

第 IV 部門

火災と建築密度に着目した Natech リスク下の 2 産業線形空間モデル

京都大学工学部 学生員 ○石井祐充
 京都大学防災研究所 正会員 横松宗太
 京都大学防災研究所 非会員 Ana Maria Cruz

1 はじめに

Natech(ナテック)とは Natural hazard triggered technological accident の略で、自然災害に起因する産業災害を意味する。本研究では Natech のなかでも石油タンク等から発火する火災に着目する。Natech による火災の特徴として、火災の規模は Natech 関連企業の生産規模に依存するという点がある。本研究では Natech 関連産業が立地する沿岸工業地域周辺の居住地域を対象に、Natech 災害がもたらす火災リスクと住民の立地行動、保険加入行動に着目して、2 産業線形空間モデルを構築し、地域経済均衡分析を行う。

2 モデル

Natech に関連する産業は、原料である石油類の海上輸送において海運の便宜上、沿岸部に立地する。中心地には CBD(Central Business District)が存在しているとする。モデルでは海岸線を原点 $x = 0$ として内陸部へ向けて x 軸をとった線形空間を仮定する。海岸線 $x = 0$ には Natech 関連企業 A が位置し、 $x = \hat{x}$ には CBD が存在し合成財企業 B が位置するとする。Natech 関連企業 A は石油製品 Y_a を生産し、それらは合成財企業 B の中間投入財となる。企業 B は合成財 Y_b を生産する。一方、当該地域の家計は企業 A か企業 B のいずれかで働く。企業 A に通勤する家計を家計 A と呼び、企業 B に通勤する家計を家計 B と呼ぶことにする。家計はある水準の効用を満たすことを条件に、付け値を最大化して土地を競り落とそうとする。各地点 x において最も高い付け値をした家計が土地を競り落とす。これにより線形空間内における家計 A、家計 B の立地分布や人口密度、建物密度が決まる。

財 A 市場は対象地域内で closed で、財 A の価格を p とする。 p は内生変数である。一方、財 B 市

場は open であり、財 B の価格を 1 とする。労働市場は企業 A については closed で、域外からの労働者の通勤はないものとする。一方、企業 B については open であり、域外からの通勤もあるものとする。土地市場は open で、地域間の転出入は自由とする。地域外には農地が広がっており、農地の地価を R_f とする。

3 企業の行動

Natech 関連企業 A の生産技術を $Y_a = F_a(L_a) = \bar{A} \log L_a$ と仮定する。ただし、 L_a は労働者数である。企業 A の利潤は次式のようにになる。

$$\Pi_a = \max_{L_a} [p Y_a - w_a L_a]$$

ただし Y_a は財 A の生産量、 p は財 A の価格、 w_a は賃金率を表す。利潤最大化行動により最適生産量 Y_a^* 、最適労働者数 L_a^* が決まる。次に、合成財企業 B の生産技術を、労働者数 L_b と財 A の需要量 Y_{ab} によって以下のように仮定する。

$$Y_b = F_b(L_b, Y_{ab}) = \min[\bar{B} \log L_b, \frac{Y_{ab}}{\kappa}]$$

企業 B の利潤は以下のようにになる。

$$\Pi_b = \max_{L_b, Y_{ab}} [Y_b - p Y_{ab} - w_b L_b]$$

ただし Y_b は財 B の生産量、 w_b は賃金率である。これより企業 B は利潤最大化行動により最適生産量 Y_b^* 、最適労働量 L_b^* が決まる。

4 建物被害率

Natech による火災で家計の建物 h の Ψ の割合が損なわれるものとする。地点 x の建物の被害率を $\Psi(Y_a, x, H(x))$ により表す。 Y_a の項は Natech 産業の規模を表し、 $H(x)$ は住宅の密集度であり、地点 x での人口 $n(x)$ と地点 x での建物の大きさ $h(x)$ の積で表され、延焼の起こりやすさに影響する。企業 A の立地点からの距離 x が大きくなるにつれて、

被害率は低減するものとする。以上の性質を満たす関数として、 $\Psi(\cdot)$ を以下のように特定化する。

$$\Psi(\cdot) = 1 - (1 - \psi_0) \exp\left(-\frac{\Psi_2 Y_a + \Psi_3 H}{\Psi_1 x + 1}\right)$$

5 家計の行動

家計は合成財の消費と居住から効用を得るものとする。居住の効用 v は土地 z と建物 h のコブ=ダグラス型関数で与え、 $v(z, h) = z^\alpha h^{1-\alpha}$ とする。

初めに、全家計が保険に加入しない場合を考える。家計の主観的災害発生確率 μ_0 は真の確率 μ_1 よりも小さいものと仮定する。予算制約は

$$c + R(x)z + h = w_j - T_j(x) \quad (j = a, b)$$

となる。ただし c は合成財の消費、 $R(x)$ は付け値、 w_j は賃金率、 T_j は通勤費用を表す。期待効用関数を次のように定式化する。

$$EU = \frac{(1 - \mu_0)\{c^\gamma v(z, h)^{1-\gamma}\}^{1-\theta}}{1 - \theta} + \frac{\mu_0\{c^\gamma v(z, (1 - \psi)h)^{1-\gamma}\}^{1-\theta}}{1 - \theta}$$

第1項は災害非発生時、第2項は災害発生時の効用を表す。期待効用最大化問題と付け値最大化問題より、家計A、家計Bの付け値関数及び各種需要関数が求まる。

6 立地均衡

均衡条件は、以下のように与えられる。財A市場のクリアリング条件として $Y_a = Y_{ab}$ であること、家計A家計Bの付け値が $x = \bar{x}_{B1}$ で一致すること、家計Bの付け値は $x = \bar{x}_{B2}$ で R_f となること、各地点 x の人口と土地需要の積が線形空間の幅 x_w となること、地点 $x = 0$ から $x = \bar{x}_{B1}$ の人口の和が企業Aの労働者数 L_a となることである。

図1から4は、あるパラメータの組み合わせ下での数値計算結果を表す。それぞれ各地点 x での被害率、付け値(桃線が家計A、青線が家計B)、建物の大きさ、人口を表す。

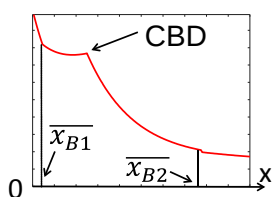


図1:被害率

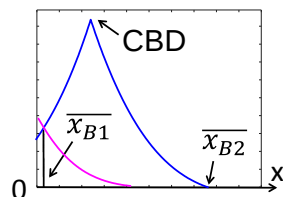


図2:付け値

なお、高い付け値を提示する家計がその土地を手に入れるので、地点 $x = 0$ から $x = \bar{x}_{B1}$ には家計A

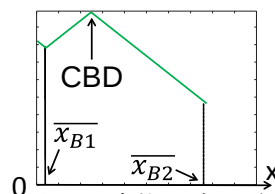


図3:建物の大きさ

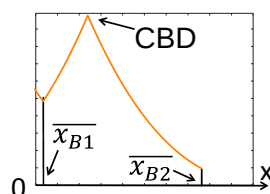


図4:人口

が、 $x = \bar{x}_{B1}$ から $x = \bar{x}_{B2}$ には家計Bが居住する。

7 全家計が保険に加入する場合

家計が真の地震発生確率 μ_1 を認知しているケースを考える。このとき家計は公正なフルカバー保険を購入することが合理的となる。保険料率は、建物 h に対して $\mu_1 \Psi$ の率であるとする。このとき家計の予算制約は次のようになる。

$$c + R(x)z + (1 + \mu_1 \psi)h = w_j - T_j(x) \quad (j = a, b)$$

家計の効用関数は以下のように表される。

$$\widetilde{EU} = \frac{\{c^\gamma v(z, h)^{1-\gamma}\}^{1-\theta}}{1 - \theta}$$

5.と同様に、期待効用最大化問題と付け値最大化問題より、家計A、家計Bの付け値関数及び各種需要関数が求まる。以下の図5、6は、被害率と建物の大きさについて、正しい災害発生確率が認知された下での、全家計が保険加入する場合(実線)と加入しない場合(点線)を比較したものである。

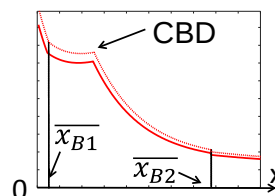


図5:被害率

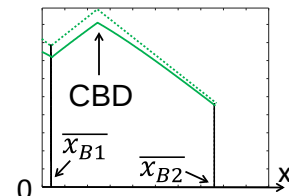


図6:建物の大きさ

保険に加入した場合には、保険料が建物の実効価格を上げるため建物の大きさが減少し、一方で土地需要が増加し人口が減少する。その結果、企業Aの産業規模、建物密集度が低下し、被害率は減少する。

8 おわりに

本研究では、Natech 関連産業が立地する沿岸工業地帯周辺の居住地域を対象に、Natech 災害がもたらす火災リスクと住民の立地行動に着目して、2産業線形空間モデルを構築した。数値計算結果の一例として、全保険に加入した場合に被害率が減少する結果となった。今後の課題としては、都市中心部における土地の高度利用や、財A市場がopenである場合等を考慮する必要がある。