

# 昇降順対数流況曲線の提案

河村 明<sup>1</sup>・久野 祐輔<sup>2</sup>・神野 健二<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 九州大学助教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎六丁目10-1)

E-mail:kawamura@civil.kyushu-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生員 九州大学大学院工学府 (〒812-8581 福岡市東区箱崎六丁目10-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 九州大学教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎六丁目10-1)

河川の流況特性を把握するための基礎として流況曲線は多用されている。しかし通常の流況曲線では、何本かの流況曲線を同時に描いた場合、その差異を特にその高水および低水部で見分けるのが困難であった。本論文では、河川流況で特に重要となる高水および低水部分を同時に拡大することにより、この部分でのいくつかの流況曲線の差異が明確に表わされ、流況曲線間の比較が容易にできるよう、通常の流況曲線を修正する方法を提案している。ここではこの修正した流況曲線を「昇降順対数流況曲線」と名付け、これを考えるに至った過程と本流況曲線の特性、さらに代表流量値の目算の容易さなどについて、実際の流量データを用いて比較検討を行っている。

**Key Words :** *flow-duration curve, new graphical procedure, ascending and descending order, droughty water-discharge, the Chikugo river*

## 1. はじめに

流況曲線とは、我が国では通常、河川のある地点での1年間の日平均流量について作られ、横軸に歴日に無関係に1年間の日数(閏年でなければ365日)をとり、縦軸に日流量をとって大きいものから順次配列し図示したものである<sup>1), 2)</sup>。流況曲線は元來、発電所の使用水量の選定や可能発電電力量の算定などの発電計画に当たって有効に利用され<sup>1), 2)</sup>、また灌漑などの水利用の計画策定に際しても19世紀後半から活用されてきた<sup>3), 4)</sup>。さらに近年では、森林などによる水源かん養機能の評価など<sup>5)</sup>にも頻繁に利用され、流況曲線は、河川の流況特性を把握するための基本的かつ代表的な表現形式となっている。

著者らも、渇水や水資源開発による河川流況の利水特性の変化<sup>6), 7)</sup>や長期的変動特性の解析<sup>8)</sup>のために流況曲線を活用している<sup>9)</sup>。この場合、各年の流況比較や確率流況曲線作成などのために、何本かの流況曲線を同一のグラフ上に描くことになるが、通常の流況曲線ではその差異は余り見られず、ほぼ同じ曲線上に並ぶこととなる。また、森林による流出量の平準化機能の評価や河川の利水特性・長期変動特性解析では、渇水流量や洪水流量のような低水および高水の極値部分の差異が特に重要となるが、通常の流況曲線ではすべての部分が同じ重みで描かれるため、これら低水および高水部分の差異が強調されずかき消されてしまう傾向にある。これらの特性は、

教科書や論文の中でしばしば目にするのである。

さて、著者らは、通常の流況曲線が有する以上の特性を、上記目的に沿うように少しでも改善できないかと思案し試行錯誤を重ねてきた。そして、同時に何本か描いても容易にその差異が認識でき、また低水および高水の極値部分を共に強調できるように通常の流況曲線を修正したものをここに提案する次第である。著者らは本流況曲線をその単純な方法から「昇降順対数流況曲線」と名付けたが、以下にその方法に至った過程と本流況曲線の特性について考察を加える。

## 2. 通常の流況曲線の改良

### (1) 通常の流況曲線

本論文では、具体的に流量年表<sup>10)</sup>にそのデータが公表されている筑後川流域の瀬ノ下観測点における1950年から2000年までの日流量データ(ただし1966年の日流量データには22日間の欠測が存在するため欠測年とした<sup>8)</sup>)を例にとり説明を行うこととする。まず、上記50年間の日流量データより、年間総流出量が大きい順に1位(1980年)、13位(1962年)、25位(1988年)、38位(1960年)、50位(1978年)(それぞれ最大、上位四分位数、中央値、下位四分位数、最小に相当する)の年を抽出する。これらの年の確率渇水年は、Weibull plotのplotting position 公式<sup>11)</sup>を用いると、そ

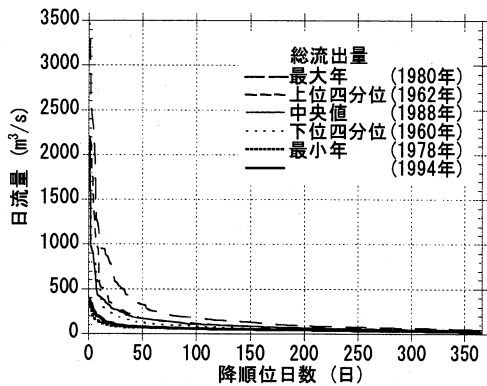


図-1 通常の流況曲線 (縦軸普通軸)

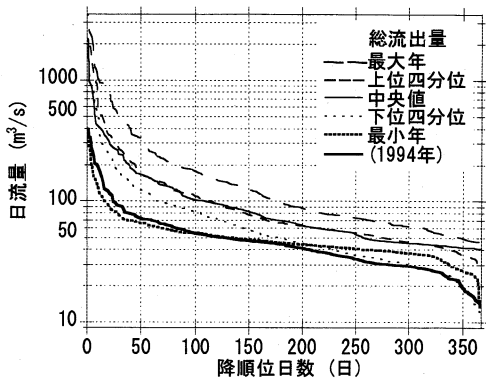


図-2 通常の流況曲線 (縦軸対数軸)

れぞれ約1.02年, 1.3年, 2年, 3.9年, 51年確率の渇水年に相当することになる。そしてこれら5つの年に対する通常の流況曲線(すなわち、横軸の日数には普通軸、縦軸の日流量には普通軸もしくは対数軸を取って描く)を図-1(縦軸:普通軸)および図-2(縦軸:対数軸)に示す。なおこれらの図には、渇水年における流況曲線の比較のため、平成6年大渇水に相当する1994年の流況曲線(年間総流出量は大きい方から第49位, 25.5年確率渇水年に相当)も併記している。

図-1より、縦軸が普通軸の通常の流況曲線では、全体的に各流況曲線の差異がはっきりせず、特に降順位日数が10日以下の部分や200日以上ではその傾向が顕著となっている。図-2の縦軸が対数軸の通常の流況曲線では、図-1に比べ全体的に各流況曲線の差異がはっきりと描かれ見やすくなっているものの、1.で述べたように河川流況で特に重要となる洪水および低水部分の流量の差異が明確ではない傾向にある。

## (2) 高水または低水流量を重視した流況曲線

まず、降順位日数が100日以下のような高水部分(特に10日以下のような洪水部分)の差異を重視する方法としては、横軸の降順位日数を単純に対数軸とする方法が考えられる(図-3参照)。これより、例えば、年間総流出量の上位四分位、中央値、下位四分位に相当する年(それぞれ、1962年, 1988年, 1960年)については、最大日流量(降順位第1位)はほとんど同じであること、降順位日数が2日以降10日までは、上位四分位の1962年の流量は明らかに大きい、中央値の1988年のそれは下位四分位の1960年よりも小さいことなどが明確に読みとれる。また、年間総流出量が最小および第2位の1978年, 1994年(渇水発生年)を比較すると、両年とも最大日流量は同程度であるが、他の年の流況曲線に比べると非常に小さいことや、降順位日数が80日くらいまでは1978年の日流量の方が明らかに小さいことな

どが分かる。しかし逆に図-3では、降順位日数が300日以上での低水部分の差異は圧縮され、渇水流量などの利水特性の把握は困難となる。

そこで、渇水流量などの利水特性の差異を明確に把握するため、日流量を昇順に並べその昇順位日数を対数軸に取ってみる(図-4参照)。これにより今度は低水部分が拡大されるので、例えば、年総流出量最小の1978年渇水と1994年渇水の低水部分での流況の差に関しては、最小日流量は1994年の方が僅かに大きいものの、昇順位日数2以上200日弱までの日流量は1994年の方がかなり小さいことなどが分かり、その利水特性の差異が明確となっている。また、下位四分位1960年の日流量に関しては、昇順位日数7日までは1994年よりも小さく、8日以降約60日までは1994年とほぼ同様の低流況であったことなどが明確となっている。しかしその反面、昇順位日数が300日以上での高水部分は圧縮され、洪水流況特性の差異の把握は困難となる。

## (3) 昇降順対数流況曲線

森林による流出量の平準化機能の評価や河川流況の長期変動解析などにおいては、渇水流量や洪水流量のような極値部分の差異が共に重要な要素となる。しかし、通常の流況曲線では、前述のようにすべての部分が同じ重みで描かれるため、低水および洪水部分の差異が強調されずかき消されてしまう傾向にあった。また、降順位日数や昇順位日数を対数軸に取ると、高水または低水部分のどちらか一方の流況曲線の差異は強調され明確になるものの、もう一方の部分が圧縮されその部分の流況特性把握が困難となった。

さてここで、重要となる低水および高水部分を共に拡大して強調するために、例えば、横軸の流況曲線の日数を正規確率紙<sup>12), 13)</sup>のように目盛ることも考えられる。すなわち、正規分布の確率変数に対し、その確率積分値を目盛った軸を流況曲線の横軸に取り、各降順位(または昇順位)日数の超過確率(ま

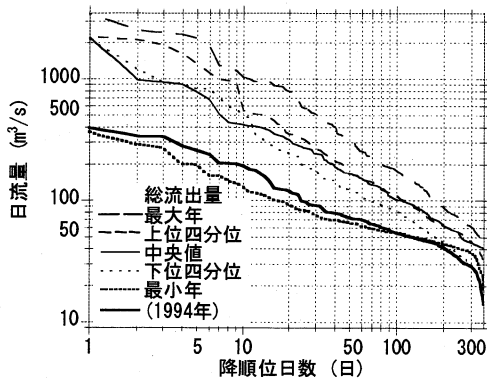


図-3 降順位日数を対数にとった流況曲線

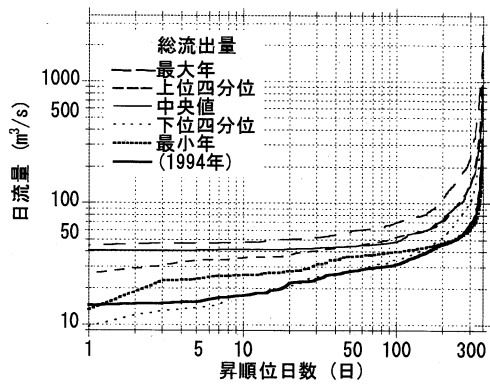


図-4 昇順位日数を対数にとった流況曲線

たは非超過確率)に対応する所にその日流量をプロットすることも一法と考えられる。しかし、単純さや作成し易さそして極値の拡大の度合いなどを考慮すると、降順位日数を対数軸に取った場合(図-3)の前半部分(すなわち降順位日数第183日までの部分)と、昇順位日数を対数軸に取った場合(図-4)の前半部分(すなわち昇順位日数第183日までの部分)をつなぎ合わせるという方法の方が好ましいと考えられる。そしてこの場合、昇順位日数の前半部分を横軸の右から左方向へ対数目盛で取ったもの(すなわち図-4の昇順流況曲線を183日のところで軸対象としたもの)を、降順位日数を対数軸に取った場合の前半部分と中央でつなぎ合わせるなどが考えられる。

しかし最終的に、ここでは図のスペースの有効利用や見易さ、そして作成のし易さなどを考慮し、降順位日数および昇順位日数の前半部分を同時に同じ対数軸上にプロットする方法を提案したい。すなわちこれは、図-3、図-4の横軸の183日目までを同じグラフ上にプロットする簡単な方法である。ここでは、この方法による流況曲線を「昇降順対数流況曲線」と呼ぶこととし、図-1、図-2に対する昇降順対数流況曲線を図-5に示している。図-5より、昇降順対数流況曲線は、昇順位・降順位共に183日で折り返す「逆くの字」型の流況曲線となることが分かる。なお、閏年以外の通常年では、昇順位・降順位日数第183日の日流量は同じであるので、そこには1つの点がプロットされるが、閏年の場合はそれぞれ異なる日流量(実際はほとんど同じ値)となるので2つの点がプロットされることになる。

### 3. 考察

図-5の昇降順対数流況曲線を、図-1、図-2の通常の流況曲線と比較すると、まず流況曲線が図の広い範囲に広がっており、各流況曲線の差異が、特にそ

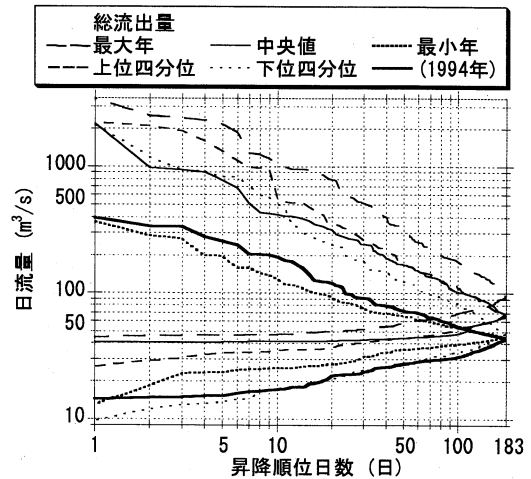


図-5 昇降順対数流況曲線

の低水および高水部分において拡大強調されているのが分かる。その結果、2.(2)で詳しく述べたような各年の流況曲線の高水および低水部分の特性の差異が共にはっきりと見分けられるようになっている。その反面、昇降順位日数が100日以降の部分はかなり圧縮されている。この圧縮部分に関しては、図-2の通常の流況曲線の降順位日数100日~250日の部分に見られるように、流況曲線の傾きが他の部分と比較して小さい部分に対応している。

さて、河川流量を河川利用の立場から、河川流量の特質を簡潔に表す流量として、最大流量、豊水量、平水量、低水量、渇水量、最小流量などの流量がしばしば用いられる<sup>2), 5), 13)</sup>。最大・最小流量は、ある1年の最大・最小流量のことで、これは図-5の昇降順対数流況曲線における昇降順位日数第1日の値としてそれぞれ容易に求められる。

豊水量、平水量、低水量、渇水量は、それぞれ、1年のうち、それぞれ95日、185日、275日、355日はこれより減少することのない流量として教科書には定義されている<sup>2), 13)</sup>。また土木用語辞典<sup>1)</sup>には、例

例えば渇水量は、「年間を通じて355日間はこれを下  
がらず、これより少ない日は10日を越えないような  
河川の流量。その河川の流況特性を示すための1つ  
の統計量。渇水流量と同様」と書かれている。これ  
を厳密に解釈すると、渇水量とは、1年間が365日の  
通常年においては、大きい方から355番目の流量以  
下で356番目より大きい流量（もしくは小さい方か  
ら10番目より大きく11番目以下の流量）というよ  
うに幅を持った値となる。また閏年においては、大  
きい方から355番目の流量以下で357番目より大  
きい流量（もしくは小さい方から10番目より大  
きく12番目以下の流量）というような幅を持った  
値となる（この場合、上記土木用語辞典の前半部  
を「年間を通じて少なくとも355日間はこれを下  
がらず」と解釈している）。なお、例えば渇水量を  
、「流況曲線上で大きい方から355番目（小さい方  
からは10番目）の日流出量」と直接ある値とし  
て書いてあるもの<sup>5)</sup>もある（ただしこの場合、大  
きい方から355番目と小さい方から10番目は異  
なる値となる）。

いずれにしても、豊水量、平水量、低水量は、  
それぞれ流況曲線上では実質的に上位四分位数、  
中央値、下位四分位数に相当し、渇水量は小さ  
い方から10番目程度に相当する流量である。よ  
って、図-5の昇降順対数流況曲線において、実  
用上、渇水量は昇順位日数10日の値（厳密には  
通常年では11日、閏年では12日）、豊水量、  
低水量は昇順位・降順位日数が共に100日付  
近の値、そして平水年は図の一番右側（昇順  
位・降順位日数が183日）の値として目算  
できる。その結果、例えば1994年渇水の場合、  
最大流量、豊水量、平水量、低水量、渇水量、  
最小流量は、それぞれおよそ400, 55, 45, 30,  
17, 15 (m<sup>3</sup>/s)と容易に目算できる。

#### 4. むすび

本論文では、河川流況で特に重要となる高水  
および低水部分を拡大し、この部分でのいくつ  
かの流況曲線の差異が明確となり、流況曲線  
同士の比較が容易にできるように、通常  
の流況曲線を修正する方法

を提案した。ここではその修正した流況曲線を  
「昇降順対数流況曲線」と名付け、これに至  
った過程とその特性について、実際の流量  
データを用いて検討を行った。その結果、  
本流況曲線により、各年の流況曲線の  
高水および低水部分の特性の差異が共  
にはっきりと見分けられるようになるこ  
と、河川流況の特質を簡潔に表わす  
いくつかの代表流量（渇水量など）を  
容易に目算できることなどを示した。  
今後、河川実務者などに本昇降順対  
数流況曲線を試用して頂き、その有  
用性を確かめて頂ければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) 土木用語辞典編集委員会編：土木用語辞典，土木学会，コロナ社・技報堂，p.567, 1971.
- 2) 御牧陽一：新体系土木工学 93 エネルギー施設(I)水力発電・送電，土木学会，技報堂出版，1980.
- 3) Fennessey, N. and Vogel, R.M.: Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.116, No.4, pp.530-549, 1990.
- 4) 杉山博信, Botou, A., Whitaker, A. C., 平井省悟：水源域における流況評価のための確率流況曲線に関する考察，農業土木学会論文集, No.213, pp.33-42, 2001.
- 5) 太田猛彦, 服部重明 監修：地球環境時代の水と森，日本林業調査会，藤原印刷，2002.
- 6) 小池順也, 河村明, 神野健二：渇水持続曲線からみた平成6年の筑後川の流量に関する考察，土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.202-203, 1998.
- 7) 河村明, 神野健二, 小池順也：福岡導水事業前後の筑後川流量の利水特性の変化，水文・水資源学会 1998 年研究発表会要旨集, pp.74-75, 1998.
- 8) 久野祐輔, 河村明, 神野健二：筑後川河川流況の長期的変動特性について，第6回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.189-194, 2002.
- 9) 河村明, 久野祐輔, 神野健二：渇水および水資源開発事業による筑後川流況の変動特性，水道協会誌, 第73巻, 第7号, 2004. (掲載決定)
- 10) 国土交通省（建設省）河川局編：流量年表
- 11) 上田年比古, 河村明：確率分布の適合度の図式判定法について，土木学会論文集, 第357号/II-3, pp.243-246, 1985.
- 12) 岩井重久, 石黒政儀：応用水文統計学，森北出版，1970.
- 13) 篠原謹爾：河川工学，共立出版，1975.

(2003. 10. 15 受付)

## PROPOSAL OF ASCENDING AND DESCENDING ORDER LOGARITHMIC FLOW-DURATION CURVE

Akira KAWAMURA, Yusuke KUNO and Kenji JINNO

Flow-duration curves are often used as the basis for grasping the hydrological regime. The flow-duration curves by ordinary procedure are usually quite hard to distinguish the difference of one curve from others especially at their high and low flow days. In this study, the new graphical procedure for the flow-duration curves is proposed, in which high and low flow days are both enlarged in a logarithmic way to easily differentiate several flow-duration curves. This is termed "ascending and descending order logarithmic flow-duration curve" from its simple procedure. The process of reaching this idea is described and the characteristics and usefulness of these flow-duration curves are investigated by comparing with the ordinary ones using the Chikugo river discharge data as an example.