

九州大学 工学部 正員 〇 萬 久光
 同 上 正員 粟谷 陽一
 同 上 正員 楠田 哲也

1. はじめに 人間が都市生活を行う上で、水資源確保の問題及び水質汚濁の問題は、共に避けては通れない問題である。この2つの問題を解決するための現在までに、ダム建設等による水資源の開発、下水道の整備等が行われてきた。しかしながら、近年、ダム建設等に伴う河川流量の減少、あるいは水資源を遠くに求めるを得ない等、新たな問題が生じている。この様な状況を考えた場合、都市における水資源及び水質汚濁問題の真の解決のためには、これらの問題を個々には取り扱えなくなつて来ており、水の収支の面から総合的にとらえることが必要である。この様な立場で、水に関する都市モデルを考える場合、コストが最小であること、あるいはエネルギー消費が最小であるという一つの方面からのみとらえられるものではない。すなわち、人間が都市生活を恒久的に営むためには、これらの要素も必要なものであるが、災害及び変動に対する余裕性あるいは安定性、生活環境をも含めた環境の質の問題、さらに、システムがうまく機能するためには人間の我慢度が少ないこと、つまり不快感が少ないこと等も必要不可欠の要素となる。本研究は、以上の観点に基づき、水に関する都市モデルの定式化を行い、福岡都市圏をモデル地区として、主として環境、コスト、エネルギーの面から、水の取水方法、使用方法、処理方法について考察を加えたものである。

表-1 モデル地区の概要

総人口(千人)	1,400
商業人口(千人)	570
工業人口(千人)	69
総面積(km ²)	679
山林面積(km ²)	301
農地面積(km ²)	99
使用水量(m ³ /人・日)	0.34
下水道普及率(%)	31.0

2. 水に関する都市モデルの定式化及び計算方法 水に関する都市モデルの最終目標を、人類が永く安全に、緊急時でも比較的安全性があり、比較的安価で、我慢度(不快感)が少なく生活できるとした場合、これらの要素を表わしうるパラメータとして、化石燃料のエネルギー消費、環境、余裕度、全コスト、我慢度の5つを考えると目的関数 J は次式で表わされる。 $J = J(j_1(y_1), J_2(y_2), j_3(y_3), j_4(y_4), j_5(y_5))$ ここで $y_i (i=1 \sim 5)$ はそれぞれ5つのパラメータと対応している。また $j_i (i=1 \sim 5)$ は、目的を達成するための各パラメータの目的関数である。 y_i は都市モデルの各要素によって決まるものであり、さらに次式によって表わすことができる。 $y_i = y_i(g_1(x_1), g_2(x_2), \dots, g_n(x_n)) (i=1 \sim 5)$ ここで x_i : モデルの各要素, g_i : モデルの各要素のパラメータへの効用を表わす関数である。本計算では福岡都市圏をモデル地区とし、表-1に示す値を基準として、この状態より総人口で30%、家庭内1人1日使用水量で25%増加した場合について検討を加えた。各パラメータの取り扱い、まず全コスト、並びに化石燃料のエネルギー消費については、表-2に示す値を仮定し、取水、下水処理、循環使用のためのコスト、並びにエネルギー消費量を合計して、全コスト、全エネルギー消費量(以下、全エネルギーと記す)として評価した。なお、取水については、水資源開発を加えた取水から給水までの上水道全般を考慮しており、表-2の値は、それぞれ施設建設、維持管理(コストについては人件費を含む)に必要なコスト、並びにエネルギー消費量を算定したものである。環境については、BOD、T-N、T-Pを用い、それぞれの負荷量は原単位法により求め、河川環境はそれぞれの水質値で、海域の環境はそれぞれの指標の海域へ放出される全負荷量で評価した。余裕度並びに我慢度については、現時点では数値化が困難であるため、パラメー

表-2 1 m³当りのコスト・エネルギー

	コスト (円/m ³)	エネルギー (kWh/m ³)
河川	93.4	0.427
ダム	94.0	0.112
処理水	153.0	2.132
地下水	99.0	0.500
他地域	126.5	0.610
家庭内循環使用	50.0	0.110
一次	85.4	0.068
二次	121.2	0.246
三次	195.4	2.320

理

表-3 諸条件の違いによる環境、全コスト、全エネルギーの値

	取水の割合					下水道普及率 (%)	三次処理の割合 (%)	河川の水質環境 (mg/l)			海域の水質環境 ($\times 10^9$ g)			全コスト (円/人・年)	全エネルギー (kWh/人・年)
	河川 (%)	ダム (%)	処理水 (%)	地下水 (%)	他地域 (%)			BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P		
①	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	31.0	0.0	7.5	4.0	0.60	5.4	3.3	0.47	18,120	53.7
						80.0	0.0	3.0	2.3	0.29	3.6	3.4	0.42	25,184	67.7
②	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	31.0	0.0	8.4	4.5	0.71	5.9	3.7	0.54	22,580	54.3
						41.0	70.0	7.5	4.0	0.62	4.9	2.9	0.44	26,910	140.6
③	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	31.0	0.0	7.9	4.2	0.66	5.7	3.5	0.52	15,960	45.9
④	33.1	28.6	24.8	0.0	13.5	31.0	0.0	7.7	3.9	0.63	5.1	2.9	0.44	19,930	110.8
⑤	33.1	28.6	0.0	24.8	13.5	31.0	0.0	7.7	3.9	0.63	5.1	2.9	0.44	18,230	59.4

タとして具体的には取り扱っていないが、これらを考慮して、取水方法、使用方法、処理方法に相当と思われる制約を加えた。使用方法には、商業や工業においても使用水の循環利用は考えられるが、その規模や利用方法が業種などにより大きく異なるので、本計算においては家庭内の循環利用についてのみ検討を加えた。取水のための水源には、従来の河川、ダム、外部からの取水に加え、都市下水の2次処理水の高度処理及び人工かん養による人工地下水を考えた。なお、水使用量の増加分を従来の方法（対象地域内の河川、ダムによる取水及び外部からの取水）で賄う場合には、対象地域に開発する場所が残り少ないことを考慮して、開発量に応じて上水道システム1m³当りのコストが直線的に増加するとした。

3. 結果及び考察 表-3に、①表-1に示した基準値での、環境、全コスト、全エネルギーの値及び下水道の普及率を増加させてBODの値を3mg/lにしたときの値、②表-1の状態より、総人口で30%、家庭内1人1日使用水量で25%増加した場合で、水使用量の増加分を従来の方法で賄うとしたときの値、③④の状態では家庭内での用途別使用水量を考慮し、特別な処理をせずに循環できる量として、家庭内の使用水の循環利用率を30%としたときの値、④⑤の状態では、④に比べて使用量が増加した分を、都市下水の2次処理水の高度処理水で賄う場合の値、⑤⑥の状態では、④に比べて使用量の増加分を、都市下水の2次処理水の人工かん養による人工地下水で賄う場合の値を示している。②については、取水及び下水処理の条件を①と同じにしたときの結果と、環境のそれぞれの指標を④の値に合わせるため、下水処理の条件を変えた場合の結果を合わせて示している。表-3より、①の状態に比べて使用水量が増大した②の状態では、新たな水源開発のコストが高いために、全コストはかなり高くなっている。さらに、環境の指標も④の値に合わせるためには、下水道普及率、並びに近年の富栄養化問題を考えると、窒素、リン除去のための三次処理の割合を増す必要があるため、④に比べ、全コストでは約50%の増大、全エネルギーではおよそ2.6倍にもなっている。③、④及び⑤の場合には、共に②に比べ河川からの取水量が減少することや、④、⑤については、さらに都市下水の2次処理水由来の負荷のカットにより、②に比べると、環境の指標の値は河川、海域共に低くなっている。BOD=7.5mg/lという値は、河川環境の上からは決して十分とはいえず、④の下段に示すように河川環境をBOD=3mg/lとした場合には、全コストはかなり高いものになる。また、T-N、T-Pについての海域の環境については、BODのように負荷の低下はみられず、富栄養化問題の対策の上では全コストはさらに高くなることが解る。本計算では、主として環境、コスト、エネルギーの面から検討を加えたが、これらの面からも水の循環利用は価値あるものと思われる。もちろん、水の面から都市モデルを考えていく場合、常に一定水量を確保できるといような安定性の問題（余裕度）、及び下水の2次処理水を使用する場合の心理的な問題（我慢度）をも含めた形での計算が必要である。しかしながら、河川環境の保全及び浄化のための維持流量の確保、海域環境の保全のための海域へ放出される負荷の削減、並びに降雨の変動による渇水の危険性を考慮した場合、安定した水に関する都市の機能面からも、水の循環利用方法は現実性のある方法であると思われる。