

平均値と分散のジャンプ検出による確率水文量の更新—北海道内22気象官署の年最大日雨量と年最大無降雨連続日数への適用—

RENEWAL OF PROBABLE HYDROLOGICAL AMOUNT USING MEAN AND VARIANCE JUMP — IN CASE OF ANNUAL MAXIMUM DAILY RAINFALL AND NUMBER OF DAYS WITH CONTINUOUS NON-RAINFALL AT 22 METEOROLOGICAL OBSERVATORIES IN HOKKAIDO—

佐渡公明¹・杉山一郎²・中尾隆志³

Kimiteru SADO, Ichiro SUGIYAMA and Takashi NAKAO

¹フェロー 工博 北見工業大学教授 土木開発工学科 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

²正会員 博(工) 北見工業大学非常勤研究員 土木開発工学科 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

³正会員 博(工) 北見工業大学助教 土木開発工学科 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

There is a possibility that the population of extreme precipitation has been changed by a climate change. Therefore it is necessary to estimate the probable hydrological amount which can correspond to the population change using an unsteady frequency analysis.

In this paper, each precipitation data set of 22 meteorological observatories in Hokkaido is divided into 2 partial-duration time series of sample size, n_1 and n_2 ($n_1 \geq 7$, $n_2 \geq 30$, $N = n_1 + n_2$), to detect a mean and a variance jump. Then, T-year probable hydrological amount using n_2 data which is significant for the jump is estimated to compare with the predetermined probable hydrological amount for complete-duration series of sample size, N . Consequently, we clarify that T-year probable hydrological amount of the annual maximum daily rainfall and the annual maximum number of days with continuous non-rainfall need to be renewed by 0.1-49% increase for 12 observatories and 2-14% increase for 5 observatories respectively.

Key Words : T-year probable hydrological amount, mean jump, variance jump, annual maximum daily rainfall, annual maximum number of days with continuous non-rainfall

1. はじめに

河川の基本高水のピーク流量や維持流量の算定に用いられるT年確率日雨量やT年確率無降雨連続日数の推定は、年最大日雨量や年最大無降雨連続日数が定常確率過程を示すという仮定のもとに行われている。しかし、最近の地球温暖化や気候変動が顕在化している気象状況下においては、降水量極値(年最大日雨量, 年最大無降雨連続日数)の母集団は変化している可能性がある。従って、母集団変化に対応できる非定常頻度解析を用いた確率日雨量, 確率無降雨連続日数の推定が必要である。このような指摘は, Z. W. Kundzewicz¹⁾, Z. W. Kundzewicz and A. J. Robson²⁾, 徐・竹内・石平³⁾, 西岡・寶⁴⁾, 寒川・中村⁵⁾ など多くの論文に取り上げられている。筆者らも北海道内22気象官署の年最大日雨量データをを用いて100年

確率日雨量の経年変化を明らかにし, 6官署において治水安全率が低下していることを示している⁶⁾。

本論文では, まず北海道内22気象官署の年最大日雨量, 年最大無降雨連続日数データに対し, 各官署の全統計年数 N を大きさ n_1 の前半部分標本及び大きさ n_2 の後半部分標本に分け($N = n_1 + n_2$), 2つの部分標本に対し平均値と分散のジャンプ検定を行なう⁷⁾。直近の30年間以上($n_2 \geq 30$)にわたるハイジャンプ(n_2 期間の平均値, 分散が n_1 期間の平均値, 分散より大きい)が有意な官署については, ハイジャンプが有意となった n_2 期間のみの部分標本に対しT年確率日雨量, T年確率無降雨連続日数を推定することにより, N 期間の確率降水量を更新する非定常頻度解析を提案する。他方, 直近の30年間以上のハイジャンプが有意でないときまたはロージャンプ(n_2 期間の平均値, 分散が n_1 期間の平均値, 分散より小さい)が有意なときは, 従来と同じく全統計年数データを用いた定常頻度解

表-1 札幌の年最大日雨量の有意な平均値ジャンプと n_2 期間のT年確率日雨量

No.	$\bar{x}_1$ (mm/日)	$\bar{x}_2$ (mm/日)	Jump (mm/日)	n_1 年	n_2 年	4 検定手法				X50 (mm/日)	X100 (mm/日)	X150 (mm/日)	X200 (mm/日)	Model
						t-t	MW	BS-t	BS-MW					
1	65.1	79.2	14.1	79	45	1	1	1	1	187.7	216.4	234.1	246.9	SqrtEt
2	65.0	79.0	14.0	78	46	1	1	1	1	186.3	214.6	232.0	244.7	SqrtEt
3	65.0	78.7	13.7	77	47	1	1	1	1	184.4	212.4	229.5	242.0	SqrtEt
4	65.2	78.2	13.1	76	48	1	1	1	1	182.2	209.6	226.4	238.7	SqrtEt
5	64.7	78.4	13.6	74	50	1	1	1	1	181.9	209.3	226.0	238.2	SqrtEt
6	64.5	78.4	13.8	73	51	1	1	1	1	181.5	208.7	225.4	237.5	SqrtEt
7	64.9	77.5	12.6	72	52	1	1	1	1	181.4	208.8	225.7	237.9	SqrtEt
8	64.9	77.2	12.3	70	54	1	1	1	1	180.5	207.8	224.5	236.8	SqrtEt
9	65.3	77.8	12.5	75	49	1	1	1	1	179.8	206.8	223.3	235.3	SqrtEt
10	65.3	76.9	11.6	71	53	1	1	1	1	179.5	206.7	223.4	235.5	SqrtEt
11	64.4	76.8	12.4	66	58	1	1	1	1	179.4	206.7	223.4	235.6	SqrtEt
12	65.1	76.6	11.5	69	55	1	1	1	1	178.5	205.4	221.9	234.0	SqrtEt
13	64.1	77.4	13.3	67	57	1	1	1	1	177.7	203.0	218.4	229.6	Iwai
14	64.3	76.5	12.2	64	60	1	1	1	1	176.6	201.7	216.9	228.0	Iwai

析により確率降水量を推定する。これにより、その地域の治水・利水安全率を高めることができ、その理論的根拠を示すことができる。普通、気候変動解析に用いられるトレンド成分解析では、気候変動による確率降水量への影響を推定出来ないのが、本論文ではジャンプ検定を用いて確率降水量への影響を調べる。最近時々発生している超過洪水は、基本高水のリターンピリオドが計画当時よりは下がっていることが原因で発生していることも予想され、これに関連して本研究は、治水安全率の更新の必要性を暗示している。

2. 最近30年間以上にわたる年最大日雨量の平均値、分散のジャンプ検出

北海道内22気象官署における年最大日雨量の観測時系列 X ($=x_1, \dots, x_N$) を、大きさ n_1 の前半部分標本 X_1 ($=x_1, \dots, x_{n_1}$) と大きさ n_2 の後半部分標本 X_2 ($=x_{n_1+1}, \dots, x_{n_1+n_2}$) ($n_1+n_2 = N$) に分け、 X_1, X_2 に対し平均値と分散のジャンプ検定を行なう。平均値のジャンプについてはt検定 (以下t-tと略記)、Mann-Whitney検定(MW)、ブートストラップt検定(BS-t)、ブートストラップMann-Whitney検定(平均値BS-MW)を用い、さらに分散ジャンプについてはF検定(F-t)、ブートストラップF検定(BS-F)、著者らが提案している分散ジャンプ用ブートストラップMann-Whitney検定(分散BS-MW)⁷⁾を用いる。

データ数と年最大日雨量の確率降水量との関係について、寒川ら⁸⁾は長野県下の3観測所について年最大日雨量の分布にGumbel分布を用い、データ数が30~40個以上になると50年、100年確率日雨量が安定してくることを示した。ここでは、 X_1 と X_2 に対するハイジャンプが有意なときは、 n_2 期間の部分標本に対してT年確率日雨量を計算する。従って、 n_2 を30個以上とした。

一般に標本の大きさが大きければブートストラップ反復回数 M も大きくとる必要がある⁹⁾。 $M=3000$ とすると、

$6!=720 < M=3000 < 7!=5040$ の関係から、標本の大きさが6のとき、最少でも3000-720=2280組のブートストラップ標本は一度抽出された標本と全く同じ標本となり不自然である¹⁰⁾。これを防ぐために、 $n_1 \geq 7$ とした。

22官署のジャンプ検出を行なう前に、角屋の方法¹¹⁾を用いて3母数対数正規分布による異常値棄却検定を行なった結果、苫小牧における1950年の447.9mm/day、広尾における1998年の356.0mm/dayが異常値と判定された⁶⁾。そこで、データに異常値が含まれると確率降水量に大きな誤差を与える可能性があるため、これらの異常値を前後年の平均値で置き換えた。

(1) 平均値のジャンプ検出

表-1は一例として札幌の年最大日雨量データに対し、平均値のジャンプ検出を行なった結果である。 $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ は X_1, X_2 の平均値、 $Jump = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$ 、4検定手法の欄の1はハイジャンプが有意なことを示し、X50~X200は最適確率分布を用いて計算した n_2 期間に対する50~200年確率日雨量の値である。最後の欄のModelは、9種類の確率分布モデル (一般化極値分布(GEV)、PearsonⅢ型分布(P3)、対数PearsonⅢ型分布(LP3)、2母数対数正規分布(LN2)、3母数対数正規分布(LN3)、岩井法(Iwai)、Gumbel分布(Gumbel)、Gumbel-Chow法(G-C)、平方根指数型最大値分布(SqrtEt))の中から、標準最小二乗規準(SLSC)¹²⁾を最小にさせるという判断基準を用いて採用した最適確率分布である。 $n_1 \geq 7, n_2 \geq 30, n_1 + n_2 = 124$ を満足する部分標本 X_1, X_2 の88通りの組み合わせについて平均値ジャンプの検定を行ない、4検定手法全てでハイジャンプが有意となった14通りの組み合わせを50年確率日雨量X50の大小順に示している。リターンピリオドTが異なると、それに対応する確率降水量の大小順が一般に異なる。

No.1の組み合わせが、平均値ジャンプとT年確率日雨量が共に最大である。このときの時系列を図-1(a)に示す。青の点線がN年間の平均値、赤の実線が1961年に平均値ジ

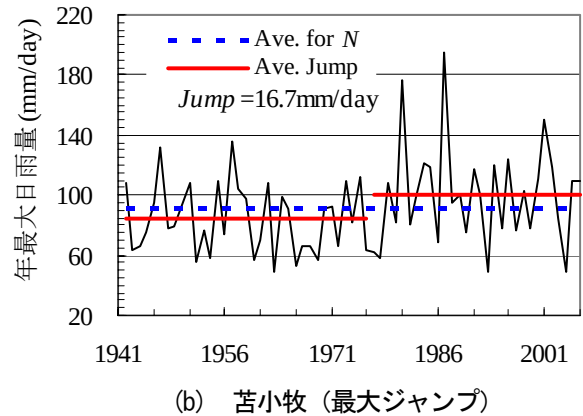
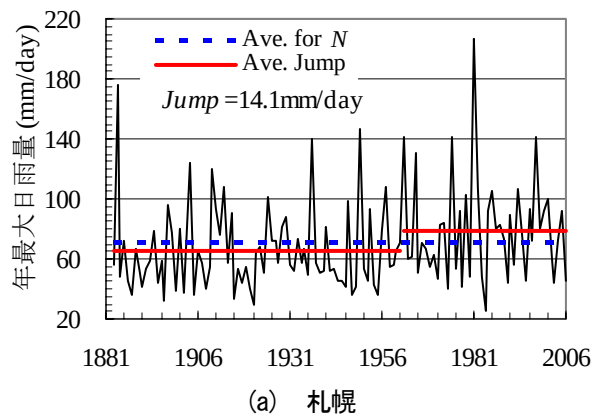


図-1 n_2 期間の100年確率日雨量が最大となる平均値ジャンプの例 (a) 札幌 (b) 苫小牧 (最大ジャンプ)

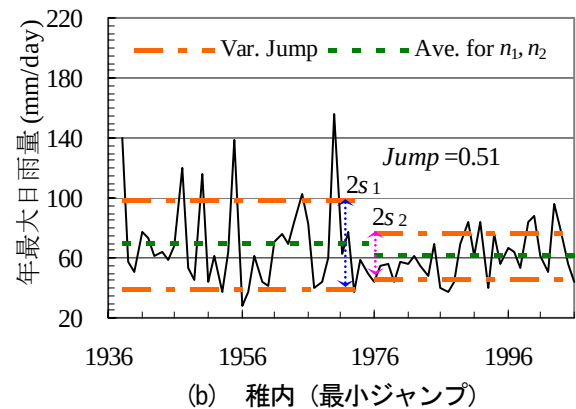
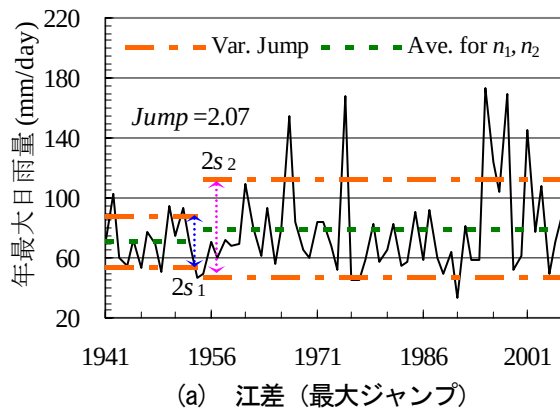


図-2 n_2 期間の100年確率日雨量が最大となる分散ジャンプの例 (a) 江差 (b) 稚内

ジャンプ14mm/dayが発生したときの、ジャンプ発生前の時系列 X_1 と発生後の時系列 X_2 の平均値を示している。

以下同様に、他の官署についても平均値ジャンプ検定を行ない、4検定手法全てにおいてハイジャンプが有意となった官署は、苫小牧、浦河、寿都、倶知安、小樽、室蘭であり、道内14支庁の内、道南の胆振・日高・後志地方に集中している。逆に、4検定手法全てにおいてロージャンプが有意となった官署はなかった。ハイジャンプが最大となった苫小牧に対し、 X_{100} が最大となる X_1 、 X_2 の組合せについて、その時系列を示したのが図-1 (b)である。 N 年間の平均値を挟んでハイジャンプが生じている様子が分かる。

(2) 分散のジャンプ検出

前節と同様に各官署に対し、 $n_1 \geq 7$ 、 $n_2 \geq 30$ 、 $n_1 + n_2 = N$ を満足する部分標本 X_1 、 X_2 の全組合せについて分散ジャンプの検定を行ない、3検定手法全てでハイジャンプが有意となった組合せについて X_{50} 、 X_{100} 、 X_{150} 、 X_{200} を求めた。

3検定手法全てにおいてハイジャンプが有意となった官署は、網走、寿都、帯広、根室、旭川、江差、小樽、逆にロージャンプが有意となった官署は函館、稚内であり、全道的に分布している。分散ジャンプが有意となった官署に対し、 X_{100} が最大となる X_1 、 X_2 の組合せにつ

いて、ジャンプの最大(江差)、最小(稚内)の場合の時系列を図-2 (a)、(b)に示す。図中のJumpは、 $\text{Jump} = s_2/s_1$ (s_1 、 s_2 は X_1 、 X_2 の標準偏差)である。

3. 平均値、分散のジャンプ検出によるT年確率日雨量の更新

第2章の最近30年間以上にわたる年最大日雨量の平均値、分散のジャンプ検定結果を用いて、統計年数 N 年間にに対し定常頻度解析により推定したT年確率日雨量の更新を考える。本章では、 N 年間にに対し最適確率分布を用いて推定したT年確率日雨量を XT 、また、平均値ジャンプまたは分散ジャンプが有意で n_2 年間にに対し、最適確率分布を用いて推定したT年確率日雨量をそれぞれ YT 、 ZT とする。

ロージャンプが有意となった函館、稚内におけるJumpは0.68、0.51であった。このとき函館、稚内の X_{100} は170.6、158.3mm/day (最適確率分布は第2章(1)の9種類の中から共にGEV) であるのに対し、 Z_{100} はそれぞれ159.2、107.7mm/day (最適確率分布はそれぞれLP3、LN2) と低下している。このように、ロージャンプが有意なときは、 XT に対し YT 、 ZT は当然低下するが、行政的には治水施設整備の低下を避けるための XT の更新は不要とする。

ハイジャンプが有意なときに、 $XT < YT$ 、 $XT < ZT$ となり、

表-2 全統計年数に対するT年確率日雨量XTから平均値ジャンプによるYT, 分散ジャンプによるZTへの更新

No.	官署	N 年	最適 PDF	X50 mm/日	更新型	Jump		n ₂ 年	最適 PDF	Y50 mm/日	Z50 mm/日	Y50/X50	Z50/X50
						$\bar{x}_2 - \bar{x}_1$	s_2/s_1						
1	網走	117	GEV	111.5	II	—	1.64	30	LP3	—	150.1	—	1.346
2	寿都	123	GEV	141.5	III	—	1.79	48	LP3	—	183.9	—	1.300
3	帯広	115	Iwai	147.9	II	10.5	—	84	LP3	153.8	—	1.087	—
4	根室	123	P3	142.4	II	—	1.36	30	LN2	—	182.7	—	1.235
5	札幌	124	P3	142.4	II	—	1.32	44	LN2	—	172.3	—	1.210
6	旭川	115	P3	150.3	I	—	1.41	45	SqrtEt	187.7	—	1.178	—
7	旭川	115	P3	150.3	II	—	1.51	53	Iwai	—	175.8	—	1.170
8	苫小牧	65	Gumbel	168.7	I	—	1.67	30	LP3	193.7	—	1.148	—
9	江差	66	LP3	167.4	II	—	2.07	49	Iwai	—	183.2	—	1.094
10	浦河	80	LN3	151.9	I	—	11.6	45	GEV	163.8	—	1.078	—
11	小樽	64	LP3	136.2	III	—	1.75	48	LN2	—	144.7	—	1.062
12	倶知安	63	GEV	145.1	I	16.7	—	52	Gumbel	139.0	—	1.021	—
13	室蘭	84	GEV	147.2	I	14.2	—	46	LP3	154.0	—	1.061	—
14	室蘭	84	GEV	147.2	I	12.6	—	64	P3	149.2	—	1.014	—

No.	官署	X100 mm/日	Y100 mm/日	Z100 mm/日	Y100/X100	Z100/X100	X200 mm/日	Y200 mm/日	Z200 mm/日	Y200/X200	Z200/X200
1	網走	128.2	—	181.3	—	1.414	146.4	—	218.3	—	1.491
2	寿都	164.0	—	224.8	—	1.371	189.1	—	273.3	—	1.445
3	帯広	163.9	180.3	—	1.099	—	—	210.2	—	1.112	—
4	根室	155.2	—	204.4	—	1.247	167.7	—	214.8	—	1.281
5	旭川	171.2	—	193.3	—	1.245	180.1	—	226.5	—	1.258
6	旭川	171.2	—	206.1	—	1.204	192.3	—	238.8	—	1.242
7	札幌	183.5	216.4	—	1.179	—	209.7	246.9	—	1.177	—
8	苫小牧	184.9	214.2	—	1.158	—	201.0	235.1	—	1.170	—
9	浦河	175.1	193.1	—	1.103	—	200.1	227.1	—	1.135	—
10	江差	194.6	—	211.8	—	1.088	225.0	—	243.4	—	1.082
11	小樽	152.8	162.3	—	1.062	—	170.0	—	180.2	—	1.060
12	倶知安	171.2	154.1	—	1.009	—	—	169.2	—	0.995	—
13	室蘭	171.2	180.4	—	1.054	—	201.3	210.2	—	1.044	—
14	室蘭	162.9	163.5	—	1.004	—	179.1	177.8	—	0.993	—

XTの更新が必要となる。この場合、次の3通りが考えられる。

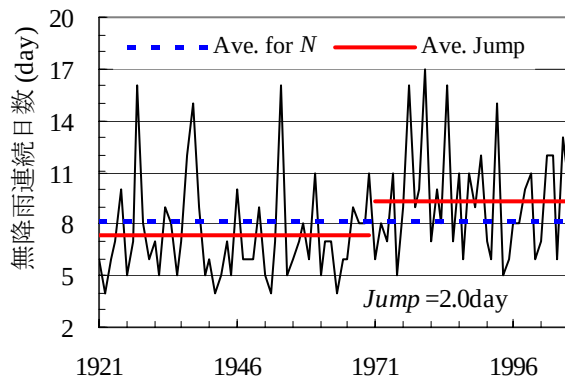
- I型…平均値ジャンプのみが有意でXTをYTで更新
- II型…分散ジャンプのみが有意でXTをZTで更新
- III型…平均値と分散ジャンプの両方が有意で、XTをYTとZTの大きい方で更新

以上の結果を増加率YT/XTまたはZT/XTの大きい順にまとめたのが表-2である。I型には札幌、苫小牧、浦河、倶知安、室蘭が入り、II型には網走、帯広、根室、旭川、江差が入り、III型には寿都、小樽が入っている。No.1の網走は、開所年～2006年の統計年数117年に対し、GEVを用いてX50、100、150、200=111.5、128.2、138.6、146.4mm/dayと推定された。しかし、T=50、100年に対しn₁=87とn₂=30（T=150、200年ではn₁=86とn₂=31）の部分標本でZTを最大とさせる分散ジャンプが発生し、Z50、100、150、200=150.1、181.3、202.1、218.3mm/dayと増加し、最

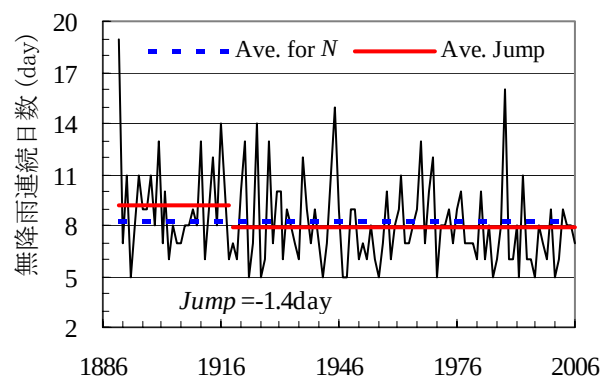
大の増加率35、41、46、49%（T=50、100、150、200に対し）を示している。更新すべきT年確率日雨量の増加率YT/XTまたはZT/XTは、T=50年に対し1.4～35%、T=100年で0.4～41%、T=150年で0.1～46%、T=200年で4.4～49%である。同一官署ではTの増加と共に増加率が増える傾向にある。表-2において増加率が1未満のYT、ZTは更新の対象から外す。

4. 平均値、分散のジャンプ検出によるT年確率無降雨連続日数の更新

本章では、N年間に対し最適確率分布を用いて推定したT年確率無降雨連続日数をXT、平均値または分散ジャンプが有意でn₂年間に対し最適確率分布を用いて推定したT年確率無降雨連続日数をそれぞれYT、ZTとする。

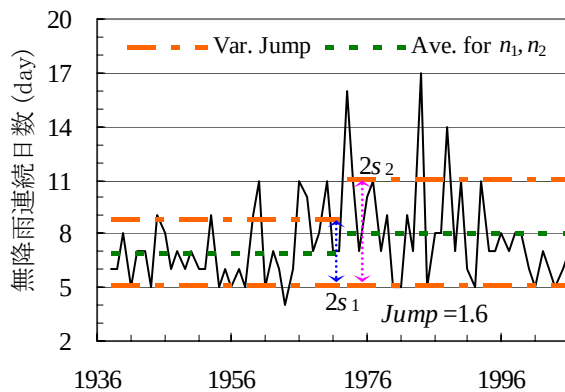


(a) 羽幌 (最大ジャンプ)

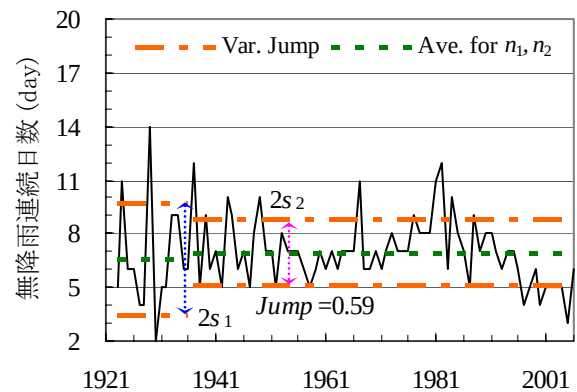


(b) 網走 (最小ジャンプ)

図-3 n_2 期間の10年確率無降雨連続日数が最大となる平均値ジャンプの例 ((a) 羽幌 (b) 網走)



(a) 稚内 (最大ジャンプ)



(b) 室蘭 (最小ジャンプ)

図-4 n_2 期間の10年確率無降雨連続日数が最大となる分散ジャンプの例 ((a) 稚内 (b) 室蘭)

(1) 平均値、分散のジャンプ検出

北海道内22気象官署の無降雨連続日数データに対する平均値、分散のジャンプ検定を第2章(1), (2)と同様の手法で行なった。

リターンピリオドが10年の場合、平均値ジャンプが有意な官署名と Y_{10} を最大にするジャンプをジャンプの大小順に列記すると、ハイジャンプが羽幌($Jump=2.0$ 日)、稚内(1.3)、ロージャンプが根室(-1.0)、函館(-1.0)、浦河(-1.1)、旭川(-1.2)、網走(-1.4)であった。図-3に羽幌、網走の時系列を示す。同様に、分散ジャンプが有意な官署名と Z_{10} を最大にするジャンプを列記すると、ハイジャンプが稚内($Jump=1.64$)、釧路(1.61)、浦河(1.54)、ロージャンプが寿都(0.71)、北見枝幸(0.64)、小樽(0.61)、室蘭(0.59)であった。図-4に稚内、室蘭の時系列を示す。

(2) T年確率無降雨連続日数の更新

第3章と同様にハイジャンプが有意なときに、 XT を YT または ZT で更新することになり、更新型にはI, II, III型がある。T=5, 10, 20年に対する結果を表-3に示す。羽幌がI型、釧路と小樽がII型、稚内と浦河がIII型である。

更新すべきT年確率無降雨連続日数の増加率は、T=5年に対し2~12%、T=10年に対し3~12%、T=15, 20年に対し5~14%であり、T年確率日雨量の増加率と比べ小さいことが分かる。T=5年のとき最大増加率12%は羽幌で起こり、 $X5=10.5$ 日を平均値ジャンプによる $Y5=11.8$ 日で更新することが必要である。T=10, 15, 20年の場合の最大増加率12, 14, 14%は、全て稚内で生じており、 $X_{10, 15, 20}=10.6, 11.6, 12.4$ 日を分散ジャンプによる $Z_{10, 15, 20}=11.9, 13.2, 14.1$ 日で更新することが必要である。

以上のように、年最大日雨量についてはハイジャンプの官署数が多く、年最大無降雨連続日数についてはロージャンプの官署数が多い。また、更新すべきT年確率日雨量の増加率はT年確率無降雨連続日数の増加率より大きい。これは、最近の北海道内の気候変動の影響が、治水計画に関連する年最大無降雨連続日数よりは、治水計画に関連する年最大日雨量に対して強く影響していることを示唆していることになる。

5. 結 論

本研究により得られた結果を以下にまとめる。

表-3 T年確率無降雨連続日数XTからYT, ZTへの更新

No.	官署	N 年	最適 PDF	X5 日	更新型	Jump		n ₂ 年	最適 PDF	Y5 日	Z5 日	Y5/X5	Z5/X5
						$\bar{x}_2 - \bar{x}_1$	s_2/s_1						
1	羽幌	86	P3	10.5	III	2.0	—	36	LN2	11.8	—	1.124	—
2	稚内	69	GEV	9.0	I	1.7	—	41	GEV	9.9	—	1.100	—
3	釧路	97	GEV	8.7	II	—	1.64	34	LP3	—	9.9	—	1.100
4	浦河	80	Iwai	8.4	III	—	1.54	48	GEV	—	9.3	—	1.069
5	小樽	64	GEV	10.2	II	—	1.10	54	LP3	—	8.6	—	1.024
						-1.10	—	39	LN3	7.6	—	0.905	—
						—	0.61	55	Iwai	—	10.4	—	1.020

No.	官署	X10 日	Y10 日	Z10 日	Y10/X10	Z10/X10	X20 日	Y20 日	Z20 日	Y20/X20	Z20/X20
1	羽幌	12.4	13.7	—	1.105	—	14.2	15.5	—	1.092	—
2	稚内	10.6	11.8	—	1.113	—	12.4	13.8	—	1.113	—
3	釧路	10.2	—	11.9	—	1.123	—	—	14.1	—	1.137
4	浦河	9.8	—	11.2	—	1.098	11.9	—	13.5	—	1.134
5	小樽	12.2	—	10.1	—	1.031	—	—	11.7	—	1.054
			8.9	—	0.91	—	11.1	10.2	—	0.92	—
			—	12.2	—	1.000	14.3	—	14.0	—	0.979

- (1) 最近の気候変動を考慮した確率水文量の非定常頻度解析の一方法として、平均値、分散のジャンプ検出に基づいて、従来の全統計年数に対する定常頻度解析によるT年確率水文量を更新する方法を提案した。
- (2) 北海道内22気象官署の年最大日雨量データにジャンプ検定を行なった結果、平均値ジャンプが有意な官署数はハイジャンプが7官署、ロージャンプが0、分散ジャンプが有意な官署数はハイジャンプが7、ロージャンプが2であった。
- (3) (2)のハイジャンプが有意な12官署に対するT年確率日雨量は、従来の値の0.1～49%増の更新が必要であり、同一官署においてはリターンピリオドの増加と共に更新割合が増える傾向にある。
- (4) 年最大無降雨連続日数データについて(2)と同様のジャンプ検定を行なった結果、有意な官署数は平均値のハイ、ロージャンプについてそれぞれ2, 5官署、分散のハイ、ロージャンプについてそれぞれ3, 4官署であった。
- (5) (4)のハイジャンプが有意な5官署に対するT年確率無降雨連続日数は、従来の値の2～14%増の更新が必要である。
- (6) 最近の北海道内の気候変動の影響は、利水計画に関連する年最大無降雨連続日数よりは治水計画に関連する年最大日雨量に対して強く影響していることを示唆している。

謝辞：本研究は、(財)北海道河川防災研究センターの平成16-18年度の研究助成を受けたものです、ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Kundzewicz, Z. W. : Searching for change in hydrological data, *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 49, No. 1, pp. 3-6, 2004.
- 2) Kundzewicz, Z. W. and Robson A. J. : Change detection in hydrological records – a review of the methodology, *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 49, No. 1, pp. 7-19, 2004.
- 3) 徐 宗学, 竹内邦良, 石平 博：日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.121-126, 2002.
- 4) 西岡昌秋, 實 馨：Mann-Kendall検定による水文時系列の傾向変動, 京都大学防災研究所年報, 第46号B, pp. 181-192, 2003.
- 5) 寒川典昭, 中村 哲：日高川流域の月・季節・年降水量の非定常頻度解析, 水工学論文集, 第49巻, pp.7-12, 2005.
- 6) 杉山一郎, 佐渡公明：北海道内22気象官署における降水量の非定常頻度解析, 水工学論文集, 第50巻, pp.187-192, 2006.
- 7) 佐渡公明, 中尾隆志, 杉山一郎：水文時系列の平均値と分散のジャンプ検出および異常値の非異常値化, 水工学論文集, 第52巻, 2008 (搭載決定)。
- 8) 寒川典昭, 荒木正夫, 渡辺輝彦：確率分布の推定母数の不確定性評価法, 土木学会論文集, 第375号/II-6, pp.133-141, 1986.
- 9) 汪 金芳, 田栗正章, 手塚 集, 樺島祥介, 上田修功：計算統計I-確率計算の新しい手法, 統計科学のフロンティア11, 岩波書店, pp. 1-64, 2006.
- 10) 奥村晴彦：パソコンによるデータ解析入門-数理とプログラミング実習, 技術評論社, pp.215-224, 1990.
- 11) 角屋 睦：異常(確率)水文量とデータの棄却検定, 農業土木研究別冊第3号, pp.23-27, 1961.7.
- 12) 實 馨, 高埴琢馬：水文頻度解析における確率分布モデルの評価規準, 土木学会論文集, 第393号/II-9, pp.151-160, 1988.

(2007. 9. 30受付)