

防潮堤整備と土地利用に関する 線形空間モデル分析

横松宗太¹

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

本研究では津波が想定される沿岸地域の防災対策を議論するための線形都市モデルを定式化する。海へのアクセシビリティが重要な漁業を含む業務地区と住宅地区を考慮した空間を対象に、防潮堤整備と土地利用規制が家計や企業の立地や付け値地代に及ぼす影響について分析する。

Key Words : Tsunami, land use, coastal levee, bid rent, linear urban model

1. はじめに

本研究では津波が想定される沿岸地域の線形空間モデルを定式化する。海へのアクセシビリティが重要な漁業を含む産業活動地区と住宅地区を考慮した空間を対象に、防潮堤と土地利用規制が家計や企業の立地や付け値地代に及ぼす影響について分析する。本研究では、単純なモデルを用いた定性的な問題構造の理解を通じて、津波防災における政策のベストミックスを検討するための論点整理を得ることを目的とする。

2. モデル

(1) 線形空間の仮定

海岸線を原点とした、幅が1の線形空間を考える。空間を x 座標によって表現し、海岸を $x = 0$ 、内陸を $x(> 0)$ とする。この地域では図-1に示すようなゾーニングが施されているものとする。すなわち $[0, x_0)$ の区間は津波危険地域であり企業も家計も立地できない。そして $[x_0, \hat{x})$ の区間が産業活動地区（業務地区）に、 $\hat{x}$ よりも内陸側の領域が住宅地区に指定されているとする。1つの企業や1人の家計が需要する土地のロットサイズを1とする。

地域経済は、企業と家計の立地と財市場に関してオープンであり、労働市場に関してクローズであるとする。よって地域に参入する企業数は $(\hat{x} - x_0)$ 以下の内生変数となる。一方、家計数は制約のない内生変数であり、住宅地区の右の境界は人口に応じて決められる。また、不在地主を仮定する。

地震による津波の発生確率を μ とする。津波が発生した際の各地点 x の浸水深を $\psi(x)$ により表す。また

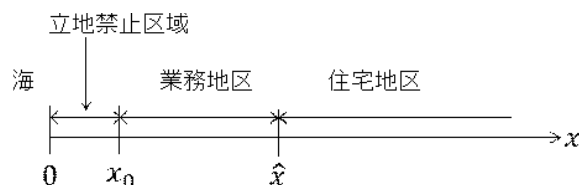


図-1 線形空間とゾーニング

津波の到達点を X とする。すなわち $x \leq X$ において $\psi(x) \geq 0$ である。本モデルでは $X < \hat{x}$ とし、住宅地区は津波が到達しない場所に割り当てられているものとする。一方、業務地区は津波によって浸水する。地点 x に立地する企業は、保有する生産施設の $\delta(x, h)$ の割合を失うものとする。ただし h は防潮堤の高さを表し、 $\delta(x, h)$ は以下の関係を満たすものとする。

$$0 \leq \delta(x, h) \leq 1 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial \delta(x, h)}{\partial x} \leq 0, \quad \frac{\partial \delta(x, h)}{\partial h} \leq 0 \quad \text{for } 0 \leq x \leq X \quad (1b)$$

$$\delta(x, h) = 0 \quad \text{for } x > X \quad (1c)$$

海岸から遠ざかるほど、また防潮堤が高くなるほど被害率は減少する。以後、防潮堤の高さに着目した議論をしないところでは h の表記を省略することとする。企業が K の水準の生産施設をもっているとき、津波によって $\delta(x)K$ の水準が損壊する。またこのとき $\zeta \delta(x)K$ の大きさの外部費用が発生するものとする。外部費用は、公共空間に散乱した瓦礫の収集に要する費用など、自治体を通じて地域社会全体が負担する費用となる。分析の簡単化のため、 $\delta(x, h)$ を以下のように特定化する。

$$\delta(x, h) := \theta(h) \cdot \left\{ 1 - \frac{x}{X} \right\} \quad \text{for } 0 \leq x \leq X \quad (2a)$$

$$\delta(x, h) := 0 \quad \text{for } x > X \quad (2b)$$

$$\theta'(h) < 0, \theta''(h) \geq 0 \quad (2c)$$

ただし「'」と「''」は、それぞれ 1 変数関数における当該変数による 1 階微分と 2 階微分を表す。はじめに基本モデルとして $\zeta = 0$ の場合を分析する。

(2) 企業の付け値地代

地域の産業は、漁業のように海上や港、海岸沿いの空間で生産活動を行う「A 産業」と、それ以外の製造業やサービス業を含む「B 産業」の 2 種類に分類されるものとする。それぞれの産業に属する企業を、「A 企業」「B 企業」のように呼ぶ。A 企業は海岸近くに立地するほど海にアクセスする費用が小さくなる。また A 産業で生産される A 財の価格を p とし、B 産業で生産される B 財の価格を 1 に基準化する。 p は地域の外の市場で決まる外生変数である。両産業のいずれの企業もロットサイズ 1 の土地を需要し、 K の水準の生産施設をもつものとする。 K への投資はサンクしているものとする。一方、制度的な理由により、企業は災害による生産施設の損壊リスクに対する保険に入らなければならないものとする。企業は事前に保険料 $\mu\delta(x)K$ を支払うことにより、災害後には保険金によって施設を完全に復旧して、平常時と同水準の生産が行えるものと仮定する。A 企業と B 企業の生産技術をそれぞれ次式のように仮定する。

$$F_a(L_a) := \bar{A} \log L_a, \quad F_b(L_b) := \bar{B} \log L_b \quad (3)$$

ただし L_a, L_b はそれぞれ A 企業、B 企業が雇用する労働者の人数を表し、 $\bar{A}, \bar{B}$ はそれぞれの企業の技術水準を表すパラメータである。以後、下付きの添え字 a と b は、それぞれ A 企業と B 企業の変数であることを示す。 $\log$ は自然対数である。地点 x に立地する企業 A, B の利潤は以下のように表される。

$$\Pi_a(x) := \max_{L_a} [pF_a(L_a) - w_a L_a - \eta x - \mu\delta(x)K - \xi(x) - q(x)] \quad (4a)$$

$$\Pi_b(x) := \max_{L_b} [F_b(L_b) - w_b L_b - \mu\delta(x)K - \xi(x) - q(x)] \quad (4b)$$

ただし w_a, w_b はそれぞれ産業 A, B の賃金率を、 $\xi(x)$ は地点 x における立地税を表す。 $q(x)$ は地点 x の地代を表す。 η は事業所の立地地点 x から海までの単位距離あたりの交通費用を表す。地点 x に立地する A 企業と B 企業の最適な労働需要 L_a^*, L_b^* は以下の条件を満たす。

$$pF'_a(L_a^*) - w_a = 0 \Leftrightarrow L_a^*(w_a) = \frac{p\bar{A}}{w_a} \quad (5a)$$

$$F'_b(L_b^*) - w_b = 0 \Leftrightarrow L_b^*(w_b) = \frac{\bar{B}}{w_b} \quad (5b)$$

いま、両産業の企業が当該地域の外に立地した場合に得られる利潤を π とする。簡単化のため、両産業の企

業とも同一の水準であるとする。以上より、地点 x の土地に対する A 企業と B 企業の付け値地代 $Q_a(x), Q_b(x)$ は以下の大きさに決まる。

$$\begin{aligned} Q_a(x) &= pF_a(L_a^*) - w_a L_a^* - \eta x - \mu\delta(x)K - \xi(x) - \pi \\ &= p\bar{A} \log \left(\frac{p\bar{A}}{w_a} \right) - p\bar{A} \\ &\quad - \mu\theta K - \pi - \xi(x) - \left(\eta - \frac{\mu\theta K}{X} \right) x \end{aligned} \quad (6a)$$

$$\begin{aligned} Q_b(x) &= F_b(L_b^*) - w_b L_b^* - \mu\delta(x)K - \xi(x) - \pi \\ &= \bar{B} \log \left(\frac{\bar{B}}{w_b} \right) - \bar{B} - \mu\theta K - \pi - \xi(x) + \frac{\mu\theta K}{X} x \end{aligned} \quad (6b)$$

基本モデルでは立地税 $\xi(x)$ を 0 とする。

(3) 家計の付け値地代

全ての家計は A 財と B 財の消費に対して同一の選好をもつものとする。効用関数をコブ＝ダグラス型関数により仮定する。

$$U(c_a, c_b) := c_a^\gamma c_b^{1-\gamma} \quad (7)$$

このとき効用水準 v を達成するための最小支出は次式により与えられる。

$$\Phi(p, v) := \Gamma(p) \cdot v \quad (8a)$$

$$\text{where } \Gamma(p) := \left(\frac{\gamma}{p} \right)^{-\gamma} (1-\gamma)^{-(1-\gamma)} \quad (8b)$$

A 産業、B 産業で働く家計をそれぞれ「家計 A」, 「家計 B」と呼ぶこととする。両タイプの家計は仕事のために業務地区に通勤する。ただし通勤に費用がかかる区間は、居住地点 x から業務地区の入口 $\hat{x}$ までであるとする。業務地区内は交通の便が良く、住宅地区内と比較すると費用は無視しえるほど小さいものと仮定する。一方、家計 A は家計 B よりも、自宅と職場を往復する回数が多いものとする。自宅から職場まで大きな物を運ぶこともあるとする。それらの理由によって、ある一定の期間に支出する交通費用は、家計 A の方が家計 B よりも大きくなる。地点 x に居住する両タイプの家計のそれぞれの交通費用を $\sigma_a\{x - \hat{x}\}$, $\sigma_b\{x - \hat{x}\}$ と表そう。以上の理由により、パラメータ間に $\sigma_a > \sigma_b$ の関係があると考えられる。

また、家計 A の給与は基本給 w_a と歩合給 $p\varepsilon$ で構成されているものとする。すなわち企業 A から与えられる給与 w_a に加えて、基準量よりも多い収穫 ε を自ら市場で売って追加的な所得を得ることができるものと仮定する。モデルの簡単化のため ε は一定のパラメータとする。以上より、家計 A, B が 2 財 A, B の消費に充てられる所得は、それぞれ以下のように与えられる。

$$Y_a(w_a, p) := w_a + p\varepsilon - \sigma_a\{x - \hat{x}\} - \tau - r(x) \quad (9a)$$

$$Y_b(w_b) := w_b - \sigma_b\{x - \hat{x}\} - \tau - r(x) \quad (9b)$$

ただし τ は税金を、 $r(x)$ は地点 x の地代を表す。いま、

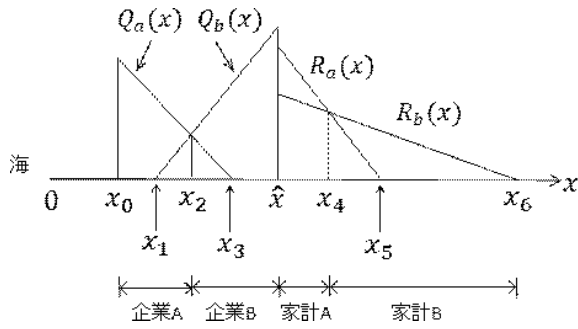


図-2 付け値地代と立地均衡（ケース 1： η が比較的小さい場合）

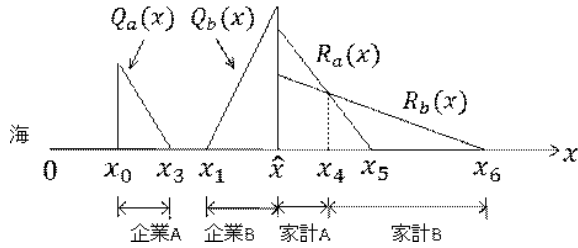


図-3 付け値地代と立地均衡（ケース 2： η が大きい場合）

両タイプの家計が他の地域で居住した際の効用水準を v とすると、式 (8a)(9a)(9b) より、地点 x の土地に対する家計 A と家計 B の付け値地代 $R_a(x), R_b(x)$ は以下の大きさに決まる。

$$R_a(x) = w_a + p\varepsilon - \sigma_a\{x - \hat{x}\} - \tau - \Gamma v \quad (10a)$$

$$R_b(x) = w_b - \sigma_b\{x - \hat{x}\} - \tau - \Gamma v \quad (10b)$$

基本モデルでは税 τ を 0 とする。

3. 市場均衡

(1) 均衡条件

パラメータの大小関係によって、4つの付け値地代の大小関係にはいくつかの場合分けがある。不必要な場合分けを避けるため、本研究では $\eta > \mu\theta K/X$ を仮定する。このとき、4つの付け値曲線の大小関係と立地均衡には図-2 と図-3 の二つのケースがある。ケース 1 では、業務地区の全ての土地は企業によって需要される。A 産業の企業数は $(x_2 - x_0)$ 社、B 産業の企業数は $(\hat{x} - x_2)$ 社に決まる。一方、ケース 2 では、業務地区に空き地が残る。A 産業の企業数は $(x_3 - x_0)$ 社、B 産業の企業数は $(\hat{x} - x_1)$ 社に決まる。家計に関しては、両ケースともに、家計 A が業務地区に近い側に立地し、家計 B が外側に立地することが均衡となる。家計 A は $(x_4 - \hat{x})$ 人、家計 B は $(x_6 - x_4)$ 人となる。

社会厚生は均衡地代の総和によって測られる。すな

わち均衡において各地点に立地した経済主体が支払う地代を集計した額が社会厚生水準に相当する。

ケース 1 の均衡において、内生変数は $(x_2, x_4, x_6, w_a, w_b)$ の 5 つである。均衡条件は以下のように与えられる。

$$Q_a(x_2) = Q_b(x_2) \quad (11a)$$

$$R_a(x_4) = R_b(x_4) \quad (11b)$$

$$R_b(x_6) = R_f = 0 \quad (11c)$$

$$L_a^*(w_a)\{x_2 - x_0\} = x_4 - \hat{x} \quad (11d)$$

$$L_b^*(w_b)\{\hat{x} - x_2\} = x_6 - x_4 \quad (11e)$$

式 (11a) は地点 x_2 において企業 A と企業 B の付け値地代が一致する条件を表す。 $Q_a(x_2), Q_b(x_2)$ は式 (6a)(6b) によって与えられ、それぞれ w_a, w_b を含む。式 (11b) は地点 x_4 において家計 A と家計 B の付け値地代が一致する条件を表す。 $R_a(x_4), R_b(x_4)$ は式 (10a)(10b) によって与えられ、それらにも w_a, w_b が含まれている。式 (11c) は空間のフリンジでの条件であり、 R_f は農地地代を表す。 R_f は外生変数であり、ここではゼロに標準化する。式 (11d)(11e) は完全雇用の下での A 産業と B 産業の労働市場のクリアリング条件を示す。労働需要関数 $L_a^*(w_a), L_b^*(w_b)$ は、式 (5a)(5b) により与えられる。

上記の連立方程式 (11a)-(11e) から、均衡解 $(x_2^*, x_4^*, x_6^*, w_a^*, w_b^*)$ を得るには数値計算が必要になる。得られた均衡解の上で、社会厚生水準は以下のように求められる。

$$V(h, x_0) := \int_{x_0}^{x_2} Q_a^*(x) dx + \int_{x_2}^{\hat{x}} Q_b^*(x) dx + \int_{\hat{x}}^{x_4} R_a^*(x) dx + \int_{x_4}^{x_6} R_b^*(x) dx \quad (12)$$

(2) 立地規制の効果

沿岸の立地規制の強化は x_0 の増加によって表される。均衡体系 (11a)-(11e) に対して x_0 の増加の影響を調べることができる。ケース 1 の均衡を導く任意のパラメータの下で、 x_0 の増加は総企業数 $N(= \hat{x} - x_0)$ を減少させる。また、 dw_a^*/dx_0 と dw_b^*/dx_0 は同じ符号をもつ（証明略）。そして以下の 2 つの場合が起こりえる。

立地規制の効果 1

w_a^* と w_b^* はともに上昇する。よって L_a^* と L_b^* はともに減少する。企業 A, B の付け値地代 $Q_a(x), Q_b(x)$ は減少する。一方、産業 A, B のうち、多くの労働を雇用している産業の企業数が増加し、少ない労働を雇用している産業の企業数が減少する。そして地域の総人口 $n(= x_6^* - \hat{x})$ は増加する。

立地規制の効果 2

w_a^* と w_b^* はともに減少する。よって L_a^* と L_b^* はとも

に増加する。企業 A, B の付け値地代 $Q_a(x), Q_b(x)$ は増加する。一方、産業 A, B のうち、少ない労働を雇用している産業の企業数が増加し、多くの労働を雇用している産業の企業数が減少する。そして地域の総人口 n は減少する。

(3) 防潮堤の整備と立地規制の組み合わせ

高さ h の防潮堤の整備費用を $C(h)$ により表そう。モデルの簡単化のため、景観の悪化などによる不効用も $C(h)$ に含まれているものとする。関数 $C(h)$ は次式を満たすものと仮定する。

$$C'(h) > 0, \quad C''(h) \geq 0 \quad (13)$$

整備費用を考慮した社会厚生水準は以下のように表される。

$$W(h, x_0) := V(h, x_0) - C(h) \quad (14)$$

内点解を仮定すると、防潮堤の高さと規制の組み合わせに関する最適化条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial W(h^*, x_0^*)}{\partial h} = \frac{\partial V(h^*, x_0^*)}{\partial h} - C'(h^*) = 0 \quad (15a)$$

$$\frac{\partial W(h^*, x_0^*)}{\partial x_0} = \frac{\partial V(h^*, x_0^*)}{\partial x_0} = 0 \quad (15b)$$

4. 外部費用と課税

企業の生産施設 K の損壊が、瓦礫の散乱による道路閉鎖などの不便利や、災害廃棄物の処理費用の公的負担などの外部費用をもたらす状況を $\zeta > 0$ によって表現する。外部費用の総和は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \Omega &:= \int_{x_0}^{\hat{x}} \zeta \delta(x) K dx \\ &= \zeta \theta(h) K \left\{ \left(\hat{x} - \frac{\hat{x}^2}{2X} \right) - \left(x_0 - \frac{x_0^2}{2X} \right) \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

費用 Ω を自治体が処理するとき、最終的な負担は企業や住民への税に帰着する。自治体の予算制約は以下のように表される。

$$\int_{x_0}^{\hat{x}} \xi(x) dx + \tau \{x_6^* - \hat{x}\} = \Omega \quad (17)$$

企業への立地課税が不可能であるとき、 $\xi(x) = 0$ (for all x) であり、家計の税負担は以下ようになる。

$$\tau = \frac{\Omega}{x_6^* - \hat{x}} \quad (18)$$

この負担は家計の立地選択に影響し、住民数を減少させる。

一方、ファーストベストな課税政策は、企業への立地課税のみを用いて、企業立地の外部性を内部化することである。すなわち

$$\xi(x) = \zeta \delta(x) K \quad \text{for all } x \quad (19)$$

が各企業に課される。式 (4a)(4b) に示すように、 $\xi(x)$ は企業の労働需要と独立であるため、労働需要は影響

を受けない。家計の立地すなわち労働供給も影響を受けないため、労働市場は影響を受けず、賃金率も変わらない。企業の付け値地代は減少するが、住民の税負担の減少と相殺されるため、外部費用を含んだ社会厚生水準 $W(h, x_0)$ は変わらない。ただし、 $\xi(x)$ の負担が企業の立地数を減少させて、立地均衡がケース 1 からケース 2 にシフトするときには、労働市場は影響を受け、住民の立地にも影響が及ぶことになる。

一方、各企業が防災（減災）対策の手段をもつときには、ファーストベスト課税によって、各企業から社会的に効率的な防災投資水準を引き出すことができる。

5. おわりに

本稿では、津波リスクに直面した沿岸地域における、防潮堤整備とゾーニング政策を同時に議論するための基礎的モデルの定式化を試みた。今後は数値計算を通じて、均衡解の性質について詳細に分析する必要がある。それと同時に、政策変数の妥当性について再検討する必要がある。例えば、立地規制 x_0 の現実的妥当性や正当性について、法学の観点も踏まえて検討する必要がある。また防潮堤の位置についても政策変数として扱う必要がある。さらには、集積の経済等の正の外部性をモデルに導入して、津波政策の地域経済への効果を分析する必要がある。

参考文献

- 1) Alonso, W.: *Location and Land Use*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1964.
- 2) Fujita, M.: *Urban Economic Theory*, Cambridge University Press, 1989.
- 3) Stull, W.J.: Land use and zoning in an urban economy, *The American Economic Review*, pp.337-347, 1974.
- 4) Sasaki, K.: Local public goods and their capital-gain effects, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.30, No.1, pp.45-57, 2000.

(平成 27 年 7 月 30 日 受付)