

1. はじめに 従来より、水文頻度解析には対数正規分布、Gumbel分布など上限無限大の確率分布が多く用いられてきた。しかしながら、これらは慣用的に多用されてきた側面もあり、必ずしも物理的根拠が明確なわけではない。これまでに、降水・流出量には物理的に可能な上限値が存在するはずであるという考えから、上下限ともに有界の確率分布を水文頻度解析に適用することが行われてきた。そこで本研究では、水文学の分野においてまだ十分に吟味されていない、上下限値を持つ極値分布(EVLUB分布)を採用し、従来の上限無限大のモデル(3母数対数正規分布)や、これまでに検討されている両側有界のモデル(Slade型4母数対数正規分布)を用いた場合と比較し、その特性を明らかにする。さらに、両側有界分布を採用することにより、確率水文学量(100年確率降水量など)の推定精度がどの程度向上するのかを例示する。

2. 水文頻度解析 対象とする水文量の所与の値に対するリターンピリオドを求める、あるいは所与のリターンピリオドに対応する水文量の値(確率水文学量)を求める際に用いる確率分布を水文頻度解析モデルと呼ぶ。水文頻度解析モデルとしては、様々なものが提案されている。

工学分野で多様されている分布として、上下限無限大のGumbel分布、下限値のみ有するFrechet分布、そして上限値のみ有するWeibull分布がある。自然現象を考えると、その物理量には何らかの上・下限値が存在するはずである、という考えに基づき、これら3つの分布から経験的に求められ、神田(1981)によって地震動や風速の最大荷重強度を表すための確率分布モデルとして紹介された両側有界の極値分布¹⁾²⁾(EVLUB - Extreme Value with Lower and Upper Bounds -)分布:

$$F(x) = \exp \left[- \left\{ \frac{g-x}{\nu(x-a)} \right\}^{\kappa} \right]$$

$$f(x) = \frac{\kappa(g-x)^{\kappa-1}(g-a)}{\nu^{\kappa}(x-a)^{\kappa+1}} \exp \left[- \left\{ \frac{g-x}{\nu(x-a)} \right\}^{\kappa} \right]$$

を本研究では用いる。ここに、 $F(x)$ は変量の分布関数、 $f(x)$ は確率密度関数、 a , g はそれぞれ変量の下限母数及び上限母数、 ν は尺度母数、 κ は形状母数で

ある。これら4母数のうち上・下限値 a , g を固定し、他の2母数 ν , κ は最尤法で推定する。

3. 適合度評価 用いた分布モデルの確率密度関数と年最大 m 日降水量のヒストグラムを同一のグラフ上に描き、目視による適合度評価を行う。さらに、適合度を定量的に評価してモデルの優劣を客観的に比較するため、4種の評価基準³⁾を用いる。

図1に大津市における74年間(1912-1985)の年最大1日降水量、図2に岐阜市における100年間(1893-1992)の年最大3日降水量にあてはめた結果を示す。その際、固定する上限値の推定値として日本の豪雨記録に基づくPMP(Probable Maximum Precipitation, 可能最大1日雨量1576mm, 同3日雨量2988mm)⁴⁾を、下限値の推定値としてクオンタイル法⁵⁾で推定した値(岩井法とStedingerの方法で求めた両下限値のうち、適合度が良い値)を用いる。ただし推定値が負となる場合には、現実的な値のみで解析を行うため、下限値を0とする。

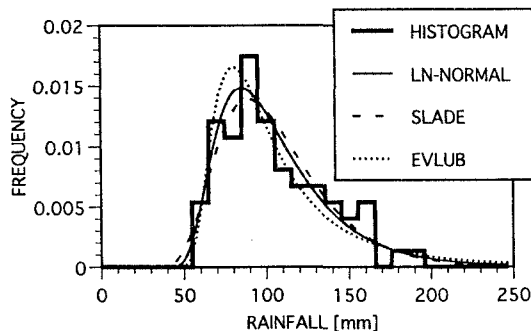


図1 大津市の年最大1日降水量の確率密度関数とヒストグラム

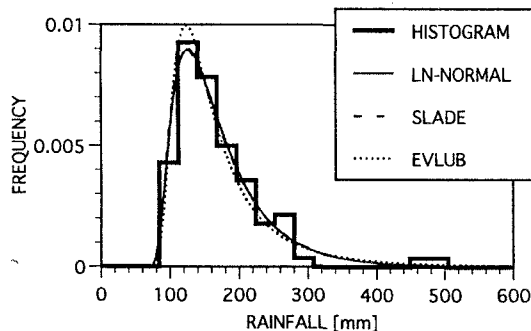


図2 岐阜市の年最大3日降水量の確率密度関数とヒストグラム

表1 SLSCによる適合度の比較評価

	大津			彦根			今津			中河内			敦賀			岐阜			琵琶湖流域		
	1日	2日	3日	1日	2日	3日	1日	2日	3日	1日	2日	3日	1日	2日	3日	1日	2日	3日	1日	2日	3日
LN-NORMAL	○	○	◎	◎	○	○	△	◎	○	△	×	△	△	○	○	○	○	○	◎	○	◎
SLADE (World)	○	○	◎	◎	○	○	△	◎	○	△	×	×	△	○	○	○	○	△	◎	○	◎
SLADE (Japan)	○	○	◎	◎	○	○	△	◎	○	△	×	×	△	○	○	○	△	◎	○	◎	
SLADE (Region)	○	○	◎	◎	○	○	△	○	○	×	×	×	△	△	○	△	△	×	◎	○	◎
EVLUB (World)	△	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	△	×	△	×	△	△	△	△	△
EVLUB (Japan)	△	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	△	×	△	×	△	△	△	△	△
EVLUB (Region)	○	×	×	△	△	×	△	△	×	×	×	×	△	×	△	△	△	○	***	***	***

ただし、◎: SLSC≤0.02, ○: 0.02<SLSC≤0.03, △: 0.03<SLSC≤0.04, ×: SLSC>0.04

どちらの場合も、EVLUB 分布の適合度が SLADE 型には及ばないことがわかる。しかし、世界、日本、そして気候区の豪雨記録に基づく 3 種の PMP を上限値として、客観的評価基準を用いて調べると、気候区の PMP を用いた場合には SLSC が 0.02 台となり、良い適合度を示している。

さらに、各分布を様々な降水量データに適用した場合の、SLSC による適合度評価の結果を表 1 に示す。全体的に EVLUB 分布の適合度は、SLADE 型には及ばない。また、EVLUB 分布は上限値が小さくなるほど、SLADE 型は大きくなるほど適合度が良くなっている。

4. 確率水文学の変動性による評価 年最大値などの極値水文学を取り扱う場合、データと分布全体との適合度も重要であるが、分布の裾の部分の形状や適合度がより重視される。両側有界の分布を採用することにより、外挿部(分布の両裾部)の不安定性の軽減、すなわち、確率水文学の推定精度の向上が期待できる。表 2 には、各場合の 100 年確率降水量の Bootstrap 推定値とその推定精度(Bootstrap 誤差及び変動係数)を示した。

表2 確率降水量の Bootstrap 推定値と Bootstrap 誤差、変動係数(B=1500 回)

		100年確率降水量 [mm]	
大津 1 日	LN-NORMAL	229.21(23.77)	0.104
	SLADE (Japan, Stedinger)	207.99(13.52)	0.065
	SLADE (Region, Stedinger)	203.53(12.43)	0.061
	EVLUB (Japan, Iwai)	315.15(31.88)	0.101
	EVLUB (Region, Iwai)	287.11(24.58)	0.086
岐阜 3 日	LN-NORMAL	429.68(62.69)	0.146
	SLADE (Japan, Stedinger)	428.60(47.74)	0.111
	SLADE (Region, Stedinger)	402.36(42.65)	0.106
	EVLUB (Japan, Iwai)	581.37(67.19)	0.116
	EVLUB (Region, Iwai)	462.76(37.48)	0.081

EVLUB 分布を用いた場合には、他の分布の場合と比較して、確率降水量の値が大きくなることから、確率密度関数のグラフが左にひずむ傾向があることを考慮に入れると、EVLUB 分布を用いた場合の確率降水量は、過大評価される可能性が高い。推

定精度について見ると、岐阜 3 日の場合、3 母数対数正規分布の場合 62.69mm であったのが、両側有界の EVLUB 分布を用いると 37.48mm になる。つまり、Bootstrap 誤差で見ると推定精度が 40% も向上している。SLADE 型と比較しても 12% 向上している。50 年、200 年、300 年の場合にも同様の向上が見られる。

5. 結語 これまで水文頻度解析の分野で検討されることがなかった EVLUB 分布を用い、その特性がある程度明らかにできた。また、実現不可能な値(負の降水量)は全て不採用としたため、より現実的な設定で解析を行うことができた。さらに、リサンプリング手法を用いて T 年確率水文学の変動を定量的に評価することができた。その結果、上限無限大とせず上限値を導入すると、T 年確率水文学の変動が小さくなることを確認できた。

本研究では、上限値のみ物理的根拠のある値を用い、下限値についてはクオンタイル法により推定された値を用いた。しかし、本来の趣旨からすると、やはり下限値についても何らかの物理的根拠を有する値を用いるべきである。このことを今後の課題の 1 つとしてここに挙げておく。

参考文献

- 1) Kanda, J.(1981): A New Extreme Value Distribution with Lower and Upper Limits for Earthquake Motions and Wind Speeds, pp.351-354.
- 2) Kanda, J.(1994): Application of an Empirical Extreme Value Distribution to Load Models, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol.99, No.4, pp.413-414.
- 3) 宝 馨・高樟琢馬(1988): 水文頻度解析における確率分布モデルの評価基準, 土木学会論文集, 第 393 号/II-9, pp.151-160.; 宝・高樟(1989), 合田良実の討議に対する解答, 土木学会論文集, 第 405 号/II-11, pp.267-272.
- 4) Takara, K., T. Takasao & K. Tomosugi(1996): Possibility and necessity of paradigm shift in hydrologic frequency analysis, Proc. of Int'l Conf. on Water Resources and Environment Research, Kyoto, Japan, Vol.1, pp.435-442.
- 5) 宝 馨・J. R. Stedinger・山田貴史(1994): 3 母数対数正規分布の下限値推定について, 水文・水資源学会 1994 年研究発表会要旨集, pp.250-253.