

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420494

研究課題名(和文) 来襲外力の複数の最悪シナリオによる結果をまとめる統計解析法の構築

研究課題名(英文) Statistical methods of estimating return levels from various types of ensemble members of extreme precipitations, wave heights, sea levels due to storm surge, for plans against the natural disasters

研究代表者

北野 利一 (Kitano, Toshikazu)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00284307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：甚大な自然災害に備えるためには、外力の極値を適確に推定する必要がある。その際に、単一のデータによるのではなく、たとえば、気候モデルによる数値計算による多数のアンサンブルデータの利用や、同じ総降水量でも降水パターンが異なると流出ピーク流量は異なることを考慮できる極値統計解析が必要である。また、隣合う空間セルあるいは観測点のデータを併合した総雨量を扱うべきである。これらの検討に、極値資料の2標本問題、経験度を用いたポアソン検定、確率外力の推定のみならず、将来期間の最大値の予測分布についてのベイズ推定、アンサンブルメンバーに対するガンマ分布による情報の統合化などの新手法を構築し、その適用例も示した。

研究成果の概要(英文)：Extrapolation is one of the most essential functions of extreme value analysis, and therefore it requires the accuracy based on the sample size of the employing data. Now that numerous ensemble datasets output by climate model are available and the numerical calculation of hydrological processes (for precipitation) and coastal deformations (for storm surge and waves) are possible, we should consider its suitable methods based on the extreme value theories. This research have built the following new methods: two-sample problem of extremes, extended Poisson test with the degrees of experience, Bayesian approach to prediction distributions for the future maximum as well as the return levels of natural forces, integration of information by employing numerous ensemble members, spatial average of extreme precipitations by employing AMeDAS and d4PDF, and asymptotic theory of rounding the extreme values and truncating the distributions. Those examples of various methods are also demonstrated.

研究分野：海岸工学, 水工学

キーワード：再現期間 経験度 高潮・高波 豪雨 ベイズ統計 極値分布 ポアソン検定 生起率

1. 研究開始当初の背景

2000年の東海豪雨、2011年の紀伊半島豪雨、海外では1999年のヴェネズエラ沿岸部の豪雨などが、それまでの既往最大値の2倍を超える降雨量を記録する極端事象であり、1896年の彦根豪雨は、それ以降の降雨の最大値(1959年)の3倍程度の極端な値を記録している。いずれの場合の再現期間も、オーダーとしては、数千〜数万年程度となっている。極値統計解析を行った結果として、そのような極端事象は、「めったに起きないことが、たまたま生じた」と判断されることが、我々土木技術者には腑に落ちない所である。すなわち、極値統計解析では、極端事象は予見できないことを暗示しているように思える。これでは、本質的に、「過去の記録に基づいた」防災対策を否定していることになる。その一方で、気象学の物理過程だけで、極端事象は予見できないのも現状である。そのため、気候モデルの初期値や境界値に確率変動を与えて得られる多数のアンサンブルメンバーの出力値から有意なシグナルを抽出するための統計手法(情報の統合化)を求められていた。

治水計画では、基本高水の検討にあたり、所与の再現期間に対応する確率降水量を算出し、これに限って、複数の降雨パターンを引き伸ばして流流ハイドログラフを計算し、それらのピーク流量を算出する。一般には、幾つかの実績降雨パターンから、より厳しい降雨パターンのもとで、(最悪中の最悪となる)ピーク流量が決められる。国内の多くの河川の治水計画では、概略的に、このような方式で、基本高水が求められている(淀川方式)。それに対して、利根川では、総合確率法という手法が用いられている。まず、降雨の確率分布を求め、次に、幾つもの実績降雨パターンを引き伸ばして、降雨と流量の関係を求め、任意のピーク流量を発生させる降雨量の超過確率の平均を、そのピーク流量の超過確率として考え、それらから所与の再現期間に対応するピーク流量を抽出し、それを基本高水のピーク流量としている。すなわち、複数の最悪シナリオに対して、被災の程度(この場合は、ピーク流量)を一致させるようにして、その超過確率を平均化(統合化)する手法であると言える。

このような基本高水の算出法で用いられる総合確率法は、高潮・高波や津波による水域外力に対するハードによる防御施設の計画に必要な確率計算にも同様に導入することができる枠組みを与えていると考える。

以上のとおり、来襲外力の複数の最悪シナリオによる結果をまとめる統計解析法の必要性が高まっていた背景がある。

2. 研究の目的

本研究では、気候モデルや降雨による流出計算、高潮・高波の沿岸域の伝播・変形計算による来襲外力複数のデータ群から外挿される極値を「まとめる」統計手法を構築することが目的である。そこで、「まとめる」ためには、それらのデータ群が同一の母集団から得られたものであるか、全く異なる集団か、あるいは、ある種の補正や変換を行えば、同一の母集団とみなせるのか、それとも、併合すれば、共有できる情報を取り出せるのか等を探る必要がある。

申請者が2008年に導入した「経験度」は、点過程モデルに基づいた極値理論と、ポアソン過程に基づいた一般化線形モデルを接続することが可能となり、これにより、上記に挙げたような「まとめる」ために必要な前提を議論し、また、経験度を用いて、「まとめる」手法そのものも構築できると考える。そのような体系を提示することが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

A. 2標本問題

統計的検定の枠組みとして、異なる母分布からの標本か?を論じる問題のミニマムが、2標本問題である。ここでは、問題を理解しやすいように、現在気候と将来気候による確率降水量の違いについて考える。

ガンベル分布の場合、年最大値分布の尺度母数とR年最大値分布の尺度母数は等しいため、現在気候と将来気候の年最大値分布の違いが無ければ、自動的に、 $R = 100$ 年確率外力についても、両者の違いが無いと言えることになる。この判断に違和感はないだろうか?別の言い方をすれば、平均と分散が同じであれば、その2標本の分布そのものが一致すると言えるのは、たとえ、母分布がいずれも正規分布であると仮定するという前提のもとで言えることである。またそのような場合でも、

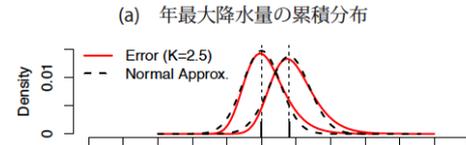
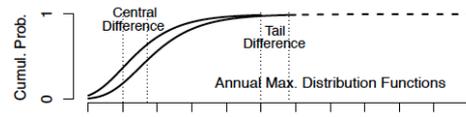


図-1 降水量の差異の検出

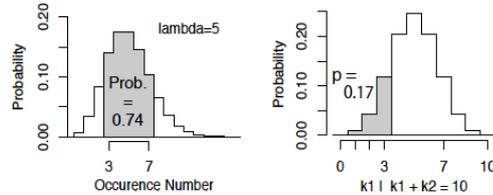


図-2 生起数がしたがう分布

頻度が多く、確率密度が高い、データの中心傾向を対象に考えているはずで、データが疎となる外縁・外挿部を対象にはしていない。そのように考えると、やや保守的な表現になるが、両者の違いの有無の境に、判断の保留を加えるべきである。

図-1に示すように、2つのガンベル分布の年最大値の累積確率分布で、中心部の違いが生じてても、100年確率降水量の誤差分布の確率密度を見ても、多くの確率で両者が重複しており、区別が難しいことが直感的にわかる。これは、中心部での差異が有意であれば、外縁・外挿部も有意であることに反する。このような論理的に一貫しない問題を超えることに加えて、降水量そのものを直接対象にすると、この問題の検討が非常に難しくなるため、頻度の多寡に着目したポアソン検定を拡張することを検討する。

例えば、25年間にある降水量を超える回数が、現在気候で3回、将来気候で7回である場合に、頻度は2倍に増大しているが、平均5回のポアソン分布(図-2a)において、いずれも生じやすい回数であり、50年間で合計10回生じたことを条件に、その内の3回が現在気候の25年間に(裏返せば、7回が将来気候の25年間に)生じる確率、すなわち、p値は、図示(図-2b)するとおり、0.17程度である。それほど小さくない確率で生じるため、偶然と考えるも不自然ではない。したがって、現象を確率的に考えるならば、この場合は、 $0.12 (= 3/25)$ から $0.28 (= 7/25)$ に生起率が倍増したと判断しない方がよい。

このような例を概略的に示すために、観測年数が等しい場合( $N_A/N_B = 1$ )に限り、 $k_A + k_B$ を横軸に、 $k_A/k_B$ を縦軸にとり、条件付きポアソン分布から得られるp値の等高線を描いたものを図-3に示す。有意水準を0.10程度で考える場合でも、生起率2倍を検出するためには、総生起数21(=14+7)は必要であり、一般に用いられる0.05で有意水準をとるならば、30(=20+10)の総生起数が必要ということがわかる。このような統計的検定をポアソン検定とよばれている。北野ら(2008)に導入された経験度は、極値統計解析から得られる結果を、再現レベ

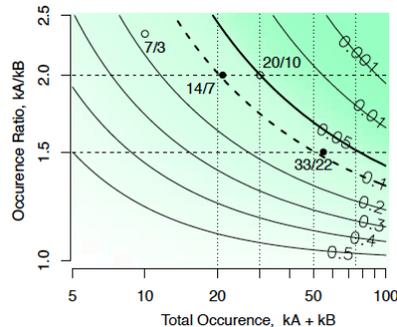


図-3 ポアソン検定のp値の等高線

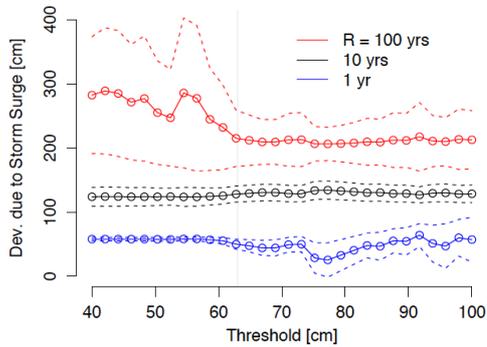


図-4 閾値の違いによる確率潮位の変動

ルを超過するイベント数として表現するものである。このポアソン検定に用いられる生起数の代わりに、経験度を代入することが可能となる。

#### B. 予測分布

沿岸域に襲撃する外力の規模を表現するため、一般に、数十年から数百年に1回程度の襲撃頻度となる比較的発生頻度の高い高潮(レベル1)と、数百年に1回程度の最大クラスの高潮(レベル2)の想定に、それぞれの再現期間に応じた確率高潮偏差を示すことになる。その際に、両者のレベルの違いは、襲撃頻度の単なる多寡による区別ではなく、質的な意味の相違を与えるべきである。

沿岸域に甚大な被害を及ぼす可能性のある外力は、長い目で見れば、いずれ確実に襲撃すると考えるものであり、将来の一定期間に対して、その襲撃頻度が平均1回となる外力レベルの「推定」と、その期間内に生じる最大(確実に1回生起する)値の範囲の「予測」とは、数学的な取扱いも全く異なる。前者は真値を知り得るならば定数であるのに対し、後者は確率変数そのものであり、真値さえ知り得ない現実では、統計的誤差も加わり、その数学的な取扱いが難しくなる。したがって、伝統的には、取扱いの易しい前者しか扱ってこなかったという経緯がある。しかし、計算機を前提としたMCMCによるベイズ手法により、「予測」の取扱いが容易になりつつあり、それを応用する方法を構築する。

高潮の場合には特に、大きな潮位偏差を生じる高潮と、潮位偏差の小さい異常潮を同系列に扱うことに違和感をおぼえるかもしれない。年最大潮位偏差に対して、下位のデータを切り捨てるセンシング手法を試みる。図-4は、閾値を変化させて得られる確率潮位偏差(再現期間  $R = 1, 10, 100$  年)を信頼区間を付けて表示している。閾値を上げれば、取込むデータ数が少なくなるので、推定誤差は大きくなる。これは、再現期間1年の再現レベルの信頼区間で確認できる。これと逆に、ある値を境に閾値を大きくとれば、再現期間100年の再現レベルの推定誤差は、急激に減っている。これは、下位を除外すると、相対的に分布の裾の厚みが軽くなり、母集団分布をガンベル分布とみなせることによる。

#### C. アンサンブルデータメンバー毎に推定される確率

##### 降水量の統合法

本研究では、d4PDFの出力結果を用いて、極値の漸近理論の適用性の確認法や、多数のアンサンブル標本から得られる推定結果のまとめる手法を提示する。

本研究で例示に用いる対象データは、d4PDFの成果を用いて、名古屋を含む格子の過去実験データ出力値(1951-2010年の60年×50アンサンブル標本)を用い

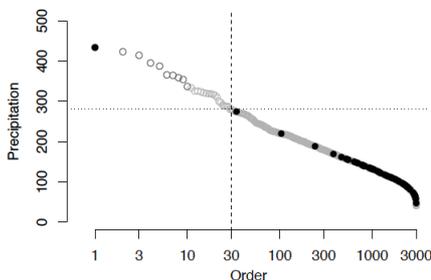


図-5 年最大値3000年分の順序統計量

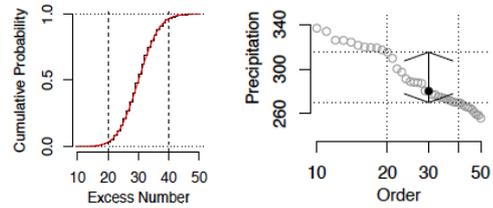


図-6 順位(左)と確率降水量(右)の信頼区間

る。全てのアンサンブル標本を一括し、総数3000個の日降水量の年最大値を降順に並べて図示したものを図-5に示す。この時、割合の関係として、 $30/3000 = 1/100$ であることから、総数3000の年最大値のうち、上位30番目のデータ(順位統計量)を100年確率降水量として推定することを、単純法とよぶ。この場合、280 mmと推定される。

この方法は、未知となる母数を含む極値分布を用いない点で、単純明快かつ直接的であり、政策決定者にも訴えやすいという利点がある。また、上位10個程度まではばらつくものの、上位30個前後となると、ある傾向をもった曲線(この場合は、ほぼ直線)上に並んでおり、ほとんど誤差が無いように見える点でも好都合である。しかし、このような印象は、誤差に關する錯覚であることに注意すべきである。すなわち、隣合う順序統計量との変動はほとんどなく、誤差が非常に小さいと見誤るのである。正しい信頼区間は、図-6に示すとおり、それなりの幅があることがわかる。これは、図中の印に示す標本は、50アンサンブルメンバーのうちの極端な例になるけれども、割合が $2/60 (= 100/3000)$ となる降水量が、 $30/3000$ 程度をとることからも、その変動の幅が単純に思うよりも十分に大きいことを裏付けている。

確率降水量は推定値であるゆえに、一般には、中心極限定理から、その誤差が正規分布にしたがうことを期待する。しかし、推定すべき外挿領域では、誤差偏差が大きく、中心極限定理が十分に適用できない。中心極限定理による誤差の正規性を期待するよりも、極値の希少性を表すポアソン分布の母数(生起率)に変換した方が、その不確実性の変動を適切に扱えると考えられる。

図-7は、確率降水量の推定結果を統合して、推定誤差を算定に必要となる諸量の関係図である。Boxの囲みがあるa)は、降水量 $y$ を変化させて与え(横軸)、ガンマ分布を用いて最尤法で求められる生起率の推定値(縦軸)を示している。また、b)は、同時に得られる形状母数 $K$ の推定値(縦軸)を示し、c)は、その対応する再現期間(横軸)との関係を示している。ガンマ分布の形状母数 $K$ は、アンサンブルメンバー1つに対する経験度(降水量 $y$ を超える仮想的な生起数)である。これを元に、生起率の区間推定を行う場合は、50標本を包括することになり、形状母数(すなわち、経験度)を $50K$ とし、事前分布を更新した事後分布のガンマ分布を用いればよい。d)は、ガンマ分布の累積確率を表し、その端点( $P=0.025, 0.975$ )の生起率に対応する降水量を読み取れば、確率降水量の95%信頼区間を求めることができる。

## 4. 研究成果

### A. 第2種の誤り(検出力)

沿岸構造物の整備を論じる上で、緊急度や優先度を検討するために、気候変動による影響を検出することは不可欠である。しかしながら、その検出には2種類の過誤を伴う。1つの過誤は、影響が無いのに有とする空振

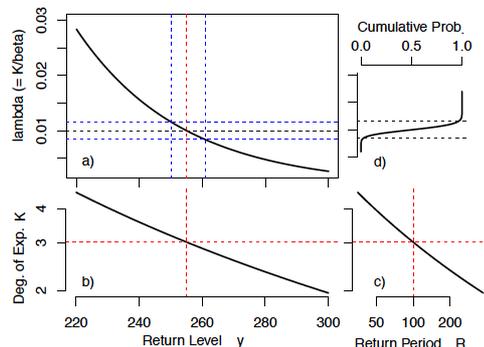
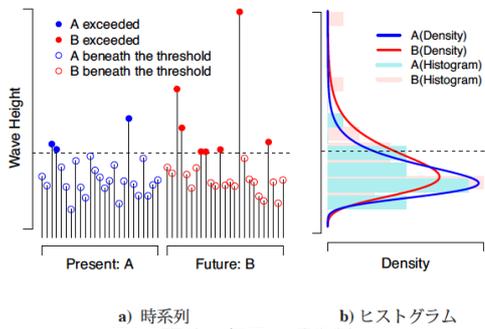


図-7 確率降水量と再現期間と経験度の関係



a) 時系列 b) ヒストグラム  
図-8 高波の年最大値資料

りの過誤で、もう1つはその逆の見逃しの過誤である。高波や高潮による外力の極値統計を用いた既往の研究では、確率外力の算定に信頼区間を設けることにより、前者の過誤について配慮してきたと言える。しかしながら、極値統計の一般的な議論でも、後者の過誤について論じられたことは皆無である。むしろ、後者の過誤の確率を明らかにするだけでなく、適応策の検討において、両者の過誤の確率をいかにバランスさせるかということが重要になる。その際に、極値統計解析で用いられる経験度が有効となることを示した。

気温等の“平均”の扱いは異なり、高波・高潮などの外力の“極値”に対し、観測記録の標本サイズならびに温暖化実験のアンサンブルメンバー数が限られることから、統計的有意性の議論が難しい。単純に検出力を上げたい(見過ごす誤りを減らしたい)だけならば、有意水準を大きくとればよい。しかし、そうすると、第1種の過誤(空振り)が増え、当然、問題は解決しない。重要なことは、これら2つの過誤のバランスを数量的に検討することにある。なお、極値の差異に対する2つの過誤について議論した既往研究は、極値解析の一般論でさえ皆無である。極値分布への最適化などの従来議論から脱却し、本研究では、極値理論を適用する利得として、北野ら(2008)で導入した経験度を用いることにより、これらの過誤のバランスが改善されることを示した。

図-8に見るような高波の現在気候と将来気候の標本に対して、単純に、有意水準(第1種誤りの確率)を  $\alpha = 0.01$  とすると、第2種誤りの確率  $(= 1 - \text{検出力})$  は、 $\beta(7/3) = 0.85$  となり、見逃しの確率という点で非常に問題がある。第1種誤りを  $\alpha_{\square} = 1 - \beta(1) = 0.17$  まで容認すれば、 $\beta(7/3) = 0.35$  となる。第2種の誤りの確率をこれ以上に下げるのは容易ではない。以上は、超過数3回(現在気候)と7回(将来気候)であることのみを用いている、これに対して、レベルを下回るデータの情報も含めて、経験度(現在気候 5.38, 将来気候 9.41)による生起率の検定では、2種類の過誤の確率は  $\alpha_{\square} = 0.09$ ,  $\beta(7/3) = 0.38$  となる。すなわち、第1種の過誤の確率は半減し、第2種の過誤の確率は、図-9に示すとおり、生起数そのものによる検定結果(破線)に交差することが特徴である。一般に想定する対立仮説(現実には与えられた比7/3)に対して、第2種の過誤の確率は40%付近で微増にとどまる。したがって、経験度の利用により、極値資料から得られる情報を最大限に用いることにより、2つの過誤の確率に対し、バランスが改善されることが分かった。

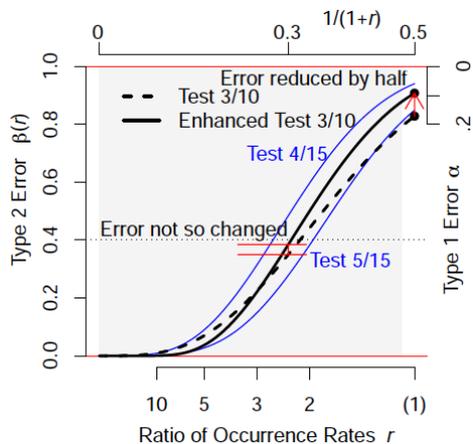


図-9 過誤の確率(2種)のバランス

### B. ベイズ手法による予測分布

ベイズ推定による極値分布の母数(位置, 尺度および形状母数)のベイズ標本を生成し、図-10上段に、所与の再現期間に対する確率潮位のヒストグラムとその正規分布で当てはめた確率密度関数(赤線)を示し、図-10下段に、所与の再現期間の逆数(生起率)が平均生起率になるように、潮位レベルを与えて、生起率のヒストグラムとそのガンマ分布で当てはめた確率密度関数(青線)を示す。これを見るとおり、再現期間1年では、いずれも理論分布によく整合するのに対して、再現期間が長くなるにつれて、ベイズ標本による確率潮位のヒストグラムは、正規分布に整合しなくなるのに対して、ベイズ標本による生起率のヒストグラムは、ガンマ分布への整合が良い。これは、経験度を導入した際に、一連の北野ら(2008~2016)による研究で指摘してきたことを、ベイズ手法で確認できたことになる。

前節 3. B. で言及したとおり、センシングを行なった結果、ガンベル分布に確定すると、図-11に示すとおり、再現期間  $R = 100$  年に対して、年最大偏差全てを対象にGEVを用いた場合の経験度  $K = 2$  未満から向上して、打ち切ってガンベル分布を用いた場合の経験度  $K$  は、ほぼ2となり、予測区間は  $[174, 274]$  cm となる(図-12下参照)。このように、ベイズ手法による予測分布の評価ならびに、それに伴う確率的変動特性を経験度で表現できることを示した。

### C. 年最大値分布とR年最大値分布の接続

日降水量の年最大分布から得られる100年確率日降水量は、日降水量の10年最大値分布から得られる100年確率降水量に一致することが極値統計の基本原則である。d4PDFから得られる名古屋を含むセルの現在気候

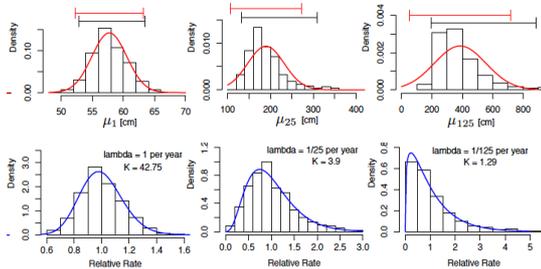


図-10 確率潮位(上段)とその生起率(下段)のベイズ標本による事後分布

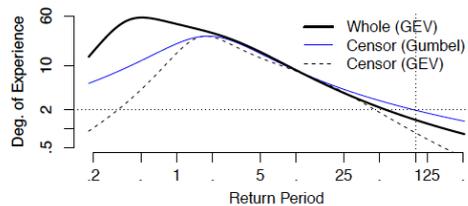


図-11 センシングに伴う経験度の変化

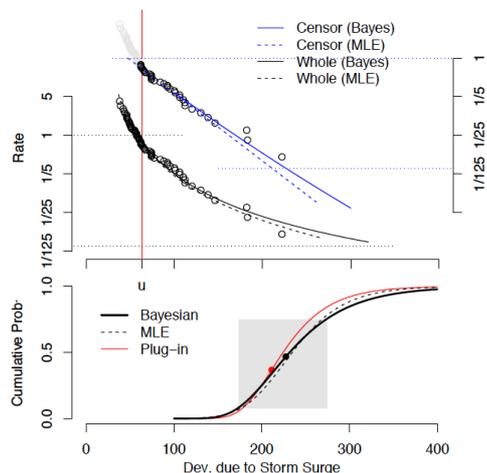


図-12 将来100年間に生じる最大潮位の予測分布(上:生起率,下:累積確率)

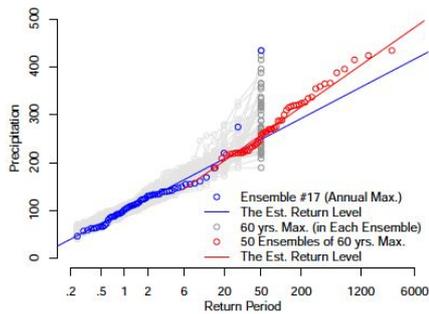


図-13 再現期間に対する確率降水量の接続

(60年分×50アンサンブルメンバー)の出力値を用いて、上記を確認するために図示したものが、図-13である。すなわち、ある1つのアンサンブルメンバー(60年間)の年最大降水量を、再現期間(横軸)に対してプロットしたものが、青丸である。赤丸は、各々のアンサンブルメンバーの60年最大降水量(サイズ50)を60年最大値分布から再現期間を対応させてプロットしたものである。年最大降水量が、最大値の漸近分布である極値分布にしたがうのであれば、再現期間に対する年最大降水量の曲線(青線)は、60年最大降水量の曲線(赤線)と同一となるはずである。しかし、図-13は、標本から得られる関係であるので、推定誤差を伴うため、一致していないようにも見える。この不一致(ズレ)が、統計的に有意であるか否かを議論することにより、極値統計理論を用いて、アンサンブルメンバーの情報を統合した検討が可能になる。

前節4.B.のベイズ統計による議論のとおり、気候モデルから得られたアンサンブルメンバー毎に母数推定を行い、所与の再現期間に対し、確率降水量を求めたヒストグラムは、図-10上段と同様に、正規分布との整合が悪いのに対して、図-10下段と同様に、所与の降水量レベルを超える生起率は、ガンマ分布によく整合することが確認できた。

図-14は、各アンサンブルから得られる100年確率降水量の推定値(印に灰色の信頼区間付)と、それを包括して得られる信頼区間A(黒の逆矢印)を示し、これに対して、60年最大値(50アンサンブル分)を用いて得られる確率降水量の信頼区間B(青の矢印)も示している。まず確認しておきたいのは、各標本による推定になんかの傾向が無いことである。また、包括的に推定される降水量255mm(点線)を含まない95%信頼区間(灰色)が、50の内2つ(赤矢印)あることは妥当であろう。なお、信頼区間A、Bは互いに重複していないことは、注意しなければならない。同様の比較を生起率で表したものを図-15に表示する。この場合も、両者の信頼区間は重複しないだけでなく、前者が100年に平均1回に対して、後者は平均1.76回になる。この結果、この地点での降水量の極値に対して、60年間の記録から再現期間100年の外挿を推定することは難しいこと(過小評価の傾向)を示唆している。信頼区間の算定に用いた経験度は、 $KA=150.8$ 、 $KB=46.3$ であり、極値の生起率の相違の検定(ポアソン検定の拡張)によれば、そのp値は0.0012( $< 0.01$ )となるので、生起率の相違は有意と判断できる。これは、この地点での年最大日降水量では極値分布への漸近が十分ではないことを意味し、d4PDFのような多数のアンサンブル標本がある場合でも、3000年分の年最大値をまるまる使うのではなく、その上位のデータに限定して、たとえば、アンサンブルメンバー毎に60年間の上位数個だけを用いた極値統計解析をすべきであると言える。

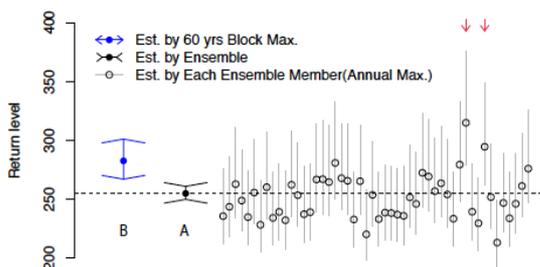


図-14 再現期間100年の確率降水量の信頼区間の比較

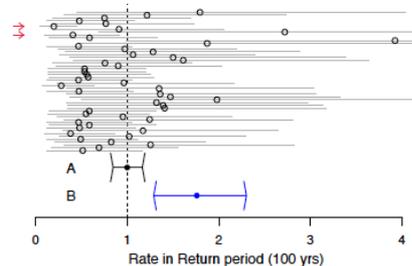


図-15 ある降水量レベルに対する期間100年の生起率

#### D. その他の検討

地点雨量の極値を、流域における洪水外力に起因する代表値として扱っているが、本来的には、流域平均雨量を検討するのがよい。

そこで、指数分布の和の分布となるErlang分布や、さらに一般化した超指数(Hyper exponential)分布を用いて、鬼怒川上流域に適用し、考察を行なった。また、空間平均の範囲を変化させて、AMeDAS降水量とd4PDFによる空間平均降水量を用いて得られる確率降水量について、比較・検討した。一般に、空間の範囲を広げることにより、空間平均降水量は小さくなるので、推定される確率降水量も小さくなるはずである。d4PDFによる結果は、そのとおりの傾向を示すのに対し、観測資料であるAMeDAが、その傾向にしたがっていないため、今後、別の視点からの検討が必要である。

2変量パレート分布を用いた同時生起の頻度解析法について、土木工学の応用にしやすいように、その数学的基礎を再構築した。上述の空間平均も含め、関連のある極値の情報を統合するには不可欠となる。同時生起分布を用いたアプローチは、今後の課題である。

極値の漸近特性に関して、連続量を四捨五入などにより離散化したことによる影響や、緩慢変動性に対して切断平均を導入した考察などを検討した。指数分布にしたがう極値の期間最大値分布は、ガンベル分布に収束することは有名な性質であるが、指数分布を離散化して幾何分布になるとそうならず、これによって、極値分布の形状母数を推定する際に、不安定になる(閾値の変化に伴い、推定値が振動する)などの悪影響をもたらすことがわかった。

### 5. 主な発表論文等

#### 〔雑誌論文〕(計25件)

- 1) 北野利一・高橋倫也・田中茂信:「総合確率法の数学的解釈」への討議・回答,土木学会論文集B1(水工学),Vol.70, pp.32-36, 2014. 査読有
- 2) Shimura, T., A numerical characteristic of extreme values, Statist. and its Interface, 7, pp.375-379, 2014. 査読有
- 3) 北野利一・田中茂信・志村隆彰: 報告: 数学協働ワークショップ「甚大災害の外力想定に必要な極値統計解析法の背景と活用」統計数理研究所 共同研究集會リポート 349, pp.31-36, 2015. 査読無
- 4) 北野利一: レベル超過の生起率を対象とした2標本問題, 共同研究集會リポート 349, pp.84-91, 2015. 査読無
- 5) 田中茂信: 閾値超過資料による気象官署降雨量の長期変化, 共同研究集會リポート 349, pp.13-19, 2015. 査読無
- 6) 志村隆彰: 最大吸引領域の離散化に関する話題, 共同研究集會リポート 349, pp.70-77, 2015. 査読無
- 7) 北野利一: R年確率外力に対するパラドックス, 統計数理研究所 共同研究集會リポート 349, pp.37-41, 2015. 査読無
- 8) 北野利一・高橋倫也・田中茂信: 極値統計解析による降水量の上限の推定可能性,土木学会論文集B1(水工学),第70巻, pp.1451-1456, 2014. 査読有
- 9) Toshikazu Kitano, Sivaranjani Jayaprasad, Wataru Kioka: An Extended Poisson test for detecting the difference between the past and future rates of extremes of sea wave height, Procedia Eng., 116, pp.583-591, 2015. 査読有
- 10) 北野利一・高橋倫也・田中茂信: 降水量の極値特性の気候変動に伴う差異の検出~変化の現れ方の想定により生じる問題, 水工学論文集, 第59巻, pp.1361-1366, 2015. 査読有
- 11) 北野利一・喜岡 渉: 気候変動による影響の検出に伴う2つの過誤のバランス,土木学会論文集B2(海岸工学),Vol.71, No.2, p.197-1102, 2015. 査読有
- 12) 北野利一・高橋倫也・田中茂信: ベイズ手法による降水量の極値の予測分布 ~ 最尤法による相違と相互補完,土木学会論文集B1(水工学),72, pp.1463-1468, 2016. 査読有
- 13) 北野利一, ベイズ統計による低頻度事象の外挿, 統計数理研究所共同研究リポート, 274, pp.51-58, 2016. 査読無
- 14) 田中茂信: 指数分布を用いた流域平均極値雨量の推定方法,

- 統計数研 共同研究レポート, 274, pp.96-101, 2016. 査読無
- 15) K. Takeuchi and S. Tanaka: Recovery from Catastrophe and Building Back Better, Journal of Disaster Research Vol. 11 No. 6, doi: 10.20965/jdr.p1190, 2016. 査読有
  - 16) 北野利一・高橋倫也・田中茂信: 気候モデルから得られる多数のアンサンブルデータを用いた確率降水量の推定法, 土木学会論文集 B1 (水工学), 73, pp.1-1.6, 2017. 査読有
  - 17) 田中茂信: AMeDAS 降水量と d4PDF を用いた面積平均降水量の極値の比較, 統計数理研究所共同研究レポート 384, pp.87-94, 2017. 査読無
  - 18) 北野利一: 60年 x 50 アンサンブル標本 = 3,000 年分の降水量データを活用した極値統計解析, 統計数理研究所共同研究レポート 384, pp.10-17, 2017. 査読無
  - 19) 北野利一: 極端海象の極値統計解析, 海洋工学シンポジウム講演論文集, CD-ROM, OES-016, 4p., 2017. 査読無
  - 20) 北野利一・喜岡 渉・熊谷健蔵: 2つの設計潮位レベルに対する統計的解釈 - 将来に生じうる最大値の予測と再現レベルの推定 -, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73 (2017), No. 2, p. 1\_121-1\_126. 査読有
  - 21) 北野利一: 極値統計解析は、なぜ難しいのか?, 統計数理研究所共同研究レポート 401, pp.64-68, 2018. 査読無
  - 22) 北野利一: 2変量パレート分布を用いた降雨の同時頻度解析, 統計数理研究所共同研究レポート 401, pp.78-86, 2018. 査読無
  - 23) 田中茂信: AMeDAS 降水量と d4PDF を用いた面積平均降水量の極値の比較, 統計数理研究所共同研究レポート 401, pp.87-94, 2018. 査読無
  - 24) 田中茂信: d4PDF を用いた利根川流域降水量の極値評価, 京都大学防災研年報 第 60号 B, pp.757-764, 2017. 査読無
  - 25) 北野利一・川崎将生・山地秀幸: 2変量 G P 分布による降水量の同時生起頻度の推定法 - 数学的なアイデアと現実データの接続, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 73 巻, pp.1\_319-1\_324, 2018. 査読有

### [学会発表](計 37 件)

- 1) 北野利一: 甚大な自然外力の伝説的記録による情報の増分量, 統計数理研究所オープンハウス, 2014.6.13.
- 2) 志村隆彰: 最大値吸引領域の離散化に関する話題, 統計数理研究所オープンハウス, 2014.6.13.
- 3) 北野利一: “3” の法則と “3分の1” の法則, 第 21 回信頼性設計技術 WS, 東京大学工学部, 2014.9.20.
- 4) 北野利一: (話題提供) 一般的な統計的検定で棄却する分布の裾の確率 0.01 と極値解析で推定の対象となる分布の裾の確率 0.01 に意味の違いがあるのか?, 統計数理研究所 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 2015.01.26.
- 5) 田中茂信: 我が国の降水量記録の統計解析, 統計数理研究所 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 2015.01.26.
- 6) 北野利一: 12月8日に開催した数学協働ワークショップ報告, 統計数理研究所 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 2015.01.26.
- 7) 志村隆彰: 最大値吸引領域の離散化に関する話題, 統計数理研究所 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 2015.01.27.
- 8) 北野利一: レベル超過の生起率を対象とした 2 標本問題, 統計数理研究所 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 2015.1.27.
- 9) 北野利一・高橋倫也・田中茂信: 降水量の極値特性の気候変動に伴う差異の検出, 第 5 回 水工学講演会, 2015.3.10-12.
- 10) Toshikazu Kitano: A Simple but Enhanced Test for Detecting the Occurrence Difference in Past and Future Climates, Extreme Value Analysis, Ann Arbor, USA, 15-19th June, 2015.
- 11) Toshikazu Kitano: Balancing Two Types Errors in Detecting the Difference between the Occurrence Rates of Extremes due to the Climate Change, International Conference on Advances in Extreme Value Analysis and Application to Natural Hazards, IH Cantabria, Santander, Spain, 16-18th Sept. 2015.
- 12) 志村隆彰: 極値理論における離散化の影響, 統計数理研究所 オープンハウス, 2015.6.19
- 13) 北野利一: 気候変動による影響の検出に伴う 2 つの過誤のバランス, 海岸工学講演会, 企画セッション (テーマ: 海岸工学分野における気候変動への対応), タイム 24 ビル, 2015 年 11 月 12 日.
- 14) 北野利一: EVA と EVAN - 極値統計学に関する国際会議, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」2015 年 11 月 6 日, 統計数理研究所.
- 15) 北野利一: 外付けの外挿と内包された外挿: 再現レベル推定への 2 つのパスによる相違, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 統計数理研究所, 2015 年 11 月 7 日.
- 16) 田中茂信: 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における鬼怒川の氾濫災害の報告と流域平均雨量の推移, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 統計数理研究所, 2015 年 11 月 7 日.
- 17) 北野利一: ベイズ手法による降水量の極値の予測分布 ~ 最尤法による相違と相互補完, 水工学講演会, 2016.03.16.
- 18) 北野利一: 極値統計に伴うサプライズ!, オープンハウス, 統計数理研究所, 2016.06.17.
- 19) Takaaki Shimura: Variety of distributions with asymptotically logarithmic truncated mean, Open House, ISM, 2016.6.17.
- 20) Takaaki Shimura, Toshio Nakata: Variety of distributions

- with asymptotically logarithmic truncated mean, World congress in probability and statistics, 2016.7.14.
- 21) 北野利一: 気候変動による豪雨リスク変化の検出に係る過誤のバランス, 企画セッション (10) リスク科学のフロンティア, 統計数理学会連合大会, 金沢大学, 2016.09.06.
  - 22) 北野利一: 60年 x 50 アンサンブル標本 = 3,000 年分の降水量データを活用した極値統計解析, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 2016.10.31.
  - 23) 北野利一: 気候モデルから得られる多数のアンサンブル標本を活用した極値統計解析, 統計数理セミナー, 統計数理研究所, 2016.11.09.
  - 24) 北野利一: 極端海象の極値統計解析, 第 26 回海洋工学シンポジウム (日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会), 日本大学理工学部駿河台キャンパス, 2017.03.06.
  - 25) 北野利一: 気候モデルから得られる多数のアンサンブルデータを用いた確率降水量の推定法, 第 6 回水工学講演会, 九州大学・伊都キャンパス, 2017.03.15.
  - 26) T. Kitano: Return level and the prediction interval over a future period of maximum sea deviance due to storm surge, EVAN (International conference on Advances in Extreme Value Analysis and application to Natural Hazard) National Oceanography Centre, Southampton, UK., 2017.09.05.
  - 27) T. Kitano: a topic provided for Hackathon, Post event of EVAN, 2017.09.08, National Oceanography Centre, Southampton, UK., 2017.09.06.
  - 28) 志村隆彰・中田寿夫: Discrete distributions whose truncated means have logarithmic order, 統計数理研究所 オープンハウス, 2017.6.16.
  - 29) Takaaki Shimura, Toshio Nakata: Discrete distributions whose truncated means have logarithmic order, 10th Extreme Value Analysis Conference, Netherlands, 2017.6.27.
  - 30) 北野利一: 極値統計解析は、なぜ “難しい” のか?, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 統計数理研究所, 2017.07.20.
  - 31) 北野利一: 2変量パレート分布を用いた降雨の同時頻度解析, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 統計数理研究所, 2017.07.21.
  - 32) 志村隆彰: 極値解析国際会議 EVA 2017 (Delft) 報告, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 統計数理研究所, 2017.07.21.
  - 33) 田中茂信: AMeDAS 降水量と d4PDF を用いた面積平均降水量の極値の比較, 共同研究集会「極値理論の工学への応用」, 統計数理研究所, 2017.07.21.
  - 34) 田中茂信: 空間平均降水量極値の特性, 防災研究所研究発表講演会, 2018.02.21.
  - 35) 北野利一: 2つの設計潮位レベルに対する統計的解釈, 第 64 回 海岸工学講演会, TKP 札幌駅カンファレンスセンター, 2017.10.26.
  - 36) 北野利一: リスクの幅とハザードの幅, リスク研究会講演会, 滋賀大学, 2017.10.29.
  - 37) 北野利一: 2変量 G P 分布による降水量の同時生起頻度の推定法, 第 62 回 水工学講演会, 岡山大学, 2018.03.07.

### [図書](計 2 件)

- 1) 北野利一: 第 20 章 定常過程の離散時間・連続時間の極値, pp.593-613, 時系列分析ハンドブック (監訳者: 北川源四郎, 田中勝人, 川崎能典), 朝倉書店, 2016.
- 2) 高橋倫也・志村隆彰: 極値統計学, ISM シリーズ: 進化する統計数理 5, 近代科学社, 262p, 2016.

### [産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

[その他] 特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北野利一 (00284307)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 00284307

### (2) 研究分担者

志村隆彰 (SHIMURA TAKAAKI)

統計数理研究所・推論研究系・助教  
研究者番号: 40235677

田中茂信 (TANAKA SHIGENOBU)

京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 70414985