

法政大学 正会員 西谷 隆亘
法政大学 正会員 牧野 立平
法政大学 学生会員 芦野 昇

1. 流出率は何故必要か。

水循環過程が定量的に明解であるならば、流出率の概念は必ずしも必要とはならないだろう。すなわち、水文過程が定性的にしか判明していない故に、または、水循環における個々の相での観測が不可能であるが故に、全流量としては分っているが、対象流出成分の定量的把握が困難である場合のみ、流出率は有用となる。

$$\text{一定期間の総流出量} = \text{流出率} \times \text{同期間の総降水量} \quad (1)$$

$$\text{一出水の総流出量} = \text{流出率} \times \text{当該出水の総降水量} \quad (2)$$

$$\text{一出水の総直接流出量} = \text{直接流出率} \times \text{当該出水の総降水量} \quad (3)$$

$$\text{一出水の総表面流出量} = \text{表面流出率} \times \text{当該出水の総降水量} \quad (4)$$

流出率が既知であれば、式から総降水量を観測することにより対象流出成分の総量が知れる。逆に、流出率も式を用いて、既知データから推算できる。

ところで、一般に、流量には当該期間流量の直接の原因となる降水によるものとそれ以前の降水に由来する基底流出の両方が含まれている。流出率を考える場合、対象流出成分にはその源となる降水以外の降水によるものが含まれていては意味がないことは自明のことである。そこでは流出成分の分離が必須となる。しかしながら、各流出成分の定量的な定義は流出計算の方法により異なるので、流出率の一般的な値は、計算方法を抜きにしては議論できない。流出解析を行うには、各時刻での流出率が必要であるが、流出率は流域の水文条件に応じて、時々刻々変化すると思われる。古典的には、全体の流出率(2)、(3)、(4)を援用しているが、変化に対応する工夫もなされていて、例えば、一次流出率、飽和雨量などの考え方が導入されている流出計算法もある。

2. 流出率を如何に定めるか。(ハイドログラフの分析)

出水時のハイドログラフは、基底流出と直接流出とから構成される(図1)。曲線(1)は出水がないとした場合の逓減曲線で基底流出、曲線(2)は新たなる出水による逓減曲線である。図2において斜線で示される部分の流量の和が、当該降雨による出水量である。これは、また、直接流出でもある。曲線(3)は直接流出の中で、逓減部と同じ機構で流出すると考えられる成分である。逓減部は無限に続き、(3)から(2)へと連なる曲線は、やがて次の出水の基底流出となることを知るのである。

逓減曲線は流域毎に定まっていると仮定すると、等価な総流量は図3の斜線部の流量となる。これにより、一出水の総流出量が算定でき、流出率が求まる。

流出成分については、表面流出、中間流出など流出経路の定性的な推察に基づく成分の定義はあるが、定義そのものが曖昧であったり、現時点では複雑な水文現象の中での観測が不可能であったりするため、定量的には一義に決められない。

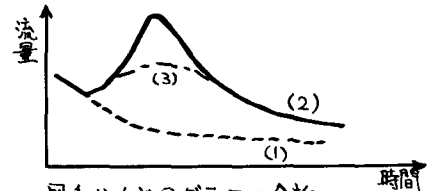


図1.ハイドログラフの分析

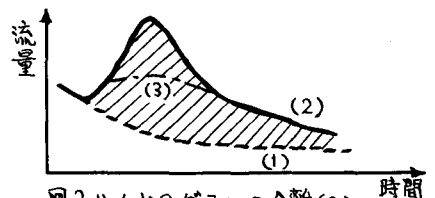


図2.ハイドログラフの分離(a)

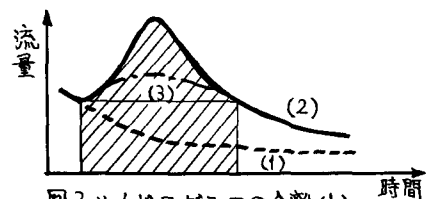


図3.ハイドログラフの分離(b)

3. 流出係数と流出率

尖頭流量算定式としては、合理式はほとんど唯一のものである。

$$\text{洪水ピーク流量 } Q_p = \frac{f}{3.6} rA \quad (5)$$

f : 流出係数 A : 流域面積(km²) r : 到達時間内の降雨強度(mm/h)

流出係数 f が既知だとし、到達時間を一定と考え、ハイドログラフより到達時間と等しい時間内の最大合計雨量を探し、 r の値とし、それにより最大ピーク流量を求めることができる。

(5)式は「到達時間以上の期間、継続して降雨強度 r の降水があった場合、それによって生ずる最大ピーク流量が Q_p である。」という意味であるが、実際の流量は先に見たように基底流量を含んでいるので、 Q_p は基底流量 Q_s と当該降雨により生ずるピーク流量 Q'_p との和である(図4)。

従って、次のような関係式を得る。

$$Q'_p = \frac{f'}{3.6} rA \quad (6)$$

f' : 流出係数に対応する流出率

$$Q_p = Q'_p + Q_s \quad (7)$$

(5)、(6)式より $Q_p/f = Q'_p/f'$ を得る。(7)式を考慮すると流出係数 f と流出率 f' の関係は次のようになる。

$$f = \frac{Q_p}{Q'_p} f' = \left(1 + \frac{Q_s}{Q'_p}\right) f' \quad (8)$$

(8)式によれば、 $f \geq f'$ である。流出率は $0 < f' \leq 1$ であるが、 Q_s が相対的に大きい場合、流出係数は $f > 1$ となる可能性があるので、注意する必要がある。

流出係数は基底流出が相対的に小さい場合のピーク流量に対しては流出率と同じだと見なしても可い。合理式が流出量算定のための唯一の計算式であった時代には、流出係数と流出率は同じ概念としても問題はなかったが、観測精度が向上し、流出解析の考え方が進んできたため、その区別が必要となってきている。

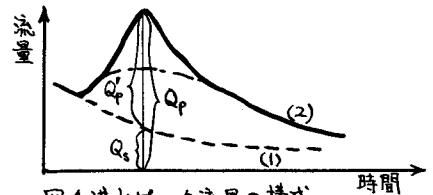


図4.洪水ピーク流量の構成