

京都大学大学院 学生員 多々納裕一
 京都大学工学部 正員 吉川和広
 京都大学工学部 正員 春名攻

1. 本研究の概要

従来、治水施設整備の計画代替案を設計する方法としては、シミュレーションモデルを用いた実験を繰り返して行ないこれに基づいて直接計画を策定する方法と、数理計画法等を用いた治水計画モデルを用いて作成する方法がとられてきた。しかし、前者は現象合理的ではあるが操作性や目的合理性の検討という点で後者に劣る。また、後者は関数近似を始めとするモデル作成の際の誤差のために現象合理性が損なわれるという問題点がある。本研究は現象合理性を保ちつつ目的合理的でかつ操作性のよい方法の開発を目指してシミュレーションモデルを組み込んだ逐次探索型最適化手法による治水計画モデルの作成とその適用性に関する研究を行な、たものである。

2. モデルの構成

計画モデルに求められる条件としては、①現象合理性、②操作性、③目的合理性等が上げられるが、上述したように従来の方法では上記の条件のいずれかに問題がある。そこで本研究ではシミュレーションモデルを組み込んだ逐次探索型最適化手法による治水計画モデルを作成した。モデルの構成は図-1に示した。すなわち、「まずシミュレーションモデルに治水施設の規模(X)を入力して評価要因(流量 Q 、被害 D)を出力する。次に逐次探索型最適化手法により、評価要因(Q, D)に従って改善された解 X を求め、これを再びシミュレーションモデルに入力する。」という一連の動作を繰り返しながら最適解に達しようとするものである。この方法を用いることにより、①～③に示した計画モデルに求められる条件は満たされるばかりではなくシミュレーションモデルを組み込んでいることから多様な計画情報を得ることも可能となる。しかし、この方法にも次のような欠点がある。すなわち、必ず全域的な最適解に達するという保証がないことや解の探索が非効率になりやすい等々の問題点である。この問題点を克服するためにモデル分析の際には次に述べるような工夫を施した。

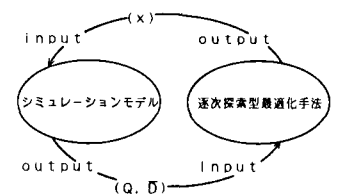


図-1 シミュレーションモデルを組み込んだ逐次探索モデル

3. モデルの適用方法

上述したように、図-1のモデルだけを直接適用して治水施設整備の計画代替案を設計するのはあまり適当でない。そこで本研究では図-2に示すような段階的なアプローチの方法をとることにより、上述した欠点の克服を計った。すなわち、まず解空間の概形をシミュレーション実験を通して把握するとともにシミュレーション実験の結果に基づいて解空間の関数近似を行なう。次いでこの近似空間における最適解を図-1のモデルと同じ目的を持つ数理計画モデルにより求める。さらにこの近似解として求められた点の近傍において図-1に示したモデルを用いた探索を行ない目的合理的でかつ現象合理的な解を求めることとした。この方法を用いることにより、図-1の方法の利点を保ちつつ全域的な最適解に効率的に接近することが可能となったものと考えられる。

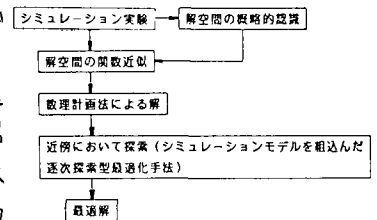


図-2 最適解探索のための段階的アプローチの方法

4. 実証的検討

以上述べて来た方法を大阪府と兵庫県境を流れる淀川の1支流である猪名川流域における治水施設整備問題の事例に適用し検討を行なった。猪名川流域は、戦後急速に都市化の進行した流域で現在なお進行中であるが、

それに治水施設整備が追いついていないのが現状である。流域の下流部は人口・資産が集積しており一度洪水が発生すれば大被害は避けられないが、河道改修等の治水施設の整備によつて本川の破壊等の被害の危険は少なくなっている。中流部は近年の宅地開発等により従来治水機能を果していた地域にまで市街化が進行し新たに治水施設の建設・整備が必要となっている。しかし、都市化の影響等々で治水施設の整備はなかなか進行しにくく治水安全度の下均衡を生じている。これは支川域にも同様のことが言える。

また、上流部も最近都市化の波が押し寄せ元来上流域の有していた保水機能が損なわれつつある。このように猪名川流域では市街化の進行によりリダメージポテンシャルの増大や流出機構の変化、上下流あるいは本支川地域間に治水施設の整備をめぐる競合関係等々の問題をかかえている。そこで本研究ではまず流域の状況・治水施設の整備・洪水被害の関係を一体的なシステムとしてとらえて水害発生シミュレーションモデルを構築した。このことにより、リダメージポテンシャルの増大や流出機構の変化をシミュレーションモデルに反映しようとしたのである。次いで上下流あるいは本支川地域間の治水施設の整備をめぐる競合関係の問題に着目し、この問題の解決を目指して治水安全度に地域的格差が生じないように流域全体の治水安全度を確保・向上していくことと目的とする計画モデルの定式化を行なった。これにはMIN-MAX計画法と呼ばれる方法を用い、図-3にこれを示した。ここで問題となるのは治水安全度をどのような指標(尺度)で評価するのかがという問題である。本研究で取り扱うような問題においては各地域間の治水安全度の違いを定量的にかつ一元的に表現出来ることやリダメージポテンシャルや洪水頻度の違いにより安全度の違いを表現出来る必要がある。そこで本研究では被害額の期待値 $\bar{D}(x) = \int_0^\infty D(x,t)R(t)dt$ (t: Return Period, x: 治水施設規模)を用いることとした。これはこの指標が被害 $D(x,t)$ のみならず頻度 $R(t)$ をも表現しており上述の条件を満たすと考えたためである。以下本研究で提案する図-2の段階的なアプローチの方法に従つて検討手順を示すこととする。まずシミュレーション実験により分析の対象とする土地利用や降雨を決定した後、H₂₄直交配列表を用いて治水施設の影響・効果分析を行なった。そしてこの結果に基づいて有効な治水施設の組合わせを決定するとともに各施設の交互作用の影響が主効果に比べて小さいという分析結果から各治水施設の規模と各地域の被害額の期待値の関係は線形あるいはそれに近い関数形で近似可能であると判断した。そこでシミュレーション実験を行ない、目的関数及び制約条件式の線形近似を行ないLPによりその最適解を求めた。その際総費用をパラメータとするパラメトリック分析も行ない、解の連続的な把握を試みた。そしてその解の近傍において図-1のモデルによつて最適解の探索を行なった。この際、最適化手法としてはコンプレックス法を用いたが比較的効率的に最適解に適することが出来た。またこの解の最適性の保証の問題であるがLPモデルによる近似解の近傍で最適解を求めた訳だからこの解が最適解である可能性は非常に大きいものであると考えて差支ないであろう。この結果の一部を図-4に示すが、図-2に示した方法がこの事例では現象合理的でかつ操作性のよい目的合理的な代替案の設計方法になつていゝと考えられる。最後に本研究を遂行するにあたり多大な御助力を賜つた建設省猪名川工務所、兵庫県西宮土木事務所のオヤヤ共同研究を行ない、運輸省松原裕氏に深く感謝の意を表するものである。

目的関数 $\max_{1 \leq i \leq m} \{ \bar{D}_i(x) \} \longrightarrow \min$

制約条件 $\bar{D}_i(x) \leq \bar{D}_i(x_0)$: 地域iの被害額の期待値 $\bar{D}_i(x)$ の上限

$x_i \leq x_j \leq \bar{x}_j$: 治水施設の規模 x_j の上下限

$Q_i(x) \leq \bar{Q}_i$: 地域iの流量 $Q_i(x)$ の上限

$\sum_{j=1}^n f_j(x_j) \leq M$: 総費用 $\sum_{j=1}^n f_j(x_j)$ の上限M

x: 治水施設規模 x_0 : 現況の施設規模

図-3 計画モデルの定式化 (MIN-MAX計画法による)

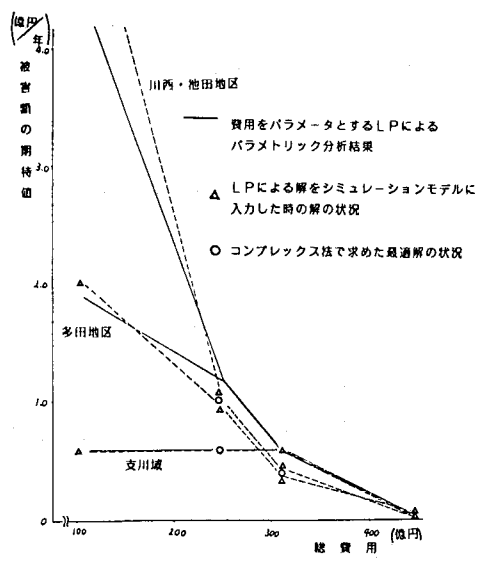


図-4 解の各地域の被害額の期待値に及ぼす影響