

再利用を考慮した下水処理施設の立地計画に関する研究

公共システム研究室 近藤素規

1. はじめに

世界の人口は増加し続けており、その中には乾燥地であって水資源に乏しい地域も含まれる。そうした地域で安定的に水資源を確保していくためには、下水処理水の再利用が一つの有効な手段となりうる。一般に、下水処理施設は最下流もしくは低地に建設されることが多いが、処理水の再利用をする場合、遠方、特に標高の高い地区には多大な送水費用を要するため、必ずしも最下流への立地が望ましいとは限らない。

本研究では、処理水を再利用する場合の下水処理施設の最適な立地計画に関する問題を考える。具体的には、これを数理計画問題として定式化し、施設の最適な建設場所、および処理水の各地区への配分量を求めることで、効果的な水循環を形成する都市のありかたについて示唆する。

2. 高度処理施設に係るモデルの構築

標高の異なる複数の地区からなる仮想的な地域を考える。地区の番号を下流側から $0, 1, 2, 3, \dots, n$ とし、最下流である地区 0 から離れるほど標高は高くなるとする。地区 j では、住民の生活に伴い v_j の下水が発生する一方、水不足を補うために d_j の処理水需要があるものとする。下水を人々が利用可能な再生水にするための高度処理施設を地区 i に建設するとき、そこで処理できるのは、地区 i またはそれより上流の地区で生じる下水のみとし、処理水は各地区の需要に応じて供給されるが、地区 i より上流の地区への送水には揚水費がかかるとする。図 1 に、本問題の設定を示す。処理施設の最適な立地および地区間の最適な揚水量は、次の費用最小化問題として定式化できる。

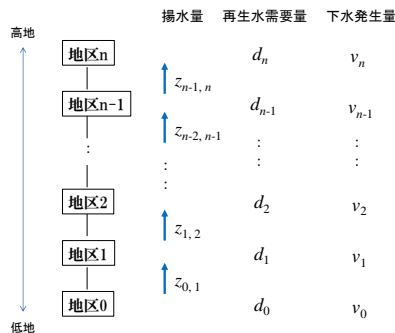


図 1：地域のイメージ

$$C = \sum_{j=0}^n c_j x_j + \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_{j,j+1} z_{j,j+1} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$s.t. \quad \left(\sum_{j=0}^k x_j \right) \left(\sum_{j=k+1}^n d_j \right) \leq z_{k,k+1} \quad (2)$$

$$\sum_{k=0}^n d_k \leq \sum_{k=0}^n \sum_{j=0}^k v_k x_j \quad (3)$$

ただし、 C は本研究で考える総コストであり、 c_j は管渠等の整備費を含む処理場建設コスト、 $\alpha_{j,j+1}$ は地区 $(j,j+1)$ 間の単位揚水量コスト、 $z_{j,j+1}$ は地区 $(j,j+1)$ 間の揚水量、 x_j は処理場の建設を表すバイナリ変数である。また、式(2)は、揚水量が各地区の再利用需要との関係から満たすべき制約条件であり、式(3)は、処理される下水の総量が再利用需要を満たすための制約条件である。

3. 数値計算事例

仮想的な地域を想定した数値設定の下での計算結果を図 2 (■) に示す。

図 2 は地区 2 に着目した図であり、横軸は再生水需要を表し、初期の数値設定から変化させることで、それに伴う最適建設場所の変化を見たものである。これより、もし再生水需要量が 36.5 (千 m^3) まで増加すれば、その生産のためにより多くの下水が必要となることから、処理場の最適な建設地区は現在の地区 2 から地区 1 に変化する。同様に、 51.5 (千 m^3) まで増加すれば地区 0 に変換することが判る。逆に、再生水需要が減少すれば、建設地区は地区 3 に移りうる。

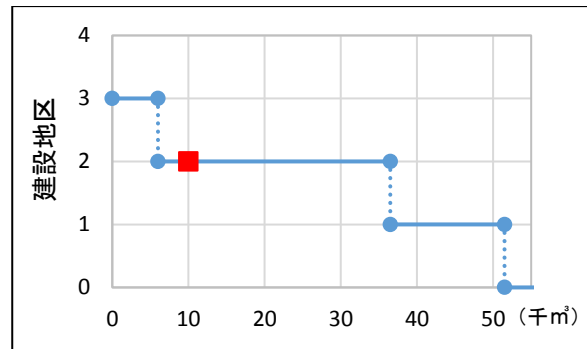


図 2：再生水需要量と処理場の最適建設地区