

1
2
3
4
5
6
7
8
9 気候変動を踏まえた適応策（水害リスクの低減）について
10 ～十勝川流域、常呂川流域を例に～
11

12 【中間取りまとめ案】
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

27 令和 2 年 5 月
28

29 北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会
30
31

1. はじめに

- IPCC 第 5 次報告書では、気候システムの温暖化については疑う余地はなく、21 世紀末までに中緯度の陸域のほとんどの地域で、極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高いことが示されている。
- 近年、平成 27 年関東・東北豪雨、平成 28 年北海道豪雨、平成 29 年九州北部豪雨、平成 30 年西日本豪雨、令和元年台風 19 号等、全国各地で豪雨等による水害や土砂災害が頻発し、甚大な被害が毎年のように発生している。
- 平成 30 年 7 月豪雨では、気象庁が「地球温暖化による気温の長期的な上昇傾向とともに大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向であることが寄与していたと考えられる」と個別災害について初めて地球温暖化の影響に言及するなど、地球温暖化に伴う気候変動が既に顕在化しており、気候変動の影響に起因する気象現象は、何時起きてもおかしくない現状である。
- 北海道においても、平成 28 年 8 月 17 日から 23 日の一週間に、台風 7 号、11 号、9 号と 3 個の台風が相次いで上陸し、道東を中心に大雨による河川の氾濫や土砂災害が発生した。さらにその一週間後、台風 10 号が太平洋側から岩手県に上陸し、北海道に記録的な大雨をもたらした。
- これら一連の記録的な大雨により、石狩川水系空知川、十勝川水系札内川など 9 河川で堤防が決壊し、79 河川で氾濫が発生、人的被害や多数の住宅被害など、甚大な被害が発生した。また、多数の道路、鉄道の被災や橋梁流出などにより交通が途絶するとともに、広範囲に及ぶ農地被害や食品加工場の被災により日本の食料供給に影響を与えるなど、大規模かつ広域的な被害が発生した。
- 平成 28 年洪水における甚大な被害を踏まえ、今後の水防災対策のあり方を検討するため、国土交通省北海道開発局と北海道が共同で「平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」を立ち上げた。
- この委員会の報告書では、「我が国においても気候変動の影響が特に大きいと予測される北海道が、先導的に気候変動の適応策に取り組むべきであり、気候変動による将来の影響を科学的に予測し、具体的なリスク評価をもとに治水対策を講じるべき」とされている。
- さらに、近年、気候予測モデルの発展に加え、気候シミュレーションに必要な演算能力の向上、X-RAIN 等の観測技術の向上、気象データの充実等が図られてきた。
- こうした状況を踏まえ、平成 29 年には「北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会」を設置し、これまでの気候*及び今後の気候変動に伴う気象現象の変化、とりわけ大規模水害に直結する低頻度の気象現象の発生頻度を評価し、物理的に発生し得る降雨群及びその時空間分布を把握

68 するために大量アンサンブルデータ（気候予測アンサンブルデータ）を導入
69 した。その際、降雨現象の評価に大きな影響を与える地形条件に対応するた
70 め力学的ダウンスケーリングを実施した。さらに、こうしたデータに対して
71 統計的な処理を行い、得られたデータ、データに基づく気象現象の信頼性あ
72 る評価、データの扱い方に関する基本的な考え方等を整理するなど、検討を
73 進めてきたところである。

74 ➤ 今回の検討会では、この気候変動に基づく将来の気象現象を評価できる気候
75 予測アンサンブルデータを基に、平成 28 年に甚大な被害が発生した十勝川
76 流域、常呂川流域を対象に、気候変動により新たに発生するリスクを詳細に
77 評価し、リスクの規模や流域に与える降雨の時空間分布に基づくリスク特性
78 の分析を行った。その上で、こうした気候変動によってもたらされる、新た
79 に明らかになったリスクに対応する具体的な適応策等の検討を行った。

80 ➤ このような気象現象の評価により、気候変動による 4℃上昇あるいは 2℃上
81 昇の段階における、降雨量や降雨の時空間分布といった具体的なリスク評価
82 が可能になり、初めてリスクに基づく適応策の検討が可能となった。これま
83 での計 3 回の検討会での議論を踏まえて、科学的なデータによる新たなリス
84 ク評価とこのリスクに基づく適応策等を取りまとめると共に、今後こうした
85 取組を広く進めるために、検討するに当たっての基本的な考え方や方法につ
86 いて取りまとめるものである。

87 ※ これまでの気候において、経験していないような極端な降水が、現時点においても起こりえることが
88 示唆されている

91 2. 気候変動に対応する新たな降雨評価と評価手法

92 (1) 新たな科学技術の導入

93 <アンサンブルデータの導入>

94 ➤ 気候変動の影響を予測するにあたって、降雨予測データはその基本となるが、
95 今回の一連の検討で用いる気候予測アンサンブルデータ※は、発生頻度の低
96 い降雨の領域においても一定のアンサンブル数を確保している。【図 1】

97 ➤ また、気候予測アンサンブルデータの導入により、非線形力学系における有
98 界性(boundedness)※※を踏まえ、将来における気候変動の影響予測のみなら
99 ず、これまでの気候においても物理的に発生し得る降雨の予測値を併せて把
100 握することが可能になったと言える。

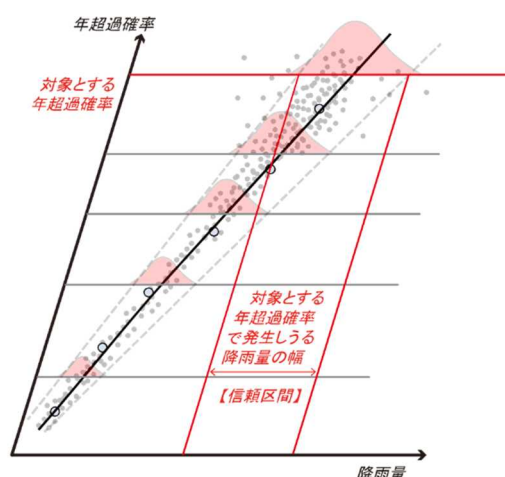


図 1 観測値と気候予測アンサンブルデータの関係 (イメージ)

<統計的な信頼性の向上>

- 気候予測アンサンブルデータは、これまでの気候及び今後予測される気候に関して、海面水温や摂動といった様々な条件を考慮して予測計算した過去実験 3000 年分^{※※※}、将来実験 5400 年^{※※※} (4℃上昇)・3240 年分^{※※※} (2℃上昇) にわたる大量のデータであり、リスク評価や適応策の検討を行うに当たって、降雨の年超過確率等、統計的に高い信頼性^{※※※※}を有する分析が可能になったと言える。

<力学的ダウンスケーリング>

- さらに、短時間における極端降雨や流域の地形性降雨を小流域においても十分に表現できる解像度にするため、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用い、NHRCM(気象庁気象研究所の地域気候モデル)により、20km メッシュのデータを、雨量観測データとの比較、大規模な洪水を発生させる台風や集中豪雨等の気象現象の表現性の観点から 5km メッシュにまで力学的ダウンスケーリング (以下、DS) ^{※※※※}している。なお、5km メッシュの有効性は、1 時間降雨強度の頻度・傾向等における実際の観測データとの一致からその信頼性が評価されている。【図 3】

<観測値との比較による予測の信頼性>

- また、近年、より多くの雨量観測所のデータや DIAS (データ統合・解析システム) 等の気象・水文・水理データベースの整備に加え、X-RAIN 等の観測技術の向上もあり、時間雨量、風向、気圧等、降雨発生時の様々な物理条件を予測値と観測値で比較・検討することが可能となっている。これにより、予測モデルとそれによって得られたデータの信頼性向上を可能としている。
- 今回、十勝川流域及び常呂川流域に適用するにあたり、確率限界法検定に基づき、十勝川帯広地点の 3 日降雨量及び常呂川北見地点 24 時間降雨量の観

測値に当てはめた Gumbel 分布の 95%信頼区間が、過去実験の 95%信頼区間と概ね一致しており、データの信頼性を確認している。また、5km の DS では、十勝川帯広地点及び常呂川北見地点において、1 時間降雨強度の頻度・傾向等が過去実験と実際の観測データとで概ね一致しており、地形性の降雨や局地的、短時間に集中する降雨を表現し得るということも確認している。

【図 2】【図 3】

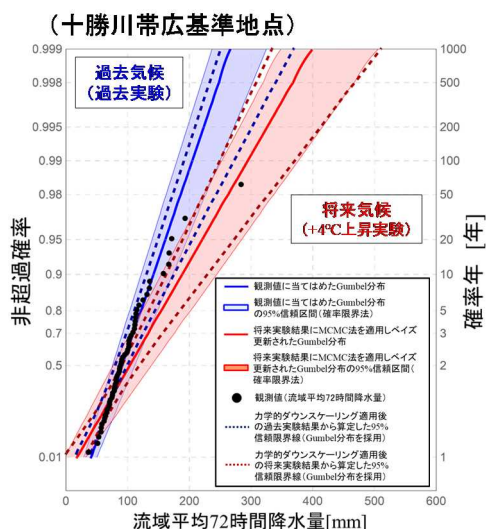


図 2 過去実験と観測結果

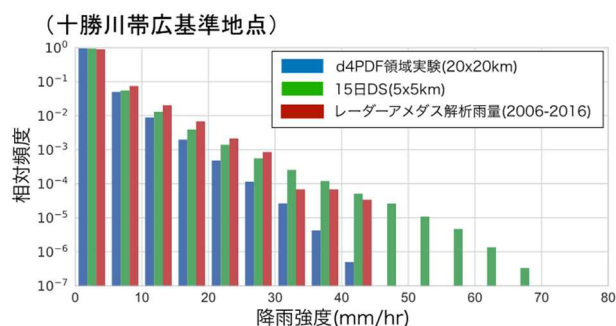


図 3 短時間降雨の再現性

(第 2 回検討会資料より 山田委員提供)

➤ このような検討・評価により、今回の検討で用いる気候変動の予測モデルが十分な科学的信頼性を獲得していることから、気候変動に伴う降雨等のリスク評価やこれに基づく適応策等の検討を行う上で、こうした降雨の予測値を、「物理的に発生し得るという意味でいわば準観測値」として扱うことができる。

➤ こうした状況を踏まえ、過去実験 3000 年分、将来実験 5400 年 (4℃上昇)・3240 年分 (2℃上昇) の大量の気候予測アンサンブルデータにおける降雨の予測値を一連の検討に採用し、詳細なリスクの分析、評価を行うと共に、それに基づくハード・ソフト等の一体的な適応策の検討を行うものとする。

※ 「気候予測アンサンブルデータ」とは、文科省・気候変動リスク情報創生プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成された地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースにおける過去実験、4℃上昇実験、2℃上昇実験の総称

※※ 気象現象は、その上限値・下限値を有する範囲内において確率的に発生するものということを企図している

※※※ 60 年×50 摂動=3000 年 60 年×6SST×15 摂動=5400 年 60 年×6SST×9 摂動=3240 年

※※※※ 乱数時系列を用いた新記録の発生回数は、アンサンブル数がこれ以上増加してもほとんど変

154 わらない。これは過去及び将来気候を予測するに十分なアンサンブル数を確保していると言える
155 (参考資料参照)

156 ※※※※※ 地球シミュレータの特別推進課題及び文部科学省 SI-CAT の支援を受けて実施

158 (2) 新たに可能となる気候変動の評価と適応策の検討

- 159 ➤ 気候変動への対応は待ったなしの状況であるが、観測データのみならず、科
160 学的信頼性のある気候予測アンサンブルデータを用い、気候変動の影響を踏
161 まえたリスク評価や適応策等、様々な検討を行うことが可能になったと言え
162 る。
- 163 ✓ 過去の観測データによる気象現象の評価は限られたデータ数によるものあ
164 ったが、気候予測アンサンブルデータの導入により、これまでの気候におい
165 て経験していないが物理的に発生する可能性のある気象現象による降雨、さ
166 らには降雨の時空間分布等のデータを準観測値として把握することが可能
167 になり、こうしたデータを用いて、気候変動の影響がどのように変化するの
168 かを評価することが可能となった。
- 169 ✓ さらに、従来の治水計画における降雨量は、実際に観測した過去の降雨量デ
170 ータから統計処理により一定の確率規模を対象に算定し、計画に用いてきた
171 が、気候予測アンサンブルデータの導入により、気候変動後のみならず、こ
172 れまでの気候において経験していないが物理的に発生する可能性のある気
173 象現象による降雨量を用いることで、より広範な現象を対象とした標本を基
174 に確率評価が可能となった。
- 175 ✓ このような新たな降雨データを用いることにより、気候変動による降雨等の
176 気象現象を被災が想定される地域において具体的にリスクとして評価する
177 とともに、このリスクに対応した適応策の検討が可能になった。例えば、氾
178 濫シミュレーションすることで、地域の被災頻度や規模、さらには氾濫水の
179 流速や水深といったリスクとその変化に基づく検討が可能となる。
- 180 ✓ さらに、浸水状況を気候変動の影響を加えて確率的に表現し、役場や大規模
181 工場等の地域社会・経済にとって重要な施設を含め、地域に与える社会的、
182 経済的被害を期待値として提示することが可能となった。
- 183 ✓ また、4℃上昇、2℃上昇に対する適応策の効果を定量的に評価することで、
184 気候変動の進行に対応した時間軸の中で、適応策の展開状況や社会・経済活
185 動の変化等を踏まえ、ハード・ソフト対策等をどのように進めていくべきか
186 弾力的に検討することが可能となった。
- 187 ✓ 従前の整備目標とする洪水を安全に流下させる治水計画に対して、気候予測
188 アンサンブルデータによる信頼性ある予測データを持ち込み、こうした科学
189 的に信頼性あるデータを基に気候変動の影響による様々なリスクを分析・評

190 価し、その結果を地域で共有するとともに、様々な具体的なハード・ソフト
 191 対策等を検討し、社会実装していくことは、新たな発想による考え方の転換、
 192 いわばパラダイムシフトと言える。【表 1】

193
 194 表 1：気候予測アンサンブルデータの具体的活用例

アンサンブルデータで可能となること	検討結果の活用例
・降雨の時空間分布の把握 (過去の観測データのみではデータ数に限りがある)	・ハード・ソフト等の適応策 ・まちづくり ・水害保険 ・企業のBCP 等
・過去の実績には無い、未経験かつ危険な気象現象や降雨分布を把握	
・降雨の時空間分布が気候変動の影響でどのように変化するか把握	
・様々な降雨イベントに対して、本川支川一体的に浸水リスク(死者数、経済被害等)を確率的に表現	
・様々な降雨イベントによる氾濫流の流速、洪水到達時間を把握	
・様々な降雨イベントに対して適応策の効果を定量的に表現	
・様々な降雨イベントに対して貯留施設の運用を検討	
・気候変動の進行に対応した時間軸の中で、最適な適応策の組合せを検討 等	

195
 196 ✓ なお、気候変動に係る予測値は、本質的に一定の変動幅[※]を有するため、将
 197 来にわたっての降雨量や降雨の時空間分布の変化を過去実験/将来実験での
 198 相対評価(倍率)として示すと共に、将来実験における降雨量等のある年超
 199 過確率に対する値について(一つの値では無く)幅を持たせて提示し、リス
 200 ク評価においても浸水確率を示す等、一連の検討を行うに当たっての確率論
 201 的な考え方を導入している。

202 ※ いわゆる不確実性の意味であるが、過去気候及び将来気候においてとり得る値が幅を持つことに重
 203 点を置いて表すため変動幅とした。

206 3. 基本的な考え方

- 207 ➤ 科学的信頼性ある気候予測アンサンブルデータを用い、気候変動の影響を踏
 208 まえた詳細なリスク評価を行い、それによるハード・ソフト等の一体的な適
 209 応策の検討を行うものとする。
- 210 ➤ 水防災意識社会の構築と強化に向け、流域の降雨やその時空間分布、河川流
 211 量といったハザードの変化や治水整備の状況、地域特性を踏まえた被害想定
 212 等のリスクの分析・評価を行い地域で共有すると共に、明らかになったリス
 213 クを踏まえ、従来の治水整備のみならず、流域全体でハード・ソフト対策等
 214 を効果的に組み合わせた適応策を検討し、整備目標を超過する洪水に対しても
 215 壊滅的な被害を防ぐことを目指すものとする。
- 216 ➤ 次世代に防災・減災に関わる負の遺産を継承することのないよう、適応策の

検討に当たっては、気候変動の進行に対応した時間軸の中で、気候変動の推移はもちろん、適応策の展開や社会・経済活動の変化等を総合的に評価し、ハード・ソフト対策等を段階的に進めていくことが重要である。このため、適応策のうち、当面の対策として確実に実施すべきものを「当面の適応策」として、速やかに社会実装を進めていくものとする。また、定期的に、最新の科学的知見や社会・経済情勢等を踏まえ、適応策の組み立て等を検証し、弾力的に見直していくものとする。

- ここで、「当面の適応策」の期間については、河川整備計画の達成期間や気候変動シナリオに大きな違いが見られないこと等を総合的に勘案し、概ね30年と設定するものとする。【図4】

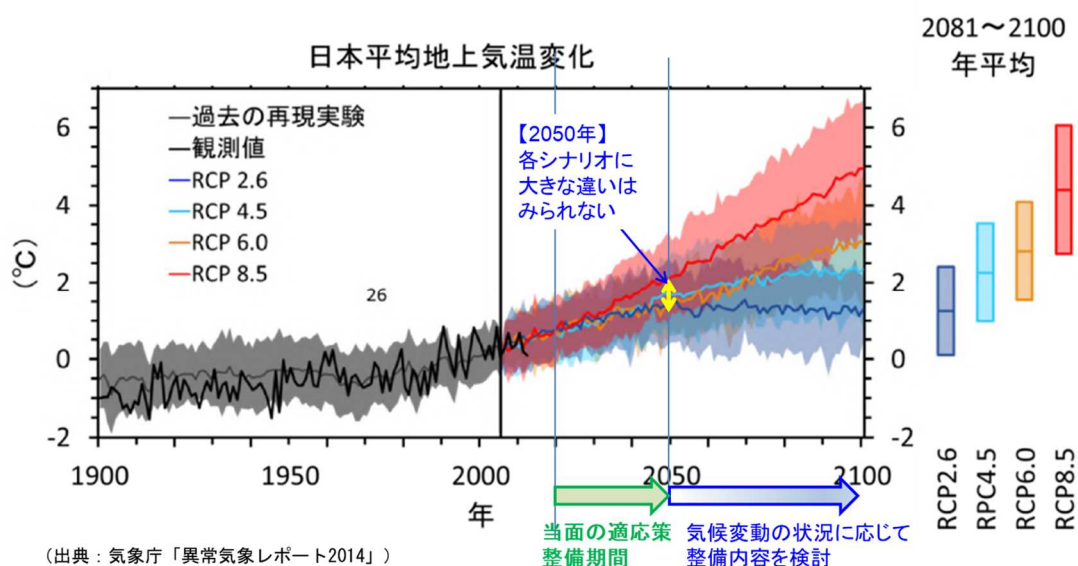


図4 当面の適応策の期間

- 一連の検討に際しては、今後発生する可能性のある最大規模のシナリオである4℃上昇をもとに気候変動に伴うリスクの評価や適応策の検討を行うとともに、当面の治水適応策の検討に当たっては、その整備を段階的に行うとの観点から、2℃上昇時を一つの段階としてとらえ、そのハザードやリスクに対応する。
- また、気候変動により降雨の激しさが増していくという局面において、治水適応策の検討に当たっては、確実に、将来の世代においても治水安全度を低下させないことを基本として、かつリスク分析・評価に基づき、地域のリスクをできるだけ低減させるものとする。
- 具体的には、気候予測アンサンブルデータにより、気候変動に伴う降雨特性の変化を詳細に把握することが可能となったことを踏まえ、「当面の適応策」の検討では、気候変動の影響に伴う降雨現象を基に、本川・支川の流量増大

を踏まえて河川の整備目標とする流量を設定し、確実にリスクを低減するための治水適応策（河道掘削等）を実施するものとする。

- さらに、これに加え、水害が地域に与える社会的、経済的被害を具体的に提示することが技術的に可能となったことを踏まえ、「社会的リスク」※という概念を導入し、「当面の適応策」の検討では、前述の治水適応策（河道掘削等）を実施することに加え、社会的リスクの高い地域に対するハード・ソフト対策等を併せて実施するものとする。
- また、都市部以外の地域においても、「北海道総合開発計画」においては、北海道の強みである農林水産業や観光といった戦略産業を支える「生産空間」としての位置づけがある。そうした場所で氾濫した場合、十勝川流域、常呂川流域での検討において、畑作地は浸水に弱く、浸水頻度や表層土の流亡が営農に大きな影響を及ぼす他、農作物集積場や加工工場といった関連施設が浸水した場合、流通の全行程に甚大な影響を及ぼし、食料供給地である北海道の農業被害が全国に波及し得ることが明らかとなっている。そのため、「生産空間に与えるリスク」※※という概念を導入し、上記と同様に適応策を実施するものとする。
- 「社会的リスク」や「生産空間に与えるリスク」をはじめ、様々なリスクを勘案し、ハード・ソフト等の適応策を効果的に組み合わせ、地域特性を踏まえつつ、流域全体における被害の最小化を図るものとする。
- 一連の検討により明らかとなったリスク分析・評価結果を減災対策協議会等の枠組みを活用して地域で共有するとともに、流域委員会等での議論も踏まえ、河川整備計画を変更するなどし、速やかな社会実装を図るものとする。
- 仮に、世界の平均気温の上昇を産業革命以前と比べて2℃以内に抑えることに成功したとしても、2℃上昇の状況は、既に差し迫った近未来であり、「当面の適応策」の速やかな社会実装が求められる。 ※※※

※ 洪水が発生した場合に、人的被害や経済被害に加え、地域の特性を踏まえて、地域社会や地域経済に大きな影響を及ぼすリスクが相対的に高いと想定される地域を「社会的リスクの高い地域」と定義する。本検討の例においては、人的被害や経済被害の期待値に加え、地域社会経済にとって重要な浸水リスク等を総合的に勘案して決定している。

※※ 「生産空間」とは、北海道の強みである農林水産業や観光といった戦略産業を支える生産の場（特に市街地ではない領域を指す）であり、生産のみならず、観光その他の多面的・公益的機能を提供している。このうち、洪水により甚大な被害が発生した場合に、その復興、維持・発展に大きな影響を及ぼすことが想定される地域を「生産空間に与えるリスクが高い地域」と定義する。

※※※ 参考資料参照

4. 適応策検討のプロセスについて 【図 5】

(1) ハザードの変化の分析

- d4PDF 及び d2PDF を用いて、流域の各地点における 4℃上昇時、2℃上昇時の降雨や流量の時空間分布の変化を分析する。
- 具体的には、基準点、主要な地点での河川整備基本方針の計画規模に相当する確率規模における降雨量がどのように変化するかを把握する。
- さらに、基準点、主要な地点での計画規模に相当する流量の変化を把握する。
- クラスタ分析による降雨パターンの分類、各クラスターの流量変化の分析を行うことにより、過去洪水に対して、将来気候においてどのようなパターンの降雨が増大するのか、現在の治水施設の整備水準を前提に洪水氾濫等による最もリスクの高い降雨パターンが何なのかを把握する。また、明らかになったリスク及びこのリスクに対応するためハード・ソフト等、様々な適応策とその効果について明らかにするとともに、こうした成果を地域で共有し、対策の検討とその取組を進めていくものとする。

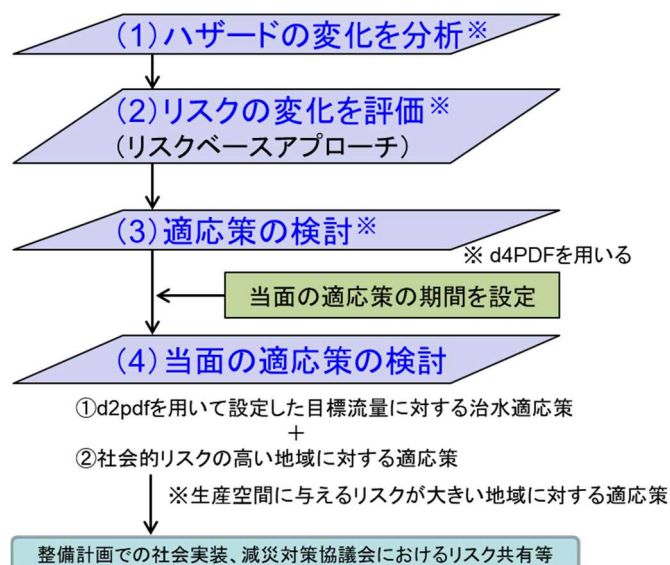


図 5 適応策検討のプロセス

(2) リスクの変化の評価

- 4℃上昇時及び2℃上昇時のリスクを基本に地域の被災状況等を具体的に評価するため、d4PDF、d2PDF のアンサンブルデータを活用して氾濫シミュレーションを実施する。
- 特に人命に係る安全の確保や社会・経済的な拠点の機能等に関して、地域の特性も踏まえ、重点的な評価・検討を行う。
- 年平均死者数、年平均被害額、農地の浸水確率、被災する施設等のデータから、リスクベースアプローチにより水害が地域に与える社会的、経済的被害

を総合的に勘案し、「社会的リスクの高い地域」「生産空間に与えるリスクが高い地域」を抽出する。

(3) 適応策の検討

➤ リスク評価に基づき、河道掘削と共に、貯留施設等のハード整備に加え、二線堤、霞堤、土地利用、構造物対策等の流域対策、避難等のソフト対策といった広範な適応策を検討する。

➤ まず、d4PDF のアンサンブルデータを活用して、4℃上昇時のリスク評価を基にハード・ソフト等の適応策によるリスク低減の可能性に関する概略検討を行い、併せてその効果の検証を実施する。

(4) 当面の適応策の検討

➤ 流域の社会構造や特性を踏まえ、流域の被害をどのように軽減するのか、減災ストーリーを検討する。

➤ 4℃上昇時のリスクを基本に流域対策やソフト対策による地域での安全性の確保方策等を検討するとともに、治水整備については、段階的に整備を行うという観点から、2℃上昇時に対して、現在の河川整備計画と概ね同程度の発生確率に基づく安全度を本川及び主要な支川において確保すると共に、社会的リスクの高い地域に重点を置いてリスクを低減できるよう当面のハード対策を検討する。

➤ 具体には、①現在の河川整備計画に対し、d2PDF を用いて、発生確率を同程度として設定した目標流量に対する治水適応策（河道掘削等）に加えて②社会的リスクの高い地域に対する様々なハード・ソフト等の適応策を組み合わせ検討する。

【①】確率規模降雨の信頼区間にある降雨を抽出、基準点や主要な地点において過去実験と将来実験（d2PDF）における発生現象数に対し治水施設で対応できる数の比率を充足率と定義し、この充足率が概ね変わらない流量を設定

【②】社会的リスクの高い地域への適応策をリスクベースアプローチで検討するが、必要に応じて充足率の変更を再検討する。

➤ 地域でリスクへの対応を選択できるよう、実現性が高く、かつリスク特性を踏まえた流域対策、ソフト対策を提示する。なお、特に「社会的リスクの高い地域」や「生産空間に与える影響が大きい地域」においては、ハード対策、ソフト対策等を一体的に検討するものとする。

➤ d2PDF のアンサンブルデータを活用して当面の適応策による効果の検証を実施すると共に、その結果をもとに、流域の被害の最小化を図るために、必

要に応じて見直すものとする。

5. 十勝川流域における検討の結果概要

(1) ハザードの変化の分析

- 帯広地点における 1/150 確率降雨量の過去実験に対する変化倍率は、4℃上昇時で 1.4 倍、2℃上昇時で 1.1 倍となっている。【図 6】
- 流域の主要地点単位でみると、4℃上昇時で 1.4 倍～1.5 倍、2℃上昇時で 1.1 倍～1.3 倍に増加するなど、降雨の時空間分布の変化がより大きくなっている。また、24 時間雨量の変化倍率と比較して、1 時間雨量の変化倍率の方が大きな値をとるものが多く、将来はより短時間・局所的に降雨が集中しやすい傾向にある。【表 2】

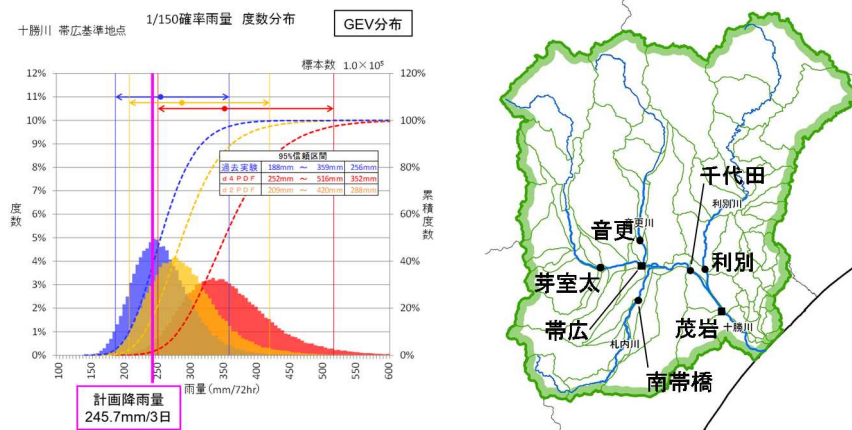


図 6 帯広地点における降雨の変化倍率

表 2 十勝川主要地点における確率規模降雨の変化倍率

	メッシュ サイズ	過去実験 (mm/3日)	将来実験 (mm/3日)			
			d2PDF (2040年時点)	過去実験からの 変化倍率	d4PDF (2090年時点)	過去実験からの 変化倍率
茂岩地点	5km	244 (182~334)	284 (207~396)	1.16倍	341 (246~487)	1.40倍
千代田地点		260 (195~361)	299 (219~422)	1.15倍	365 (263~530)	1.40倍
帯広地点		256 (188~360)	288 (209~420)	1.13倍	353 (252~517)	1.38倍
芽室太地点		264 (194~372)	290 (212~428)	1.10倍	359 (255~530)	1.36倍
音更地点(音更川)		301 (217~427)	339 (242~516)	1.13倍	417 (292~601)	1.39倍
南帯橋地点(札内川)		330 (248~445)	417 (298~594)	1.26倍	487 (345~725)	1.48倍
利別地点(利別川)		240 (173~345)	281 (199~406)	1.17倍	323 (224~496)	1.35倍

※()内は95%信頼区間

- 将来における降雨時空間分布の変化を把握するため、十勝川帯広地点における過去実験及び将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）の年最大雨量を対象に、降雨の空間分布をクラスター分析により 5 つに分類したところ、将来実験で

は、流域南西部に降雨が集中するクラスターの発生割合が増加する。【図 7】

- 流出計算で過去実験、将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）のピーク流量を算出し、99%タイル値を算出したところ、流域南西部を水源に持つ札内川で 1.9 倍（4℃上昇時）、1.5 倍（2℃上昇時）に増加するほか、本川、各支川において流量は 1.5 倍～1.9 倍（4℃上昇時）、1.3 倍～1.5 倍（2℃上昇時）に増大する。【図 8】

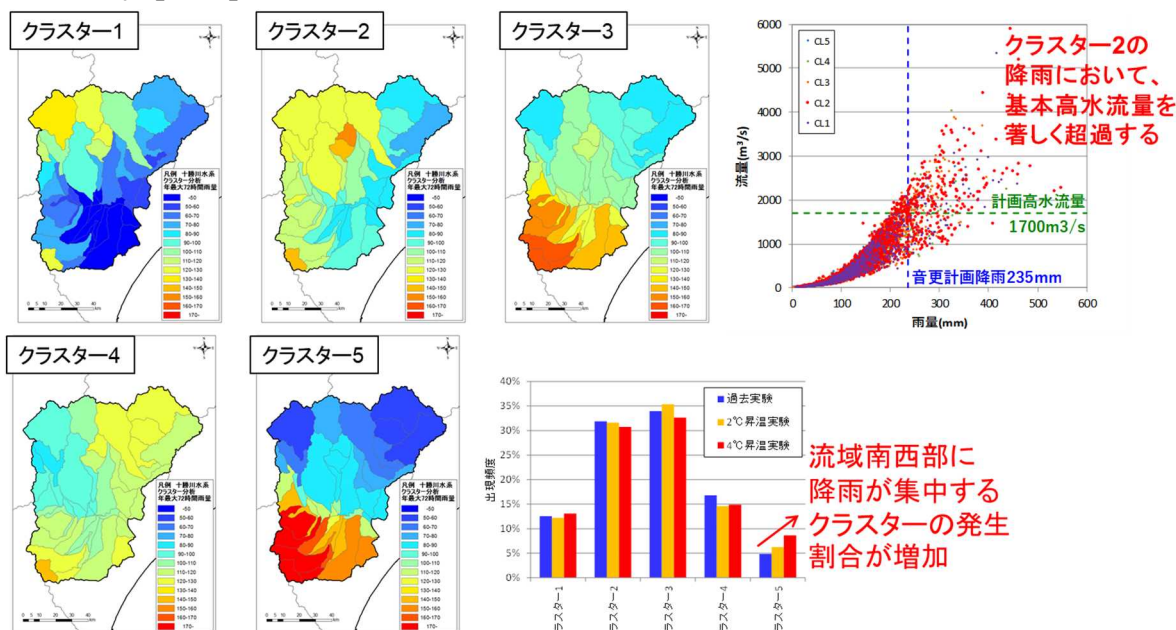


図 7 十勝川における降雨の空間分布クラスター分析に関する結果

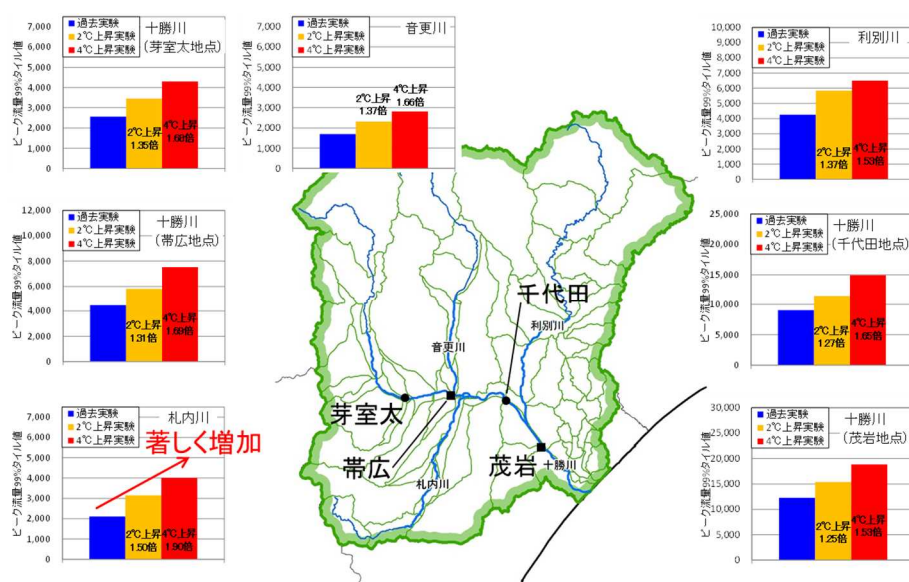


図 8 十勝川におけるピーク流量の変化倍率

- また、音更川においては、クラスター 2 で基本高水流量を超過する降雨が多

い。これは、過去と比較して音更川流域において豪雨が物理的に発生する確率が増大しているからと言える。【図 7】

- 帯広地点、茂岩地点においては、現行計画の計画降雨量以下において、過去実験ではピーク流量が計画高水流量を超過するケースは見られなかった一方で、将来実験（4℃上昇時）では、超過するケースが生じている。【図 9】
- このため、十勝川流域における 4℃、2℃上昇時におけるリスクを基に、本川と支川、支川相互の治水計画において、ハード整備による対応の水準をどのように設定するかは重要な項目となる。なお、具体の社会実装に当たっては、地域の被害発生の想定も踏まえた上で、適応策の実現可能性や確実性とも組み合わせて設定していくことになる。

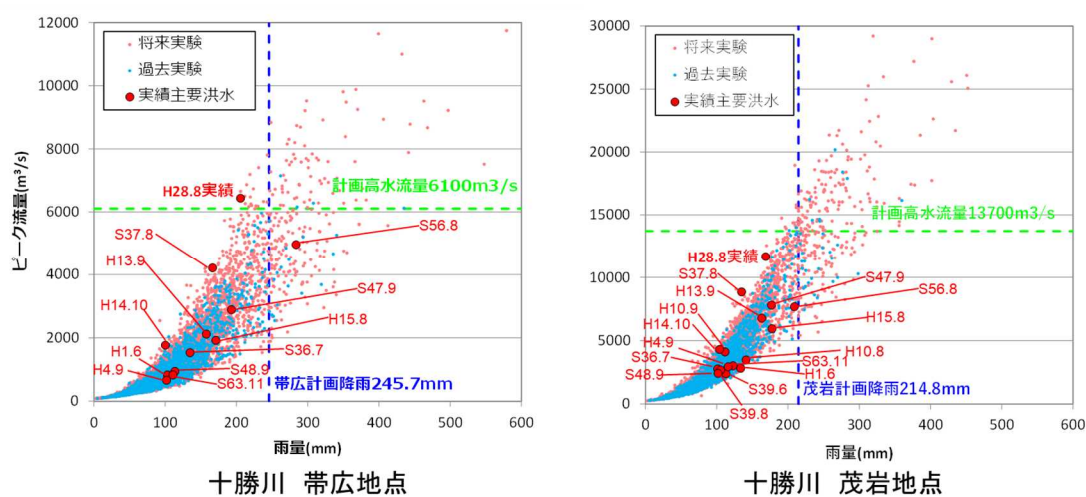


図 9 十勝川における降雨量とピーク流量の関係

(2) リスクの変化の評価

- 過去実験、将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）において氾濫シミュレーションを実施^{*}し、浸水域、浸水深及び浸水確率を算定したところ、将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）では、浸水面積が増加するほか、同一地点の浸水深、浸水確率が増大する傾向にある。【図 10】

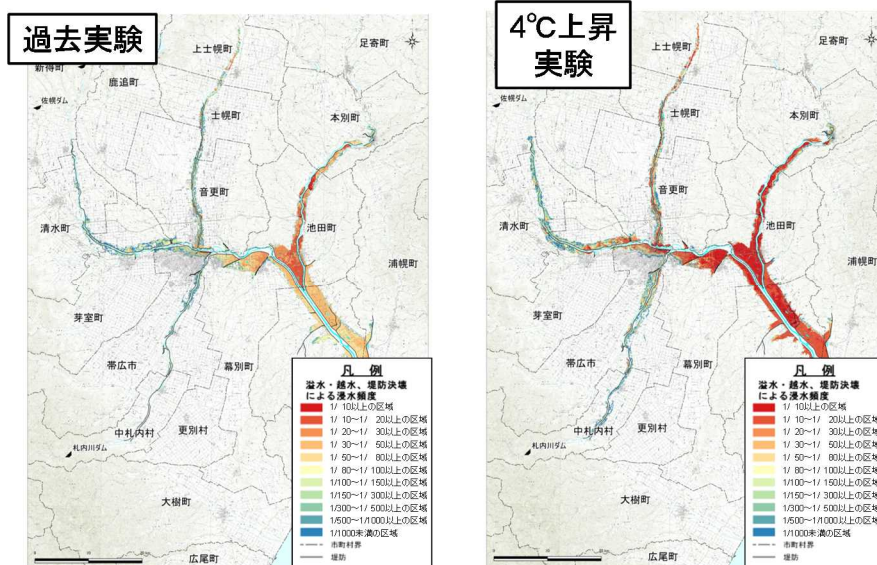


図 10 1m 以上の浸水深となる確率の変化

- 将来実験（4℃上昇時）の被害推算を実施したところ、過去実験に比べて年平均想定死者数が約 6.4 倍に増加するほか、多くの役場や病院等の地域にとって重要な施設が浸水するリスクが増大することとなる。なお、リスク評価を行う場合には、地域の社会特性や産業構造等に応じて評価項目を柔軟に組み合わせることが重要である。【図 11】【図 12】

表 2 リスク評価項目の例

リスク評価の項目	評価に用いる指標等の例
人命（想定死者数）	浸水深、水位上昇率、流速、（浸水確率）
資産、工場	浸水確率、浸水深
農地（土壌）	浸水確率、流速
要配慮者施設	浸水確率、浸水深、水位上昇率、流速、施設位置、避難経路の把握



図 11 年平均想定死者数

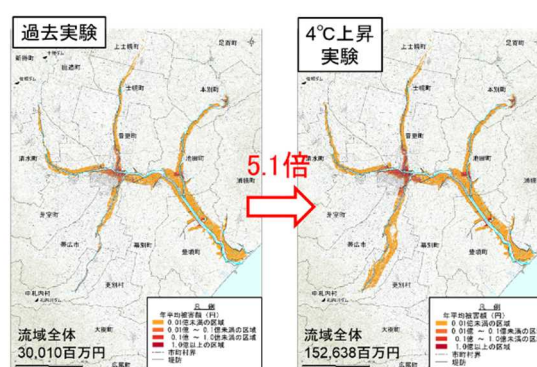


図 12 年平均想定被害額の変化

403

404 ✓ 洪水による最大想定死者数は約 2.6 倍に増加

405 ✓ 洪水による年平均想定死者数は約 6.4 倍に増加

406 ✓ 浸水の可能性のある病院数は約 1.6 倍に増加

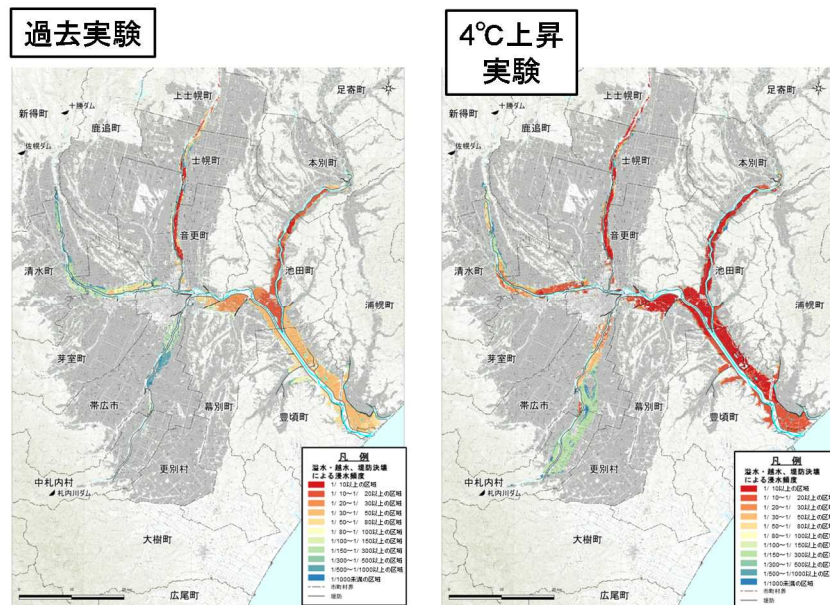
407 ✓ 多くの役場等が浸水するリスクが増大することが想定

408 ✓ 年平均想定被害額は約 5.1 倍に増加

409

410 ➤ また、農業は、地域の重要産業であるが、下流域を中心に農地の浸水確率が
411 著しく増大するほか、多くの農作物集積施設も浸水することとなる。【図 13】

412 ➤ 農地における土づくり（特に表層 30cm）には、複数年を要することから、
413 土壌流亡をもたらし得る浸水確率の増大は地域農業にとって大きな影響を
414 与えると想定される。また、農作物の集積施設の機能が停止すれば、集荷・
415 選別・加工・販売等の流通全体に影響を及ぼし、日本の食料供給地である役
416 割を十分に担えない可能性がある。



417

418

図 13 農地の浸水確率の変化

419

420 ➤ 平成 28 年北海道豪雨による試算では、農作物の直接被害が約 247 億円なの
421 に対して、産業連関分析により関連産業への経済的な影響は約 358 億円と
422 およそ 1.4 倍となった。北海道農業への被害が全国的な経済被害に繋がるこ
423 とにも充分留意すべきである。

424 ➤ 「帯広市・音更町・幕別町エリア」は、農業関連施設のみならず、人口・資
425 産が流域内で最も集中する地域であり、被災による社会的な影響が各方面に
426 広がることが想定されている。また、「池田町エリア」「豊頃町エリア」は、

427 浸水確率が高い領域が広範囲に広がっていることに加え、人口・資産が集中
428 する地区があることから、被災により地域に壊滅的な影響を与える恐れがあ
429 る。これらの地域を社会的リスクの高い地域とする。

430 ➤ また、「池田町エリア」「豊頃町エリア」を含む下流域は、浸水確率が高い農
431 地が広範囲に広がっており、洪水による甚大な被害が生産空間の維持・発展
432 に対して大きな影響を与える。このため、これらの地域を生産空間に与える
433 リスクが高い地域とする。

434 ※ 堤防等、現況の治水施設の整備状況を前提に、計画高水位以上の水位で破堤すると仮定して氾濫計算
435 を実施

436

437 (3) 適応策の検討

438 ➤ 4℃上昇時の外力に対して、流域全体での被害軽減を図るため、実施可能性
439 を踏まえてとり得る適応策を検討し、概略検討を行い整理した。

440 【ハード対策】

- 441 ✓ 河道掘削
- 442 ✓ 堤防強化
- 443 ✓ 貯留施設
- 444 ✓ 遊砂地※ 等

445 【土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策】

- 446 ✓ 霞堤や二線堤の保全・整備
- 447 ✓ 道路等の連続盛土構造物等の活用・保全
- 448 ✓ 樹林帯（氾濫流の軽減）
- 449 ✓ 農地のかさ上げ・掘削土の農地への活用
- 450 ✓ 住まい方の工夫（水害リスクの低い地域への誘導） 等

451 【自助として実施する対策】

- 452 ✓ 住宅のピロティ化、浸水防御壁の整備、電源施設の耐水化、水害保険の加入
453 等

454 【ソフト対策】

- 455 ✓ 減災対策協議会におけるリスク情報の共有
- 456 ✓ タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施
- 457 ✓ 水位周知河川等への指定、想定最大規模の洪水浸水想定区域図等の公表推進
- 458 ✓ 洪水情報のプッシュ型配信
- 459 ✓ 住民参加型の共同点検の推進
- 460 ✓ 水防災に関する啓発活動の強化 等

461 【ソフト対策を支援するための対策】

- 462 ✓ 避難行動を支援する築山、避難路の確保

- ✓ 危機管理型水位計、CCTV の整備
- ✓ 浸水深が大きい地区における排水機場の耐水化、アクセス路の確保 等
- ※ 特に土砂生産が多い中小河川においては、土砂量を調整することが重要となる場合がある

【適応策の効果と評価】

- 今後予測される気候変動の影響により、発生する被害の規模が大きくなるとともに、同じ規模の降雨であっても発生頻度が上昇するリスクに対し、ハード・ソフト等による適応策がどこまで、そしてどのような効果を発揮できるのかを明らかにするため、図 14 に示す気候変動に伴う今後のリスクとこれに対応する適応策の評価の考え方を整理した。
- この考え方は、適応策の検討にあたり、例えば、流域で発生する死者数（の期待値）を減少させるにあたり、流域平均的に減らしていくのか、発生数の大きな地域を重点に進めるのか、低頻度の洪水での発生をより減少させるのか等、対策に向けての選択肢を明らかにし進めることが可能となる。また、一定の外力規模までは確実に安全度を確保する機能を有するハード対策とソフト対策の役割分担をどのように設定し安全を確保するべきかを検討する可能性を示すことが可能となる。
- このような考え方の下で、十勝川中流部に位置する帯広市、音更町等の市街地における死者数の減少に向け、治水施設整備等、一定の発生規模の生起確率の規模まで整備するとともに、避難率 40%が可能と仮定した場合の効果を評価し、図 15 に示した。
- このように、具体的なリスクと適応策の効果に基づき、適応策の検討を進めていくことが可能となった。
- 一定の条件を付した上での検討の一例ではあるが、現在と概ね同程度までリスクを低減でき得ると言える。【図 14】【図 15】
- 今後、このような考え方の下で、適応策の検討を進めていくものとする。

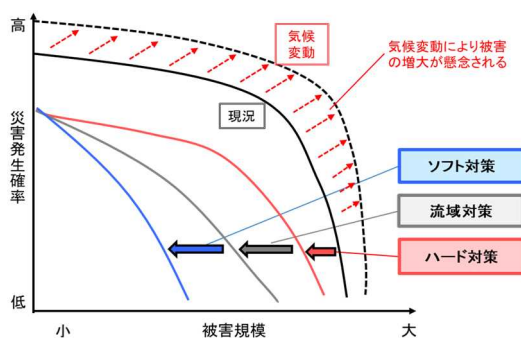


図 14 リスク低減のイメージ

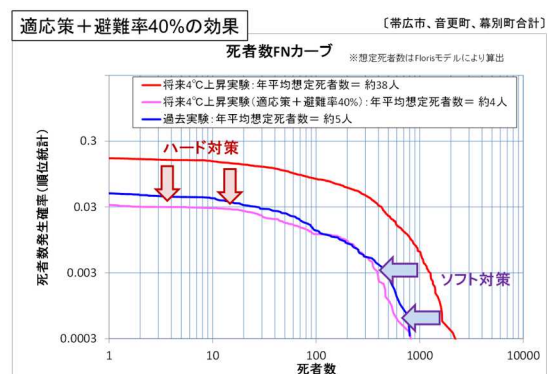


図 15 適応策の効果
(帯広市・音更町等の流域中流部の例)

493
494 (4) 当面の適応策の検討

495 【対象期間】

- 496 ➤ 概ね 30 年後の 2050 年頃までを当面の対象期間とする。【図 4】

497 【当面の適応策検討の基本的枠組み】

- 498 ➤ 気候変動により、堤防等の治水施設の整備を図らない場合には、施設により
499 防御される地域の安全度が低下することになる。このため、「平成 28 年 8
500 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」の報告書における
501 「治水施設で担う安全度を低下させないこと」を基本に、リスク低減に向け
502 て、その確実性も踏まえ、当面の適応策全体の構築を図るものとする。段階
503 的にかつ確実に安全度を向上させるため、本川・支川における降雨時空間分
504 布が一樣でないこと等を踏まえ、充足率の考え方を基に各地点の相互の安全
505 度のバランスを図りつつ、現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度が確保
506 できるよう目標流量を検討し、治水適応策（河道掘削等）を実施するととも
507 に、社会的リスクの高い地域に貯留施設等のハード対策、ソフト対策等を組
508 み合わせ、生産空間に与えるリスクが高い地域における適応策も勘案しつつ、
509 流域全体としてのリスク低減を図るものとする。

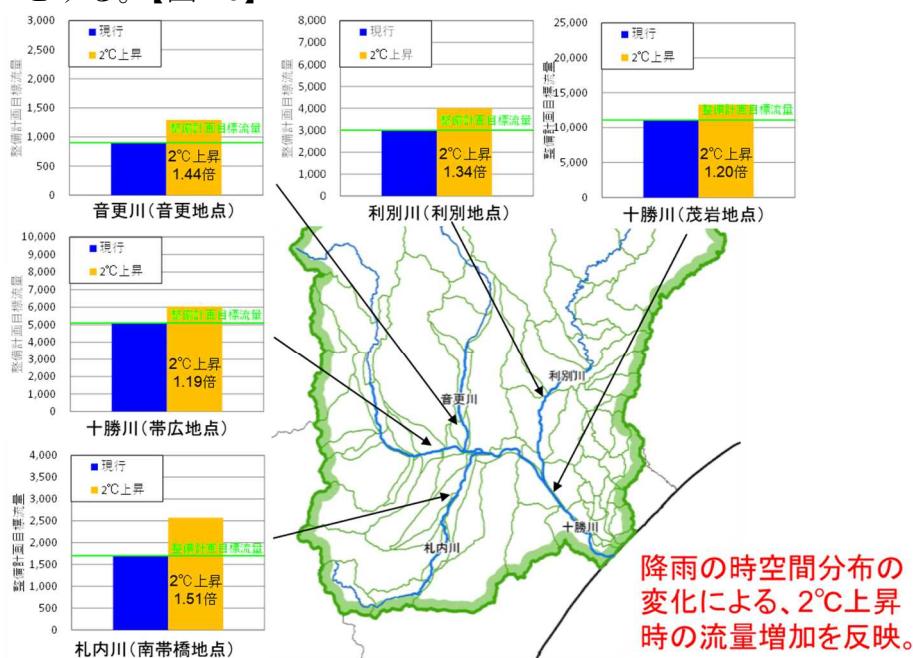
510 【流域全体の被害を最小化するための減災ストーリー】

- 511 ➤ 十勝川流域は、人口資産が集中し、地域の主要産業である農業関連施設が多
512 く存在する帯広市、音更町といった中流域を防御すると共に、氾濫が広範囲
513 かつ長時間に渡って継続する池田町、豊頃町といった下流域の氾濫リスクを
514 低減することが求められる。確実に治水安全度を向上させるための治水適応
515 策（河道掘削等）はもちろんのことながら、中流に位置する都市域は大規模
516 な土地の改変を伴う河川の拡幅等による新たな施設整備は困難なため、貯留
517 施設等での防御が中心となる。一方、下流域は集落が点在し、防御範囲が広
518 範囲に及ぶため、治水適応策（河道掘削等）に併せ、掘削により発生する土
519 砂を活用した堤防の強化による氾濫リスクの低減が効果的であると考えら
520 れる。地域でのリスク情報の共有や平時の訓練といったソフト対策はもとよ
521 り、掘削土を活用した避難のための築山、避難に時間を要する地域等を対象
522 とした避難路の整備といった流域対策等を総動員するものとする。また、特
523 に下流部に広範囲に広がる浸水確率が高い農地においては、北海道の強みで
524 ある農林水産業や観光といった戦略産業を支える生産空間であるという観
525 点も踏まえ、ハード対策のみならず、農地のかさ上げやそれにより氾濫流の
526 浸水範囲を限定する、氾濫流の流速を抑制することにより土壌流亡を防ぐ等、
527 地域の実情に応じて様々な対策を講じるものとする。今後、今回の成果に基
528 づき具体的な適応策の検討を進めることになるが、こうしたハード・ソフト

対策等については、それぞれの内容とその役割等について様々な可能性が考えられる。今回の検討においては、今後の検討に向けた提案として示すものである。

【流域全体での治水適応策】

- 着実に治水安全度を向上させるための当面の治水適応策とし、本川・支川における降雨の時空間分布の変化が一様でないことも勘案し、各地点において2℃上昇時の外力に対して現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度を確保できるように目標流量を検討し、治水適応策（河道掘削等）の実施を図るものとする。【図 16】



※河道分担流量については、河道における掘削の限界等の観点も踏まえながら、決定するものとする。

図 16 当面の治水適応策（河道掘削等）における目標流量検討例

【社会的リスクの高い地域における適応策】

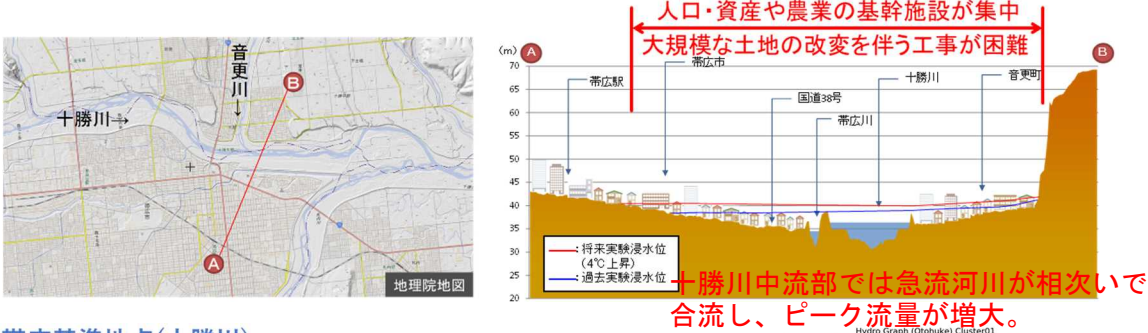
- 4℃上昇時に生じる可能性のあるリスクを対象に、社会的リスクの高い以下の地域に対して、特にハード・ソフト対策等を総動員することにより、社会全体で被害軽減を確実に図っていくことを基本に適応策を検討する。まず、以下の対策を検討し、さらなる検討を進めるものとする。

～帯広市・音更町等の流域中流部～

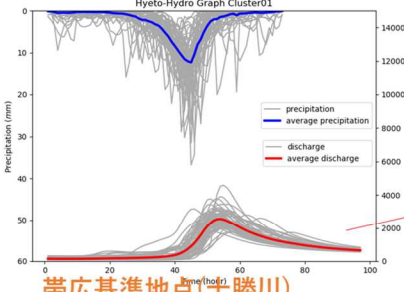
- ✓ 当該地域は、農作物の集荷や加工を行う工場など、地域の主要産業を支える施設が多く存在するなど、道東地域における経済・産業・文化の拠点であり、十勝川や支川に隣接する土地は高度な利用が進められているため、大規模な土地利用形態の改変を伴う治水施設の整備が困難である。また、当該地域で合流する主要支川はいずれも流量規模の大きい急流であり、今回の検討にお

552 いても、本川ピーク流量との合流時差が少ないことが明らかになっている。
553 このため、合流後の十勝川本川のピーク流量も大きくなり、氾濫した場合の
554 洪水による浸水深も大きくなっている。【図 17】

555



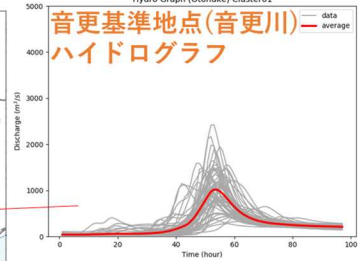
帯広基準地点(十勝川)
ハイドログラフ



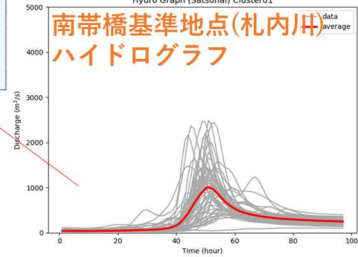
帯広基準地点(十勝川)
ハイドログラフ

※ d4PDF (5km,YAMADA) 4°C上昇実験の60年×90メンバの年最大降雨を、自己組織化マップ及びk-means法により 降雨の時空間分布の類似度によって15クラスターに分類したうち、帯広基準地点にてピーク流量が大きくなる傾向を持つクラスターに該当する46メンバの各支川基準地点におけるハイドログラフをプロットしたもの。灰色線は各メンバのハイドロ、赤線はアンサンブル平均を表す。

音更基準地点(音更川)
ハイドログラフ

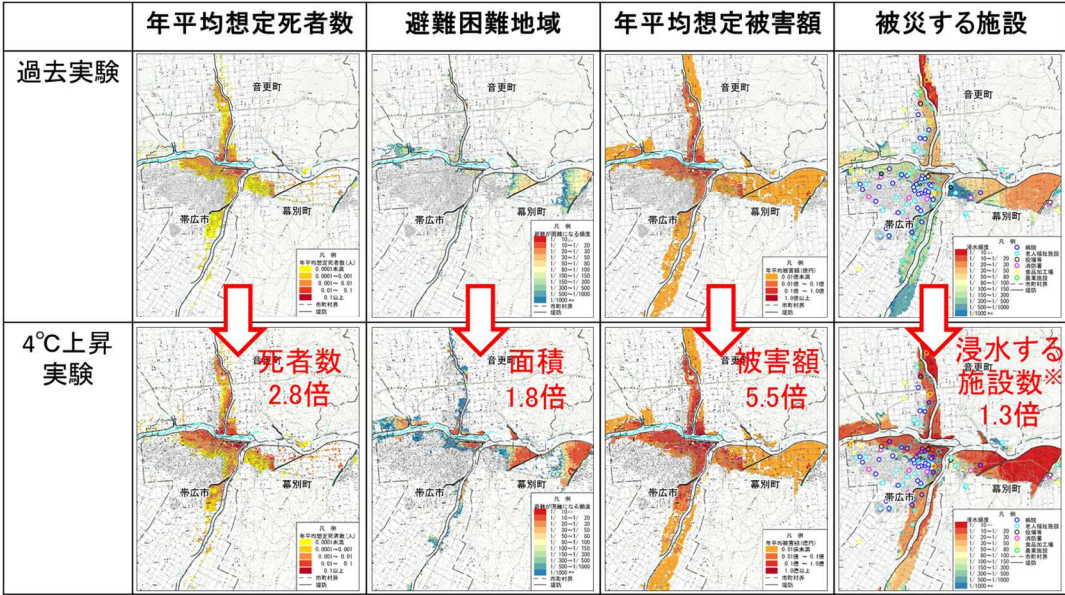


南帯橋基準地点(札内川)
ハイドログラフ



山田委員提供

556



※ 病院、老人福祉施設、役場等、消防署、食品加工場、農業施設等、地域の主要施設を計測

557

558

図 17 流域中流部のリスク

559

560 ✓ さらに、氾濫流の流速が速く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇の
561 スピードが早くなることから、洪水時の避難行動等の困難性も大きくなるこ
562 とが考えられる。【図 18】

563 ✓ このため、既設ダムを活用に加え、河道内における貯留施設等により、社会
564 的リスクの高い地域におけるピーク流量の低減を図る。

565 ✓ さらに、地域でのリスク情報の共有や平時の訓練といったソフト対策、道路
566 のかさ上げ等の氾濫制御対策等、避難行動を確実にするための様々な方策を
567 総動員するものとする。周辺に高台等が存在しない地域においては、避難の
568 ための築山の整備が、高台等がある場合には避難路の整備等のハード整備を
569 合わせて行うものとする。また、実効性ある避難行動を支援するため、危機
570 管理型ハード対策により、決壊までの時間を引き延ばし、避難に要するリー
571 ドタイムを少しでも確保するものとする。

572 ✓ 十勝川と音更川の合流点付近の地区においては、そもそも将来において音更
573 川の氾濫頻度が高まるだけでなく、一旦音更川が氾濫した場合には、氾濫流
574 の流速が最大で 3m/s となり、地域全域に洪水が到達するまでの時間が概ね
575 1 時間と非常に短いだけでなく、この速い流速が避難行動を大きく制約する
576 危険性を有している。また、浸水深が最大で 4m を超過する等、垂直避難で
577 は確実な避難が図れない可能性がある。このため、ハード対策はもちろん、
578 地域でのリスク情報の共有や平時の訓練といったソフト対策等、避難行動を
579 確実にするための様々な方策を総動員することが重要である。また、高台へ
580 の避難路は、命を守るための避難行動にとって極めて重要な意味を持つ可能
581 性があり、治水施設の整備目標水準を当該地域においてどのように設定する
582 のかと併せ、地域での対策を具体的に検討することが必要である。【図 18】

583

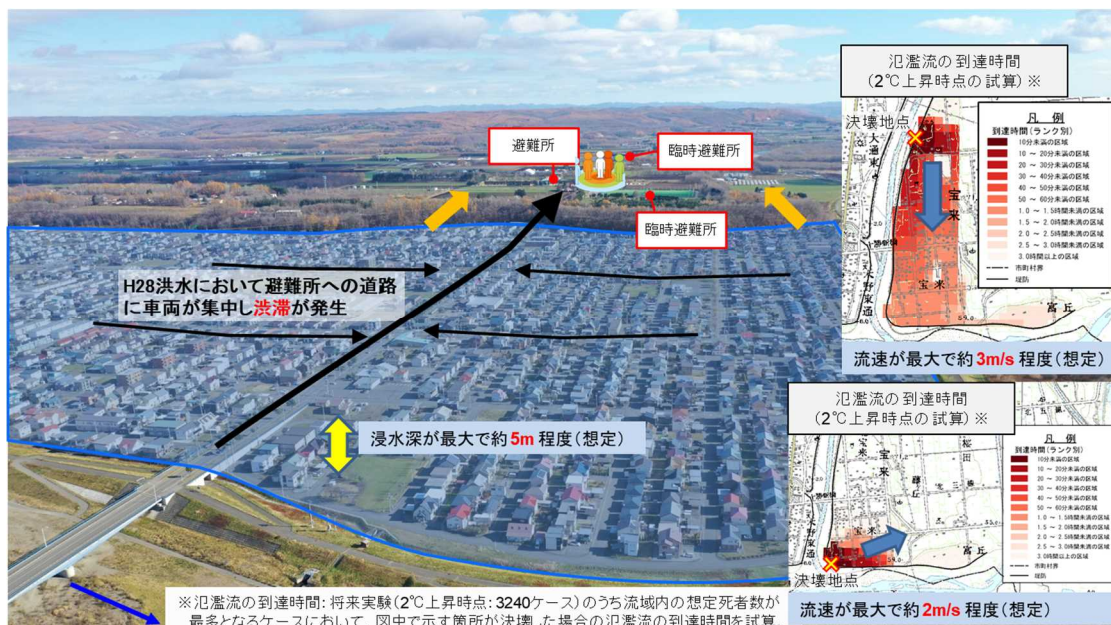


図 18 避難路の重要性

～池田町・豊頃町などの流域下流部～

- ✓ 低平地に位置しており、水位の高い状態が長時間にわたり継続すると共に、浸水被害が広範囲に及び、洪水時の浸水深や氾濫流量が大きい。また、氾濫流の流速が早く、浸水が短時間で広がるとともに、氾濫域の水位上昇のスピードが早いことが想定される。【図 19】

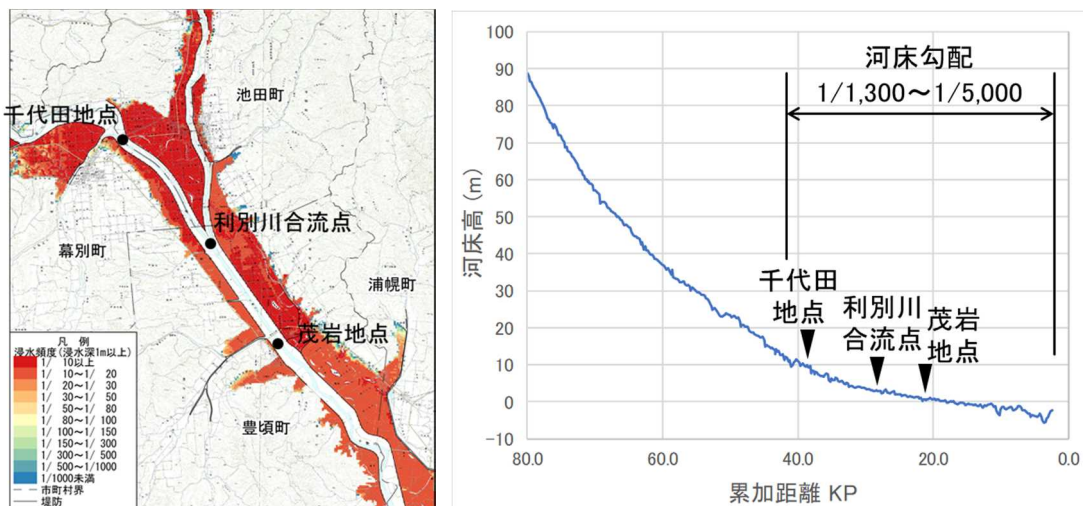


図 19 4℃上昇時十勝川下流部の 1m 浸水確率 (左) と河床勾配 (右)

- ✓ このため、堤防の強化を図ると共に、危機管理型ハード対策により、決壊までの時間を引き延ばし、避難に要するリードタイムを少しでも確保するものとする。

- ✓ 地域でのリスク情報の共有や平時の訓練といったソフト対策、道路のかさ上げ等の氾濫抑制対策等、避難行動を確実にするための様々な方策を総動員するものとする。周辺に高台等が存在しない地域においては、避難のための築山の整備や浸水深より高い構造の建物やその屋上への避難を可能とする外付け階段等の整備、高台等がある場合には、高台に向けて安全を確保して避難が可能となる避難路の整備等の対策が必要となる。

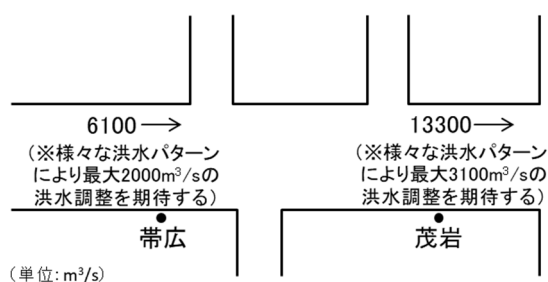
【生産空間に与えるリスクが高い地域における適応策】

- 「池田町エリア」「豊頃町エリア」を含む十勝川下流域においては、農地が広範に浸水することが想定されている。平成28年洪水時の広範な被害を受け、河川の安全度を向上させるための河道掘削により発生した土を被災した農地に提供し、農業生産性と治水安全度を向上させた実績を踏まえ、計画的な治水適応策（河道掘削等）により河川の安全度を向上させるとともに、掘削残土を有効活用し、掘削土を農地に搬入し、農地のかさ上げ、農業重機の退避場、迅速な復旧作業に必要となるアクセス路の整備により、地域の自然条件や営農形態に対応した実現可能性の高い具体的な適応策により浸水被害軽減を図る。

【当面の適応策の効果】

- このような適応策を進めることにより、想定したリスクに対し、避難率等の一定の条件下で、現在と概ね同程度までリスクを低減できる可能性がある。このような検討を踏まえ、ハード・ソフト等からなる具体的な適応策を検討し、新たなハード・ソフトからなる治水計画策定の可能性を取りまとめた。

【図20】【図21】【図22】



※ 河道分担流量については、河道における掘削の限界等の観点も踏まえながら、決定するものとする。

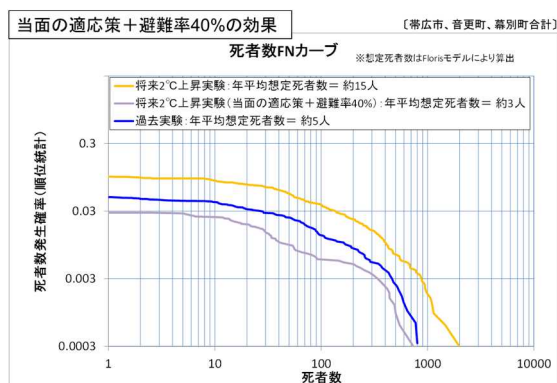


図21 当面の適応策の効果

(帯広市・音更町等の流域中流部の例)

図20 当面の治水適応策における目標流量検討例 (治水適応策(河道掘削等)+社会的リスクの高い地域における適応策)

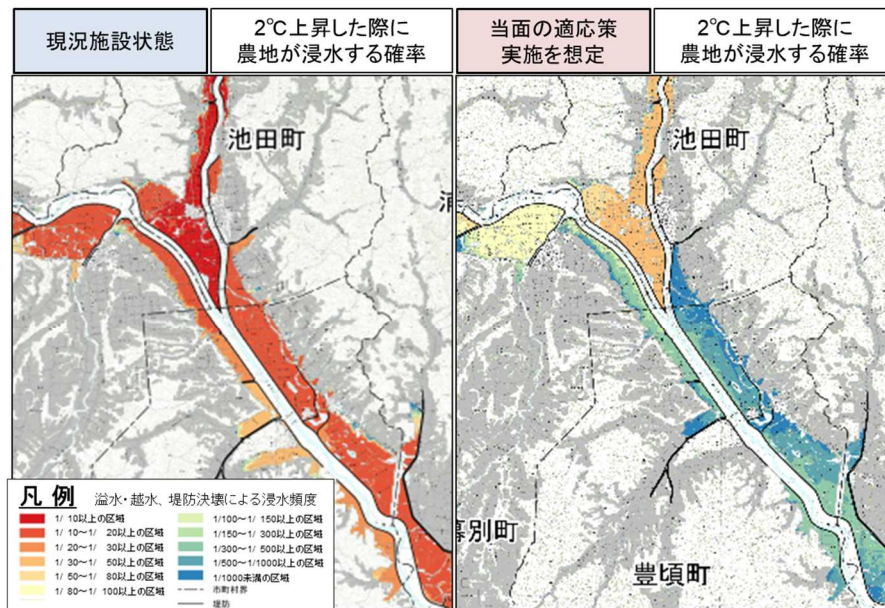


図 22 当面の適応策の効果
(農地の浸水確率)

6. 常呂川流域における検討の結果概要

(1) ハザードの変化の分析

- 北見地点における 1/100 確率降雨量の過去実験に対する変化倍率は、4℃上昇時で 1.4 倍、2℃上昇時で 1.2 倍となっている。【図 23】

常呂川 北見基準地点 1/100確率雨量 度数分布

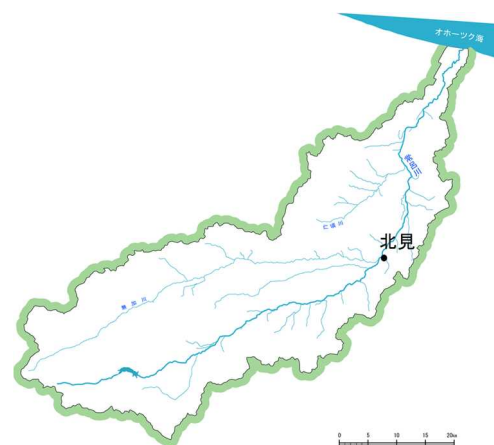
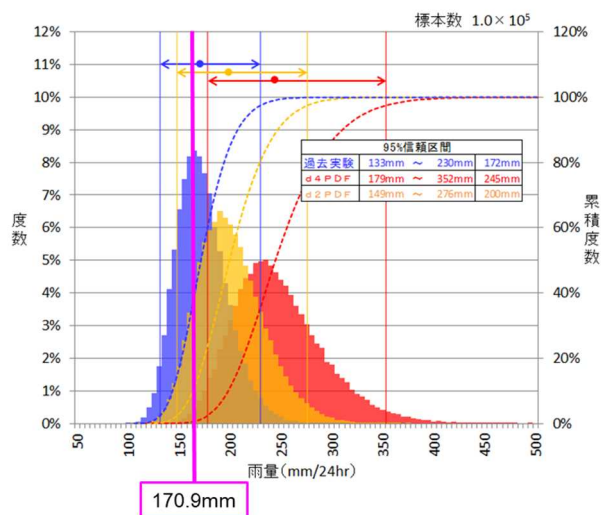


図 23 北見地点における降雨の変化倍率

- 気候変動後の変化倍率は、流域の南西部ほど大きな値をとるものが多い。ま

た、24 時間雨量の変化倍率と比較して、1 時間雨量の変化倍率の方が大きな値をとるものが多く、将来はより短時間・局所的に降雨が集中しやすい傾向にある。

- 将来における時空間分布の変化を把握するため、北見地点における過去実験及び将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）の年最大雨量を対象に、降雨の空間分布をクラスター分析により 3 つに分類したところ、将来実験では、流域北東部に降雨が集中するクラスターの発生割合が増加する。【図 24】

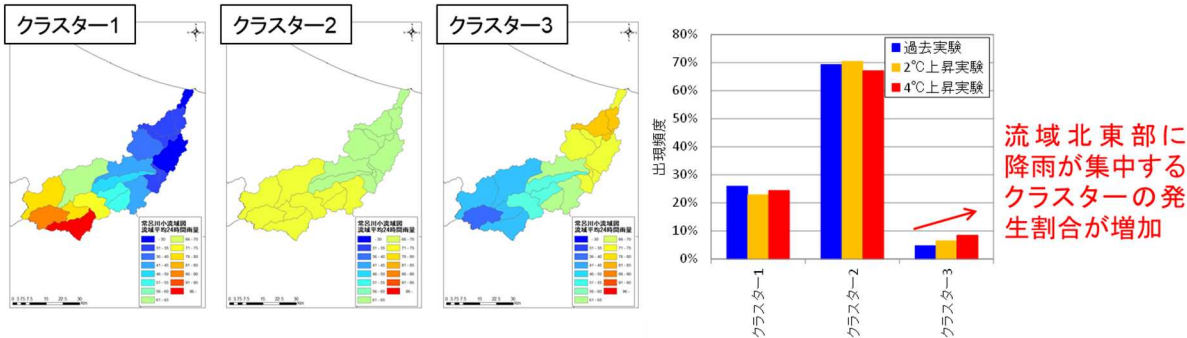


図 24 常呂川における降雨の空間分布クラスター分析に関する結果

- 流出計算で過去実験、将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）のピーク流量を算出し、99%タイル値を算出したところ、本川、各支川において流量は 1.8 倍～1.9 倍（4℃上昇時）、1.3 倍～1.4 倍（2℃上昇時）に増大する。【図 25】

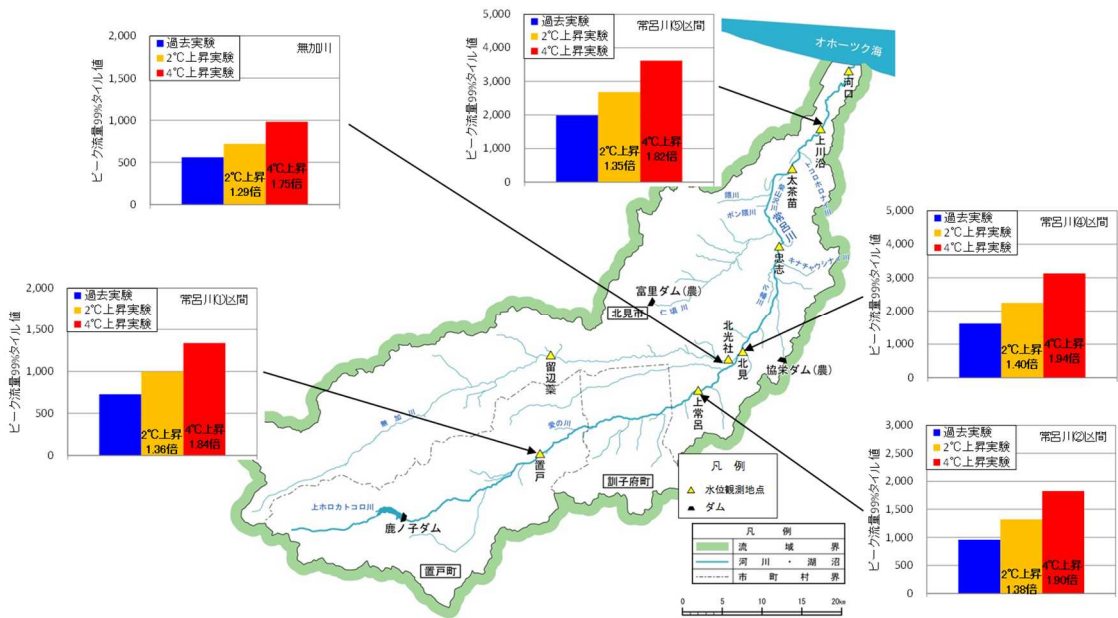


図 25 常呂川におけるピーク流量の変化倍率

- また、本川・支川において、基本高水流量を超過する降雨は、上流域全体で降雨が増大するクラスター2が多い。

- 北見地点においては、現行計画の計画降雨量以下において、過去実験ではピーク流量が計画高水流量を超過するケースは見られなかった一方で、将来実験（4℃上昇時）では、超過するケースが生じている。
- このため、常呂川流域における4℃、2℃上昇時におけるリスクを基に、本川と支川の治水計画において、ハード整備による対応の水準をどのように設定するかは重要な項目となる。なお、具体の社会実装に当たっては、地域の被害発生の実定も踏まえた上で、適応策の実現可能性や確実性とも組み合わせて設定していくことになる。

(2) リスクの変化の評価

- 過去実験、将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）において氾濫シミュレーション※を実施し、浸水域、浸水深及び浸水確率を算定したところ、将来実験（4℃上昇時、2℃上昇時）では、浸水面積が増加するほか、同一地点の浸水深、浸水確率が増大する傾向にある。【図 26】

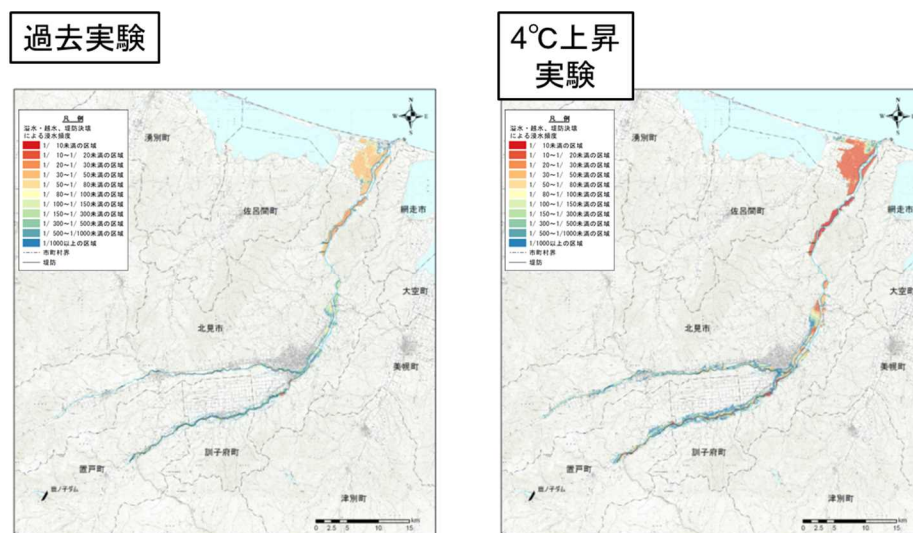


図 26 1m 以上の浸水深となる確率の変化

- 将来実験（4℃上昇時）の氾濫計算を実施したところ、過去実験に比べて年平均想定死者数が約 9 倍に増加するほか、多くの役場や病院等の地域にとって重要な施設が浸水するリスクが増大する。【図 27】【図 28】

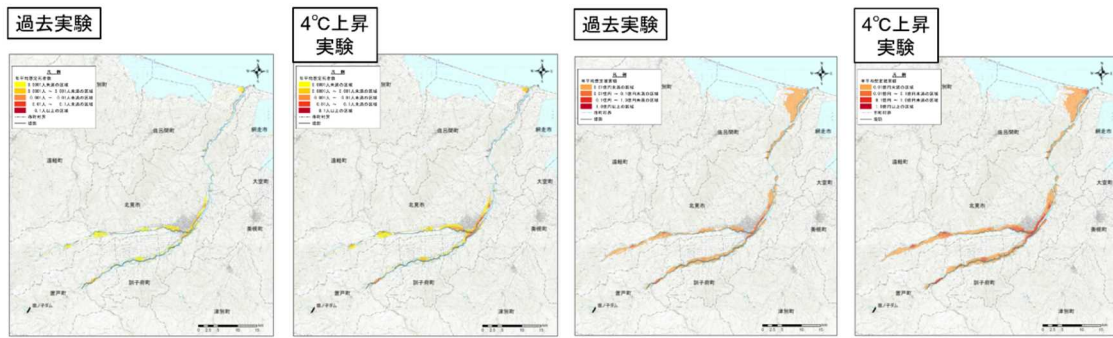


図 27 年平均想定死者数

図 28 年平均想定被害額の変化

- ✓ 洪水による最大想定死者数は約 12 倍に増加
- ✓ 洪水による年平均想定死者数は約 9 倍に増加
- ✓ 多くの役場等が浸水するリスクが増大することが想定
- ✓ 年平均想定被害額は約 5.9 倍に増加
- また、農業は、地域の重要産業であるが、下流域を中心に農地の浸水確率が著しく増大するほか、多くの農作物集積施設も浸水することとなる。
- 農地における土づくり（特に表層 30cm）には、複数年を要することから、浸水確率増大による土壌流亡は地域農業にとって大きな影響を与えると想定される。また、農作物の集積施設の機能が停止すれば、集荷・選別・加工・販売等の流通全体に影響を及ぼし、日本の食料供給地である役割を十分に担えない可能性がある。【図 29】

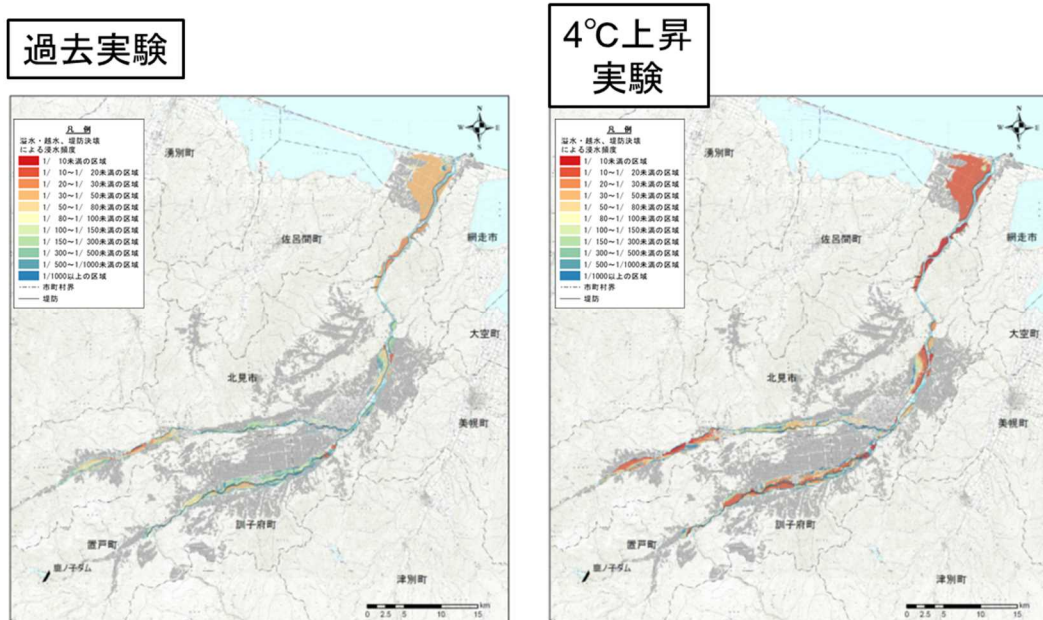


図 29 農地の浸水確率の変化

- 「北見市街地エリア」は、農業関連施設のみならず、オホーツク地域にお

693 る経済・産業・文化の拠点であり、人口・資産が流域内で最も集中する地域
694 であり、被災による社会的な影響が各方面に広がることが想定されている。
695 洪水時の浸水深が大きく、氾濫流の流速が速いといったことから、土地の低
696 い箇所では被害が集中することが想定され、こうした特性も踏まえつつ、これ
697 らの地域を社会的リスクの高い地域とし、特にハード対策・ソフト対策等を
698 総動員することにより、社会全体で被害軽減を図っていくこととする。

699 ➤ ※ 堤防等、現況の治水施設の整備状況を前提に、計画高水位以上の水位で破堤すると仮定して氾濫
700 計算を実施

701

702 (3) 適応策の検討

703 ➤ 4℃上昇時の外力に対して、流域全体での被害軽減を図るため、実施可能性
704 を踏まえてとり得る適応策を検討し、概略検討を行い整理した。

705 【ハード対策】

706 ✓ 河道掘削

707 ✓ 堤防強化

708 ✓ 貯留施設 等

709 【土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策】

710 ✓ 霞堤や二線堤の保全・整備

711 ✓ 道路等の連続盛土構造物等の活用・保全

712 ✓ 樹林帯（氾濫流の軽減）

713 ✓ 農地のかさ上げ・掘削土の農地への活用

714 ✓ 住まい方の工夫（水害リスクの低い地域への誘導） 等

715 【自助として実施する対策】

716 ✓ 住宅のピロティ化、浸水防御壁の整備、電源施設の耐水化、水害保険の加入
717 等

718 【ソフト対策】

719 ✓ 減災対策協議会におけるリスク情報の共有

720 ✓ タイムラインの作成・改良の加速化、訓練の実施

721 ✓ 水位周知河川等への指定、想定最大規模の洪水浸水想定区域図等の公表推進

722 ✓ 洪水情報のプッシュ型配信

723 ✓ 住民参加型の共同点検の推進

724 ✓ 水防災に関する啓発活動の強化 等

725 【ソフト対策を支援するための対策】

726 ✓ 避難行動を支援する築山、避難路の確保

727 ✓ 危機管理型水位計、CCTV の整備

728 ✓ 浸水深が大きい地区における排水機場の耐水化、アクセス路の確保 等

【適応策の効果と評価】

- 今後発生する気象現象により、発生する被害の規模が大きくなるとともに、同じ規模の降雨であっても発生頻度が上昇するリスクに対し、ハード・ソフト等による適応策がどこまで、そしてどのような効果を発揮できるのかを明らかにするため、図 14 に示す気候変動に伴う今後のリスクとこれに対応する適応策の評価の考え方を整理した。
 - この考え方は、適応策の検討にあたり、例えば、流域で発生する死者数（の期待値）を減少させるにあたり、流域平均的に減らしていくのか、発生数の大きな地域を重点に進めるのか、低頻度の洪水での発生をより減少させるのか等、対策に向けての選択肢を明らかにし進めることが可能となる。また、一定の外力規模までは確実に安全度を確保する機能を有するハード対策とソフト対策の役割分担をどのように設定し安全を確保するべきかを検討する可能性を示すことが可能となる。
 - このような考え方の下で、常呂川中流部に位置する北見市街地における死者数の減少に向け、治水施設整備等、一定の発生規模の生起確率の規模まで整備するとともに、避難率 40%が可能と仮定した場合の効果を評価し、図 30 に示した。
 - このように、具体的なリスクと適応策の効果に基づき、適応策の検討を進めていくことが可能となった。
 - これらの整備により、避難率等、一定の条件を付した上での検討の一例ではあるが、4℃上昇時におけるリスクを大幅に低減でき得ると言える。【図 14】
- 【図 30】
- 今後、このような考え方の下で、適応策の検討を進めていくものとする。

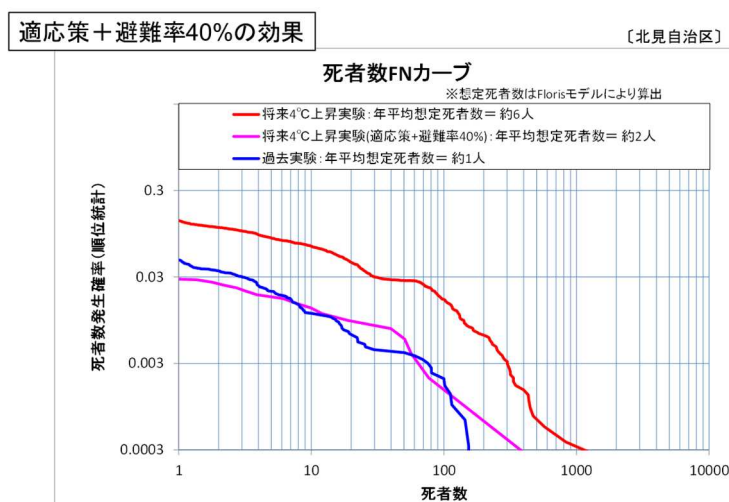


図 30 適応策の効果（北見自治区の例）

(4) 当面の適応策の検討

【対象期間】

- 概ね 30 年後の 2050 年頃までを当面の対象期間とする。【図 4】

【当面の適応策検討の基本的枠組み】

- 気候変動により、堤防等の治水施設の整備を図らない場合には、施設により防御される地域の安全度が低下することになる。このため、「平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」の報告書における「治水施設で担う安全度を低下させないこと」を基本に、リスク低減に向けて、その確実性も踏まえ、当面の適応策全体の構築を図るものとする。段階的にかつ確実に安全度を向上させるため、本川・支川における降雨時空間分布が一樣でないこと等を踏まえ、充足率の考え方を基に各地点の相互の安全度のバランスを図りつつ、現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度が確保できるよう目標流量を検討し、治水適応策（河道掘削等）を実施するとともに、社会的リスクの高い地域に貯留施設等のハード対策、ソフト対策等を組み合わせ、生産空間に与えるリスクが高い地域における適応策も勘案しつつ、流域全体としてのリスク低減を図るものとする。

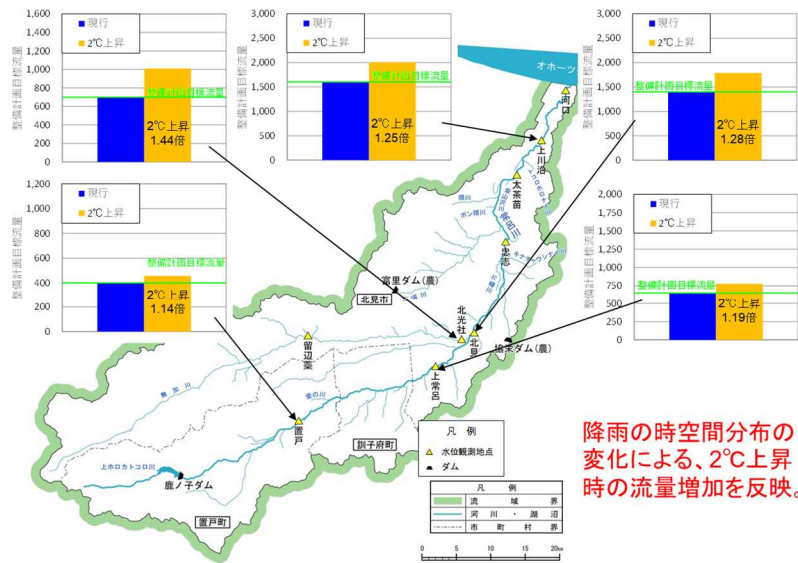
【流域全体の被害を最小化するための減災ストーリー】

- 常呂川流域は、人口資産が集中する北見市街地を含む中流域を防御すると共に、氾濫が広範囲にわたる常呂自治区といった下流域のリスクを低減することが求められる。確実に治水安全度を向上させるための治水適応策（河道掘削等）はもちろんのことながら、北見市街地では、その被害が土地の低い箇所集中し、大規模な土地の改変を伴う河川の拡幅等による新たな施設整備は困難なため、貯留施設等での防御が中心となる。一方で、例えば日吉・福山のような谷間の地区では最大浸水深が 10m を超過するため、確実な避難行動に資する適応策の必要性が高い。そのため、地域でのリスク情報の共有、タイムラインの活用といったソフト対策、河道掘削により発生する土砂を活用した築山、避難路の整備といった流域対策等を総動員するものとする。今後、今回の成果に基づき具体的な適応策の検討を進めることになるが、こうしたハード・ソフト対策等については、それぞれの内容とその役割等について様々な可能性が考えられる。今回の検討においては、今後の検討に向けた提案として示すものである。

【流域全体での治水適応策】

- 着実に治水安全度を向上させるための当面の治水適応策とし、本川・支川における降雨の時空間分布の変化が一樣でないことも勘案し、各地点において 2℃上昇時の外力に対して現在の河川整備計画と概ね同程度の安全度を確保できるように目標流量を検討し、治水適応策（河道掘削等）の実施を図る

791 ものとする。【図 31】



※河道分担流量については、河道における掘削の限界等の観点も踏まえながら、決定するものとする。

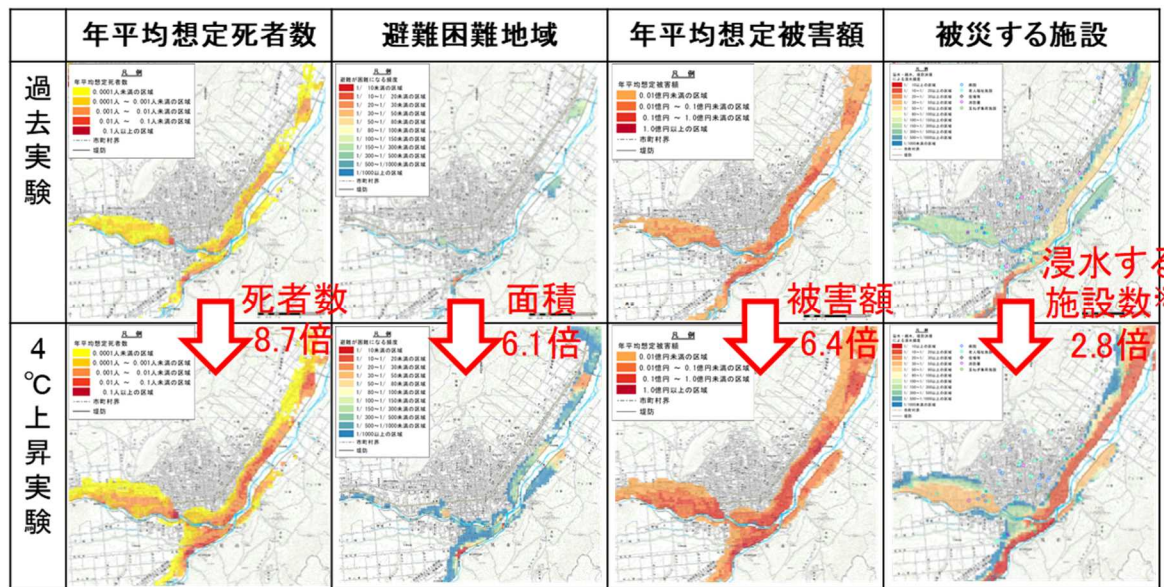
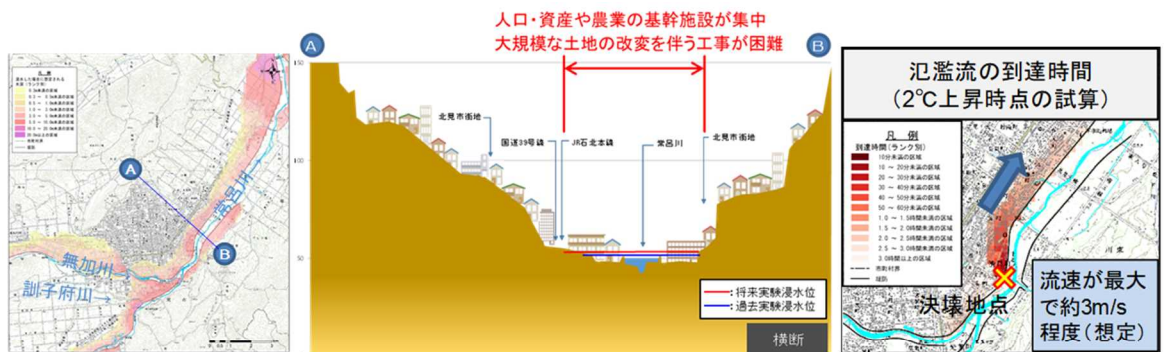
図 31 当面の治水適応策（河道掘削等）における目標流量案

【社会的リスクの高い地域における適応策】

- 4℃上昇時に生じる可能性のあるリスクを対象に、社会的リスクの高い以下の地域に対して、特にハード・ソフト対策等を総動員することにより、社会全体で被害軽減を確実に図っていくことを基本に適応策を検討する。まず、以下の対策を検討し、さらなる検討を進めるものとする。

～北見市街地～

- ✓ 当該地域は、オホーツク地域における経済・産業・文化の拠点である。また、河川に隣接する土地の低い地域にまで市街地の一部が広がっており、浸水被害がこうした土地の低い箇所に集中するため、河川近傍の高度に利用されている土地において、大規模な土地利用形態の改変を伴う治水施設の整備は困難である。また、無加川との合流点に位置するため、洪水時の浸水深が大きい。【図 32】
- ✓ さらに、氾濫流の流速が速く、浸水が短時間で広がるとともに、水位上昇のスピードが早くなることから、洪水時の避難行動等の困難性も大きくなることが考えられる。【図 32】



※ 病院、老人福祉施設、役場等、消防署、食品加工場、農業施設等、地域の主要施設を計測

図 32 流域中流部のリスク

- ✓ このため、貯留施設等により社会的リスクの高い地域におけるピーク流量の低減を図る。
- ✓ 地域でのリスク情報の共有や平時の訓練といったソフト対策、道路のかさ上げ等の氾濫抑制対策等、避難行動を確実にするための様々な方策を総動員するものとする。また、実効性ある避難を支援するため、危機管理型ハード対策により、決壊までの時間を引き延ばし、避難に要するリードタイムを少しでも確保するものとする。なお、避難路が限定されている場合、タイムラインに基づく着実な避難行動をサポートすると共に、河道掘削により発生する土砂を活用した避難のための築山、避難路の整備といった流域対策等を総動員することが重要である。また、治水施設の整備目標水準を当該地域においてどのように設定するのかと併せ、地域での対策を具体的に検討することが必要である。

【当面の適応策の効果】

- このような適応策を進めることにより、想定したリスクに対し、避難率等の一定の条件下で、現在と概ね同程度までリスクを低減できる可能性がある。このような検討を踏まえ、ハード・ソフト等からなる具体的な適応策を検討し、新たなハード・ソフトからなる治水計画策定の可能性を取りまとめた。

【図 33】【図 34】

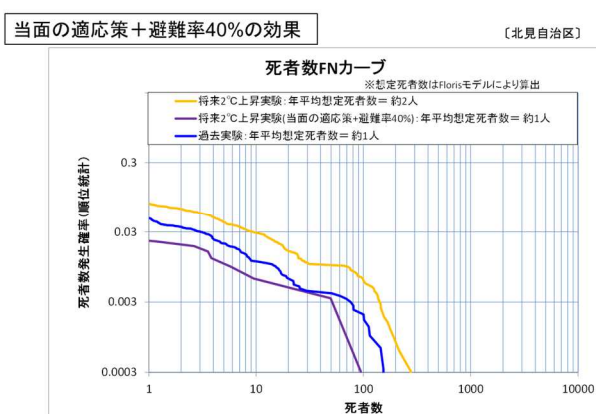
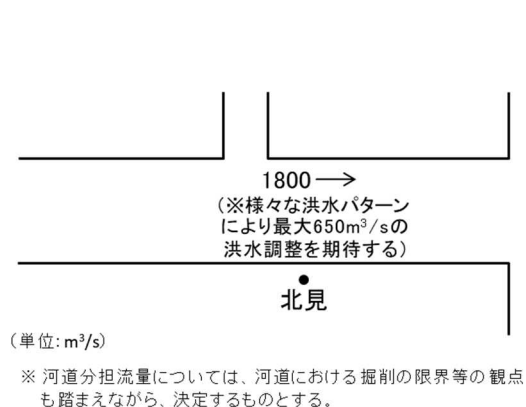


図 33 当面の治水適応策における目標流量
検討例（治水適応策(河道掘削等)+社会的
リスクの高い地域における適応策）

図 34 当面の適応策の効果
（北見市街地の例）

7. 気候変動に対応した新たなリスク評価に基づく適応策の構築に向けて

平成 28 年北海道豪雨等を受け、今回の気候変動に対する適応策構築への一連の取組がはじめられた。気候変動に伴う水害の頻発化・激甚化は、「平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」の報告書においても、「気候変動の影響が現実のものとなったと認識すべき」とされているなか、平成 30 年西日本豪雨、令和元年台風 19 号といった広域かつ激甚な災害が発生した。

北海道の取組において、気候予測アンサンブルデータの導入により、非線形力学系における有界性を踏まえ、将来における気候変動の影響予測のみならず、これまでの気候において物理的に発生する可能性のあった降雨の予測値を併せて把握することが可能になった。こうした成果と併せ、気象現象を 5km メッシュにダウンスケーリングすることで、気候変動により今後発生する可能性がある降雨に対し、時間的・空間的な分布を踏まえたリスク評価を実施した。

このように、科学的な信頼性を確保して評価した将来の水害リスクを基に、概ね 30 年後を目標に適応策構築に向けた検討を行った。4℃上昇時に生じる可能性のあるリスクに対して評価を行うとともに、概ね 30 年における貯留施設、河道掘削等のハード対策については、段階的な整備を進める必要があることから、

一つの段階として 2℃上昇時に生じる可能性のあるリスクを対象に検討を進めた。

検討に当たっては、2℃上昇時に生じる可能性のあるリスクに対する治水施設整備の目標として、「平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」の報告書においても、「目標としてきた治水計画に基づく安全度を下げないことを前提に適応策に関する計画を策定する必要がある」とされており、新たなリスク評価に基づき、降雨の時間分布・空間分布の特性を評価し、本川・支川の整備バランスを検討するとともに、新たに充足率という考え方を導入し、河川整備計画策定に向けた安全度向上の考え方を提案した。さらに、4℃上昇時に生じる可能性のあるリスクの特性に対応した適応策強化の必要性和具体的な事例、人命を守るための避難の確実性に向けた、ハード・ソフト対策等からなる適応策を提案し、その組合せの効果について検証を行った。さらに、単なる経済被害額のみならず、地域社会や地域経済を守るという観点から社会的リスク、生産空間に与えるリスクといった概念を導入し、流域のリスクを最小化させるために、リスクの特性を踏まえた最適なハード・ソフト対策等からなる適応策やその各々における役割分担に対して具体的に提案した。

今後、本報告にも示した新たな科学的なリスク評価や、リスクに対応したハード・ソフト対策等からなる適応策を、（一つだけが進むのではなく）常に連動するようにしつつ具体的に構築していくことが期待される。

こうした今後の具体的な適応策の構築に向けて考慮・留意すべき事項に以下に示す。

（水害に関するリスク情報の共有）

- 気候変動による危機感をより一層社会で共有していくべき
- 市街地側での対策を検討する上で重要となってくる浸水深や浸水頻度といったリスク情報を地域で共有すべき
- リスク情報を共有するに当たっては、地域住民にとっても分かり易い情報発信に努めるべき
- 一定のリスクを許容した上で、いかに暮らすのかを考えるべきであり、地域とのリスクコミュニケーションを行う上で、安易に「安全」という言葉を使わない方がよい
- 被害の程度のみならず、復旧の困難さもリスクであり、今後、適応策を検討していく上で、こうした観点も含め、地域で何を守るべきか、社会的リスクに関する検討をさらに深めていくべき
- 氾濫流速や洪水到達時間等、避難を検討するのに必要なリスク情報を積極的に提供し、地域が対応方策を選択できるようすべき
- 浸水することを前提とした町づくりをしていこうとする自治体の動きもあ

- 891 り、建築側が水害に対して様々なアイデアを出せるようリスク情報を積極的
892 に提供していくべき
893 (平時の備え)
894 ➤ 災害時の広域連携、他地域での受け入れ体制の整備も検討していくべき
895 ➤ 役場等、地域の司令塔となる施設が被災したことを想定してバックアップ機
896 能の確保を検討しておくべき
897 ➤ 市町村における災害時に対応できる人材の育成・確保を平時より検討してお
898 くべき
899 ➤ 既に水害に対して積極的に備えを行っている地域や人々をサポートするよ
900 うな価値観を醸成していくべき
901 (ソフト対策について)
902 ➤ ソフト対策等については、社会的リスクの高い地域はもちろん、社会的リス
903 クの程度に関わらず、地域においてしっかりと議論し、リスクに応じた対策
904 を地域が選択できるような仕組みとすることが重要
905 ➤ このため、流域委員会や減災対策協議会等の場を活用して、地域の将来の水
906 害リスクをわかりやすく情報発信しながら議論を深めるとともに、地域の
907 様々な主体とも連携することにより、地域のソフト対策等を着実に社会実装
908 していくことが重要
909 (その他)
910 ➤ 今後、気候変動の検討や社会実装を進めていく上で、産学官の連携をさらに
911 深めていくことが必要
912
913

914 8. 用語の定義

915 d4PDF :

916 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースにおける 4℃上昇
917 実験

918 d2PDF :

919 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースにおける 2℃上昇
920 実験

921 適応策 :

922 気候変動に対処すべく、温室効果ガスの排出の抑制等を行う「緩和」だけでなく、
923 中長期的に避けられない影響に対して「適応」を進めるものであり、「適応」を
924 進めるために組み合わせて講じるべきハード対策、土地利用と一体となった氾
925 濫抑制等の対策、ソフト対策等、様々な対策を総じて定義するものとする

926 当面の適応策 :

中長期的に避けられない影響を睨みつつ、適応策のうち、当面の対策として確実に進めるもの

当面の治水適応策：

当面の適応策のうち、治水対策として、既に気候変動が顕在化し、今後さらに厳しい状況が予測されているという時間的制約のなかで、対策に手遅れ、手戻りが生じないようにとの考えのもと、河道掘削等、速やかにかつ確実に実施するもの。なお、厳密な意味での切り分けは行わないが、河道掘削等、従来の治水安全度の向上によるものだけではなく、リスク低減も企図して用いる場合には、基本的にハード対策と表現するものとする。

（参考）気候予測アンサンブルデータ（d4PDF 等）の先進性及び妥当性について

（1）d4PDF 等を用いた降雨データの設定手順

- d4PDF 及び d2PDF の領域モデル実験（水平格子間隔 20km）結果を、気象庁気象研究所の領域気候モデル（NHRCM）を用いて 5km メッシュに DS する。
- d4PDF 及び d2PDF の日本周辺 RCM20 の過去実験 60 年×50 メンバ、将来予測 60 年×90 メンバ（4℃上昇）・60 年×54 メンバ（2℃上昇）の降雨量データから、流域で年最大流域平均雨量となるイベントを、それぞれの降雨継続時間を勘案して抽出する。
- それぞれの降雨について、助走期間を含めて 2 週間程度の期間を対象に、DS 計算を実施する。
- 過去実験の年最大雨量を対象とし、ピアニの手法を参考としたバイアス補正を実施すると共に、過去・将来の全サンプルに適用する。
- 確率雨量の取り得る幅を評価する際に重要となる、分布のすそ野部分の評価を行うため、リサンプリングによって 1.0×10^5 個の標本を作成し、確率評価（Gumbel 及び GEV）を行い、計画規模においてとり得る降雨量の幅を算出する。

（2）d4PDF 等の先進性について

- CMIP5^{*}における各国の気候モデルの水平解像度が 100～300km 程度であるのに対し、d4PDF の全球モデル AGCM の解像度は 60km（全球気候モデル）と高解像度であることに加え、20 km（領域気候モデル）に DS したものを、地形性降雨を再現できるよう更に 5km まで DS している。
- また、d4PDF のアンサンブル数は 5400 年分（4℃上昇）、3240 年分（2℃上昇）、3000 年分（過去実験）と精度確保に十分な数を確保している。

➤ つまり、d4PDF は、高解像度かつ大量のアンサンブルからなる世界的に見ても最先端の気候予測データであり、5km まで DS して地形性の降雨まで物理的に再現することで、世界でも類を見ない非常に精緻な計算を実施し、ハード・ソフトの一体的な適応策検討に導入することが可能となったと言える。

※60 年世界気候研究計画（WCRP）の結合モデル作業部会（WGCM）により企画・実行された、世界各国の様々な気象モデルの比較実験（第 5 期結合モデル相互比較計画）

(3) 今回の検討で用いる d4PDF の科学的妥当性の検証

➤ d4PDF を 5km まで DS しているが、十勝川帯広地点の 3 日降雨量及び常呂川北見地点 24 時間降雨量について、過去実験の 95%信頼区間は、実際の観測値（極値統計理論により 95%信頼区間を設定）と概ね一致している。さらに、十勝川帯広地点においては、台風性の降雨であるか否かに関わらず、過去実験と観測値が概ね一致している。こうしたことから、台風の表現性や DS する際の境界条件に起因する影響は概ね無いと考えられる。

➤ 今回の DS は、NHRCM を用いて実施しているが、十勝川帯広地点において、異なる地域気候モデルを用いて DS した結果とも高い相関を示しており、雲の形成等の物理過程の表現性の観点から言っても妥当であると考えられる。

➤ 5km の DS では、十勝川帯広地点及び常呂川北見地点において、1 時間降雨強度の頻度・傾向等が過去実験と実際の観測結果が概ね合致しており、地形性の降雨や局地的、短時間に集中する降雨を表現することが可能となっていると言える。

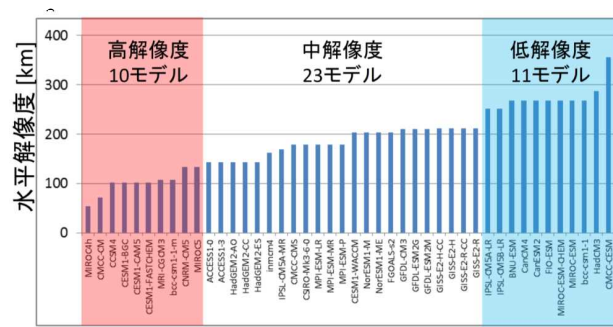
➤ 今回の検討では、年最大降雨量の日を含む 15 日間で DS を実施しているが、十勝川帯広基準地点及び常呂川北見地点において、15 日間で DS した場合の降雨量と通年で DS した場合の降雨量を比較したところ、概ね一致していることに加え、大きな降雨量になるほど一致している。このため、DS する期間は、15 日で概ね十分であると考えられる。

➤ 連続降雨による影響を検証するため、十勝川帯広基準地点及び常呂川北見地点の流出計算について、年最大降雨量の日を含む 15 日間で DS した場合と通年で DS した場合を比較したところ、連続降雨の影響は限定的であることを確認している。

➤ こうした DS の信頼性は、北海道の気候が偏西風や気圧配置等の大規模な気象場に支配されていることに加え、日高山脈といった地形性降雨が卓越していることも要因と考えられる。

アンサンブル気候予測データ(d4PDF)を用いた検討の先進性について

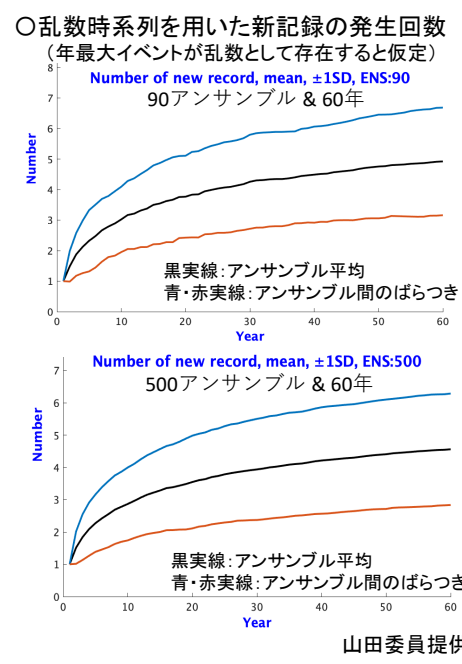
- CMIP5における各国の気候モデルの水平解像度が100~300km程度であるのに対し、d4PDFの全球モデルAGCMの解像度は60km(全球気候モデル)と高解像度であることに加え、20kmにDSしたものを、地形性降雨を再現できるよう更に5kmにDSしている。
- d4PDFは、**高解像度かつ大量のアンサンブルからなる世界的に見ても最先端の気候予測データ**である。
- 具体的には、北海道地方における検討で**5kmまでDSして地形性の降雨まで物理的に再現しており、世界でも類を見ない非常に精緻な計算を実施し、これをハード・ソフトの一体的な適応策検討に導入。**
- また、**d4PDFのアンサンブル数は5400(4度上昇)、3000(過去実験)と信頼性ある検討を実施するに十分な数を確保している**



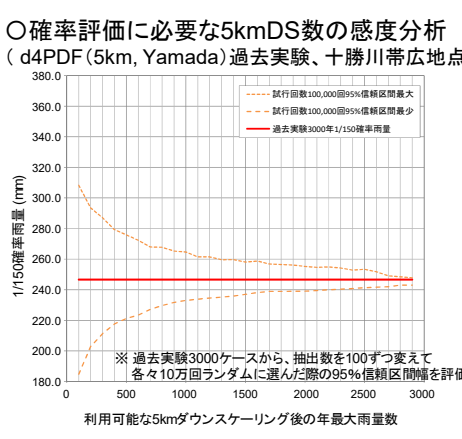
CMIP5における各国の気候モデルの水平解像度

※CMIP5とは
世界各国の様々な気象モデルの比較実験(第5期結合モデル相互比較計画)であり、IPCC主導ではなく世界気候研究計画(WCRP)の結合モデル作業部会(WGCM)により企画・実行された。IPCC第5次評価報告書AR5の気候変化予測の主たる情報源となっており、日本からも参加している。

全球気候モデルからダウンスケーリングした領域気候モデルの水平解像度においても、イギリス12km、オランダ11km、ドイツ10km、アメリカ・カナダ50kmであり、d4PDF(5km, Yamada)は世界的に見ても非常に高解像度。



- ✓ アンサンブル数が90(60年分で5400)の場合と、500の場合と比較すると、新記録の発生回数はほとんど変わらない。
- ✓ アンサンブル数が90の場合、概ね30年以降、新記録の発生回数はほとんど変わらない。
- ✓ これは、d4PDFは、過去及び将来気候を予測するに十分なアンサンブル数(4度上昇実験(5400)、過去実験(3000))を確保していると言える。



※出典: 遠藤洋和, CMIP3/CMIP5気候モデルにおけるヤマセに関連する大規模大気循環の再現性~モデル解像度による違い~, 第8回ヤマセ研究会, http://wind.go.tohoku.ac.jp/yamase/reports/data08/Endo_130820.pdf
地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースd4PDF, <http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>
佐々井崇博, 「SI-CATプロジェクトにおける 力学DSデータセットの構築」をもとに作成

北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性-①

- **d4PDF(5km, Yamada)の過去実験の95%信頼区間は、実際の観測値(極値統計理論により95%信頼区間を設定)と概ね一致している。**
- **年最大降雨量は、DS前後で概ね一致しており、DSする際の境界条件の影響は無いことを確認している。**
- 「国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第50回補助機関会合(SB50)」(2019年6月20日 ドイツ・ボン)においても、IPCC事務局長 Abdalah Mokssit氏から『数学的理論と物理計算が一致していることは高い信頼性を有している。こうした科学的成果を基にして適応策の検討が進められていることは素晴らしい。』とのコメントを受けた。

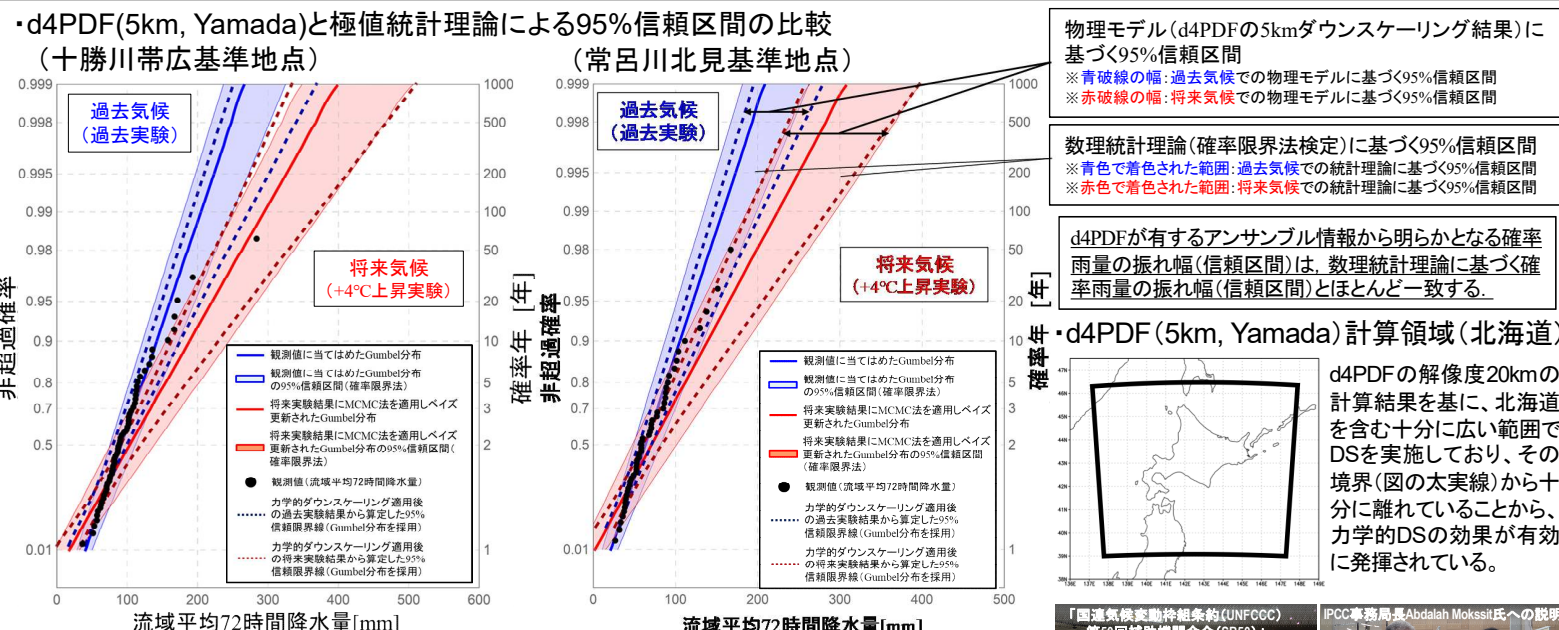


図 十勝川及び常呂川流域における流域平均72時間降水量の観測値(黒点、以降では、解析用データとも表記)、これらの観測値に当てはめたGumbel分布(青実線)および確率限界法検定に基づく当該Gumbel分布の95%信頼区間(青色で表示された範囲)とCMC法に基づき観測値に当てはめたGumbel分布に力学的ダウンスケーリング適用後の将来実験結果を取り入れベイズ更新されたGumbel分布(解析用データに当てはめたGumbel分布の予測分布、赤実線)、確率限界法検定に基づくベイズ更新された当該Gumbel分布の95%信頼区間(赤色で表示された範囲)、力学的ダウンスケーリング適用後の過去実験結果による95%信頼区間(青破線から成る幅)、力学的ダウンスケーリング適用後の将来実験結果による95%信頼区間(赤破線から成る幅)。

d4PDFが有するアンサンブル情報から明らかとなる確率雨量の振れ幅(信頼区間)は、数理統計理論に基づく確率雨量の振れ幅(信頼区間)とほとんど一致する。

物理モデル(d4PDFの5kmダウンスケーリング結果)に基づく95%信頼区間
※青破線の幅: 過去気候での物理モデルに基づく95%信頼区間
※赤破線の幅: 将来気候での物理モデルに基づく95%信頼区間

数理統計理論(確率限界法検定)に基づく95%信頼区間
※青色で着色された範囲: 過去気候での統計理論に基づく95%信頼区間
※赤色で着色された範囲: 将来気候での統計理論に基づく95%信頼区間

d4PDF(5km, Yamada)計算領域(北海道)

d4PDFの解像度20kmの計算結果を基に、北海道を含む十分に広い範囲でDSを実施しており、その境界(図の太実線)から十分に離れていることから、力学的DSの効果が有効に発揮されている。



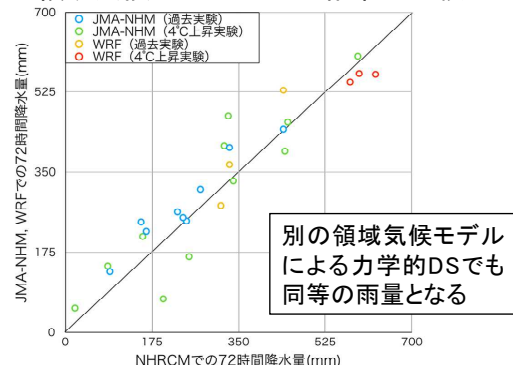
北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性-②

■ d4PDFは、雲の形成等の物理過程の表現性について、積雲対流パラメタリゼーションや乱流クロージャーモデル等において異なる計算条件を含むWRF等の他モデルとの比較においても、計算結果の降水量が高い相関を示しており、モデルとしての妥当性を確認している。

・力学的ダウンスケーリングに使用している領域気候モデル

	気象研究所非静力学地域気候モデル NHRCM	気象庁非静力学モデル JMA-NHM	WRF
対流パラメタリゼーション	Kain-Frichスキーム	Kain-Frichスキーム	Kain-Frichスキーム
雲物理過程	氷相を含むバルクモデル	氷相を含むバルクモデル	WRF Single-Moment 6-class scheme
乱流クロージャーモデル	Improved Mellor-Yamada Level3	Improved Mellor-Yamada Level3	YSUSスキーム
陸面モデル	MRI/JMA-SiB	平板モデル	Noahスキーム

・他の領域気候モデルとのDS結果の比較

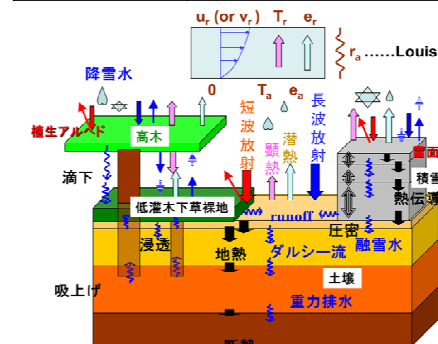


JMA-NHM: 気象庁の非静力学モデル

WRF: 米国大気研究センター(NCAR)と米国環境予測センター(NCEP)等による共同プロジェクト(WRFプロジェクト)によって開発されたオープンソースの領域気候モデル

参考文献

- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme, in the representation of cumulus convection in numerical models. Meteor. Monogr., 24, Emanuel, K. A., and D. J. Raymond (eds.), Amer. Meteor. Soc., Boston, pp.165-170, 1993.
- M. Ikawa, H. Mizuno, T. Matsuo, M. Murakami, Y. Yamada, and K. Saito: Numerical modeling of the convective snow cloud over the Sea of Japan-Precipitation mechanism and sensitivity to ice crystal nucleation rates. J. Meteor. Soc. Japan, Vol.69, pp.641-667, 1991.
- Yabu S, Murai S, Kitagawa H (2005) Clear sky radiation scheme. Separate volume of the annual report of NPD, 51, 53-64.
- Kitagawa H (2000) Radiation processes. Separate volume of annual report of NPD, 46, 16-31.
- Nakanishi, M., and H. Niino, 2004: An improved Mellor-Yamada level-3 model with condensation physics: Its design and verification. Bound.-Layer Meteor., 112, pp.1-31, 2004.
- Hirai M, Oh'izumi M (2004) Development of a new land-surface model for JMA-GSM, Extended abstract of 20th Conf. Wea. Anal. Forecasting/16th Conf. NWP, p2.22(Available at https://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/paper_68652.htm)
- Hong, S.-Y., and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). J. Korean Meteor. Soc., 42, 129-151.
- Hong, Song-You, Yign Noh, Jimmy Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Mon. Wea. Rev., 134, 2318-2341.
- Tewari, M., F. Chen, W. Wang, J. Dudhia, M. A. LeMone, K. Mitchell, M. Ek, G. Gayno, J. Wegiel, and R. H. Cuenca, 2004: Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model. 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, pp. 11-15.



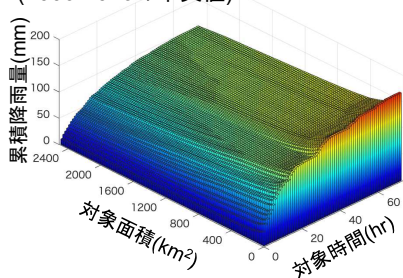
MRI/JMA-SiB概念図
(気象研究所技術報告 第73号より)

山田委員提供

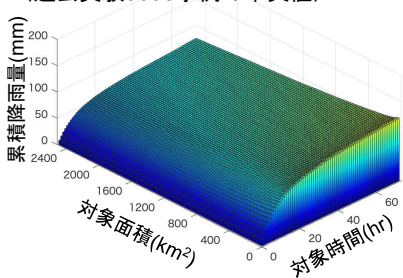
北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性-③

■ 5kmのDSIにより、局地的、短時間に集中する降雨を表現することが可能となっていることに加え、1時間降雨強度の頻度・傾向は過去実験と実際の観測結果が概ね合致している。これは、地形性の降雨が十分に表現できていると言える。

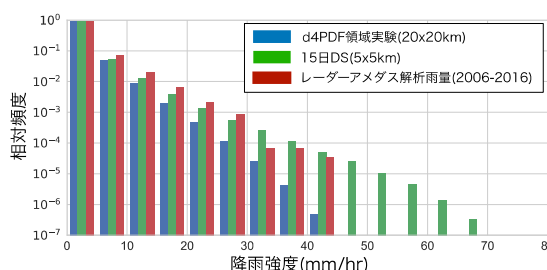
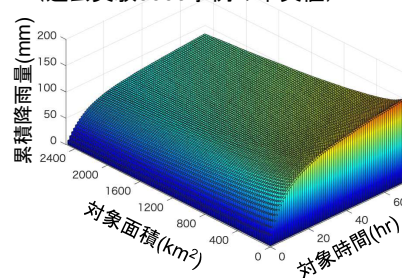
・レーダーアメダス解析雨量 (2006-2016の中央値)



・d4PDF領域実験(20x20km) (過去実験3000事例の中央値)



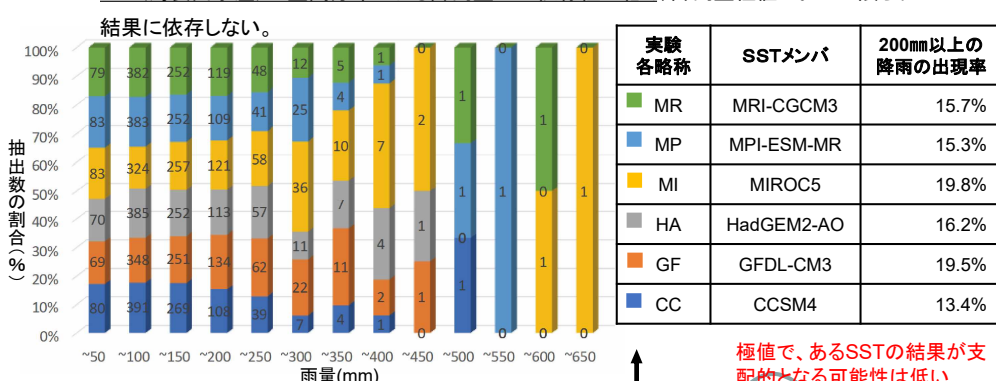
・5kmDS(5x5km) (過去実験3000事例の中央値)



ダウンスケーリング前後の1時間降雨強度の違い

第2回 検討会資料より 山田委員提供

➢ SST(海面水温)の空間分布による降雨量への依存性が低く、降雨量極値において限られたSSTの結果に依存しない。



d4PDF (5km, Yamada) の降雨のうち各SSTが占める割合
(十勝川帯広基準地点 72時間降雨量)

極値で、あるSSTの結果が支配的となる可能性は低い

■実績と過去実験における台風の接近頻度は、60km全球気候モデルからの台風選別条件によって差異があるものの、最新の手法ではその頻度は概ね一致している。また、観測実績にない強い勢力の台風が接近する可能性がある。

北海道および日本周辺への台風の接近頻度

村上ら (Murakami et al. 2012) による台風抽出方法

	Best track (1951-2019)	Past	4K
北海道周辺	131個/69年 1.90(個/年)	1443個/3000年 0.48(個/年)	2260個/5400年 0.42(個/年)
日本周辺	584個/69年 8.46(個/年)	11659個/3000年 3.89(個/年)	13266個/5400年 2.46(個/年)

Webbら (Webb et al. 2019) による台風抽出方法

	Best track (1951-2019)	Past	4K
北海道周辺	131個/69年 1.90(個/年)	6464個/3000年 2.15(個/年)	7244個/5400年 1.34(個/年)
日本周辺	584個/69年 8.46(個/年)	22999個/3000年 7.67(個/年)	27261個/5400年 5.05(個/年)

村上らによる台風の選別条件
(H. Murakami et al. 2012)

- (1) 850hPa最大相対渦度: $8.0 \times 10^{-5}/s$ 以上
- (2) 850hPa最大風速: 13 m/s以上
- (3) 850hPaの最大風速 > 300hPaの最大風速
- (4) 300, 500, 700hPaの気温偏差の合計値が0.8K以上
- (5) 継続時間が36時間以上

Webbらによる台風の選別条件 (Webb et al. 2019)
台風の検出に使用するパラメータ(閾値)

- 風速
 - 海面更正気圧の差(周辺場と中心部との差)
 - どちらの閾値も上回るものを台風として抽出
- パラメータの決定に使用したデータ
- 観測データ: (IBTrACS)
 - 再解析データ(JRA-55)
- 観測データと再解析データからの抽出結果との比較からパラメータを決定(以下の2つの指標に基づく)
1. 台風の個数の差が小さくなるパラメータの組合せ
 2. 緯度ごとの台風の発生数の差が小さくなるパラメータの組合せ

参考文献

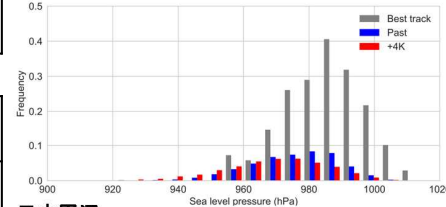
- H. Murakami, R. Mizuta and E. Shindo, Future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-SST ensemble experiments using the 60-km-mesh MRI-AGCM, 2012
- A. Webb, T. Shimura and N. Mori, Global Tropical Cyclone Track Detection and Analysis of the d4PDF Mega-ensemble Projection, 2019

接近した台風の強度

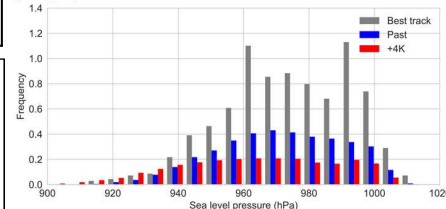
対象範囲内での熱帯低気圧の最低気圧を頻度分布としてプロット

Murakami et al., 2012

北海道周辺
(個数/年)



日本周辺
(個数/年)

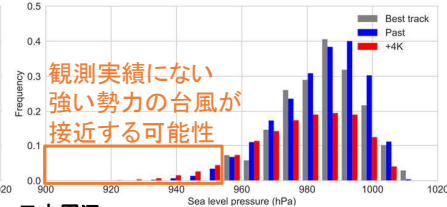


使用データ

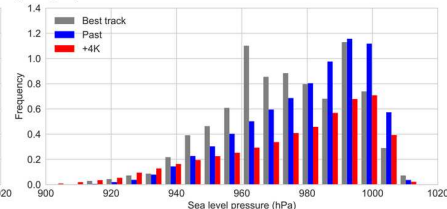
Best track(1951-2019)
d4PDF過去実験(3000年)
d4PDF4°C上昇実験(5400年)

Webb et al., 2019

北海道周辺
(個数/年)



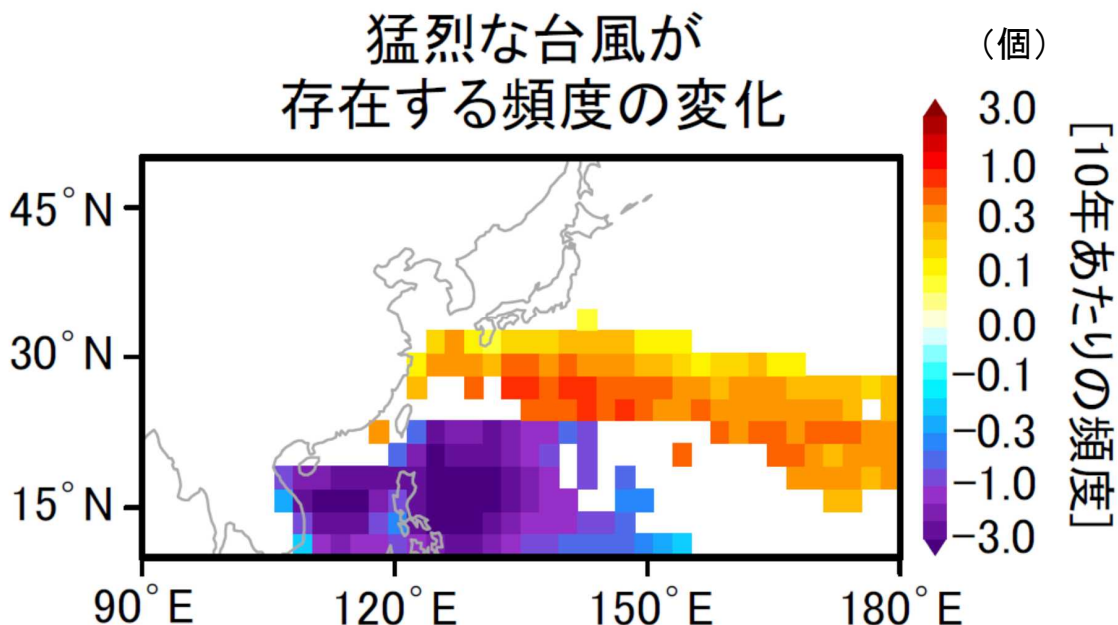
日本周辺
(個数/年)



山田委員提供

(参考) 猛烈な台風の出現頻度が増加

ORCP8.5における21世紀末に相当する気候状態で、最大地表風速59m/s以上の猛烈な台風の数は日本の南海上において出現頻度が増加。



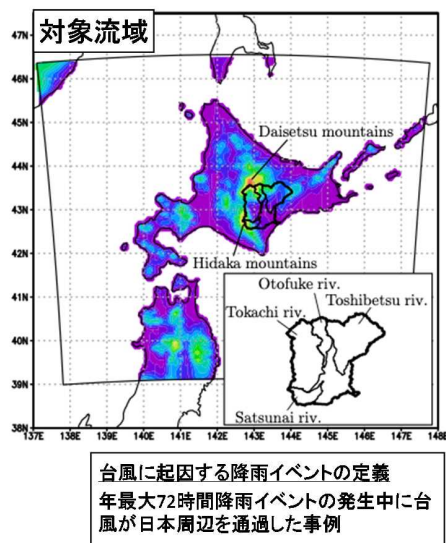
※ d4PDFの60km AGCM(全球気候モデル)の過去実験、将来実験において、それぞれ台風の通過回数を格子ごとにカウントし、過去実験と将来実験の10年あたりの頻度の差を表したもの

出典: 気象庁気象研究所: 記者発表「地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧(台風)の頻度が日本の南海上で高まる」、2017年
Yoshida et al., Future Changes in Tropical Cyclone Activity in High-Resolution Large-Ensemble Simulations, 2017

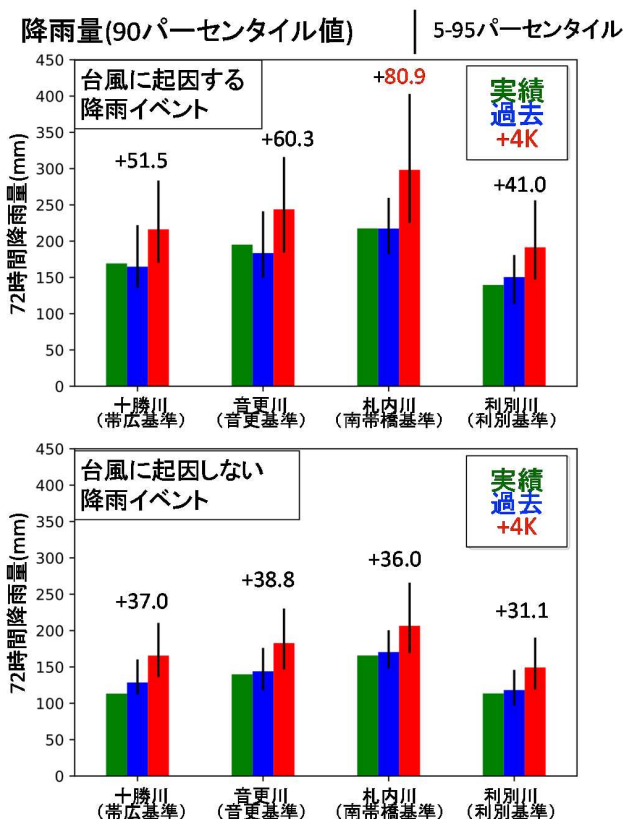
北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性-⑤

■実績と過去実験における台風の接近頻度は概ね一致しており、さらに、台風性の降雨であるか否かに関わらず、年最大雨量において過去実験と観測値は概ね一致しており、今回の一連の議論で対象となる年最大雨量での検討においては概ね影響を受けないと言える。

・台風性及び非台風性の降雨イベントの72時間降雨量



- ・いずれの流域でも降雨量が増大（降雨量の少ない流域が降雨量の多い流域と同等に）
- ・台風起因の降雨量の大きい札内川流域において最も降雨量が増大



山田委員提供

9

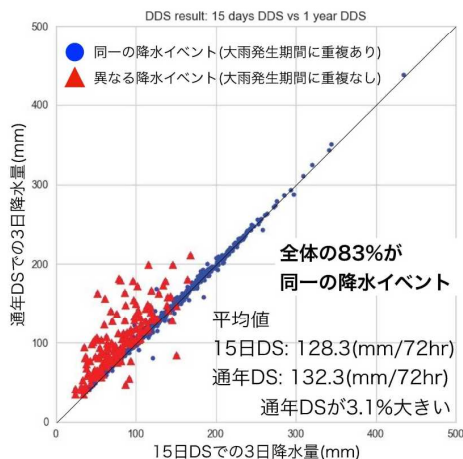
北海道地方におけるd4PDFの科学的妥当性-⑥

- 今回の検討では、年最大降雨量の日を含む15日間で5kmにDSを実施している。DSする期間が15日で概ね十分であることを確認している。
- 連続降雨による影響を検証するため、十勝川帯広基準地点において計画降雨継続時間(3日間)における流出計算結果とDSした15日間の全期間を対象とした流出計算結果を比較したところ、連続降雨の影響は限定的であることを確認している。

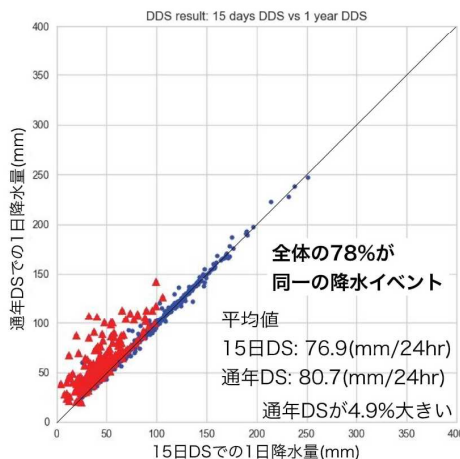
15日DSと通年DSによる年最大降水量の比較

15日DS：20kmメッシュでの大雨事例を5kmにDSしたもの
通年DS：上記の大雨事例の該当年を1年間DSしたもの

十勝川帯広基準地点集水域 過去実験



常呂川北見基準地点集水域 過去実験

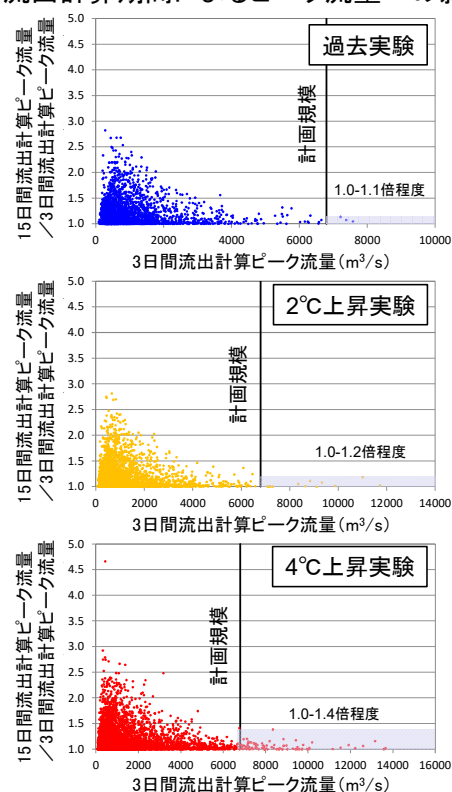


十勝川流域、常呂川流域ともに上位7%, 5%の降水イベントは20kmメッシュでの大雨事例で占められる。

5

北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会(第3回)資料5 山田委員発表資料より抜粋

・流出計算期間によるピーク流量への影響



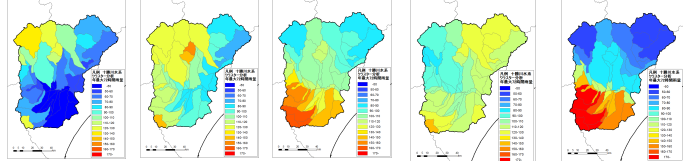
10

一連の検討で可能となること(パラダイムシフト)

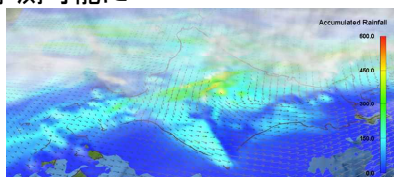
大量アンサンブルデータ(地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースd4PDF)と
いった**最新かつ信頼性のある科学的データを計画に持ち込み**、リスク評価や適応策等の検討につな
げる。

＜一連の検討により可能となること＞

○降雨量や降雨の時空間分布等、気候変動
によるハザードの変化を詳細に分析



～過去の実績では見えなかった危険な降雨パターンが
初めて予測可能に



第2回 検討会資料
より 山田朋人委員
提供

○詳細なリスク評価を実施、地域で共有



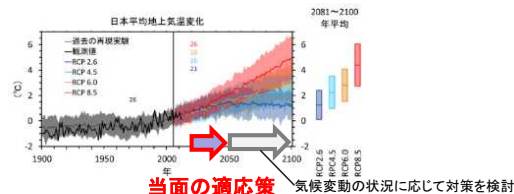
～ 4℃上昇時の浸水頻度などのリスク情報が明確に

○こうしたリスク評価をもとにハード・ソフト
様々な適応策を検討



～真に地域を守るためには何が必要なのかを検討し
(ストーリーの導入)、対策を検討。

○気候変動の予測の不確実性を考慮して
当面对策を実施すべき期限を設定



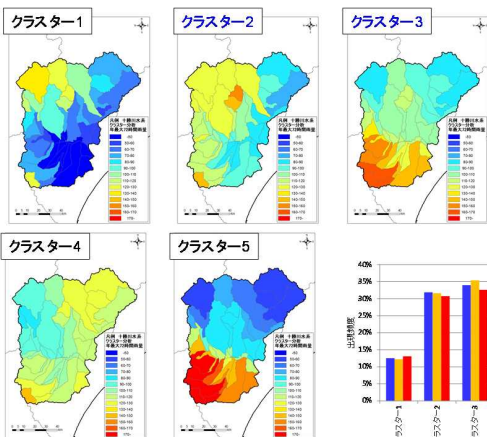
～社会・経済シナリオ、気候モデルによって差異
が小さいことから、2050年頃を目標として設定

11

大量アンサンブル気候予測データd4PDFを用いた検討のメリット①

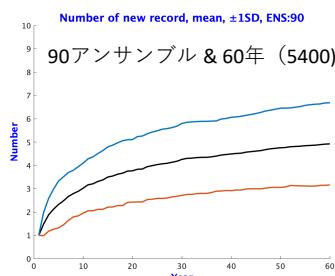
【大量の降雨の時空間分布の把握】

- ・大量アンサンブル気候予測データにより、過去や将来において物理的に起こり得る降雨の時空間分布が豊富に得られる。
- ・大量の降雨の時空間分布をクラスター分析等することにより、気候変動による降雨の変化を把握できる。過去の実績にはない、未経験かつ危険な気象現象・降雨分布をも予測することができる。



気候変動に
よって、特定
の降雨分布
の出現頻度
が増加

○乱数時系列を用いた新記録の発生回数
(年最大イベントが乱数として存在すると仮定)

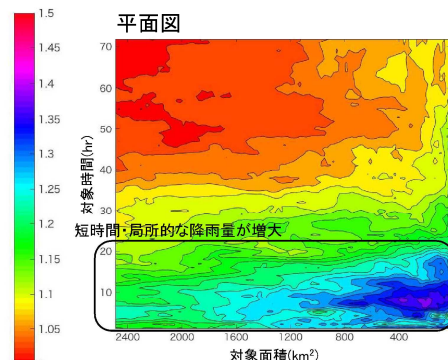
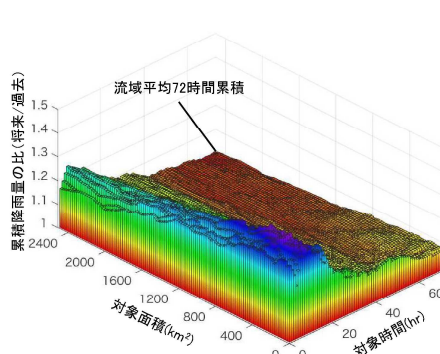


d4PDFは、過去及び将来気候を予測するに充分なアンサンブル数(4度上昇実験(5400)、過去実験(3000))を確保している。

山田委員提供

【降雨の局所化、短時間化】+勝川帯広基準地点集水域(200～250mmのみ)

- ・d4PDFの将来実験と過去実験の累積降雨量の比を整理。
 - ・十勝川流域では、流域平均の3日累積では過去と将来の降雨が同程度であっても、将来はより短時間・局所的に雨が集中しやすい傾向にある。
- (上記の集水域に存在するデータ数として、
過去実験(DS後71事例の中央値)、4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)を使用)



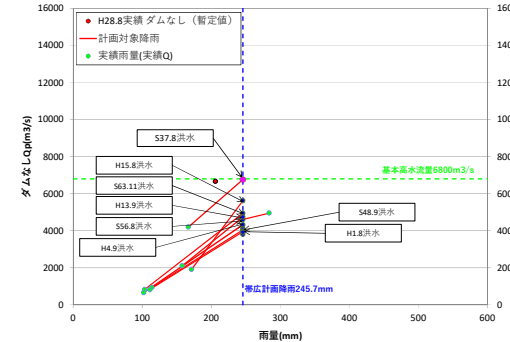
第2回気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会資料3-2(山田委員資料)より引用

12

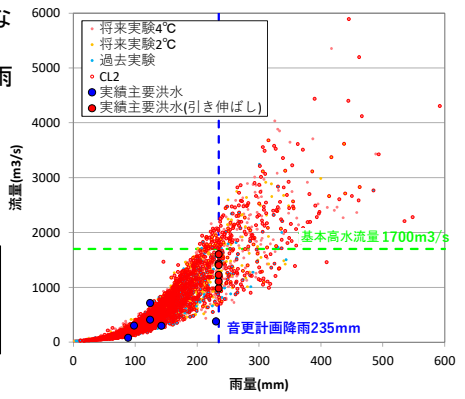
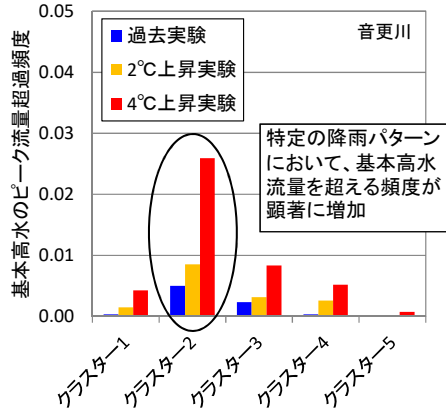
【大量の降雨の時空間分布の把握】

・大量の降雨の時空間分布から、流域雨量と河川流量の分布の中で極端な降雨や流出を把握できる。(計画降雨量以下にも関わらず計画高水流量を超過する降雨イベントの可能性など)

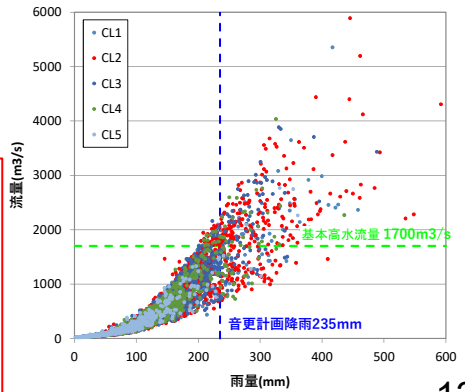
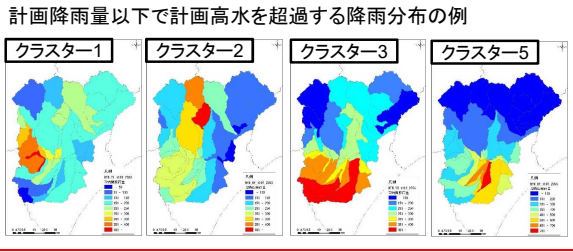
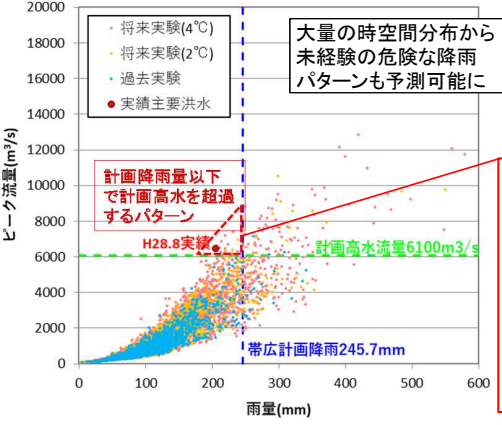
・従来の方法(実績降雨の引き伸ばし)



・従来の実績主要洪水の引き伸ばしでは評価できなかった、様々な降雨・流出パターンが把握できる。
・支川流域において、将来の降雨量が増大する降雨パターンを特定することが可能に。



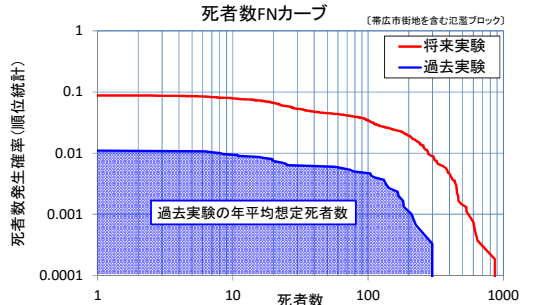
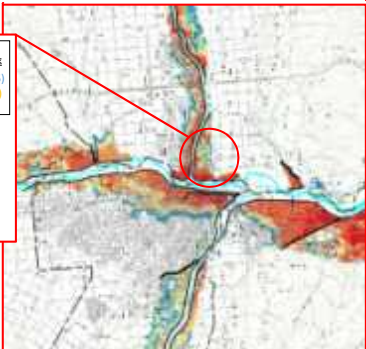
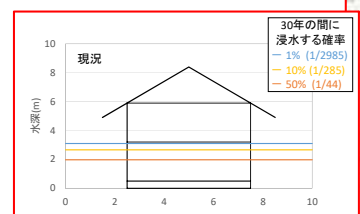
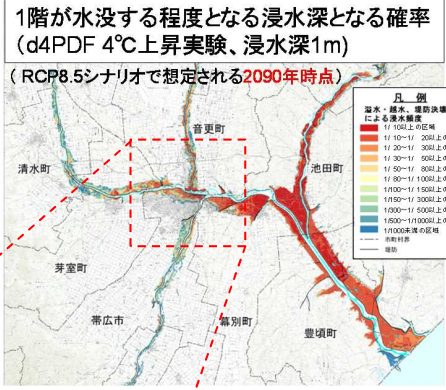
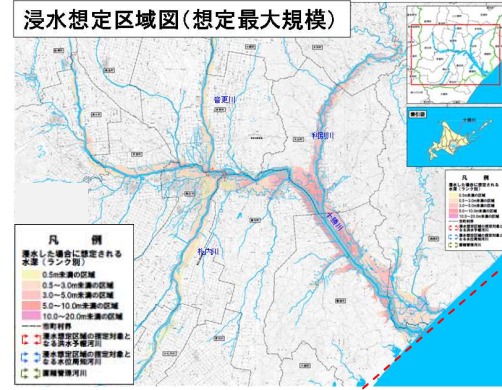
・d4PDFに基づく大量の降雨の時空間分布



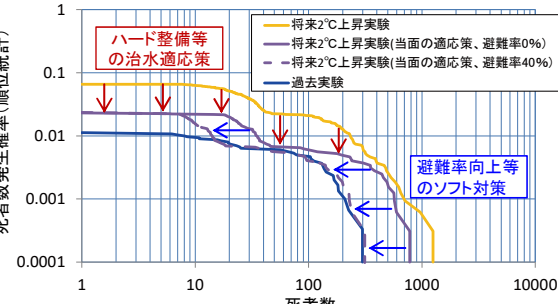
【氾濫リスクの分布や確率的な評価が可能に】

・大量アンサンプル気候予測データが持つ降雨の時空間分布により、流域内の氾濫リスクの分布が詳細に分析できるようになった。
・豊富なアンサンプル数を持つことから確率的な評価が可能となり、氾濫リスクを期待値として定量的に把握可能となった。

浸水想定区域図(想定最大規模)では1つの降雨・流量パターンに対する想定であるのに対し、d4PDFを用いることで豊富な降雨の時空間分布を基に、浸水確率の分布を示すことができる。



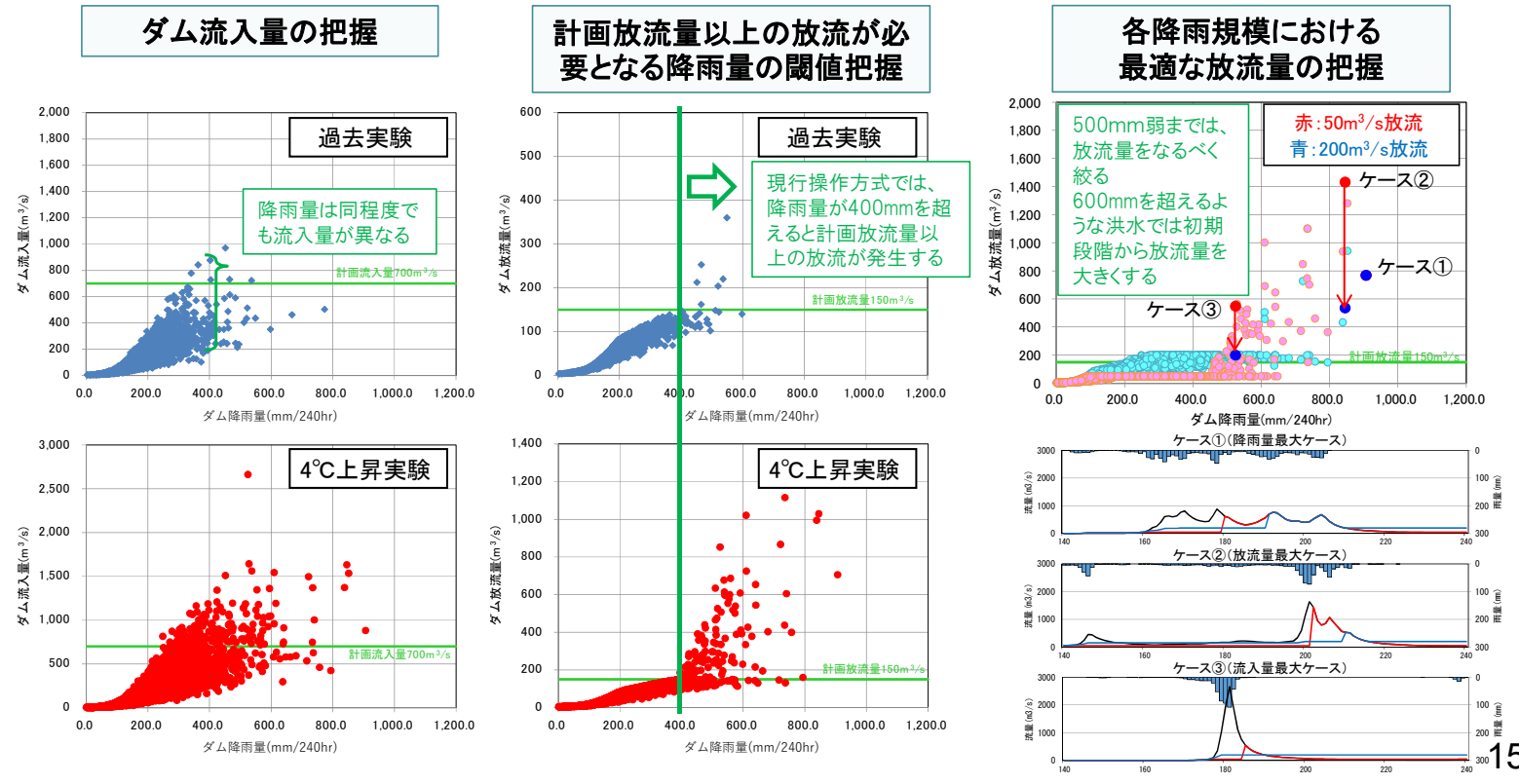
従来は、死者数等のリスク情報は最大値のみ検討されてきたが、大量アンサンプルデータを用いることで、その確率的な分布や期待値が把握できる。



対策の種類によってその効果は異なる特徴を持つ。FNカーブを用いることで地域のリスクの状況に応じた効果的な対策検討が可能となる。

【最適な洪水調節操作等の検討が実施可能に】

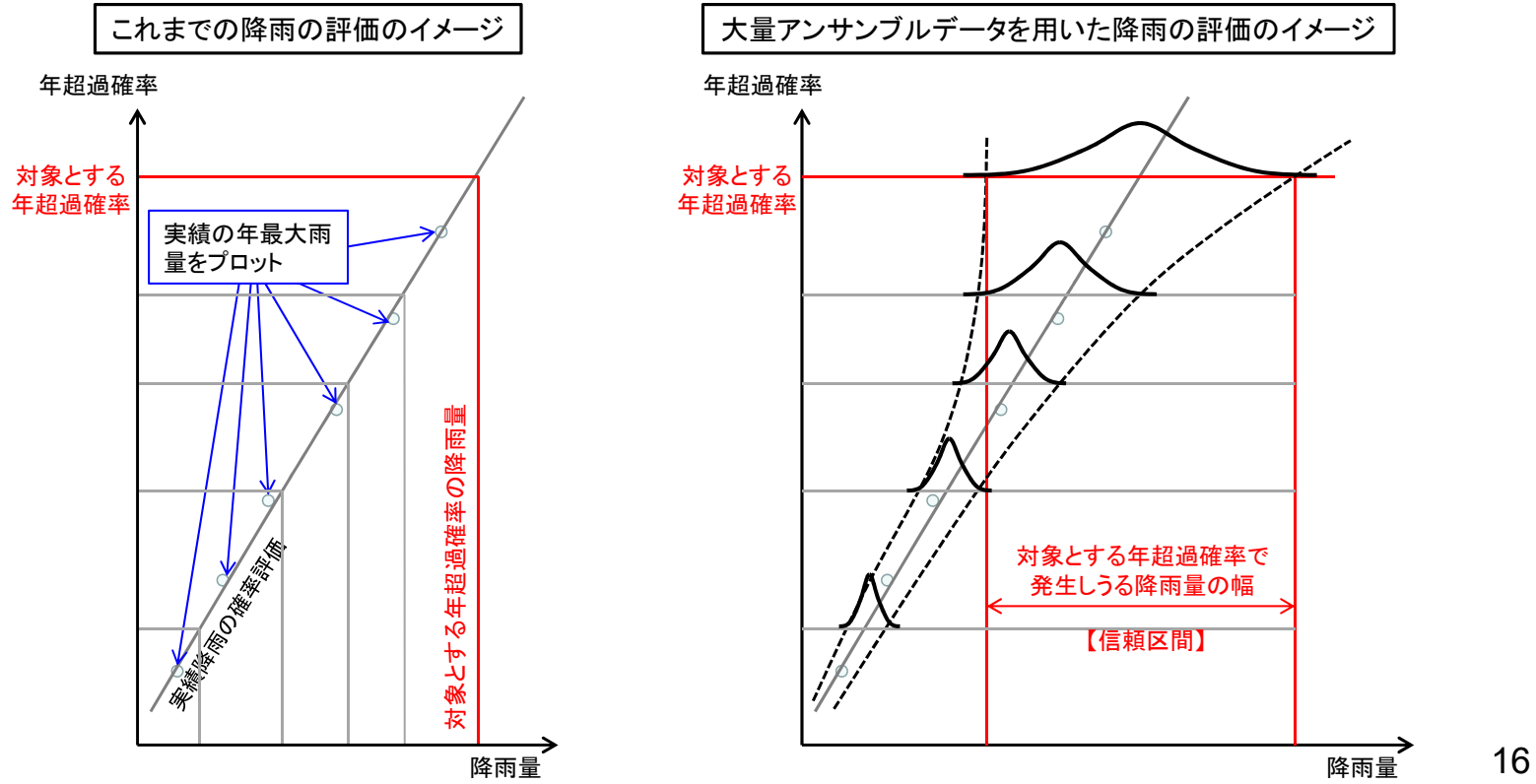
- ・d4PDFには様々な降雨パターンが含まれており、総雨量が同程度であってもダムへの流入量が異なることが把握できる。
- ・現行の洪水調節方式において、計画放流量以上の放流が発生する降雨量の閾値を把握することができる。
- ・様々な洪水調節方式で放流計算を実施することにより、ダム直下にとつての最適な放流量を降雨量ごとに設定できるようになる。
- ・こうしたデータをもとに、最適な洪水調節操作方法や必要な洪水調節容量の検討ができる可能性がある。



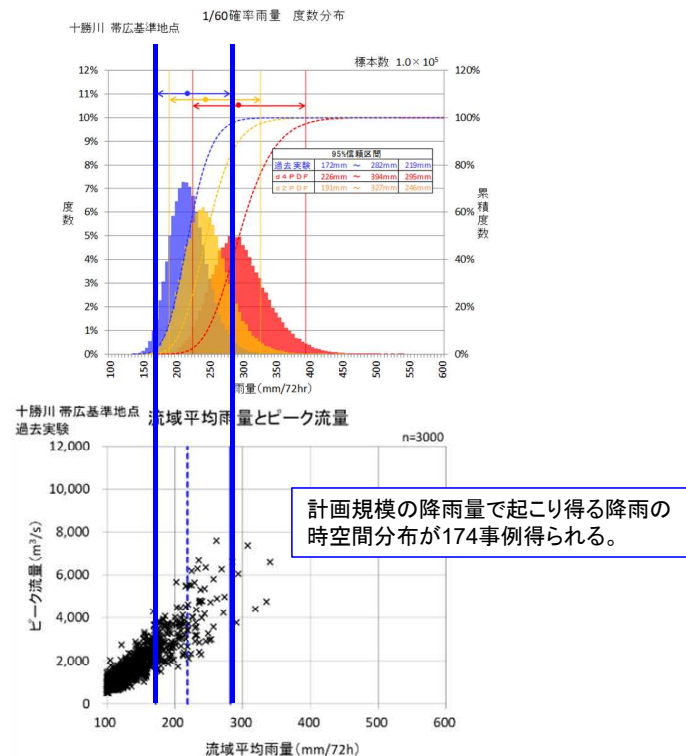
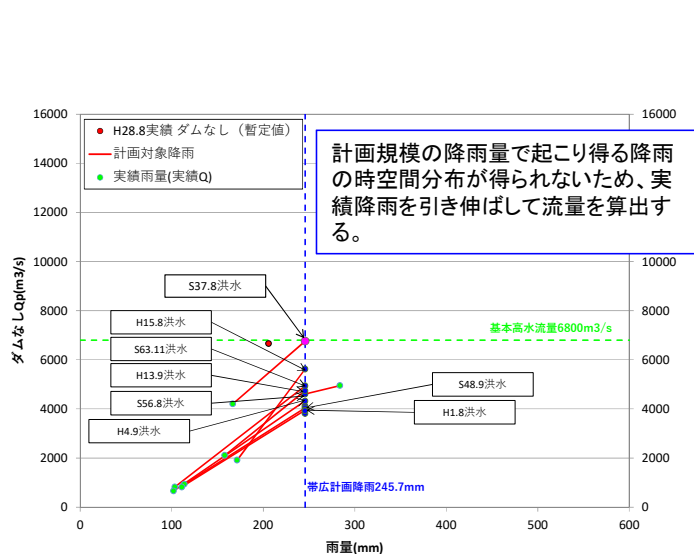
(参考1) アンサンブルデータによる治水計画への確率論の導入(降雨量)

■これまでの治水計画では、実際に経験した過去数十年程度の雨量データから、確率処理によって確率雨量を算定してきた。そのため、ある確率で発生する雨量は一つの値となる。

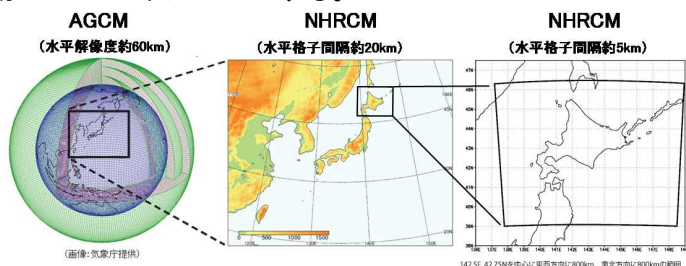
■アンサンブルデータの導入により、ある確率で発生する雨量の幅を得ることができる。また、気候変動後のみならず、現在気候下においてもこれまでに経験していない雨量を用いた確率評価が可能となる。



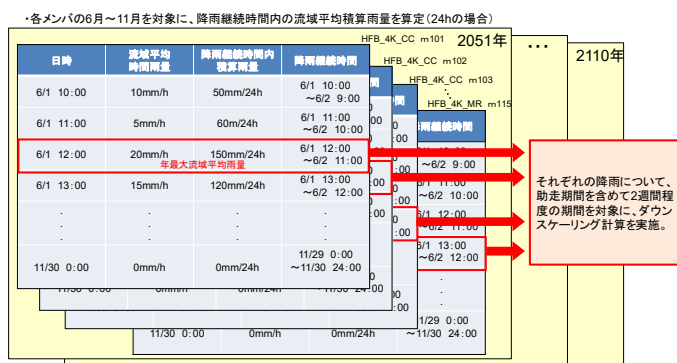
- これまでの治水計画では、実際に経験したある程度大きな出水時に発生した降雨の時空間分布のみが用いられていた。その数は10～20事例程度と少なく、計画の対象とする確率規模の降雨量となった際の降雨の時空間分布が得られることは稀である。そのため、引き伸ばしによって作られた降雨の時空間分布を用いて、計画流量を推定している。
- 大量アンサンブルデータの導入によって、科学的根拠に基づいた物理モデルによって算出される降雨の時空間分布を、治水計画に大量に用いることにより、従来用いてきた既往の実績降雨に加え、物理的に発生する可能性のある降雨を合わせて分析・評価することが可能になった。これにより、従来の方式より降雨に関する信頼性と安定性の高い適応策の検討が可能になった。



①d4PDFおよびd2PDFの領域モデル実験(水平格子間隔20km)結果を、気象庁気象研究所の領域気候モデル(NHRCM)を用いて5kmメッシュにDSする。

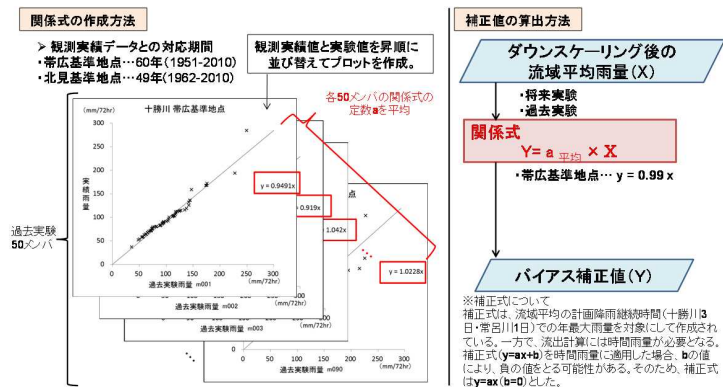


②d4PDF(d2PDF)の日本周辺RCM20の過去実験60年×50メンバ、将来予測60年×90メンバ(4℃上昇)・60年×54メンバ(2℃上昇)の降雨量データから、流域で年最大流域平均雨量となるイベントを、それぞれの降雨継続時間を勘案して抽出する。

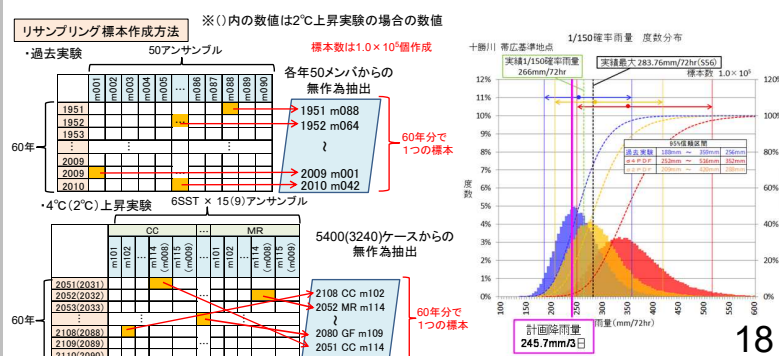


③それぞれの降雨について、助走期間を含めて2週間程度の期間を対象にDS計算を実施する。

④過去実験の年最大雨量を対象とし、ピアニの手法を参考としたバイアス補正を実施すると共に、過去・将来の全サンプルに適用する。



⑤ 確率雨量の取り得る幅を評価する際に重要となる、分布のすそ野部分の評価を行うため、リサンプリングによって 1.0×10^5 個の標本を作成し、確率評価 (Gumbel 及び GEV) を行い、計画規模においてとり得る降雨量の幅を算出する。



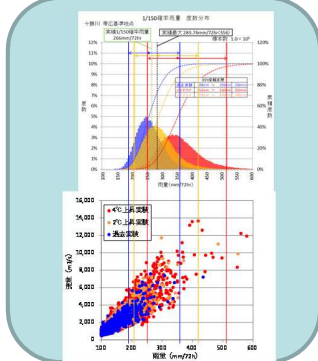
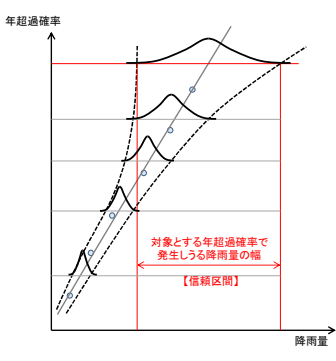
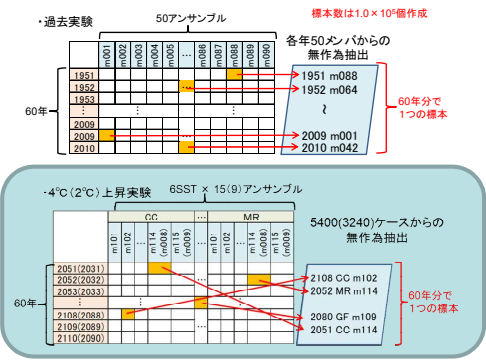
(参考2)当面の適応策における目標流量案

(流量群の算定)

①過去実験、2℃上昇実験毎に、リサンプリングにより10万標本を作成。

②10万標本を確率評価。計画規模の確率値に相当する降雨量の幅を算出

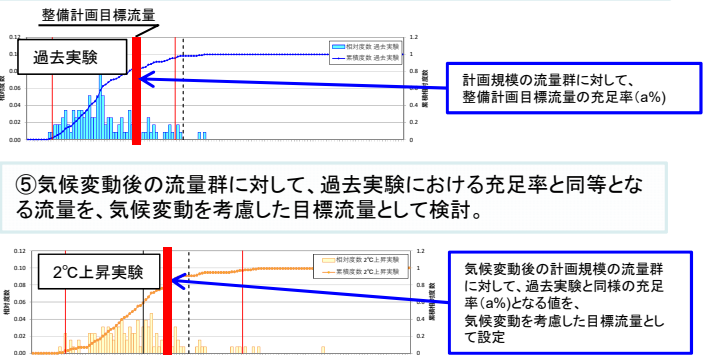
③計画規模の幅に含まれる降雨群に対して、流出計算により流量群を作成。



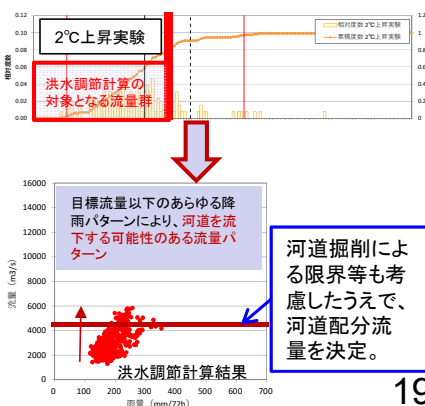
(気候変動を考慮した目標流量の算定) ※基準点および主要地点ごとで検討を行う。 ※リスクの状況を踏まえ必要に応じて目標流量を検討

(河道配分流量の算定)

④過去実験の計画規模の流量群に対して、現整備計画目標流量により充足される流量群の割合(充足率)を算出。



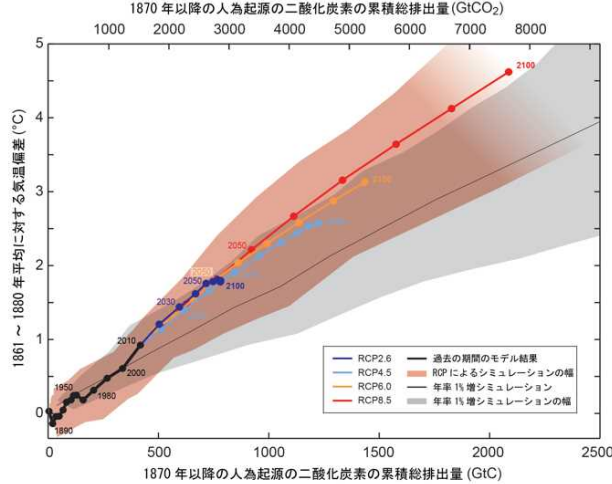
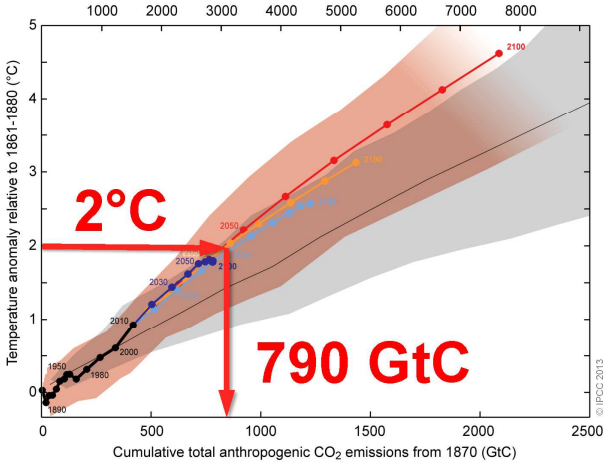
⑥気候変動を考慮した目標流量以下の流量群に対して、洪水調節計算を実施。これにより、目標流量以下のあらゆる降雨パターンに対して、河道を流下する可能性のある流量が、幅値として表現される。



(参考3) CO₂排出量について

■ 2℃上昇の状況は、既に差し迫った近未来であり、適応策の速やかな社会実装が求められる。

To limit anthropogenic warming to likely < 2°C, cumulative CO₂ emissions must be limited to about 790 GtC.



IPCC AR5 Working Group I
Climate Change 2013: The Physical Science Basis

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WHO
UNEP

Budget for the 2°C target: 790 Bill. t C
CO₂ emitted until 2011: -515 Bill. t C
Remaining emissions: 275 Bill. t C
CO₂ emissions 2012: 9.7 Bill. t C/yr