

異常渇水と水資源の管理運用—福岡都市圏を事例に考える—

Abnormal Drought and Water Resources Management—A Case Study of Fukuoka Metropolitan—

神 野 健 二

Kenji JINNO

1. はじめに

世界の各地で多発している水害や干魃のような異常気象がその日の内に伝えられるようになった。情報が少なかった昔には、我々が知り得たのは大部分が国内の、しかも身近で起きた水害や干魃であつたろうから、異常気象は何十年に一度の頻度で起こるものと考えていた。そのため、平均的に10年に一度くらいであれば、水不足が起きてても何とかやっていけるということであつたかも知れない。しかし、今日のように世界各地からの報道が日常的になると、異常気象が国外で起きてもあたかも自分の身の回りでかなりの頻度で起きているような気になる。

さて、1994年の列島渇水が地球温暖化の影響による気候変動が原因で起きたのか、あるいは通常の気候変動の範疇で起きたのか、また将来には地球温暖化が本格的に進み、未だ経験したことのないような渇水が起きるのかどうかということは、水資源管理に対する今後の基本方針を決める上で大きな関心事である。とりわけ水資源の賦存量に乏しい北部九州にとっては、利水安全度を向上させなければならないという目前の課題の他に、これからは違うパターンの渇水が起きるかもしれないとなると、新たな考え方も必要となる。本稿ではこのような視点や福岡都市圏の水資源に関する様々な現状、また水需要がピークに達すると見込まれている2025年頃までにどのような検討をしておくべきかの話題を提供したい。

2. 降水時系列の変動特性

2.1 利水安全度1/10の年降水量について

周知のように我が国の利水安全度1/10は平均的には10年間のうち9年間は、水不足を起こすことなく安定的に取水できることを意味している。したがって、この利水安全度を基準に考えれば、1/10より厳しい想定外の少雨を渇水ということになる。しかし、いつ雨が降るかは予測困難であるから、結果的に1/10の確率の少雨より小規模な渇水であっても、運用上は事前に給水制限を実施する。したがって実質的にはより高い頻度で節水しなければならない。ところで、福岡管区气象台における105年間の年降水量を正規確率紙の上にプロットすると、図-2-1のようになる¹⁾。1/10の少雨が起きた年は、全データを考える場合には1913年（記録史上第11位；1261.4mm）である。一方、1965年～1994年の30年間を考えると、この期間の第3位の少雨は1984年（記録史上第5位；1170mm）、1975年～1994年の20年間ではこの期間の第2位の少雨は1978年（記録史上第4位；1137.5mm）である。最近の30年間での1/10の降水量1170mmでも、20年間の1/10の降水量1137.5mmでも大差ない。また、1913年の1261.4mmとも余り違わない。そうすると、福岡都市圏ではおよそ1200mm前後が1/10の降水量ということになる。いずれにしても、第

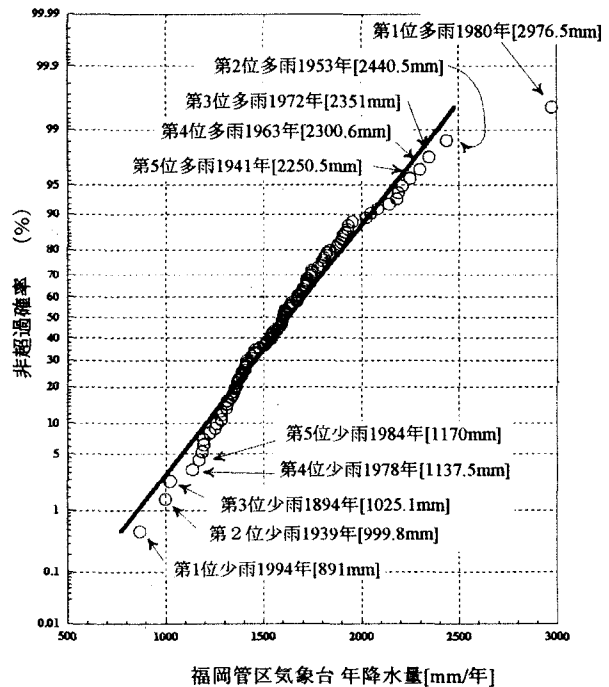


図-2-1 福岡管区气象台の年降水量の非超過確率¹⁾

10位までの少雨年に1965年～1994年間(30年間)の1994年、1978年、1984年、1971年、1990年が含まれているから、現在は少雨が発生しやすい期間のようである。そうすると例えば利水安全度1/10は、「過去30年間の記録のうち、第3番目に少なかった降水量に対応する渇水が確率1/10の割合で発生する」ということであるが、実際には「10年に1回の割合で、数10年に一度規模の渇水」が起きているように感じられる。

なお、外国における利水安全度

²⁾は、フランスは10年に1回となっ

ているものの、米国では20～50年

に1回もしくは既往最大渇水(福岡

岡で最大渇水を採用する場合には、

891mmということになる)を、また

英国、オランダでも同様のレベル

の利水計画を採用している。地形

が急峻なところでは、同じ堤体容

積のダムでも貯水容量は大きくな

らない。従って必然的にダムの数

を多くせざるを得ない。また、我

が国の河川の河況係数は欧米に比

べて大きいので、その分利水安全

度は低い。図-2-2は福岡管区気象

台の1890年～1994年の年降水量の時系列である^{3), 4), 5)}。図から、1905年～1933年頃は比較的変動幅が小さい期間であること、1940年～1960年頃は変動幅が大きくなるとともに多雨傾向にあること、1965年～1980年頃は少雨傾向である一方で、およそ3,000mmもの年降水量を記録した多雨年があることが判る。また、4～5年で多雨と少雨が明確に現れている。また年降水量の変動の周期も必ずしも一定ではない。全国平均で見た場合に、少雨傾向が続くと言われる。1994年のような全国規模の渇水が起こると、それに引きずられて少雨傾向になるが、右下がりの状況がいつまでも続くのか否かも重要なことである。水源開発に時間とコストがかかることと、水需要のピークが20数年後に来ることを想定すると、「少雨傾向」という直線トレンドではなく、降水量の長期変動の特性をより明確に把握しておくことが必要になるのではないだろうか。なお、国土庁の報告書「利水安全度調査報告書、平成8年度」⁶⁾によると、各地域の降雨のトレンドは必ずしも全国一律に少雨傾向を示してはいない。同報告書も、より細かな分析が必要であることを指摘している。

2.2 非線形的な時系列の見方で、より変動特性が見えないか？

大気の流れがNavier-Stokesの方程式と物質及び熱の輸送方程式によって記述されることを考えれば、結果として現れる気象要素の観測値は必然的に非線形的な振る舞いをすると言えよう。年降水量に少雨期と多雨期、あるいは周期の変動などがあると見なすと、非線形力学系の視点でのアプローチも意味のあることではないだろうか。ところで河村らは、福岡管区気象台の月降水量の対数変換値 $y(t)$ に対して式(1)のようなモデルを適用し、平均値 M_y 、振幅 A_i および B_i の変化を同定している^{3), 4), 5)}。

$$y(k) = M_y + \sum_{i=1}^q \{ A_i \sin 2\pi f_i k + B_i \cos 2\pi f_i k \} + w(k) \quad (1)$$

ここに、 q は有意な周波数の個数、 $w(k)$ は正規性白色雑音である。月降水量の観測値と式(1)による予測値との差が正規分布から逸れるか否かの判断を、異常値検出指標により判別することにより、異常の発生、即ち時系列の変動パターンが変化した時点とパラメータ M_y 、 A_i 、 B_i ($i=1, 2, \dots, q$)の変化を評価している。パラメータは表-2-2のように変動している。ここに期間I～IXは期間の番号である。なお、図-2-2にもこの様にして区分した期間を示している。パラメータの変化は適用する回帰モデルに依存するから、パラメータが変化したからといってこれが変動パターンが変わったと言えるかどうかは議論のあるところではある

が、このような変動パターンの変化は「少雨傾向」とか「多雨傾向」と言った解釈よりも具体性がある。

表-2-1 パラメータの変動と変動発生時期の検出

フィルタリング手法	期 間	平均値 M_t	周波数 (回/月) 及び対応する振幅									
			$f_1 = 1/48$		$f_2 = 5/72$		$f_3 = 1/12$		$f_4 = 1/3$		$f_5 = 5/12$	
			A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3	A_4	B_4	A_5	B_5
適応的 Kalman Filter	I	0.53	0.06	0.02	0.06	0.00	-0.10	-0.09	0.01	0.00	-0.01	0.00
	II	0.43	-0.15	-0.01	0.00	-0.12	0.01	-0.06	0.01	0.04	-0.04	0.02
	III	0.55	0.03	-0.02	-0.02	0.02	-0.12	-0.13	0.00	-0.01	-0.01	0.01
	IV	0.53	0.03	-0.01	0.03	0.02	-0.10	-0.10	0.03	0.02	-0.03	0.00
	V	0.50	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.18	-0.04	0.00	0.01	-0.02	0.01
	VI	0.51	0.03	0.13	-0.05	0.02	-0.19	-0.09	0.01	0.03	-0.03	0.00
	VII	0.61	-0.01	0.03	-0.03	0.04	-0.11	-0.12	0.02	0.02	-0.04	0.00
	VIII	0.53	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.14	-0.10	0.01	0.00	-0.02	-0.01
	IX	0.54	-0.12	-0.04	-0.02	-0.04	-0.14	-0.11	0.01	0.01	-0.01	-0.01
Kalman Filter	全期間	0.54	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.12	-0.10	0.02	0.01	-0.02	0.00

ところで最近、水文学の分野でも非線形力学系の視点から水文特性の解析を行う研究が増えつつある。非線形力学系の特性については既に多くのテキストで解説されているが、概念的には非線形方程式の変数が図-2-3のような変動をすること、またこれらの変数を位相空間上にプロットした場合に、図-2-4に示すようなアトラクターと呼ばれる軌道群をつくることである。軌道は必ずしも一定ではなくて準定常な平衡点の周りを周回したり、ある時点から別の準定常な平衡点へと軌道を変えることなどが特徴とされている。よく非線形力学の例として用いられるLorenz方程式は表-2-2に示すような式(2)~(5)を基礎に導かれたものである^{9), 10)}。この方程式の特徴は、準定常平衡点の周りで規則正しい周期的な変動を示す期間と、間歇的かつ非周期的な変動をする期間があることである。このように、Lorenz方程式が本来気象の変化と密接に関連していることを考慮し、向川¹¹⁾は気圧配置の変動の予測精度について詳しい分析を行っている。降雨量や気温の変動もこのような視点で再評価できないであろうか？

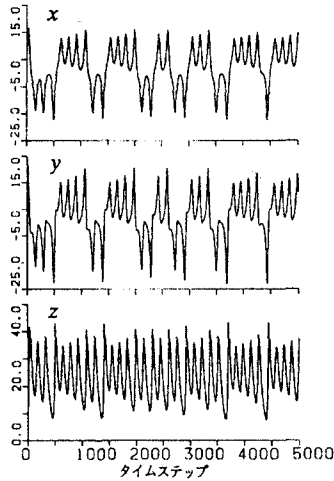


図-2-3 Lorenz方程式の時系列^{7), 8)}
($\sigma=10, r=28, b=8/3$)

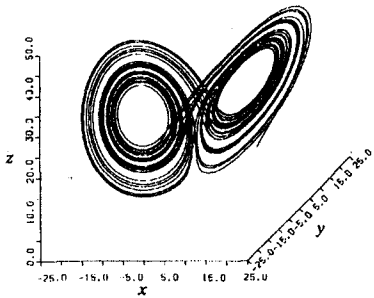


図-2-4 Lorenz方程式の位相空間上の軌道^{7), 8)}
($\sigma=10, r=28, b=8/3$)

2.3 Wolf太陽黒点数の時系列の解析事例

非線形力学モデルの時系列解析への1つの適用例としてJinno et.al(1995)¹²⁾らは、Wolfの太陽黒点数の時系列がRössler方程式^{13), 14), 15)}のアトラクターに類似していることから、この方程式を参照モデルとし、

月平均太陽黒点数の時系列変動が予測できることを示している。Rössler方程式を式(13)に示す。ここに、 a, b, c はモデルのパラメータである。そこで無次元式(13)を月単位の時間に戻すとともに、モデルに含まれるパラメータを非線形Kalman filterで逐次同定しながら $Z(t)$ がWolf黒点数の時系列に合うように予測していくと、図-2-5および図-2-6に示すように、3カ月先くらいまでは十分な精度が期待できることがわかった。

表-2-2 Lorenz 方程式の背景^{9), 10)}

水平方向： $x=0 \sim L$ 、鉛直方向： $z=0 \sim H$ 領域の2次元Navier-Stokes方程式と熱輸送方程式及び連続の式。詳細は文献9)、10)参照。 u, w ：水平及び鉛直方向の流速、 P ：圧力、

$$T_1 = T(x, z, t) - \frac{1}{L \times H} \int_0^L \int_0^H T(x, z, t) dx dz$$

$T(x, z, t)$ ：気温、 κ は熱拡散係数。

ϵ ：体積膨張率

流れ関数 $\psi(x, z, t)$ の導入； $\psi: u = -\partial\psi/\partial z, w = \partial\psi/\partial x$

Ra ：Rayleigh数、 R_c ：限界Rayleigh数；限界Rayleigh数は $a^2=1/2$ の時には、 $R_{c0}=27\pi^2/4$ となるが、 R_a が R_c を超えると式(8)および(9)の形の分布のモードが起こることが示されている。

$$\text{変数変換} \quad \begin{cases} \Psi(x, z, t) \\ \theta(x, z, t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{cases}$$

Lorenz 方程式：

$$\begin{cases} \frac{dX}{d\tau} = -\sigma X + \sigma Y \\ \frac{dY}{d\tau} = -XZ + rX - Y \\ \frac{dZ}{d\tau} = XY - bZ \end{cases} \quad (10), (11), (12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2) \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial x} - \nu \nabla^2 u = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial z} - g\epsilon T_1 - \nu \nabla^2 w = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} + u \frac{\partial T_1}{\partial x} + w \frac{\partial T_1}{\partial z} - \kappa \nabla^2 T_1 = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi = - \frac{\partial(\psi, \nabla^2 \psi)}{\partial(x, z)} + \nu \nabla^4 \psi + g\epsilon \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial(\psi, \theta)}{\partial(x, z)} + \frac{\Delta T}{H} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \kappa \nabla^2 \theta \quad (7)$$

$$\frac{a}{(1+a^2)\kappa} \psi(x, z, t) = \sqrt{2} X(t) \sin\left(\frac{\pi a x}{H}\right) \sin\left(\frac{\pi z}{H}\right) \quad (8)$$

$$\frac{\pi R_a}{R_c \Delta T} \theta(x, z, t) = \sqrt{2} Y(t) \cos\left(\frac{\pi a x}{H}\right) \sin\left(\frac{\pi z}{H}\right) - Z(t) \sin\left(\frac{2\pi z}{H}\right) \quad (9)$$

$$Ra = \frac{g\epsilon H^3 \Delta T}{\nu \kappa} \quad R_c = \frac{\pi^4 (1+a^2)^3}{a^2} \quad a = H/L$$

$$r = \frac{Ra}{R_c}, \quad b = \frac{4}{1+a^2} \quad \tau = \frac{\pi^2 (1+a^2)\kappa}{H^2} t$$

$$\sigma = \frac{\nu}{\kappa} ; \text{ Prandtl number}$$

この他、松本らは太陽黒点の周期長と気温との関係についての検討や、Lorenz方程式を参照モデルとしてRössler方程式と同様の解析を試みている^{16), 17)}。このように降水量や気温に対して非線形力学モデルを適用する意味は、気温や降水量のような時系列がトレンドのみではなく、図-2-7に示すような位相空間で揺らぐという特性を持つと考えるところにある。もちろん現在のところ、このような非線形モデルを探せるのか、何次元の変数で表現すればよいのか、そもそもこのような明白な軌跡が存在するのかは判らない。しかし、1/100の少雨が図のようなRegime-Aの中の1つの実現値であってまたいずれもとのループに戻ると見るのか、あるいは全く違うループに移行したのかと見るかは、計画を左右する大切なことである。なお、地球温暖化とか異常気象と言う言葉が使われるのは、暗に図-2-7には無い別の軌道に移行するのではないかと示唆しているように思われる。小尻らの報告書や^{18), 19)}真鍋の解説²⁰⁾は、地球温暖化により日本列島でも降水、蒸発が多くなり水循環が活発化し水資源のさらなる確保が必要であると指摘している。しかし、現状の利水安全度の向上という当面の課題と、将来予測しがたいことまで起こると考えておかねばならないという指摘は、水資源逼迫地域にとっては重い課題である。

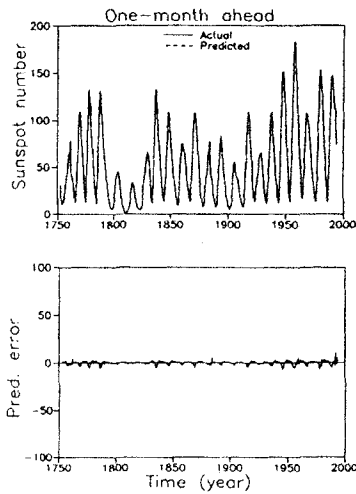


図-2-5 月平均Wolf黒点数の時系列と予測
誤差時系列（1ヵ月先予測）¹²⁾

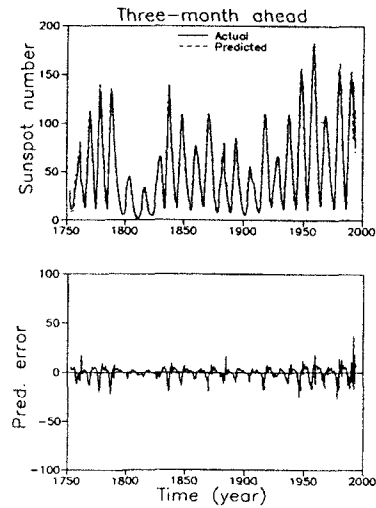


図-2-6 月平均Wolf黒点数の時系列と予測
誤差時系列（3ヵ月先予測）¹²⁾

3. 地域の水資源の課題

ここでは福岡都市圏および筑後川流域の現状を概観する。

3.1 福岡都市圏の水需給の現状

表-3-1は国土庁の白書「日本の水資源」²⁾に掲載されている我が国の水資源賦存量の地域分布である。北部九州は関東、近畿の臨海部および沖縄県に次いで水資源賦存量が少ないことが判る。このような状況にも関わらず福岡市を中心とした福岡都市圏では依然人口増加が続いて

いる。1978年の渇水以降、財政力が大きな福岡市は他都市には見られない水政策を展開し（後述）、渇水に対する備えを行ってきたが、周辺自治体の水道事情は余り改善されていないようである。図-3-1は福岡都市圏の主な水源および筑後川流域の水源施設である（福岡市の資料より）。表-3-2および表-3-3は福岡都市圏の自治体の水需給の概要であるが、水道事業が自治体の独立採算性で行われているためその実態はかなり異なる。例えば近年になって水道事業を始めた自治体では建設費等の償還が残っているために水道料金が低い。また、施設能力と最大需要量とに差が無く、能力限界に近い状態で給水している自治体がある。さらに、福岡市を除けば地下水への依存率が高い自治体が多いことや筑後川からの域外導水である福岡導水事業（実施体は、福岡地区水道企業団）への依存率が自治体によって異なる。

福岡市が節水都市といわれる所以の一つには、表-3-4に示すように政令指定都市の中で、札幌市に次いで一人一日平均給水量が少ないことによる。

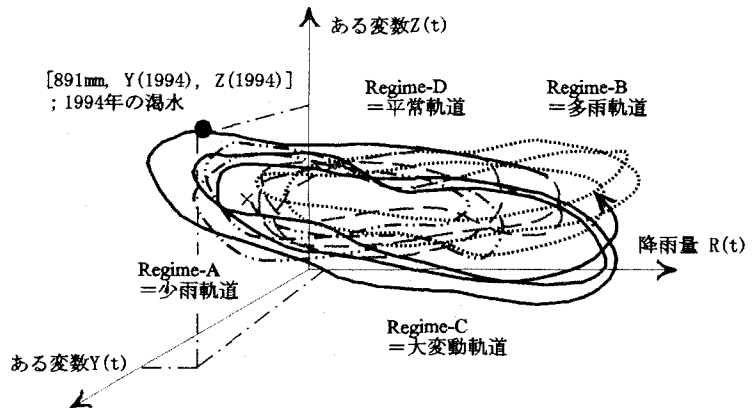


図-2-7 水文時系列の位相空間上の軌道概念図

表-3-1 地域別降水量及び水資源賦存量

地域区分	人口(千人) (平成2年)	渇水年			平水年		
		降水量 (mm/年)	水資源賦存量 (億 m^3 /年)	人口1人当りの 水資源賦存量 (m^3 /年・人)	降水量 (mm/年)	水資源賦存量 (億 m^3 /年)	人口1人当りの 水資源賦存量 (m^3 /年・人)
北海道	5,644	953	400	7,087	1,173	584	10,347
東北	12,213	345	623	5,101	1,638	857	7,017
関東：内陸	7,600	1,223	161	2,118	1,525	232	3,053
関東：臨海	31,797	1,207	88	277	1,512	130	409
東海	16,377	1,667	490	2,992	2,104	678	4,140
北陸	3,108	2,046	167	5,373	2,531	228	7,336
近畿：内陸	5,200	1,377	87	1,673	1,773	136	2,615
近畿：臨海	15,214	1,462	121	795	1,901	187	1,229
中国：山陰	1,397	1,557	90	6,442	1,963	131	9,377
中国：山陽	6,348	1,351	150	2,363	1,700	225	3,544
四国	4,195	1,664	177	4,219	2,154	268	6,389
九州：北九州	8,489	1,504	117	1,378	1,941	195	2,297
九州：南九州	4,807	1,869	258	5,367	2,432	395	8,217
沖縄	1,222	1,665	15	1,227	2,140	26	2,128
全国	123,611	1,377	2,946	2,382	1,728	4,272	3,456

注) 1. 国土庁調べ及び総務庁統計局「国勢調査」による。2. 水資源賦存量(m^3 /年)とは、降水量(mm/年)から蒸発散によって失われる量(mm/年)を差引いた量に当該地域の面積(km^2)を乗じた値。なお、昭和36年から平成2年までの資料に基づく。3. 渇水年とは、おおむね10年に1回発生するとされる降水量(mm/年)の少ない年をいう。4. 平水年とは、おおむね10年間の平均値となる降水量(mm/年)の年をいう。

一方、自治体の規模の割には1人当たりの水使用量が福岡市と大差ないところもある。都市の商業活動が福岡市に比べてそれほど活発ではない自治体であるにもかかわらず、1人当たりの水使用量が多いことの理由の1つには、老朽管からの漏水が多いことによる。次に実績の一日最大給水量と施設能力との差が余りない自治体では、水道施設がいつもフル稼働に近い状態になっている。このような状況で少雨になると渇水に陥りやすい。また、志免町の水道施設の概要を図-3-2に示すように、多数の小規模水源を持つ自治体が多いことも特徴である。自治体によっては、数名の水道課職員で数多くの小規模水源の管理、浄水場の運転、水道料金の徴収などを行っていて、独自に水源の確保や対策を考えていくのは容易ではない状況となっている。さらに水資源開発の限界時代到来を実感させる自治体も多い。ある自治体の議会から出た「一体、この町にはどのくらいの水があって、どこまで開発できるのか」という問いは、これまでのような「とにかく水源を開発せよ」と言う意見とは違った響きを与える。このため、この自治体では3年を目途に、表流水と地下水の動態解析、水収支評価、水に対する住民に式調査、土地利用形態の変遷調査、さらに将来の水施設の展望についての検討を開始している。「水源から蛇口まで」をもう一度よく見直し、町としての今後の水行政方針を立てるとのことである。

3.2 給水拒否の裁判にみる水資源の逼迫状況

福岡都市圏の自治体の中には急激な人口流入や水の新規使用量を押さえるため、要綱によって大口の需要者を規制しているところが多く見られる。表-3-5にその例を示している。志免町では民間の大型集合住宅の建設に伴う給水申請に対して、要綱に従って給水を拒否した。このため民間開発者との間でこの給水義務を巡って最高裁判所まで争われた。地方裁判所では町に対して給水義務があることを、また上告された高等裁判所では町の窮状に対して給水拒否もやむを得ないという判断を示した。争点は民間開発者は「水道法の供給の義務」を主張しているのに対し、町は「現住民の利水を守るためのやむを得ない措置」と主張している。以下は新聞報道の記事である：「訴訟は、福岡市に隣接する福岡県志免町が、水不足などを理由として、「20戸を超える集合住宅には給水しない」と定めた規則を適用し、新たに建設が計画されていたマンション(420戸)への給水を拒否したことを巡って争われた。原告の不動産会社は「町の措置は、水道法に定めた給水義務に違反する」と主張し、町を相手に給水申し込みを受け入れるように求めている。水道法は市町村に「正当な理由がなければ給水を拒んではならない」と給水を義務づけている。

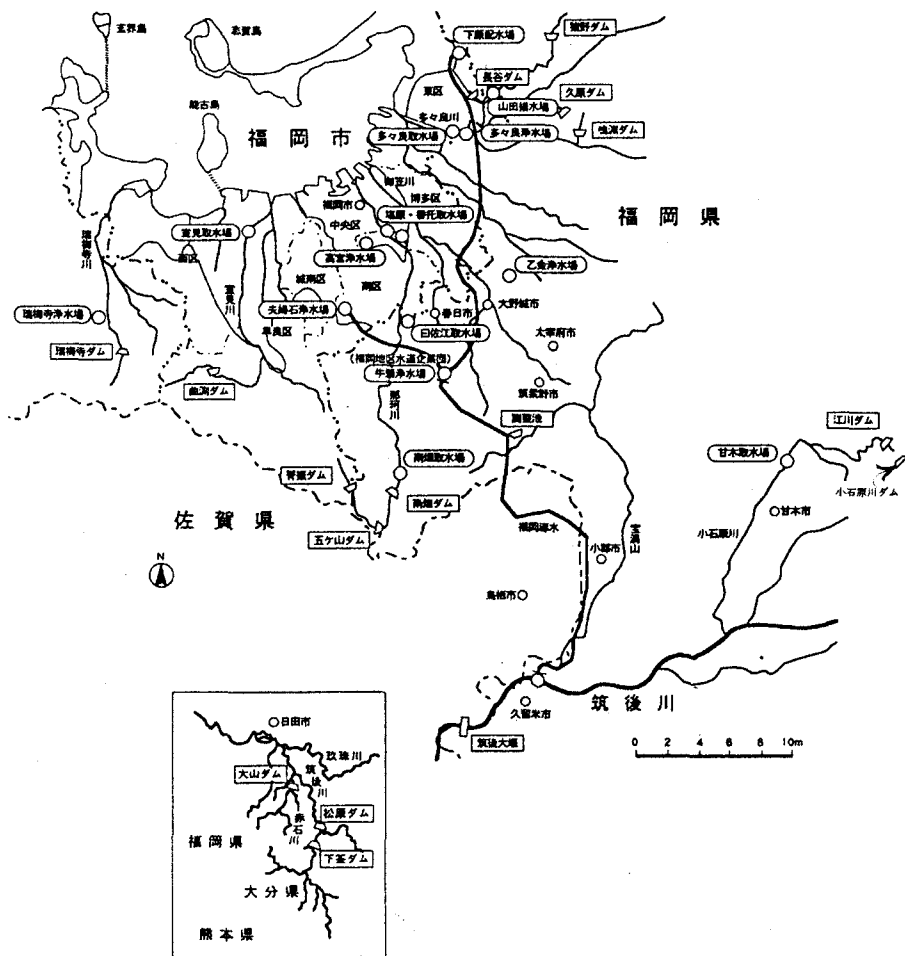


図-3-1 福岡都市圏及び筑後川の水源関連施設²¹⁾

表-3-2 福岡都市圏の自治体の水需給状況（福岡県の水道；1997年による）²¹⁾

自治体名	給水人口	普及率 (%)	現有施設能力 ($\text{m}^3/\text{日}$)	最大給水量 (m^3/d)	最大給水量 ($\text{l}/\text{人}\cdot\text{d}$)	平均給水量 ($\text{l}/\text{人}\cdot\text{d}$)	家庭用水道料金 (月20 m^3 使用時) 円/ m^3
		上；上水 下；下水道					
福岡市	1,289,145	98.6 97.9	704,800	458,528	356	306	135
太宰府市	50,945	77.2 89.9	16,900	15,446	332	267	199
大野城市	84,492	97.7 86.7	29,700	24,785	297	261	173
宗像市	67,905	85.2 93.3	33,700	20,755	310	251	194
志免町	37,297	99.9 19.9	15,380	11,669	329	266	188
須恵町	24,412	98.7 6.2	10,000	8,691	356	277	97
福岡町	34,624	83.2 15.0	16,300	11,409	334	268	208
津屋崎町	9,157	63.7 0	4,000	2,657	290	224	230

表-3-3 自治体の水源の種類（一部記載）
（福水企は福岡地区水道、山神企は山神水道企業団を示す、1992年時点）

自治体名	自己水源（m ³ /d）					水道用水供給受水 （m ³ /d）		施設能力 （m ³ /d）	福岡導水と施設能 力との比
	表流水	伏流水	地下水	分水	小計	福水企	山神企	合計	%
福岡市	501,500	28,000	4,000		533,500	139,800		673,300	30.0
大野城市	6,100		13,000		19,000	7,400		26,500	27.9
筑紫野市	4,000				4,000	4,400	11,600	20,000	22.0
太宰府市	5,400		4,000		9,400	3,200	3,500	16,100	19.9
宇美町	4,223	527	4,750		9,500	1,900		11,400	16.7
志免町	4,900		11,200	-900	15,200	2,000		17,200	11.6
志摩町					725	1,100		1,825	60.3
二丈町			1,693		1,693	1,100		2,793	39.4
合計/平均	563,259	29,927	89,539		68,2725	178,800	15,100	876,625	20.4

（空欄は資料無し）

裁判では、水不足を理由とする給水拒否が「正当な理由」にあたるのか最大の争点となり、下級審で見解が分かれていたために、最高裁の判断が注目されていた。「正当な理由」の考え方について第一小法廷はまず、『水道は、国民の健康を守るために欠くことはできないもので、安易に給水を拒否することは許されない』としつつも、「適正で合理的な供給計画では対応できないような場合には給水を拒むことができる」との一般判断を示した。そのうえで判決は、志免町が置かれた自然的・社会的な環境を検討：①全国有数の過密都市で、福岡市のベッドタウンとして今後も人口増加が見込まれる②多額の財政的な負担をして対策を取っているが近い将

表-3-4 大都市の1人1日給水量の比較
（単位はl/人・d、福岡市の調査による、1993年）

都 市 名	最大給水量	平均給水量
福 岡	3 9 5	3 3 1
札 幌	3 6 0	3 1 2
仙 台	4 5 5	3 9 3
東 京	5 2 5	4 4 2
横 浜	4 6 7	4 0 0
川 崎	5 0 5	4 3 8
名古屋	5 1 6	4 0 3
京 都	6 0 6	4 8 6
大 阪	7 0 4	5 8 6
神 戸	4 5 0	3 9 4
広 島	4 4 9	3 9 2
北九州	4 4 9	3 7 7
平 均	4 9 0	4 1 3

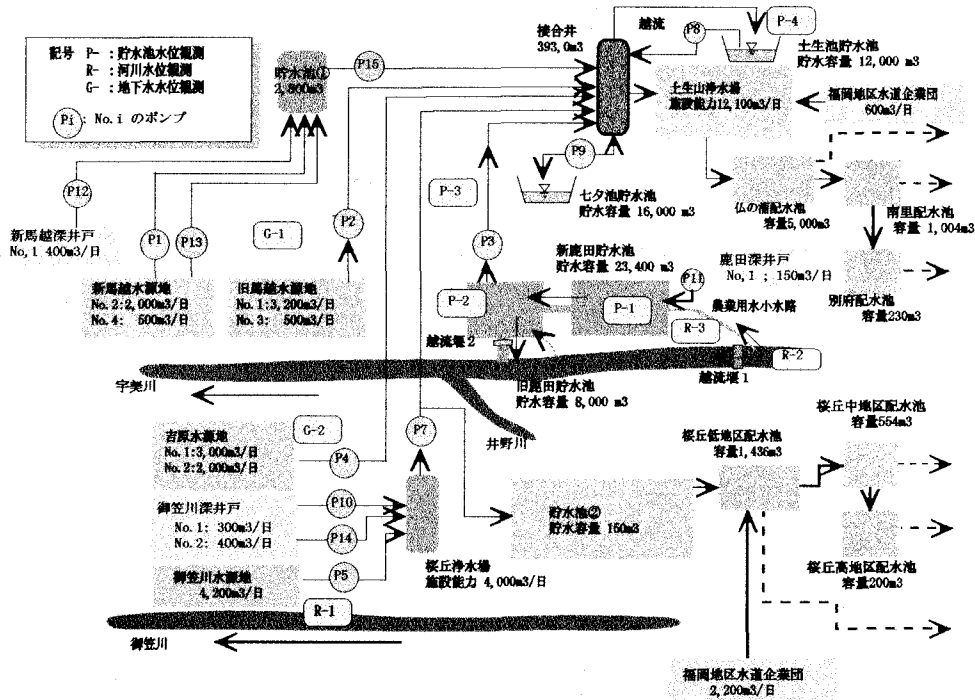


図-3-2 志免町水道施設配置概要
A-8-8

来深刻な水不足が予想される一などの事情を挙げて、「こうしたひっばくした状況下では、水道水の増加を抑えるために、新たに420戸の分譲を計画しているマンションへの給水を拒否しても、やむを得ない措置として許される」と結論づけた。（朝日新聞、平成11年1月21日）」

表-3-5 自治体の水需要抑制策等（一部のみ掲載）（福岡地区水道企業団、1992年より）

自治体	内 容 （需要抑制策）
福岡市	1. バルブ調整により減圧給水 2. 節水コマ 3. 加入者負担金：13 $\text{円}/\text{m}^3$ 1 栓当たり77,250 $\text{円}\sim$ 250 $\text{円}/\text{m}^3$ 1栓当たり141,100 円 4. 「福岡市節水型水利用等に関する措置要項」制定（1979.2.1より施行）（1）節水型機器の指定及びその奨励 （2）雑用水道の普及と促進 （3）大型建築物を建築する者は節水計画書を市長に提出義務 5. 節水PR及び累進料金制 ※1978年漏水評価 8,160 $\%$ 日（水不足率 $\times$ 給水制限日数）
志免町	1. 「水道事業給水規則」（1989.1.1）に規定 1）20戸を超える開発行為、建築及び共同住宅等の建築の場合は給水しない。2）1日最大10 m^3 以上使用するものには給水しない（工場、店舗等） 2. 宅地開発負担金 13-14 $\text{円}/\text{m}^3$ アパート 10戸未満 100,000 $\sim$ 900,000 $\text{円}/\text{戸}$ 20戸未満120,000 $\sim$ 1,080,000 $\text{円}/\text{戸}$ 3. 加入金：13 $\text{円}/\text{m}^3$ 1 栓当たり80,000 $\text{円}\sim$ 40 $\text{円}/\text{m}^3$ 1 栓当たり750,000 円 4. 節水PR及び累進料金制 5. 節水コマ
志摩町	1. 「給水規制条約」により30戸を超える住宅建設や1日最大30 m^3 を超えて使用するものには、給水しない。 2. 「地下水採取の規制に関する条約」により、地下水源の保全を行うために、地下水の採取について必要な規制開始（1991.3.27） 3. 節水コマ 4. 加入者負担金：13 $\text{円}/\text{m}^3$ 1 栓当たり103,000 $\text{円}\sim$ 40 $\text{円}/\text{m}^3$ 1 栓当たり824,000 円

3.3 筑後川からの導水事業の概要とその意義

1994年の漏水に対して福岡市の給水制限日数は295日となった。これは1978年の漏水の給水制限日数287日間に比べて長いものであるが、実質的な漏水対応は1994年の方が容易であったと言われている。1978年の漏水で得た経験や対策が役に立ったためであるが、福岡導水が55%の取水制限を受けたとはいえ筑後川からの導水の役割は大きかった。しかし一方で筑後川流域側からは、域外導水に対する厳しい意見も噴出した。

3.3.1 筑後川中下流域の利水状況

図-3-3は筑後川の日田市から下流域での取水施設と導水先を表している。日田市下流の大石、山田および恵理堰からは筑後平野の農業用水が取水されている。1985年に完成した筑後大堰からは江川および寺内ダムに貯水した水と大堰自身の貯水から、福岡地区水道企業団、福岡県南広域水道企業団、佐賀東部水道企業団が取水している。また、筑後川下流の灌漑用水の取水も行われるようになった。これらは水資源開発公団の事業として1964年の筑後川水資源開発水系指定から始まっているものである。また、水資源開発公団事業関係の新規開発水量は表-3-6のようになっている。

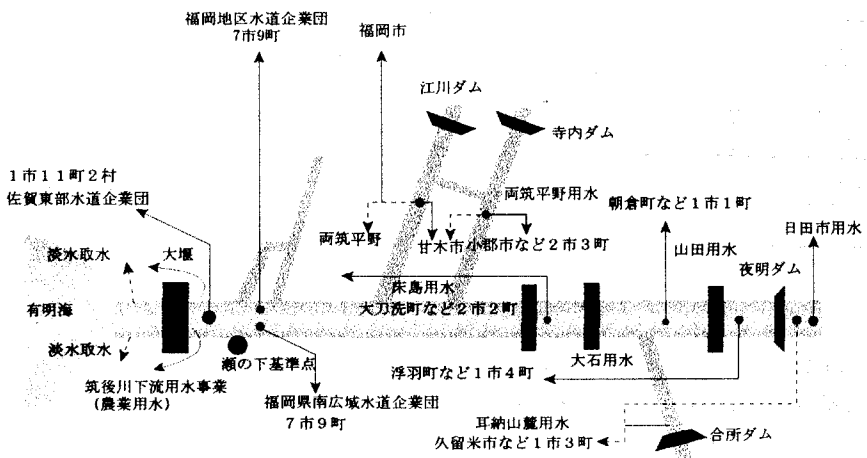


図-3-3 筑後川中流域の取水概要²²⁾

表-3-6 筑後川の新規開発水量とその配分²²⁾ (「河川便覧、1994年」) (単位は m^3/sec)

水源施設	上 水	工業用水	農業用水	合 計
江川ダム	福岡市 1.075	甘木市 0.173		1.331
	甘木市 0.083			
江川ダム・寺内ダム (総合運用)	福岡地区水道企業団 1.669		両筑平野 (2.51)	農 業 用 水 8.054(2.51) 上 水 3.65
	県南広域水道企業団 0.777			
	佐賀東部水道企業団 1.065			
	鳥栖市 0.139			
筑後大堰	福岡地区水道企業団 0.076			0.350
	県南広域水道企業団 0.157			
	佐賀東部水道企業団 0.117			
筑後川下流			(0.62)	(0.62)
大山ダム (計画)	1.31			
小石原川ダム (計画)	約 0.7			約 0.7
合所ダム	福岡地区水道企業団 0.326		(0.91)	
	県南広域水道企業団 0.152			

※ 数字は最大値、()は平均値を示す。一般に上水、工業用水は最大取水量、農業用水は平均取水量を表示している。

3.3.2 筑後川中下流域自治体の水需給状況

表-3-7には筑後川中下流域自治体の一部の水需給の状況を示している。大牟田市、久留米市、柳川市、大川市、それに城島町、大木町、三潴町、大和町、高田町では水道の普及率が高い。反面、筑後川沿川の吉井町、田主丸町、浮羽町では大変低い。これは中流域の町では地下水が豊富で各戸で地下水を利用しているためである。大牟田市や久留米市での実績の一人一日平均給水量は福岡都市圏の市町と同程度となっている。コストは筑後川の下流域に位置する柳川市、八女市、大川市が高い。今後、下水道の普及や生活様式が変化したり、地下水の表流水への転用が必要になるなどの事態が生じれば、水の需要が増えることも考えられる。

表-3-7 筑後川中下流域自治体の水需給状況(一部のみ掲載) (福岡県の水道(1997年)他による²¹⁾)

自治体名	給水人口	普及率 (%)	現有施設能力 (m^3/d)	最大給水量 (m^3/d)	最大給水量 ($\text{l}/\text{人} \cdot \text{d}$)	平均給水量 ($\text{l}/\text{人} \cdot \text{d}$)	家庭用料金 (月20 m^3 使用 時) 円/ m^3
		上：水道 下：下水道					
大牟田市	139,228	98.1	63,500	43,637	368	309	157
		21.9					
久留米市	227,813	96.9	129,800	95,226	418	324	118
		58.2					
柳川市	41,792	98.3	22,000	21,993	456	290	165
		0					
八女市	15,993	40.2	6,100	1,874	155	125	219
筑後市	30,104	64.8	14,000	10,302	338	267	171
大川市	41,139	97.3	19,900	14,020	341	285	197

(空欄は資料無し)

3.3.3 筑後川下流の農業用水と水産業

農業用水の不足は、江川および寺内ダム下流の両筑平野および筑後川下流域では長期にわたっての重要な課題である。両筑平野の場合、現在(計画基準年; 1960年)は、水源としては江川ダムに $13,706 \times 10^3 \text{m}^3$ の利水容量と寺内ダムに $8,027 \times 10^3 \text{m}^3$ の利水容量を持っている。この他、小河川・ため池・湧水からは $45,532 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ を利用、小石原川からは $32,492 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ 、地下水を $8,870 \times 10^3 \text{m}^3/\text{年}$ 利用している(水資源開発公団資料)。当初計画に見込んでいた湧水の枯渇やため池の減少により利用できる水が減少し、農業用水の不足が恒常化している。一方、筑後・佐賀平野に広大な水田地帯では、有明海の干満差を利用した淡水(あお)取水や、矢部川・城原川・嘉瀬川などの小河川からの取水で灌漑用水を確保してき

た。しかしながら干魃になると急速な用水不足が起こる。写真-3-1および写真-3-2は1994年の渇水時における筑後川最下流の大野島における淡水取水の状況であるが、干潮時と満潮時の合間をぬって塩分濃度を測定し樋門を開閉する取水操作が営々と行われてきた。このような不安定で労力を要する取水作業を解消すべく行われているのが図-3-4に示すような「筑後川下流用水事業」である。受益地は福岡県南部の6市8町、佐賀県東部の2市16町1村の合計34,800haの農地で、計画取水量は表-3-8のようになっている²³⁾。次に筑後川や有明海の水産業も重要である。筑後川にしか棲息しないといわれているカタクチイワシ科の希少種「エツ」、シラウオ科の絶滅危惧種の「アリアケヒメシラウオ」、カジカ科の危急種「ヤマノカミ」などの魚類の保全のための河川維持流量の確保、さらには全国生産額の30%程度を占める有明海の海苔の養殖など、この地域特有の産業がいずれも筑後川の流量と密接に関連していると言われている。

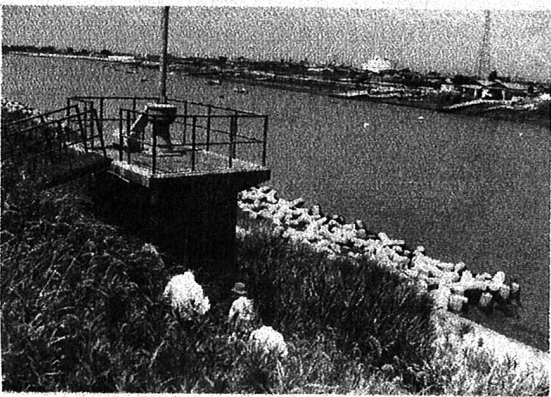


写真-3-1 大野島での淡水取水状況（取水樋門）

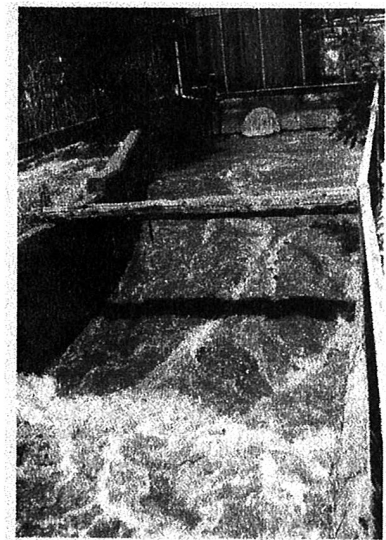


写真-3-2 取水された淡水

筑後川下流用水施設概要図（水資源開発公団パンフレットより）

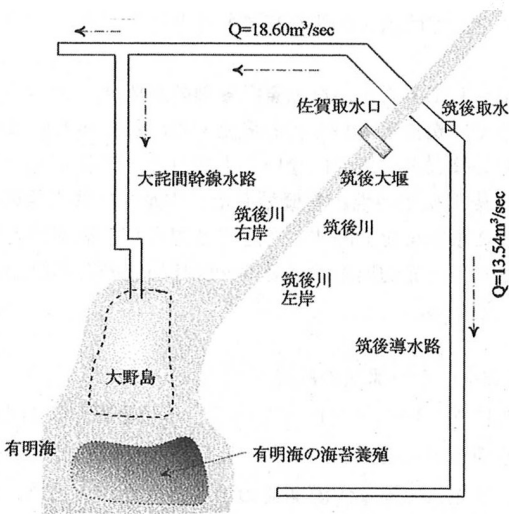


図-3-4 筑後川下流用水事業と有明海の海苔養殖

表-3-8 筑後川下流用水事業の取水量²³⁾

取水口	夏 期				冬 期	
	6月1日～6月20日		6月21日～10月10日		10月11日～翌年5月31日	
筑後取水口	最大25.00m³/sec	12.63m³/sec	最大28.08m³/sec	13.54m³/sec	最大4.00m³/sec	3.47m³/sec
佐賀取水口	最大25.00m³/sec	12.38m³/sec	最大28.08m³/sec	18.60m³/sec	最大4.00m³/sec	1.45m³/sec

※ 最大取水量が28.08m³/secのうち、25.00m³/secを超える部分の取水は瀬の下地点における筑後川の流量が44.00m³/secを超える場合に限り、そのを超える部分の範囲内において行う。

3.3.4 筑後川流域との競合ーダムの水は誰のものかー

筑後川からの導水が都市圏の生命線であることはすでに述べたが、1994年のような渇水では、当然のことながら筑後川流域の自治体や下流の農業および水産業にとっても厳しい状況に陥った。このような状況の中で浮き彫りになったのは、福岡都市圏と筑後川流域の間のいわゆる「渇水の時のダムの水は新規開発者のものか」であろう。流域にはそもそも筑後川の水は流域の水という「水の流域帰属主義」のようなものがある。渇水になると福岡都市圏側は、自前のダムの水を最後まで温存する方針をとる。しかし筑後川流域から見れば、「福岡市のダムには水が一杯残っているのに、筑後川から毎日水を持っていく」というように映る。筑後川流域の自治体でも給水制限を行なわなければならないとなると、筑後川流域からは、「それならば都市圏側に一滴の水のやらぬ」という意見も出た。前述のように筑後川流域自身も利水安全度が1/2言われている。中下流の農業用水や有明海の水産業など、維持流量の確保も大きな課題となっている。このように福岡都市圏側と筑後川流域とは、図-3-5のような水を巡っては厳しい状況にある。したがって渇水の頻度や規模が変わるのかどうかは、これらの地域にとっては重大な関心事であるといえよう。

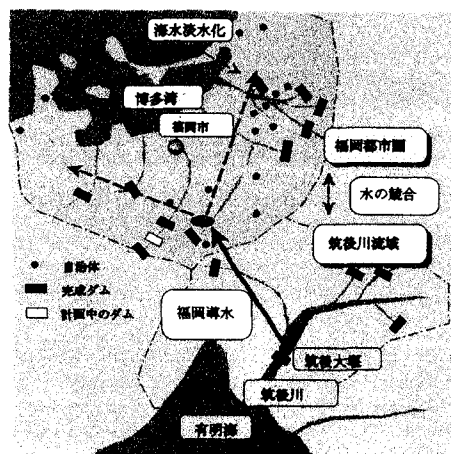


図-3-5 水を巡る福岡都市圏と筑後川流域の関係

4. 地域としての総合的な水資源管理の必要性

第2章では異常渇水が今後も多発するのか、あるいはまたしばらくすると通常の変動のパターンに戻るのかなどの検討が必要ではないかと言うことを提起した。第3章では、水資源が逼迫している福岡都市圏および筑後川流域の現状を概観した。本章では降水量の変動が不確定であることを前提として、より工夫を凝らした水施策を展開すべきと言う視点から福岡市の行ってきた施策を紹介するとともに、福岡都市圏の水道事業の一元的運用の必要性や既存施設の有効活用、および天候に左右されない海水淡水化事業などについて述べる。

4.1 福岡市の水源開発の経緯

水資源に乏しいことが返っていろいろな意識や技術を産み出した。例えば、ダムの貯水率が60%を切ったという報道があれば、約7割の住民が自発的に蛇口を絞ると言われているように、住民の節水意識も高まった。また、様々な水源開発の手法も考え出された。流域面積のない貯水池では、冬季に河川水を揚水して需要期に備える運用を行っている。また下水処理水を工業用水に振り替えることにより河川水を水道水源に転用している。このような開発の経緯を示すのが表4-1である。次に1978年の渇水を契機に進められた節水都市づくりは、以下のような3つの考え方に基づいている²⁰⁾；

- ① 節水型都市構造の形成：水の総合需給計画に基づき、人口制御及び都市機能の広域的な適正分散策を図る。
- ② 水資源開発：水源地域等との交流を密にし、理解と協力を求め遠隔導水、近郊水源開発及び既設ダムの有効利用を促進する。
- ③ 水の有効利用と徹底した節水施策：市民の節水思想の高揚を図るとともに、水の有効利用のための諸方策を講じる。

特に表4-2に示す施策は、福岡方式と呼ばれる節水メニューである。

表-4-1 福岡市のユニークな水資源開発

工 事 名	区 分	完成年	開発水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	内 容
第10回拡張 番托拡張工事 (老司)	農業用水の 合理化	1969	30,000	泰堀灌漑水路による農業用水をパイプ灌漑する事によって生み出した余剰水を上水道に利用
第15回拡張 那珂川取水 (日佐江)		1980	20,000	
第11回拡張 久原取水 (久原ダム)	揚水式ダム	1971	18,200	集水面積がほとんどないため、河川からポンプアップ揚水して貯留
第17回拡張 多々良取水 (長谷ダム)		1993	31,500	
第12回拡張 脊振取水	2河川総合 運用	1977	65,000	灌漑期 (6/21~10/10) は那珂川の脊振ダム貯水を取水 ($65,000\text{m}^3/\text{日}$) し、非灌漑期 (10/11~6/20) は室見川最下流より取水 ($40,000\text{m}^3/\text{日}$) する2つの河川の総合運用をおこなう
第16回拡張 南畑増強	ダム湖底 掘削	1986	25,000	既設ダム湖底の $100\text{万}\text{m}^3$ 掘削による貯水量増での水源開発
第18回拡張 那珂川・御笠川取水	下水処理水 振り替え (県)	1987	17,000	下水処理水を河川に導水し、既得工業用水利権にこれを充て、代わりに河川水を上水として取水する水源開発
五ヶ山ダム	経年貯留の 漏水対策	事業中		平常時の取水・貯水とは別個に3~4年で貯水し、異常漏水時のみに取水する漏水対策容量 ($1,300\text{万}\text{m}^3$) を余分に持つ
第9回拡張 江川取水	流域外導水	1972	93,500	筑後川から流域変更して福岡都市圏へ導水。うち、福岡市の導水量は全体の78%
第14回拡張 筑後川取水		1983	139,800	

表-4-2 水の有効利用施策

(a)	効率的な配 水事業を促 進する	(i) 水管理センターの設置 (1981年) : 市内の配水区域に水圧計110ヶ所、流量計63ヶ所、電動調節弁148ヶ所を設け、水管理センターのモニターで配水管内の水圧や流量あるいはバルブの監視と操作を行う。適正圧力 ($2.5\sim3\text{kg}/\text{cm}^2$) を維持することにより、配水管からの漏水量を減らす。 (ii) 配水管整備事業および漏水防止事業 : 配水管整備事業の一つとして行っている老朽管の敷設替や漏水防止調査・事業により、漏水量を減らす。 (i)および(ii)の事業により有効率が1987年度では85.8%であったものが、1993年度では92.7%にまで増加している。これは政令指定都市の中では大阪について高いものである。
(b)	節水型機器 の普及 (1993年度)	(i) 節水コマ : 家庭用94.5%、事業所76.2%、全体で92.7%の導入率となっている。 (ii) 節水型便器 : 380,000個設置している。 (iii) 節水効果の高い機器類の使用奨励 : サーモスタット付き湯水混合水栓、追い炊きできる給湯器、ミニポンプ、風呂ブザーなどの導入を奨励する。
(c)	節水意識を 高揚する。	(i) 「水をたいせつにキャンペーン」活動 : 6月1日~8月31日 (水のコンサート、作品コンクール、水源地域交流、浄水場・ダム施設等の見学、ポスター、市政だより、水道局による節水広報等を行う。 (ii) ビデオを製作し、小学校、公民館へ配布。 (iii) 水道モニターを公募し、勉強会、アンケート等を実施する。水道事業に対する意見を聴取する。これらの意識調査の結果、市民の約70%が節水意識を持っているということである。
(d)	雑用水道の 普及(1993年 度)	: 『大型建築物に伴う節水対策事務処理要綱 (1974年4月1日施行)』による導入対象施設は口径50mm以上の給水装置、または延べ床面積 $5,000\text{m}^2$ の施設となっている。 その結果、(i) 個別循環型 : 211件 (ii) 地区循環型 : 2地区 (iii) 広域循環型 : 下水処理水の再生水利用事業として、市の中心地区に日量 $3,000\text{m}^3$ (1993年度) の実績があり、導入施設数は81件となっている。計画では 770ha に $8,000\text{m}^3/\text{日}$ を供給することになっている。

以上のように、水資源の確保を行うためにはただ単に水源を求めて行くだけではなく、住民の節水意識が大切であること訴えている。また、平成9年から水道料金から1m³あたり50銭、一般会計から50銭を積み立てて基金15億円を創設し水源林の造整備、水源地域の活性化事業、上下流交流、水源林の用地取得などの水道水源涵養事業を発足させている。1978年の渇水は北部九州の他地域でも発生したが、渇水後に水源の確保を総合的な視点で行えなかった自治体もある。その結果、1994年の渇水に十分な対応がとれなかった状況も見られた。1994年に福岡市が社会的なパニックにならなかったのは、上述の様な総合的な対応が功を奏したものである。周辺の自治体でも同様の施策を推進する必要がある。なお、どのような施策が各々の自治体にとって最善かを選択することの議論については後で述べる。

4.2 運命共同体としての認識

図-4-2は太宰府市の平成6年度の配水量、大佐野ダムからの取水量、福岡水道企業団からの日受水量の時系列である。大佐野浄水場からの配水量と福岡地区水道企業団の受水量から判るように、福岡導水が制限されると直ちに配水量が制限される。太宰府市の福岡地区水道企業団からの受水量は、前出の表-3-3で示しているように全施設能力に対して20%を占める。不足分を補うように自前の大佐野ダムからの取水量が多くなっている。このように福岡導水量の制限は依存度が高い自治体ほど給水制限に直結する。取水制限が行われると、福岡地区水道企業団は加入市町に対して給水量を日々変えて対処することになる。このように、水道事業を自治体ごとに独立採算で行っていても、いざ渇水となると互いに融通することになり、実質的に福岡都市圏は運命共同体として水運用を行っていくことになる。

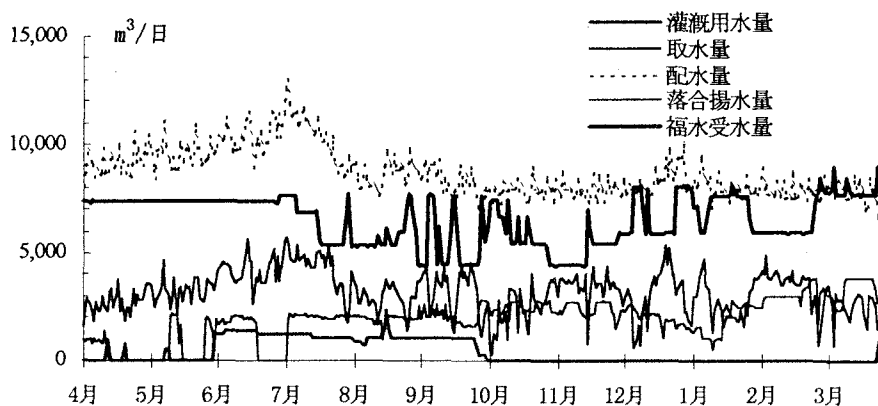


図-4-2 太宰府市大佐野浄水場からの配水量と福岡導水の受水量時系列(1994年度)

4.3 計画中の水源開発の概要

4.3.1 筑後川流域関連の水源開発

筑後川流域と福岡都市圏とが水に関して競合する状況は既に述べたが、筑後川自身の利水安全度が1/2と評価されている現状をどのように改善するかという課題がある。このため、図-3-1に示すように大山ダム、小石原川ダムの建設が計画されている。もちろんこれらのダムには筑後川流域の利水の他に福岡都市圏の新規利水も参入している。また、ダムの放流水を下流のダムにポンプアップして貯留し、新たな水源とするダム群連携の構想もある。ダム群連携は、上流ダムの予備放流を利水ダムに揚水して有効利用を図ろうというものであるが、筑後川の利水安全度が向上するという議論と、この様にして新たに開発された水が福岡都市圏に行くのではないかという疑心暗鬼になるところもあり、相互の信頼関係を構築することが望まれる。また都市圏側住民の一人一人が筑後川流域の実情をよく認識することも必要である。

4.3.2 海水淡水化

かねてより福岡市が単独で導入を検討していた海水淡水化事業が、1994年の渇水を契機として福岡地区水道企業団を構成する21市町等により実現されることになった。平成11年度に事業が認められた海水淡水化の目的は、城内の自助努力の一環として水資源を確保するということと、さらに天候に左右されない水源の確保にある。導入に当たってこれまで検討された事項を表-4-3に示す。我が国では既に水道事業としては、沖縄県企業局の北谷海水淡水化プラント(40,000m³/日)が稼働しているが、福岡都市圏で実施する淡水化事業の特徴は、海底下の砂層から浸透取水することである。これにより、施設海域の水深が浅いことや季節風による高い波浪の影響を避けるとともに、前処理としての砂濾過や凝集沈殿設備の濁質除去施設を軽減することにある。浸透取水は海底下砂層の地質条件や水質の化学特性に影響されるから、実証試験を行いながら実施計画を立てることになる。

表-4-3 海水淡水化事業概要

	検 討 項 目	検 討 経 過 と 実 施 方 針
1	海水淡水化施設の建設適地	陸水と混合希釈する浄水場(多々良浄水場)に距離が最も近い福岡市東部地区とする。これにより管路建設費を下げる事が出来る。
2	効率的海水淡水化施設の計画および淡水化方式など	高回収率(60%)を目指すことにより、取水量を減らす。これにより取放流施設、前処理・排水処理設備やプラント用地等の建設事業費を削減する。淡水化方式は、逆浸透方式とする。取水量は112,000m ³ /日で、淡水造水量は50,000m ³ /日とする。電力は夜間電力が使えるよう配水量の組み合わせを検討し、造水コストを下げる。
3	取水・放流方式	深層海底管取水と海底下砂層からの浸透取水について検討し、現地が遠浅海岸であることから、懸濁物質の少ない澄澄な海水取水が期待される浸透取水を目標とする。これにより、前処理の軽減や海域構造物建設が不要になる。現地海底砂層の地盤調査を継続し、取水設備の最終決定を行う。 62,000m ³ /日の濃縮水は、東部博多湾奥に位置する下水処理水放流先を移設して海水濃度程度まで希釈する。これにより濃縮水の環境への影響を押さえる。
4	その他(放流水の有効利用等)	下水処理水との混合放流による博多湾の水質保全の利用以外に、熱源としての利用やタラソテラピーに代表される健康医療分野等の活用を図る。

5. 水循環社会の形成

海水淡水化や計画中の水源開発を行っても福岡都市圏の利水安全度は1/7～1/6程度までにしか向上しないと言われている。水需要のピークが20数年後に到来すると想定されているので、超長期的な水源開発が可能であるのか、あるいは新たな水源開発が次世代に大きな経済的負担を残すことにならないかなど十分な議論が必要であるように思われる。そこでもう一度自分たちの町の水循環を再評価して、都市化によって失われた水環境を取り戻すとともに、どのようにすれば適切な水循環社会を構築できるかを考える必要があることを述べる。

5.1 都市化が小規模自治体の水資源確保を困難にしている

都市化によるさまざまな影響や、今後向かうべき方向を図-5-1のように整理している。いろいろな国際会議や学術誌から推察すると、この図のような状況は概ね世界のどこの地域でも進行していると思われる。図に従って概略を述べると、まず中核都市で人口増加が起こる。当初は利便性から中核都市市内での人口増加から始まるが、スプロール現象により、周辺自治体でも人口増加が起こる。中核都市や周辺自治体では、

人口増加や水道および下水道普及率が高くなることにより、水の需要量が増える。水道水源の確保のため、地元自治体および県や国レベルでの水資源開発が進められるが、すでに開発が進んでいる地域や、本来水資源の賦存量に乏しい地域では、水需要の増加に開発が追いつかず、逼迫した状態が起きる。一方、都市化は土地利用形態を変える。農地、特に水田は地下水の涵養源であるとともに洪水の一時貯留効果も持つ。しかし、農地が宅地化したり大規模事業所になると、雨水の浸透がなくなり地下水位が低下する。都市河川は土地利用の変化により、洪水時にはピーク流量が増える反面、無降雨が続くと、従前に比べて河川流量が減少する。河川と地下水の間の水の行き来が少なくなり、水循環が途切れる。流量が減ると、河川から取水していた水源の取水能力が低下する。また少流量になり希釈量が低下すると、河川の自浄能力の低下、ひいては水源である河川の水質が悪化することになる。以上のように、都市化により新たに水需要が発生する一方で、水循環の機構が改変され、必要となる水源の確保までが困難になっている。これは、水を主体においた総合的な視点がないことによる結果であり、様々な見直しが求められているところである。

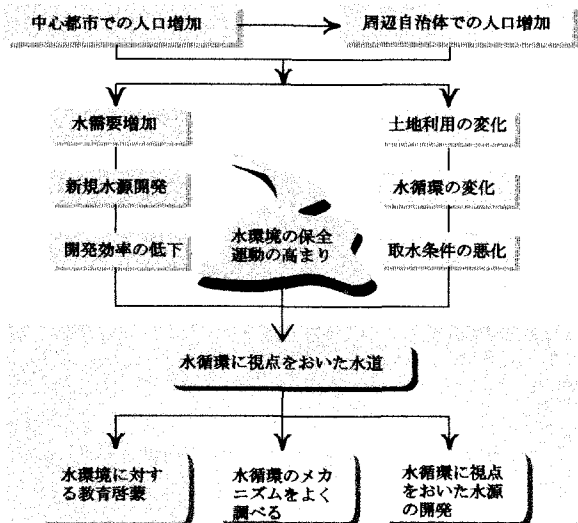


図-5-1 都市化と水資源確保の課題

5.2 自治体の水戦略

前にも紹介したように、「水はどこまで開発できるのか？」という自治体の叫びはしかし、新たな試みを生むチャンスにもなっている。単一水源に比べて、多くの小水源を持つ水道事業では経費がかかることになるが、さまざまな試みを行うことは、水循環に対する見方を変えるチャンスにもなるとされる。いくつかの自治体では、

- 1) 自治体で水収支を評価する、2) 上水道、下水道とかの区別をせずに水循環を基本に考え、その中で水源確保のあり方を模索する、3) 小自治体がいくつか連合して水源の開発を行う、4) パソコンなどを使ってデータ管理をシステム化する

等の試みが始められている。このような試みは、地域の水資源賦存量の評価や、水の再利用につながったり、市民への啓蒙を具体的な形で進めようとするものである。

5.3 時を同じくして

現在、各省庁が今後の指針として水に関しての取り組みを次のように捉えている。建設省の今後の事業方針の中で河川行政の方向性を見ると²⁵⁾、²⁶⁾、随所に「水循環」というキーワードが記述してある。同様に「流域における水循環はいかにあるべきか-中間報告書-」²⁷⁾でも、『健全な水循環系の構築・・・』についての基本的な考え方として、①国土マネージメントに水循環の概念を取り入れること、②河川・流域・社会が一体となって取り組むこと、③水循環を共有する圏域毎の課題をふまえた取り組みを行うことが唱ってある。また、国土庁の白書「日本の水資源」²⁾では我が国の水収支についての説明や、水資源基本

問題研究会の答申として、「流域における健全な水循環系の確保」を提言している²⁸⁾。さらに新聞報道によると、環境庁は「水循環政策大綱」を作成する方針を示し、農水省、国土庁などとの調整を始め、1999年度での閣議決定を目指すとしている（西日本新聞、1998年6月28日、朝刊）。その中で基本的な方針として、土地利用計画や環境影響評価に水循環の視点を取り入れ、流域を単位とした森林保護や河川上下流域での保全費用の負担、都市部での雨水の地下浸透能力を回復させることなどを大綱に盛り込むとしている。このように、今後は水資源の確保には総合的な水循環の視点が求められている。5.2で述べたような自治体の動きに対して、国や県が具体的にどのような支援体制を取るのかも注目される。この様な展望が日々の水道事業に追われる地方自治体に浸透するためには、制度的、技術的さらに財政的にインターフェイスの役目を果たす機能が必要であろう。図-5-2にはそのような概念を示している。

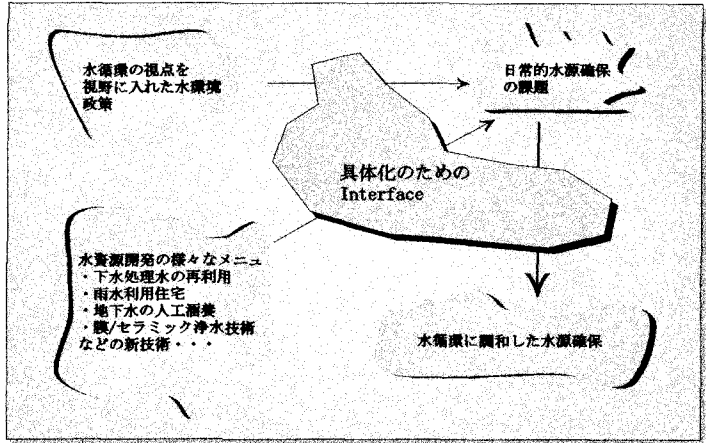


図-5-2 具体化のためのインターフェイス

下浸透能力を回復させることなどを大綱に盛り込むとしている。このように、今後は水資源の確保には総合的な水循環の視点が求められている。5.2で述べたような自治体の動きに対して、国や県が具体的にどのような支援体制を取るのかも注目される。この様な展望が日々の水道事業に追われる地方自治体に浸透するためには、制度的、技術的さらに財政的にインターフェイスの役目を果たす機能が必要であろう。図-5-2にはそのような概念を示している。

5.4 水戦略の具体化に向けて

5.4.1 システム的な水情報の収集

水環境に対する行政および市民の関心が高まる状況に対し、水を扱う行政部門では総合的な見地から水情報を収集する必要がある。これまでの行政の水情報の収集の仕方は、当面の事業に必要となる観測にとどまっており、経費をかけて収集した観測結果が、必ずしも他事業や将来を見据えたデータベースとして活かされていないように思われる。その理由は「水を管理する」と

いう総合戦略がないことによると考えられる。したがって「水循環」が具体化することを想定すると、どのような場所で、どのようなことが起こっているかという水循環過程を総括的に捉えることから始める必要がある。

5.4.2 水情報の伝達と市民参加

「システム」という用語は、いろいろなところで使われているが、何をもって「システム」と定義するかは明確ではない。しかしここでは、水循環システムとして図-5-3に示すように水循環の変化や水施策に対する応答がシステマティックに判る体制を創ることが「水循環システム」であると考えている。環境に対する関心が高まる中、水情報が果たす役割は大きい。単に情報を提供するというのではなく、情報の提供により住

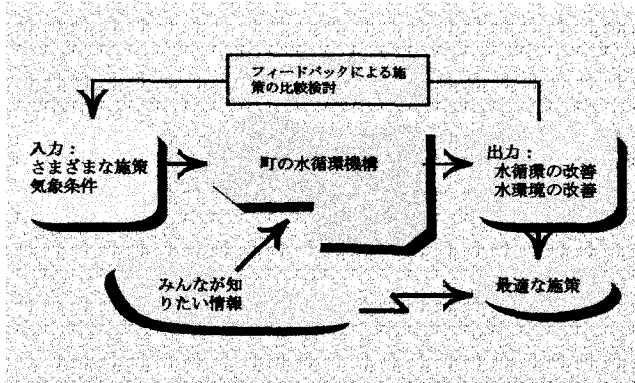


図-5-3 水循環システムの概念図

民が自分たちのおかれている状況を理解する事ができる。また、為政者は町の将来戦略について何が必要であるかを認識することができる。実務者は、行政の垣根を越えて水を中心に戦略を練ることができる。

5.4.3 「自治体＝ベンチャー企業」の水研究

水循環とか、水収支とかというような用語は水道の現場ではあまりなじみのない用語である。実際、これまでは自分たちの地域で水が足りなければ、他の流域から水を持ってくればよかったわけであるから、自分たちの町の水収支を評価する必要はあまりなかった。しかし、今後は水循環に関する知識を学ばなければならないが、現在のところそのような体制を確立しようというところまで機が熟してはいない。また、国が上述のような方針を打ち出したとして、地方自治体がどのように対処すべきなのか、などの議論は始まっていない。また、都道府県レベルにおいても水源開発のためにさまざまなメニュー、たとえば下水の再処理水の活用、雨水の有効利用、下水の再処理水の農地灌漑、河川維持用水への振り替え、地下水の人工涵養などを提示しているが、これに対しても、今後自治体がどのように取り組めばよいかについての議論はあまりなされていない。そこで、図-5-4にはシステムの確立のためのフローを描いている。水循環は自分たちの町だけではなく、行政界を越えての水の移動を考慮する必要がある。たとえば、流域を流れる川や、地下水の流れ、更には流域下水道があれば処理水の放流先などがそれに当たる。したがって、町どおしで協議してモデル構築や情報交換を行うほか、水循環のネットワークがより広い範囲で展開できるように、上位行政組織が調整することが望まれる。そのような意味で都道府県や国は、「水循環を検討しようとする自治体＝ベンチャー企業」に対しての具体的なサポート体制を考えていく必要がある。自明であるが、水循環は山地や森林での水の移動を研究する森林水文学の研究分野、地質構造を取り扱う応用地質学の研究分野、地下水の流動をモデル化する地下水文学、ダムや表流水における水の動態や管理をシステム的に取り扱う河川工学や水資源工学、水道や下水道に関する研究分野などにまたがる広範な情報を必要とする。したがって、個別要素的な

研究だけではなく、図に示すような目的に沿った総括的な研究体制が必要であり、そのためには「水研究」の段階からの技術的・財政的な支援のあり方を検討しなければならない。また、事業を実現するために最も重要な点は、自治体＝住民が「水循環システムの構築」に強い意志を持たなければならない。切羽詰まってからでは、より良い構想が時間切れになったり、前任者からのひきつぎの線に沿って継続しているだけということになりかねない。「町と住民」が長期的なビジョンをもって、自分たちの水問題として取り組むべき時期になっている。

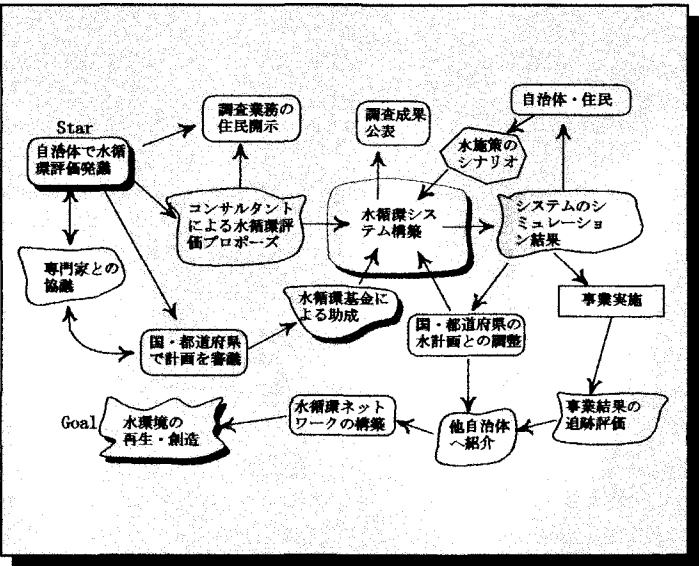


図-5-4 水循環事業化のためのフロー

5.5 水資源確保の合意形成-情報の伝達と住民の選択-

大規模な水源開発以外に、水循環にも配慮して様々な水資源確保を模索するのは、将来の不足分を自治

体自らの判断で実施可能な対策を取捨選択し実施することを求めるからである。したがって各自治体は、前出の図-5-2のような視点から自らの水源確保策を決めなければならない。図-5-3に示すような水循環システムモデルが構築されれば、モデルにさまざまなシミュレーションを実行させたり、提供する情報に付加機能を持たせるように工夫する。例えば、

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1) 水源地および浄水場の位置図 | 2) 水利権の期別一覧表 |
| 3) ダムの諸元や貯水量および降雨の時系列 | 4) 浄水場の施設能力や導水時系列 |
| 5) 浄水場からの配水量時系列 | 6) ダム流域での流出解析機能 |
| 7) 複数ダムの貯水量予測計算 | 8) 水需要量予測計算 |
| 9) 水需要シナリオ・渇水シナリオに対する水需給リスク解析 | |
| 10) リスク最小のための最適シナリオ探索機能 | |

を行わせ、政策決定者、水道事業者および住民に対して、基本データの表示やシナリオに対する水需給システムの応答結果などの水情報を提供しようとするものである。この様な機能を持ったシステムを活用して、水環境についての教育や啓蒙、あるいは事業に対する情報を住民に伝えるようにする。図-5-1に示すような方向に向かうためには、住民も水環境に対する認識を高める努力をする必要がある。また、同時に自分たちのおかれている水の現状に対してどのような施策を選択をしていくのか、具体的にはどの程度まで節水するのか、投資するコストはどこまでか、自然はどのようにして守るのかなどを決めなければならない。

6. むすび

本稿では福岡都市圏の水資源の課題を事例に、異常気象と水資源の管理や運用について述べた。異常気象については、1994年の少雨がこれまでのような変動のパターンの出現値なのか、あるいは既に地球温暖化の影響を受けて起きたもので、今後も新しい範疇の水文事象が引き続いて起きるのかなどの見極めが必要ではないかと述べた。この様な入力条件の設定は、水需要の伸びのピークが20数年後くらいに来ると予想されている福岡都市圏にとっては、今後どのような水施策が合理的かを定める上で重要である。また、本稿では日頃筆者が福岡都市圏や筑後川流域の水資源について感じていることや、各方面から提供された諸々の資料について思ったことを述べた。水資源問題は地域特有の事情があり、福岡都市圏での種々の対策が他地域でも適用できるとは限らない。しかし、河川開発、域外導水、下水処理水の再利用、農業用水の合理化、節水施策そして海水淡水化といった一連の事業は、それぞれその時々、社会的・経済的・技術的背景のもとで実施されたもの、あるいは今後実施されようとするものである。あえて理想を述べるならば、都市計画段階で水循環を保全するという視点から土地利用のあり方が議論されるべきであったと思われる。今後の水源開発が長期化することや、公共事業に対する再評価が求められる現在、より効率的な水資源の運用が必要になると考えられる。水道用水についても、「水循環」を基本視点においた水道のあり方が問われる。「水循環」という視点を水道事業の現場に直ちに持ち込むことは困難かもしれないが、自治体の中には従来手法での水源開発が限界に近いとの認識から、本稿で述べたような新たな試みを行うところもある。この場合、行政の枠組みや従来の水資源開発の手法を越えるものがあったとしても、それが「水循環」の理に叶うものであれば、挑戦する価値はあると思う。海水淡水化や渇水対策ダムなど、計画されている水源開発を織り込んで日量で最大数万 m^3 程度が不足し、目安である1/10には達しないと推算されている。また、利水計画に用いられている基準年が比較的多雨期間のものであるため、現在の施設能力は実質的には70%程度しかないという自治体もある。海水淡水化後にも利水安全度が1/10に達しないとすると、不足分については自治体独自で対策を考えなければならない。あるいは地域全体としての水の相互運用をより積極的に進めることや、水利用の合理化や節水施策をさらに進めていくことも必要である。そのためにも、

より詳細な水の動態を明らかにし、どのような戦略が最適であるのかの議論を始めなければならない時期に来ていると思われる。

謝辞：本稿を纏めるに当たり関係諸機関の資料を引用させていただくとともに、有益な助言を賜りました。また本学大学院工学研究科環境システム科学研究センターの河村明助教授および非常勤研究員Merabtene Tarek氏にはいろいろと資料の整理を行っていただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Merabtene Tarek : Decision Support System for Water Resources Management、九州大学学位論文、1999年3月、2) 国土庁：日本の水資源、平成10年度、3) 上田年比古、河村明、神野健二：適応的カルマンフィルターによる異常値検出について、土木学会論文報告集第345号/II-1、昭和59年5月、111-121、4) 河村明、上田年比古、神野健二：降水時系列の長期パターン変動の解析、土木学会論文集第363号/II-4、昭和60年11月、156-164、5) 河村明、神野健二、上田年比古：長期的降水パターン変動による利水安全性の変化、第31回水理講演会論文集、1987年、271-276、6) 国土庁水資源部：利水安全度調査報告書、平成8年度、7) 河村 明、松本 実、神野健二、許 士国：カオス時系列のダイナミックスの推定と予測（第一報）—Lorenz方程式の初期値及びパラメータ依存性と非線形最小二乗法による予測について—、九州大学工学集報第67巻第5号、平成6年、513-521、8) 河村 明、松本 実、神野健二、許 士国：カオス時系列のダイナミックスの推定と予測（第二報）—拡張カルマンフィルターによるLorenz方程式のダイナミックスの推定と予測について—九州大学工学集報第67巻第5号、平成6年、523-531、9) Barry Saltman : Finite Amplitude Free Convection as Initial Value Problems- I , Journal of The Atmospheric Sciences, Volume 19, 1962, 329-341、10) Edward N. Lorenz : Deterministic Nonperiodic Flow, Journal of The Atmospheric Sciences, Volume 20, 1963, 130-141、11) 向川均：ブロッキング現象と予測可能性の変動、気象研究ノート、第189号、日本気象学会、1997年、263-275、12) Kenji Jinno, Shiguo Xu, Ronny Berndtsson, Akira Kawamura, and Minoru Matsumoto : Prediction of sunspots using reconstructed chaotic system equations, Journal of Geophysical Research, VOL.100, NO. A8, 1995, 14,773-14,781、13) Gouesbet, G. : Reconstruction of the vector fields of continuous dynamical system from numerical scalar time series, Physics Review A, 43, 5321-5331, 1991a、14) Gouesbet, G. : Automatic reconstruction of dynamical system equations from numerical scalar time series, paper presented at Eighth Symposium on Turbulent Shear Flows, Tech. Univ. Of Munich, Munich, Sept. 9-11, 1991b、15) Otto E. Rössler : Different Types of Chaos in Two Simple Differential Equations, Seminar text book titled Chaotic Bifurcations in Simple Continuous Systems, at the Advanced Seminar on Bifurcation Theory, Informal Session, Wisconsin Center, Madison, Wisconsin, October 29, 1976, 1664-1670、16) 松本 実、河村 明、神野健二、Ronny Berndtsson、許 士国：太陽黒点周期長とスウェーデン・ルンド市における気温との相関関係について、水工学論文集第40巻、平成8年、365-370、17) 松本 実、神野健二、河村 明、Ronny Berndtsson：システム方程式の再構築による気温時系列の予測について、水工学論文集第41巻、1997年、1105-1108、18) 小尻利治：「地球温暖化のもとでの水資源システムの安全度評価と耐渇水方策に関する総合的研究」、平成3年度～平成5年度総合研究(A)成果報告書、代表：小尻利治、1992年、19) 小尻利治：時・空間パターン認識による日本全国規模渇水の水文学的特徴抽出とその対策、平成8年度/9年度科学研究費補助金（基盤研究(B)）、平成10年3月、20) 真鍋淑郎：水文・水資源学会創立10周年記念号：水文水資源学会誌、第11巻第7号、1998年、659-678、21) 福岡県：福岡県の水道、平成10年度、22) 神野健二：博多で学び博多で考える環境問題、福岡大学公開講座、1994年、九州大学出版会、23-72、23) 水資源開発公団筑後川下流用水管理所：パンフレット「筑後川下流用水」、24) 福岡市水道局資料、25) 建設省：平成10年度建設省重点施策・経済対策のポイント-「国土建設」から「国土マネジメントへの転換」-、26) 建設省：改正「河川法の解説とこれからの河川行政」、出版社ぎょうせい、1998年、27) 建設省：「流域における水循環はいかにあるべきか」-河川審議会中間報告書-、1998年7月、28) 笛田俊治：水資源基本問題研究会提言「21世紀の持続的水活用社会形成に向けて」について、地下水学会誌第40巻第2号、157～166、1998、29) 今村瑞穂：ダム貯水池における洪水調節の工学的特性の分析と改善に関する研究、九州大学学位論文、1998年