

大雨発生の周期性と発生頻度に関する研究

糸川和弘 荒川貴志 岡部真人 山田正

**Journal of the Institute of Science
and Engineering**

CHUO UNIVERSITY

Vol.16 2010

.....

中央大学理工学研究所論文集 第16号 2010年

大雨発生の周期性と発生頻度に関する研究

糸川和弘*・荒川貴志*・岡部真人*・山田正*

A STUDY ON PERIODICITY AND FREQUENCY OF OCCURRENCE OF EXTREME VALUE RAINFALL

Kazuhiro ITOKAWA, Takashi ARAKAWA, Masato OKABE
and Tadashi YAMADA

Abstract

In recent years, calculation of basic flood discharge in river planning is based on the maximum rainfall in history. Characteristics of occurrence of heavy rainfall such as this maximum rainfall in history are evaluated by return period which was estimated by extreme value statistics. In order to supplement existing extreme value statistics, frequency of heavy rain and periodicity were discussed based on theory of record breaking and spectrum analysis with actual measurement value of rainfall which observed in observatories of Kanto region, Abukuma river basin, Agano river basin and Fuji river basin in this study. Results of analysis from theory of record breaking, Average number of record breaking of each observation time of annual maximum rainfall in all observatories are within range of the theory and record of heavy rainfall were broken about 4times for 40years. On the other hand, results of spectrum analysis, Annual maximum 3 days rainfall has period of about from 5 years to 13 years at 32 of 38points for analysis in mountain area. Annual maximum 10 minutes rainfall and annual maximum 1 hour rainfall has period of about from 5 years to 8 years at 3 of 6points for analysis in plain area.

1 はじめに

近年、IPCC第4次報告[1]や異常気象レポート2005[2]などにより地球温暖化やそれに伴う気候変動による台風の激化や集中豪雨の発生頻度の増加など降雨特性の経年的な変化と共に水災害の増加が指摘されている。降雨現象の長期変動については年降水量を用いた研究が近森ら[3]によって行われており、日本の年降水量に33年の周期があることが示されている。また、岩切ら[4]は津市における8月降水量と12月降水量に10年周期があることを示している。しかし、洪水災害や土砂災害等の直接の要因となるのは年最大値を記録するような極値降雨であると考えられる。実際、近年の河川計画における計画高水流量の算定なども結果的に既往最大降雨に基づいて行われており、極値降雨の発生特性を解明することは重要である。現在、河川計画に用いられるような極値降雨の発生特性に関しては確率過程に従い乱数的に発生するとして正規分布、グンベル分布等にあてはめる極値統計学が用いられ、極値降雨の頻度分布に適合する確率密度関数が提案され、これによりある大きさ以上の降雨が平均的に再現するまでの時間として確率年(年超過確率)を推定し評価しており、劉ら[5]によって年総降雨量、年最大日降雨量、年最大1時間降雨量、年最大10分間降雨量の頻度分布を用いた確率密度関数の提案とその適合度、確率密度関数の統合化について確率論的な観点から検討が行われている。

本研究では関東地方及び、阿武隈川水系、阿賀野川水系、富士川水系の雨量観測地点の降雨の実測データから得た年最大降雨量を用いて新記録の統計学を降雨現象に適用し、さらに降雨データの観測時間、観測初期年を変化させて新記録数をみるという新しい手法を提案すると共にスペクトル解析という決定論的な観点から大雨の発生特性を解明することを目的に研究を行った。

*中央大学理工学研究所 東京都文京区春日1-13-27

2 研究に用いた雨量データ

本研究では10分間, 1時間, 1日に降った雨量を各々10分間降雨量, 1時間降雨量, 日降雨量, 連続した2日間, 3日間の日降雨量を足し合わせたものをそれぞれ2日累積雨量, 3日累積降雨量とした。また、標高200m以上の観測所を山地部, 標高200m未満の観測所を平野部と定義した。利根川水系, 荒川水系, 那珂川水系, 阿武隈川水系, 阿賀野川水系, 富士川水系にある国土交通省の雨量観測所38地点及び, 気象庁の雨量観測地点10地点の各地点における年最大日降雨量, 年最大2日累積降雨量, 年最大3日累積降雨量を用い, 気象庁の雨量観測地点12地点における年最大1時間降雨量及び, 気象庁の雨量観測地点6地点における年最大10分間降雨量を用いた。

3 新記録の理論による解析

ある年から観測された降雨の各年の年最高記録に注目する。このとき, 観測開始年の年最高記録は新記録である。もし降雨特性に経年変化がなく, 各年の最高記録が同一の連続分布に従うものとするならば, i 年目の最高記録が新記録である確率は, $1/i$ となる。なぜならば, $1, 2, \dots, i$ 年目のうちどれが最大となるかはすべて等確率でその確率は $1/i$ に等しいからである。既往の研究[6], [7]より確率変数 X_i を

$$X_i = 1 : i\text{年目の記録が新記録であるとき}$$

$$X_i = 0 : \text{新記録でないとき}$$

と定義すると, それらは互いに独立で

$$P\{X_i = 1\} = \frac{1}{i}, P\{X_i = 0\} = \frac{(i-1)}{i}$$

となり, それらの期待値と分散は

$$E(X_i) = P\{X_i = 1\} = \frac{1}{i}$$

$$V(X_i) = E(X_i^2) - E(X_i)^2$$

$$= P\{X_i = 1\} - P\{X_i = 1\}^2 = \frac{(i-1)}{i^2}$$

となる。ここで n 年間の新記録数を R_n とすると

$$R_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n$$

であるから, その期待値と分散は

$$E(R_n) = 1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n}$$

$$V(R_n) = 1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} - 1 - \frac{1}{2^2} - \dots - \frac{1}{n^2}$$

と表される。 $n=200$ までのこの関係をFig.1に示す。この図より新記録数は100年間で約5回, 200年間で約6回出現することがわかる。また, 同じ観測時間 n 年であっても観測初期年をいつから取るかにより新記録数が異なるため, 本研究では観測時間, 観測初期年の双方を変化させ新記録数を算出した。

4 実測雨量データによる新記録の出現頻度

平野部の代表として東京(標高:6m)における各年の年最大日降雨量をFig.2に, 山地部の代表として群馬県の中之条(標高:351m)における各年の年最大日降雨量をFig.3に

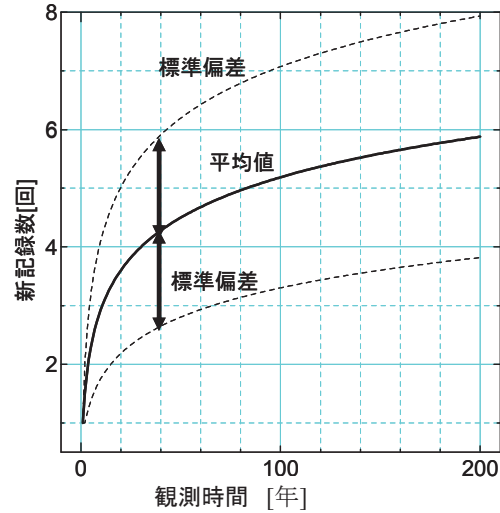


Fig.1 statistical relation between number of record breaking

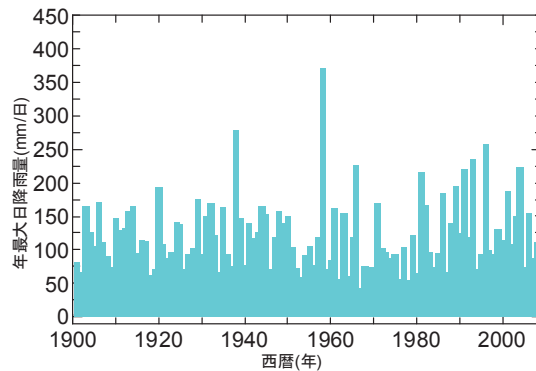


Fig.2 Annual maximum daily rainfall at Tokyo

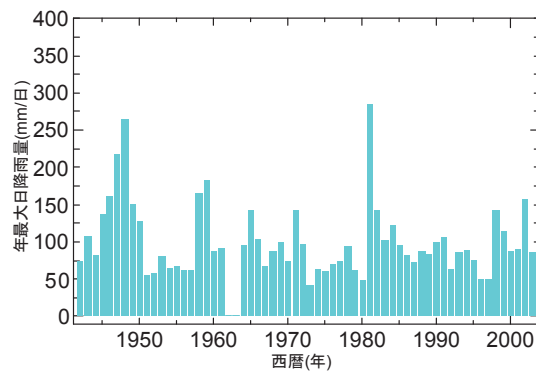


Fig.3 Annual maximum daily rainfall at Nakanojo, Gunma

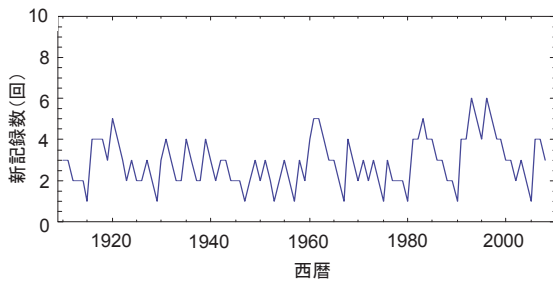
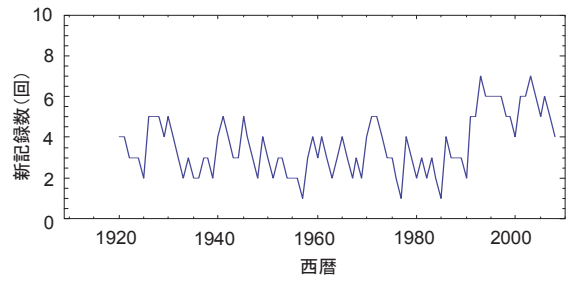


Fig.4 Number of record breaking of annual maximum daily rainfall at Tokyo in case of that observation time is 10 years

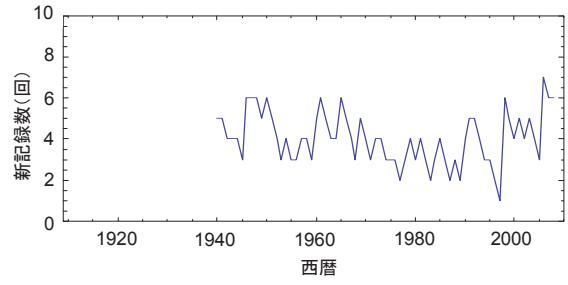
示す。次に、東京における年最大日降雨量の新記録数を示す。Fig.4, Fig.5は観測時間を10年, 20年, 40年, 60年と変化させた場合の新記録数を示している。Fig.4において、1910年の新記録数が3回と示されているが、これは1901～1910年までの10年間で新記録が3回発生していることを示している。以下同様に観測初期年を1年ずつ移動させて新記録数を算出し、図示している。Fig.4, Fig.5から2つの傾向が読み取れる。1つは観測時間が20年～40年というスケールで見ると1990年代半ばから2000年代以降に新記録数がジャンプ、あるいは増加傾向にある。2つ目として、観測時間が50年～70年というスケールで見ると観測期間全体を通して新記録数は減少傾向にある。このように新記録数の傾向が異なるのは、東京においては1958年の年最大日降雨量が極端に大きい降雨量であったことに起因している。観測時間を20年, 30年, 40年としたときの記録数は1980年代と1990年代初めに新記録数が減少しており、1958年の年最大日降雨量が極端に大きな値であったために、この日降雨量を超えるような降雨現象が生じなかったことから新記録が発生しなかった。1985年以降ではほぼ隔年おきに新記録が発生している。

5 実測雨量データによる新記録数と新記録の理論の関係

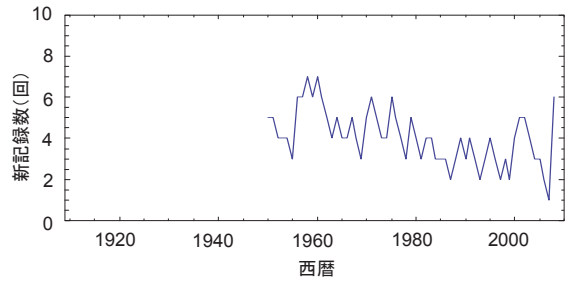
次に、平野部, 山地流域の代表として観測時間を10年, 20年, 30年, 40年としたときの東京, 中之条における年最大日降雨量の新記録数の平均値と、既往の研究[6], [7]から得られた新記録数と観測時間の統計的関係をFig.6に示す。年最大日降雨量から得られた新記録数の平均値が新記録の出現理論の期待値の標準偏差内にあることがわかる。同様の解析を行った結果、解析対象とした平野部, 山地流域の全雨量観測地点において年最大10分間降雨量, 年最大1時間降雨量, 年最大日降雨量, 年最大2日累積降雨量, 年最大3日累積降雨量から得られた各観測時間における新記録数の平均値が新記録の出現理論の期待値の標準偏差内にあった。



Observation time 20years



Observation time 40years



Observation time 60years

Fig.5 number of record breaking of annual maximum rainfall each observation times at Tokyo

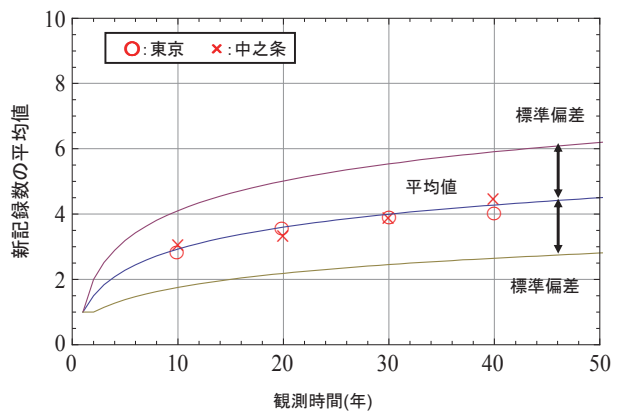


Fig.6 Average number of record breaking on annual maximum daily rainfall of each observation time at Tokyo and statistical relation between number of record breaking and observation time

6 複数地点における極値降雨の最大値の新記録数と新記録の理論の関係

近年、気象庁の雨量観測所が増加しており、観測地点が増えたことが記録破りの大雨の発生頻度に影響を与えている可能性を考慮し、各年における東京、横浜、熊谷、前橋、宇都宮、水戸の6地点での年最大降雨量の最大値に新記録の統計学を適用し、その新記録数について検討を行う。6地点における最大のn年最大日降雨量を用いた際の新記録数の平均値と観測時間の関係をFig. 7に示す。この図から各観測時間における年最大日降雨量の6地点最大値の新記録数の平均値は新記録の統計学から導出した新記録数の期待値の標準偏差内にある。この結果より、観測地点を増やして新記録数をみた場合でも新記録数は新記録の統計学の理論値の範囲にあることが分かる。近年、雨量観測地点が増加したことは記録破りの豪雨の発生頻度には影響を与えていないことがわかる。

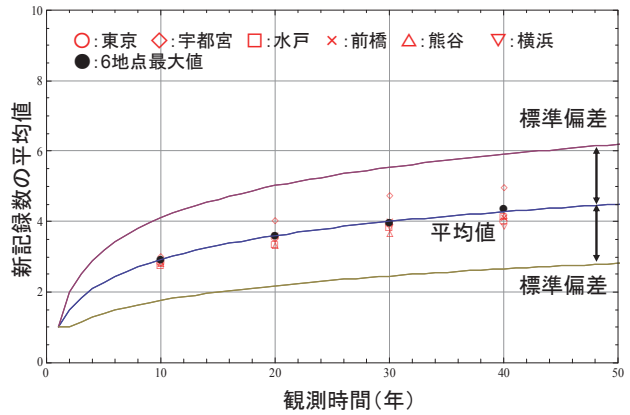


Fig.7 Average number of record breaking on annual maximum daily rainfall counted by using maximum value on 6 points and statistical relation between number of record breaking and observation time (observation time : 10, 20, 30, 40years)

7 平野部と山地部における降雨量の周期性

2章で示した雨量データを用いて平野部と山地部の各雨量観測所における極値降雨についてスペクトル解析を行い、卓越周期を算出した。乱数を発生させスペクトル解析を行った場合でも3、4年程度の周期が卓越するため、本研究では卓越周期が5年より長い場合を周期があると定義し、目視により各雨量観測所の極値降雨に周期があるか検討を行った。

7.1 年最大日降雨量の周期性

まず、平野部と山地部の雨量観測所における年最大日降雨量を用いてスペクトル解析を行い、卓越周期を算出した。平野部の代表として東京(標高:6m)における年最大日降雨量のスペクトル解析の結果をFig.7に、山地部の代表として群馬県の中条観測所(標高:351m)における年最大日降雨量のスペクトル解析の結果をFig.8に示す。東京における年最大日降雨量には卓越周期が見られず、中条観測所における年最大日降雨量には約10年の周期が見られた。同様の解析を行った結果、平野部の各雨量観測所における年最大日降雨量では10地点中1地点で約10年の周期が見られた。山地部の各雨量観測所における年最大日降雨量では38地点中27地点で約5年～約17年の周期が見られた。

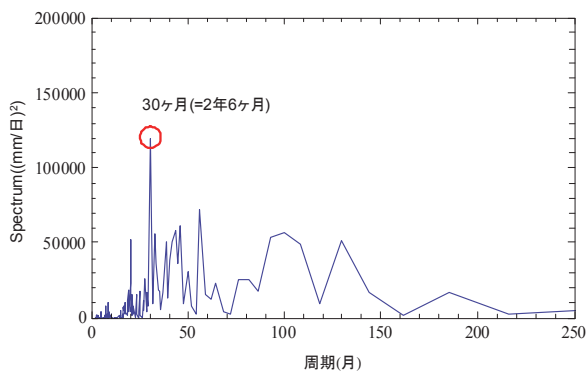


Fig.7 Spectrum of annual maximum dairy rainfall at Tokyo

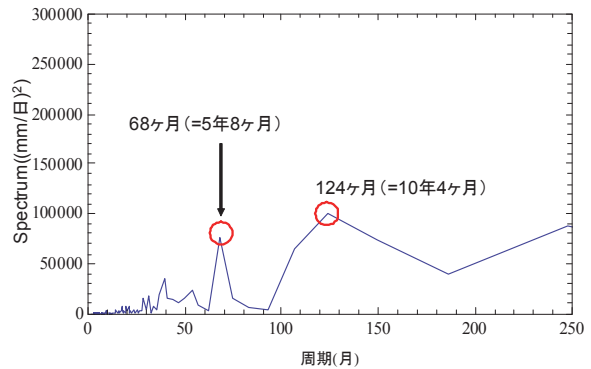


Fig.8 Spectrum of annual maximum dairy rainfall at Nakanojo

7.2 年最大3日降雨量の周期性

次に、日付を越えて降り続けるような長時間に亘る大雨の発生特性を検討するため年最大3日累積降雨量を用いてスペクトル解析を行い、卓越周期を算出した。平野部の代表として東京(標高:6m)における年最大3日累積降雨量のスペクトル解析の結果をFig.9に、山地部の代表として群馬県中之条観測所(標高:351m)における年最大3日累積降雨量のスペクトル解析の結果をFig.10に示す。東京における年最大3日累積降雨量には卓越した周期が見られず、中之条観測所における年最大3日累積降雨量には約11年の周期が見られた。同様の解析を行った結果、平野部の各雨量観測所における年最大3日累積降雨量では10地点中1地点で約10年の周期がみられた。山地部の各雨量観測所における年最大3日累積降雨量では38地点中32地点で約5年～約17年の周期が見られた。

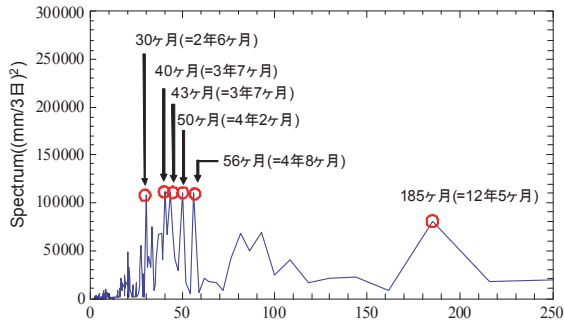


Fig.9 Spectrum of annual maximum 3days rainfall at Tokyo

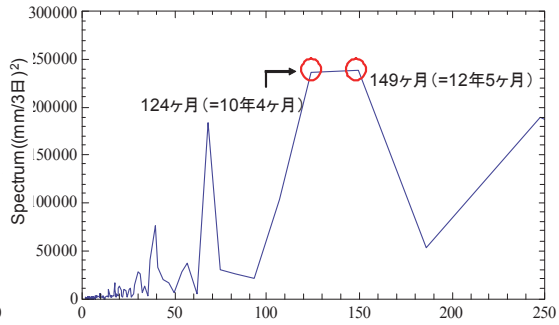


Fig.10 Spectrum of annual maximum 3days rainfall at Nakanojo

7.3 年最大1時間降雨量の周期性

また、局所的集中豪雨のような短時間で発生する大雨の特性を検討するため平野部と山地部の雨量観測所における年最大1時間降雨量を用いてスペクトル解析を行い、卓越周期を算出した。東京(標高:6m)における年最大1時間降雨量のスペクトル解析の結果をFig.11に、群馬県中之条観測所(標高:351m)における年最大1時間降雨量のスペクトル解析の結果をFig.12に示す。東京における年最大1時間降雨量には約10年の周期が見られ、中之条観測所における年最大1時間降雨量には卓越した周期が見られなかった。同様に平野部の各雨量観測所における年最大1時間降雨量では6地点中3地点で約6年～約10年の周期が見られた。山地部の各雨量観測所における年最大1時間降雨量では6地点中1地点で約8年の周期が見られた。

7.4 年最大10分間降雨量の周期性

また、さらに短時間で発生する豪雨の特性を検討するため10分間降雨量について平野部の雨量観測所における年最大10分間降雨量を用いてスペクトル解析を行い、卓越周期を算出した。東京(標高:6m)における年最大10分間降雨量のスペクトル解析の結果をFig.13に示す。東京における年最大10分間降雨量には約6年の周期が見られた。同様に平野部の各雨量観測所における年最大10分間降雨量では6地点中3地点で約6年～約10年の周期がみられた。

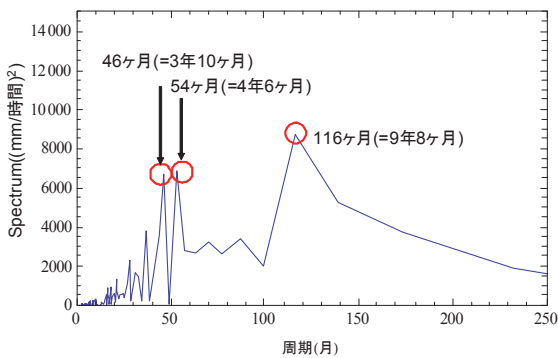


Fig.11 Spectrum of annual maximum 1hour rainfall at Tokyo

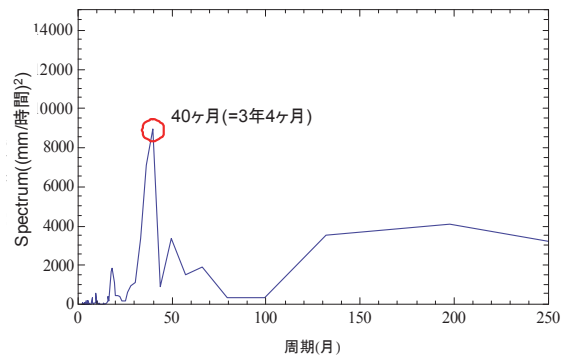


Fig.12 Spectrum of annual maximum 1hour rainfall at Nakanojo

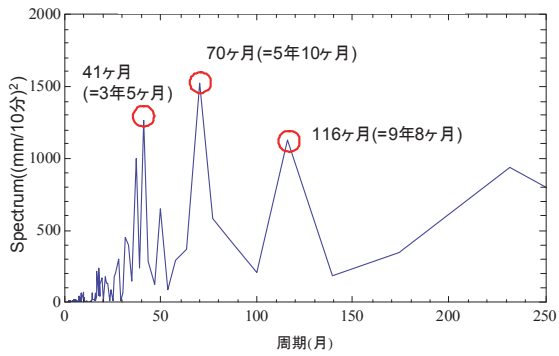


Fig.13 Spectrum of annual maximum 10minuites rainfall at Tokyo

8 極値降雨の周期の空間分布特性

解析対象とした各雨量観測所の位置と年最大3日累積降雨量の卓越周期の有無をFig. 14に示す。関東地方においては平野部では1地点を除き、卓越周期が見られず、山地で周期的に極値降雨が発生していることがわかるが、東北地方で極値降雨の卓越周期の有無に明瞭な特徴は見られない。山地における解析対象地点の標高と年最大3日累積降雨量の卓越周期の有無をTable. 1に示す。山地における標高と極値降雨の卓越周期の有無には関係は見られなかった。

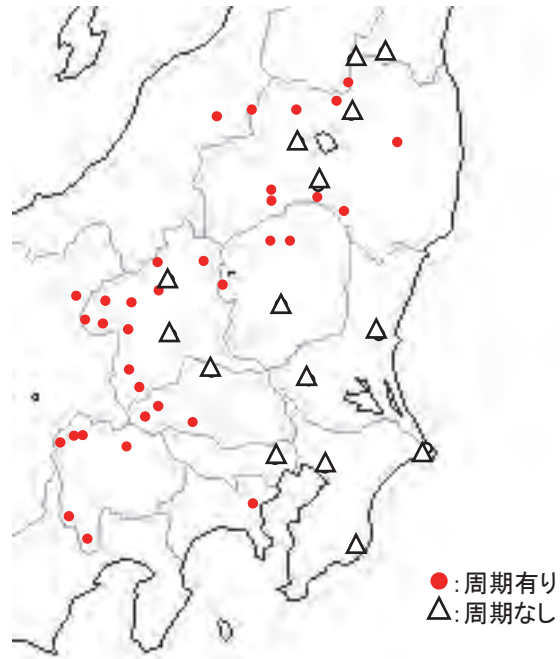


Fig. 14 Observatories for Analysis and periodicity of annual maximum 3days rainfall at that point

Table. 1 Periodicity of annual maximum 3days rainfall and elevation at each observatory in mountain districts

水系名	河川名	観測所名	標高	卓越周期	水系名	河川名	観測所名	標高	卓越周期
利根川水系					富士川水系				
	鎚川	下仁田	250m	○		雨畑川	碓島	447m	○
	利根川	沼田	316m	○		笛吹川	三富	830m	○
	神流川	万場	320m	○		富士川	小淵沢	852m	○
	吾妻川	中之条	351m	○		須玉川	浅川	1000m	○
	烏川	三ノ倉	400m	○		塩川	増富	1065m	○
	薄根川	発知	510m	×	阿賀野川水系				
	利根川	湯原	523m	○		奥川	飯沢	220m	○
	渡良瀬川	足尾	630m	○		湯川	東山	420m	×
	吾妻川	小雨	730m	○		阿賀川	田島	555m	○
	吾妻川	応桑	1100m	○		大塩川	大塩	580m	○
	湯川	草津	1144m	○		荒海川	滝の原	695m	○
	吾妻川	田代	1230m	○		観音川	南倉沢	740m	×
	片品川	丸沼	1439m	○	阿武隈川水系				
荒川水系						白石川	塩倉	200m	×
	赤平川	小鹿野	240m	○		摺上川	梨平	235m	×
	入間川	名栗	250m	○		杜川	金山	350m	○
	荒川	三峰	1084m	○		大滝根川	常葉	437m	○
那珂川水系						阿武隈川	真船	560m	○
	箒川	下塩原	890m	○		杉田川	岳	562m	×
	那珂川	板室	1248m	○		松川	滑川	840m	○
						荒川	野地	1990m	○

9 まとめ

本研究では大雨の発生特性を解明することを目的に関東地方及び、阿武隈川水系、阿賀野川水系、富士川水系の雨量観測所における極値降雨の実測データを用いて新記録の統計学を降雨現象に適用すると共にスペクトル解析を行い、各雨量観測所における極値降雨の経年変化について検討した。以下に本研究で得られた知見を示す。

(1)各観測地点における年最大降雨量の新記録数について観測時間ごとの平均値は理論の範囲内であった。また、解析対象とした山地部と平野部で記録破りの大雨の発生頻度に違いはみられず、40年で約4回、平均して10年に1回記録破りの大雨が発生している。

(2)山地部では解析対象とした38地点中32地点で年最大3日累積降雨量に約5年～約17年の周期がみられ、継続時間の長い豪雨が周期的に発生する傾向があることがわかった。

(3)平野部では解析対象とした6地点中3地点で年最大10分間降雨量、年最大1時間降雨量に約5年～約10年の周期がみられ、短時間スケールで起こる豪雨が周期的に発生する傾向があることがわかった。

参考文献

- [1] CLIMATE CHANGE 2007 -The Physical Science Basis-, IPCC FOURTH ASSESSMENT REPORT, Technical Summary, pp.19-92, 2007.
- [2] 気象庁:異常気象レポート2005 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～(VII), pp.61-64, 2006.
- [3] 近森邦英:年降水量の統計的諸特性について, 農土誌, 71(2),pp.125-130,2003.
- [4] 岩切敏:津市における降水量の永年変化と変動特性について, 農業気象, 49(3),pp.177-188,1993.
- [5] 劉 剛, 石川重雄, 長坂貞郎, 丸山利輔:年最大降雨量の確率密度関数に関する研究, 水文・水資源学会誌, Vol.12, No.6, pp.502-510, 1999.
- [6] 竹内啓, 藤野和健:スポーツの数理科学, 共立出版, pp.1-25, 1988.
- [7] 渡辺武彦, 松浦正典, 深和岳人, 山田正:新記録の出現理論に基づく大雨の発生頻度に関する研究, 土木学会第 47 回年次学術講演会講演要綱集, 1992.