

速報

北四国の水事情と
1994年夏季の松山渇水について

鈴木幸一*・渡辺政広*・栗原 崇*

1. はじめに

今夏(1994年)の異常少雨に伴い、松山市では、7月26日から実施された水道水の給水制限が、81日目の現在(10月15日)もなお続いている。

四国・愛媛県の西部中央に位置する松山市は、道後平野を東から西へと貫流する一級河川・重信川の中・下流部の扇状地に開けた人口約46万人の地方中核都市で、道後温泉、小説「坊っちゃん」、俳句の町などでその名を広く全国に知られている。

松山地方は、西は伊予灘に面し、北・東・南の三方を急峻な山々に囲まれた、年間降水量約1,300mm(松山地方気象台)の瀬戸内気候区に属する温暖な地域である。しかし、本年(平成6年)の6月から始まった異常少雨は10月の現時点においてもなお継続しており、5~9月のかんがい期総雨量は253.5mmで、平年の779.2mmの1/3にも満たない状況である。

このため、松山市上水道の給水制限は7月11日の減圧による節水から始まり、7月29日からの12時間給水を経て、8月22日からは5時間給水となり、現在に至っている。この間、農業、工業、市民生活の各方面で渇水被害が発生しており、農業被害は柑橘類を中心に約69億円にのぼり、多くの

工場では生産縮小や操業停止を余儀なくされている。また、松山市民の日常生活や商業活動にもさまざまな影響が及んできている。

ここでは、四国の水事情について概説するとともに、今夏の松山市の渇水状況を速報する。なお、使用した資料は各機関の担当者への聞き取り調査結果あるいは提供していただいたものである。

2. 四国の水事情

2.1 地形の概要と主要河川

四国地方の地形の概要と主要河川の位置を図1に示す。四国の中央部には、西日本最高峰の石鎚

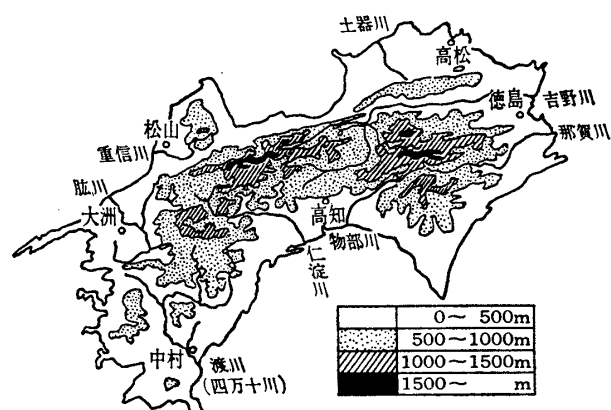


図1 四国地方の地形の概要と主要河川

* 愛媛大学工学部土木海洋工学科
Department of Civil and Ocean Engineering, Ehime University

山(1,982m)を始めとする1,000m級の山々が連なる四国山地が東西に走り、これにより四国は大きく北四国、南四国および東四国に分けられている。

南四国の一級河川には太平洋に注ぐ仁淀川、物部川および四万十川(渡川)が、北四国には瀬戸内海に注ぐ肱川、重信川および土器川が、東四国には紀伊水道に注ぐ吉野川、那賀川がある。

上の3地域の中でも、特に、肱川流域を除く北四国地域、すなわち、松山地区から高松地区にいたる北四国地域は、海岸線から狭い平野部を経ると直ぐに急峻な山々が迫っており、奥深い山地と比較的広い平野部とを抱えている南四国および東四国の地域と比べると、地形的に水源に恵まれない地域である。

2.2 降水量分布

四国地方の年平均降水量分布を図2に示す。これより、北四国は寡雨地帯、東四国は多雨地帯、南四国は豪雨地帯であることが分かる。

まず、南四国についてみると、本地域は、太平洋岸気候区に属し、日本でも有数の豪雨地域で、年降水量は平野部において2,000~3,000mmに、四国山地中央の山岳部では2,500~3,500mmにも及び、山地斜面が太平洋に面した南東部では平野部でも2,500~3,500mmに、山地部で3,500~4,500mmにまでのぼっている。また、東四国地域は、その河川流域の上流が四国山地中央部の豪雨地帯にあたり、水源には恵まれた地域である。

一方、北四国地域について見ると、西南部に位置する肱川流域の年降水量は1,500~2,500mmと

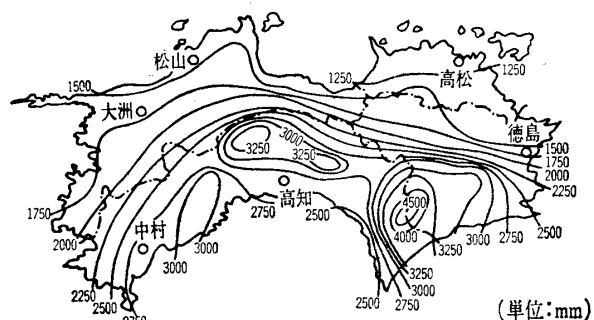


図2 四国地方の年平均降水量分布

比較的豊富であるが、瀬戸内気候区に属し、松山地区から高松地区にいたる北四国地域では1,000~1,500mmとかなり少ない。

このように、松山地区から高松地区にいたる北四国地域は、地形的にも、また実際の降水量分布を見ても、水源に恵まれていない地域であることが分かる。

2.3 河川流出水量とその利用状況

上述した各一級河川における河川流出水の利用状況を図3に示す。吉野川は、「四国のいのち」として四国四県に多くの恵みを与えており、その年総流出量、利用量、利用率のいずれもが8河川の中で最大である。すなわち、近年における吉野川総合開発による早明浦ダム、池田ダム、新宮ダムなどの建設と、これらダムよりの愛媛、香川用水などへの分水により、吉野川の年総流出量の利用率はこれまでの約30%から54.5%へと2倍近くも増大した。

一方、北四国地域の重信川と土器川では、年総流出量が東四国および南四国の5河川に比べて極めて少ない上に、その利用率は既に高率に達しているため、今後の新たな水資源開発はかなり厳しい状況にある。しかし、北四国でも肱川流域を見ると、年総流出量は吉野川の1/4~1/3と必ずしも豊富とは言えないものの、利用率は未だ17.6%とかなり低いレベルに止まっており、今後の水資源開発には未だ余地が残されていると言えよう。また、南四国の仁淀川、四万十川の流出量は吉野

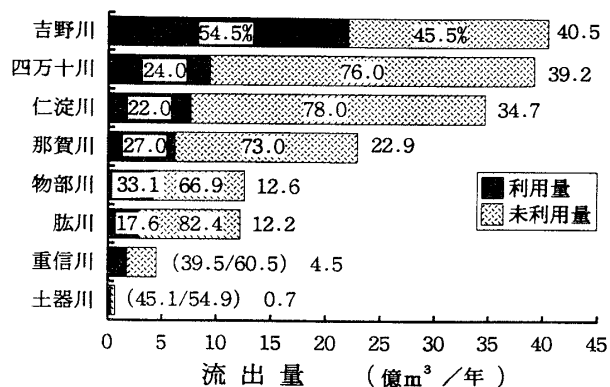


図3 四国における河川流出水量とその利用状況

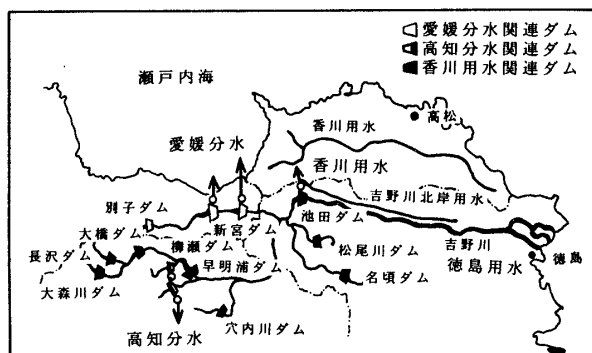


図4 吉野川総合開発と分水

川に匹敵するほど大きく、利用率も20%台で水資源は豊富である。

2.4 吉野川総合開発と早明浦ダム

吉野川の上・中流部には、図4に示すように、早明浦ダムを始めとする多くのダムが建設され、新規に開発された各種用水が、これらダムより、愛媛・香川・高知・徳島の四国四県へ分水されている。

第二次世界大戦終了後の工業化の進展につれて水不足が深刻化していた愛媛県東部の伊予三島市と川之江市へは、支川・銅山川の柳瀬ダムおよび新宮ダムで新規に開発された年間約1.7億トンの主として工業用水が愛媛分水により、また、県下全域で古来より幾度となく大干ばつに見舞われてきた香川県へは、早明浦ダムと池田ダムで開発された年間約2.5億トンの農業・水道・工業用水が香川用水により送水されている。徳島県へは、早明浦ダムと池田ダムで開発された年間約4.1億トンの工業・農業・水道用水が主として吉野川本川から取水されており、高知県には約0.4億トンの水道・工業用水が高知分水により送られている。

こうした吉野川総合開発の根幹を形成しているのが、西日本で最大級の貯水容量を誇る早明浦ダム（有効貯水容量約2.9億 m^3 ）で、「四国の水瓶」と呼ばれている所以である。周知のように、高松市の水道水はこの早明浦ダムの下流にある池田ダムからの香川用水に大きく依存している。

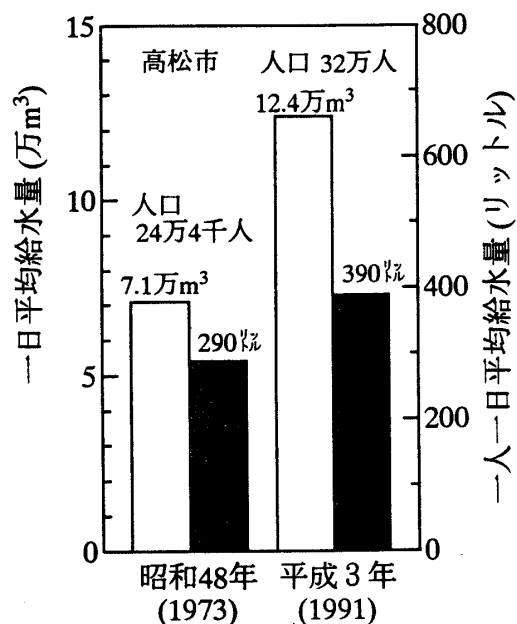


図5 高松市における上水給水量の変化

2.5 高松市の渇水

香川県は、年間降水量が約1,200mm（図2）と全国平均の60%程度にしか過ぎず、大きな河川もないため、古くから水不足は深刻な問題であった。

高松市では、昭和48年、「高松砂漠」と呼ばれた異常渇水が発生、7月13日～9月8日の58日間にわたり上水道の給水制限が実施された。その後、昭和50年の香川用水（図4）の完成により、水不足問題は解決するかに思われたが、近年、水不足状態が再び顕在化し始め、今夏も、異常少雨に伴う給水制限が実施された。ここでは、今夏の高松市での渇水の概要を述べる。

(1) 近年の上水事情

高松市における昭和48年（1973年）と平成3年（1991年）の人口、一人一日平均給水量および一日平均給水量を比較して図5に示す。

これより、昭和48年から平成3年までの18年間で、人口増加（1.3倍）と下水道の普及や生活様式の変化に伴う一人当たり水使用量の増加（1.3倍）により、上水の一日平均給水量が約1.8倍にも激増しており、水事情が悪化してきていることが読み取れる。

(2) 渇水の概況

1) 早明浦ダム貯水率の推移

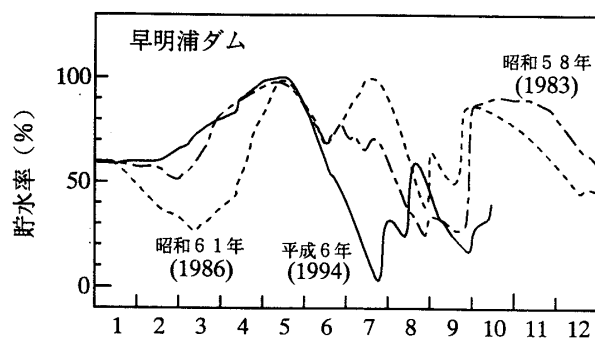


図6 早明浦ダムの貯水率の推移 (月)

高松市の上水が依存している早明浦ダムの本年1月から10月中旬までの貯水率の変化を、既往の他の渇水年のものと対比して、図6に示す。6月～7月中旬の異常少雨により、ダムの貯水率はこれまで経験したことのないゼロ近くまで低下し続けたが、台風7号による雨でやや回復、その後も、低気圧および26号台風による雨で貯水率は徐々に回復する傾向にあり、1ヵ月程度の遅れはあるものの、例年通りの貯水率に戻ろうとしている。

これより、本年の6、7月の少雨は、これまでない非常に厳しいものであったことがよく分かる。

2) 給水量と給水時間の推移

本年6～9月の一給水量および給水時間の推移を図7に示す。これを図6のダム貯水率の変化図と対比すると、貯水率が既往最低を下回った7月中旬の19時間断水（5時間給水）を最低ラインとして、貯水率の増減に応じて、減圧、7・15・19時間断水（17・9・5時間給水）の給水制限が強化・緩和されている。

図7をもとに、給水時間と一日給水量との関係を調べると、図8のようになる。これは、給水時間を短縮することにより節水率がどのように上がってくるかを表している図としても見ることができ、上水道の給水時間を9時間以下に短くしても、節水率は40%以上には上がらないことを示している。

3. 松山市の渇水概況

3.1 松山市の近年の上水事情

(1) 上水道の水源

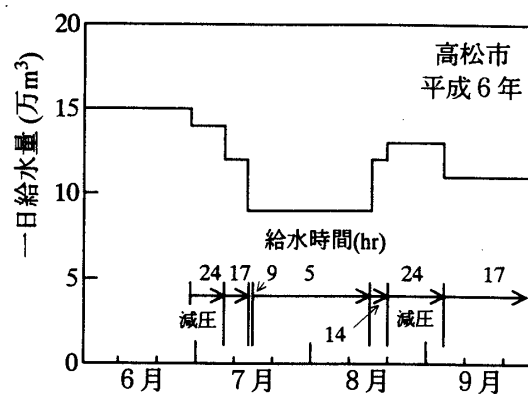


図7 高松市における一日給水量と給水時間の推移 (平成6年)

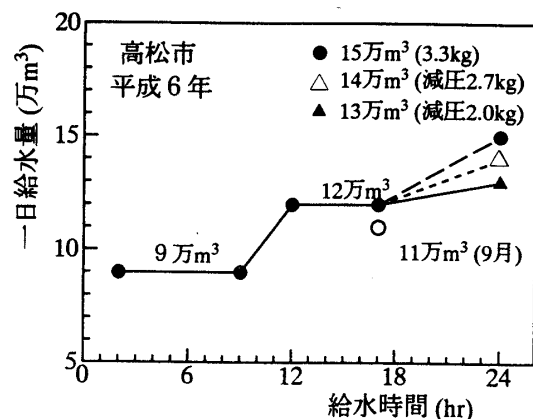


図8 高松市における一日給水量と給水時間の関係 (平成6年)

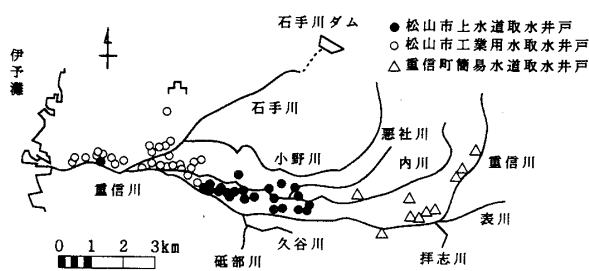


図9 松山市の取水井戸群と石手川ダム

松山市上水道の水源は、図9に示すように、重信川の中・下流部に設置された総計25本の上水道用取水井戸からの地下水と、支川・石手川の上流部の石手川ダムにおける貯留水で、これらの利用割合は現在ほぼ1:1である。

なお、上水道取水井戸の直径は約4m、深さは約10mで、地下水は不圧地下水（自由地下水）であり、地下水位が地表面下約5mまで低下すると

井戸取水は困難になると言われている。また、石手川ダムは堤高87mの重力式コンクリートダムで、その有効貯留水量は約1千万トン、上水供給能力(公称)は約9.7万トン/日である。

(2) 水源開発の状況

昭和48年に石手川ダムが完成した後、ダム建設による新規の水源開発は行われていない。一方、重信川の中・下流部における地下水源の開発は、図10に示すように、昭和36年より継続されているが、昭和58年以降は今日まで、まとまった開発は行われていない。

(3) 上水の需給状況

福岡渇水が発生した昭和53年、松山市の上水道においても、時間断水を実施するまでには至って

いないが、既往最大規模の渇水が発生した。

松山市上水道の現在(平成6年)の日最大供給能力と日最大需要量を、昭和53年のそれらと対比して、図11に示す。昭和53年当時、日最大供給能力は約15万トン、その内の約2/3の10万トンはダム貯留水、約1/3の5万トンは地下水で賄われていた。その後、需要水量の増大に伴って地下水源の開発が行われ、現在、日最大供給能力は約19万トンに達しており、地下水とダム貯留水がほぼ1:1の割合で供給されている。

しかし、図からも明らかなように、現在の需給量は逼迫しており、松山市上水道の水事情は昭和53年当時に比べるとかなり悪化してきていることが分かる。

3.2 今夏の松山渇水の概況

(1) 降雨状況

本年1月～9月の月別降雨量(松山地方气象台)を、100年間の月平均降雨量および渇水年の昭和53年の月別降雨量と対比して、図12に示す。また、かんがい期雨量(5月～9月)を確率評価した結果を、表1および表2に示す。ここに、月平均降雨量には松山地方气象台の明治23年～平成元年までの100年間の月降雨量データを用いた。また、確率計算には、同じ100年間の日降雨量データを用い、それらが対数正規分布に従うとして岩井法を採用した。

平成6年の異常少雨は5月から始まり、6、7、8、9月の各月降雨量は、100年間の月平均降雨量と比べるとおよそ1/2、1/8、1/50、1/3と異常

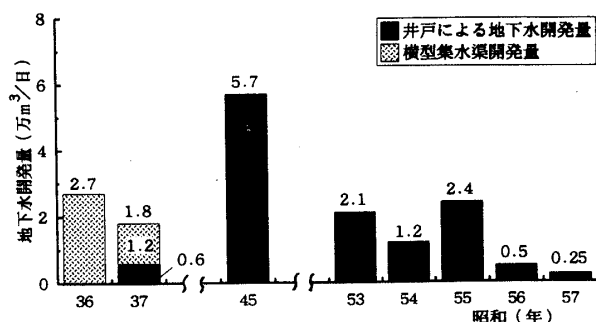
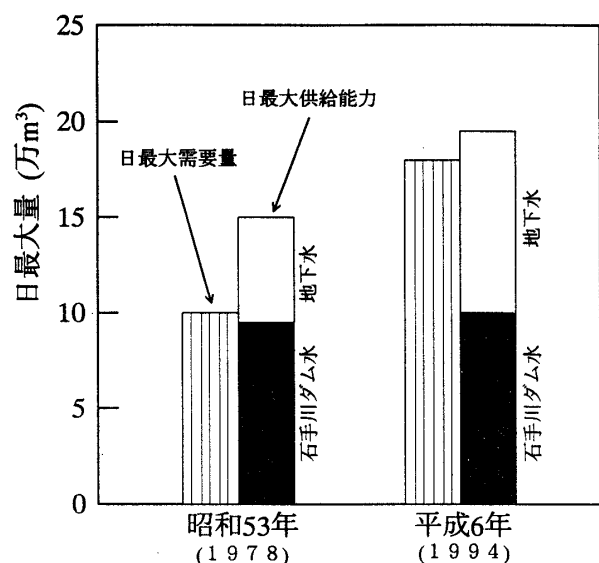


図10 松山市における地下水源の開発



松山市上水の日最大需要量と日最大供給能力

図11 松山市上水道の近年における需給バランス

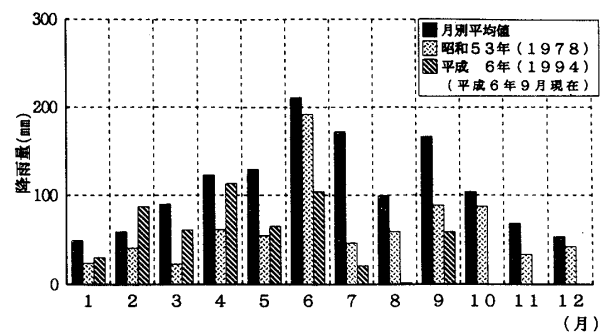


図12 月別降雨量の比較

表1 松山地方気象台における上位10位の各種雨量

順位	年 総 雨 量			月最小雨量			かんがい期雨量			かんがい期月最小雨量		
	年	雨 量 (mm)	確率年	年	雨 量 (mm)	確率年	年	雨 量 (mm)	確率年	年	雨 量 (mm)	確率年
1	S53	759.5	333	S 9	2.2	167	S14	278.2	異常値	S 9	2.2	250
2	S14	792.9	167	S20	2.9	125	S42	397.0	91	S42	5.1	111
3	M27	874.5	50	S14	3.3	100	S 5	406.5	71	M23	8.5	50
4	M24	928.1	26	S42	5.1	45	S53	443.5	36	M36	12.4	25
5	S 5	991.7	13	S15	6.0	32	S 8	446.2	33	M27	12.6	24
6	S22	995.6	13	T 7	8.2	16	M27	447.9	32	T11	14.2	19
7	S 9	1021.9	10	M23	8.5	15	S 9	505.7	13	S44	16.5	14
8	S43	1033.5	9	S10	8.7	15	S36	516.0	12	S49	18.0	12
9	T13	1040.6	8	M35	8.8	14	S33	526.6	10	S15	18.3	12
10	M37	1066.2	7	S35	10.8	9	T 6	527.4	10	M45	18.5	11
	H 6	547+ α	-	H 6	2.0	(200)	H 6	253.5	異常値	H 6	2.0	(500)
	S53	759.5	333	S53	23.3	2	S53	443.5	35	S53	47.0	8

表2 各種の確率雨量（松山地方気象台）

非超過 確率年	年総雨量 (mm)	年月最小 雨 量 (mm)	かんがい期 雨 量 (mm)	かんがい期 月最小雨量 (mm)
1/2	1311.1	23.7	756.8	51.9
1/3	1206.1	18.5	671.8	38.6
1/5	1113.0	14.2	599.1	28.5
1/10	1020.5	10.3	529.4	19.8
1/20	949.2	7.6	477.7	13.9
1/50	874.3	4.9	425.1	8.5
1/100	827.2	3.3	392.9	5.5

に少なく、さらに昭和53年の月降雨量と比べてもおよそ1/2, 1/2, 1/30, 1/2とかなりの少雨であることが分かる。

かんがい期雨量253.5mmは、いわゆる異常値として処理されるべき値であると考えられるが、一応、その確率年を求めたところ数100年に相当する。

(2) 渇水対策の経過

渇水の経緯と渇水対策の経過の概要を、松山市上水道に対して採られた渇水対策を中心として、表3に示す。

なお、表中に記入されていないその他の2, 3のトピックスを以下に列挙する。

- ①上水道用水として転用・取水された面河ダムの水は45%カット分の工業用水で、9/25～9/29の間の総取水量は約14万トンである。
- ②市内43ヶ所に設置された給水所には、7/26～8

／31の間、約3,800人が訪れ、バケツ換算で約9,800杯分の給水が行われた。

- ③9月1日現在、断水の影響を受けている県内の家庭は24万世帯、62万8千人（県内人口の4割強）に上っている（県渇水対策本部調べ）。

(3) 地下水位およびダム貯水率の推移

本年7月～10月上旬の松山地方気象台における日雨量記録および重信川中流の地下水観測井での水位記録を図13に、石手川ダム貯水率の推移を図14に示す。

地下水位の図13を見ると、6月～7月下旬の少雨で水位は地表面下5mにまで低下し、取水が困難となる深刻な事態に陥りかけていたが、7月25日の台風7号による雨で水位は1.5mほど回復した。しかし、その後の少雨で9月中旬には再び地下水位は地表面下5mにまで低下したが、9月29日の台風26号による雨でおよそ3m程度回復し、10月10日現在、水位はほぼ平常時の値にまで回復してきている。

一方、ダム貯水率の推移をみると、6月、7月の異常少雨で貯水率は昭和53年に記録した既往最低をさらに下回り、8月26日には遂に貯水率がゼロとなった。直ちに、底水（デッド・ウォーター）の利用が始まったが、底水の貯水率もさらに低下を続けた。9月下旬の台風26号による雨で、ようやく貯水率は増加の方向に転じ、現在、貯水率ゼロの状態にまで回復しようとしているが、依然、既

表3 渇水の経緯と渇水対策の経過

月/日	松山市上水道の渇水対策の経過	上水道取水制限・工業用水給水制限の経過とその他の特記事項
6月25日		・上水道取水20%カット
7月 1日	・10%自主節水の呼び掛け (7/1~7/10の10日間)	
7月 5日		・上水道取水25%カット
7月11日	・第一次水压調整 (減圧) (7/11~7/19の9日間) ($2.0 \text{ kg/c m}^2 \rightarrow 1.5 \text{ kg/c m}^2$)	
7月13日		・上水道取水35%カット
7月14日		・松山市渇水対策本部設置
7月15日		・工業用水道一次制限開始 (26%節水)
7月18日		・愛媛県渇水対策本部設置
7月19日		・上水道取水40%カット (7/19~現在継続中) ・工業用水道二次制限開始 (39%節水)
7月20日	・第二次水压調整 (減圧強化) (7/20~7/25の6日間) ($1.5 \text{ kg/c m}^2 \rightarrow 1.0 \text{ kg/c m}^2$)	
7月25日		・工業用水道三次制限開始 (55%カット) ・台風7号四国に上陸 (~7/27 0:00 松山地方気象台雨量 17mm)
7月26日	・時間断水開始 (7/26 22:00 開始)	
7月27日	・16時間給水 (8時間断水) (給水時間帯 6:00~22:00) (7/27~7/28の2日間)	
7月29日	・12時間給水 (12時間断水) 開始 (給水時間帯 9:00~21:00) (7/29~7/31の3日間)	・給水所設置 (市内43ヶ所)
7月30日		・工業用水道四次制限開始 (60%カット)
8月 1日	・8時間給水 (16時間断水) 開始 (給水時間帯 13:00~21:00) (8/1~8/21の21日間)	
8月 2日		・四条市からの水受入開始 (日量69 m^3) (8/2~ 現在継続中)
8月11日		・小澤国土庁長官渇水状況視察
8月22日	・5時間給水 (19時間断水) 開始 (給水時間帯 16:00~21:00) (8/22~ 現在継続中)	・工業用水道五次制限開始 (70%カット)
8月26日		・石手川ダム有効貯水量がゼロに ・石手川ダムの底水利用開始
9月 1日		・工業用水道六次制限開始 (90%カット)
9月25日		・面河ダムからの上水道取水開始 (9/25 9:00~9/29 9:00)
9月29日		・台風26号四国沖通過 (~9/30 8:00 石手川ダム流域雨量 101mm)

注) 工業用水道の給水制限は、「工業用水協議会」の決定による。
上水道取水の制限は、「石手川渇水調整協議会」の決定による。

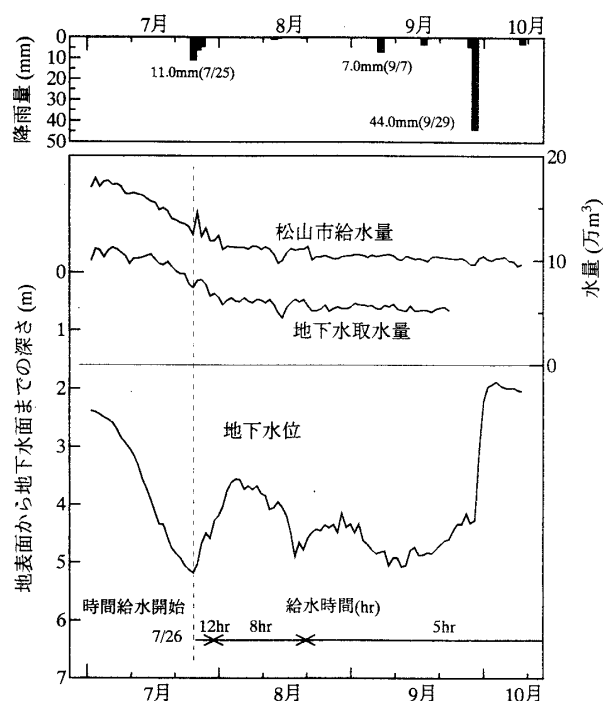


図13 松山市における地下水位、給水量、地下水取水量の推移 (平成6年)

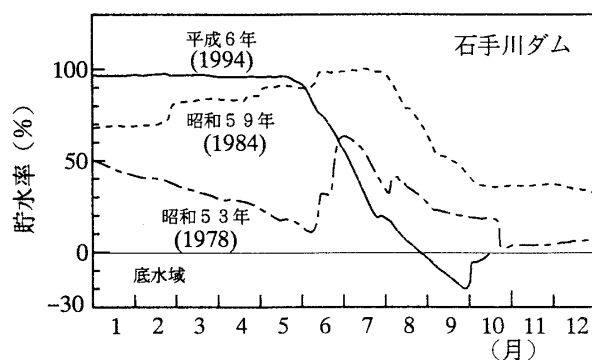


図14 石手川ダム貯水率の変化

往最低 (昭和53年) の貯水率を大きく下回る状態にある。

このように、現在のところ、地下水位はほぼ平常時に近く回復しているものの、石手川ダムの貯留水量はゼロの状態にあり、19時間断水 (5時間給水) が解除される見通しは立っていない。

(4) 節水率と一日給水時間

一日給水量と給水時間の推移を図13に示している。これより、給水時間と節水率との関係を計算しプロットすると、図15のようになる。ここに、節水率の計算には、7月2日の日最大給水量の約18万トンを基準値としている。

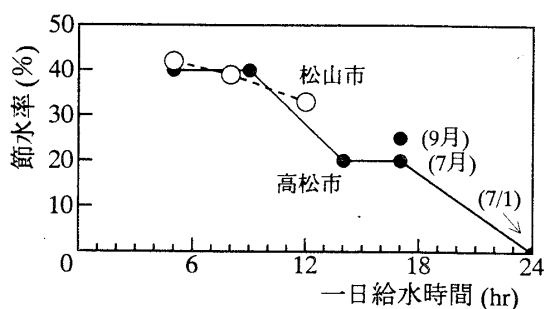


図15 一日給水時間と節水率の関係 (平成6年)

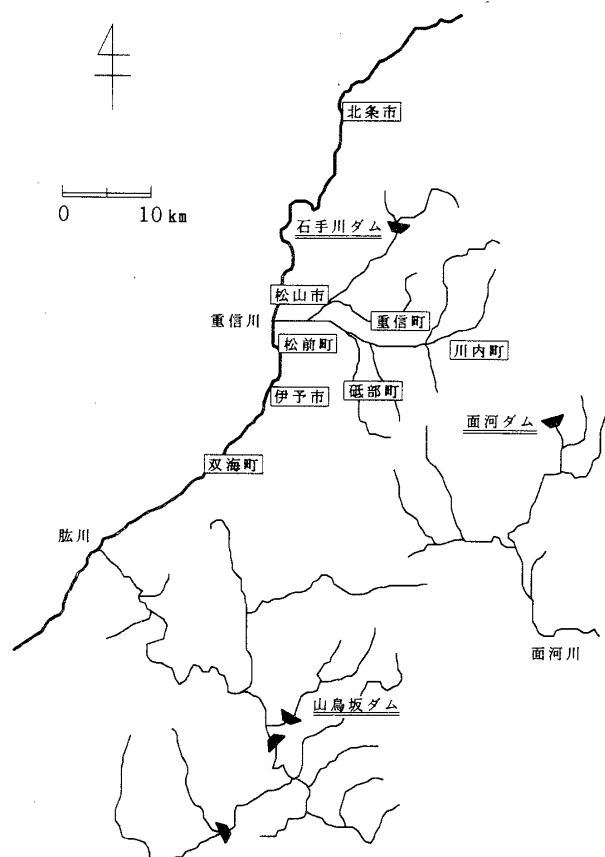


図16 3市5町と石手川・山鳥坂・面河の各ダム

これより、高松市の場合とほぼ同様に、給水時間は9時間を限度として、これより短縮しても節水率は40数%程度以上には上がってゆかないことが分かる。

なお、この節水率は、一般家庭と事業所では異なり、一般家庭の節水率は30～35%程度、事業所のそれは50～60%で、これらを平均すると先の節水率が40数%となる。

(5) 山鳥坂ダムと今夏の渇水

建設省では、松山市を始めとする中予地区の3

市5町における水不足問題を解決することを目的の一つとして、図16に示すように、一級河川肱川の支川・河辺川に山鳥坂ダムを建設し、新規に開発された水をそれらの市町に導水する計画を進めている。

ここで、本年9月1日現在、仮りに山鳥坂ダムが完成しており、ダム下流のある地点から予定通りの上水および工業用水の供給（導水）が行われているとする。このもとで、山鳥坂ダムからの各市町への計画補給量と各市町における9月1日の実際の給水量を加えた供給水量を、平成6年の各市町における給水制限が行われていなかった7月1日の日最大給水量（＝日最大需要水量）と対比して、図17および図18に示す。

これより、工業用水については、仮りに本年までに山鳥坂ダムが建設されているとしても、今夏

の渇水を免れることはできなかったと推測されるが、上水については、山鳥坂ダムが建設されていれば、砥部町で若干不足するものの、松山市を含む他のすべての市町で今夏の渇水を免れることができたであろうと推測される。なお、建設省山鳥坂ダム工事事務所が肱川流域の降雨状況からシミュレートした結果、山鳥坂ダムから中予地区への計画補給量は十分確保されていることが示されている。

3.3 松山市における今後の渇水対策

(1) 需給バランスの将来予測

松山市における平成4年から平成35年を対象として、日最大需要水量の予測結果と、平成17年には山鳥坂ダムの下流から予定通りの水が導水されるとききの水源供給能力の予測結果を、上水供給人口の将来予測結果と対比して、図19に示す。

これより、平成17年に山鳥坂ダムからの導水が始まっても、その後の平成22年を過ぎる頃から、需要水量が供給水量を上回り始め、これ以降、需要水量と供給水量との差は次第に拡大してゆくと予測されている。ただし、松山市の地下水と石手

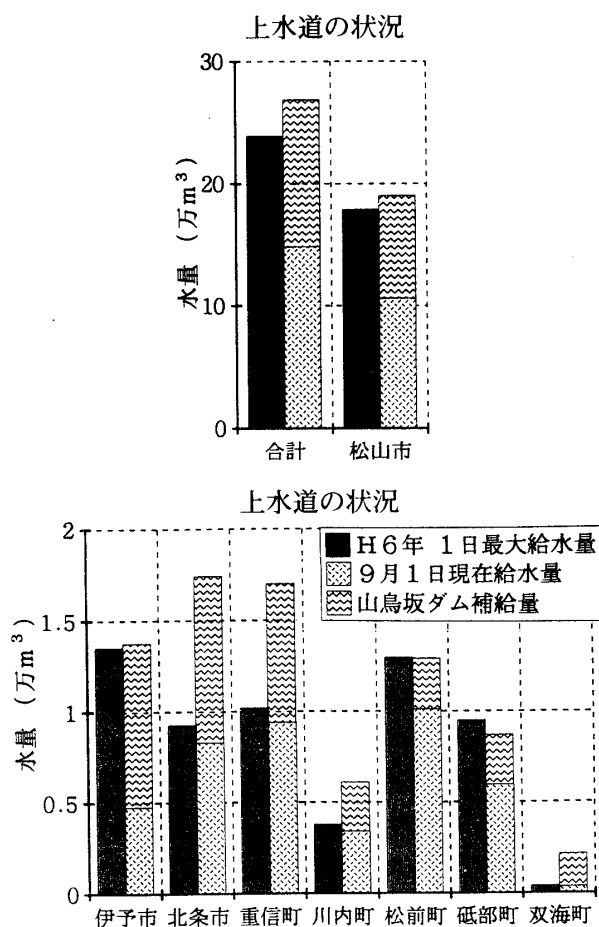


図17 山鳥坂ダムの建設と上水の需給バランス (平成6年)

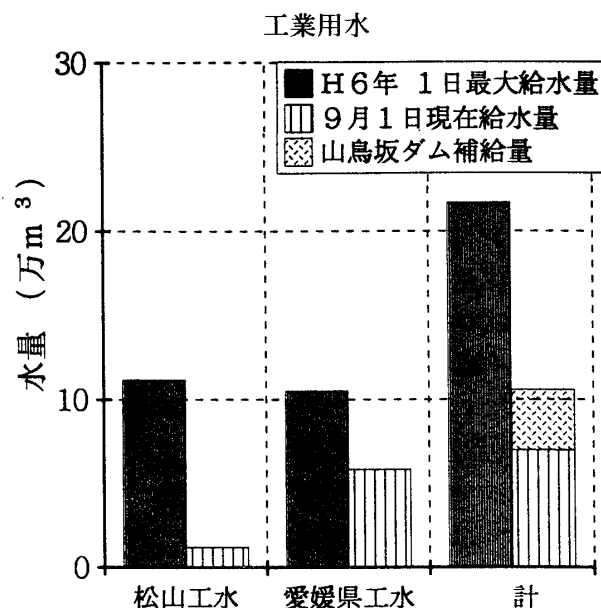


図18 山鳥坂ダムの建設と工業用水の需給バランス (平成6年)

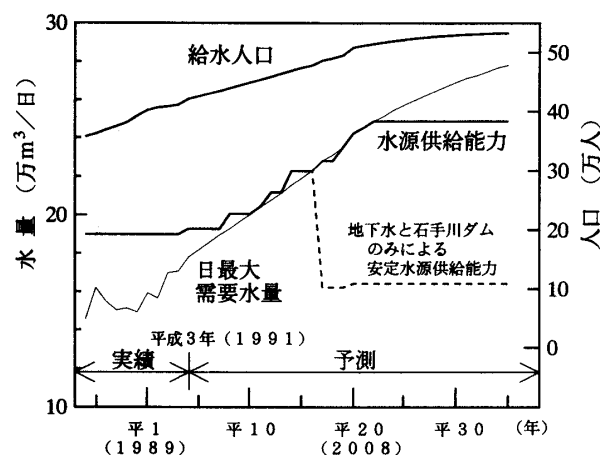


図19 松山市における需給バランスの予測

川ダムによる供給能力として長期安定取水を考えて小さめを考えており、したがってこの差が直ちに需給水量の逆転を表しているものではない。

(2) 今後の渇水対策

松山市では、今後、「節水型都市づくり」の推進を基本として、水の有効利用、新しい水源の確保・開発などの渇水対策について、早急に、実践的な検討を推進してゆくこととしている。以下に、現在、松山市で検討の対象とされている渇水対策の具体的な例を幾つか紹介する。

①「節水型都市づくり」

- ・ 一人当たり使用水量の10%節約を励行
- ・ 節水型水洗トイレなどの普及
- ・ 水道管よりの漏水の防止
- ・ 水道料金体系の見直しによる使用水量の抑制
- ・ 節水コマの普及の徹底

②水の有効利用

雨水の利用

- ・ 下水処理水の再利用（中水道）
- ・ 下水処理水の河川への還元

③新たな水源の確保・開発

- ・ ため池などを利用した貯水池（貯水容量30～50万トン規模）の設置
- ・ 農業用水の見直し
- ・ 海水の淡水化
- ・ 雨水浸透による地下水の涵養
- ・ 石手川ダム上流域の水源涵養林の設置

4. おわりに

19時間断水が81日目（10月15日現在）も続けられている松山市の今夏の異常渇水について、その概況を報告してきた。

今後、例年並みの降雨量が期待できるとしても、この時間断水は来年（平成7年）の梅雨の頃までは続く予測されている。こうした異常事態が一日でも早く解消することと、商業・生産活動、市民生活などにこれ以上の悪影響が及ばないことを望みたい。

最後に、本報告の図・表の多くは、建設省四国地方建設局、建設省四国地建松山工事事務所石手川ダム管理支所、建設省四国地建山鳥坂ダム工事事務所、建設省四国地建吉野川ダム統合管理事務所、松山地方気象台、松山市公営企業局、高松市公営企業局、中予広域水道企業団より頂いた資料をもとに作成した。ここに記して感謝の意を表す。