

企業の被災による経済被害の総合的評価方法に関する一考察 :開放経済下の経済成長モデルを用いて*

On A Method of Measuring Economic Losses from Damage of Firms*

中野一慶**, 多々納裕一***

By Kazuyoshi NAKANO**, Hirokazu TATANO***

1. はじめに

近年、大規模な災害に対するリスクマネジメントのため、防災・減災施策などの事前対策と、危機管理・災害対応・復興支援計画など事後的な対策の総合的な検討が要請されている。そのためには物的な被害に加え、フローの減少などの二次的な被害の評価が不可欠となる。災害の二次的な被害は、時間とともに変化し、ときには数年にわたって継続する。このため、その評価は、被災直後から復興過程に至るまで動的になされる必要がある。こうした二次的な被害を捉える枠組みとして、CGEモデルや産業連関表などの静的な枠組みが用いられることが多い。しかし、これらの分析方法は均衡の比較を前提としており、復興投資などによる動的な変化に対応づけることは容易ではない。そこで本研究では、大規模災害がもたらす経済被害を、開放経済下の経済成長モデル¹⁾を用いて検討し、企業の被災による経済被害の総合的評価方法の枠組みを理論的に検討する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 開放経済下の経済復興過程

本間ら²⁾は2種類の資本がある経済での復興過程をモデル化し、災害後の成長過程が災害前の経路と異なることを示した。本間らは閉鎖経済を扱い、災害後の最適成長経路では、災害が地域経済のフローへ及ぼす影響がレベル効果として持続する帰結となっている。しかし実際には、被災した地域の外から多くの資本が流入することで復旧や復興が進み、フローへの影響はいずれ観測されなくなることが考えられる。この場合、災害の影響は、生産面のフローではなく、対外的な負債の増加として残存することになる。本研究では開放経済モデルを構築し、資本ストックの損傷と地域外からの資本の流入が復興過程に及ぼす影響について分析する。

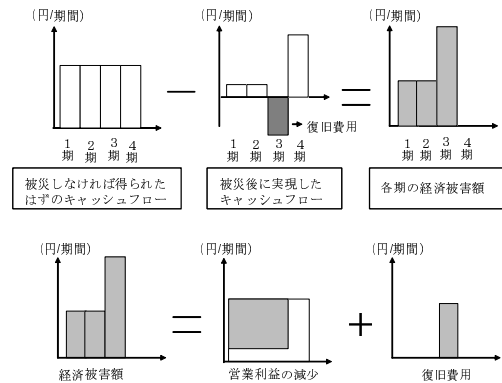


図 1: キャッシュフローと一企業の経済被害

(2) 被害評価の考え方

著者ら³⁾は、企業部門における経済被害評価の方法として、災害がない場合と比較した各期のキャッシュフローの差額の和で評価するのが総合的な方法であることを提案し、それは復旧に要した投資額と、操業利益(売上から減価償却費以外の営業費用を控除したもの)の減少額の和と等価であることを示した(図1)。本研究では家計部門も考慮したマクロ経済の枠組みを考慮し、生産資本の損傷が家計に影響を与える状況のもとでも、この方法が理論的に総合的であることを明らかにする。

3. 中央集権経済における被害評価についての考察

(1) モデルの前提

開放経済下の中央集権経済を考える。災害は $t = \tau$ 時点で生起するとする。災害により生産資本の損傷が起こった後、社会計画者は残存資本を初期値として改めて将来の消費経路を計画する。いま当該地域における人口変化はないものと仮定する。当該地域における資本の量を K で表し、生産技術を

$$F(K) = AK^\alpha \quad (1)$$

とする。代表的家計の瞬時的効用を

$$u(C) = \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \quad (2)$$

とあらわす。世界信用市場における利子率を r 、代表的家

*キーワード: 経済被害, 防災計画

**学生員, 京都大学大学院情報科学研究科

〒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

計の時間選好率を ρ とする。社会計画者は以下の最大化問題をとく。

$$\max \int_0^{\infty} u(C)e^{-\rho t} dt \quad (3)$$

$$s.t. \dot{A}s = F(K) - I - C + rAs \quad (4)$$

$$\dot{K} = I - \delta K \quad (5)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} As \exp(-rt) = 0 \quad (6)$$

$$K(0) = \text{given}, As(0) = \text{given} \quad (7)$$

と書ける。ただし外国の資本に対する請求権（債権資産）を As とする。 As が負の場合は負債となる。当該地域は世界経済に比べて十分に小さく、当該地域の経済活動は世界利子率に影響を与えないと仮定する。すなわち当該地域にとって r は外生的に決定される。制約式の2つ目は、資本の蓄積方程式である。制約式の3つ目は、外国からの借入によって無限に消費を増加させることを防ぐNPG条件¹⁾である。

(2) 問題の解

この最大化問題を解くために次のようなハミルトニアンを定義する。

$$H = u(C)e^{-\rho t} + \lambda[F(K) - I - C + rAs] + \mu[I - \delta K] \quad (8)$$

最大化の一階条件は、

$$\frac{\partial u}{\partial C} e^{-\rho t} - \lambda = 0 \quad (9)$$

$$\lambda r = -\dot{\lambda} \quad (10)$$

$$\lambda \frac{\partial F}{\partial K} - \mu \delta = -\dot{\mu} \quad (11)$$

$$-\lambda + \mu = 0 \quad (12)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda As = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \mu K = 0 \quad (13)$$

と書ける。式(2), (10)と(9)より、

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma}(r - \rho) \quad (14)$$

が得られる。式(10),(11),(12)より、

$$\frac{\partial F}{\partial K} = A\alpha K^{\alpha-1} = r + \delta \quad (15)$$

が成り立つ。 $0 < \alpha < 1$ を仮定すると、式(15)から求まる最適解 K^* はただ1つ存在する。またNPG条件と消費の非負条件より、以下では対外資産について常に

$$\int_t^{\infty} (F(K) - I)e^{-rt} dt > -As(t) \quad (16)$$

が成り立つとする。すなわち、各時点で、将来の産出物の現在価値の和を上回る負債を有することはできないとする。当該地域での社会計画者にとって世界資本市場での利子率 r が外生ならば、資本水準 K は式(15)から決まる水準 K^* に常に等しくなることが最適となる。すなわち、初期資本ストックが $K(0) < K^*$ の場合、 $t = 0$ 時点の直後

の時点 $t = 0^+$ には、 $K = K^*$ となるように資本を蓄積することが、最適な資本蓄積のパスとなる。このとき、 $t = 0$ において \dot{K} は定義されないが、無限大の速度で収束することになる。これは地域外資本の流入によって引き起こされ、初期資産 $As(0)$ は瞬時に $As(0^+)$ となる。このとき、 $As(0) - As(0^+) = K^* - K(0^+)$ が成り立つ。

以下、詳しい計算過程は省略するが、 $r = \rho$ の場合についてのみ検討すれば最適な消費経路、資産蓄積経路はそれぞれ、

$$C(t) = rAs(0^+) + F(K^*) - \delta K^* \quad (17)$$

$$As(t) = As(0^+) \quad (18)$$

となる。以下ではこの $As(0^+)$ の水準を As^* と表す。

(3) 災害の影響: 災害が $t = \tau$ 時点で生起するとする。災害が起きるまでは当該経済は上で示したような最適成長経路上にあるとする。災害によって資本が K^* から K^- に離散的に減少するとする。社会計画者は、この K^- を初期値として改めて将来の消費経路を計画する。このとき、当該経済の計画者にとっては、世界市場から資本を調達し、資本水準 K^* を瞬時に達成することが最善の復旧施策となる(図2)。

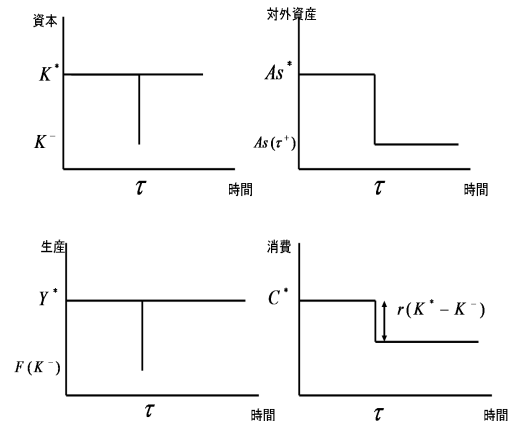


図2: 中央集権経済における企業の被災の影響

このとき、 $F(K^*)$ も瞬時に達成される。一方消費は、式(17)より、

$$C^* = rAs^* + F(K^*) - \delta K^* \quad (19)$$

の水準から低下し、 $As^* - As(\tau) = K^* - K^-$ より、

$$C(t) = r(As^* - K^* + K^-) + F(K^*) - \delta K^* \quad (20)$$

まで低下する。つまり、復旧の投資 $K^* - K^-$ を地域外からの資本流入によってまかなうので、利子費用 $r(K^* - K^-)$ の分だけ、毎期消費が減少してしまう(図2)。このときの効用の減少は、事前の効用を達成するために必要な所得で評価できる。いま、消費と所得が一致していることから、

毎期、利子費用の分の所得を補償する必要がある。その τ 時点での現在価値は、

$$\int_{\tau}^{\infty} r(K^* - K^-)e^{-\rho(t-\tau)} dt = K^* - K^- \quad (21)$$

となる。これが企業の被災によって生じる経済被害となる。これは生産資本の回復のための復旧投資によって、対外資産が減少したことの結果であり、その値は失われた資本の価値と等しい。

4. 分権経済における被害評価

(1) 分権モデル

4章では、3章で分析した経済を分権化したモデルを考え、被害の発生部門と帰着部門を明示的に分けて考察をする。

企業：経済には N 個の同質な企業が存在すると仮定する。企業は資本ストックを保有し、労働市場で労働を調達する。企業は各期に生み出すキャッシュフローの割引現在価値の和を最大化するように投資のパスを決定する。正のキャッシュフローが生まれると、株主である家計に配当として渡す。キャッシュフローが足りなくなると、株式を発行して家計から資金を調達する。労働市場における需給は非弾力的と仮定し、企業は労働 1 単位を調達するとする。企業の最大化問題は以下のように表せる。

$$\max \int_0^{\infty} (f(k_j) - i_j - w_j)e^{-rt} dt \quad (22)$$

$$s.t. \dot{k}_j = i_j - \delta k_j \quad (23)$$

$$k_j(0) = given \quad (24)$$

銀行：銀行は家計に資金を貸し出したり、家計の貯蓄を預かり、利子を支払う。銀行市場は完全競争と仮定し、銀行は利潤ゼロとなる。貸し出しについての不確実性を考えないことで、借り入れと貸し出しの利子率は一致する。

家計：当該地域には同質の N 個の家計が存在するとする。家計は労働による所得と、企業からの配当、金融資産からの利子収入を、消費と銀行への貯蓄に振り分け、効用を最大化させる。家計はそれぞれ永久に生きる個人を想定し、以下の最大化問題を解く。家計 i がもつ金融資産を a_i とする。家計は 1 単位の労働を供給する。企業と家計の同質性から、家計 i はある 1 つの企業 j の配当を受け取ると仮定する。

$$\max \int_0^{\infty} u(c_i)e^{-\rho t} dt \quad (25)$$

$$s.t. \dot{a}_i = w + ra_i + \pi_j - c_i \quad (26)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a(t)e^{-rt} = 0 \quad (27)$$

$$a_i(0) = given \quad (28)$$

制約式の 2 つ目は NPG 条件である。ここで、NPG 条件と消費の現在価値が非負である条件から、金融資産 $a_i(t)$

について、以下のような一定の制約を設ける。

$$\int_t^{\infty} (w + \pi_j)e^{rt} dt > -a_i(t) \quad (29)$$

つまり、家計は各時点で、将来の労働所得と配当の現在価値を上回る負債（マイナスの金融資産）を有することはできない。以下では常にこの制約が成り立つと仮定する。

配当 π_j は

$$\pi_j = f(k_j) - i_j - w_j \quad (30)$$

とする。

(2) 均衡の導出

企業の最適化問題：企業の問題に対してハミルトニアンを

$$L = (f(k_j) - i_j - w_j)e^{-rt} + \lambda(i_j - \delta k_j) \quad (31)$$

と設定すると、最適化の一階条件は

$$\frac{\partial L}{\partial k_j} = f'(k_j)e^{-rt} - \lambda\delta = -\dot{\lambda} \quad (32)$$

$$\frac{\partial L}{\partial i_j} = -e^{-rt} + \lambda = 0 \quad (33)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda k_j = 0 \quad (34)$$

と書ける。これより、

$$f'(k_j) = r + \delta \quad (35)$$

が得られる。生産関数を 3章と同じものを仮定すれば、(35) を満たす k_j はただひとつ存在する。 k_j が k_j^* から乖離しているときは、 k_j を瞬時に k_j^* に調整することが企業にとって最適となる。このとき、 \dot{k}_j は定義されず、 k_j は無限大の速度で k_j^* に収束する。このために、企業 j は株式を発行し家計から $k_j^* - k_j$ だけの資金を調達する

家計の最適化問題：家計の問題に対してハミルトニアンを

$$H = u(c_i)e^{-\rho t} + \eta(w + ra_i + \pi_j - c_i) \quad (36)$$

と設定すると、最適化の一階条件は、

$$\frac{\partial H}{\partial c_i} = u'(c_i)e^{-\rho t} - \eta = 0 \quad (37)$$

$$\frac{\partial H}{\partial a_i} = \eta r = -\dot{\eta} \quad (38)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \eta a(t) = 0 \quad (39)$$

と書ける。詳しい計算過程は省略するが、効用関数を 3章と同じ形を仮定し、 $r = \rho$ の場合についてのみ検討すれば、最適な消費経路と資産蓄積経路はそれぞれ

$$c_i(t) = ra_i(0^+) + f(k_j^*) - \delta k_j^* a_i(t) = a_i(0^+) \quad (40)$$

となる。

(3) 災害の影響

災害が $t = \tau$ 時点で生起するとする。災害が起きるまでは当該経済は上で示したような最適成長経路上にあるとす

る。災害によって、企業 i の有する資本が k_j^* から k_j^- に離散的に減少するとする。企業はこの k_j^- を初期資本量として、改めて将来の資本蓄積経路を計画する。このとき、企業にとっては、家計から資金を調達し、資本水準 k_j^* を瞬時に達成することが最善の復旧施策となる。資本を企業 j の復旧投資額は $k_j^* - k_j^-$ であるから、経済全体で集計した値を

$$\sum_{j=1}^N k_j^* - k_j^- = K^* - K^- \quad (41)$$

と表現することとする。このとき $f(k_j^*)$ も瞬時に達成される。家計は事前の最適資産 a_i^* を初期値として、改めて将来の消費計画を立てる。家計は所有する企業の復旧資金を借り入れによってまかなう。借り入れ後の家計の資産は、事前の最適資産 a_i^* に対して、 $a_i(\tau^+) = a_i^* - (k_j^* - k_j^-)$ となる。よって家計の消費は、

$$c_i(t) = r(a_i^* - k_j^* + k_j^-) + f(k_j^*) - \delta k_j^* \quad (42)$$

となる。すなわち、災害による企業の資本ストックの減少後、家計が銀行借り入れによりその復旧資金をファイナンスすることで、家計の消費がその利子費用の分だけ毎期減少することになる。この消費減少による被害は、もとの消費を補償するのに必要な追加的な所得によって評価することができる。 $r = \rho$ の場合には、毎期の消費が所得と一致するので、毎期、利子費用の分の $r(k_j^* - k_j^-)$ を保障する必要がある。よって、それを τ 時点で評価し、さらに家計について集計したものは、

$$\sum_{j=1}^N \int_{\tau}^{\infty} r(k_j^* - k_j^-) e^{-(t-\tau)} dt = K^* - K^- \quad (43)$$

となる。これは企業部門における復旧投資額と等しい。すなわち、企業部門で発生した資本の損傷の効果が、家計によるファイナンスを通して家計部門に帰着したことを示している。よってこのときの経済被害は、被害の発生側である企業部門において、著者らが提案した方法を用いれば、それが帰着した家計側で計ると整合的な計測ができる。むしろ、発生側の復旧投資額と、帰着側の効用減少を足し合わせることは二重計算となり、避けなければならない。

表 1: 企業が被災した場合の部門別被害項目表

被害項目	企業部門		家計部門	
	復旧投資	$K^* - K^-$	効用減少	$K^* - K^-$
利益減少	0			
計	$K^* - K^-$		$K^* - K^-$	

5. 生産フローの減少がある場合についての考察

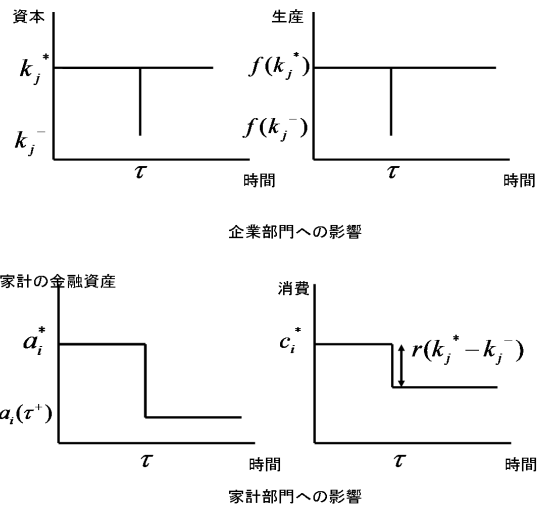


図 3: 分権経済における企業の被災の影響

今回は、災害による資本損傷が瞬時にもとの最適水準まで回復するような場合しか考慮していない。しかし実際には、資本の導入に追加的なコストがかかる場合や、資本市場が不完全な場合が存在するため、資本が完全に回復せず、生産フローの減少が生じる場合もありうる。このとき、家計の消費は、生産フローの減少と、復旧資金の供給によって影響を受けることが考えられる。その場合にも、同じ方法を用いればよいことがいえることが考えられるが、今後理論的な検討を進める必要がある。

6. おわりに

本研究では、開放経済下の経済成長モデルを構築し、企業の被災が及ぼす経済被害の統合的評価方法について理論的に検討を行った。その結果、災害により企業部門で資本の損傷が発生した場合には、企業部門において、著者らが提案したキャッシュフロー変化で評価する方法を用いればよく、そのことが帰着側である家計部門の効用減少を評価することと等価になることがわかった。本研究では、企業部門における資本の損傷しか考慮していない。今後は家計部門での被害の発生も考慮した場合の、統合的な被害評価方法についても検討をすすめていく必要がある。

参考文献

- 1) Barro, Sala-i-Martin: Economic Growth 2nd-ed, MIT-Press, 2004.
- 2) 本間稔常, 多々納裕一, 岡田憲夫: 資本間の被害の不均一性を考慮した災害後の復旧過程に関する分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.24(1), pp.705-708, 2001.
- 3) 中野一慶, 多々納裕一, 藤見俊夫, 梶谷義雄, 土屋哲: 2004年新潟県中越地震における産業部門の経済被害推計に関する研究, 土木計画学研究・論文集(投稿中).