

中間財の代替可能性が災害復興過程に及ぼす影響*

Substitutability of Intermediate Goods and Recovery Process from a Disaster*

中野一慶**, 多々納裕一***

By Kazuyoshi NAKANO**, Hirokazu TATANO***

1. はじめに

2007年の中越沖地震では、自動車部品を生産する企業の被災により、全国の自動車メーカーの生産が停止し全国的に大きな影響が生じた。このようにある生産部門の被災によって他の生産部門に経済被害が波及していく現象を「カスケード効果」という。カスケード効果は災害による経済的な影響を拡大する大きな要因の1つである。カスケード効果による影響はしばしば観察・報道されることがあるが、そのメカニズムについては十分に明らかにされてこなかった。リケンのケースでは、その製品の市場において非常に高いシェアを持っていたことで他の企業に代替生産が困難であることが原因となった。このようにカスケード効果の発生には中間財の代替可能性が大きく影響することが考えられる。従来、代替可能性のない財を生産する産業を持つ経済における災害リスクを考える場合には、カスケード効果によって被害の波及が生じうることのみが着目されることが多かった。しかし、リケンのケースでは、自動車メーカーは他社から代替的な調達を行うことができないため多くの人員を投入することですばやい復旧を行い、当初生産再開まで1ヶ月かかると見込まれていたがおおむね1週間程度で生産を再開することができた。この例から、被災企業が生産する財が非代替的であることは、復興の投資が早く行われ経済の復興が迅速化する効果を持つ可能性が高い。このように経済における中間財の代替可能性はカスケード効果の発生と同時に経済のレジリエンスを左右する要因の1つであると考えられる。カスケード効果が経済に及ぼす影響を議論するならば、被害の波及効果だけでなく災害復興も考慮した議論が必要となろう。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。

*キーワード：防災計画

**学生員，京都大学大学院情報学研究科

〒611-0011 宇治市五ヶ庄，Tel 0774-38-4037

E-mail: nakano@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

***正員，工博，京都大学防災研究所 社会防災研究部門

〒611-0011 宇治市五ヶ庄，Fax 0774-38-4308

E-mail: tatano@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

・カスケード効果発生の要因が中間財の代替可能性にあること

・非代替的な中間財を生産する企業の存在する経済では、カスケード効果が発生する一方で、迅速な復興が実現されること

なお本研究では地域外からの中間財の調達が可能かどうかによって中間財の代替可能性を表現することとした。そこで中間財市場が国内で閉じている場合と、中間財市場が開放的であり地域外から取引費用ゼロで調達できる場合の経済復興過程を比較することで分析を行う。

2. 中間財が非代替的である場合の災害復興過程

(1) 分権経済モデルの設定

(a) 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つの産業部門と、家計があるとする。中間財部門は最終財部門に中間財を供給する。本研究は中間財を扱う点で、Turnovsky and Sen²⁾のような既存の二部門開放経済成長モデルとは異なるといえる。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ると同時に、国内で閉じていると仮定する。すなわち、地域内には代替的に中間財を供給する企業が多数存在する一方で、輸送費用の存在のために輸入は生じず、国外の企業とは競争にならない状況を仮定する。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。

b) 中間財部門の行動の定式化

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。資本財は国際市場での均衡により価格が決まっていると、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。投資に設備の据付費用などの調整費用がか

かると仮定する。また、生産を Y_1 、投資を I_1 、資本を K_1 、賃金率を w 、調整費用関数を T 、雇用労働量を L_1 とする。最大化問題を以下のように定式化しよう。

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

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

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

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

ここで式 (2) は資本の蓄積式である。本研究が対象とする復興過程は数ヶ月の期間内のことなので、資本の減耗が復興過程に与える影響は大きくないと考え、本章では資本の減耗を取り扱わないこととする。調整費用 $I_1 T(I_1/K_1)$ は投資 I_1 と資本 K_1 に対し一次同次と仮定する。また式 (4) は投資の不可逆性の仮定を表している。また本研究では労働の変化を取り扱わないものとし、 L_1, w は定常状態における値で一定と仮定する。ハミルトニアンを用いた通常の方法を用いてこの最大化問題をとく。中間財市場が国内で閉じている二部門経済成長モデルは先行研究¹⁾において設定されたモデルに対応するため、ここでは一階条件の記述などを省略する。

c) 最終財部門の行動の定式化

最終財部門は、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。すなわち

$$\max \int_0^{\infty} (pY_2 - qZ_1^2 - I_2 - wL_2)e^{-rt} dt \quad (5)$$

$$s.t. \dot{K}_2 = I_2 \quad (6)$$

$$K_2(0) = \text{given} \quad (7)$$

$$I_2 \geq 0 \quad (8)$$

という最大化問題を解くことになる。ただし生産を Y_2 、投資を I_2 、資本を K_2 、雇用労働量を L_2 、投入する中間財の量を Z_1^2 と表す。中間財部門と同様、 L_2 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。同様にハミルトニアンを用いて最大化問題をとくことができる。

d) 家計の行動の定式化

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。対外資産を As 、消費を C 、時間選好率を ρ 、中間財部門の企業の配当を π_1 、最終財部門の企業の配当を π_2 とすると、家計は以下の最大化問題をとくことになる。

$$\max \int_0^{\infty} u(C)e^{-\rho t} dt \quad (9)$$

$$s.t. \dot{As} = wL + rAs + \pi_1 + \pi_2 - pC \quad (10)$$

$$As(0) = \text{given} \quad (11)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} As(t)e^{-rt} = 0 \quad (12)$$

労働市場は非弾力的であり、 w は一定とする。家計が供給する労働量 L は、各部門の労働量の和 $L_1 + L_2$ に一致する。式 (12) は Non Ponzi Game(NPG) 条件³⁾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。本研究では、開放経済モデルに見られる、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、多くの先行研究に倣い、 $\rho = r$ との仮定をおく。このとき消費は時間によらず消費は一定となる。図 1 は分権経済モデルの概要である。

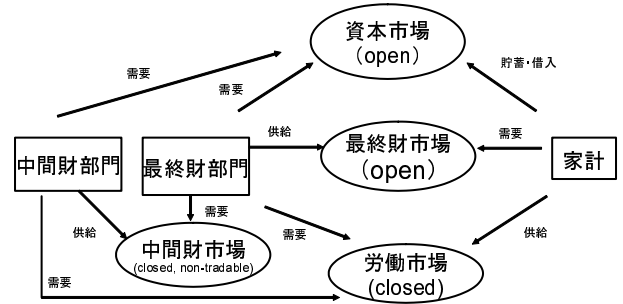


図 1: 中間財が非代替的である場合のモデルの概要

このように設定したモデルでは、定常状態とそこに至るまでの鞍点経路が存在することや、消費、貯蓄、投資などを決定する条件については先行研究で示されているため、ここでは割愛する。

(2) 災害の影響

定常状態のある時点 τ 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 K_1^* から K_1^- に減少するシナリオを仮定する。被災後、中間財部門、最終財部門はそれぞれ資本 K_1^- 、 K_2^* を所与として改めて将来のキャッシュフローの現在価値を最大化する。家計は対外資産 $As(\tau)$ を所与として改めて τ 以降の生涯効用を最大化する。ここでは数値計算を用いて災害後の経済の復興過程を分析する。生産関数は Cobb-Douglas 型を仮定し、

$$Y_1 = A_1 K_1^\alpha L_1^{1-\alpha}, Y_2 = A_2 K_2^\beta (Z_1^2)^{1-\beta-\eta} L_2^\eta \quad (13)$$

とする。調整費用関数は

$$T\left(\frac{I_1}{K_1}\right) = \frac{\gamma}{2} \frac{I_1}{K_1} \quad (14)$$

とする。 $\alpha=0.75, \beta=0.65, \eta=0.25, \gamma=10, p=1000, L=1, A_1=20, A_2=1$ 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。被災シナリオとして、中間財部門の資本の 99% が減少した場合と、20% が減少した場合を計算した。図 2 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。図 2 のパネル (a)(b) は中間財部門と最終財部門の資本の復旧曲線を示したものである。横軸は被災時点からの経過時間を現している。中間財部門で損傷した資本が、時間の経過と

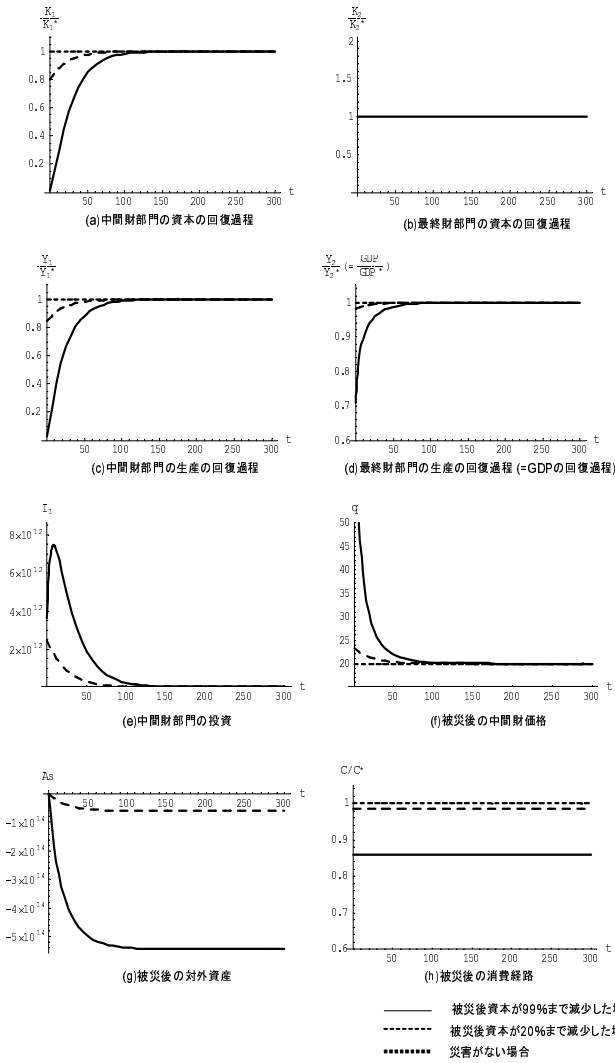


図 2: 数値計算例：中間財が非代替的である場合の経済復興過程

ともに回復していくことが表現できていることがわかる。パネル(c)(d)は中間財部門と最終財部門の生産量の回復曲線を示したものである。数値は定常状態の値で基準化している。パネル(d)から、資本の被災していない最終財部門でも生産の減少が生じていることがわかる。また中間財の国内需給が一致する条件から最終財部門の生産額はGDPそのものである。そのことから、パネル(d)は当該経済でのGDPの回復曲線を表しているといえる。パネル(e)は中間財部門の復興投資経路、パネル(f)は中間財価格の被災後の経路を示したものである。

3. 中間財が代替的である場合の災害復興過程

(1) カスケード効果発生の要因

次に中間財が代替可能であるケースを分析し、2章の場合と比較する。いま極端な場合として中間財市場がopenであり、国内市場における被災前の均衡価格 q^* で中間財が

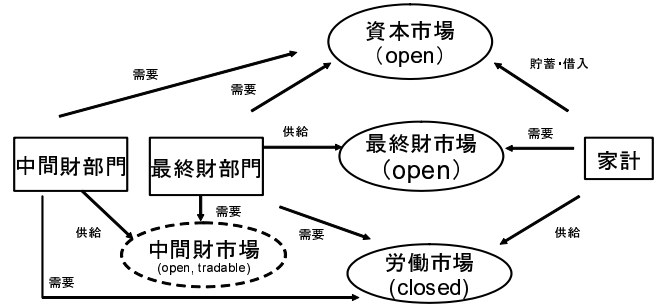


図 3: 中間財が代替的である場合のモデルの概要

国際市場より調達可能である状況を想定しよう。このときのモデルの概要を図4に示す。これは、国内および国外の中間財の生産技術に違いはなく、中間財生産の限界費用は一致しており、かつ、輸送費用などの取引費用がゼロである状況に相当する。このとき、各産業部門の行動は、中間財の調達価格 q^* が外生的に与えられる状況の下で、前章と同じ最大化問題を解くことになる。いま、生産関数と調整費用関数を2章の数値計算で用いたものと仮定すると、生産側の一階条件は

$$q^* A_1 \alpha K_1^{\alpha-1} L_1^{1-\alpha} + \frac{(-1 + \mu)^2}{2\gamma} - \mu r = -\dot{\mu} \quad (15)$$

$$\gamma \frac{I_1}{K_1} = -1 + \mu \quad (16)$$

$$p A_2 \beta K_2^{\beta-1} (Z_1^2)^{1-\beta-\eta} L_2^\eta = r \quad (17)$$

$$p A_2 (1 - \beta - \eta) K_2^\beta (Z_1^2)^{-\beta-\eta} L_2^\eta = q^* \quad (18)$$

$$\dot{K}_1 = I_1, \quad \dot{K}_2 = I_2 \quad (19)$$

と、横断性条件からなる。ただし μ は中間財部門の資本のシャドウプライスである。式(18)より、最終財部門では各時点の資本にあわせて、最適な中間財の量を一定の価格 q^* で国際市場から調達することがわかる。ただし定常状態における両部門の資本量が、中間財部門がCloseの場合と等しいと仮定する。このとき、中間財部門の資本が損傷し K_1^- まで減少しても、最終財部門の資本が減少しないのであれば、中間財への需要量も変化しない。このとき地域外から被災前と同じ価格 q^* で調達ができるならば、最終財部門の中間財投入量は変化せず、最終財の生産は低下しない。よって経済全体では、被災した中間財部門にのみ影響が生じることになる。このとき、カスケード効果は生じない。すなわち中間財の代替的な調達可能性に着目した場合、「カスケード効果発生の要因は中間財の代替可能性にある」ことがわかる。

(2) 復興スピードの比較分析

次に災害復興過程を数値計算によって求める。2章と同様、 $\alpha=0.75, \beta=0.65, \eta=0.25, \gamma=10, p=1000, L=1, A_1=20, A_2=1$ として数値計算を試みた。被災シナリオ

として、中間財部門の資本の99%が減少した場合と、20%が減少した場合を計算した。計算結果を図4に示す。図4のパネル(c)は中間財部門の生産の回復曲線、パネル(d)がGDPの回復曲線を示したものである。縦軸の数値は定常状態の値で基準化している。横軸は被災時点からの経過時間を現している。図4のGDPの回復曲線のパネルを図2におけるGDPの回復曲線のパネルと比較することで以下のことがわかる。中間財部門の資本が99%壊れるというシナリオにおいて、中間財が非代替的である場合の方が、代替的である場合に比べて被災直後のGDPの落ち込みが大きい。すなわち中間財が非代替的であればカスケード効果が生じ、被災直後のGDPの低下幅が増大する効果があることが見て取れる。一方で被災後のGDPの回復のスピードは中間財が非代替的である場合の方が早い。これは中間財部門において、大きな復興投資が早期に行われ、その資本の回復が早いことに起因する。図4のパネル(a)は中間財部門の資本の復旧曲線、パネル(b)が最終財部門の資本の復旧曲線を示したものである。図2のパネルと比較することで、中間財が代替的である場合の方が、中間財の資本の復旧スピードが遅いことが見て取れる。また図4のパネル(e)は中間財部門の復興投資経路、パネル(f)が中間財価格の被災後の経路を示したものである。図4の中間財部門の復興投資経路を図2と比較すると、中間財が非代替的である場合の方が、大きな復興投資が早期に行われることがわかる。これが中間財部門の資本、生産、及びGDPの早期回復を可能にしている。これは中間財が非代替的であるために最終財部門への影響を抑えようと、復旧のインセンティブがより大きく働くことによると考えられる。中間財が代替的である場合には最終財部門へ影響が波及しないため、経済全体としての影響は小さく、復旧のインセンティブは大きくない。以上より「非代替的な中間財をもつ企業の存在する経済ではカスケード効果が生じる一方で、復興が迅速に行われる」ことが示せた。

こうした状況は実際の災害後にも観察される。例えば新潟県中越地震で被災した旧新潟三洋電子は、他社でも代替可能な半導体製品を製造していたため、他産業への影響は少なかった一方で、取引先が他社の製品に切り替えるなどの影響をもたらした。その影響により、地震後、旧新潟三洋電子は中越地域での生産を縮小、グループ内の他事業所と統合される結果となった。一方で新潟県中越沖地震で被災したリケンケースでは、自動車メーカーは他社から代替的な調達を行うことができないため多くの人員を投入することですばやい復旧を行い、当初生産再開まで1ヶ月かかると見込まれていたがおおむね1週間程度で生産を再開することができた。

4. カスケード効果が経済被害総額に及ぼす影響

以上では、カスケード効果が生じる要因とその復興過程

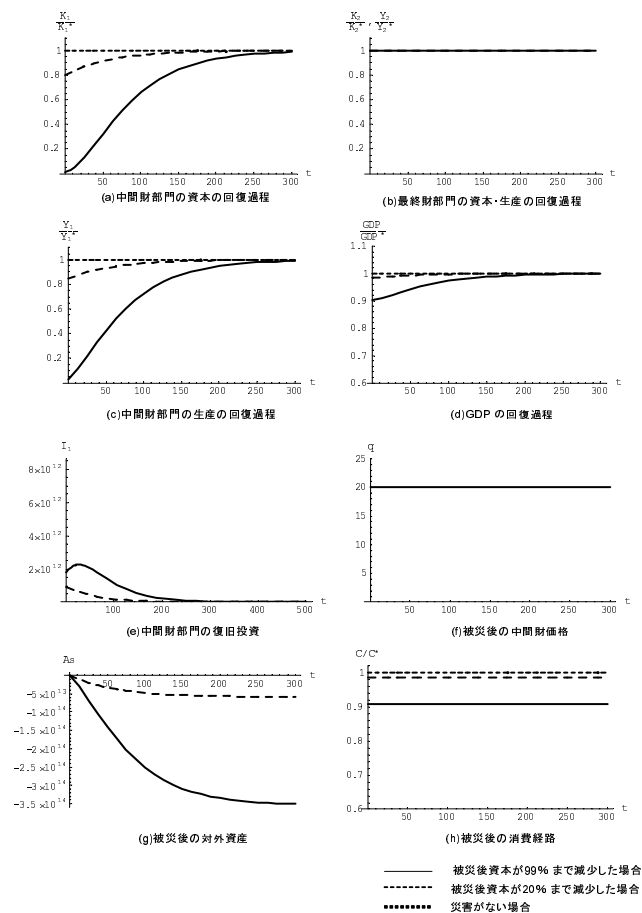


図4: 数値計算例：中間財が代替的である場合の経済復興過程

に及ぼす影響について考察してきた。本研究ではさらに、カスケード効果が経済被害額をどの程度拡大させるのかについても明らかにする。著者ら¹⁾は複数の産業部門を考慮した場合の経済被害の統合的評価方法について検討してきており、その結果カスケード効果による被害の拡大効果を計測する方法を提案してきている。本研究ではこの方法と数値計算例を用いて、総額としてどの程度カスケード効果が経済被害を拡大させるのかを明らかにする。こうした数値計算結果については講演時に譲る。

参考文献

- 1) 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統合的評価方法，土木計画学研究・論文集，(投稿中)。
- 2) S.J.Turnovsky, P.Sen, "Investment in a Two-Sector Dependent Economy", Journal of the Japanese and International Economics, Vol.9, pp.29-55, 1995.
- 3) Barro, R.J. and X. Sala-i-Martin: *Economic Growth* 2nd-ed, MIT-Press, 2004.