

Ⅳ— 8 内水氾濫想定地域における土地利用高度化の適正規模に関する一考察

北海道大学大学院環境科学研究科 正員 加賀屋 誠

1 はじめに

昭和55年8月28日から31日までの間の大雨は、北海道南西部を中心に大きな被害をもたらした。幸い人命に関する被害はなかったが、床上浸水住家1,009棟、床下浸水住家2,893棟に達し、さらに、全半壊住家も219棟に及び、それらの地域では近年にない大規模な被害となった。土木施設を含む被害は100億円を越え、特に大きかったのは、室蘭、登別両市であった。これらの地域で、特筆すべきことは、土木施設等の公的施設を除く被害が、28億円を越え、住家、商工業など都市機能に関する被害は、その中で約90%にも達している。（以上道防災消防課および室蘭、登別市各災害対策本部の資料を一部再集計したものによる）こういった例を示すまでもなく、道内において都市水害が増加する傾向にある。近年、大河川流域を中心とした高水工事による治水事業が除々にその効果を示しはじめ、溢水、破堤などによるいわゆる外水氾濫による水害が減りつつある。しかしながら、中小河川あるいは、都市集水域の主として湛水による水害は、逆に増大してきている。これは、今まで人間の生活空間が災害危険性をあらかじめ事前評価しなくても、安全性がある程度は確保されたこと、また土地獲得に対して比較的余裕があったことなどが、その第1の要因である。また第2の要因として特に都市の拡大によって、水田などの農用地、湿地あるいは、小河川などが次々と市街地として生まれ変わり、今までの流出形態が大幅に変化してきていることがあげられる。またその他の自然および社会的な要因をあげると以下のようになる。

①崩壊しやすい沖積地帯や、急傾斜地、あるいは、低湿地軟弱地帯が多いこと。

②主として中小河川あるいは、小集水域地域であること、そのために一般的に、河川の整備の遅れ、排水処理施設が不十分であること。

③宅地造成あるいは、市街地形成速度が急激であること。

などであり、これに水害インパクトとしての多降雨等があった場合、複合的な要因が相互的に働いて氾濫をおこすことになる。

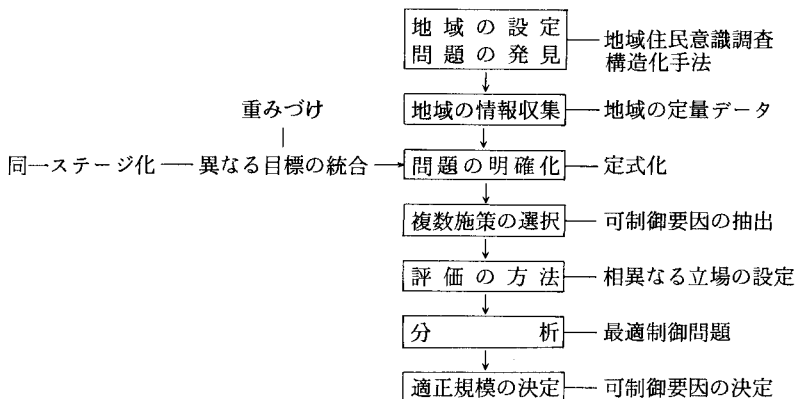
ここでは、主としてこのような宅地あるいは市街地形成速度と、水害の潜在的危険性に対する安全性との関連について考え、それらがバランスよく存在できる地域の望ましい姿—適正規模についての考え方を数値的モデルを用いて検討するものである。より具体的な目的として次の3点を考える。

①水害の潜在的危険性と、市街化によって受ける効果を同一次元で評価する方法を確立すること。

②望ましい姿—適正規模について様々な意思決定集団の効用として評価できる方法を考えること。¹⁾

③水害の潜在的危険性と、それに対する対策を踏まえた市街地開発速度について評価する方法を考えること。

以上の検討を行なうプロセスについては、2)にくわしいが、図—1には、それらの概要を簡単に紹介する。



図—1 地域の適正規模決定のプロセス

2. 水害ポテンシャルと土地利用の適正制御

都市化の結果もたらされる土地利用の高度化は、氾濫想定地域にとって最も重大な社会、経済的問題である。なぜならば、洪水による潜在的被害を低くするためには、水害防止のための各種の投資と、集積の抑制など広範な社会との関連性をもって対処していかなければならない。このような問題にとって、環境汚染と経済成長との関係と類似した一種のトレードオフの関係にあるから、それらのバランスをとるためには、どのような施策を選択しながら制御を行なっていくかが重要になる。^{4) 5) 6)}

本モデルは、人口および資産の集積による効果と、逆に水害による被害ポテンシャルから得られる効用の最大化（具体的には、不効用の最小化）を行なうためのものである。その制御に関しては、治水計画の複数施策を導入することによってより迅速に、かつ弾力的に対応することを特徴としている。

ここで本モデルが適用可能な地域をあらかじめ設定しておく。

- ①急激な都市化、高速化の起こっている地域——すなわち一般的な治水計画では、地域の発展度合に追従できない、すなわち、費用便益差などの制御基準によって被害ポテンシャルを制御しても、それを上回る土地利用の高度化による被害ポテンシャルの増加が見込まれる地域
- ②特に、今後都市化あるいは市街地化が予想される地域で、市街化区域規制の一般的コンセンサスが得られる地域
- ③国または、地方公共団体による事業の積極的推進を望んでいる反面、個人的防御、自衛的手段に対して積極的な地域最近実施されつつある総合治水対策も³⁾以上のような条件を満たす地域では、実施されやすいと考える。本モデルで導き出す地域の均衡発展の考え方も、そのような総合的な施策を評価するためのものである。

具体的なモデルの構築にあたっては、次のような条件を仮定した。

- ①モデルで用いられる状態変数は、多地域土地利用面積および治水事業投資である。前者は、都市化を表わす尺度として、また後者は、治水事業の規模を表わす尺度として用いられる。
- ②制御可能変数として、土地利用の高度化（変化）量、治水投資の増加量および家屋の耐水化率（地盤のカサ上げ実施率）を考える。土地利用の変化量は、都市化の上昇を表わすフローであり、治水投資増加量は、主として技術的対策のフロー、家屋の耐水化率は、社会的対策のフローとして導入される。
- ③評価関数としては、総費用によって定義された不効用関数を基準とし数通りの関数を考える。効用評価の立場として、典型的な治水対策を行なう事業体（Public Agency）、および地域開発主体（Private Party）の2集団を考え、さらに⁷⁾それらを統合した地域全体としての立場を考える。
- ④地域の土地利用変化形態は、農地から宅地への非可逆的な変化のみを考え、さらに新規土地利用高度化地域においての資産の蓄積は、時間の遅れがないものとする。
- ⑤また治水投資によって整備される技術的対策は、ポンプ排水施設による強制排水を考える。施設の増設は、連続増加とみなせるような小規模施設が増加していくものとする。

3. 数値モデルの構築

以上のようなモデル構築の条件をもとに、都市化地域における治水制御問題は、割引きされた不効用関数の一定期間にわたる積分を最小にする制御可能変数を求める最適制御問題として定式化されている。

モデルを示す前に記号を説明しておく

$\ell_{ij}(t)$: j 流域 i 種土地利用面積、 $Quj(t)$: j 流域ポンプ排除量、 $U_{ij}(t)$: j 流域 i 種土地利用増加面積、 $Upj(t)$: j 流域ポンプ施設投資、 $ej(t)$: j 流域地盤カサ上げ実施率、 $Cf(t)$: 被害コスト関数、 $Cfp(t)$: 耐水処理コスト関数、 $Cp(t)$: ポンプ施設コスト関数、 $G_{ij}(t)$: j 流域 i 種被害面積関数、 $Ri(t)$: i 種被害率、 $Pi(t)$: i 種土地利用単位面積当たり資産額、 hj : j 流域カサ上げ安全高、 $Ppj(t)$: j 流域カサ上げ単位量当たり費用、 $\beta(t)$: 単位投資当たり、ポンプ施設規模増加量

状態変数として、次式を設定する

$$\dot{\ell}_{ij}(t) = U_{ij}(t) \quad (1)$$

$$\dot{q}_{uj}(t) = U_{pj}(t) \cdot \beta(t) \quad (2)$$

(1)は、土地利用を表わす状態方程式、(2)は、ポンプ施設を表わす状態方程式である。

制約条件は、次のようになる。

$$\sum_j \{ V_{ij}(t) - U'_{ij}(t) \} = 0, \sum_j \ell_{ij}(t) = L_j, e_j(t) = \text{const}, U_{ij}(t) > 0, U'_{ij}(t) > 0, U_{pj}(t) > 0, \\ U_{\min} < U_{ij}(t) < U_{\max}, U_{\min} < U_{pj}(t) < U_{\max}$$

ここで、期待被害関数による被害コスト関数は次のように設定される。

$$C_f(t) = \sum_j \sum_i \{ P_i(t) \cdot G_{ij} \{ q_j(t) \} R_i \{ q_j(t) \} \cdot \beta_{ij}(t) \{ 1 - e_j(t) \} \} \\ q_j(t) = \sum_i \{ R_{sjfi} \ell_{ij}(t) - q_{uj}(t) \} \quad (3)$$

また、家屋の耐水処理（地盤のカサ上げ）コスト関数は、(4)のように与えられる。

$$C_{fp}(t) = \sum_j \sum_i U_{ij}(t) \cdot h_j \cdot e_j(t) \cdot P_{pj}(t) \quad (4)$$

さらに、ポンプ施設コスト関数は、(5)のように与えられる。

$$C_p(t) = \sum_j U_{pj}(t) \quad (5)$$

そして、ここでの目標は、上述したコスト関数によって構成されたコストを低下させるとともに、各地域の資産の集積を大きくするような最適制御政策を考えることである。今、資産の増加量を $U(t)$ とすると、各不効用を評価する立場から、次のような、不効用関数を考えることができる。

$$J_1 = \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) + C_p(t) \} e^{-\rho t} dt \quad (6)$$

$$J_2 = \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) + C_{fp}(t) - U(t) \} e^{-\rho t} dt \quad (7)$$

$$J_3 = \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) + C_{fp}(t) + C_p(t) - U(t) \} e^{-\rho t} dt \quad (8)$$

$$J_4 = \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) + C_p(t) \}^2 e^{-\rho t} dt + \alpha \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) - C_{fa}(t) \}^2 e^{-\rho t} dt \quad (9)$$

$$J_5 = \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) + C_{fp}(t) - U(t) \}^2 e^{-\rho t} dt + \alpha \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) - C_{fa}(t) \}^2 e^{-\rho t} dt \quad (10)$$

$$J_6 = \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) + C_{fp}(t) + C_p(t) - U(t) \}^2 e^{-\rho t} dt + \alpha \int_{t_0}^{t_1} \{ C_f(t) - C_{fa}(t) \}^2 e^{-\rho t} dt \quad (11)$$

ただし、 ρ ：割引率、 α ：2つの不効用の相対的重み

評価関数 J_1 は、被害コスト関数とポンプ施設コスト関数の和で表わされる主として、治水事業主体の不効用を、費用便益的基準で表わしたものである。

評価関数 J_2 は、被害コスト関数、耐水処理コスト関数の和から、資産増加量を引いた、費用便益差タイプの主として地域開発主体の不効用を評価したものである。

評価関数 J_3 は、地域の総合的な不効用を表わす費用便益差タイプの関数である。

一方評価関数 $J_4 \sim J_6$ は、目標値からの格差を不効用を表わす尺度としている関数である。いずれも右辺第1項では、コストが0の時を目標値として、評価関数 $J_4 \sim J_6$ の場合設定した費用との格差を表わし、また右辺第2項では、被害コスト関数の地域格差を表わしている。 $J_4 \sim J_6$ では、これらの格差より不効用関数を構成し、それらを最小にする問題を解くことになる。

評価関数 J_4 は、治水事業主体の不効用関数、同様に評価関数 J_5 は、地域開発主体の不効用関数、さらに評価関数 J_6 は、地域の総合的な不効用関数として考えられるものである。

ここで提案した評価関数の各式について最適制御理論に従って解析した結果についてまとめる。

i) J_1 の場合

被害コスト関数 C_f は、 U_{ij} が増加するに従って増加し、 U_{pj} が増加すると減少する関数である。すなわち $\partial C_f(t)/\partial U_{ij}(t) > 0$ および $\partial C_f(t)/\partial U_{pj}(t) < 0$ が成立する。また特に J_1 は、 U_{pj} に関して凸関数となり、ある U_{ij} について J_1 を最小とする U_{pj} が1点得られる。これを任意の U_{ij} について考えると J_1 を最小にする U_{pj} は、直線として与えられ $U_{pj} = U_{pc}(\text{const})$ ($t_0 \leq t \leq t_1$)となる。また U_{ij} の働く範囲が小さいほど、 U_{pj} にとって制御可能な良い条件となる。すなわち、 J_1 の評価関数のもとでは、土地利用の高度化と独立的に、投資の規模が決定され、投資の規模は、被害コスト関数を最小にするように決定されることになる。これは、一応治水事業主体が行なっている一般的な概念を説明している。

ii) J_2 、 J_3 の場合

これに対して、 J_2 、 J_3 の場合の評価関数については、ハミルトン関数が U_{ij} および U_{pj} に関して一次関数となる。これらの解は、一般的にバングバング制御解となり、 J_2 、 J_3 について解くと、次のような解が得られる。

④ J_2 の解

$$\begin{array}{ll} \text{I} \begin{cases} \lambda_{ij}(t) + h_j P_{pi}(t) e_j(t) - P_i(t) < 0 \\ \lambda_{pj}(t) < 0 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmax} \\ U_{pj}(t) = U_{pmax} \end{cases} \\ \text{II} \begin{cases} \lambda_{ij}(t) + h_j P_{pi}(t) e_j(t) - P_i(t) < 0 \\ \lambda_{pj}(t) > 0 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmax} \\ U_{pj}(t) = U_{pmin} \end{cases} \\ \text{III} \begin{cases} \lambda_{ij}(t) + h_j P_{pi}(t) e_j(t) - P_i(t) > 0 \\ \lambda_{pj}(t) < 0 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmin} \\ U_{pj}(t) = U_{pmax} \end{cases} \\ \text{IV} \begin{cases} \lambda_{ij}(t) + h_j P_{pi}(t) e_j(t) - P_i(t) > 0 \\ \lambda_{pj}(t) > 0 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmin} \\ U_{pj}(t) = U_{pmin} \end{cases} \end{array} \quad (12)$$

⑤ J_3 の解

J_3 の解は、 J_2 の場合の $\lambda_{pj}(t)$ を $(1 + \beta \lambda_{pj}(t))$ に変換したものとなる。

これらの解の意味について考えてみると、次のようなことが明らかとなる。

- $U_{ij}(t)$ および $U_{pj}(t)$ は、それぞれ U_{lmin} あるいは U_{lmax} 、 U_{pmin} あるいは、 U_{pmax} のいずれかの値をとる。
 - 制御の切換えの回数は、たかだか 1 回である。
 - $U_{ij}(t)$ および $U_{pj}(t)$ の切換えが行なわれる場合、制御は IV から、III $\rightarrow$ I $\rightarrow$ II の順に変化する。
- いまバングバングの制御は、一般的に (13) 式のように表わすことができる。

$$U_r(t) = -\text{sgn} K r(x(t), \lambda(t), t), \quad r = 1 \dots \dots \dots R \quad (13)$$

これに対して、全時間区間で恒等的に $K \equiv 0$ ($t_0 \leq t < t_1$) となる場合の制御は、ハミルトン関数最小の条件からは、決定することはできないが、このような特異な制御を特異制御の問題という。特異制御の場合 $(d/dt) K \equiv 0$ 、 $(d^2/dt^2) K \equiv 0 \dots \dots \dots$ が成立する。

本研究での特異モードの場合、 $\lambda_{pj}(t) \equiv 0$ および $\lambda_{ij}(t) + h_j P_{pi}(t) e_j(t) - P_i(t) \equiv 0$ とおくことによって、 $\lambda_{pj}(t) \equiv 0$ 、 $\lambda_{ij}(t) \equiv 0$ が得られ、これらより、特異制御の場合の特異軌道としては、 $g_{uj}(t) = Q_j(t) + C_1$ (C_1 : 定数) が考えられる。すなわち、地域 j で流出する流量 (期待される確率流量) $Q_j(t)$ に見合う流量を制御する、技術的あるいは、社会的施策を必要とする解を求めることになる。一般的に、特異軌道は、バングバング軌道よりも最適であることが示されており、この場合も、 $U_{ij}(t)$ 、 $U_{pj}(t)$ は、流量を 1 つの目安として行なうことが望ましいことが示された。

iii) J_4 、 J_5 、 J_6 の場合

評価関数 J_4 は、制御変数 $U_{ij}(t)$ 、 $U_{pj}(t)$ について 1 次関数、評価関数 J_5 、 J_6 は制御変数 $U_{ij}(t)$ 、 $U_{pj}(t)$ について 2 次関数である。各評価関数についての解法は、以下の通りである。

④ J_4 の解

ハミルトン関数を定義すると (14) となる。

$$H_4(t) = \{C_f(t) + C_p(t)\}^2 + \alpha \{C_f(t) - C_{fa}(t)\}^2 e^{-\rho t} + \lambda_{ij}(t) U_{ij}(t) + \lambda_{pj}(t) U_{pj}(t) \cdot \beta \quad (14)$$

(14) 式は、 U_{ij} 、 U_{pj} について 1 次関数であり、 J_2 、 J_3 で与えられた解同様バングバング制御となり、次の制御が与えられる。

$$\begin{array}{ll} \text{I} \begin{cases} \lambda_{ij} < 0 \\ \lambda_{pj} < 0 \end{cases} & \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmax} \\ U_{pj}(t) = U_{pmax} \end{cases} \\ \text{II} \begin{cases} \lambda_{ij} < 0 \\ \lambda_{pj} > 0 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmax} \\ U_{pj}(t) = U_{pmin} \end{cases} \\ \text{III} \begin{cases} \lambda_{ij} > 0 \\ \lambda_{pj} < 0 \end{cases} & \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmin} \\ U_{pj}(t) = U_{pmax} \end{cases} \\ \text{IV} \begin{cases} \lambda_{ij} > 0 \\ \lambda_{pj} > 0 \end{cases} & \Rightarrow \begin{cases} U_{ij}(t) = U_{lmin} \\ U_{pj}(t) = U_{pmin} \end{cases} \end{array} \quad (15)$$

⑤ J_5 の解

ハミルトン関数を定義すると、(16) となる。

$$H_5(t) = \{ \{ Cf(t) + Cf_p(t) - U(t) \}^2 + \alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \}^2 \} e^{-\rho t} + \lambda_{ij}(t) U_{ij}(t) + \lambda_{pj}(t) Up_j(t) \cdot \beta \quad (16)$$

よって随伴方程式は、

$$\dot{\lambda}_{ij}(t) = -\frac{\partial H_5(t)}{\partial U_{ij}(t)} = \{ -2 \{ Cf(t) + Cf_p(t) - U(t) \} \frac{\partial Cf(t)}{\partial U_{ij}(t)} - 2\alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \} \cdot \frac{\partial Cf(t)}{\partial U_{ij}(t)} \} e^{-\rho t} \quad (17)$$

$$\dot{\lambda}_{pj}(t) = -\frac{\partial H_5(t)}{\partial Up_j(t)} = \{ -2 \{ Cf(t) + Cf_p(t) - U(t) \} \frac{\partial Cf(t)}{\partial Up_j(t)} - 2\alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \} \cdot \frac{\partial Cf(t)}{\partial Up_j(t)} \} e^{-\rho t} \quad (18)$$

$$\frac{\partial H_5(t)}{\partial U_{ij}(t)} = 2 \{ h_{jei}(t) \cdot Pp_j(t) \{ Cf(t) + Cf_p(t) - U(t) \} - P_i(t) \} + \lambda_{ij} = 0 \quad (19)$$

評価関数 J_5 の場合、治水事業による対策にかかわりなく、(17)、(19)および始端条件、終端条件によって、 $U_{ij}(t)$ が決定される。

④ J_6 の解

ハミルトン関数は、(20)となる。

$$H_6(t) = \{ \{ Cf(t) + Cf_p(t) + Cp(t) - U(t) \}^2 + \alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \}^2 \} e^{-\rho t} + \lambda_{ij}(t) U_{ij}(t) + \lambda_{pj}(t) Up_j(t) \cdot \beta \quad (20)$$

随伴方程式は、

$$\dot{\lambda}_{ij} = -\frac{\partial H_6(t)}{\partial U_{ij}(t)} = \{ -2 \{ Cf(t) + Cf_p(t) + Cp(t) - U(t) \} \frac{\partial Cf(t)}{\partial U_{ij}(t)} - 2\alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \} \frac{\partial Cf(t)}{\partial U_{ij}(t)} \} e^{-\rho t} \quad (21)$$

$$\dot{\lambda}_{ij} = -\frac{\partial H_6(t)}{\partial Up_j(t)} = \{ -2 \{ Cf(t) + Cf_p(t) + Cp(t) - U(t) \} \frac{\partial Cf(t)}{\partial Up_j(t)} - 2\alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \} \frac{\partial Cf(t)}{\partial Up_j(t)} \} e^{-\rho t} \quad (22)$$

となる。

また、

$$\frac{\partial H_6(t)}{\partial U_{ij}(t)} = 2 \{ Cf(t) + Cf_p(t) + Cp(t) - U(t) \} \{ h_{jei}(t) Pp_j(t) - P_i(t) \} + \lambda_{ij}(t) = 0 \quad (23)$$

および

$$\frac{\partial H_6(t)}{\partial Up_j(t)} = 2 \{ Cf(t) + Cf_p(t) + Cp(t) - U(t) \} + 2\alpha \{ Cf(t) - Cfa(t) \} + \lambda_{pj}(t) \cdot \beta = 0 \quad (24)$$

以上のように、評価関数 J_6 については、 $U_{ij}(t)$ 、 $Up_j(t)$ の最適制御解が、決定される。

評価関数 J_5 および J_6 についての解は、2点境界値問題として処理される。これらの解析解は、一般に容易に見出すことが困難なので、数値解析的方法を用いる。解析手順は、以下に示す通りである。

- ①制御変数 $U_{ij}(0)$ 、 $Up_j(0)$ を仮定する。また、 $l_{ij}(0)$ 、 $qu_j(0)$ は、地域のデータからすでに既知であるとして、初期条件を与える。
- ② $l_{ij}(t) = f(l_{ij}(t-1), U_{ij}(t))$ 、および $qu(t) = q(qu_j(t-1), Up_j(t))$ の関係から、状態変数 $l_{ij}^k(t)$ 、 $qu^k(t)$ を求める。
- ③ $\lambda_{ij}(t) = 0$ の境界条件を用い、随伴方程式を逆向きに計算し $\lambda^k(t)$ を求める。同時に $(\partial H / \partial U_{ij}, \partial H / \partial Up_j)$ も計算する。
- ④ $U_{ij}^{k+1}(t) = U_{ij}^k(t) - C_{ij}(\frac{\partial H}{\partial U_{ij}})^T$ 、 $Up_j^{k+1}(t) = Up_j^k(t) - C_{pj}(\frac{\partial H}{\partial Up_j})^T$ を用いて、改良された $U_{ij}^{k+1}(t)$ 、 $Up_j^{k+1}(t)$ を求める。
- ⑤ $U_{ij}(t)$ 、 $Up_j(t)$ が、ある計算停止基準を満たす安定性を確保するまで、②～④をくり返す。

4 対象地域の選定とモデルの適用

(i)対象地域

本モデルの分析における対象地域は、土地利用の高度化の進む内水氾濫想定地域を選定した。具体的には、札幌市東北部、石狩町に存在する2中小河川流域、旧発寒川流域および伏龍川流域の各地域データに基づき分析を行なってみた。モデルの起時点昭和50年とし、現在行なわれている治水事業計画とは、直接関連性を考慮せず、モデルで仮定した条件に従うものとして検討を行なうこととした。上述した流域を便義上流域Aおよび流域Bと表わすこととした。

対象地域の水害およびその対策への関心、あるいは、生活環境の中での位置づけ等事前情報について、アンケート調査および構造化手法等で概略を示すと次のようになる。

- ①生活水準目標15項目の相互比較による構造化手法（地域の各階層の対象者10名による調査）の結果、防災水準は、保健水準、雇用収入水準、福祉水準などとともに上位にランクされており、切実でかつ、重要な問題となっている。
- ②また、水害関連アンケート（対象者は昭和50年8月洪水の体験者）によると、75%が危険を感じており、自衛的対策

をとっている人が65%に達している。総合治水対策で進められつつある社会的対策の洪水保険への協力も80%の人が「する」と答えており、土地利用制限賛成が75%、さらに雨水貯留槽への協力(61%)、災害情報の公開(88%)など強い協力の意志が住民に働いていることが明らかとなった。

以上のような点で、多様性のある総合施策への対応が、地域的にも十分受容されうることが明らかとなった。

各地域の人口および土地利用について略述すると、流域Aは、居住人口75千人、土地利用では、水田436ha、畑1192ha、宅地717haである。また地域Bは、居住人口、105千人、水田190ha、畑1915ha、宅地1456haである。(いずれも昭和50年)なお、現在平均1.0%~1.5%程度の宅地化が進んでいる。さらに土地条件は、流域Aより流域Bの方が悪く、地盤の安全かさ上げ高は、流域Aでは、1.5m、流域Bでは、3.2mと考えている。

(ii)モデルの適用と結果

モデルの適用結果について要約すると次のような点が明らかとなった。

①今回の評価関数の特徴として、相異なる2つの立場で考えた評価および、それらを融合した考え方に基づく評価を行っているが、それぞれの概念を明確に説明していると考ええる。相異なる2つの立場の評価(J_1 、 J_2 、 J_4 、 J_5)では、それぞれの立場での最適性は保障されるが、複数施策の均衡的考え方はあまり良く説明できない。例えば、 J_1 では、治水事業主体の考え方が示され、 J_2 、 J_4 などでは、地域開発主体の考え方が重点的に説明される。

②この中で、総合的評価概念として考えられる J_3 および J_6 の評価関数による解析結果について考えてみる。 J_3 の結果としては、バングバング制御として表わされるが、目標年度を早くすることによって、また、かさ上げ実施率を上げることによって、土地利用の制限から緩和への切りかえ年度が速くなる。目標年度が長期になるほど、地盤かさ上げ実施率の影響が大きくなる。このことは、 J_6 の場合でも同様のことがいえる。

③評価関数 J_6 の解析結果、初期のうちは、不効用が大きいため、土地利用の高度化が、あまり大きな値をとることができないが、徐々に緩和される。また、地盤のかさ上げ実施率が大きくなると、治水事業を支援する効果も大きくなることが明らかとなった。

④土地利用高度化の地域差については、土地条件の悪い流域Bは、流域Aに比べ土地利用高度化の制限をかなり受ける。

5. 今後の問題点

今回は、評価関数として、 $J_1 \sim J_6$ の6つの関数について検討を行なったが、それぞれの目的によって、達成状態がある程度異なることがわかった。しながら、全体として最適制御問題は、それぞれの立場について、あらかじめ予想した点を明らかにしてくれる。したがってかなり問題向(Problem Oriented)的立場にたつものであると考えられる。

また、たとえば、2つの目的、総不効用と地域の不効用格差の調整(θ の決定方法)特異制御解の解法などについて今後の検討課題を残すことになった。また、より多くの施策についても導入の方法などについて検討していきたいと考える。

6. 参考文献

- 1) 菊地誠編；適正規模論、日本放送出版、昭和51年5月
- 2) 加賀屋誠一；治水計画における総合的施策の効用評価方法について；第35回土木学会年次学術講演会 昭和55年9月
- 3) 総合治水対策はいかにあるべきか、河川、昭和52年1月
- 4) 坂和、橋本；技術進歩を考慮した場合の経済成長と環境汚染の制御；計測自動制御学会論文集 Vol.14 P. 332-338、1978
- 5) 片山、鍋谷；環境汚染制御のための最適投資政策；計測自動制御学会論文集、Vol.15 PP.772-977
- 6) 河野、吉田；環境の最適制御I) 最適公害制御モデル；地域学研究Vol.10、PP. 71-100
- 7) James, L. D. : Nonstructural Measures for Flood Control ; Water Resources Research, First Quater, 1965.