Fair 式を用いた確率降雨量の時空間分布の推定

発表者：水文気象研究室　春日　央司
指導教官：　陸　旻皎

背景・目的

2004 年 7 月 13 日、新潟県は豪雨により大きな被害を受けた。また同じ年の 7 月 18 日、福井でも豪雨による被害が発生した。これらの水災害の特徴として、洪水到達時間の小さい中小河川で発生していることが挙げられる。新潟豪雨の中心に近い三条、長岡、栃尾の最大 48 時間雨量の半分以上が 6 時間以内に集中しており、このような短時間集中型の雨は、洪水ピーク到達時間が数時間程度の中小河川においては、ピーク流量を大きくし、被害が大きくなったものと考えられる。福井豪雨においても同様で、足羽川天神橋上流域の流域平均 2 日雨量は 268.8mm で 25 年確率であるのに対し、6 時間雨量が 228.9mm で 1000 年確率であった(国土交通省近畿地方整備局、2004)。これらの例は、中小河川において、河川計画を考える上で、降雨継続時間の短い雨の統計的性質をとらえることの重要性を示した例であると同時に、異なる継続時間の降雨量を一体的に捉える必要性を示唆している。

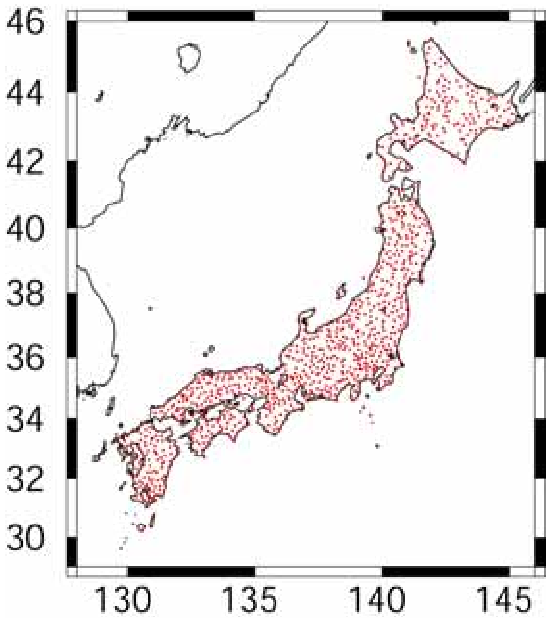
治水計画の立案の際に確率降雨量を算定する統計解析が行われるが、現在の河川計画では日雨量、2 日雨量を用いることがほとんどである。また、各降雨継続時間の降雨データに対して異なる分布形をあてはめるだけでは矛盾が生じる可能性がある。そこで、異なる降雨継続時間の降雨データを一体的に扱い検討を行うために、確率降雨強度式による整理が必要になってくる。

本研究では確率降雨強度式の１つである Fair 式を用いて全国の様々な降雨継続時間の確率降雨量の算定を行う。そして、Fair 式のパラメータ推定方法を変え、比較を行う。さらに求められた全国の確率降雨量から空間分布を作成し、短時間雨量の地域特性等を検討する。

データ

確率降雨量を推定するために、気象庁で運用されている地域気象観測システム (AMeDAS ： Automated Meteorological Data Acquisition System)の降雨量データを用いる。本研究では、全国の AMeDAS によって得られた 1976 年から 2003 年までの降水量データを利用している。本研究では確率統計解析に最低限必要であると考えられている 20 年以上の降水量データが得られる AMeDAS 観測地点を対象としている。これらのデータを対象に 9 種類の降雨継続時間(t =1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24, 48 時間)の年最大降雨量データを計算し、解析を行う。

すべての AMeDAS 観測地点において、1976 年から 2003 年までの間に 20 年以上の降水量データが得られたものは、約 1300 地点中、1058 地点であった。



使用した AMeDAS 観測地点

手順・方法

全国 AMeDAS データ

降雨継続時間毎の
年最大降水量の計算

データ数 20 年以上のものを
抽出

GEV 分布のパラメータ推定

GEV 分布から
確率降雨量算定

3 通りの方法で Fair 式の
パラメータ推定

Fair 式から確率降雨量算定

このような流れで Fair 式による確率降雨量を算定した。

一般化極値分布(GEV 分布)

確率分布形は土木研究所を参照し、一般化極値分布(GEV 分布)を採用し確率降雨量の算定を行った。GEV 分布の分布関数は次式で与えられる。

$$F(x)=\exp\left\{-\left[1-\frac{k(x-c)}{a}\right]^{1/k}\right\}$$

$$(k\neq 0)$$

＊$k>0$ のとき、$-\infty<x\leq c+(a/k)$

$k<0$ のとき、$c+(a/k)\leq x\leq \infty$

ここで、$F(x)$は確率変数、a, c, k はパラメータ、x は標本値である。

Fair 式

確率降雨強度式としては Fair によって提案された Fair 式を採用した。Fair 式を用いた確率降雨量は、元の確率降雨量と非常に高い相関を持っていることが明らかになっている。また GEV 分布で算出した確率降雨量は、水文学上重要な非超過確率の大きい部分において、降雨継続時間の短い確率降雨量が降雨継続時間の長い確率降雨量を上回るという矛盾が生じる可能性がある。Fair 式を用いることによって、そういった問題も解消できる。Fair 式は次式で与えられる。

$$i(t,T)=\frac{bT^{m}}{(t+a)^{n}}$$

＊ $i(t,T)$：確率再現年 T の降雨継続時間 t の確率降雨強度

T ：確率再現年

t ：降雨継続時間

a,b,m,n ：パラメータ

本研究では、Fair 式のパラメータを 3 通りの方法で推定し、比較を行った。

推定方法Ⅰ

まず、べき乗項の中に求めるべきパラメータ a が位置するため、a に 0.001 刻みで任意の値を代入し、線形重回帰分析により確率降雨強度と降雨継続時間を求め、その相関関数が最も高くなるような a を選択した。次に、b, m, n のパラメータについては、Fair 式を変形して、確率降雨量の値の対数との差をとり、最小二乗法を用いて求めた。

$$\log i(t,T)=\log\frac{bT^{m}}{(t+a)^{n}}=\log\left(bT^{m}\right)-\log(t+a)^{n}$$

$$=\log b+m\log T-n\log(t+a)$$

推定方法Ⅱ

パラメータ a を 0.001 刻みで代入していかずに、Nelder-Mead 法で最適化しパラメータを推定した。(その他は土木研究所と同

様)

推定方法Ⅲ

非超過確率の大きな部分を鑑み、非線形重回帰分析によりパラメータを推定した。

パラメータ *m* の推定

まずは$i(t,T)$を同じ継続時間のT_0年確率降雨強度$i(t,T_0)$で除し、降雨強度比を算出する。Fair式では、この比が

$$\frac{i(t,T)}{i(t,T_0)}=\left(\frac{T}{T_0}\right)^m$$

となるので、降雨強度比の偏差の自乗和 Em

$$Em=\sum_t \sum_T \left(\frac{i(t,T)}{i(t,T_0)}-\left(\frac{T}{T_0}\right)^m\right)^2$$

を最小にすることにより、パラメータ *m* を最適化することができる。本研究では最適化にフリーソフトウエア Octave の Newton-Raphson法による一次元最適化ツールnrmを用いて、最適な値を求めた。なお、T_0に関しては、本研究ではT_0=150 年とした。

パラメータ *a* と *n* の推定

次に$i(t,T)$を同じ確率年Tのt_0時間降雨強度$i(t_0,T)$で除し、降雨強度比を算出する。Fair式ではこの比が

$$\frac{i(t,T)}{i(t_0,T)}=\left(\frac{t_0+a}{t+a}\right)^n$$

となるので、降雨強度比の誤差自乗和$E_{a,n}$

$$E_{a,n}=\sum_t \sum_T \left(\frac{i(t,T)}{i(t_0,T)}-\left(\frac{t_0+a}{t+a}\right)^n\right)^2$$

を最小にすることにより、パラメータaとnを最適化することができる。本研究では、最適化にフリーソフトウエアOctaveの Nelder-Mead 法による最適化ツール nelder_mead_minを用いて、最適な値を求めた。なおt_0に関しては、t_0＝48　時間とした。

パラメータ *b* の推定

最後のパラメータ *b* につては

$$b=\frac{(t+a)^n}{T^m}i(t,T)$$

を利用し、$i(t,T)(t+a)^n T^{-m}$ の平均値とした。

結果と考察

3 つの方法で得られた確率降雨量を RMSE の全国平均値を用いて比較した結果、全体的に手法Ⅱの値が最も低い値を示した。手法Ⅰは手法Ⅱに比べてわずかに大きく、手法Ⅲは比較的大きな値となった。非線形のものは再現期間の大きなところで RMSE の値が線形のものよりよくなるであろうと予想したが、好ましい結果は得られなかった。

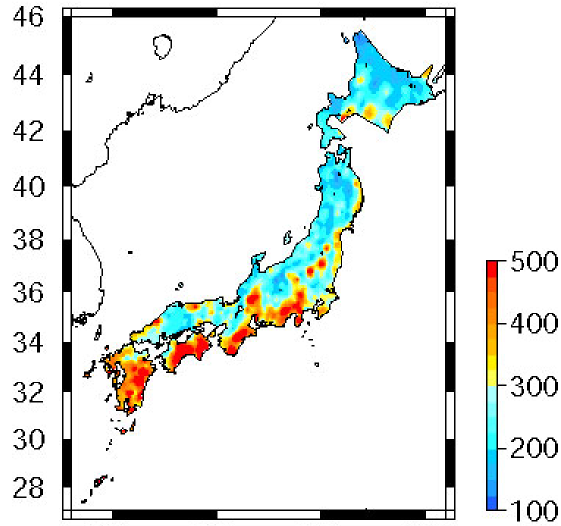
なぜ非線形法で求めた確率降雨量の RMSE 値が悪くなったのか。もともと GEV 分布は適合度において非常に優れている。しかし、非超過確率が極端に大きなところや小さなところにおいて、降雨継続時間の短い確率降雨量が降雨継続時間の大きい確率降雨量を上回るという矛盾が生じる可能性がある。つまり、GEV 分布では非超過確率の極端に大きなところ、極端に小さなところを的確に推定できていないのではないか、と考えられる。手法Ⅲでは、非超過確率の大きい部分を鑑み、Fair 式のパラメータを推定しようと試みた。しかし、GEV 分布において非超過確率の大きな部分の信頼性は、その他の部分より低いと考えられる。手法Ⅲでは *T* を 150 年に設定してパラメー

タ推定を行った。GEV 分布において信頼性の低いと考えられる部分で再現期間を設定したことによって、150 年の前後で、RMSE の値が大きくなったと考えられる。

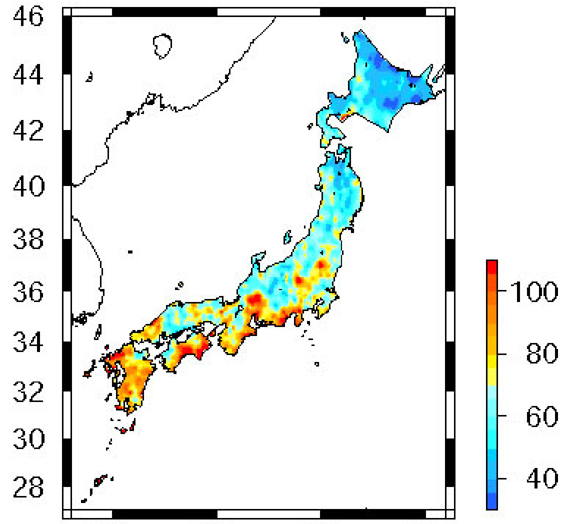
手法Ⅰに比べ、手法Ⅱは、全体的にわずかによい確率降雨量がもとめられた。手法Ⅰではパラメータ a に関して 0.001 刻みで値を入力していっているのに対し、手法Ⅱでは「0.001 刻み」という条件をなくし、最適化手法 Nelder-Mead 法を利用して最適化を行った。よって、わずかによい確率降雨量が求められたと考えられる。

手法Ⅱにより求められた 100 年確率降雨量の空間分布図を示す。日本において年平均でみると、多降水量地域として、九州南部、四国南部、伊豆半島南部、東海道の一部、そして秋田県から石川県にいたる日本海側の地域があげられる。こういった日本海側の地域は年平均降水量が多いにもかかわらず、100 年確率降水量が大きいわけではない。日本海側では他の地域に比べて極所的な大雨は少ないが、平均的に雨が降っているものと考えられる。降雨継続時間が 24 時間のものと 1 時間のものを比較すると、確率降雨量の大きい地点はどちらも共通している。確率降雨量が大きい地点は、九州や四国、関東関西の太平洋側に集中していることがわかる。これらの地点は主に台風の通り道であり、その影響が現れていると考えられる。降雨継続時間が 24 時間のものと 1 時間のものを比較すると、降雨継続時間が 1 時間のものは、地域的に見て降雨量の差が少ない。よって地域性(地形)が降雨に及ぼす影響は短時間の降雨に対して小さく、長時間の降雨に対して大きいととらえることができる。二宮らの研究でも類似した結果がえられている。

手法Ⅲにより好ましい結果を得ることが出来なかったが、地域性をとらえた全国の空間分布を作成することが出来たと予想される。今後、水文学上重要な非超過確率の大きな部分に対して、よりよい確率降雨量を算定する必要がある。



降雨継続時間 24 時間



降雨継続時間 1 時間