

渇水・豊水持続特性に関する世界水文地図作成の試み
DDC・FDC Analyses Towards Hydrological Mapping

山梨大学工学部 正会員 竹内邦良
山梨大学大学院 学生員 吉川正剛

はじめに

吉川・竹内(1975)によって提案された渇水持続曲線は、当初もっぱら渇水時の貯水池管理のための統計量として利用が検討された。しかしながら竹内(1982)ではそれが渇水特性を表わす一般的な水文指標としても利用できることが示され、各地の気象・地質・地形特性が、その地域の降雨・流量の低位持続特性にいかなる影響を及ぼすかを判定する試みがなされた(竹内、1984、1985)。

本報ではこの水文指標としての機能をさらに完全なものとするため、低位のみならず高位持続特性をも、すなわち渇水時のみならず豊水時の持続特性をも合わせて表現出来る複曲線に拡張し、新たに渇水・豊水持続曲線(DDC・FDC)として提案するものである。(一部吉川・竹内(1986)に発表済)

この作業を通じて、従来の水文区分が気象・地質・植生といった水文以外の分野の特性を基準に分類されていたのに対し、水文現象特有の基準にもとづいた、水文学固有の観点からの地域区分を行うことを目指す。本稿では、その最終目標にはまだ遠い状況であるが、Fig.1 に示す日本ならびに世界の各地点の降水・流量データを整理し、各地の水文量の渇水・豊水持続曲線にあらわれる特性を比較検討した。これは世界水文地図作成への第一歩である。

解析資料

データは気象庁図書室のWorld Weather Records、各地方気象台の日降水量記録、および建設省発行の多目的ダム管理年報記載のものを利用した。また雨畑ダム流入量は、(株)日本軽金属、アリゾナのデータはUSGSの御好意により提供いただいた。

Fig.1 にはデータ地点とその気象(一部地質)特性が示されている。データ期間長は短いもので23年、長いものでは100年以上に亘るものがある。Table 1 はその基本統計値を示したものである。s.d.は標準偏差、 r_1, r_2 は lag 1ヶ月および2ヶ月の月相関係数、c.v.は変動係数である。なお月別標準偏差は月平均パターンのまわりの月データの分散、年標準偏差は年平均のまわりの年データの分散に関するものである。また月相関係数は月平均パターンからのずれに関する相関である。

渇水・豊水持続曲線(DDC・FDC)の定義

水文時系列 x_t の確率年 T の規準化渇水持続曲線(DDC): $f_k(m)$ 、規準化豊水持続曲線(FDC): $f_k^*(m)$ を以下のように定義する。

$$\text{DDC: } f_k(m) = k\text{-th smallest} \cdot \min_{j=1, \dots, N} \frac{1}{m} \sum_{t_1 \in j\text{-th year}}^{t_1+m-1} x_{t_1} / \bar{x} \quad (1)$$

$$\text{FDC: } f_k^*(m) = k\text{-th largest} \cdot \max_{j=1, \dots, N} \frac{1}{m} \sum_{t_1 \in j\text{-th year}}^{t_1+m-1} x_{t_1} / \bar{x} \quad (2)$$

$$T_k = (N+1)/k \quad (3)$$

ここに $\bar{x}$ は原時系列 x_t の全記録の平均である。また N は(1)、(2) 式中のそれぞれの移動平均がすべて存在するデータの年数で、一般には考える期間長 m によって異なる。

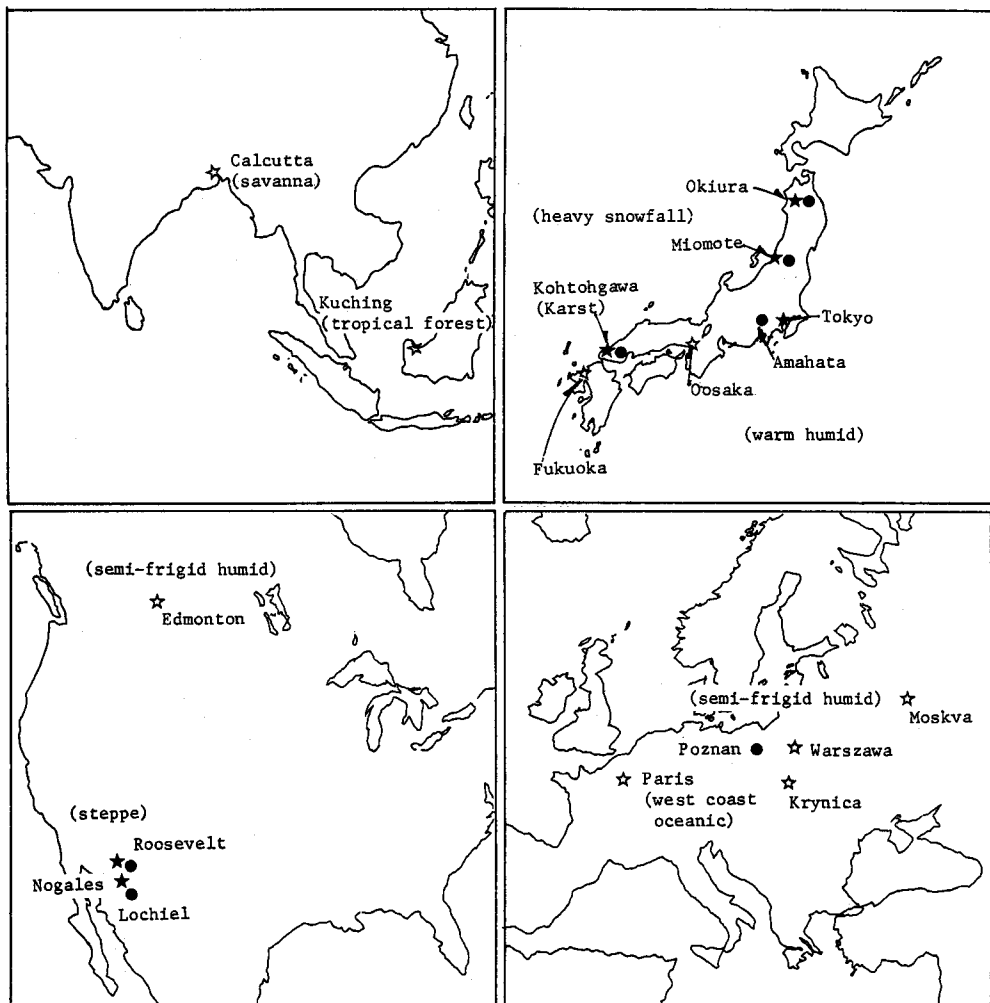


Fig. 1 Location and characteristics of observation stations
 (☆:monthly precipitation, ★:daily precipitation, ●:daily streamflow)

ここで規準化というのは、平均値 $\bar{x}$ で除したもので渇水・豊水持続曲線を定義しているからである。規準化しない場合の DDC・FDC は原水水量の平均値の大小で scale が全く異なるため、そのままでは各地点間の差異を比較することが出来ない。そこでこれを平均値で除して規準化し、平均を 1 に揃えたわけである。さらにまた、渇水・豊水 10^4 倍以上にもわたる scale を同一グラフ上で比較することを可能にするため、これを両対数紙にプロットすることとした。このことにより実用上重要な渇水時の持続特性を豊水時のものと同一の scale で見ることもできる。

渇水・豊水持続曲線の見方

Fig. 2 ～ 4 はそのようにして作成した月降水量、日降水量、日流量の渇水・豊水持続曲線である。ただし各地点の曲線の特徴を比較しやすくするため、確率年 10 年のもののみを抽出して同一グラフに重ねて描いてある。縦軸横軸とも scale は全国共通である。以下に図の基本的判読方法を列挙する。

DDC・FDC の開度：

両曲線の開度が大きく、曲線が急勾配であればある程短期間での異常が、期間長を長く考えることにより、より急速に改善され平均値に近づくことを示す。逆に勾配が緩い場合にはその改善が緩慢で遅いことを意味する。

平均水準 $f=1$ よりの隔り：

平均 $f=1$ より隔たっていればいる程はなほだしい異常が生じることを意味し、それが大きな m のところまで達していれば、異常が長期に亘って継続することを意味する。一方隔りが小さい場合には平均水準に近い安定した水文状況が期待出来ることを示す。

確率年の違いによる DDC・FDC のばらつき：

本稿では10年以外の確率年のDDC・FDC は紙面の関係上割愛したため、確率年 2～50年の違いによる曲線のばらつきが地点毎に異なる様子はわからないが、このばらつきが大きいことは年最小値、最大値が年毎に大きく異なることを意味し、年変動の大きさを示す。

期間長 1～3 年での周期性：

長期間 12ヶ月～36ヶ月の間で明瞭な波状を呈するものがある。これは1年の間にはっきりした乾季・雨季の区別のあることを意味する。

月降水量の渇水・豊水持続曲線

Fig.2 は各地点の月降水量の渇水・豊水持続曲線である。Fig.2aは豊水持続曲線が同一であるにもかかわらず渇水持続曲線が6ヶ月以下の期間長で大きくばらついている例である。一般に log scale では渇水持続曲線は、豊水持続曲線に比べて $f=1$ からの隔りが大であることが多い。

Table 1. Basic Statistics of the Analyzed Data

Data Site	mean	monthly s.d.	annual s.d.	monthly r1	monthly r2	monthly c.v.	annual c.v.
Precipitation	mm/y	mm	mm				
Okiura	1382	57	214	0.09	0.09	0.49	0.16
Miomote	2935	123	431	0.10	0.09	0.50	0.15
Kohtohgawa	1724	117	329	0.04	-0.07	0.81	0.19
Tokyo	1528	89	261	0.06	0.01	0.69	0.17
Oosaka	1346	81	227	0.01	0.01	0.72	0.17
Fukuoka	1641	117	368	0.07	-0.01	0.86	0.19
Roosevelt	403	36	127	0.01	0.05	1.09	0.31
Nogales	413	41	107	0.11	0.04	1.25	0.26
Warszawa	537	30	89	0.04	-0.05	0.67	0.17
Krynica	868	44	141	0.08	0.03	0.61	0.16
Edmonton	442	34	92	0.08	0.05	0.91	0.21
Paris	604	27	106	0.10	0.06	0.55	0.17
Calcutta	1593	150	287	0.02	-0.02	1.13	0.18
Kuching	4051	206	613	0.07	0.06	0.61	0.15
Khartoum	163	33	79			2.35	0.48
Moskva	588	32	110	0.16	0.02	0.66	0.19
Streamflow	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s				
Okiura	11.2	7.2	1.4	0.36	0.19	0.64	0.12
Miomote	37.8	25.7	4.3	0.21	-0.07	0.68	0.11
Kohtohgawa	12.0	10.7	3.0	0.27	0.13	0.89	0.25
Amahata	7.6	5.7	1.4	0.31	0.09	0.75	0.18
Roosevelt	25.3	38.9	17.5	0.49	0.31	1.55	0.69
Lochiel	0.1	0.3	0.1	0.53	0.30	3.47	1.15
Poznan	94.5	74.1	33.9	0.63	0.41	0.78	0.36

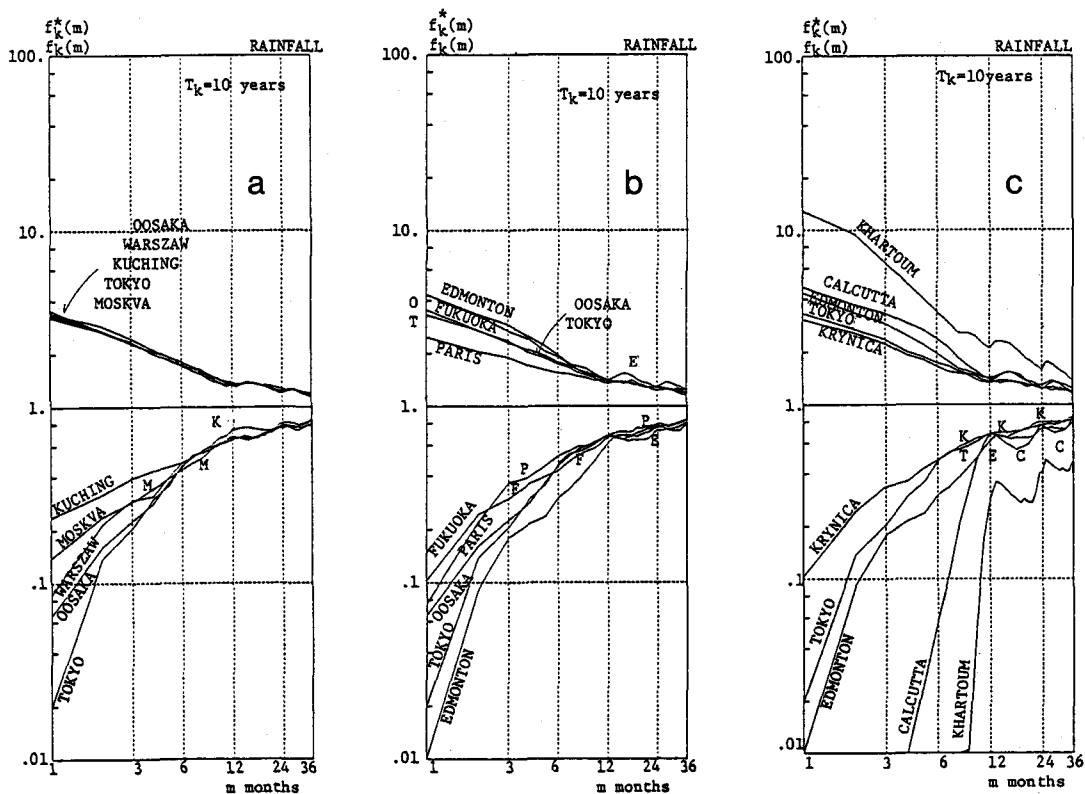


Fig.2 Comparison of 10-probability-year duration curves of monthly precipitation series.

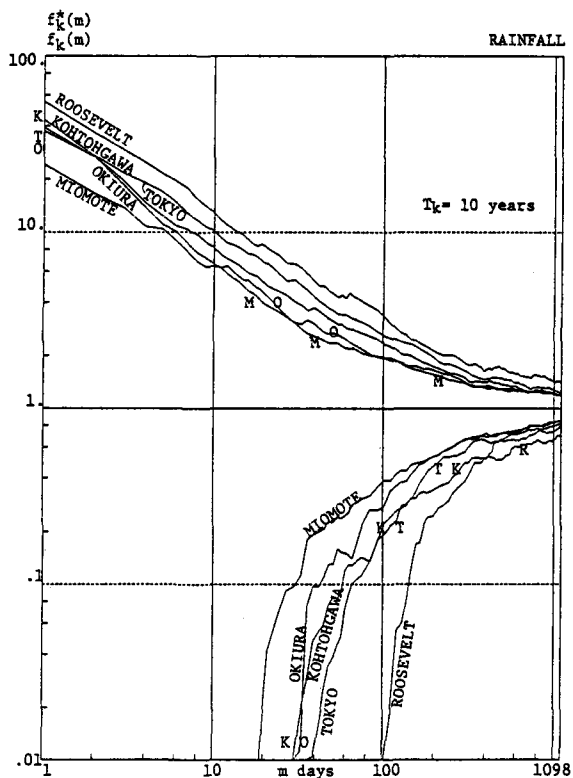


Fig.3 Comparison of 10-probability-year duration curves of daily precipitation series.

この Fig.2a と Fig.2b を比べると、FDC について、Paris は内側に、Edmonton は外側にあるのに対し、DDC でも同様 Paris が内側 Edmonton が外側に位置していることがわかる。ところが福岡は FDC で外側にあるにもかかわらず DDC では内側に来っており、2~5ヶ月という短期的な異常に関する限り、福岡の渇水はあまりはげしくないことがわかる。このように DDC・FDC の相対関係は決して一様なものではない。そんな中であって Fig.2c は、その開度が極めて順序良く変化している例である。これはまた、DDC が $f=1$ の軸から大きく隔っている場合には FDC も大きく隔っている場合の多いことを示しており、両曲線の相対関係は微妙ながら、一般的には、異常は渇水・豊水、併行して相強め合う関係になっていることがわかる。この順序は Table 1 に示した基本統計量のうち月データの変動係数の順序になっており、小さい方から大きい方に、内側から外側に位している。したがって DDC・FDC の開度と月データの c.v. の関連は極めて深いことがわかる。然しながら重要なことは、基本統計量がデータすべてに対して算出されたものであるのに対して、DDC・FDC は渇水および豊水の異常時の特性を抽出して示している点全く異なるものであるということである。

日降水量の渇水・豊水持続曲線

Fig.3 は日本各地の日降水量と Roosevelt 地点の日降水量の DDC・FDC である。Fig.2 と横軸も同じ scale になっているが、日単位であるから、左側に 1~30 日までが付け加わって大きくなっている。この図では DDC が $m = 20 \sim 100$ 日のところで下に切れた形になっているが、これは 10 年確率で考えればその間無降水が続くということである。

ここでも Roosevelt が外側に、三面・沖浦という積雪地帯が内側に出ている。雪の変動の時間 scale が、雨のそれに比べ短いということがあるかどうか検討に値しよう。

日流量の渇水・豊水持続曲線

Fig.4a は日本各地の日流量の DDC・FDC であり、4b はその世界比較である。一見して流量の持続曲線は降水量のに比べかなり違っている。渇水持続曲線が $f=0.01$ 軸で cutoff されていないのは、流量では 1 日といえども 0 になることは、10 年確率でもないということである。（砂漠の wash である Lochiel のみ 1 年間も流出 0 のことがあることがわかる。）cutoff がないというばかりでなく、一般に短期間では流量の DDC・FDC の方が降水量のそれに比べ $f=1$ に近い。これは流量については、降水程極端な渇水・豊水の異常がないということで、流域のもつ smoothing 機能を端的に表わしている。ところが長期になると DDC では $f=1$ からの隔たりはむしろ流量の方が大きい場合もあり、流量は蒸発散の影響で降水以上に渇水の持続性が強くなることを示している。

沖浦、Poznan の DDC・FDC が内側にあって $f=1$ に近いのは、流量が安定していることを示すものであるが、Poznan は $25,083 \text{ km}^3$ 、沖浦はわずかに 201 km^3 であることを考慮すれば、Poznan については流域が大きいことによる平滑化現象であるのに対して、沖浦は三面 (306 km^3) と共に積雪地帯であることによる流量の安定現象を表わしているものと思われる。

DDC・FDC と Table 1 に示された月流量の自己相関を見ると大変興味深い。DDC・FDC の形状が相似通っている沖浦、Pasnam の相関係数が大いに異なり、形状が大いに異なっている Roosevelt、Lochiel の係数は良く似ている。このことは持続特性を表わすものであっても低位・高位に偏した場合のみを抽出している DDC・FDC 特性は、総合的な指標である自己相関係数とは全く違ったものを示すものであることがわかる。

まとめ

以上のことから渇水・豊水持続曲線によって、他の統計量では把握できない水文特性の表現と地域比較が出来ることがわかった。これにより、水文現象の持続特性に着目した世界水文地

図の作成が、可能であることが示されたと考える。今後の課題は水文地図の具体化と、流域別に降水・流出の持続性の対応関係を判別する方法の検討であろう。

参考文献

- 1) 吉川・竹内：渇水持続曲線の性質とその応用、土木学会論文報告集、No.234、pp.61-71, 1975.
- 2) 竹内：渇水持続曲線と自己相関構造、第26回水理講演会論文集、pp.387-393, 1982.
- 3) 竹内：規準化渇水持続曲線による降雨・流量・年輪資料の解析、第29回水理講演会論文集、pp.293-298, 1985.
- 4) 吉川・竹内：渇水・豊水持続曲線による日本及び世界各地の月降水量データの解析、第41回土木学会年次学術講演概要集、pp.157-158, 1986.

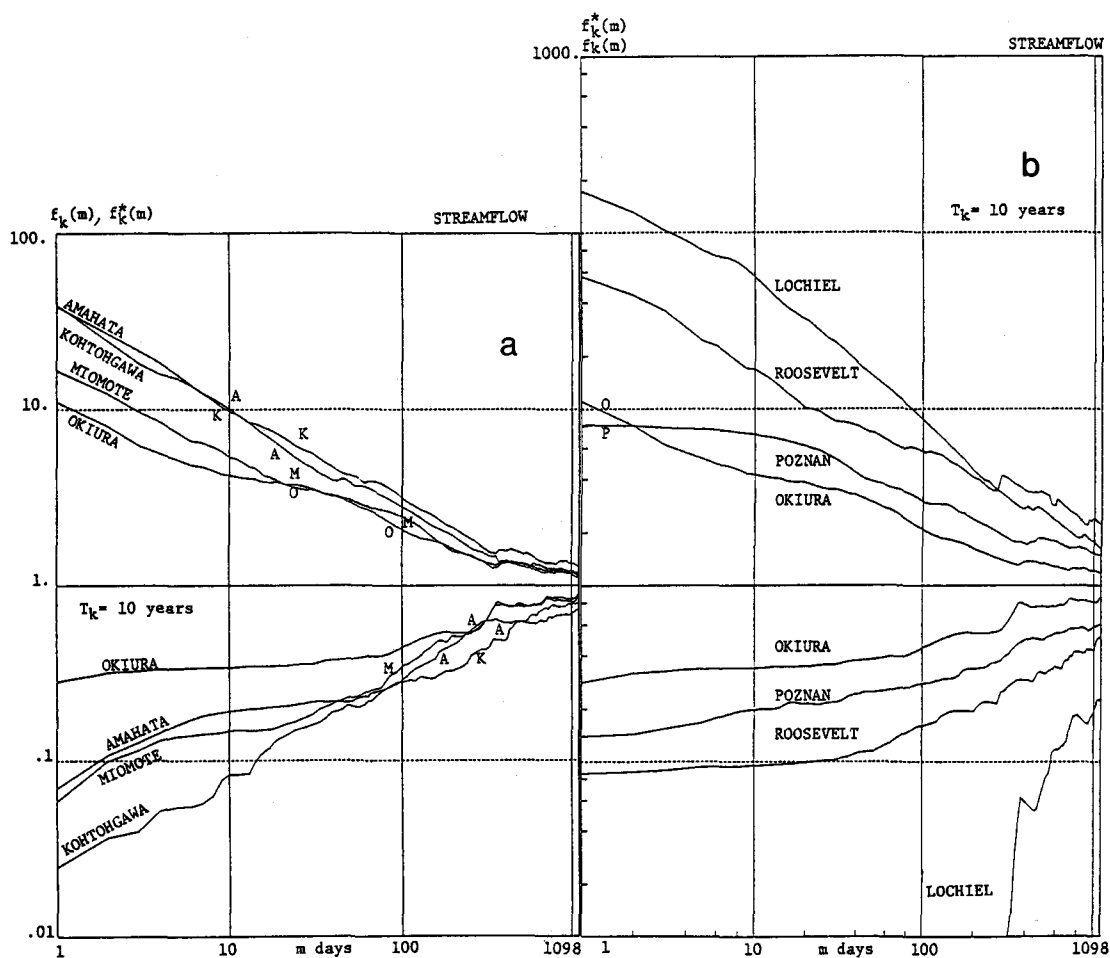


Fig.4 Comparison of 10-probability-year duration curves of daily streamflow series.