研究員の眼

超過確率何分の1の豪雨が基準?

治水事業の整備基準を確率の面から見てみよう

保険研究部 主席研究員　篠原　拓也
(03)3512-1823　tshino@nli-research.co.jp

地球温暖化の影響からだろうか。近年、各地で線状降水帯の発生に伴う大量の雨や、豪雨による短時間の集中的な降水が起きている。これらの降水は、急傾斜地での土砂災害を引き起こしたり、河川の氾濫による洪水の原因となったりする。

日本は山地が多く平野が少ない島国であるため、大陸国と比べると、急勾配の河川が多くある。大雨が降ると、急に増水して洪水が起こりやすくなる。そこで、古くから全国で河川の治水整備が進められてきた。特に、木曽三川(長良川、木曽川、揖斐川)が集中する濃尾平野の輪中の地域を抱える愛知県、岐阜県、三重県は治水に力を注いできた。

水の分布や循環を扱う水文(すいもん)学、水の流れや治水を扱う水理学においては、堤防などの施設の整備水準を定める際に「超過確率」という考え方が用いられる。これは、施設がどのぐらいの確率で降る大雨に対応するようにすべきか、という整備の目標基準だ。超過確率は、降雨の程度を、過去の降雨実績をもとに確率を用いて表すもので、通常は、年単位で「年超過確率」として示される。例えば、「年超過確率 1/10 の降雨は、1 時間 60 ミリメートル」などと表示される。

今回は、この超過確率について見ていこう。

◇ 超過確率とは

まず、超過確率の考え方から。超過確率とは、過去の毎年の降雨量などのデータを統計的に処理し、ある値を超過する確率を年確率として示したものを指す。

「年超過確率 1/80 の降雨」は、1 年間のうちに、その規模を超える大雨が発生する確率が 1/80 であることを意味する。超過確率が小さいほど、滅多にないような大雨、ということになる。

地方自治体の治水計画には、超過確率が示されている場合がある。各種の雨水整備事業を行うにあたり、どの水準の大雨に耐えられる整備を行うかという目標水準を示すものといえる。

例えば、名古屋市は、過去の降雨実績から「年超過確率 1/10 の降雨は、1 時間 63 ミリメートル」として、これを河川整備や緊急雨水整備(下水道など)の基準としている。

名古屋の確率降雨　(ミリメートル)

年超過確率	10 分間	30 分間	1 時間	3 時間	6 時間	24 時間
1/5	18.0	36.5	52.4	83.7	107.0	164.2
1/10	20.1	42.7	63.0	103.3	133.2	204.8
1/30	22.6	51.7	80.0	138.1	180.7	276.6
1/50	23.6	55.7	87.9	155.6	205.5	315.7
1/100	24.8	60.8	98.6	181.2	242.4	373.1
1/200	25.9	65.7	109.3	208.3	282.7	436.9

※ 「名古屋市総合排水計画」(名古屋市, 最終更新日：2019 年 5 月 20 日)をもとに筆者作成

東京都の河川計画では、「年超過確率 1/20 の規模の降雨」を目標整備水準としている。これは、東京管区気象台のデータ(大手町)によると、1 時間雨量で 75.4 ミリメートル、24 時間雨量で 253.0 ミリメートルに相当するそうだ。

◇「年超過確率 1/20 の降雨」が 20 年の間に降る確率は 100%ではない

超過確率を用いた表現の解釈でよく間違えてしまうのは、「年超過確率 1/20 の降雨は、20 年間のうちに 100%の確率で起こる ― つまり、20 年間のうちに必ず起こる」というものだ。

年超過確率は 1 年間のうちに起きる確率をいう。したがって、年超過確率 1/20 の降雨が 1 年間のうちに起きない確率は、19/20 となる。

20 年間で考えると、一度も起きない確率は、その 20 乗つまり、$(19/20)^{20} \fallingdotseq 0.358$ となる。年超過確率 1/20 の降雨が 20 年間のうちに一度以上起きる確率は 0.642(＝1－0.358)となる。

確率を冷静に考えれば何ということはない話だが、焦っているときは、つい誤ってしまいかねない。超過確率の解釈には、少し注意が必要と言えるだろう。

◇ 最大値の確率－極値理論

超過確率には、通常よく用いられる確率とは大きく異なる点がある。平均値ではなく、最大値などの極値の確率、という点だ。

一般に、降水による洪水の発生のような滅多に起こらないような極端な事象に関して、平均値の統計は通用しない。平均を中心に左右対称に分布する正規分布のような確率分布が、極端な事象の場合は成り立たないとみられるためだ。

最大値などの極値を扱う統計として、極値理論や極値統計学といわれる分野がある。超過確率は、この極値理論をもとに計算される。

◇ 最大値の分布にはガンベル分布がよく用いられる

極値理論では、データの数を増やしていったときの極値の分布は、漸近的にある連続確率モデルに従うとされる。その漸近分布の研究は、1920 年代に始まったと言われている。

イギリスの統計学者フィッシャーとティペットは、1 次元の極値の漸近分布は、ガンベル分布、フレシェ分布、ワイブル分布の 3 タイプのいずれかであるとの定理（フィッシャー－ティペットの定理）を示した。

もともとのデータがどのような分布に従うものかによって、極値の漸近分布は異なってくる。例えば、もともとの分布が正規分布や対数正規分布やガンマ分布の場合は、漸近分布はガンベル分布。パレート分布やコーシー分布の場合は、フレシェ分布。一様分布やベータ分布の場合は、ワイブル分布といった具合だ。

このうち、最大値の分布には、漸近分布としてよくガンベル分布が用いられる。

◇ 超過確率の計算には確率紙が用いられてきた

それでは、実際に過去の最大雨量のデータをもとに超過確率を計算するには、どうしたらよいだろうか。

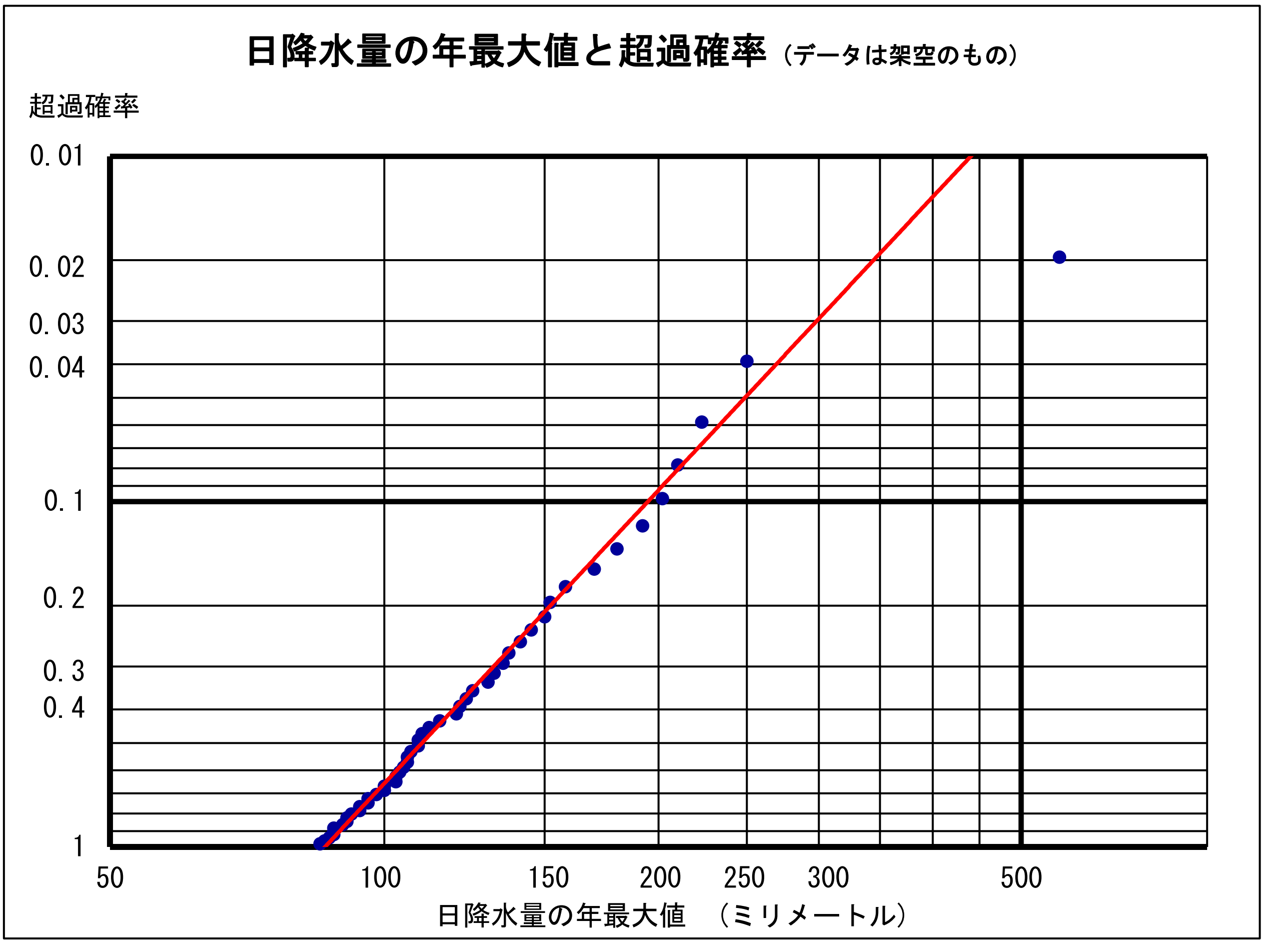
従来、確率紙という特殊な方眼紙にデータをプロットするという作業を通じて行われてきた。通常の方眼紙は縦横に 1 ミリメートル目盛り等で一定間隔の線が引かれているものが多い。確率紙の場合は、縦または縦横とも対数目盛となっている。そして、縦方向は、上に行くほど小さい値となっている（縦軸が上下反転している）。

ここで、ある地点について、n 年間にわたって毎日の降水量を観測したとする。そのデータをもとに毎年の最大値をとることにより、n 個の日降水量の年最大値が得られる。これを確率紙にプロットすることにしよう。

まず、得られたデータを大きいものから順番に並べる。そして、大きい順に 1〜n までの番号を付ける。その番号を、(n+1)で割り算した値を縦軸に、日降水量の年最大値を横軸にして、n 個のデータをプロットしていく。((n+1)で割り算するのは、今回用いているような順序統計学(順番に並べた確率変数を用いた統計学)では、累積分布の期待値計算で分母に(n+1)があらわれることによる。)

プロットした各点に対して、その並び方の方向に最もよく合う近似直線を(目分量で)引く。その際、外れ値があれば無視する。

この直線が日降水量と超過確率の関係を示すものとなる。例えば、次のグラフからは、「年超過確率 1/10（つまり 0.1）の降雨は、1 日約 200 ミリメートル」などと読み取ることができる。



「超過確率の求め方」 水谷武司（国立研究開発法人 防災科学技術研究所, 自然災害情報室「災害予測編」, 公開:2009.04.03 更新:2020.03.04 ）等を参考に、筆者作成

◇ 超過確率の考え方は陳腐化していない

以上述べたような確率紙を用いた超過確率の計算は、いまではあまり行われていないとみられる。

パソコンを用いれば、画面上で確率紙のプロットができ、近似直線を引くことができる。確率紙を用いた計算方法は、どこか前時代的で、DX(デジタルトランスフォーメーション)真っ盛りの現代からすると、古めかしい感じがするかもしれない、

ただし、超過確率の考え方は、決して陳腐化していない。それどころか、近年の度重なる豪雨のデータを取り入れて、超過確率とそれに対する降水量を更新する取り組みが、各自治体で進んでいる。

一般的には、水文学や水理学における超過確率といった考え方は、なじみが薄いものと考えられる。その一方、地球温暖化を原因として洪水のリスクが高まる中、各自治体は治水整備事業を進めている。

自分の住んでいる地域では、どの程度の超過確率の豪雨を基準に、河川整備や緊急雨水整備が行われているのか？ ― 少し気にしてみるのもよいと思われるが、いかがだろうか。

(参考文献)

「名古屋市総合排水計画」(名古屋市，最終更新日：2019 年 5 月 20 日)

「年最大日雨量の超過確率について」野々田稔郎（三重県林業研究所）

「洪水対策のはなし」(東京都建設局河川部)

「東京都豪雨対策基本方針（改定)」(東京都都市整備局，最終更新日 2023 年 12 月 18 日)

「極値事象のリスク管理　ーカタストロフィ(CAT)と極値理論(EVT)などー」吉澤容一（損害保険総合研究所，損保総研レポート，第 92 号，2010.6)

「超過確率の求め方」水谷武司(国立研究開発法人 防災科学技術研究所，自然災害情報室「災害予測編」，公開：2009.04.03 更新：2020.03.04)

「確率紙の考え方」酒井信介(東京大学)

「極値分布の確率論的な基礎知識　－裾の挙動から見た確率分布－」志村隆彰（統計数理研究所, 2014年12月8日）

「極値統計量の漸近理論について」高橋倫也（数学，46巻1号，39-50，1994年）

