

II-22 世界の河川量の変動とその平均化に関する考察

香川大学工学部 フェロー会員 ○吉野文雄

1. はじめに

世界の河川の流出量データの時系列特性を調べ、月流出高の分布とその長期の変化傾向の分析、およびその流況を平均化するのに必要な貯水容量を評価し、その相違から河川流況の違いを分析した。その結果を、流況の平滑化の観点から要約して以下に報告する。

2. 使用したデータ

世界のいくつかの河川の流出量のデータは、世界河川流量データセンター (GRDC, Global Runoff Data Centre) から提供されたものである。ここでは、GRDC に集められているデータのうち、流域面積が 25,000 km² 以上で、かつ 60 年以上の観測期間を持つ観測所の月平均流量データを入手して使用した。この条件にあう観測所は世界全体で 144 観測所あった。ここではできるだけ長期の変動を見るために 1800 年代初めからのデータを用いた。年の流出量は月平均日流量 (m³/s) を年流出高 (mm) に変換して解析に使用した。

3. 水資源の利用率と貯水池容量の関係

いま何年分かの月流量の時系列が与えられているとき毎月一定の q ずつを利用するためには、いくらの貯水容量 V が必要であるかを数値的に求めることにする。ただし、貯水池は最初満水状態にあったとする。利用水量 q の値を変えて計算をくり返せば、 V は q の関数で求められる (菅原正巳:「水資源の変動様相に関する調査報告書」(科学技術庁資源調査会報告第 34 号, 昭和 40 年 10 月 19 日, 科学技術庁資源調査会)。

ある河川の流量を (ここでは月流出高の時系列を使用する)

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

とする。この川の水を年間を通じて平均に q ずつ利用する場合、系列 $\{x_i\}$ の最小値が利用水量 q より大であれば問題なく q は取水できるが、そうでなければ貯水池を造り不足分を補給する必要がある。計算は水の利用率 $\lambda = q / (\bar{x})$ ($\bar{x}$ の平均値) を 10% から 10% きざみで 100% まで 10 通り実施した。ここでは期間を 30 年ごとの区間に分けた場合の違いを見るために期間毎の値を貯水容量 V が利用水量 q の何ヶ月分に相当するかを表す値 (これを貯水池規模 n とする) で表して、この関係を n - λ 関係と表すことにする。

この計算において注意しなければならないことは利用水量 q を年間を通して一定と仮定していることである。現実には水利用は季節的な変動 (農業用水で顕著にあらわれる) をするので、 q の季節変化を与えることが必要になる。ここでは季節変化は無視していることを断っておく。

計算結果によれば、長期データの n - λ 関係は、当然なことながら短期データの n - λ 関係を含む最大の n を与えるものとなること、30 年程度の分割期間のデータをくらべるとその前後の期間における流況の変化が判断されること (例えば、Missouri の Hermann では 1931-1960 の期間に 1897-1988 の間の相対的な渇水期間が含まれていること、Yonding の Guanting では Guanting ダムの完成後、 λ の低いところ (30% 以下) で流況が改善され、それ以上では逆に大きな n を必要とするようになったこと) といった特徴が見て取れる。

同様な分析を行なった例を示すと、Nizer 川の Koulikoro (流域面積 120,000 km²) では、平均月流出高 31.67 mm に対し、その 10% の水資源を利用する場合には 3.5 カ月の貯留容量を必要とすることになる。これに対し、Rhein 川の Koeln (流域面積 144,323 km²) では、平均月流出高 37.89 mm に対し、約 4 カ月の貯留容量でその 60% の水資源を利用できることになる。流域面積、平均月流出高とも大差はないが、同程度の貯留容量でも水資源開発量に 7 倍の開きがあることになる。これは、Rhein 川の流況がたいへん安定していて、変動が少ないことによるものである。

4. n - λ 関係の考察

河川の流出高は年間を通して変動するとともに、10 年、あるいはもっと長い年数でも変動している。したが

ってある年の変動の結果はその次の年では異なることが予想される。そこで、長期間のデータによる分析が水文データの解析では必要とされるが、長期に渡ってのデータを入手することは困難であることから、最低限どの程度の年数のデータであれば安定した答えになるものか、検討を必要にする。

そこで、入手できた最長のデータ記録をもつライン川（ケルン地点）のデータ（172年間）を対象に、データ期間を分割した影響がどの程度生ずるかを調べて見た。ライン川では1817年から1996年のデータがある。これを、

- 二期間(1817-1900, 1901-1987)に分けた場合、
- 30年間隔に分けた場合
- 10年間隔に分けた場合

について、計算した。計算では全データの平均月流出高を用いて各分割期間の計算を行う場合と、各分割期間毎の平均月流出高を用いて計算する場合で n - λ 関係が異なってくる。

長期間の全平均値を対象に平滑計算を行うと、区間毎の流況の安定性を評価することが可能になる。ライン川では1817-1996年の平均月流出高37.89 mmを対象にすると、

- $\lambda=30\%$ の開発水量であれば n は0であること、すなわち平滑化は必要がないこと、
- $\lambda=40\%$ の開発水量で1ヶ月弱、50%の開発水量には2ヶ月弱の貯留容量を必要にすること、
- 1871-1900年の流況がもっとも安定的であって、1901-1930年の流況がもっとも平滑のための容量 n を必要とすること（この期間に1921年のような異常に少ない流出年を含むためである）

という結果が得られる。

各分割区間毎に独立した時系列として考えると、

- 30年間のデータでは期間ごとの平均月流出高は10%程度の差を示す。
 - 19世紀と20世紀の分割では20世紀のほうが若干、流量変動が大きい、という結果となっている。
- 10年の期間のデータでは同様に
- 月平均流出高の違いは25%程度になること、
 - λ が70%以下では1921-1930期間の n が最も大きくなり、1921年の異常渇水年を反映していること、
 - 10年データは水資源評価のためには短すぎること、

を読み取ることができる。

ライン川で実施された各種の河川工作物の影響が流況に反映されることを期待したが、30年毎に区切ったデータ系列からは優位な相違は見いだせなかった。これは、ライン川のKoeln(120000 km²)程度の流域であれば、月流出を対象にした場合に、人為的な影響を分析できないことを意味している。

Niger川の月流出高の変動をみると、

- 1961年から1987年の月平均はそれ以前のものに比べ雨季（6月から12月）における流出高が全体的に5～15mm程度小さいこと、
- 流量の平均化の点からみると、 $\lambda=50\%$ 程度までの平均化には $n=6$ ～7ヶ月程度の貯留容量で良いので、この流量減少は影響しないが、それ以上の平均化には1年程度以上の貯留容量を必要とするようになり、急激にこの流量減少の影響が顕著にあらわれること、

が判断される。この結果は全体の期間の平均流出高に対する開発水量をもとにして計算したためであって、期間毎の平均値に対する結果からは、1960年以降の流出減少が強く影響していることが読み取れる。

- Niger川のKoulikoro地点の長期の年流出高の変動を見て直感的に判断されることは、25年～30年の周期性があるように見えることである。このことは25～30年の移動平均を行うと変動がほとんど平滑化されることから明らかで、30年程度の長期の周期的な変動を示すようである。したがって、近年の1960年以降の流出量の減少も1990年代には回復するであろうと予想される。