

気候変動を踏まえた 河川流域分野の検討

北海道大学 大学院工学研究院

山田 朋人

tomohito@eng.hokudai.ac.jp

2022年1月28日(金)

『気候・豪雨予測に関する新技術と利水ダムの運用』

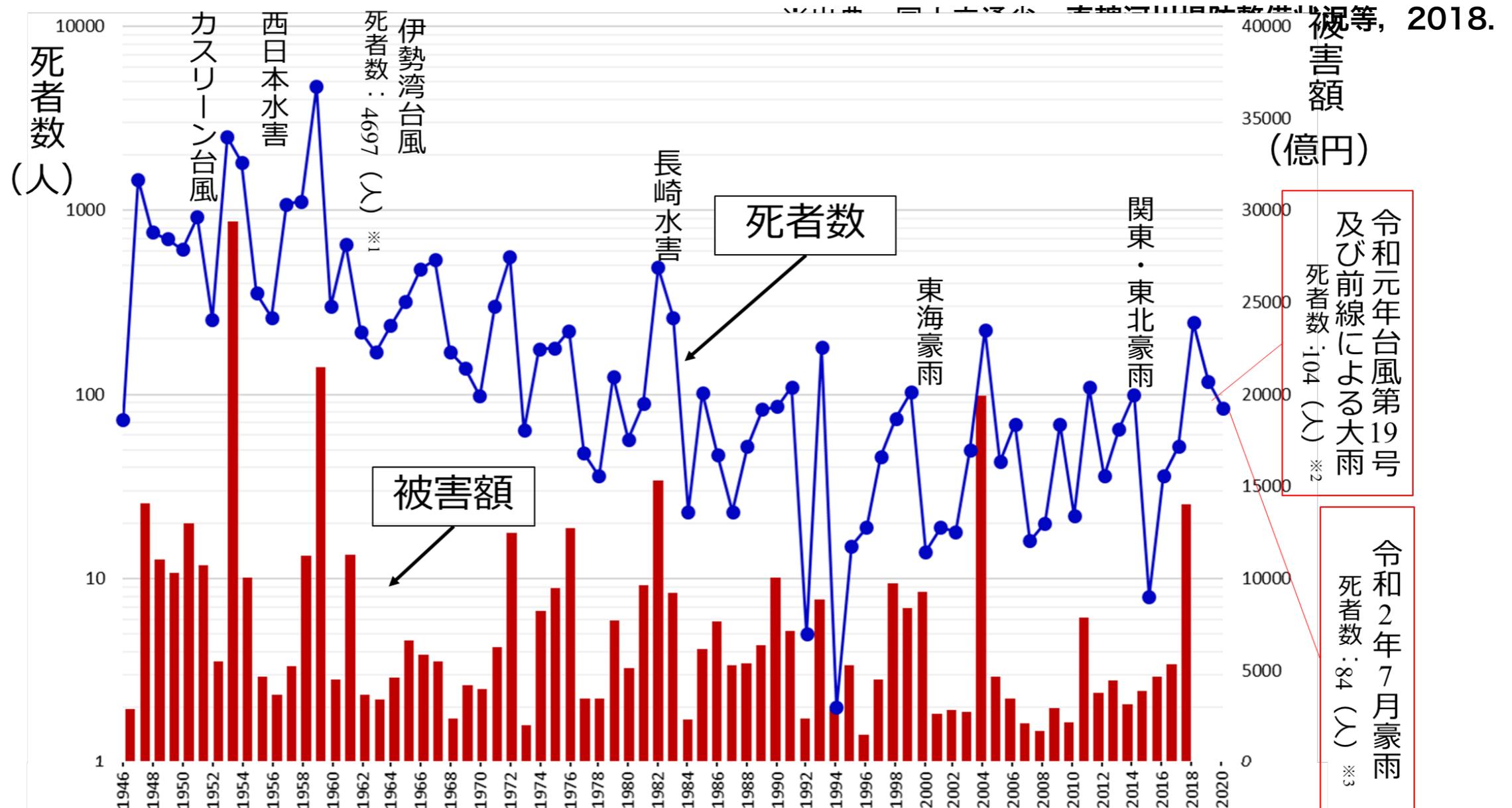
に関する講演会

土木学会

我が国における水害による死者数と被害額の関係 2

治水整備により、戦後からの1990年代後半に亘り、水害は減少した一方、**2008年以降、水害は増加傾向にある。**

我が国の直轄河川における堤防の整備状況（河川整備基本方針）は**67.7%***（2018年時点）。



注) 死者数は、水害・土砂災害による合計値であり、各年の水害被害額は、2005年価格に実質化したものである。また、2019年度と2020年度の項目にはそれぞれ、「令和元年台風第19号及び前線による大雨」および「令和2年7月豪雨」に伴う死者数のみを記入した。

※1消防白書より

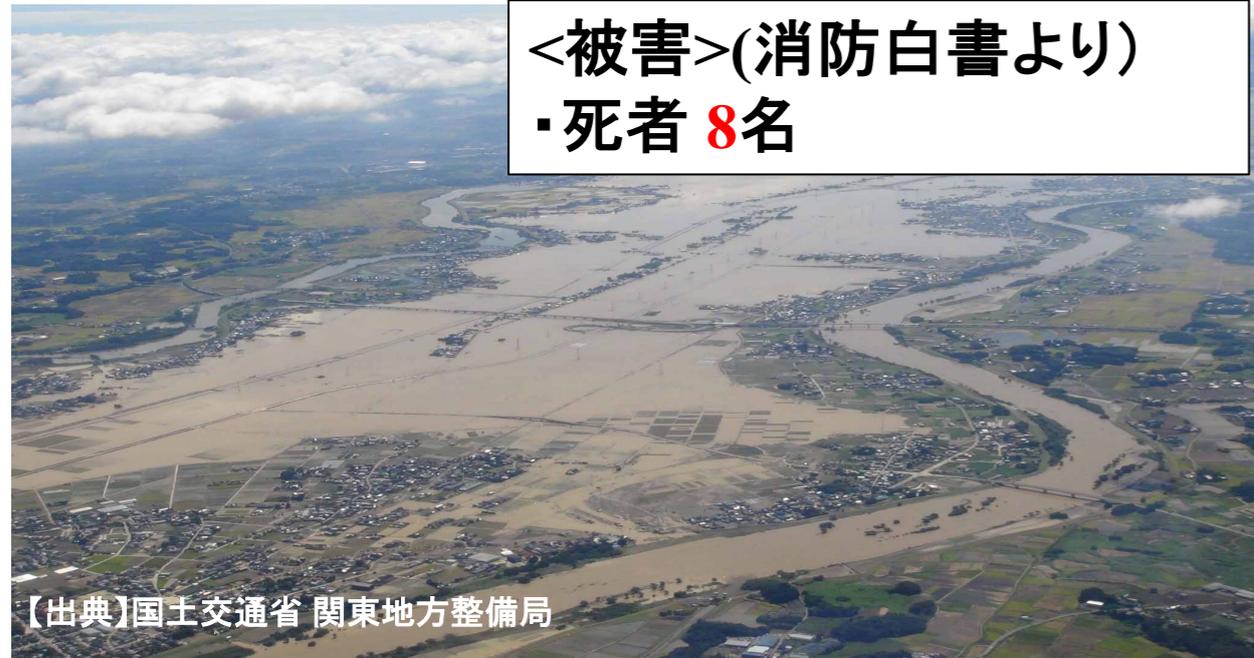
※2消防庁災害対策本部：令和元年台風第19号及び前線による大雨による被害及び消防機関等の対応状況（第66報）

※3内閣府 防災情報のページ：令和2年7月豪雨による被害状況等について（11月2日14:00現在）

※1946年から2018年までの水害による死者数および水害被害額は、国土交通省「水害統計調査」に掲載されているものを用いた。

平成27年関東・東北豪雨

・鬼怒川水系に線状降水帯による降水が集中し、鬼怒川が決壊した。



<被害>(消防白書より)
・死者 **8名**

【出典】国土交通省 関東地方整備局

平成30年7月西日本豪雨

・台風と梅雨前線の影響により、西日本を中心に多くの地域で河川の氾濫や土砂災害が発生した。



<被害>(内閣府資料より)
・死者 **237名**，行方不明者 **10名**

【出典】ふるさとチョイス

令和元年東日本台風

・西日本から東日本の太平洋側を中心に激しい雨が降り、千曲川，阿武隈川の決壊が発生した。

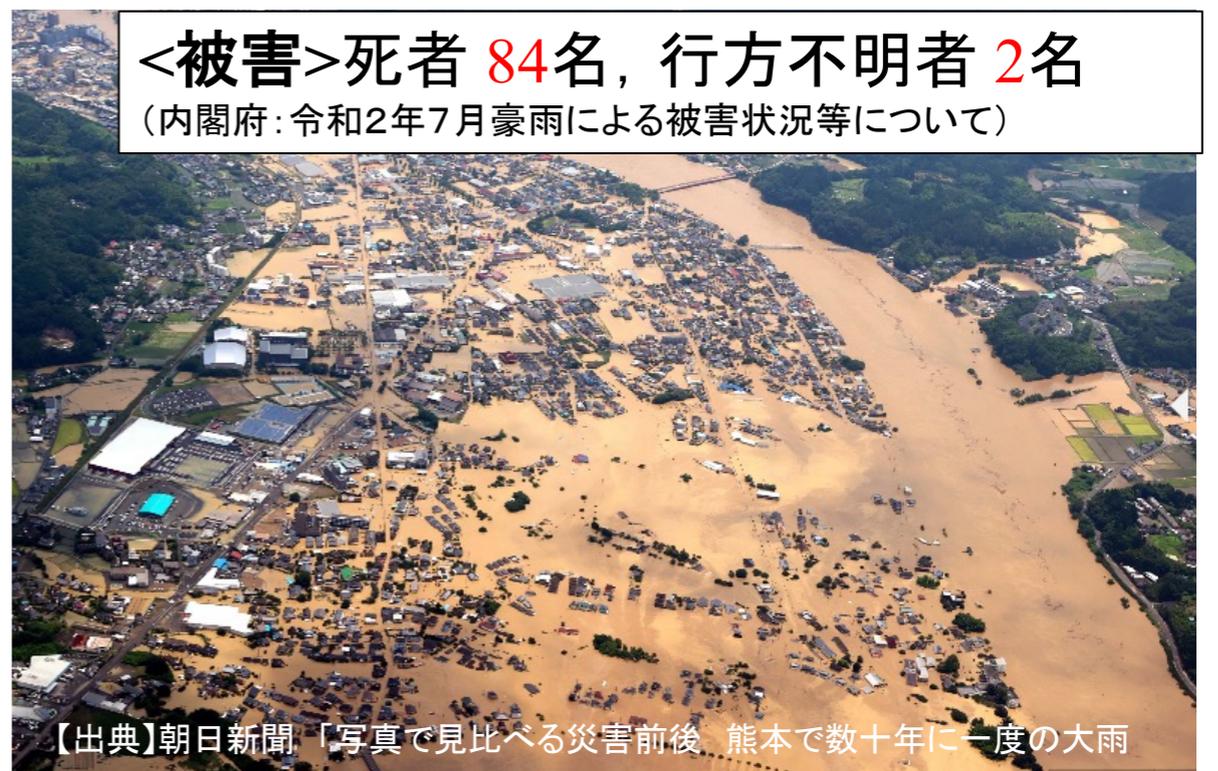


<被害>令和元年東日本台風及び前線による大雨による被害
死者104名 出典：消防庁令和元年東日本台風及び前線による大雨による被害及び消防機関等の対応状況(第66報)

【出典】朝日新聞「長野市の千曲川の堤防決壊 広範囲で住宅に濁流」

令和2年7月豪雨

・梅雨前線が本州付近に停滞し、線状降水帯を伴う豪雨が広範囲に発生し、球磨川が決壊した。



<被害>死者 **84名**，行方不明者 **2名**
(内閣府：令和2年7月豪雨による被害状況等について)

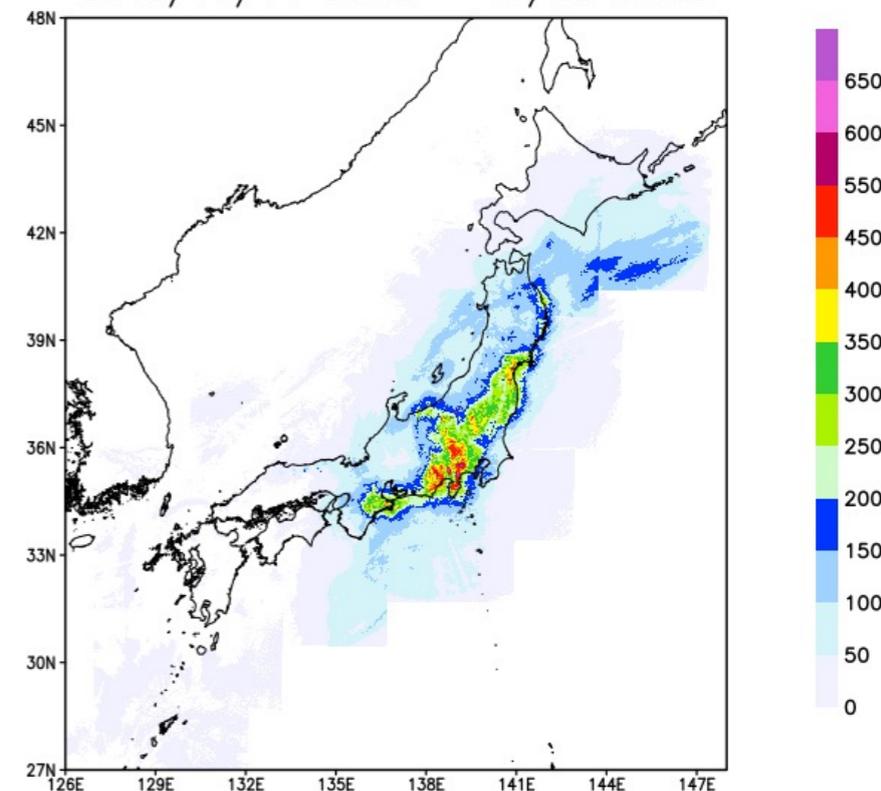
【出典】朝日新聞「写真で見比べる災害前後 熊本で数十年に一度の大雨」

近年，記録的豪雨が毎年のように発生し，
計画降雨量（基本方針）を超過する雨量が記録されている。

河川名	基準点	想定確率年	計画降雨	10月11-12日の 2日間雨量	計画降雨 に対する比率	最大24時間 雨量	
関東	久慈川	山方	1/100確率	235 mm /2日	256.0 mm	109%	247.4 mm
	那珂川	野口	1/100確率	300 mm /2日	306.2 mm	102%	295.3 mm
	利根川	八斗島	1/200確率	336 mm /3日	298.7 mm	89%	282.4 mm
	渡良瀬川	高津戸	1/100確率	419 mm /3日	370.2 mm	88%	354.1 mm
	鬼怒川	石井	1/100確率	362 mm /3日	365.3 mm	101%	348.6 mm
	荒川	岩淵	1/200確率	516 mm /3日	417.6 mm	76%	401.2 mm
	多摩川	石原	1/200確率	457 mm /2日	473.0 mm	104%	453.0 mm
	鶴見川	末吉橋	1/150確率	405 mm /2日	306.1 mm	76%	293.2 mm
	相模川	厚木	1/150確率	460 mm /2日	467.8 mm	102%	443.8 mm
北陸	阿賀野川	馬下	1/150確率	223 mm /2日	171.6 mm	77%	164.5 mm
	千曲川	立ヶ花	1/100確率	186 mm /2日	193.7 mm	104%	186.8 mm
東北	北上川	狐禅寺	1/150確率	200 mm /2日	145.5 mm	73%	132.9 mm
	旧北上川	和渚	1/150確率	267 mm /2日	257.7 mm	97%	249.0 mm
	鳴瀬川	三本木橋	1/100確率	312 mm /2日	303.3 mm	94%	292.7 mm
	吉田川	落合	1/100確率	335 mm /2日	268.1 mm	80%	260.9 mm
	名取川	名取橋	1/150確率	362.8 mm /2日	335.9 mm	93%	330.4 mm
	広瀬川	広瀬橋	1/150確率	388.4 mm /2日	312.8 mm	81%	307.4 mm
阿武隈川	福島	1/150確率	256.5 mm /2日	269.8 mm	105%	267.5 mm	

気象庁Cバンドレーダによる
観測72時間雨量

2019/10/11 09:00 ~ 10/13 09:00 [mm]



【出典・加筆】日本気象協会：防災レポート<https://www.jwa.or.jp/news/2019/11/8535/>

■ 計画降雨量を超過する大雨が降った河川

観測史上初めて1週間に3個の台風が北海道に上陸（**観測史上初**），その後の台風第10号の接近（水害をもたらした1981年台風と似た経路＝最悪のパターンの一つ）により，大規模な被害発生。当該豪雨災害を受け，国土交通省北海道開発局と北海道が共同で設置した「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」では，気候変動が水災害リスクに及ぼす影響を分析するとともに，**「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」**との提言が示された。

4つの台風の上陸・接近



1年間で北海道に影響を及ぼす台風は例年1-1.5個
（北野・山田，2017）

道路被災：【出典】国土交通省
国道で合計160.2kmの区間が通行止め

農業被害：
北海道の耕地面積の3.5%が被災

総被害額：2,803億円※北海道での過去最高額（昭和56年8月水害による被害総額は2,705億円）

現在、地球温暖化に伴う豪雨の激甚化への適応に向け、**気候変動予測に基づく計画論へのパラダイムシフトが急速に進行している。**

平成28年度 北海道開発局・北海道

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

平成29年度 北海道開発局・北海道

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

平成30～現在 国土交通省

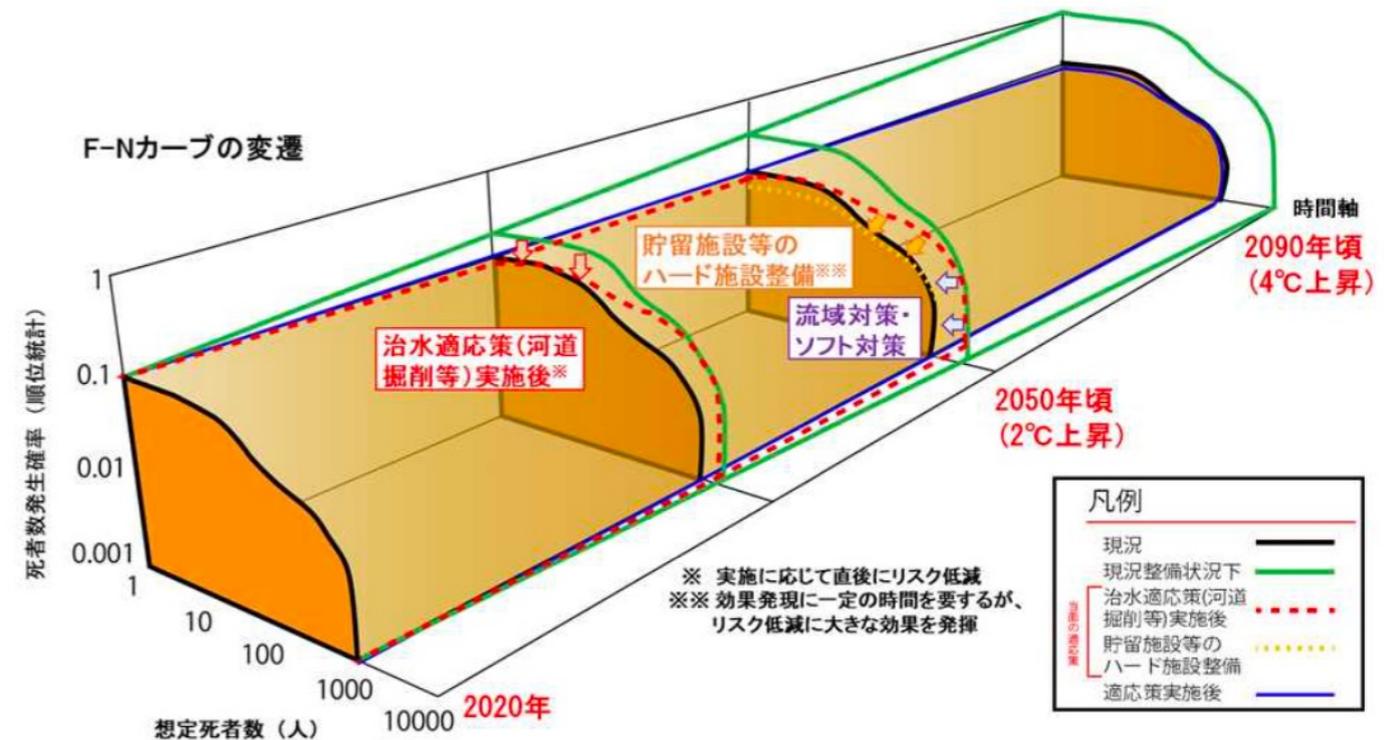
気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

令和元年度～現在 北海道開発局・北海道

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

平成30年度～現在；国土交通省本省
「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」

⇒ 「治水計画の立案にあたり、“実績の降雨を活用した手法”から“気候変動により予測される将来の降雨を活用する手法”すべき」ことを提言。





リスク (Risk) 不確定なものについて確率的 に表すことができるもの

フランク・ナイト(1885~1972)

Frank Hyneman Knight

(主著)

「リスク, 不確実性
および利潤」

Knight, Frank H.: Risk, Uncertainty and Profit,
Houghton Mifflin Co., 1921.



統計学的
として



自然科学
として



社会の
認知・認識

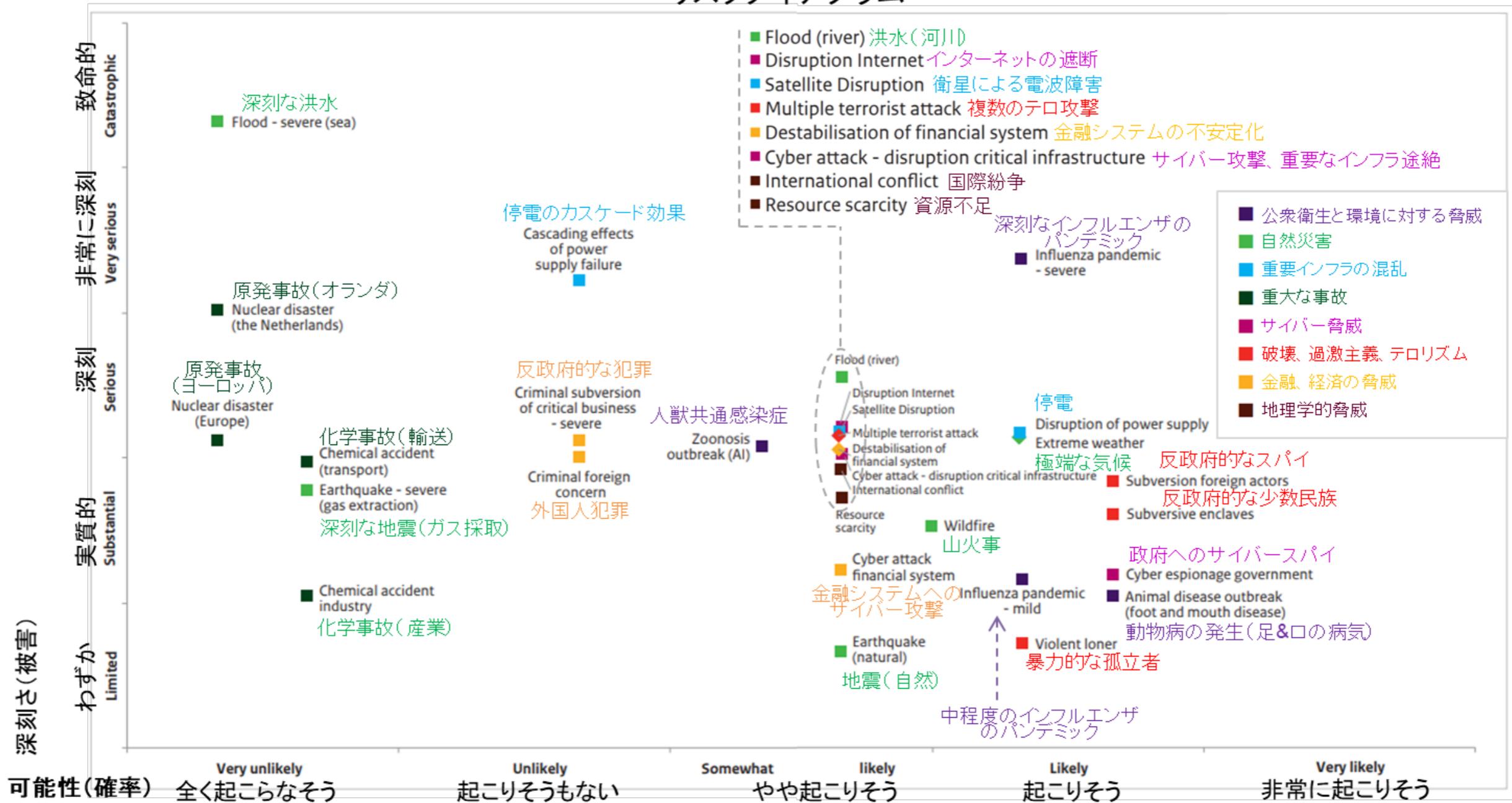
諸外国における気候変動適応策 -オランダを中心として-

リスクベースの治水計画の事例(オランダ)

堤防の決壊に伴う人的・経済的被害の定量化を行い,これを基軸とした治水計画(デルタ計画)が推進されている.

オランダ全土を対象に洪水氾濫による死亡リスクを2050年までに 10^{-5} 以下に抑えることが政策決定されている.

リスクダイアグラム



- ・ 欧米諸国では、**気候変動を考慮した河川整備を実施**
- ・ 我が国の直轄河川における堤防の整備状況（河川整備基本方針）は、**67.7%※¹（2018年時点）** ※¹ 出典：国土交通省：直轄河川堤防整備状況等、2018.

- **米国**：ハドソン川下流域(NYC)において、気候変動を踏まえた浸水リスクを算出した。
- **英国・独国**：温暖化シナリオを用いて、**気候変動分を堤防の余裕高に上乗せ**している。
（UK、Environment Agency、2016、KLIWA、2009）
- **蘭国**：ハザードベース(~2016年)→**100%完了**、**リスクベース**(2017年~)→**25%完了**

・ 特に米国・NZでは、自治体を中心に治水対策を実施

- **NZ**は、全国17地域ごとの評議会（**Regional Council**※²）にリスク軽減計画の作成と実施に権限と責任を持たせる。 ※² 環境・国土問題に関する専門の意思決定の議会、全国に11分かれる
- **米国**は、連邦堤防の基準(1/100年超過確率)より**地方自治体の判断が優先**される。
- **仏国**は、堤防の氾濫防御基準は**各地区のステークホルダーが設定**する。



ライン川

マース川

テムズ川

ミシシッピ川

ハドソン川

（土木学会「河川の体力診断※の中で著者ら実施の内容(現在、17国23河川)」）

※ 諸外国との比較から道路・河川・港湾の整備水準を判定する

堤防の決壊に伴う人的・経済的被害の定量化を行い、これを基軸とした治水計画（**デルタ計画**）が推進されている。

オランダ全土を対象に洪水氾濫による死亡リスクを2050年までに 10^{-5} 以下に抑えることが政策決定されている。

泥炭船

フィンセント・ファン・ゴッホ
1883年

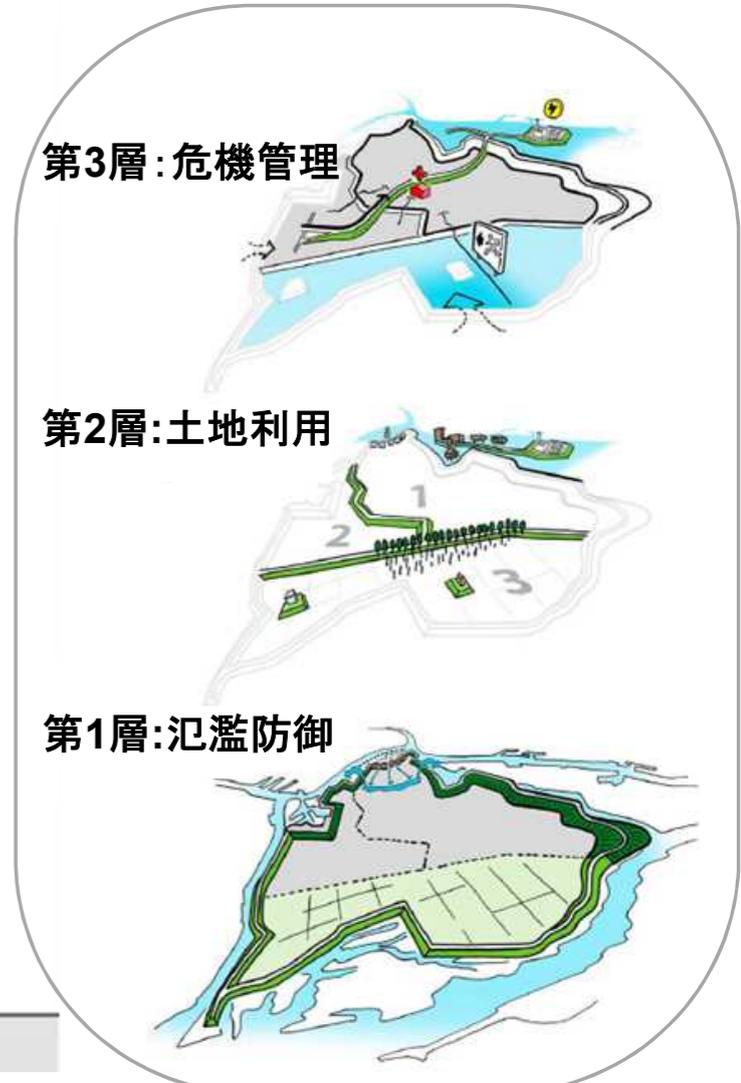
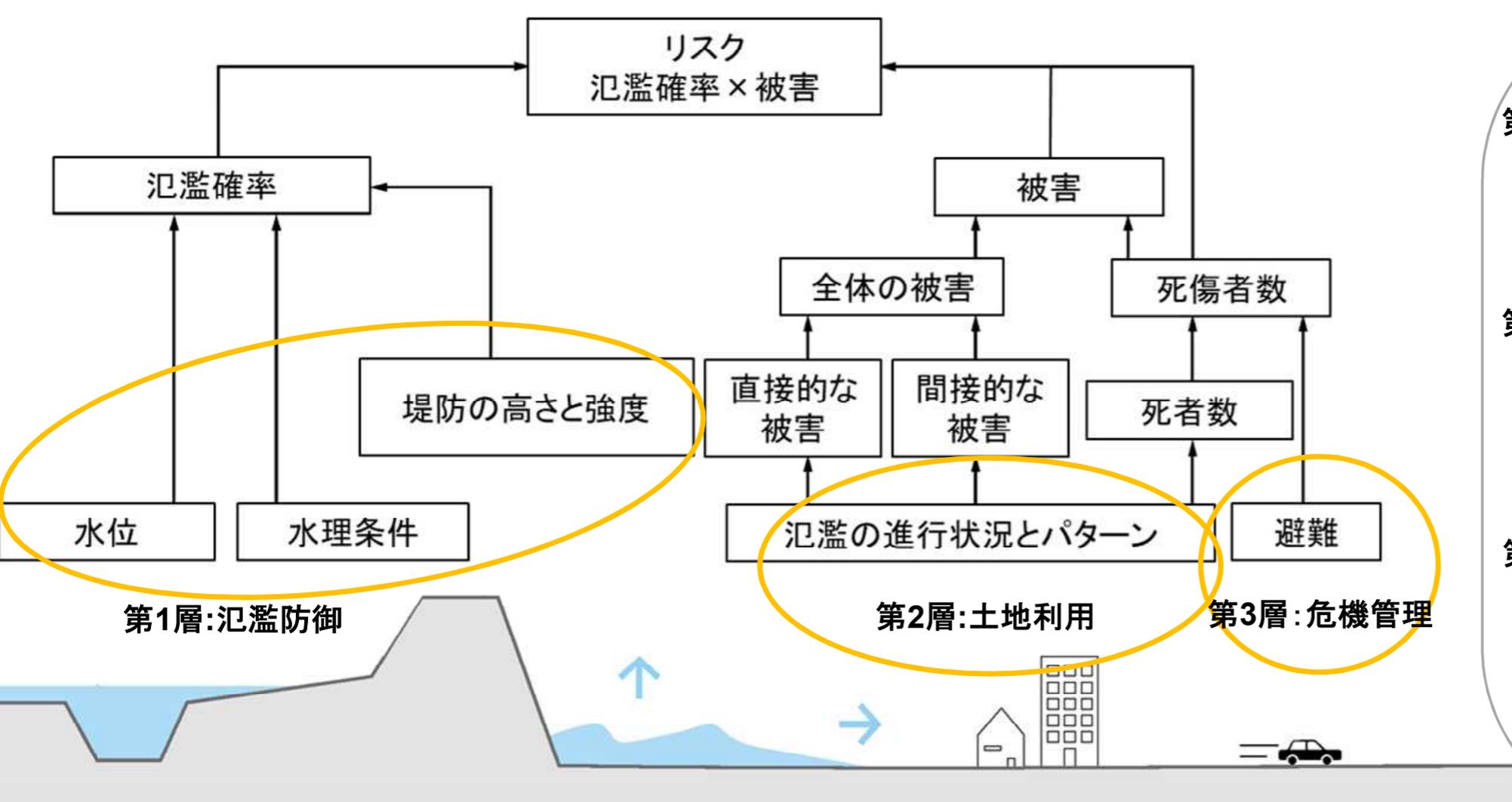
馬鈴薯を食べる人々

フィンセント・ファン・ゴッホ
1885年



リスクベースアプローチの先進事例(オランダ・デルタプログラム)

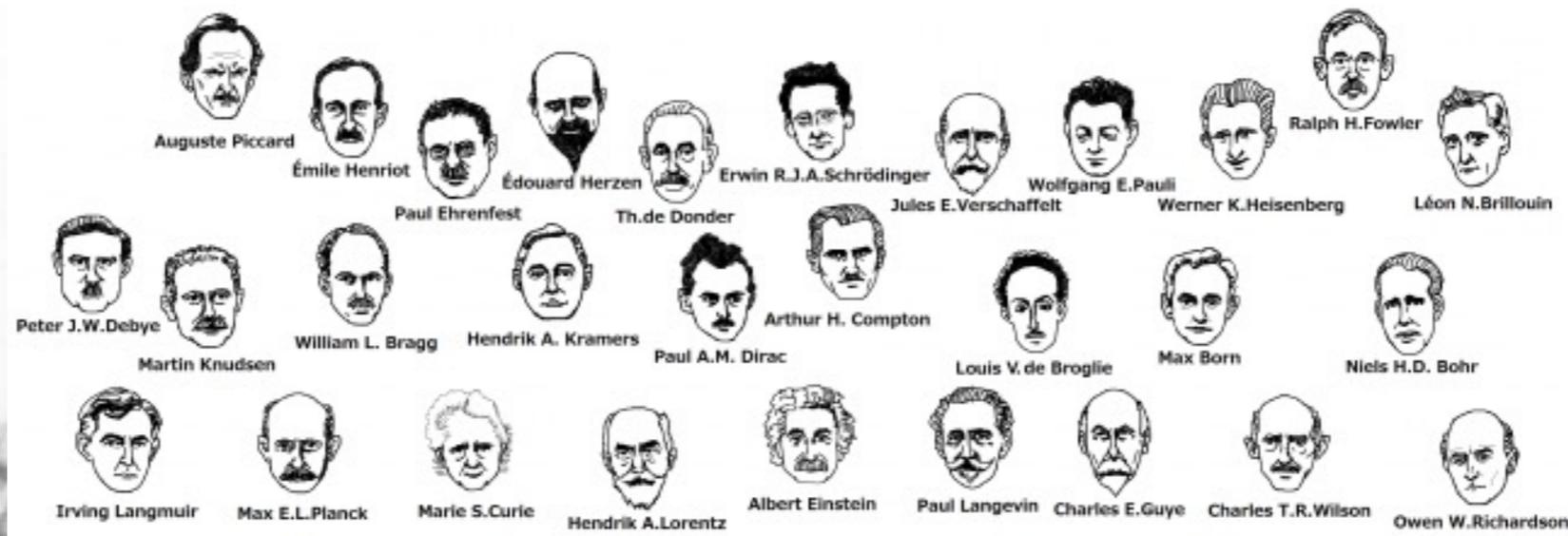
- デルタプログラムでは、リスクベース・アプローチ (Risk based approach) の適用によって、氾濫による年間死亡率を1/100,000以下にすることを目標としている。リスクベースの「リスク」とは、特定事象の発生の可能性(氾濫確率)とそれが起きた時に引き起こされる影響(被害)のかけあわせである。
- 重層的氾濫リスク管理 (Multi-layer flood risk management) により対策を講じ、リスクベース・アプローチの手法により対策を講じることとしている。*1



出典: *1 2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionへの聞きとり
 *2,3 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2014: Work on the delta, 2013.9, pp36(*2), pp83(*3), <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2013/09/17/delta-programme-2014>

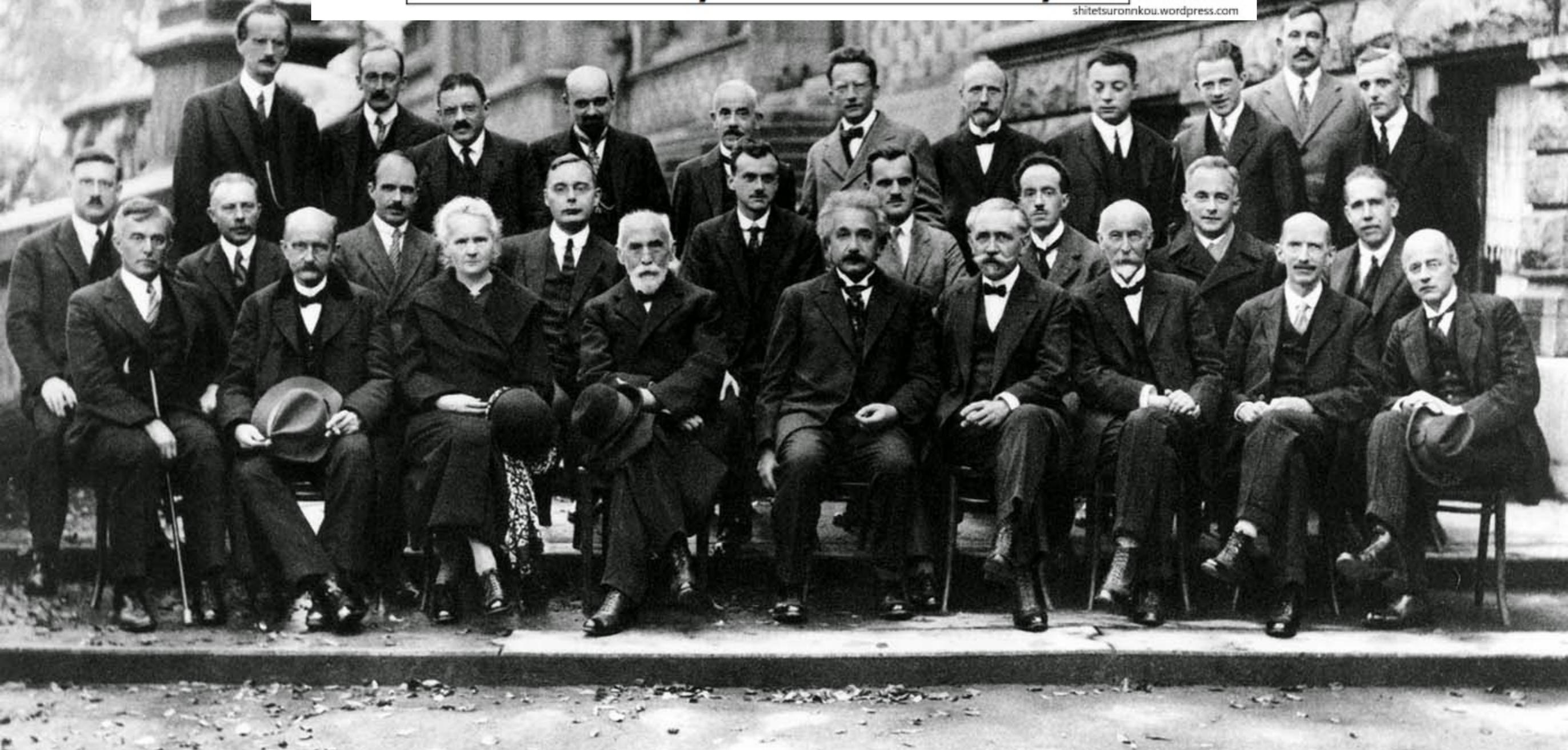
（"Der Alte würfelt nicht." 神はサイコロを振らない）に反論した名言（"Einstein, schreiben Sie Gott nicht vor, was er zu tun hat." アインシュタインよ、神が何をなさるかを貴方が語るなかれ）





1927 The Solvay Conferences on Physics

shitetsuronkou.wordpress.com



Partners for Water

(日蘭・気候変動を踏まえた治水リスクに関する共同研究
支援：国土交通省北海道開発局, オランダ公共事業局)

- ・リスク評価手法の相互比較：リスクは検証が困難という側面があるなか、最先端の方法で相互比較の構図・文化が重要)



2018年1月 意見交換会（オランダ、王立気象研究所）



2018年1月 意見交換会（オランダ、デルタ委員会）



2018年11月 意見交換会（北海道）



2018年11月 日蘭治水セミナー（北海道）



2019年6月 意見交換会（オランダ、HKV）



2019年10月 意見交換会（北海道）



18 January 2022
9:00-11:00 (CET)
2022年1月18日(火)
17:00-19:00 (日本時間)

Japan-Netherlands Joint Research “Climate Change and Flood Risk in Hokkaido” 日蘭共同研究「北海道における氾濫リスクと気候変動」ウェビナー

SPEAKERS 登壇者



Dr. ir. Kolen
バス コーレン (HKV)



Ir. Chiba
千葉学 (RIC)



Ir. Hegnauer
マルク ヘフナール
(Deltares)



Dr. ir. Hoshino
星野 剛
(Hokkaido University)



Ir. Uemura
植村 郁彦 (Docon)



Ir. Rongen
フース ロンゲン
(HKV/TU Delft)



Ir. Maaskant
ボブ マースカント
(HKV)



Tomura
戸村 翔 (RIC)



Prof. dr. ir. Jonkman
バス ヨンクマン
(TU Delft)



Prof. dr. ir. Yamada
山田 朋人
(Hokkaido University)

Language 言語 : English and Japanese
with consecutive interpretation
英語・日本語 (逐次通訳付)

PROGRAMME プログラム

H.E. Mr. Peter Van Der Vliet (Dutch Embassy)
ペーター・ファン・デル・フリート大使 (駐日オランダ大使館)
Welcome as hosting organization (Pre-Recorded, 5 min)
ホストより歓迎のご挨拶 (事前録画・5分)

Dr. ir. Kolen (HKV) バス コーレン (HKVコンサルタント)
Overview of project (5 min) プロジェクト概要 (5分)

Ir. Chiba (RIC) 千葉学 (北海道河川財団)
Main findings and impact for Hokkaido (10 min)
主な研究結果と北海道への影響 (10分)

Ir. Hegnauer (Deltares) マルク ヘフナール (デルタレス)/
Dr. ir. Hoshino (Hokkaido University) 星野 剛 (北海道大学)
In depth: rainfall and water levels (10 min)
【詳細】降雨量及び水位算定 (10分)

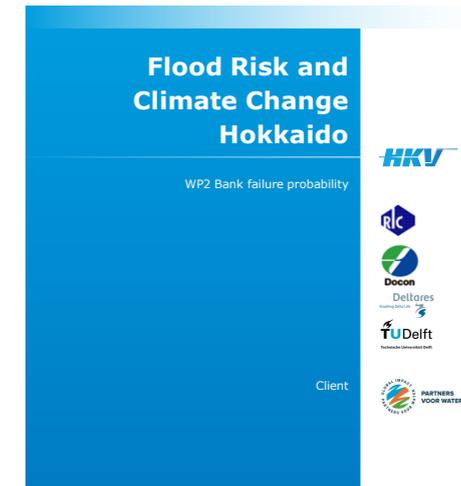
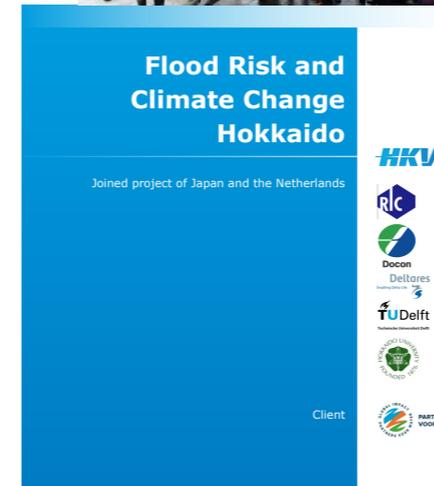
Ir. Uemura (Docon) 植村 郁彦 (ドーコン)/
Ir. Rongen (HKV/TU Delft) フース ロンゲン
(HKVコンサルタント/デルフト工科大学)
In depth: estimation of flood probabilities (10 min)
【詳細】洪水確率の推定 (10分)

Ir. Maaskant (HKV) ボブ マースカント (HKVコンサルタント)/
Tomura (RIC) 戸村 翔 (北海道河川財団)
In depth: flood risk and loss of life estimation (10 min)
【詳細】洪水リスクと死者数の推定 (10分)

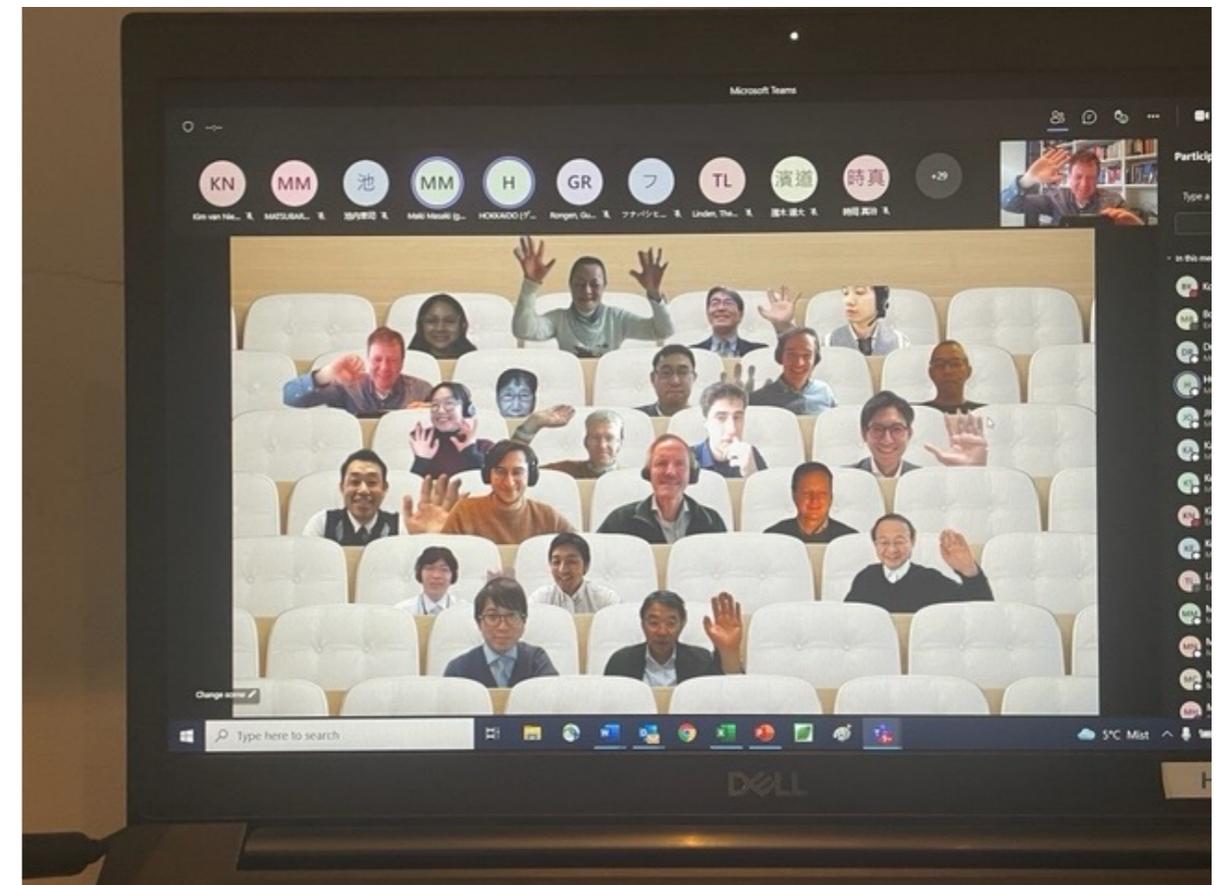
Prof. dr. ir. Jonkman (TU Delft) バス ヨンクマン教授 (デルフト工科大学)
The 2021 floods in the South of the Netherlands:
Facts and preliminary analysis (10 min)
2021年オランダ南部の洪水：事実と予備的分析 (10分)

Prof. dr. ir. Yamada (Hokkaido University) 山田 朋人准教授 (北海道大学)
Japanese lessons learned for flash floods (10 min)
急速な出水に対する日本の教訓 (10分)

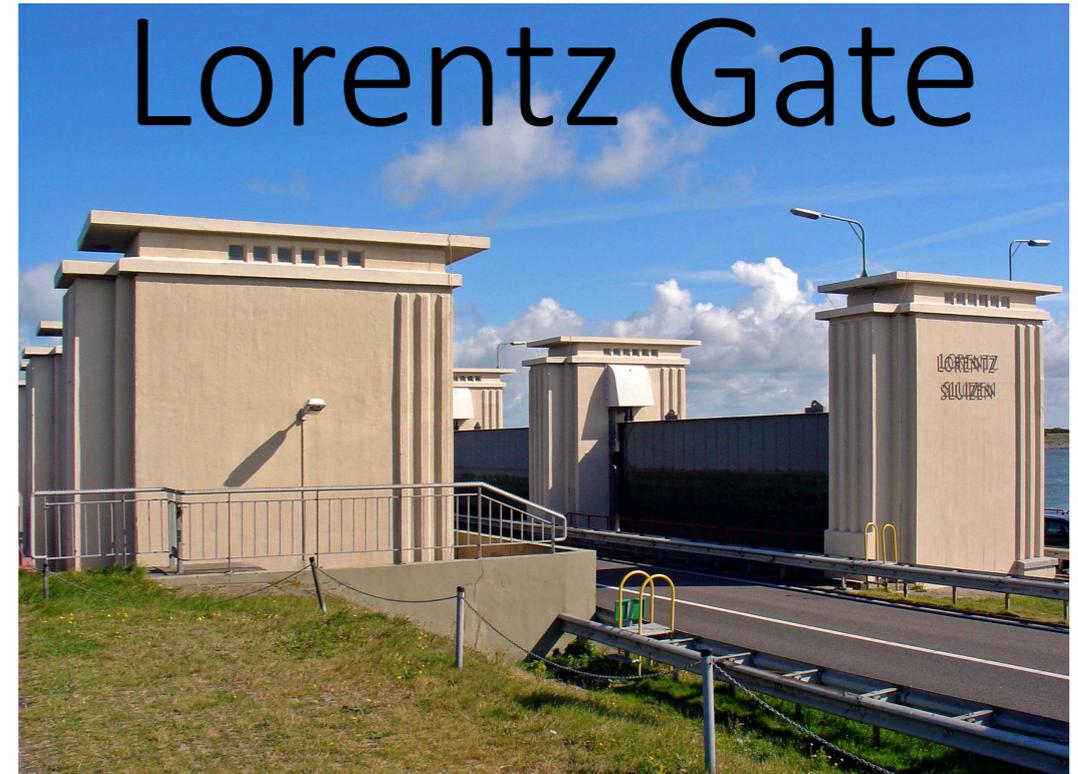
Questions and discussion 質疑応答



ワークパッケージごとにレポートを執筆



The Afsluitdijk (literally translated: Shut-off-dike)



Afsluitdijk with the [Wadden Sea](#) (a part of the North Sea) on the left and the [IJsselmeer](#) on the right

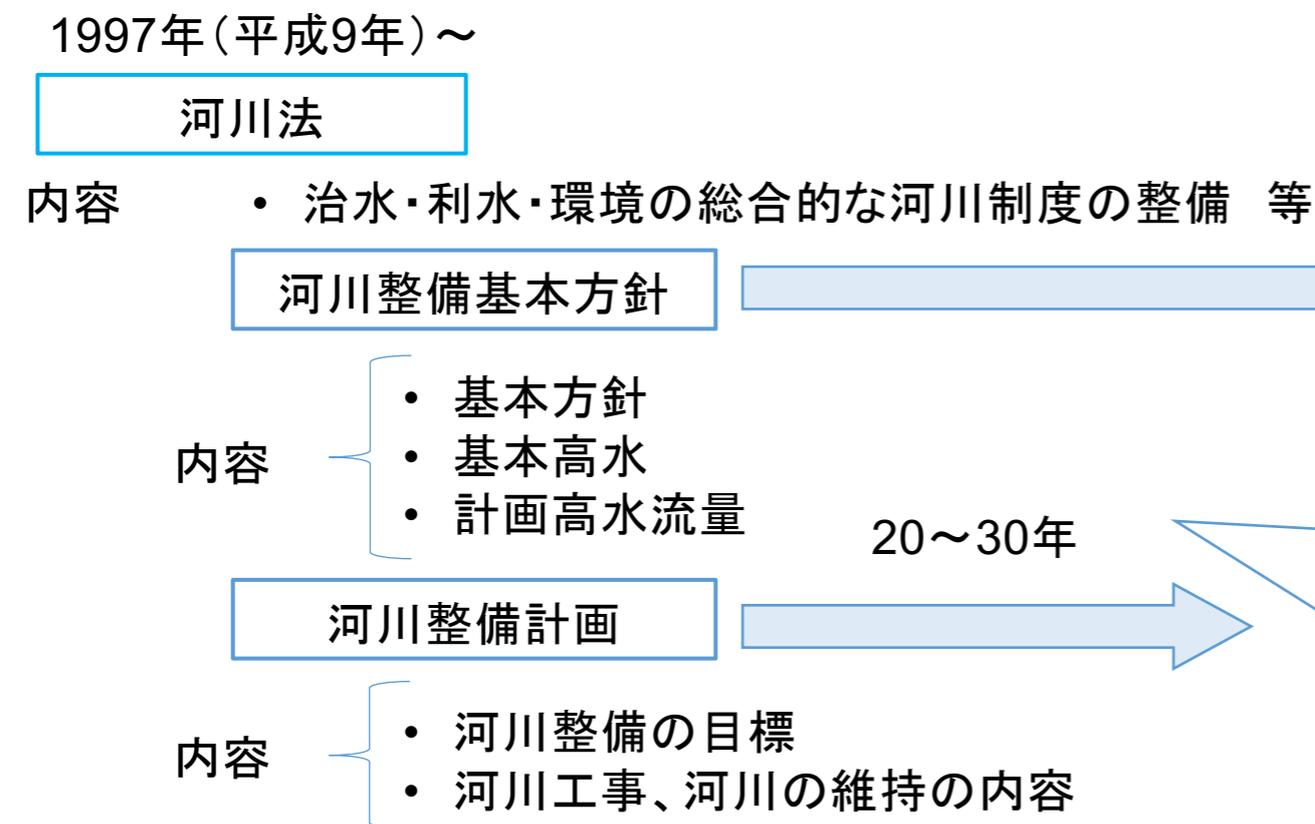
オランダと日本の治水における枠組み

■ オランダでは日本の河川整備計画のようなものがない。日本よりも比較的短い期間で河川整備を進めている点や、オランダでは氾濫防御基準を法整備した上で、河川整備を進めている点などが異なる。

◆オランダにおける法的な枠組み



◆日本における枠組み



日本は、河川整備の基本となるべき方針に関する事項(河川整備基本方針)と具体的な河川整備に関する事項(河川整備計画)に区分されている。

現在、地球温暖化に伴う豪雨の激甚化への適応に向け、**気候変動予測に基づく計画論へのパラダイムシフトが急速に進行している。**

平成28年度 北海道開発局・北海道

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

平成29年度 北海道開発局・北海道

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

平成30～現在 国土交通省

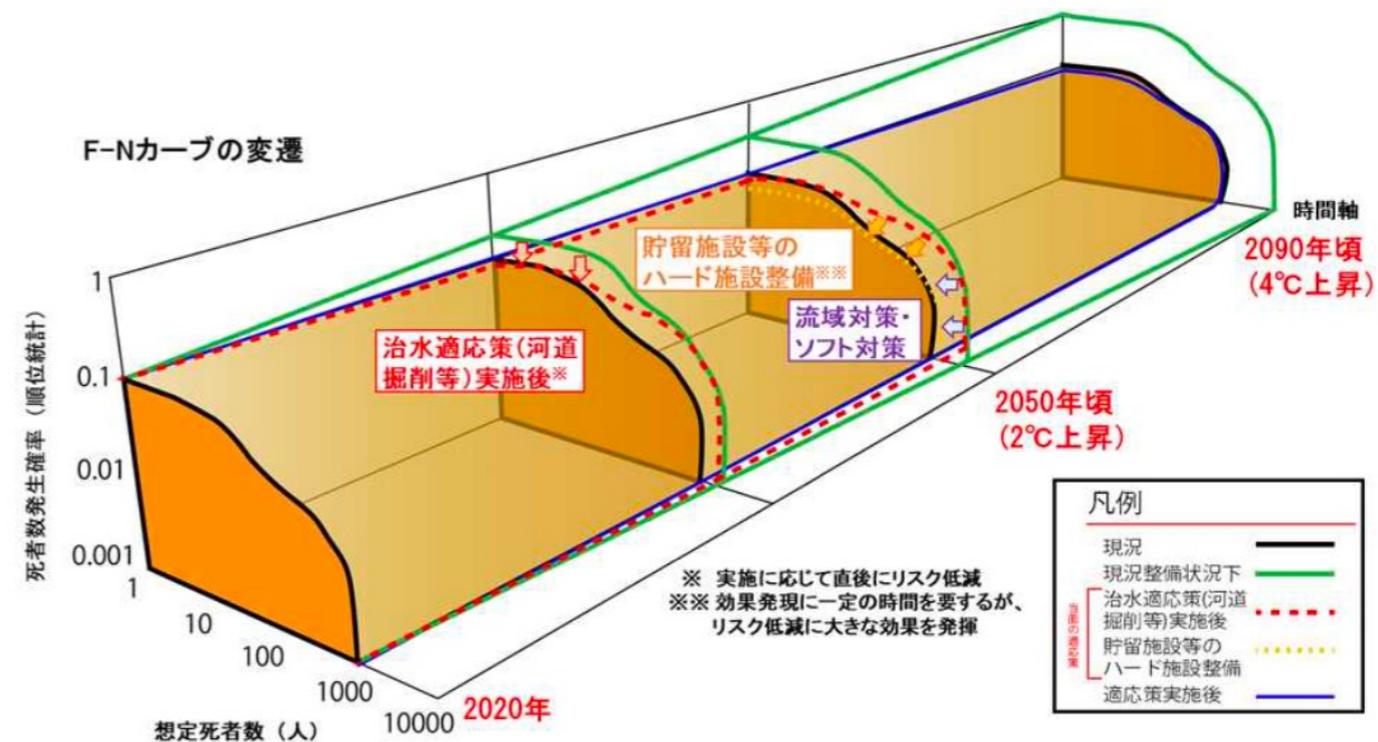
気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

令和元年度～現在 北海道開発局・北海道

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

平成30年度～現在；国土交通省本省
「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」

⇒ 「治水計画の立案にあたり、“実績の降雨を活用した手法”から“気候変動により予測される将来の降雨を活用する手法”すべき」ことを提言。



*1.1倍, 1.5倍というのは予測の中の中央値的なもの

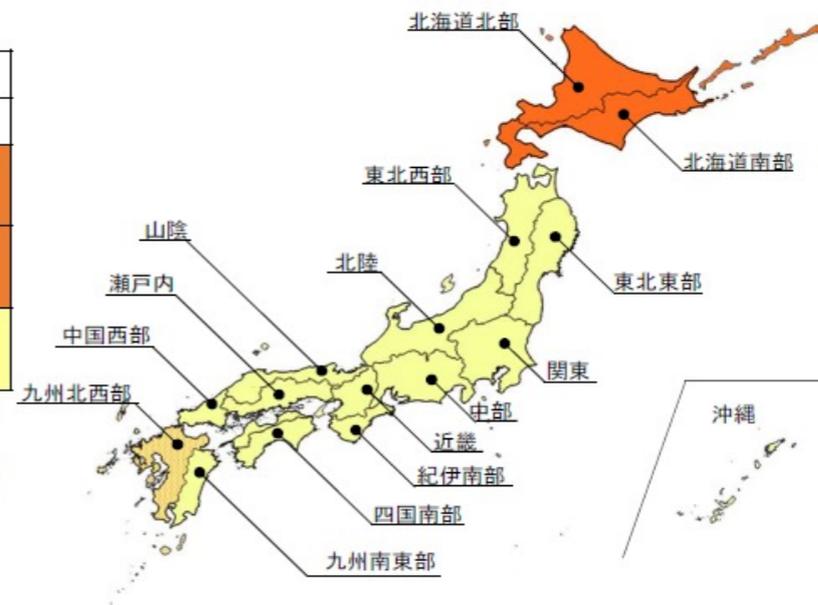
気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 改訂版【概要】 <気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化>

- 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°C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°C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°C上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

<地域区分毎の降雨量変化倍率>

地域区分	2°C上昇	4°C上昇	
		1時間	短時間
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°C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°C上昇時	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4°C上昇時	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

- ※ 2°C、4°C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°C、4°C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)

『流域治水とは、気候変動の影響による水災害の激甚化・頻発化等を踏まえ、堤防の整備、ダム建設・再生などの対策をより一層加速するとともに、集水域（雨水が河川に流入する地域）から氾濫域（河川等の氾濫により浸水が想定される地域）にわたる流域に関わるあらゆる関係者が協働して水災害対策を行う考え方』 【引用】国土交通省：「流域治水」の基本的な考え方



【図面出典】国土交通省

流域治水の実現に向けた法案が今年5月に公布

2021年5月;特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律案（流域治水関連法案）が交付。⇒上流・下流や本川・支川の流域全体を俯瞰した、関係者による流域治水の拡充のための法的枠組み※。

※【参考】国土交通省：特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律案について

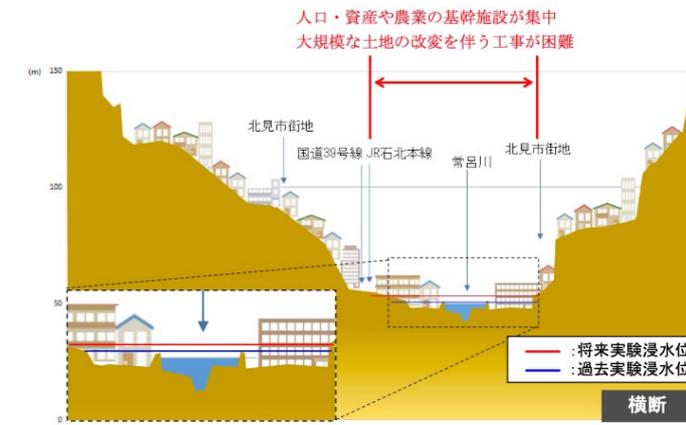
自分たちで地域・流域をどのようにしていきたいのか、
発信しなければ何も始まらない。

常呂川における気候変動を踏まえた河川整備計画への転換^{2,3}

気候予測アンサンブルデータを用いた詳細なリスク評価や適応策の検討

様々な降雨パターンから得られる
降雨量とピーク流量の関係

地域の特性を考慮したリスク情報を
アンサンブル気候データにより創出し、
河川整備計画に活用されている。



注1)「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 中間とりまとめ」より
注2)北海道管理区間の氾濫（無加川の一部区間を除く）や内水氾濫は考慮されていない

図3 地域の特性を考慮した
リスクの評価

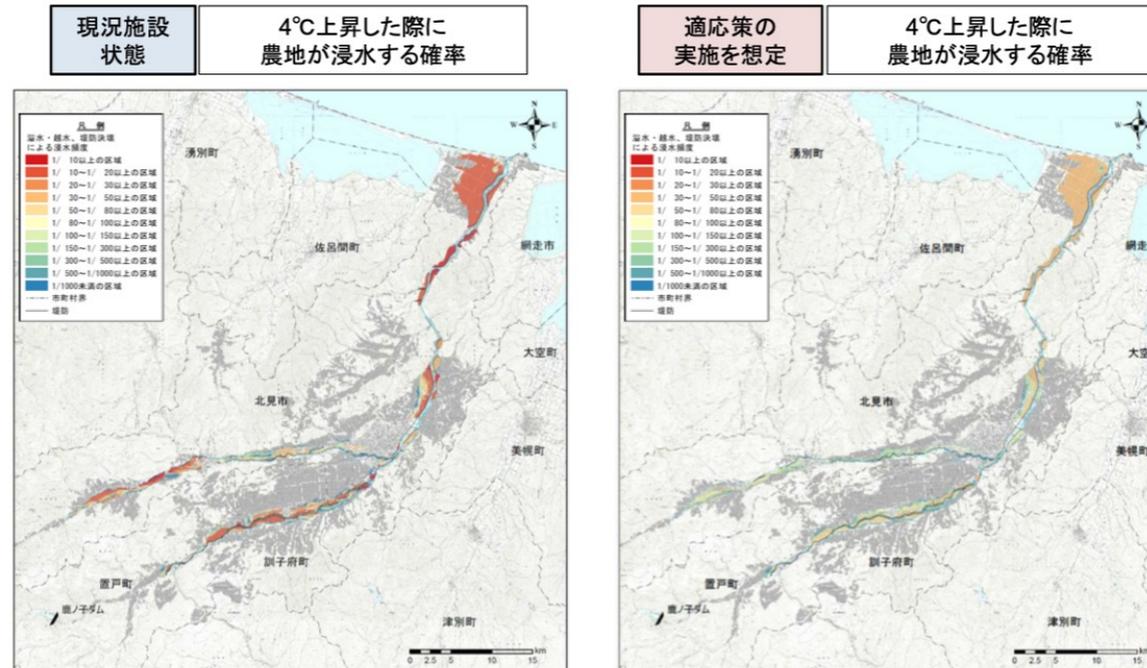
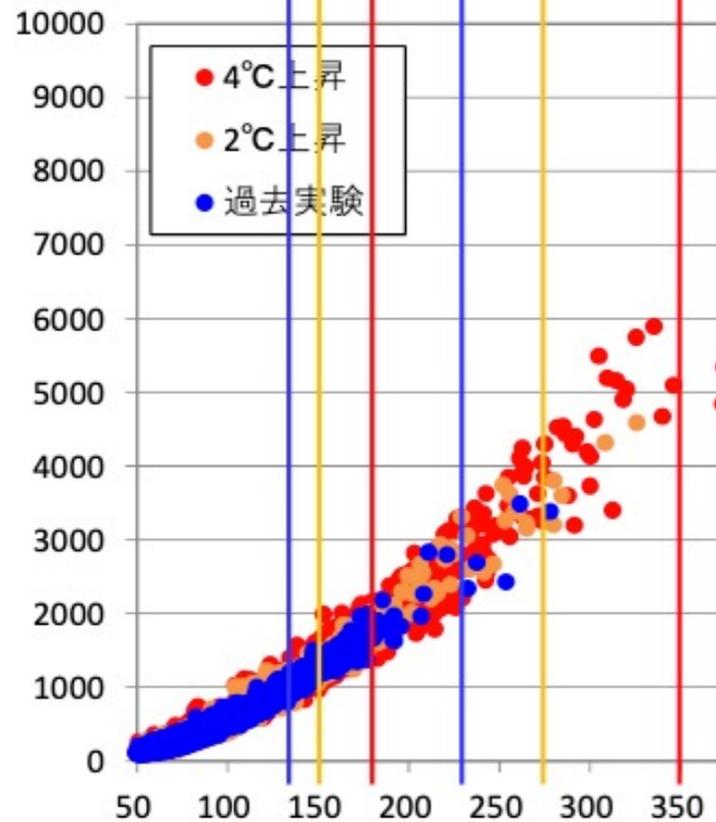


図2 常呂川流域における適応策による
農地浸水リスクの変化

図1 常呂川北見地点における24時間流域
平均降雨量に対するピーク流量の関係



気候変動に伴い降雨の激甚化・頻発化する水災害を考慮した
観点が河川整備計画に追加

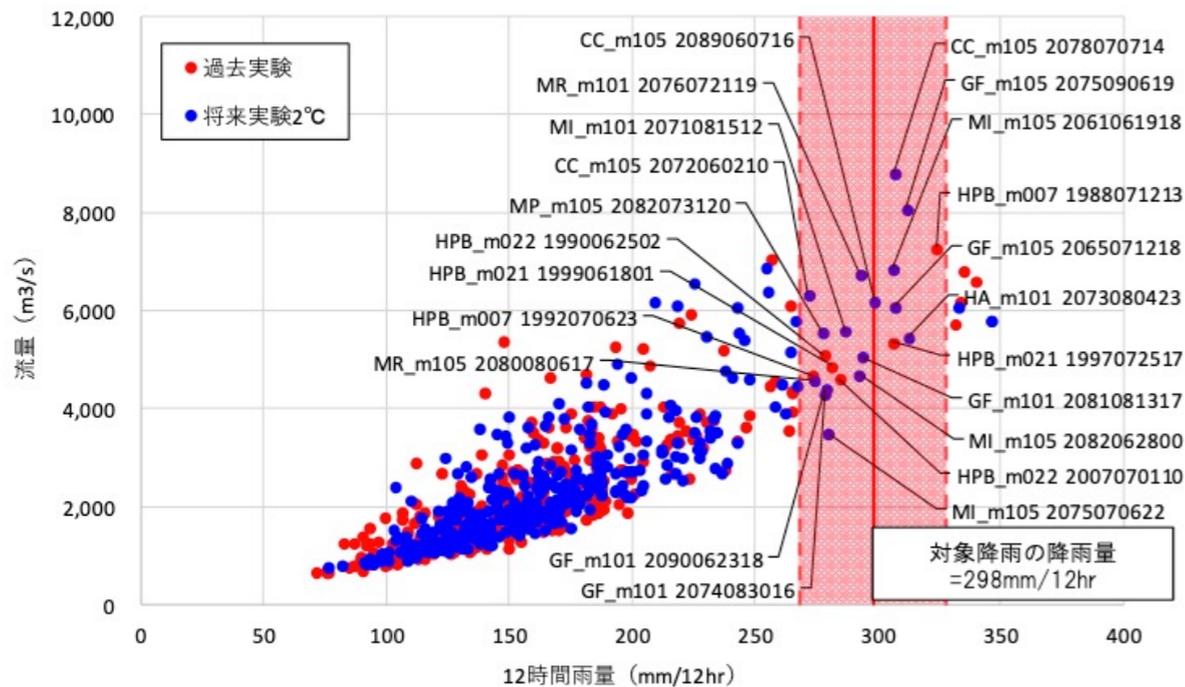
図1: 北海道開発局常呂川河川整備計画検討会資料より引用

図2, 3: 常呂川水系河川整備計画[大臣管理区間], 令和3年12月, 国土交通省北海道開発局より引用

- 平成 28 年 10 月に国土交通省北海道開発局と北海道が共同で立ち上げた「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」では、「気候変動の影響による水害の激甚化の予測と懸念が現実になったと認識すべき」としたうえで、「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」とされた。
- 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」を開催し、**気候予測アンサンブルデータ**を導入することにより、これまでの気候 及べ今後の気候変動に伴う気象現象の変化を確率的に評価した。
- 令和元年には、「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」を開催し、平成 28 年に甚大な被害が発生した十勝川流域、常呂川流域を対象に、気候予測アンサンブルデータにより詳細なリスク評価や適応策の検討を行い、令和 2 年 5 月に中間とりまとめを行った。

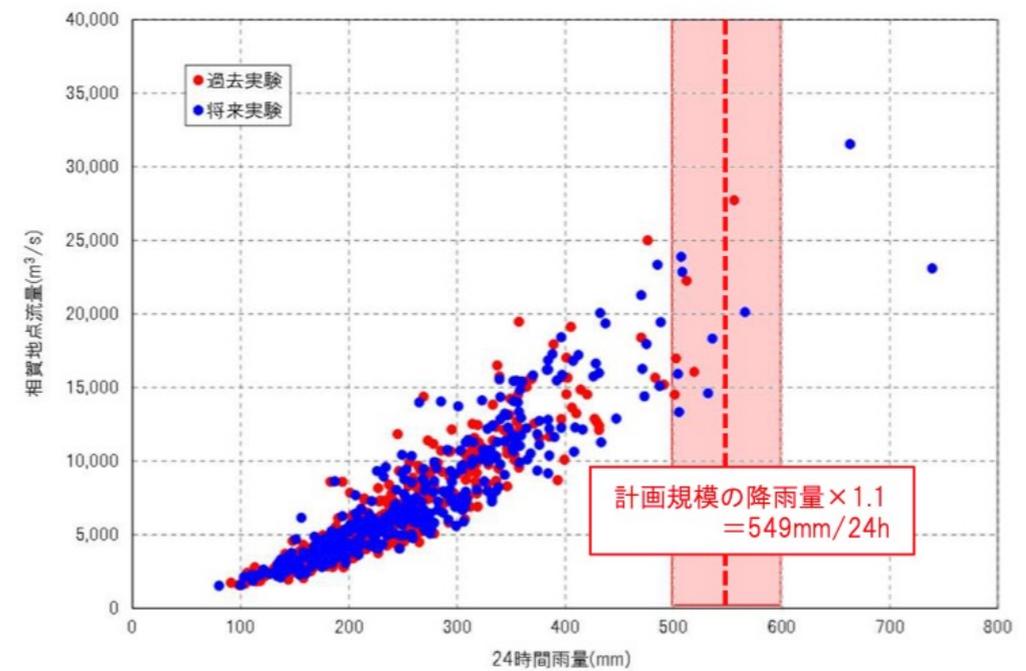
気候変動と共に降雨の激甚化・頻発化する水災害を考慮した観点が追加された河川整備基本方針・計画

球磨川人吉地点



- d2PDF (将来360年、現在360年)の年最大雨量標本 (360年) を流出計算

新宮川相賀地点



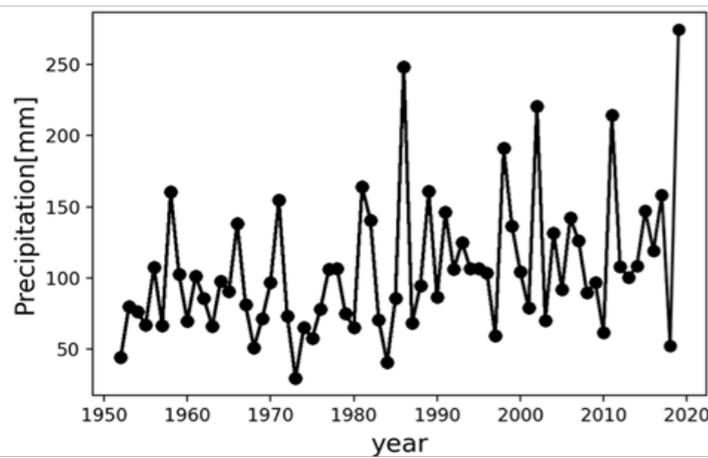
- d2PDF (将来360年、現在360年)の年最大雨量標本 (360年) を流出計算
- 著しい引き伸ばし等によって降雨波形を歪めることがないように、計画対象降雨の降雨量近傍の洪水を抽出

Mann-Kendall検定に基づき年最大日降水量の時系列のトレンドを定量化.

2020年時点で、北海道、東北および九州地方を始めとした諸地域で、**年最大日降水量時系列の非定常性が検出された。**

1976年から2020年までの45年間分の日雨量のデータに(約16000日以上)全く欠損、欠測がないAMeDAS(674地点)データを解析

年最大降雨量の時系列

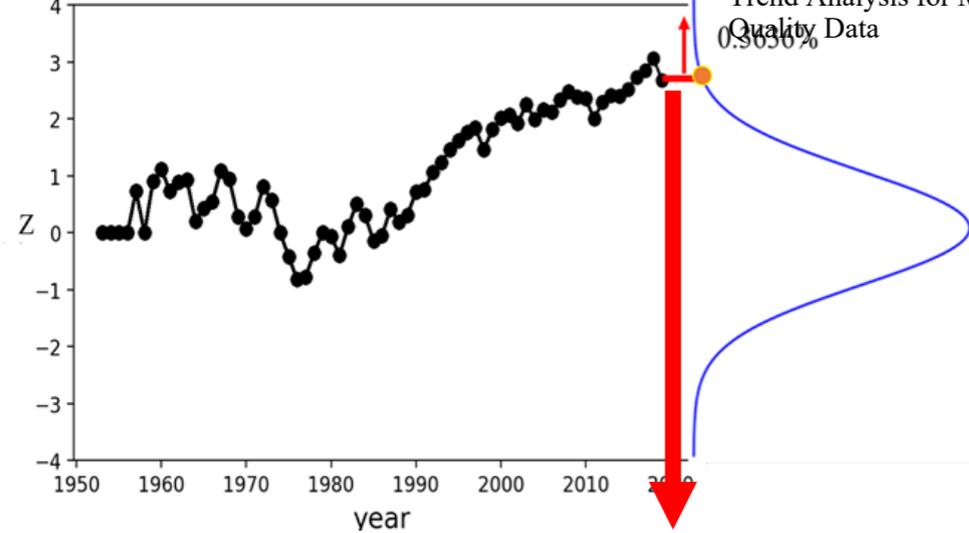


【左図】阿武隈川岩沼基準地点上流域における年最大流域平均雨量

【左下図】阿武隈川岩沼基準地点での統計量Zの時系列

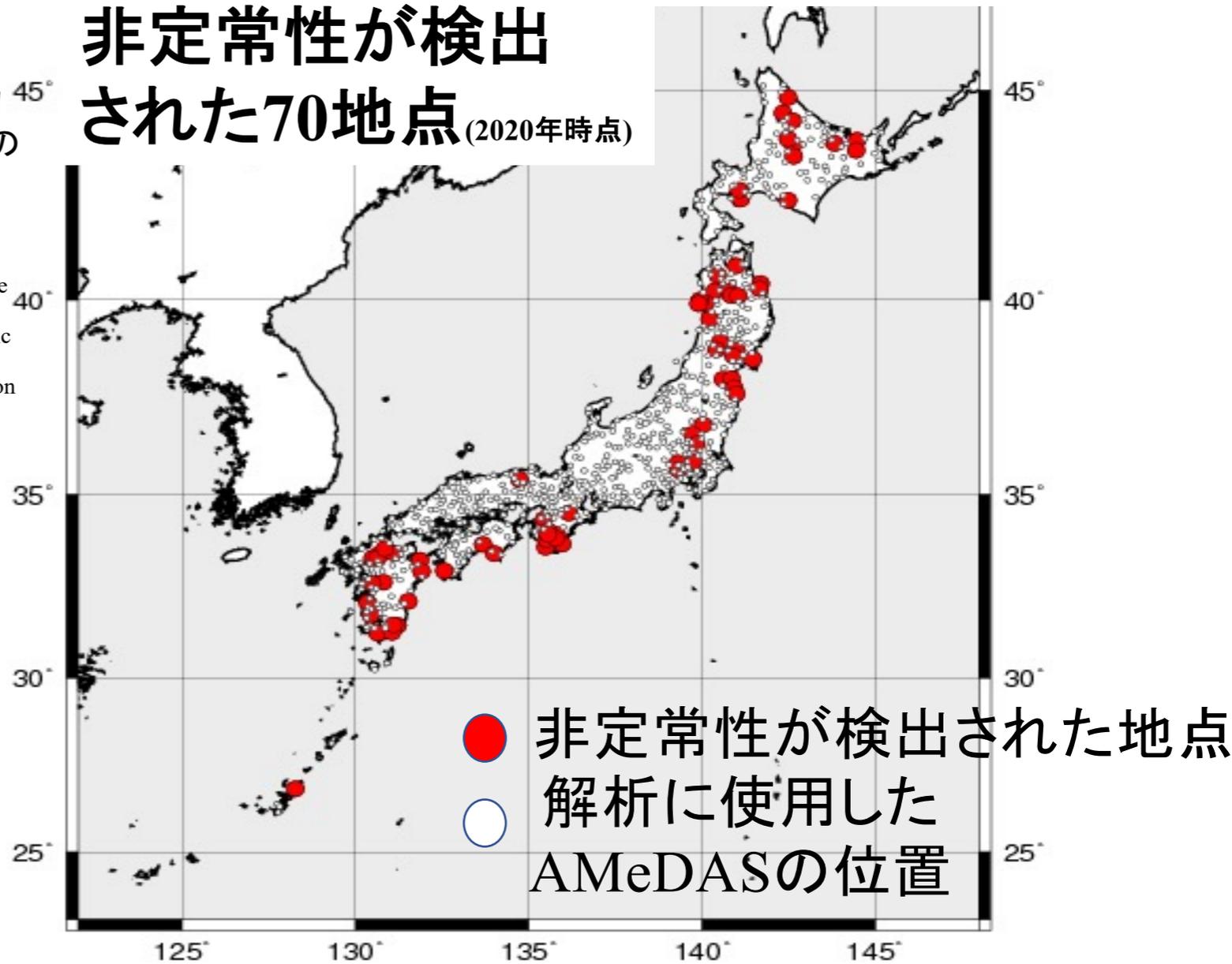
M.G.Kendall(1938), A New Measure of Rank Correlation
Henry.B.Mann(1945), Nonparametric Tests against Trend
M.G.Kendall(1975), Rank Correlation Methods
Hirsch et al.(1982), Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data

検定統計量の時系列



非定常性が検出された時点

有意水準5%で非定常性が検出された70地点(2020年時点)



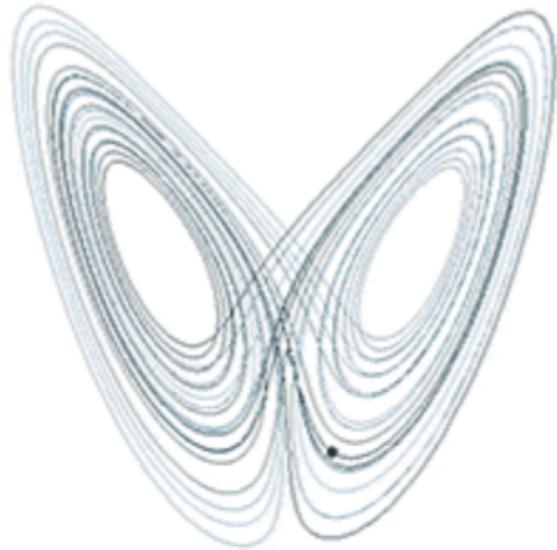
● 非定常性が検出された地点
○ 解析に使用したAMeDASの位置

非定常性を考慮した洪水対策の策定が急務となる。

アンサンブル気候変動予測

物理的に年最大降雨量の揺らぎの幅を求めることが可能か？

気候システムの揺らぎは(過去数十年の観測で発生し得る気象場は概ね経験したのか)? アンサンブル数を増やす試み.



Lorenzアトラクタ (Lorenz, 1969)

(決定論的システム, 各時間の値は予測不可能. ただし, ある範囲の中に存在(有界性))

*気候変動を考慮すると, 有界性の範囲は変動し得る.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -\sigma(x - y) \\ \frac{dy}{dt} = -xy + rx - y \\ \frac{dz}{dt} = xy - bz \end{cases}$$

基礎方程式(球座標系)

運動方程式

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho r \cos \phi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + 2\Omega v \sin \phi + \frac{uv}{r} \tan \phi + \frac{uw}{r} + F_\lambda \\ \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \phi} - 2\Omega u \sin \phi - \frac{u^2}{r} \tan \phi - \frac{uv}{r} + F_\phi \\ \frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial r} - g + 2\Omega u \cos \phi + \frac{u^2}{r} + \frac{v^2}{r} + F_r \end{cases}$$

u : 東西風速, v : 南北風速, w : 鉛直風速, t : 時間, λ : 経度, ϕ : 緯度, r : 鉛直座標,
 ρ : 密度, p : 圧力, Ω : 回転速度, T : 温度, C_p^d : 乾燥空気等の等圧比熱,
 Q^* : 外力と粘性による加熱, F : 粘性項と外力項の和

連続式

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} + \frac{1}{r \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} (u) + \frac{1}{r \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\cos \phi v) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 w) = 0$$

熱力学式 $\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_p^d \rho} \frac{dp}{dt} + \frac{Q^*}{C_p^d}$

水蒸気保存則 $\frac{dq}{dt} = S_q$

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{u}{r \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} + \frac{v}{r} \frac{\partial}{\partial \phi} + w \frac{\partial}{\partial r}$$

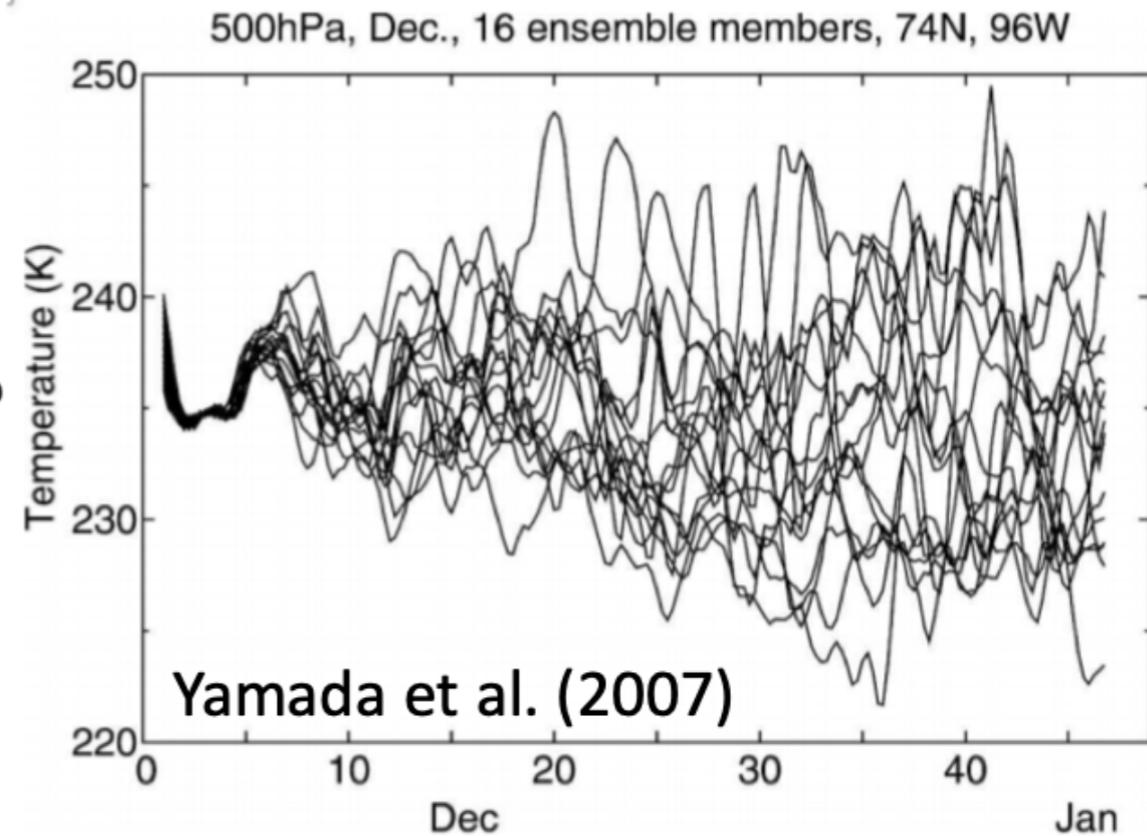


FIG. 13. Time series of 16 EMs of temperature at 500-hPa height over a grid cell in December (74°N, 96°W).

全球気候モデルにおいて, 単一の初期値から開始される数十年間程度の計算では発生し得る極端現象は限られている.

気候モデルとは

初期条件・境界条件を与えて時間発展を解くモデル

河川の流れの解析もこれに該当

基礎方程式

Momentum equation (運動方程式)

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = DIF.u$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = DIF.v$$

$$\frac{dw}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g = DIF.w$$

DIF. is diffusion term

Continuity equation (連続の式)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$

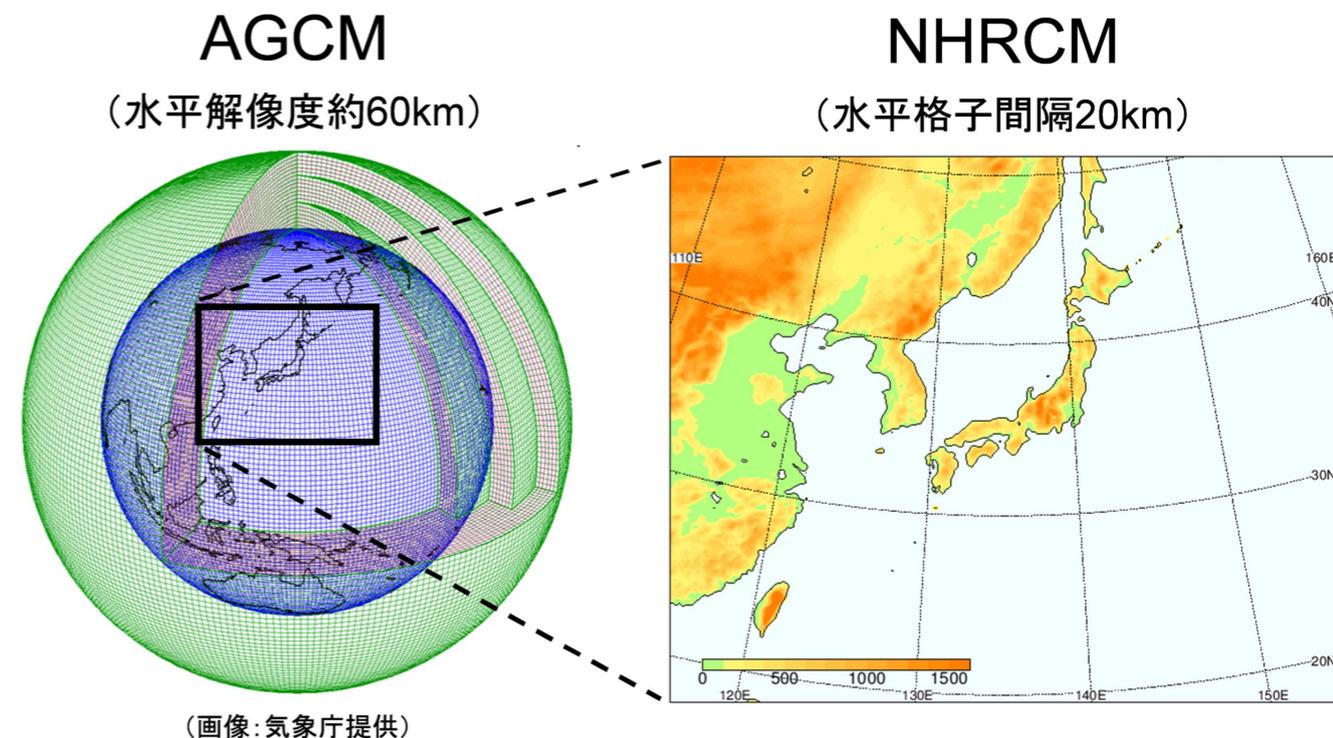
Thermodynamic equation (熱力学方程式)

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{C_p \pi} + DIF.\theta \quad \pi = \frac{T}{\theta} = \frac{P}{P_0} \frac{R_d}{C_p}$$

State equation (状態方程式)

$$P = \rho R T$$

ではなぜアンサンブルという考え方が必要か？

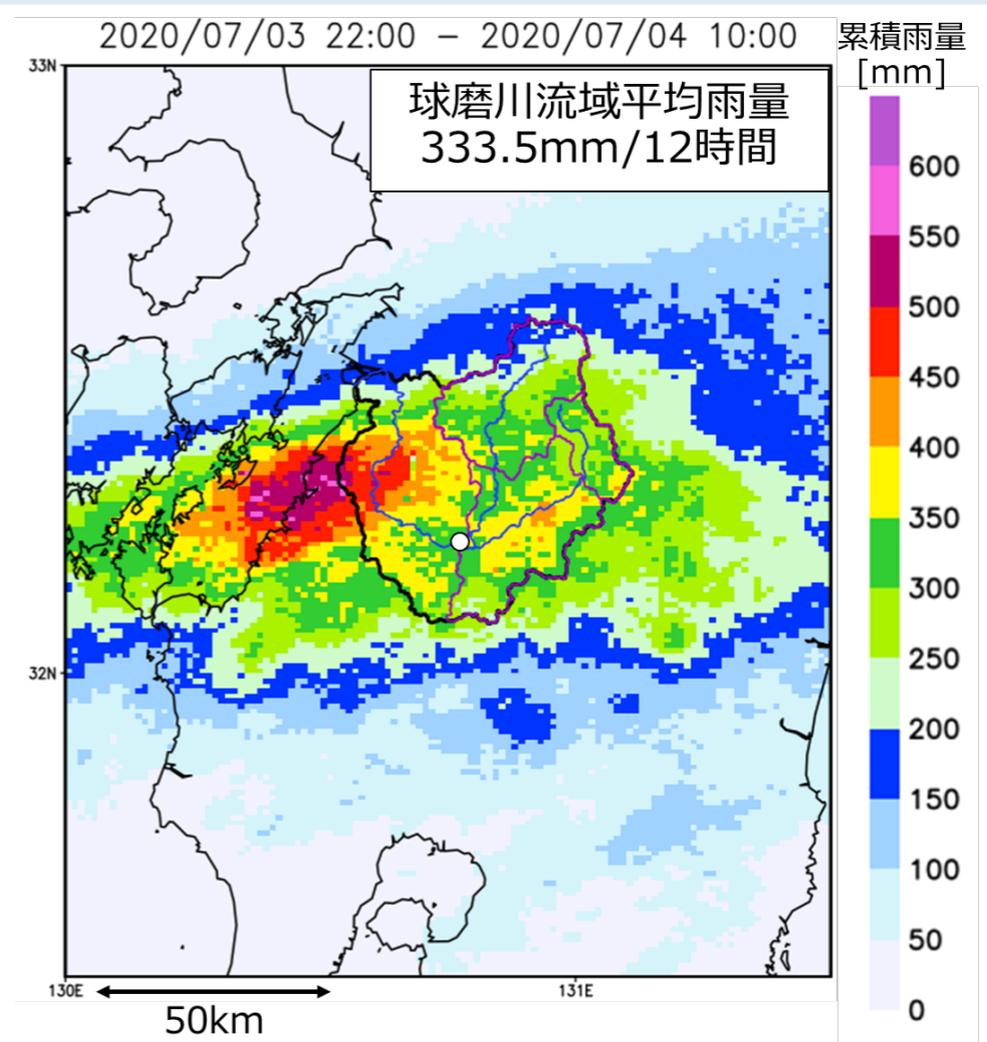
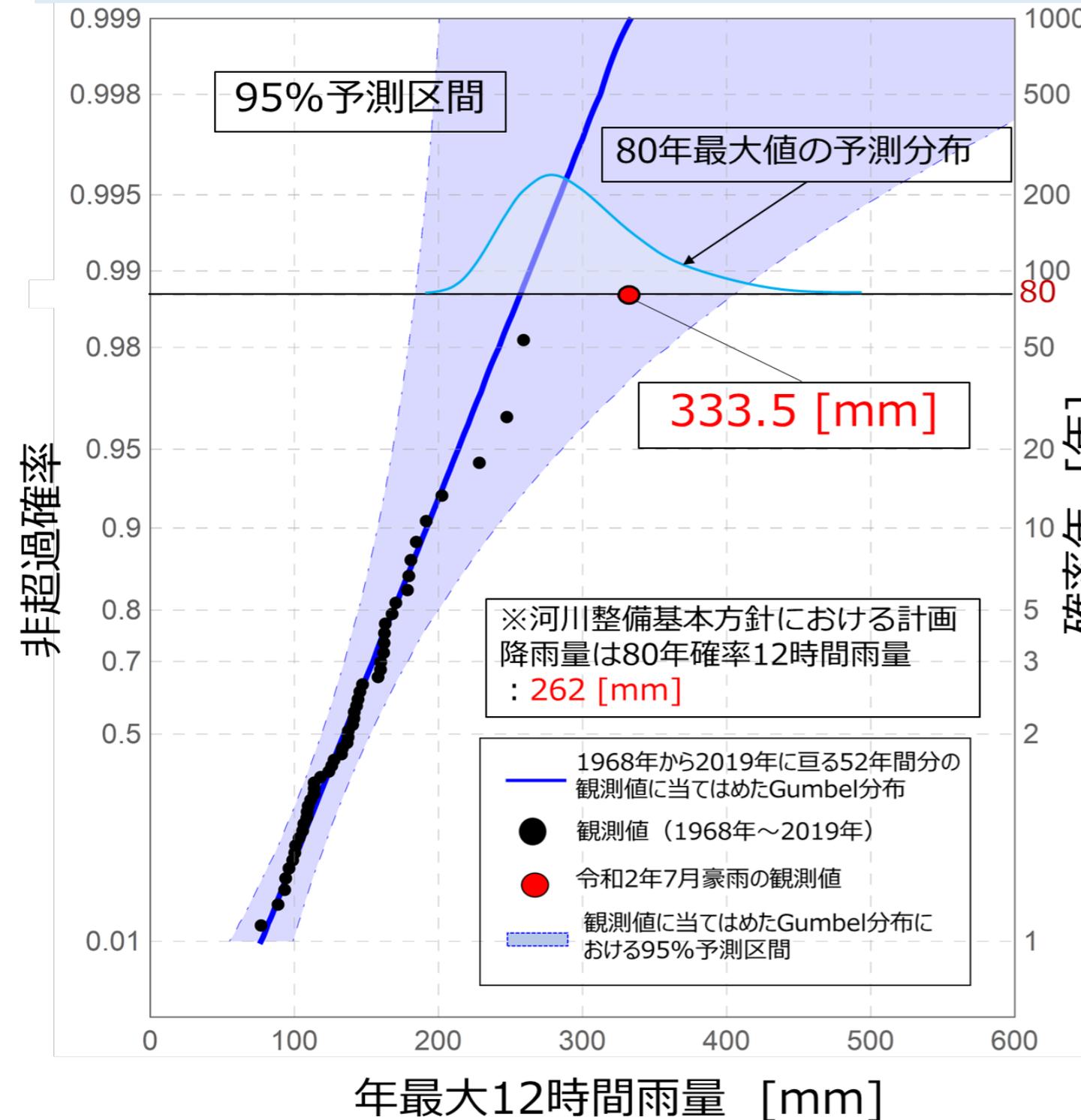


u, v, w : velocity components
 P : pressure
 ρ : density
 T : temperature
 g : gravity constant
 θ : potential temperature
 Q : diabatic heating
 C_p : specific heat of dry air at constant pressure
 R : gas constant



現況の河川整備で設定されている降雨量は確率論でいう期待値(平均値)であり、**想定以上の雨が降る確率は常に存在する。**

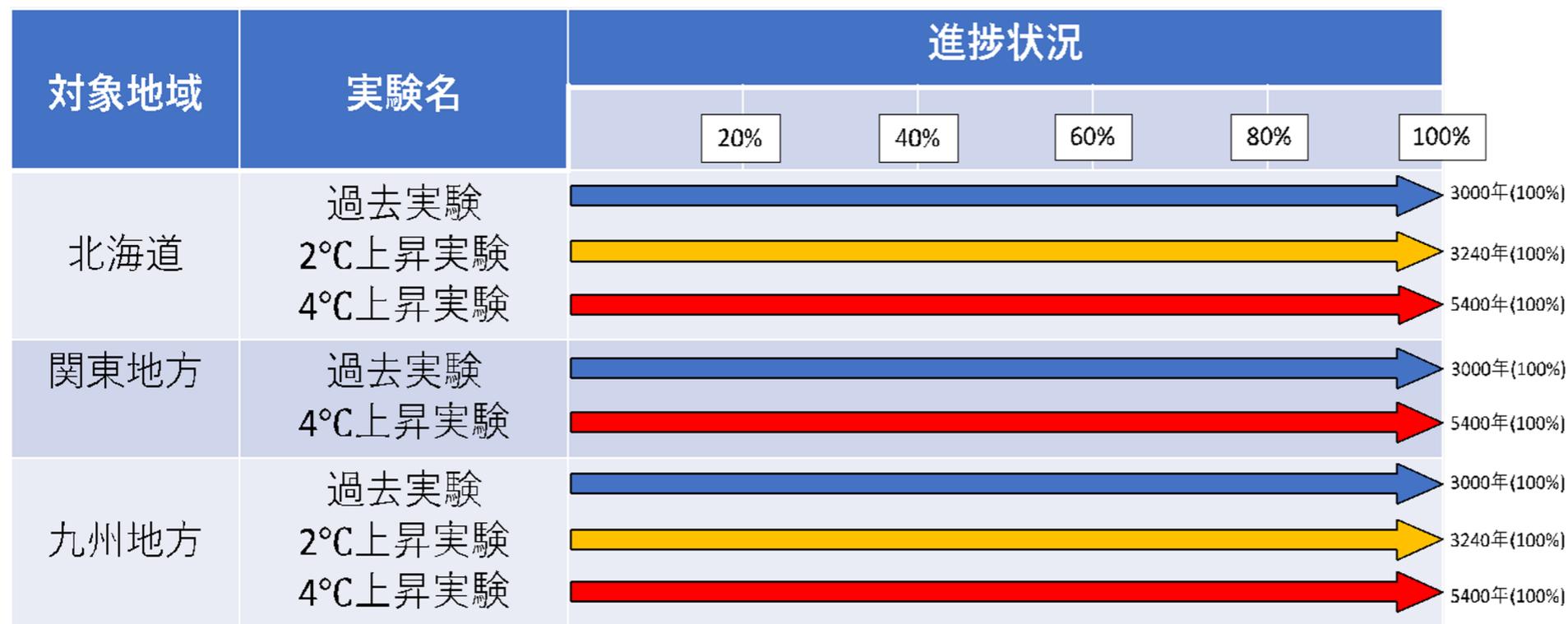
⇒分布の幅を想定されるリスクとして治水対策に組み込みつつ、気候モデルによる将来予測結果を導入することで、気候変動に伴う洪水リスクが評価可能に。



計画確率年(80年確率)で発生しうる雨量の幅は統計理論により予測可能。
従来では“想定外”として扱われる豪雨の規模やその生起リスクが推定可能となる。

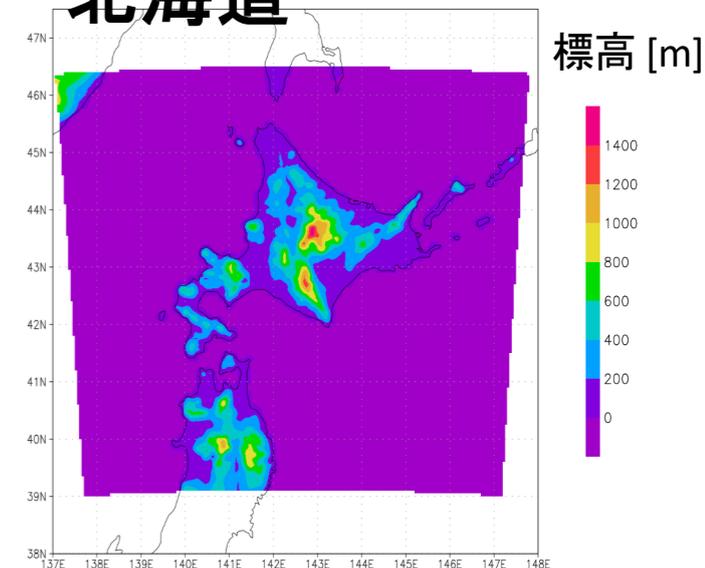
5kmスケールの力学的ダウンスケールの現状

5kmDDS進捗状況 (年最大降雨イベント(20km)を含む15日間)

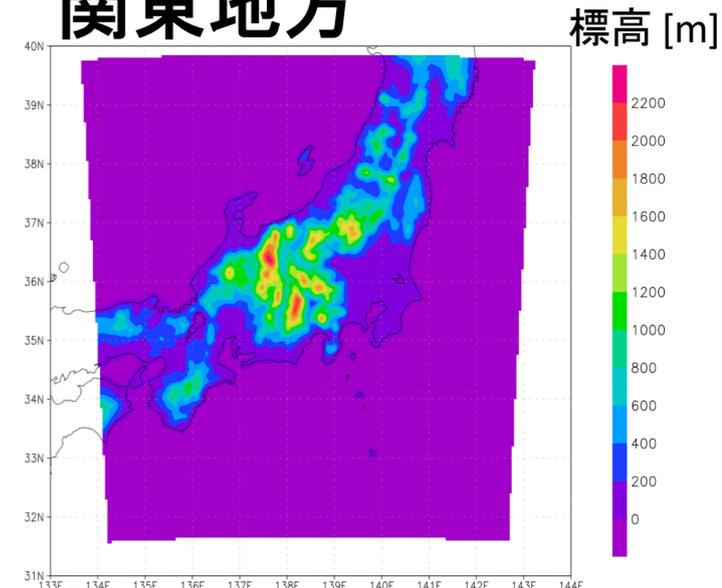


DDS対象領域

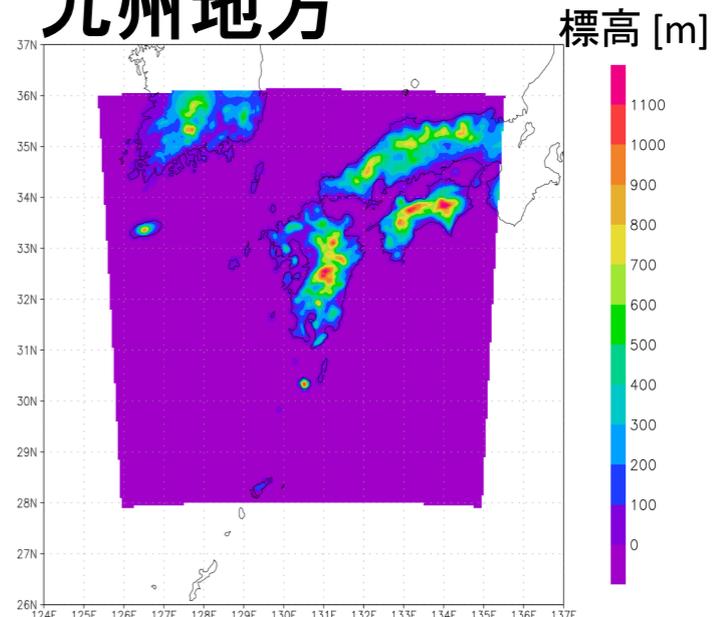
北海道



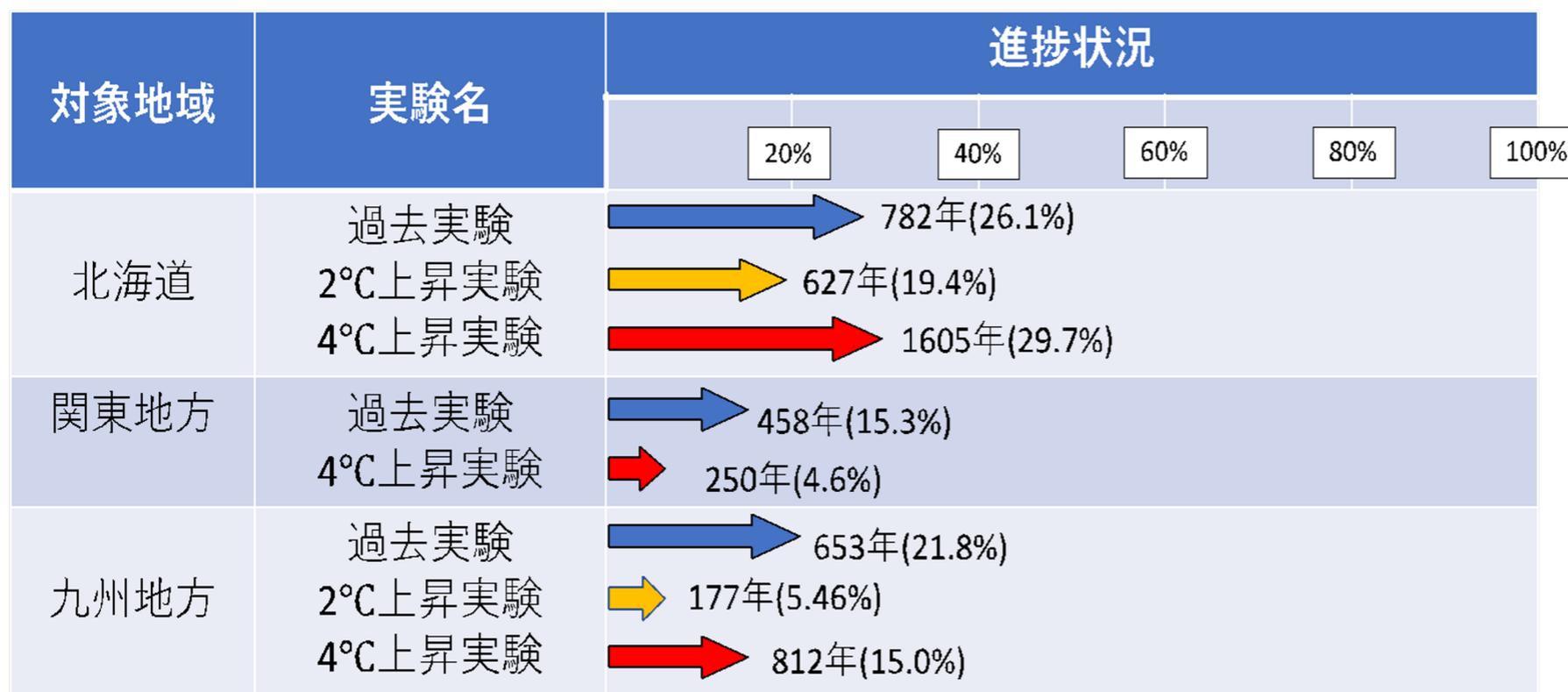
関東地方

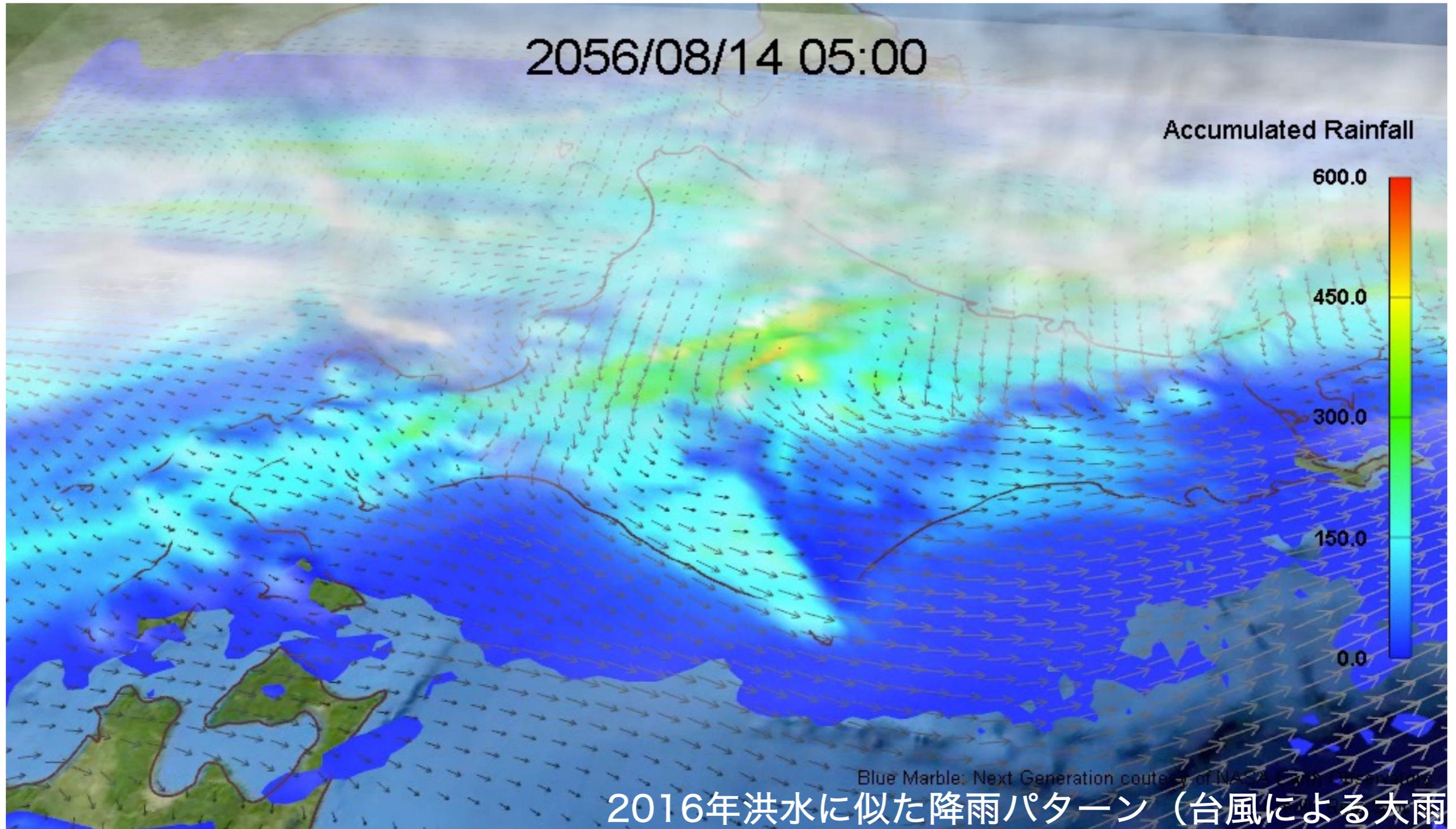


九州地方



5kmDDS進捗状況 (通年)



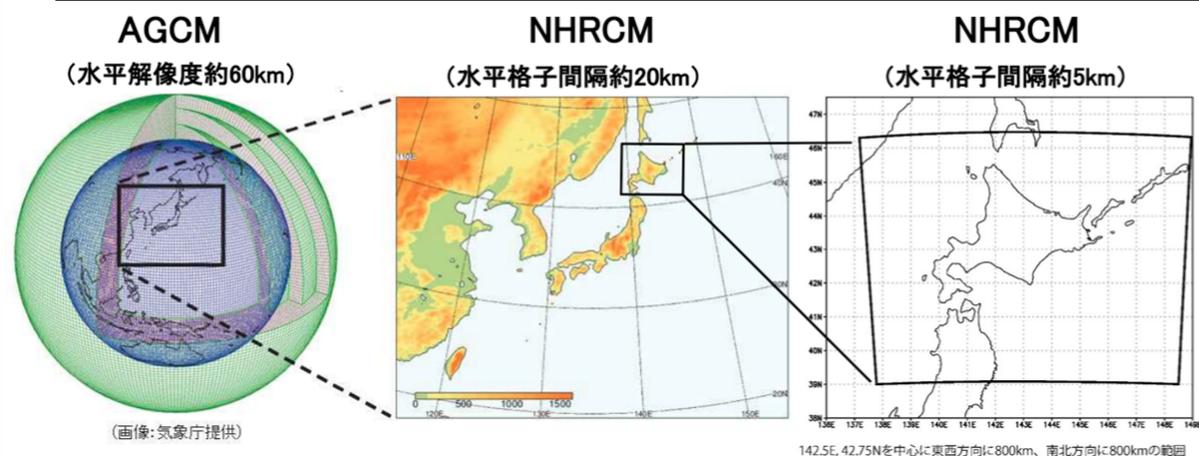


最新の気候モデル計算により、時間的・空間的に細かい気候変動予測が実施可能となった。その成果は、気候変動を踏まえた治水計画に活用されている※。

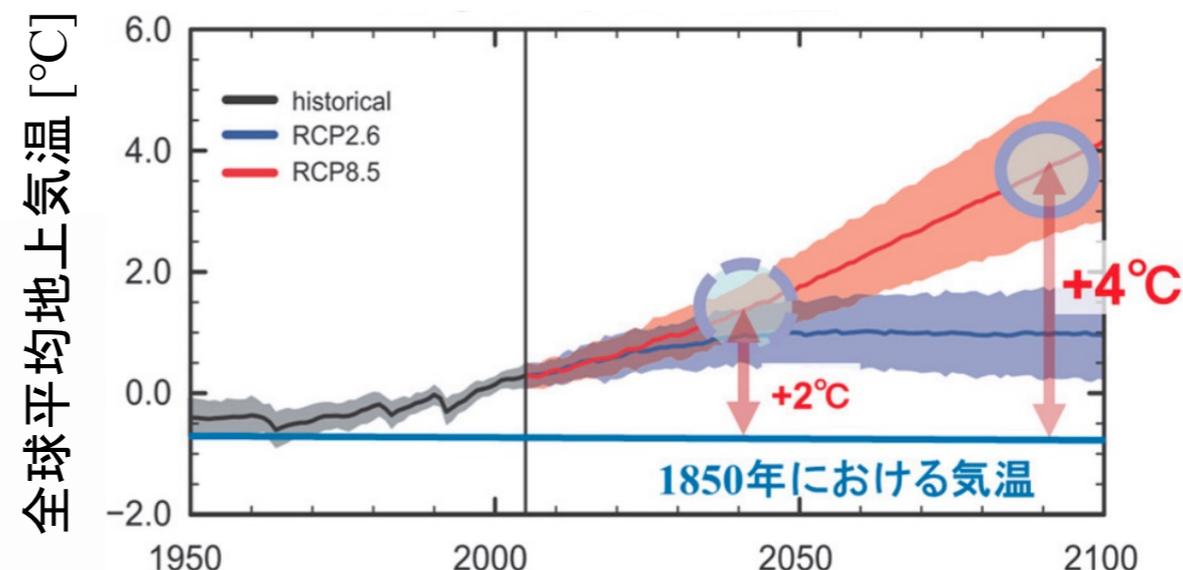
※北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会
気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

過去・将来数千年間分に亘るアンサンブル気候実験により、
将来の豪雨災害リスクが分布として評価可能になる。

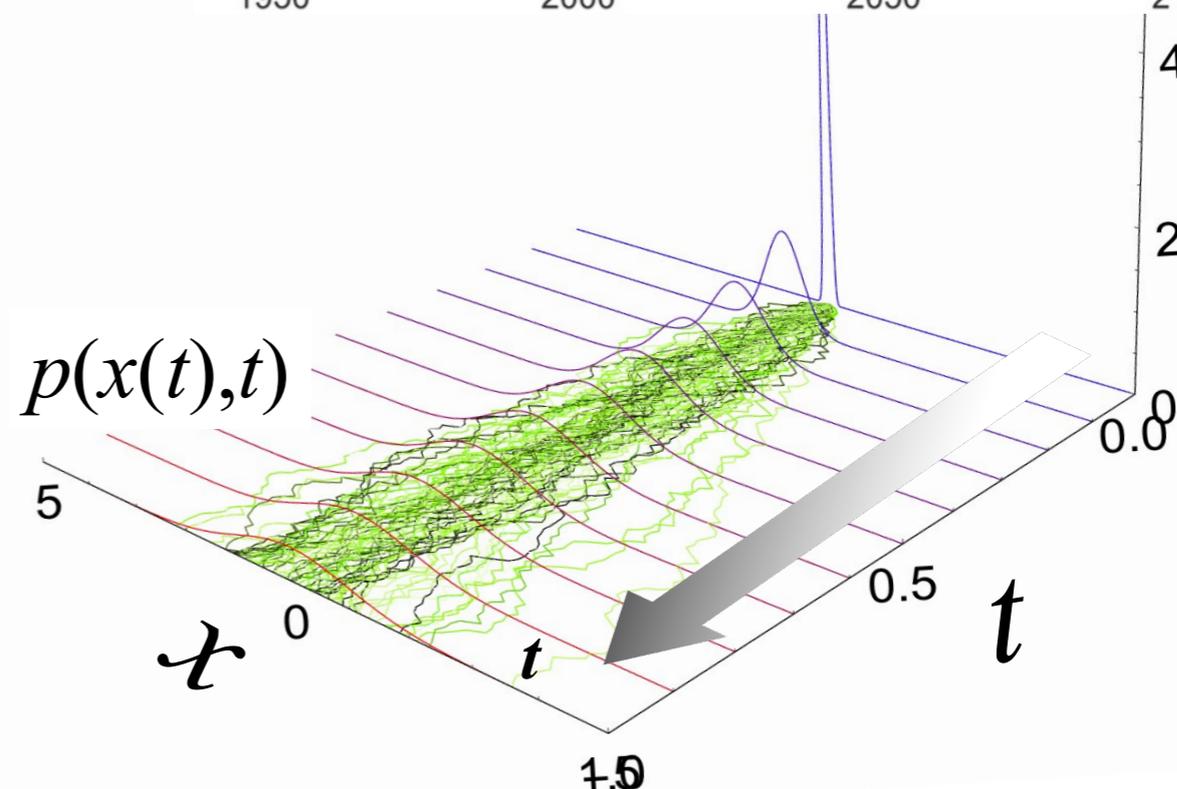
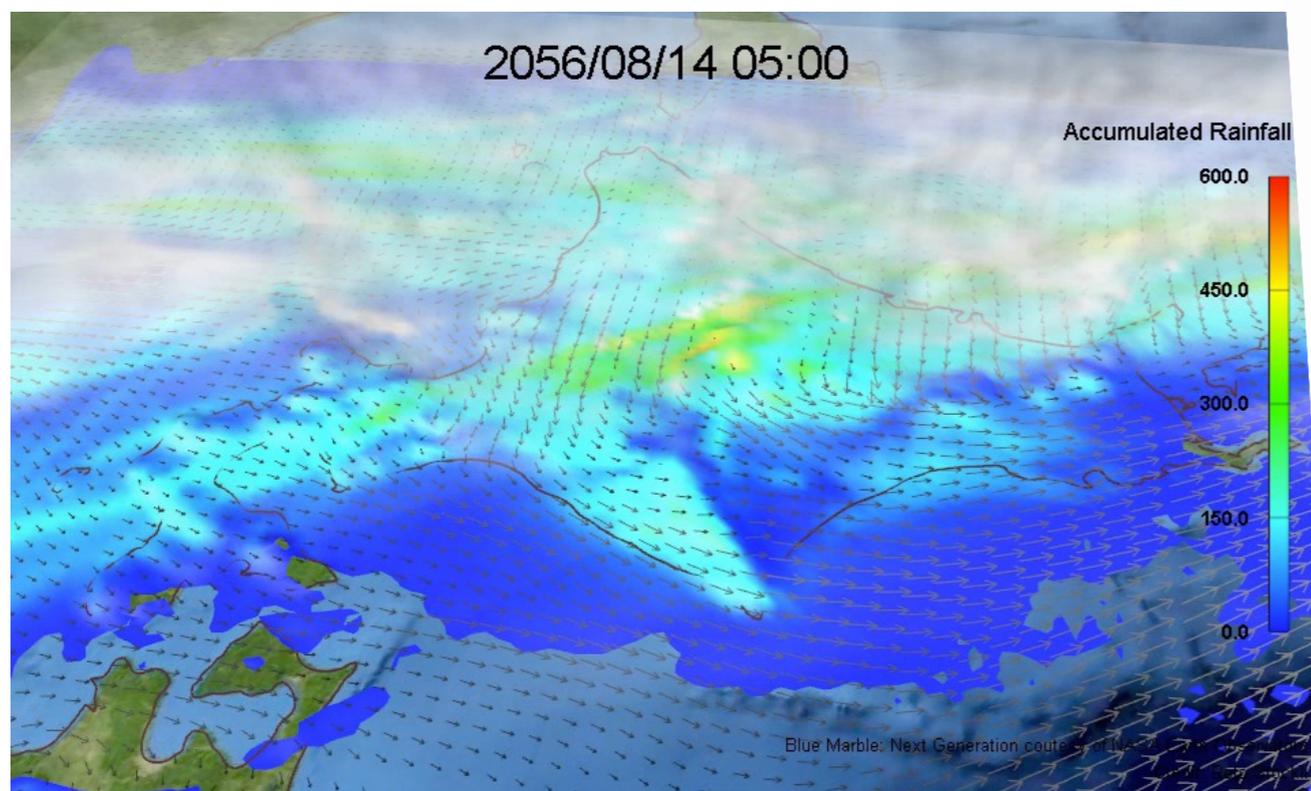
力学的ダウンスケーリングの実験デザイン



対象とする気候変動シナリオ



将来予測される豪雨パターンの一例

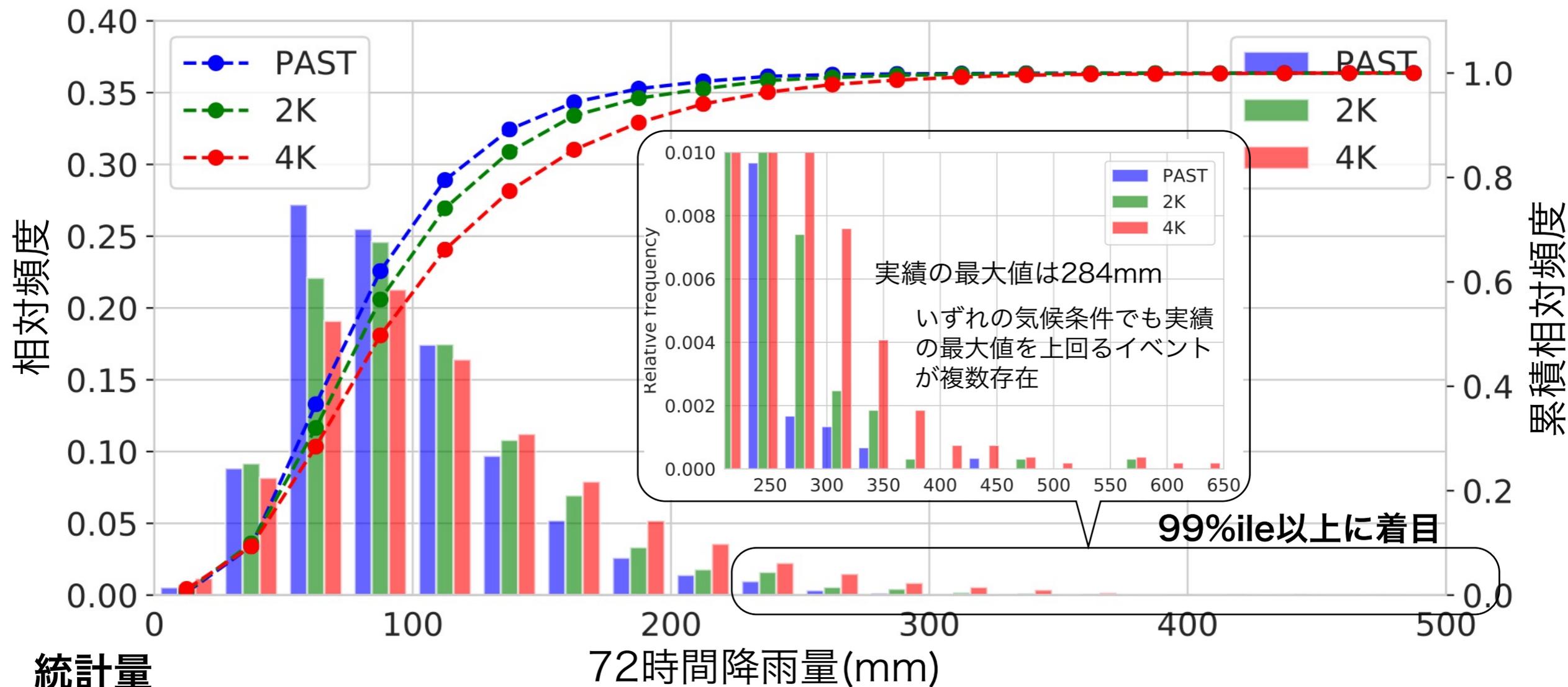


アンサンブル実験による確率分布の評価の概念図

十勝川帯広基準地点集水域

5kmDSの降水量での比較

過去実験は3000イベント、2°C上昇実験は3240イベント、4°C上昇実験は5400イベントが対象



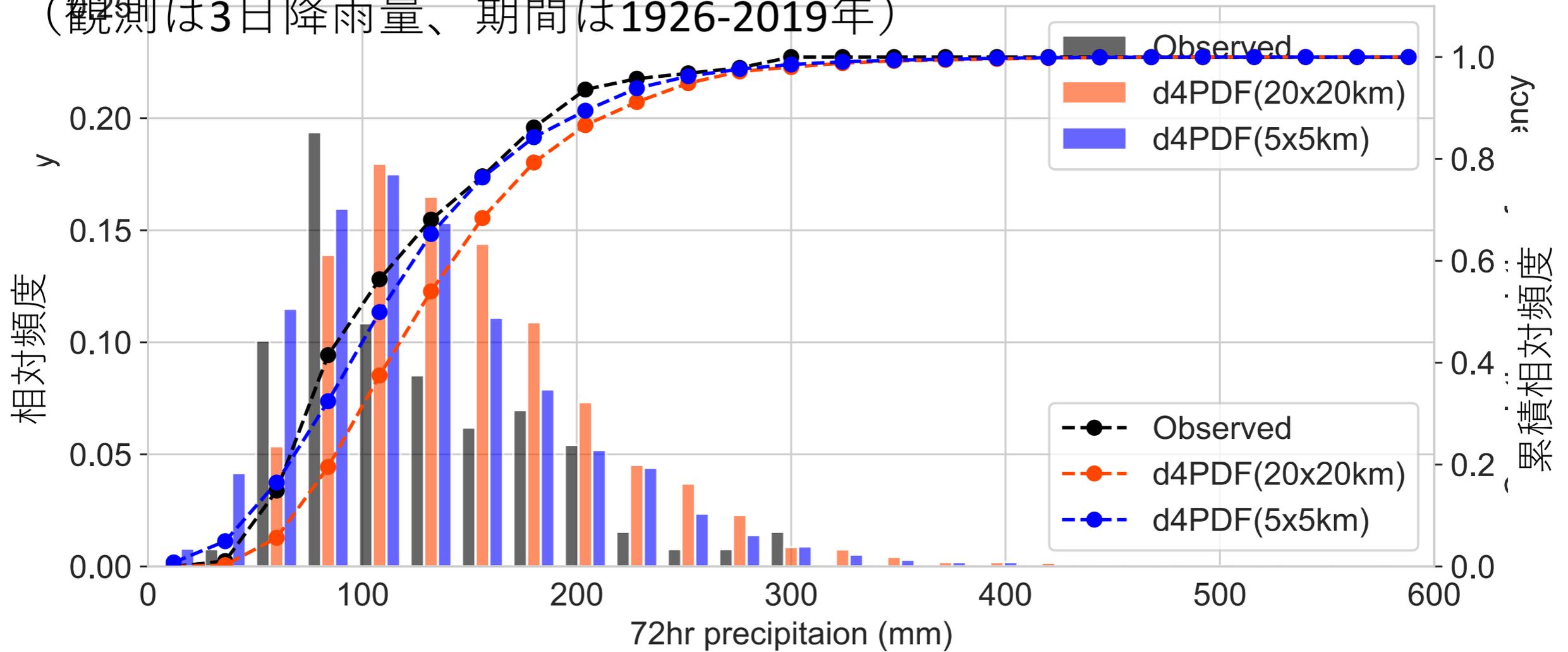
統計量

	過去実験	2°C上昇実験	4°C上昇実験	倍率 (2°C上昇/過去)	倍率 (4°C上昇/過去)
平均値(mm)	95.9	102.8	114.7	1.07	1.20
最大値(mm)	435.1	553.5	645.5	1.27	1.48
99%ile値(mm)	235.8	268.4	317.1	1.14	1.34
95%ile値(mm)	178.2	198.2	233.1	1.11	1.31

温暖化の進行に応じて計画規模の降雨量は増大

利根川流域の年最大降雨量の頻度分布

利根川八斗島基準地点流域での72時間降雨量
 (観測は3日降雨量、期間は1926-2019年)



72時間降雨量 (mm)

想定最大規模降雨: 491 mm/72hr

	観測値 (1926-2019)	20km解像度	5km解像度
平均値	126.8 mm	148.7 mm	131.2 mm
90パーセンタイル値	209.1 mm	232.8 mm	217.2 mm
95パーセンタイル値	226.5 mm	265.0 mm	249.6 mm
99パーセンタイル値	308.4 mm	343.0 mm	332.4 mm
最大値	308.6 mm (1947年 カスリーン台風)	520.4 mm	497.9 mm

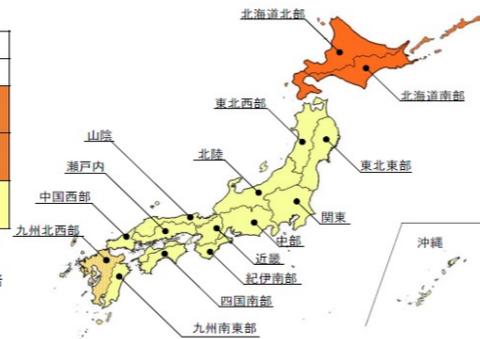
*1.1倍, 1.15倍というのは予測の中の中央値的なもの

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。

<地域区分毎の降雨量変化倍率>

地域区分	2℃上昇	4℃上昇	
		標準	短時間
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時間未満のことで3時間未満の降雨に対しては適用できない
- ※ 流域面積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)

2℃上昇, 4℃上昇下における降水量の増加率は、気温上昇に対する飽和水蒸気圧の変化(Clausius-Clapeyron 関係), つまり熱力学的効果で説明される範疇であり、これはモデルではなく物理・化学における理論そのもの。

一連の議論の妥当性を保証するものである。

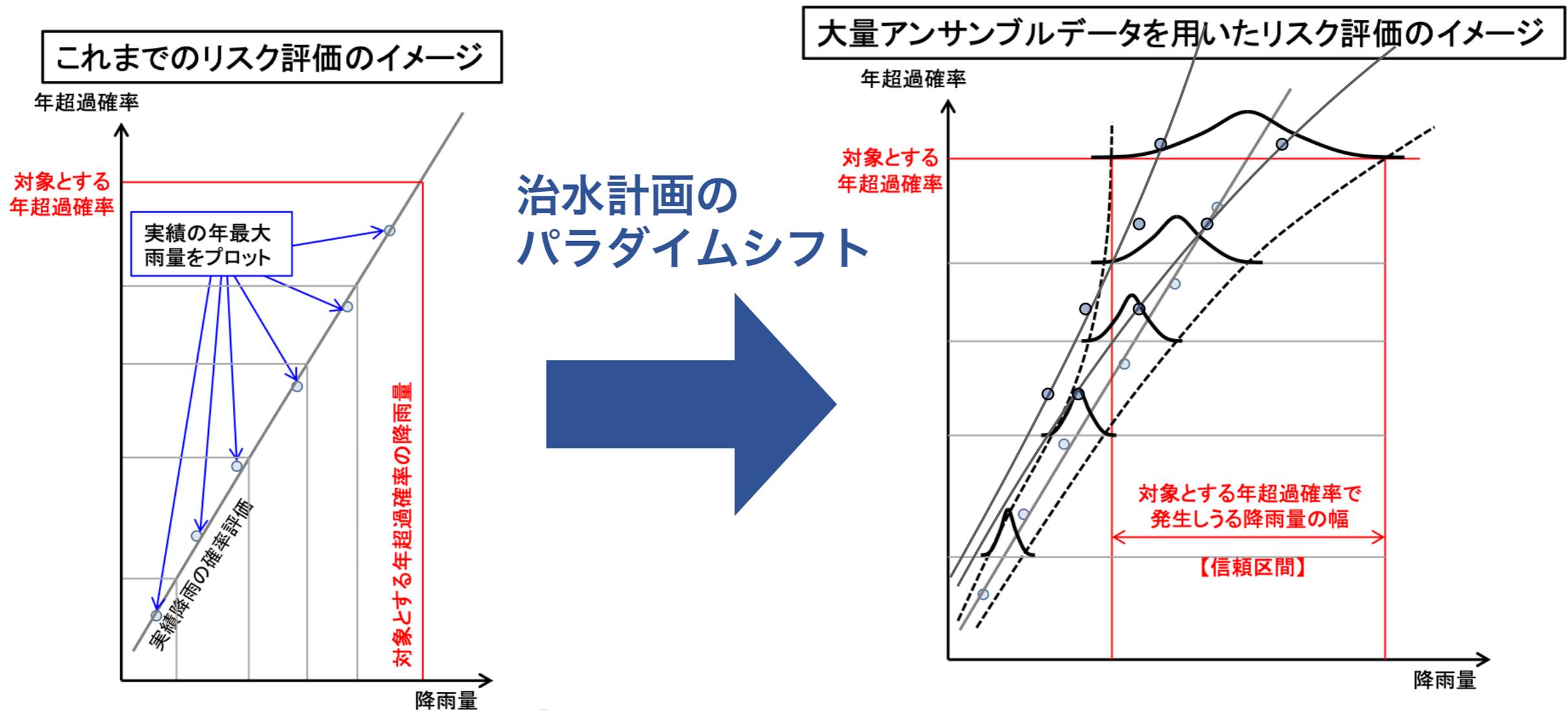
一方、降雨パターン(時空間)や気象要因の特定には、**物理(気候・気象)モデルが不可欠。**

気候システムの自由度を考慮した確率雨量の評価38

従来の評価方法 過去の大雨事例(※1つの歴史)に基づき算出

大量アンサンブルデータを用いた評価方法

気候モデルにより予測した大雨事例(※複数の歴史の存在を仮定)に基づき算出⇒過去存在し得た豪雨を踏まえた、洪水リスク評価が可能に。



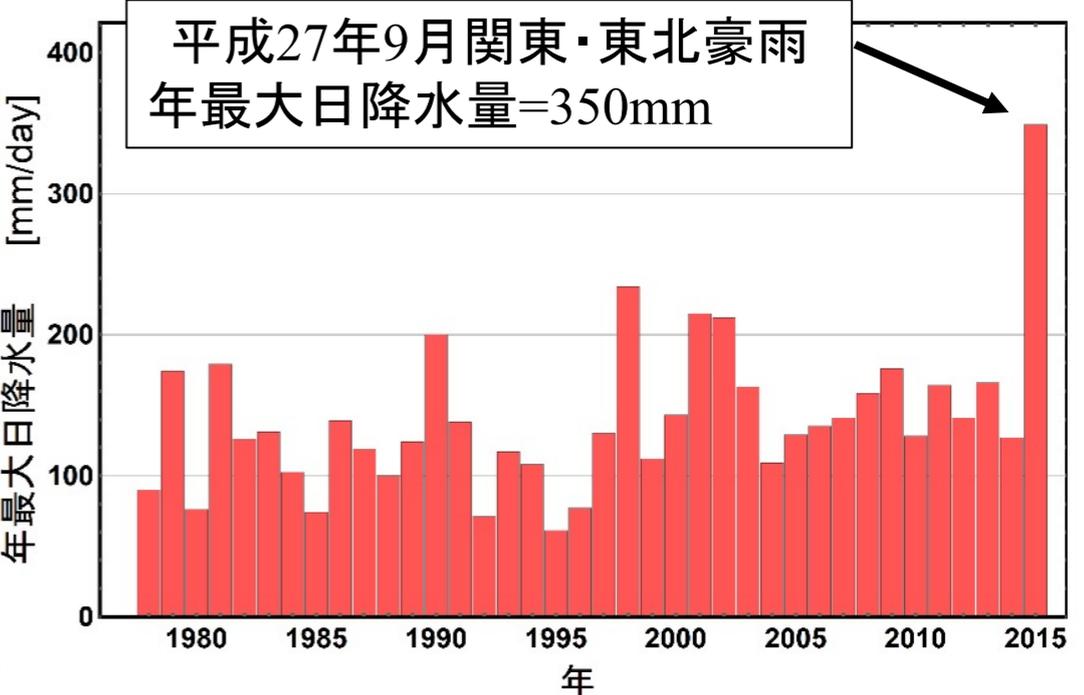
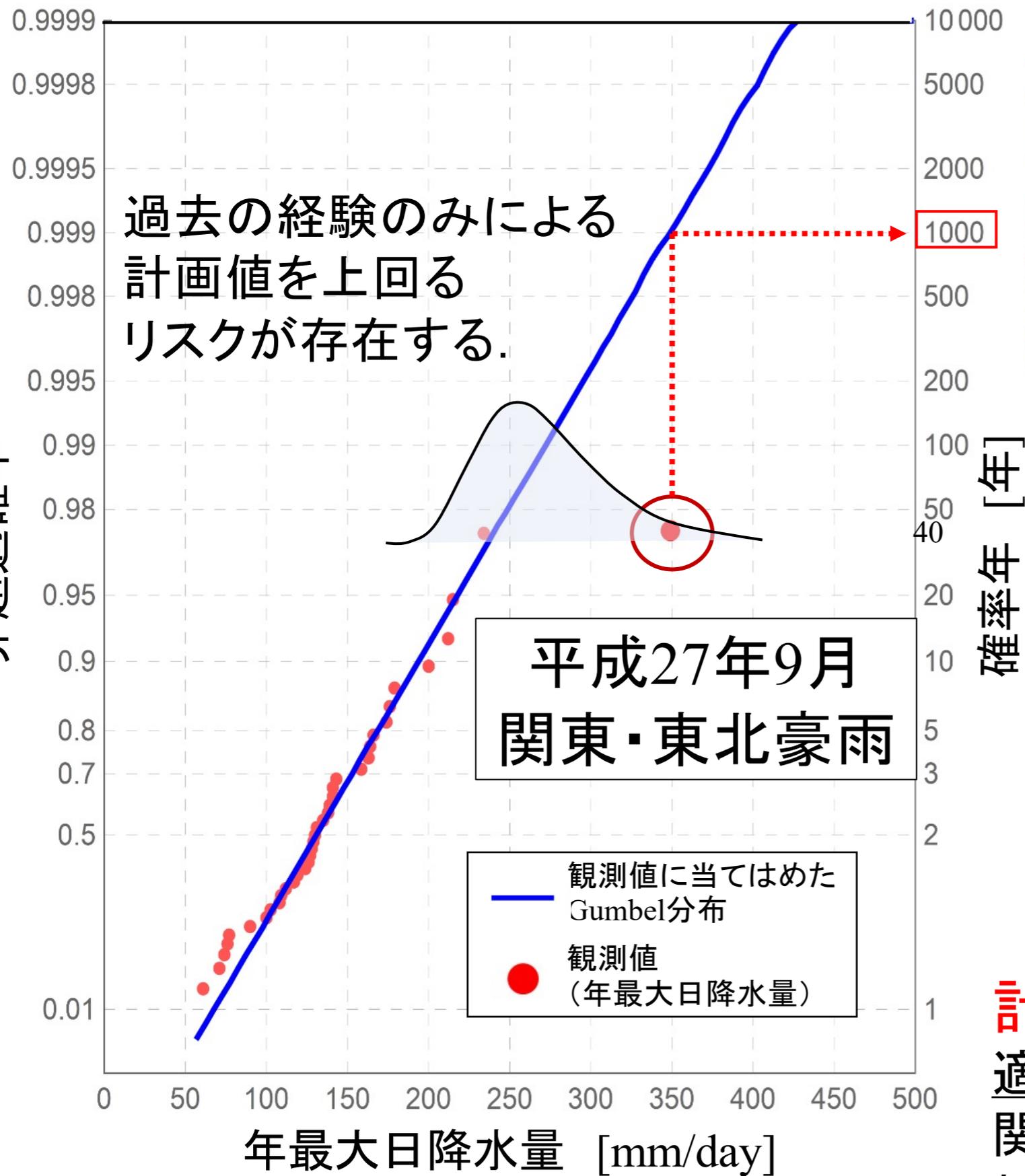


図 利根川水系五十里観測所における1957年から2015年に渡る38年間分の年最大日降水量の観測値時系列

従来の水文頻度解析では、**記録的豪雨の確率年は、数千年～数万年となる**場合が多い。

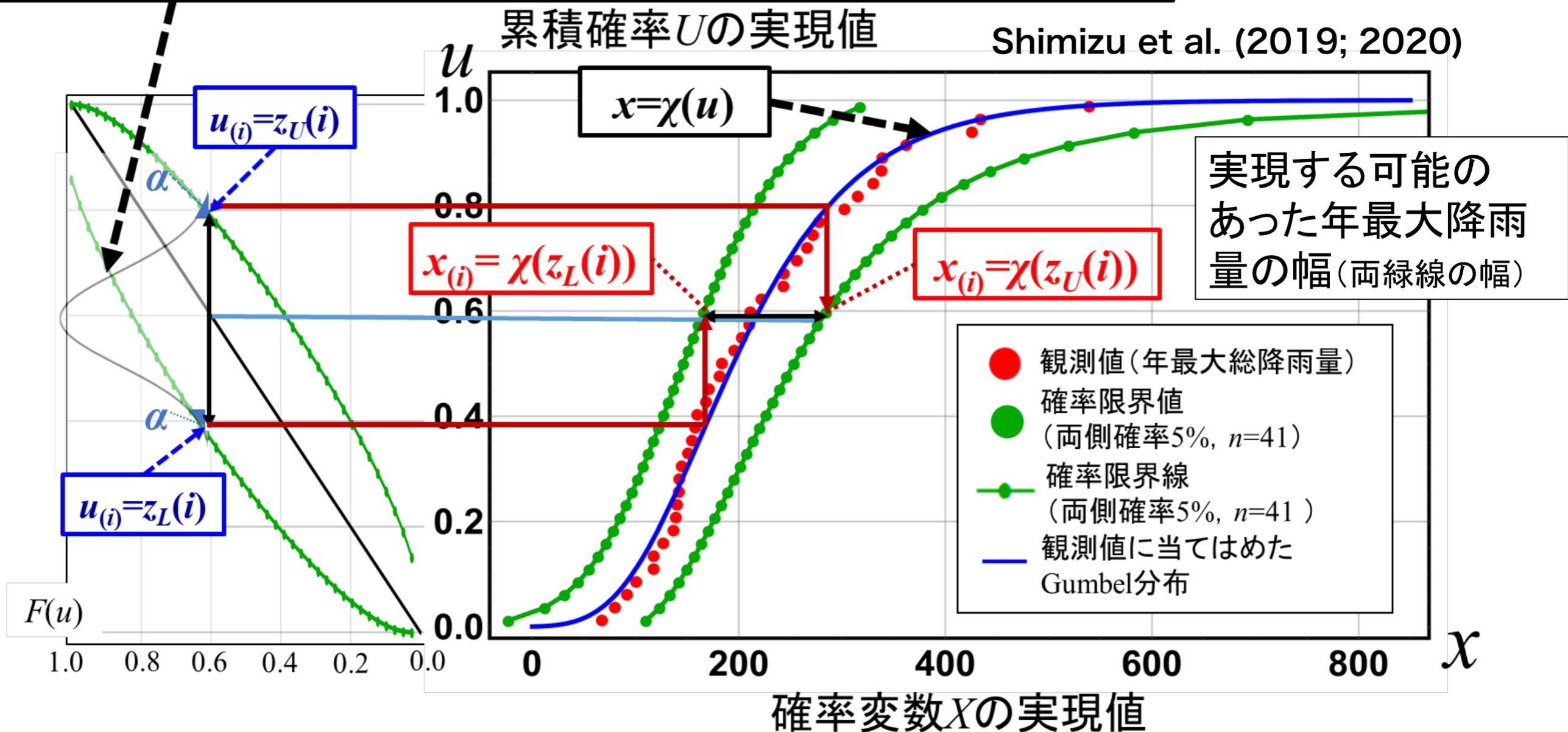


計画確率年による評価が困難
 適合度重視の従来手法の下では、
 関東・東北豪雨は、“想定外”として扱われる。

森口 (1995) はKolmogorov-Smirnov検定の裾野での検定力の低さを改善させた理論として確率限界法検定の理論を構築した。

K-S検定の検定統計量(観測と仮定分布の累積確率の差)の累積確率分布は、その実現値が一般分布における順序統計量を越えない確率であり、解析的に導出される。確率限界法では、ある順位の累積確率(年最大降雨量の“発生確率”)がベータ分布に数学上従うことを取り入れ、検定力を高めた。

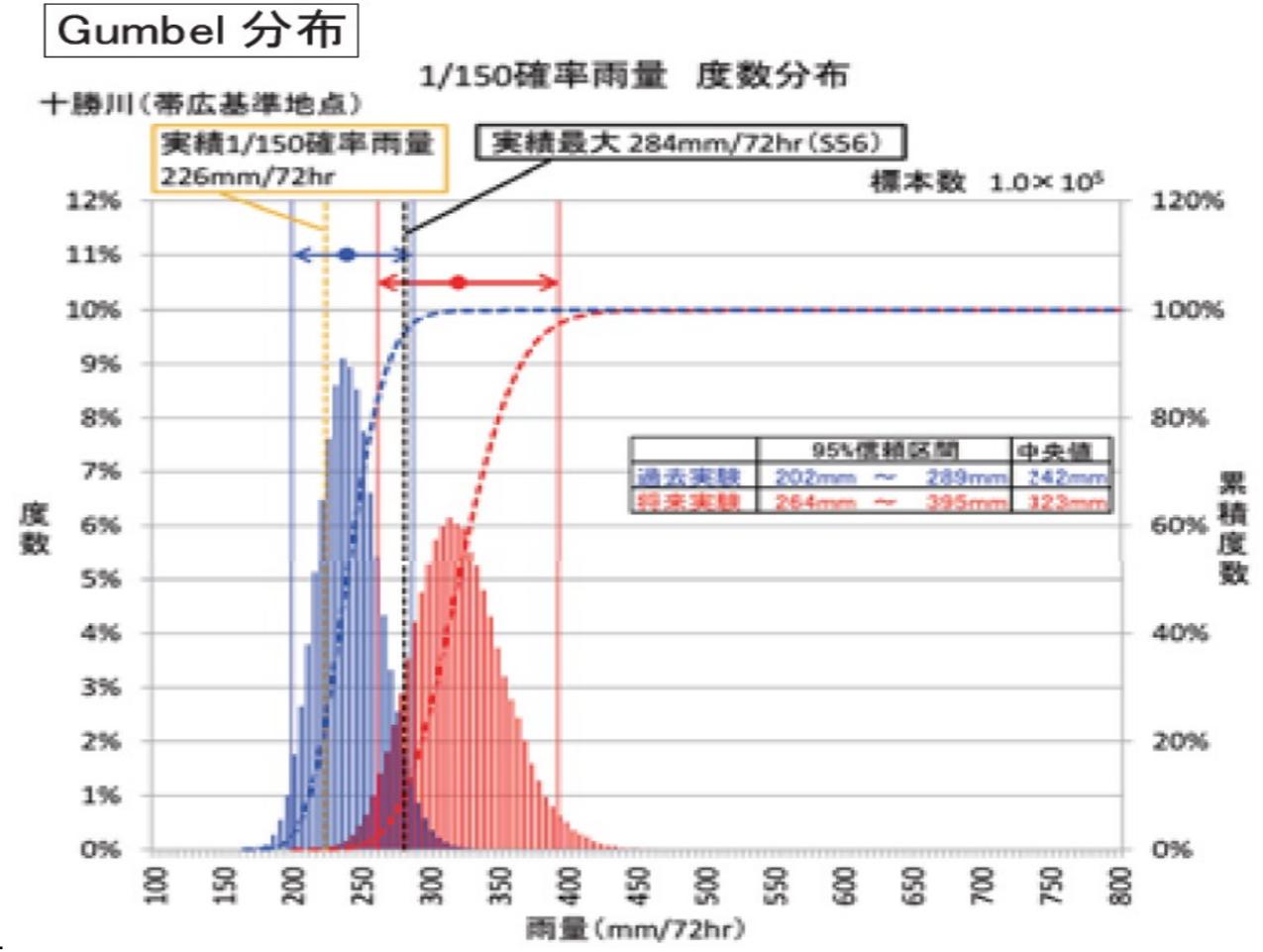
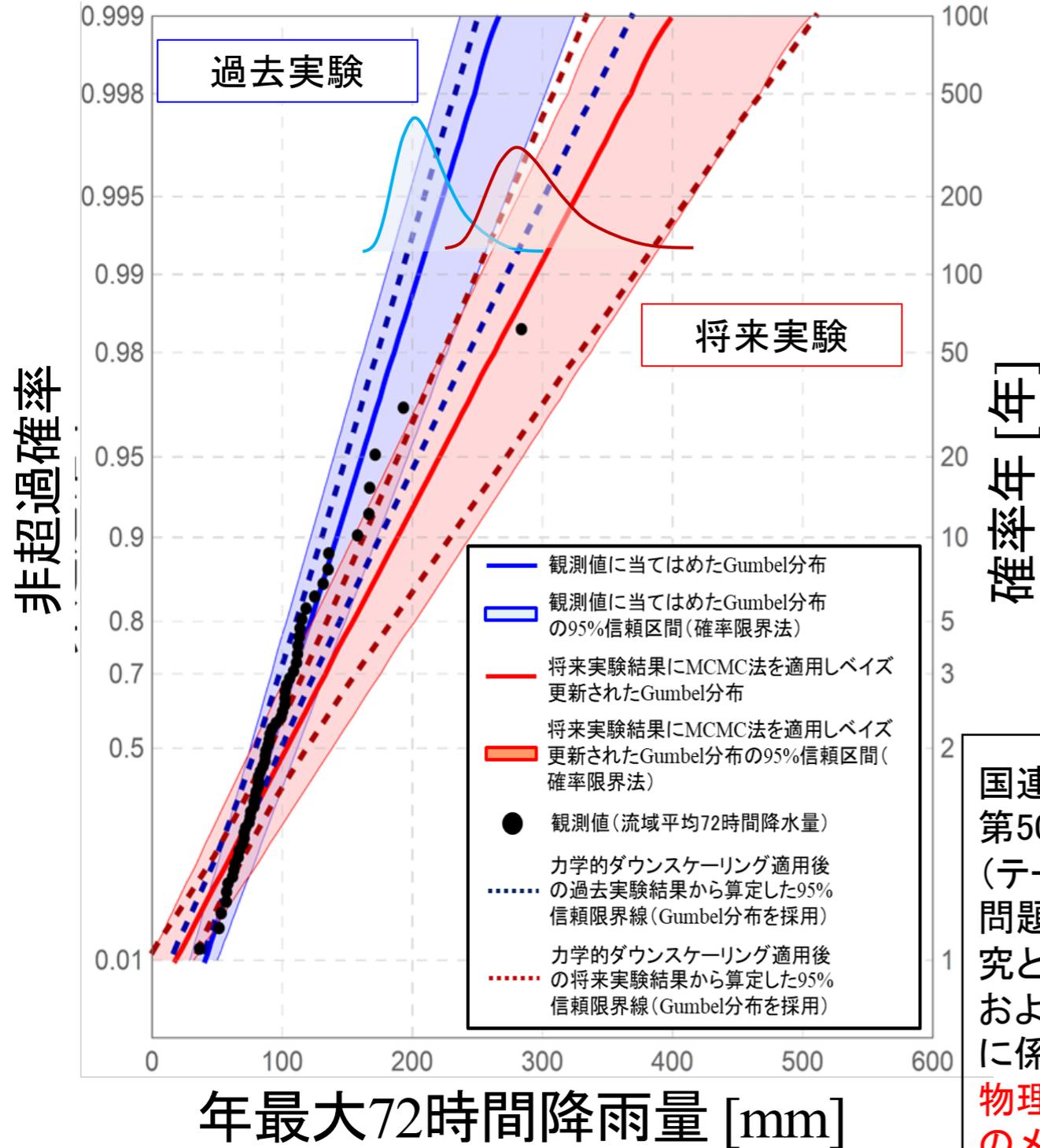
第*i*順序統計量 $U(i)$ の確率分布=母数 $(i, n-i+1)$ のベータ分布



物理学と統計学の両輪での統合的予測⁴¹

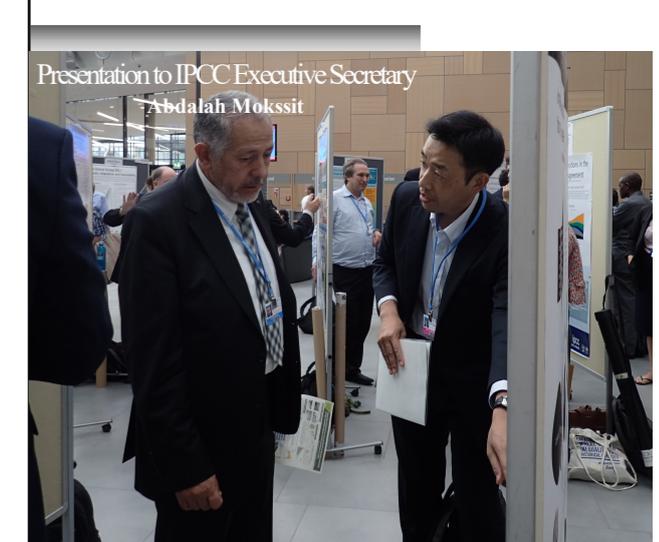
力学的予測結果は、理論により導かれる統計的閾値と整合する。本検討の数理的妥当性が理論の観点から示された。

十勝川帯広基準地点流域



国連気候変動枠組条約
第50回補助機関会合(SB50)
(テーマ; 防災, 世界経済, 少数民族問題, 飢餓問題)にて, 代表的防災研究として, 著者らの気候変動予測研究およびその成果を踏まえた治水計画に係る検討内容を紹介した。

物理・統計的結果の両輪が不可欠とのメッセージが広く支持を集めた。



過去実験、4°C上昇実験の降雨量の比較

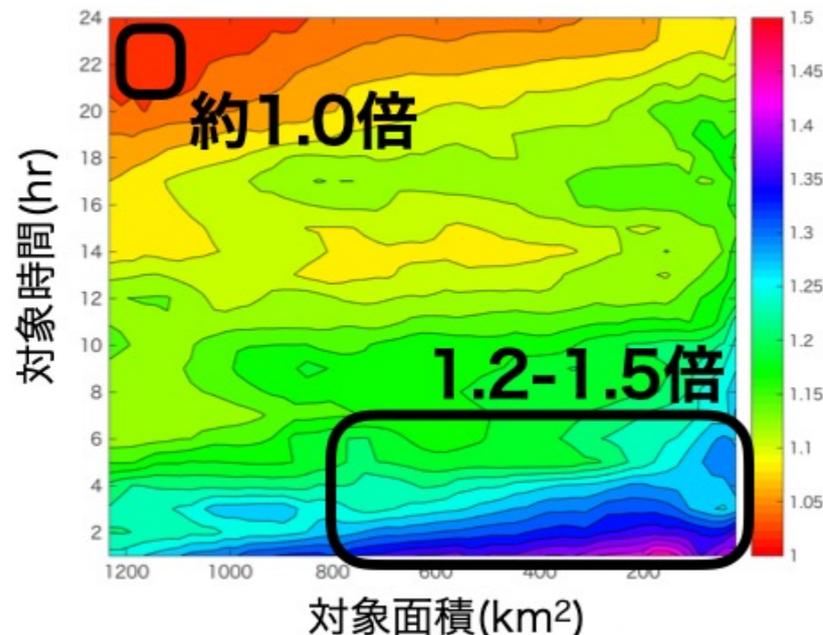
- 計画降雨継続時間における流域平均降雨量 (99%ile値)

	過去実験	4°C上昇実験	倍率
十勝川(72時間)	235.8	317.1	1.34
常呂川(24時間)	156.3	217.6	1.39
石狩川(72時間)	196.1	228.4	1.16
筑後川(48時間)	379.0	511.9	1.35

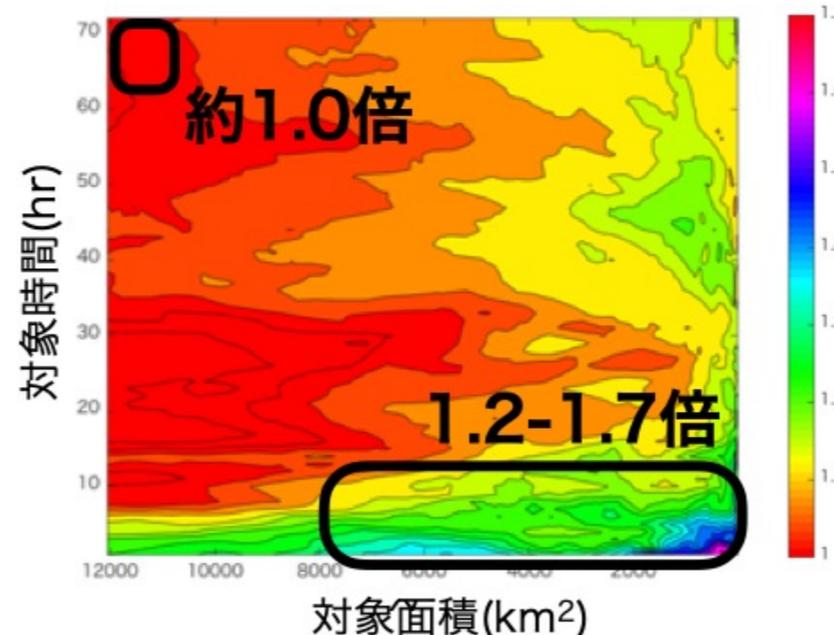
(mm) (mm)

降雨の時空間特性の比較 (過去実験、4°C上昇実験間での倍率)

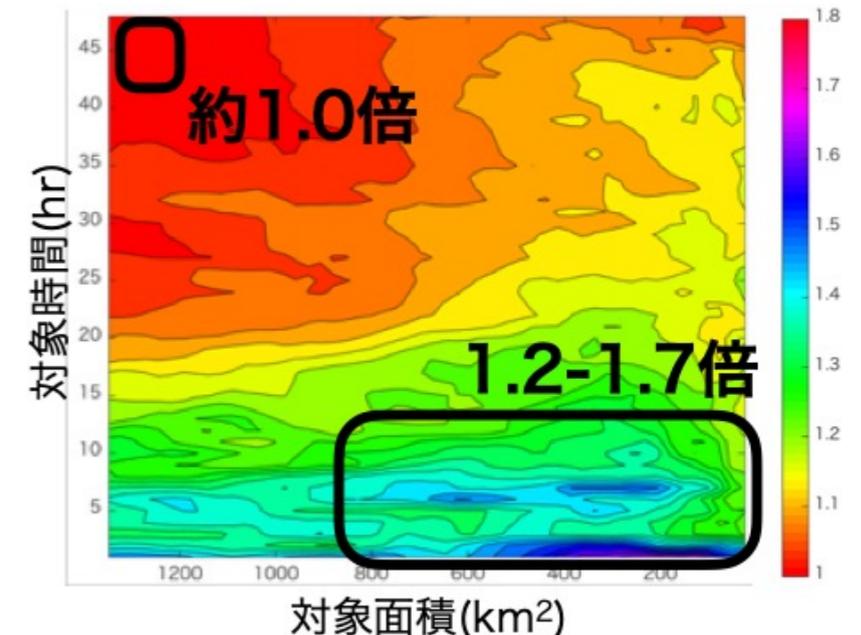
常呂川(150-200mmの降雨)



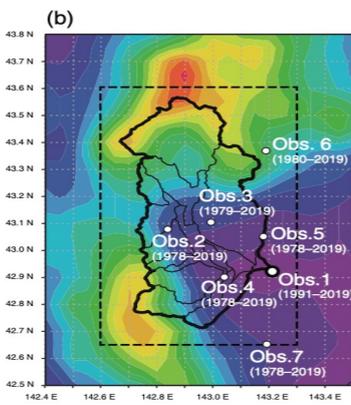
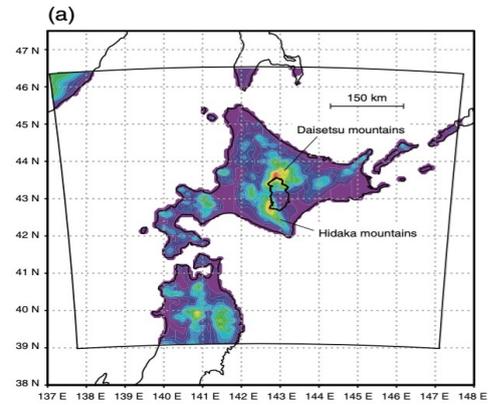
石狩川(200-250mmの降雨)



筑後川(350-400mmの降雨)



いずれの流域においても将来気候の大雨は短時間・局所化の傾向



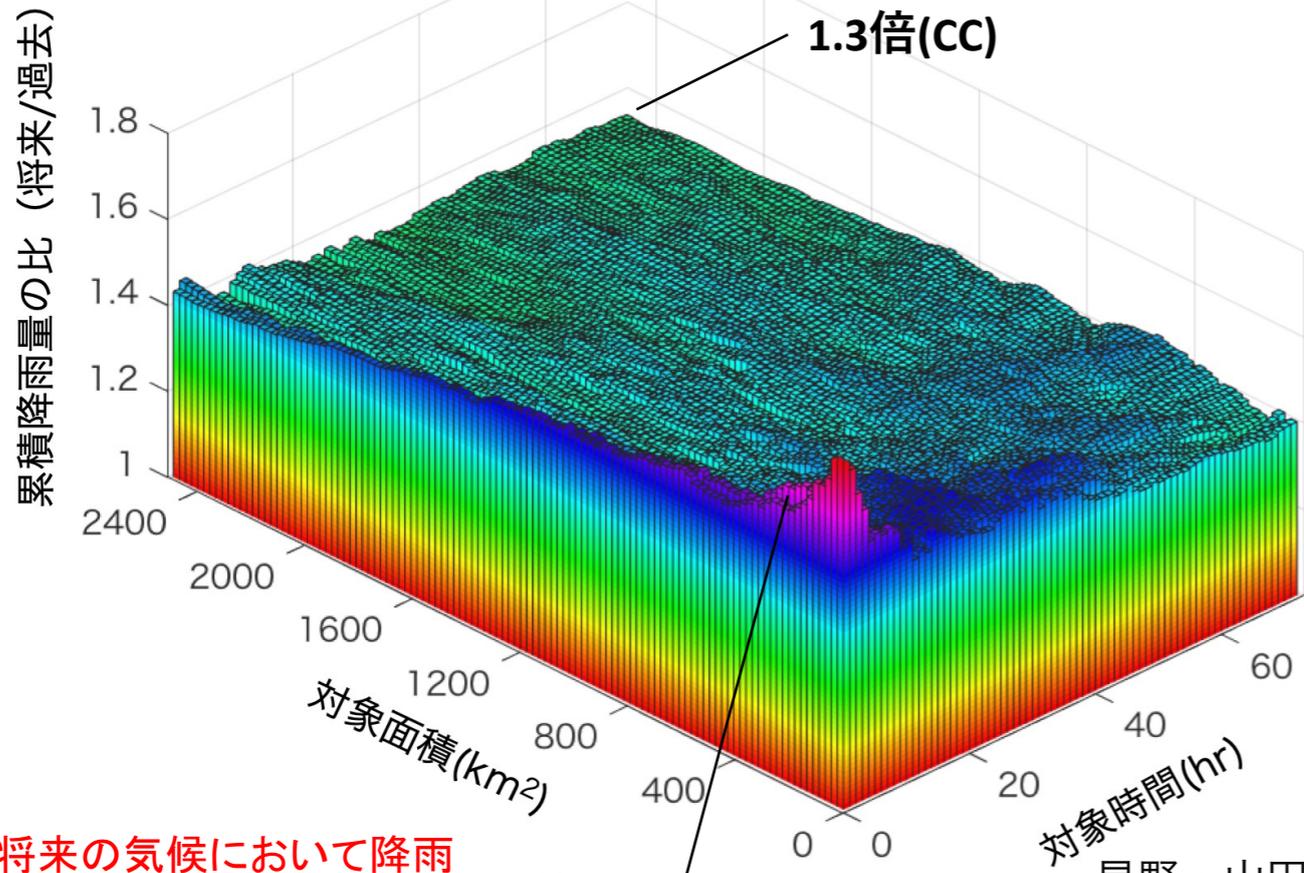
将来気候では降雨量は流域全体で増加し、降雨は時間的および空間的に集中化傾向となる。この傾向は標高の高い地域において強まる。



十勝川帯広基準点流域

d4PDF-5kmDSを使用

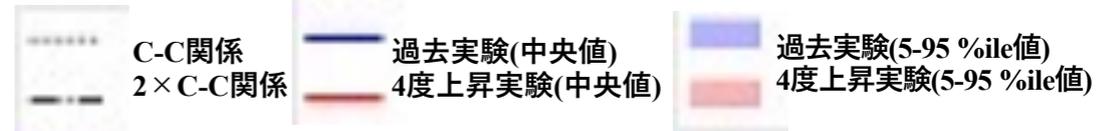
(過去:3000,+4K:5400イベントの上位1%イベントの倍率)



将来の気候において降雨は時間的に集中化

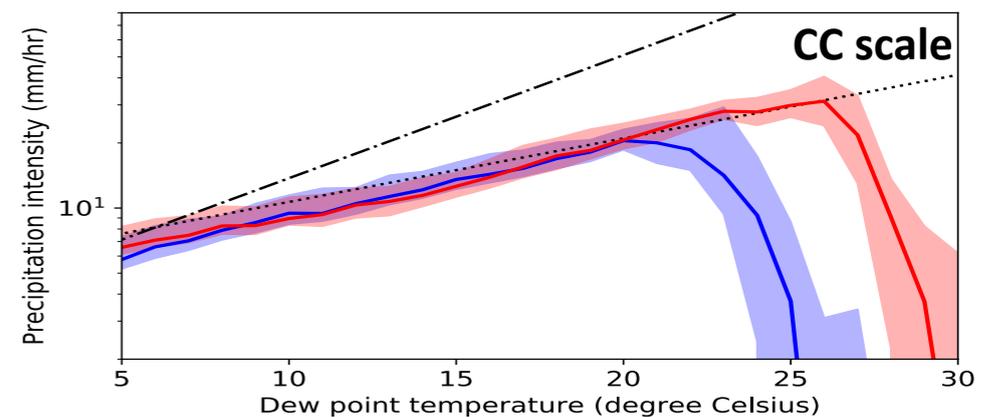
1.7倍(double-CC)

星野・山田 (2018)

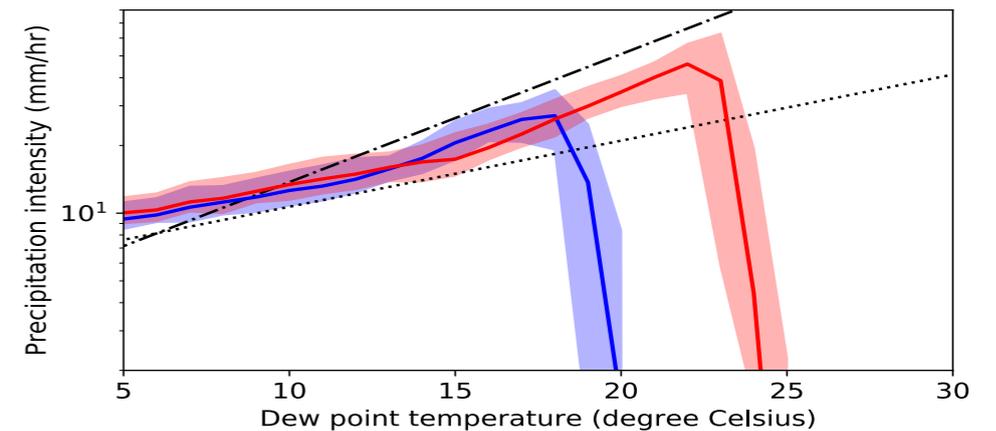


平野部 (標高0-200m)

double CC scale



山地部 (標高1200-1500m)

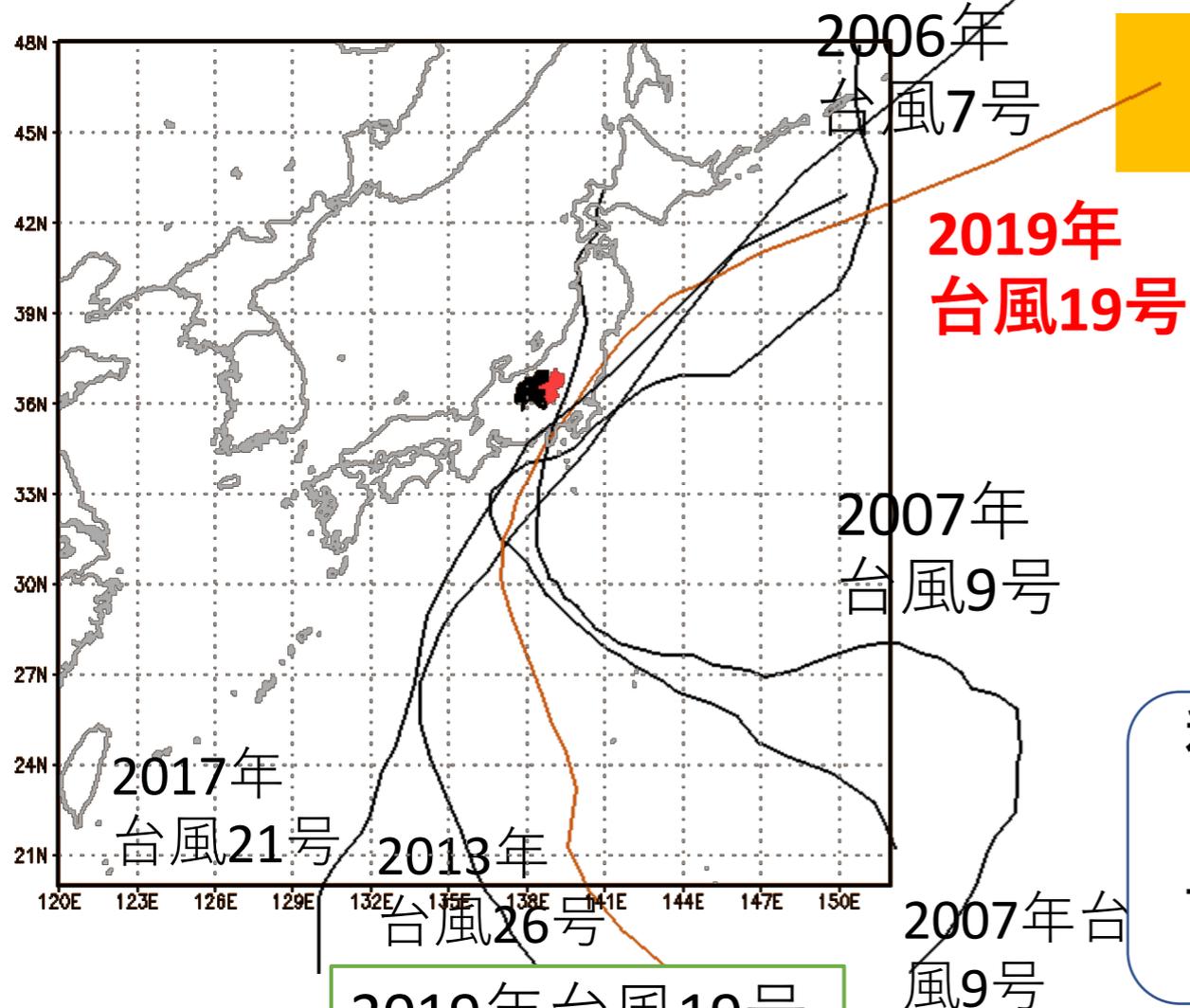


低標高域は降雨量は1°C当たり7%程度の増加 (熱力学的効果) Yamada, Hoshino and Suzuki (2021)

高標高域はそれ以上の増加(熱力学的+力学的効果)

流域総雨量としては、気象擾乱の特徴に加えて、高標高域の面積割合も重要な要素。

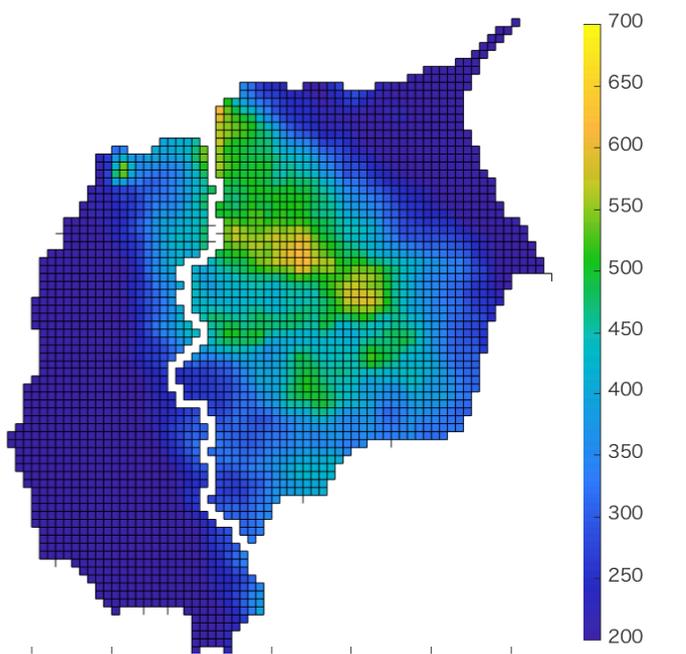
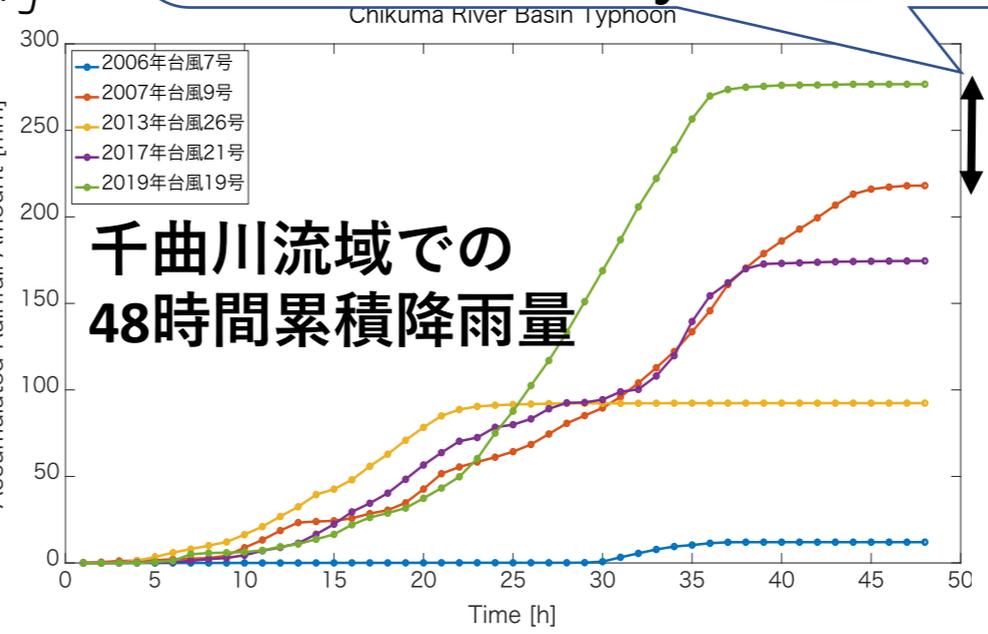
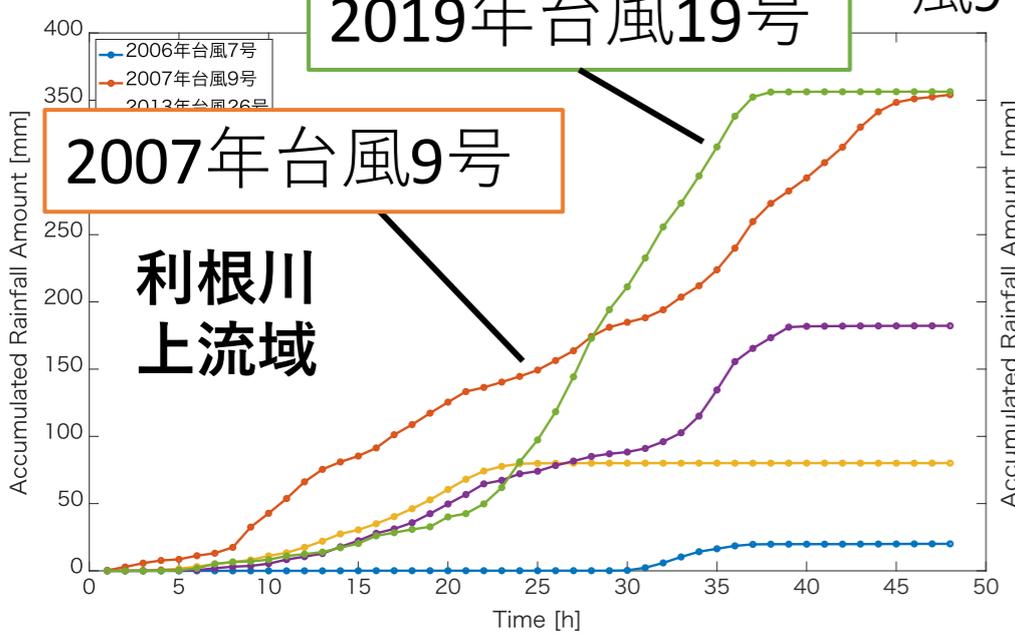
台風19号と経路が類似した過去台風



台風19号と経路が類似した台風事例	イベント期間
2006年台風7号	8月7日～8月10日
2007年台風9号	9月5日～9月8日
2013年台風26号	10月14日～10月17日
2017年台風21号	10月21日～10月24日

利根川流域側での降雨量は
ほぼ一致。
→千曲川流域での降雨量で
80 mm/2days の差

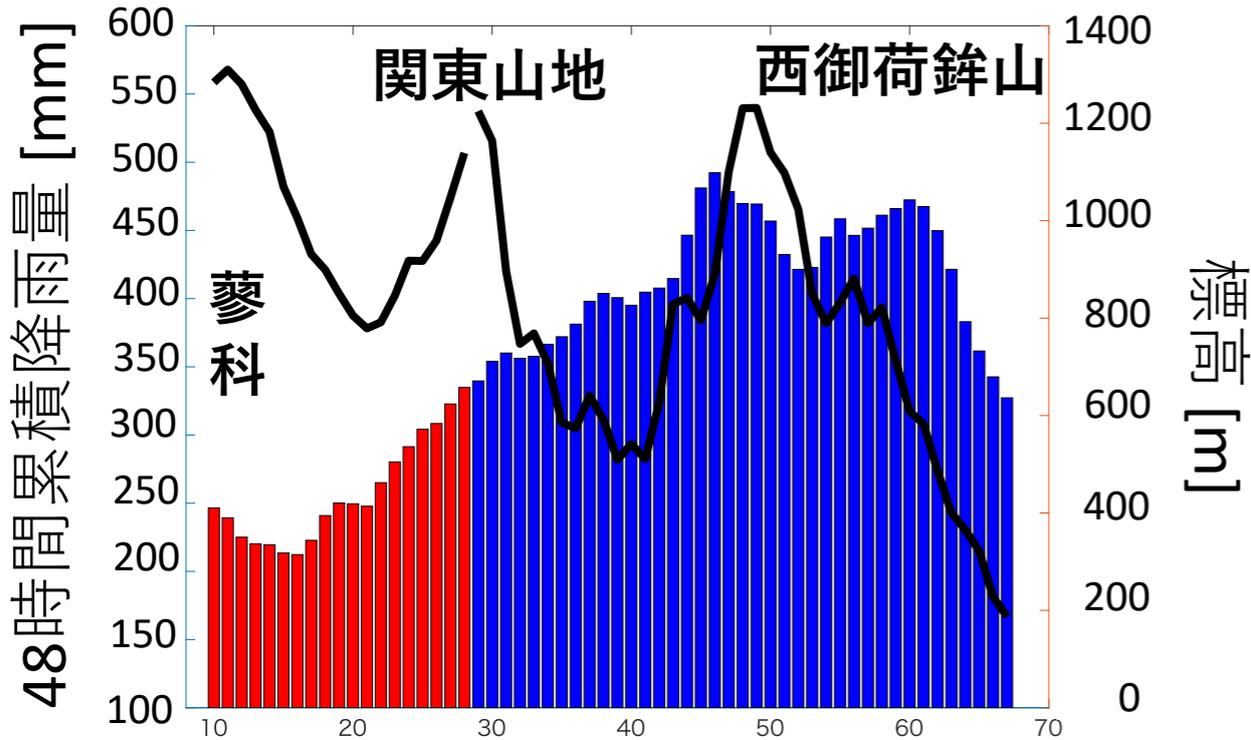
2007年台風9号48時間
累積降雨量[mm]



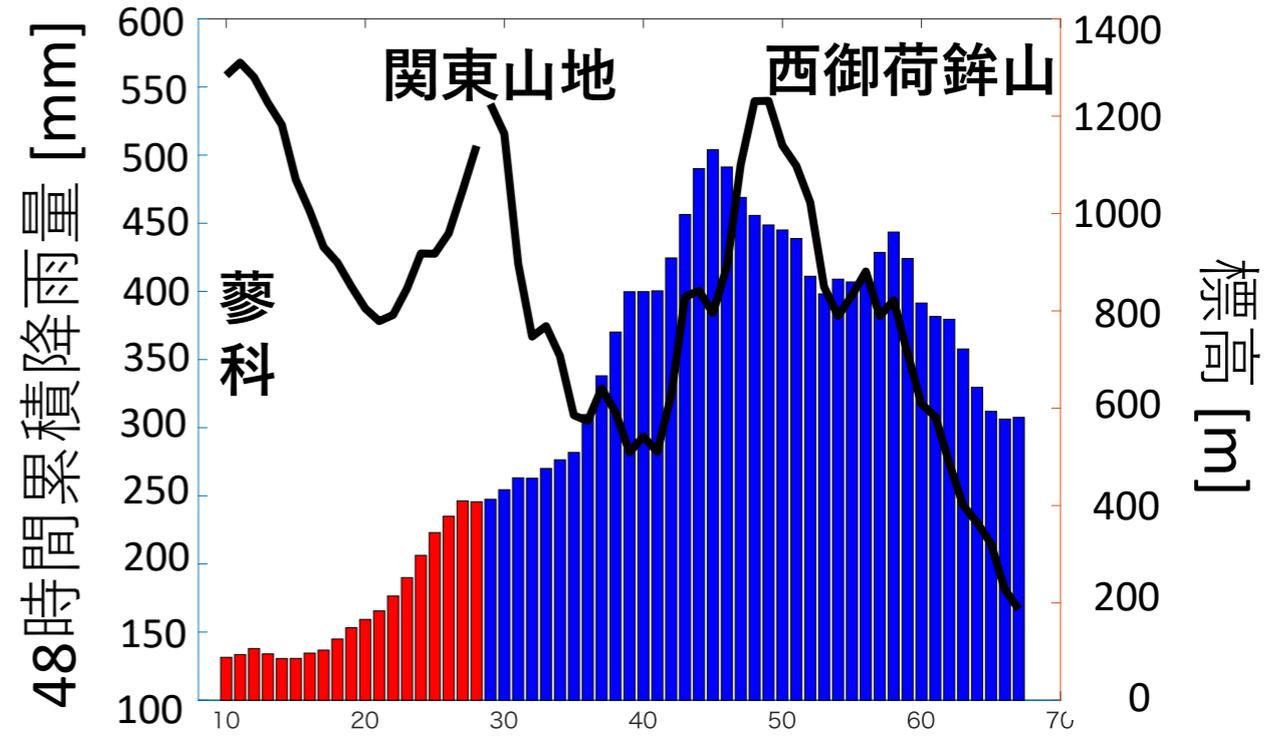
- ✓いずれの台風も西御荷鉾山の東側と西側に強雨域が位置する。
- ✓西御荷鉾山の西側の雨域が関東山地付近まで広がると、千曲川流域での降雨量が増加する。

2019年台風19号と2007年台風9号の累積降雨量の比較

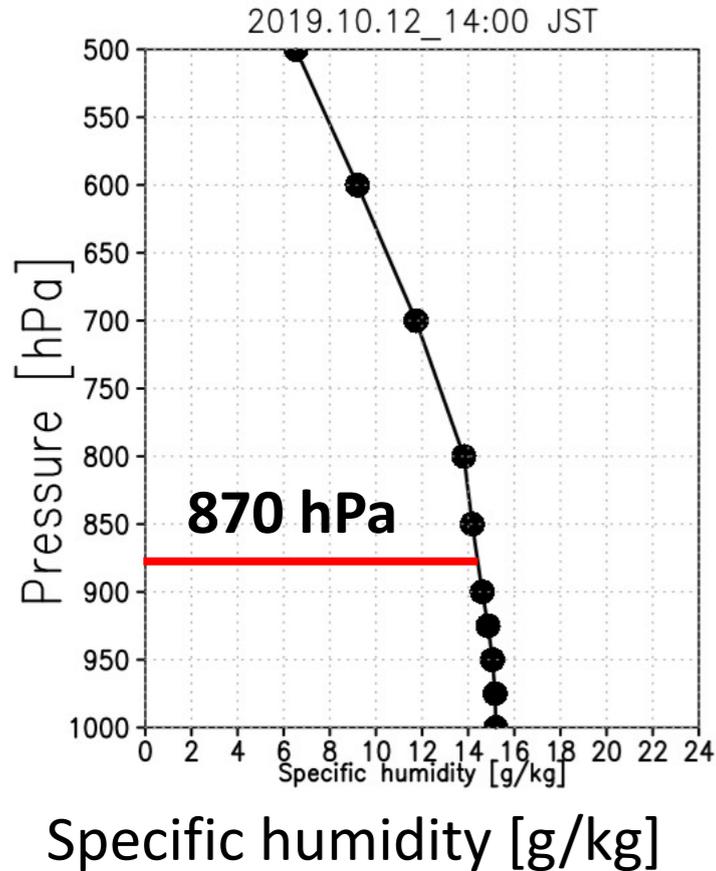
(a) 台風19号



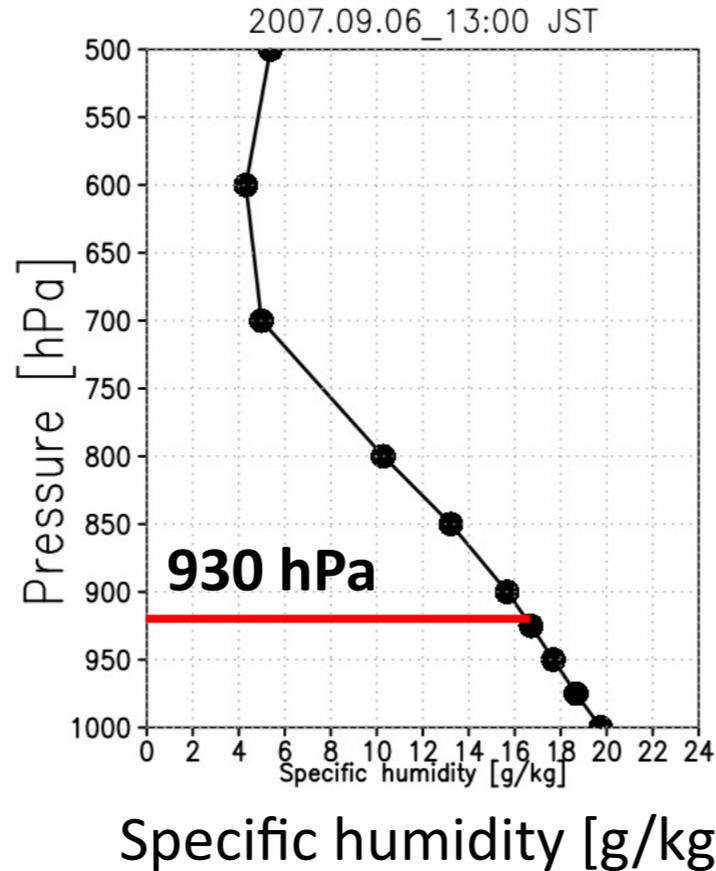
(b) 2007年台風9号



(a) 台風19号



(b) 2007年台風9号



2019年台風19号と2007年台風9号は似通った経路。

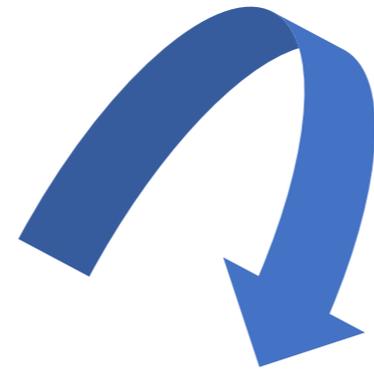
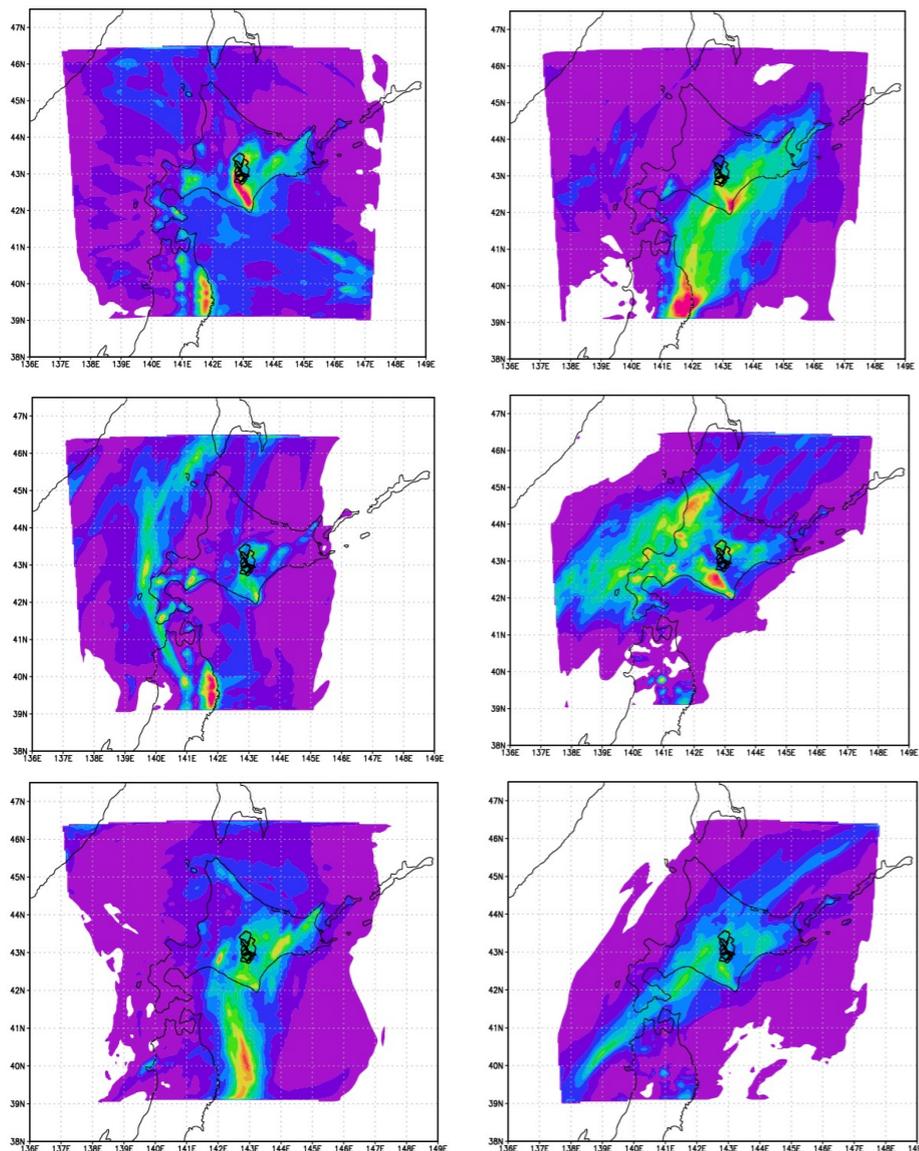
台風19号は水蒸気が大気の上層まで多く、重心が高い。

また台風19号では、利根川流域、千曲川流域ともに大雨

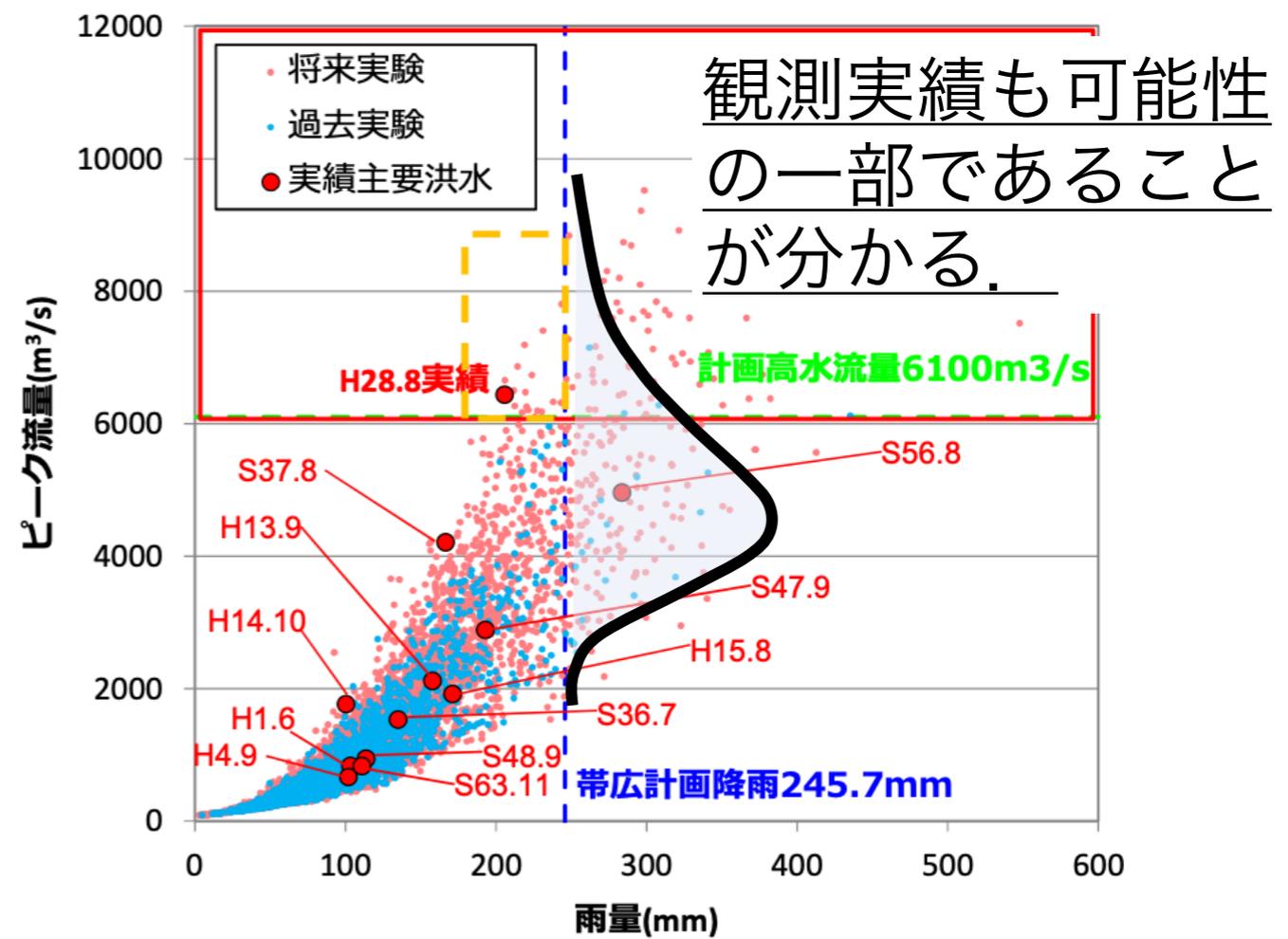
リスクベース・アプローチの導入による 気候変動を踏まえた新しい洪水リスク評価

将来予測される豪雨パターンを起因する洪水流量が把握可能に⇒**過去経験のない洪水をリスク情報として扱えるようになる。**

高解像度大雨データ群



降雨の時空間の分布によっては、総雨量は同じでも、運が悪ければ、より大きな洪水被害が生じる可能性も。



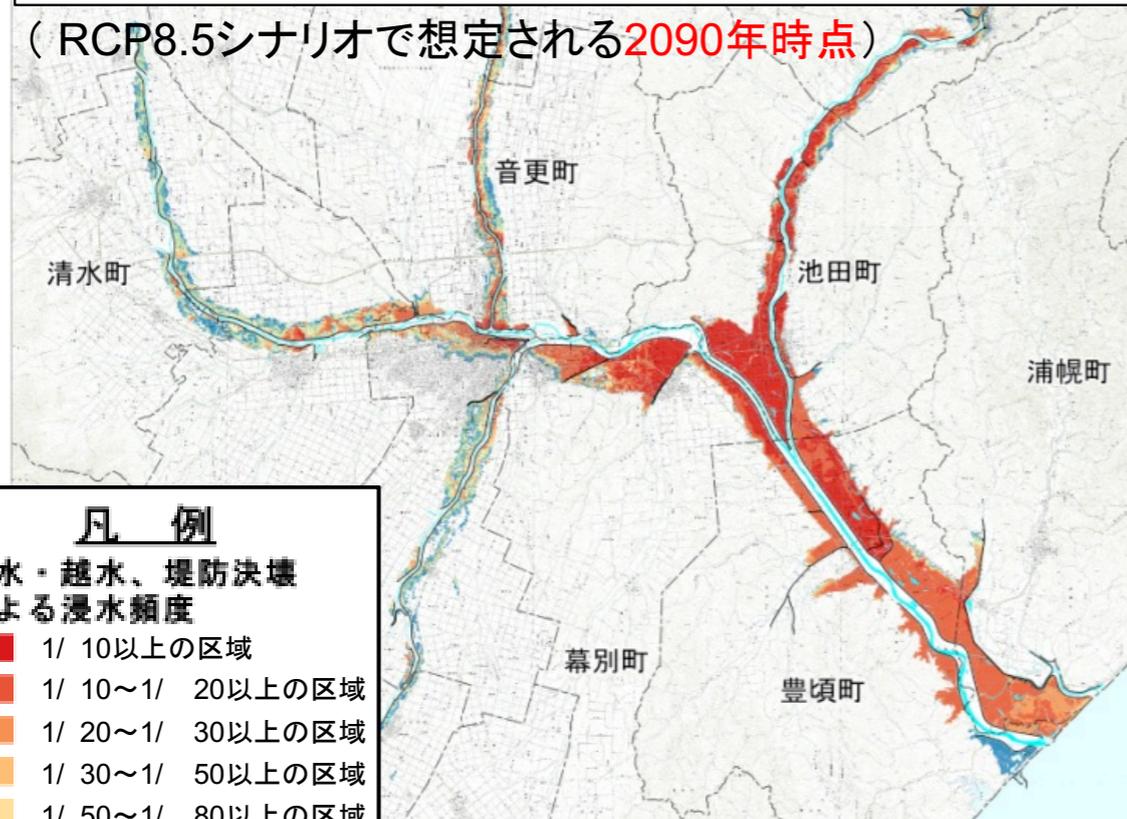
十勝川 帯広地点

どの程度まで安全な流域を作るか？⇒最新の科学に基づく洪水リスクの普遍化を経て，流域関係者が共同で取り組むべき課題

気温が4°C上昇したとき，1m以上の浸水が発生するリスク

1階が水没する程度となる浸水深となる確率 (d4PDF 4°C上昇実験、浸水深1m)

(RCP8.5シナリオで想定される2090年時点)



凡例

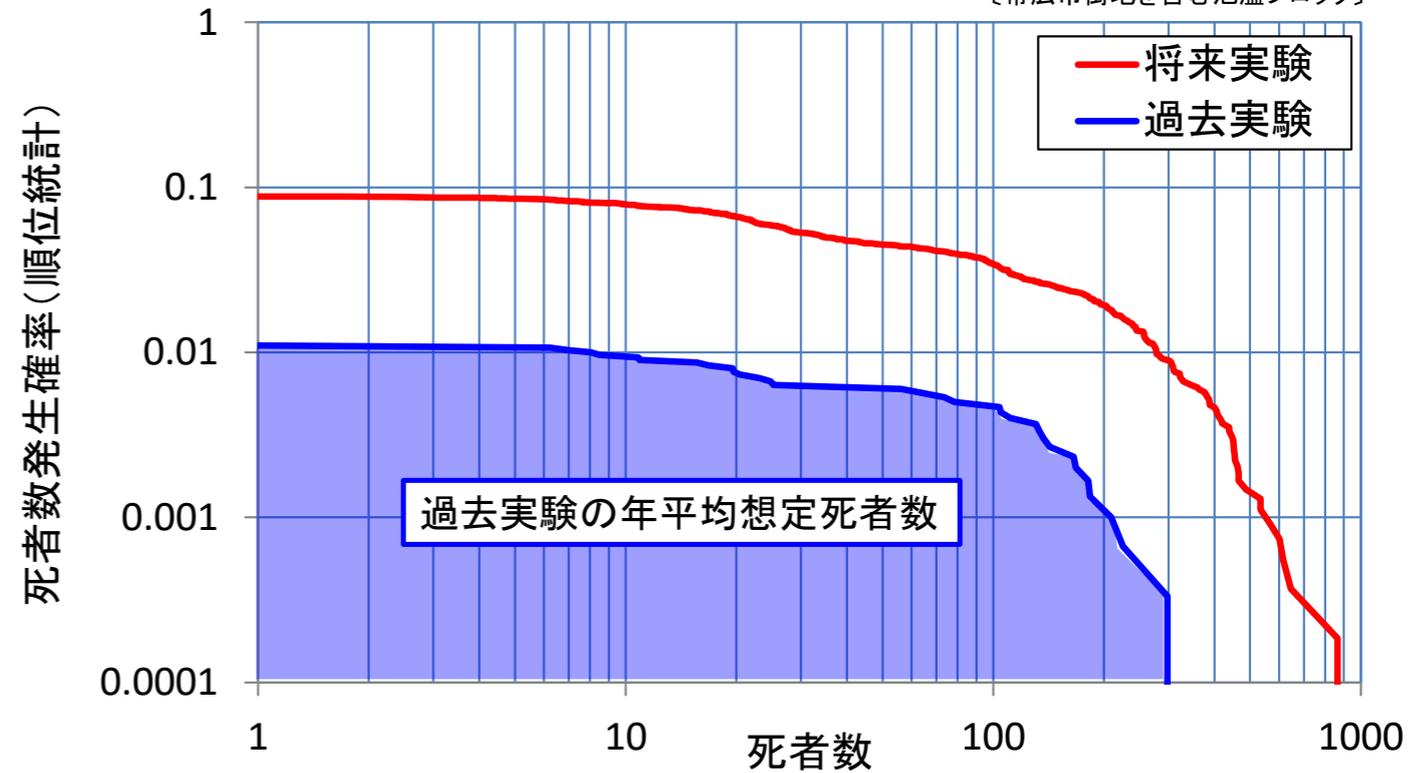
溢水・越水、堤防決壊による浸水頻度

Red	1/ 10以上の区域
Dark Red	1/ 10~1/ 20以上の区域
Orange	1/ 20~1/ 30以上の区域
Light Orange	1/ 30~1/ 50以上の区域
Yellow	1/ 50~1/ 80以上の区域
Light Green	1/ 80~1/ 100以上の区域
Green	1/100~1/ 150以上の区域
Dark Green	1/150~1/ 300以上の区域
Teal	1/300~1/ 500以上の区域
Blue	1/500~1/1000以上の区域
Dark Blue	1/1000未満の区域

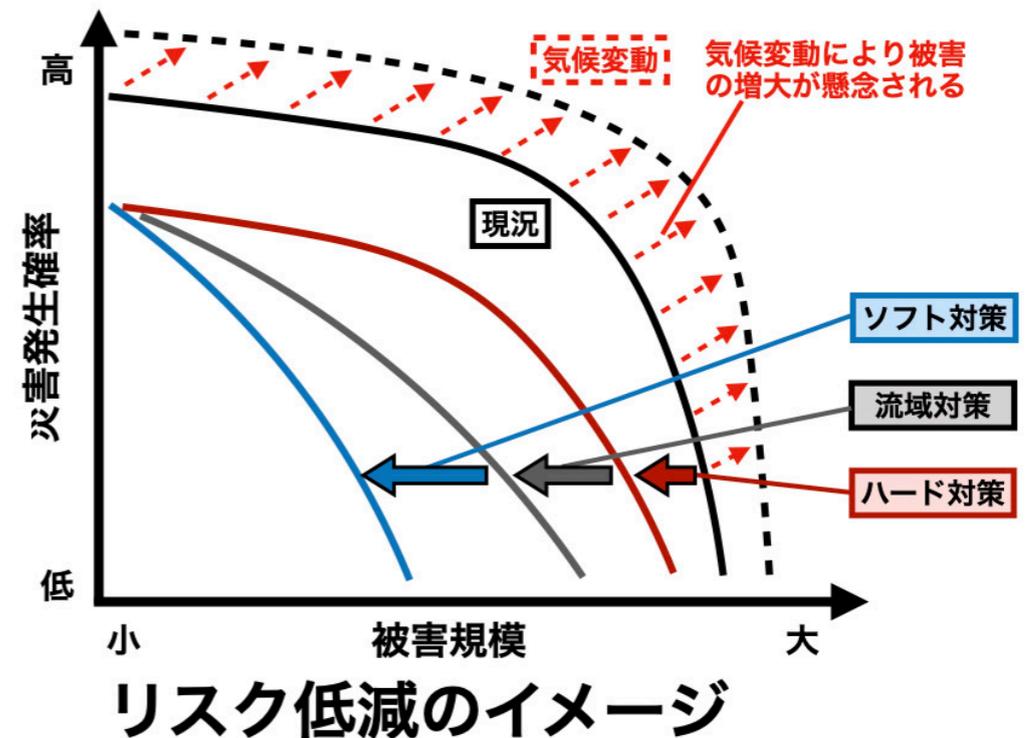
--- 市町村界
— 堤防

死者数FNカーブ

[帯広市街地を含む氾濫ブロック]



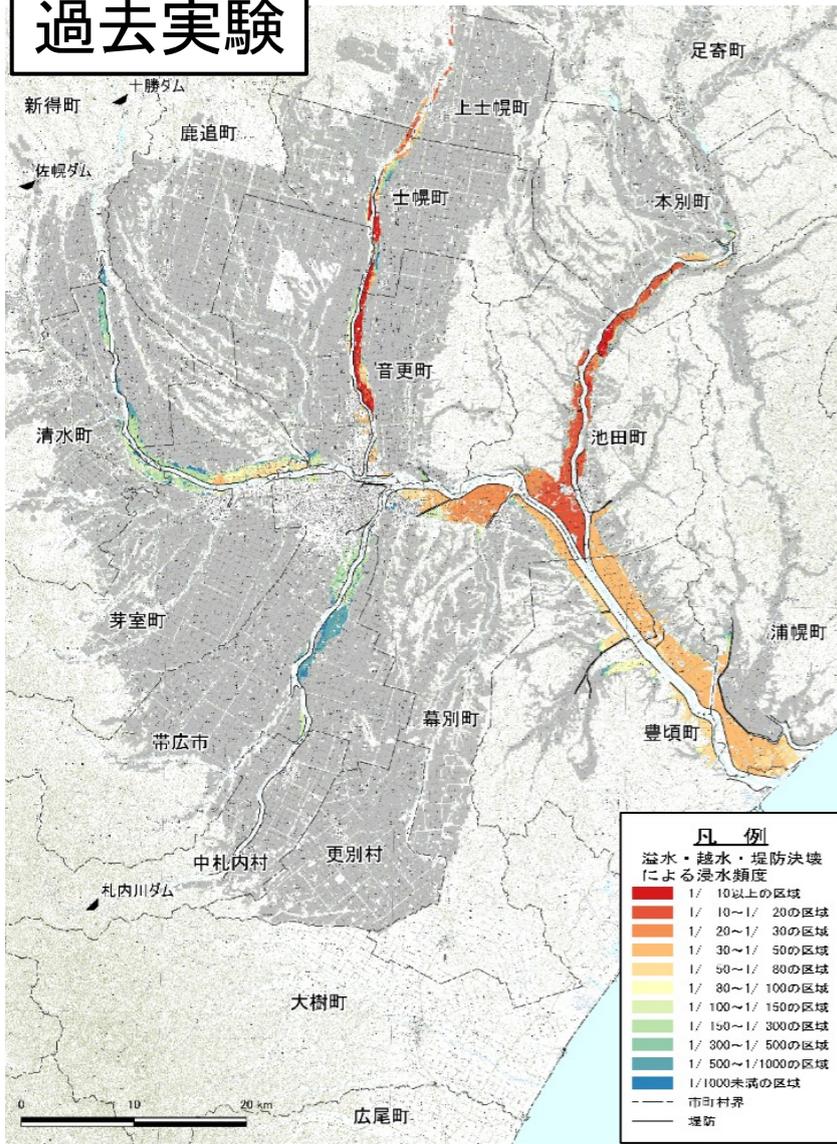
リスク低減の概念図



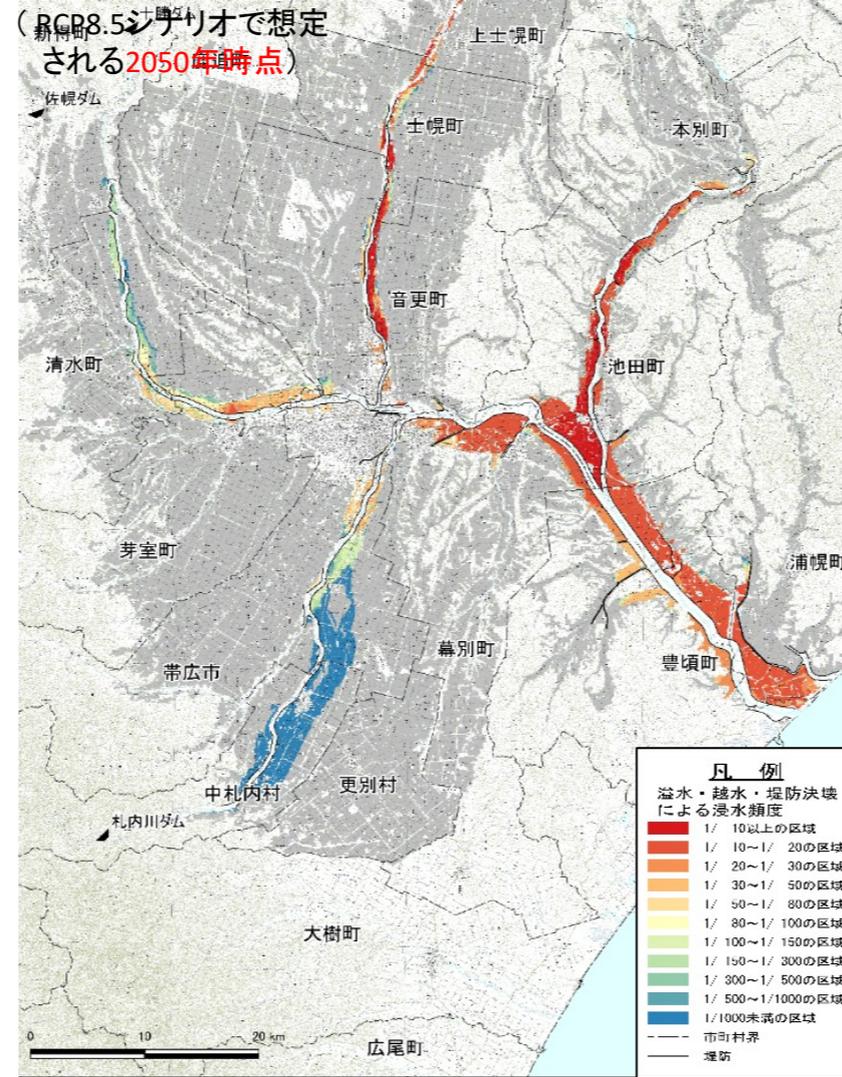
リスク低減のイメージ

農地の浸水リスク評価

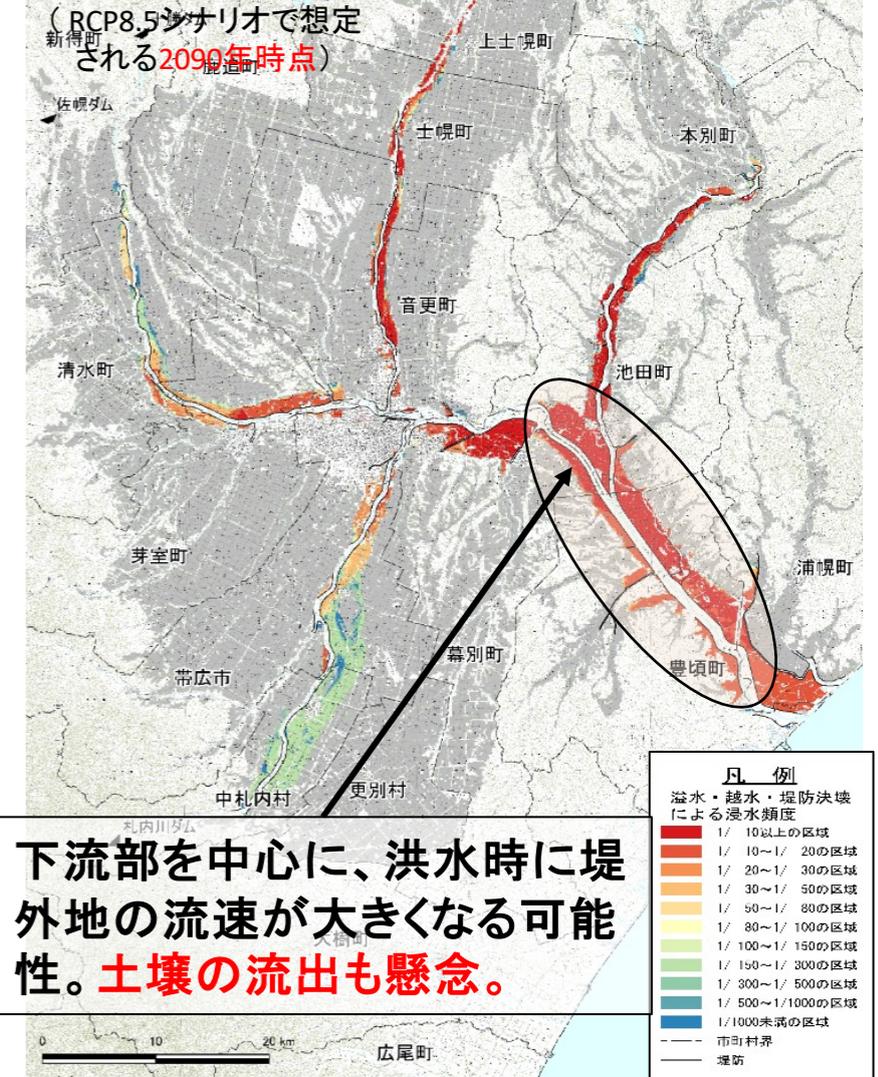
過去実験



2°C上昇実験



4°C上昇実験



下流部を中心に、洪水時に堤外地の流速が大きくなる可能性。土壤の流出も懸念。

※作物が浸水する水位(0cm以上)に達する浸水確率を表示。 ※北海道管理区間の氾濫(札内川、音更川の一部区間を除く)や内水氾濫は考慮されていない。

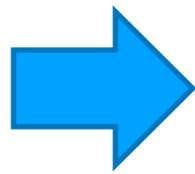
農業分野では洪水による間接被害が甚大となる。

(例)平成28年北海道豪雨災害による農業被害は約543億円。このうち、間接被害の額は約358億円に上り、水害による直接被害(247億円)を1.4倍上回った(小林ら, 2019)。

⇒リスクとして考えるべき要素は地域や産業により異なる。このため、流域関係者の共同を通じた、考慮すべき被害形態の検討が重要となる。

観測実績に加えて想定される複数の降雨外力下の後悔の少ない整備の考え方の例

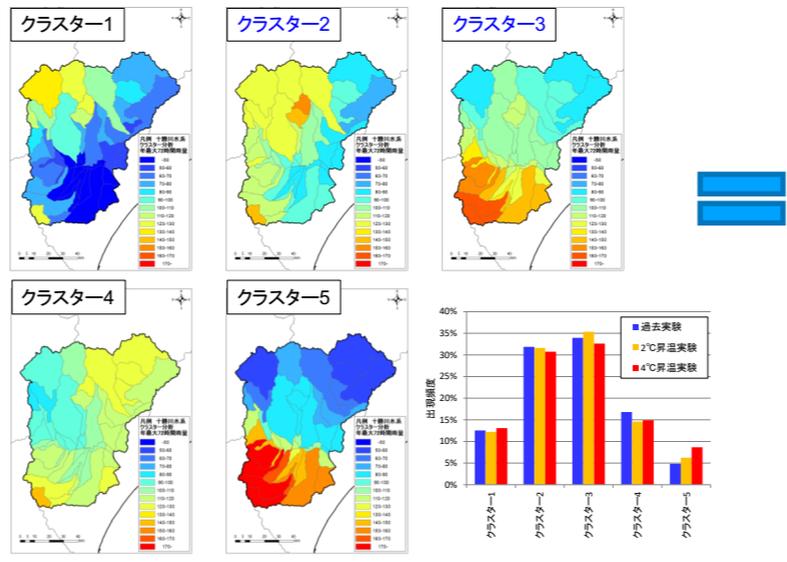
整備対象
河川



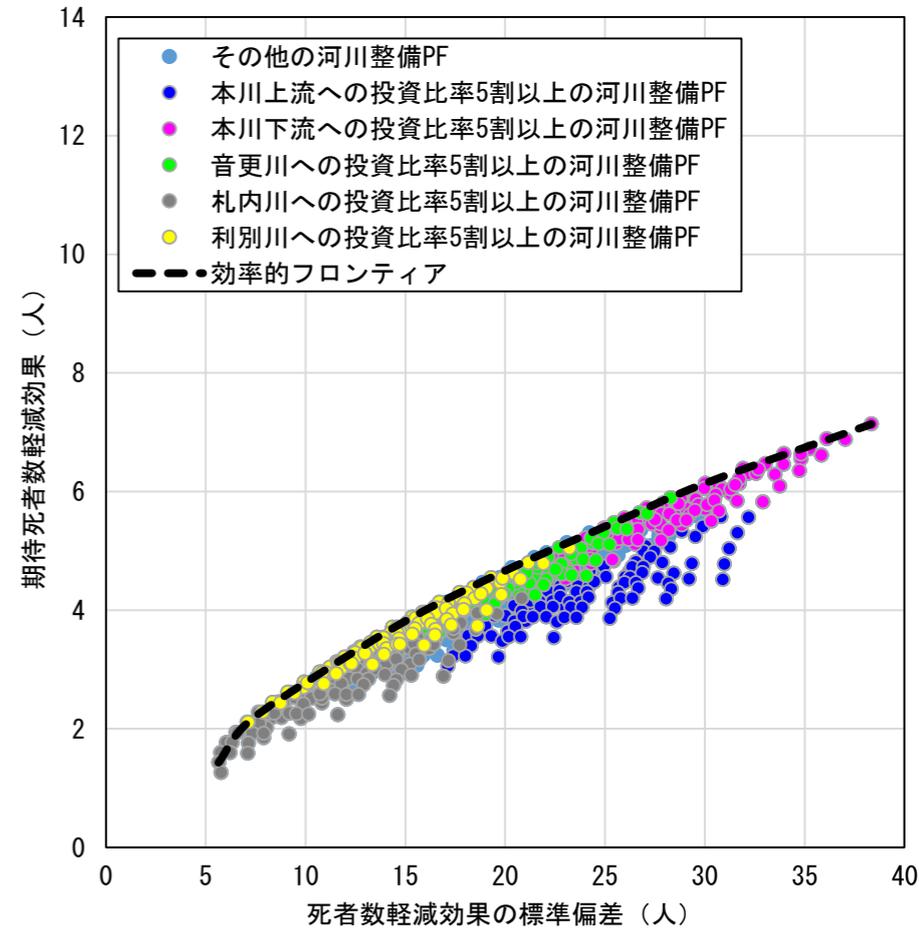
観測実績に加えてアンサンブルデータで想定される大量の降雨時空間情報を考慮し、流域内各河川の河川整備に対する対策を議論可能にするには？



想定される降雨分布



収益率 (R)
河川整備による死者数軽減効果



リスク (σ) 死者数軽減効果の標準偏差

北海道における畑作農業のイメージ



<https://smartiot-forum.jp/application/files/7815/6955/8353/JAmemuro01.jpg>



https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/tisui/kds/pamphlet/kurashi/gogyoukougyou/img-1/ctl1r000000b5hm03-02-06-02_01.jpg



https://lh3.googleusercontent.com/proxy/x52k9qgcUDbGPca4cYKd-bIS4H89HcR_usvTnwsrKJRRLNnyvS0UdwXdEBBcbVJxGkRGvZBiSfXT7354dRk2nGpMNTvnKobsxAdOgbTcOZQUQGFv8Q



<https://previews.123rf.com/images/taina/taina1308/taina130800021/21392515-サロフィンランド-8月-10日-john-deere-社-6170r-農業用トラクターおよび-2013年-8月-10日に年次-puontin-peltopaivat-農業ショーで、フィンラ.jpg>

2016年北海道豪雨時の生産者の取り組み

新得町の小麦・大豆農家 (130ha, 50ha) 1ha=東京ドーム1/5個

全国平均 1戸あたりの農地面積：1.43ha

- 2016年の記録的大雨時に緊急作業を実施
- 浸水から48-72時間以内の**排水作業**, 速やかな**防除作業**の結果, 完全に水没した大豆も等級を落とさず, 収量は15%の減少に留まった. 最終的には黒字に.
- 排水対策にブルとユンボを有効利用. (**潜在的に不足**)
- **河川から農地**への流入土砂は, 砂や微量元素(マンガン)が多く, 取り除かず, すき込んだ. 土壌の**微生物管理**で克服.
- 土地利用型農地ではなく**土地管理型農地**
- 不耕起栽培をこれまで行ってきた. 200mm/3dayに対応できる畑が目標. → **一連の対策が評判・評価に(ベネフィット)**
- 2年連続の被害は離農を加速(土壌特性, 苗の被害など).

**作業道路を維持できるようにしてあげれば,
自助・共助の可能性が増大とのメッセージ**

九州大学 広田教授, 東京農業大学 西尾教授とともに実施.

北海道の最新農業気象 (気候変動に対する営農技術最前線), ニューカントリー2021年秋季臨時増刊号

空知川上流域南富良野での取り組み

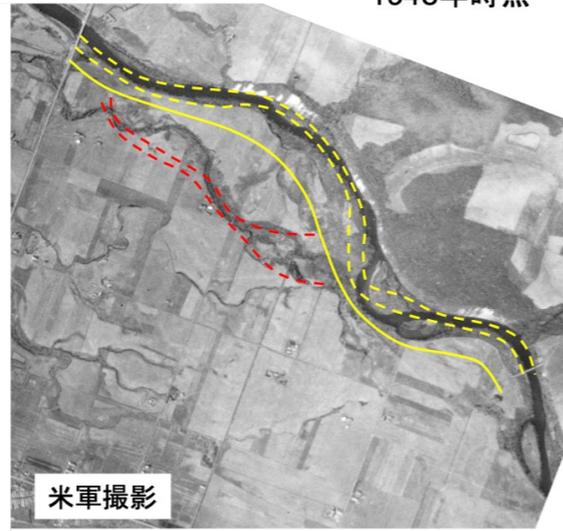
洪水後(2016/9/2)



提供: 寒地土木研究所

北大清水教授講演資料より

1948年時点



米軍撮影

Levee Failure

決壊箇所

levee

空知川

太平橋
Taihei Bridge

L = 100m

R38

南富良野町市街

シレラ富良野

至 南富良野町市街

国道38号

平成28年8月31日6時撮影

「空知川左岸 南富良野町幾寅地区の堤防決壊について(第6報)」より



○: 堤防決壊箇所

Google Mapsより

一連のリスク評価の結果を睨みつつ

・防災ステーション（高台）、洪水時の避難、豪雪対策：

・旧河道の影響を考慮した構造

・モンベル（観光、カヌー・カヤック拠点）：上流での川下りと下流に位置する金山湖での観光

・道の駅（地方創生拠点の重点）



平時と緊急時の議論を同時並行することが重要

平成28年8月31日6時撮影

「空知川左岸 南富良野町幾寅地区の堤防決壊について(第6報)」より

計画論だけではなく日々の防災の 中でのリスクの積極的利用方法

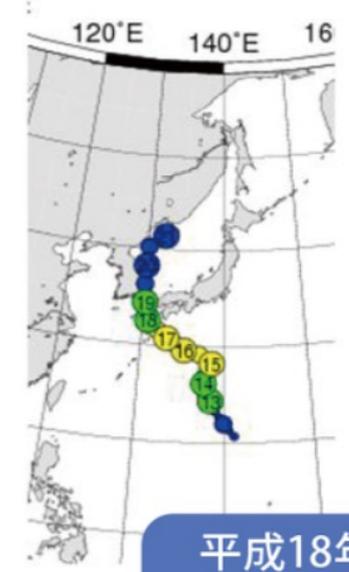
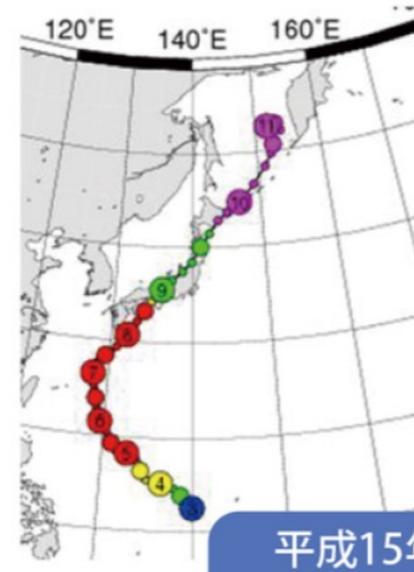
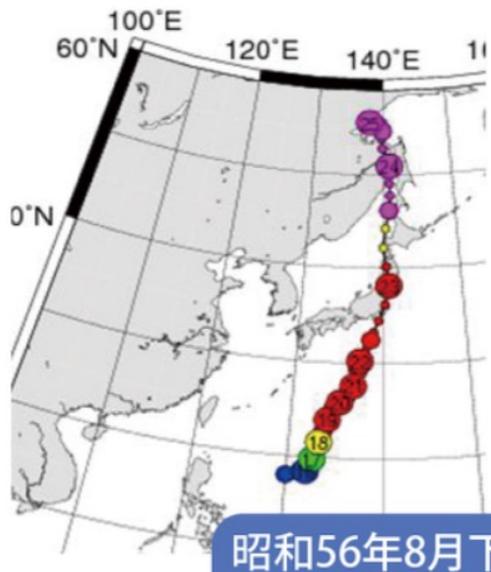
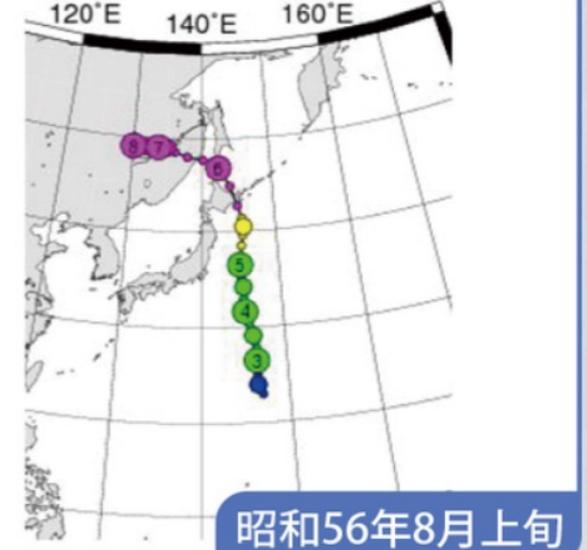
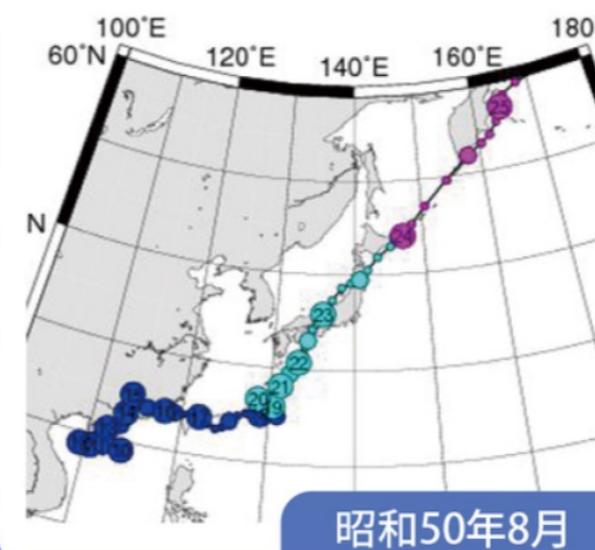
過去の実績(豪雨パターンの経験)は限られている。 その中で如何に判断するかが問われている。

1. 台風経路図から分かること

北海道の主要洪水時の台風経路図 (デジタル台風北本朝展@国立情報学研究所から抜粋)

北海道の 主要洪水時の 台風経路図

デジタル台風北本朝展@国立情報学
研究所から抜粋



過去の北海道における大洪水時の台風経路図を見ると、2種類に分類される。一つは右曲がり、もう一つは左曲がりである。しかも後者のほうが明らかに被害が大きい。(紫は温帯低気圧に変化後のルート)

台風的位置と降雨強度の関係

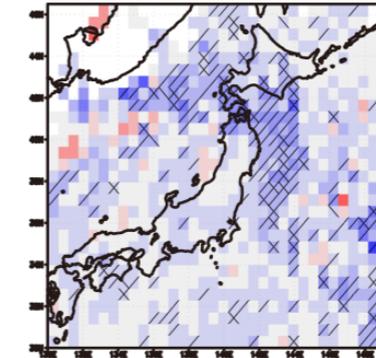
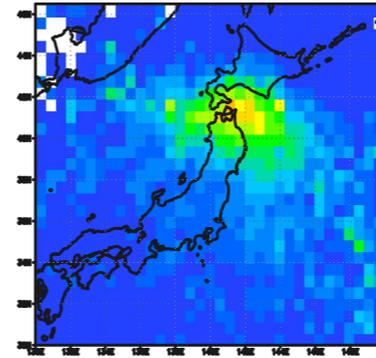
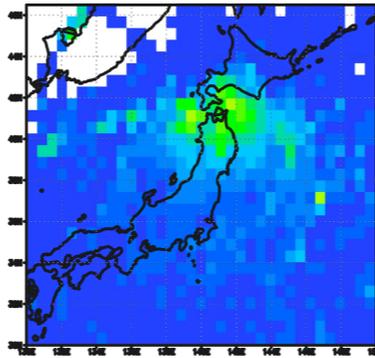
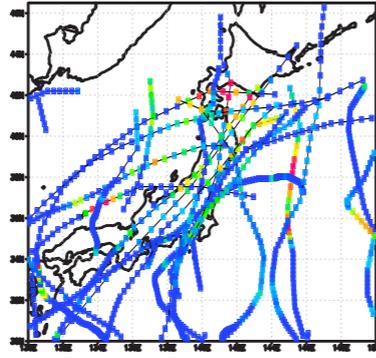
実績

Past

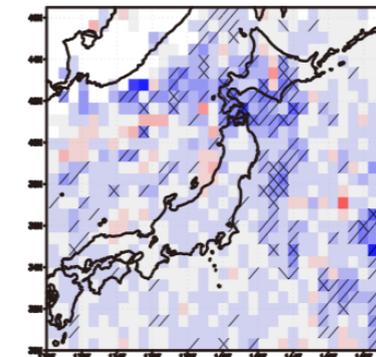
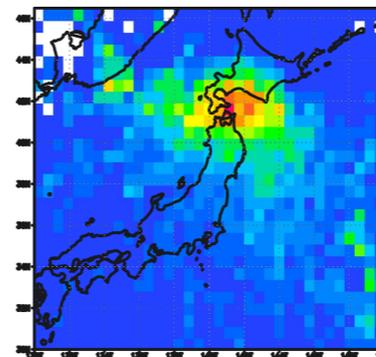
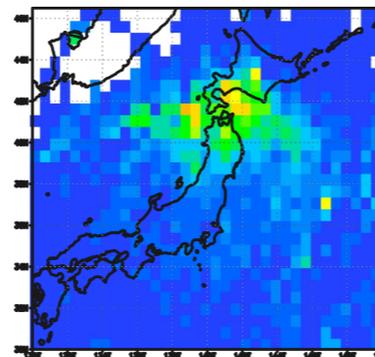
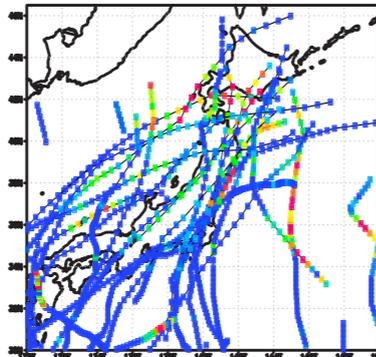
4K

4K-Past

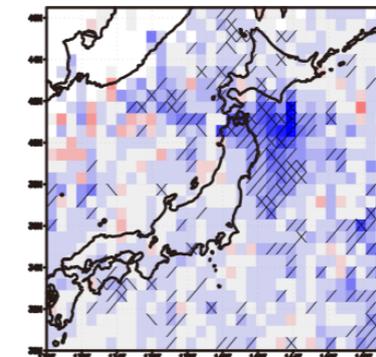
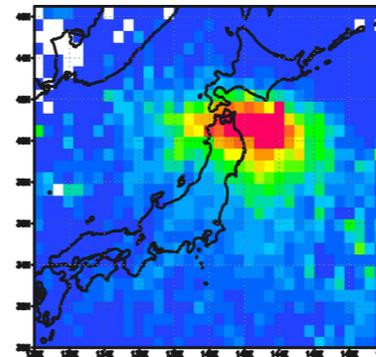
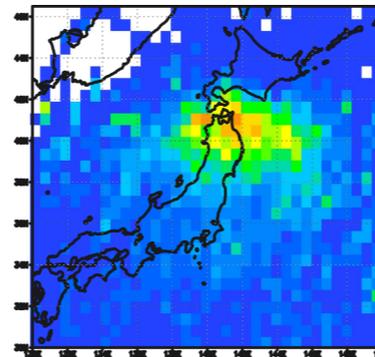
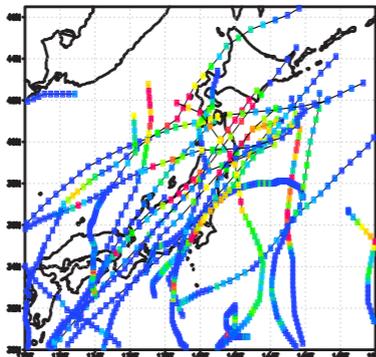
十勝川
(帯広基準地点)



音更川
(音更基準地点)

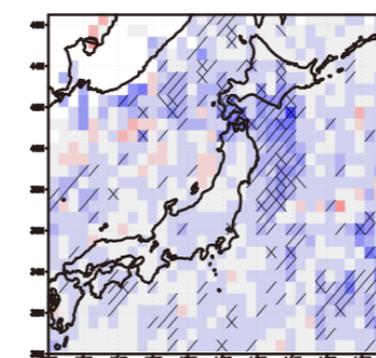
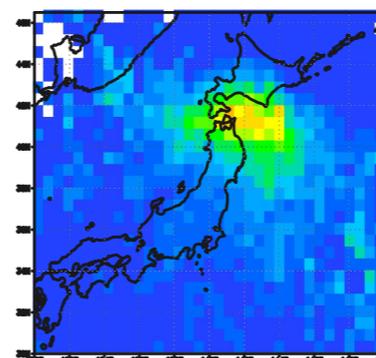
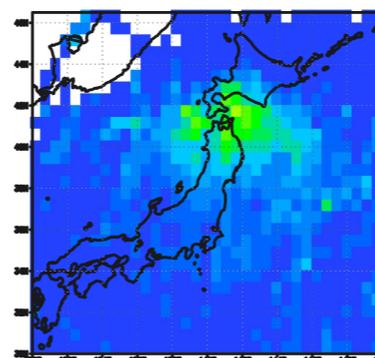
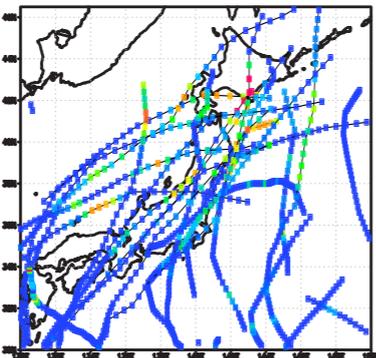


札内川
(南帯橋基準地点)



札内川流域では台風の接近に伴う降雨の強化が顕著に

利別川
(利別基準地点)



1時間降雨強度 (mm/hr)

降雨強度の差 (mm/hr)



高解像度かつ大量のアンサンブルデータから支川流域ごとの影響を評価可能に

気候再現・予測情報のダム管理への導入：過去経験のない大規模豪雨の生起リスクを踏まえたダム運用が検討されている。



写真-1-1 堤防一部流出箇所全景
(上流側から撮影。H23. 9. 7 PM1:49撮影。○が流出箇所)

桑村ら

(松本, 池田, 河田, 山田, 中北, 中津川, 河川技術論文集, 2021)

アンサンブル情報より, **洪水対策上, 考慮すべき豪雨の生起確率・ハイエトグラフが想定可能となる。**

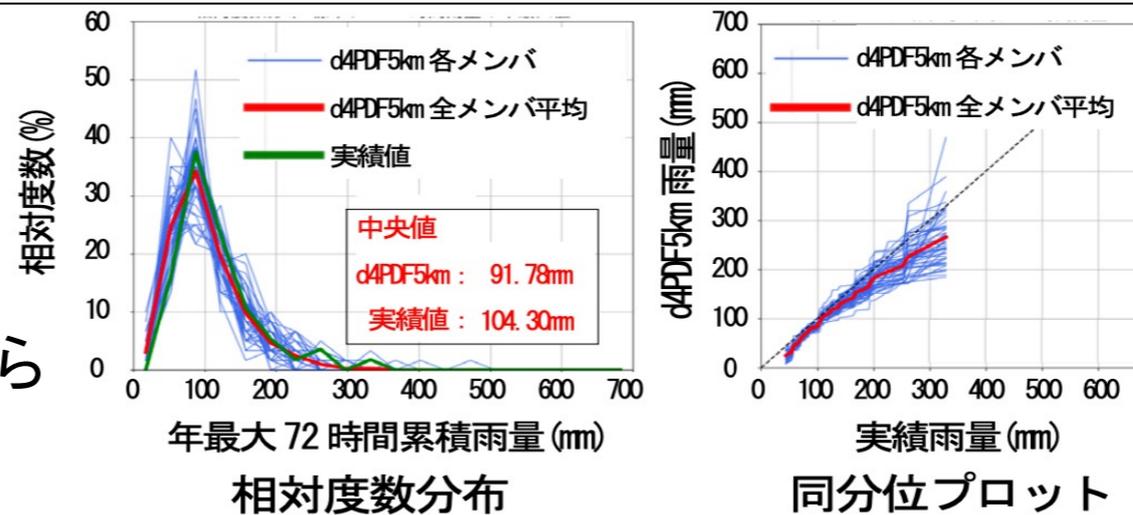


表-2 ダム放流シミュレーション条件

操作方法	目標低下水位	遅らせ時間	水位低下時 上限放流量	上限水位
標準操作	29.75m	40分	210m³/s	30.4m (サーチャージ水位)
暫定運用	第1段階 28.00m 第2段階 27.50m	3時間		

表-3 ダム放流シミュレーション結果

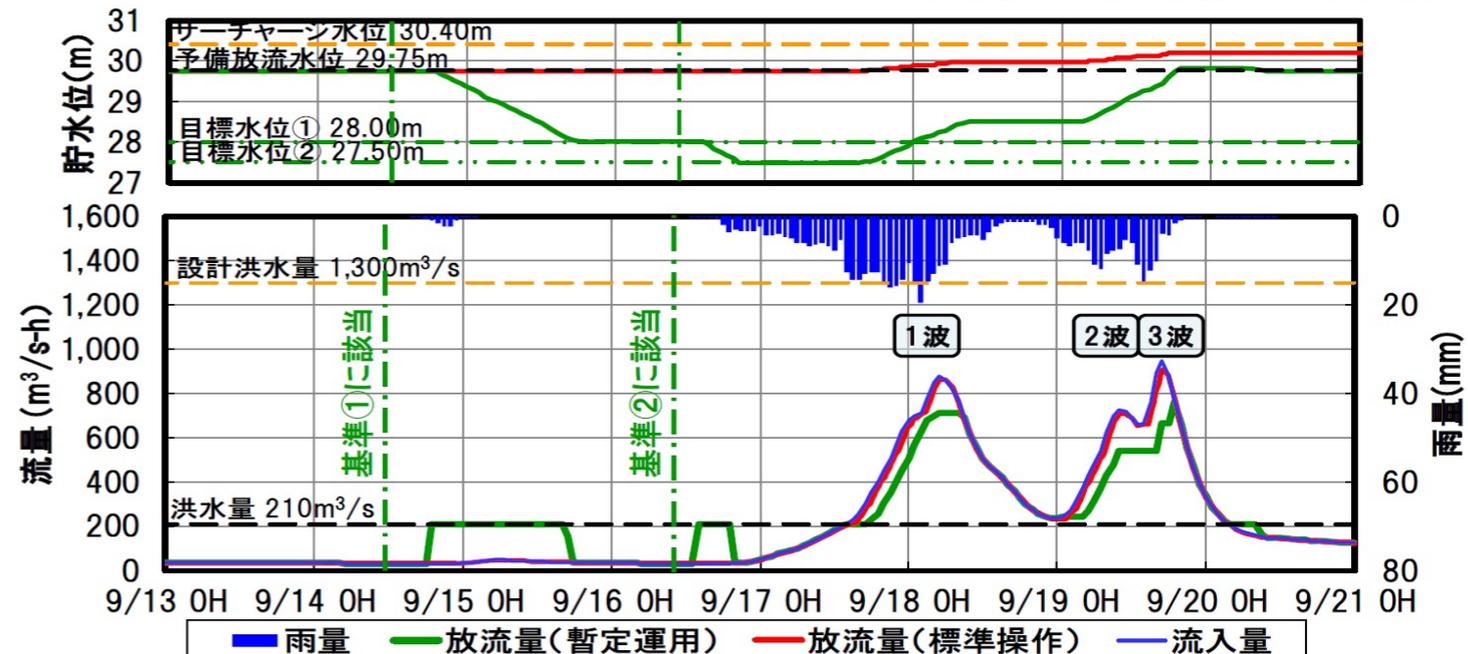
事例	総流入量 ^{※1)}	最大流入量	操作法	最大放流量	最高水位
1	117 百万 m³	944m³/s	標準操作	909m³/s	30.20m
			暫定運用	760m³/s	29.83m
2	58 百万 m³	999m³/s	標準操作	933m³/s	30.06m
			暫定運用	618m³/s	28.98m
3	40 百万 m³	501m³/s	標準操作	475m³/s	29.86m
			暫定運用	-	-
2016年 4台風	72 百万 m³	1,158m³/s	標準操作	777m³/s	30.31m
			暫定運用	605m³/s	29.22m

※1) 総流入量は当該期間で流入量が洪水量以上となっている間の流入量の累積値



対象流域；
糠平ダム
流域(北海道)

- 凡例
- 電源開発(株) 管理ダム
 - 国土交通省 管理ダム
 - 北海道 管理ダム
 - 北海道電力(株) 管理ダム
 - 十勝川流域
 - 市町村界
 - 国土交通省管理区間
 - 北海道管理区間



内閣府SIPレジリエンス防災 最新科学による避難判断支援

※SIP:戦略的イノベーション創造プログラム

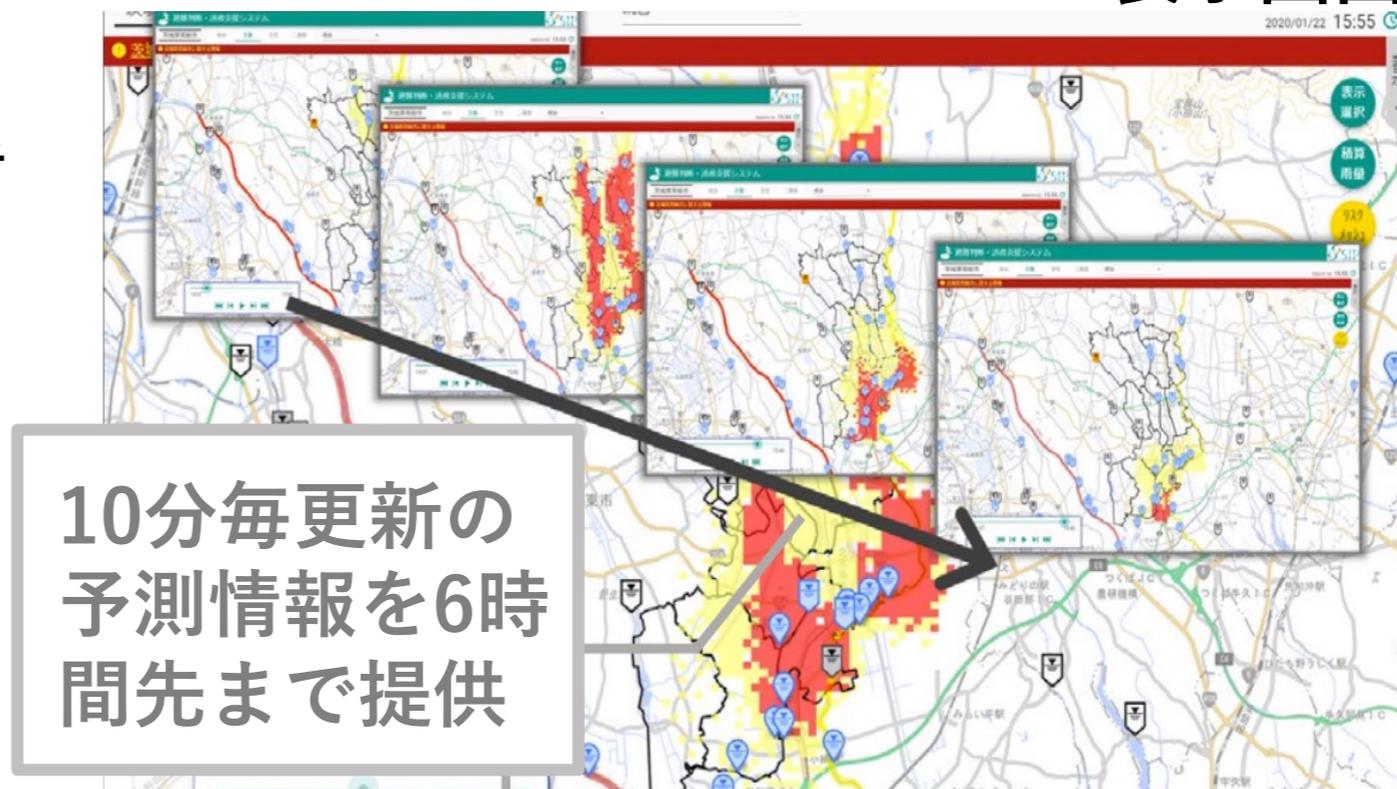
IDR4Mの表示画面

IDR4Mによる判断支援

(市町村災害対応統合システム)

最新科学に基づく予測

- ・AI技術で、避難指示等の発令判断のための情報支援システム



IDR4Mでのリスク予測の概要

脆弱性

人口動態, 住民属性(年齢等), 避難所からの距離を元にした被害の受けやすさ

×

ハザード

最新科学による気象・水位・浸水予測技術とAIによる洪水氾濫予測

=

リスク

地域が受ける被害予測

発令支援情報

自治体の発令単位に合わせた支援情報を提供

適切なタイミングと範囲での発令支援

3-5. 気候変動を見据えた未経験の災害への対応

自治体の事前防災・避難判断支援

避難訓練

防災演習

事前防災

今後起こりうる
激甚災害にも対応

起こりうる災害を
想定した防災対策
(本プロジェクト)

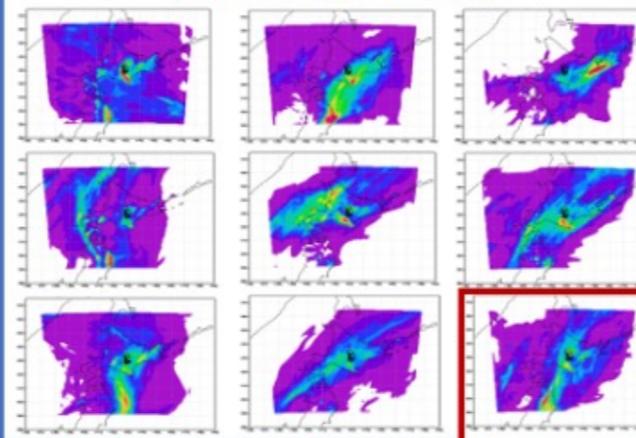
大量アンサンブル
気候データ(d4PDF)

大雨災害シナリオ

成果

- ・ 避難訓練のシナリオ多様化での事前防災
- ・ 最大規模の災害への事前防災対策の検討
- ・ IDR4MのAI予測強化

起こる可能性があった豪雨パターン
(アンサンブル気候データ)



既往災害にのみ対応、
かつサンプルが少ない

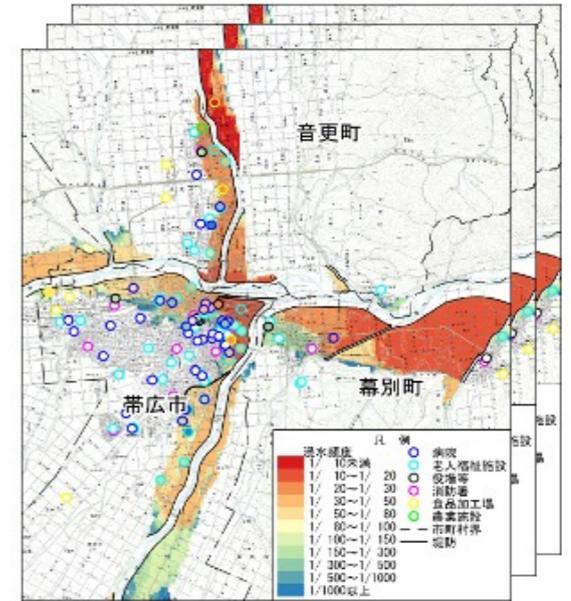
既往災害を最大外力
と想定した防災対策
(現在)

2016年8月
北海道豪雨

降雨流出

河道流
解析

氾濫計算



時系列の浸水

大雨災害シナリオデータベース (様々な大雨パターン)

未経験だが起こりうる災害に対して訓練・準備ができる

- **計画を超える降雨**が近年多発している。
- 現在の気候であっても計画を超える降雨は起こりうる。
(物理学・統計学手法によって説明済み)

適応策の策定のためには、これまでの降雨観測を経て蓄積されてきた知見と合わせ、最新の科学技術に基づく低頻度かつ極端な豪雨現象の予測を積極的に実行する必要がある。

- 最新の科学により（現在・今後の）治水・利水さらには複合的な災害の**リスク評価**が可能になった。その成果は、我が国の気候変動を踏まえた技術検討に活用されている。
- 個別最適から全体最適へ。リスクベースによる全体としてベネフィットの獲得を。それには価値観の提案が必要。
- **物理的に発生し得る洪水リスク情報を被害予測に導入**した新しい避難支援の枠組みの構築が十勝地方で先行的に実施されており今後、全国的に展開。

科学的な成果に立脚したリスク情報をどのように活用するかは国、自治体、企業、住民の主体的な連携により決め、流域一丸での治水が期待される。地域ごとのコーディネータが必要。