

日本工営株式会社 正員 ○矢島薫
京都大学防災研究所 正員 岡田憲夫

日水コン株式会社 正員 渡辺晴彦

1 問題の定義 都市の新市街地の開発にあたって、下水再利用による循環型上・下水道システムの導入の可能性を検討する必要性が今後ますます高まるものと考えられる。この場合、都市の旧市街地における旧来型の非循環型の上・下分離水道システムと結合させた形で都市全体の水利用システムを拡張・改善していく方式を探ることが現実的であろう。このとき、都市全体に旧来型の水利用システムを踏襲・拡大する選択も含めて新旧両地区の利害の対立をどのように克服してシステム統合を図るかが重要な計画的課題となろう。本研究ではこの問題に着目して非協力2人ゲームによる分析を行う。

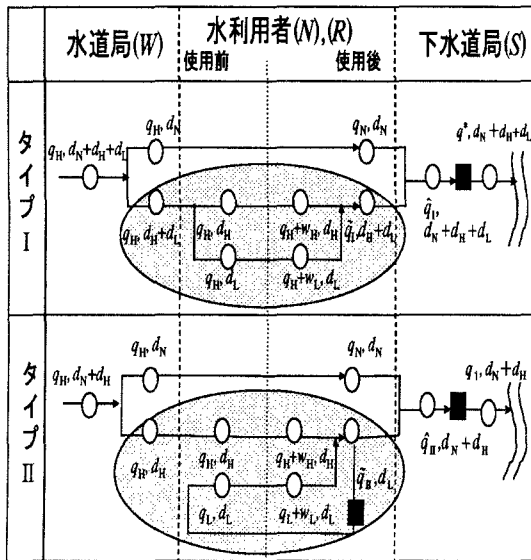


図1 都市の設定

2 都市の設定 本モデルには水道局(W)、下水道局(S)と水利用者が存在している(図1を参照)。新規地区開発が行われる場合、新たな利用者(R)は旧来の利用者(N)が使っている既存の上下水道設備に必ず連結するものとする。両利用者をゲームのプレイヤーとして想定する。(R)は高水質用途には高水質 q_H の水を(W)に要求するが、低水質用途には低水質 q_L の水でも構わないとする。そして水使用後、付加水質 w_H , w_L の

分だけ水質は低下し、これら2種類の水が混合したときの水質を $\hat{q}$ とする。(N)は(R)と異なり全ての用途に高水質の水のみを要求し、排水の濃度は q_N である。そして両利用者の排水が混合したときの水質は $\hat{q}$ とする。

一方、(R)の高水質用途と低水質用途の水需要量は d_H と d_L である。(N)の水需要量は d_N とする。(S)が(R)と(N)の下水を収集し、放流水質基準 q_1 を満たすように処理して河川に放流する。さらに、利用者間の総水需要量の割合を表現するためのパラメータを導入する。総水需要量のうち、(R)の需要量の割合は μ であり、残りの $1-\mu$ は(N)の需要量の割合になる。そして(R)の低水質用途の割合は λ であり、 $1-\lambda$ は高水質用途の割合になる。

最後に、上・下水道局の費用は利用者(R)と(N)がある割合で負担するものとする。(R)と(N)の2人ゲームにおいて、(R)が取り得る戦略「普通に連結する(タイプI)」,あるいは「既存の上下水道への影響を減少させるために地区内で再利用する(タイプII)」の2つとする。(R)の連結により、全体の費用が変化する。それに対応する(N)の戦略は「現行の費用に固定する」,または「配分方法を変更して新たな費用構造に切り替える」の2つとする。このように戦略を双行列で表すと表1ようになる。ただし利用者(N)の戦略は x で(R)の戦略は y である。

表1 (N)と(R)の基本双行列

利用者		(R)	
		タイプI	タイプII
(N)	固定する	a (x_1, y_1)	b (x_1, y_2)
	切り替える	c (x_2, y_1)	d (x_2, y_2)

3 費用の配分 まず(N)が「費用を固定する」戦略をとるとき、利用者 i ($i \in \{(R), (N)\}$)の費用 $\Pi_i(x, y)$ は次のようになる。

$$\Pi_N(1, y) = \sum C_0(1, y) \quad (1)$$

$$\Pi_R(1, y) = \sum C(1, y) - \Pi_N(1, y) \quad (2)$$

ただし C_0 は(R)が連結する前の費用であり、 C は(R)が連結後の費用である。また、(N)が費用を切り替え

ときの費用は次のようになる。

$$\Pi_i^k(2, y) = c_i^k \{ \sum C(2, y) - \sum B(2, y) \} \quad (3)$$

ただし c_i^k は利用者 i の配分方法 k による係数であり、 B は再利用による便益である。そして利用者間の合意を得るための必要十分条件は次式で定義する。

$$\begin{aligned} \{ \Pi_N(x, y^*) &\geq \Pi_N(x^*, y^*) \} \quad (\forall x \in X) \\ \{ \Pi_R(x^*, y) &\geq \Pi_R(x^*, y^*) \} \quad (\forall y \in Y) \end{aligned} \quad (4)$$

ただし x^* と y^* は均衡戦略である。式(4)で示される事象 (x^*, y^*) はナッシュ均衡と呼ばれ、両利用者が (x^*, y^*) から戦略を変更しても今よりも良い結果を得られないことである。

4 計算事例 まず式(1)～(3)の元となるシステム全体の費用について述べる。タイプIの場合、費用に含まれるのは(W)の給配水費用と(S)の下水処理費用である。タイプIIはこれに加えて再利用処理に要する費用も含まれる。既往研究ではそれぞれの費用関数を作成した(1,2)。一方、再利用した場合、排水水量の減少、取水付加量の減少、下水処理場への負荷の軽減などにより、便益が生じると考えられるが、本研究では費用のみを主体の判断基準とする。

式(4)により、使用水量比、排水水質比と排水負荷量比の3つの配分方法を用いられた場合の均衡事象を $\mu - \lambda$ の直交空間上に図2のように示すことができる。図2は水質基準 q_1 を変動させた例である、ただし表1の文字 a～d は各事象に相当している。

3つの配分方法には共通の傾向と独自の傾向がある。まず共通点として、水質基準が緩やかであれば、どのケースでも事象 a, c と事象 b, d の境界線が存在する。この線は両タイプの総費用により決定し、 q_1 が厳しくなると「タイプI」が選ばれる事象の領域が減少する。使用水量比の配分をみると、 q_1 を厳しくすると(R)の割合 μ が大きければ、(N)は「切り替える」戦略を選ぶ。一方、(R)の需要が小さければ給配水費用、また低水質の割合 λ が大きい場合は下水処理費用が大きくなり、(N)は費用を固定した方が有利になる。排水水質比の場合、 μ の中間で領域が分かれるが、 q_1 を厳しくしても変化は小さい。これは配分法が q_1 に依存しないためである。最後に排水負荷量比では事象0が発生するが、これは合意形成できない事象を意味する。すなわち、緩やかな基準を設

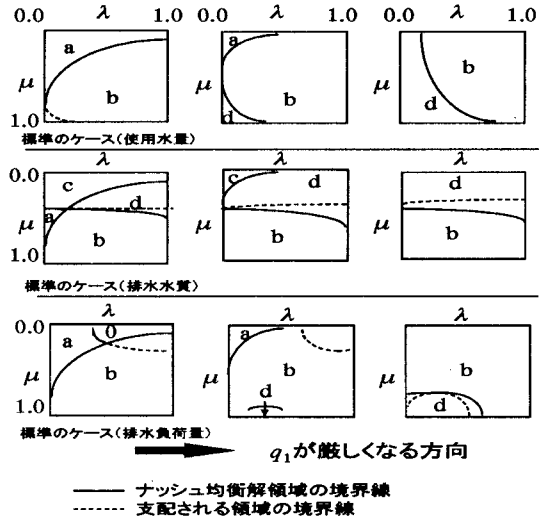


図2 水質基準 q_1 の変化によるナッシュ均衡解領域の変動

定するとナッシュ均衡となる戦略がなくなり、利用者間で合意できない。しかし q_1 を厳しくすると事象0がなくなり、 μ が小さければ(N)が「切り替える」戦略を選ぶ。しかしながら使用水量比の場合と異なっており、 μ が小さいときに事象 d には均衡しない。これは、(N)の排水負荷が大きく、負担率が高くなってしまったためである。また低水質の割合 λ が大きいときでも(N)が切り替えない。その理由は(R)の排水水質が悪い場合、下水道への負荷が大きくなり、全体の費用が増加するためからである。

5 結論と今後の課題 本研究で得られた結論は次の通りである。1. 水質基準 q_1 を厳しくすると、再利用するタイプIIに均衡する傾向がある。2. 基準を緩く設定すると、排水負荷量比で費用配分する場合、利用者間の合意が得られない場合もある。3. 都市の初期状態によって配分法の適応性が異なる。今後の課題として、便益を組み込むこと、及び湖などの他水域で妥当性を調べることが挙げられる。

【参考文献】1) 矢島薫(1997): 都市排水再利用システムの導入計画に関するゲーム理論的研究, 2) 矢島薫・渡辺晴彦・岡田憲夫(1996): Modeling a Municipal Water Circulation Game Between Recycle-inclined and Non-inclined Water Users, 水文・水資源学会研究発表要旨集, pp.66-67.