

2018年1月7日(日)~1月14日(日) オランダ気候変動適応策調査団 調査報告

今後修正の可能性有り

調査団の結成

調査団の結成

治水分野における気候変動影響の検討は、国内の事例は少ないものの諸外国では複数の先進事例が報告されている。先進事例の中で、将来降雨・流量予測からリスク評価および具体的な適応策に至るまで体系的に取り組まれているオランダに着目し、中津川委員長を代表とする調査団を結成して、オランダの有識者や政府関係者らを対象にヒアリングを行った。

調査団の構成

氏名	所属、役職	氏名	所属、役職
中津川 誠	室蘭工業大学大学院工学研究科 教授	千葉 学	一般財団法人 北海道河川財団 企画部 主査
山田 朋人	北海道大学大学院工学研究院 准教授	戸村 翔	一般財団法人 北海道河川財団 調査第1部 技師
星野 剛	北海道大学大学院工学研究院 博士研究員	舩屋 繁和	株式会社 ドーコン 河川部 主任技師
時岡 真治	北海道開発局 建設部 河川計画課 河川調整推進官	植村 郁彦	株式会社 ドーコン 河川部 技師



HKVコンサルタントでのヒアリング状況



オランダ王立気象研究所 KNMIでのヒアリング状況

訪問機関およびヒアリングの主な内容

	訪問機関	ヒアリングの主な内容
①	公共事業局 Rijkswaterstaat (治水事業の実施を担う行政機関)	オランダにおける気候変動適応策の実施状況 <ul style="list-style-type: none">・オランダの治水の歴史・各機関の概要と役割・安全基準の考え方・洪水予測の概要、近隣諸国との協調体制・デルタプログラムにおける気候変動適応策等
②	デルフト工科大学、HKVコンサルタント (リスク評価の研究者、専門家)	オランダにおけるリスク評価手法の詳細 <ul style="list-style-type: none">・想定死者数の算定方法・氾濫シミュレーション方法
③	デルタ委員事務局 DeltaCommissionaris (デルタプログラムを進める独立機関)	デルタプログラム策定の背景、裏付け <ul style="list-style-type: none">・デルタ委員の役割、権限・気候変動シナリオの取り扱い・許容リスクの決定
④	オランダ王立気象研究所 KNMI (日本の気象庁相当)	オランダにおける気候変動予測の詳細 <ul style="list-style-type: none">・降雨予測方法(バイアス補正、リサンプリング)・流出計算方法

オランダの検討経緯

諸外国における気候変動の検討経緯

IPCC	EU	イギリス	オランダ	アメリカ
			1953年高潮災害 死者1,800人以上、避難7,200人 1958年～ デルタプラン(一連の高潮防御施設整備)	青字: 法例・基準 黒字: 計画・目標等 茶字: 主な災害
2001年 第3次評価報告書 TAR	2000年 水枠組み指令 2001年 水枠組み指令 共通実施戦略	2002年 TE2100プロジェクト開始 流域洪水管理計画 2006年 スターン・レビュー 計画政策声明「開発と洪水リスク」 「洪水・海岸防御評価指針 気候変動影響 担当部局による経済評価の補足文書」	1993年洪水 避難10,000人 1995年洪水 避難250,000人 2001年 マースプロジェクト (マース川の計画流量引き上げ) 2006年 河川空間拡張方針 (Room for the River) (ライン川の計画流量引き上げ) 国家気候変動・空間戦略プログラム	
2007年 第4次評価報告書 AR4	2007年 洪水指令	2007年 豪雨災害(7月) 過去60年間で最悪の洪水 14万世帯、35万人以上が被災 2008年気候変動法2008 「Future Water」 「2007年洪水から学ぶこと」	2007年 国家気候適応・空間計画戦略	2005年 ハリケーンカトリーナ 死者1,800人以上 2009年 大統領令「環境、エネルギー及び経済効 率化における連邦の統率力」
	2009年 EU白書	2009年 イギリス気候変動予測プロジェクト 2010年 洪水及び水管理法 計画政策声明「開発と洪水リスク」改定 2012年 TE2100計画承認 全国計画政策枠組み、及び技術指針 気候変動リスクアセスメント	2009年 新水法、国家水計画(2009-2015) 2010年 新デルタ法 デルタプログラム開始 2012年 新デルタ法発効	2012年 ハリケーンサンディ 死者132人(米・カナダ)
2013年 第5次評価報告書 AR5		2013年 国家適応プログラム(NAP)	2014年 デルタ決定(Delta Decisions)内閣決定 2015年 国家水計画(2016-2021)決定	2013年 大統領気候行動計画 USACE海面上昇量考慮手法技術基準 2014年 全国気候変動影響調査 2015年 気候変動影響を考慮した基準洪水位の 設定に係る大統領令

EU洪水指令とEU白書


- 欧州では、EU洪水指令(2007)において、洪水ハザードマップと可能性のある負の結果を示した洪水リスクマップの作成を各国へ指示した。
- さらに、EU白書(2009)において、「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。

EU洪水指令 (2007) ※1

6.11.2007	EN	Official Journal of the European Union	L 288/27
DIRECTIVES			
DIRECTIVE 2007/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (Text with EEA relevance)			
THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION,		coordinated throughout a river basin if they are to be effective.	
Having regard to the Treaty establishing the European Community, and in particular Article 175(1) thereof,	(4)	Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (?) requires river basin management plans to be developed for each river basin district in order to achieve good ecological and chemical status, and it will contribute to mitigating the effects of floods. However, reducing the risk of floods is not one of the principal objectives of that Directive, nor does it take into account the future changes in the risk of flooding as a result of climate change.	
Having regard to the proposal from the Commission,			
Having regard to the Opinion of the European Economic and Social Committee (?),			

頻度が低い・中程度・高い3つのシナリオについて、過去に起きた洪水や将来に想定される洪水についての洪水ハザードマップと、洪水により影響を受ける可能性がある人数や地域の経済活動などを記載した洪水リスクマップの作成を指示した。

EU白書 (2009) ※2

	COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES
	Brussels, 1.4.2009 COM(2009) 147 final
WHITE PAPER	
Adapting to climate change: Towards a European framework for action	
	{SEC(2009) 386} {SEC(2009) 387} {SEC(2009) 388}

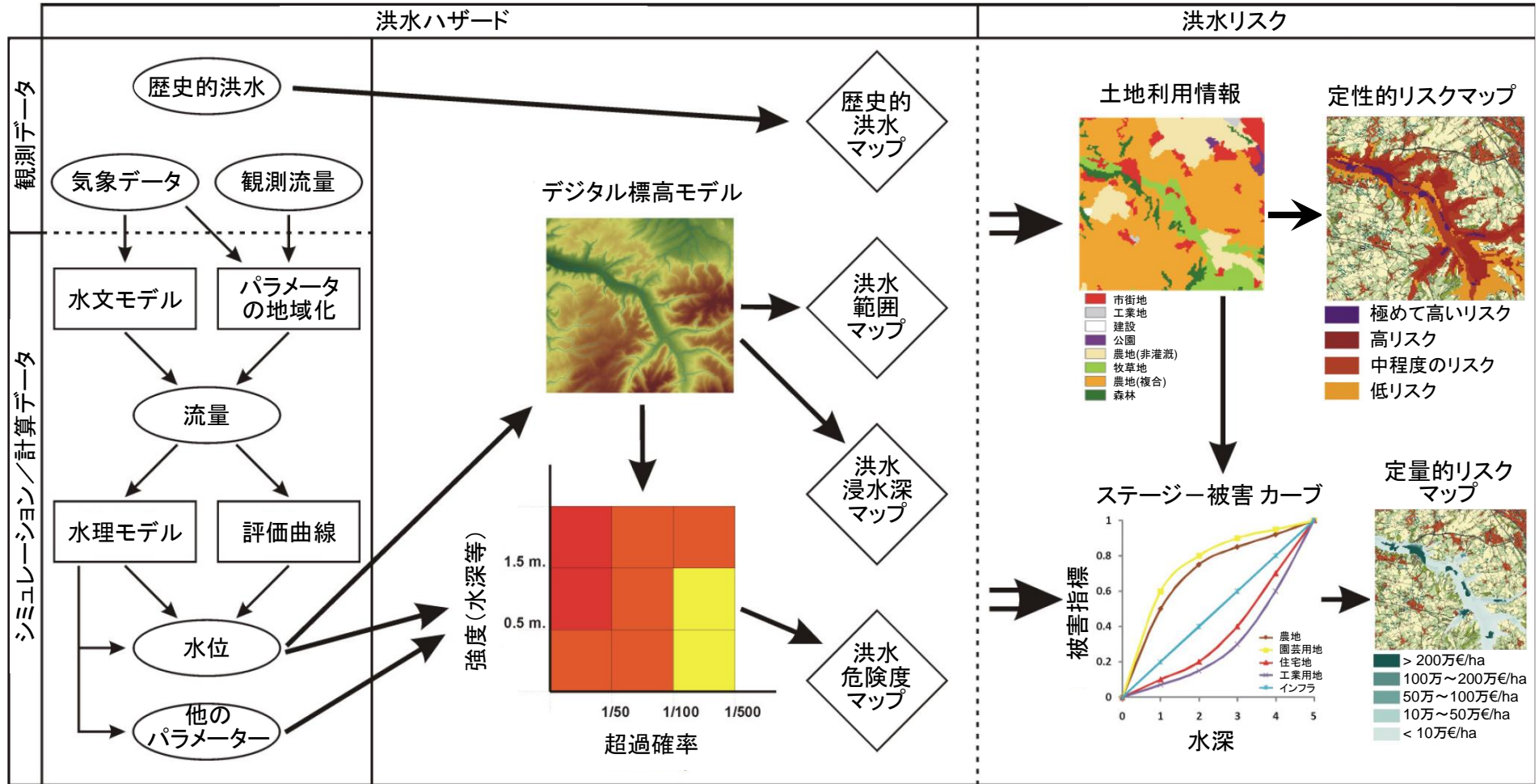
「将来の予測の不確実性にかかわらず純粋な社会的および/または経済的便益を生み出す後悔しない(no regret)適応策を優先するべきである。」と位置づけ、気候変動によるリスクの評価と適応策を具体的に展開している。

出典 ※1: DIRECTIVE 2007/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0060>

※2: COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2009, WHITE PAPER Adapting to climate change: Towards a European framework for action, [http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2009\)0147_/com_com\(2009\)0147_en.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2009)0147_/com_com(2009)0147_en.pdf)

洪水ハザードマップと洪水リスクマップ

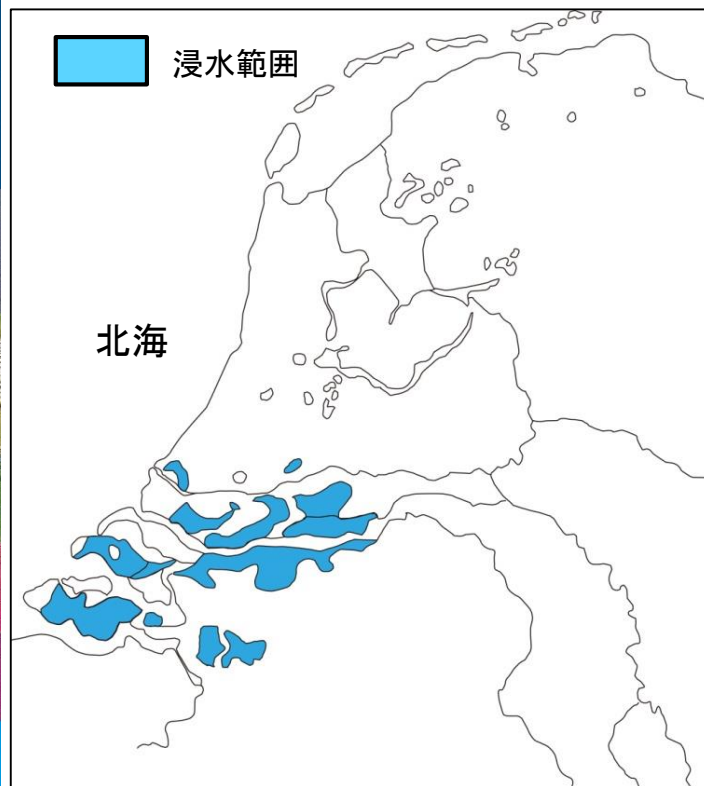
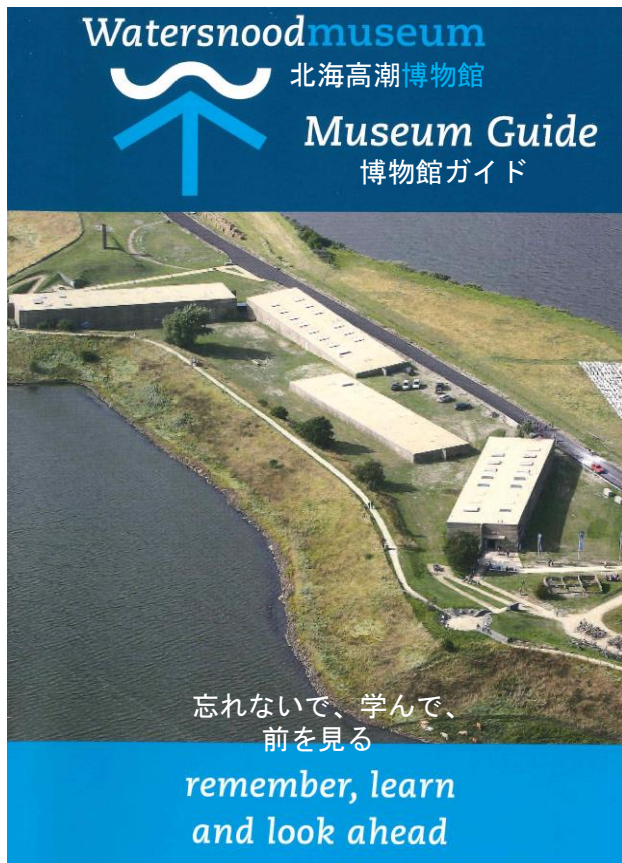
- 欧州では、洪水ハザードマップと洪水リスクマップを明確に区別し、いずれも作成・公表している。
- 洪水ハザードマップは洪水による状況とその可能性を示し、洪水リスクマップはその影響や被害を示すものである。



出典: ※ H. de Moel, J. van Alphen, J.C.J.H. Aerts, Flood maps in Europe – methods, availability and use, 2009, <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/289/2009/nhess-9-289-2009.pdf>

インパクト:1953年北海高潮(North Sea flood of 1953)

- 1953年北海の高潮で、175,000haが浸水、4,500戸の家屋が損壊、1,800人が死亡した。この災害を受けて、政府及び議会は、オランダの河口域を締め切り、高潮から国土を保護する大規模事業計画「デルタプラン」を策定した。



- 出典: ※1: Watersnoodmuseum Museum Guide(北海高潮博物館ガイド)
※2: 財団法人 国土技術研究センター(JICE),増補改訂 欧州諸国における治水事業システム, 2001.2, pp200
http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/river/autonomy_kasen_01.pdf
※3: Rijkswaterstaat(Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), Watersnoodramp 1953,
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/watersnoodramp-1953/index.aspx>

レスポンス:デルタプラン (Delta Plan, Delta Works)

- 1953年北海高潮の大災害を受けて公共事業局担当大臣が(第1次)デルタ委員会を設立、1958年国会でデルタ法が可決され、デルタプラン(プロジェクト名:Delta Plan、実施された事業名:Delta Works)が開始された。デルタプランは40年間で、総額55億ユーロ(約7,500億円)の費用を投じた。

視察時撮影



東スヘルデ防潮水門
(Oosterscheldekering)

視察時撮影



ハーリングフリート水門
(Haringvlietdam)

視察時撮影



マエスラント高潮堰 (Maeslantkering)



デルタプランで建設された代表的な構造物

出典: ※ 財団法人 国土技術研究センター(JICE),増補改訂 欧州諸国における治水事業システム, 2001.2, pp201,
http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/river/autonomy_kasen_01.pdf

※ 2018/1/8 Rijkswaterstaatでのヒアリング

インパクト:1993年、1995年洪水

- 1993年洪水では、継続的な降雨によってマース川の水位が上昇し、浸水面積が約17,000ha、10,000人が避難し、被害額は1億ユーロ(約140億円)以上となった。※1
- 1995年洪水でも、13,000戸の家屋が浸水、堤防決壊が予測されたため250,000人が避難、被害額は4億ユーロ(540億円)以上となった。※2



1993年洪水 ワール川状況※3



1995年洪水 ワール川状況※4

出典: ※1 Rosenthal, U. en M. Bezuyen, Flood Emergency Management in Developed Countries: The experience of 1993, 1995 and 1997 in Europe.

※2 M.J. van Duin, M.J. Bezuyen and U. Rosenthal, Evacuation in case of extreme water levels, self reliance and care of authorities, 1995.

※3 TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen), Druk op de dijken 1995, 1995.8, pp4 & 19

<http://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/images/0/09/DrukOpDijken1995.pdf>

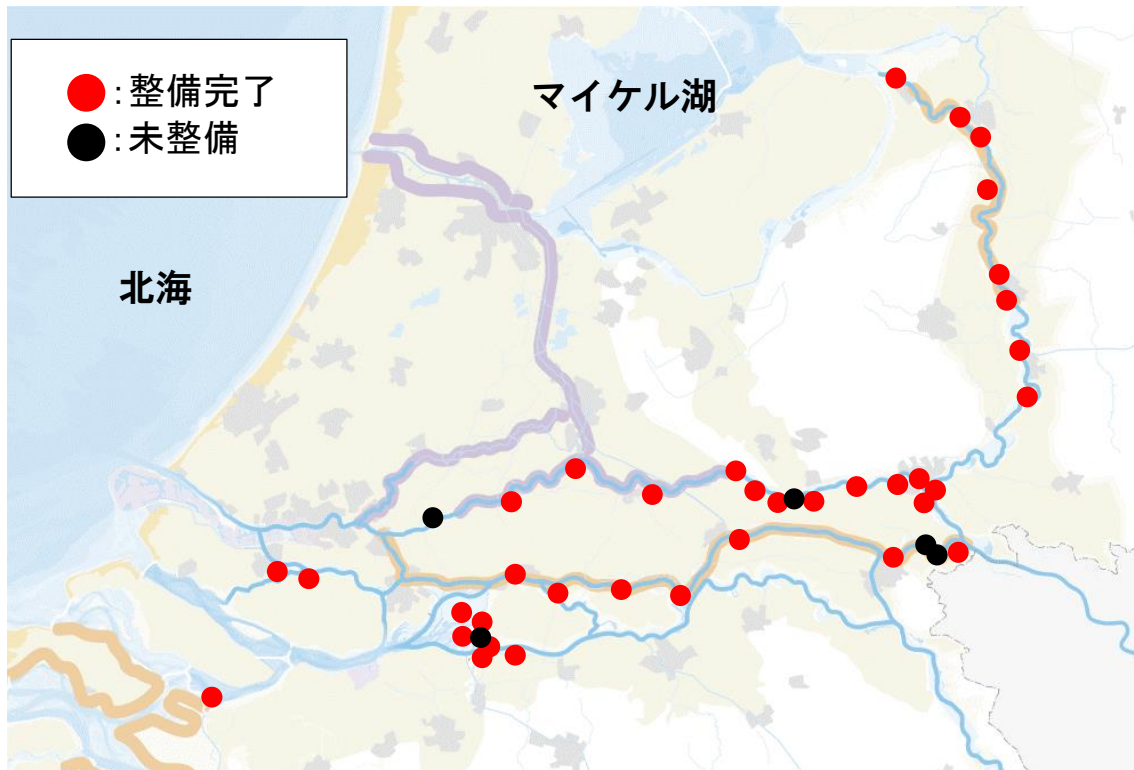
※4 Rijkswaterstaat (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Luchtfoto rivier de Waal hoogwater 1995 Kekerdom nabij km ID312766,

https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/Luchtfoto_rivier_de_Waal_hoogwater_1995_312766

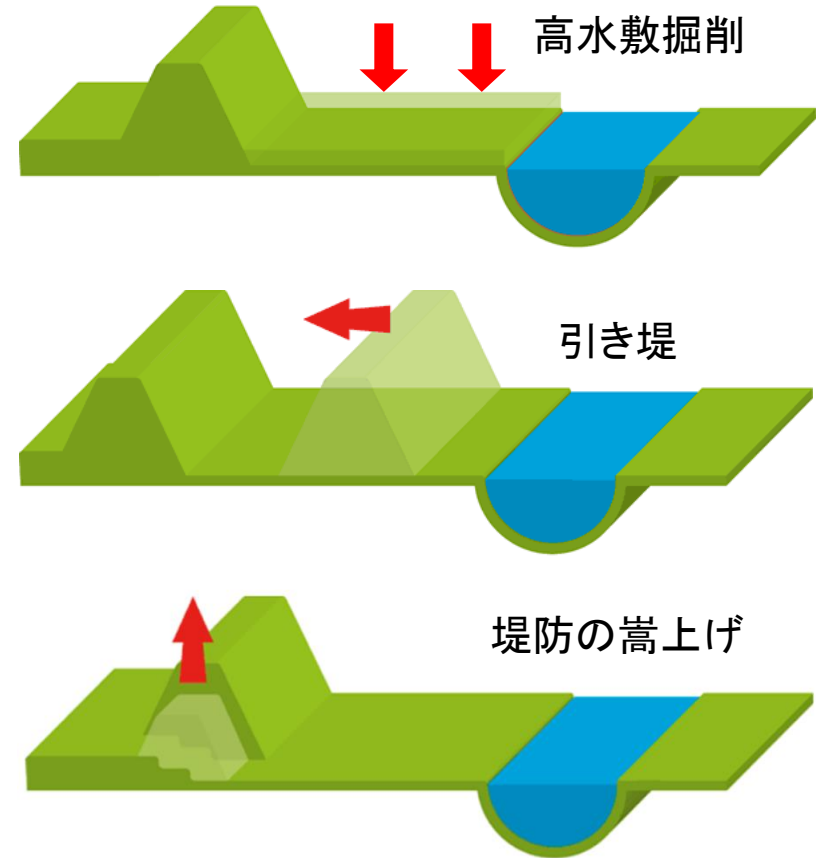
レスポンス:河川空間拡張プロジェクト(Room for the River)

- 1993年、1995年洪水を受けて、水管理の新しいアプローチとして、堤防強化のほかに、河積を増やすことが考えられ、河川空間拡張プロジェクト(Room for the River)が進められた。2018年1月現在、整備がほぼ完了している。*1
- プロジェクトの総費用は約22億ユーロ(約3,000億円)*1であり、39の事業が行われた。

<Room for the Riverにより行われる河川整備>



河川空間拡張プロジェクト整備状況(2016年4月時点)*2



具体的な河川整備実施内容*2

出典: *1 2018/1/8 Rijkswaterstaatでのヒアリング

*2 Rijkswaterstaat Room for the River department of communication, Room for the River for a safer and more attractive river landscape, https://www.ruimtevoorderivier.nl/wp-content/uploads/2016/04/VV_Kaart-RvdR_450x297_APRIL16_HR300DPI_Engels.pdf

気候変動予測

日蘭検討状況の比較 対象河川と洪水規模

■ オランダの治水計画では、近年は流量確率と堤防決壊確率を含む幅を持った安全度を考慮している。

項目	本検討内容(北海道、日本)	オランダ
対象河川と洪水規模	河川の諸元 【十勝川】 流域面積 : 9,010km ² 幹川流路延長 : 156km 河床勾配 : 1/200~1/5,000 【常呂川】 流域面積 : 1,930km ² 幹川流路延長 : 120km 河床勾配 : 1/200~1/5,000	【ライン川】 流域面積 : 185,000km ² ※ほとんどの流域はオランダ国外 幹川流路延長 : 1,320km 河床勾配 : 1/10,000(オランダ国内) 【マース川】 流域面積 : 36,000km ² 幹川流路延長 : 925km 河床勾配 : 1/10,000
	治水計画における安全度 【十勝川】 1/150 【常呂川】 1/100	【ライン川】 新しい確率評価 : 洪水発生確率 1/300~1/100,000 (2017.1月以降。堤防区間ごとに設定) 近年までの評価 : 流量確率 1/1250 (ロビス地点) 【マース川】 新しい確率評価 : 洪水発生確率 1/300~1/1,000 (2017.1月以降。堤防区間ごとに設定) 近年までの評価 : 流量確率 1/1250 (ポルフハーレン地点)
	計画降雨量 【十勝川帯広基準地点】 1/150確率雨量 245.7mm/72hr 【常呂川北見基準地点】 1/100確率雨量 170.9mm/24hr、137.5mm/12hr	【ライン川】 10日間程度の降雨量 (4~20日の間で降雨継続時間によって可変)
	目標流量 【十勝川帯広基準地点】 基本高水流量 6,800m ³ /s 計画高水流量 6,100m ³ /s 【常呂川北見基準地点】 基本高水流量 1,900m ³ /s 計画高水流量 1,600m ³ /s	【ライン川(ロビス地点)】 現在(2015): 16,500m ³ /s 将来(2100): 18,000m ³ /s 【マース川(ポルフハーレン地点)】 現在(2015): 3,800m ³ /s 将来(2100): 4,600m ³ /s

デルタ委員
ヒアリングによる

日蘭検討状況の比較 気候変動予測データとダウンスケーリング計算

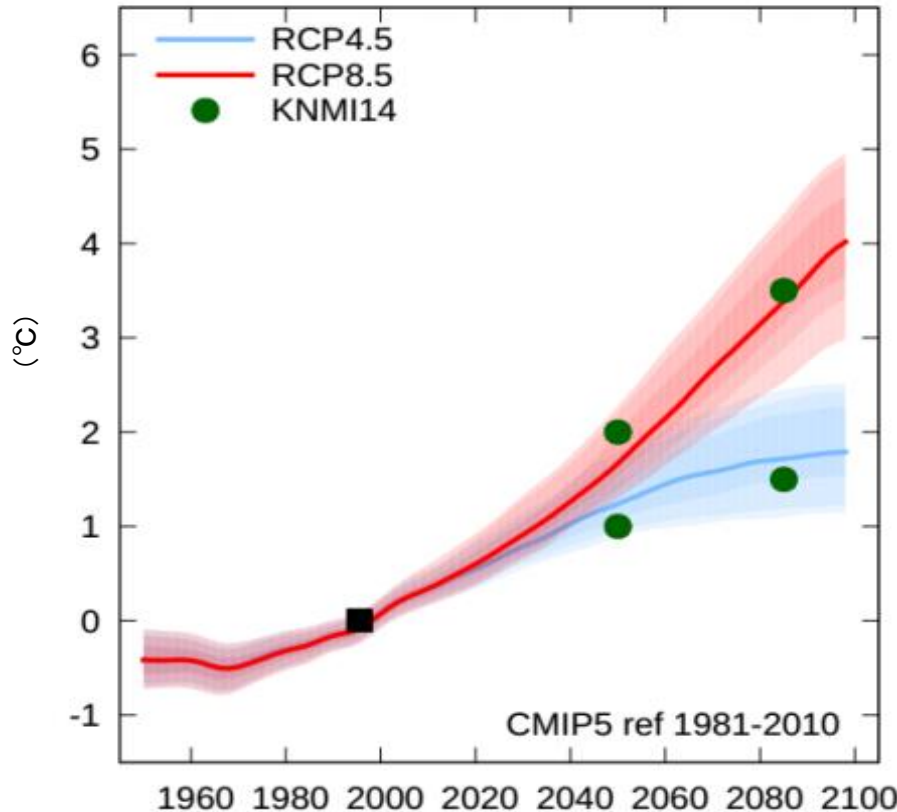
- オランダでは、IPCC第5次評価報告書(AR5)の4シナリオに基づく各国の予測を用い、245アンサンブルの予測を実施。
- アンサンブル数は本検討の方が多いが、オランダは複数シナリオを扱い、通年計算している等の違いがある。

項目		本検討内容(北海道、日本)	オランダ
気候変動 予測データ	気候変動 シナリオ	AR5におけるRCP8.5シナリオ	AR5(CMIP5)に基づくKNMI'14シナリオ
	基とした データベース	『地球温暖化に資するアンサンブルデータベース (d4PDF)』を活用	KNMI'14 change characteristicsに従う (観測データを活用)
		全球モデル:AGCM(60km) 領域モデル:NHRCM(20km)	全球モデル:GCM EC-Earth(T159=125km) 領域モデル:RCM RACMO2(25km)
		大規模アンサンブル実験データを活用 SST6メンバ×摂動15メンバ×60年⇒5400年分	AR5(CMIP5)における各国の37モデル、245アン サンブルに基づいて計算
ダウンスケーリ ング計算	対象とする 気象現象	台風や前線などによる大雨を対象 空間スケールは数十km程度を想定	ローカルな降雨 空間スケールは数km程度
	水平解像度	5km	11km (特定の場合のみ2.5km)
	計算期間	1951-2011、2051-2111 各年の最大降雨を抽出	1950-2100 通年計算
	計算領域	142.5E, 42.75Wを中心に 東西方向800km、南北方向に800km	オランダと北海を囲む領域

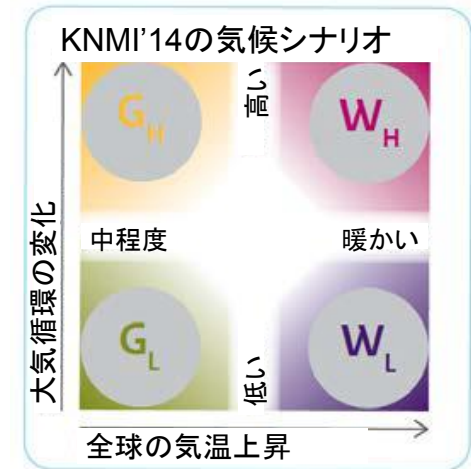
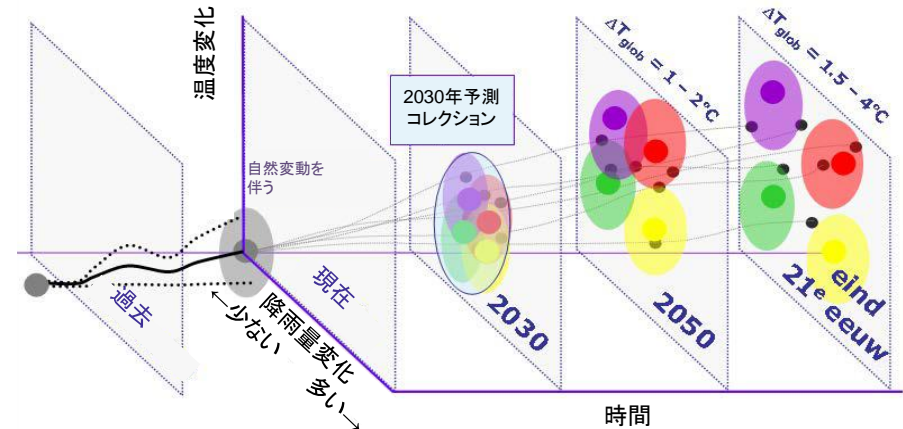
日蘭検討状況の比較 気候変動予測データとダウンスケーリング計算

- オランダ王立気象研究所KNMIは、IPCC第5次評価報告書に基づいて2014年に気候変動予測を更新し、KNMI'14を公表した。
- CMIP5における各国の予測245アンサンブルを用い、2050年時点の温度上昇及び大気循環の強弱によって独自の4シナリオに分類した。

RCPシナリオとKNMI気候シナリオの全球平均地上気温※1



KNMI'14におけるシナリオ分類 ※2



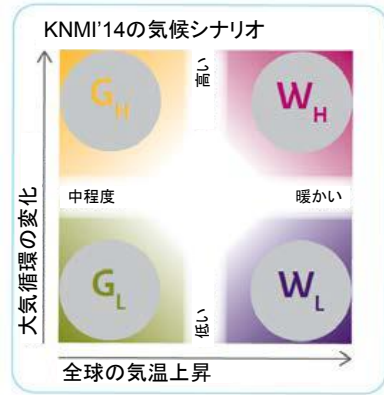
KNMI'14: オランダ王立気象研究所(KNMI)による気候変動予測
 CMIP5 : 世界各国の気象モデルの比較実験

出典: ※1、2 KNMI, KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective, 2014.5, pp15(※1), pp16(※2)
http://www.klimaatscenarios.nl/brochures/images/KNMI_WR_2014-01_version26May2014.pdf

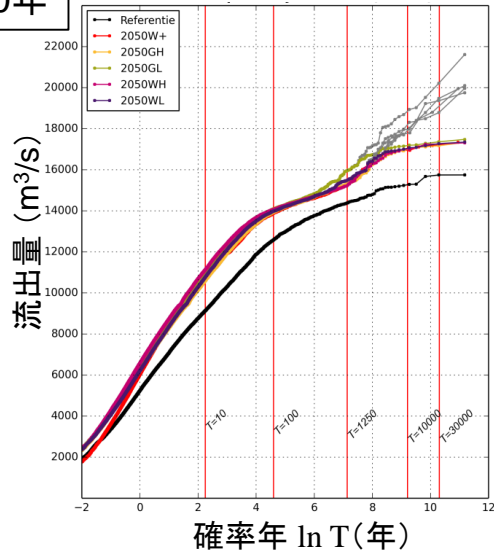
※3 Erik van Meijgaard, KNMI'14 Climate Scenarios for the Netherlands, 2015.6
http://nocdn.meteo.be/resources/20150600-maccbet-presentations/KNMI14_EvanMeijgaard_20150601.pdf

オランダの気候変動予測とライン川の将来流量予測

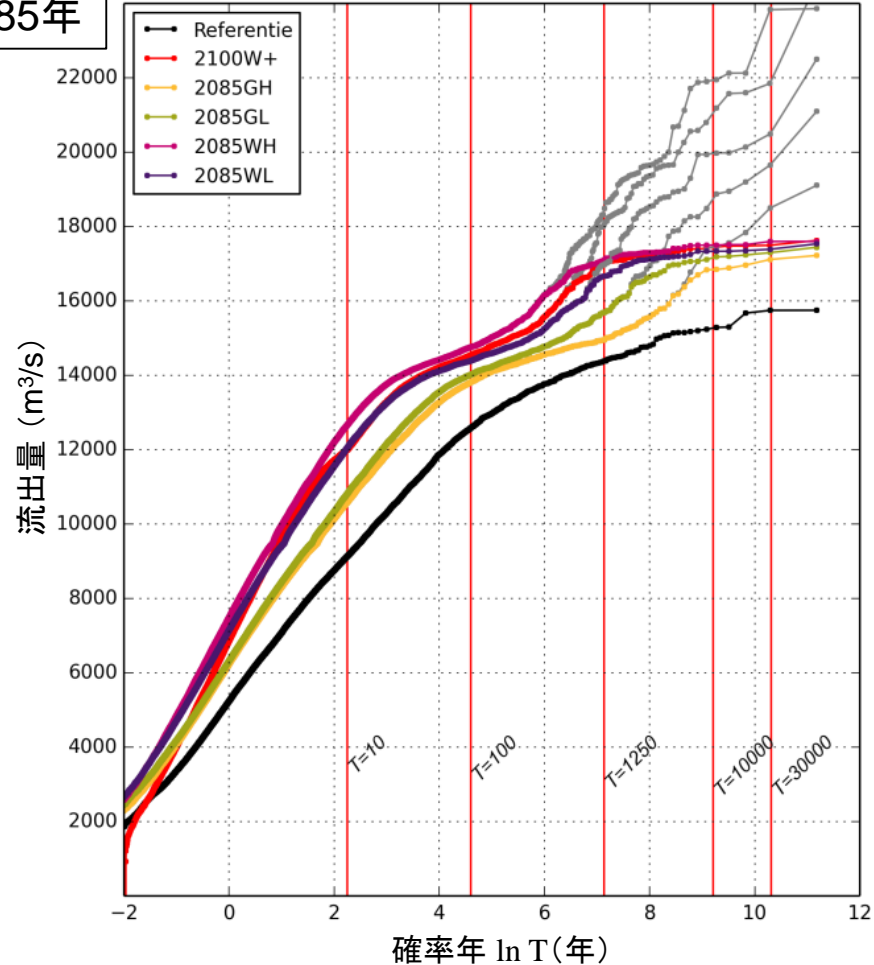
- ライン川の流量予測では、ドイツ国境より上流における越流の流量低減を考慮している。
- 4つの気候変動シナリオについてライン川の将来流量(N=1/1250)を予測している。2050年の予測ではシナリオによる差は小さいが、2085年ではシナリオによって異なる予測となっており、全てをカバーできる18,000m³/sを採用している。



2050年



2085年



ライン川ロビス地点の流量確率の将来予測 (SOBEKモデルによる。灰色線はドイツ国境より上流で越流がない場合) ※2

出典: ※ KNMI, Deltares, Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas?

https://cdn.knmi.nl/system/data_center_publications/files/000/069/858/original/samenvatting_grade_knmi14_definitief2.pdf?1495622007

日蘭検討状況の比較 降雨量の変化と流出計算

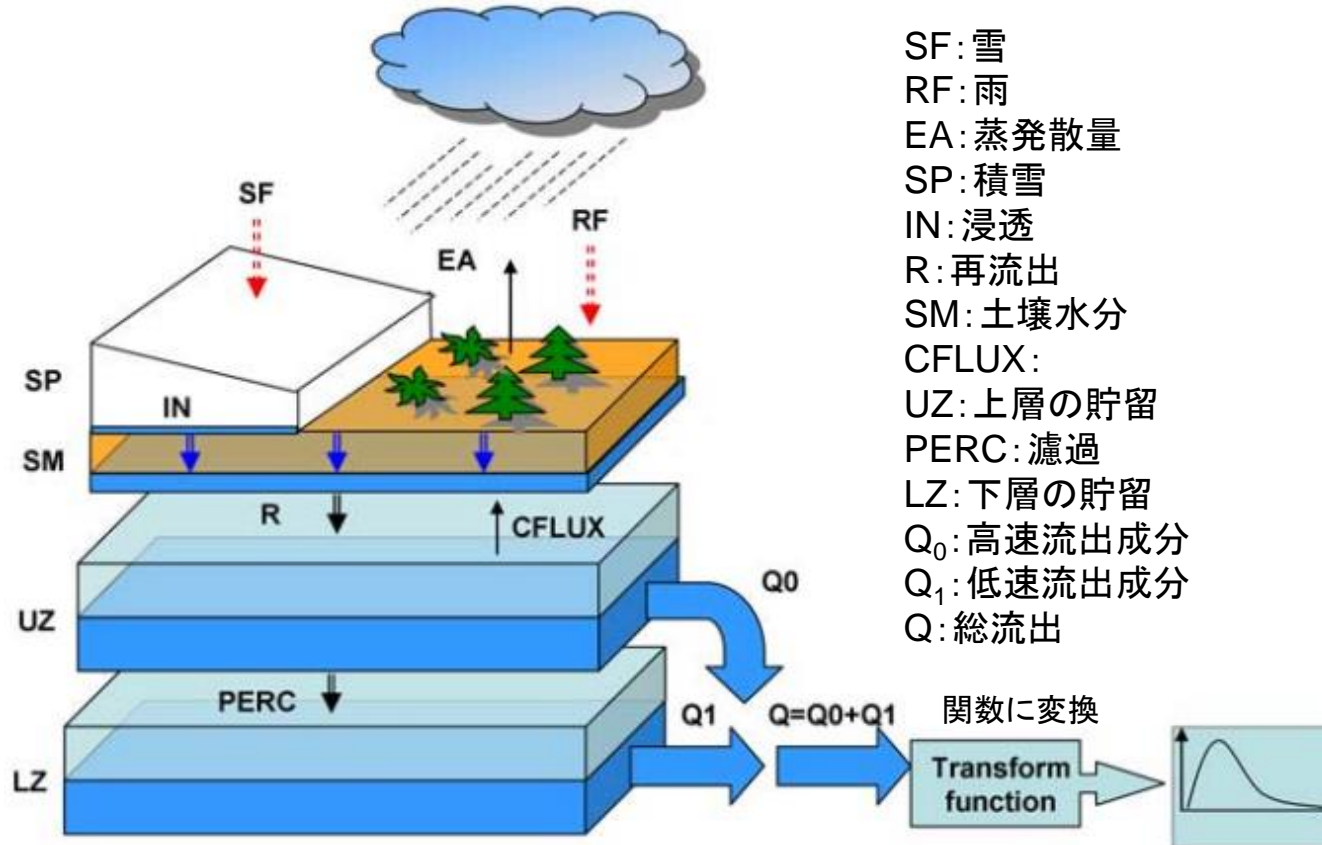
■ オランダにおいても、リサンプリングを行った上で確率評価を実施。分布型の流出モデルを用いている点も共通している。

項目		本検討内容(北海道、日本)	オランダ
降雨量の変化	アンサンブルデータの取り扱い	60年分のデータを1標本とするリサンプリング手法によって10万標本作成 それぞれの標本について、確率評価を実施	Rainfall generatorにより作成した50,000年分のデータ (時間的に連続したリサンプリングにより作成)
	結果の評価方法	10万標本の確率評価の結果から1/150確率(常呂川は1/100確率)雨量を抽出し、度数分布を作成 将来実験、過去実験における確率雨量の分布の取り得る幅や中央値の比較を実施	50,000年分の流量を水文モデル・水理モデルを使用し、シミュレーションを実施 50,000年分の年最大降雨量から10,000年を上限とした生起確率や分位数を算出
流出計算	流出計算モデル	各メッシュに2段タンク型貯留関数モデルを組み込んだ分布型モデル	HBV分布型流出モデルを使用 (134サブ流域の概念モデル)
	計算モデルのメッシュサイズ	1km	1km

ヒアリング時コメント(デルタ委員事務局)
「予測や可能性に基づく考え方で、日本の水害対策も動いているという点が、大変新しい情報だという印象を受けた。」

日蘭検討状況の比較 降雨量の変化と流出計算

- オランダの流出モデルは、分布型のHBVモデル及びSOBEKモデルを使用している。※1
- HBVモデルは、降雪や積雪、蒸発散、土壌水分等を考慮した熱収支式のタンク型水文流出モデルである。
- 解像度は1km×1kmで、流出経路はKinematic Wave modelを使用している。※2



水文モデル HBV-96の概念図※3

出典: ※1 2018/1/12 KNMIでのヒアリング

※2 Jaap Schellekens et al. , WFLOW :Flexible distributed open source hydrological modelling framework with applications in hydrological forecasting, https://oss.deltares.nl/documents/145641/1058242/01_WFLOW_CatchmentModelling_Jaap_Schellekens_Albrecht_Weerts.pdf

※3 Dimitri P. et al. :A novel method to estimate model uncertainty using machine learning techniques, 2008.1, pp7

<https://pdfs.semanticscholar.org/eac1/c5ee648bf35a8d67e3ed400c2b0f96af05a2.pdf>

デルタプログラムと洪水リスク管理

デルタプログラム(Delta Programme)の概要

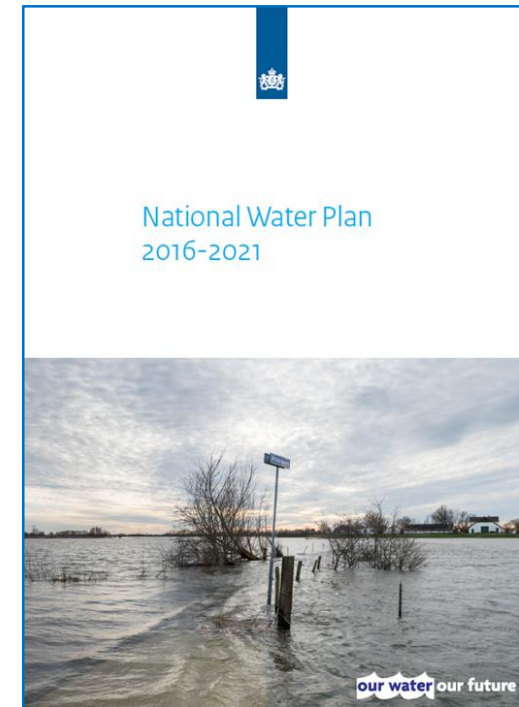
- デルタプログラム(Delta Programme)とは、政府(インフラ環境省、経済省)が現在と将来のためにオランダを安全で魅力的な場所とし続けることを目的として実施する長期的な計画である。デルタプログラムは、洪水リスク管理(Flood risk management)と淡水確保(Fresh water supply)を目標に計画されている。
- デルタプログラムでの検討を進めるデルタ委員(Delta Commissioner)は、2つの目標に関するガイドラインである「デルタ決定(Delta Decision)」を内閣に提出し、内閣は国家水計画(National Water Plan)に組み込んだ。※¹ 2017年1月1日、政府は新しい洪水防御基準を導入し、2050年までに新しい洪水防御基準を満たすように洪水防御システムが設計されている。※²



デルタプログラム2011※¹



デルタプログラム2018※²



国家水計画※³

- 出典: ※¹ The Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Ministry of Agriculture, Nature and Flood Quality, The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Delta Programme 2011: Working on the delta, 2010.9, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2010/09/14/2011-delta-programme>
- ※² The Ministry of Infrastructure and the Environment, The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2018.: Continuing the work on a sustainable and safe delta, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2017/09/19/dp2018-en-printversie>
- ※³ The Ministry of Infrastructure and the Environment, The Ministry of Economic Affairs, National Water Plan 2016-2021, 2014.10, <https://www.government.nl/documents/policy-notes/2015/12/14/national-water-plan-2016-2021>

オランダのデルタプログラムの変遷

- デルタ委員は、デルタプログラムを毎年更新し、議会に提出している。検討は、最新の気候変動予測シナリオを元に行う。
- KNMIは2100年の気候変動予測および将来流量予測を行っているが、デルタプログラムでは2100年の予測値を参考に、2050年までに事業を実施し、リスクを低減させることが示されている。※1
- 降雨量の増加によって、河川流量の増加が予想されるため、インフラ環境省及び公共事業局Rijkswaterstaatはハード・ソフトの両面の対策によってリスクを低減する。※1

デルタプログラムの変遷

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
デルタプログラム ※2								
気候変動シナリオ※	KNMI'06 →			KNMI'14 →				
主な内容	課題分析	スケジュールリング	予算確保	デルタ決定・優先的な戦略	デルタ決定最終提言	洪水防御新基準	「2050年までに新基準を満たす」	法律改正・空間計画に重点
洪水リスク管理関連	—	—	人的被害・経済的被害を考慮	リスクベース・アプローチ	リスクレベルの決定	—	—	—

※ デルタプログラム2015によれば、KNMI'14はKNMI'06と比較して海面上昇の最大値の予測が若干ことなるもののほとんど違いがない(very similar)シナリオである。

出典:

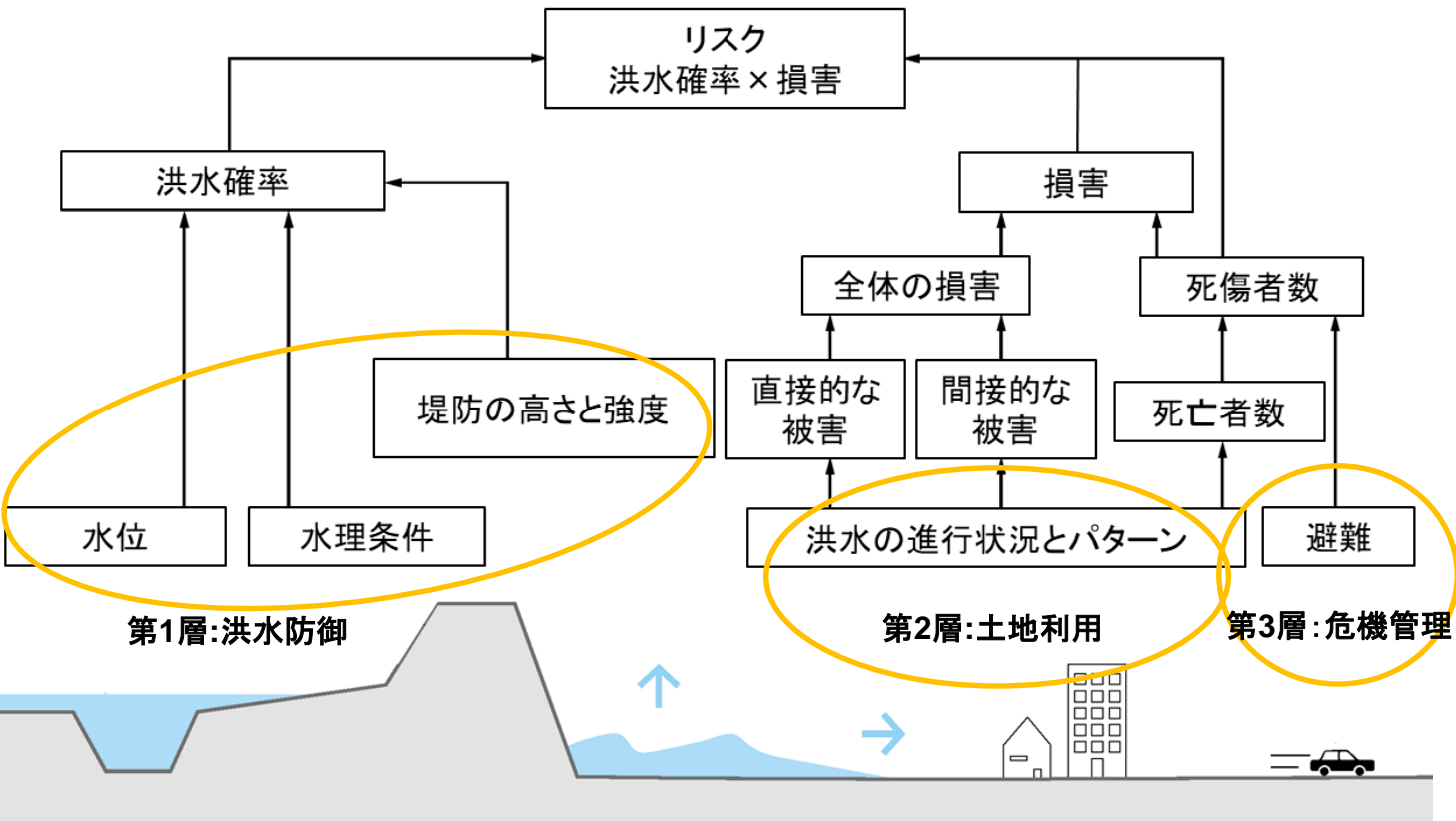
※1 2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング

※2 The Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Ministry of Agriculture, Nature and Flood Quality, The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Delta Programme 2011: Working on the delta, 2010.9, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2010/09/14/2011-delta-programme>

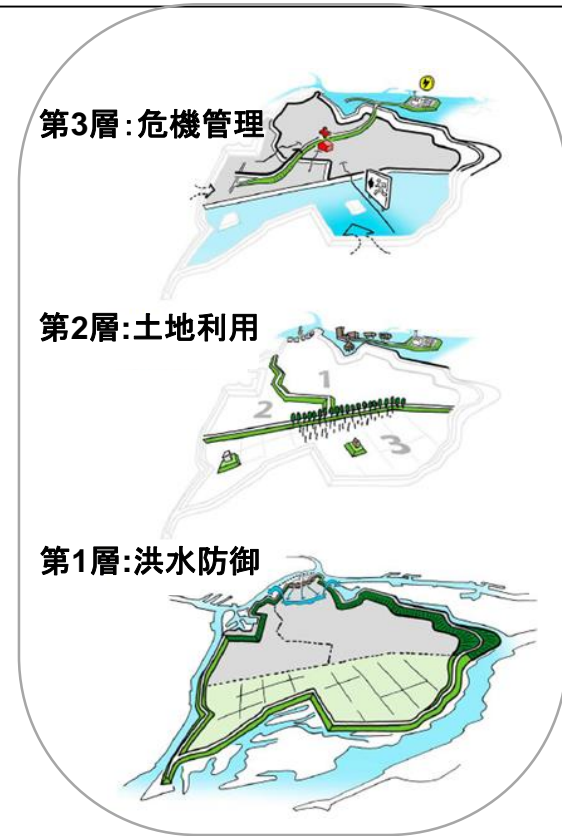
※2 The Ministry of Infrastructure and the Environment, The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2018: Continuing the work on sustainable and safe delta, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2017/09/19/dp2018-en-printversie>

リスクベース・アプローチ(Risk based approach)

- 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、洪水による死亡率を年間10万人に1人以下にすることを目的としている。リスクベースの「リスク」とは、特定事象の発生の可能性(洪水確率)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。
- 重層的洪水リスク管理(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が評価される。※1



リスクベース・アプローチ概略図※1※2






重層的洪水リスク管理概略図※3

出典: ※1 2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング
 ※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>

重層的洪水リスク管理(Multi-layer flood risk management)

- 重層的洪水リスク管理とは、3段階で対策を講じ、リスクを低減していくリスク管理である。※1
- 堤防の洪水防御基準を満たすため、最優先は第1層(予防策による洪水防御)であり、堤防の洪水防御基準を満たすため、ハード対策が行われている。※3

重層的洪水リスク管理の概要※2

	各層の詳細	オランダで実施されている対策
第3層: 	◎あらゆる洪水に対応する危機管理 情報提供(洪水警報、リスクマップなど)、 避難施設の整備	・洪水警報 ・リスクマップ ・ハザードマップ ・アプリ「浸水するの? (Overstroom ik?)」※4 など
第2層: 	◎洪水被害を抑制する土地利用 氾濫流の抑止 土地利用など	・土地利用計画※2 (Land use planning) ・建築基準法※2 (Building codes) ・耐水建築物※2 (Water proof building) など
第1層: 	◎予防策を実施する洪水防御 最優先 洪水防御基準を満たすために、 定期点検(6年毎)、ハード対策の実施※2	・砂浜の形成(Sand Motor) ・防波堤や高潮堰、堤防の建設 ・河川空間拡張プロジェクト (Room for the River) など

出典: ※1 2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング
 ※2 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2015: Working on the delta, 2014.9, pp14, <https://english.deltacommissaris.nl/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015>
 ※3 2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング
 ※4 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでのヒアリング

重層的洪水リスク管理 第3層 具体例 「浸水するの？」

■ オランダでは、市民を対象に浸水に関する情報を知ることができるツールとして、「浸水するの？ (Overstroom ik?)」が提供されている。自宅の住所を入力することで、自宅が想定される最悪の洪水時(発生確率1/4,000、洪水と高潮が同時に発生し、ライン川が河道満杯になる洪水)にどの程度の深さで浸水するのか、あるいは人生でその浸水を経験する確率を知ることができる。※1

Als ons water stijgt
水位が上昇したら

Overstroom ik?
浸水するの？

Wat kan ik doen?
何が出来るの？

Zuiderwagenplein 2, 8224 AD Lelystad
↑試しに
Rijkswaterstaatの住所を入力
Overstromingen
洪水

これは私にとってどんな意味なの？
Wat betekent dit voor mij?

- 水なし
- 電気なし
- ガスなし
- トイレなし
- インターネットなし
- 滞在：あなたは数日間待機
- 降りる：道路に大勢の人

Wat kan ik doen?
何が出来るの？

Ja, je overstroomt maximaal 4.0 meter
はい、あなたの家は4.0mまで浸水します。

あなたが人生でこれを経験する可能性は10%以上です。

あなたの地域の水深
Waterhoogte in jouw omgeving

Maximale waterhoogte in meters

洪水が発生したとき、あなたの地域の水深がどの程度高くなるのかを確認してください。

滞在か、離れるか？
Blijven of weggaan?

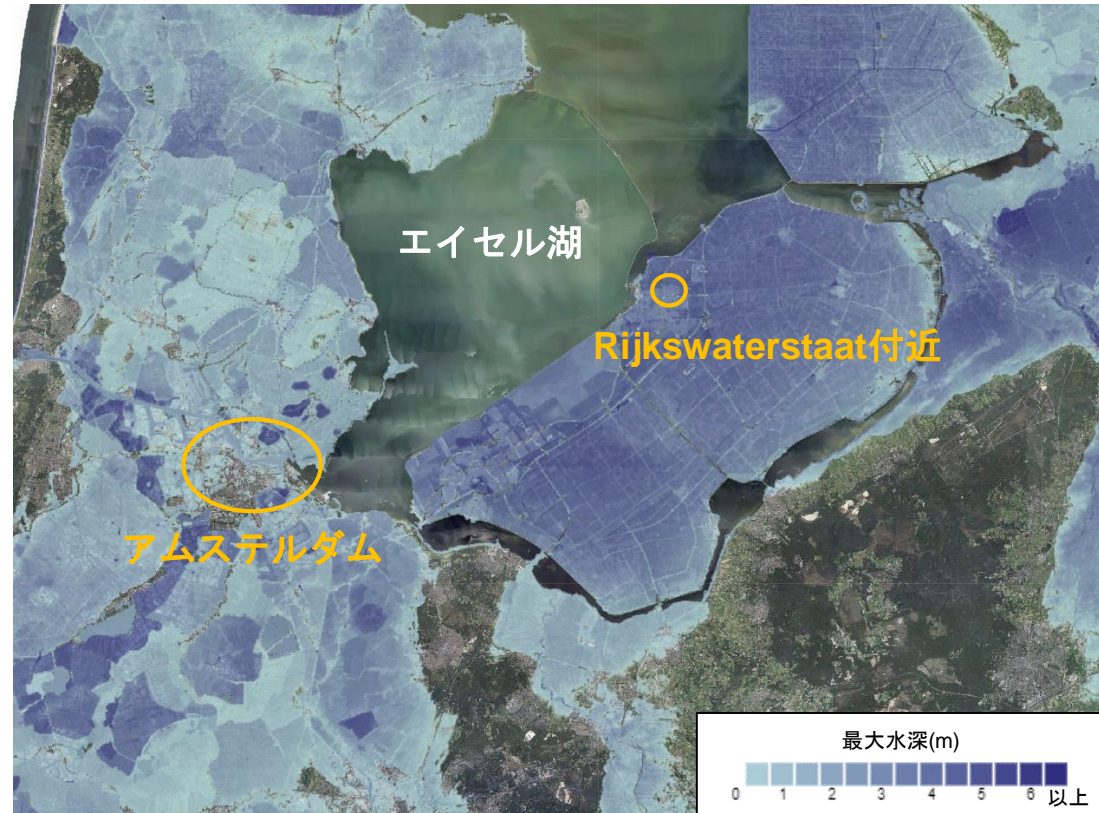
あなたの地域では約半分が時間内に地域を離れることができ、残りは自宅や近隣で浸水していない場所を見つけなくてはなりません。

Ga ik of blijf ik?
移動か？

極端な条件
Extreme omstandigheden

大洪水は混乱します。家で、屋外で、道路で、もう一度確認してください。あなたは、極端な状況に直面しています。

Lees meer
もっと読む



洪水ハザードマップ(浸水深マップ)の例※2

「浸水するの？」検索結果の例※2

出典： ※1 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでのヒアリング、2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング

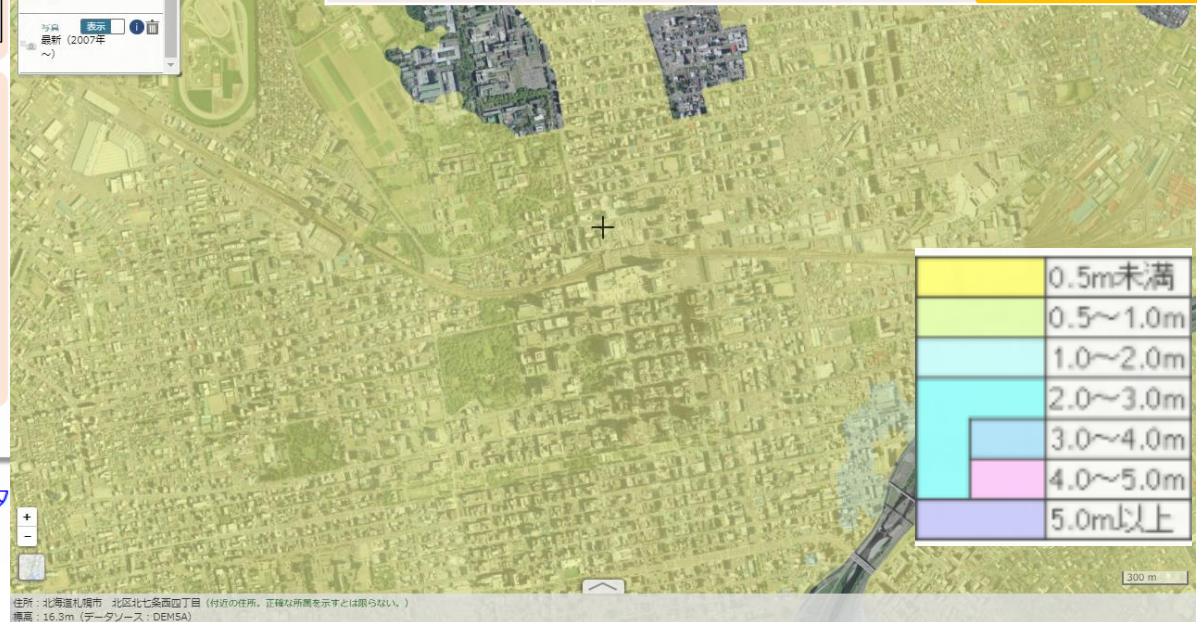
※2 Rijkswaterstaat, Overstroom ik?, <http://www.overstroomik.nl/>

【日本】国土交通省ハザードマップポータルサイト～身のまわりの災害リスクを調べる～

- 日本では、「国土交通省ハザードマップポータルサイト～身のまわりの災害リスクを調べる～」がある。災害時の避難や事前の防災対策に役立つ情報を公開している。「重ねるハザードマップ」では、場所(住所、緯度経度)を入力し、洪水浸水想定区域を見ることができ、市民が洪水によって想定される浸水深を知ることができる。
- 日本のツールは場所を入力することで、洪水だけでなく、土砂災害や津波のリスクも知ることができる。オランダのツールは想定される浸水を人生で経験する確率を知ることができる。

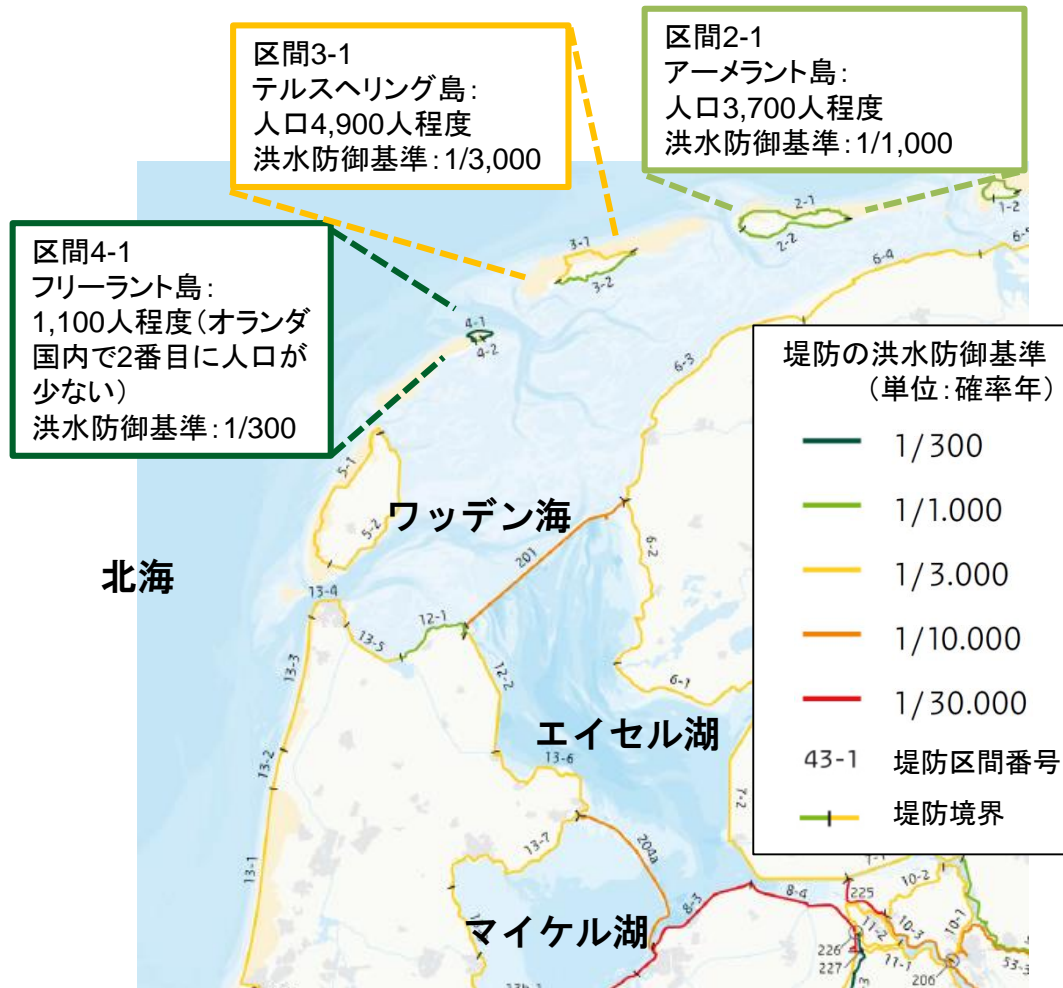
項目	日本	オランダ
災害の情報	洪水、土砂災害、津波	洪水、高潮
確認できるリスク	浸水深、土石流発生の危険性、津波による浸水深	浸水深、避難の留意点等
洪水外力	計画規模、想定最大規模	最悪シナリオ (1/4,000)
被害にあう確率の記載	なし	あり

- 想定最大規模降雨による洪水浸水想定区域データ
- 市町村ご担当者向け情報



新しい堤防の洪水防御基準

■ 2015年、デルタ決定(2014年)を受けて、国家水計画が決定された。その中で、2050年までに洪水による死亡率を年間10万人に1人以下にすることを目的として、堤防の洪水防御基準(2017年1月1日～)が適用された。



洪水防御基準の設定状況(一部)※2

洪水防御基準の設定状況(一部)※1

区間	洪水防御基準 (洪水発生確率年)	解説
2-1	1/1,000	地域の見解と政府の算定が一致。
2-2	1/1,000	地域の見解を採用(避難率0%想定)。個々の島々の安全戦略として、重層的防御アプローチを検討する。
3-1	1/3,000	地域の見解を採用(避難率0%想定)。個々の島々の安全戦略として、重層的防御アプローチを検討する。
3-2	1/1,000	地域の見解と政府の算定が一致。
4-1	1/300	地域の見解と政府の算定が一致。
4-2	1/1,000	地域の見解と政府の算定が一致。

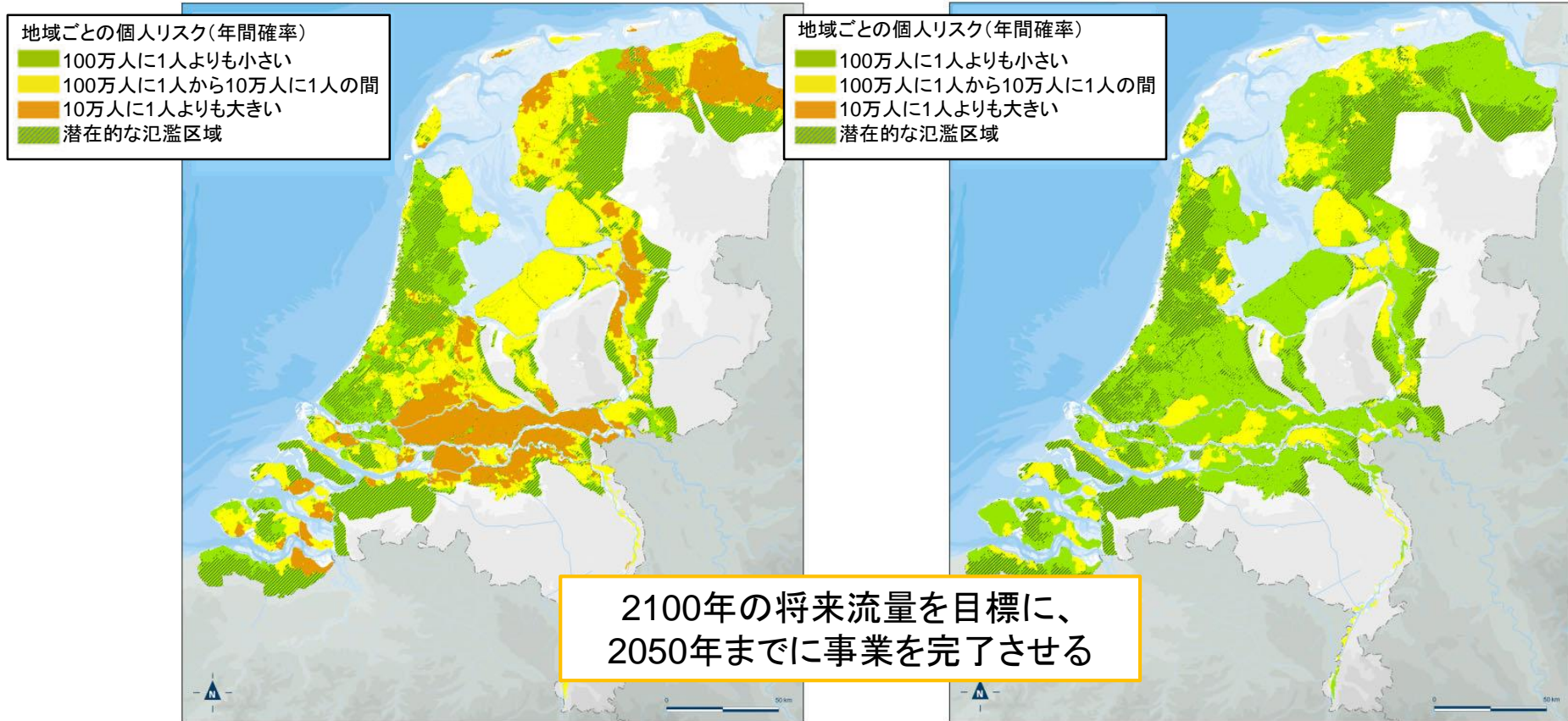
ヒアリング時コメント(公共事業局)
人口・資産のリスク、予報精度や避難の可能性を考慮して、地域ごとに設定。

出典: ※1 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2015: Work on the delta, 2014.9, pp16-23,152-167, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015>

※2 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, National Water Plan 2016-2021, 2015.12, pp14, <https://www.government.nl/documents/policy-notes/2015/12/14/national-water-plan-2016-2021>

オランダの許容リスク(Tolerable risk)

- 危険に関する国家政策(Dutch major hazard policy)の中で、産業分野における許容リスク(Tolerable risk)として、個人リスク(Individual risk)と社会リスク(Social risk)を評価している。産業分野での個人の許容リスクは、年間100万人に1人以下とされているが、デルタプログラムでは、年間10万人に1人以下と設定した。※1
- 個人の死亡リスクを年間100万人に1人以下とするためには、年間10万人に1人以下の場合に比べて50億ユーロ(6,600億円)の追加費用が必要となることから、費用便益分析を踏まえた最適な安全基準として、年間10万人に1人以下の個人リスクを設定した。※2



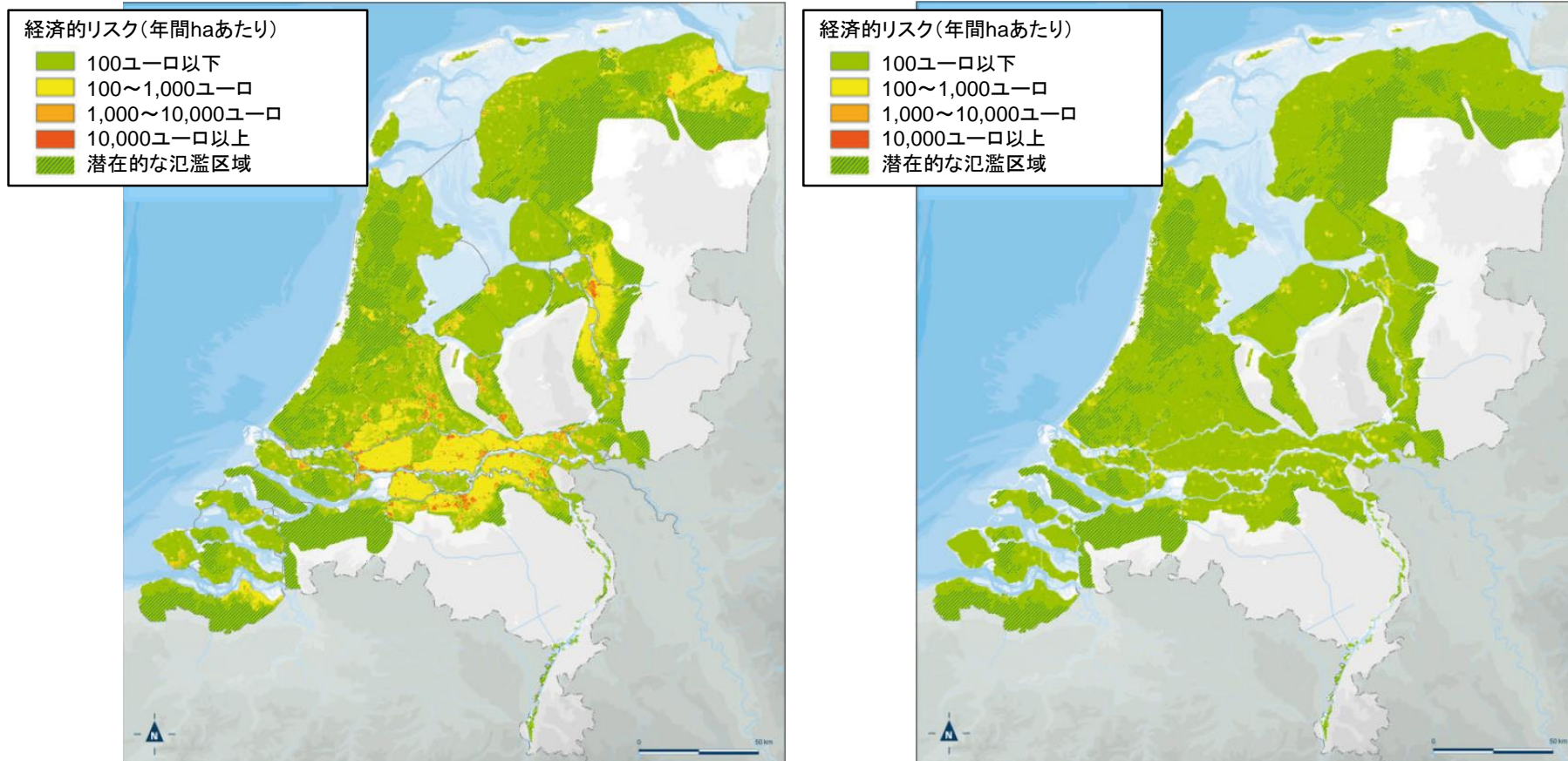
地域ごとの個人リスク(左:現状、右:新しい洪水防御基準)※2

出典: ※1 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2015: Working on the delta, 2014.9, pp17-18,23, <https://english.deltacommissaris.nl/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015>

※2 J.Van Alphen, The Delta Programme and updated flood risk management policies in the Netherlands, 2016.7, pp9, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfr3.12183/abstract>

オランダにおける経済的リスク

- 新しい洪水防御基準を満たす対策が実施された場合、2050年には経済的リスク(Economic risk)の総額が1/20に減少する。経済的リスクは、年間の1haあたりの経済損失を示す。※1※2
- 洪水防御基準を満たすことで、人的リスク・経済的リスクの両面を低減することができる。※2



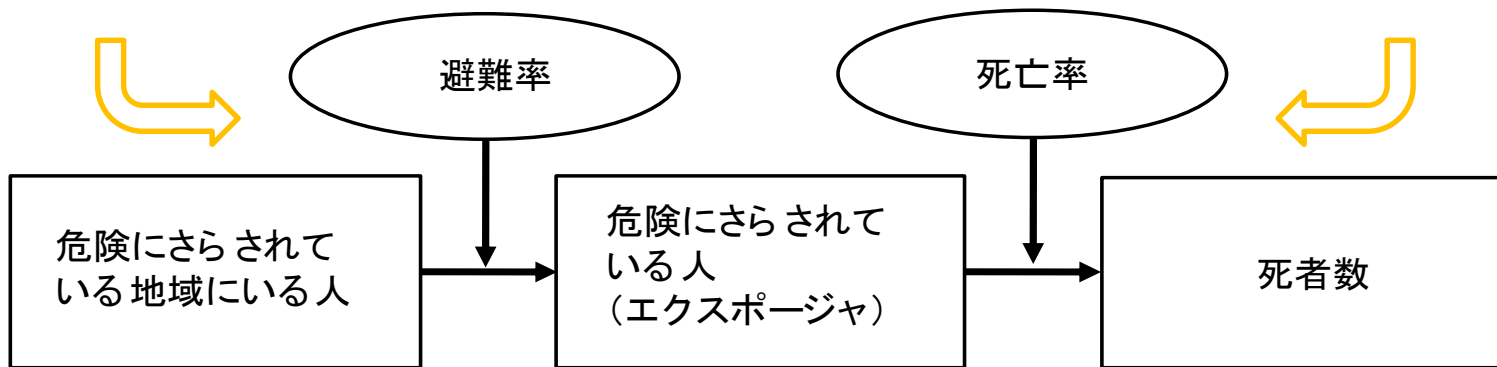
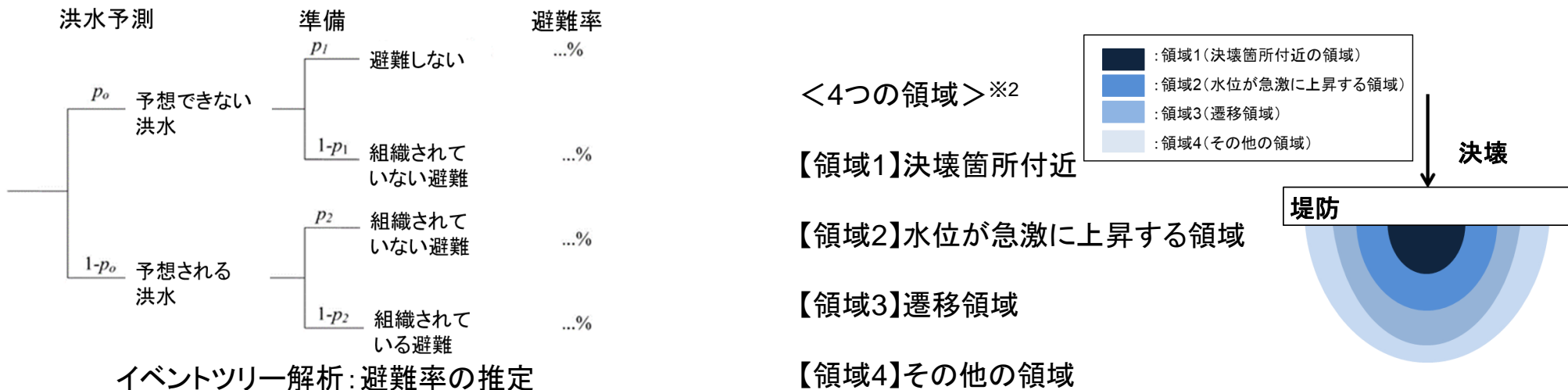
経済的リスク(左:現状、右:新しい洪水防御基準)※3

- 出典: ※1 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2015: Working on the delta, 2014.9, pp17, <https://english.deltacommissaris.nl/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015>
- ※2 2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング
- ※3 J.Van Alphen, The Delta Programme and updated flood risk management policies in the Netherlands, 2016.7, pp9, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfr3.12183/abstract>

オランダのリスク評価

洪水による死者数推定方法

- オランダの洪水による死者数推定方法は、洪水リスク分析から算出する。特定の地域で洪水が起こった場合の死亡者数は、氾濫ゾーンにいる人数と、避難率、被災時の死亡率によって決定する。※1 ※3
- 死亡率は4つの領域で死亡率を算定する方法(2009年B.Maaskantら※2)が研究されている。※3



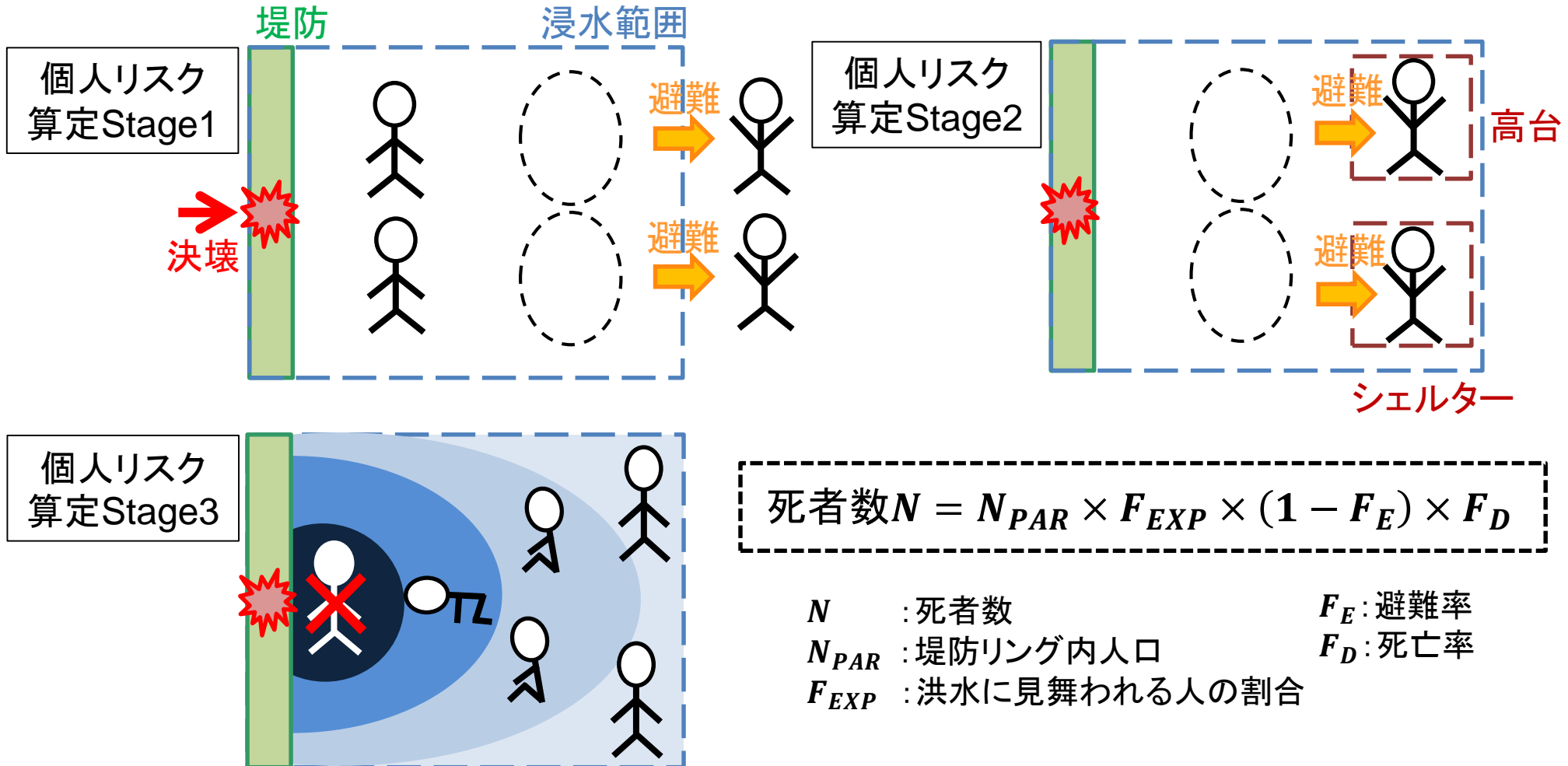
出典: ※1 R.B.Jongejan, S.N.Jonkman, B.Maaskant, The potential use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 1): Basic principles, 2009, pp2093-94, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.589.4420&rep=rep1&type=pdf>

※2 B.Maaskant, B.Jonkman, M.Kok, Analyse slachtofferaantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtoffersfuncties, 2009.1, pp4-43-4-44.

※3 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでのヒアリング

洪水による死者数推定方法

- 決壊が発生し、浸水範囲からの避難(Stage1)、浸水範囲内の高台あるいはシェルターへの避難(Stage2)、によって洪水に見舞われる人の割合が避難率(F_E)とする。
- 浸水範囲を4領域(決壊箇所付近、水位が急激に上昇する領域、遷移領域、その他の領域)に分けて、領域ごとに死亡率を算定し、避難率を用いて死者数(N)を算定する。(Stage3)



出典: ※ 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでのヒアリング、2018/1/12 Delta Commissionでのヒアリング

※ B.Maaskant, B.Jonkman, M.Kok, Analyse slachtofferaantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties, 2009.1, pp4-43~4-44.

洪水の死亡率関数

- 洪水による死亡率は、以下の4つの領域に分けて算定する。洪水特性を関連付け、死亡率関数から推定する。
- 死亡率関数は歴史的な洪水に関するデータから検証されている。

<4つの領域>

【領域1(決壊箇所付近の領域)】

d : 浸水深さ(m)、 v : 流速(m/s)、
 w : 水位上昇率(m/hr)、 F_D : 死亡率

$$d \cdot v \geq 7m^2/s \quad \text{かつ} \quad v \geq 2m/s$$

$$F_{D,B} = 1$$

【領域2(水位が急激に上昇する領域)】

$$d \cdot v < 7m^2/s \quad \text{または} \quad v < 2m/s, \quad d \geq 2.1m \quad \text{かつ} \quad w \geq 4m/hr$$

$$F_{D,Rise}(d) = \Phi_N \left(\frac{\ln(d) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

$\mu_N = 1.46, \sigma_N = 0.28$

【領域3(遷移領域)】

$$d \cdot v < 7m^2/s \quad \text{または} \quad v < 2m/s, \quad d \geq 2.1m \quad \text{かつ} \quad 0.5m/hr \leq w < 4m/hr$$

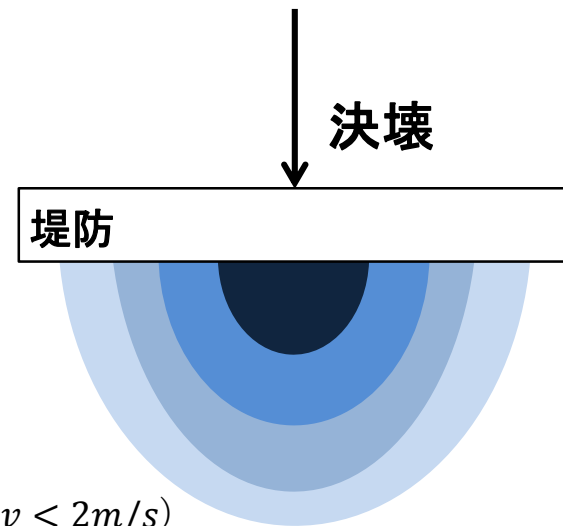
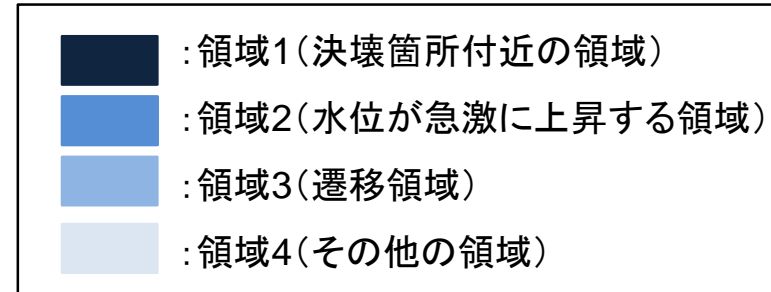
$$F_D = F_{D,Remain} + (w - 0.5) \frac{F_{D,Rise} - F_{D,Remain}}{3.5}$$

【領域4(その他の領域)】

$$w < 0.5m/hr \quad \text{または} \quad (w < 0.5m/hr \quad \text{かつ} \quad d \geq 2.1m), \quad \text{かつ} \quad (d \cdot v < 7m^2/s \quad \text{かつ} \quad v < 2m/s)$$

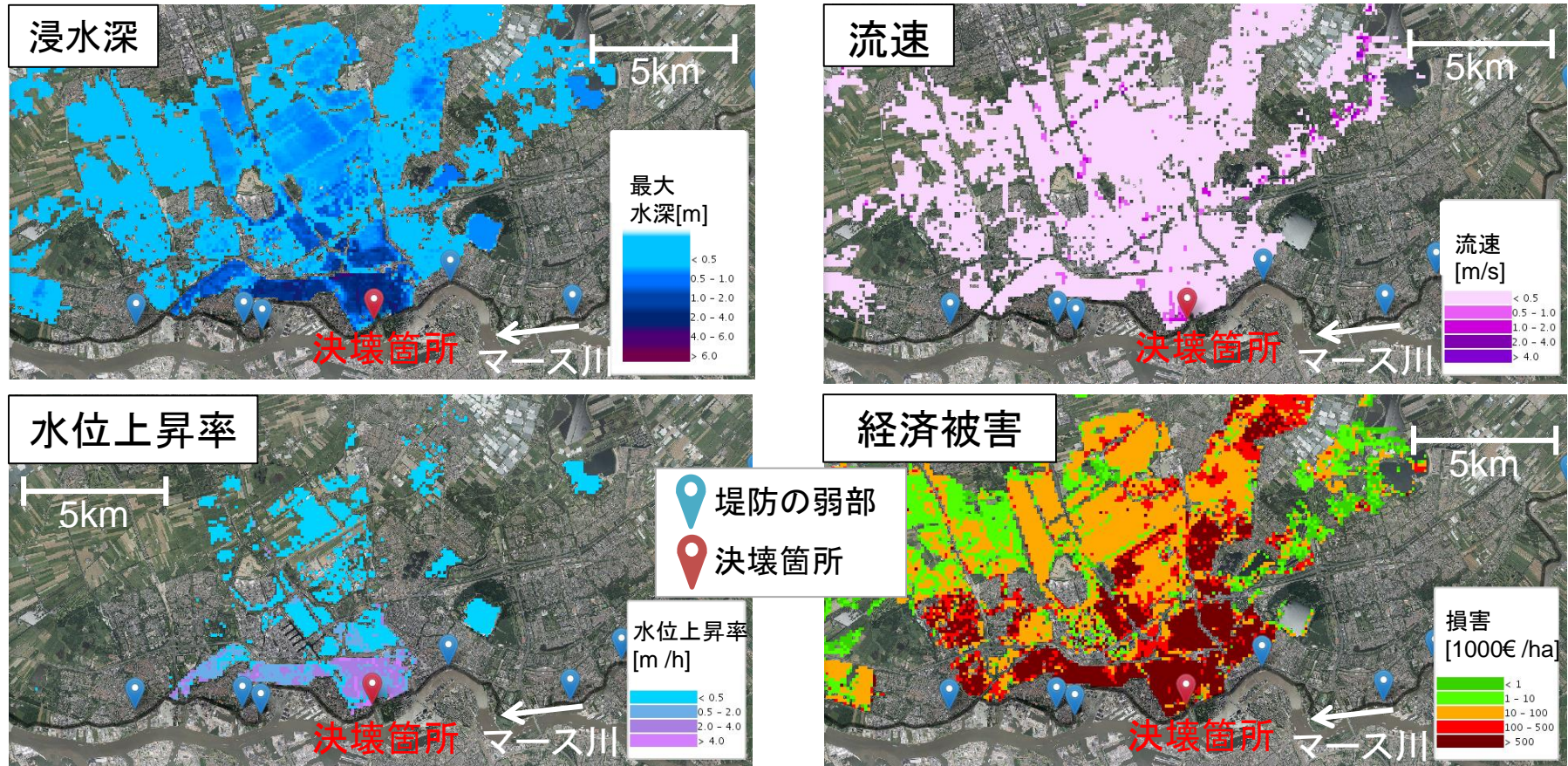
$$F_{D,Remain}(d) = \Phi_N \left(\frac{\ln(d) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

$\mu_N = 7.60, \sigma_N = 2.75$



洪水被害の推定

- オランダのインフラ環境省 (Ministry of Infrastructure and the Environment) と公共事業局 (Rijkswaterstaat) は、危機管理者向けツール「国家情報システム『水と洪水』」を提供している。
- 想定外力は、発生確率の異なる4シナリオが選択可能(地域によっては3シナリオ)である。



ロッテルダム周辺を決壊箇所とした場合の洪水シミュレーション結果(最悪なシナリオの場合)

出典: ※ Rijkswaterstaat and Ministerie van Infrastructuur en Milieu, LIWO open Kaarten: Overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem,

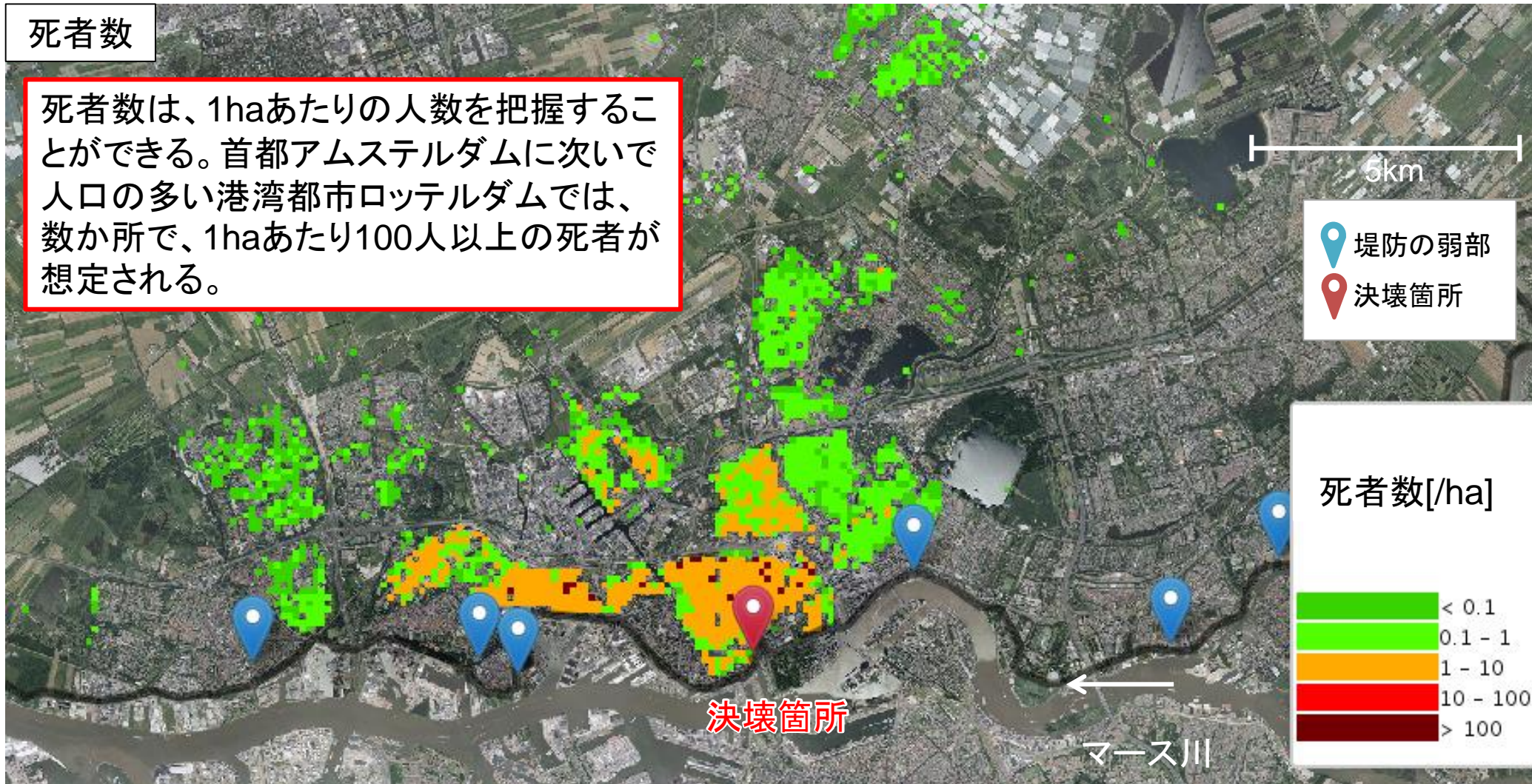
<https://www.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#/viewer/31>

※ 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでのヒアリング

ロッテルダム周辺の洪水被害の推定

死者数

死者数は、1haあたりの人数を把握することができる。首都アムステルダムに次いで人口の多い港湾都市ロッテルダムでは、数か所で、1haあたり100人以上の死者が想定される。



ロッテルダム周辺を決壊箇所とした場合の洪水シミュレーション結果(最悪シナリオ)

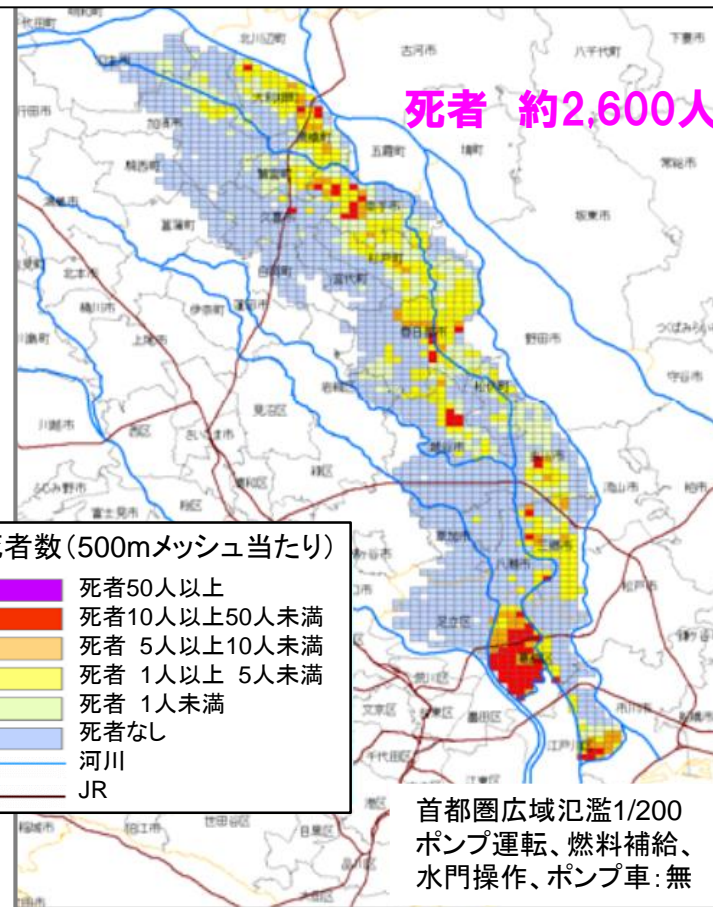
出典: ※ Rijkswaterstaat and Ministerie van Infrastructuur en Milieu, LIWO open Kaarten:Overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem, <https://www.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#/viewer/31>

※ 2018/1/11 HKV CONSULTANTSでのヒアリング

【日本】国土交通省地点別浸水シミュレーション検索システム(浸水ナビ)

- 日本では、国土交通省地点別浸水シミュレーション検索システム※1により、浸水想定、河川の水位状況等を把握することができる。想定外力は、想定最大規模、計画規模が選択可能である。
- 日本のツールは氾濫水到達時間、浸水継続時間に関する情報を知ることができ、浸水状況をアニメーションで見られる。オランダのツールは、流速、水位上昇率、経済被害、死者数を知ることができる。
- 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」においては、首都圏の死者数推定結果が公表された。※2

項目	日本	オランダ
洪水外力	計画規模(1/100~1/200)、 想定最大規模	4つの気候変動シナリオ
入力情報	河川、座標、 地名・住所・公共施設名	入力なし、地域を指定
音声検索	あり	なし
知れる情報	浸水深、氾濫水到達時間、 浸水継続時間	浸水深、流速、水位上昇率、 経済被害、死者数
アニメーション	あり	なし



想定最大規模での常呂川の浸水シミュレーション結果※1

利根川の首都圏広域氾濫時の死者数(避難率0%)※2

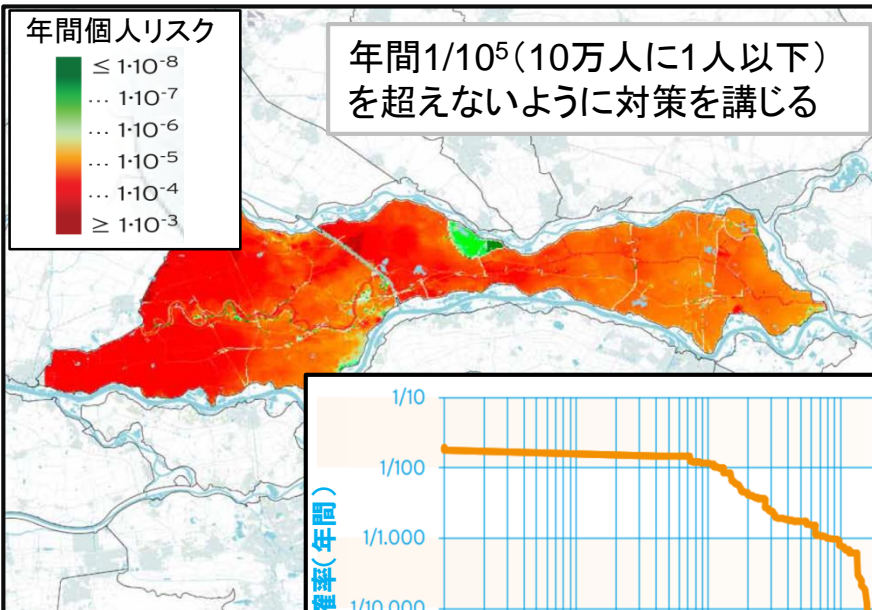
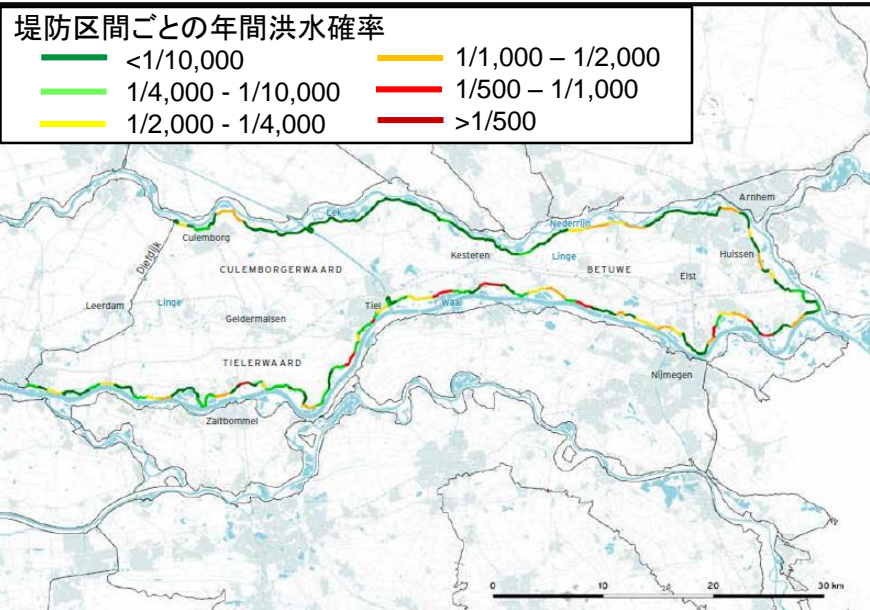
出典: ※1 国土交通省地点別浸水シミュレーション検索システム(浸水ナビ), <http://suiboumap.gsi.go.jp/>

※2 内閣府、首都圏における大規模水害の被害想定(中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」資料)、利根川首都圏広域氾濫の被害想定: 死者数の推定結果(首都圏広域氾濫)、<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/index.html>

Florisプロジェクト

- 2001年、堤防の弱部を見極め、洪水確率 (Probability of flooding, 堤防の決壊確率) と洪水の影響を把握することを目的に、公共事業局Rijkswaterstaatは「Flood Risks and Safety in the Netherlands(通称Floris、オランダの洪水リスクと安全性)」プロジェクトを開始し、評価結果を2005年に公開した。(第2期:2009年開始、2014年結果公開)※1
- 2001年以前は超過確率のみの評価だったが、Florisプロジェクトでは堤防決壊メカニズムとして、越流・越波、侵食、すべり、パイピングの4パターンを考慮することで確率的に評価し、各堤防の洪水確率を決定した。
- Florisプロジェクトでは、人的リスク(個人リスク、社会リスク)と経済的なリスクが示された。

例として、ベートウヴェ / ティーレル-クレムボルガー (Betuwe/Tieler- en Culemborgerwaarden) 地区を示す。

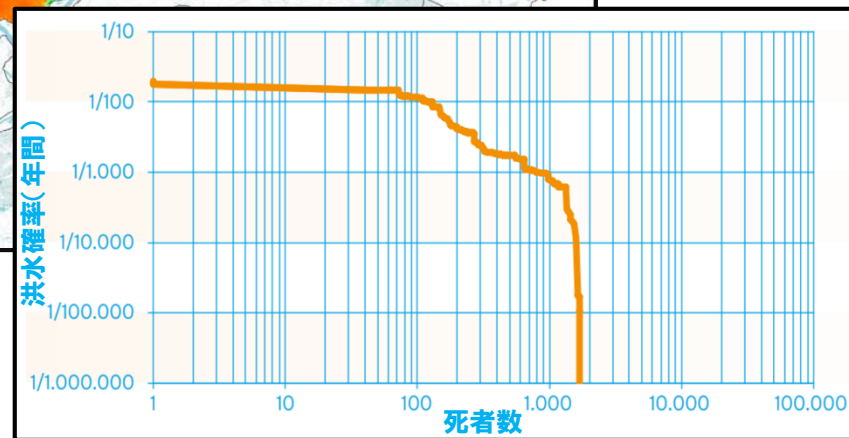


位置図※2

堤防区間ごとの年間洪水確率(堤防の決壊確率)※2

年間個人リスク※2

各地域の現在のリスクを把握することで、
対策の優先順位付けが可能に



FNカーブ(社会リスクの評価)※2

出典: ※1 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) – Full report, 2005.11, pp7, 34, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715?collection=research>

※2 Rijkswaterstaat VNK Project Office, The National Flood Risk Analysis for the Netherlands: FINAL REPORT, 2016.4, pp100-101, https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Eindrapport%20Veiligheid%20Nederland%20in%20Kaart_tcm21-63921.pdf

まとめ

- 治水分野における気候変動影響の検討が、先進的かつ体系的に取り組まれているオランダの有識者や政府関係者らを対象にヒアリングを行った。
- 気候変動予測は、各国の予測結果を分類した独自の4シナリオについて検討し、将来の河川流量は全てのシナリオをカバーする計画としている。
- リスク評価は、将来の人的損害と経済的損害の双方について分析し、公表している。人的損害については、洪水による死亡率を2050年以降のオランダ全土において年間10万人に1人以下とすることと定めている。(費用便益分析を踏まえて決定)
- 洪水による死亡率の算定にあたっては、水深だけでなく流速や水位上昇率を考慮し、過去の世界各地の水害における死者数を参考に算定している。

最後に……

- 北海道の検討状況についても意見交換し、大規模アンサンブルに基づく確率的なアプローチはオランダの有識者にとっても興味深く、活発な議論が行われた。
- オランダでは、先進的な研究や考え方を次々に取り入れ、技術革新を図るとともに、合意形成を行い社会実装する合理的なシステムが特徴的であった。