

南海トラフ巨大地震に対する地震情報提供による被害軽減効果

豊橋技術科学大学大学院 学生会員 ○庄子 拓也
 正会員 宮田 謙
 正会員 渋澤 博幸

1. はじめに

東日本大震災の発生以降、国内ではハード面、ソフト面ともに様々な災害対策が行われてきた。東日本大震災発生時に防潮堤が津波により倒壊したことなどにより、国や地方自治体は人命を最優先に確保する避難対策としてハザードマップに注目している。災害危険度に関する情報とは、土地の位置と被災時の被害の程度を関連付けたものであり、ハザードマップもその一つである。

災害危険度情報提供による防災対策は市民一人一人が意思決定をする分権的な対策である。また、市場を通じた対策でもあり、政府による強制立ち退きのような対策とは異なる。このような災害危険度情報の提供はアメリカの連邦緊急時代管理庁(FEMA)などでも実現している。

災害危険度情報の提供による効果に関する理論的研究は極めて少なく(例えば山口ら¹⁾、その効果を実際の都市に当てはめたシミュレーション分析も極めて少ない。そこで本研究では災害危険度に関する情報の提供による家計の立地選択行動を南海トラフ巨大地震により大きな被害を受けると予測されている愛知県豊橋市を事例に考察することを目的とする。

2. モデル化の前提条件

本研究では閉鎖都市モデルを仮定し、都市内の家計数 N は一定、土地の所有形態は不在地主モデルを仮定する。家計はすべて同一の所得と均質な嗜好を持つものとする。すべての家計は CBD に通勤するものとし、その通勤費用は CBD からの距離 r によってのみ変化し、この通勤費用は平常時も被災時も変化せず一律であるとする。名目所得は災害により y_0 から y_1 に減少するものとする。

本研究では災害に対して強い A 地区と脆弱な B 地区の二つの地区が存在するものとし、幅 h の線形都市を想定する(図 1)。これは都市内の土地はその位置により災害に対する脆弱性が異なり、被災時に家計が享受できる居住水準が異なるものとするためである。平常時にはどちらの地区も等しい居住水準 A_0 を享受することができるが、被災時には A 地区では居住水準は低下せず A_0 のままであるが、B 地区では A_1 まで低下するものとする。本研究では豊橋の土地利用を参考にしている。



図-1 想定する都市の形態

3. 家計の居住地選択モデル

(1) 家計の期待効用

すべての家計は予算制約のもとで効用の最大化を

図るように消費行動および居住地選択を行うものとし、平常時には居住水準 A_0 を享受し、土地を s 、合成財を z 消費することにより効用 $u_0(s, z, A_0)$ を得ることができるが、被災時には居住水準の低下により $u_1(s, z, A_1)$ に低下した効用しか得られないものとする。

また、地震の生起確率を $p(0 \leq p \leq 1)$ とし、これを完全情報下ですべての家計が知っているものとする。家計が位置 (δ, r) において土地を s 、合成財を z 消費した場合の期待効用 $EU_\delta(s, z, r)$ は以下のように表すことができる。

$$EU_A(s, z, r) = (1 - p)u_0^A(s, z, A_0) + pu_1^A(s, z, A_0) \quad (1)$$

$$EU_B(s, z, r) = (1 - p)u_0^B(s, z, A_0) + pu_1^B(s, z, A_1) \quad (2)$$

しかし、地震危険度に関する情報の提供がない場合には、家計は被災時に発生する居住水準の変化を知ることが出来ない。つまり、ゼロ情報下における家計の期待効用 $EU_\delta(s, z, r)$ は、被災したという条件の下で家計が予測する居住水準 A_0 が生じる主観的な条件付き確率を $\varepsilon(0 < \varepsilon \leq 1)$ とすると以下のように与えられる。

$$EU_A(s, z, r) = EU_B(s, z, r) = (1 - p)u_0(s, z, A_0) + p\varepsilon u_0(s, z, A_0) + p(1 - \varepsilon)u_1(s, z, A_1) \quad (3)$$

また、効用関数は $u = As^a z^b$ ($a + b = 1, a > 0, b > 0$) という Cobb-Douglas 型に特定化する。

(2) 完全情報のケース

期待効用最大化において災害後効用と災害前効用を同時に最適化することは難しいため、初めに災害後の効用を求める。また、完全情報下では家計は被害の程度を完全に予測することが出来る。A 地区では被害を受けないが B 地区では被害を受けるため $A_0 > A_1$ とする。各地区の人口を固定として u_1^A と u_1^B を求める。

$$\max u_1^A(s, z, A_0) \text{ subject to } R(x)s + z + tr = y_1$$

$$\int_0^{r_a} \frac{h}{s_A} dx + \int_0^{r_b} \frac{h}{s_A} dx = N_A \quad (4)$$

$$u_1^A = \left(\frac{2h}{tN + 2hR_a}\right)^a a^a b^b A_0 y_0 \cdot \frac{(2y_1^{1/a} - (y_1 - tr_b)^{1/a})^a}{(2y_0^{1/a} - (y_0 - tr_b)^{1/a})^a} \quad (5)$$

$$\max u_1^B(s, z, A_1) \text{ subject to } R(x)s + z + tr = y_1$$

$$\int_{r_b}^{r_c} \frac{h}{s_B} dx = N_B \quad (6)$$

$$u_1^B = \left(\frac{2h}{tN + 2hR_a}\right)^a a^a b^b A_1 y_0 \cdot \frac{(y_1 - tr_b)}{(y_0 - tr_b)} \quad (7)$$

ここで、 a, b : 分配パラメータ、 t : 単位通勤費用、 r_b : CBD から B 地区までの距離、 R_a : 農業地代、 N :

都市人口

次に期待効用最大化を解くことで各地区の土地消費量 s 、均衡付け値地代 R 、都市境界線距離 r_a, r_c 、均衡効用水準 u が求まる。しかし、均衡効用水準を数式上で解くことは困難なため、シミュレーションで解くこととする。

$$\begin{aligned} \max \quad & EU_A(s, z, r) = (1-p)u_0^A(s, z, A_0) + pu_1^A \\ \max \quad & EU_B(s, z, r) = (1-p)u_0^B(s, z, A_0) + pu_1^B \\ \text{subject to} \quad & R(x)s + z + tr = y_0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$s_A = \left(\frac{EU - pu_1^A}{(1-p)A_0} \right)^{1/a} \left(\frac{1}{b(y_0 - tr)} \right)^{b/a} \quad (9)$$

$$s_B = \left(\frac{EU - pu_1^B}{(1-p)A_0} \right)^{1/a} \left(\frac{1}{b(y_0 - tr)} \right)^{b/a} \quad (10)$$

$$R_A = \left(\frac{y_0 - tr}{EU - pu_1^A} \right)^{1/a} ab^{b/a} (1-p)^{1/a} A_0^{1/a} \quad (11)$$

$$R_B = \left(\frac{y_0 - tr}{EU - pu_1^B} \right)^{1/a} ab^{b/a} (1-p)^{1/a} A_0^{1/a} \quad (12)$$

$$r_a = \frac{1}{t} \left\{ y_0 - \frac{R_a^a}{a^a b^b} \cdot \frac{EU - pu_1^A}{(1-p)A_0} \right\} \quad (13)$$

$$r_c = \frac{1}{t} \left\{ y_0 - \frac{R_c^a}{a^a b^b} \cdot \frac{EU - pu_1^B}{(1-p)A_0} \right\} \quad (14)$$

ここで、 r_a : A 地区と農地の都市境界線距離、 r_c : B 地区と農地の都市境界線距離

(3) ゼロ情報のケース

ゼロ情報下においても、初めに災害が起きて家計が被害を受けると予測した時の効用と、災害が発生しても被害を受けないと予測した時の効用を求める。

$$\max u_1(s, z, A_1) \quad \text{subject to} \quad R(x)s + z + tr = y_1$$

$$\int_0^{r_a} \frac{h}{s_A} dx + \int_0^{r_b} \frac{h}{s_A} dx + \int_{r_b}^{r_c} \frac{h}{s_B} dx = N \quad (15)$$

$$u_1 = \left(\frac{2h}{Nt + 2hR_a} \right)^a a^a b^b A_1 y_1 \quad (16)$$

$$\max u_0(s, z, A_0) \quad \text{subject to} \quad R(x)s + z + tr = y_0$$

$$\int_0^{r_a} \frac{h}{s_A} dx + \int_0^{r_b} \frac{h}{s_A} dx + \int_{r_b}^{r_c} \frac{h}{s_B} dx = N \quad (17)$$

$$u_0 = \left(\frac{2h}{Nt + 2hR_a} \right)^a a^a b^b A_0 y_0 \quad (18)$$

次に期待効用最大化を解くことで、土地消費量 s 、均衡付け値地代 R 、都市境界線距離 r 、均衡効用水準 u が求まる。

$$\begin{aligned} \max \quad & EU_A(s, z, r) = EU_B(s, z, r) \\ & = (1-p)u_0(s, z, A_0) + p\epsilon u_0 + p(1-\epsilon)u_1 \\ \text{subject to} \quad & R(x)s + z + tr = y_0 \end{aligned} \quad (19)$$

$$s = \left(\frac{EU - p\epsilon u_0 - p(1-\epsilon)u_1}{(1-p)A_0} \right)^{1/a} \left(\frac{1}{b(y_0 - tr)} \right)^{b/a} \quad (20)$$

$$R = \left(\frac{y_0 - tr}{EU - p\epsilon u_0 - p(1-\epsilon)u_1} \right)^{1/a} ab^{b/a} (1-p)^{1/a} A_0^{1/a} \quad (21)$$

$$r = \frac{1}{t} \left\{ y_0 - \frac{R_a^a}{a^a b^b} \cdot \frac{EU - p\epsilon u_0 - p(1-\epsilon)u_1}{(1-p)A_0} \right\} \quad (22)$$

$$EU = \left(\frac{2h}{Nt + 2hR_a} \right)^a a^a b^b \{ A_0 y_0 (1-p + p\epsilon) + A_1 y_1 p(1-\epsilon) \} \quad (23)$$

4. 立地均衡に関する比較静学分析

完全情報下では災害後の効用を家計が完全に予測することが出来、均衡効用水準は両地区で等しくなるため、災害前の効用は B 地区の方が高く、A 地区が低くなる。

$$u_0^B > u_0^A \quad (24)$$

そのため、完全情報下における均衡地代は A 地区の均衡地代の方が高くなる。

$$R_A > R_B \quad (25)$$

それとともに、ロットサイズも A 地区で小さく、B 地区の方が大きくなる。

$$s_A < s_B \quad (26)$$

ゼロ情報下では、家計は被害に関する情報を全く知らないため、被害が発生するかを主観的に判断することになる。そのため、付け値地代は左右の地域で対象となり、両地区の地代分布は同一となる。また、土地消費量、都市境界線距離も左右で同一となる。また、災害後効用の大小関係は次のようになる。

$$u_1^A > u_1 > u_1^B \quad (27)$$

完全情報のケースとゼロ情報のロットサイズを比較すると以下のようになる。

$$s_B > s > s_A \quad (28)$$

地震情報を提供した場合、ゼロ情報と比べて A 地区のロットサイズは小さく、B 地区のロットサイズは大きくなる。このことから、地震情報提供により B 地区から A 地区へと人口を移動させることが出来る。

5. 結論

完全情報下では災害危険度の高い地区では地代が減少し、災害危険度の低い地域では地代が増加する。これにより、付け値地代が農業地代よりも安く利用される地区は居住区として利用されなくなるため、居住地面積は災害危険度の高い地区では縮小、災害危険度の低い地域は拡大する。しかし、ゼロ情報下では家計は被害についての情報を知らないため、被害を主観的に予測する。また、A 地区 B 地区と区別することもできない。そのため、付け値地代は左右で対象となる。

このことから、地震情報提供は災害危険度の高い地区で被災する家計数を事前に災害危険度の低い地域へ移動させ、被災する人口や資源を減少させる効果があるといえる。

今後は情報提供にコストが掛かるケースや、被害の程度が CBD からの距離 x に依存する被害関数 $A(x)$ を用いたケースに拡張する。

参考文献

- 1) 山口健太郎, 多々納裕一, 田中成尚, 岡田憲夫 : 単一中心都市における甚大な災害リスクに関する情報の提供効果に関する分析, 土木計画学研究・論文集 No.16, pp.333-340, 1999.