

長崎県の時空間スケールを勘案した 降雨量変化倍率の検証

多田彰秀

I. 検討の経緯・背景

国の検討会議と基準改定

- ◆ 令和元年10月『気候変動を踏まえた治水計画のあり方』、令和3年4月に同改訂版⇒提言
- ◆ 「パリ協定の目標と整合するRCP2.6（2℃上昇に相当）を前提に、治水計画の目標流量に反映」

⇒治水計画において設定する流量（基本高水、計画高水）の算定に用いる雨量に乗じる降雨量変化倍率が示される・・・長崎県を含む九州北西部 **1.1倍**

気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 改訂版【概要】

<気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化>

- 降雨特性が類似している地域区分ごとに将来の降雨量変化倍率を計算し、将来の海面水温分布毎の幅や平均値等の評価を行った上で、降雨量変化倍率を設定。
- 2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道で1.15倍、その他（沖縄含む）地域で1.1倍、4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道・九州北西部で1.4倍、その他（沖縄含む）地域で1.2倍とする。
- 4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいので、別途降雨量変化倍率を設定する。

九州北西部において

<地域区分毎の降雨量変化倍率>

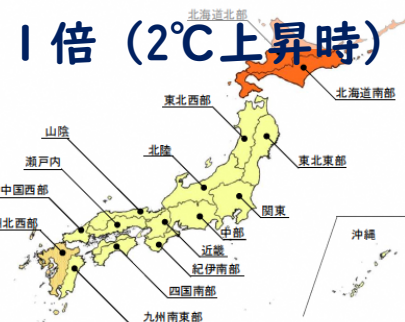
地域区分	2℃上昇	4℃上昇	
		短時間	長時間
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5
その他（沖縄含む）地域	1.1	1.2	1.3

- ※ 4℃上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満のこと3時間未満の降雨に対しては適用できない
- ※ 雨域面積100km²以上について適用する。ただし、100km²未満の場合についても降雨量変化倍率が今回設定した値より大きくなる可能性があることに留意しつつ適用可能とする。
- ※ 年超過確率1/200以上の規模（より高頻度）の計画に適用する。

<参考>降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化の一級水系における全国平均値

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2℃上昇時	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4℃上昇時	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

- ※ 2℃、4℃上昇時の降雨量変化倍率は、産業革命以前に比べて全球平均温度がそれぞれ2℃、4℃上昇した世界をシミュレーションしたモデルから試算
- ※ 流量変化倍率は、降雨量変化倍率を乗じた降雨より算出した、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の流量の変化倍率の平均値
- ※ 洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の治水計画の目標とする規模（1/100～1/200）の降雨の、現在と将来の発生頻度の変化倍率の平均値（例えば、ある降雨量の発生頻度が現在は1/100として、将来ではその発生頻度が1/50となる場合は、洪水発生頻度の変化倍率は2倍となる）



出典：「気候変動を踏まえた治水計画のあり方」提言【概要】

I. 検討の経緯・背景

国の検討会議と基準改定

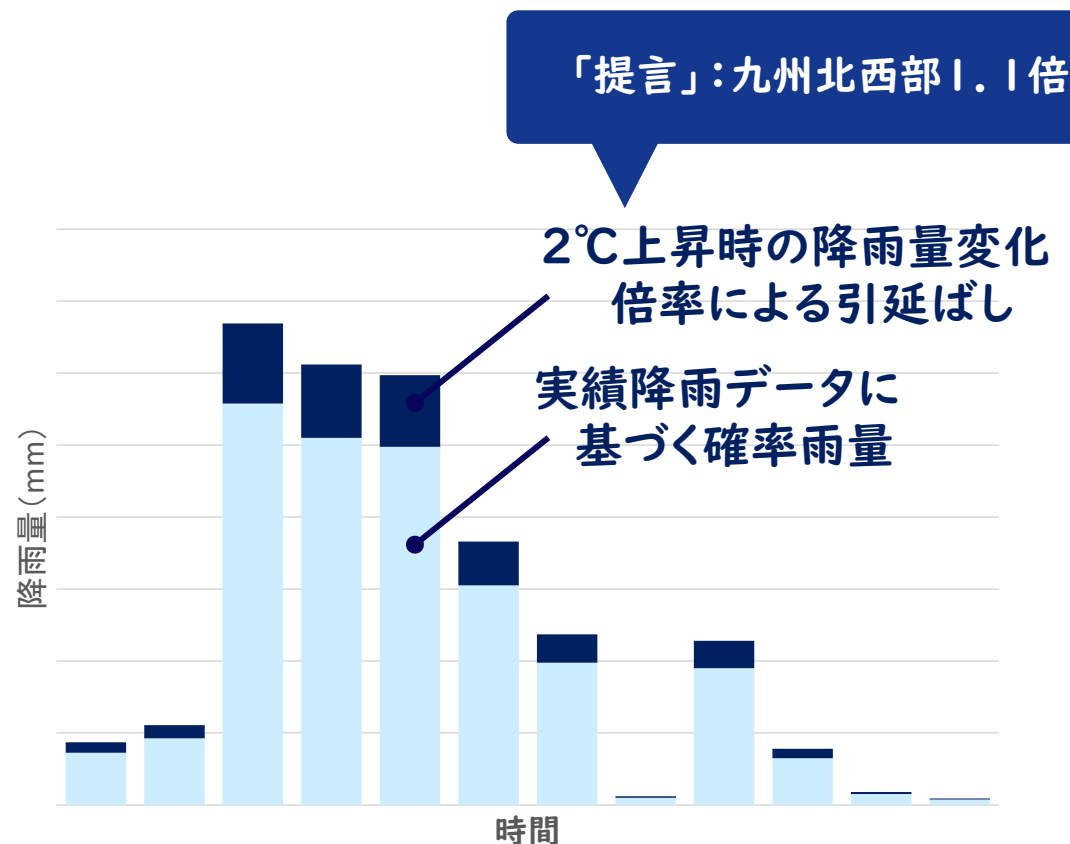
◆ 河川砂防技術基準【計画編 基本計画編】も改定

⇒気候変動の影響を踏まえた治水計画の検討に係る記載が追加

河川砂防技術基準 技術資料抜粋

計画対象降雨の降雨量の設定は、「温暖化による将来の降雨量の増加を反映するため、実績降雨データを用いた確率統計解析により得られた確率雨量に2℃上昇時の降雨量変化倍率（現在気候と将来気候との降雨量の比）を乗じることで対象降雨の降雨量を定める」ことを基本

出典：河川砂防技術基準【計画編_基本計画編】
技術資料_第2章-14



I. 検討の経緯・背景

長崎県の状況

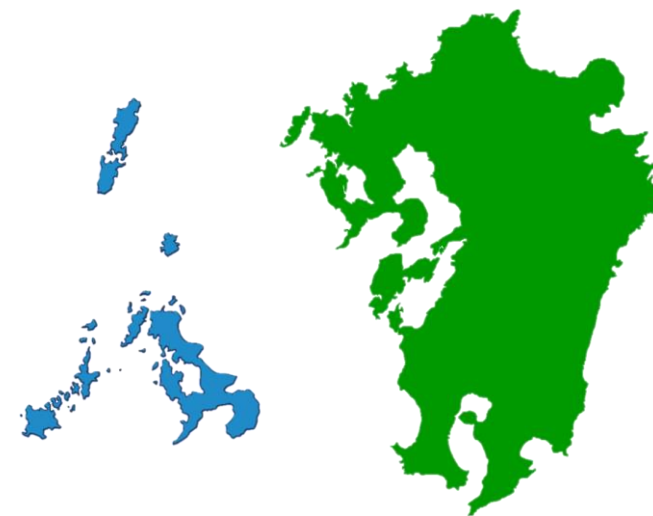
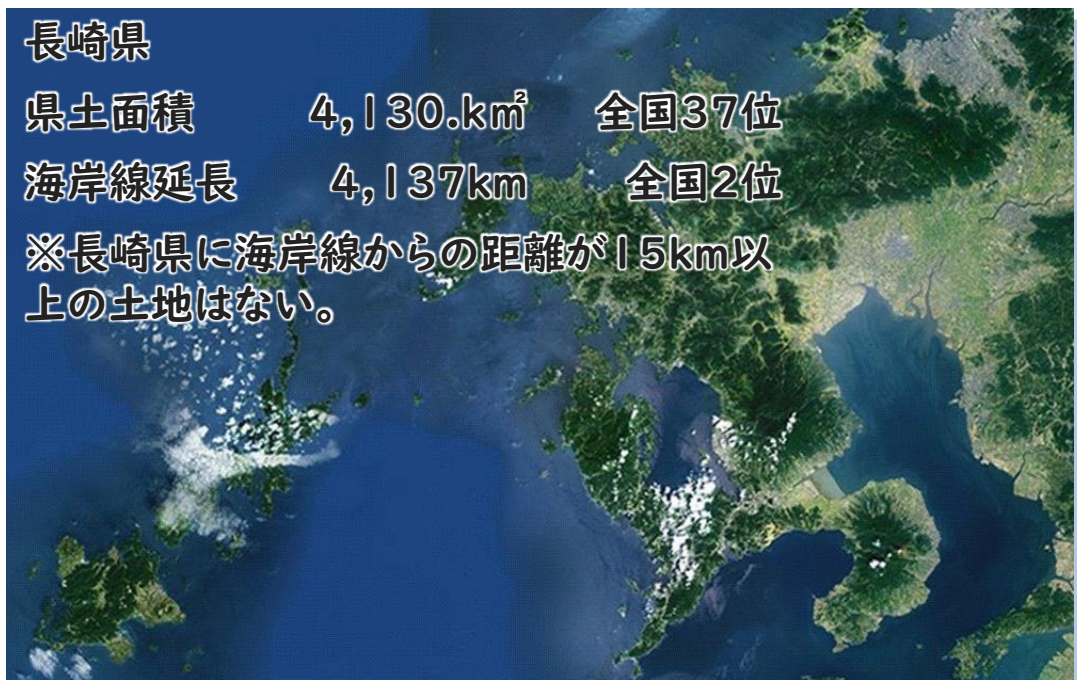
- ◆ 長崎県は、県土の多くが半島、離島で構成されており、山や丘陵が海まで迫る急峻な地形。
⇒東シナ海の海水温上昇の影響を受けやすいのでは？
- ◆ 県土面積は小さいが、海域を含めた県域としては、九州本土と同等の大きさ
⇒県内でも様々な降雨特性があるのでは？

長崎県

県土面積 4,130.km² 全国37位

海岸線延長 4,137km 全国2位

※長崎県に海岸線からの距離が15km以上の土地はない。



	東西	南北
長崎県	約170km	約240km
九州本土	約240km	約340km

※地図上で計測

I. 検討の経緯・背景

気候変動の影響による降雨強度の増大

長崎県の地形や河川の特殊性

長崎県として気候変動の影響を踏まえた治水計画
に関する基本方針の検討

長崎県域に着目した降雨量変化倍率の検証

2. 降雨量変化倍率の算定

国と長崎県との検討条件の比較

- ◆アンサンブル気象データについては、国交省と同じd4pdf,d2pdf(5km,SI-CAT)を使用
- ◆長崎県の河川計画の時空間スケールを勘案して雨量積算時間、対象雨域面積、年超過確率を設定

比較項目	国交省			長崎県		
アンサンブル 気象データ名	過去実験	d2PDF (5km, SI-CAT)	d4PDF (5km, SI-CAT)	過去実験	d2PDF (5km, SI-CAT)	d4PDF (5km, SI-CAT)
空間解像度	5km (1セル 5km×5km=25km ²)			5km (1セル 5km×5km=25km ²)		
計算期間	30年			30年		
海面水温パターン	1 SST	6 SST		1 SST	6 SST	
摂動数	12	2		12	2	
データの総年数	360年 (30年×12摂動)	360年 (30年×6SST×2摂動)		360年 (30年×12摂動)	360年 (30年×6SST×2摂動)	
対象領域	北海道、沖縄以外			長崎県		
雨量積算時間(hr)	(1,2,3,6),12,24,48,(72)			1,2,3,6,12,24		
対象雨域面積(km ²)	400,1600,3600			25,50,100		
年超過確率	1/100			1/5,1/10,1/30,1/50,1/100,1/200		

- ◆雨量積算時間については、県内既往の河川計画で採用されている降雨継続時間24時間までの設定
- ◆対象雨域面積は、県内で最も大きい2級水系(佐々川)の流域面積85.98km²により100km²(4セル)までの設定

2. 降雨量変化倍率の算定

降雨量変化倍率の算定の流れ

- ◆ 降雨量変化倍率の算定フローは以下の通りであり、今回の検討においては、治水計画外力検討に使用することを想定する2℃上昇相当シナリオに加えて、4℃上昇相当におけるシナリオでの検討も併せて行う。

◆ 年最大雨量のDAD（雨量-面積）関係を求める
国 : FRM法（雨量固定法）
長崎県: FEM法（変形面積法）

繰り返し: [降雨データ年数]

◆ 水文統計解析
年超過確率雨量を算定する

繰り返し: [過去実験, 気温2度上昇, 気温4度上昇]

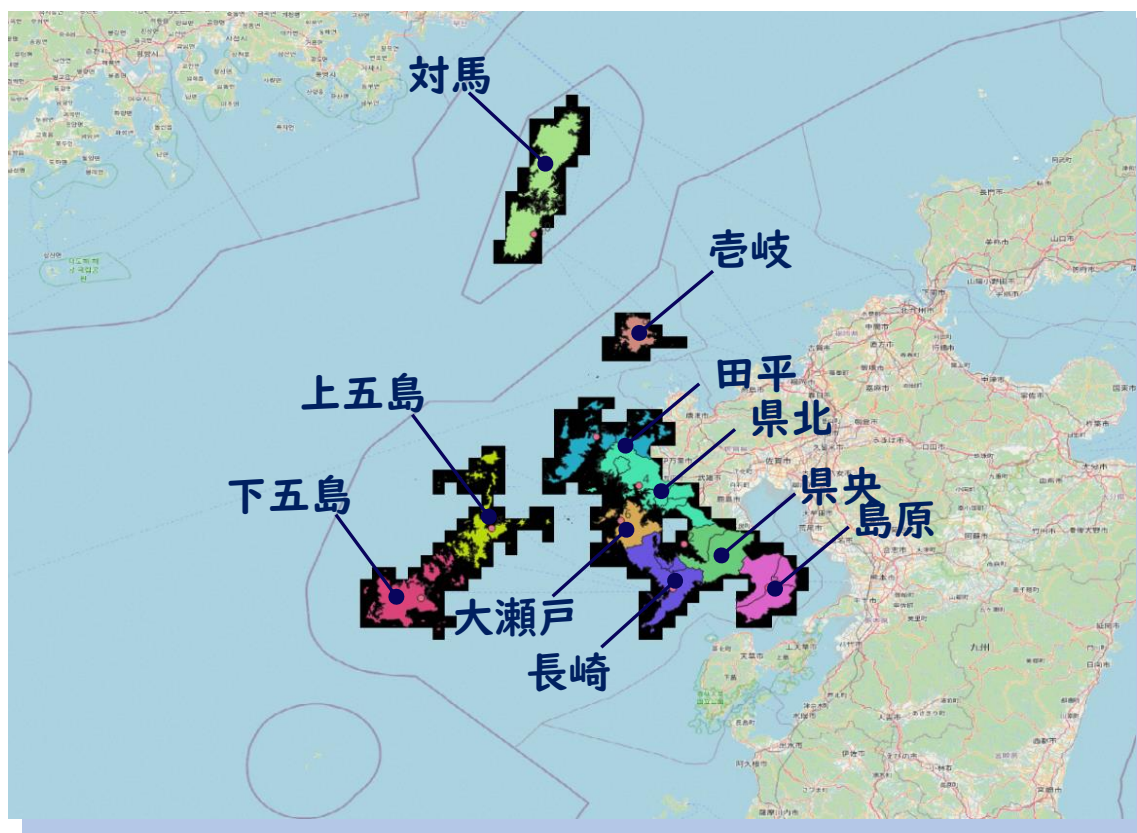
◆ 降雨量変化倍率を求める
降雨量変化倍率 = 将来実験の年超過確率雨量
/ 過去実験の年超過確率雨量

繰り返し: [継続時間ケース数]

2. 降雨量変化倍率の算定

長崎県と国の比較【長崎県検討における対象範囲】

- ◆ 長崎県の検討においては、以下の11地区を対象に降雨量変化倍率の算定を行った。
 - 県全域（以下の10地区を合わせた範囲）
 - 従前より河川計画等に使用している「降雨強度式適用地区分割」と同様の地区分割
- ◆ 範囲設定にあたっては、長崎県の陸域における最大降雨を捉えることが目的であるため、原則、陸域を包括できるセルを抽出した。



No.	地区	対象市町
00	県全体	県内21市町
01	長崎	長崎市、長与町、時津町
02	県央	諫早市、大村市
03	島原	島原市、雲仙市、南島原市
04	県北	佐世保市（字久町を除く）、東彼杵町、川棚町、波佐見町、佐々町
05	田平	平戸市、松浦市
06	大瀬戸	西海市（江島、平島を除く）
07	下五島	五島市
08	上五島	佐世保市（字久町）、西海市（江島、平島）、小値賀町、新上五島町
09	壱岐	壱岐市
10	対馬	対馬市

3. DAD解析

年最大雨量（DAD関係）の探索アルゴリズムの比較

- ◆ DAD解析とは、**Depth（降雨量）**-**Area（流域面積）**-**Duration（継続時間）**の関係を得るもの
- ◆ 年最大雨量（DAD関係）の探索アルゴリズムにはFRM法やFEM法などがある
- ◆ 国交省の検討では、解析範囲が大きいいため、計算負荷が比較的小さいFRM法を採用
- ◆ 長崎県の検討では、対象とする範囲（探索範囲および探査セル数）が小さいことからより厳密解に近づく解が得られるFEM法を採用

比較項目	国交省	長崎県
手法	FRM法 (雨量固定法:Fixed Rainfall Method)	FEM法 (変形面積法:Flexible Elements Method)
内容	最大雨量のセルを始点として、周辺の特定の雨量以上のセルを対象に最大雨量を探索する。最終的に、任意の面積に対する最大雨量を近似式により求める	最大雨量のセルを始点として、特定セル数に対して貪欲法で最大雨量を探索する
利点	計算負荷が比較的小さい	任意のセル数に対して最大雨量が直接求まる
欠点	DA関係が得られるAが不定 複数の降雨中心を持つ降雨は非対応	計算負荷が比較的大きい
備考	抽出された雨域の中に閾値未満の雨量の格子点が存在する場合は、その格子点も雨域に含まれるものとして雨域面積を算出	「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法 平成27年7月国土交通省」の作成においても用いられている

3. DAD解析

FRM法による、年最大雨量（DAD関係）の探索の例（雨域面積100km²:4セル）

◆今回の例では、固定する雨量を100mm,80mmとする。 ※ 各セルの数字は継続時間内の総雨量（mm）

① 145mmのセルを中心として、周辺の100mm以上のセルを取得する。

$$245\text{mm}/2\text{cell} = 122.5\text{mm}$$

5km

20	85	90	30
55	25	145	100
105	75	65	95
110	100	70	40

② さらに周辺の80mm以上のセルを取得する。

$$515\text{mm}/5\text{cell} = 103\text{mm}$$

20	85	90	30
55	75	145	100
105	75	65	95
110	100	70	40

③ 110mmのセルを中心として、周辺の100mm以上のセルを取得する。

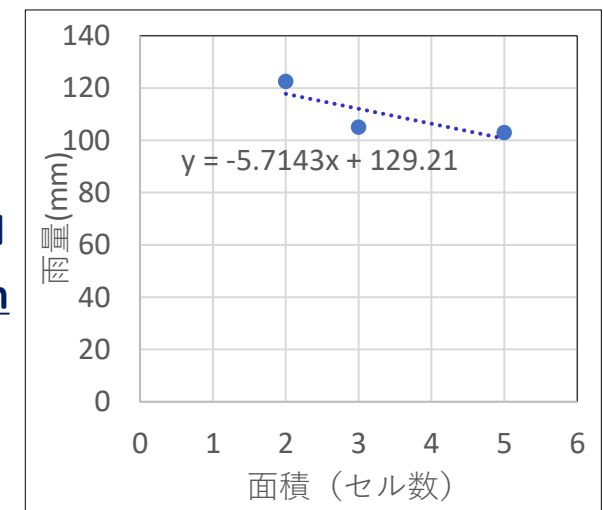
$$315\text{mm}/3\text{cell} = 105\text{mm}$$

周辺に80mm以上がないため探索打ち切り

20	85	90	30
55	25	145	100
105	75	65	95
110	100	70	40

④ 一次補間により、4セルの雨量を取得する。

$$-5.7143 \times 4 + 129.21 = 106.4\text{mm}$$



3. DAD解析

FEM法による、年最大雨量（DAD関係）の探索の例（雨域面積100km²:4セル）

- ◆ 今回の例では対象セル数が4と少ないため簡潔に見えるが、セル数が増えると計算負荷が大きくなる

① 145mmのセルを中心として、周辺のセルから雨量が大きいセルを4セルまで取得する。

$$\frac{430\text{mm}}{4\text{cell}} = 107.5\text{mm}$$

20	85	90	30
55	25	145	100
105	75	65	95
110	100	70	40

② 110mmのセルを中心として、周辺のセルから雨量が大きいセルを4セルまで取得する。

$$\frac{390\text{mm}}{4\text{cell}} = 97.5\text{mm}$$

20	85	90	30
55	25	145	100
105	75	65	95
110	100	70	40

③ 上記のうち最大値を解とする。

107.5mm

3. DAD解析

最大雨量 (DAD関係) の探索の例: 厳密解、FRM法、FEM法の比較

◆ 今回の例では厳密解に対してFEM法が近い結果となった。

なお、降雨分布や固定雨量によってはFRM法が近い結果となるケースも存在しうる。

◆ 今回の例は降雨中心が2山存在する特殊なケースを挙げた。

実際の降雨への適用において、厳密解が得られているケースは多いと考えられる。

厳密解

20	85	90	30
55	25	145	100
105	75	65	95
110	100	70	40

$$435\text{mm}/4\text{cell} = 108.8\text{mm}$$

比較表 (今回例)

解	降雨量
厳密解	108.8mm
FRM法	106.4mm
FEM法	107.5mm

4. 水文統計解析

水文統計解析

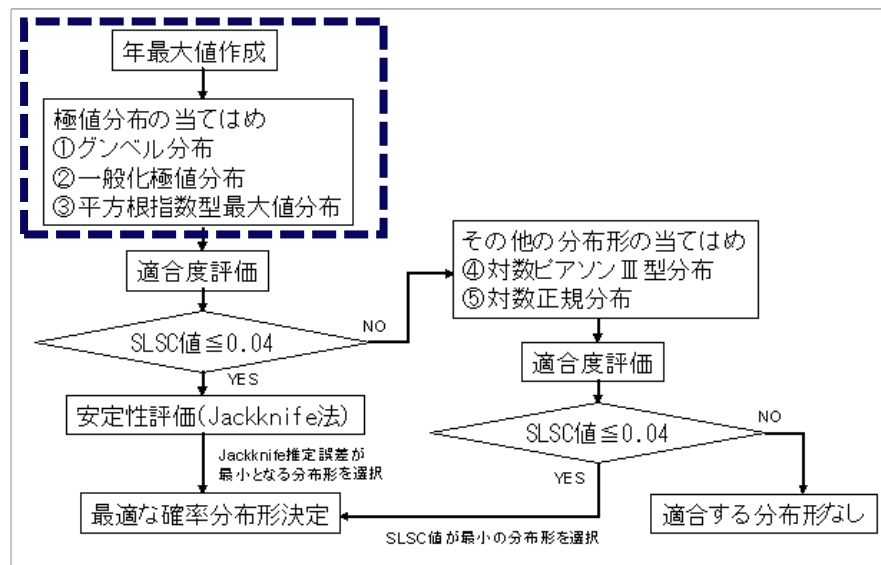
- ◆ 年最大雨量の評価に使用する確率分布は、極値理論に基づく極値分布による評価を行う。
- ◆ 国交省の降雨量変化倍率算定においては、グンベル分布のみで評価を行っている。
- ◆ 長崎県の降雨量変化倍率算定においては、グンベル分布を含む3つの極値分布を用いた。

・グンベル分布(Gum)

・一般化極値分布(Gev)

・平方根指数型最大値分布(Sqrt-ET)

なお、適合度の評価は国と同様行わず、別個に比較を行った。



年超過確率計算における確率分布形の選定フロー

出典：「中小河川計画の手引き(案) 平成11年9月 中小河川計画検討会」

5. 降雨量変化倍率の算定結果

降雨量変化倍率の算定結果（比較）

- ◆ 2度上昇の降雨量変化倍率の平均値は国交省の結果と比べて若干大きくなった
- ◆ 4度上昇の降雨量変化倍率の平均値は国交省の結果と比べて若干小さくなった

項目	国交省		長崎県	
データセット	d2pdf	d4pdf	d2pdf	d4pdf
平均値	1.14	1.36	1.16	1.32
6SSTの範囲	1.02~1.19	1.28~1.44	1.08~1.24	1.19~1.42
決定値	1.10	1.4	今後、検討を踏まえて決定	

長崎県の値は3分布形平均で、県全体の平均値である。

- ◆ 降雨量変化倍率は、以下の表における倍率の平均値を整理した。

項目	国交省	長崎県
年最大雨量探索	FRM法	FEM法
対象範囲	九州北西部	長崎県（11地区）
海面水温パターン	6 SST	6 SST
雨量積算時間(hr)	12,24,48	1,2,3,6,12,24
対象雨域面積(km ²)	400,1600,3600	25,50,100
年超過確率	1/100	1/5,1/10,1/30,1/50,1/100,1/200
確率分布	Gum	Gum,Gev,Sqrt-ET

5. 降雨量変化倍率の算定結果

降雨量変化倍率の算定結果【長崎県 2℃上昇】

◆ 2℃上昇相当について、計算結果の分布をみると、地域毎のバラつきがみられるが、「提言」で示された1.1倍（九州北西部1.14倍）と比較して、全体的に分布が上振れしている結果となっている。

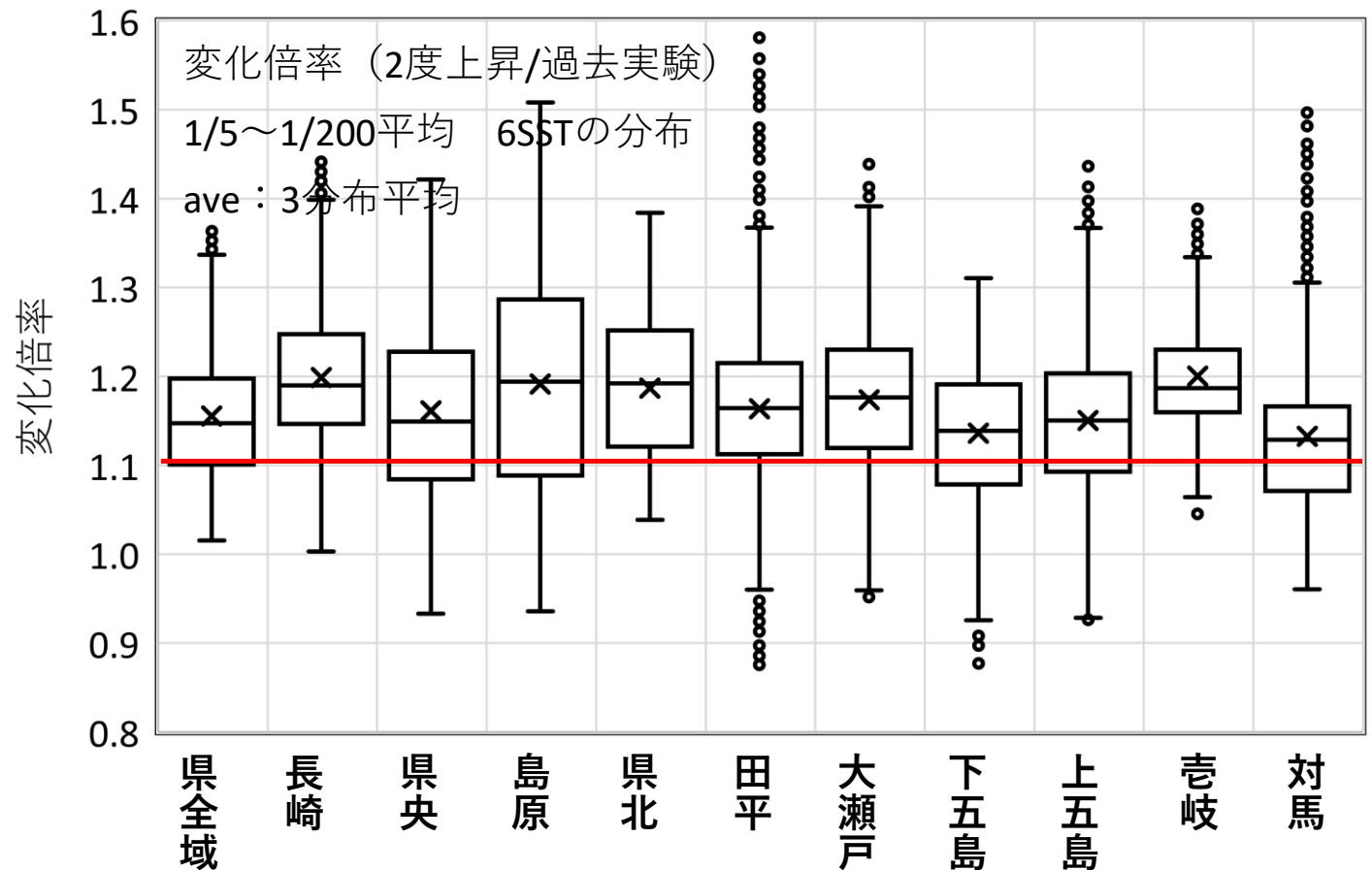
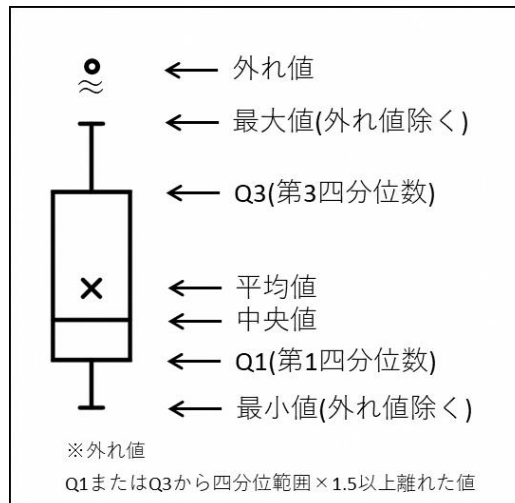


図 降雨量変化倍率の計算結果分布 3分布平均

5. 降雨量変化倍率の算定結果

降雨量変化倍率の算定結果（長崎県 2℃上昇【感度分析】）

◆ 生起確率規模及び対象雨域面積については、条件毎に大きな変化はないが、降雨継続時間については、1,2,3時間の比較的短時間と比較して、6,12,24時間の降雨量変化倍率が高い傾向がみられる。⇒国の検討における九州北西部の解析結果と同様の傾向を示している。

長崎県全体のSST平均値					
要素	条件	分布系			
		ave	gum	gev	sqe
基本ケース	—	1.16	1.16	1.14	1.17
生起確率規模（年）	30,50,100	1.15	1.15	1.14	1.16
対象雨域面積(km ²)	25km ² (1メッシュ)	1.15	1.15	1.13	1.16
	50km ² (2メッシュ)	1.15	1.16	1.14	1.17
	100km ² (3メッシュ)	1.16	1.16	1.15	1.17
雨量積算時間 (hr)	1時間	1.13	1.13	1.15	1.12
	2時間	1.14	1.14	1.14	1.14
	3時間	1.15	1.15	1.13	1.17
	6時間	1.18	1.18	1.16	1.21
	12時間	1.16	1.17	1.14	1.19
	24時間	1.16	1.16	1.14	1.16

表 降雨量変化倍率の感度分析

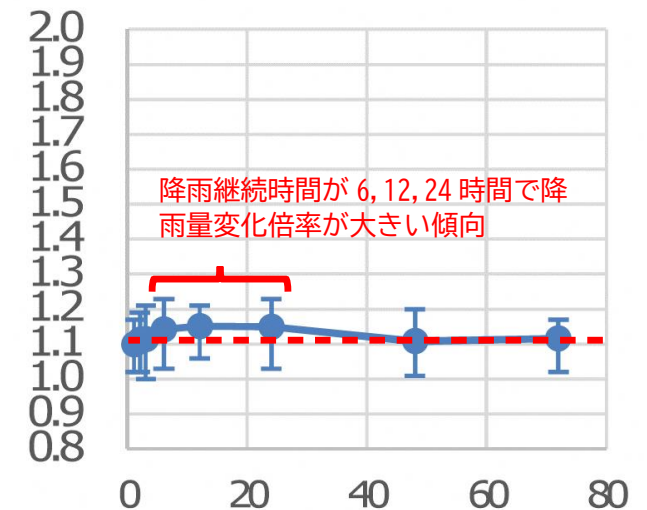


図 国土交通省の検討における降雨継続時間による降雨量変化倍率の分布

5. 降雨量変化倍率の算定結果

降雨量変化倍率の算定結果【長崎県 4℃上昇】

◆ 4℃上昇相当について、計算結果の分布をみると、地域毎のバラつきがみられるが、「提言」で示された1.4倍（九州北西部1.36倍）と比較して、全体的に分布が下振れしている結果となっている。

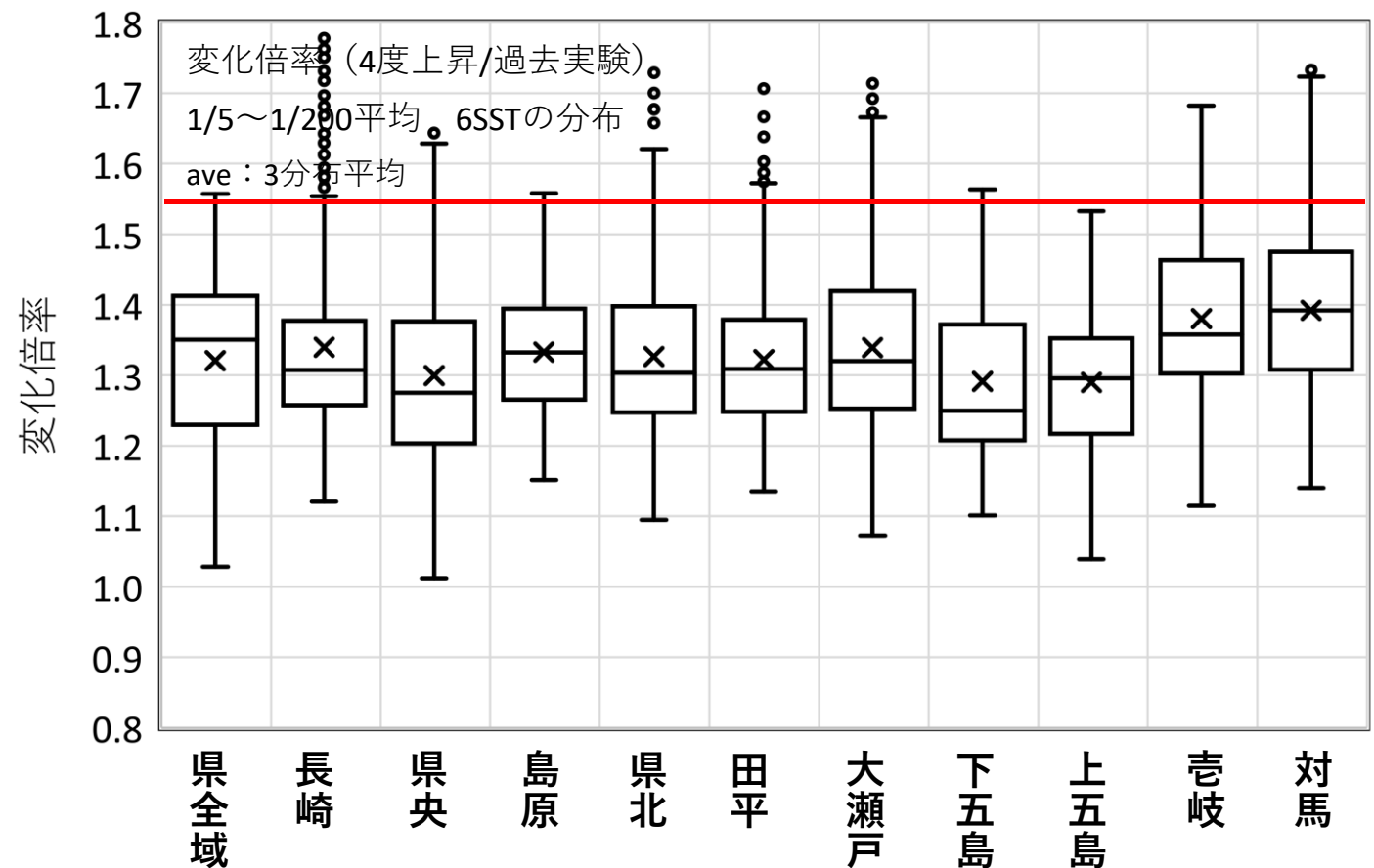
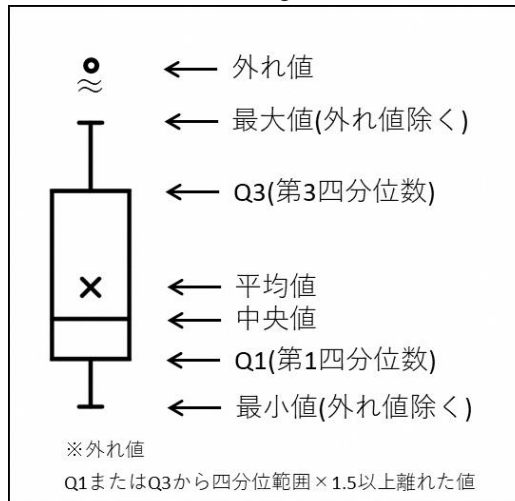


図 降雨量変化倍率の計算結果分布 3分布平均

6. まとめ～今後の検討～

県内河川の改修事業への影響検討

長崎県の気候変動の影響を踏まえた治水計画 に関する基本方針を定めるよう検討を進める

※ 降雨量変化倍率の設定にあたっては、「感度分析結果を踏まえた国の検討結果との違い」及び「“小スケールにおける気候変動予測の不確実性”、“ある程度の広がりを持つ領域を対象として解釈が必要”」との報告等を踏まえ決定する。

- ✓ 気候変動における国の提言を参考に長崎県域の地域特性を踏まえ、県内の気候変動に伴う降雨量変化について検証を行い、「長崎県における気候変動を踏まえた今後の治水計画のあり方【対応方針】」を定めた。
 - 現在、整備中の河川では、まずは速やかに現在の河川整備基本方針・河川整備計画の早期達成に向けた整備を加速する。
 - 策定済みの河川整備基本方針・河川整備計画を直ちに見直すのではなく、河川整備基本方針・河川整備計画の目標流量を超過する洪水が発生した場合のほか、治水計画の検討の中で、洪水処理計画を変更する場合等に、気候変動の影響を考慮した見直しを行う。
 - 治水計画の新規策定・変更は、洪水による浸水被害、河川整備基本方針・河川整備計画の策定状況等を総合的に勘案し、新規策定・変更の優先度を決定する。
 - 治水計画の新規策定・変更を行う場合は、気候変動の影響を考慮した治水計画となるよう検討する。ただし、整備中の治水計画と整合がとれない場合においてはこの限りではない。