

報告②

福岡都市圏の水事情と
利水安全度について

九州大学工学部助手(建設都市工学科)

河村 明

1. はじめに

ここでは福岡都市圏の水事情を工学的立場から、主として利水安全度の考え方を中心にして考察を加えることとする。福岡都市圏は地震のような天災も非常に少なく発展の一途をたどっているが、唯一水問題が都市発展の重大な制約要因となってきた。

福岡市周辺都市では、福岡市への産業・経済活動の一極集中の結果、そのベッドタウンとして急速に人口が増加しており、これに伴い水の需要量も増加を続けている。

福岡都市圏広域行政推進協議会策



河村 明・九州大学助手

定の第三次マスタープランによると、福岡都市圏の人口は、平成二年の一九九万人(給水人口一八三万人)から平成一二年には二三四万人(給水人口二一九万人)に増加するものと予想され、今後も水需要の増加は避けられず、水資源対策は緊急の課題となっている。しかし、福岡市周辺の自治体には大きな河川もなく、また自己水源も乏しく、常に渇水の危機にさらされているのが現状である。また人口増加に対応する水資源開発にも苦慮しており、利水安全度を向上させるために各自治体が独自の身近な自己水源を持つことや、節水意識を高揚させることは重要な課題となっている。

2. 福岡市の特色ある水資源開発

水資源開発とは、地球上を循環している水を、より多く人間の生存活動に利用するため、その循環

過程を変えることであると解釈される。この場合、海水や地下水そして汚濁した水が容易に利用できれば問題はないが、そのいづれもが多くの問題を抱えているため、水資源開発が人類にとって重要な課題となっている。水資源開発方法には以下のような様々な方法が考えられる。(1)水の地表滞留時間の増加、すなわち、ダムや溜池等による貯留や貯水池からの蒸発抑制等、(2)地下水の揚水やかん養、(3)水の運搬移動による地域間融通、(4)質の純化による再生利用、すなわち、海水の淡水化や下水処理水の再生利用など、(5)既存水利用の改善、すなわち、農業用水等の既得水利用の合理化や水道水の漏水量の減少等、(6)気象制御、すなわち、人工降雨や台風・低気圧の進路制御等が挙げられる(各々の方法の詳細しくは参考文献1を参照)。なお、直接の水資源開発ではないが、水需要量抑制策も水資源開発と同等の効果がある。

さて、福岡市の水道は、大正一

二年の創設以来現在まで一八回も多くの拡張事業を実施してきたが、これは近郊に大河川をもたず、増加する水需要に対処して絶えず

水を求めて、小規模な水資源開発を繰り返してきた結果である。このように水源に乏しい福岡市では、福岡市ならではの特色ある水資源開発がいくつか見られる。以下にそれらの一部を列挙する(詳しくは参考文献2を参照)。

①農業用水合理化としてのパイプ配水。従来の水路の代わりにパイプを水田まで付設し、水田に蛇口を取り付けて必要水量のみを供給し、余剰水量を上水に転用する水資源開発で、全国で始めての試みであった。

②揚水式ダム。集水面積がほとんど無い(流入量がほとんど無い)ダムで、河川下流の余剰水のあったときにポンプで水を揚水して貯めるダム。

③下水処理水の転換。下水処理水を河川に導水し、既得水利権にこれをあて、その水利権分の河川水を上水道として取水する水資源開発。

④流域外導水(筑後川からの福岡導水など)

⑤配水調整事業。各浄水場間の配水管による連絡、古い水道管を新しい水道管に置き換え漏水を防止する漏水防止事業、配水コントロ

ールセンサーによる水圧・流況の監視と制御など。

⑥雑用水道の推進と普及(詳しくは参考文献3を参照)

また、直接の水資源開発ではないが、

⑦水資源開発と同等の効果がある水需要抑制。すなわち、節水意識の高揚、節水機器の普及、増型水道料金制度の導入など。

さらに、以上の努力などが認められ、以下の項目も計画として進められている。

⑧緊急水備蓄ダム。全国で始めて五ヶ山ダムに渇水専用容量を確保する。

⑨海水淡水化

以上述べたように水資源開発の方法は色々あるが、日本で水資源開発と言えばダム建設による河水の開発および安易な地下水の揚水と言っても過言ではない。安易な地下水の揚水というのは、地下水がその場で容易にしかも安価に利用できる反面、地下水障害(揚水障害、地盤沈下、塩水化、地下水汚染など)が起り易く、地下水障害が一度生じると回復が困難か非常に長期間を要するからである。福岡都市圏では自己水源とし

て地下水を河川水以上に使用している自治体が多くある。後述するように、自己水源としての地下水が利水安全度を向上させる上で有効な方法ではあるが、地下水を水源とする場合は揚水量などを慎重に検討するべきである。なお、福岡市以外の福岡都市圏の自治体では配水管からの漏水率の高さが問題となっているようであるが、この漏水量が地下水源として大いに貢献しているのではないかと考えられる。

3. 利水安全度

利水安全度というのは、いま利用している水がどの程度安定的に利用できるかを表す概念であり、水需給関係の安定性の観点から評価される。前節で述べたように、これまで水資源開発と言えばダムによる河川水の開発がほとんどであるので、利水安全度もダムによる利水安全度の概念が主に考えられている。

ダムによる水資源開発については参考文献4および1に詳しく述べられている。その要点を簡単に説明すると、昭和一〇年以前頃までは河川の自然流況の渇水自流量

が水利用の上限であった。しかし、これ以後、ダム建設という土木技術により、河川流況を平滑化して自然流況を改良し、渇水流量の増大を図れば、この増大した流量分が新しく開発した水資源量となり、増強させた分について水利権が得られるという水資源開発のための画期的な手段が登場した。

ここで、わが国のダムなどの水利施設は一〇年に一度起こる程度の渇水を対象に計画が立てられている。すなわち、過去のできるだけ長期の流量データより一〇ヶ年第一位相当(二〇ヶ年第二位など)の渇水年を対象としてダムの必要確保容量を決定している。この水利計画は、サンフランシスコ・ニューヨークが既往最大渇水を、ロンドンが五〇年に一度の渇水を計画目標としていることに比べ低いものとなっている。このことは日本の河川の河況係数(ある一定期間の河川の最大流量と最小流量の比)が欧米に比べ非常に大きいことも一因となっている。わが国ではこの一〇年に一度の渇水に対応するための努力を続けているのが実状であり、現在、この一〇年に一度という水資源計画の利水安全

度指標のみが利水計画対象となっている。

よって、一〇年に一度以上の異常渇水が起こった場合には、ダムは枯渇し、当然水不足の状態が発生することになり、この場合基本的には行政責任は無いと考えられよう。しかし、一〇年に一度の渇水よりも厳しくない河川流況にもかかわらず水不足が生じた場合は、水資源を含めた地域計画が不備であるために起こった水不足ということで、行政上の責任は重いと思われる(参考文献5参照)。さらに、福岡都市圏においては、長期的降水の変動によっても利水安全度が低下している。すなわち、福岡都市圏のダムの利水計画が昭和三〇年代の多雨期(参考文献1参照)を対象に立てられているのに対し、現在ではこれが少雨傾向となり相対的に利水安全度が低下している。

現在、福岡都市圏においては一〇年に一度という最低限の利水安全度を維持することも困難な状況となっているようである。さらに、新たな水資源開発や節水により生じた余剰水を新たな需要に振り向けることになれば、利水上の安全

度はますます低下することになり、異常渇水により水不足が生じたときの被害は増大することとなる。

さて、利水安全度を論じるには、ある水利用に応じた安定的な水供給の達成度を表す利水安全度指標の選定およびその適正な水準が重要な問題となる。利水安全度指標として、例えば山内(参考文献6)による利水安全度指標の分類を表1-1に示す。いままで述べてきた一〇年に一度という利水安全度指標は表1-1の第一群の渇水の発生頻度を表す指標であり、前述のように現在の水資源計画でこの指標のみを用いて計画を行っている。しかし、一〇年に一度を上回る渇水が発生した場合に流域が蒙る被害は、流域の社会・経済の状況によって大きく異なる。このことは流域の実質的な利水安全度に差を生じさせることになる。よって渇水現象は、水文学的に一〇年に一度という頻度を維持するだけでなく、渇水による社会的、経済的あるいは精神的な影響も考慮して利水安全度の意味を評価して定義する試みが行われている。その一例が表1-1の第二群から第五群の渇水の「長さ」、「大きさ」、「厳

表-1 利水安全度指標の分類^{*)}

分類	表現内容	利水安全度指標	定義
渇水の発生頻度を表す指標	第1群 「頻度」	(1)渇水の発生頻度	貯水池必要容量の超過確率で表現する。すなわち貯水池必要容量Vの計算対象期間(T年間)中の大きい方からの順位をnとすれば、 渇水の発生頻度 = n / T
		(2)貯水池容量不足発生年数	計算対象期間中、貯水池貯留量が0となる事態が生じた年数。
		(3)取水制限実施年数	計算対象期間中、取水制限を実施した年数。
渇水の程度を表す指標	第2群 「長さ」	(4)貯水池容量不足発生日数	計算対象期間中、貯水池貯留量が0となる事態が生じた日数。
		(5)取水制限実施日数	計算対象期間中、取水制限を実施した日数。
	第3群 「大きさ」	(6)総不足水量	総不足水量 = $\sum(Q_i - W_i) \times 86,400$ 、但し、 $Q_i - W_i \geq 0$ Q_i : i日における計画確保流量(計画取水量)(m^3/s) W_i : i日における実確保流量(実取水量)(m^3/s)
		(7)貯水池不足容量	任意の流況に対して、計画確保流量を補給するのに必要な貯水池容量Vと実績の貯水池容量Wとの差(但し、 $V - W \geq 0$ の場合のみ)。
		(8)不足%・日	取水制限率の累加値。 不足%・日 = $\sum S_i = \sum \frac{Q_i - W_i}{Q_i} \times 100$ 、但し、 $Q_i - W_i \geq 0$ S_i : i日における取水制限率(%)
第4群 「厳しさ」	(9)最大取水制限率	計算対象期間中の取水制限率 S_i の最大値。	
	(10)渇水被害関数	渇水被害関数として、次のような関数を定義する。 渇水被害関数 = $\sum S_i^n \cdot Q_i^m$ 例えば、「 $\sum S_i^2$ 」、「 $\sum S_i^3$ 」、「 $\sum S_i^2 \cdot Q_i$ 」	
第5群 「経済的被害」	(11)渇水被害額	渇水被害額 = 最大給水制限率で決まる被害額 + 給水制限率別日数に比例する被害額	
	(12)単位水量当たりの渇水被害額	単位水量当たりの渇水被害額 = 年平均渇水被害額 / 年間計画取水量	

*)山内：利水安全度指標について、水文・水資源学会誌第3巻2号(1990)より

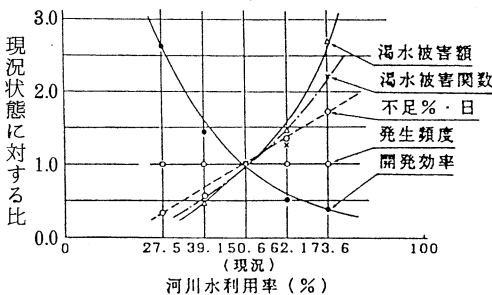


図-1 利水安全度指標の相互関係

谷：利水安全度指標の検討、第3回水資源に関するシンポジウム前刷集(1987)より

しき」、「経済的被害」を表現する各指標である。これらの指標は一旦渇水が発生した場合に流域が蒙る被害の程度を表す指標で、単に例えば渇水発生後の渇水被害を表す指標である。そして、これら第二群から第五群の指標は、利水シミュレーションの結果の評価などを通じて渇水被害のどのような特性を表現しているかが明らかにされてきており、相互に高い相関を持っていることが分かっている(参考文献7参照)。

参考文献7による図-1は、あるモデル流域において渇水発生頻度は一〇年に一度の一定にした

場合に、河川利用率(その河川からの年間の総取水量÷年間総流出量)の上昇とともに(要するに取水量が増加するとともに)、各種利水安全度指標およびダムの開発効率(年間利用可能量÷貯水池必要容量)の変化する様子を示している。これより、河川利用率の上昇とともに、開発効率が急激に低下すること、および渇水発生頻度は同じでも、頻度以外の各利水安全度指標の値は増加し、計画を上回る渇水が発生した場合に流域が蒙る被害が大きくなることを示している。結論として、通常施設の計画等には「第一群の頻度」、渇水対策施設には「第三群の大きさ」そして渇水が発生した場合には「第四、第五群の厳しさ、経済的被害」を評価の対象として用いるのが適当であるとしている。

4. 福岡市周辺の自治体の自己水源と利水安全度

ここでは、福岡市周辺の自治体として人口、施設能力が似通ったD市とT市を例にとりあげて、各自治体の持つ自己水源が利水安全度どのような影響を与えるかについて利水シミュレーションによ

り考察を行う(詳しくは参考文献8参照)。

4-1-1 D市、T市の給水施設概要

D市の水道はその水源として、MAダム、Oダムの二つのダムとO揚水井、M揚水井の二つの地下水、およびF地区水道企業団からの受水があり、総給水施設能力は一六、一〇〇m³/dayである。またT市の水道はその水源として、MIダムおよびYダムを水源とするY水道企業団からの受水があり、総給水施設能力は二〇、九〇〇m³/dayである。図-2に両市の給水施設の位置、および表1-2、3に給水施設能力をまとめた。これより、D市の方がT市より自己水源を多く確保しており、また流域も異なるため渇水時の給水の安定性が高いと予想される。

図-3、図-4は、それぞれD市、T市の昭和三七年度から平成二年度までの人口、給水人口、施設能力、一日最大給水量、一日平均給水量、一人一日最大給水量、一人一日平均給水量の推移を示している。これらの図より、T市ではここ数年における人口の伸びが著しいことがわかる。これは、ニ

ュータウン建設などを積極的に進めた結果と考えられるが、これに伴う施設能力の伸びは若干鈍いようである。また平成二年度におけ

る一人一日最大給水量、一人一日平均給水量をみると、D市がそれぞれ三五二ℓ、二八一ℓであるのに対し、T市ではそれぞれ三六六ℓ、二九七ℓとなっ

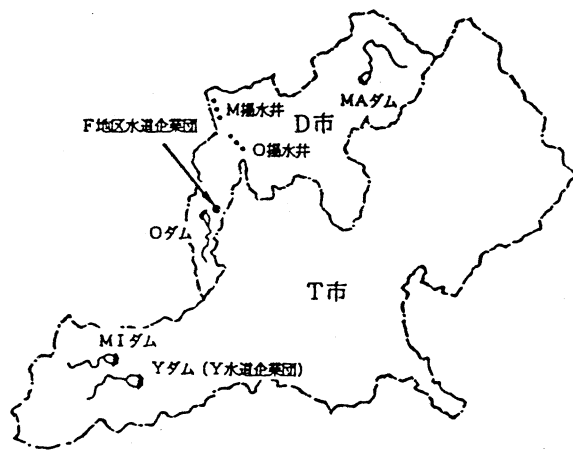


図-2 D市およびT市の給水施設の位置

表-2 D市の給水施設能力

施設名	施設能力(m ³ /day)
MAダム	3,000
Oダム	3,400
O揚水井	1,500
M揚水井	1,500
F地区水道企業団	6,700
合計	16,100

表-3 T市の給水施設能力

施設名	施設能力(m ³ /day)
MIダム	4,000
Y水道企業団	16,900
合計	20,900

ここでは、D市の給水量のおよそ三〇%を担っているOダムについてそのダム運用の検討を行う。Oダムは、総貯水量一九五、〇〇〇m³、有効貯水量一七五、〇〇〇m³(上水分一五八、〇〇〇

運用の検討を行う。Oダムは、総貯水量一九五、〇〇〇m³、有効貯水量一七五、〇〇〇m³(上水分一五八、〇〇〇

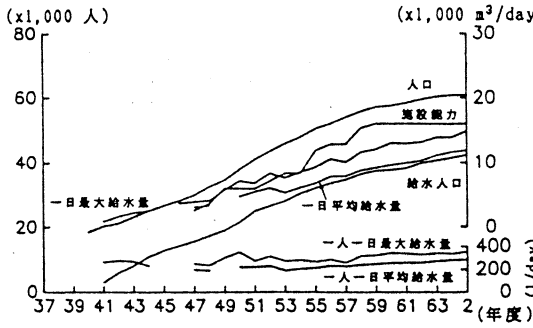


図-3 D市における給水能力の推移

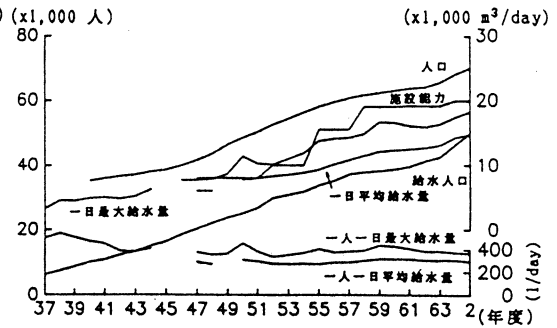


図-4 T市における給水能力の推移

3月の降雨により貯水量は速やかに回復している。一月中旬以降の貯水量回復に地下水補給の効果が見られるものの、全般的には顕著な差異はない。次に、図-6に一年に一度という渇水年に相当する平成二年度のダム運用の実績と、自己水源としての地下水がなかった場合のダム運用のシミュレーション結果を示す。図から分かるように、渇水年においては、梅雨時の降雨不足によりダムの貯水量はかなり少なくなったが、地下水の補給により回復も早く、三月末には満水に達している。一方、地下水

の多目的ダムである。〇ダムでは、貯水量が満水の九〇%を下回ると近くの〇揚水井からの地下水をダムに汲み上げるという運用がなされている。ここでは特に、この地下水が利水安全度に与える影響を上水分について検討する。まず、図-5に平年並みに降雨のあった昭和六二年度(平水年)のダム運用の実績と、自己水源としての地下水がなかった場合のダム運用シミュレーション結果を示す。図から分かるように平水年においては、梅雨期の降雨により貯水量はほぼ満水を保っており、冬期も

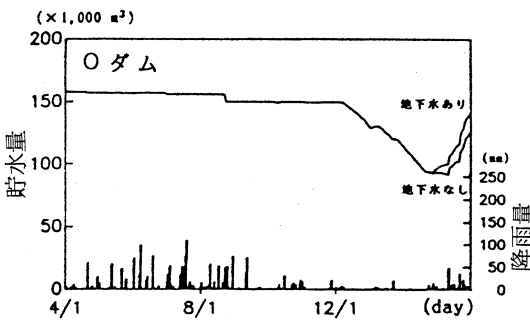


図-5 昭和62年度(平水年)における〇ダムの運用

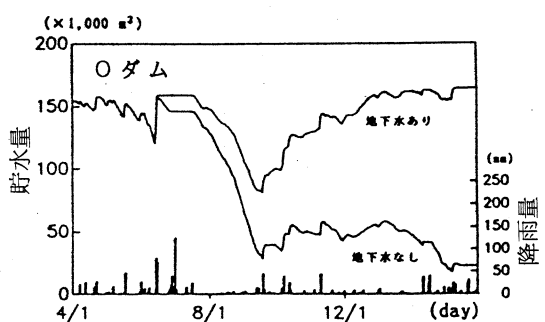


図-6 平成2年度(渇水年)における〇ダムの運用

の補給がなかったならば、大きな貯水量低下を招き、給水制限も実施せざるをえないような状況となっている。〇揚水井からの地下水揚水量は、およそ七〇〇m³/dayとそれほど多くはないが、渇水年においては貯水量維持に大きな影響を与え、利水安全度を高めていることがわかる。

4-1-3 T市のM1ダム運用シミュレーション
T市のM1ダムは、総貯水量八六、五九〇m³、有効貯水量八五、〇〇〇m³の上水専用ダムである。T市のYダム雨量観測所における過去二九年間の降雨量のデータによると、平成二年度は二九年間の降雨量のうち一四番目に少ない降雨量の年で、T市においては平成二年度は統計的には平年並みに降雨があった年ということになる。しかし、一二月と一月の降雨量が平年に比べ非常に少なく、その結果、二月一二日より三月一二日まで給水制限を行っている。そこでまず、T市の上水専用ダムであるM1ダムについて一〇年に一度の渇水年に相当する昭和四九年度の流入量を用いた場合の貯水量の推移のシミュレーションを行った結

果を図7に示す。この図より、平成二年度の給水量に対して、昭和四九年度の流入量が生じたとすると、貯水量が大きく低下し給水制限は必至であることが分かる。逆にいえば、昭和四九年度は渇水年であったが、給水量が少なかったため水不足は生じなかったと言えることができる。

次に給水制限を開始する時期と渇水被害との関係の検討を行う。平成二年度の三〇%の給水制限(二/一二三/一二)は、MIダムの貯水量の四五%を下回った時点から開始しており、また給水圧を下げるという方法で行ったため高台の方では水の出が悪くなったり、また、全く出なかった地域もありかなりの被害が出た。そこでまず、図18に給水制限を実施せずに需要量通りに配水した場合のシミュレーション結果を示す。

この図より、もし給水制限を行わなかったならば二月末にはダムの貯水量は空になり給水不可能の事態に陥っていたことが分かる。そこで、一般的に日常生活に余り支障がないといわれる一〇%や二〇%程度の給水制限を、早い時期すなわち貯水量の八〇%、七〇%、

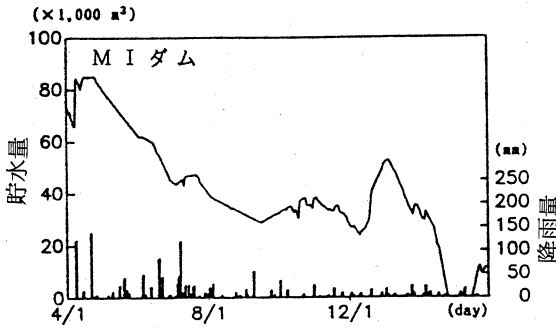


図-7 昭和49年度の流入量とした場合の貯水量推移

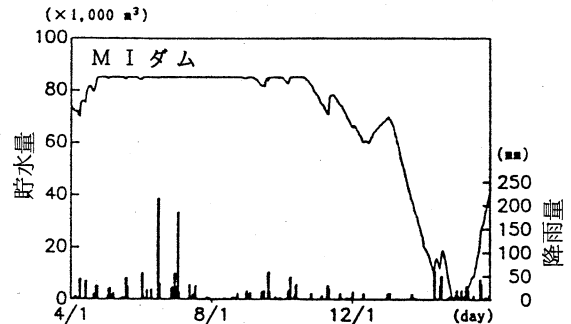


図-8 給水制限を実施しなかった場合の貯水量推移

表-4 渇水被害の計算

実際の渇水被害	6.58 × 10 ⁷ (m ³ /day)	
給水制限なし	1.40 × 10 ⁹ (m ³ /day)	
制限率	10%	20%
	貯水率	
80%	1.64 × 10 ⁷	6.59 × 10 ⁷
70%	1.31 × 10 ⁷	5.26 × 10 ⁷
60%	1.28 × 10 ⁷	5.14 × 10 ⁷
50%	1.21 × 10 ⁷	4.85 × 10 ⁷

六〇%、五〇%をそれぞれ下回った時点から、給水制限を行った場合のシミュレーション結果を表14に示す。ここでは渇水被害の指標として給水不足量の2乗を用いた。表14に示すように、一〇%の給水制限では渇水被害はいずれも実際の渇水被害よりかなり小さくなっている。但し、計算期間の最終時点における貯水量の低下が大きくなる傾向にある。二〇%の給水制限では、貯水量の八〇%を下回った時点から開始した場合を除いて、渇水被害はいずれも実際の渇水被害より小さく、しかも貯水量の急激な低下もなかった。従って、渇水被害を軽減させるためには、貯水量がかなり少なくなつてから給水制限を開始するのでは

なく、余裕を持って早い時期から一〇〜二〇%程度の給水制限を開始することが得策であることが一般的にいえる。しかし、現実問題としては、将来の降雨量を的確に予測することすなわち渇水を予測することは非常に困難であるので、渇水が予想されるような場合のダム運用方式の確立とその運用の合意を得ることは重要な課題である。

最後に、仮にT市においてもD市と同様に自己水源としての地下水の揚水が可能であったとした場合に、どの程度の地下水があったならば平成二年度の渇水を乗り切っていたかについての検討を行う。図19に、平成二年度におけるダム運用の結果と、地下水の補給が可能であった場合のシミュレーションの結果を示している。ここでは、一日当たり一〇〇m³、三〇〇m³、五〇〇m³の地下水の揚水が可能であった場合についてそれぞれシミュレーションを行った。この図より、D市のOダムの半分程度のおよそ三〇〇m³/dayの地下水の補給が可能であったならば、MIダムの貯水量の急激な減少もなく、かなり利水安全度が高まっていたことが分かる。

5. むすび

最近では、大都市を含むいくつかの河川ではダムによる水資源開発が限界に近づきつつあり、ダム万能の時代は終わりつつある。その結果、既存の利水施設の有効かつ合理的な運用管理が重要な課題

以上のように、渇水時に各自治体ごとに独自の自己水源を持つことは十分に有効な対策であることが示された。しかし、現実問題としては、将来的に各自治体ごとに独自に水資源開発を進めることは非常に難しくなっている。

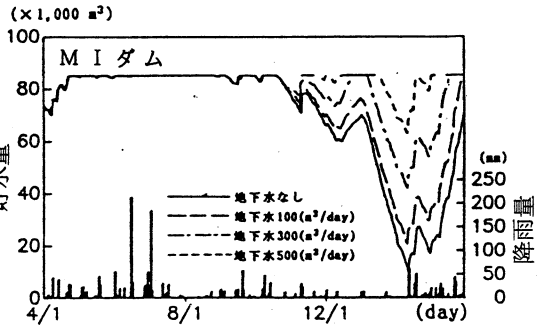


図-9 平成2年度におけるMIダムの運用

となってきた。

今後、我々は水資源問題解決のための基本方針の選択をしなければならぬと考えられる。すなわち、都市への人口流入を制限して水の需要量の増加を抑制し、水の賦存量に合わせて水需要の地方への分散化を図るのか、あるいは都市への人口集中を是とし、水の供給を増大する都市の水需要に即応させるのかの選択、言い替えれば、都市の発展方式として、従来のような人口増加→水資源開発→人口増加→水資源開発・・・の図式を採るのか、あるいは自分達の利水安全度を優先させるかの選択である。

さらに、今後重要になってくるのは、水資源問題を単にコスト面から評価するのみならず、最近クローズアップされている地球環境的視野に基づいたすなわち地球環境に優しい開発を目指すことが望まれよう。そのためにも福岡都市圏の各自治体ごとではなく、福岡都市圏全体として効率よく、その分省エネルギーで地球環境に優しい水問題の解決を図っていくことが必要であろう。

参考文献

1. 河村 明・日本の水、都市科学、Vol 一一、一九九二年三月。
2. 上田年比古・福岡市の昭和五三年大渇水後の水対策、京都大学防災研究所水資源研究センター研究報告第三号、一九八三年一月。
3. 甲斐忠義・福岡市節水都市づくり、都市科学、Vol 一一、一九九二年三月。
4. 岡山和生・ダムによる水資源開発と環境、都市科学、Vol 一一、一九九二年三月。
5. 神野健二・都市の成長と水、都市科学、Vol 一一、一九九二年三月。
6. 山内 彪・利水安全度指標について、水文・水資源学会誌、第三巻二号、一九九〇年。
7. 盛谷明弘・利水安全度指標の検討、第三回水資源に関するシンポジウム前刷集、一九八七年八月。
8. 渡辺・神野・河村・田尻・都市圏周辺の自治体の自己水源と利水安全度、第四回水資源に関するシンポジウム前刷集、一九九二年八月。

「渇水」は終わっていない

貯水率、この10年最低

雨だのみより節約意識

「渇水の危機は、今年も繰り返した。昨秋からの少雨間を過ぎ、現在、熊本県半日田市で観測された、山間の水はなくなり、県民は、ひたひた少雨に悩まされ、渇水の危機は、甚だしい。

ダム建設も

県水資源確保に、今年も渇水も低く、日本の治水ダム、寺尾ダムは、今年も渇水の貯水率は一層、回復し、昨年九割、六二・二割、回復は、六二・二割、まだ、三三・二割まで落ち、その七割、過去十年間の

「93.5.12 読売」

思想、意識、市民は持つていたが、自ら進んで来る生活の仕方のものが基本となる」と高明、継続して市民に求めたい

九地建が、対策本部解散

多分貯水率58%に回復

江川、寺内

九地建が、対策本部解散

多分貯水率58%に回復

江川、寺内