

災害リスクマネジメントに基づいた総合治水対策の評価モデルの構築*

Evaluation Method of Integrated Flood Risk Management*

吉田正卓**・高木朗義***

By Masataka YOSHIDA** and Akiyoshi TAKAGI***

1. 背景・目的

わが国の都心部およびその周辺住宅地には、災害脆弱地区が多く存在する。これに対応するため、これまで河道改修や洪水調整池の整備を行なうとともに、流域内においても流出抑制施設を整備するなど総合治水対策が行われてきた。その結果着実に洪水災害は減少し、治水安全度は高まっている。しかし、それにつれて大都市およびその周辺では都市化が進み、最近では「都市型水害」とよばれるカストロフィックな水害が頻発するようになった。すなわち、ある程度の規模の外力までは耐えうるが、それを超える場合には非常に広範囲かつ大規模な災害となるというものである。また、地球温暖化の影響もあるのか、台風のような広域的な豪雨だけでなく局所的な集中豪雨の発生頻度が高くなってきているとの指摘も聞かれる。さらに、それまでは浸水しやすい場所、いいかえれば、ある程度の浸水が許される場所（水田や湿地など）にも住宅などが建てられたために、大きな被害が発生している。特に、2000年の東海豪雨災害では都市部において大きな被害をもたらした。これは、従来までのハードを中心としたリスクコントロールだけでは対応できないことを示唆している。例えば、このような災害脆弱地域では、治水対策を行うよりも住民や企業を移転させたほうが社会的費用が少ない場合がある。また、立地変更の結果として生じる土地利用変化は、流出現象を介して当該地域のみならず他地域の治水安全度に影響を及ぼすことから、地域

* キーワーズ：河川計画，公共事業評価法

** 学生員，岐阜大学大学院博士前期課程

(岐阜市柳戸 1-1，TEL058-293-2445，FAX058-230-1248)

*** 正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

の治水安全度と土地利用は地域を越えて相互に依存しており、社会的に最適に洪水リスクを軽減するためには、この相互依存関係を踏まえた上で、治水施設整備や土地利用規制などのリスクコントロールと、洪水保険制度などのリスクファイナンスの最適な組み合わせを行うというリスクマネジメントに基づいた総合治水対策を実施していく必要がある。そこで本研究では、筆者ら¹⁾が構築してきた治水安全度を内生化した立地均衡モデルに、企業の立地選択行動を追加するとともに、保険システムや土地利用規制の評価もできるモデルを構築することを目的とする。モデルの概念を図1に示す。

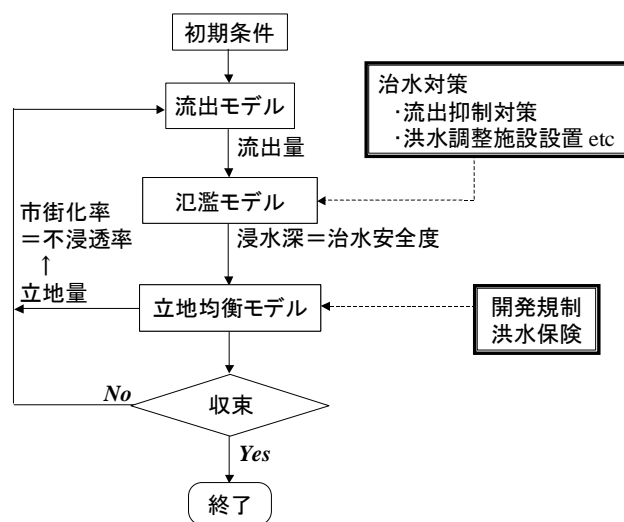


図1 評価モデルの概念

2. 評価モデルの構築

(1) 治水安全度(浸水深)

治水安全度が人々の立地選択に影響を及ぼす一方で、開発による流出量の増大が洪水被害を招く恐れがある。そこで、後で示す立地均衡モデル

と整合させ、流出モデルとして合理式合成モデルを、氾濫モデルとして一池モデルを用い、市街化面積を立地均衡モデルとリンクさせるように定式化すると以下のように表現できる。

$$Q_i^j = \frac{1}{3.6} f^j I_i A^j \quad (1)$$

$$f^j = \frac{0.9 \times K^j + 0.6(A^j - K^j)}{A^j} \quad (2)$$

$$V_i^j = \sum_{j=1}^i \delta \sum_S^E (Q_i^j - Q_c^j) \quad (3)$$

$$V_i^j / A^j = H_i^j \quad (4)$$

$$N^j B^j + n^j b^j = K^j \quad (5)$$

ただし、 i ：環境状態、 j ：地域、 f ：流出率、 H ：浸水深、 Q ：流出量、 Q_c ：流下能力、 V ：浸水量、 H ：浸水深、 A ：流域面積、 K ：市街化面積（＝土地供給量）、 b, B ：世帯、企業の土地需要量、 n, N ：世帯、企業数、 δ ：低減率、 S, E ：流出量が流下能力を上回る時間の開始、および終了時間とし、図2に示すように定義する。

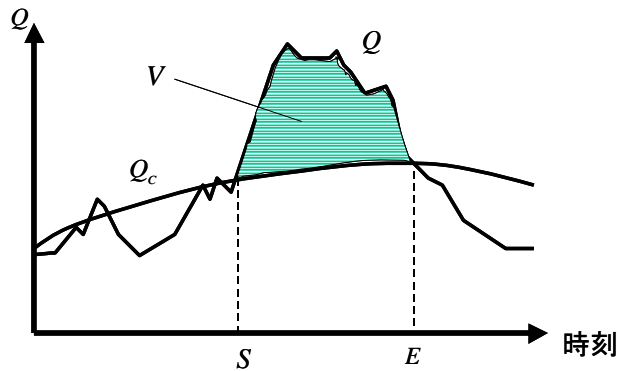


図2 流出量と浸水量の関係

(2) 立地均衡モデル

(a) 世帯の行動モデル

すべての世帯は任意の地域に居住するものとし、期待効用最大化行動をとるものとする。世帯は地域、環境状態毎の予算制約下で土地需要量、合成財消費量をコントロールして期待効用を最大にするものと仮定する。

また、世帯は水害保険に加入し、さらに災害時の資産被害を自己修復できるよう、積立あるいは借入ができるようになっているものとする。このため、被災時には保険金と貯金または借入金を受け取って、資産を完全修復できるものとし、平常時には積立額、返済額を支払っているとする。なお、ここでの積立あるいは、借入は保険でカバー

できない分をいずれかのところでカバーするための簡単なケースとして想定している。

以上の点を踏まえて、世帯の効用関数をコブ・ダグラス型を用いて定式化すると、次のようになる。

$$E^j(u_i^j) = \max_{x,b} \sum \phi_i^j \cdot x_i^{j\alpha_x} \cdot b^{j\alpha_b} \cdot z^{j\alpha_z} H_i^{j\alpha_H} \quad (6)$$

$$s.t. w^j + p_i x_i^j + r^j b^j + h^j = y_i^j + h_i^j + w_i^j - D_i^j z^j - g_i^j \quad (7)$$

$$D_i^j z^j = h_i^j + w_i^j \quad (8)$$

ただし、 $E^j(u_i^j)$ ：期待効用水準、 w ：自己修復の積立(返済)額、 w' ：自己修復資産額、 D ：資産被害率、 p ：合成財価格、 r ：地代、 h' ：保険金、 h ：保険料、 y ：所得、 z ：資産、 g ：税金、 $\alpha_x, \alpha_b, \alpha_H, \alpha_z$ ：パラメータ。

これを解くと、世帯の土地需要関数および状態別効用水準を得る。

$$b^j = \left(\frac{y_i^j - h^j - w^j - g_i^j}{r^j} \right) \alpha_a \quad (9)$$

$$u_i^j = \left(\frac{\alpha_x}{p_i} \right)^{\alpha_x} \left(\frac{\alpha_a}{r^j} \right)^{\alpha_a} H_i^{j\alpha_H} z^{j\alpha_z} (y_i^j - h^j - w^j - g_i^j) \quad (10)$$

ここで、世帯は各地域で得られるであろう最大期待効用値に従って、より高い期待効用水準を達成できるように居住地域を選択する。本研究ではこれを Logit モデルを用いて表現する。したがって、立地選択確率は次のようになる。

$$P_h^j = \frac{\exp(\theta \cdot E^j(u_i^j))}{\sum_j \exp(\theta \cdot E^j(u_i^j))} \quad (11)$$

ただし、 P_h ：世帯の立地選択確率、 θ ：パラメータ。

この Logit モデルにより得られる地域選択確率より地域における立地量が決定される。

(b) 企業の行動モデル

不確実性下では、企業は利潤が定かではないという危険に直面しているため、このような危険に対する企業の行動が決定的な役割を演じる。よって、企業の行動を分かりやすくするために、企業所有者を想定してその行動を考えるものとする。具体的には利潤量を変数とする効用関数を導入し、この効用の最大化が、不確実性下の企業の目的と考える。企業は地域、状態毎の生産技術制約下で土地需要量、合成財生産量、労働力をコント

ロールして期待効用最大化行動をするものと仮定すると、次のように定式化される。

$$E^j(v_i^j) = \max_{X_i^j, B^j, Y^j} \sum_j \phi_i^j \cdot v_i^j(\pi_i^j) \quad (12)$$

$$s.t. X_i^j = B^j \beta_B \cdot Y^j \beta_Y \cdot Z^j \beta_Z \cdot H_i^j \beta_H \quad (13)$$

$$\pi_i^j = p_i X_i^j - r^j B^j - Y^j - m^j + m_i^j - W_i + W_i' - D_i^j Z^j - G_i^j \quad (14)$$

$$D_i^j Z^j = m_i^j + W_i' \quad (15)$$

ここで、 $E^j(v_i^j)$ ：期待効用関数、 m ：保険料、 m' ：保険金、 Y ：労働力、 π ：利潤、 i ：環境状態、 j ：ゾーン、 $\beta_B, \beta_Y, \beta_H, \beta_Z$ ：パラメータ、 Z ：資本、 W ：自己修復の積立(借入)金、 W' ：自己修復資産額、 G ：税金。

これを解くと、地域、状態毎の土地需要関数、利潤関数を得る。

$$B^j = \left(\frac{r^j}{p_i Y^j \beta_Y H_i^j \beta_H Z^j \beta_Z} \right)^{\frac{1}{\beta_B - 1}} \quad (16)$$

$$\pi_i^j = p_i H_i^j \beta_H Y^j \beta_Y Z^j \beta_Z \left(\frac{1}{\beta_B p_i H_i^j \beta_H Y^j \beta_Y Z^j \beta_Z} \right)^{\frac{1}{\beta_B - 1}} - \left(\frac{1}{\beta_B p_i H_i^j \beta_H Y^j \beta_Y Z^j \beta_Z} \right)^{\frac{1}{\beta_B - 1}} r^j - Y^j - m^j - W^j - G_i^j \quad (17)$$

また、世帯と同じように企業も立地選択行動をとると、それを Logit モデルを用いて表現すると次のようになる。

$$P_f^j = \frac{\exp\{\theta' \cdot E^j(v_i^j)\}}{\sum_j \exp\{\theta' \cdot E^j(v_i^j)\}} \quad (18)$$

ここで、 P_f^j ：企業の立地選択確率、 θ' ：パラメータ。

(c) 土地供給者の行動モデル

土地供給者は、地域、状態毎の土地供給制約下で、土地供給量をコントロールして土地から得られる利潤を最大にするように行動すると仮定するが、土地サービスの供給費用を無視するならば、その1区画の土地をより高い価格で貸すこととなる。しかし、その際法外な値段では誰も借りず利潤はゼロになるので、結局、誰かが借り得る最高

の価格を決定することになる²⁾。そこで、土地供給者の行動モデルを次のように特定化する。

$$\lambda^j = \max_{K^j} r^j K^j \quad (19)$$

$$s.t. K^j = \bar{K}^j \left(1 - \frac{\sigma}{r^j}\right) \quad (20)$$

ただし、 λ ：土地供給者の利潤、 σ ：パラメータ。

(d) 均衡条件

土地供給者は式(19)、(20)で示したように土地供給を行なう。各立地量が固定された状態を考えると、市場で集計された需要と供給が均衡し、各地域の市場均衡価格(地代)が決定される。地代が決定される市場均衡条件は以下ようになる。

$$b^j \cdot n^j + B^j \cdot N^j = K^j \quad (21)$$

市場均衡によって決定された地代により世帯と企業は期待効用最大化行動をとり、その結果、各地域への立地量が決定される。立地均衡条件は以下ようになる。

$$\sum_j n^j = n^T \quad (22)$$

$$\sum_j N^j = N^T \quad (23)$$

ここで、 n^j ：世帯の立地量、 N^T ：世帯の総立地量、 N^j ：企業の立地量、 N^T ：企業の総立地量。

式(21)の市場均衡条件、式(22)、(23)の立地均衡条件よりワルラス的な多市場同時均衡に基づき、各地域の立地量と地代の均衡解が同時に決定される。

3. 総合治水対策の評価

(1) 対象地域

本研究では、東海豪雨災害において多大な浸水被害を受けた野並地区を対象として、いくつかの総合治水対策の代替案について評価する。野並地区は、天白川とその支流である藤川および郷下川に囲まれた地区であり、その地盤高はいずれの河川の堤防天端高よりも2m以上低くなっている⁴⁾。野並地区周辺図を図2に、北西-南東方向の地形縦断図を図3に示す。

図3から分かるように、野並地区は急勾配からの丘陵地直下であり、丘陵地における下水道の流下能力を超えた分は地表面(特に道路)をつたって野並地区に流れ込むようになっている。



図2 野並地区周辺

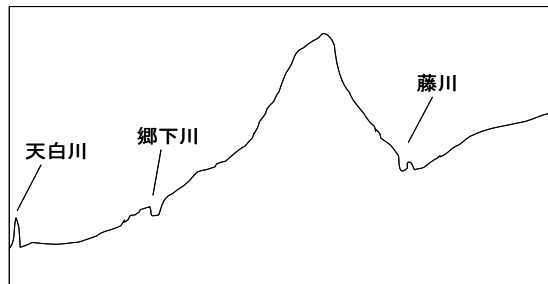


図3 野並地区縦断図

表1 天白川流域浸水被害状況³⁾

床上浸水実戸数	約3800戸
内 軒下以上	約400戸
内 軒下未満	約3400戸
床下浸水実戸数	約4400戸
浸水実戸数 計	約8200戸
浸水面積	約1000ha
想定被害額	約3500億円

2000年9月11日～12日の東海豪雨では、天白川流域で時間最大77mm、3時間最大212mm、総雨量585mmの記録的な雨が降り、表1に示すような被害をもたらした。とくに、野並地区は浸水深が2mを超えた地域が多くあった。野並ポンプ場の排水区域は1.14km²、その排水能力は50mmの時間雨量に対応して最大で8.6m³/sである。今回の豪雨では50mmを越える時間雨量に加えて、郷下川からの溢水が生じたため、内水排除用のポンプ排水ではとても追いつかず、大きな浸水被害となった。総氾濫水量は約110万m³、そのうち内水量の累加が約60万m³であり、郷下川からの溢水量など野並ポンプ場の排水域以外から流入し

てきた氾濫水が約50万m³と総氾濫水量の半分近くを占めた。そのため氾濫水の排水には13日午前中までの時間を要した⁴⁾。

(2) 対策の波及と効果

前章において構築した評価モデルから治水対策を行なった場合と行なわなかった場合の流出量、治水安全度（浸水深）、立地量、地代を求め、その結果から総合治水対策の評価を行なう。本研究における総合治水対策とは、1) 保険システム：保険料 h, m に対応した被災時の保険金 h', m' 支払いにより被害金額 D_z, D_Z のうちいくらかがカバーされる、2) 土地利用規制の導入：土地供給量 K を抑制することにより、土地変更を誘引し、その結果として被害額を軽減させる、3) 治水（流出抑制）施設整備：税金 g, G を原資として流域内に流出抑制施設を建造し、浸水量 V を抑えることで洪水時の浸水深 H を減らし、被害を軽減させる、の3つのパターンである。

4. おわりに

本研究では、災害リスクマネジメントに基づいた総合治水対策の評価モデルを構築した。これは、保険システムや土地利用規制、流出抑制の評価に対応したモデルとなっている。なぜなら、自然現象を捉えた流出氾濫モデルと社会現象を捉えた立地均衡モデルを統合した評価モデルであるからである。今後の課題は、今回明示した野並地区を対象地域とした数値シミュレーションを行なうことである。

参考文献

- 1) 高木朗義・武藤慎一・太田奈智代：応用都市経済モデルを用いた治水対策の経済評価、河川技術論文集、Vol.7, pp.423-428, 2001.
- 2) 佐々木公明・文世一：都市経済学の基礎、株式会社有斐閣、pp.39, 2000.
- 3) 午山素行・石垣泰輔・戸田圭一・千木良雅弘：2000年9月11日～12日に東海地方で発生した豪雨災害の特徴、自然災害科学 VOL19 pp.359-373, 2000.
- 4) 富永晃宏：天白区野並地区の水害について、2000年9月東海豪雨災害に関するミニシンポジウム報告書、pp.31-38, 2001.