

東日本大震災の復興過程の経済分析モデル

横松宗太¹・梶谷義雄²・西岡紗耶加³・多々納裕一⁴

¹正会員 工博 京都大学防災研究所 (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

E-mail: yoko@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 工博 京都大学防災研究所

³非会員 心理学修士 京都大学防災研究所

⁴正会員 工博 京都大学防災研究所

本研究では 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の復興過程の経済モデルを定式化する。モデルでは、1) 生産設備や家屋の倒壊による大量の瓦礫が早期復旧の妨げとなる影響、2) 被災地域からの部品供給停止の影響、3) 計画停電や節電の影響に着目する。そして、部門間の復興投資配分を定性的に分析し、瓦礫の撤去や復旧の速度に差が生じる可能性について示す。

Key Words : *The Great East Japan Earthquake, recovery process, multi-sector growth model*

1. はじめに

本研究では 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の復興過程の経済分析を行う。震災がもたらした道路や設備などの直接的被害額については、2011 年 6 月 24 日の時点で内閣府は 16.9 兆円との推計を発表している。本分析では、地震発生後に続く GDP や GRP の減少や回復過程を定量的に把握するためのモデルを定式化することを目的とする。その際、通常の動学的マクロ経済モデルが扱うような 1 年という時間単位では長すぎる。復興過程は毎月のように局面が変化する。本モデルでは 4 半期を時間の単位とする。本研究では、被災地におけるインフラや資本ストックの損壊の影響と同時に、1) 生産設備や家屋の倒壊による大量の瓦礫が早期復旧の妨げとなる影響、2) 被災地域からの部品供給停止の影響、3) 計画停電や節電の影響に着目した分析を行う。本稿では今後取り組む Dynamic CGE の基礎となるモデルを示すこととする。

2. 3 地域 4 部門ラムゼー経済成長モデル

(1) 経済環境

小国開放経済を考える。対象国である日本を地震被害が大きい「被災地域」、東京とその周辺の「計画停電地域」とその他の地域「The Rest of Japan (ROJ)」の 3 地域に分割し、地域インデックス $i \in I = \{1, 2, 3\}$ を用いて表現する。詳細は以下の通りである。

- $i = 1$: 「被災地域」: 宮城県, 福島県, 岩手県, 茨城県
- $i = 2$: 「計画停電地域」: 東京電力管轄の栃木, 群

馬, 千葉, 神奈川, 東京, 埼玉, 山梨, 静岡

- $i = 3$: 「ROJ」: 日本のその他の地域

全ての地域には農業部門、製造業部門、サービス業部門の 3 部門が存在すると仮定する。また、地域 1 については製造業の中の部品供給部門を独立させて表現することとする。農業部門、製造業部門、サービス業部門、部品製造部門のそれぞれをインデックス $j \in J = \{a, m, s, p\}$ により表現する。農業部門 a と製造業部門 m の財はそれぞれ生産地間で完全に代替的であると仮定する。さらに両部門の財は貿易可能であるとし、国内外の輸送に費用はかからないものと仮定する。したがって価格は世界価格 p_a, p_m によって外生的に与えられることになる。また農業財と製造業財による国際貿易は毎期バランスしていなければならないものとする。一方、サービス業部門が供給する財・サービスは地域ごとに固有の性質をもつことによって効用関数において互いに不完全代替であるとし、さらに地域間の輸送や貿易が不可能であると仮定する。したがってサービス業部門の市場は地域ごとに閉じており、各地域の価格 $p_{s1}(t), p_{s2}(t), p_{s3}(t)$ が毎期、内生的に決まることになる。そして、地域 1 のみ存在する部品製造部門については、市場が 3 地域の間では開いていて、国内で閉じているものと仮定する。部品は国内の製造業にのみ中間財として需要される。実際には海外企業も被災地域で生産される部品を購入している。しかし、本モデルでは分析の簡単化のため、部品市場を閉じることとする。 t 期における部品価格を $p_p(t)$ により表す。

全ての部門の企業は労働と資本、電力を生産要素として投入する。電力は計画当局によって各地域・部門に分配され、企業にとっては毎期外生的に与えられる生

産要素とする。また農業部門は地域の土地を投入要素とする。一方、生産された財に関して、農業財とサービス、部品は期を越えて保存することが不可能であり、ある期に供給された量をその期に消費しなければならないものと仮定する。唯一、製造業財のみが次期に持ち越すことができる財であり、よって貯蓄や投資、インフラ整備は製造業財を用いて行われるものとする。資本市場は国内で閉じており、利子率 $r(t)$ は内生的に決まるものとする。代表的家計は每期、労働市場に労働を供給して賃金を得ると同時に、資本市場に投資をして利子を得る。各家計は每期、非弾力的に労働を供給するとし、その量を 1 に基準化する。よって経済全体の労働量の和は家計数に一致し、その量を $L(t)$ により表す。家計の貯蓄は全て資本市場における投資に回る。労働市場と資本市場は完全に競争的であるとする。さらに家計は土地を保有し、農業部門における生産に提供して地代を得る。また電力のレントも代表的家計の所得として還元されると仮定する。家計は完全な将来視野をもち、また経済に不確実性は存在しないものと仮定する。

(2) 生産技術

時点 t に地域 i の部門 j で投入される労働と資本、電力をそれぞれ $L_{ji}(t), K_{ji}(t), E_{ji}(t)$ により表そう。また地域 i に存在する土地を Z_i により表す。土地 Z_i は地域 i の農業部門の生産でのみ用いられると仮定する。部門 n の生産財が、地域 i の部門 j における中間財となると、その水準を $\mathcal{Y}_{nji}(t)$ により表すこととする。すなわち $\mathcal{Y}_{nji}(t)$ は部門 n から部門 j への中間投入を表す。全ての企業は生産要素に関して収穫一定の技術をもつと仮定する。地域 i の各部門の集計的産出は次式のように表される。

$$Y_{ai} \leq \min_{L_{ai}, K_{ai}, \mathcal{Y}_{aai}, \mathcal{Y}_{mai}, \mathcal{Y}_{sai}} \left\{ F^{ai}(A(t)L_{ai}, K_{ai}, B(t)Z_{ai}, \Lambda(t)E_{ai}), \frac{\mathcal{Y}_{aai}}{\sigma_{aai}}, \frac{\mathcal{Y}_{mai}}{\sigma_{mai}}, \frac{\mathcal{Y}_{sai}}{\sigma_{sai}} \right\} \quad (1a)$$

$$Y_{mi} \leq \min_{L_{mi}, K_{mi}, \mathcal{Y}_{ami}, \mathcal{Y}_{mmi}, \mathcal{Y}_{pmi}, \mathcal{Y}_{smi}} \left\{ F^{mi}(A(t)L_{mi}, K_{mi}, \Lambda(t)E_{mi}), \frac{\mathcal{Y}_{ami}}{\sigma_{ami}}, \tilde{F}^{mi}(\mathcal{Y}_{mmi}, \mathcal{Y}_{pmi}), \frac{\mathcal{Y}_{smi}}{\sigma_{smi}} \right\} \quad (1b)$$

$$Y_{si} \leq \min_{L_{si}, K_{si}, \mathcal{Y}_{asi}, \mathcal{Y}_{msi}, \mathcal{Y}_{ssi}} \left\{ F^{si}(A(t)L_{si}, K_{si}, \Lambda(t)E_{si}), \frac{\mathcal{Y}_{ami}}{\sigma_{ami}}, \frac{\mathcal{Y}_{msi}}{\sigma_{msi}}, \frac{\mathcal{Y}_{ssi}}{\sigma_{ssi}} \right\} \quad (1c)$$

$$Y_{p1} \leq \min_{L_{p1}, K_{p1}, \mathcal{Y}_{ap1}, \mathcal{Y}_{mp1}, \mathcal{Y}_{pp1}, \mathcal{Y}_{sp1}} \left\{ F^{p1}(A(t)L_{p1}, K_{p1}, \Lambda(t)E_{p1}), \frac{\mathcal{Y}_{ap1}}{\sigma_{ap1}}, \tilde{F}^{p1}(\mathcal{Y}_{mp1}, \mathcal{Y}_{pp1}), \frac{\mathcal{Y}_{sp1}}{\sigma_{sp1}} \right\} \quad (1d)$$

$A(t)$ は外生的に与えられる労働の技術進歩、 $B(t)$ 、 $\Lambda(t)$ はそれぞれ土地、電力の利用効率に関する外生的技術進歩を表す。モデルの簡単化のため、ここではいずれも同一の率 x で成長するものとする。また、 σ_{nji} は、生産 Y_{ji} における部門 n からの中間財の投入係数を表す。上式の $F^{ji}(\cdot)$ 、 $\tilde{F}^{mi}(\cdot)$ を以下のように特定化する。

$$F^{ai}(\cdot) = [\beta_{a1i} \{(A(t)L_{ai}(t))^{\alpha_{a1i}} K_{ai}(t)^{\alpha_{a2i}} \cdot (B(t)Z_{ai})^{\alpha_{a3i}}\}^{\gamma_{ai}} + \beta_{a2i} \{\Lambda(t)E_{ai}(t)\}^{\gamma_{ai}}]^{\frac{1}{\gamma_{ai}}} \quad (2a)$$

$$F^{ji}(\cdot) = [\beta_{j1i} \{(A(t)L_{ji}(t))^{\alpha_{j1i}} K_{ji}(t)^{\alpha_{j2i}}\}^{\gamma_{ji}} + \beta_{j2i} \{\Lambda(t)E_{ji}(t)\}^{\gamma_{ji}}]^{\frac{1}{\gamma_{ji}}} \quad \text{for } j = m, s, p \quad (2b)$$

$$\tilde{F}^{ji}(\cdot) = [\kappa_{j1i} \mathcal{Y}_{mji}(t)^{\zeta_{ji}} + \kappa_{j2i} \mathcal{Y}_{pji}(t)^{\zeta_{ji}}]^{\frac{1}{\zeta_{ji}}} \quad \text{for } j = m, p \quad (2c)$$

$$\text{where } \beta_{j\tilde{j}i}, \beta_{ji} > 0, 0 \leq \alpha_{jhi} \leq 1, \sum_h \alpha_{jhi} = 1$$

なお、本モデルではインフラストラクチャは資本 K_{ji} に含めるものとする。また、部品部門が存在するのは地域 1 のみである。製造業、部品部門における関数 $\tilde{F}^{ji}(\cdot)$ は、中間財を加工する技術を表す。式 (2c) に示すように、製造業財と被災地からの部品との間に CES 型の関係を仮定する。

(3) 家計の選好

一家計あたりの地域 i 、部門 j の財の消費水準を $q_{ji}(t) = Q_{ji}(t)/L(t)$ により表そう。ただし農業財と製造業財については生産地に関して完全代替的であると仮定し、消費を $q_j(t) = \sum_i q_{ji}(t)$ ($j = a, m$) により表す。また、家計は每期、家屋や家財のストックから効用を得るものとする。以後、それらをまとめて「住宅資産」と呼ぶ。経済全体での住宅資産を $H(t)$ 、一家計あたりの住宅資産を $h(t) := H(t)/L(t)$ により表す。なお、住宅資産は製造業財で作られているものとする。代表的家計の時点 t におけるフローの財・サービスの消費ベクトルと 1 期あたりの効用関数を以下のように定義する。ただし表記の煩雑さを避けるため、各 $q_{j'}$ (t) に関して (t) の表記を省略する。

$$\mathbf{q} := (q_a, q_m, q_{s1}, q_{s2}, q_{s3}, h) \quad (3a)$$

$$u(\mathbf{q}) := q_a^{b_a} q_m^{b_m} q_{s1}^{b_{s1}} q_{s2}^{b_{s2}} q_{s3}^{b_{s3}} h^{b_h} \quad (3b)$$

$$\text{where } b_{j'} > 0, \sum_{j'} b_{j'} = 1$$

上記に期間効用関数によって与えられる t 期の効用水準を $q(t)$ により表し、時間を通じた生涯効用関数を各時点の効用水準の現在価値として次式のように仮定する。

$$U := \sum_{t=0}^{\infty} \frac{q(t)^{1-\theta} - 1}{1-\theta} \left(\frac{1+n}{1+\rho} \right)^t \quad (4a)$$

$$\text{where } q(t) = u(\mathbf{q}(t)) \quad (4b)$$

ただし $n, \rho (> 0)$ はそれぞれ人口成長率と将来効用の割引率を表す。 $n < \rho$ を仮定する。 上記のように各家計は自身の家系の規模が拡大していく効果を効用にも含むものとする。

(4) 瓦礫と復興の調整費用

災害発生時点をも 0 期とする。 災害は資本ストックと住宅ストックを破壊するものとする。 災害の直前の地域 1 の各部門の資本ストックと住宅ストックの水準をそれぞれ $K_{j10}^- (j = a, m, s, p), H_0^-$ とする。 災害によりそれらがそれぞれ $K_{j10} = (1 - \Theta_{Kj})K_{j10}^-, H_0 = (1 - \Theta_H)H_0^-$ へと減少するものとする。 Θ_{Kj}, Θ_H はそれぞれの被害率を表す。 ストックの損失による直接被害額 \mathcal{D} は以下のように表される。

$$\mathcal{D} = p_m \sum_j \Theta_{Kj} K_{j10}^- + p_m \Theta_H H_0^- \quad (5)$$

資本と住宅は製造業財で形成されるため、価値は p_m で計られる。 また、損壊した資本と住宅は瓦礫（廃棄物）となる。 災害直後における資本と住宅の瓦礫の量を以下のように表す。

$$\Xi_j(0) = \Theta_j k_{j10}^- \quad j = a, m, s, p \quad (6a)$$

$$\Xi_h(0) = \Theta_h h_0^- \quad (6b)$$

ただし $\Xi_{j'}(0) (j' = a, m, s, p, h)$ は一家計当たりの量を表す。 すなわち損壊した住宅ストックが全て瓦礫と化すと仮定する。 瓦礫の廃棄作業は労働 $l_{j'}^D(t)$ を充てることによって行われ、次式に従って減少する。

$$(1+n)\Xi_{j'}(t+1) = \Xi_{j'}(t) - \bar{b} l_{j'}^D(t) \quad (7)$$

瓦礫ストック $\Xi_{j'}(t)$ が存在するとき、資本や住宅の再建には大きな調整費用がかかることになる。 資本や住宅にそれぞれ $i_{j1}^k(t), \iota(t)$ の投資を行う際には $\phi^j(i_{j1}^k(t), \Xi_j(t)), \phi^h(\iota(t), \Xi_h(t))$ の量の財を要すると仮定する。 すなわち $\phi^j(\cdot)$ は、資本を $i_{j1}^k(t)$ の水準向上させるための支出を意味し、 $\phi^j(\cdot) - i_{j1}^k(t)$ の部分が投資の調整費用に相当する。 $\phi^j(\cdot)$ は以下の性質をもつものと仮定する。

$$\phi^j(i_{j1}^k, \Xi_h) \geq i_{j1}^k \quad (8a)$$

$$\phi^j(i_{j1}^k, 0) = i_{j1}^k, \quad \phi^j(0, \Xi_j) = 0 \quad (8b)$$

$$\frac{\partial \phi^j(\cdot)}{\partial i_{j1}^k} > 0, \quad \frac{\partial \phi^j(\cdot)}{\partial \Xi_j} > 0, \quad \frac{\partial^2 \phi^j(\cdot)}{\partial i_{j1}^k \partial \Xi_j} \geq 0 \quad (8c)$$

最後の不等式は瓦礫を少なくするほど、投資の限界費用が減少することを表している。 住宅の調整費用関数 $\phi^h(\cdot)$ についても上式と同様の関係が成立する。

さらに災害後は電力が減少すると仮定する。 すなわち $0 \leq t \leq T_E$ の期間、各地域・各部門への電力供給は $E_{ji} = \psi E_{ji0}^- (\psi < 1)$ の水準に減少するものとする。 電力 E_{ji} は各企業にとって外生的に与えられる生産要素と仮定する。

3. 復興過程の問題

(1) 最適化問題

本経済には外部経済性が存在しないため、市場における分権的問題と社会計画者による集権的問題は等価となる。 本稿では集権的問題として復興過程の経済行動を導出することとする。 集権的問題は以下のように表される。

$$\max U = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{q(t)^{1-\theta} - 1}{1-\theta} \left(\frac{1+n}{1+\rho} \right)^t \quad (9a)$$

subject to

$$q(t) = u(\mathbf{q}(t)) \quad (9b)$$

$$y_{ai} = F(l_{ai}, Ak_{ai}, Bz_i, \Lambda e_{ai}) \quad \text{for all } i \quad (9c)$$

$$y_{ji} = F(l_{ji}, Ak_{ji}, \Lambda e_{ji}) \quad \text{for } j = m, s, p, \quad \text{all } i \quad (9d)$$

$$\sum_{j,i} l_{ji} + \sum_{j'} l_{j'}^D = 1 \quad (9e)$$

$$i_{ji}^k(t) = (1+n)k_{ji}(t+1) - (1-\delta)k_{ji}(t) \geq 0 \quad \text{for all } j, i \quad (9f)$$

$$\iota(t) = (1+n)h(t+1) - (1-\delta_h)h(t) \geq 0 \quad (9g)$$

$$\sum_i y_{ai} = \sum_{j,i} \sigma_{aji} y_{ji} + q_a + \varepsilon_a \quad (9h)$$

$$\begin{aligned} \sum_i y_{mi} = & \sum_i \left\{ \sum_j \sigma_{mji} y_{ji} + y_{mmi} \right\} + y_{mp1} \\ & + \sum_{j,i=2,3} i_{ji}^k + \sum_j \phi^j(i_{j1}^k, \Xi_j) \\ & + \phi^h(\iota, \Xi_h) + q_m + \varepsilon_m \end{aligned} \quad (9i)$$

$$y_{ji} = \tilde{F}^{ji}(y_{mji}, y_{pji}) \quad \text{for } j = m, p, \quad \text{all } i \quad (9j)$$

$$y_{si} = \sum_j \sigma_{sji} y_{ji} + q_{si} \quad \text{for all } i \quad (9k)$$

$$y_{p1} = \sum_i y_{pmi} + y_{ppi} \quad (9l)$$

$$p_a \varepsilon_a + p_m \varepsilon_m = 0 \quad (9m)$$

$$\bar{b} l_{j'}^D(t) = -(1+n)\Xi_{j'}(t+1) + \Xi_{j'}(t) \quad \text{for } j' = a, m, s, p, h \quad (9n)$$

式 (9f)(9g) は投資に関する非負制約を表している。 すなわち、災害によって各地域・部門の資本配分は Balanced growth pass から逸脱することになるが、Balanced growth pass に戻るために無事であった地域・部門の資本を引き剥がして被災地域に移転することは不可能であることを意味している。 同様に、式 (9n) は瓦礫の量の遷移式 (7) と同じものであるが、ここでは撤去作業に充てる労働の非負制約を明示的に表現している。 また、 $\varepsilon_a, \varepsilon_m$ はそれぞれ農業財、製造業財の純輸出であり、式 (9m) は海外との貿易が每期バランスされるべきであることを示している。 以上の問題 (9a)-(9n) から

最適化条件が導かれる。本稿ではいくつかを抜粋して紹介する。

(2) 復興の格差の可能性

以下では各変数を効率労働単位あたりの水準で表す。最適化条件を整理することにより地域 i ・部門 j の資本のシャドープライス（以下、潜在価格）を以下のように得る。

$$r_{ji}(t) = \sum_{n'=1}^{\infty} \Delta^{n'} (1-\delta)^{n'-1} \lambda_{ji}(t+n') F_K^{ji}(t+n') \quad (10)$$

$$\text{where } \Delta := \frac{1}{(1+\rho)(1+x)}, F_K^{ji}(t+n') := \frac{\partial F^{ji}(\cdot)}{\partial K_{ji}}$$

ただし $\lambda_{ji}(t+n')$ は $t+n'$ 期における財 (j, i) の付加価値価格を表す。すなわち

$$\lambda_{ji}(t) = p'_j(t) - p'_a(t)\sigma_{aji} - p'_m(t)\sigma_{mji} - p'_{si}(t)\sigma_{sji} \quad (11a)$$

for $j = a, s, \text{ all } i$

$$\lambda_{ji}(t) = p'_j(t) - p'_a(t)\sigma_{aji} - \frac{p'_j(t)}{\tilde{F}_j^{ji}(t)} - p'_{si}(t)\sigma_{sji} \quad (11b)$$

for $(j, J) = (m, \mathcal{Y}_{mmi}), (p, \mathcal{Y}_{pp1}) \text{ all } i$

ただし $p'_j(t)$ は式 (9h)-(9l) に対応した随伴変数であり、各財の潜在価格である。貿易規模の潜在価格で基準化すれば、それらは分権問題の市場価格に相当する。各 $p'_j(t)$ の水準はそれぞれの財の限界効用と関連している。したがって、式 (10) より、資本 (j, i) の潜在価格は、 (j, i) に投じた 1 単位の資本がその後の将来に亘って生み出す生産物を、各時点の財 (j, i) のシャドープライスで評価したものの現在価値で与えられることがわかる。ここでは毎期一定の割合が減耗していくことも考慮されている。

最適な復興投資ルールを以下のように得る。地域 2,3 においては、各期について

$$r_{ji}(t) = p'_m(t) \Rightarrow i_{ji}^k \geq 0 \quad (12a)$$

$$r_{ji}(t) < p'_m(t) \Rightarrow i_{ji}^k = 0 \quad (12b)$$

for $i = 2, 3$

一方、被災地域 1 の部門に対しては、

$$r_{j1}(t) = p'_m(t) \cdot \phi_{ik}^j(i_{j1}^k(t), \Xi_j(t)) \Rightarrow i_{j1}^k \geq 0 \quad (13a)$$

$$r_{j1}(t) < p'_m(t) \cdot \phi_{ik}^j(i_{j1}^k(t), \Xi_j(t)) \Rightarrow i_{j1}^k = 0 \quad (13b)$$

$$\text{where } \phi_{ik}^j(\cdot) := \frac{\partial \phi^j(\cdot)}{\partial i_{ik}^k}$$

$p'_m(t)$ は製造業財の潜在価格であり、条件 (12a)-(13b) の右辺は投資の機会費用を表している。条件 (12a)(12b) は、式 (10) で与えられる資本の潜在価値が、投資に用いる製造業財の潜在価格よりも小さければ投資は行わないべきであることを示している。一方、被災地域に

おける復興投資に関しては、財の潜在価格に、復興投資の限界調整費用が乗じられている。

被災地域の復興投資は以下の要因の大小関係に依存する。ひとつは、式 (10) に示すように、資本ストック k_{ji} が少なくなるほど、その限界生産性 $F_K^{ji}(\cdot)$ は高くなり、その結果、投資の潜在価値 $r_{ji}(t)$ が大きくなることである。これは被災地に復興投資を引き込む要因になる。いまひとつは瓦礫 Ξ_j の存在である。式 (8c) に示すように、限界調整費用は瓦礫 Ξ_j が大きいほど大きくなる。よって、瓦礫の存在によって一単位あたりの投資の費用が大きくなる。後者の要因が支配的なときには、被災地よりも他の地域に投資をしたほうが効率的となる。このとき瓦礫が妨げになって、復興投資が進まない状況が発生する。このことは、本モデルで評価しえる経済効率性の枠組みの外の議論になるが、衡平性や福祉、文化等の深刻な問題を招くことになる。

一方、住宅の潜在価格は以下のように決まる。

$$\eta(t) = \sum_{n'=1}^{\infty} \Delta^{n'} (1-\delta_h)^{n'-1} \lambda(t+n') \frac{\partial u(\mathbf{q}(t+n'))}{\partial h(t+n')} \quad (14a)$$

$$\text{where } \lambda(t) = q(t)^{-\theta}, \frac{\partial u(\mathbf{q}(t+n'))}{\partial h(t+n')} = b_h \frac{q(t+n')}{h(t+n')} \quad (14b)$$

すなわち $\eta(t)$ は住宅の限界効用の現在価値として得られる。住宅の再建についても費用は $\phi^h(u(t), \Xi_h(t))$ で与えられ、瓦礫 $\Xi_h(t)$ が費用を増加させている。

そして、被災地域の部門 $j (= a, m, s, p)$ の瓦礫の減少に関する潜在価格は以下のように与えられる。

$$\zeta_j(t) = \sum_{n'=1}^{\infty} \Delta^{n'} p'_m(t+n') \phi_{\Xi}^j(i_{j1}^k(t+n'), \Xi_j(t+n')) \quad (15a)$$

$$\text{where } \phi_{\Xi}^j(\cdot) := \frac{\partial \phi^j(\cdot)}{\partial \Xi_j} \quad (15b)$$

すなわち、その後の将来にわたる投資の調整費用の減少額の現在価値に相当する。住宅の瓦礫撤去の潜在価値も同様な表現となる。瓦礫の撤去に対する労働投入ルールは以下のように決まる。

$$\bar{b} \zeta_j(t) = w(t) \Rightarrow l_{j1}^D \geq 0 \quad (16a)$$

$$\bar{b} \zeta_j(t) < w(t) \Rightarrow l_{j1}^D = 0 \quad (16b)$$

ただし $w(t)$ は労働の潜在価格であり、市場の賃金に相当する。よって、被災地域の部門 j において、瓦礫撤去の価値が市場賃金を下回るときには瓦礫の撤去作業は行われない。式 (8c) の性質より、後に大きな投資 $i_{j1}^k(t+n')$ が予定されている部門ほど、1 単位の瓦礫の減少がもたらす投資費用の減少 $\phi_{\Xi}^j(\cdot)$ は大きくなり、瓦礫撤去の価値 $\zeta_j(t)$ も大きくなる。反対に大きな復興投資が予定されていないところでは $\zeta_j(t)$ が小さな値にとどまり、瓦

礫の撤去がなされない可能性がある。そして、復興投資ルール(13a)(13b)に示したように、瓦礫の存在は生産資本の復旧投資にも影響を与えることになる。

4. おわりに

2011年7月の時点で、東北被災地の瓦礫の撤去作業は全体として相当に進展した印象をうけるものの、中にはほとんど被災直後と変わらない状態に止まっているように見える地域もある。その格差は、本稿で示した投資ルールのような市場の経済効率性を反映しているものと思われる。

また、本稿では明示的に分析しなかったが、災害後は電力の減少が投資の限界生産性を減少させている。それによって、とりわけ電力依存度が高い部門では投資が減少し、生産も減少する。本モデルでは資本ないし企業の海外流出を直接分析できる枠組みになっていないが、電力減少の影響は製造業部門の純輸出が減少するかたちで現われる。今後はデータを用いてモデルのキャリブレーションを行い、地震発生後のGDPやGRPの減少や回復過程を定量的に把握することを課題とする。また、復興の部門間格差を是としないような規範をもった社会厚生関数による社会的最適解の導出も重要な課題である。

参考文献

- 1) Barro, Robert J., Xavier Sala-i-Martin : *Economic Growth*, Second Edition, Massachusetts Institute of Technology Press, 2004.
- 2) Chambers, Robert G. : *Applied Production Analysis, A Dual Approach*, Cambridge University Press, 1988.
- 3) Roe, Terry L., Rodney B.W. Smith, D. Sirin Saracoglu: *Multisector Growth Models: Theory and Application*, Springer, 2009.
- 4) 横松宗太, 小林潔司: 防災投資による物的被害リスクの軽減便益, 土木学会論文集, No. 660/IV-49, pp.111-123, 2000.

(平成 23 年 8 月 5 日 受付)