

異常渇水時データによる利水安全度の評価

Estimation of Safety Factor of Water Utilization during Water Shortage

山田 淳*

橋本将明**

市木敦之*

Kiyoshi YAMADA Masaaki HASHIMOTO Atsushi ICHIKI

ABSTRACT

1994 drought caused serious shortage of water, which had great influence on social activities as well as water supply. The objectives of this study are to estimate the influence of the shortage of water on the safety factor of water utilization using data of supplied water obtained during the drought period in 1994, and to clarify the relationship between the consciousness of water consumers about water utilization and water saving from results of questionnaire surveys. As a result, it was shown that the experiences of past drought were not reflected in 1994 drought, which caused long-term shortage of water. And it was proved that a new appropriate strategy against shortage of water had to be established immediately. In addition, it was cleared that a strategy for enlightenment was also necessary, because of the insufficient understanding for shortage water which was shown in the insignificant relationship between the consciousness of water consumers about water utilization and water saving. In the result, some available knowledge for the safety factor of water utilization against the shortage of water were obtained

KEYWORDS shortage of water water utilization safety factor water saving

1.はじめに

平成6年は西日本を中心に記録的な少雨により大規模な渇水が生じ、水供給に多大な影響を及ぼし、市民生活や経済社会活動は深刻な影響を受けた。今回の渇水は、少雨による水源水量の不足が大きな要因となっているが、その他に水源管理方法、利用者の水利用に対する意識と行動などが少なからず影響を及ぼしているのではないかと考えられる。そこで、本研究では、渇水の被害の大きかった福岡市と松山市における異常渇水時の水源管理と上水道の配水状況のデータを収集し、その状況把握と分析を行い、また、琵琶湖周域で水利用者の渇水時の水利用と意識を調査し、これらから、水源管理方法や利水意識が利水安全度に与える影響について評価し、また、利水安全度の向上策の検討を行うことを目的とする。

2.異常渇水時の水源管理

2.1 水源管理の事例1 (松山市)

(1) 渇水状況

松山市は年平均降水量はおよそ1300mmと少雨地域であり、また地形的に水に恵まれない地域であることもあり渇水の常襲地域である。水源としては、石手川ダムおよび重信川水系の地下水22井と伏流水で約半分づつを賄っており1日の最大給水能力は192,750m³である。

* 立命館大学理工学部

**立命館大学大学院理工学研究科

平成6年は4月から高温、5月頃から少雨傾向が始まり、6,7,8,9の各月降雨量は30年間の月平均降雨量と比べると異常に少なく、過去最低の降雨量であった昭和53年と比べても半分以上と極端な少雨であった。特に8月の降水量に至ってはわずか2mmであり、ダム貯水率も20%台から一桁台へと落ち込んでいる。しかし、少雨傾向は9月中旬頃から変化を見せ、9月末には台風26号の影響で48.5mmの雨が降り、9月末に貯水率低下は解消した。しかし、給水制限は6月初旬の減圧給水を皮切りに翌年5月まで続き、そのうち時間給水は7月26日から11月25日まで続けられ、最大19時間断水が行われるなど厳しい状況を強いられた（表－1）。

(2) 水源管理の状況

ダム取水の制限が行われた平成6年6月からダム貯水量が回復した平成7年5月までの取水量（ダム、地下水等別）とその比率を表－2に示す。平常はダムと地下水の取水量の比率は半々であるが、制限期間は地下水への依存度が高く最大時は11月9日～26日（18日間）で79.6%と平常時より30%近くも多いが、取水量から見ると合計の水量が多い制限開始直後（7月1日～19日）の方が多く10,000㎥以上である。取水の割合が平常に戻ったのは給水制限の解かれた平成7年5月以降である。また、石手川ダムの貯水率と地下水位の変動を図－1、ダム、地下水等別の取水量と給水時間の変動を図－2に示す。6月中旬は需要が多かったのに加え、ダムの貯水率が減少し始めていたため地下水への依存度は高くなっている。その後も降雨は少なくダムの貯水率はさらに減少したため、地下水への負担はさらに増えている。そのため平年では3mを下回ることはない地下水位が5m近くにまで下がった。しかし、ダムの取水量が徐々に増加し地下水への負担が少なくなるとともに水位は回復している。9月下旬と10月上旬の水位の差は2m近くもあるが、これは9月25～28日に面河ダムからの取水が行われ地下水への負担が少し軽くなったことに加え、台風による降雨がかなりあったため回復が早かったものである。

2.2 水源管理の事例2（福岡市）

(1) 渇水状況

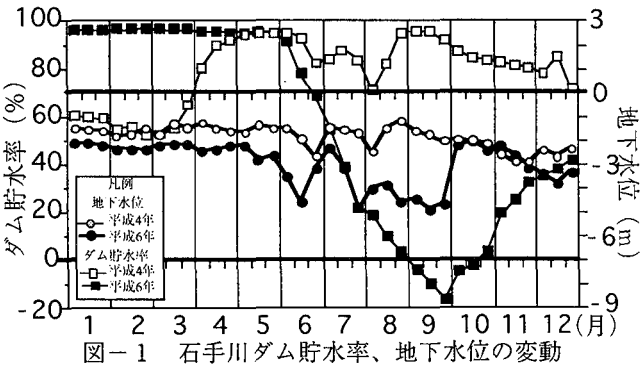
福岡市を含む九州北部地方は本来降雨量が少なく、また水源にも乏しいため松山市と同様に渇水の起こりやすい地域である。福岡市の水道水源は7つのダム、河川表流水、福岡導水から受水しそれぞれ1/3ずつの割合であ

表－1 給水制限状況（松山市）

期間	給水制限の状況	給水制限の内容
7.11～7.19	第1次水圧調整	2.0 kg/cm ² →1.5 kg/cm ²
7.20～7.25	第2次水圧調整	1.5 kg/cm ² →1.0 kg/cm ²
7.26	時間給水開始	22:00開始
7.27～7.28	16時間給水	6:00～22:00
7.29～7.31	12時間給水	9:00～21:00
8.1～8.21	8時間給水	13:00～21:00
8.22～10.21	5時間給水	16:00～21:00
10.22～11.8	8時間給水	14:00～22:00
11.9～11.26	12時間給水	11:00～23:00
11.27～2.28	水圧調整	1.8 kg/cm ² に減圧
3.1～5.2	水圧調整	1.8 kg/cm ² に減圧

表－2 水源別取水量と割合

期間	平均取水量（千㎥／日）			取水量の割合（％）		
	石手川 ダム	地下水等 ダム	面河 ダム	石手川 ダム	地下水等 ダム	面河 ダム
6.1～6.30	64.4	96.3	—	40.1	59.9	—
7.1～7.10	65.8	106.9	—	38.1	61.9	—
7.11～7.19	57.7	101.4	—	36.3	63.7	—
7.20～7.25	51.0	85.4	—	37.4	62.6	—
7.26	51.0	81.2	—	38.6	61.4	—
7.27～7.28	51.0	79.9	—	39.0	61.0	—
7.29～7.31	51.0	66.6	—	43.4	56.6	—
8.01～8.21	51.0	59.7	—	46.1	53.9	—
8.22～9.24	51.0	54.6	—	48.3	51.7	—
9.25～9.28	11.9	52.7	35.9	11.9	52.4	35.7
9.29～10.21	34.6	66.2	—	34.3	65.7	—
10.22～11.08	28.1	82.4	—	25.5	74.5	—
11.09～11.26	24.4	95.2	—	20.4	79.6	—
11.27～12.31	38.5	94.5	—	29.0	71.0	—
H7.1.1～1.31	38.6	89.1	—	30.3	69.7	—
2.1～2.28	41.3	92.8	—	30.8	69.2	—
3.1～3.31	42.1	91.5	—	31.5	68.5	—
4.1～5.2	40.0	94.3	—	29.8	70.2	—
5.3～5.31	63.1	75.5	—	45.5	54.5	—



り、施設能力は704,800m³/日である。

平成6年の福岡地方の年降水量は891mmと平年値の56%で、それまで最も少なかった昭和53年を下回った¹⁾。過去に大きな渇水を経験している福岡市ではダム開発、福岡導水など水源開発を中心としてハードとソフトの両面から渇水対策を行い給水能力のアップ、節水の励行を図ってきたが、今回の渇水はそれを上回る厳しさで、長期の給水制限をせざるを得なかった。給水制限は8月4日から年末年始の7日間を除き翌年6月まで行われ、最大12時間断水が約2ヶ月続き、制限日数295日は過去最高であった(表-3)。

(2) 水源管理の状況

福岡市の全ダム有効貯水量の変動を図-3に示す。7月から9月にかけての少雨により貯水量は大幅に減少し、8月4日の時間給水開始時には貯水率が50%を割り込みその後も大幅な水位の回復はなく3月3日に最低を記録し貯水量6528千m³、貯水率15.7%になった。その後、菜種梅雨の影響もあり貯水量は回復し、給水制限解除時には貯水率68%まで回復した。また筑後川に関しては、基準地点における最小流量は14.4m³/秒と少なく、平水流量は過去20年間で最少で、年総流量では昭和53年とほぼ同じであった²⁾。

これらの厳しい渇水下において、筑後川渇水調整連絡会にて筑後川の取水量の調整がなされ、生活用水確保のためのダム用水の緊急放流などが行われた。福岡市独自では、農業用水、工業用水を転用や、井戸水を利用するなど緊急措置が行われた。

3. 異常渇水時の水利用

3.1 時間給水と実際の需要の関係

松山市における給水制限期間を含む平成6年6月～平成7年5月の給水時間と給水量の変化を図-4に示す。給水量は7月初旬をピークに徐々に減少し、時間給水が始まる頃には12万m³/日を下回っている。その後も減少傾向は続き5時間給水時には10万m³/日を下回っている日がある。その後24時間給水(水圧調整)に戻った時の給水量は制限が加えられた前に比べて少なく、いずれの日も15万m³/日を下回っている。

福岡市における給水制限期間を含む平成6年6月から平成7年8月の給水時間と給水量の変化を図-5に示す。時間給水開始時に40万m³/日台であったが開始後は33万m³/日前後、年末年始の制限解除時は25万m³/日

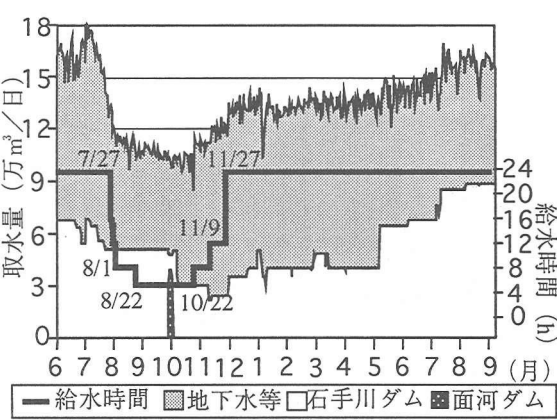


図-2 ダム、地下水等別取水量の割合

表-3 給水制限状況(福岡市)

期間	給水制限の状況	給水制限の内容
7.20～8.3	水圧調整	3.0 kg/cm ² に減圧
8.4～8.31	18時間給水	5:00～23:00
9.1～10.25	12時間給水	10:00～22:00
10.26～12.28	16時間給水	7:00～23:00
12.28～1.3	水圧調整	3.0 kg/cm ² に減圧
1.4～5.3	16時間給水	7:00～23:00
5.4～6.1	18時間給水	6:00～24:00

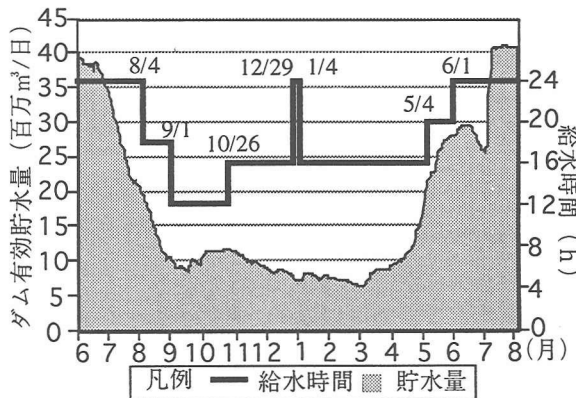


図-3 福岡市全ダムの有効貯水量と給水時間

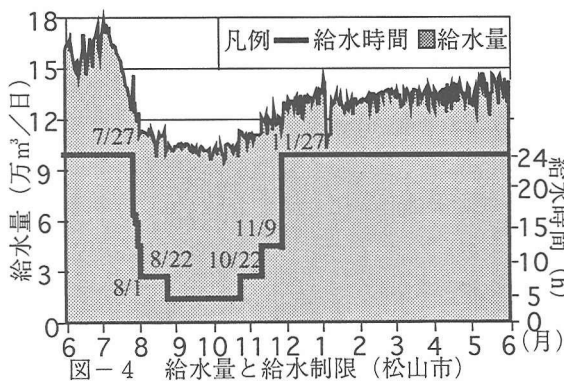


図-4 給水量と給水制限(松山市)

まで落ち込んだ。その後は時間給水が緩和するにつれて平常に戻っている。

3.2 節水意識と需要

水利用者の節水意識に関して平成6年に滋賀県草津市にて行ったアンケート調査と使用水量についての結果を図－6に示す。使用水量は対象家庭の平成6年の調定水量から1人1日当たりに計算したものである。

平成6年の渇水は、琵琶湖にも影響をあたえ、過去最大の水位低下がみられた。琵琶湖を水源とする草津市における節水意識は全体の74%が現在心がけており、また21%が今後心がけようと思っていることから、利水者の95%が節水を心がけようという姿勢がみられ高い値となっている。それでは、実際に節水意識と利水行動が一致しているかを検証すると、以前からずっと心がけている家庭では他に比べて20ℓ以上少なくなっており、またこれからも心がけようと思わない家庭は最も水を使用していることが分かる。しかし、全体には250ℓ前後で大きな差がみられず節水意識が実際の利用にあまり影響していないことがわかる。また、夏期の水利用にだけ着目すると、前年に比べて約15ℓ/人・日多くなっており、猛暑の影響が渇水への危機意識を上回っており、利便性、快適性が優先されたことを表している。

4. 利水安全度と水資源開発手段

4.1 利水安全度

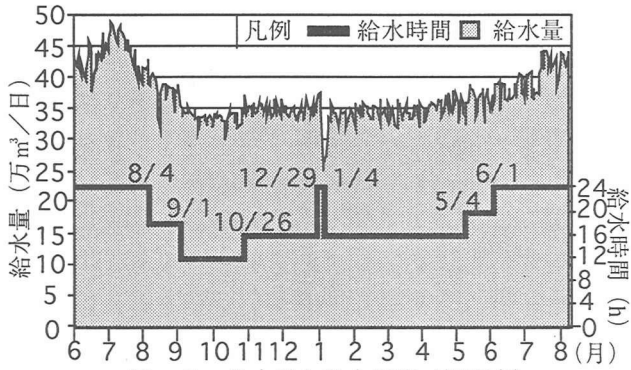
水資源を河川に大きく依存している今日において、天候によって規模の如何にかかわらず渇水が起きる可能性は否定できない。新たな水資源開発を含めた水資源管理体制の徹底などを行う必要があるが、そのためにも渇水の大きさ、規模などを把握しなければならない。その評価の方法として利水安全度があり、水不足が起きるとこれは低下すると定義されている。今回は一般的に渇水の規模を評価する指標（％・日：節水率×制限日数）を用いて、松山市と福岡市の事例についての利水安全度の評価を行った。

4.2 利水安全度の評価

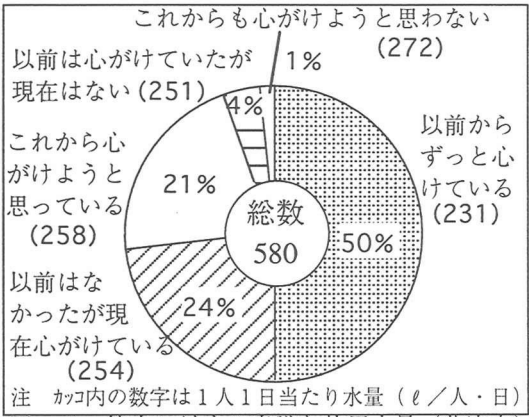
松山市、福岡市のそれぞれにおける渇水評価を表－5、表－6に示す。なお、節水率は松山市が平年の給水量から予測した各月の給水量と実際の給水量から、福岡市は平成6年実績値と実際の給水量から算出した。

松山市において、渇水の評価は合計で3926％・日であった。これは平成6年の他地域の状況と比較すると全国平均の3.6倍である。今回の制限時の最大節水率は35.8％（61日間）、平均節水率でも33.3％（118日間）と渇水期間全体を通して高い節水率であったことが分かる。また、節水率は給水時間が短いほど高いことが分かった。

福岡市では渇水の評価は合計8092％・日で他地域を遥かに超えているが、節水率は最大で30.4％（55



図－5 給水量と給水制限（福岡市）



図－6 節水に対する意識と使用水量（草津市）

表－5 渇水評価（松山市）

制限期間	日数 (日)	給水量 (万m³/日)		節水率 (%)	渇水 評価 (％・日)
		給水量	実績		
7/26	1	17.0	14.7	13.7	13.7
7/27～7/28	2	17.0	12.7	25.1	50.2
7/29～7/31	3	17.0	12.1	28.8	86.3
8/1～8/21	21	16.5	11.0	33.0	692.2
8/22～10/21	61	16.0	10.2	35.8	2184.4
10/22～11/8	18	15.4	11.1	28.1	506.4
11/9～11/26	18	15.2	11.9	21.8	392.5
合計(7/26～11/26)					3595.7

日間）とやや高かったが、平均節水率で27.4%（295日間）と松山市に比べて低い値となった。しかし、制限日数の長さが2倍以上であったことが8000%・日を超える要因となった。

今回の渇水はその期間が長く、渇水評価の値が非常に大きくなったが、これらの値が大きくなるほど利水安全度は低下する。このような危機的な現象が長期間続くということは非常に問題であり、これらの値を低下させる手段を考える必要がある。

4.3 利水安全度の向上策

利水安全度を上げるための手段として、大きく分けて新たな水源開発による供給水量の増加と利用者側の需要抑制による水使用の合理化の2つが挙げられる。

(1) 新たな水源開発

供給水量を増加させる水源開発手段を水源の存在形態別に表－7に主要水系の河川利用率とダム開発率を表－8に示す。河川利用率が高い利根川、淀川では今後水源開発は行いにくく、一方、筑後川は26%と低い値であり維持流量の調整等によっては、開発可能性が高い。

ダム開発については、ダム開発率をみると、利根川で8.6%と高い値を示しているのに対し、淀川では琵琶湖を含まないので2.5%と低くなっている。水道分のダム容量比は、利根川、淀川では10%を超えているが、筑後川では6.5%と低い。筑後川水系では河川利用率、ダム開発率を上昇させる水源開発が必要であり、その可能性も高い。

また、その他貯留施設としては、ため池、原水調整池があり、河川流量に左右されないといった長所はあるが、その規模は限られる。これらは、いずれも開発費用と時期が問題となり、計画段階での吟味が必要である。

次に利水転用であるが、既存の水利権における余剰水量分を転用するもので、転用元として農業用水、工業用水、発電用水がある。これは今回の渇水時において緊急措置として行われ、効果的な対処策と考えられる。地下水開発には、取水量に限界があり、水質や地盤沈下の影響等の問題が生じ、表流水源より安定しているかどうかの検討が必要である。

その他としての下水再利用と海水淡水化については、直接降水量に依存しない水源として検討の価値がある。下水再利用は下水処理水を河川に戻して、流量を増加させその増加分を水源として利用する方法で、事例が少ないが実施されている。また、海水淡水化についても、近年の膜処理技術の向上により現実の可能性が高くなっている。いずれも現在コスト面での課題であるが、地域、自然の条件によっては採択される状況になってきている。

(2) 利用者による需要抑制

水道利用者が自主的に節水を行うことにより生み出される水量を合わせることで、かなりの水量が節約され水源に残る。これは新たな水源としてみなすことができ、実際福岡市において、普段から

表－6 渇水評価（福岡市）

制限期間	日数 (日)	給水量 (万m ³ /日)		節水率 (%)	渇水 評価 (%・日)
		給水量	実績		
8/4～8/31	28	48.1	37.7	21.6	606.1
9/1～10/25	55	48.1	33.5	30.4	1673.6
10/26～12/28	64	48.1	34.7	27.8	1778.9
1/4～5/3	120	48.1	34.6	28.0	3363.1
5/4～5/31	28	48.1	36.6	23.9	670.2
合計(8/4～H7/5/31、但し12/29～1/3を除く)					

表－7 新たな水源開発手段

河川表流水 の開発	ダム開発 導水施設(渇水対策ダム)
	原水調整池、ため池の利用
	水利転用
地下水の利用	地下水開発
その他	雑用水利用
	海水淡水化

表－8 主要水系における河川利用率とダム開発率

水系名	河川 利用率 (%)	ダム開発容量 (10 ⁶ m ³)		ダム開発率 (%)		
		総容量	水道分	総容量	水道分	割合
利根川	90.5	1208	158	8.60	1.13	13.10
淀川	81.9	244	48	2.53	0.50	19.87
筑後川	26.3	294	19	6.48	0.42	6.50

河川利用率は開発水量を流域内年平均流出量で除したもののダム開発率はダム開発容量を全流域平均流出量で除したものの割合はダム総容量に占める上水道容量のこと

節水が行われ今回の渇水時には295日間で2400万㎡の節約を行ったとされている。³⁾また、松山市においても、給水制限解除後の給水量は渇水以前の14%減となっており、長期の時間給水によって利用者に節水意識が備わったと考えられる。このように、ハード面での水源開発だけでなくソフト面での節水による水源確保は今後事業体を主体に行っていく必要はあると思われる。

5.まとめ

平成6年渇水について、主に2都市を中心に状況の把握・分析を行ったが、過去の渇水での経験を生かした渇水対策が講じられていたにも関わらず、これだけ長期の給水制限を強いられたということは、この度の渇水は異常であったことは否定できない。しかし、それだけでなく今までの水源開発が十分でなかったとも言える。そのようなことから、利水安全度に関しては、今までの状態では安全とは言えず、安全度向上には、先に述べた事柄について、今後、費用、運営課題などを考慮検討して実行していく必要がある。

なお、本研究について、渇水時データを提供していただきました、松山市公営企業局及び福岡地区水道企業団の関係各位に対し御協力を得たことを記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 細田三郎：取水制限と制限給水，水道協会雑誌，Vol.65，No.4，PP.2～17（1996.4）
- 2) 福岡県：平成大渇水の記録，PP.27～31（1995.9）
- 3) 藤田賢二ら：渇水，水道協会雑誌，Vol.64，No.8，PP.2～25（1995.8）
- 4) 国土庁：平成7年度版日本の水資源（1995.8）