2^\beta(Z_1^2)^{-\beta-\eta}L_2^\eta = q \quad (22)$$

#### (4) 家計の定式化

家計は労働所得と利子所得，配当所得を用いて消費をおこない，残りを対外資産に投資する。本研究では永久に生存する個人を仮定するが，これは子孫の世代についても自己の効用と同じように割り引く個人を仮定することと同じ事である (Blanchard and Fisher, 1989)。 $t$ 時点における対外資産を  $As(t)$ ，消費を  $C(t)$ ，時間選好率を  $\rho$ ，中間財部門の企業の配当を  $\pi_1(t)$ ，最終財部門の企業の配当を  $\pi_2(t)$ ，労働供給量を  $L$  とすると，家計は以下の最大化問題をとくことになる。

$$\max \int_0^\infty u(C)e^{-\rho t} dt \quad (23)$$

$$\text{s.t. } A\dot{s} = wL + rAs + \pi_1 + \pi_2 - pC \quad (24)$$

$$As(0) = \text{given} \quad (25)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} As(t)e^{-\rho t} = 0 \quad (26)$$

式(24)はNon Ponzi Game(NPG)条件(Barro and Sala-i-Martin, 2004)であり，家計が借入によって無限に効用を拡大することを防ぐ条件である。配当は企業のキャッシュフローの余剰であり，利潤から投資額を差し引いたものと定義される。すなわち  $\pi_1(t)$ ， $\pi_2(t)$ は

$$\pi_1 = qY_1 - I_1(1 + T(I_1/K_1)) - wL \quad (27)$$

$$\pi_2 = pY_2 - qZ_1^2 - I_2 - wL_2 \quad (28)$$

から定まる。

本研究では利子率が外生的に与えられることによる極端な挙動を避けるため，多くの先行研究（例えばTurnovsky 1997）に倣い  $\rho = r$  の仮定をおく。ハミルトニアンを用いて計算すると，最適化の一階条件は

$$-u''(C)\dot{C}/u(C) = r - \rho \quad (29)$$

となる。 $\rho = r$  の仮定をおくと，最適な消費経路は時間を通じて一定の消費を行う経路となる。

### 3. 平常時の経済成長経路

#### 3.1 均衡条件

最終財部門の企業が中間財をすべて国内の企業から調達したと仮定した場合に国内市場で成立する中間財価格を  $q_d(t)$  とする。式(22)と中間財市場の需給一致条件

$$Y_1(t) = A_1 K_1^\alpha L_1^{1-\alpha} = Z_1^2(t) \quad (30)$$

より， $q_d(t)$ は次の式で表現される。

$$p(1-\beta-\eta)K_2(t)^\beta(A_1 K_1(t)^\alpha L_1^{1-\alpha})^{-\beta-\eta}L_2^\eta = q_d(t) \quad (31)$$

一方， $q_{im}$ は最終財部門が外国から中間財を輸入

するときの価格とする。 $q_{im}$  は外生的に決まり、一定と仮定する。最終財部門の企業は国外から中間財を輸入するか、国内の企業から調達するかを選択する。このとき企業はより低い価格で調達できる方を選ぶ。すると、 $q(t)$  は次の条件式から決定される。

$$q(t) = \min\{q_d(t), q_{im}\} . \quad (32)$$

本稿では経済が次の条件を満たす状態からスタートすると仮定する。

$$q_d(t) \leq q_{im} . \quad (33)$$

この場合、最終財部門の企業はすべての中間財を国内の企業から調達する。そのため国内の中間財の需給は一致し、式(30)が成立し、価格は国内の均衡から  $q_d(t)$  に決まる。また家計も含めた大域的な均衡条件は

$$\begin{aligned} \dot{A}s + I_1 + I_2 &= rAs + pY_2 \\ + qY_1 - qZ_1^2 - C - I_1T(I_1 / K_1) \end{aligned} \quad (34)$$

となる。右辺は経常収支、左辺は資本収支を表す。

### 3.2 定常状態の存在

企業部門の一階条件は式(2) (7) (10) (11) (13) (19) (21) (22)からなる。(32)(33)から中間財の価格は国内の中間財の需給一致条件(30)から決まる。一階条件と(30)に留意して整理すると、最終的に式(2)(13)と横断性条件(7)(19)、初期値、以下の3式からなる微分方程式系が得られる。

$$I_1 / K_1 = (-1 + \mu) / \gamma \quad (35)$$

$$pB\beta K_2^{\beta-1} K_1^{\alpha(1-\beta-\eta)} \Theta = r \quad (36)$$

$$\begin{aligned} pB\alpha(1-\beta-\eta)K_2^\beta K_1^{\alpha(1-\beta-\eta)-1} \Theta \\ + (-1 + \mu)^2 / (2\gamma) - \mu r = -\dot{\mu} \end{aligned} \quad (37)$$

この微分方程式系において  $\dot{K}_1 = 0$  ,  $\dot{\mu} = 0$  とすることにより定常状態での資本量  $K_1^*$  ,  $K_2^*$  , が以下のように求まる。

$$K_1^* = \left( \frac{Bp\beta}{r} \right)^{\frac{1}{\theta}} \left( \frac{\alpha(1-\beta-\eta)}{\beta} \right)^{\frac{1-\beta}{\theta}} \Theta^{\frac{1}{\theta}} \quad (38)$$

$$K_2^* = \left( \frac{Bp\beta}{r} \right)^{\frac{1}{\theta}} \left( \frac{\alpha(1-\beta-\eta)}{\beta} \right)^{\frac{\alpha(1-\beta-\eta)}{\theta}} \Theta^{\frac{1}{\theta}} \quad (39)$$

ただし、 $\theta = (1-\alpha)(1-\beta) + \alpha\eta$  ,  $B = A_1^{1-\beta-\eta} A_2$  ,  $\Theta = L_1^{(1-\alpha)(1-\beta-\eta)} L_2^\eta$  , とおいた。このとき、シャドウプライスについて  $\mu^* = 1$  , 投資量について  $I_1 = 0$  ,  $I_2 = 0$  が成り立つ。式(2)(10)(19)(20)(21)はさらに以下の式(24)(25)のように書き換えることができる。

$$\dot{K}_1 / K_1 = (-1 + \mu) / \gamma \quad (40)$$

$$\begin{aligned} pB\alpha(1-\beta-\eta)\omega^{-\frac{\beta}{1-\beta}} K_1^{\alpha-1-\frac{\alpha\eta}{1-\beta}} \Theta \\ + (-1 + \mu)^2 / (2\gamma) - \mu r = -\dot{\mu} \end{aligned} \quad (41)$$

ただし、 $\omega = (K_2^*)^{\beta-1} (K_1^*)^{\alpha(1-\beta-\eta)}$  とおいた。これを  $K_1^*$  ,  $\mu^*$  のまわりで線形化すると、

$$\begin{pmatrix} \dot{K}_1 \\ \dot{\mu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & K_1^* / \gamma \\ \Omega & r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_1 - K_1^* \\ \mu - \mu^* \end{pmatrix} \quad (41)$$

となる。ただし

$$\Omega = \frac{r}{K_1^*} \frac{(1-\alpha)(1-\beta) + \alpha\eta}{1-\beta} > 0 \quad (43)$$

とおいた。これを位相図に描くとFig. 2のようになり、定常状態とそこに至る鞍点経路が存在することがわかる。

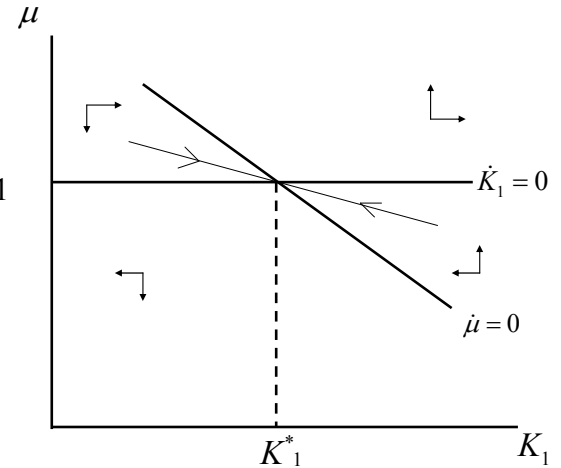


Fig. 2 Existence of steady state and saddle point path

また各産業部門の雇用量や賃金率は、定常状態における労働市場の均衡から決定され、その値から変化をしないと仮定する。この労働市場の均衡においては、両部門での限界価値生産物が等しくなり、それが賃金率に一致する。すなわち

$$q \frac{\partial F}{\partial L_1} = p \frac{\partial H}{\partial L_2} = w, \quad (44)$$

が成り立つ。これと中間財市場の需給一致条件、労働市場の需給一致条件  $L_1 + L_2 = L$  に留意することで、定常状態の各産業部門の雇用量が決まる。

### 3.3 消費

$\rho = r$  の場合、最適な消費経路は常に一定の消費水準をとることになる。予算制約式を積分し、NPG条件を用いるとその値  $C_0$  は効用関数によらず、

$$\frac{r}{p} \left( As(0) + \int_0^\infty (pY_2 - \Phi(I_1, K_1) - I_2) e^{-rt} dt \right) \quad (45)$$

となる。ただし、調整費用を含めた投資量を  $\Phi(I_1, K_1)$  とおいた。

### 3.4 貯蓄

家計は所得から消費を差し引いた分を対外資産によって貯蓄する。貯蓄  $As$  は予算制約式と  $C_0$  の値を用いて

$$wL + \pi_1 + \pi_2 - r \int_0^\infty (wL + \pi_1 + \pi_2) e^{-rt} dt = As \quad (46)$$

と書ける。これは将来所得の現在価値に基づく消費を上回る収入がある場合には貯蓄がなされるが、そうでない場合にはその取り崩しが生じることを意味する。

### 3.5 投資

中間財部門の投資は式(19)から求まる。最終財部門の投資は式(20)を満たすように各期の  $K_1$  の値に応じて  $K_2$  を調整するように決まる。ただし投資の不可逆性を考慮するものとする。

### 3.6 移行動学

初期の資本ストック  $K_1(0)$  が与えられると、それに対する  $\mu$  が saddle point path から決まる。すると中間財部門の投資が式(19)から決まる。例えば  $K_1(0) < K_1^*$  のときは投資により資本が蓄積され、生産が増加していく。それにともない  $\mu$  が低下していき、やがて定常状態に達する。このとき、最終財部門の資本も定常状態の値に収束する。

## 4. 災害後の経済回復過程の分析

定常状態のある時点  $\tau$  で災害が生起するとする。本研究では災害により中間財部門の資本のみが離散的に減少するシナリオを想定する。減少したあとの資本量を  $K_1^-$  とする。被災後、中間財部門の企業は  $K_1^-$  を所与として、被災時点で評価したキャッシュフローの現在価値を災害化するように投資、資本の経路を決定する。ただし被災後の労働市場の変化は取り扱わないものとし、労働賃金率や各生産部門の雇用労働量は被災前の均衡から決定される水準から変化しないと仮定する。この節では、中間財の代替にかかる費用の大きさを変えて、被災後の経済成長経路を比較する。

以下では  $\tau = \tau^+$  において条件(33)が成り立つかどうかによって、2つのパターンの経済成長経路が現れる。これは  $q_{im}$  の大きさ、すなわち中間財の代替にかかる費用の大きさによって決まる。代替費用が高く、条件(33)が  $\tau = \tau^+$  において成り立つ場合、最終財企業は被災地外から中間財を輸入することはない。代替費用が低く、条件(33)が  $\tau = \tau^+$  において成り立たない場合、最終財企業は被災地外から中間財を輸入する。以下ではこの2つのパターンが詳細に分析される。

### 4.1 ケース1：中間財の代替にかかる費用が高い場合

はじめに、中間財の代替にかかる費用が高く、すなわち  $q_{im}$  が高く、条件(33)が  $\tau = \tau^+$  において成り立つ場合を考える。この場合、最終財企業は被災地外から中間財を輸入することはない。よって中間財市場の国内の需給一致条件(30)が満たされる。各産業部門で投資の不可逆性が拘束的にならないと仮定すると、ハミルトニアンを用いて一階条件を求め、平常時と同様の一階条件式(2) (9) (10) (11) (13) (21) (22)と市場均衡条件が得られる。これらと初期値によって被災後の経済成長経路が決まる。しかし調整費用の存在から、中間財部門の生産は瞬時には回復せず生産の低下が生じる期間が存在する。最終財部門が被災しない場合、被災直後にその資本量は変化しないために、式(36)から求まる最適な水準よりも最終財部門において資本が余分にあることになり、その限界生産性が低下する。これは最終財部門の資本の  $\tau$  時点でのシャドウプライスが1を下回ることになる。このとき最終財部門にとっては、所有する

資本が価格 1 で売却できるならば、負の投資をすることが最適となる。負の投資にかかる調整費用がゼロであれば、最終財部門は瞬時に資本を売却し最適な資本の水準に調整する。しかし実際には、一度導入した資本を導入時と同じ価格で売却することは難しい。本研究では一度導入した資本の売却の際の価格が非常に低いと仮定する。このとき最終財部門はすでに導入してある資本を売却することはせず、資本を被災前のまま据え置いておくことを選択する。すなわち  $I_2 = 0$  となる。このとき復旧過程を表す方程式は式(40)と以下の式と横断性条件(7)、初期値からなる。

$$pB\alpha(1-\beta-\eta)(K_2^*)^\beta K_1^{\alpha(1-\beta-\eta)-1}\Theta + (-1+\mu)^2/(2\gamma) - \mu r = -\dot{\mu} \quad (47)$$

中間財部門の資本が減少することで中間財部門の資本の生産性が上昇し、シャドウプライスが上昇する。その後、中間財部門の資本の回復とともに元の均衡点まで戻ってくる。もとの均衡点に達したとき、最適資本比率が達成される。中間財部門の資本の生産性が上昇することから、株主である家計にとっては復旧のための資金を調達するインセンティブがある。家計にとっては中間財部門への資金供給による収入の増加分が利子所得の機会費用に一致するまでは資金供給を行う。この資金供給によって家計は負債を増加させる。その効果が残存しつづけることから、消費は資本や生産の復旧した後も長期的に低下したままとなるのである。

以上で述べたことを数値計算を用いて図示してみる。関数は前出のものを用い、 $\alpha=0.75$ ,  $\beta=0.65$ ,  $\eta=0.25$ ,  $\gamma=0.5$ ,  $p=1000$ ,  $L=1$ ,  $A_1=20$ ,  $A_2=1$  として数値計算を試みた。ただし平常時における対外資産、すなわち  $As(\tau)$  をゼロとおいた。中間財部門の99%が失われる場合を計算した。数値計算には先行研究に倣い、Time Elimination Method (Mulligan and Sala-i-Martin, 1993) を用いた。

Fig. 3 に各産業部門と家計部門の復旧過程の数値計算の結果を示す。Fig.3のパネル (a) と(b)は中間財部門と最終財部門の資本の回復過程を示している。横軸は被災後の時刻を表している。値は定常状態の値で基準化されている。パネル(b) は最終財部門の資本が減少しないことで被災後も一定の値となっていることを表している。Fig.3のパネル(c)と(d)は中間財部門と最終財部門の生産量の回復過程を示したものである。パネル(d)は資本の損傷しない最終財部門でも災害後に減少していることを示している。同時に、

中間財の需給一致条件から、パネル(d)はGDPの回復過程をも示している。パネル(e)は中間財部門における復旧の投資を示している。パネル(f)は中間財の価格を示すものである。パネル(f)をみると、中間財の価格が災害後に上昇することがわかる。パネル(g)は家計の対外資産の推移を示している。パネル(g)では災害後に対外資産が負の値として増大していくことが示されている。これは災害後に家計の対外負債が増加することを示している。これは家計が借入によって中間財部門の復旧の資金を確保し、中間財部門に資金を供給することによって生じる。これは中間財部門が生み出す限界生産物の価値が被災後に市場利子率を上回ることから生じる。パネル(h)は家計の消費の推移を示している。パネル(h)は家計の消費がGDPが回復した後も低下したままになっていることを示している。これは家計の負債が増加し、利子支払いが増加することによって生じると考えることができる。すなわちGDPが被災前の水準に回復したあとも、負債の増加の影響が長期的に家計の消費の減少の形で残存する可能性があることがここまでの議論から示唆される。

#### 4.2 ケース 2：中間財の代替にかかる費用が小さい場合

中間財の代替にかかる費用が小さく、すなわち  $q_{im}$  が低く、条件(33)が  $\tau = \tau^+$  において成立しない場合を考える。この場合、被災直後、条件(32)から  $q(t) = q_{im}$  が導かれる。被災地内の最終財企業は被災地外から中間財を輸入することを決定する。もし投資の不可逆性を考慮しない場合、一階条件は  $q(t) = q_{im}$  の条件の下で、(2) (10) (11) (13) (20) (21) と、横断性条件(7) (19)からなる。式(20) (21)を  $K_2$ ,  $Z_1^2$  についてとくと、

$$K_2 = (pA_2\beta/r)^{1/\eta} (r\sigma/(q\beta))^\sigma L_2 \quad (48)$$

$$Z_1^2 = (pA_2\beta/r)^{1/\eta} (r\sigma/(q\beta))^{(1-\beta)/\eta} L_2 \quad (49)$$

が得られる。ただし  $\sigma = 1 - \beta - \gamma$  とおいた。いま  $q^* < q_{im}$  が成り立っているので、式(48)から、最終財部門の企業は資本量を  $K_2^*$  から減少させようとする。よってケース 1 と同様に、投資の不可逆性の条件が制約的となり、 $I_2 = 0$  となる。このとき経済は式(2), (10), (11), (22)と  $K_2 = K_2^*$  に従って成長を始める。これらの式から、式(40)と次式からなる微分方程式系が得られる。

$$q_{im}A_1\alpha K_1^{1-\alpha}L_1^{1-\alpha} + (-1+\mu)^2/(2\gamma) + \dot{\mu} = \mu r \quad (50)$$

以下では  $K_1^{**}$  と  $\mu^{**}$  を式(40)と(50)に  $\dot{K}_1 = \dot{\mu} = 0$  を代入して得られる値とする。式(40)(50)を  $K_1^{**}$ ,  $\mu^{**}$  のまわりで線形化すると

$$\begin{pmatrix} \dot{K}_1 \\ \dot{\mu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & K_1^{**}/\gamma \\ \Omega_l & r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_1 - K_1^{**} \\ \mu - \mu^{**} \end{pmatrix} \quad (51)$$

が得られる。ただし

$$\Omega_l = q_{im} A_1 \alpha (1 - \alpha) (K_1^{**})^{\alpha-2} L_1^{1-\alpha} > 0 \text{ である。}$$

よって式(40)(50)は定常状態とそこに至る鞍点経路が存在することがわかる。

資本が回復するに従い,  $K_1$  が増加し  $q_d$  は低下す

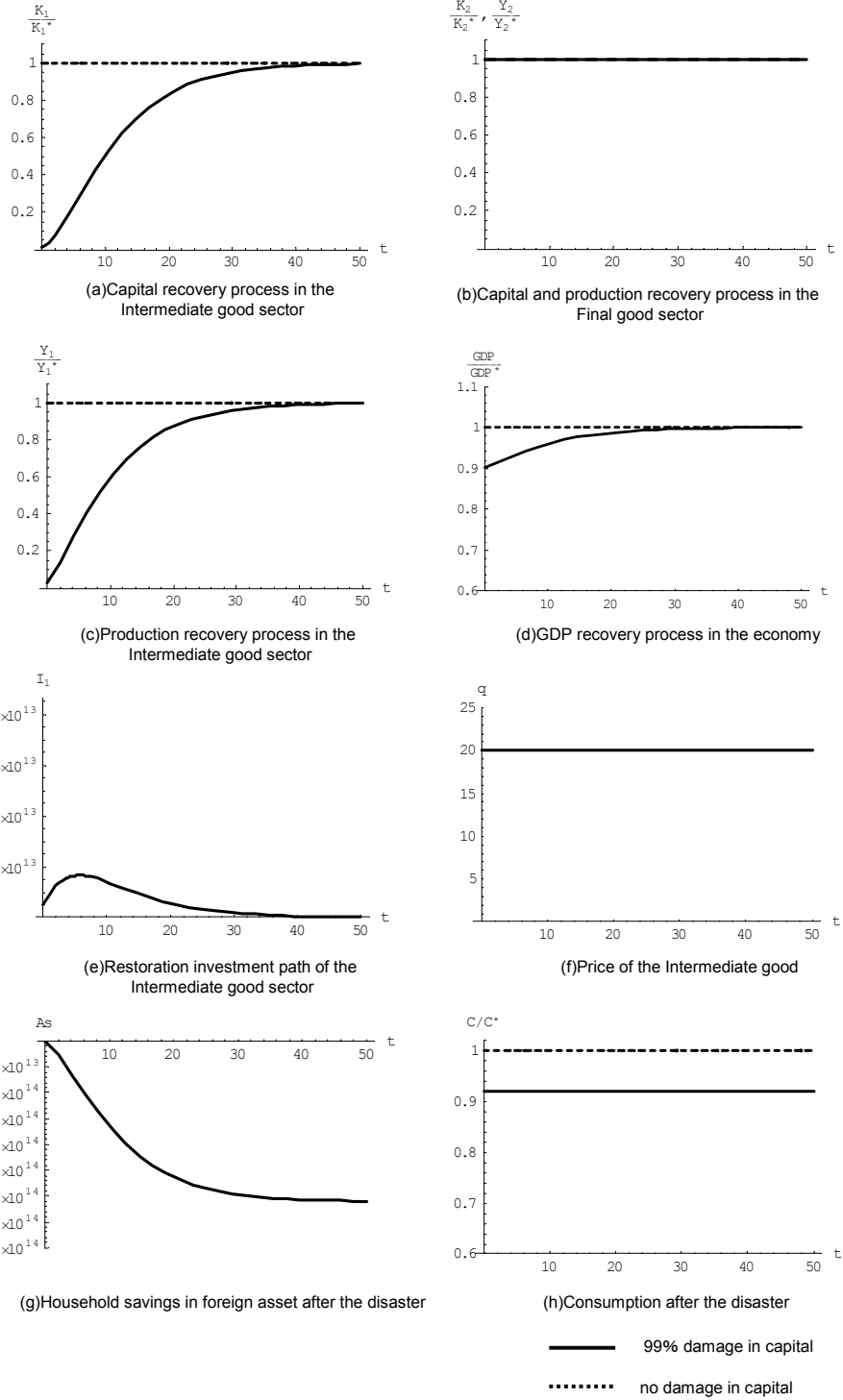


Fig3 A numerical simulation for a restoration process after a disaster when the cost of substitution is high

る。するといずれ、条件(33)が満足する水準まで $q_d$ が低下する。以下では $q_d = q_{im}$ を満足するような $K_1$ の値を $K_1^{***}$ とおくことにする。ひとたび式(33)が成立し $K_1$ が $K_1^{***}$ の水準に達すると、最終財部門の企業は中間財を国外から輸入することをやめ、国内の中間財企業から調達しはじめる。するとこのあと経済はケース1と同じ条件式に基づいて成長を始める。

Fig.4 はこのケースの1つの数値計算例である。シミュレーションを単純化するために、本稿では代替の費用がゼロという極端なケースを例に挙げる。このとき $q_{im} = q^*$ が成り立つ。生産関数や調整費用関数は前出のものを用い、パラメーターの値や中間財部門の資本の被害程度もケース1と同じとする。

Fig. 4のパネル(a)は中間財部門の資本の回復過程を示している。値は定常状態の値で基準化されている。パネル(b)は最終財部門の資本と生産の推移を示したものである。いま $q_{im} = q^*$ としているため、ケース1と異なり、カスケード効果が生じない。そのため最終財部門の生産減少は現れない。Fig. 5のパネル(c) (d)は中間財部門の生産の推移とGDPの推移である。Fig. 3とFig. 4のGDPの回復過程を比較すると、以下のようなことがわかる。中間財部門の資本の99%が被災するシナリオでは被災直後のGDPの低下幅はケース2よりケース1の方が大きい。これは中間財の代替にかかる費用が大きいことでカスケード効果が生じ、GDPを大きく低下させることを意味している。一方、GDPの回復スピードはケース1の方が早い。これは復旧の投資がケース1においてより迅速になされることによって生じる。これはFig. 4のパネル(a) (e)によって示される。これは以下のような構造に基づいて説明される。被災直後、中間財価格 $q$ はケース1の方がより高いため、中間財部門の資本の限界生産物の価値はケース1の方が大きい。このことがケース1においてより復旧の投資を促すことになる。

このことは言い換えれば次のように解釈をすることができる。中間財の代替の費用が高い場合、カスケード効果により経済被害が拡大するために復旧のインセンティブが高い。一方で代替の費用が高くない場合、カスケード効果は生じず経済被害は比較的大きくならない。そのために復旧のインセンティブは比較的高くない。

以上のように、中間財の代替の費用が経済被害の大きさだけでなく、経済の回復スピードにも影響する可能性があることを示すことができた。

## 5. 中間財の代替にかかる費用の大きさが経済被害総額に与える影響

次に中間財の代替にかかる費用の大きさが経済被害総額に与える影響を分析する。上述の通り、代替の費用が経済被害の大きさだけでなく、経済の回復スピードにも影響するならば、カスケード効果が最終的に被害を拡大させるかどうかは自明ではない。それを評価するには回復の過程も考慮して被害を評価する必要がある。しかし回復の過程も考慮して被害を評価する方法については根強い混乱があり、しばしば二重計算をとまなう計測がなされることもある(Rose, 2004; Cochrane, 2004)。著者ら(2008)はこのような現状に問題意識をもち、経済の回復の過程も考慮した場合の経済被害総額を整合的に評価する方法を提案してきた。それによれば経済被害総額は各産業部門の付加価値減少額の現在価値と復興のための投資額の和で評価することができる。

Table1は上述のケース1とケース2の数値計算例において、著者らの方法に従って被害総額を求めたものである。Table.1 においてForegone Net Revenueとは各産業が生み出す付加価値の減少額を示す。そのうちPrimary Effect とはカスケード効果が生じない場合の被害額を示し、Cascade Effect とはカスケード効果が生じることによる被害の拡大分を示す。各項目のCascade Effect の値は、カスケード効果が生じない場合の被害の値と、カスケード効果が生じる場合の被害の値を計算し、その差を計算することで求めている。Table.1 を見ると、中間財の代替にかかる費用が大きい場合の方が経済被害総額が大きいことがわかる。それは代替の費用が小さい場合の約1.5倍である。言い換えれば、カスケード効果によって経済被害が1.5倍にも拡大される効果がある可能性があることが示されたといえる。Table.1 において、中間財部門のForegone Net Revenue (Cascade Effect) は負の値である。これは2つの要因から生じている。1つは、代替の費用が高い場合には中間財部門の生産の回復スピードが速いことである。もう1つは、代替の費用が高い場合には中間財価格の上昇があることである。これらにより代替の費用が高い場合の方が中間財部門の生産減少額が小さくなっているのである。また中間財部門のRestoration Investment (Cascade

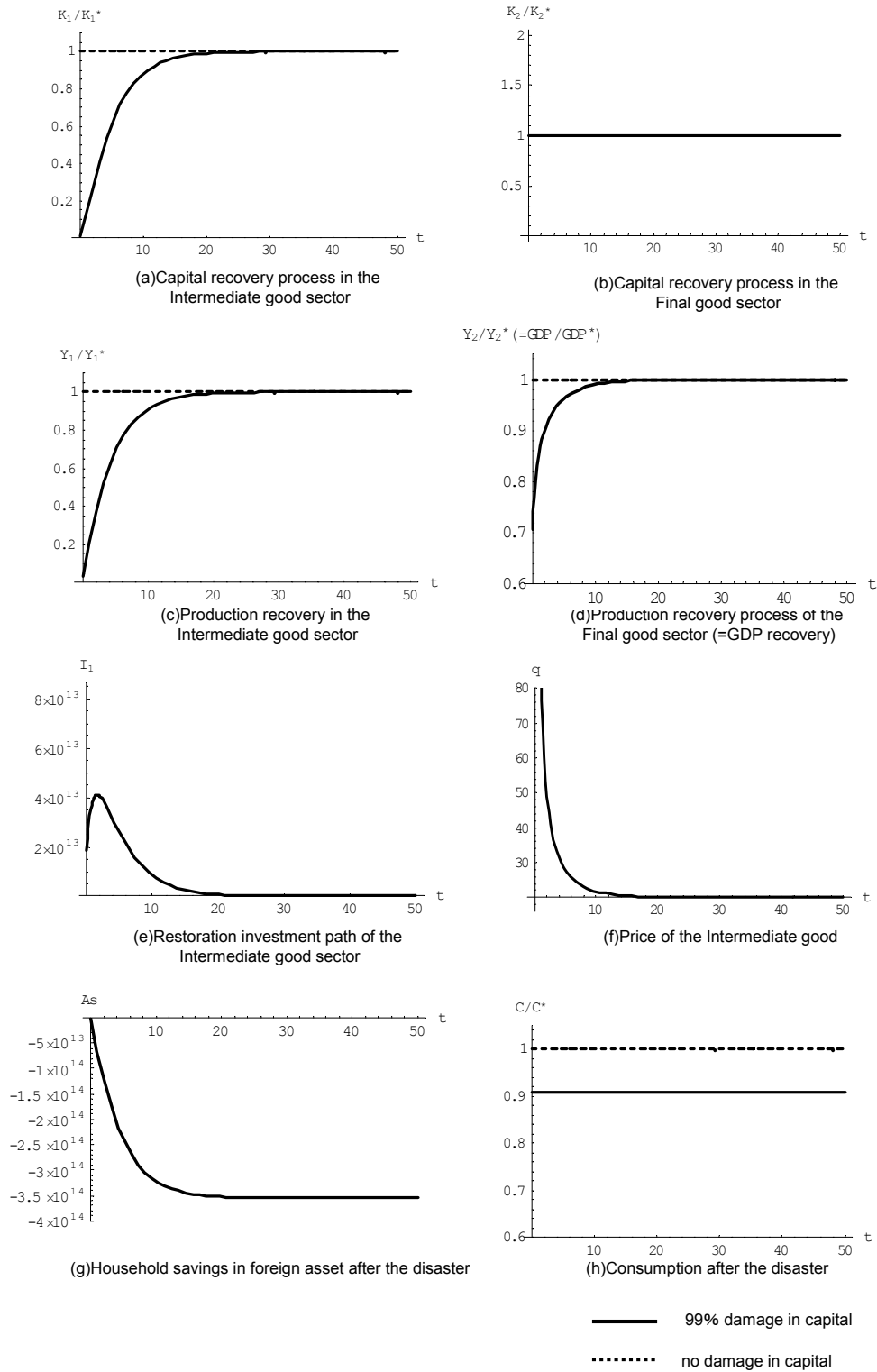


Fig.4 A numerical simulation for a restoration process after a disaster when the cost for substitution is high

Effect) は正の値である。これは中間財が非代替的である場合の方が被災直後により大きな復興投資が行われるからである。また、最終財部門の Foregone Net Revenue (Cascade Effect) は中間財が非代替的である場合に正であり、その影響

が経済被害総額の拡大において最も大きな影響を及ぼしている。

Table 1: Comparison of total economic loss and its contents between the cases in which the cost of substitution is high and low

|                          |                                 | Cost of Substitution of Intermediate good |      |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|------|
|                          |                                 | High                                      | Low  |
| Intermediate good sector |                                 |                                           |      |
| Foregone Net Revenue     | (Primary Effect)                | 3.01                                      | 3.01 |
|                          | (Cascade Effect)                | -2.70                                     | 0    |
| A                        | Foregone Net Revenue Subtotal   | 0.31                                      | 3.01 |
| Restoration Investment   | (Primary Effect)                | 0.52                                      | 0.52 |
|                          | (Cascade Effect)                | 1.72                                      | 0    |
| B                        | Restoration Investment Subtotal | 2.24                                      | 0.52 |
| Final good sector        |                                 |                                           |      |
| Foregone Net Revenue     | (Cascade Effect)                | 2.87                                      | 0    |
| C                        | Foregone Net Revenue Subtotal   | 2.87                                      | 0    |
| Total loss=A+B+C         |                                 | 5.44                                      | 3.03 |

× 10<sup>14</sup>

## 6. まとめ

本稿は地域間の中間財の代替にかかる費用に着目し、それが被災後の経済回復過程に及ぼす影響について考察した。そのために中間財を考慮した経済成長モデルを構築した。本稿は中間財の代替にかかる費用がカスケード効果によって経済被害が拡大する重要な要因となることを指摘した。その上で、代替の費用が経済被害の大きさだけでなく、経済の回復スピードにも影響を与える可能性があることを示した。代替の費用が高い場合、被災直後に中間財価格がより上昇するため、中間財部門の資本の限界生産物の価値が大きくなる。このことがより復旧の投資を促すことになる。このことは言い換えれば、中間財の代替の費用が高い場合、カスケード効果により経済被害が拡大するために復旧のインセンティブが高くなると解釈することができる。

一方、代替の費用が高くない場合、カスケード効果は生じず経済被害は比較的大きくならない。そのために復旧のインセンティブは比較的高くない。そのためこの場合は回復のスピードが比較的に速くない。

本稿では2つの単純な場合について経済の回復過程の数値計算例を示した。今後は代替の費用に関する他のケースについても計算を試みる必要があろう。

本稿の主要な目的は著者らの基本的なアイデアを示すことであり、そのためにモデルの設定は実際の

地域経済を表現できるものとはなっていない。そのため本稿で示すモデルは実際の地域経済の回復過程を推定するものではない。今後はCGEモデルなどの地域経済モデルを用いて実際の地域経済の回復過程を推定できるようにする必要がある。

## 参考文献

- 中野一慶・多々納裕一(2008): 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, Vol.25, No.1, pp.255-266.
- Alabala-Bertrand. J.M., (1993): The Political Economy of Large Natural Disasters with special reference to developing countries, Oxford.
- Barro R.J.and X.Sala-i-Martin, Economic Growth, 2nd-ed, MIT-Press, 2004.
- Blanchard O.J. and S.Fisher.(1989): Lectures on Macroeconomics, MIT Press
- Benson and Clay(2004): Understanding the economic and financial impacts of natural disasters, World Bank.
- Cochrane H. (2004): Economic loss: myth and measurement, Disaster Prevention and Management, Vol.13, No.4, pp290-296.
- D.Cass,.(1965) "Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation", Review of Economic

- Studies, vol.32, pp.233-240.
- J.C.Cuaresma, J.Hlouskova and M.Obersteiner (2008): Natural Disasters as Creative Destruction? Evidence from Developing Countries, *Economic Inquiry*, Vol.46, No.2, pp.214-226.
- D.C.Dacy and H.Kunreuther, (1969): *The Economics of Natural Disasters*, The Free Press.
- Ellson R.W., J.W.Milliman, and .B. Roberts, "Measuring the regional economic effects of earthquakes and earthquakes predictions", *Journal of Regional Science*, vol.24, no.4, pp.559-579, 1984.
- F.Hayashi, (1982) "Tobin's marginal and average q: a neoclassical interpretation", *Econometrica*, vol.50(Jan.), pp.213-224.
- M.Ikefuji and R.Horii (2006): Natural disasters in a two-sector model of endogenous growth, *Discussion Papers in Economics and Business*, Osaka University.
- T.C.Koopmans, "On the concept of optimal economic growth" in *The Economic Approach to Development Planning*, Amsterdam:North-Holland, 1965.
- C.B.Mulligan and X.Sala-i-Martin, (1993) "Transitional dynamics in two-sector models of endogenous growth", *The Quarterly Journal of Economics*, vol.108, no.3, pp.739-773.
- Y.Okuyama, G.J.D.Hewings, and M.Sonis, "Measuring Economic Impacts of Disasters: Interregional Input-Output Analysis Using Sequential Interindustry Model", in *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disaster*, Y.Okuyama and S.E.Chang, Eds. *Advances in Spatial Science*, Springer, 2004, pp.13-36.
- Okuyama, Hewings, and Sonis, (1999) "Economic Impacts of an Unscheduled, Disruptive Event: A Miyazawa Multiplier Analysis", in Hewings, Sonis, Madden and Kimura (eds) *Understanding and Interpreting Economic Structure*, Berlin, Germany; Springer- Verlag, pp.113-144.
- Rose, A. (2004) "Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation", in Okuyama, Y. and Chang, S.(eds) *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disaster*, Springer, pp.13-36.
- A.Rose,, J.Benavides, S.E.Chang, P.Szczesniak, and D.Lim, (1997): "The Regional economic impact of an earthquake: Direct and indirect effects of electricity lifeline disruptions", *Journal of Regional Science*, Vol.37, pp.437-458.
- A.Rose and G.S.Guha, (2004): "Computable general equilibrium modeling of electric utility lifeline losses from earthquakes", in Y.Okuyama and S.E.Chang, Eds., *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disaster*, Springer, 2004, pp.119-142."
- Rose.A, Liao.S.Y.(2005): Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions, *Journal of regional science*, Vol.45, No.1, pp.75-112.
- F.P.Ramsey, (1928) "A Mathematical theory of saving", *Economic Journal*, vol.38, no.152, pp.543-559, 1928.
- Skidmore and Toya: Do Natural Disasters Promote Long-run Growth?, *Economic Inquiry*, Vol.40, No.4, pp.664-687.
- R.Tol and F.P.M.Leek, (1999) "Economic analysis of natural disasters", in *Climate, Change and Risk*, T.E.Downing, A.A.Olsthorn and R.Tol, Eds., Toutledge, pp.308-327.
- S.Turnovsky, *International Macroeconomic Dynamics*, MIT Press, 1997.

**Economic Recovery Process Taking into Account the Cost of Substitution of Intermediate Goods:  
Based on a Two-sector Economic Growth Model**

Kazuyoshi NAKANO\* and Hirokazu TATANO

\* Graduate School of Informatics, Kyoto University

**Synopsis**

This paper focuses on the cost of substitution of intermediate goods and investigates how it affects economic recovery process after a natural disaster. This paper develops a economic growth model with final good sector and intermediate good sector to illustrate that the cost of substitution of intermediate goods is an important factor for expanding economic loss by inducing the "cascade effect." In addition, it illustrated that the cost of substitution can affect not only the amount of economic loss but also economic recovery speed.

**Keywords:** Cost of Substitution of Intermediate good, Economic recovery process, Cascade effect, Economic growth theory