

II-5

水からみた都市モデルについての考察

九州大学 工学部 学生員 河野 真
 同 上 正 員 栗谷 陽一
 同 上 正 員 楠田 哲也
 同 上 正 員 萬 久光

1. はじめに 人間が都市生活を行なう上で、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。この二つの問題を解決するために、現在までダム建設等による水資源の開拓、下水道の整備等が行なわれてきた。しかしながら、近年、ダム建設等に伴う河川流量の減少、あるいは水源を遠くに求めざるを得ない等、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の問題の真の解決のためには、これらの問題を個々に扱うのではなく、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、水の面から都市モデルを考える場合、コストが最少であること、あるいは化石燃料の消費が最少であるというような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、人間が都市生活を行なうためには、これらの要素も必要なるものであるが、これら以外に、災害及び変動に対する余裕性あるいは安定性の問題、生活環境をも含めた環境の問題、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である。本研究は、以上の観点に基づき、水からみた都市モデルの定式化を行ない、福岡都市圏をモデル地区とし、環境、コストの面から、水の取水方法及び使用方法について考察を加えたものである。

2. 水からみた都市モデルの定式化及び計算方法 水からみた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定性があり、比較的安価で、我慢度が少なく生活できるといふこととし、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、全コスト、表-1 モデル地区の概要
 余裕度、我慢度、環境のちつを考えると、目的関数 J は次式で表わされる。

$$J = J(y_1(y_1), y_2(y_2), y_3(y_3), y_4(y_4), y_5(y_5))$$

ここで $y_i(i=1\sim5)$ は、それぞれ、化石燃料のエネルギー消費、全コスト、余裕度、我慢度、環境のパラメータである。また $o_i(i=1\sim5)$ 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。 $y_i(i=1\sim5)$ は都市モデルの各要素によって決まるものである。さらに次式によって表わすことができる。

$$y_i = y_i(g_1(x_1), g_2(x_2), \dots, g_n(x_n))$$

ここで x_i はモデルの各要素、 g_i はモデルの各要素の化石燃料のエネルギー消費、全コスト、余裕度、我慢度、環境の各パラメータへの効用関数である。 x_i としては、人口、産業構造、土地利用形態、降雨量、水使用量、取水方法、浄水方法、使用方法、下水処理方法、外部からの流入可能量、さらには技術、空間的配置等が上げられる。本計算では、福岡都市圏をモデル地区とし、

表-1 に示した値を基準として、この状態より人口で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。全コストは、取水、浄水、使用、下水処理のためのコストを合計したものである。それぞれについての1 m^3 当りのコストには、表-2 に示す値を仮定した。環境については、モデル地区の河川の平均的なBODの値を用いた。使用方法には家庭内循環、取水方法には従来の河川、ダム、外部からの取水に加え、下水の二次処理水及び地下水について検討を加えた。なお、水使用量の増加分を従来の方法で賄う場合には、開発量に応じて1 m^3

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
下水処理の普及率(%)	31.0

表-2 1 m^3 当りのコスト

取水	(円/m ³)	使用	(円/m ³)
河川	50	循環	50
ダム	60	処理	(円/m ³)
処理水	100	一次	20
地下水	100	二次	50
他地域	100	三次	120

当りのコストが直線的に増加すると仮定した。

3. 結果及び考察 表-3 に、①表-1 に示した状態での BOD 及び全コスト、②表-1 の状態より人口が 30%、家庭内 1 人 1 日水量が 25% 増加した状態で、取水の割合及び人口による下水道普及率（以下、下水道普及率と記す）を表-1 と同じにした場合、③④の状態が家庭内の循環使用を 30% 行なった場合、④⑤の状態での比べ使用量が増加した分を下水の二次処理水で賄う場合、⑤⑥の状態での比べ使用量が増加した分を地下水で賄う場合、の BOD 及び全コストを示す、③～⑤に

表-3 取水方法の違いによる BOD 及び全コスト

	取水の割合 (%)					下水道処理 の普及率 (%)	BOD (mg/l)	全コスト (円/人・年)
	河川	ダム	処理水	地下水	他地域			
①	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	31.0	6.02	10,280
②	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	31.0	6.84	12,080
	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	42.0	6.00	12,670
③	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	31.0	6.43	9,680
	44.0	38.0	0.0	0.0	18.0	35.5	6.00	9,900
④	33.1	28.6	24.8	0.0	13.5	31.0	6.26	11,550
	33.1	28.6	24.8	0.0	13.5	34.5	6.00	11,740
⑤	33.1	28.6	0.0	24.8	13.5	31.0	6.26	11,550
	33.1	28.6	0.0	24.8	13.5	36.5	6.00	11,830

ついては下水道普及率を①と同じにしたときの結果と BOD の値を①と同じ (6mg/l) にするため、下水処理の条件を変えた場合の結果をも示している。家庭内の循環のためのコストは、人間の労働あるいは我慢度などを基に、ポンプ、配管等のコストを考慮して 500円/m³とした。下水の処理水を再利用する場合は二次処理水を使用可能存水質まで処理する意味で 100円/m³を用いた。地下水を使用する場合には、人工かん養により人工的地下水を作ってみることとし、そのことを考慮して 100円/m³を用いた。表-3 より、①の状態に比べ使用水量が増大した②の状態では、下水道普及率が同じ条件では BOD が 1mg/l 程度高くなり、コストも 18% 程度高くなっている。BOD の値を①と同じ値にするためには、下水道普及率を増加する必要がある、そのためのコストを考慮した場合、①に比べ、23% 程度コストが高くなっている。②の状態が家庭内の循環を 30% 行なうと (③)、BOD が 6.43mg/l となり②の場合に比べ、低くなっている。これは、地域内からの取水の減少による河川流量の増加のためである。コストについても、BOD を 6mg/l にするために下水道普及率を増加させた場合でも、①、②と比べ安くなっている。④の状態、増加した使用量を下水の二次処理水で賄う場合 (④)、及び地下水で賄う場合 (⑤) には、地下水利用の場合についても二次処理水を人工かん養するため、BOD の値は同じとなる。コストについて②と比べた場合、水資源開発の増大、あるいは、対象地域に開発する場所がないため、地域外に水源を求めなくてはならない場合には、処理水は水源としての価値をもつことは確かである。さらに、コストの面以上にこれらの方法は、河川流量の増加、二次処理水由来の負荷のカット、さらに、常に一定水量を確保するという余裕性からも価値ある方法といえる。もちろん、下水の二次処理水を使用する場合の心理的な問題等も十分考慮する必要がある。しかしながら、河川に水が流れない時があるという現状、または降雨の変動による渇水の危険性を考慮した場合、河川環境の保全及び浄化のための維持流量の確保、並びに安定した上水システムの面からは、これらの方法は価値あるものになる。特に、地下水の場合には、災害時にいっても少なくとも飲料水は確保するという面からも重要である。都市における水使用量の増大に対応するための水資源の確保が必要である一方、水質汚濁問題にも対応しなければならない現状を考えた場合、水の循環率を向上させることは必要不可欠な問題となっている。ここでは、環境について BOD のみしか考慮しなかったが、近年の湾の富栄養化問題に伴う、窒素、リン除去のための三次処理の必要性を考えると、コスト面においても、これらの循環方法は現実性のある方法と思われる。本計算では、環境 (河川水質) 及びコストの面から、取水の方法、特に水の循環率の面から、いくつかの方法について例示するに留まった。しかし、上述したように水の面から都市モデルを考えていく場合、コスト及び環境の問題も重要な問題であるが、これらの要素のみで決定されるものではなく、余裕度あるいは安定性及び我慢度をも含めた形での計算が必要である。