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【最終とりまとめ資料】

平成30年3月22日

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28年8月、観測史上初めて北海道に4つの台風が上陸・接近し、記録的な大雨により全道各地で甚大な被害が発生。今般の災害を踏まえ、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は共同で「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 <u>委員会」を設置</u>
- 平成29年3月、同委員会は、「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」と報告書をとりまとめ

〇 同報告を踏まえ、新たに、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



リスク評価までの手順と検討事項

■本委員会では、気候変動シナリオを設定した上で、将来の降雨量・流出量を算出し、気候変動後の氾濫域や浸水深を算定し、 その結果に基づき、リスク評価を実施する。



気象庁による北海道の気候変化の分析(北海道の気候変化 第2版)

- 北海道内では長期間にわたって均質なデータを確保できる7地点(旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、函館)を平均した年 平均気温は、1898年から2015年にわたって100年あたりおよそ1.59℃の割合で上昇している。
- 大雨の発生回数では、30mm/h以上の発生回数には増加傾向がみられるが、50mm/h以上の発生回数には変化傾向がみられない。また、日降水量50mm以上及び100mm以上の年間発生日数にも変化傾向はみられない。



気象庁による北海道の気候変動予測(北海道の気候変化 第2版)

- 21世紀末(2076~2095年)における北海道の平均気温は、20世紀末(1980~1999年)を基準として3℃程度の上昇がみられ、 北海道内の他の地域に比べてオホーツク海側の上昇がわずかに大きい。
- 21世紀における北海道の夏日の年間日数は、20世紀に比べて30日程度増加し、日本海側や太平洋側西部ではさらに多く増 加することが予測される。また、真夏日の年間日数は10日程度増加し、内陸部でより多く増加することが予測される。



北海道の年平均気温の変化



北海道の夏日の日数の変化



※出典:札幌管区気象台,北海道の気候変化 第2版,2017.3 http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/kikou/kikohenka/ver2/report.pdf

気象庁による北海道の気候変動予測(北海道の気候変化 第2版)

■ 北海道の年降水量は21世紀末に概ね10%増加すると予測されるが、地域ごとにみると、日本海側では増加するが、オホーツク側では変化傾向は明瞭ではない。

■ 日降水量50mm以上、100mm以上の年間発生日数および30mm/h以上、50mm/h以上の年間発生回数も増加し、地域ごとに みても各地域で増加傾向となり、21世紀末には大雨や短時間強雨の頻度が増加することが予測される。



北海道の年降水量の変化





北海道の30mm/h以上年間発生回数の変化



21

年間発生回数の差

(右:21世紀末、左:20年々変動の標準偏差

2世紀末)

5

※出典: 札幌管区気象台,北海道の気候変化 第2版,2017.3 http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/kikou/kikohenka/ver2/report.pdf

気象庁による最新の気候変動予測(地球温暖化予測情報第9巻概要①)

- 気象庁気象研究所が開発した全球大気モデル(MRI-AGCM3.2S、水平解像度20km)に境界条件として海面水温・海氷被覆 データを与え、現在気候(1980~1999年)及び将来気候(2076~2095年)の計算を行った上で、それらの結果を境界条件として、日本周辺を対象とした地域気候モデル(NHRCM05)による計算を実施。
- IPCC第5次評価報告書のRCP8.5シナリオ(4つの想定シナリオのうち、気温の上昇や大雨の頻度の増加が最も大きい)を基に、 4種類の海面水温(SST)変化パターンに対して、MRI-AGCM3.2S及びNHRCM05による計算を行い、不確実性について定量的 な評価を行っているのが特徴である。



気象庁による最新の気候変動予測(地球温暖化予測情報第9巻概要2)

■将来気候の短時間降雨(降水量30mm/h以上、50mm/h以上の短時間強雨)の発生頻度は、ほぼすべての地域及び季節で増加し、このうち、<u>滝のように降る雨(50mm/h以上の短時間強雨)の年間発生回数は全国平均で2倍以上</u>となる。



降水量50mm/h以上の発生回数の予測(単位:回)

※出典:気象庁,地球温暖化予測情報第9巻,2017,pp5,30-31, http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf

気象庁による最新の気候変動予測(地球温暖化予測情報第9巻概要③)

- 将来気候の年最大日降水量(1年間で最も多い日降水量)は全国的に増加し、ほとんどの地域で将来変化量が現在気候の 年々変動幅より大きいことから、将来気候では、現在ではほとんど観測されないような年最大降水量が毎年のように出現する。
 ■ 降水量予測に大きく影響する台風などの顕著現象は、気温等に比べて空間代表性が小さく(狭い地域で集中的に雨が降る等)、
- 降水量 ア剤に入さく影響する古風などの顕者現象は、気温等に比べて空間化表性が小さく(狭い地域で集中的に雨が降る等)、 また発生頻度が稀であるため、解析に利用できる標本の数が限られ、確からしい系統的な変化の検出が難しくなる場合がある が、降水量については広域的に平均や積算した傾向として把握することで問題を低減できる。
- ■年最大日降水量や確率降水量の将来予測の評価は、将来予測のデータ数が多いほど統計的な信頼性が増す。



現在気候に対する変化率(単位:%)

※現在気候に対する変化率で示す。変化傾向が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示(現在気候及び将来気候ともに数値が0の場合は表示対象外)

将来気候における降雨の分析

北海道地方における気候変動予測の考え方

気候変動後の降雨予測の必要性

■ IPCC (気候変動に関する政府間パネル)第5次評価報告書では、気候システムの温暖化については疑う余地がなく、中緯度の陸域のほとんど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という予測がなされている。
 ■ 本検討では、平成28年8月出水で大きな被害を受けた常呂川、十勝川をモデル河川として、気候変動の影響を把握する。

【観測事実と温暖化の要因】

- ◆ 気候システムの温暖化については疑う余地がない。
- ◆ 人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主 な要因であった可能性が極めて高く、温暖化に最も 大きく効いているのは二酸化炭素濃度の増加。
- ◆ 最近15年間、気温の上昇率はそれまでと比べ小さいが、 <u>海洋内部(700m以深)への熱の取り込みは続い</u> <u>ており、地球温暖化は継続している</u>。

【予測結果】

- ▶ <u>21世紀末までに、世界平均気温が0.3~4.8℃上昇、</u> 世界平均海面水位は0.26~0.82m上昇する可能性が高い(4種類のRCPシナリオによる予測)。
- ◆ 21世紀末までに、ほとんどの地域で極端な高温が増加することがほぼ確実。また、中緯度の陸域のほとんど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。

『地球温暖化予測情報 第9巻』(気象庁)より

◆ AR5に示されているRCP8.5シナリオ下での年降水量は、 「多くの中緯度の湿潤地域や高緯度域では今世紀末 までに増加する可能性が高い」ものの、日本域では 北海道付近を除き明瞭な増減効果が現れていない。

() 0 06 年平均 英国気象庁による解析 米国海洋大気庁による解析 米国航空宇宙局による解析 1850 1900 1950 2000 1950年~2100年の世界平均地上気温の 経年変化(1986年~2005年の平均との比較) 2081~2100年 6.0 平均 過去の期間のモデル結果 **RCP2.6** 4.0 **RCP85** ပ် ၃ 2.0 RCP6.0 RCP4.5 0.0 RCP2.6 -2.02100 年 1950 2000 2050

世界の地上気温の経年変化

(IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書を基に国土交通省水管理・国土保全局が作成)

北海道地方における気候変動予測にあたり検討が必要な項目

■ 北海道地方を対象とした、気候変動予測を実施するにあたり、以下の項目についての検討及び確認が必要となる。

1. 気候変動シナリオについて

2. 将来降水量の算出方法について
2-①. 気候変動予測実験データの活用について
2-②. ダウンスケーリングの実施について
-水平解像度(メッシュサイズ)
-計算領域
2-③. 降雨の抽出方法について

12

1. 気候変動シナリオについて

- 最新のIPCC第5次報告書(AR5)で採用されたRCPシナリオでは、温室効果ガス濃度の推移の違いによる、4つのシナリオが用 意されている。
- 防災などの分野においては、地球温暖化による影響が最も大きく現れる場合の情報が不可欠であるため、本検討においても RCP8.5シナリオに基づいた検討を行う。

<RCPシナリオについて>

- ◆ RCPシナリオ:代表濃度経路シナリオ (Representative Concentration Pathways)
- ◆ IPCC第5次報告書において、気候の予測や影響評価を行うため用いられた。
- くシナリオの概要>

<将来予測> 中程度の確信度 Synthesis Report 世界平均地上気温 世界平均海面水位 シナリオ (予測)のタイプ 略称 低位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 2.6W/m) **RCP 2.6** 3 +0.3~1.7°C $+0.26 \sim 0.55 m$ 将来の気温上昇を 2℃以下に抑えるという目標のもとに 開発された排出量の最も低いシナリオ **@** +1.1~2.6°C • **RCP 4.5** 中位安定化シナリオ +0.32~0.63m IPCC第5次評価報告書(AR5) (世紀末の放射端制力 4.5W/ml) Synthesis Report 高位安定化シナリオ **RCP 6.0** +1 4~3 1°C +0.33~0.63m (世紀末の放射強制力 6.0W/ml) 高位参照シナリオ 政策的な緩和策を行わないこと (世紀末の放射強制力 8.5W/ml) XX **RCP 8.5** を想定し、2100年以降も放射 +2.6~4.8°C $+0.45 \sim 0.82 m$ 2100年における温室効果ガス排出量の 強制力の上昇が続くシナリオ 最大排出量に相当するシナリオ

> 放射強制力:何らかの要因(例えばCO₂濃度の変化、エアロゾル濃度の変化、雲分布の変化等)により地球気候系に変化が起 こったときに、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支(放射収支)の変化量(Wm⁻²)。正のときに温暖化の傾向となる。

※出典: JCCCA, IPCC第5次評価報告書特設ページ, 2014, http://www.jccca.org/ipcc/ar5/rcp.html 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省.IPCC第5次評価報告書 第1次作業部会報告書(自然科学的根拠)の公表について.2015.3 http://www.env.go.jp/press/files/jp/23096.pdf

iocc

CLIMATE CHANGE 2014

2-1. 気候変動予測実験データの活用について

- ■気候変動予測に使用する実験データの選定にあたり、日本周辺を対象とした主な予測実験の情報を収集した。
- ■どの予測実験についても、日本周辺での再現性の確認が行われている。
- ■本検討では、d4PDFを基にリスク評価を行うこととする。理由は以下の2点あげられる。
 - ・ 最新のIPCC第5次評価報告書(AR5)のRCPシナリオに基づいていること。
 - 大規模アンサンブル実験により、発生頻度の低い極端気象についての統計的な議論が可能となること。

名称	気候変動 シナリオ	ダウン スケーリング 手法	全球 モデル	領域 モデル	解像度	メンバ数等	実施機関
『地球温暖化予測情報第7 巻』(2008)	SRES A1B/B1	力学的	CGCM	RCM20	20km	20年×2シナリオ ⇒40年分	気象庁
	第7巻のおけ	る予測データに基	づき、北海道	開発局では石	5狩川流域(こおける気候変動に適応した治水利	水対策検討(2010)を実施。
『地球温暖化予測情報第8 巻』(2013)	SRES A1B	力学的	AGCM	NHRCM	5km	20年 ⇒20年分	気象庁
北海道を対象とした力学 的ダウンスケーリング計算 (2013)	全球平均 地上気温2K上昇	力学的	MIROC MPI NCAR	JMA RSM WRF	10km	全球モデル3メンバ ×領域モデル3メンバ×10年 ⇒90年分	気候変動適応研究推進プ ログラム(RECCA)
全球気候変動予測データ /地域気候変動予測デー タ(2014)	RCP 2.6/4.5/6.0/8.5	力学的	AGCM	NHRCM	20km	SST(海面水温)3メンバ ×積雲対流スキーム3メンバ ×20年×4シナリオ ⇒320年分 [※]	環境省 ※一部シナリオは積雲対流スキー ム1メンバのみ、また未解析パター ンあり
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) (2015)	RCP8.5	力学的	AGCM	NHRCM	20km	SST(海面水温)6メンバ×摂動 15メンバ×60年 ⇒5400年分 大規模アンサンブル実験	文科省・気候変動リスク情 報創生プログラムおよび海 洋研究開発機構・地球シ ミュレータ特別推進課題
『地球温暖化予測情報第9 巻』(2017)	RCP8.5	力学的	AGCM	NHRCM	5km	SST(海面水温)4メンバ ×20年 →80年分	気象庁

表ー主な気候変動予測実験の概要

SRES (Special Report on Emissions Scenarios): IPCC第4次評価報告書(AR4)で用いられている温室効果ガス排出シナリオ。 RCP (Representative Concentration Pathway): IPCC第5次評価報告書(AR5)で用いられている代表濃度経路シナリオ。

2-1. 気候変動予測実験データの活用について-大量アンサンブルのメリット

■大規模アンサンブルにより、統計的な検討が可能となる。

3メンバー

■発生頻度の低い極端気象についても、大規模アンサンブル実験により議論が可能となる。

メンバー数の増加によって推定の信頼区間が狭まり、有意な極端降水の評価が可能となる。



※何年ごとに何mm以上の降水が出現するか

※出典:村田ら,多数アンサンブルのダウンスケーリングによる日本の気候の将来予測。 https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/pdf/3 Murata.pdf

2-①. 気候変動予測実験データの活用について-d4PDFについて(1)

- d4PDF は、防災等への研究利用、国・自治体、産業界への影響評価や温暖化対策策定への活用を目的として、文科省・気候 変動リスク情報創生プログラムおよ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ものである。
- 気象庁気象研究所の全球気候モデル(水平解像度60km)と領域気候モデル(日本域20km)を用いた大規模(将来実験90メンバ×60年)な気候変動アンサンブル実験のデータが利用可能である。
- 気候変動予測実験データについては、「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)」を活用する。







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 database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)

◆d4PDFの利用における限界と注意点

- モデルには系統誤差(バイアス)があり、
 影響評価等に用いる際には、バイアス
 補正が必要。
- •6種類のSST昇温パターンを用いているが、モデルの不確実性の幅を十分にはカバーできていない。
- •モデルの「癖」が強く表れて、偏った予 測結果になっている可能性がある。

※出典: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,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html</u> 文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html</u>

2-①. 気候変動予測実験データの活用について-d4PDFについて(2)

■ 過去実験では、観測されたSST(海面水温)データに50の摂動を与えることにより、アンサンブルメンバを作成。
 ■ 将来実験では、6つのSST(海面水温)メンバ及び15の摂動によりアンサンブルメンバを作成。

HadGEM2-AO

将来実験において使用しているSSTモデル							
CMIP5	実験各略称	機関名					
CCSM4	CC	米国 大気科学研究所					
GFDL-CM3	GF	米国 地球物理流体学研究所					
HadGEM2-AO	HA	英国 気象庁ハドレーセンター					
MIROC5	MI	日本 海洋研究開発機構					
MPI-ESM-MR	MP	独 マックスプランク研究所					
MRI-CGCM3	MR	日本 気象庁気象研究所					

CCSM4

◆摂動の作成について

海面水温解析の推定誤差と同等の振幅を 持つ海面水温摂動を作成した。将来実験 には、その中から任意に選んだ15個を使 用した。

⇐使用したCMIP5結合モデル毎の、与えた海面水温変化パターン[K]。すべての月、すべての年、すべてのメンバーを平均したもの。



GFDL-CM3

※出典: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,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html</u> 文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html</u>

2-①. 気候変動予測実験データの活用について-d4PDFについて(3)

- 過去実験のうち、1979年9月から2009年8月までの30年間のデータを用いて、これに対応する気象庁アメダスデータと比較し、 再現性を検証^{※1}。
- 冬季を除いて、バイアス^{※2}の大きさはおよそ30%に収まっている。



※出典:文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12, <u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html</u>

2-2. ダウンスケーリングの実施について-対象とする気象現象と水平スケール(1)

■本検討では、大きな洪水流出をもたらす台風や集中豪雨等の数十kmスケールの気象現象を対象とする。
 ■水平スケールに着目すると、集中豪雨や前線は中規模スケール、台風などの現象は大規模スケールに含まれる。
 ■解析には対象とする水平解像度の4~5倍の解像度が必要とされている。



2-2. ダウンスケーリングの実施について-対象とする気象現象と水平スケール(2)

■ 高薮※らによると、20km格子では時間雨量が大きい降雨の再現ができていないことや、アメダスの極端降雨の再現性を確保するためには水平解像度5kmが必要であることが指摘されている。

時間降水の降り方の、モデル解像度による違い (気象庁 温暖化予測情報第8巻データ)



※出典:高藪,d4PDFの目的と概要,2015.12, <u>https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/pdf/1_Takayabu.pdf</u> 佐々木ら, Reproducibility of Present Climate in a Non-Hydrostatic Regional Climate Model Nested within an Atmosphere General Circulation Model,2011, <u>https://www.jstage.jst.go.jp/article/sola/7/0/7_0_173/_pdf</u>

2-2. ダウンスケーリングの実施について-水平解像度(1)

- ■本検討では、大きな洪水流出をもたらす台風や集中豪雨等の数十kmスケールの気象現象を対象とし、極端降雨や流域の地形特性を十分に表現できる解像度が必要となる。
- d4PDFで利用可能な領域モデル実験(水平格子間隔20km)を用いて、ダウンスケーリング計算を実施することとする。

<ダウンスケーリングについて>

- ◆ 粗い気象モデルを境界条件として、領域内の気象を高解像度に再計算する方法。
- ◆ 課題…解像度によって計算負荷が大きくなる。



(画像:気象庁提供)

2-2. ダウンスケーリングの実施について-水平解像度(2)

■ 解像度を上げることで、計算負荷も増すため、既往の研究報告に基づいて5kmメッシュへダウンスケーリングを実施する。
 ■ ダウンスケーリングには気象庁の領域気象モデル(NHRCM)を用いる。

本検討で実施するダウンスケーリング(常呂川流域の例)



力学的ダウンスケーリングの 実施

2-2. ダウンスケーリングの実施について-対象とする計算領域

- ■ダウンスケーリングの実施にあたり、十勝川及び常呂川流域以外の検討も視野にいれ、北海道地方の気候変動予測に必要な 計算領域を設定する。
- ■計算対象とする領域は、北緯42.75°,東経142.5°を中心とした東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲とした。

ダウンスケーリングの対象とした計算領域



142.5E, 42.75Nを中心に東西方向に800km、南北方向に800kmの範囲

2-3. 降雨の抽出方法について(1)

- d4PDFの日本周辺RCM将来予測60年×90メンバの降雨量データから、各流域で年最大流域平均雨量となるイベントを抽出。このときの降雨継続時間は、常呂川24h、十勝川72hとする。
- サンプルとして5メンバ程度の通年ダウンスケーリングを実施し、年最大雨量抽出の妥当性を確認する。
- ■降雨の抽出期間は、対象降雨を含む2週間程度とする。

・各メンバの6月~11月を対象に、降雨継続時間内の流域平均積算雨量を算定(24hの場合)



2-3. 降雨の抽出方法について(2)

■ d4PDFの20kmメッシュを十勝川水系と常呂川水系の流域図に重ね、各メッシュの寄与率(面積割合)を求める。
 ■ 各メッシュの時間雨量に寄与率をかけて流域で総和をとり、流域面積で割ると時間当たりの流域平均雨量となる。



常呂川12番流域の例

2-3. 降雨の抽出方法について(3)

- ■毎年最大降雨の抽出では、雨量の大きな降雨が同一年に偏った場合に、流量が最大となる降雨が未抽出となることが考えられる。そこで、非毎年で抽出した降雨との比較を行い、妥当性を検討する。
- 非毎年での降雨抽出を行い、毎年最大降雨量との関係を確認した。
- 抽出された雨量について、上位の雨量に大きな差はみられず、本検討で対象とする極端降雨のような上位の降雨が同様に 抽出されていることから、毎年最大雨量による抽出を行うこととする。
- ・十勝川(帯広基準地点)での72時間雨量を対象に実施
- ・非毎年降雨は以下の3通りの方法で抽出
 - ①全実験から上位5400降雨
 - ②各SST(6メンバー)から上位900降雨
 - ③各SST(6メンバー)×各摂動(15パターン)から上位60降雨



2-③. 降雨の抽出方法について(4)

■ 抽出された降雨について、雨量別(50mm毎)にカウントし、雨量別の総数に対して各SSTが占める割合として整理した。
 ■ SSTメンバのうちCCでは規模の大きな降雨の割合が小さくなっている。また、MRでは450mmを超えるような降雨が現れている。





将来気候における降雨の分析-d4PDFデータの概要

■ d4PDF(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)は、全球気候モデル(水平解像度60km)と領域気候モデル(日本域20km)を用いた気候変動アンサンブル実験データである。

■ 将来実験については、60年(2051~2110年)×90メンバ(5400年分)、過去実験は60年(1951年~2010年)の50メンバ(3000年分)のデータとなっている。



[▶] アンサンブルメンバの作成方法について

- 過去実験…観測されたSST(海面水温)データに 摂動を与えることにより、50メンバを作成。
- 将来実験では、6つのSST(海面水温)及び15の 摂動により90アンサンブルメンバを作成。

将来実験において使用しているSSTモデル

CMIP5	実験各略称	機関名
CCSM4	CC	米国 大気科学研究所
GFDL-CM3	GF	米国 流体学研究所
HadGEM2-AO	HA	英国 気象庁ハドレーセンター
MIROC5	МІ	日本 東京大学海洋研究所、 国立環境研究所 海洋研究開発機構
MPI-ESM-MR	MP	独 マックスプランク研究所
MRI-CGCM3	MR	日本 気象庁気象研究所

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 database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)



※出典: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,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html</u> 文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html</u>

将来気候における降雨の分析-ダウンスケーリングについて

- ■大きな洪水流出をもたらす台風や集中豪雨等の数十kmスケールの気象現象を対象とし、極端降雨や流域の地形特性を十分に表現できる解像度が必要となる。
- ■本検討では、d4PDFの領域モデル実験(水平格子間隔20km)結果を、気象庁の領域気象モデル(NHRCM)を用いて5kmメッシュにダウンスケーリングした。

<ダウンスケーリングについて>

- ◆ 粗い気象モデルを境界条件として、領域内の気象を高解像度に再計算する方法。
- ◆ 課題…解像度によって計算負荷が大きくなる。



※出典:文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12,<u>http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html</u>

ダウンスケーリング結果報告(十勝川)1-20kmデータと5kmデータの比較

- 十勝川帯広基準地点流域を対象として、ダウンスケーリング前後の将来実験5400ケース及び過去実験3000ケースの流域平 均72時間雨量を比較した。
- ■ダウンスケーリングによって、過去実験、将来実験ともに、流域平均72時間雨量の中央値が大きくなり、規模の大きな降雨が 増加する傾向となった。



ダウンスケーリング結果報告(十勝川)2-20kmデータと5kmデータの比較

- ダウンスケーリング前(20kmメッシュ)の流域平均72時間雨量とダウンスケーリング後(5kmメッシュ)の流域平均72時間雨量の変化量を整理した。
- 十勝川帯広基準点では、ダウンスケーリング後に72時間雨量が増加したケースが多く、変化量の平均値は過去実験で +10.5mm、将来実験で+10.6mmであった。



ダウンスケーリング結果報告(十勝川)③一実績値及び5kmデータ間の比較

■ 十勝川帯広基準地点流域における実績降雨とダウンスケーリング後の過去実験降雨を比較すると、実績降雨の中央値88mm に対して過去実験降雨の中央値は87mmとなり、同程度であった。

■ダウンスケーリング後の過去実験降雨と将来実験降雨を比較すると、過去実験降雨の中央値87mmに対して将来実験降雨の中央値は101mmとなり、気候変動後には降雨量が増加傾向になる。



ダウンスケーリング結果報告(常呂川)1-20kmデータと5kmデータの比較

- ■常呂川北見基準地点流域を対象として、ダウンスケーリング前後の将来実験5400ケース及び過去実験3000ケースの流域平均24時間雨量を比較した。
- ■ダウンスケーリングによって、過去実験・将来実験ともに、流域平均24時間雨量の中央値が小さくなり、規模の小さな降雨が増加する傾向となった。



ダウンスケーリング結果報告(常呂川)2-20kmデータと5kmデータの比較

- ダウンスケーリング前(20kmメッシュ)の流域平均24時間雨量とダウンスケーリング後(5kmメッシュ)の流域平均24時間雨量の 変化量を整理した。
- ■常呂川北見基準点では、ダウンスケーリング後に24時間雨量が減少したケースが多く、変化量の平均値は過去実験で-5.3mm、 将来実験で-9.7mmであった。


ダウンスケーリング結果報告(常呂川)3一実績値及び5kmデータ間の比較

- ■常呂川北見基準地点流域における実績降雨とダウンスケーリング後の過去実験降雨を比較すると、実績降雨の中央値58mm に対して過去実験降雨の中央値は57mmとなり中央値ではほぼ一致しているが、各クオンタイル値では実績降雨と比較して過 去実験降雨は小さい傾向がみられた。
- ■ダウンスケーリング後の過去実験降雨と将来実験降雨を比較すると、過去実験降雨の中央値57mmに対して将来実験降雨の中央値は62mmとなり、気候変動後には降雨量が増加傾向になる。



過去実験 最大値

253mm/24h

6%

4%

2%

0%

0 20

将来宝蹄 最大値

426mm/24hr

将来実験(累積度数)

30%

20%

10%

0%

ダウンスケーリング結果報告-ダウンスケーリング前後での雨量分布変化

- 十勝川流域を対象とし、ダウンスケーリングによって帯広基準地点流域平均72時間雨量が増加した将来実験2056年(MI m103)の72時間積算雨量分布図を作成した。
- ダウンスケーリング後の降雨分布は、ダウンスケーリング前と比べて降雨分布が明瞭となったほか、日高山脈の影響を強く受 けたことにより十勝川流域の降雨が増加したものと考えられる。

▶ 十勝川 将来実験 MI m103 2056年データ ダウンスケーリング前(20kmメッシュ)

ダウンスケーリング後(5kmメッシュ)



ダウンスケーリング結果報告-ダウンスケーリング前後での雨量分布変化

- 常呂川流域を対象とし、ダウンスケーリングによって北見基準地点流域平均24時間雨量が減少した将来実験2075年(CC m102)の24時間積算雨量分布図を作成した。
- ダウンスケーリング後の降雨分布は、ダウンスケーリング前と比べて降雨分布が明瞭となったほか、知床半島から阿寒湖に広 がる山地の影響を受け、常呂川流域外の降雨が増加したため、常呂川流域の降雨が減少したものと考えられる。



バイアス補正について

バイアス補正の必要性

- 過去実験のうち、1979年9月から2009年8月までの30年間のデータを気象庁アメダスデータと比較すると、十勝川流域および 常呂川流域が位置するNP地域においては、6月~8月において降水量が少なくなる傾向にある。
- d4PDFは、単一の気象モデル(AGCM、NHRCM)を用いていることから、モデルの系統誤差を含んでいる可能性があるため、 本検討では降雨量に対してバイアス補正を行う。



によってモデル再現値を求めた。

※2:100×(b/a-1)、ここでaは観測値、bはモデル再現値

※出典:文部科学省ほか,d4PDF利用の手引き,2015.12, http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html

バイアス補正実施にあたっての留意点

・実績降雨データと過去実験データにより バイアス補正式を設定するため、設定した バイアス補正式が将来実験データのバイ アス補正には適さない可能性がある。

 ・観測体制等により、実績降雨データは不 確実性を含んでいるため、バイアス補正を 行っても真値を捉えられない可能性があ る。

年最大降雨の発生月

- ■気候変動後の年最大降雨の発生時期の変化傾向を確認するため、過去実験3000ケースと将来実験5400ケースの年最大降 雨発生月を整理した。
- 比較の結果、十勝川流域および常呂川流域ともに、過去実験と将来実験の年最大降雨発生月に違いはみられなかった。



これまでに実施されたバイアス補正手法の例

■ これまでに、様々なバイアス補正手法が提案されており、主に日降水量を対象に補正がおこなわれている。

●井沢ら¹⁾

①月平均降水量の比を用いた方法

基準期間におけるモデル出力と観測値の各月ごとの月平均降水量の比を計算する。その比を対応する月の<u>日降水量</u>にかけることで、モデル出 カの月平均値が観測の月平均値を一致するように補正される。

②累積分布関数を用いた方法

モデル出力及び観測値それぞれについて各月ごとの<u>日降水量</u>のクオンタイル値を求める。そして、モデル出力の各クオンタイル値が対応する観 測値のクオンタイル値に置き換えられることによって、モデル出力のバイアス補正が行われる。

③各日降水量毎に係数を定める方法

基準期間における観測日降水量とモデル日降水量をそれぞれ降順に並べ、同順位の日データの比を求めることで、各日毎のスケーリング係数 を定める。そのスケーリング係数を、降順に並べたバイアス補正対象期間の対応する順位の日**降水量**にかけることで、補正された日降水量を得る。

●森ら²⁾

①適用手法1

現在気候における初期条件アンサンブル出力(main、m01、m02の3つのアンサンブル)および観測値の<u>日降水量</u>データの25年間分を月ごとに 分類し、各月について日降水量を大きさの順位ソートする。次に、各順位の初期条件アンサンブル出力と観測値の比率を算出し、j-12番目からj+12 番目の25個の平均をj番目の比率とする。その比率を初期条件アンサンブル出力ごとに求め、将来も変わらないとして各初期条件アンサンブル出力 の現在気候降水量、将来気候降水量に乗じることで補正する。

②適用手法2

現在気候における初期条件アンサンブル出力および観測値の日降水量データの25年間分を月ごとに分類し、各月について日降水量を大きさの 順位ソートする。そして、各順位において全ての初期条件アンサンブル出力の平均値と観測値の比率を算出し、j-12番目からj+12番目の25個の平 均をj番目の比率とする。この比率を全ての初期条件アンサンブル出力の現在気候降水量、将来気候降水量に乗じることで補正する。

●猪俣ら³⁾

GCM20(計算値)およびアメダスの日降水量データを月毎に分類し、各月について各日降水量の非超過確率を求め、GCM20降水量と観測値の 各非超過確率降水量値について比率を算出する。次に、その非超過確率ごとに定められたGCM20降水量と観測値の比率は将来も変わらないとし てGCM20の将来予測降水量にその比率を乗じることで将来の降水量を推定する。

- 1)井沢 慶彦、藤村 和正、村上 雅博、鼎 信次郎(2015):領域気候モデルとバイアス補正手法に起因する不確実性が早明浦ダム貯水量将来変化の推定に与える影響、流域圏 学会誌 第3巻 第1号、p23-32
- 2)森 信治、Kim sunmin、萬 和明、立川 康人、椎葉 充晴(2012):気候モデルのアンサンブル降水出力に対するバイアス補正の影響分析、水文・水資源学会研究発表会要旨集 25(0)、254

3) 猪俣 広典、竹内 邦良、深見 和彦(2009): GCM降水量データの統計的バイアス補正手法に関する一考察、水工学論文集第53巻、p223-228

■ 気象研究所技術報告第73号では、バイアス補正手法としてピアニの手法、クオンタイルマッピング法が紹介されている。
■ 本検討では、流出計算実施の際の時間雨量に対してもバイアス補正を行う。そのため、バイアス補正を行っても補正前の降雨と大小関係(降雨波形)が維持され、実務上も取り扱いが容易なピアニの手法を用いる。



ピアニの手法によるバイアス補正

- 過去実験の年最大雨量を対象とし、ピアニの手法によるバイアス補正を実施した。
- 関係式作成の対象データは観測実績データとの対応期間とし、過去実験の各50アンサンブルメンバの関係式を作成した。
- なお、関係式については、降雨量が負の値となることのないように、b=0とした。
- ■作成した50アンサンブルメンバの関係式の定数aの平均値を算出し、全サンプルに適用する関係式を作成した。



設定したバイアス補正式

■補正式の作成において、50メンバ毎に作成した補正式の係数aの平均値を用いるにあたり、メンバ毎の係数aの分布を確認した。

■ 係数aの平均値は、十勝川帯広基準地点で0.99、常呂川北見基準地点で1.10となっており、中央値と一致している。



バイアス補正結果[十勝川帯広基準地点]

■ 十勝川帯広基準点については、流域平均72時間年最大雨量を対象に、バイアス補正係数a=0.99として補正を実施した。
■ バイアス補正の結果、過去実験における年最大雨量の累積度数は実績の年最大雨量の累積度数に概ね一致している。
■ 将来実験では、中央値は1.16倍、95%タイル値は1.32倍に降雨量が増加する。



バイアス補正結果【常呂川 北見基準地点】

■常呂川北見基準点については、流域平均24時間年最大雨量を対象に、バイアス補正係数a=1.10として補正を実施した。
■バイアス補正の結果、過去実験における年最大雨量の累積度数は実績の年最大雨量の累積度数に概ね一致している。
■将来実験では、中央値は1.09倍、95%タイル値は1.32倍に降雨量が増加する。



将来気候における降雨量の変化

降雨の評価方法について

- ■これまでの降雨の評価は、実績降雨を用いた確率評価によって求めた各確率規模の降雨を対象に行われてきた。
- ■本検討では、大量アンサンブルデータを取り扱ったことによって、同一の確率規模において発生しうる降雨の幅を設定することが可能である。
- そこで、十勝川1/150確率規模及び常呂川1/100確率規模を対象に、信頼区間や頻度を検討した。



実績降雨および過去実験降雨の確率評価(十勝川)

- ■現在の降雨の規模を把握するため、Gumbel分布およびGEV分布(一般化極値分布)を用いて、十勝川帯広基準地点の実績 降雨(1951年~2010年)および過去実験(1951年~2010年、50メンバ)の確率評価を実施した。
- Gumbel分布では、計画規模である1/150確率雨量を比較すると、実績降雨が226mm、過去実験が183mm~296mmとなった。
 GEV分布では、計画規模である1/150確率雨量を比較すると、実績降雨が266mm、過去実験が180mm~411mmとなった。
 SLSCについては、GEV分布で0.025となり、適合度が高いとされている0.040以下の値となった。



50

実績降雨および過去実験降雨の確率評価(常呂川)

- ■現在の降雨の規模を把握するため、Gumbel分布およびGEV分布(一般化極値分布)を用いて、常呂川北見基準地点の実績 降雨(1962年~2010年)および過去実験(1951年~2010年、50メンバ)の確率評価を実施した。
- Gumbel分布では、計画規模である1/100確率雨量を比較すると、実績降雨が169mm、過去実験が149mm~210mmとなった。
- GEV分布では、計画規模である1/100確率雨量を比較すると、実績降雨が189mm、過去実験が118mm~244mmとなった。
- SLSCについては、Gumbel分布で0.028、GEV分布で0.022となり、どちらの分布についても適合度が高いとされている0.040 以下の値となった。



リサンプリングの必要性

- 過去実験データの計画規模降雨を整理すると、十勝川帯広地点1/150確率規模の降雨はGumbel分布で最小値183mm~最大値296mm、GEV分布で最小値180mm~最大値411mmであった。また、常呂川北見基準地点の1/100確率規模の降雨はGumbel分布で最小値141mm~最大値197mm、GEV分布で最小値118mm~最大値244mmであった。
- 50メンバの標本数でも中央値や95%信頼区間を把握することは可能である。しかし、近年の計算機の進歩によってリサンプリングの実施が容易になったことから、本検討ではリサンプリングによって分布の波形を描くこととした。



リサンプリング方法

- 確率雨量の取りう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標本を大量に 作成し、確率評価を行った。
- ■リサンプリングの標本数は、確率雨量の試行毎の値の変動を考慮し、1.0×10⁵個とした。
- 過去実験については、年々変動の影響を考慮し、各年の50メンバから1メンバを無作為抽出したものを一つの標本とした。将来 実験については、5400ケースから60ケースを無作為抽出し、一つの標本とした。



リサンプリング結果

■リサンプリング前後を比較すると、いずれの地点、分布形においても95%信頼区間の幅は概ね一致している。
■リサンプリングによりデータが増えたことで、分布の波形を描くことができた。



過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価【十勝川 帯広基準地点】①

- 適合性の高いGEV分布では、1/150確率雨量の過去実験の95%信頼区間は188mm~360mmとなった。一方、将来実験の 95%信頼区間は252mm~517mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる傾向がみられた。
- ■気象シミュレーションを使用すれば、多数の標本を得ることができ、例えば危機管理上の対応は、信頼区間の上限値で対応するなど、新たな視点で適応策を検討することが可能となる。



過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価【+勝川 帯広基準地点】2

- 適合度の高かったGEV分布では、将来実験の中央値353mmが過去実験の95%信頼区間内に含まれる。
- ■中央値では、帯広基準地点の年最大72時間雨量は、256mmから353mmへと1.38倍増加する。
- 過去実験の分布と将来実験の分布が重なっており、気候変動への対応は、現在気候でも生じる中央値以上の降雨に対しても 有効である。



過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価【常呂川 北見基準地点】①

■ Gumbel分布による確率評価の結果、1/100確率雨量の過去実験の95%信頼区間は147mm~205mmとなった。一方、将来実験の95%信頼区間は189mm~285mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる。

■ GEV分布による確率評価の結果、1/100確率雨量の過去実験の95%信頼区間は133mm~229mmとなった。一方、将来実験の95%信頼区間は179mm~352mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる。



過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価【常呂川 北見基準地点】②

■ GEV分布の将来実験の中央値245mmは過去実験の95%信頼区間に含まれていない。 ■ 中央値では、北見基準地点の年最大24時間雨量は、172mmから245mmへと1.42倍増加する。



抽出ダウンスケーリングと 通年ダウンスケーリングの比較

抽出5kmデータと通年ダウンスケーリング結果との比較

- ■本検討では、d4PDFの降雨量データから、年最大流域平均雨量(十勝川72hr、常呂川24hr)を抽出し、当該降雨を含む2週間 程度についてダウンスケーリングを実施した。
- 初期条件の違いとともに、ダウンスケーリングによって、年最大降雨の生じる日時がずれる可能性があるため、通年ダウンスケーリングをした場合の違いについて確認する。

抽出ダウンスケーリング計算の概要

・各メンバの6月~11月を対象に、降雨継続時間内の流域平均積算雨量を算定(24hの場合)



通年ダウンスケーリング結果一降雨量の比較

- d4PDF(20km)において、十勝川帯広基準地点の年最大72時間雨量が大きいケースから、通年ダウンスケーリングを実施した。 過去実験、将来実験ともに、1000ケースの計算を予定しているが、計算が終了している過去実験629ケースの結果を整理した。
- 同一ケースで通年ダウンスケーリングと抽出ダウンスケーリングのデータを比較すると、72時間雨量の差は平均約3mm、降雨 の発生時刻が同一となるケースが8割、6時間以内となるケースが約9割となった。
- 通年計算データから年最大降雨が異なるケースは1割程度であり、降雨の変化量の平均も0mm付近であることから、抽出計算 による年最大降雨量の算出への影響は小さいと考えられる。

▶ 発生時刻の差

同一時刻となるケース:80%

	十勝川	過去実験629ケース	
T T			

▶ 降雨の変化量

2σの幅:-22mm~28mm

平均值:2.83mm



小流域での将来気候における降雨量の変化

対象流域の概要-十勝川水系佐幌川・常呂川水系無加川

十勝川水系佐幌川流域及び常呂川水系無加川を対象に、将来気候における降雨量の変化を推定した。
佐幌川の流域面積は384.8km²であり、ダウンスケーリング実施対象降雨を抽出した帯広基準地点の流域面積2677.8km²の約15%である。また、無加川の流域面積は558.5km²であり、ダウンスケーリング実施対象降雨を抽出した北見基準地点の流域面積1394.2km²の約40%である。





年最大降雨の抽出(佐幌川)1-20kmデータと5kmデータの比較

- d4PDF20kmメッシュデータにおける年最大流域平均72時間雨量の発生時期が帯広基準地点と重複する、将来実験3825ケー ス及び過去実験2215ケースを確率評価の対象とした。
- 20kmメッシュでは、実績降雨との乖離が著しいが、ダウンスケーリング後の5kmメッシュでは、100mm/72h以上の降雨の分布 はほぼ一致している。



年最大降雨の抽出(佐幌川)2一実績値及び5kmデータ間の比較

■ダウンスケーリング後の過去実験降雨と将来実験降雨を比較すると、過去実験降雨の中央値95mmに対して将来実験降雨の中央値は110mmとなり、気候変動後には降雨量が増加傾向になる。

■ 超過確率1/100相当となる99%タイル値では、過去実験で271mm、将来実験で388mmとなり、約1.43倍に増加する。



年最大雨量(mm/72h)

年最大降雨の抽出(無加川)1-20kmデータと5kmデータの比較

- d4PDF20kmメッシュデータにおける年最大流域平均24時間雨量の発生時期が北見基準地点と重複する、将来実験4553ケース及び過去実験2586ケースを確率評価の対象とした。
- 20kmメッシュ、ダウンスケーリング後の5kmメッシュともに、実績降雨の分布とほぼ一致している。



年最大降雨の抽出(無加川)2一実績値及び5kmデータ間の比較

■ダウンスケーリング後の過去実験降雨と将来実験降雨を比較すると、過去実験降雨の中央値59mmに対して将来実験降雨の中央値は66mmとなり、気候変動後には降雨量が増加傾向になる。

■ 超過確率1/100相当となる99%タイル値では、過去実験で157mm、将来実験で217mmとなり、約1.38倍に増加する。



流域によるダウンスケーリング結果の違い(過去実験)

- ■帯広地点、佐幌川流域については、ダウンスケーリングによって観測実績との整合が高くなる。一方、北見地点、無加川流域では、20kmメッシュでも観測実績との整合がよい。
- ■地形の効果が大きい流域ではダウンスケーリングが必要であり、一方、地形の効果が小さい流域では、20kmメッシュを活用できる可能性がある。



流域によるダウンスケーリング結果の違い(将来実験)

- 流域面積の違いによる気候変動の影響を確認したが、クオンタイル値の変化率では明瞭な違いは見られなかった
- ■一方、変動係数では流域の違いが見られることから、他流域やより小流域を対象に気候変動の影響の現れ方について分析を 行う必要がある。



流域によるダウンスケーリング結果の違い

■メッシュ毎の過去実験と将来実験の降雨の変動係数では、流域によって違いがあることから、他流域やより小流域を対象に気候変動の影響の現れ方について分析を行う必要がある。

降水量の空間的なばらつき



72(十勝川),24(常呂川)時間累積降水量をグリッドごとに算出し、その変動係数を算出

・両流域ともに気候変動下の将来気候(4℃上昇実験)では、計画規模の大雨イベントは、より局所性を有する。

※山田朋人准教授、星野剛研究員(北海道大学)作成資料

【参考】バイアス補正結果(佐幌川)

- 佐幌川については、流域平均72時間年最大雨量を対象に、バイアス補正係数を帯広基準地点を対象として算出されたa=0.99 として補正を実施した。
- ■バイアス補正の結果、実績における年最大雨量の中央値は101mmに対して、過去実験における年最大雨量の中央値は 94mmとなった。


【参考】過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価(佐幌川)①

- Gumbel分布による確率評価の結果、1/100確率雨量の過去実験の95%信頼区間は217mm~313mmとなった。一方、将来実験の95%信頼区間は292mm~440mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる傾向がみられた。
- GEV分布による確率評価の結果、1/100確率雨量の過去実験の95%信頼区間は206mm~375mmとなった。一方、将来実験の95%信頼区間は289mm~550mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる傾向がみられた。



【参考】過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価(佐幌川)2

■ GEV分布の将来実験の中央値395mmは過去実験の95%信頼区間に含まれていない。 ■ 中央値では、佐幌川流域の年最大72時間雨量は、277mmから395mmへと1.43倍増加する。

Gumbel分布



GEV分布

- 無加川については、流域平均24時間年最大雨量を対象に、バイアス補正係数を北見基準地点を対象として算出されたa=1.10 として補正を実施した。
- ■バイアス補正の結果、実績における年最大雨量の中央値は59mmに対して、過去実験における年最大雨量の中央値は65mm となった。



【参考】過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価(無加川)①

- Gumbel分布による確率評価の結果、1/100確率雨量の過去実験の95%信頼区間は148mm~206mmとなった。一方、将来 実験の95%信頼区間は194mm~286mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる傾向がみられた。
- GEV分布による確率評価の結果、1/100確率雨量の過去実験の95%信頼区間は132mm~227mmとなった。一方、将来実験の95%信頼区間は182mm~346mmとなり、将来気候では降雨が大きくなる傾向がみられた。



【参考】過去実験降雨及び将来実験降雨の確率評価(無加川)2

■ GEV分布の将来実験の中央値246mmは過去実験の95%信頼区間に含まれていない。 ■ 中央値では、無加川流域の年最大24時間雨量は、172mmから246mmへと1.43倍増加する。





d4PDF20kmメッシュデータの確率評価【十勝川 帯広基準地点】

■ダウンスケーリング前後で、1/150確率降雨量の中央値は異なるが、変化率に大きな違いはない。

Gumbel分布



GEV分布

d4PDF20kmメッシュデータの確率評価【常呂川 北見基準地点】

■ダウンスケーリング前後で、1/100確率降雨量の中央値は異なるが、変化率に大きな違いはない。



79

地域気候変動予測データでの 将来気候における降雨量の変化

- 将来の1/100確率雨量について、d4PDFにおけるRCP8.5シナリオにおける推定に加えて、地域気候変動予測データを用いて 気候変動シナリオによる違いについて、概略的に比較を行った。
- ■地域気候変動予測データにおける将来気候データは2080年~2100年までの20年間、SSTは3パターンの計60年分となっている。RCP8.5については、積雲対流スキーム3パターンを加えた、計180年分となっている。

名称	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)(2015)	全球気候変動予測データ/地域気候変動予測データ(2014)
気候変動シナリオ	RCP8.5	RCP2.6/4.5/6.0/8.5
ダウンスケーリング手法	力学的	力学的
全球モデル	AGCM	AGCM
領域モデル	NHRCM	NHRCM
解像度	20km	20km
実験年	過去実験:1951年~2010年(60年) 4℃上昇実験:2051年~2110年(60年)	現在気候:1984年~2004年(20年) 将来気候:2080年~2100年(20年)
海面水温パターン (SST)	過去実験:COBE-SST2 4℃上昇実験:6パターン(CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2- AO、MIROC5、MPI-ESM-MR、MRI-CGCM3)	過去実験:HadISST 将来気候:3パターン*(SST1、SST2、SST3) ※IPCC第5次評価報告書において用いられた第5期結合モデ ル相互比較計画(CMIP5)データより作成された、3種の異なる 特徴を有する海面水温の将来変化の空間パターン
積雲対流スキーム	1パターン(Yoshimura Scheme (YS))	3パターン(Yoshimura Scheme (YS)、Kain-Fritsch Scheme (KF)、Arakawa-Schubert Scheme (AS))
メンバ数等	過去実験:摂動50メンバ×60年 ⇒3000年分 4℃上昇実験:SST(海面水温)6メンバ×摂動15メンバ×60年 ⇒5400年分	過去実験:積雲対流スキーム3メンバ×20年 ⇒60年分 将来気候: 【RCP2.6/4.5/6.0】SST(海面水温)3メンバ×積雲対流スキー ム1メンバ×20年 ⇒各60年分 【RCP8.5】SST(海面水温)3メンバ×積雲対流スキーム3メン バ×20年 ⇒180年分
実施機関	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	環境省·気象庁·気象研究所

d4PDFと地域気候変動予測データの計算条件比較表

地域気候変動予測データでの降雨の確率評価

- ■常呂川北見地点における過去実験・将来実験(RCP2.6及びRCP8.5)における降雨の確率評価を実施した。
- 1/100確率規模の流域平均24時間雨量(GEV分布中央値)は、RCP2.6シナリオ(192mm)が過去実験(171mm)の約1.12倍となった。また、RCP8.5シナリオ(255mm)が過去実験の約1.49倍となった。
- ■地域気候変動予測データは20kmメッシュデータであり、d4PDFとは計算条件も異なるデータセットである。一方で、d4PDFの ダウンスケーリング5kmデータと同様に、将来実験は過去実験と比較し、確率雨量の中央値が増加することを確認した。

> 各データでの確率評価の結果

常呂川北見基準地点 GEV分布1/100確率降雨の中央値の比較

※()内は95%信頼区間

	*****	過去実験 (mm/24h)	将来実験(mm/24h)			
	サイズ		RCP2.6	過去実験から の変化倍率	RCP8.5	過去実験から の変化倍率
地域気候変動予測データ	20km	171 (132 ~ 220)	192 (153 ~ 226)	1.12倍	255 (178 ~ 344)	1.49倍
	20km	164 (126~216)			224 (169 ~ 308)	1.37倍
	5km	172 (133 ~ 229)			245 (179 ~ 352)	1.42倍

※地域気候変動予測データについては、年最大降雨が抽出可能であった19年分(過去実験1985年~2003年、将来実験2081年~2099年)の データを対象とした。サンプル数がd4PDFと異なり、これまでのピアニの手法の考え方が適用できないため、バイアス補正は実施していない。リ サンプリングについては重複を許した無作為抽出により、60年分を1つの標本とした。

まとめ①一降雨分析結果

- 将来気候における降雨量の変化
 - 各流域ともに、将来実験は過去実験の<u>約1.4倍</u>に増加した。
 - 同一の確率規模では、将来実験と過去実験の降雨の信頼区間が重複しており、気候変動後の
 の降雨は現在気候においても発生する可能性がある。

対象流域	降雨継続時間/確率規模	流域面積 (km²)	過去実験 (mm)	将来実験 (mm)	変化
十勝川 帯広地点	72時間/1/150確率	2,678	256	353	1.38倍
十勝川 佐幌川流域	72時間/1/100確率	385	277	395	1.43倍
常呂川 北見地点	24時間/1/100確率	1,394	172	245	1.42倍
常呂川 無加川流域	24時間/1/100確率	559	172	246	1.43倍

確率雨量の分布の中央値(GEV分布)

- 抽出計算手法の通年データを用いた検証
 - 通年計算データから年最大降雨が異なるケースは1割程度であり、降雨の変化量の平均も 0mm付近であることから、抽出計算による年最大降雨量の算出への影響は小さいと考えられる。
- ▶ 流域面積による違い
 - 流域面積の違いによる気候変動の影響を確認したが、度数分布におけるクオンタイル値の変 化率では明瞭な違いは見られなかった。一方で、メッシュ毎の降雨の変動係数では、流域に よって違いがあることから、他流域やより小流域を対象に気候変動の影響の現れ方について 分析を行う必要がある。

将来気候における洪水量の分析



流出計算モデル

■ 流出モデルは、北海道の実洪水での活用実績がある分布型の2段タンク型貯留関数モデルを採用する。



基礎式(2段タンク)

$$\begin{cases}
s_{1} = k_{11}q_{1}^{p1} + k_{12}\frac{d}{dt}(q_{1}^{p2}) \\
\frac{ds_{1}}{dt} = r - q_{1} - b \\
b = k_{13}q_{1} \\
s_{2} = K_{21}q_{2} + k_{22}\frac{d}{dt}(q_{2}) \\
\frac{ds_{2}}{dt} = b - q_{2} \\
q = q_{1} + q_{2}
\end{cases}$$

$$\begin{cases}
k_{11} = c_{11}A^{0.24} \\
k_{12} = c_{12}k_{11}^{2}\overline{r}^{-0.2648} \\
k_{13} = c_{13} - 1 \\
k_{21} = \frac{c_{1}}{c_{0}}k_{13} \left[c_{0} = (\delta/T_{c})^{2}\right] \\
K_{22} = \frac{1}{c_{0}}k_{13} \left[c_{1} = \delta^{2}/T_{c}\right] \\
K_{11} = C_{11}A^{0.24} \\
k_{12} = c_{12}k_{11}^{2}\overline{r}^{-0.2648} \\
k_{13} = c_{13} - 1 \\
k_{21} = \frac{c_{1}}{c_{0}}k_{13} \left[c_{0} = (\delta/T_{c})^{2}\right] \\
K_{22} = \frac{1}{c_{0}}k_{13} \left[c_{1} = \delta^{2}/T_{c}\right] \\
K_{11} = X \times f_{c} \\
f_{c} = (n/\sqrt{i})^{0.6}
\end{cases}$$

基礎式(河道追跡)

$$\begin{cases} \frac{dA}{dt} + \frac{dQ}{dx} = 0\\ Q = hBv\\ v = \frac{1}{n}h^{\frac{2}{3}i^{\frac{1}{2}}} \end{cases}$$

 s_1 :1段目タンク貯留高(mm)、 s_2 :2段目タンク貯留高(mm)、r:観測雨量(mm/h)、q:全流出高(mm/h)、 q_1 :表面・中間流出高(mm/h)、 q_2 :地下流出高(mm/h)、b:1段目タンクから2段目タンクへの浸透供給量(mm/h)、 k_{11} , k_{12} , k_{21} , k_{22} :貯留係数、 k_{13} :浸透係数、 p_1, p_2 :貯留指数、A:流域面積(km²)、 \overline{r} :平均雨量強度(mm/h)、 c_{11}, c_{12}, c_{13} :モデル定数(未知定数)、 f_c :流域粗度、N:等価粗度($s/m^{1/3}$)、i:平均斜面勾配、 $p_1 = 0.6$ 、 $p_2 = 0.4648$ 、 $\delta = 2.1$ 、X:未知定数、h:水深(m)、B:河道幅(m)、n:河道粗度、i:河道勾配

流出計算モデルー定数設定と計算結果の関係

■モデル定数C₁₁、C₁₂、C₁₃及び分離時定数T_cの値の変化によって、算出される流量は以下のように変化する。



ダウンスケーリング後降雨データと分布型モデルメッシュサイズの関係

 ■ メッシュサイズは、流域特性及び全国合成レーダ雨量の1kmメッシュ分布データを有効活用することを基本とし、地形勾配や流 域形状、河道網を勘案し、現在配信されているレーダ雨量メッシュサイズと同様に1km分割とした。
 ■ 入力する降雨データは5kmメッシュとなっており、その解像度を活かせる詳細なメッシュサイズとした。

各流域のメッシュ分割図(青線1kmメッシュ)





※d4PDFにおけるメッシュデータは緯度経度を基準に設定されている。5kmメッシュは、緯度経度方向ともに0.05度(=180秒)となっているため、実際には縦 6km×横4kmの形に近いが、ここでは便宜上5kmメッシュと表現している。一方で、 流出モデルの1kmメッシュは地域標準3次メッシュを使用している。地域標準メッ シュは、できるだけ縦横の距離が等しくなるように設定されており、緯度方向45秒、 経度方向30秒で設定されている。そのため、5kmメッシュ(180秒×180秒)内に は、1kmメッシュ(45秒×30秒)は、縦6メッシュ、横4メッシュが含まれることになる。



■ 各メッシュの標高データは、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ(標高)を用いて設定した。

地盤高図(十勝川流域の一部)



流出量算出に用いる等価粗度の設定

- ■国土数値情報等の土地利用データを基にした各メッシュの代表土地利用状況から、表面・中間流出の算出に必要な等価粗度を設定した。
- ■なお、等価粗度は水理公式集(平成11年版)を基に設定した。



土地利用形態	等価粗度 n(m ^{-1/3} •s)	代表土地地目
水田	2.0	河川湖沼、水田
山林	0.7	森林
丘陵、畑地、 ゴルフ場、公園	0.3	他農用地、荒地、ゴルフ場
市街地	0.03	建物用地、他用地

土地利用形態と等価粗度nの標準値

『水理公式集(平成11年版)』

【参考】流域特性と等価粗度(田岡・日野、1965)

流域の状態	等価粗度 n(m ^{-1/3} •s)
階段状に宅地造成を行った丘陵地帯	0.05
流域の一部(15%)に宅地を含む丘陵地 帯	0.1~0.2
階段状田畑主体流域	0.2~0.4
上流山地、中下流に市街地を含む階段 状田畑主体流域	0.3~0.5
主として林相のかなりよい山地流域	0.4~0.8
上流丘陵地50%、中流市街地20%、下 流低平水田30%の流域	0.6~1.1
排水改良の行われていない水田地帯	1~3

『国土交通省河川砂防技術基準 調査編及び参考となる資料(平成24年6月版)』

河道追跡に用いる粗度係数の設定

- 落水線は、各メッシュの地盤高を基に設定した。
- ■河道追跡計算に用いる粗度係数は、「国土交通省河川砂防技術基準調査編及び参考となる資料(平成24年6月版)」より、山 地流路の粗度係数0.030を採用した。

河道網図(十勝川流域の一部)



河川や水路の状況。	と粗度係数	の範囲
-----------	-------	-----

	河川や水路の状況	マニングの n の範囲
T	コンクリート人工水路	0.014~0.020
Î	スパイラル半管水路	0.021~0.030
水	両岸石張小水路 (泥土床)	0.025 (平均值)
路	岩盤堀放し	0.035~0.05
- 大5	岩盤整正	0.025~0.04
修	粘土性河床、洗掘のない程度の流速	0.016~0.022
河	砂質ローム、粘土質ローム	0.020 (平均値)
	ドラグライン掘しゅんせつ、雑草少	0.025~0.033
	平野の少流路、雑草なし	0.025~0.033
	平野の少流路、雑草、潅木有	0.030~0.040
自	平野の少流路 雑草多 礫河床	0.040~0.055
然河	山地流路、砂利、玉石	0.030~0.050
jii l	山地流路、玉石、大玉石	0.040以上
	大流路、粘土、砂質床、蛇行少	0.018~0.0353
	大流路、礫河床	0.025~0.040

『国土交通省河川砂防技術基準

調査編及び参考となる資料(平成24年6月版)』

再現計算によるモデル定数の設定(十勝川)-H28.8出水再現定数①

- 十勝川流域において、H28.8出水を対象に再現計算を実施し、最適定数を設定した。
- 再現計算の結果、H28.8出水については前半ハイドロのピーク流量は過大に評価されるものの、最も大きいピーク流量が再現 されることを確認した。



再現計算によるモデル定数の設定(十勝川)-H28.8出水再現定数2

■ H28.8出水の再現計算で設定したモデル定数で、レーダー雨量が得られている近年の主要洪水の再現性を確認した。
 ■ 確認の結果、H28.8出水ではピーク流量を再現できたが、その他の出水に対しては、ピーク流量を過大に評価する結果となった。
 ■ H28.8出水は、これまでに経験のない連続降雨による出水であり、H28.8出水で設定した定数を用いると、それ以外の出水の再現性が得られない可能性がある。



再現計算によるモデル定数の設定(十勝川)-H23.9出水再現定数

■ 十勝川流域において、H23.9出水を対象に再現計算を実施し、最適定数を設定した。



流出計算結果ーピーク流量の頻度分布

■ 平成23年9月洪水の再現定数を用いた流出計算では、規模の大きな洪水に対して平均的な傾向を示した。

■ 一方で、実績流量と過去実験結果の流出計算結果のピーク流量の頻度分布を比較したところ、実績値との乖離が生じている。





再現対象降雨の選定

- 実績値との乖離を解消するため、定数設定の関数化を実施した。
- 再現対象降雨事例は、ピーク流量と72時間雨量の関係式近傍に位置している降雨の中から、既に再現計算を実施したH23.9 出水に加えて、4事例を選定した。
- ■なお、対象降雨はレーダー・アメダス解析雨量データが整備されている期間からの抽出を基本とした。



モデル定数C11及びC12と流域平均雨量の関係式の作成

■ 流域平均72時間雨量によって、C₁₁及びC₁₂が調整されるように、関係式を流出計算モデルに組み込み、流出計算を実施する。
 ■ 芽室太地点から帯広地点までの残流域でのモデル定数C₁₁の関係式は、y=676.95X^{-0.47}となった。

▶72時間雨量と帯広基準地点残流域で設定されたC₁₁及びC₁₂の関係







 $% f_c$ はメッシュ毎に異なり、rは時系列で変化する。



将来気候における洪水量の変化[+勝川 帯広基準地点]

- C11関数化モデルを用いて、将来実験5400ケース、過去実験3000ケースの流出計算を行った。
- H23.9再現定数では、過去実験のピーク流量の中央値は1,294m³/s、実績のピーク流量中央値は647m³/sとなっており、規模の大きな出水に定数を合わせているため、小規模出水のピーク流量を過大評価している可能性が考えられる。
- C₁₁を関数化することで、度数分布の適合性は著しく改善した。一方で、降雨量について観測実績と過去実験補正値の95%タイル値では6%増加しているが、洪水量については、2,752m³/sから2,442m³/sへと11%減少している。



降雨と流出の関係ー観測実績との比較

- H23.9定数モデルでは、総雨量の少ない降雨でのピーク流量が大きくなっている。一方、C11関数化モデルでは、H28.8実績洪水が流出計算の範囲から外れる等、防災上重要となる規模の大きな洪水に対して過小評価になっている可能性がある。
- ▶72時間雨量とピーク流量の関係

観測実績の整理方法

- ・ 整理期間:1955年~2016年の6月~11月
- 使用データ:アメダス観測データ及びレーダー・アメダス解析雨量
- 事例数:214



再現計算によるモデル定数の設定(常呂川)-H28.8出水再現定数①

■常呂川流域において、H28.8出水を対象に再現計算を実施し、最適定数を設定した。



再現計算によるモデル定数の設定(常呂川)-H28.8出水再現定数2

■ H28.8出水の再現計算で設定したモデル定数で、レーダー雨量が得られている近年の主要洪水の再現性を確認した。
 ■ 確認の結果、H18.8出水では過大評価となっているが、それ以外の出水では概ね再現できているため、H28.8出水の再現定数を用いることとした。



気候変動による洪水量の変化(十勝川)

- 洪水流出計算手法については、課題が残されているため、十勝川については、1/150確率雨量の信頼区間内のピーク流量の 中央値を、計算手法毎に表すこととした。
- 十勝川では、過去実験で2,900~5,500m³/s、将来実験で4,900~8,100m³/sとなり、約1.5倍~1.7倍に増加する。
 なお、リスク評価については、観測実績との適合が高かったC₁₁関数化モデルの結果を用いることとする。

▶ 設定する定数によるピーク流量の違い

>



※1:流出計算期間内の総雨量が大きく、 72時間雨量に対して、流出が著しく大 きくなっているケースが一部ある。

> 1	1/150確率降雨信頼区間内	うのピーク流量の中央値	※()内は最小値~最大	値
		過去実験(m ³ /s)	将来実験(m ³ /s)	変化
	C11関数化	2,917 (1,508 ~ 6,300)	4,852 (2,278 ~ 9,485)	1.66倍
	H23.9再現定数	3,157 (1,293 ~ 7,258)	4,861 (2,154~9,491)	1.54倍
	H28.8再現定数	5,535 (2,658~11,750)	8,134 (3,586 ~ 17,024)	1.47倍

気候変動による洪水量の変化(常呂川)

- ■常呂川については、H28.8再現定数の流出計算結果を基に、1/100確率雨量の信頼区間内のピーク流量の中央値を表すこととした。
- ■常呂川では、過去実験で1,600m³/s、将来実験で2,600m³/sとなり、約1.6倍に増加する。
- ▶ 設定する定数によるピーク流量の違い



▶ 1/100確率降雨信頼区間内のピーク流量の中央値

※()内は最小値~最大値

	過去実験(m³/s)	将来実験(m³/s)	変化
H28.8再現定数	1,630 (1,172 ~ 2,869)	2,557 (1,629 ~ 6,097)	1.57倍



既存手法と実験データを使用した場合の外力設定の比較(十勝川)

- これまでは、降雨観測データが限られていたため、観測値を超える降雨量を扱う場合には、実績降雨波形を引き延ばすことが 必要であったが、気象シミュレーションを用いることにより、相当する降雨量の時空間分布を得ることが可能となった。
 ■ 一方、全ての河川で多数の流出計算を実施することは困難であるが、過去3000年、将来5400年分の流出計算を実施したこと
- により、既存の降雨波形を引き延ばした場合にも、時空間分布に基づく流出計算結果の幅に入ることを確認した。



※S37.8降雨の流出計算は、既存の貯留関数、流域定数を用いている。

既存手法と実験データを使用した場合の外力設定の比較(常呂川)

- ■これまでは、降雨観測データが限られていたため、観測値を超える降雨量を扱う場合には、実績降雨波形を引き延ばすことが 必要であったが、気象シミュレーションを用いることにより、相当する降雨量の時空間分布を得ることが可能となった。
- ■一方、全ての河川で多数の流出計算を実施することは困難であるが、過去3000年、将来5400年分の流出計算を実施したことにより、既存の降雨波形を引き延ばした場合にも、時空間分布に基づく流出計算結果の幅に入ることを確認した。

常呂川 北見基準地点

常呂川北見基準地点 常呂川北見基準地点 流域平均雨量とピーク流量 流域平均雨量とピーク流量 過去実験 将来実験 n=5400 n=3000 6,000 10,000 既往最大降雨(H18) 9,000 167mm/24hr 171mm 5,000 8.000 _239mm X 7.000 -ク流量(m³/s) 4,000 ク流量(m³/s) S37.8実績隆雨を将来実験中央 × × 値程度まで引き延ばした場合 X, 3.000 × 5.000 $\times_{\mathbf{X}}$ хх Xe 4.000 ŝ 2,000 3.200m³/s Ľ 3.000 2,000 1.900m³/s 1.000 S37.8実績降雨を過去実験中央 1.000 値程度まで引き延ばした場合 0 Ō 100 400 200 300 0 100 0 200 300 400 500 600 流域平均雨量(mm/24h) S37.8実績降雨 流域平均雨量(mm/24hr) 88mm/24h, 613m³/s

※S37.8降雨の流出計算は、既存の貯留関数、流域定数を用いている。

まとめ2一流出計算結果

● 将来気候における洪水量の変化

確率雨量(GEV分布)の信頼区間内のピーク流量の中央値

対象流域 ▪地点	定数	過去実験 (m ³ /s)	将来実験 (m ³ /s)	変化
	C11関数化	2,917 (1,508 ~ 6,300)	4,852 (2,278 ~ 9,485)	<u>1.66倍</u>
十勝川 帯広地点	H23.9再現定数	3,157 (1,293 ~ 7,258)	4,861 (2,154 ~ 9,491)	<u>1.54倍</u>
	H28.8再現定数	5,535 (2,658 ~ 11,750)	8,134 (3,586 ~ 17,024)	<u>1.47倍</u>
常呂川 北見地点	H28.8再現定数	1,630 (1,172 ~ 2,869)	2,557 (1,629 ~ 6,097)	<u>1.57倍</u>

※()内は最小値~最大値

- +勝川帯広地点では、洪水量は実施した3パターンの定数により異なるが、将来実験が過去 実験の<u>約1.5~1.7倍</u>となった。
- ・常呂川北見地点では、洪水量は将来実験が過去実験の<u>約1.6倍</u>となった。
- 時空間分布の活用
 - これまでは、降雨観測データが限られていたため、観測値を超える降雨量を扱う場合には、実 績降雨波形を引き延ばすことが必要であったが、気象シミュレーションを用いることにより、相 当する降雨量の時空間分布を得ることが可能となった。
 - 過去3000年、将来5400年分の流出計算を実施したことにより、既存の降雨波形を引き延ばした場合にも、時空間分布に基づく流出計算結果の幅に入ることを確認した。
洪水リスクの共有

ーリスクの考え方・分析方法ー

リスク評価に用いる外力

リスク評価に用いる外力【十勝川過去実験】

■リスク評価に用いる外力として、十勝川帯広基準地点における過去実験GEV分布の1/150確率降雨のとりうる範囲のうち、① 中央値付近のピーク流量最大ケース、②95%信頼区間内のピーク流量最大ケース、③95%信頼区間内の流域平均72時間雨 量最大ケースを抽出した。なお、流出計算結果については、C11関数化モデルの結果を用いることを基本とした。

降雨の確率規模に基づいたリスク評価を行う場合

流出計算結果…C11関数化モデル 【ケース①】確率雨量の中央値から設定

> →確率雨量の中央値256±10mmに該当す るケースからピーク流量最大ケースを選定

No	ケース	ピーク流量	流域平均雨量
1	HPB_m067_1978	6300	262
2	HPB_m082_1961	4200	257
3	HPB_m089_1977	3466	253
4	HPB_m004_1957	3411	263
5	HPB_m066_1964	3082	252
6	HPB_m089_1990	2985	257
7	HPB_m067_1965	2842	246
8	HPB_m050_2003	2660	254
9	HPB_m063_1975	2532	250

【ケース②】確率雨量の95%信頼区間の範囲に該当する ケースからピーク流量最大ケースを選定

【ケース③】確率雨量の95%信頼区間の範囲に該当する ケースから雨量最大ケースを選定



リスク評価に用いる外力【十勝川将来実験】

- リスク評価に用いる外力として、十勝川帯広基準地点における将来実験GEV分布の1/150確率降雨のとりうる範囲のうち、① 中央値付近のピーク流量最大ケース、② 95%信頼区間内のピーク流量最大ケース、③ 95%信頼区間内の流域平均72時間雨 量最大ケースを抽出した。なお、流出計算結果については、C11関数化モデルの結果を用いることを基本とした。
- また、将来の十勝川流域で発生しうる最悪の事態を想定するため、将来実験5400ケースの中から流域平均72時間雨量が最 大となるケースを抽出した。この時の流出計算結果については、H28.8再現定数モデルの結果を用いた。



GEV 1/150確率雨量 度数分布

リスク評価に用いる外力【常呂川過去実験】

■ リスク評価に用いる外力として、常呂川北見基準地点における過去実験GEV分布の1/100確率降雨のとりうる範囲のうち、① 中央値付近のピーク流量最大ケース、②95%信頼区間内のピーク流量最大ケース、③95%信頼区間内の流域平均24時間雨 量最大ケースを抽出した。



GEV 1/100確率雨量 度数分布

リスク評価に用いる外力【常呂川将来実験】

- ■リスク評価に用いる外力として、常呂川北見基準地点における将来実験GEV分布の1/100確率降雨のとりうる範囲のうち、① 中央値付近のピーク流量最大ケース、②95%信頼区間内のピーク流量最大ケース、③95%信頼区間内の流域平均24時間雨 量最大ケースを抽出した。
- また、将来の常呂川流域で発生しうる最悪の事態を想定するため、将来実験5400ケースの中から流域平均24時間雨量が最大となるケースを抽出した。



リスク評価に用いる外力設定方法

- リスク評価に用いる外力として選定したケースをまとめると、以下のとおりである。
- いずれのケースも、将来実験の流域平均雨量及びピーク流量は、過去実験よりも大きくなっている。

		十勝川帯広基準地点		常呂川北見基準地点	
		流域平均雨量 (mm / 72hr)	ピーク流量 (m ³ /s)	流域平均雨量 (mm / 24hr)	ピーク流量 (m ³ /s)
過去実験	ケース①	262	6,300	173	2,459
	ケース②	262	6,300	211	2,869
	ケース③	341	4,829	221	2,823
将来実験	ケース①	350	8,807	255	3,771
	ケース②	399	9,485	305	6,097
	ケース③	497	6,332	346	4,191
	ケース④	640	11,272*	469	7,900

※十勝川ケース④のピーク流量は、H28.8出水再現定数を用いて算定

ケース①:1/150(常呂川は1/100)降雨分布の中央値付近ピーク流量中央値ケース ケース②:1/150(常呂川は1/100)降雨分布の95%信頼区間内ピーク流量最大ケース ケース③:1/150(常呂川は1/100)降雨分布の95%信頼区間内流域平均雨量最大ケース ケース④:将来実験5400ケース内の流域平均雨量最大ケース

対象とするリスク評価項目及び 使用する氾濫計算モデルの概要

本委員会で対象とするリスク評価項目

■本委員会では、気候変動後の浸水域の増加、人的被害の増加、農地被害の増加に着目し、気候変動前後(過去実験、将来実験)でのリスク評価を行う。

<u>リスク評価の対象とする被害項目・指標及び評価手法</u>

評価対象 とする リスク	被害項目・指標	評価手法	対象氾濫 ブロック	計算メッシュ サイズ
浸水域 の増加	浸水面積・戸数・ 人口	流域資産データ (国勢調査、経済センサス)をもとに、氾濫 計算結果から算出。	直轄区間 水系全体	十勝川100m 常呂川125m
	要配慮者施設	国土数値情報(医療機関データ等)から、氾濫計算結果を用 いて氾濫域内の施設数を算出。	直轄区間 水系全体	十勝川100m 常呂川125m
人的被害 の増加	想定死者数① (LIFESim手法)	現在、日本で一般的に用いられている、米陸軍工兵隊がハ リケーン・カトリーナ災害後の施設整備等の評価に用いたモ デルを用い、氾濫計算結果の浸水深から算出。	直轄区間 水系全体	十勝川100m 常呂川125m
	最大孤立者数	氾濫による孤立者数を時系列で算出し、その最大値を抽出。 孤立者数は、避難が困難となる浸水深(災害時要援護者: 30cm、それ以外:50cm)に避難率を掛け合わせて算出。	直轄区間 水系全体	十勝川100m 常呂川125m
	想定死者数② (オランダ手法)	オランダの手法に倣い、浸水深や流速を基にした死亡率か ら、想定死者数を算定する。浸水深や流速については、氾濫 計算により算出する。	市街地を含む 1ブロック (帯広市、北見市)	十勝川25m 常呂川25m
農地被害 の増加	農地被害面積	国土数値情報土地利用データより農地を抽出し、氾濫計算 結果から農地の浸水面積を算出。	直轄区間 水系全体	十勝川100m 常呂川125m

■ 氾濫計算モデルは、平面二次元不定流計算を組み込んだ、以下のモデルを用いる。

(1)氾濫流追跡モデル

透過率・空隙率を考慮した平面二次元不定流計算

(2)決壊・越水モデル

越流公式(河道⇒氾濫原:栗城等の式、氾濫原⇒河道:本間の式)





A. 直轄区間水系全体氾濫計算モデル(十勝川)

■「想定死者数②:オランダ手法」以外のリスク評価項目は、直轄区間水系全体の氾濫計算モデルを用いて算定する。
 ■ 主な計算条件は、現況河道、現況洪水調節施設状態とし、氾濫ブロック各1地点の破堤地点を決めて氾濫計算を実施する。



●主な氾濫計算条件

項目	内容		
計算メッシュサイズ ・地盤標高	100mメッシュ メッシュ地盤高は最新のLPデータより作成		
河道状態	平成28年河道		
洪水調節施設	現況施設(十勝ダム、札内川ダム、佐幌ダム)		
破堤地点	予め氾濫ブロック内で被害最大と想定される1地点を設定し、氾濫ブロック毎に氾濫計算を実施。		
破堤条件	破堤開始水位(HWLを基本とする)を河道水位が超過した時		
破堤地点上流の氾濫による流量低減	水位が堤防高や地盤高を上回る場合には氾濫による河道流量を低減		

A. 最大浸水区域図【十勝川】一①中央値付近ピーク流量最大ケース

■帯広地点のピーク流量が約2,500m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.14倍に増加している。
 ■降雨の時空間分布が異なるため、将来実験では音更川沿いで氾濫が生じていない。



A. 最大浸水区域図【十勝川】一②信頼区間内ピーク流量最大ケース

■帯広地点のピーク流量が約3,200m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.28倍に増加している。
 ■降雨の時空間分布が異なるため、将来実験では札内川沿いで氾濫が生じていない。



A. 最大浸水区域図【十勝川】一③信頼区間内雨量最大ケース

■帯広地点のピーク流量が約1,500m³/s増加する将来実験では、浸水面積は2.00倍に増加している。
 ■特に、十勝川本川下流部の氾濫域が増加している。



A. 最大浸水区域図【十勝川】一④起こりうる雨量最大ケース

■ 起こり得る雨量最大ケースでは浸水面積が28,200haとなり、すべてのケースで浸水面積が最も大きい。
 ■ 特に十勝川本川中下流部では、川沿いの多くの区間で浸水深が5mを超過する。



浸水面積 28,200ha



A. リスク評価結果【十勝川】一浸水面積、農地被害面積

■ 浸水面積の変化は、将来実験の平均値(約19,500ha)が過去実験の平均値(約14,100ha)の約1.4倍となった。
 ■ 農地被害面積の変化は、将来実験の平均値(約15,900ha)が過去実験の平均値(約11,500ha)の約1.4倍となった。



A. リスク評価結果【十勝川】一浸水家屋数、要配慮者施設数

- 浸水家屋数の変化は、将来実験の平均値(約29,500戸)が過去実験の平均値(約25,600戸)の約1.2倍となった。
- ■要配慮者施設数の変化は、将来実験の平均値(約65箇所)が過去実験の平均値(約40箇所)の約1.6倍となった。
- ■①:中央値付近ピーク流量最大ケースは、降雨の時空間分布の違いによって、過去実験で生じる音更市街地の浸水が将来実験では生じないため、浸水戸数が過去実験よりも将来実験の方が少ない。
- 音更川のリスクを評価するためには、音更川を対象としてリスク評価のケースを選定する必要がある。



A. リスク評価結果【十勝川】一浸水人口、想定死者数、最大孤立者数

- 浸水人口の変化は、将来実験の平均値(約60,800人)が過去実験の平均値(約53,400人)の約1.1倍となった。
- ■想定死者数の変化は、避難率40%の場合、将来実験の平均値(約370人)が過去実験の平均値(約160人)の約2.3倍であり、 他のリスクと比較して将来の増加率が大きい。
- 最大孤立者数の変化は、避難率40%の場合、将来実験の平均値(約31,800人)が過去実験の平均値(約23,700人)の約1.3
 倍となった。
- ■①:中央値付近ピーク流量最大ケースは、降雨の時空間分布の違いによって、過去実験で生じる音更市街地の浸水が将来実験では生じないため、浸水人口は過去実験よりも将来実験の方が小さくなっているが、浸水深の増加により、想定死者数と最大孤立者数は過去実験よりも将来実験の方が大きくなっている。



A. 直轄区間水系全体氾濫計算モデル(常呂川)

■「想定死者数②:オランダ手法」以外のリスク評価項目は、直轄区間水系全体の氾濫計算モデルを用いて算定する。
 ■ 主な計算条件は、現況河道、現況洪水調節施設状態とし、氾濫ブロック各1地点の破堤地点を決めて氾濫計算を実施する。



●主な氾濫計算条件

項目	内容		
計算メッシュサイズ ・地盤標高	125mメッシュ メッシュ地盤高は最新のLPデータより作成		
河道状態	平成28年河道		
洪水調節施設	現況施設(鹿ノ子ダム)		
破堤地点	予め氾濫ブロック内で被害最大と想定される1地点を設定し、氾濫ブロック毎に氾濫計算を実施。		
破堤条件	破堤開始水位(HWLを基本とする)を河道水位が超過した時		
破堤地点上流の氾濫による流量低減	水位が堤防高や地盤高を上回る場合には氾濫による河道流量を低減		

A. 最大浸水区域図【常呂川】一①中央値付近ピーク流量最大ケース

■ 北見地点のピーク流量が約1,300m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.13倍に増加している。
 ■ 降雨の時空間分布が異なるため、将来実験では無加川沿いの一部で氾濫が生じていない。



A. 最大浸水区域図【常呂川】一②信頼区間内ピーク流量最大ケース

■ 北見地点のピーク流量が約3,200m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.32倍に増加している。
 ■ 特に、常呂川本川で氾濫域が増加している。



A. 最大浸水区域図【常呂川】一③信頼区間内雨量最大ケース

■北見地点のピーク流量が約1,400m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.33倍に増加している。
 ■常呂川本川、支川無加川ともに氾濫域が増加している。



A. 最大浸水区域図【常呂川】一④起こりうる雨量最大ケース

■ 起こり得る雨量最大ケースでは浸水面積が10,800haとなり、すべてのケースで浸水面積が最も大きい。
 ■ 特に常呂川本川下流部では、川沿いの多くの区間で浸水深5mを超過する。



A. リスク評価結果【常呂川】一浸水面積、農地被害面積

■ 浸水面積の変化は、将来実験の平均値(約8,400ha)が過去実験の平均値(約6,700ha)の約1.3倍となった。
 ■ 農地被害面積の変化は、将来実験の平均値(約6,300ha)が過去実験の平均値(約5,200ha)の約1.2倍となった。



A. リスク評価結果【常呂川】一浸水家屋数、要配慮者施設数

■ 浸水家屋数の変化は、将来実験の平均値(約14,500戸)が過去実験の平均値(約10,400戸)の約1.4倍となった。 ■ 要配慮者施設数の変化は、将来実験の平均値(約21箇所)が過去実験の平均値(約13箇所)の約1.6倍となった。



A. リスク評価結果【常呂川】一浸水人口、想定死者数、最大孤立者数

- 浸水人口の変化は、将来実験の平均値(約31,000人)が過去実験の平均値(約22,900人)の約1.4倍となった。
- ■想定死者数の変化は、避難率40%の場合、将来実験の平均値(約200人)が過去実験の平均値(約30人)の約6.7倍であり、他のリスクと比較して将来の増加率が大きい。
- 最大孤立者数の変化は、避難率40%の場合、将来実験の平均値(約11,500人)が過去実験の平均値(約6,000人)の約1.9倍 となった。



B. 想定死者数の算定手法①~LIFESim手法~

■「水害の被害指標分析の手引き」(H25試行版)に示されている手法を基に死亡率を推定する。

■ この手法は、LIFESimモデルをベースに米陸軍工兵隊がハリケーン・カトリーナ災害後の施設整備等の評価に用いたモデルである。



浸水深による危険度の分類

※内閣府,大規模水害時の排水施設の状況、死者数・孤立者数の想定手法;死者数の想定手法,2008.3,pp3, http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/daikibosuigai/9/pdf/shiryou_1.pdf から内容、図を引用

B. 想定死者数の算定手法②~オランダの手法~

■ オランダで使用されているJonkmanのモデル(2007年)※を参考に、想定死者数を算出する。



死者数
$$N = N_{PAR}F_{EXP}(1-F_E)F_D$$

出典: ※ S.N.Jonkman, Loss of life estimation in flood risk assessment: Theory and applications, 2007.1, https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Abc4fb945-55ef-4079-a606-ac4fa8009426

B. 市街地ブロック詳細氾濫計算モデル(十勝川)

■「想定死者数②:オランダ手法」のリスク評価は、市街地ブロックのみを対象とした詳細な氾濫計算モデルを用いて算定する。
 ■ 主な計算条件は、現況河道・現況洪水調節施設状態とし、市街地氾濫ブロック1地点の破堤地点を決めて氾濫計算を実施する。



●主な氾濫計算条件

項目	内容		
計算メッシュサイズ ・地盤標高	25mメッシュ メッシュ地盤高は最新のLPデータより作成		
河道状態	平成28年河道		
洪水調節施設	現況施設(十勝ダム、札内川ダム、佐幌ダム)		
破堤地点	予め氾濫ブロック内で被害最大と想定される1地点を設定し、氾濫ブロック毎に氾濫計算を実施。		
破堤条件	破堤開始水位(HWLを基本とする)を河道水位が超過した時		
破堤地点上流の氾濫による流量低減	水位が堤防高や地盤高を上回る場合には氾濫による河道流量を低減		

B. 最大浸水区域図【帯広市街地付近】一①中央値付近ピーク流量最大ケース

■帯広地点のピーク流量が約2,500m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.58倍に増加している。
 ■降雨量の増加に伴い、将来実験では札内川からの溢水氾濫が生じている。



B. 最大浸水区域図【帯広市街地付近】一②信頼区間内ピーク流量最大ケース

■帯広地点のピーク流量が約3,200m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.32倍に増加している。



B. 最大浸水区域図【帯広市街地付近】 一③信頼区間内雨量最大ケース

- ■帯広地点のピーク流量が約1,500m³/s増加する将来実験では、浸水面積は2.74倍に増加している。
- 過去実験ではブロックの上流側ではピーク水位が破堤開始水位まで達しないため、他ケースと比較し浸水面積が小さくなっている。



B. 最大浸水区域図【帯広市街地付近】 — ④起こりうる雨量最大ケース

■ 起こり得る雨量最大ケースでは浸水面積が1,080haとなり、すべてのケースで浸水面積が最も大きい。
 ■ 札内川合流点付近では、浸水深が5m以上となる区域も発生する。



B. リスク評価結果【帯広市街地付近】一想定死者数

■オランダ手法で想定死者数を算出した場合、将来実験の平均値(約462人)が過去実験の平均値(約78人)の約5.9倍であった。
 ■LIFESim手法で想定死者数を算出した場合、将来実験の平均値(約75人)が過去実験の平均値(約6人)の約12.5倍であった。
 ■現在日本で死者数算定に用いられているLIFESim手法を用いると、大規模な出水における死者数を過小評価する可能性がある。

※避難率0%と仮定して試算



B. 市街地ブロック詳細氾濫計算モデル(常呂川)

■「想定死者数②:オランダ手法」のリスク評価は、市街地ブロックのみを対象とした詳細な氾濫計算モデルを用いて算定する。
 ■ 主な計算条件は、現況河道・現況洪水調節施設状態とし、市街地氾濫ブロック1地点の破堤地点を決めて氾濫計算を実施する。



●主な氾濫計算条件

項目	内容		
計算メッシュサイズ ・地盤標高	25mメッシュ メッシュ地盤高は最新のLPデータより作成		
河道状態	平成28年河道		
洪水調節施設	現況施設(鹿ノ子ダム)		
破堤地点	予め氾濫ブロック内で被害最大と想定される1地点を設定し、氾濫ブロック毎に氾濫計算を実施。		
破堤条件	破堤開始水位(HWLを基本とする)を河道水位が超過した時		
破堤地点上流の氾濫による流量低減	水位が堤防高や地盤高を上回る場合には氾濫による河道流量を低減		
B. 最大浸水区域図【北見市街地付近】一①中央値付近ピーク流量最大ケース

■北見地点のピーク流量が約1,300m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.59倍に増加している。
 ■過去実験ではブロックの上流側ではピーク水位が破堤開始水位まで達しないため、将来実験よりも浸水面積が小さくなっている。





B. 最大浸水区域図【北見市街地付近】一②信頼区間内ピーク流量最大ケース

■北見地点のピーク流量が約3,200m³/s増加する将来実験では、浸水面積は4.41倍に増加している。
 ■過去実験ではブロックの中・下流部が浸水しないため、将来実験よりも浸水面積が小さくなっている。





B. 最大浸水区域図【北見市街地付近】—③信頼区間内雨量最大ケース

■ 北見地点のピーク流量が約1,400m³/s増加する将来実験では、浸水面積は1.93倍に増加している。
 ■ 過去実験ではブロックの下流部が浸水しないため、将来実験よりも浸水面積が小さくなっている。





B. 最大浸水区域図【北見市街地付近】 — ④起こりうる雨量最大ケース

■ 起こり得る雨量最大ケースでは浸水面積が970haとなり、すべてのケースで浸水面積が最も大きい。
 ■ 市街地部で3m、ブロック下流端では5mを超える浸水深が発生する。



B. リスク評価結果【北見市街地付近】一想定死者数

- ■オランダ手法で想定死者数を算出した場合、将来実験の平均値(約130人)が過去実験の平均値(約12人)の約10.8倍であった。
- LIFESim手法で想定死者数を算出した場合、将来実験の平均値(約47人)が過去実験の平均値(約4人)の約11.8倍であった。
 現在日本で死者数算定に用いられているLIFESim手法を用いると、大規模な出水における死者数を過小評価する可能性がある。



まとめ③ーリスク評価

- リスク評価の結果
 - ・ 十勝川流域では、浸水面積が4割、浸水家屋数が2割増加する。
 - ・ 常呂川流域では、<u>浸水面積が3割、浸水家屋数が4割増加</u>する。
 - 浸水深の影響により、人的被害が著しく増加する。

リック証在市中	十勝川流域			常呂川流域		
リスク評価項日	過去実験	将来実験	変化	過去実験	将来実験	変化
浸水面積(ha)	14,100	19,500	1.4倍	6,700	8,400	1.3倍
農地被害面積(ha)	11,500	15,900	1.4倍	5,200	6,300	1.2倍
浸水家屋数(戸)	25,600	29,500	1.2倍	10,400	14,500	1.4倍
浸水要配慮者施設数(箇所)	40	65	1.6倍	13	21	1.6倍
浸水人口(人)	53,400	60,800	1.1倍	22,900	31,000	1.4倍
想定死者数(人)	160	370	2.3倍	30	200	6.7倍
最大孤立者数(人)	23,700	31,800	1.3倍	6,000	11,500	1.9倍

各項目の被害数量の変化

※ケース①~③の平均値、避難率40%

まとめ③ーリスク評価

- オランダ手法による想定死者数の算出
 - 流速や氾濫水の水位上昇速度を考慮したオランダの手法を用いると、<u>想定死者数は1オーダー</u>
 <u>大きく</u>なる。
 - オランダの手法と、現在日本で死者数算定に用いられているLIFESim手法では、算出される想 定死者数に大きな違いがある。

算出手法	帯広市街地			北見市街地		
	過去実験	将来実験	変化	過去実験	将来実験	変化
オランダ手法	78	462	5.9倍	12	130	10.8倍
LIFESim	6	75	12.5倍	4	47	11.8倍

各手法による想定死者の変化

※ケース①~③の平均値、避難率0%

- 将来起こりうる雨量最大ケースによるリスク評価
 - 十勝川流域では、<u>浸水面積が2倍となり、浸水家屋数が6割増加</u>する。
 - 常呂川流域では、<u>浸水面積が6割、浸水家屋数が9割増加</u>する。

※ケース①~③の平均値とケース④を比較

- 今後の課題
 - 今後、被害数量の精度を高めていくためには、氾濫計算のケース選定方法の見直しや、計算 ケース数を増やす必要がある。







バイアス補正結果一y=ax+b式による補正【十勝川帯広基準地点】

■ 十勝川帯広基準点については、y=ax+b式を適用した場合の補正を実施した。補正式は、y=0.92x+9.61となった。
 ■ 本検討では、流出解析に入力する時間雨量の補正に適用するため、y=ax式を採用した。



バイアス補正結果一y=ax+b式による補正【常呂川北見基準地点】

■常呂川北見基準点については、y=ax+b式を適用した場合の補正を実施した。補正式は、y=1.05x+4.62となった。
 ■本検討では、流出解析に入力する時間雨量の補正に適用するため、y=ax式を採用した。



バイアス補正結果ーダウンスケーリング前降雨の補正【十勝川帯広基準地点】

- 十勝川帯広基準点のダウンスケーリング前降雨に対してバイアス補正係数を算出した結果、ダウンスケーリング後降雨のバイアス補正値よりも大きい1.14となった。
- ■バイアス補正の結果、過去実験における年最大雨量の中央値は90mm、実績における年最大雨量の中央値は88mmとなっており、過去実験における年最大雨量の累積度数は実績の年最大雨量の累積度数に概ね一致している。



バイアス補正結果一ダウンスケーリング前降雨の補正【常呂川北見基準地点】

- ■常呂川北見基準点のダウンスケーリング前降雨に対してバイアス補正係数を算出した結果、ダウンスケーリング後降雨のバイアス補正値よりも小さい1.05となった。
- ■バイアス補正の結果、過去実験における年最大雨量の中央値は65mm、実績における年最大雨量の中央値は58mmとなっており、過去実験における年最大雨量の累積度数は実績の年最大雨量の累積度数に概ね一致している。



連続降雨発生時の洪水量(十勝川)

- 十勝川流域を対象に、過去実験3000ケースおよび将来実験5400ケースのうち、最もピーク流量が大きくなる連続降雨が発生したパターンを抽出し、連続降雨であったH28.8出水の再現計算で設定したモデル定数を用いた流出計算を実施した。
- H28.8出水で設定したモデル定数を用いた場合、過去実験のピーク流量は9,170m³/sとなり、H23.9出水で設定したモデル定数で計算したピーク流量6,075m³/sよりも大きくなった。
- H28.8出水で設定したモデル定数を用いた場合、将来実験のピーク流量は13,345m³/sとなり、H23.9出水で設定したモデル定数で計算したピーク流量9,140m³/sよりも大きくなった。



洪水リスクの共有

ーリスクの考え方ー

リスクの定義

■ ISOの定義では、「リスク」は過去には好ましくない結果の可能性に限って言及されていたが、近年は好ましい方向/好ましくない方向の双方を意味するものとされている。



出典:日本規格協会HP(<u>http://data.jsa.or.jp/stdz/mngment/risk03.asp</u>)、日本リスク管理学会HP(<u>http://ac.risk.or.jp/sub-7/687-2.html</u>)より作成

◆フランク・ナイトの不確実性(1921)

「個別的には不確実であっても、<u>大数法則的に数量表現</u> できるもの」をリスクと定義し、「他方、数量化できない不 確実性」を本当の不確実性としてリスクと区別する。

・現在及び将来予測降雨の分布幅
 ・様々な洪水流出パターン・流量
 ・様々な氾濫被害形態及び被害の波及
 ・堤防の決壊確率

出展: Knight, F. M., 1921, Risk, Uncertainty and Profit 和田重司、2015、フランク・ナイトの不確実性の経済学 COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2009, WHITE PAPER Adapting to climate change: Towards a European framework for action

欧州では、「将来の予測の不確実性にかかわらず純粋な社会的および/または経済的便益を生み出す後悔しない(no regret) 適応策を優先するべきである。」と位置づけ、気候変動によるリスクの評価と適応策を具体的に展開している。



リスクの共有の必要性

- 既往のリスク認知研究において、リスクの定量的な分析と共有の必要性が指摘されている。
- 死亡率など、確率情報を加味した定量的なリスク情報が必要である。
- 定量的なリスク情報の共有により、他分野とのリスク比較やリスクの程度に応じた適応策の選択・判断が可能となる。

「リスク論的方法の真骨頂は、<u>現時点では顕在化していない将来の災害をコントロール</u>したり、こ れまで把握できていない災害因子を同定して<u>その影響の大きさを明らかに</u>したりすることにある」

「送り手には程度として(定量的に)リスクを伝える努力が、受け手には程度としてリスクを理解す る努力が必要である。しかし、受け手である一般の人々にとってリスク情報の定量的解釈のため に過大な時間や労力をかけることは現実的に難しい」

「死亡者数をあげるだけでは、その情報に接した読者や視聴者が自分の行為を選択するための リスク情報としては不十分であり、母集団の大きさを勘案した確率情報が必要である」

リスク比較セットの例				
ガン	250			
自殺	24			
交通事故	9			
火事	1.7			
自然災害	0.1			

(10万人当たりの年間死亡者概数)

0.002

出典:中谷内一也,2006,リスクのモノサシ安全・安心生活はありうるか

落雷

例えば10万人あたりの年間死亡率など定量的なリスク情報の共有により、他分野のリスクとの比較や、リスクとベネフィットの 両方を考慮したうえでリスクの程度に応じた適応策の選択・判断が可能となる。

リスク情報の例	ベネフィットの例	<u>適応策の例</u>
 ・地域毎の死亡率 ・地域毎の浸水範囲と頻度 ・地域毎の経済被害 : 	・平坦で利用効率が高い ・開発コストが低い ・土壌が肥沃 ・都市機能が集約し利便性が高い :	 ・堤防かさ上げ、洪水調節施設の改良・ 開発などの治水対策 ・霞堤や二線堤などによる氾濫流の制御 ・氾濫形態や頻度に応じた土地利用選択 ・宅地のかさ上げや住宅の床下高の確保 ・避難路の整備、避難情報の充実 ・洪水保険への加入