

貯留施設の機能評価のための水文地図とその利用例

Regional Analysis of Parameters in the Expressions of Efficiency of Urban Storages

近畿大学理工学部 加納 祐啓 Masanori KANO

近畿大学理工学部 江藤 剛治 Takeharu ETOH

Hydrologic maps are presented, which are used to estimate values of the parameters in the expressions of efficiency of urban storage facilities to control flood, water supply and quality. The expressions have been derived by the authors. AMeDAS, the automated meteorological data acquisition system of the Japanese meteorological agency, supplies hourly rainfall data at more than 1300 observatories deployed all over the Japanese islands, and enables to calculate the parameters. Examples to explain how to use the maps are also presented.

Keywords: regional analysis, hydrologic maps, storage facilities, AMeDAS

1. はじめに

以前より、各種の水水量を表示した水文地図の作成の必要性について述べてきた。本報告では、中小の河川流域を対象とした貯留施設の機能を評価するための水文地図を提示し、この利用法を示す。

著者らはすでに、貯留施設の機能を評価するための2つの式を導いた。

- ① 治水を目的とする場合：所与の治水安全度を確保するのに必要な排水施設の容量と貯留施設の容量との関係を表す等危険度線の式。
- ② 利水（および水質保全）を目的とする場合：雨水貯留施設の利水効果を表す利用率の式。

その後、これら2つの式について、必要なパラメーターの値を全国の雨量資料（アメダス雨量資料）を用いて求めてきた。これらの値を日本地図上に等高線で表示し、さらに、できあがった水文地図の利用法について検討してきた。今回、現時点で得られる一通りの水文地図が完成し、その利用法についても実用的と考えられる方式が固まってきたので報告する。

2. 作成した水文地図

① 治水を目的とする場合¹⁾

標準等危険度線の式は、次式で表される。

$$z_{or} / z_{or}^u = \{ (y_{or}^u - y_{or}) / y_{or}^u \}^s \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 y_{or}^u ：所与の治水安全度を排水施設だけで確保するのに必要な雨量換算排水容量。

z_{or}^u ：所与の治水安全度を貯留施設だけで確保するのに必要な雨量換算貯留容量。

s ： y_{or}^u と z_{or}^u をむすぶ曲線の曲率。

式(1)は、雨量単位で表されているので、これをもとの容量に変換するには次式を用いる。

$$y_o = f_p A i_s y_{or} / 3.6, \quad z_o = 1000 f A z_{or} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 A は流域面積 (km^2)， f は流出率， f_p はピーク流出係数である。 i_s はDD関係から決まる補正係数で、次式で表される。

$$i_s = a / (t_p^c + b) \quad (t_p \text{ は洪水到達時間}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

標準等危険度線を利用するのに必要なパラメーターは、 y_{or}^u , z_{or}^u , s , a , b , c の6つである。

② 利水（および水質保全）を目的とする場合^{2)~4)}

利用率の式は、次式で表される。

$$\varepsilon = C \{1 - \exp(-Z'_0 / C)\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$$Z'_0 = Z_0 - c_{zd} Z'_d + D T_r$$

$$Z'_d = Z_0 - 2 \cdot \ln \{2 - \exp(-Z_0 / 2)\}$$

$$\begin{cases} C = D, & c_{zd} = \sqrt{D} & (D \leq 1 \text{ のとき}) \\ C = 1, & c_{zd} = 1/\sqrt{D} & (D > 1 \text{ のとき}) \end{cases}$$

D , Z_0 , T_r は無次元量で表した単位時間当りの利用水量、貯留施設の容量、一雨流出継続時間であり、次式で表される。

$$D = \bar{t}_R \cdot d / \bar{V}, \quad Z_0 = z_0 / \bar{V}, \quad T_r = \bar{t}_r / \bar{t}_R \quad \dots\dots\dots (5)$$

利用率を求めるのに必要な諸量を表-1に示す。このうち、降雨特性から与えられるパラメーターは、 $\bar{r}$, $\bar{t}_R$, $\bar{t}_r$ の3つである。

表-1 利用率の計算に必要な諸量

降雨指標	平均一雨雨量	$\bar{r}$ (mm/hr)
	平均流出時間間隔	$\bar{t}_R$ (hr)
	平均流出継続時間	$\bar{t}_r$ (hr)
流出特性	流出率	f
	流域面積	A (km ²)
施設容量	貯留容量	z_0 (m ³)
	単位時間当たりの使用水量	d (m ³ /hr)
注	平均一雨総流出量	$\bar{V}$ (m ³)
	流出率 f は不透透面積率にほぼ等しい	$= 1000 \cdot f \cdot \bar{r} \cdot A$

3. 水文地図の作成法

著者らは、アメダスの観測点での各種水文量の値の大きさによって色分けをした水文地図を作成してきた⁵⁾⁶⁾ある地点の持つ各種水文量の値が簡単に利用できるようにすることが水文地図作成の目的の1つである。色分けによる水文地図からある地点の数値を読み取るとは困難である。数値で表すため、等高線で描くことにした⁷⁾。これまでは手作業で等高線図を作成してきたが、この方法では個人の主観が入ってくる。また非常に多くの労力が必要になってくる。したがって、コンピューター・グラフィックスを用いて自動的に等高線図を描く方法を試みた。

一定間隔のメッシュ情報から等高線を描くことは比較的簡単である。しかし、アメダスの観測所は、全国均一には設置されていない。また、1976年から1985年の10年間の資料すべてが使用できる観測所は、1317観測所の内778観測所だけである。観測所の数は約6割になり、特に多雪地域ではまばらな状態になる。この状態のまま等高線図を描くのは困難である。さらに、今後観測所の移動・増加・減少等があった場合に、それに対応していくことも困難になってくる。ここでは、メッシュ情報をアメダス観測点から推定し、等高線を作成する。ディスプレイの精度の関係からメッシュ幅は6分とした。

ある地点の気象特性は、周辺の観測所の資料から推定する。対象とする地点から半径50km以内の観測所を推定に用いた。理由は以下の通りである。

観測所のない地点の値を推定するので、できるだけ多くの観測所の資料を用いた方がよい。半径を大きくとれば、多くの観測所の資料を用いることができる。しかし、地点間の雨量の相関係数は、近似的に、距離が大きくなるにつれて指数関数的に減衰すると考えられる。相関性を判断する場合、一般に相関係数の2乗が実感としての相関の強さに対応していると言われている。相関係数が0.3のとき、その2乗は0.1以下となり、ほぼ相関がないと判断してもよいであろう。北海道の各時間単位の年最大雨量資料について、指数関数を当てはめた。それより、相関係数が0.3になる距離を求めた。この距離は、雨量の時間

単位が大きくなるにつれて大きくなる。しかしある時間単位になると、その距離は一定となる。これを図-1に示す。約5時間より大きな時間単位になると、相関を無視できる距離は時間単位に関係なく一定になる⁸⁾。半径 50km 程度までは相関がかなり高く、推定に用いてもよいであろうと考えた。

あるメッシュの交点から半径 50km 以内にあるアメダス観測所の数値を用いて、その地点の値を推定する。以下にその式を示す。

$$H_i = \frac{\sum_{j=1}^n (h_j / L_j^2)}{\sum_{j=1}^n (1 / L_j^2)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

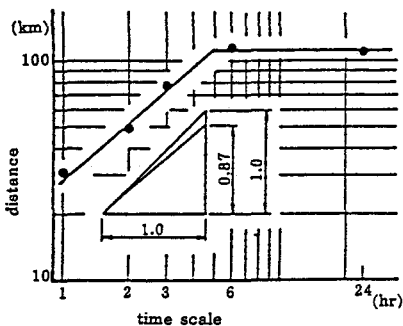


図-1 時間規模と距離との関係

ここに、 n は i 番目のメッシュの交点から半径 50km 以内のアメダス観測所の数、 h_j は j 番目のアメダス観測所が持つ各種水文学の値、 L_j は i 番目のメッシュ点と j 番目の観測点との距離である。すなわち、あるメッシュの交点から半径 50km 以内にあるアメダス観測所から、距離の 2 乗に反比例させて、そのメッシュの交点の数値を決めている。観測所の数 n が 4 以上になるメッシュの交点でのみ数値を求め、等高線を描くための情報として使用した。

4. 治水を目的とした場合の水文地図の利用例

作成した水文地図を図-3に示す。平均再帰間隔5年のものを示している。1例として、図中矢印の地点を対象として考える。図より、 $y_{or}^u = 30 \text{ mm/hr}$ 、 $z_{or}^u = 100 \text{ mm}$ 、 $s = 3.8$ であることがわかる。これらのパラメーターの値を式(1)に代入することによって標準等危険度線を描くことができる。

降雨量時系列において、降雨継続時間とピーク雨量との間に相関はほとんどない。この場合、地域にかかわらず、理論的に $s = 3 \sim 3.2$ になる⁹⁾。 s の水文地図をみると、ほとんどの地域で3以上になっている。表-2に s の値の統計量を、図-2にその頻度分布を示す。実測値から得られた s の値の平均値は、3.67 になっており、理論よりやや大きい、ほぼうまく一致している。

表-2 s の統計量

平均値	3.674
標準偏差	0.742
最大値	10.000
最小値	1.691

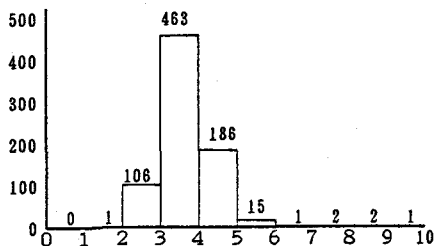


図-2 s の頻度分布

s の値として小さい値を採用する方が安全側の計画を策定することになる。計画段階では $s = 3$ の値を用いれば、ほとんどの地域で安全側の計画になる。約 1 割の地域で、 s の値が3より小さくなっている。その地域では水文地図から得られた値を用いればよいであろう。 s の値は平均再帰間隔にかかわらずほぼ同じ値になる。

標準等危険度線は雨量単位 (mm/hr と mm) で表されており、これからもとの流量単位に戻すには、式(2)中の i_s (基準化降雨強度と呼ぶ) が必要になってくる。これは、式(3)で使われているパラメーター a 、 b 、 c の値をそれぞれの水文地図から求め、代入することで得られる。図より、 $a = 1.8$ 、 $b = 0.8$ 、 $c = 0.7$ であることがわかる。これらの値は平均再帰間隔が変わってもほとんど同じである。

s 、 a 、 b 、 c の値は異なった平均再帰間隔であってもほぼ等しいので、平均再帰間隔の異なった等危険度線を描く場合においても、必要な平均再帰間隔の y_{or}^u 、 z_{or}^u の水文地図を加えるだけでよい。また、 y_{or}^u 、 z_{or}^u を求めるときの確率分布関数に使用されているパラメーターの値を水文地図として表しておけば、色々な平均再帰間隔の y_{or}^u 、 z_{or}^u の水文地図を作成しなくてもよい。

作成した標準等危険度線図の利用法については、参考文献1)、10) に詳しく述べている。

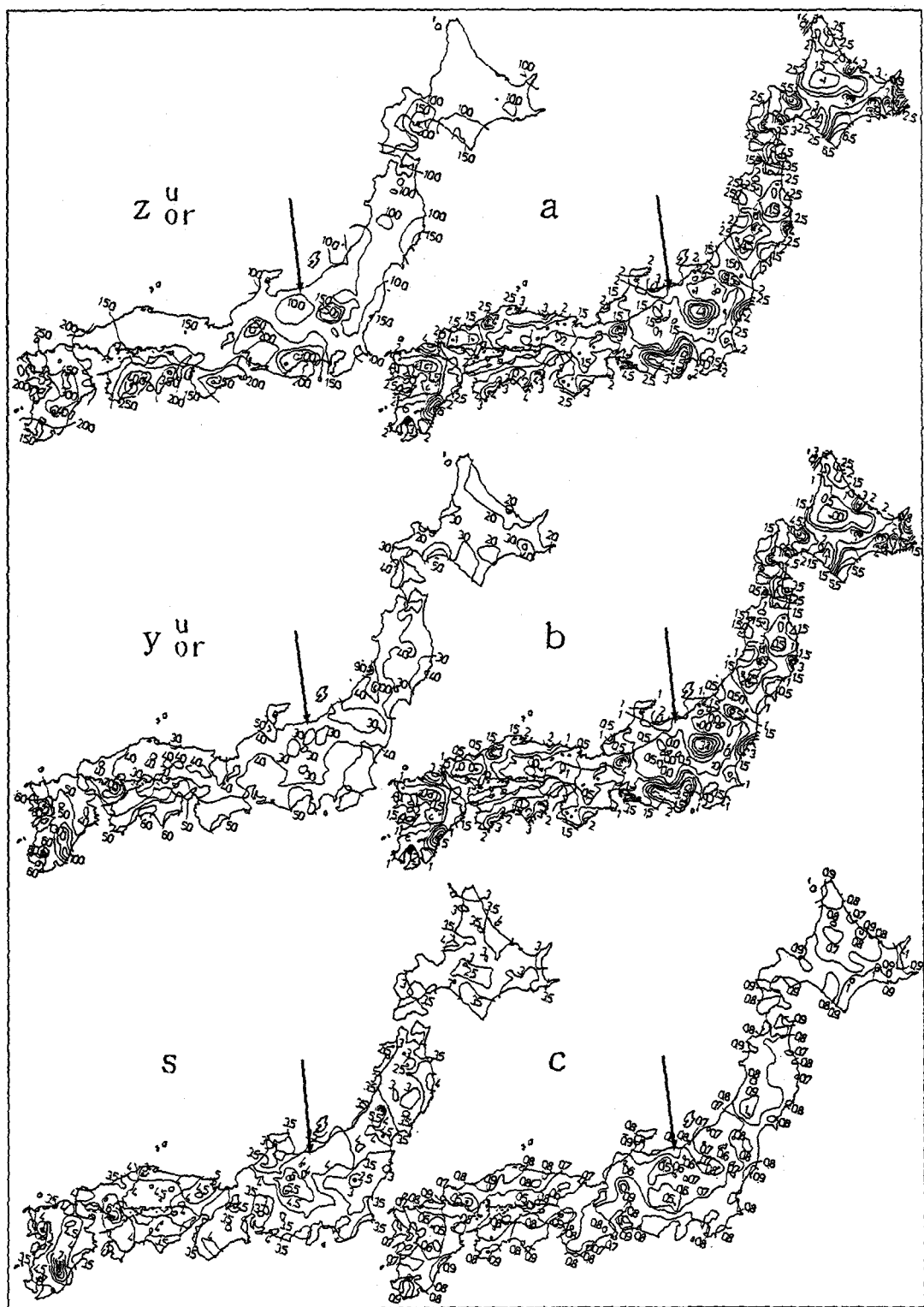


図-3 治水を目的とした水文地図

5. 利水（水質保全）を目的とする場合の水文地図の利用例

都市河川流域においては、ハイドログラフとハイエトグラフの相似性が極めて高く、雨量資料を用いて必要なパラメーターを表しておけば、流域面積の変化等に簡単にかつ有効に利用できる。このことは、標準等危険度線を作成するための議論においてすでに明らかにしている¹⁾。同様に、利水を目的とする場合においても、上記のパラメーターを雨量単位で表しておけば、これも簡単かつ有効に利用することができる。

たとえば、利用率の式については、結果として時間雨量時系列に次のような微修正をほどこした後の時系列を用いる。無降雨状態が3時間以上継続した時、その前後の雨は別々の一雨とする。都市河川流域においては、ある一連の降雨が生じたとき初期に 2mm 程度の損失（凹地貯留）があることが知られている。すべての一雨降雨から初期損失として最初の 2mm を差し引く。したがって、2mm 以下の一雨は、流出しないものとする。このようにして作成した降雨量時系列を使って上記のパラメーターの値を求める。 $\bar{V}$, $\bar{t}_R$, $\bar{t}_r$ をそれぞれ、平均一雨雨量、平均一雨時間間隔、平均一雨継続時間を使って表示する。 $\bar{t}_R$, $\bar{t}_r$ はそのまま利用できる。 $\bar{V}$ については、流出係数、流域面積がわかれば簡単に換算できる。

作成した水文地図を図-4, 5に示す。4. の場合と同様に、図中矢印の地点を対象として考える。

たとえば貯留容量 $z_0 = 500 \text{ m}^3$, 利用（目標）水量 $d = 5 \text{ m}^3 / \text{hr} (= 120 \text{ m}^3 / \text{day})$, 流域面積 $A = 15,000 \text{ m}^2 = 0.015 \text{ km}^2$ とする。水文地図より、平均流出継続時間 $\bar{t}_r = 7.0 \text{ hr}$, 平均流出時間間隔 $\bar{t}_R = 160 \text{ hr} (= 6.67 \text{ day})$, 平均一雨雨量 $\bar{r} = 14 \text{ mm}$ が読み取れる。表-1中の式に $\bar{r}$ を代入すると、平均一雨総流出量 $\bar{V} = 168 \text{ m}^3$ となる。

式(5)によりこれらを無次元化すると、 $D = 4.76$, $Z_0 = 2.98$, $T_r = 0.044$ 。これを式(4)に代入すると、利用率 $\varepsilon = 90\%$ になる。実際に利用できる水量は平均して $120 \times 0.9 = 108 \text{ m}^3 / \text{day}$ 。上水道から補給すべき不足水量は、平均すると $120 - 108 = 12 \text{ m}^3 / \text{day}$ 。ただし貯留施設が空になったとき補給するので、補給パイプの容量は利用（目標）水量 d に等しく、 $120 \text{ m}^3 / \text{day}$ でなければならない。すなわち雨水貯留施設は、本来の水源であるダムの水の使用量の低下、すなわち水位の低下には若干ではあっても寄与するが、一旦渇水時に入ったときは、雨水貯留施設に依存していた水量の全てが上水道に依存することになることを注意しておく。貯留施設が空になって、上水道から給水する期間の率は、 $100 - 90 = 10\%$ である。逆に利用率と、利用（目標）水量を与えて、必要貯留容量を求めることなども容易である。

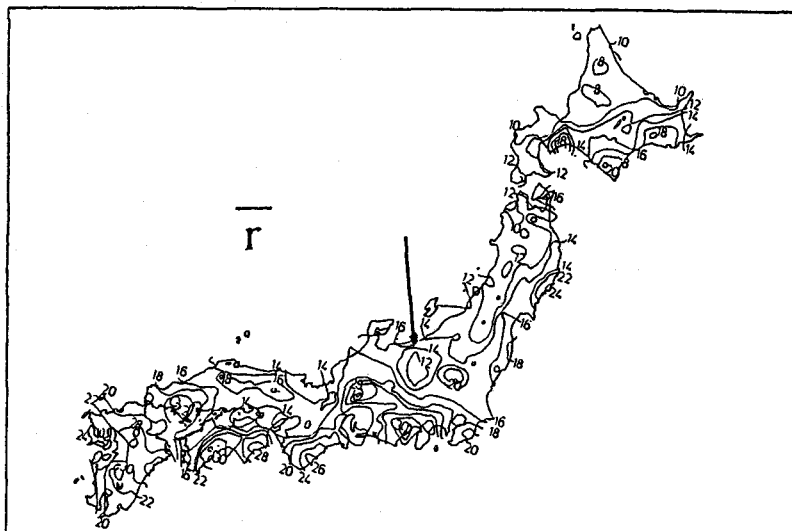


図-4 利水を目的とした水文地図

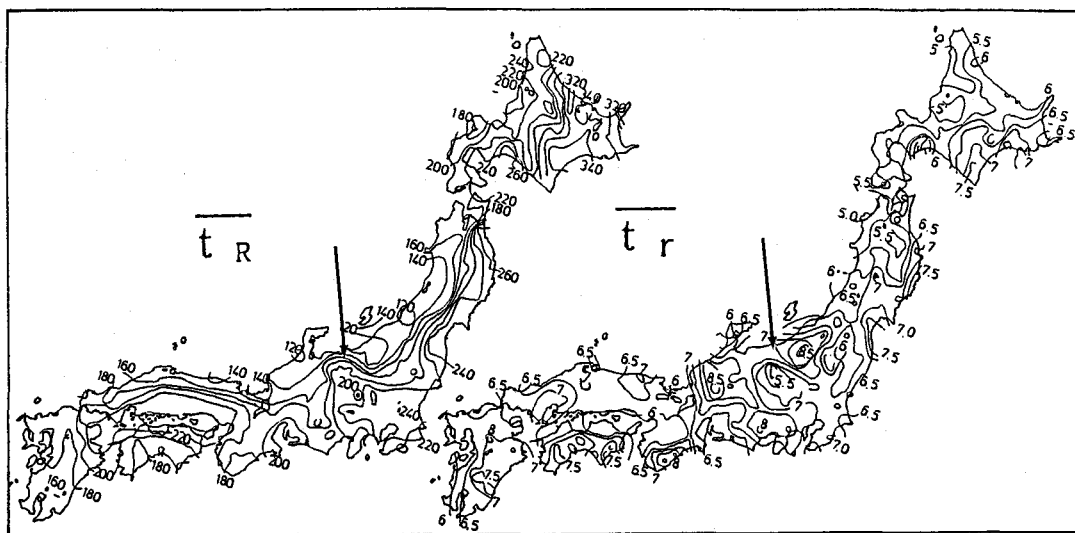


図-5 利水を目的とした水文地図

6. おわりに

中小河川流域に構築された雨水貯留施設の治水・利水機能を評価するための水文地図が完成した。この水文地図の利用法について示した。

アメダスの観測所のように、全国に散在する観測所の資料から等高線を描く手法を示した。

〔参考文献〕

- 1) 室田明・江藤剛治・中西祐啓：標準等危険度線による都市河川の治水安全度評価，土木学会論文集，No.369/11-5，pp.155-164，1986.
- 2) 江藤剛治・栗田秀明：雨水貯留施設の利水効果，第31回水理講演会論文集，pp.283-286，1987.
- 3) 江藤剛治：雨水貯留施設の治水・利水および水質改善効果，第3回水資源に関するシンポジウム，pp.155-160，1987.
- 4) 加納祐啓・江藤剛治：AMeDASによる水文地図の作成例—雨水貯留施設の利水効果を評価する場合—，土木学会第43回年次学術講演会，pp.154-155，1988.10.
- 5) 江藤剛治・中西祐啓：水文地図作成の試み—雨水貯留施設の機能評価を目的とする場合—，土木学会第42回年次学術講演会，pp.2-3，1987.
- 6) 加納祐啓・江藤剛治：AMeDASによる水文地図の作成例，土木学会第43回年次学術講演会，pp.154-155，1988.
- 7) 江藤剛治・中西祐啓・池田吉隆：AMeDASによる等危険度線マップの作成，第31回水理講演会論文集，pp.265-270，1987.
- 8) 中西祐啓・江藤剛治：北海道の大雨の頻度，近畿大学理工学部研究報告，第22号，pp.47-55，1986.
- 9) 江藤剛治・室田明・柳本速雄：貯留施設と排水施設を併用した高水計画の安全性，第28回水理講演会論文集，pp.359-367，1984.
- 10) 中西祐啓・室田明・江藤剛治：貯留施設の治水効果に関する実際的な評価の例，第29回水理講演会論文集，pp.311-316，1985.