

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1222

September 2022

## 土砂災害分野におけるL積率法を用いた 解析雨量プロダクトの確率化手法

中谷洋明・金澤瑛

Probability Estimation of Radar Analytical Rainfall Products based on L-Moments method  
in the field of Sediment Disaster Area

NAKAYA Hiroaki

KANAZAWA Akito

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

## 土砂災害分野におけるL積率法を用いた解析雨量プロダクトの確率化手法

中谷洋明\* 金澤瑛\*

Probability Estimation of Radar Analytical Rainfall Products based on L-Moments method  
in the field of Sediment Disaster Area

NAKAYA Hiroaki\* , KANAZAWA Akito\*\*

### 概要

本資料においては、土砂災害分野において土砂災害警戒情報を中心に用いられている国土交通省解析雨量プロダクトに対して、L積率法を適用し、適合度の高い確率分布を得た。合わせて、100年程度までの再起期間について、国土数値情報三次メッシュ・全国1kmメッシュ単位で確率値を推定すると共に、極値統計や気候値等と比較し適用条件を検討した。

キーワード：解析雨量, 確率化, L積率法

### Synopsis

L-moments method, a regional statistical parameter estimation method for probabilistic distributions, is applied to obtain fitted probability distributions for Radar analytical rainfall operationally used by the JMA in collaboration with the MLIT, which are principal rainfall products used as a basis for Sediment Disaster Alert Information in the field of sediment disaster prevention (SABO). Probabilistic rainfall values for 1-km national land numerical information tertiary grid, with return periods up to 100 years, are estimated and their applicability are studied in comparison to extreme statistics and climate values.

Key Words: Radar-based Analytical Rainfall, Probability Estimation, L-moments Method

\* 土砂災害研究室長

Head, Sabo Risk-Management Division

\*\* 土砂災害研究室研究官

Researcher, Sabo Risk-Management Division

## はじめに

わが国では、土砂災害からの警戒避難を支援するため、土砂災害警戒情報が運用されており、2007年度から全国の都道府県で砂防部局と地方気象台が共同発表をしている。土砂災害警戒情報では、全国を漏れなくきめ細かくカバーするよう、地上雨量計ではなく、気象レーダと地上雨量計を合成・校正し、気象庁により提供される解析雨量とその予測値である降水短時間予報が用いられている。

土砂災害警戒情報は2つの指標を組み合わせた評価判定法により基準を定めている。具体的には10分ごとに更新される解析雨量を処理して得られる60分雨量が短期指標であり、タンクモデルを介した得られる土壌雨量指数が長期指標である。短期指標は渓床土砂の移動等による土石流のために、長期指標は雨水浸透による斜面崩壊等によるがけ崩れのために、それぞれ、また複合して用いられる。

2000年代初期には計算座標系の変更、国土交通省と気象庁のデータ統合、また、都道府県も含めた河川・砂防系部局の地上雨量計データの合成、計算スキームの変化等があり解析雨量の品質は一定しなかった。そのため、土砂災害警戒情報の雨量基準(Critical Line, CL, その曲線)策定には1990年代に一定の信頼性を得た畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を適用した動径基底関数法(Radial Basis Function Network)を活用した雨量の頻度法が用いられてきた。2006年以降解析雨量の計算スキームの大幅な変更はなく、運用状況も安定している。2019年度には2006年まで遡って1km<sup>2</sup>化データベースが使用可能となり、運用・現業的にも1km<sup>2</sup>版の配信が開始されている。

CL設定に当たり、雨量の統計解析手法として、データ量が不足していた時期にはやや特異性のある頻度法に依らざるを得なかった。現時点でまだ1km<sup>2</sup>メッシュの解析雨量の蓄積は約16年間分であり、十分とは言えないが、20年弱の蓄積があれば、統計手法を改善することで、砂防分野だけでなく、土木分野でより標準的な確率法の適用が可能になると見込まれる。また、気候変動の影響が懸念される中、最近の豪雨増加傾向を反映した適合確率分布に基づいた統計を得られることから有用性も高い。

そこで、本資料では近い将来に更にデータを追加することを前提に、現時点までに使用可能な解析雨量を用いて、その統計特性を確認した。最近適用事例の多いL積率法に基づいて全国1km<sup>2</sup>メッシュにおいて、実用上よく用いられる60分雨量及び24時間雨量に適用し、その傾向を分析した。土壌雨量指数についても同様の手法を適用し、結果を巻末に参考資料として整理した。土壌雨量指数は、24時間雨量と比べて、タンクモデルを介している分、現時点ではまだ十分に傾向を解明出来ていないが、実際に長期指標として使われていることから比較参考用に整理している。

信頼性の高い土砂災害警戒情報の運用・提供のためには、基礎となる雨量指標を標準化し、その統計特性を多角的に吟味し、砂防工学のみならず土木工学一般、応用地質学や地形学、等での知見と総合した検討が不可欠である。特に最近では鉄道の運行規制や道路の通行規

制にも同じ雨量指標の使用が普及しつつあるため、その標準化は急務と言える。本資料で提示した全国 1 km<sup>2</sup>メッシュでの解析雨量情報は、標準化により多角的な検討の基盤となるものである。警戒避難を含む所謂ソフト対策のみならず、砂防関係施設の設計・整備・保守水準との比較等、ハードとソフトの対策に関する共通の尺度でのリスク評価への展開も視野に入っている。

今後は、引き続きデータの蓄積を図ると共に、具体的な土砂災害事例に適用し、尺度としての意味を確認し、適合分布の確からしさ、再起確率の推定の妥当性等、適用条件の明確化を図っていきたい。

土砂災害研究部土砂災害研究室

## 目次

1	目的	1
2	用いたデータの概要	3
3	検討手法の概要	6
4	L 積率法による確率降雨算出結果	9
4.1	L-moments の算定	9
4.2	データ検定	9
4.3	データの均一性の確認	11
4.4	分布モデルの選定と適合性の判定	13
4.5	確率雨量の算定	15
5	分析	19
5.1	確率分布モデルの選定状況	19
5.2	気候区から見た確率雨量	24
5.3	気候値から見た確率雨量	25
5.4	設計雨量から見た確率雨量	28
6	まとめ	30
	参考文献	
	巻末資料	

## 1. 目的

本資料においては、土砂災害分野、特に警戒避難を呼びかけるための土砂災害警戒情報(以下、「警戒情報」)の降雨指標に用いられている気象庁・国土交通省によるレーダー・アメダス解析雨量(以下、「解析雨量」)を用いて一定の広がりを考慮したL-moments法の適用結果を示す。同手法は、Hoskingら<sup>1),2)</sup>が多数の事例適用と計算収束の効率性を数値実験に基づいて詳説しており、Californiaの地上雨量局の年最大1時間降水量への適用がなされている。本邦では外山ら<sup>3)</sup>による全国でのアメダスへの適用実績がある。呼称として元々Hoskingらは統計学上の慣行的な(conventional)、「従来の」moments(積率)に対して、順序統計を介して線形にした意味で「線形(linear)」にしたことを明確にするために「L-」を付して「L-moments」としていたことから、以下、「L 積率法」、或いは誤解のない限り「本手法」と表記する。

100年に1度(1/100)あるいは50年に1度といった再起確率年に対応した確率降雨を求める頻度解析(Return Period Analysis, 以下「RA」と略する。)では、数10年にわたる観測資料を蓄積した上で、適合する分布型を選定することが前提となる(例えば、水文・水資源ハンドブック<sup>4)</sup>, pp. 228-255)。また、RAと並行して行われるDAD解析における地上雨量計に基づく降雨強度式の係数設定においても地域統計解析については比較検証事例が蓄積され、信頼性を保つための手順が知られている<sup>5),6)</sup>。土砂災害分野におけるDAD解析の大きな特徴は、極めて狭い範囲での短時間な降水現象を対象としていることにある。すなわち、Depth(降雨強度)、Area(面積)、Duration(期間)の3要素のうち、Depth(降雨強度)の推定が最重要となる。土砂災害分野では、観測・解析の下限、DADの推定可能範囲の下限となる「Area=1 km<sup>2</sup>, Duration=1hour(60minute)」, 更にはそれ以下の領域・期間を扱うことから、広がりのある、従って統計的に信頼性を向上させる手掛かりのある流域平均雨量を扱う河川洪水とは技術的課題が異なる。現状、「1 km<sup>2</sup>, 60分」以下の事象の観測、またダウンスケールリング結果の検証方法については依然として未確立である。

本検討で主眼とするRAについては、その関係式の多くが1970年代までのデータ蓄積に基づいて導出され、一定期間ごとに更新されている。標本サイズが30年を超える場合には大標本として分類され、信頼性の高い地上雨量観測では統計分布を仮定しないノンパラメトリック法の適用がなされている<sup>7),8)</sup>。しかし、気候変動・温暖化の影響が徐々に顕在化する中、観測資料の時間的な安定性について、以前にも増して注意が必要となっている。具体的には、気候レジームが変動する中で、より最近のものを、全体の資料数が減少する犠牲を払うものの、遠い過去の観測資料より妥当性があるとして、反映させる方法が必要である。この場合、観測期間を短くしても、妥当性の高い直近の資料によって適合する確率分布を介してRAを実施し、パラメーターセットを推定することが必要になる。RAにおいては観測期間の短さと適合する確率分布選定上の信頼性の確保を両立させるため、いくつかの方法が知られている。1地点推定の場合には、「小標本問題」としてplotting position法のWeibull公式や

Cunnane 公式の適用が提案されている<sup>7)</sup>。他方で, 面的に広がりを持った降雨量等水文量の極値を検討する場合には, 同質性を仮定出来る地域内でパラメトリック法を介して行う地域統計解析が用いられてきた<sup>9)</sup>。本資料で用いる L 積率法では計算量は増大するが, 順序統計を介して線形性を導入することで, 従来型の積率法に比べてデータの変動や偏りの影響を受けにくくなる利点がある<sup>1),3)</sup>。

警戒情報で使用している解析雨量は全国を漏れなく稠密にカバー出来る利点がある。しかし, 以前は 10 年オーダーで計算手法の大幅な改良を施すため, 小標本という点を考慮しても, 確率分布のパラメーターセットを同定するための統計処理に耐えられなかった。結果として, ソフト対策の警戒避難分野限定で機械学習による頻度法の一つである動径基底関数法(Radial Basis Function)を用いてきた<sup>10)</sup>。しかし, 解析雨量の品質も 1km 化(及び更新間隔の 30 分高頻度化)された 2006 年以降概ね安定し, データ蓄積が図られてきたことから, データの変動や偏りの影響を抑え得る L 積率法を用いることで, 確率分布の導出, 即ち確率化手法を検討することが可能となってきた。そこで本資料では, 警戒情報の降雨指標である 60 分雨量と土壌雨量指数を念頭に置いて, 60 分雨量についてはそれ自体を, 土壌雨量指数についてはそれと相当する 24 時間雨量等を中心に, 解析雨量プロダクトへ L 積率法を適用し, 確率化した結果とその算出上で生じた課題について考察した。

## 2. 用いたデータの概要

解析雨量が1km<sup>2</sup>化された2006年1月以降, 2021年10月までの期間の各メッシュでの暦年最大値を用いた。暦年最大値は各年で1つ得られる。従って, 各メッシュは16個の値を持つ。解析雨量について, 気象庁一次区分のポリゴンが一部でもかかっている国土数値情報3次メッシュ(38万8803メッシュ)の周辺に5kmバッファを考慮した領域を対象とした(図2.1)。但し, 雨量データなし, あるいは最大値 $\leq 0.4\text{mm}$ 等の理由により適合する確率分布が得られない3953メッシュは計算対象外とした。

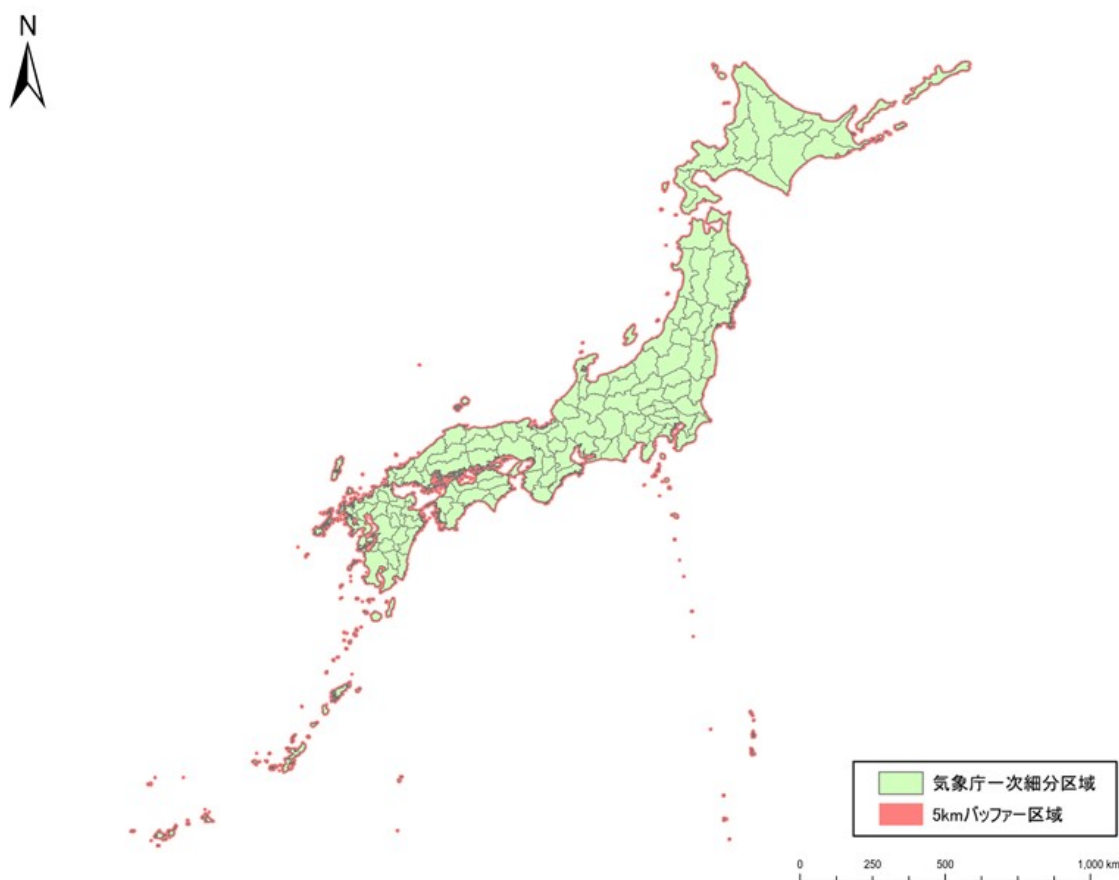


図2.1 広がり・形状を考慮した降雨データ整理の検討対象メッシュとバッファ

具体的に理解出来るよう, 西日本豪雨等, 降雨継続時間の長かった2018年の24時間雨量及び東日本台風による豪雨・短時間強雨となった2019年の60分雨量を図2.2~2.3に示す。



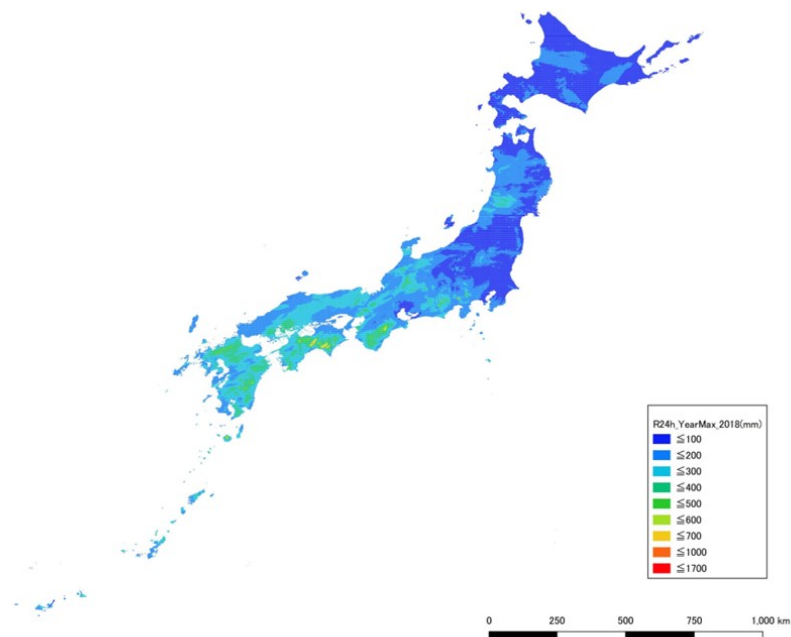


図2.2 24時間雨量年最大値(2018年)

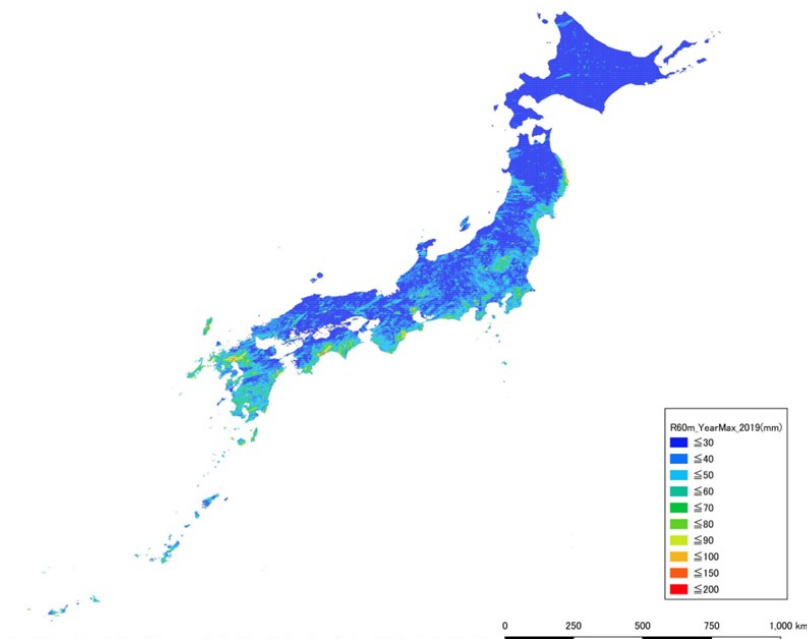


図2.3 60分雨量年最大値(2019年)

全国メッシュでの60分雨量の標本変動係数(CV:  $\sigma/\mu$ )及び標本最大/標本平均(Max/ $\mu$ )は、約  $3.32 \times 10^{-1}$  及び約 1.75 であった。同様に全国メッシュでの60分雨量の標本変動係数(CV:  $\sigma/\mu$ )及び標本最大/標本平均(Max/ $\mu$ )は、約  $3.82 \times 10^{-1}$  及び約 1.91 であった。合わせて、既往の極値統計<sup>11), 12)</sup>と比較出来るよう、対象期間の全国メッシュの1時間雨量及び日雨量の上位1~20位を図2.4及び2.5に示す。

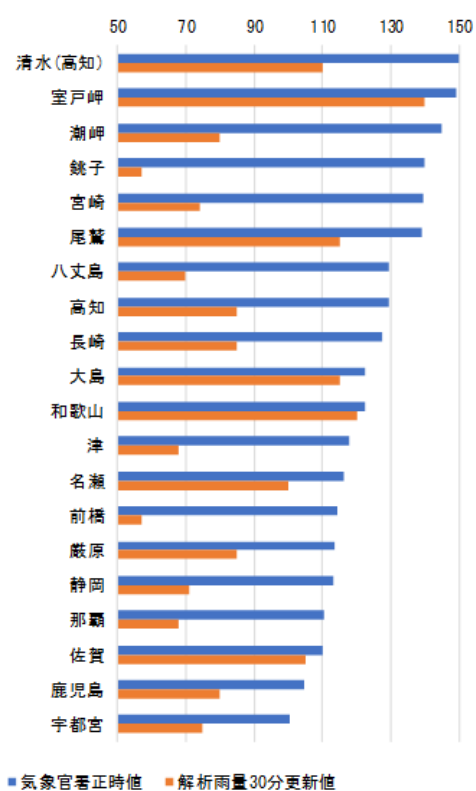


図 2.4: 全国上位 1~20 位の気象官署及び該当直上メッシュでの極値比較\* (60分雨量, mm)  
\*出典: 理科年表 2022

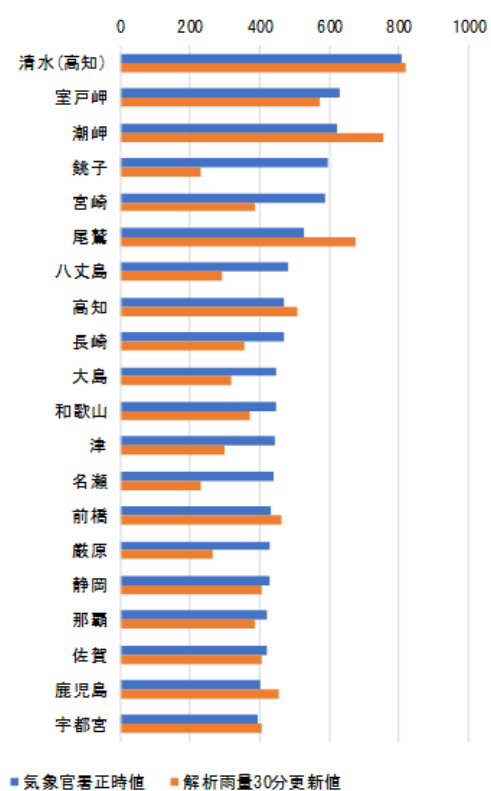
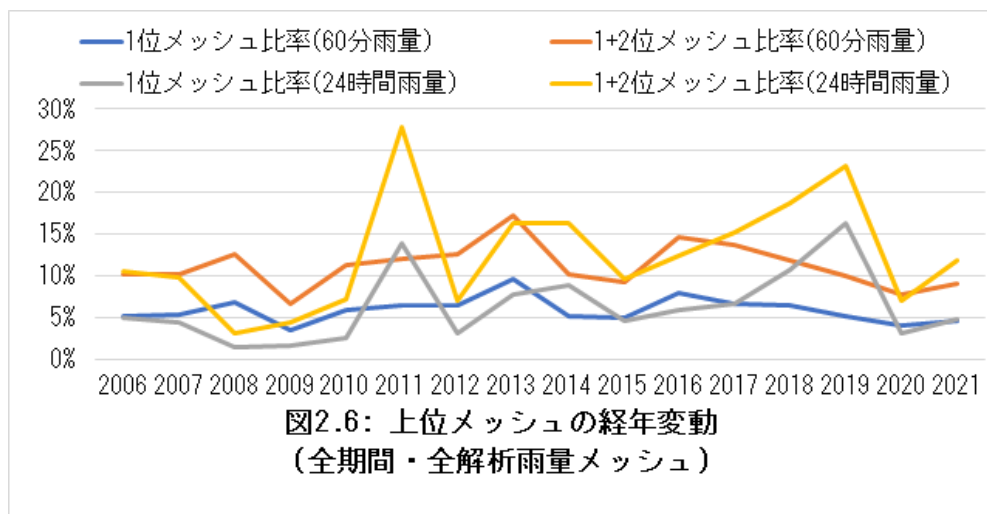


図 2.5: 全国上位 1~20 位の気象官署及び該当直上メッシュでの極値比較\* (24時間雨量, mm)  
\*出典: 理科年表 2022

全データ期間において 1 位及び 2 位以上を記録したメッシュの各年の比率を図 2.6 に示す。データ期間後半に 1 位を更新するメッシュの比率がやや高い年が見られるが、単調増加とは言えなかった。



### 3. 検討手法の概要

L積率率については、原則として気象庁の外山ら<sup>3), 13)</sup>がアメダスに対して用いた手法と同様とする。外山ら<sup>3)</sup>では、観測局の地域特性から、データの均一性を仮定する領域を設けている。本検討ではメッシュ雨量を対象としていることから、近傍をより狭く置くこととし、図3.1のように $n \times n$ の正方形型、及び $3 \times 3$ の角を除いた5メッシュの十字形状を検討領域とした。広がり形状を固定し、近傍のみを考慮する方式であり、DADにおいても雨域の分断状況に悩むことがない利点があると適用事例がある<sup>5)</sup>。本検討でのL積率法の適用は、観測局単位ではなく、設定した検討領域中央の1kmメッシュ単位で行った。ここで偶数メッシュの領域の場合には、レーダー雨量の雨域ずれの傾向を考慮して中心の南東側を「中央」とした(位置ずれに関しては牧原<sup>14)</sup>を参照のこと)。検討領域でのデータの例を表3.1に示す。

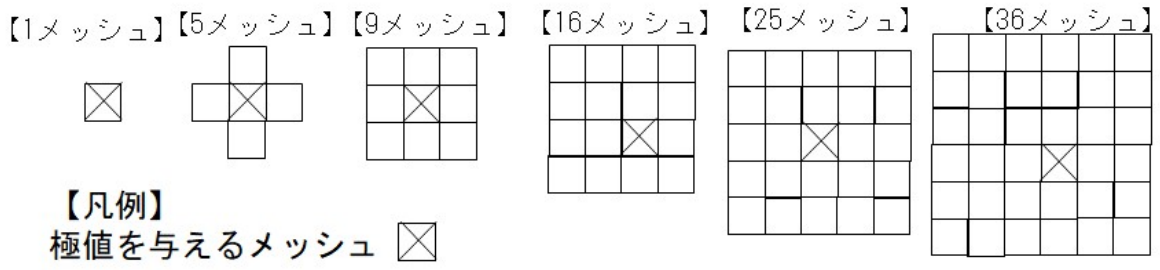


図3.1 検討対象とした領域～広がりパターン

表3.1 検討領域でのデータの例

メッシュID	年	日	時	雨量	メッシュID	年	日	時	雨量	メッシュID	年	日	時	雨量	メッシュID	年	日	時	雨量	メッシュID	年	日	時	雨量	メッシュID	年	日	時	雨量	メッシュID	年	日	時	雨量					
36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48	36207108	108	2008.6.18	4:00	48

4 次までの L 積率及び変動係数 L-CV, L-skewness, L-kurtosis を求め, L-CV, L-skewness, L-kurtosis でのマハラノビス平方距離をデータ検定による異常値棄却, 4 次までの L 積率比の領域内平均から得られる kappa 分布の逆関数を用い, 一様乱数を発生させて得られる均一性指標  $H$ (式 3.1)), を用いて, 各検討領域の均一性を検討する.

$$H = \frac{V_0 - \mu_V}{\sigma_V} \quad \text{式3.1}$$

ここに,  $H$ : 異質性を示す統計量,  $V_0$ : データのばらつき,  $\mu_V$ : kappa 分布の逆関数による平均,  $\sigma_V$ : 標準偏差, である.

適合性を検討する確率分布モデルはグンベル分布 (GUM), 一般化極値分布 (GEV), ピアソン III 型分布 (PE3), 一般化ロジスティックス分布 (GLO), 3 母数対数正規分布 (GNO), 一般化パレート分布 (GPA), の 6 つとする. これらの候補とした分布に適合しない場合には, 5 パラメーターの Wakeby 分布を採用し, L 積率から Wakeby 分布のパラメーターを算出する.

各地点において L 積率比から得られる  $L-CV(t^i)$ , 無次元ひずみ係数  $t^i_3$ , 無次元尖り係数 ( $t^i_4$ ) が得られる. 各地点の記録長で重みを付けた地域平均が  $t^R, t^R_3, t^R_4$  と得られる (記録長はどの地点(メッシュ)でも基本的に 16 年で同じ. ). 地域平均 ( $t^R, t^R_3$ ) から候補とした分布の 3 つのパラメーターを算出し, 分布ごとのパラメーターから  $t_4$  を得るためには外山ら<sup>3)</sup>の式を用いた. 各分布パラメーターから  $t_4$  を求め, これを  $\tau_4^{\text{DIST}}$  とし,  $t_4^R$  との類似度を  $Z^{\text{DIST}}$ (式 3.2) を用いて評価する. 各メッシュで  $Z^{\text{DIST}}$  が  $\leq 1.64$  となる分布形の中でもっとも  $Z^{\text{DIST}}$  が小さくなる確率分布モデルを選定する. 手法全体の流れを図 3.2 に示す.

$$Z^{\text{DIST}} = \frac{\tau_4^{\text{DIST}} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \quad \text{式3.2}$$

ここに,  $Z^{\text{DIST}}$ : 適合度評価指標,  $B_4$ :  $t_4^R$  の偏り,  $\sigma_4$ :  $t_4^R$  の標準偏差 である.

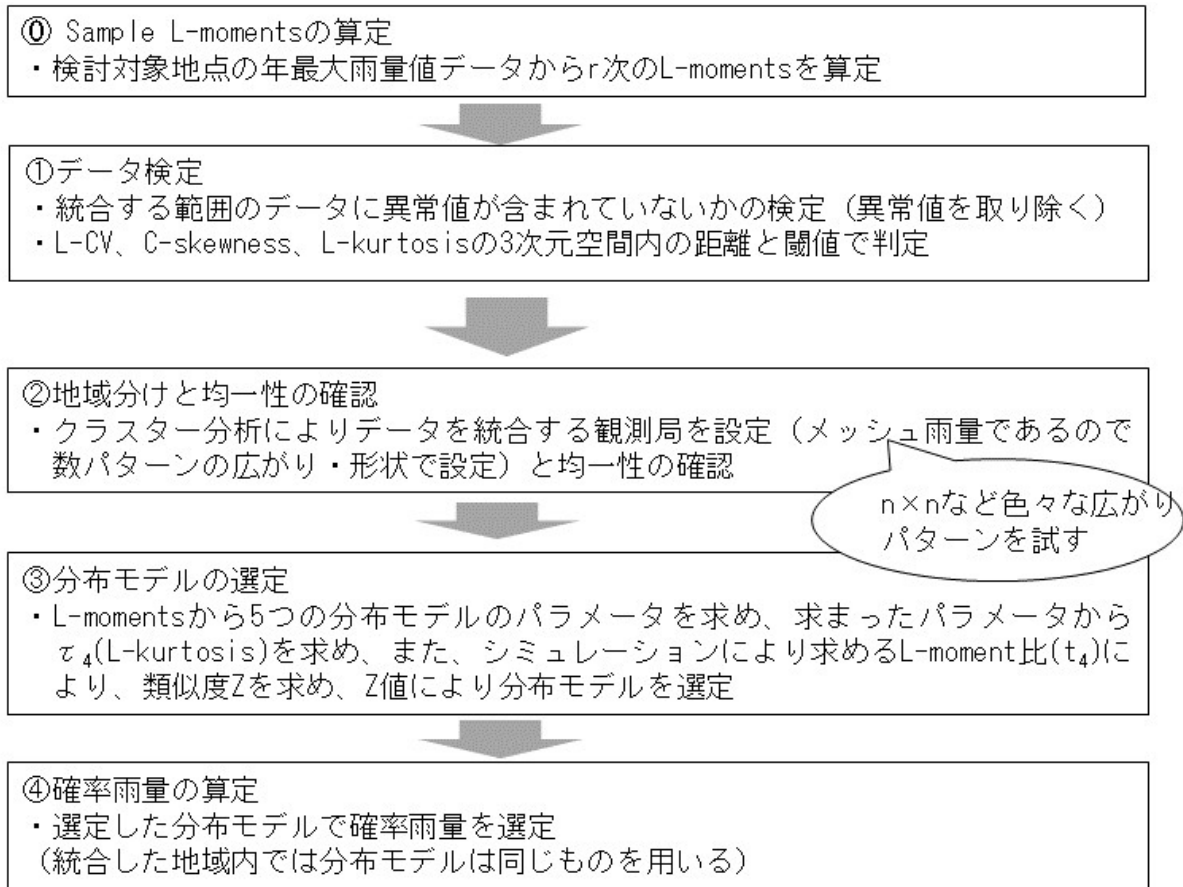


図3.2 解析雨量の各メッシュへのL-momentsによる地域頻度解析の適用法

## 4. L積率法による確率降雨算出結果

### 4.1 L-moments の算定

検討対象の各3次メッシュに対して、60分雨量(以下、「R60min」)と24時間雨量(R24h)に対して、対象期間各年の最大値を求め、そこから  $l_1 \sim l_4$  やの L-moments を求め、 $t_3, t_4$  の sample モーメントと  $t$  (sample L-CV)を求める。

ここに、 $l_1 \sim l_4$ はそれぞれ、 $l_1$  : 平均、 $l_2$  : 分散、 $l_3$  : 歪度、 $l_4$  : 尖度、であり、

sample L-moments (L-skewness : 無次元ひずみ係数)  $t_3=l_3/l_2$

sample L-moments (L-kurtosis : 無次元とがり係数)  $t_4=l_4/l_2$

sample L-CV  $t=l_2/l_1$

である。

R60min と R24h の  $l_1 \sim l_4$  の 388, 803 メッシュの平均、分散、最大、最小を表 4.1 及び 4.2 に示す。

表4.1: R60minのL-moments統計(1メッシュの場合)

L1				
平均	分散	最大	最小	
32.33	104.44	85.13	0.40	
L2				
平均	分散	最大	最小	
5.86	4.18	18.73	0.00	
L3				
平均	分散	最大	最小	
1.13	1.02	9.22	-2.74	
L4				
平均	分散	最大	最小	
0.89	0.66	9.37	-1.94	

表4.2: R24hrのL-moments統計(1メッシュの場合)

L1				
平均	分散	最大	最小	
138.05	3047.46	646.45	0.40	
L2				
平均	分散	最大	最小	
28.88	211.04	210.20	0.00	
L3				
平均	分散	最大	最小	
6.88	34.74	92.33	-20.29	
L4				
平均	分散	最大	最小	
4.85	21.54	72.17	-14.67	

### 4.2 データ検定

解析雨量に含まれている可能性のある異常値をチェックするため、データの均質性(異常値)検定を行う。合計  $N$  メッシュからなるグループを考え、 $i$  番目のメッシュの L-moments 推定量のベクトルを式 4.1 のように定義する。

$$\mathbf{u}_i = [t^{(i)} \quad t_3^{(i)} \quad t_4^{(i)}]^T \quad \text{式4.1}$$

$N$  地点(メッシュ)分の  $\mathbf{u}_i$  の平均値は、式 4.2 となる。

$$\bar{\mathbf{u}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{u}_i \quad \text{式4.2}$$

ここで式 4.3 により  $3 \times 3$  の行列  $\mathbf{A}$  を求める。

$$\mathbf{A} = \sum_{i=1}^N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})(\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \quad \text{式4.3}$$

これにより, $D_i$ が式 4.4 のように定義される。

$$D_i = \frac{1}{3} N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}}) \quad \text{式4.4}$$

$D_i$  は、マハラノビス平方距離でデータの散らばり具合を考慮した標本平均からの距離を示す。

有意水準  $\alpha$  (0.1%) の確率で少なくとも 1 メッシュ、他より外れているメッシュ(outlier)があることを判定する閾値  $\max D_i$  は、表 4.3 の通りとされている<sup>3)</sup>。ここで、 $N \leq 3$  のときは計算できず、 $N = 4$  のときは 1 となる。具体的には異常値の閾値を設定し、メッシュ毎、年ごとの最大降雨指標データを前処理し、それからデータ検定を行い、 $\max D_i$  での検定結果を把握する手順となる。

表4.3:  $D_i$ の閾値\*

地点数	$\max_i D_i$
5	1.333
6	1.648
7	1.917
8	2.14
9	2.329
10	2.491
11	2.632
12	2.757
13	2.869
14	2.971
15以上	3

\*出典：外山ら,2002

既往の地上雨量の検討事例では、正確に計測したデータとしてデータ棄却はなされていない。しかし解析雨量には年間最大値 0.4mm のようなメッシュもあり、異常値として棄却は行っている。

R60min と R24h の降雨の広がりメッシュサイズと除外メッシュサイズの関係を表 4.4 及び 4.5 に示す。R60min と R24h とともに、メッシュ範囲が広くなればなるほど、除外ありのメッシュ数は増える。除外される平均メッシュ数は、メッシュ範囲に関わらず 1 メッシュであった。データ検定の結果については、メッシュの広がり大きさとは大きな相違がなく、範囲設定の手掛かりとはならない結果となった。



表4.4: R60minに関するマハラノビス距離Dによるデータ検定結果

広がり形状(メッシュ数)	全メッシュ数	除外なしメッシュ数①	除外ありメッシュ数②	除外ありメッシュ数②の平均所除外数	②のうち1メッシュ除外	②のうち2メッシュ除外	②のうち3メッシュ除外	②のうち4メッシュ除外	除外ありメッシュの割合
5メッシュ	388803	349165	39638	1.06	37816	1449	372	0	0.10
9メッシュ	388803	343966	44837	1.03	43341	1474	22	0	0.12
16メッシュ	388803	316949	71854	1.05	68167	3641	46	0	0.18
25メッシュ	388803	224534	164269	1.17	138372	24496	1366	35	0.42
36メッシュ	388803	150612	238191	1.35	165081	62575	9801	691	0.61
気象庁一次予報区	142	2	140	85.44	1	0	1	0	0.99

表4.5: R24hに関するマハラノビス距離Dによるデータ検定結果

広がり形状(メッシュ数)	全メッシュ数	除外なしメッシュ数①	除外ありメッシュ数②	除外ありメッシュ数②の平均所除外数	②のうち1メッシュ除外	②のうち2メッシュ除外	②のうち3メッシュ除外	②のうち4メッシュ除外	除外ありメッシュの割合
5メッシュ	388803	348978	39825	1.05	38135	1491	198	1	0.10
9メッシュ	388803	344371	44432	1.03	43034	1379	19	0	0.11
16メッシュ	388803	316264	72539	1.05	68899	3588	52	0	0.19
25メッシュ	388803	222954	165849	1.17	139403	24898	1509	36	0.43
36メッシュ	388803	150092	238711	1.37	164369	62503	10806	982	0.61
気象庁一次予報区	142	2	140	82.11	1	1	1	0	0.99

### 4.3 データの均一性の確認

アメダスデータを用いた地域統計解析事例<sup>3),13)</sup>では、観測局の地域特性から、統合する観測局のグループをクラスター分析で検討し、データの均一性を確認している。これに準じる形で本検討では、Nメッシュの範囲のデータの均一性の確認を実施した。ここでは式4.1に示したL積率量tを使って不均一性を調べる。tの地域内のバラツキは式4.5で表される。

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i}} \quad \text{式4.5}$$

ここで、N：地域内の地点数、 $n_i$ ：i番目メッシュのデータ長、 $t^{(i)}$ ：i番目メッシュのt

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad \text{式4.6}$$

Vについて、実際のデータ系列から求めたものを $V_0$ とする。

このメッシュの広がり均質であると仮定した場合の比較を行い、次の均一性指標算定手順①~③で指標Hを求め、④n判定基準で範囲内の均一性を判定する。

①' Sample L-momentsのメッシュ広がり内平均( $1, t^R, t_3^R, t_4^R$ )から、4つのkappa分布のパラメータ $\xi, \alpha, k, h$ を求める。

②求めたkappa分布のパラメーターを使い、kappa分布となる乱数をNメッシュ分発生させる。(0, 1)の一樣乱数を発生させ、kappa分布の逆関数によりxを求める。



$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left( \frac{1 - F^h}{h} \right)^k \right\} \quad \text{式4.7}$$

③メッシュの広がり(統計の対象)のデータの均一性の判定を行う。発生させた乱数を使ってVを求める。このシミュレーションをN<sub>sim</sub> = 500回繰り返す<sup>3), 13)</sup>を参考に、Hoskingら<sup>15)</sup>に従い500回と設定した。Vの平均μ<sub>v</sub>、標準偏差をσ<sub>v</sub>として式3.1を計算する。

$$H = \frac{V_0 - \mu_V}{\sigma_V} \quad \text{式3.1(再掲)}$$

④均一性の判定基準を表4.6に示す。なお、最深積雪について調べた大西ら<sup>13)</sup>は、実際にはH < 2では問題ないとしている。

表4.6: Hの値と均一性の判定基準

Hの範囲	均一性の判定
H < -2	各メッシュ間のデータに強い相関がある※
H < 1	許容可能な程度に同質
1 ≤ H < 2	おそらく異質
H > 2	絶対異質

\*アメダスデータを取り扱っている外山ら(2002)はデータ異常有無を観測量から再度調べ直す方がよいとしている。

表4.7及び表4.8にR60minとR24hの算定結果を示す。R60minとR24hともに、大多数のメッシュでH < 1(許容可能な程度に均質・同質)となっている。5メッシュよりは3×3(9)メッシュの方が、H < -2のメッシュ数の割合が大きく、5メッシュよりも、相対的に3×3(9)メッシュの範囲の方がデータの相関性は高いという結果となっている。

表4.7: R60minの広がり(メッシュ数)と指標Hとの関係

広がり形状(メッシュ数)	全メッシュ数	H < -2	-2 ≤ H < 1	1 ≤ H < 2	2 ≤ H	N/A	∞
5メッシュ	385329	28830	351064	4136	777	513	9
9メッシュ	385381	123767	255620	4280	1185	519	10
16メッシュ	385430	206085	170876	5648	2268	545	8
25メッシュ	385475	247910	126913	6392	3692	562	6
36メッシュ	385487	258382	114102	7276	5175	560	2
気象庁一次予報区	142	79	25	2	36	0	0

表4.8: R24hの広がり(メッシュ数)と指標Hとの関係

広がり形状 (メッシュ数)	全メッシュ数	H<-2	-2≤H<1	1≤H<2	2≤H	N/A	∞
5メッシュ	385330	168828	215844	358	173	120	7
9メッシュ	385381	327523	57024	400	294	128	12
16メッシュ	385430	367445	16677	554	614	126	14
25メッシュ	385475	372719	11109	667	859	107	14
36メッシュ	385497	373265	10151	733	1237	94	17
気象庁一次予 報区	142	111	9	1	21	0	0

#### 4.4 分布モデルの選定と適合性の判定

R60min と R24h について,以下に示す確認手順で①Gumbel 分布,②一般化極値分布(GEV),③ピアソン III 型分布(PE3),④一般化ロジスティック分布(GLO),⑤3母数対数正規分布(GNO),⑥一般化パレート分布(GPA),⑦Wakeby 分布の中から選定した.

一つのメッシュ広がり範囲に N 個のデータがあり, i 番目のメッシュでの記録長を  $n_i$ , sample L-moment 比  $t_i, t_3^i, t_4^i$  とした. ここで,メッシュごとの記録長で重みを付けた地域平均  $t^R, t_3^R, t_4^R$  を求めた (本検討では大多数のメッシュで記録の長さは 16 で同一.)

$$t^R = \sum_{i=1}^N n_i t^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i, \quad t_3^R = \sum_{i=1}^N n_i t_3^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i, \quad t_4^R = \sum_{i=1}^N n_i t_4^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i \quad \text{式4.8~4.10}$$

次に,各分布について,地域平均( $1, t^R, t_3^R$ )から 3 つのパラメータを求める.

分布ごとのパラメータから  $t_4$  を求める際には外山ら<sup>3)</sup>の付録に記載されている式を用いた (L-moments が求まれば, 各分布モデルの係数が求まる).

求まった分布パラメータから  $t_4$  を求め, これらを  $\tau_4^{\text{DIST}}$  とした.

選定した 5 つの分布について, 式 4.11 により  $\tau_4^{\text{DIST}}$  と  $t_4^R$  の類似度を示す  $Z^{\text{DIST}}$  を求めた.

$$Z^{\text{DIST}} = \frac{\tau_4^{\text{DIST}} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \quad \text{式4.11}$$

ここで,  $B_4$  と  $\sigma_4$  はそれぞれ式 4.12 及び 4.13 で表される  $t_4^R$  の偏りと標準偏差であり, 地域平均( $1, t^R, t_3^R, t_4^R$ )から kappa 分布のパラメータ  $\xi, \alpha, k, h$  を求め, この分布の乱数を N メッシュ分 (i 番目メッシュには  $n_i$  個のデータ) 発生させるシミュレーションを  $N_{\text{sim}}$  回(Hosking ら<sup>15)</sup>にならい 500 回)行って求める.

$t_4^{[m]}$  は m 回目のシミュレーションにおける  $t_4$  の地域平均値として得る.

$$B_4 = \frac{1}{N_{\text{sim}}} \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} (t_4^{[m]} - t_4^R) \quad \text{式4.12}$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{1}{N_{\text{sim}} - 1} \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} \left\{ (t_4^{[m]} - t_4^R)^2 - N_{\text{sim}} B_4^2 \right\}} \quad \text{式4.13}$$

各分布について Z<sup>DIST</sup> を求め、 $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$  であれば、その分布形に属するとみなすことができる。 $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$  となる分布形で  $|Z^{\text{DIST}}|$  が一番小さくなる分布形を採用する。

これら 5 つの分布について  $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$  となる分布がない場合は、5 つのパラメータを持つ

⑦ Wakeby 分布(WAK)を採用し、L-moments から Wakeby 分布の 5 つのパラメータを求める。

周辺 N メッシュのデータを使って求めた分布パラメータを、中心のメッシュに適用する(偶数個の場合には中心の南東側)。結果を表 4.9 及び 4.10 に示す。

表4.9: R60minで採用されたモデルとZDISTの平均

広がり形状(メッシュ数)	GUM	GEV	PE3	GLO	GNO	GPA	WAK	不採用	ZDIST平均*	ZDIST分散*
1メッシュ	25471	41926	35111	112234	20699	128751	20561	493	-0.050	0.279
5メッシュ	26587	50309	48910	82729	24685	107277	44316	432	-0.024	0.374
9メッシュ	27105	50837	54067	72929	25866	94051	59995	396	-0.011	0.456
16メッシュ	29006	47325	57992	67659	27386	75394	80097	387	0.000	0.473
25メッシュ	30912	46431	59166	63695	28786	62595	93289	372	0.012	0.479
36メッシュ	32774	45598	58035	60417	30040	49984	108031	367	0.025	0.486
気象庁一次予報区	39580	44412	33340	5041	35117	0	227756	0	-0.092	0.676

\* 採用されたモデルの値を集計(WAKおよび不採用を除外)

表4.10: R24hで採用されたモデルとZDISTの平均

広がり形状(メッシュ数)	GUM	GEV	PE3	GLO	GNO	GPA	WAK	不採用	ZDIST平均*	ZDIST分散*
1メッシュ	26130	36432	34841	126142	23376	120696	17462	167	-0.065	0.290
5メッシュ	24606	37822	36514	87020	24346	101912	72934	92	-0.020	0.417
9メッシュ	23147	36694	36676	73859	24586	89043	101189	52	-0.019	0.466
16メッシュ	21793	34292	36346	64793	24928	75865	127197	32	-0.019	0.482
25メッシュ	21203	33441	35080	59188	25383	67227	143710	14	-0.018	0.485
36メッシュ	20710	32640	33207	54107	25990	58885	159694	13	-0.020	0.494
気象庁一次予報区	11490	35079	6966	18320	17728	4378	291285	0	-0.399	0.690

\* 採用されたモデルの値を集計(WAKおよび不採用を除外)

R60min と R24h で分布モデルの適合性は、メッシュ範囲の広さによって相違するが、メッシュの範囲が広いほど Wakeby が増える傾向があった。

Z<sup>DIST</sup> はモデルの適合性の程度を表しており、値が小さいほど適合度はよい。メッシュの範囲が広いほど大きい傾向になっており、平均値としては 1.64 に対して十分小さい値となっている。データ検定の結果、平均除外メッシュ数の面では検討領域間で大きな差異はなく、データの均一性指標の面では、ほとんどの領域サイズで H<1 となり許容可能な程度に同質であった。3×3(9)メッシュの形状で、均一性がより高い目安となる H<2 の比率が最も大きかった。最も多く選定された確率分布モデルは GPA、次いで GLO となった。

#### 4.5 確率雨量の算定

メッシュごとに確率年から対応する確率雨量へ、また、雨量から確率年への変換を行う。分布形を示すパラメーターセットはメッシュの広がり形状の中で共通となり、 $l_1^R=1$  として求める。検討形状の広がり内の  $i$  番目のメッシュの特性は、メッシュごとに求まっている 1 次の sample L-moments  $l_i$  を使って評価する。

$$T = \frac{1}{1 - F} \quad \text{式4.14}$$

確率年  $T$  と非超過確率  $F$  の関係による、確率年から対応する雨量への変換は、 $l_i x(F)$  により行う ( $x(F)$  はメッシュ広がり  $3 \times 3(9)$  の中心ごとに求まっている分布関数)。雨量から確率年への変換は、 $F(x/l_i)$  により行った。

選定された確率分布モデルを用いて、広がり異なる範囲のメッシュの広がりによる地域統計に基づく解析雨量と 24 時間雨量の確率雨量の全国平均値、標準偏差、最大値を求めた。結果を表 4.11 及び 4.12 に示す。

再現頻度の低い確率年(100 年や 200 年など)では、確率降雨値に多少の差が生じているものの、巨視的には広がり範囲による確率降雨値の平均値はあまり大きくは相違していない。これが気象現象によるものか、解析雨量の特性によるものかは別途検討が必要となる。

表4.11: R60minの確率雨量

広がり形状(メッシュ数)	stat index	2年確率値	3年確率値	5年確率値	10年確率値	20年確率値	30年確率値	50年確率値	100年確率値	200年確率値
1メッシュ	average	30.14	34.65	39.55	45.56	51.39	54.88	59.48	66.31	74.18
	SD	9.64	10.80	12.08	13.76	15.71	17.16	19.52	24.14	31.18
	max	88.15	104.20	116.79	126.30	140.48	161.62	191.16	238.83	331.26
5メッシュ	average	30.13	34.64	39.56	45.62	51.47	54.95	59.49	66.18	73.78
	SD	9.62	10.78	12.03	13.66	15.48	16.80	18.93	23.13	29.61
	max	83.98	100.74	114.87	128.51	138.12	149.93	178.90	229.05	295.59
9メッシュ	average	30.13	34.64	39.56	45.63	51.50	54.99	59.54	66.22	73.77
	SD	9.61	10.75	12.02	13.63	15.42	16.71	18.79	22.88	29.19
	max	83.05	99.40	113.81	126.79	136.17	147.78	176.09	225.18	290.44
16メッシュ	average	30.13	34.63	39.56	45.66	51.56	55.05	59.61	66.25	73.71
	SD	9.61	10.73	11.99	13.59	15.34	16.59	18.59	22.48	28.44
	max	80.89	96.45	111.65	126.44	136.49	143.83	163.45	201.97	267.72
25メッシュ	average	30.13	34.63	39.57	45.70	51.61	55.11	59.66	66.25	73.58
	SD	9.60	10.72	11.98	13.57	15.30	16.52	18.46	22.20	27.88
	max	81.44	97.61	112.93	127.26	136.90	141.65	159.62	199.92	261.69
36メッシュ	average	30.13	34.63	39.58	45.72	51.66	55.16	59.70	66.24	73.47
	SD	9.60	10.72	11.96	13.54	15.25	16.45	18.33	21.91	27.31
	max	79.86	95.67	111.75	128.23	140.14	145.50	157.52	200.76	274.79
気象庁一次予報区	average	30.18	34.62	39.69	46.07	52.07	55.44	59.59	65.06	70.38
	SD	9.60	10.64	11.79	13.22	14.59	15.40	16.46	18.03	19.82
	max	81.37	92.65	104.78	119.31	132.55	139.89	148.83	162.19	206.18

表4.12: R24hの確率雨量

広がり形状(メッシュ数)	stat index	2年確率値	3年確率値	5年確率値	10年確率値	20年確率値	30年確率値	50年確率値	100年確率値	200年確率値
1メッシュ	average	127.31	149.62	174.78	207.06	239.78	259.98	287.29	329.13	378.77
	SD	52.58	63.34	75.41	90.67	106.82	117.74	134.33	164.83	209.95
	max	622.46	833.20	1017.11	1171.54	1271.08	1398.78	1555.39	2225.41	3261.45
5メッシュ	average	127.36	149.51	174.49	206.61	239.23	259.42	286.81	329.02	379.62
	SD	52.56	63.28	75.34	90.56	106.52	117.27	133.61	163.91	209.48
	max	627.91	783.01	945.38	1107.05	1283.02	1403.82	1549.75	1737.15	1990.58
9メッシュ	average	127.34	149.44	174.40	206.53	239.19	259.43	286.89	329.25	380.08
	SD	52.54	63.24	75.29	90.51	106.48	117.25	133.59	163.86	209.31
	max	626.28	777.90	931.35	1097.68	1269.53	1384.12	1521.18	1694.87	2007.12
16メッシュ	average	127.29	149.41	174.41	206.61	239.34	259.60	287.07	329.40	380.12
	SD	52.51	63.26	75.37	90.64	106.61	117.32	133.53	163.45	208.24
	max	613.78	772.50	933.24	1097.36	1215.38	1292.16	1403.58	1540.90	2009.26
25メッシュ	average	127.21	149.37	174.47	206.80	239.62	259.87	287.27	329.32	379.47
	SD	52.44	63.18	75.31	90.63	106.56	117.19	133.19	162.47	206.01
	max	614.75	756.09	904.56	1068.58	1198.32	1261.27	1329.23	1491.83	1964.04
36メッシュ	average	127.05	149.22	174.41	206.90	239.89	260.26	287.82	330.08	380.46
	SD	52.38	63.09	75.26	90.72	106.87	117.64	133.81	163.29	206.92
	max	614.75	756.09	904.56	1068.58	1198.32	1261.27	1329.23	1491.83	1964.04
気象庁一次予報区	average	126.95	149.18	175.20	209.14	242.85	262.88	288.77	325.71	365.66
	SD	52.12	61.98	73.52	88.34	103.07	112.14	124.66	144.96	171.50
	max	570.81	699.25	855.45	1049.81	1225.66	1320.66	1432.70	1572.11	1707.18

最適確率分布を用いて9メッシュ中央で算出される60分雨量(R60)及び24時間雨量の1/50及び1/100確率雨量は図4.1~4.4のようになった。

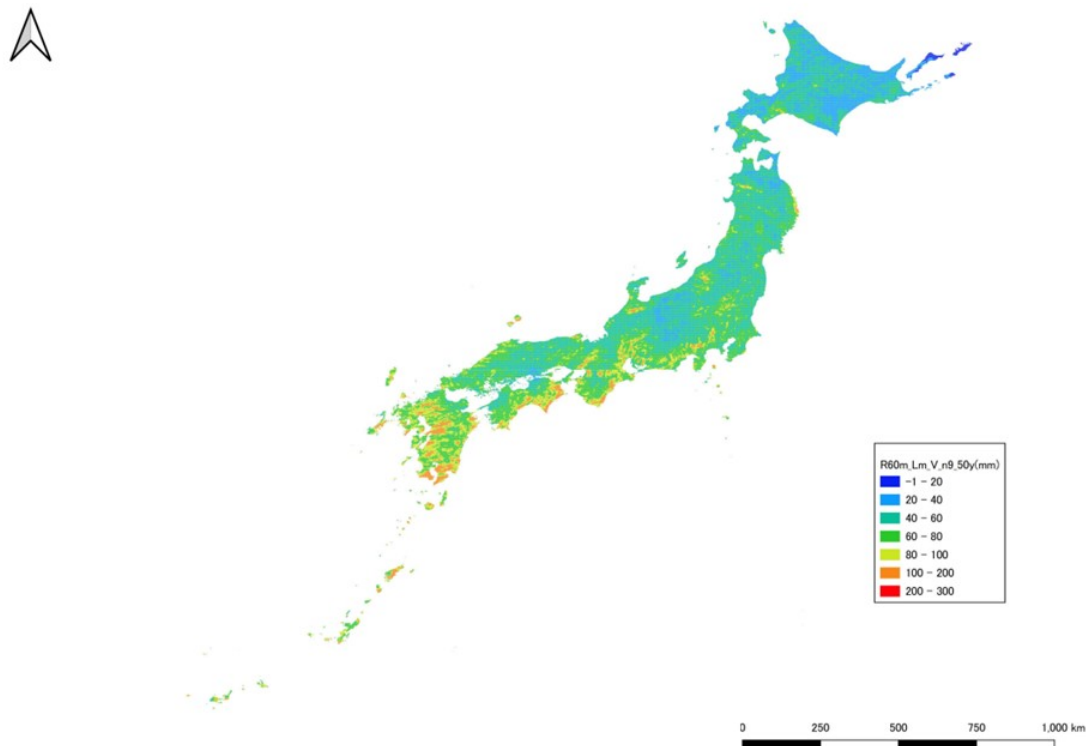


図4.1 60分雨量の確率降雨(1/50, 再起期間50年, 9(3×3)メッシュ)



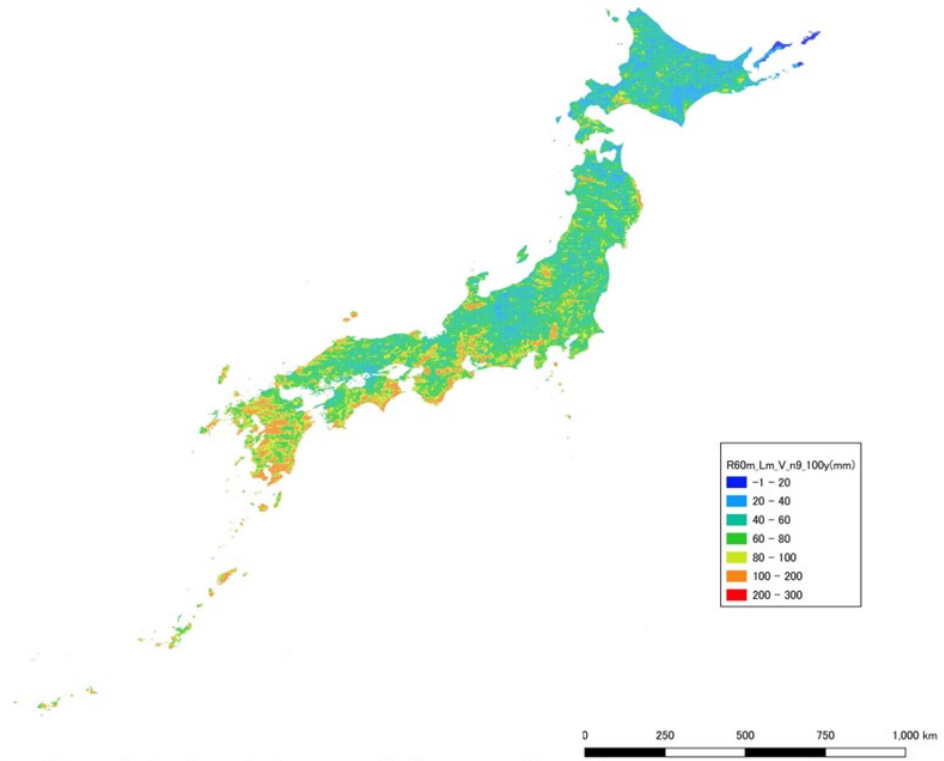


図4.2 60分雨量の確率降雨(1/100, 再起期間100年, 9(3×3)メッシュ)

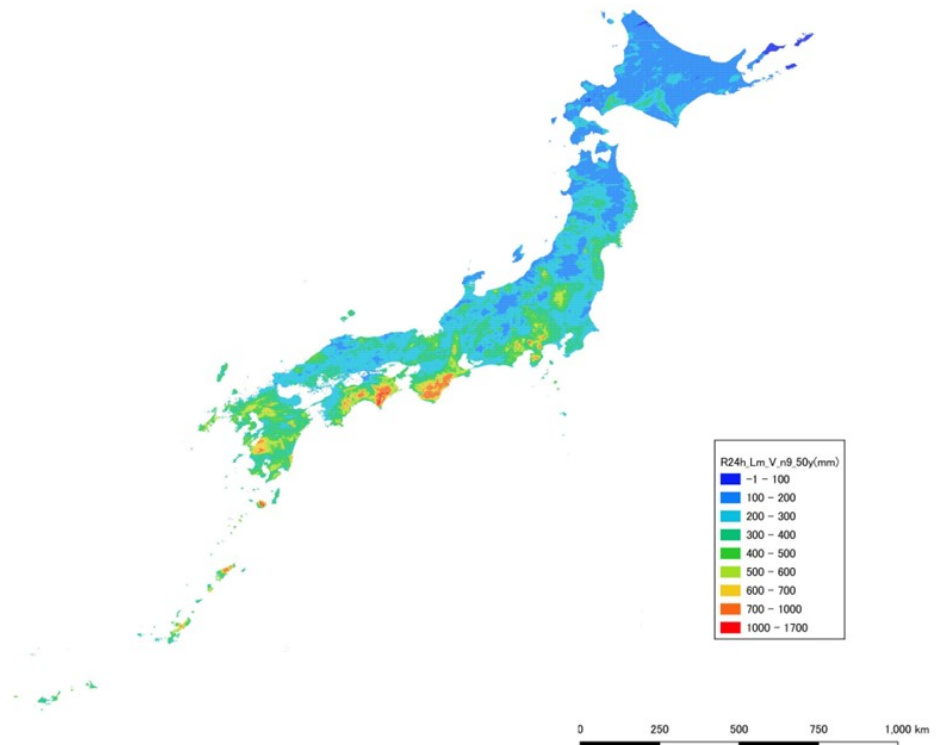


図4.3 24時間雨量の確率降雨(1/50, 再起期間50年, 9(3×3)メッシュ)

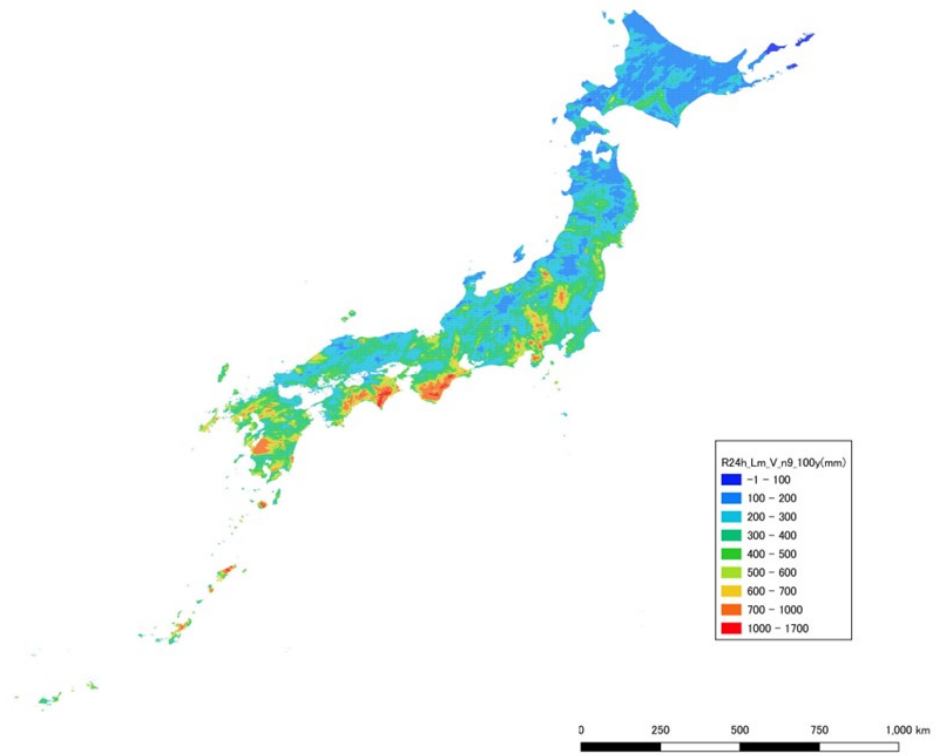


図4.4 24時間雨量の確率降雨(1/100, 再起期間100年, 9(3×3)メッシュ)

## 5. 分析

### 5.1 確率分布モデルの選定状況

本検討で得られた解析雨量に基づいて選定された確率分布モデルと、アメダス地上雨量観測局について選定されている確率分布モデルとを表 5.1 に示す。解析雨量については近傍の広がり・形状に基づいて3×3(9)メッシュでの選定を示している。アメダスについては地域統計として距離がある雨量観測局を降雨の統計特性で括った集合での選定を示している。

表5.1: L積率法で選ばれた解析雨量メッシュ数及びアメダス地点数の比較表

確率分布モデル	解析雨量(本検討)				アメダス地点			
	80分雨量		24時間雨量		1時間降水量		日降水量	
	採用メッシュ数	率(%)*	採用メッシュ数	率(%)	地点数	率(%)	地点数	率(%)
ガンベル分布(GUM)	27105	7	23147	6	-	-	-	-
一般化極値分布(GEV)	50837	13.2	36694	9.5	345	40.1	291	33.6
ピアソンⅢ型分布(PE3)	54067	14	36676	9.5	167	19.4	216	24.9
一般化ロジスティックス分布(GLO)	72929	18.9	73859	19.2	152	17.7	182	18.7
3母数対数正規分布(GNO)	25866	6.7	24586	6.4	136	15.8	152	17.5
一般化パレート分布(GPA)	94051	24.4	89043	23.1	40	4.7	46	5.3
Wakeby分布(WAK)	59995	15.6	101189	26.3	20	2.3	0	0

\*不採用メッシュを除いた率。

解析雨量においてはGPA、次いでGLOの適合性が高かった。他方でアメダスではGEV、次いでPE3の適合性が高かった。面的な解析雨量と点的なアメダス地上雨量観測局とで適合性を示す分布は結果として異なっていた。ここで、アメダスの場合には地域数の括り規模(数)が不定(形を含め)であることに留意が要る。また、正時(斉時)観測の制約有無で1時間と60分、日降水量と24時間とでは若干意味合いは異なる。しかし、短期降雨指標と長期降雨指標とでそれぞれに適合性が高い分布モデルが同種である点は共通している。

外山ら<sup>3)</sup>に示された数表に基づいて作成した同一地点における解析雨量及びアメダスに基づく確率雨量(最適となった9メッシュのもの)の比較結果を表5.2に示す。解析雨量は面的な代表値として気象官署地点であっても地上観測で置換しないことから元データが異なる。このため同じようにL積率法を適用しても、50年確率値、100年確率値とも異なる結果となった。表5.2の10地点では8地点で解析雨量によるものが大きく出ており、この期間では解析雨量が大きく出る傾向があった。牧原<sup>14)</sup>は、解析雨量は面的な代表値であるため、平均的には強雨域でいくぶん弱めに解析されること、及び1kmメッシュでは統計的に100mmの降水を94mm程度と若干少なめに解析されること、に注意を促している。1点では解析雨量は地上観測よりも強雨域、極値で少なめとなる。しかし、平均的に17km<sup>2</sup>に1点配置されるアメダス地上観測に比べて2桁多いデータ量を網羅的に採っていることから、強雨を捕捉する率は高くなっていると解釈出来る。推定手法の安定性を検討する一助として100年確率値を50年確率値で除したところ、いずれもL積率法を用いているにも関わらず、解析雨量では100年確率値が約4割近く多い場合があり、安定性には違いがあると分かった。



表5.2: 解析雨量及び対応する気象官署(アメダス)地点での確率雨量の比較表(単位: mm)

気象官署地点名	3次メッシュGSIコード	解析雨量24時間値(本検討)			官署地点日降水量*		
		50年確率値	100年確率値	「100年/50年」倍率(%)	50年確率値	100年確率値	「100年/50年」倍率(%)
水戸	54404357	218.9	232.7	106.3%	241.0	267.0	110.8%
日光	55390480	584.5	629.8	107.8%	500.0	541.0	108.2%
前橋	54394084	361.5	446.8	123.6%	205.0	227.0	110.7%
熊谷	54391380	344.7	399.7	115.9%	262.0	290.0	110.7%
秩父	53397085	427.8	596.9	139.6%	328.0	345.0	105.2%
東京	53394630	302.8	326.9	108.0%	284.0	314.0	110.6%
三宅島	51391441	567.9	616.1	108.5%	338.0	353.0	104.4%
八丈島	49395642	328.6	337.2	102.6%	394.0	415.0	105.3%
勝浦	52405284	412.2	469.5	113.9%	319.0	367.0	115.0%
横浜	53391522	342.3	392.4	114.6%	302.0	334.0	110.6%

\*出典: 外山ら(2002)第8表(p.70).

同様に、外山ら<sup>3)</sup>に示された数表に基づいて作成した東京管区内の同一地点における年最大24時間雨量及び相当する日降水量の極値及び50年確率雨量の比較結果を表5.3に示す。ここで気象官署値については50年極値、解析雨量については観測期間最大値であり期間が異なることに留意が要る。解析雨量の方が地上観測より大きく推定する傾向には表5.2と同様に注意が要る。1985年までの気象官署での50年極値を2006年以降の16年間の解析雨量での極値が上回っていることがある。このデータ追加効果を見ると、22点中、過半の12点で極値が超過更新されていた。より直近のデータを使うことの重要性が確認出来る。50年確率を基準に極値を見るために除した値では、気象官署地点では、大きい場合には6~7割超過することがあったが、本検討で得た解析雨量24時間値では最大でも3割超過であり、極値出現が珍しくなくなっている。このことは、再起期間(リターンピリオド)が短く変化している可能性を検討する必要性が示唆している。

表5.3: 気象官署地点における極値及び確率雨量の比較表  
(50年(相当)値, 単位: mm)

気象官署 地点名	3次メッ シュGSI コード	解析雨量24時間値(本検討)			官署地点日降水量*		
		データ期 間極値	50年確率 値	「極値/確率 値」倍率(%)	50年相当 極値	50年確率 値	「極値/確率 値」倍率(%)
水戸	54404357	197	218.9	90.0%	276.6	241.3	114.6%
前橋	54394084	277.2	361.5	76.7%	357.4	205.1	174.3%
熊谷	54391380	299.6	344.7	86.9%	301.5	262.4	114.9%
秩父	53397085	554	427.8	129.5%	519.7	327.8	158.5%
東京	53394630	259	302.8	85.5%	392.5	284.4	138.0%
八丈島	49395642	312.4	328.6	95.1%	438.9	397.1	110.5%
勝浦	52405284	378.4	412.2	91.8%	277.5	319.3	86.9%
横浜	53391522	321	342.3	93.8%	287.2	301.7	95.2%
長野	54387195	148.2	155.1	95.6%	132	126.5	104.3%
軽井沢	54384413	339	399.5	84.8%	318.8	199.4	159.9%
松本	54372797	184.4	221.5	83.3%	153	155	98.7%
飯田	53372625	223	237.5	93.9%	325.3	216.7	150.1%
河口湖	53382600	340	418.0	81.3%	463.5	366.2	126.6%
三島	52385734	377	432.8	87.1%	316	285.1	110.8%
浜松	52371506	271.4	262.2	103.5%	301.1	266.6	112.9%
御前崎	51387127	296	301.3	98.2%	293.2	273.8	107.1%
名古屋	52366707	266.6	334.5	79.7%	428	283.6	150.9%
高山	54371280	251.8	268.8	93.7%	220	187.4	117.4%
岐阜	53360681	220	237.3	92.7%	260.2	216.3	120.3%
高田	55385129	266.8	298.6	89.4%	176	181.2	97.1%
伏木	55371054	241.2	276.0	87.4%	174	164.3	105.9%
福井	54360167	182	197.0	92.4%	150.5	162.4	92.7%

\*出典: 外山ら(2002)第9表(p.71)にある1936~1985年の50年極値を長野と名古屋について理科年表2022に基づき修正。

全国において選定された確率分布モデルを 60 分雨量, 24 時間雨量それぞれについて図 5.1 及び図 5.2 に着色して示す。これを地域(地方)別にみると、北海道から九州・沖縄までそれぞれに最も適合した確率分布モデルの比率は表 5.4 及び表 5.5 の通りであり、全国的に一般化パレート分布(GPA)が卓越しているが中国地方と奄美大島で一般化ロジスティック分布(GLO)の適合性が相対的に高い傾向となった。気候区分による適合性の高い確率分布モデルの違いは現在までは認められない。今後、気候変動、温暖化に伴って適合性が高い確率分布モデルが変遷していくかどうか、データ蓄積と分析を継続的に行う必要がある

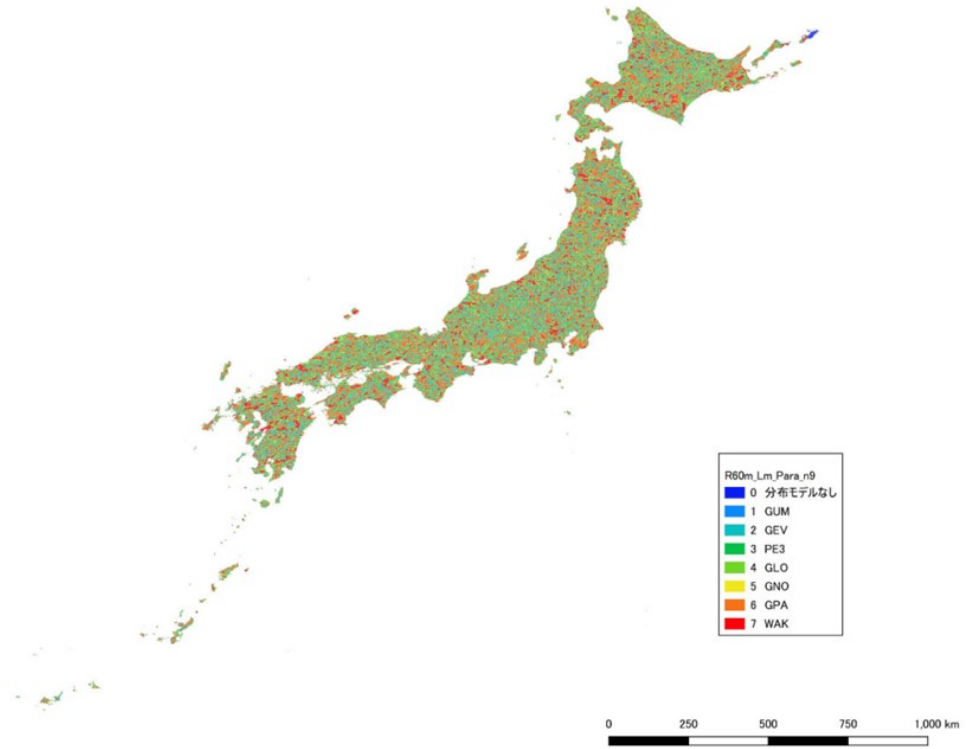


図5.1 全国での最も適合した確率分布モデル(60分雨量, 9(3×3)メッシュ)

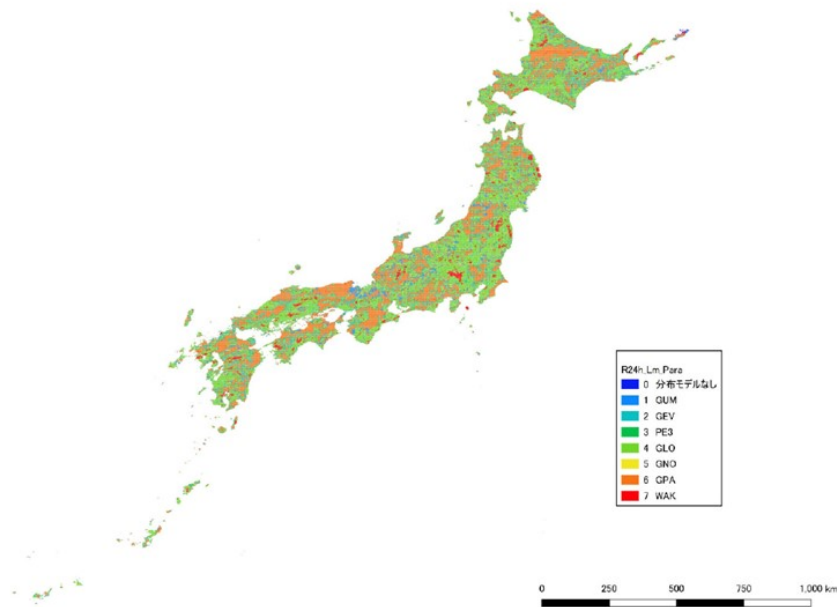


図5.2 全国での最も適合した確率分布モデル(24時間雨量, 9(3×3)メッシュ)

表5.4 60分間雨量における各地方における各確率分布モデルの採用率

地方名	Gumbel分布 (%)	一般化極値分布 (GEV)(%)	ピアソンⅢ型分布 (PE3)(%)	一般化ロジスティック分布 (GLO)(%)	3母数対数正規分布 (GNO)(%)	一般化パレート分布 (GPA)(%)	Wakeby分布 (%)
北海道	6.63	12.16	14.21	18.38	6.98	25.90	15.73
東北	6.90	12.42	13.98	19.55	6.75	24.59	15.80
北陸	7.02	12.63	14.10	20.33	7.17	22.42	16.34
関東甲信	7.62	14.79	15.53	18.48	6.31	23.74	13.53
東海	7.29	14.01	14.46	19.63	6.36	24.54	13.71
近畿	6.88	13.04	14.28	17.67	6.91	26.99	14.24
中国	7.27	12.84	14.10	21.25	7.32	22.08	15.14
四国	7.23	13.93	13.68	15.88	5.94	27.08	16.26
九州北部	7.02	13.37	12.12	18.74	6.21	22.99	19.55
九州南部	7.83	16.83	12.15	19.48	6.90	20.27	16.53
奄美大島	4.63	8.92	12.81	23.40	7.95	23.80	18.48
沖縄	6.77	15.76	13.00	19.98	6.98	23.33	14.17

\* 着色部は各地方で最も採用率の高い一般化極値分布

表5.5 24時間雨量における各地方における各確率分布モデルの採用率

地方名	Gumbel分布 (%)	一般化極値分布 (GEV)(%)	ピアソンⅢ型分布 (PE3)(%)	一般化ロジスティック分布 (GLO)(%)	3母数対数正規分布 (GNO)(%)	一般化パレート分布 (GPA)(%)	Wakeby分布 (%)
北海道	5.71	10.15	9.84	20.08	6.06	22.53	25.63
東北	6.01	9.52	9.19	21.71	6.38	20.38	26.80
北陸	7.83	9.95	11.16	15.06	8.11	27.91	19.99
関東甲信	4.96	8.49	9.28	23.25	7.44	19.14	27.45
東海	6.45	9.27	10.01	17.84	6.81	26.29	23.33
近畿	9.09	7.12	9.80	12.79	5.29	29.05	26.88
中国	3.76	8.04	6.26	19.67	5.72	22.90	33.64
四国	6.76	8.72	10.06	14.73	5.88	24.18	29.67
九州北部	5.99	11.24	11.15	15.85	6.25	24.68	24.84
九州南部	5.23	12.55	7.52	20.58	5.16	23.74	25.22
奄美大島	5.03	7.95	10.47	22.65	7.38	18.31	28.20
沖縄	5.15	13.48	7.71	21.95	5.63	24.09	21.98

\* 着色部は各地方で最も採用率の高い一般化極値分布

## 5.2 気候区から見た確率雨量

図 4.1～4.4 に示した最適確率分布モデルを適用して得られた 60 分雨量及び 24 時間雨量の 50 年確率値及び 100 年確率値を気候区別にみると、平均値は表 5.6 の通りである。60 分雨量の 100 年再起確率値で 80mm を超えるのは九州・四国より南西の地域であり、関東甲信で 63.5mm、北海道では 50mm を下回っている。この地域間の大きな差は 50 年値と 100 年値との差や倍率が 1～2 割であるのと比べると特に注目に値する。24 時間雨量の 100 年再起確率値で奄美大島の 611mm、四国の 521mm がある一方で沖縄諸島では 500mm を下回り、瀬戸内気候区にある中国地方が 313mm と四国地方を 200mm 以上下回っている。北海道、東北、北陸は中国地方より少なく、特に北海道は 100 年確率値で 200mm を下回っている。気候変動・温暖化の影響が懸念され始めている最近 16 年でも 24 時間雨量で見て広い意味の東北日本では依然西南日本を統計的に上回る水準の降雨とはなっていない。逆に、今後西南日本(西日本)並みに降った場合に、それは既往最大を大きく上回ることになる。これは積雪・融雪量の増減、雪と雨との比率の変化を含めて注意が必要な点と言える。

解析雨量から算出した 100 年確率値は、他の水文観測から得られた指標、例えば 100 年確率比流量と比べると大きな値となる。北陸地方については、100 年確率比流量  $9.9 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  から得られる相当確率降雨強度の 60 分値 35.6mm の 1.81 倍であった。参考までにスケーリング則に合わせた集水面積と 100 年確率洪水流量の関係、 $Q=4.7162A^{0.9056}$  に例えば  $10 \text{ km}^2$  を代入して得られる相当確率降雨強度の 60 分値 13.66mm の 4.6 倍であった<sup>9)</sup>。

表5.6 各地方の60分雨量及び24時間雨量の  
50年・100年再起確率値平均

地理区分名	60分雨量平均[mm]		24時間雨量平均[mm]	
	50年確率値	100年確率値	50年確率値	100年確率値
北海道	43.5	49.2	172.8	197.2
東北	53.5	60.1	239.2	279.5
北陸	57.4	64.3	259.8	299.3
関東甲信	57.8	63.5	307.2	365.6
東海	70.8	77.9	369.9	419.4
近畿	60.0	67.0	362.0	411.8
中国	66.6	73.8	271.1	313.8
四国	74.0	80.6	463.9	520.6
九州北部	81.5	90.3	403.1	452.8
九州南部	86.9	95.8	434.1	485.9
奄美大島	95.3	110.2	500.2	610.6
沖縄	80.5	88.4	416.1	477.2

### 5.3 気候値から見た確率雨量

60分雨量及び24時間雨量の50年確率値及び100年確率値を各メッシュのメッシュ気候値で除したものを図5.3～5.6に示す。気候値(理科年表も同様)では月別値であることから、年間最多雨量となる月のものを用いて、60分雨量及び24時間雨量それぞれについて月間降水量に対する比率が5%、25%を超える地域が中部山岳地方を含めた太平洋側を中心に広がっている。他方で、月間降水量に対する比率で見た場合には日本海側にはまだその影響は限定的と見える。気候変動に伴って、60分雨量、24時間雨量、及び月間降水量は同程度に変動(増加)していくものか、60分雨量に代表される短期降雨指標の増加が卓越するかについて今後データ蓄積と分析を継続的に行う必要がある。

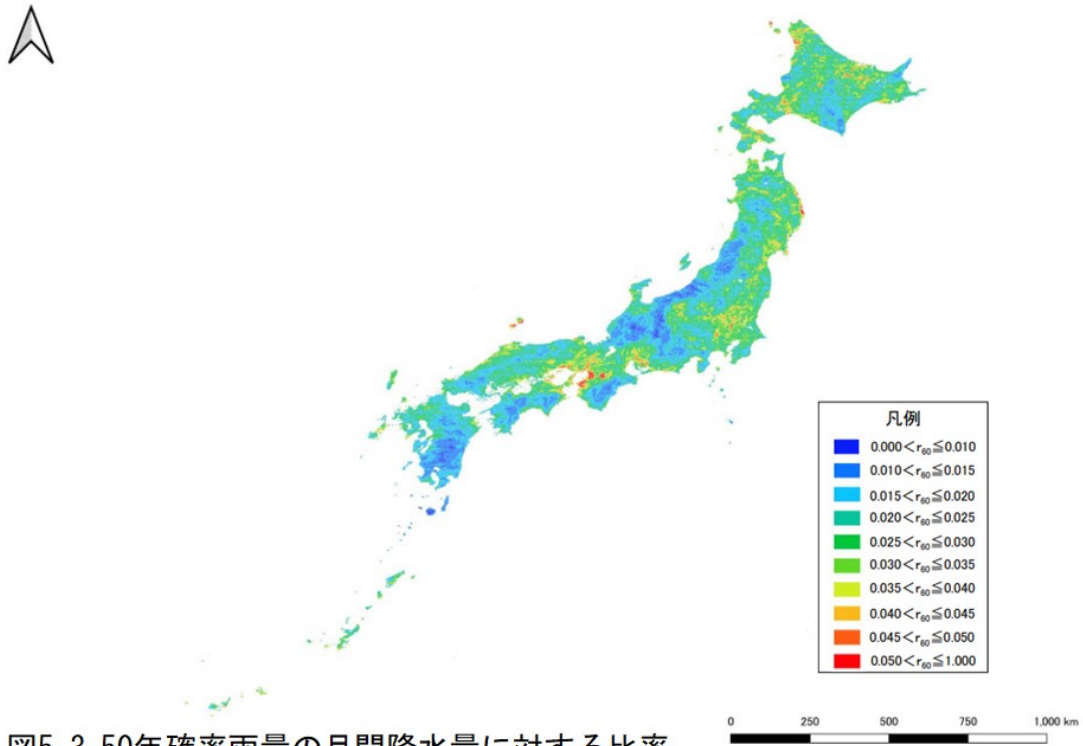


図5.3 50年確率雨量の月間降水量に対する比率  
(60分雨量, 年間最多雨量月間降水量)

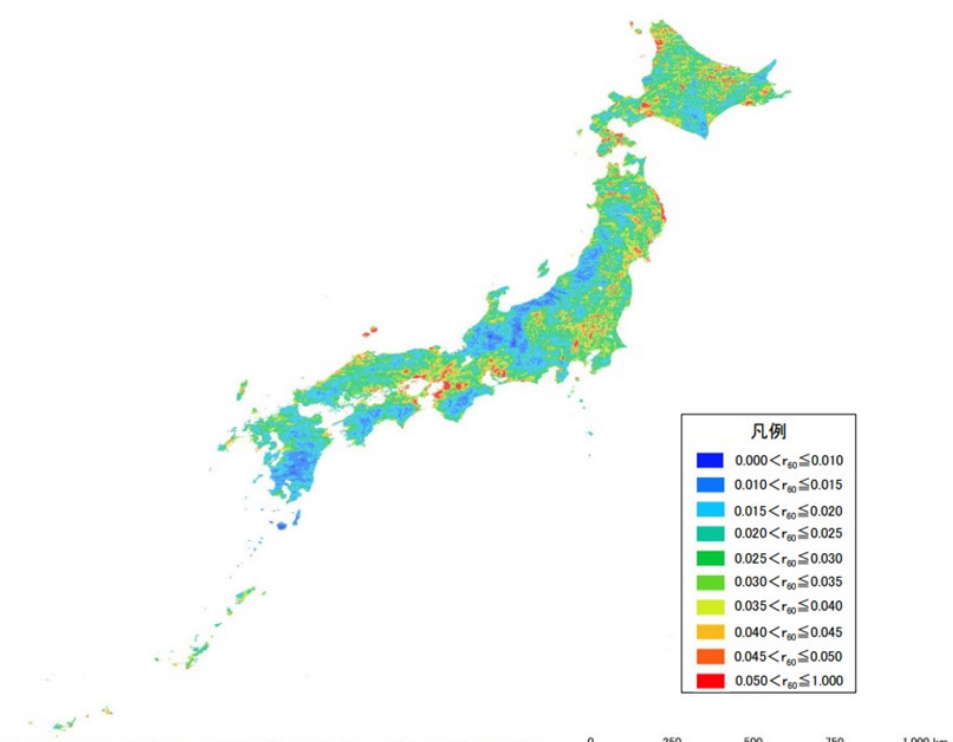


図5.4 100年確率雨量の月間降水量に対する比率  
(60分雨量, 年間最多雨量月間降水量)

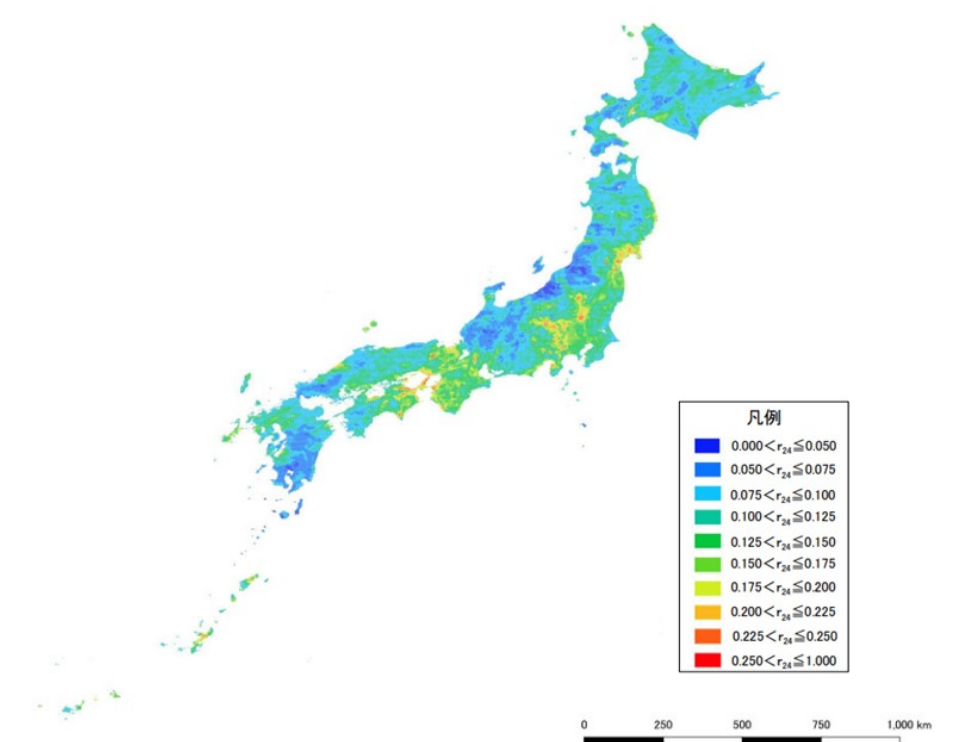


図5.5 50年確率雨量の月間降水量に対する比率  
(24時間雨量, 年間最多雨量月間降水量)

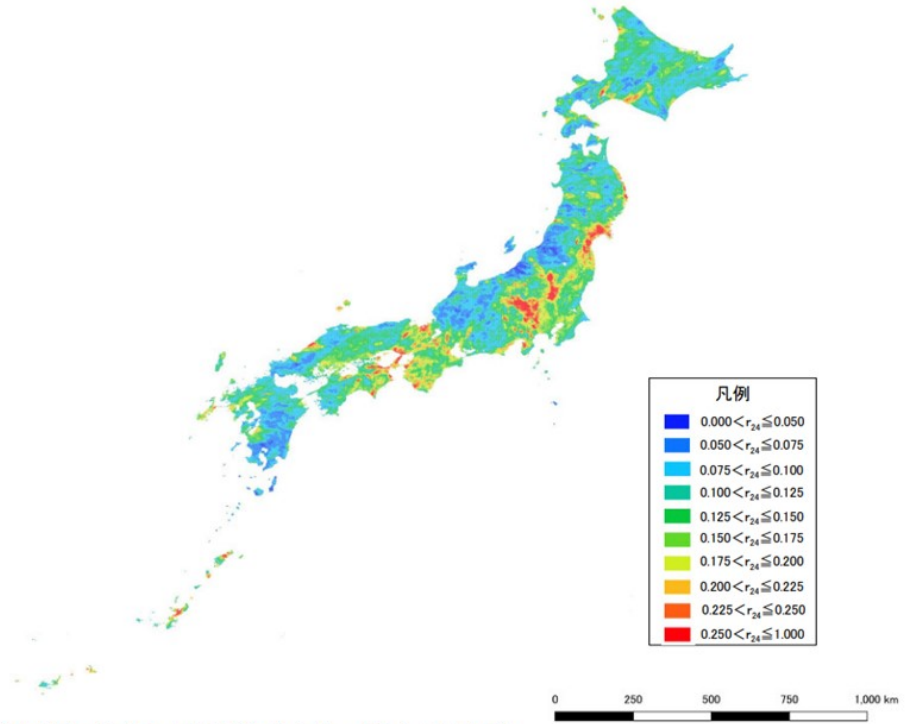


図5.6 100年確率雨量の月間降水量に対する比率  
(24時間雨量, 年間最多雨量月間降水量)



#### 5.4 設計雨量から見た確率雨量

砂防分野を中心に現在各都道府県が斜面对策, 排水対策設備等の設計計画のために用いている計画雨量の60分雨量換算値(mm/hr)の100年確率値を図5.7に示す. 全国の国土数値三次メッシュごとに本手法で導出した100年確率値が設計降雨強度を超過しているか表現した結果を図5.8に示す. この図は全国メッシュで確率雨量が, 砂防関係における整備水準をどの程度上回っているかを1km<sup>2</sup>単位で表現したものとなる. 本手法で統計的に得られた「100年に1度の降雨」は, 23.5%のメッシュで100年に1度として設定された設計降雨強度を上回っていた. 100年確率値を設計降雨強度で除した場合の, 基本的な統計量を見ると, 平均値では0.79と「安全側」になっている(中央値でも0.82). つまり, 平均的には約26%程度, 設計降雨強度が100年確率降雨を上回っている. すなわち, 事業の整備が100%となる将来, すなわち目標整備水準に達すれば, 最近の雨の降り方の変化にも対応が可能になる(あくまで仮定の議論である. 改修途上の実際の施設整備率を全く考慮していないことに注意を要する).

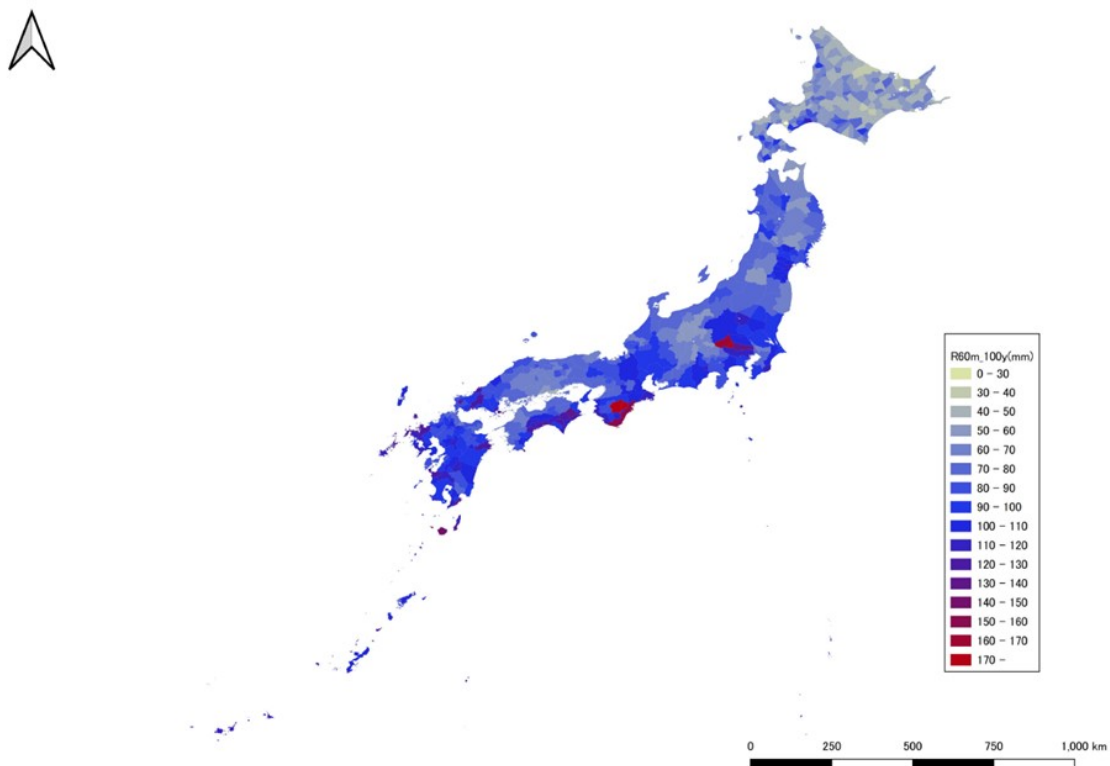


図5.7 60分雨量の確率値(1/100, 砂防関係施設用の設計降雨強度)

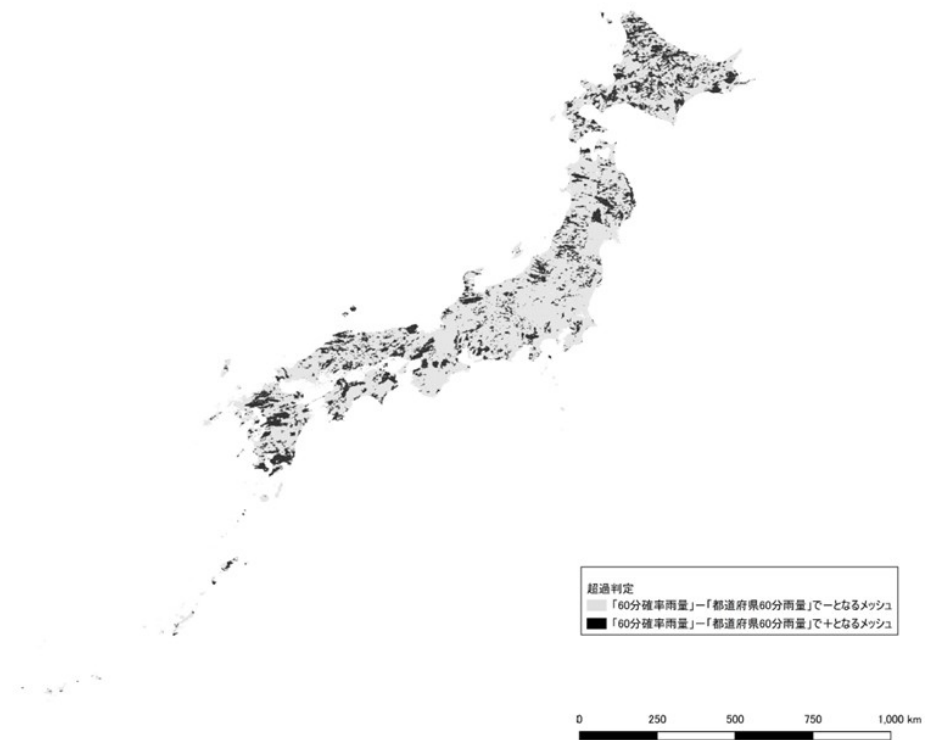


図5.8 確率雨量が設計降雨強度を超過するメッシュ (1/100, 60分雨量)

統計量を見ると、最小値は 0.21, 下位四分位値は 0.69, そして、上位四分位値は 0.99 ということで、全体の約 3/4 が整備水準として対応出来ている。一方、最大値は 2.96 となっているように、残りの約 1/4 については、少し慎重な評価が必要になる。

本手法での確率雨量の推定に係る信頼性については、現時点ではまだ幅がある。そのため、設計降雨強度の過不足についてはまだ断定出来ない。全国のうちの超過する地域とその率、また、その程度もデータを蓄積して見直せば変化する。しかし、今後数年を経て、約 20 年分データが蓄積してある程度推定が安定したと見なせるようになった段階で、全国の約 1/4 程度について、解析雨量ベースの確率値を用いて、地域的に詳細な目標整備水準の検証が可能になると言える。目標整備水準の適否を確率面から評価しておくことで、気候変動の影響で増加しつつある短時間強雨等によって、将来 100%整備が完了した場合に、流域・地域がどの程度安全になりうるかと期待出来るかが分かることになる。

もとより、施設整備まで含めた実際の防護水準の評価としては、設計には安全率やいわゆる「余裕」が見込まれているため、一定の確率降雨を超えれば直ちに損傷する、というものではないことに留意が必要である。

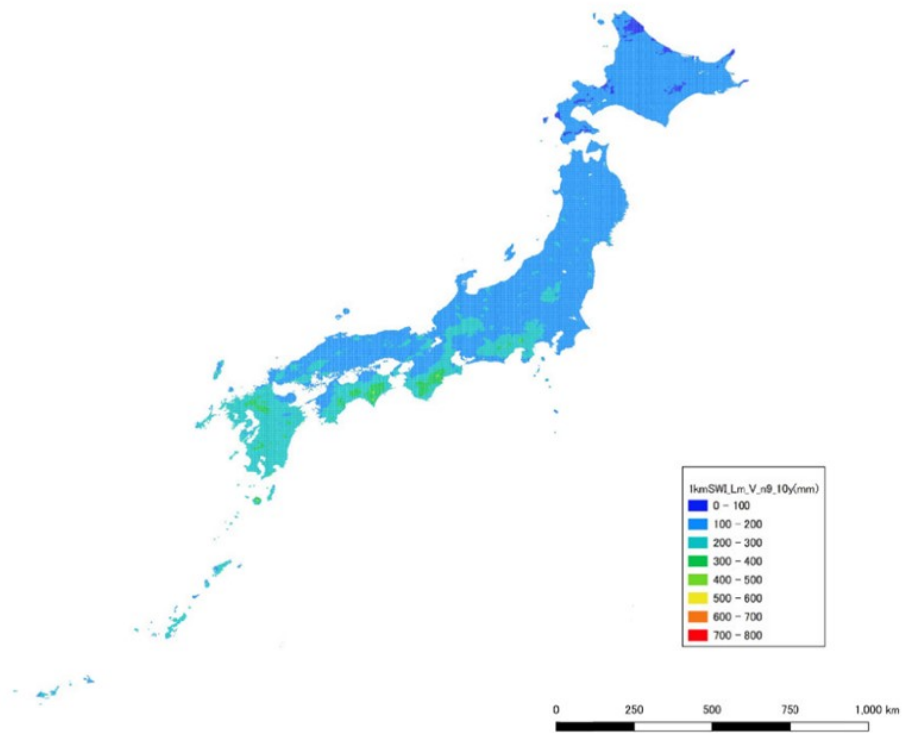
## 6. まとめ

本資料では、解析雨量にL積率法を適用して確率分布を選定し、1 km<sup>2</sup>ごとの確率雨量を算出した。解析雨量は全国を稠密に覆っているものの、データ利用可能期間が約16年間であった。これは、約50年間のアメダス、あるいは各都道府県所管の雨量局よりも短く、L積率法で十分な精度を得るために必要とされる20年間にはまだ不足している<sup>1)</sup>。そのため推定の信頼性はまだ留意が必要な面がある。順序統計量の振舞いの良さをを用いるL積率法では線形量となるL-momentsを介して極値を解析する。しかし、L積率法も地域統計解析の1手法として均一性の仮定が必要となる。面的代表値としての解析雨量では強雨域の広がりにおいて均一性を確保するように開発されてきており、この点は許容出来る。他方、独立性については、慎重な検討が必要である。多数の調査研究が蓄積されてきた地上雨量観測では、10～100kmの離隔を持つ観測所間での独立性を論じてきたがメッシュ値の解析雨量では隣接、しかも1kmであり、別途の調査研究が必要となる。無論、気象レーダーのデジタル信号が相互に独立しているという意味では独立である。しかしながら、降水現象内部で1km程度の隣接領域での独立性は、時間分解能と空間分解能を高めた精密な観測では(例えば、参考文献<sup>12)</sup>)、独立ではない。均一性も不安定となる筈である。従って、高解像度化を進めれば統計的な扱いが困難になる可能性が高い。これまでの調査研究ではこの点を明確にすることは出来ていない。本検討では、現象としての独立性ではなく、統計的な独立性を仮定して、1 km<sup>2</sup>を単位に広がり形状を考慮して60分雨量及び24時間雨量を統計的に扱った。土砂災害警戒情報の降雨指標等、実用上は、今後も確率雨量を統計解析に立脚して求めていくことにならざるを得ないと考えられる。しかしながら、1km程度は位置ずれがある、という解析雨量の性質を踏まえつつも、気象学的に降水現象のスケールからの考察は継続する必要がある。これは、例えばメソ<sup>γ</sup>、積雲対流の広がり、降水落下時の風による水平方向の移流も含めて、レーダー雨量解析値相互の間の独立性の検討である。それには、過去分の再解析を含め、解析雨量の利用可能期間が延びることも大きく影響すると考えられる。今後も、均一性と独立性の双方に留意しつつ、より信頼性を高めて土砂災害警戒情報の信頼性向上に資する統計解析の蓄積に努めていきたい。

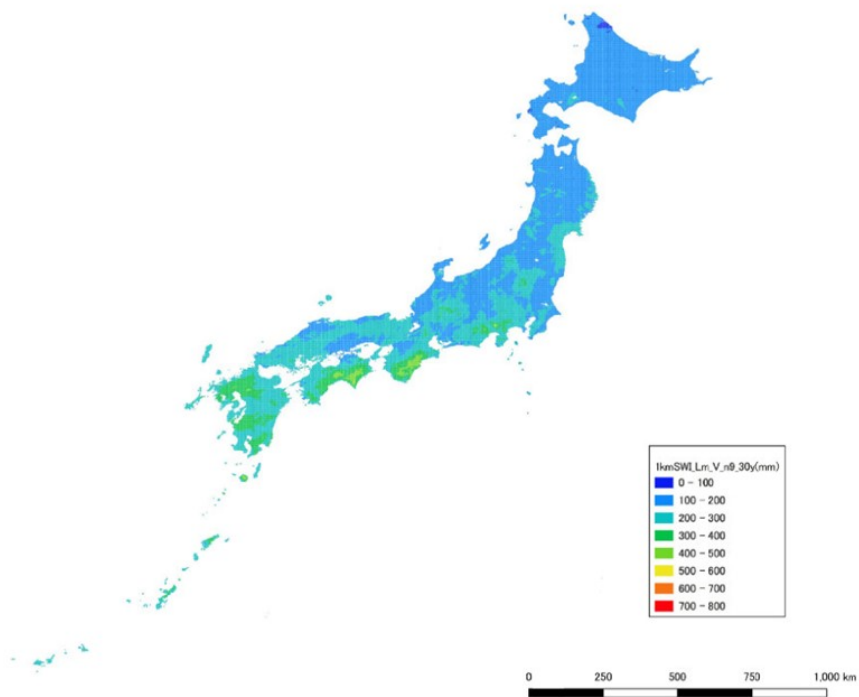
## 参考文献

- 1) Hosking, J.R.M(1990): L-moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear combinations of Other Statistics Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), Vol.52, Issue1, pp.105-124
- 2) J. R. M. Hosking and J.R. Wallis(1993): Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol.29, No.2, pp.271-281
- 3) 外山奈央子・水野量(2002): L-moments を用いた地域頻度解析による全国アメダス地点における確率雨量の推定, 気象庁研究時報, Vol.54,Nos.5-6, pp.55-99
- 4) 水文・水資源学会(1997): 水文・水資源ハンドブック, 朝倉書店, pp.228-255
- 5) 荒川英誠・宝馨(2008) : レーダー・アメダス解析雨量を地域別最大雨量の評価、河川技術論文集、第 14 巻、2008.6 月号、pp.181-186
- 6) 菅原雄太・風間聡・峠嘉哉(2018):レーダー・アメダス解析雨量を用いた豪雨の空間分布特性の分析、土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I\_343-I-348
- 7) 宝馨(2006): 大標本時代の水文頻度解析手法-リターンピリオドを超えるようなサイズの標本に対する極値データ解析-,京都大学防災研究所年報,第 49 号 B, pp7-12
- 8) 石原幸司,仲江川敏之(2008):全国 51 地点におけるノンパラメトリック手法を用いた確率降水量の算出,水文・水資源学会誌,第 21 巻,第 6 号,pp.459-463
- 9) 中谷洋明(2007):北陸地方の中小河川流域における確率洪水流量の検討 砂防学会誌, Vol.60,No.2,p.25-32
- 10) 倉本和正、鉄賀博己、東寛和、荒川雅生、中山弘隆、古川浩平(2001): RBF ネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生源会雨量線の設定手法に関する研究、土木学会論文集, 672/VI-50, pp.117-132
- 11) 国立天文台編(2021): 理科年表 2022,丸善出版株式会社, pp.1174, 気 18(196,197) 降水量の月別平年値
- 12) 武田喬男(2003): 雨の科学,講談社学術文庫, pp.240
- 13) 大西雄基,水野量(2008): L-moments を用いた地域頻度解析による全国アメダス地点における年最深積雪の再現期待値,気象学会誌,Vol.60, pp.35-74
- 14) 牧原康隆(2020): 気象防災の知識と実践 気象学ライブラリー1, pp.164
- 15) J.R.M. Hosking and J.R. Wallis (1997): Regional Frequency analysis: An Approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge UK, pp.224

巻末資料— 1

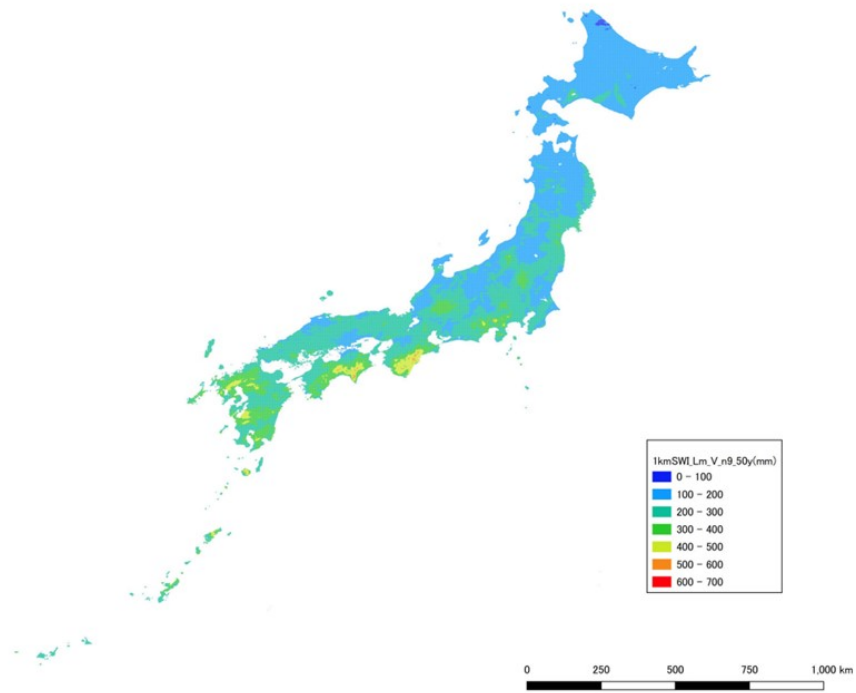


参考図: 土壌雨量指数の確率降雨(1/10,再起期間10年,9(3×3)メッシュ)

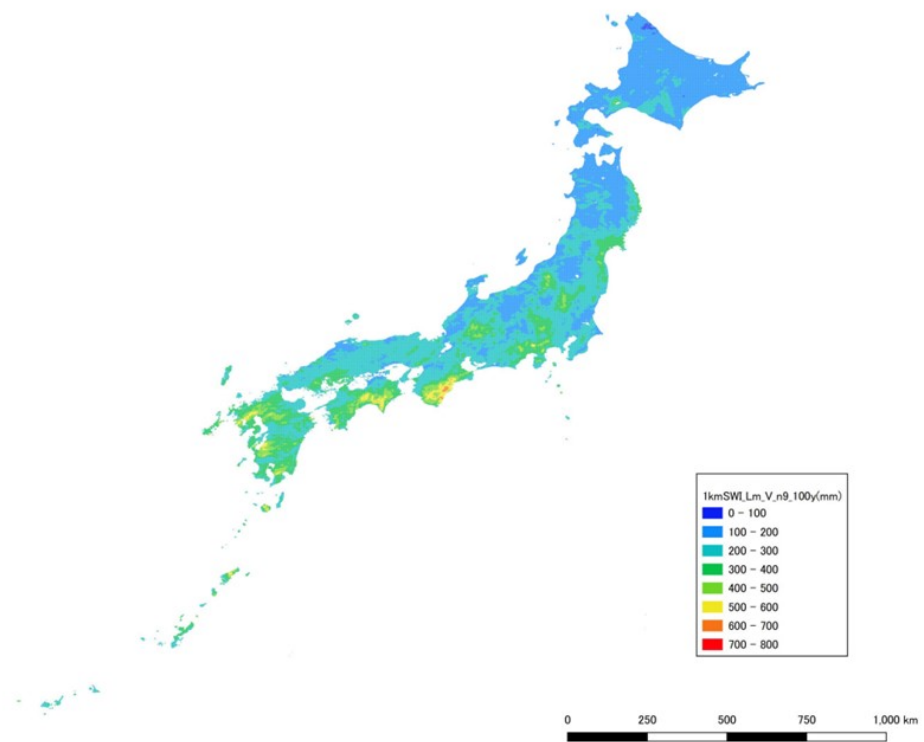


参考図: 土壌雨量指数の確率降雨(1/30,再起期間30年,9(3×3)メッシュ)

巻末資料— 1

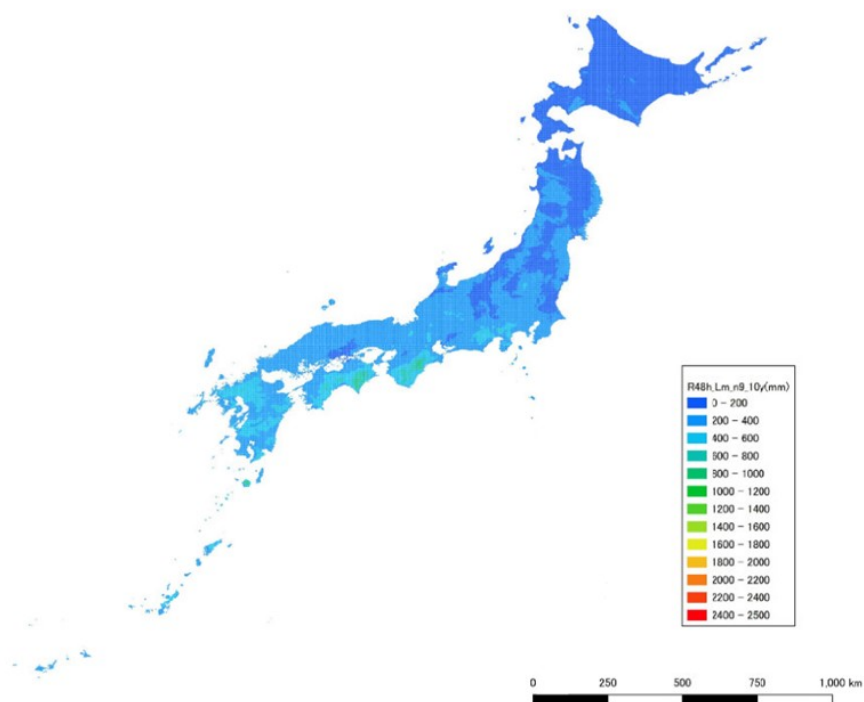


参考図: 土壌雨量指数の確率降雨(1/50,再起期間50年,9(3×3)メッシュ)

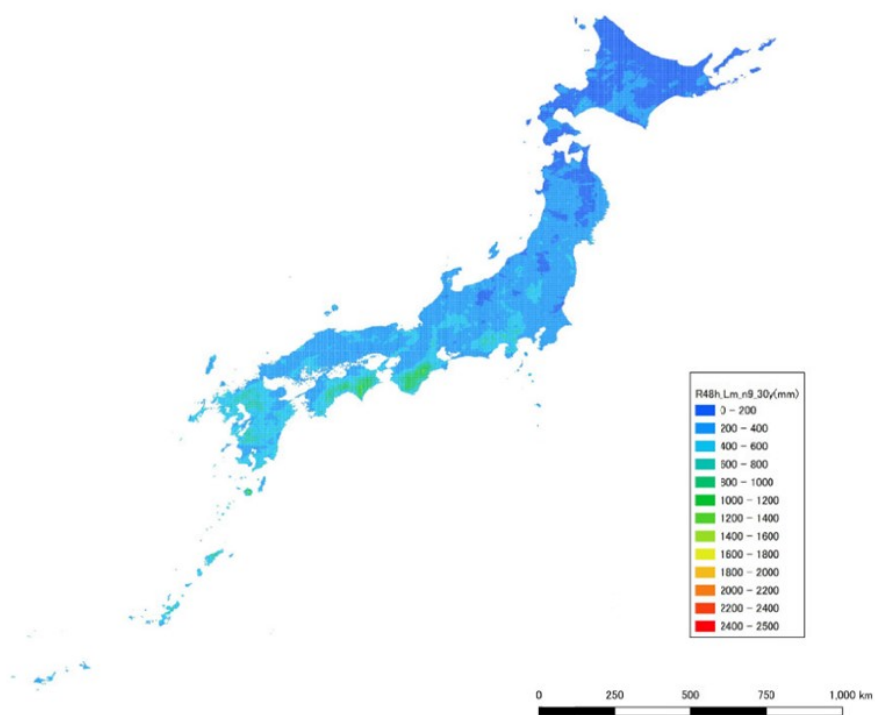


参考図: 土壌雨量指数の確率降雨(1/100,再起期間100年,9(3×3)メッシュ)

巻末資料—2

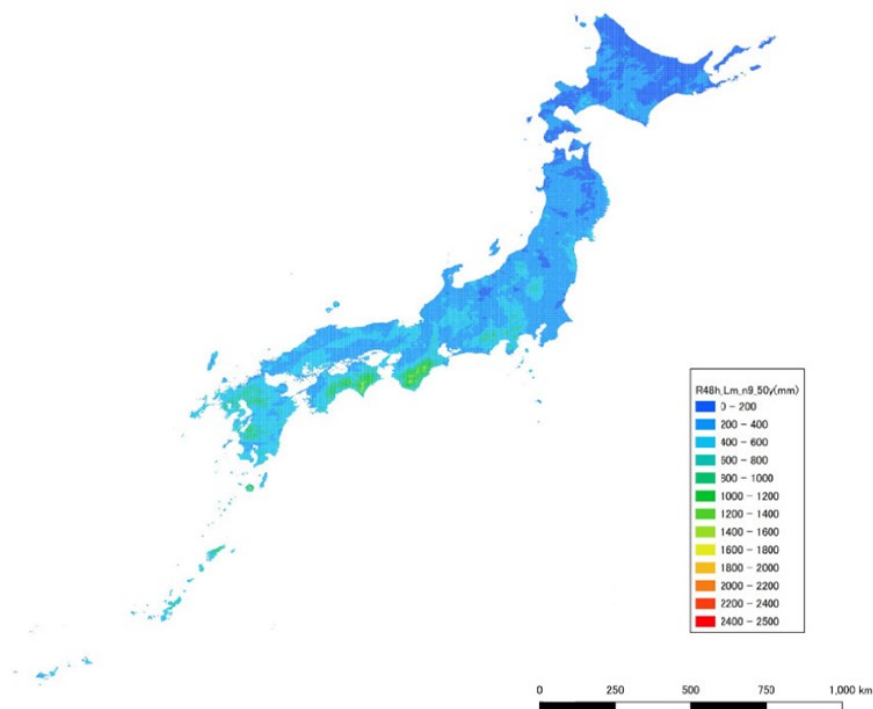


参考図: 48時間雨量の確率降雨(1/10,再起期間10年,9(3×3)メッシュ)

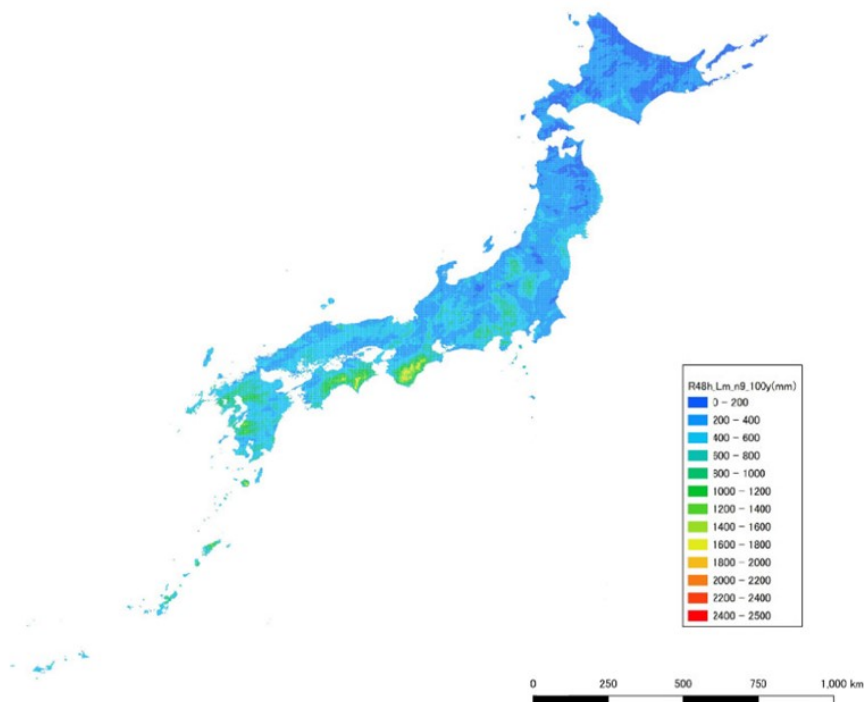


参考図: 48時間雨量の確率降雨(1/30,再起期間30年,9(3×3)メッシュ)

巻末資料—2



参考図: 48時間雨量の確率降雨(1/50,再起期間50年,9(3×3)メッシュ)



参考図: 48時間雨量の確率降雨(1/100,再起期間100年,9(3×3)メッシュ)



---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 1222

September 2022

---

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675