

4-2 湧水とは？

(1) 流量

流量とは、その地点における流量の年間の状況を示すもので、流量と累加日数で示される。1年間の流量を最大流量のものから並べかえて（同一の流量の場合もその数だけ並べる）、各流量に対する累加日数を図にしたものが流況図である。

《解説》

日流量の変動を把握した上で、水資源開発及び低水管理を行う。また、日流量の変動を把握するため、以下の流量値が一つの指標とされている。

項目	定義	備考
豊水流量	1年を通じて95日はこれより下らない流量	
平水流量	1年を通じて185日はこれより下らない流量	
低水流量	1年を通じて275日はこれより下らない流量	
湧水流量	1年を通じて355日はこれより下らない流量	水の少ない湧水時においても流れている流量であり、正常流量の設定時における指標となる。
年平均流量	1年の日流量の総計を当年日数（365日 or 366日）で除した流量	

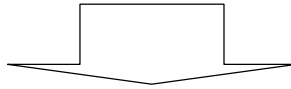
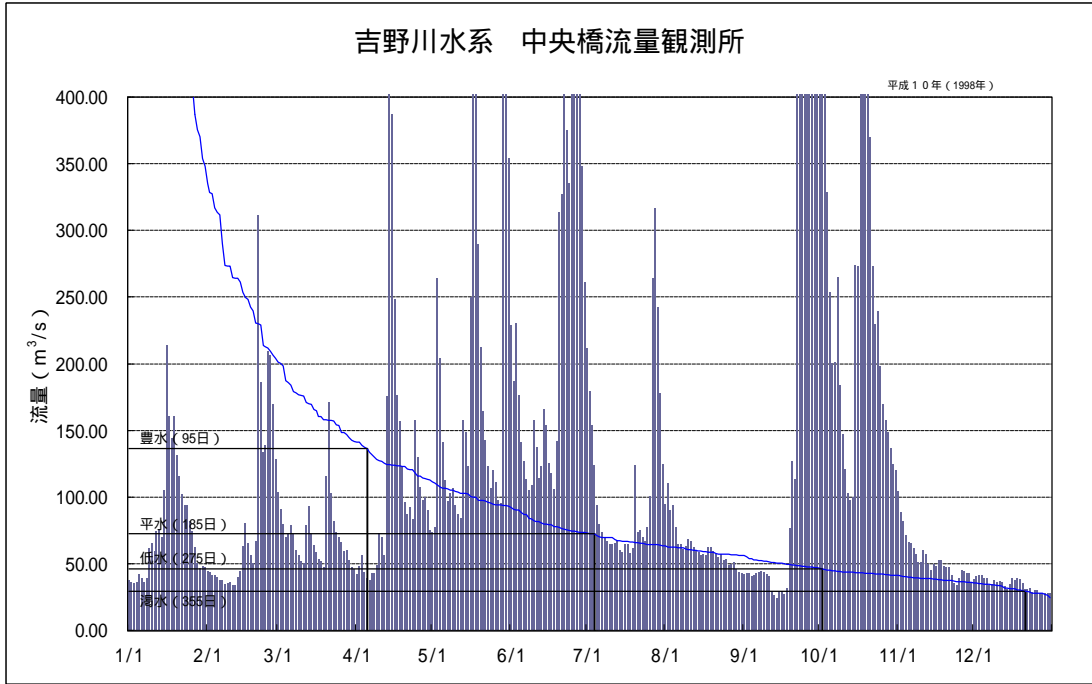
なお、期間別に上記の流量を算出する場合は次のような考え方で求める。

（例）5月1日から9月20日までの期間の湧水流量を求める場合

5月1日から9月20日までの期間の日数は143日であるから
 $355 / 365 \times 143 = 139.1$

この場合、湧水流量は139.1日間の流量がこれを下回らない流量となるから、この期間の流量を大きい方から並べて140番目の流量を5月1日から9月20日までの期間における湧水流量とする。

[参考] 吉野川水系 中央橋流量観測所の例



上記のデータを使用して、最大流量から最小流量まで並び換えた例

順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)	順位	降順(m³/s)
1	4211.57	51	230.37	101	126.94	151	93.26	201	65.89	251	52.49	301	41.60	351	31.14
2	3538.19	52	229.89	102	125.25	152	92.02	202	65.60	252	51.73	302	41.38	352	30.34
3	2542.39	53	229.11	103	124.45	153	90.88	203	65.20	253	51.65	303	41.29	353	30.34
4	2471.34	54	213.52	104	124.43	154	90.36	204	65.15	254	51.56	304	41.23	354	29.56
5	1463.84	55	212.80	105	123.82	155	90.33	205	64.78	255	51.01	305	41.20	355	29.37
6	1315.49	56	211.88	106	123.68	156	88.59	206	64.36	256	50.92	306	40.80	356	29.08
7	1265.17	57	209.48	107	123.29	157	86.82	207	64.24	257	50.54	307	40.56	357	28.89
8	1227.70	58	206.49	108	123.20	158	86.75	208	64.15	258	50.35	308	40.29	358	27.87
9	950.01	59	204.06	109	123.06	159	84.20	209	64.14	259	50.20	309	40.09	359	27.87
10	945.83	60	201.28	110	122.89	160	83.37	210	64.12	260	49.75	310	39.76	360	27.87
11	938.63	61	200.23	111	121.19	161	81.98	211	63.77	261	49.37	311	39.45	361	27.87
12	888.21	62	198.41	112	120.66	162	81.73	212	63.59	262	49.35	312	39.34	362	27.79
13	634.66	63	187.31	113	120.35	163	81.50	213	63.22	263	48.84	313	39.17	363	26.96
14	623.49	64	185.82	114	118.07	164	80.45	214	62.52	264	48.84	314	38.94	364	26.59
15	621.11	65	183.70	115	115.66	165	79.67	215	62.50	265	48.53	315	38.80	365	24.28
16	602.84	66	179.26	116	115.56	166	79.55	216	62.38	266	48.34	316	38.74		
17	590.90	67	178.17	117	114.49	167	79.28	217	62.29	267	48.02	317	38.68		
18	569.75	68	176.79	118	113.79	168	79.18	218	61.92	268	47.90	318	38.67		
19	561.25	69	176.16	119	113.43	169	77.90	219	61.80	269	47.73	319	38.36		
20	526.32	70	175.90	120	112.96	170	77.64	220	61.77	270	47.43	320	38.32		
21	502.01	71	170.99	121	111.59	171	77.34	221	61.22	271	47.42	321	38.02		
22	488.87	72	169.81	122	110.66	172	76.36	222	60.73	272	47.26	322	37.88		
23	488.42	73	169.39	123	108.99	173	75.99	223	60.55	273	47.11	323	37.68		
24	484.50	74	165.74	124	107.47	174	75.20	224	60.22	274	46.43	324	37.67		
25	411.57	75	164.87	125	106.81	175	74.85	225	59.82	275	46.15	325	37.47		
26	409.06	76	160.49	126	106.59	176	74.54	226	59.85	276	45.73	326	37.32		
27	386.92	77	160.42	127	106.30	177	74.36	227	59.42	277	45.33	327	36.98		
28	375.31	78	158.00	128	105.40	178	73.77	228	58.95	278	45.02	328	36.72		
29	370.21	79	157.82	129	105.26	179	73.50	229	58.89	279	44.74	329	36.72		
30	354.12	80	157.56	130	104.41	180	73.44	230	58.74	280	44.58	330	36.37		
31	348.36	81	157.51	131	103.89	181	73.37	231	58.73	281	44.35	331	36.30		
32	335.30	82	156.91	132	103.00	182	72.96	232	58.39	282	43.98	332	36.25		
33	328.50	83	154.09	133	102.91	183	72.73	233	57.40	283	43.92	333	36.05		
34	327.52	84	153.66	134	102.62	184	72.47	234	57.29	284	43.75	334	35.99		
35	317.10	85	148.59	135	102.29	185	72.38	235	57.28	285	43.68	335	35.74		
36	313.74	86	148.46	136	100.34	186	71.00	236	57.18	286	43.66	336	35.42		
37	311.45	87	146.84	137	99.85	187	70.16	237	57.09	287	43.47	337	35.22		
38	290.20	88	144.77	138	99.77	188	69.82	238	56.95	288	43.18	338	35.21		
39	273.48	89	142.40	139	97.59	189	69.70	239	56.71	289	43.09	339	34.80		
40	273.31	90	141.83	140	97.38	190	69.53	240	56.54	290	43.08	340	34.78		
41	273.30	91	141.22	141	97.37	191	69.52	241	56.50	291	43.04	341	34.77		
42	264.72	92	141.09	142	96.91	192	69.45	242	56.17	292	42.88	342	34.28		
43	264.30	93	138.70	143	96.07	193	67.98	243	56.04	293	42.61	343	33.88		
44	264.09	94	137.32	144	95.74	194	67.37	244	55.95	294	42.61	344	33.82		
45	261.24	95	136.56	145	94.75	195	67.36	245	55.41	295	42.50	345	33.82		
46	253.51	96	133.70	146	94.35	196	66.94	246	53.92	296	42.42	346	33.01		
47	249.81	97	131.70	147	94.02	197	66.85	247	53.89	297	42.32	347	31.59		
48	248.18	98	130.28	148	94.00	198	66.68	248	53.06	298	42.14	348	31.48		
49	242.32	99	128.20	149	93.78	199	66.18	249	52.66	299	42.04	349	31.24		
50	239.68	100	127.46	150	93.71	200	66.13	250	52.49	300	41.75	350	31.16		

(2) 渇水流量の生起確率について

確率水文学の算出方法

確率水文学を決定するためには、様々な規模の渇水がそれぞれどのような頻度(生起確率)で発生するのか、その関係を知る必要がある。

渇水の規模とその生起確率の関係(確率分布関数)を知る方法として、経験分布による方法と理論分布による方法がある。

経験分布による方法では、実際に起こった個々の渇水データに確率値を与えることによって、渇水の頻度分布を作成する。確率値の与え方(頻度分布の作り方)はこれまでに様々な方法が提案されているが、それらの資料から独自の分布形状を求めて所定の確率規模に対応した水文学量を推定するには、相当長期間のデータが必要となる。

一方、理論分布による方法では、諸外国および日本全国各地の水文学データをもとに様々な形の分布形が提案されている。理論分布を用いることにより、所定の確率規模に対応した水文学量を任意に推定することができるが、どれを採用するかが重要なポイントとなる。

《解説》

1. 経験分布

実際に起こった洪水の水文学量がどのような頻度で発生しているのか、その分布の様子を視覚的に確認する方法として、確率紙が用いられる。

確率紙とは横軸に変量(水文学量)を、縦軸に頻度(確率)をとり、頻度(確率)の累積値をプロットしたときに直線上になるよう縦軸の目盛りに工夫が凝らされている用紙のことである。

個々の渇水データを、確率紙のどの位置にプロットするか(いくらの確率値を与えるか)を決めるための公式をプロットング・ポジション公式と呼び、これまでさまざまなものが提案されている。その代表的なものとして、以下のようなものがある。

[プロットング・ポジション公式]

$$F(x_{(i)}) = (i - 0.5) / (N + 1 - 2 \cdot \alpha)$$

ここで、N: データ数、i: データを大きさの順に並べたときの小さい方からの順位、 $x_{(i)}$: i 番目順位のデータの値、 $F(x_{(i)})$: $x_{(i)}$ のプロットング・ポジション、 α : 0 ~ 1 の定数

Weibull (ワイブル) 公式; $\alpha = 0$

Hazen (ハーゼン) 公式 ; $\alpha = 1/2$

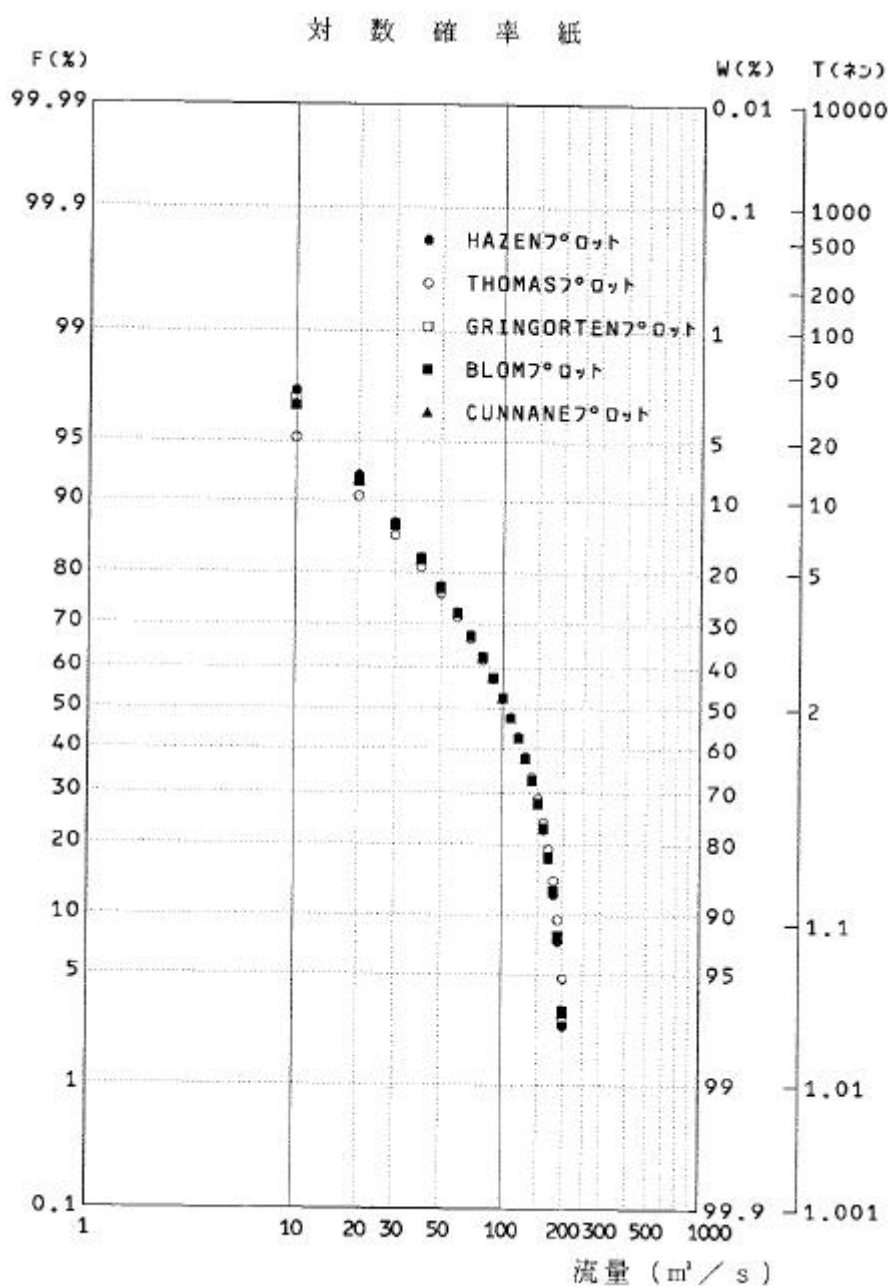
Gringorten (グリントーテン) 公式 ; $\alpha = 0.44$

Blom (ブロム) 公式 ; $\alpha = 3/8$

Cunnane (カナン) 公式 ; $\alpha = 2/5$

理論分布に経験分布を当てはめる時、上述したプロットング・ポジション公式毎に最もなじみやすい理論分布が存在する。このカナン公式は、全ての理論分布に適用可能な案として提案されたものである。

〔参考〕プロットング・ポジション公式による違い



2. 理論分布

湧水の規模とその生起確率の関係（確率分布関数）を表すもう一つの方法として、理論分布があり、正規分布に基づく分布、極値理論に基づく分布、ガンマ分布に基づく分布などがある。更にそれらの分布式の中に含まれる定数の数やその値の決め方に応じて、数多くの理論分布が提案されている。その代表的なものとして、以下のようなものがある。

〔分布を表す式〕

分布関数	基本式	計算手法
対数正規分布	$P(x)=1-F(x)=\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int e^{-z^2} dz$ $=a \log_{10} \frac{x+b}{x_0+b}$ <p>ただし $a>0, x_0>-b, -b<x<$</p>	<p>解法としては、岩井法、積率法（石原・高瀬法）、順序確率法、最小二乗法などが提示されているが、最小値を取り扱う場合には岩井法が良く使われている。</p>
極値分布	$p(x)=1-F(x)=1-\exp(e^{-y})$ <p>タイプ 1: $y=a(x-x_0)$ ($< x <$)</p> <p>タイプ 2: $y=a \log_{10} \frac{u-x_0}{u-x} = k \ln \frac{u-x_0}{u-x}$ ($< x < u, a, k > 0$)</p> <p>タイプ 3: $y=a \log_{10} \frac{a+b}{x_0-b} = k \ln \frac{x+b}{x_0+b}$ ($-b < x < , a, k > 0$)</p>	<p>左記の式をみると、規準形式は $y = -y$ とおけば最大値分布と同じになり、各タイプとも最大値分布と類似の形を取っている。</p> <p>即ち、これ等最小値分布はそれぞれ最大値分布の対応形成を裏返した分布形を示し、水文統計の分野では実用に供しがたいようであるが、タイプ3の分布関数は利用できることを Gumbel が提唱している。</p>
ガンマ分布	$P(x)=1-F(x)=1-\frac{1}{\Gamma(p+1)} \int_0^z e^{-z} \cdot z^p dz$ $Z=\frac{1}{a} (Y'-m)$ <p>$0 < z <$</p>	<p>当分布形は、パラメータ p, a, m の値によって定まり、右側又は左側にひずんだ広範囲に変化する形状を示し、また特別の場合として正規分布を包含する。</p>

これらの式の中には、それぞれ2～3個の定数が含まれている。これらは湧水の頻度分布の特性（形状）を表す値のことである。理論分布を設定するためには、実際の湧水データを用いてこれらの値を推定することが必要である。

3. 理論分布と経験分布の適合度

理論分布と経験分布の適合度を数値化して評価する方法の1つに、SLSC（標準最小二乗基準）がある。吉野川では、SLSCが0.04以下の手法に関してはある程度の適合度が確保されているものと考えている。

【SLSC（標準最小二乗基準）】

$$SLSC = \frac{\sqrt{\sum_{min}^2}}{|S_{0.99} - S_{0.01}|}$$

ここに、 $S_{0.99}, S_{0.01}$ ：非超過確率0.99, 0.11に対応する当該分布の標準変量を示す（ex. 正規分布則に従うときの標準変量の99%値 $S_{0.99}$ は、正規分布の累積分布関数が0.99に累積する点のuの値を与える。正規分布表の上限パーセント点では1%の位置のu(Q)を読みとればよい）。 \sum^2 ：順序統計量データ y_i に対応する標準変量 s_i と適当な確率 p_i に対応する標準変量 r_i との差の二乗平均で次式により表される。

$$\sum^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (S_i - r_i)^2$$

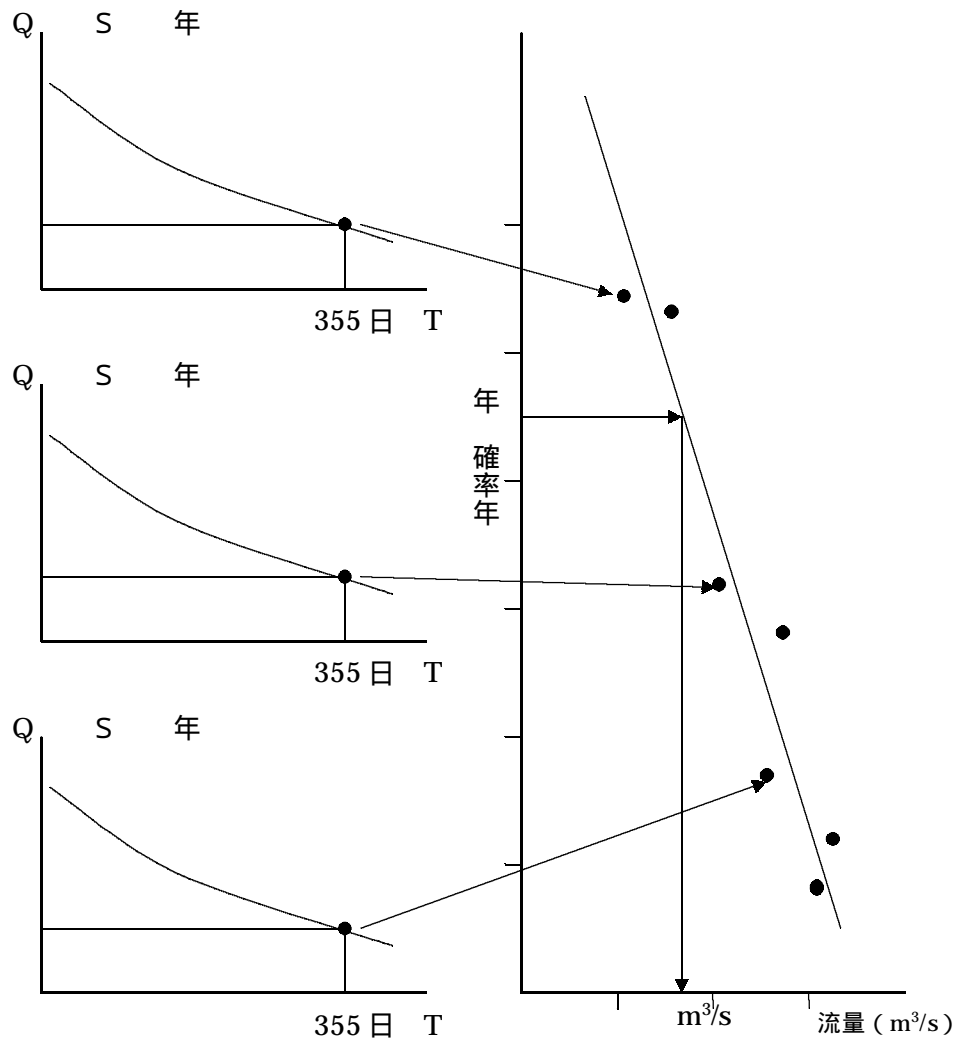
Nはデータ個数、確率 p_i はプロットング公式で与えられる。ここで、適合度評価としてはSLSC ≤ 0.04であれば良い適合で示し、SLSC > 0.04であれば、他の手法を試みるべきであるとしている。

流量確率方式による確率湧水流量の算出方法

- 1) 各年の1年間の流量を整理し、各年毎の湧水流量を抽出する。
- 2) これ等の湧水流量を統計処理することにより、確率湧水流量を算出する。

解説》

- 1) 各年の湧水流量を抽出する
- 2) 各年の湧水流量を統計処理し、確率湧水流量等を算出する。



池田地点における確率湧水流量

池田地点における湧水流量を上流のダム及び高知分水等がある場合とない場合で確率的に比較したものを下図に示す。

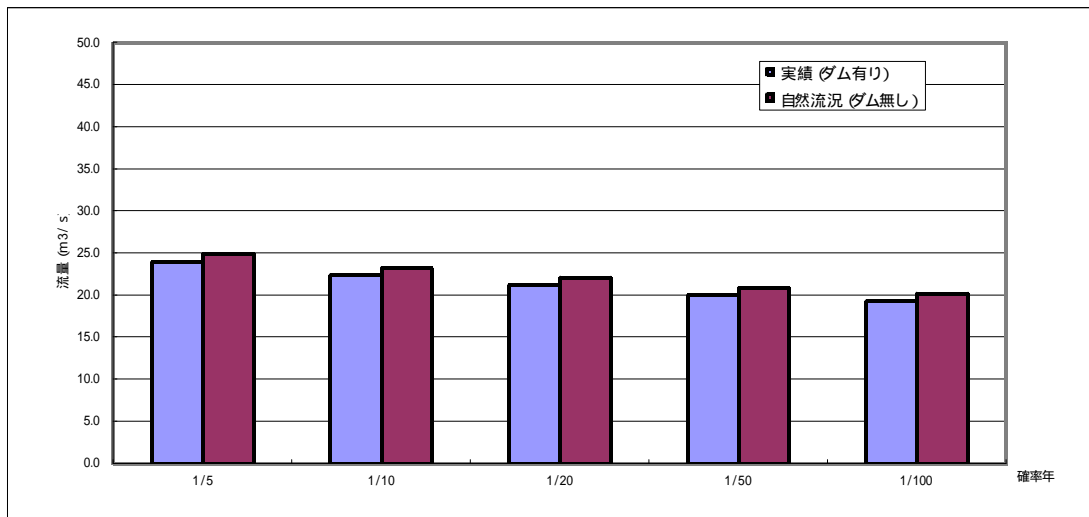
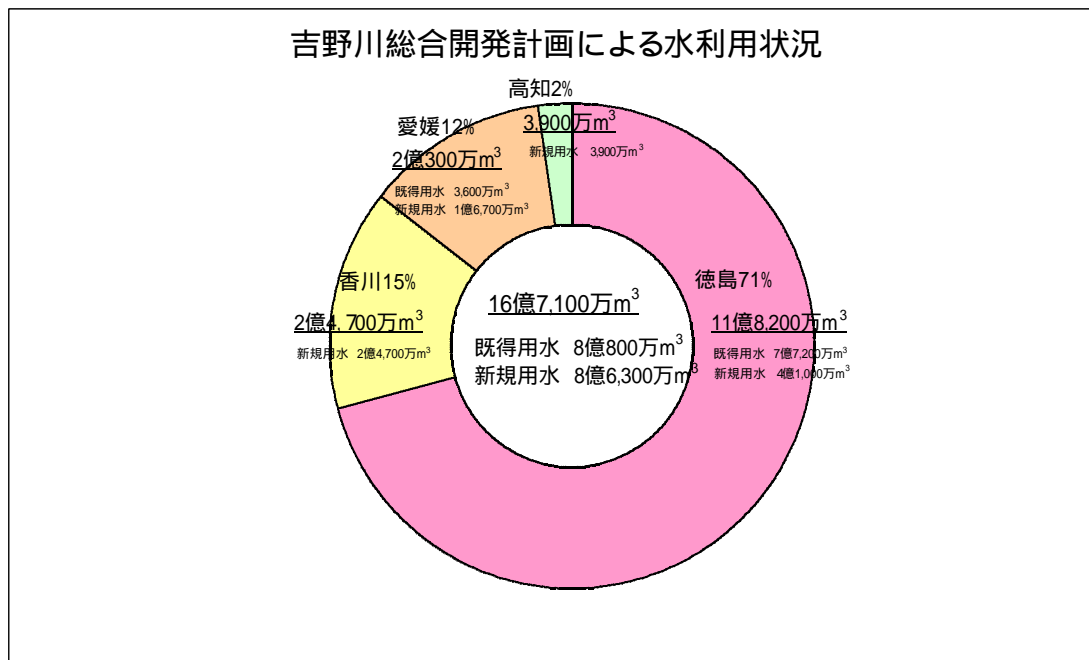


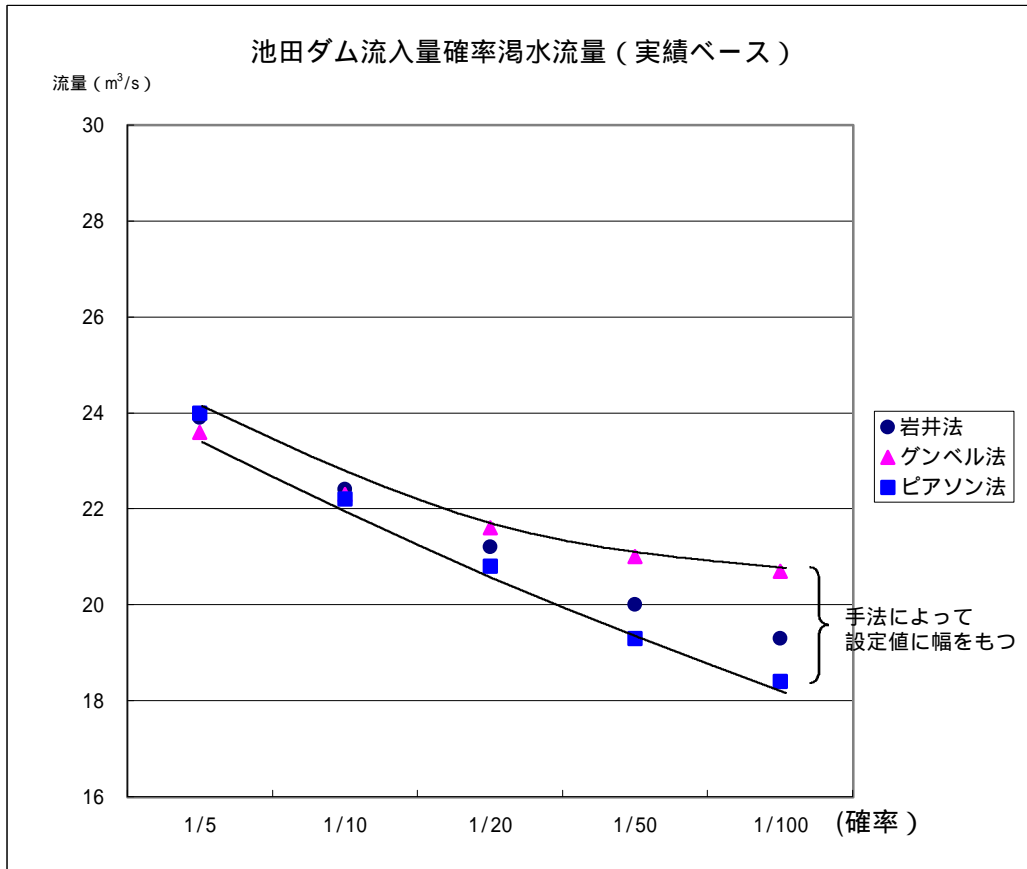
図 確率湧水流量 (池田ダム地点)

これから分かるように、両者はほとんど変わらず、ダムによる開発により四国四県で年間約 16 億 7 千万 m^3 も利用されていることを考えると吉野川の豊富な水資源が有効に使用されていることがわかる。



出典先：水資源開発公団吉野川開発局パンフレットより作成

池田ダム流入量確率湧水流量（実績ベース）

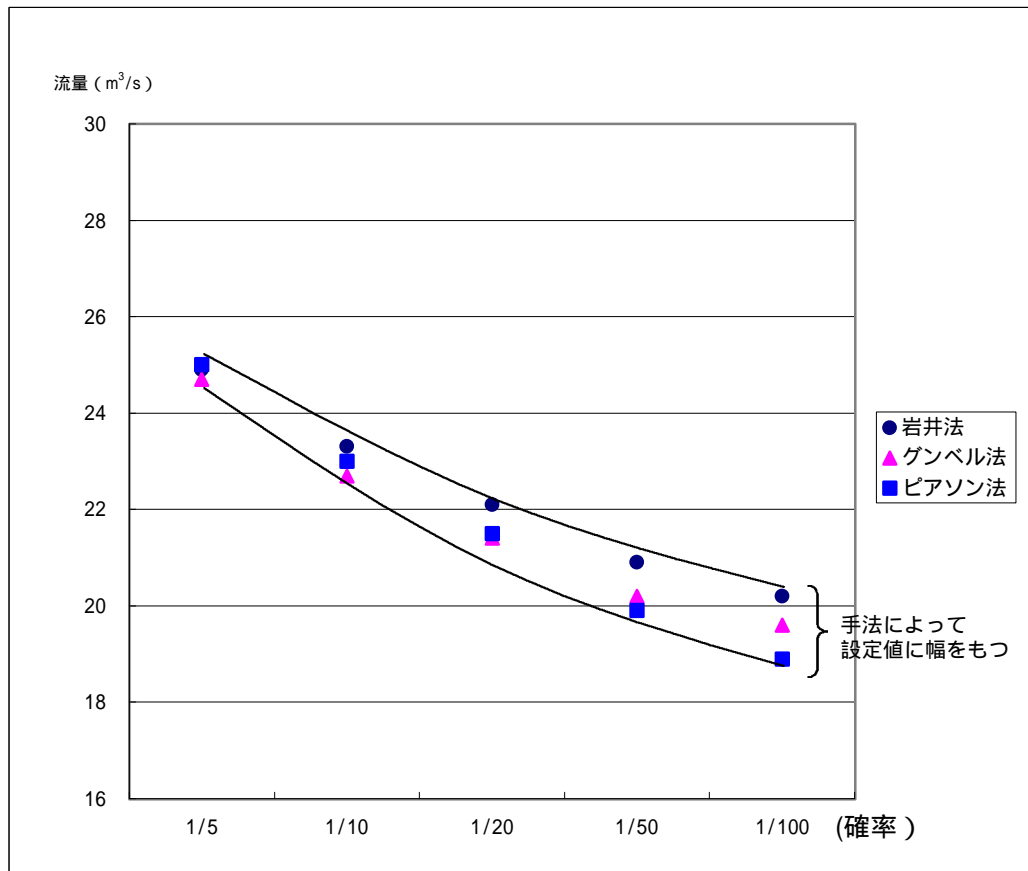


確率年	計算方法			備考欄
	岩井法	ゲンベル法	ピアソン法	
1/5	23.9	23.6	24.0	
1/10	22.4	22.3	22.2	
1/20	21.2	21.6	20.8	
1/50	20.0	21.0	19.3	
1/100	19.3	20.7	18.4	
SLSC	0.0335	0.0415	0.0395	



SLSCが小さい岩井法を採用

池田ダム流入量確率湧水流量（自然流況ベース）



確率年	計算方法			備考欄
	岩井法	ゲンベル法	ピアソン法	
1/5	24.9	24.7	25.0	
1/10	23.3	22.7	23.0	
1/20	22.1	21.4	21.5	
1/50	20.9	20.2	19.9	
1/100	20.2	19.6	18.9	
SLSC	0.0336	0.0430	0.0356	



SLSCが小さい岩井法を採用

池田ダム実績流入量

(m³/s)

年	豊水 (95日)	平水 (185日)	低水 (275日)	渇水 (355日)	最小値
S.51	131.54	78.25	54.72	36.24	32.97
S.52	93.08	61.87	44.64	28.87	23.46
S.53	69.18	49.18	40.10	31.22	28.30
S.54	115.19	72.13	54.25	33.96	30.90
S.55	159.47	86.39	60.91	43.54	37.73
S.56	72.05	53.44	41.40	31.17	28.23
S.57	98.64	60.76	41.97	26.42	23.73
S.58	99.31	58.80	40.95	25.79	23.63
S.59	73.41	54.10	33.64	29.20	27.29
S.60	90.83	60.40	46.23	22.05	21.43
S.61	8.39	55.74	40.20	25.22	25.22
S.62	84.99	51.95	34.40	27.61	25.02
S.63	77.65	51.88	27.90	21.37	19.65
H. 1	125.75	57.13	33.14	21.52	18.56
H. 2	132.90	74.26	51.68	33.73	29.08
H. 3	143.27	82.16	46.87	28.22	36.92
H. 4	115.79	65.27	49.45	30.00	26.55
H. 5	202.95	84.97	46.18	27.20	19.49
H. 6	64.42	49.19	38.65	24.51	17.88
H. 7	65.86	34.61	27.95	24.33	17.56
H. 8	52.06	39.09	27.21	21.83	14.23
H. 9	88.78	48.14	31.90	26.25	25.78
H.10	136.56	72.38	46.15	29.37	24.28
23年平均	103.57	60.96	41.76	28.68	25.13
23年最大	202.95	86.39	60.91	43.54	37.73
23年最小	52.06	34.61	27.21	21.37	14.23

池田地点自然流量

(m³/s)

年	豊水 (95日)	平水 (185日)	低水 (275日)	渇水 (355日)	最小値
S.51	157.72	103.80	70.34	33.96	29.59
S.52	121.39	74.73	44.39	31.92	28.38
S.53	90.11	62.09	50.24	36.24	30.72
S.54	149.81	99.34	70.29	32.76	29.71
S.55	181.93	105.59	69.68	41.58	29.18
S.56	119.24	81.17	57.44	30.38	26.32
S.57	128.28	82.07	49.59	33.75	22.14
S.58	123.26	70.65	44.59	26.92	23.08
S.59	102.96	61.16	33.40	23.91	18.61
S.60	127.70	75.78	47.03	23.15	19.39
S.61	121.56	63.53	36.66	22.08	17.94
S.62	112.30	70.81	49.27	30.19	24.73
S.63	107.83	70.36	31.30	22.91	18.92
H. 1	160.89	86.13	50.87	26.36	18.39
H. 2	170.86	97.50	64.67	31.06	23.46
H. 3	153.14	98.30	53.45	32.65	28.54
H. 4	139.09	77.72	55.59	42.10	34.45
H. 5	188.67	86.73	60.99	36.08	29.14
H. 6	80.86	60.27	45.96	22.55	13.93
H. 7	99.09	51.15	35.54	25.85	21.06
H. 8	86.15	60.93	39.44	25.28	16.47
H. 9	122.85	65.77	42.26	27.99	25.39
H.10	181.19	99.15	52.93	27.29	23.41
23年平均	131.60	78.60	50.26	29.87	24.04
23年最大	188.67	105.59	70.34	42.10	34.45
23年最小	80.86	51.15	31.30	22.08	13.93

池田地点自然流量の作成方法

池田地点自然流量 = 池田ダム実績流入量
 +(早明浦ダム流入量-早明浦ダム放流量)
 +(柳瀬ダム流入量-柳瀬ダム放流量)
 +(新宮ダム流入量-新宮ダム放流量)
 +高知分水+平山分水+松尾川分水+仁淀川分水
 +柳瀬分水+新宮分水