

# オランダにおける気候変動適応方策について

---

# 目次

## 1. 調査経緯および日蘭の共通点・相違点

- ・調査経緯とオランダとの協力体制
- ・オランダの国土・河川の概要、日本との共通点・相違点

## 2. 気候変動によるハザードの変化

- ・気候変動予測及び将来流量の算定

## 3. 治水計画と気候変動適応策の枠組み

- ・オランダと日本の治水における枠組み
- ・堤防の管理から強化までの順応的管理

## 4. 氾濫リスク評価と対策

- ・リスクベースアプローチ
- ・リスク評価（人的被害）
- ・氾濫防御基準の決定方法
- ・近年の治水対策と気候変動適応
- ・費用便益分析

## 5. 氾濫リスクに関する情報提供

- ・氾濫リスクの示し方
- ・防災教育

## 6. まとめ

# 1. 調査経緯及び日蘭の共通点・相違点

# 調査経緯とオランダとの協力体制

# なぜ、オランダなのか。

以下の点からオランダに着目し、調査を行った。

- オランダは、先進国の中でも数々の洪水被害を経験する等、水害リスクが高いことに加え、12世紀頃から堤防整備を行うなど、歴史的に見ても水害に対する意識が高い。
- オランダはライン川河口デルタの低湿地帯に位置し、中世から干拓を繰り返すことによってその国土を広げ、農地を拡大してきた。現在ではEUでも有数の農業国となっており、北海道の開拓と治水の歴史とも類似性が高い。
- 将来の気候変動予測から定量的な氾濫リスクの推定、計画の策定及びハード整備など一貫した取り組みを進めている。
- 気候変動を考慮した計画が法整備されている。
- 他国の災害から学び、気候変動適応の具体的な施策を示したデルタプログラムを開始した。

## 水害に対する意識



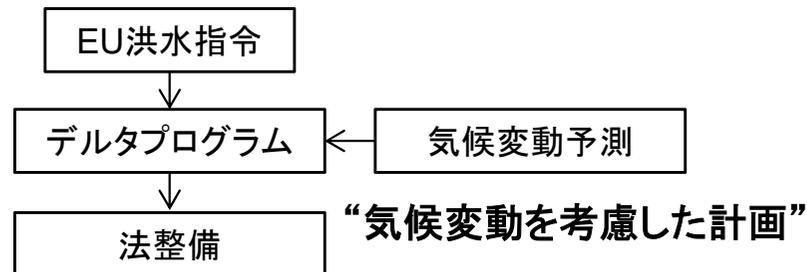
“教訓”



1953年北海高潮による決壊状況※1

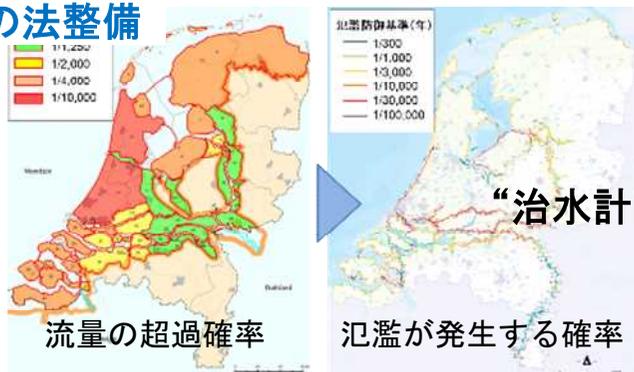
1953年北海高潮による浸水状況※1

## 一貫した取り組み



オランダにおける気候変動を考慮した治水の取り組み

## 治水計画の法整備



“治水計画の法整備”

流量の超過確率

氾濫が発生する確率

氾濫防御基準※2※3

## 他国の災害から学ぶ



2005年ハリケーンカトリナの被害（米国ニューオーリンズ市）※4

出典： ※1 Rijkswaterstaat(Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), Watersnoodramp 1953, <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/watersnoodramp-1953/index.aspx>  
 ※2 Rijkswaterstaat(Ministerie van Verkeer en Waterstaat), Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris): Floris study – Full report, 2005.11, pp13, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715?collection=research>  
 ※3 Ministry of Infrastructure and the Environment & 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>  
 ※4 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA), Hurricane Katrina, <https://www.nesdis.noaa.gov/content/hurricane-katrina>  
 FEMA, Photograph by Jocelyn Augustino taken on 08/30/2005 in Louisiana, <https://www.fema.gov/th/media-library/assets/images/45575#details>

# オランダとの協力体制の構築

- 2018年1月、室蘭工業大学中津川誠教授を団長とするオランダ気候変動適応策調査団が結成され、治水分野における気候変動適応策として先進的に進められているオランダを視察し、オランダの有識者や政府関係者ら(以下、「オランダの治水関係者」)を対象にヒアリングを行い、気候変動予測からリスク評価まで幅広い情報収集を行った。
- 2018年3月(東京)、11月(北海道)、2019年6月(オランダ)、10月(北海道)に、意見交換会を開催し、両国の気候変動適応の取組等に関して情報交換及び意見交換を行った。



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)

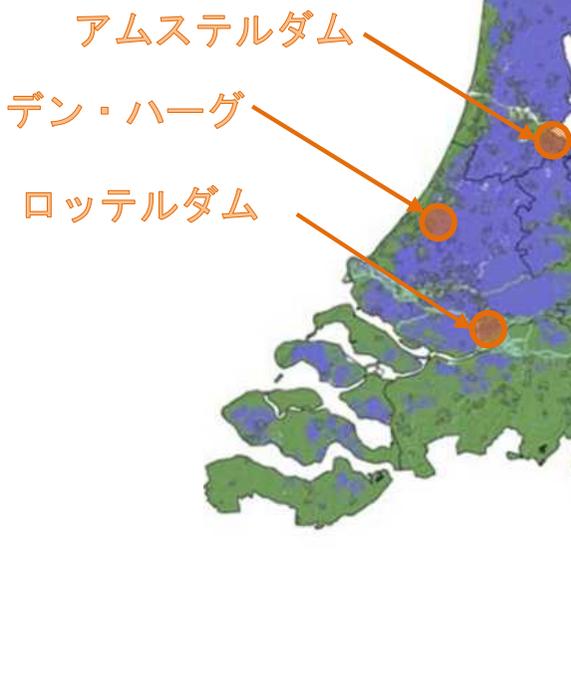
---

# オランダの国土・河川の概要、 日本との共通点・相違点

# オランダの国土

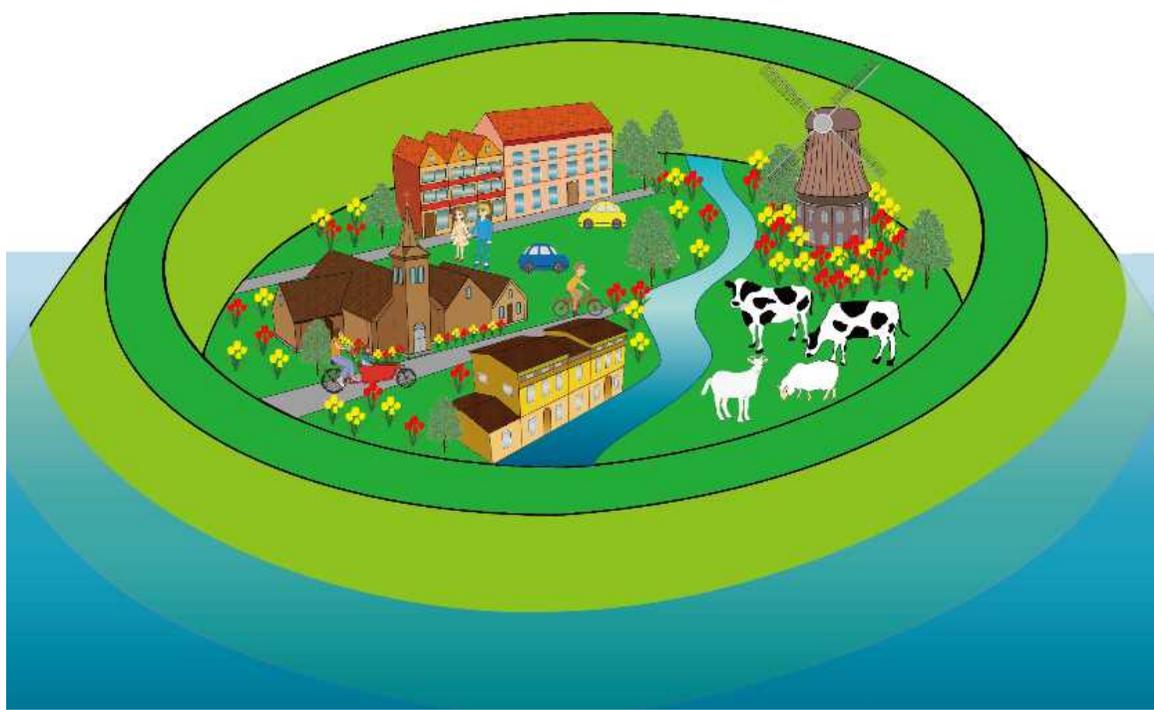
- オランダは国土の約1/4が海水面以下にある。オランダにおける人口の上位3位を占めるアムステルダム (Amsterdam)、ロッテルダム (Rotterdam)、デン・ハーグ (Den Haag) はほぼ海水面以下にある。
- オランダの国土は、過去の大水害の経験から堤防リング (Dike-ring) に囲まれてる。

- 海水面より低い土地
- 海水面より高い土地



オランダにおける海水面より低い土地※1

## 堤防リング (Dike-ring)



堤防リングのイメージ図 (参考資料※2をもとに作成)

出典: ※1 NAP, nederlandondernap: aactueel hoogtebestand Nederland Boven/beneden 0 meter NAP kaart, <https://www.normaalamsterdamspeil.nl/en/the-nap-aod-and-its-uses/nederlandondernap/>  
※2 Rijkswaterstaat (Ministry of Infrastructure and the Environment), Flood Risk and Water Management in the Netherlands: A 2012 update, 2012.8, pp21, <http://edepot.wur.nl/241151>

# オランダと北海道の人口・面積の比較

- オランダの面積は、日本の約1/9、北海道の約1/2である。
- オランダの人口は、日本の約1/7、北海道の約3倍、オランダの人口密度は日本より高い。



両図の縮尺は異なる

	オランダ※1	日本※2	北海道※3
国土面積	41,864 km <sup>2</sup>	377,975 km <sup>2</sup>	83,424km <sup>2</sup>
人口	1,730万人(2019年)	12,601万人(2020年)	538万人(2015年)
人口密度	413人/km <sup>2</sup>	333人/km <sup>2</sup>	65人/km <sup>2</sup>

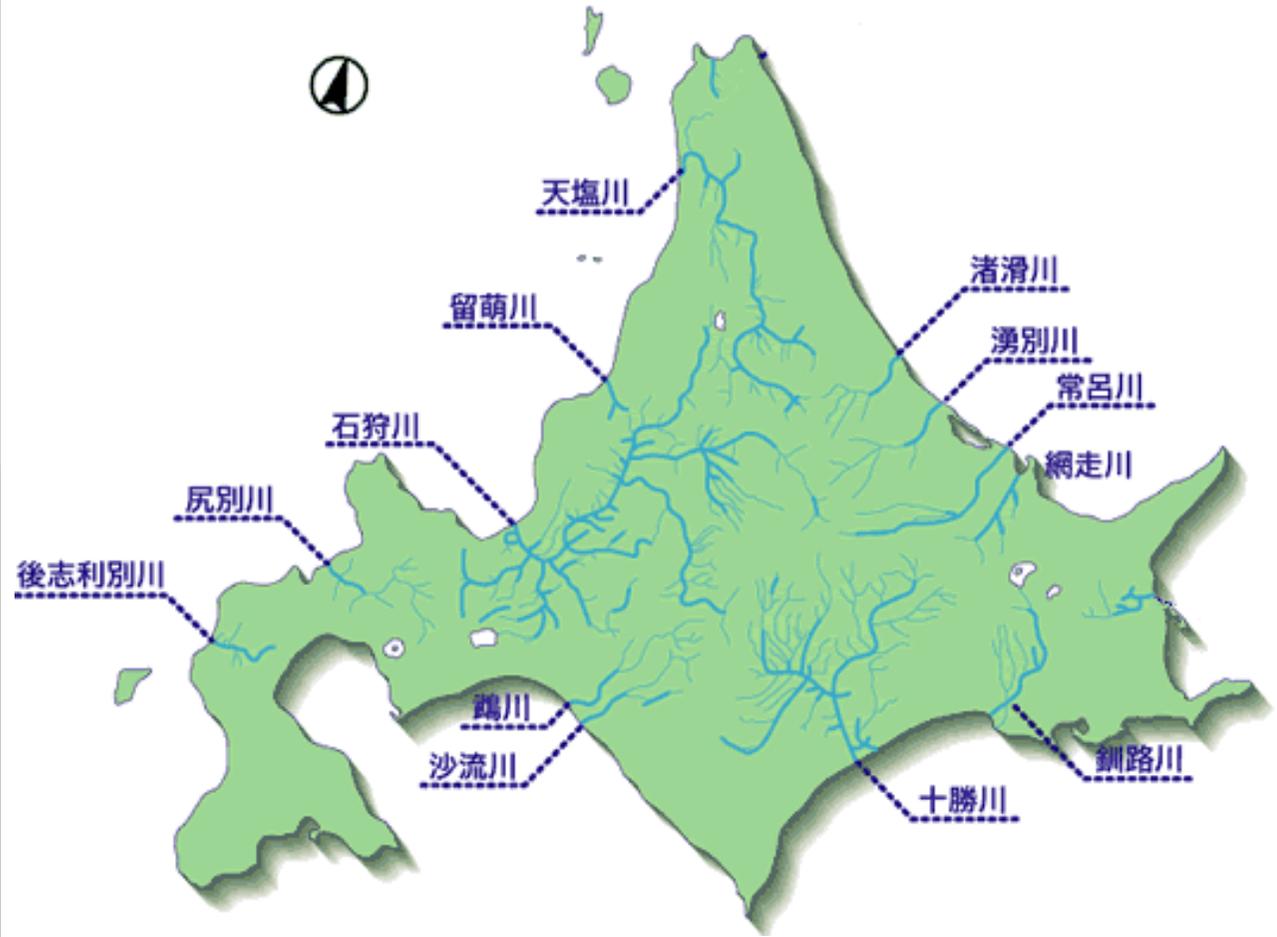
出典： ※1 国土交通省国土政策局, 各国の国土政策の概要: オランダ, <https://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/international/spw/general/netherlands/index.html>  
 Centraal Bureau voor de Statistiek(CBS), Population, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/en/dataset/37296eng/table?ts=1582714824045>  
 ※2 国土交通省国土地理院, 令和元年都道府県市町村別面積調(10月1日時点), [https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201910/area\\_todofuken.pdf](https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201910/area_todofuken.pdf)  
 総務省統計局, 人口推計-2020年(令和2年)2月報-, <https://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/202002.pdf>  
 ※3 国土交通省国土地理院, 令和元年都道府県市町村別面積調(10月1日時点), [https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201910/area\\_todofuken.pdf](https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201910/area_todofuken.pdf)  
 北海道, 北海道の生活-人口・生活, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/tkk/databook/2017/0201.htm>

# オランダと北海道の河川の比較

- 国際河川ライン川はオランダ国土に入り、多くの支流に分岐する。ライン川派川のうち最も大きな河川がワール川である。1953年の北海高潮では、ライン川河口域で特に大きな被害が発生した。
- 北海道では国管理の1級河川は13河川ある。平成28年8月北海道大雨激甚災害では、十勝川、常呂川、石狩川などで被害が発生した。



オランダの河川概要 (参考資料※1をもとに作成)



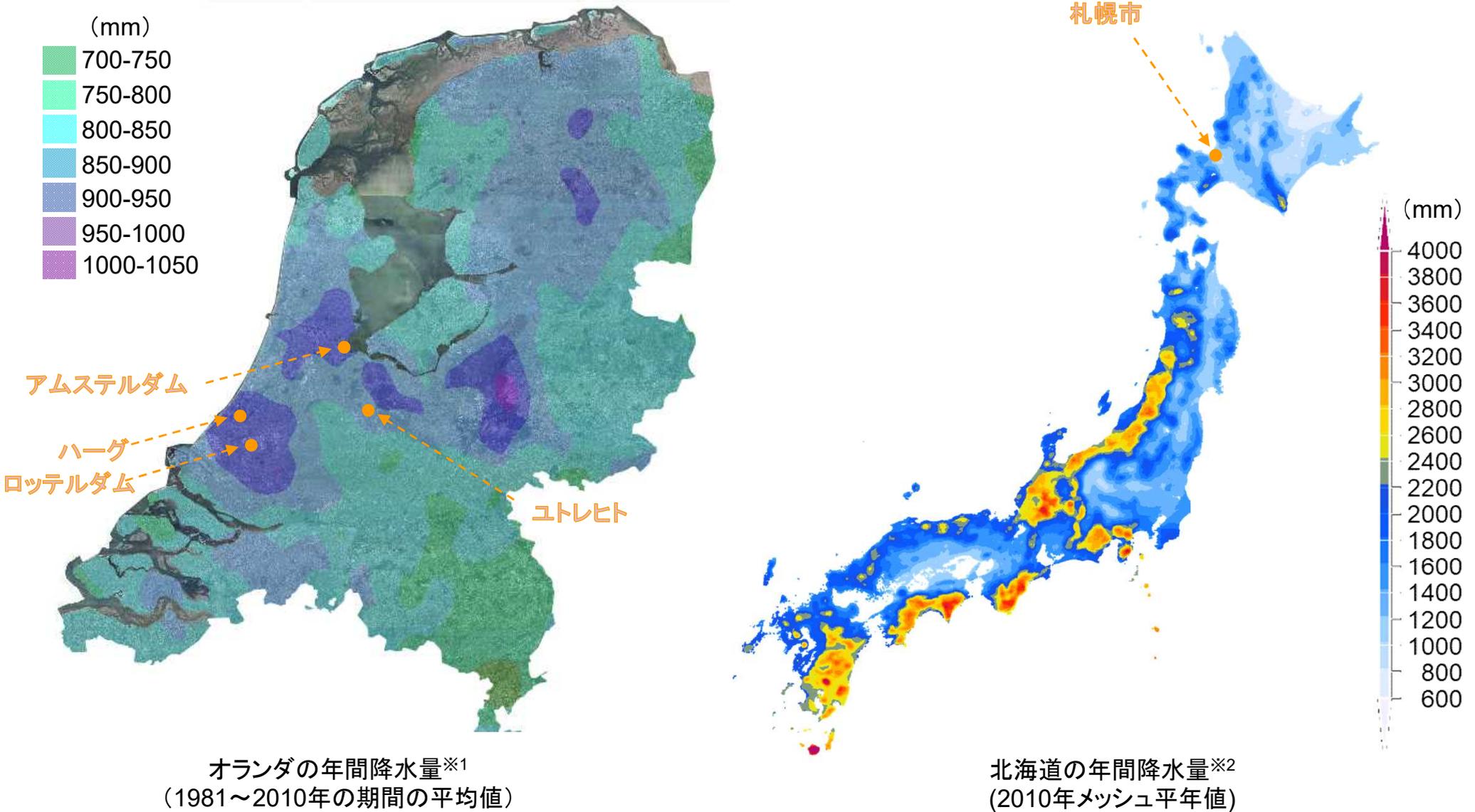
北海道の13の1級河川※2

両図の面積比は異なる

出典: ※1 Rijkswaterstaat, Room for the River for a safer and more attractive river landscape, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>  
 ※2 国土交通省北海道開発局, 河川概要, [https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa\\_kei/tobira.html](https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/tobira.html)

# オランダと日本(北海道)の降水量の比較

■ オランダの年間降水量は、多いところで1,000mm程度に対して、北海道は2,000mmを超えるところがある。



両図の面積比は異なる

出典: ※1 The Ministry of infrastructure and the Environment, Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie :Klimaat-effectatlas, <http://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>  
※2 国土交通省気象庁, メッシュ平年値図, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/atlas.html>

# オランダと日本の治水に関する行政組織

- オランダと日本の治水に係る行政は主に国、州、地方から成り立っているが、オランダにはデルタ委員会 (Delta Programme Commissioner) や水管理委員会 (Water Board) などの独自の行政組織がある。
- デルタ委員会は、各組織の連絡役を務めており、治水の具体的な施策を示したデルタプログラムを進めている。<sup>※1</sup>
- 水管理委員会は、水管理・氾濫防御のためのオランダで最も歴史のある行政組織であり、非常に重要な役割を担う。水委員会の資金源は独特な形態であり、その地域に住む住民(家の所有者)が税金という形で納めている。<sup>※2</sup> 上下水道から氾濫防御までの「水」に関する責任を有する。<sup>※3</sup>

両国の治水に係る組織体系<sup>※4,5</sup>

	オランダ	日本
>国レベル	EU	—
国レベル	インフラ水管理省 (Ministry of Infrastructure and Water Management) 傘下: 公共事業局 (Rijkswaterstaat)、 オランダ気象庁 (KNMI)	国土交通省 傘下: 地方整備局、北海道開発局、気象庁
	デルタ委員会 (Delta Programme Commissioner)	—
都道府県レベル	12の州政府 (Provinces)	47の都道府県
地方自治体レベル	425の地方自治体 (Municipalities)	1,718の地方自治体
	21の水管理委員会 (Water Boards)	—

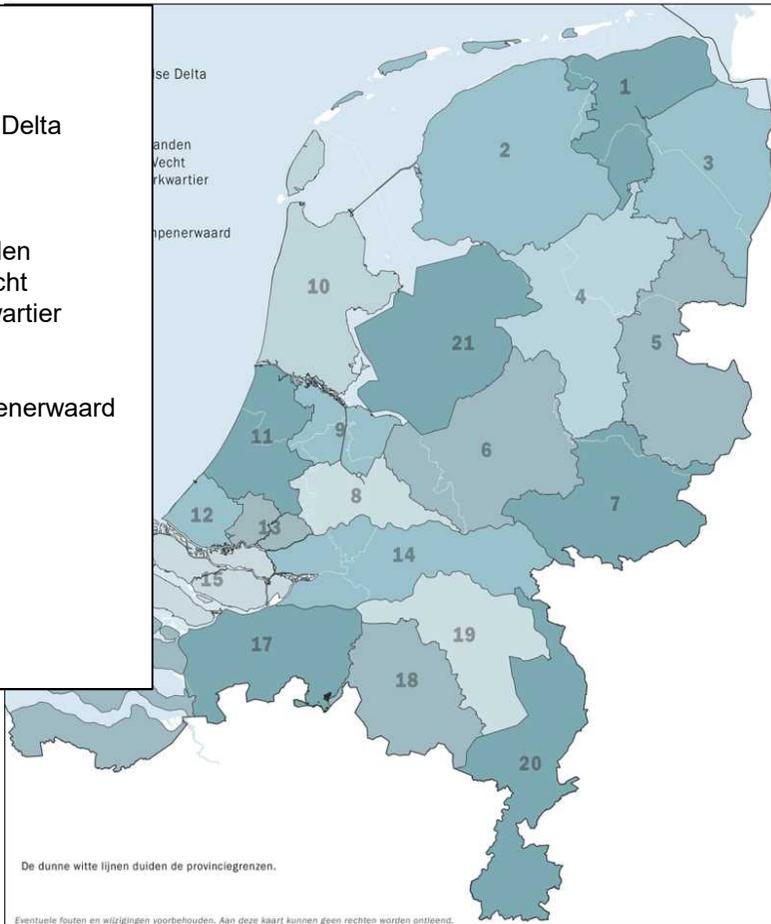
※4 オランダの組織数は2012年時点、日本の地方自治体数は2014年4月時点。

- 出典: <sup>※1</sup> Delta Programme Commissioner, Question and answer: What is the role of the Delta Programme Commissioner?, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/question-and-answer/what-is-the-role-of-the-delta-commissioner>  
<sup>※2</sup> 2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
<sup>※3</sup> Government of the Netherlands, Water management: Water management in The Netherlands, <https://www.government.nl/topics/water-management/water-management-in-the-netherlands>  
<sup>※4</sup> オランダ: Rijkswaterstaat, Flood Risk and Water Management in the Netherlands: A 2012 update, <http://edepot.wur.nl/241151>  
 日本: 総務省, 市町村合併資料集: 市町村数の変遷と明治・昭和の大合併の特徴, <http://www.soumu.go.jp/gapei/gapei2.html>  
<sup>※5</sup> 2019/6/21 レントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

# 【参考】水管理委員会の役割

- 水管理委員会は13世紀に設立され、オランダ国内に21組織（1950年は2,500）ある。
- 氾濫防御、水質管理、汚水処理などの責任を負う水管理委員会は、各地域で独立しており、集めた税金もその地域で使用する。水管理委員会全体の税収は20億ユーロ（約2,400億円）であり、水の汚染に關与した人や治水システムに關与した人、飲用水からの収入になる。
- 水管理委員会では総会を行っており、理事は選挙で選ばれる（国王による任命）。総会は30人で構成されており、各分野（住民、地主/農家、自然、産業）に分かれている。

1. Noorderzijlvest
2. Fryslân
3. Hunze en Aa's
4. Drents Overijsselse Delta
5. Vechtstromen
6. Vallei en Veluwe
7. Rijn en IJssel
8. De Stichtse Rijnlanden
9. Amstel, Gooi en Vecht
10. Hollands Noorderkwartier
11. Rijnland
12. Delfland
13. Schieland en Krimpenerwaard
14. Rivierenland
15. Hollandse Delta
16. Scheldestromen
17. Brabantse Delta
18. De Dommel
19. Aa en Maas
20. Limburg
21. Zuiderzeeland



現在の水管理委員会の数※

## 理事会

Chairperson



住民	地主/農家	自然	産業
総会のうち5人			
22人	4人	1人	3人
直接選挙	農業団体	環境団体	商工会議所
総会			

リヴィーレンランド水管理委員会の理事会の構成  
（参考資料※をもとに一部編集）

# オランダと日本の治水に関する国家予算の比較

	オランダ※1	日 本※2
治水に関する 国家予算 (日本:2019年、 オランダ:2020年)	25億ユーロ=3,000億円 (氾濫防御対策全体) 10億ユーロ=1,200億円 (デルタ基金 from 天然ガス) 21億ユーロ=2,500億円 (Room for the River) 4億ユーロ= 500億円 (マースプロジェクト)  合計 60億ユーロ=7,200億円	8,500億円 (治水事業費) 140億円 (海岸事業費) 520億円 (災害復旧事業)  合計 9,200億円
	<b>約1.3倍</b>	
①人口	1,730万人(2019年)	1億2,600万人(2020年)
	<b>約7.3倍</b>	
面積	41,864 km <sup>2</sup>	377,975 km <sup>2</sup>
	<b>約9.0倍</b>	
②GDP	9,145億ドル(2019年)	4.9兆ドル(2019年)
	<b>約5.4倍</b>	
②/①1人あたりのGDP	4.8万ドル	3.9万ドル
	<b>約0.8倍</b>	

※2 日本の治水に関する国家予算は、平成30年当初予算の事業費。

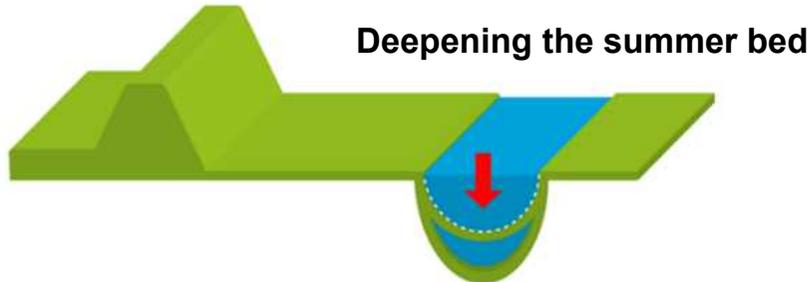
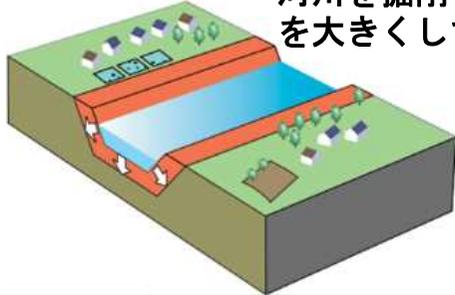
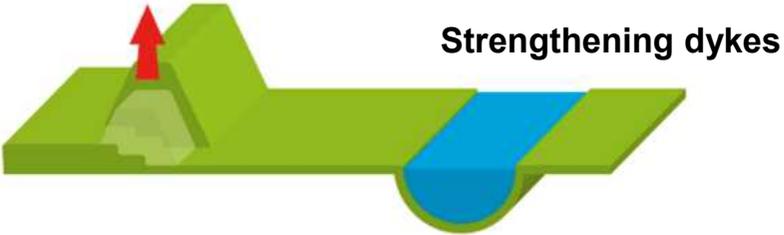
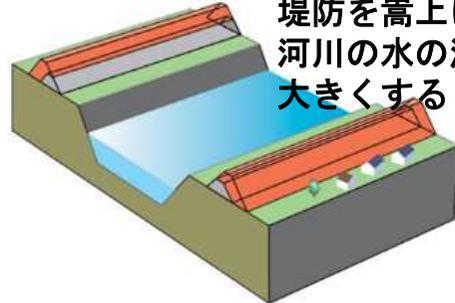
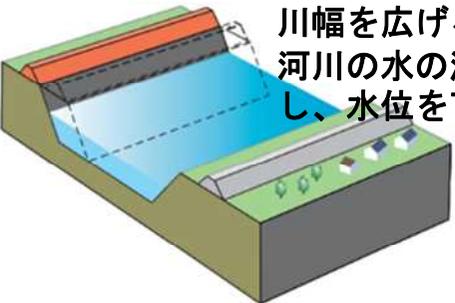
出典: ※1 オランダ: 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部, 海外調査:技術政策動向 米英オランダ気候変動適応策概要 オランダ事例調査, 2013, p3, [http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/info\\_data/2013kaigaijirei/06gaiyou/130918gaiyou-netherlands.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/info_data/2013kaigaijirei/06gaiyou/130918gaiyou-netherlands.pdf)  
国土交通省国土政策局, 各国の国土政策の概要: オランダ, <https://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/international/spw/general/netherlands/index.html>  
Centraal Bureau voor de Statistiek(CBS), Population, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/en/dataset/37296eng/table?ts=1582714824045>  
外務省, 国・地域: オランダ王国, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/netherlands/data.html>

※2 日 本: 国土交通省 水管理・国土保全局, 河川データブック2018, Ⅲ事業: 3-1-2 治水事業費の推移, 2018.7, pp197-198  
[http://www.mlit.go.jp/river/toukei\\_chousa/kasen\\_db/pdf/2018/all.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/pdf/2018/all.pdf)  
国土交通省国土地理院, 令和元年都道府県市町村別面積調(10月1日時点), [https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201910/area\\_todofuken.pdf](https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201910/area_todofuken.pdf)  
総務省統計局, 人口推計-2020年(令和2年)2月報-, <https://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/202002.pdf>  
内閣府, 統計情報・調査結果: 国民経済計算(GDP統計), <https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>

# オランダと日本の治水における共通点

- オランダは国土の約1/4が海水面以下にある「低平地」であり、北海道(日本)は起伏が大きく、標高2,000mを超える山がいくつもある。地形は大きく異なるが、両国で実施されている治水対策は類似している。
- 両国は構造物による対策を中心としていることも類似している。

## 両国の治水対策の考え方

治水の手法	オランダ (Room for the Riverの例)※1	日本※2
河道掘削	 <p>Deepening the summer bed</p>	 <p>河川を掘削して水の流れる断面を大きくして水位を下げる</p>
堤防の嵩上げ	 <p>Strengthening dykes</p>	 <p>堤防を嵩上げし、河川の水の流れる断面を大きくする</p>
引堤	 <p>Dyke relocation</p>	 <p>川幅を広げることで河川の水の流れる断面を大きくし、水位を下げる</p>

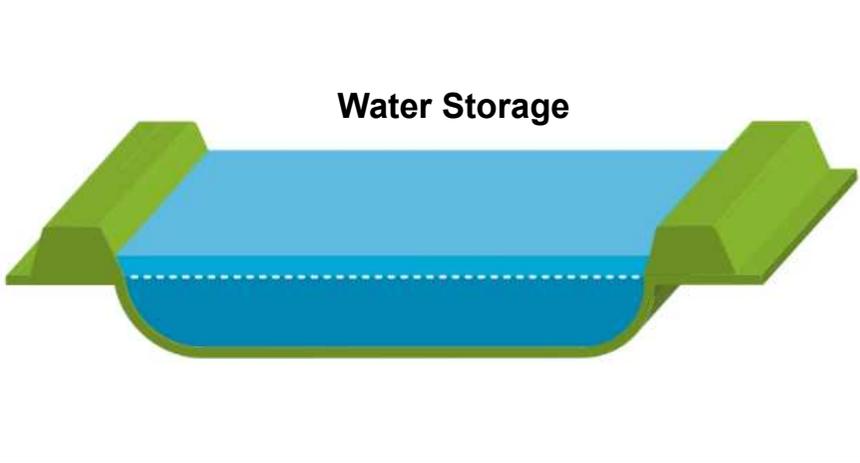
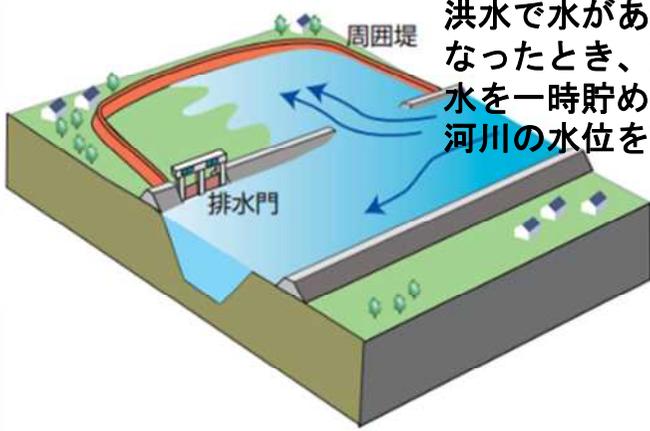
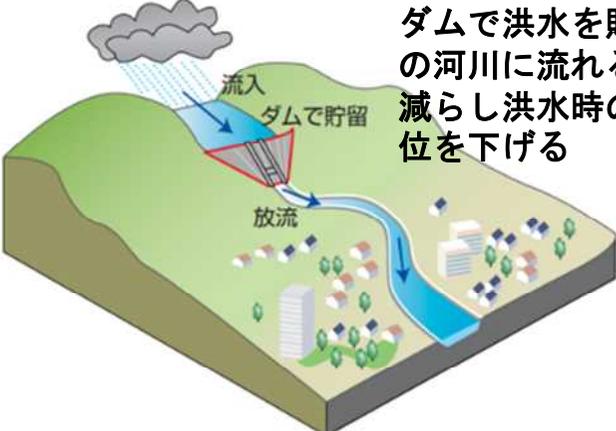
出典: ※1 Room for the River for a safer and more attractive river landscape, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>

※2 国土交通省水管理・国土保全局, 水害対策を考える: 参考2 治水の手法, [http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet\\_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai/suigai\\_4-5-ref2.html](http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai/suigai_4-5-ref2.html)

# オランダと日本の治水における相違点① 洪水調節施設

- オランダでは最高標高地点でも300m程度であるため、ダムはほとんど行われていない。遊水地や貯水池などは整備されている。
- 日本では、ダムや遊水地で水を一時貯め、洪水時の河川水位を下げている。

両国の治水対策の考え方

治水の手法	オランダ (Room for the Riverの例) ※1	日本 (一般的な手法) ※2
遊水地 (貯水池)		
ダム		

出典: ※1 Rijkswaterstaat Room for the River department of communication, Room for the River for a safer and more attractive river landscape,

<https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>

※2 国土交通省水管理・国土保全, 河川事業概要2018: II 河川事業の基本的な考え方, pp1,

[http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet\\_jirei/kasen/gaiyou/panf/pdf/c2.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kasen/gaiyou/panf/pdf/c2.pdf)

# オランダと日本の治水における相違点② 治水安全度・施設等の整備率

- オランダの治水安全度は日本よりも高い。
- オランダでは、2016年までは流量超過確率1/10,000～1/1,250の高い確率規模での整備を行い、量的整備が概ね完了。
- 2017年以降は氾濫確率に基づく新しい整備目標に移行し、目標値1/100,000～1/300を設定。

両国の安全度と整備率

	オランダ		日本
	～2016年	2017年～	
治水安全度の目標	流量超過確率 1/10,000～1/1,250※1	氾濫確率 1/100,000～1/300※2	降雨確率 1/200～1/100※3
整備率	概成	現状では不明	約40%※4
水害の発生	1953年北海高潮では1,800人が死亡 以降、死者が発生する水害はほとんどない		平成27年(2015年)関東・東北豪雨 平成28年(2016年)北海道・東北豪雨 平成30年(2018年)西日本豪雨 令和元年(2019年)台風19号による豪雨 等

- ※1 沿岸部は1953年の実績潮位に基づき、起こり得る最悪条件(もし満潮時に嵐が発生していたとしたら)を加味して1/10,000、河川上流部は長大な堤防が景観、自然、文化的・歴史的遺産などに与える影響が懸念され1/1,250に設定された。オランダでは確率流量が使用されていた。
- ※2 人口・資産のリスク、予測精度や避難の可能性を考慮して、地域ごとに決定される。
- ※3 河川整備基本方針の策定に当たり、一級河川の主要区間においては、計画の規模として1/200-1/100が採用されている例が多い。
- ※4 荒川に整備されている堤防等の割合を示す。

- 出典: ※1 Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) Floris study-Full report, 2005.11, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715?collection=research>  
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, pp203-208, pp13  
[http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/river/autonomy\\_kasen\\_01.pdf](http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/river/autonomy_kasen_01.pdf)
- ※2 Ministry of Infrastructure and the Environment & 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>
- ※3 国土交通省 水管理・国土保全局, 河川砂防技術基準 計画編, 2018.3(部分改定), pp5, [http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/keikaku/pdf/2-2\\_g.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/keikaku/pdf/2-2_g.pdf)
- ※4 国土交通省 水管理・国土保全局, 社会資本整備関係 参考資料(国際比較), 2010.11, pp6, <http://www.mlit.go.jp/common/000129516.pdf>

## 2. 気候変動によるハザードの変化

# 気候変動予測及び将来流量の算定

# オランダと日本の気候変動予測の概要

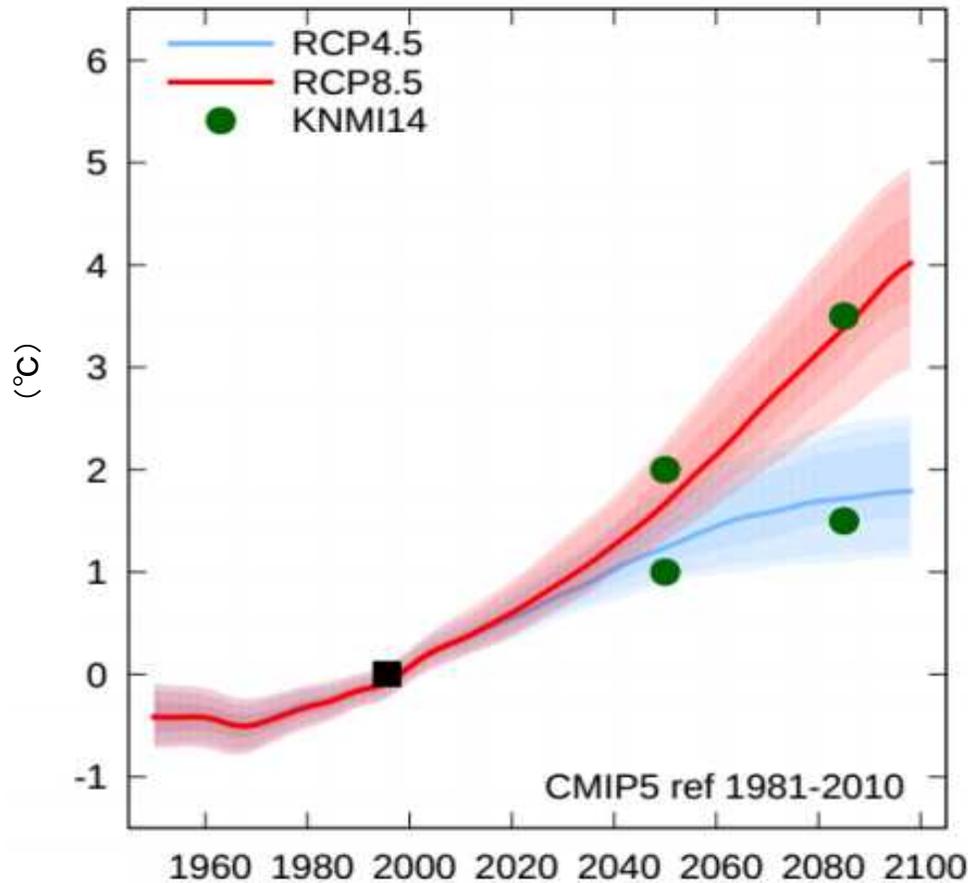
- オランダでは、KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut、オランダ王立気象研究所) がIPCC第5次評価報告書 (AR5) の4シナリオに基づく各国の予測を用いて245アンサンプルの予測を実施している。
- アンサンプル数は北海道の検討の方が多いが、オランダは複数シナリオを扱い、通年計算している等の違いがある。

項目		日本(北海道)	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プルデータベース (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: NHRM(20km)	全球モデル: GCM EC-Earth(T159=125km) 領域モデル: RCM RACMO2(25km)
		大規模アンサンプ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 サンプルに基づいて計算
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

# オランダの気候変動予測

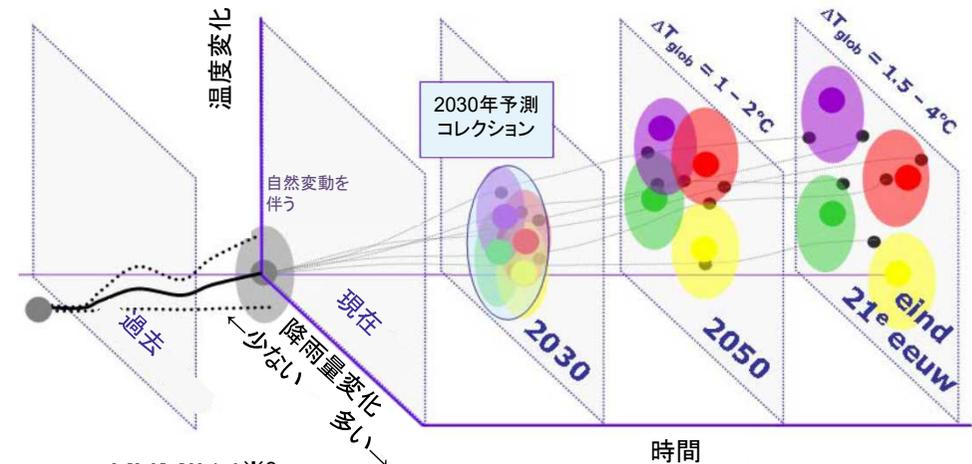
- オランダ王立気象研究所KNMIは、IPCC第5次評価報告書に基づいて気候変動予測を実施し、KNMI'14を公表した。
- CMIP5における各国の予測245アンサンブルを用い、2050年時点の温度上昇及び大気循環の強弱によって独自の4シナリオに分類した。

RCPシナリオとKNMI気候シナリオの全球平均地上気温※1

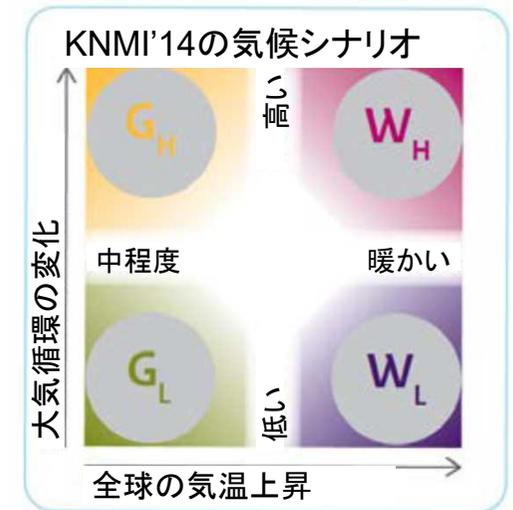
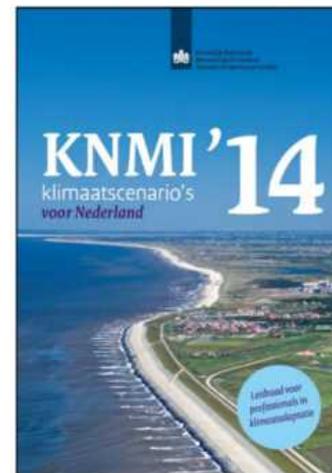


KNMI'14: オランダ王立気象研究所(KNMI)による気候変動予測  
CMIP5 : 世界各国の気象モデルの比較実験

KNMI'14におけるシナリオ分類 ※2



KNMI'14※3

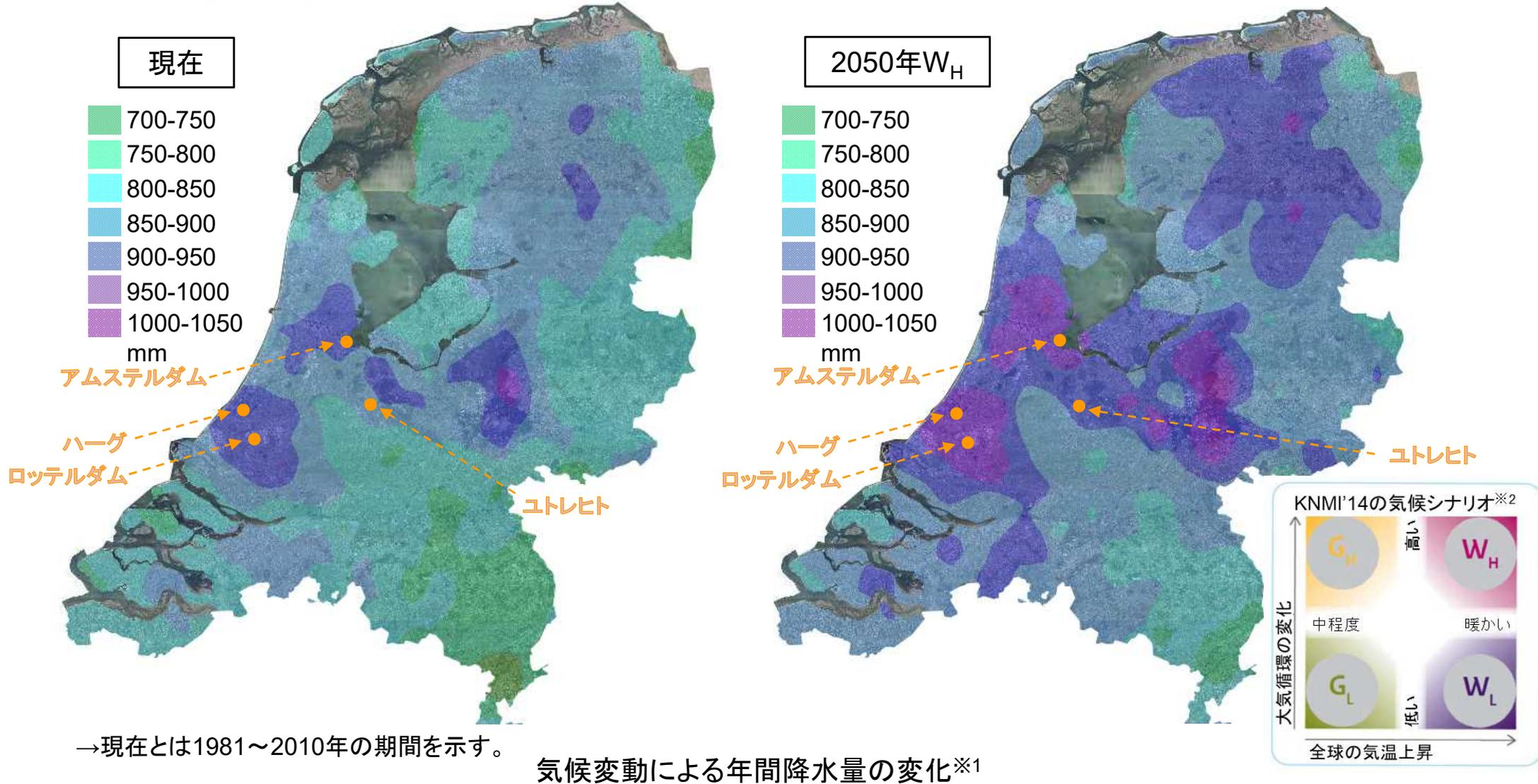


出典: ※1、2 KNMI, KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective, 2014.5, pp15(※1), pp16(※2)  
[http://www.klimaatscenario's.nl/brochures/images/KNMI\\_WR\\_2014-01\\_version26May2014.pdf](http://www.klimaatscenario's.nl/brochures/images/KNMI_WR_2014-01_version26May2014.pdf)

※3 Erik van Meijgaard, KNMI'14 Climate Scenarios for the Netherlands, 2015.6

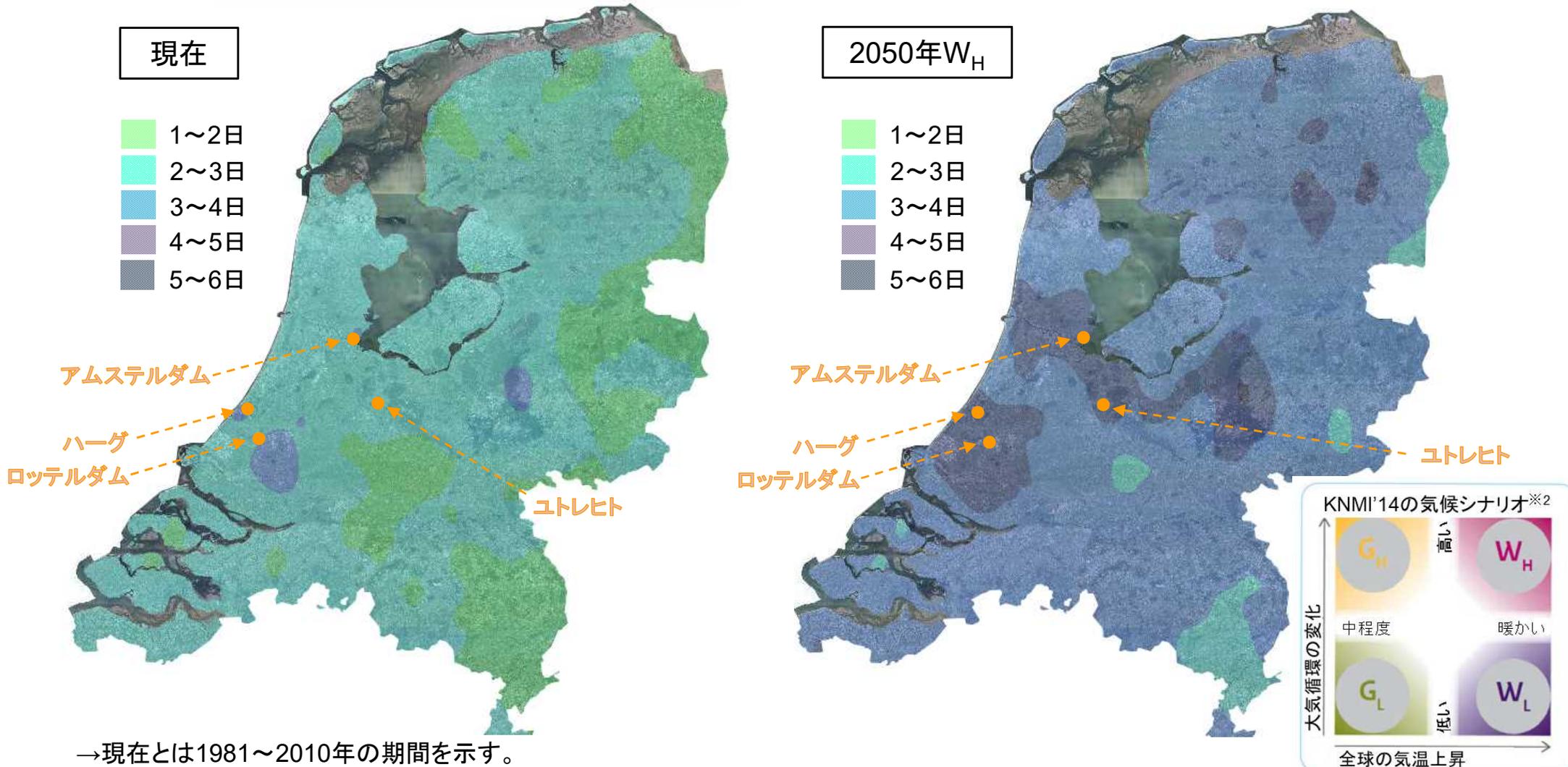
# 降雨ハザードマップ

■ オランダでは、現在及び将来の年間降水量を公表している。将来とは、KNMI'14で分類された独自の4シナリオのうちの最悪シナリオに相当するW<sub>H</sub>における2050年を示している。

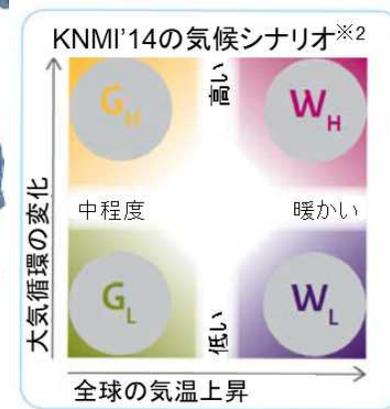


# 降雨発生頻度マップ

■ オランダでは、現在と将来(2050年)の15mm/h以上の降雨や25mm/h以上の降雨の年間平均発生日数を公開し、各時間雨量の降雨が発生する日数が増加することを視覚的に示している。ここでの2050年とは、KNMI'14で分類された独自の4シナリオのうち最悪シナリオに相当するW<sub>H</sub>における2050年を示している。



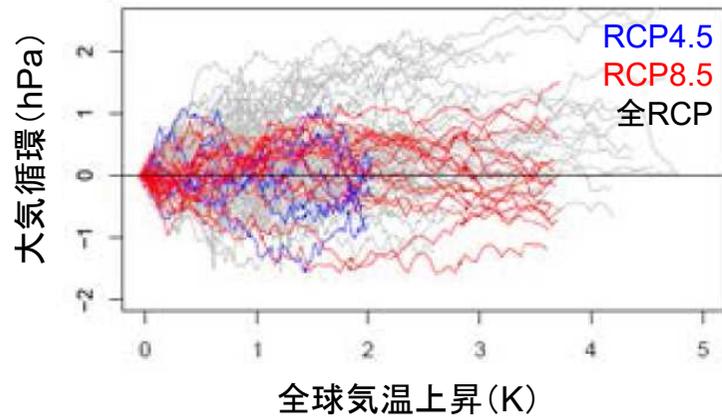
気候変動による25mm/h以上の降雨の年間平均発生日数の変化※1



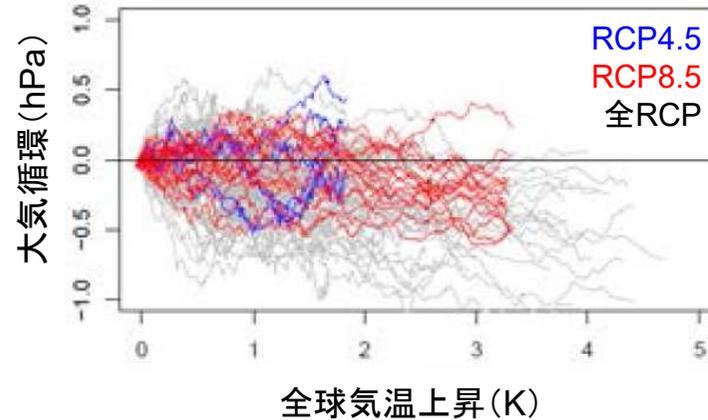
# オランダの気候変動予測

- RCP2.6シナリオは現在の気候でも十分に発生する自然変動内の範囲内と解釈しており、確実なRCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオに着目している。※1
- 各シナリオから3つの予測を選び、リサンプリングすることで数十万年分の確率降雨、流量を作成している。なお、リサンプリングにおいては、降雨の時系列的な連続性に配慮し、起こり得ない降雨パターンを排除している。※1※2

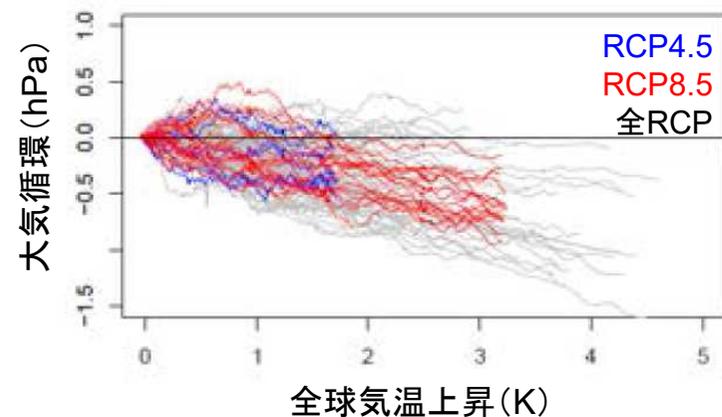
EC-Earthのメンバ(12~2月)



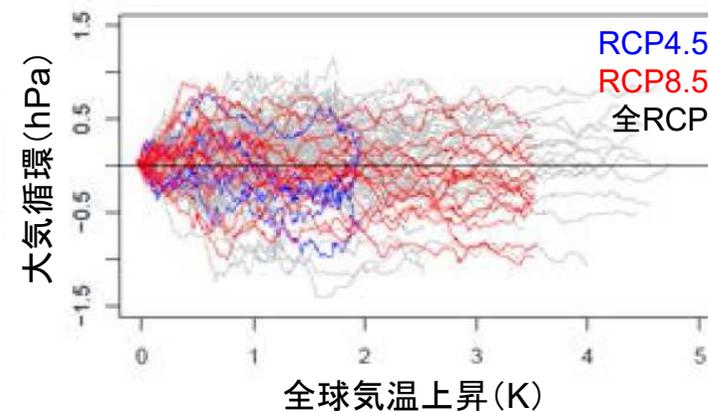
EC-Earthのメンバ(3~5月)



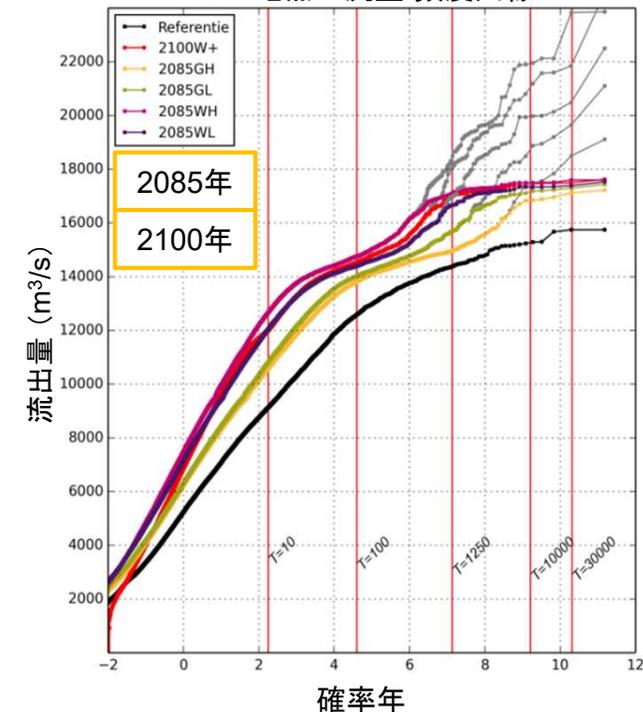
EC-Earthのメンバ(6~8月)



EC-Earthのメンバ(9~11月)



ロビス地点の流量 頻度曲線※3



出典: ※1 2019/6/24 デルタレスでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

※2 Bart van den Hurkら, KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective, 2014.1, <http://bibliotheek.knmi.nl/knmi/pub/WR/WR2014-01.pdf>

※3 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](https://cdn.knmi.nl/system/data_center_publications/files/000/069/858/original/samenvatting_grade_knmi14_definitief2.pdf?1495622007)

# オランダと日本の気候変動予測の概要

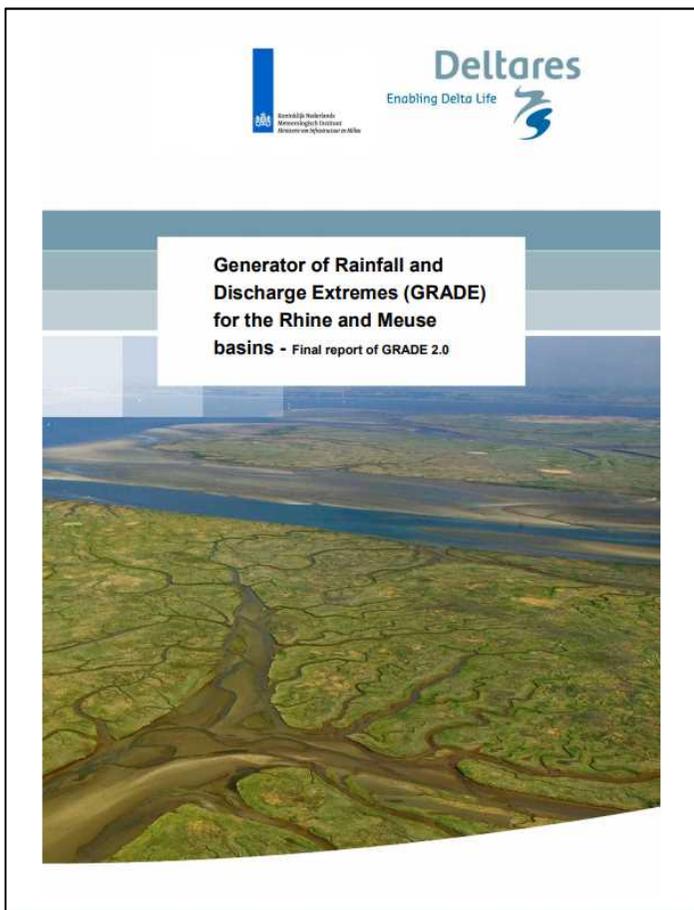
■ オランダにおいても、リサンプリングを行った上で確率評価を実施。分布型の流出モデルを用いている点も共通している。

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	集中型モデルである木村の貯留関数モデルを使用	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

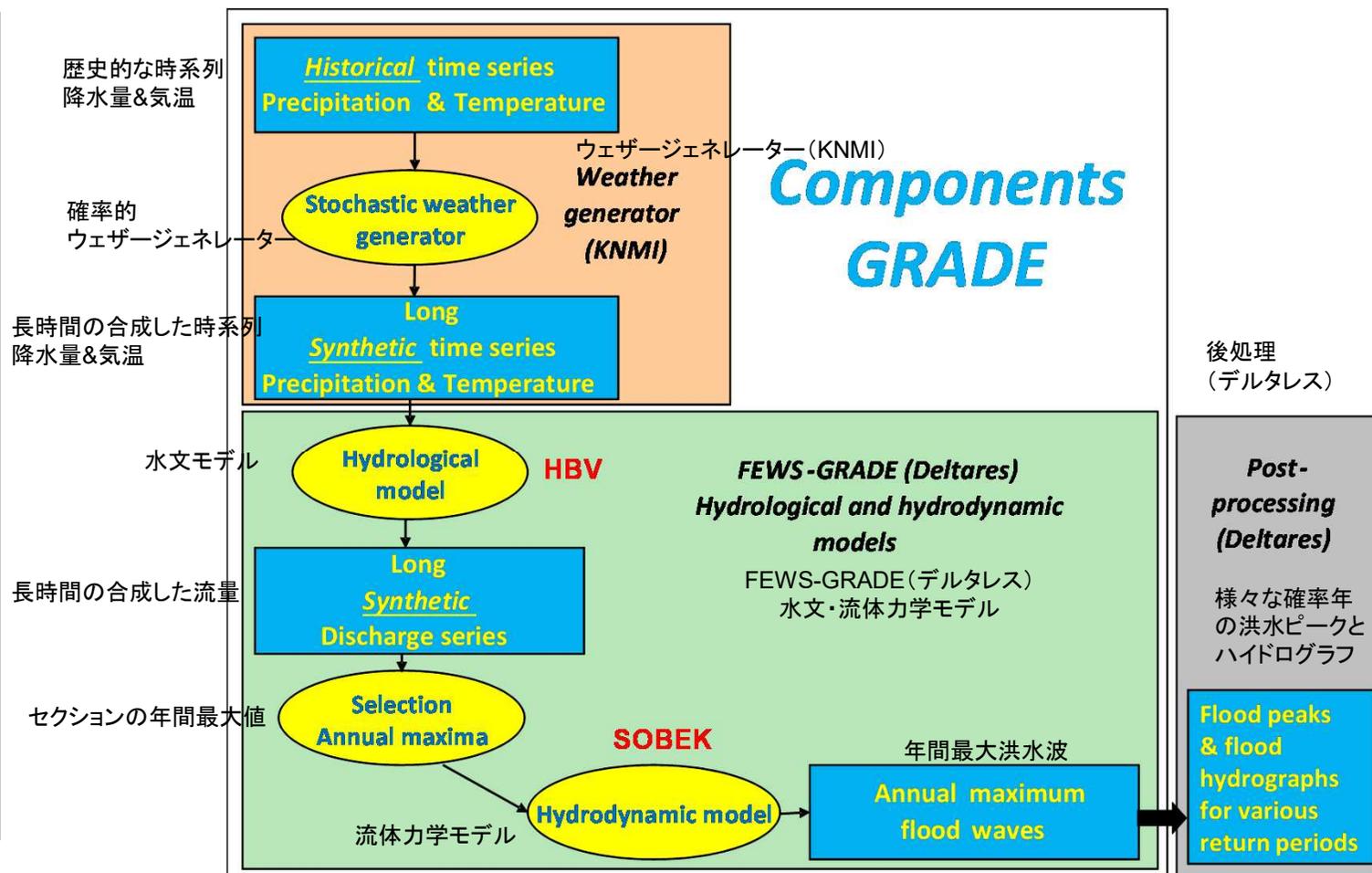
予測や可能性に基づく考え方で、日本の水害対策も動いているという点が、大変新しい情報だという印象を受けた。\*

# 降雨量と極端流量のジェネレーター GRADE

- オランダ気象庁KNMIと研究機関デルタレスは共同で、確率的ウェザージェネレーターから流出計算までの一連のパッケージであるGRADE※<sup>1</sup> (Generator of Rainfall And Discharge Extremes、降雨量と極端流量のジェネレーター)を開発した。
- オランダの主要河川であるライン川およびマース川の(気候変動を考慮した)将来の洪水流量の決定には、GRADEが用いられた。



GRADE Final report※<sup>2</sup>



GRADEの構成(参考資料※<sup>2</sup>を一部編集)

出典: ※<sup>1</sup> 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナーin 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ デルタレス講演内容  
 ※<sup>2</sup> Deltares, Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0,  
[http://publications.deltares.nl/1209424\\_004\\_0018.pdf](http://publications.deltares.nl/1209424_004_0018.pdf)

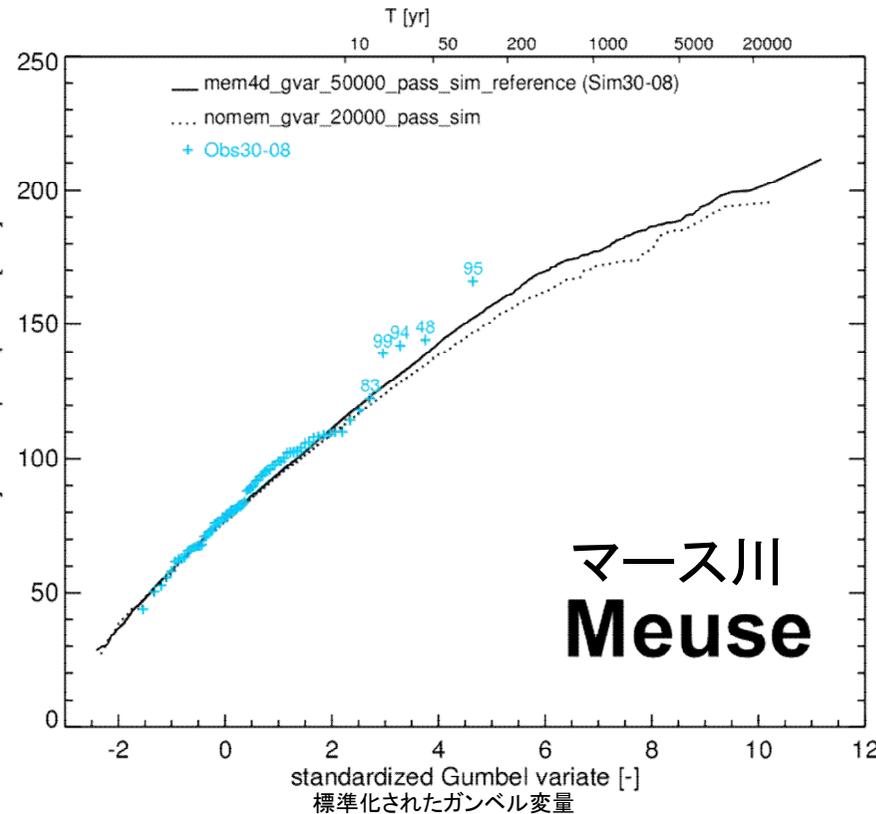
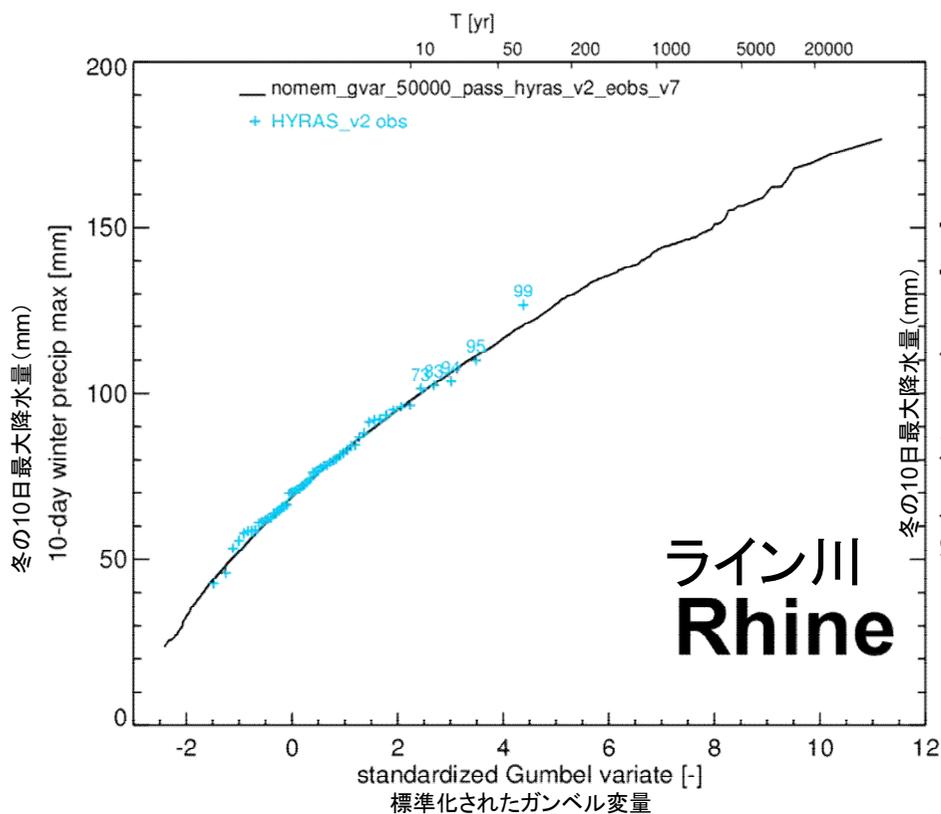
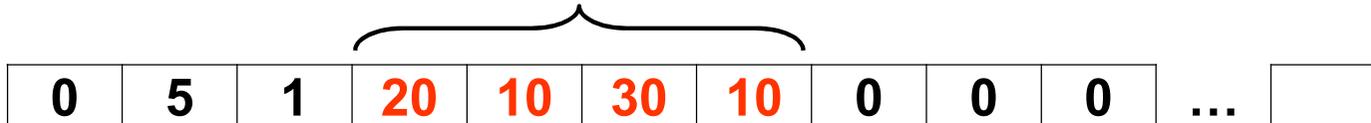
# オランダにおける気候変動予測

- 長期的な降雨量や気温のデータを生成する確率的ウェザージェネレーター (weather generator) はオランダの河川流量の予測において不確実性を考慮した新たな方法である。
- 日降雨量の最近傍りサンプリングを行い、最大降雨量を推定するものである。これにより、50,000年分の降雨データを生成する。

<例>

推定した降雨量 (日降雨量) ※1

4日間の降雨量: 70mm → 4日最大降雨量 ※実際には10日最大降雨量を推定

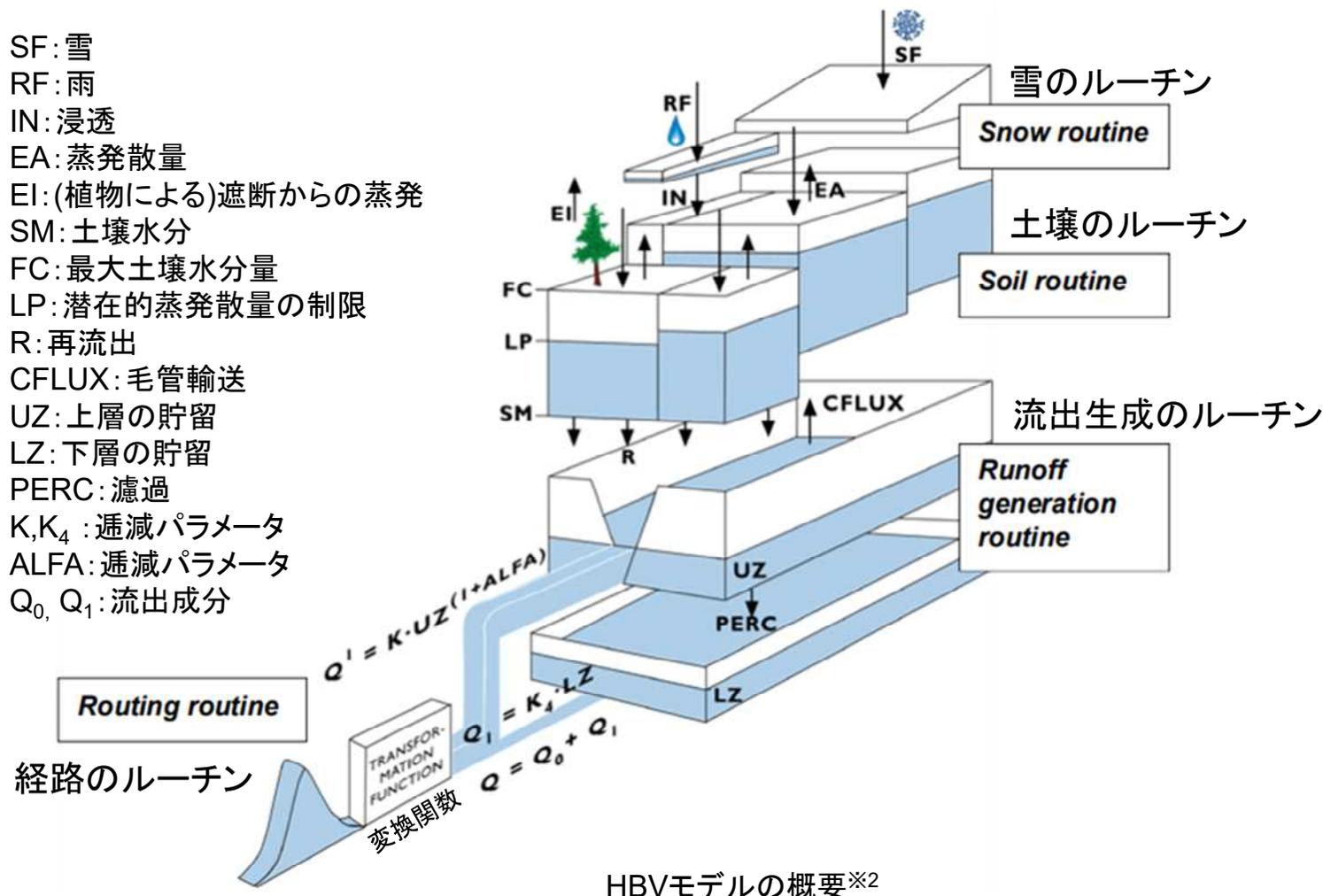


50,000年分の降雨データ(ライン川・マース川) ※2

出典: ※1 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナーin 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ デルタレス講演内容  
 ※2 Deltares, Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0, [http://publications.deltares.nl/1209424\\_004\\_0018.pdf](http://publications.deltares.nl/1209424_004_0018.pdf)

# オランダにおける流出計算

- GRADEの降雨・流出計算モデルとして分布型のHBVモデルが用いられている。※1
- HBVモデルは、スウェーデン気象水文研究所 (Swedish meteorological and Hydrological Institute、SMHI)によって開発され、欧米を中心に世界各国で用いられており、降雪や積雪、蒸発散、土壤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。流出経路はKinematic Wave modelを使用している。※2

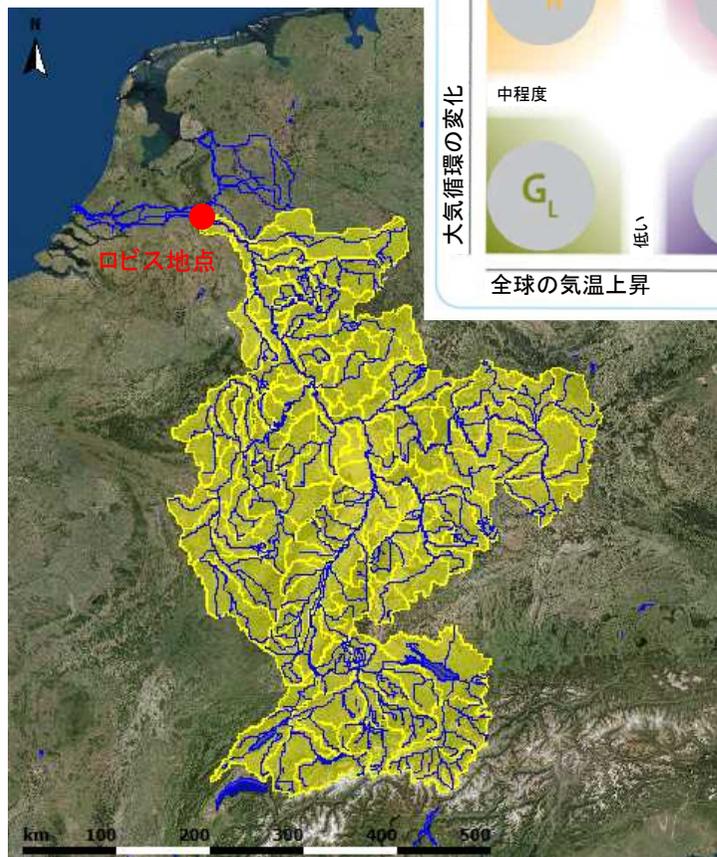


HBVモデルの概要※2

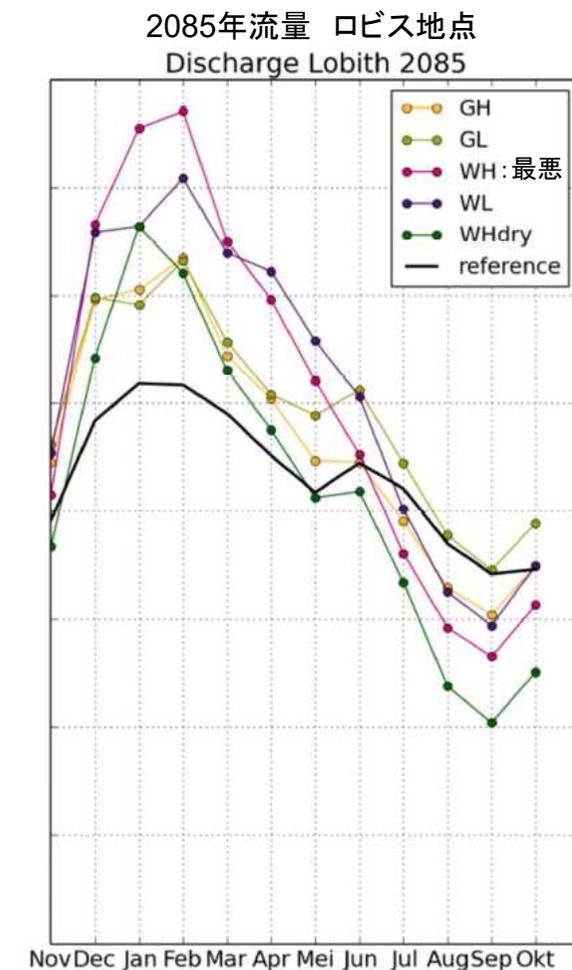
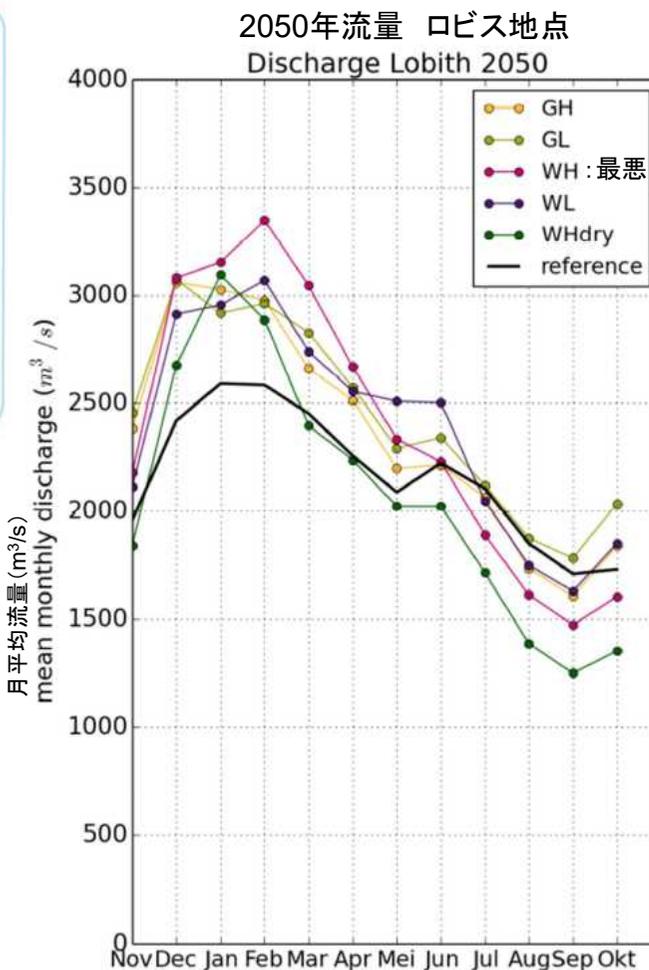
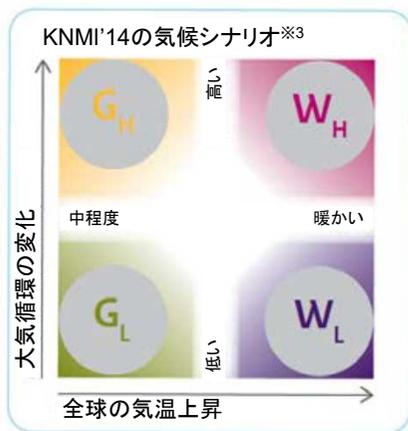
出典: ※1 2018/1/12 オランダ王立気象研究所KNMIでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
 ※2 Deltares, Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0, [http://publications.deltares.nl/1209424\\_004\\_0018.pdf](http://publications.deltares.nl/1209424_004_0018.pdf)

# オランダにおける流出計算(平均流量)

- GRADE ※1では、50,000年分の降雨データに基づき、ライン川流域(スイス、リヒテンシュタイン、オーストリア、ドイツ、フランス、オランダ)での流出計算を実施している。
- オランダ国内ロビス地点での2050年、2085年のシナリオごとの将来流量が示されており、冬季の月平均流量が最悪想定 $W_H$ の場合に大きくなっていることがわかる。※2



ライン川流域とロビス地点の位置図※2

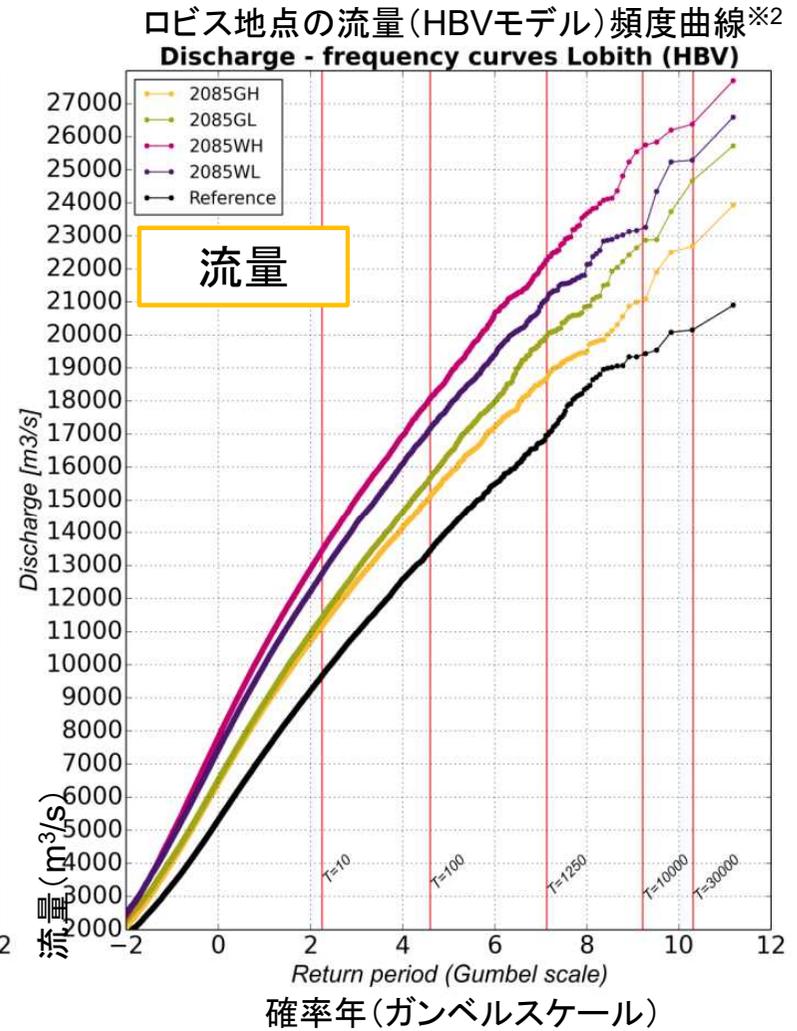
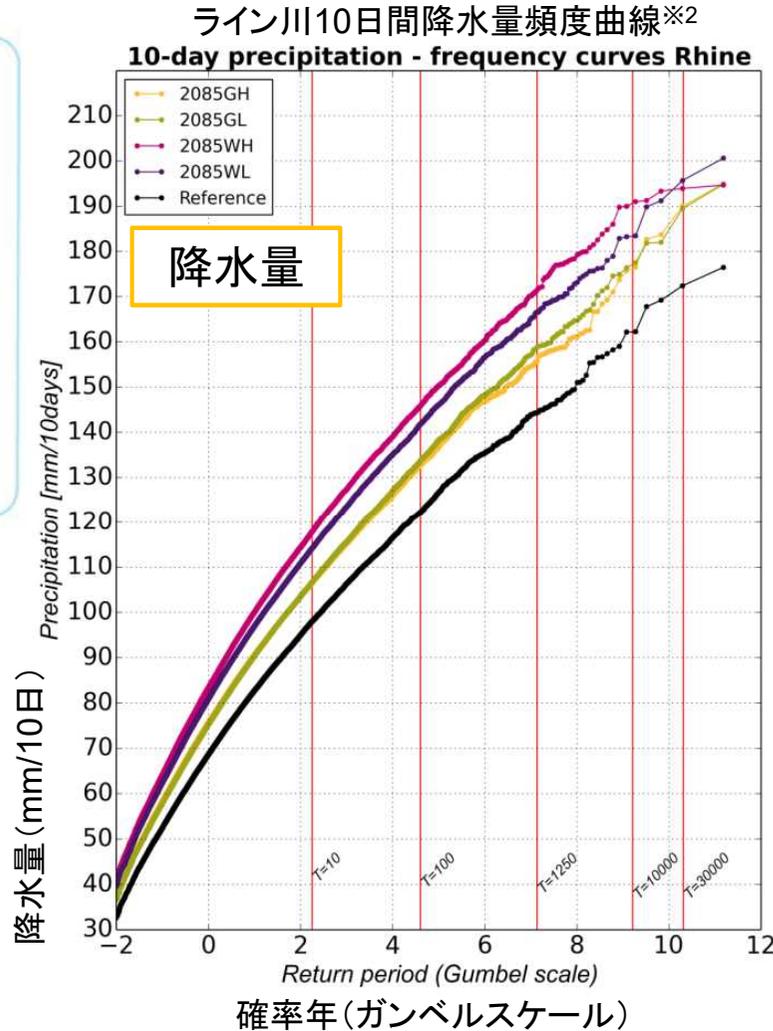
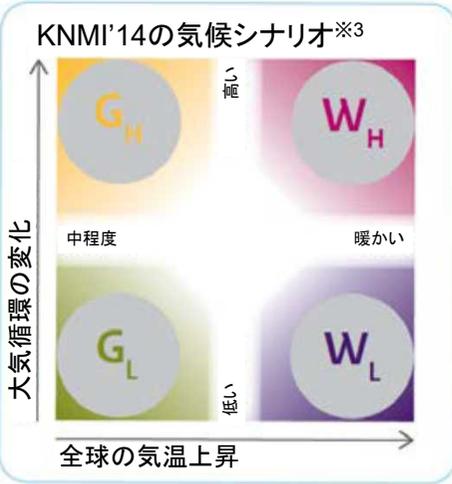


将来の月平均流量(2050年、2085年) ※2

出典: ※1 Deltares, Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0, [http://publications.deltares.nl/1209424\\_004\\_0018.pdf](http://publications.deltares.nl/1209424_004_0018.pdf)  
 ※2 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナー in 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ デルタレス講演内容  
 ※3 Erik van Meijgaard, KNMI '14 Climate Scenarios for the Netherlands, 2015.6

# オランダにおける流出計算(高水流量)

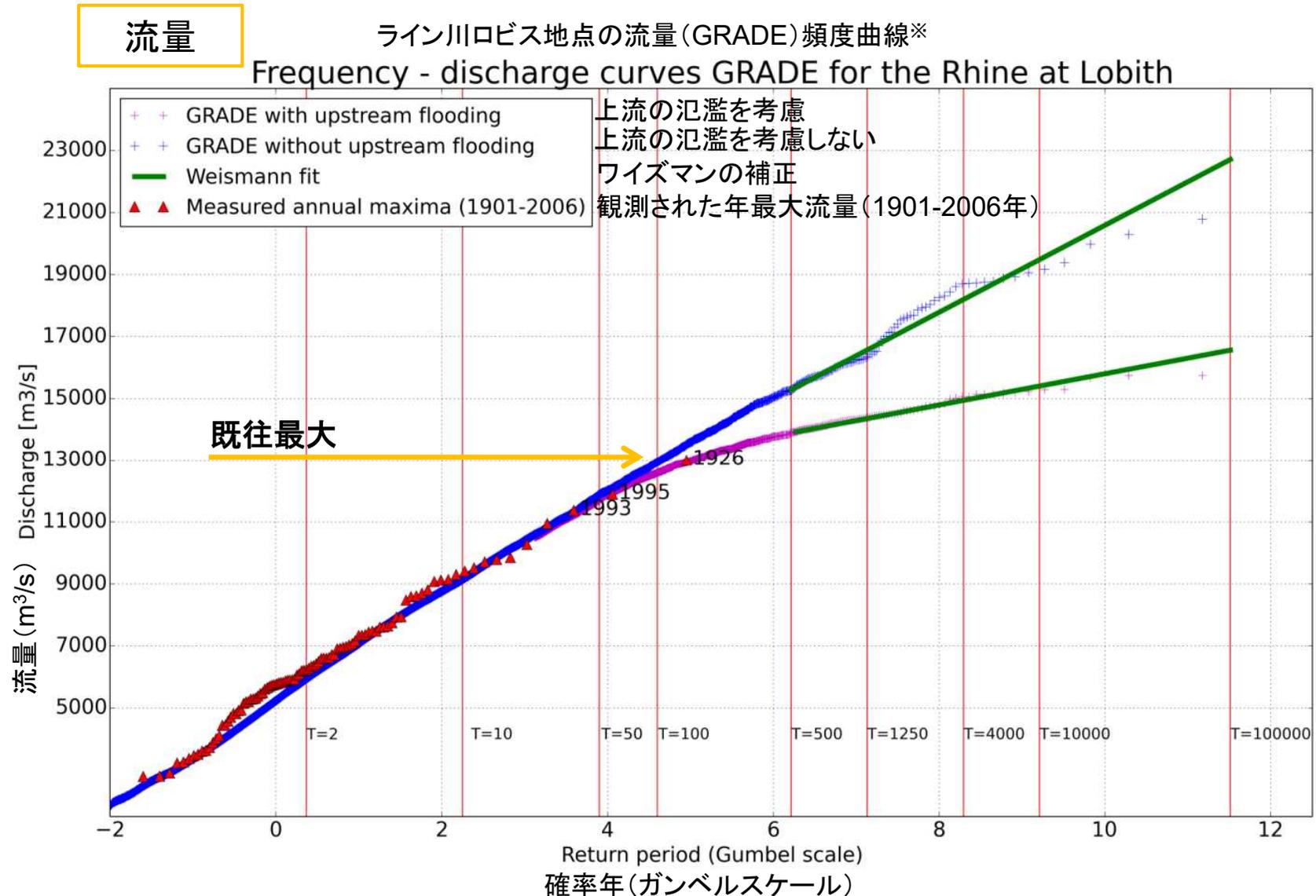
- GRADE ※1では、50,000年分の降雨データに基づき、ライン川流域(スイス、リヒテンシュタイン、オーストリア、ドイツ、フランス、オランダ)での流出計算を実施している。
- オランダ国内ロビス地点での2085年の10日間降水量及びロビス地点での将来流量が推定されており、高水流量の変化を示す。同一確率年で最悪想定 $W_H$ の場合に、降水量および将来流量が大きくなっていることがわかる。



出典: ※1 Deltares, Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0, [http://publications.deltares.nl/1209424\\_004\\_0018.pdf](http://publications.deltares.nl/1209424_004_0018.pdf)  
 ※2 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナー in 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ デルタレス講演内容  
 ※3 Erik van Meijgaard, KNMI'14 Climate Scenarios for the Netherlands, 2015.6

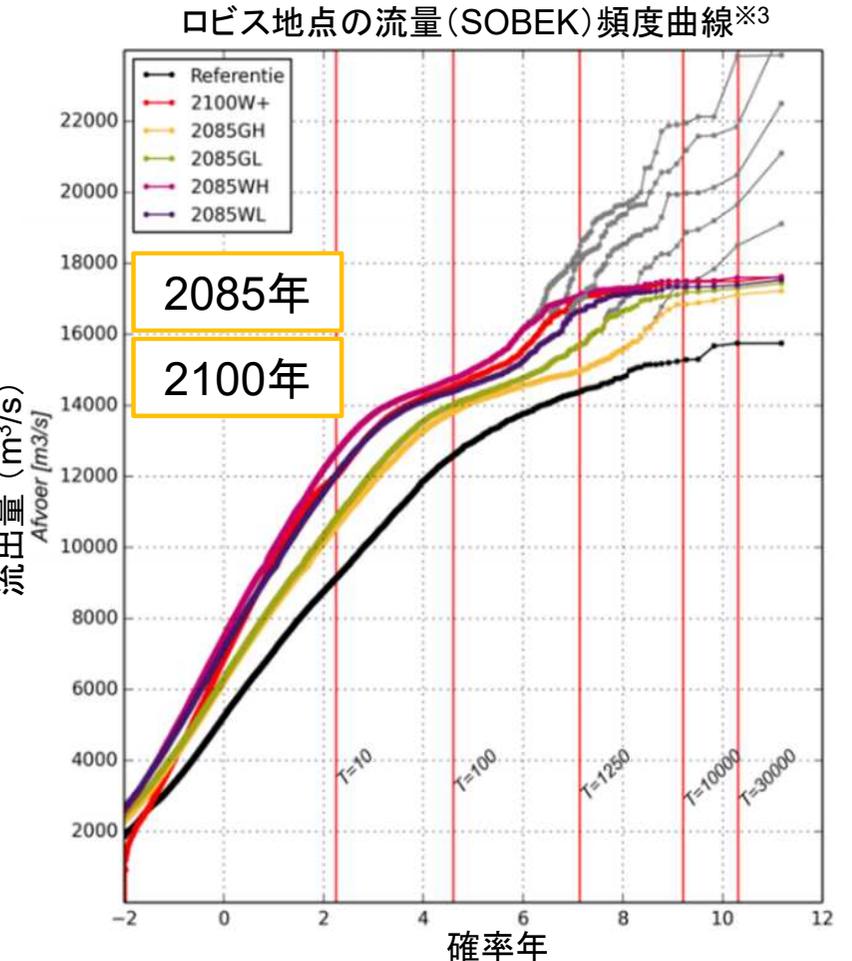
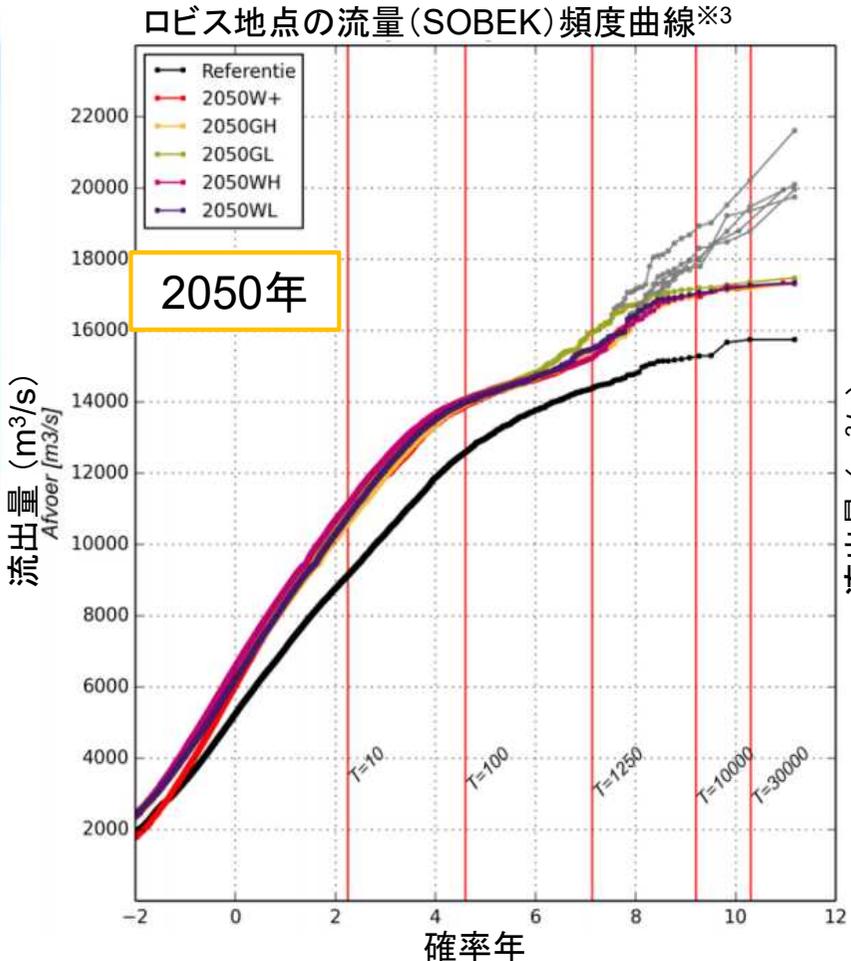
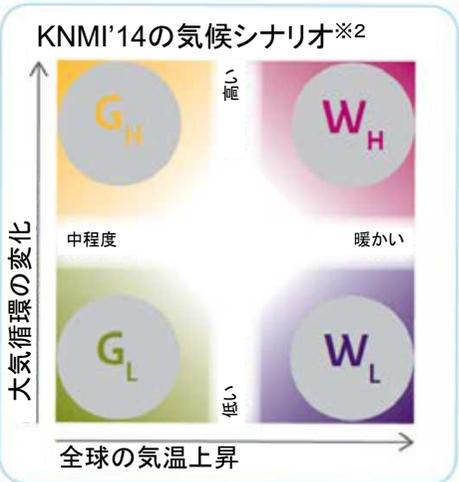
# オランダにおける将来流量の決定

■ 上流部の氾濫の影響を考慮した場合には、確率規模が大きな流量が低減する。



# オランダにおける将来流量の決定

- GRADE ※1では、50,000年分の降雨データに基づき、ライン川流域(スイス、リヒテンシュタイン、オーストリア、ドイツ、フランス、オランダ)での流出計算を実施している。
- オランダ国内ロビス地点での2085年の10日間降水量及びロビス地点での将来流量が推定されており、高水流量の変化を示す。同一確率年で最悪想定 $W_H$ の場合に、降水量および将来流量が大きくなっていることがわかる。
- 上流部の氾濫の影響を考慮した場合には、確率規模が大きな流量が低減する。 ※1



出典: ※1 Deltares, Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0, [http://publications.deltares.nl/1209424\\_004\\_0018.pdf](http://publications.deltares.nl/1209424_004_0018.pdf)

※2 Erik van Meijgaard, KNMI'14 Climate Scenarios for the Netherlands, 2015.6

※3 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](https://cdn.knmi.nl/system/data_center_publications/files/000/069/858/original/samenvatting_grade_knmi14_definitief2.pdf?1495622007)

# 3. 治水計画と気候変動適応策の枠組み

# オランダと日本の治水における枠組み

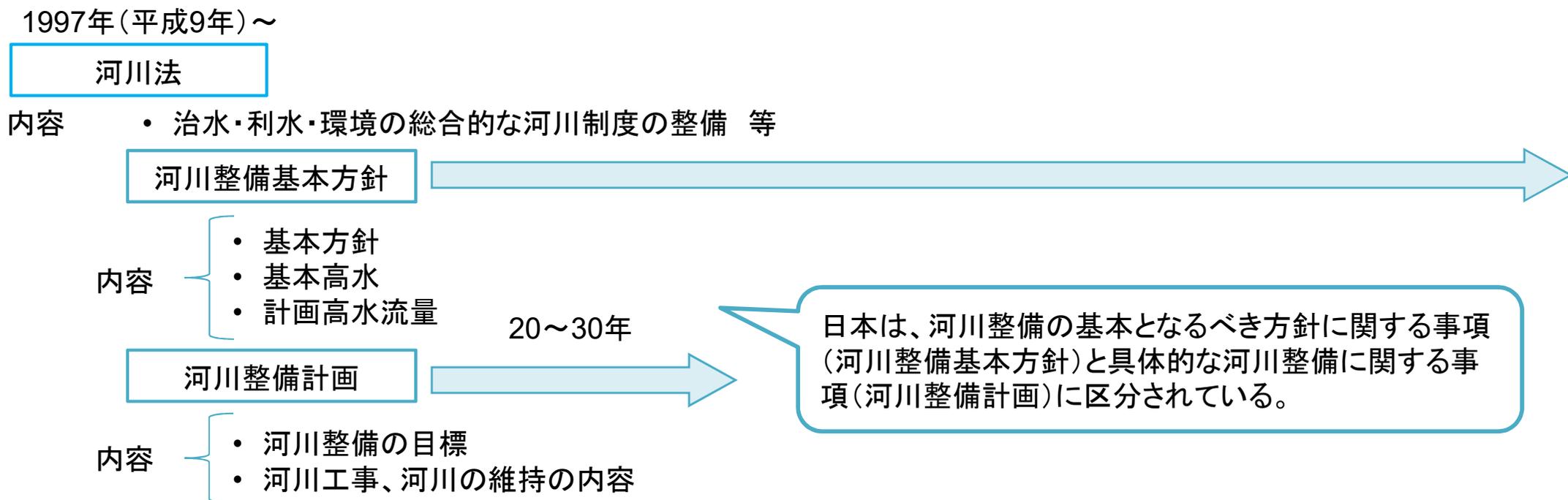
# オランダと日本の治水における枠組み

- オランダでは日本の河川整備計画のような枠組みがない。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※1



## ◆日本における枠組み※2

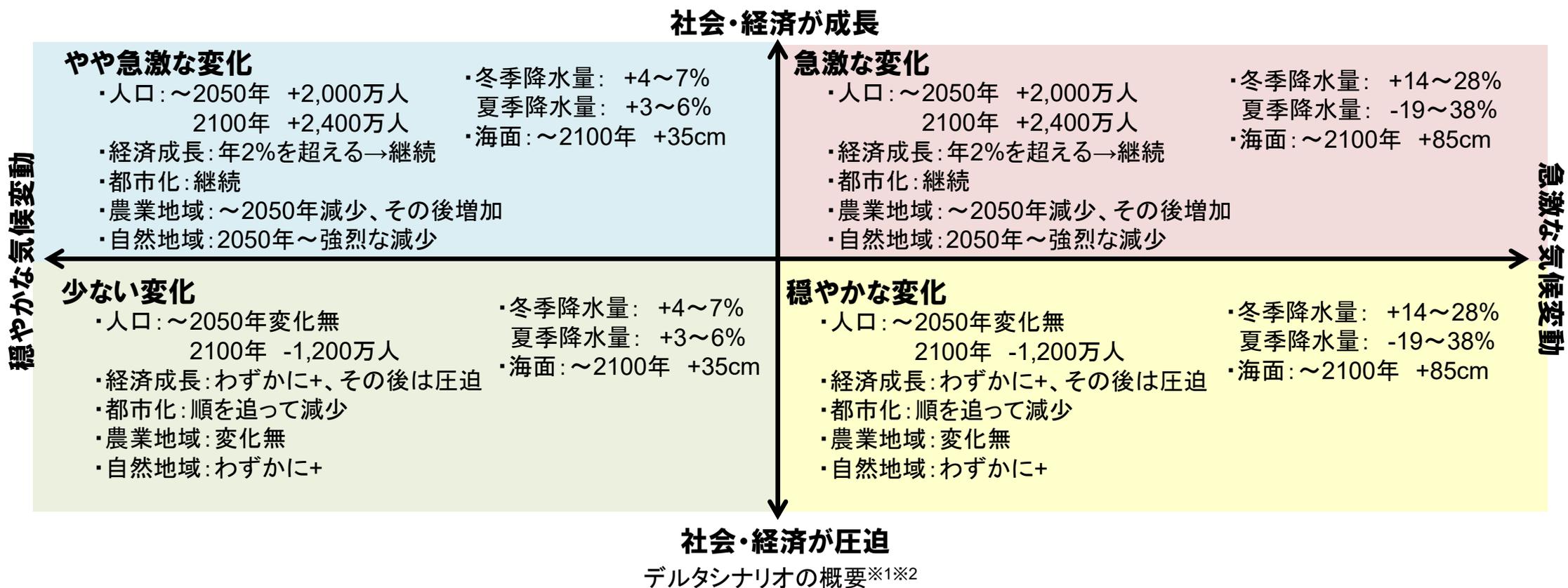


出典: ※1 HKV 提供資料を一部編集

※2 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部, 新しい河川整備の計画制度について, [https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen\\_keikaku/kluhh400000ft54.html](https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh400000ft54.html) 34

# 不確実な将来を考慮したデルタシナリオ

- デルタプログラム2012において、KNMI06シナリオおよび社会経済シナリオを結合したデルタシナリオ (Delta scenarios) を定義した。\*1\*2
- 過剰な投資になってしまう可能性があるため、最悪ケースに合わせることはしない。\*3
- 投資期間や対策の規模によって、シナリオを使い分けている。大規模な沿岸整備であれば、比較的风险の高いシナリオに基づくべきだが、水循環や水質に関しては、リスクの小さなシナリオを選ぶ。新たに築堤する場合には、堤防の基礎部分には大変な費用と労力がかかるため、やり直しを避けるためにリスクの高いシナリオにする。費用便益分析に基づいて、シナリオを決定する。\*4



出典: \*1 The Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation, Delta Programme 2012: Working on the delta Acting today, preparing for tomorrow, 2011.9, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2011/09/20/deltaprogramme-2012>

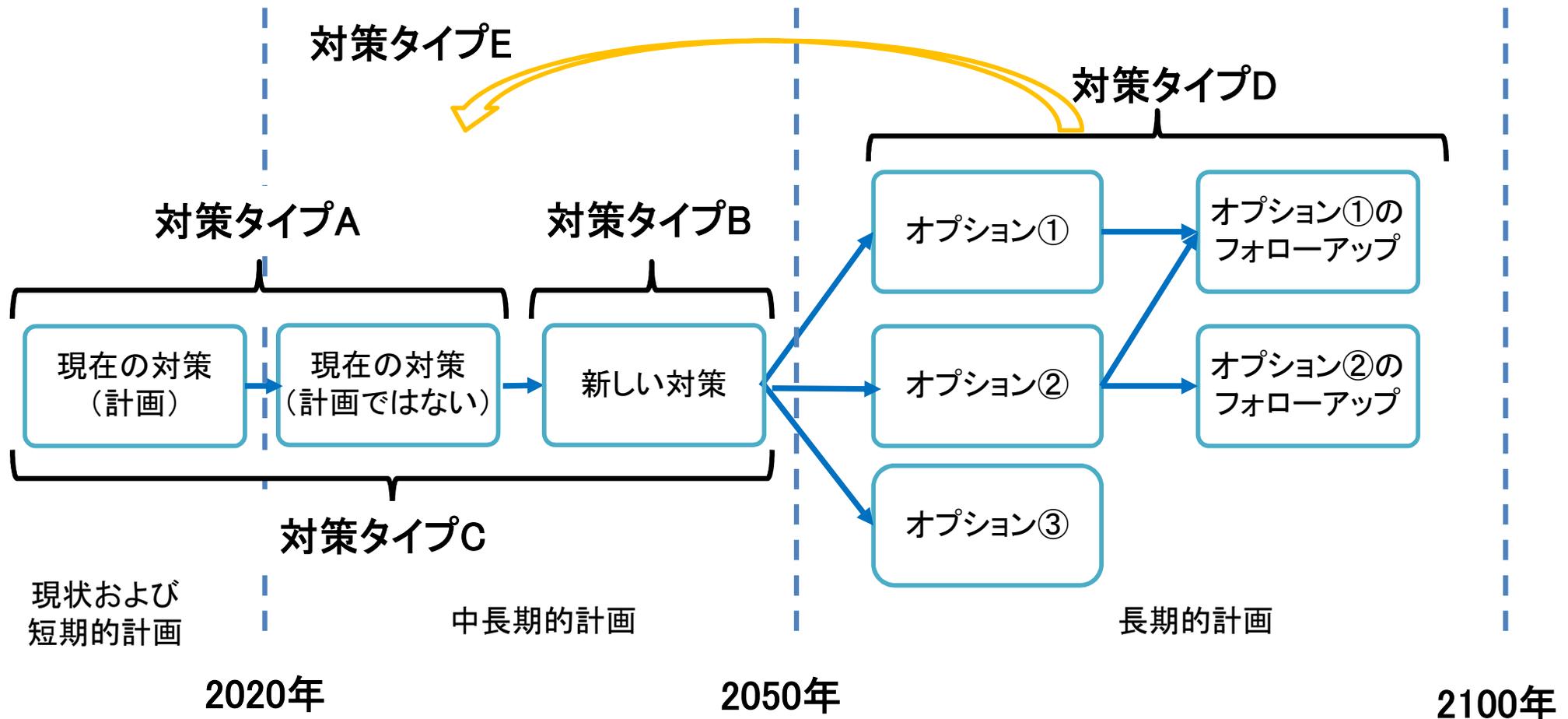
\*2 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部, 米英蘭の水災害・水資源管理に係る気候変動適応策に関する事例調査, 2012.6, <http://www.nilim.go.jp/lab/fdq/info/research-results/itagaki-kikouhendou.pdf>

\*3 2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

\*4 2019/6/24 デルタレスでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

# 2100年を見据えた対策の実施(オランダ側提供資料)

- オランダでは、長期的に2100年の様々なシナリオを見据えて現在実施しなくてはならない対策を考えている。
- タイプAは現在実施している対策、タイプBは現在の対策の延長上にあるもの、タイプCは付随する対策をそれぞれ示す。対策タイプDは将来の可能性を考えているだけで計画には含まれていないものの今のうちに考えなければならないもの、タイプEはタイプDのために現在実施しなくてはならないことである。
- 例えば、タイプCとは堤防を補強する計画と都市開発を組み合わせ、スーパー堤防を建設し、都市に付加価値を与えるような対策である。タイプEとは流量を増やさなくてはならない場合に、川幅を広げたり、築堤したり、放水路を建設しなくてはならない。このような場合に、事前に都市計画に取り込んだり、土地を確保することを示している。

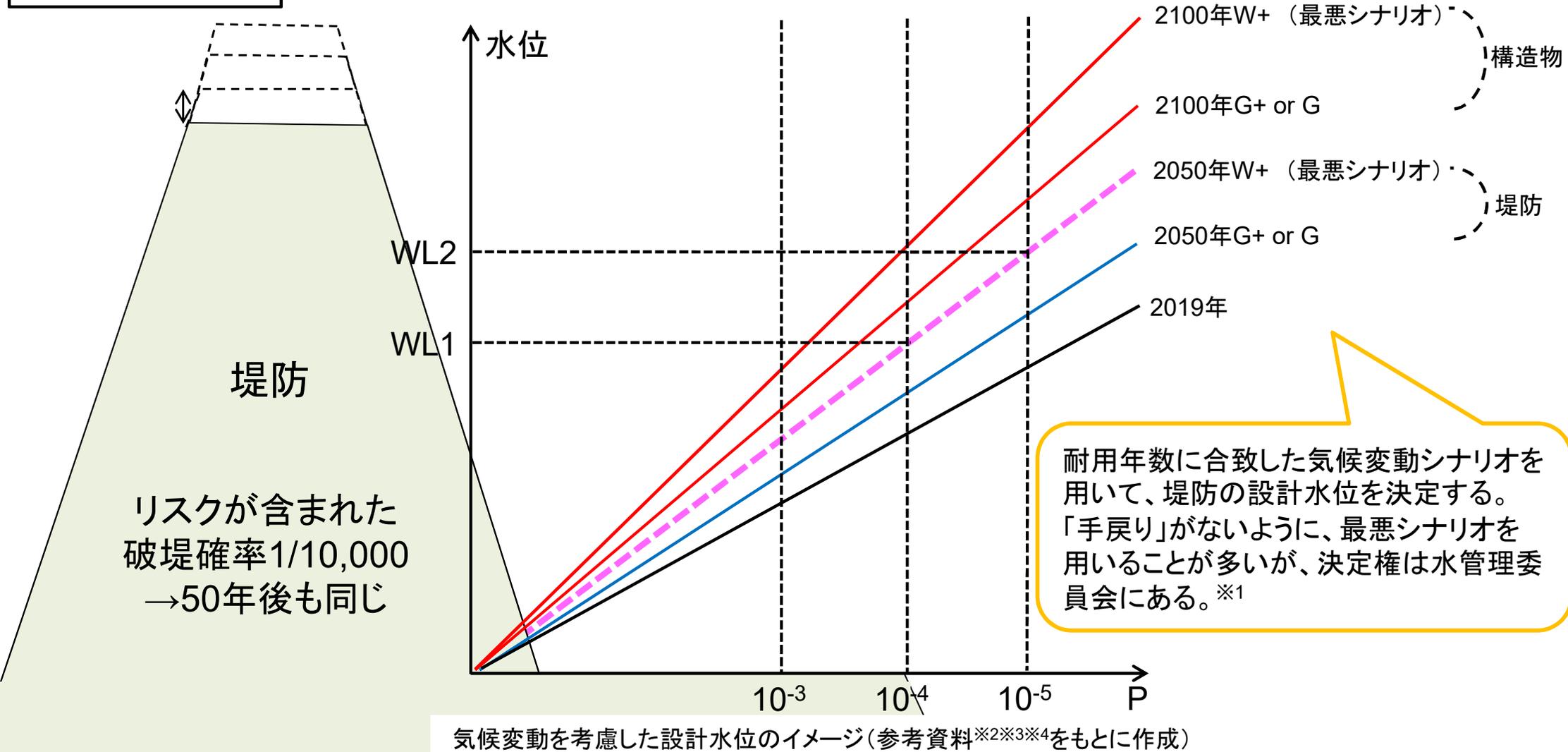


2100年を見据えた対策の実施※

# 気候変動を考慮した堤防設計

2017年1月1日～  
適用

耐用年数:50年(堤防)、100年(コンクリート構造物)  
堤防の設計においては最も安全な対策をとる



出典: \*1 2019/6/25 公共事業局での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
 \*2 ENW(expertisenetwerk waterveiligheid), Fundamentals of Flood Protection, 2017, <http://publicaties.minienm.nl/documenten/fundamentals-of-flood-protection>  
 \*3 板垣修ら, 米英蘭仏の事例を踏まえた洪水対策分野の気候変動適応策に関する考察, 2019.6  
 \*4 Rijkswaterstaat, Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie Groene versie 2018, 2018.11, <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/ontwerpen/werkwijzer-ontwerpen/@207005/werkwijzer-ontwerpen/>

# 堤防の管理から強化までの順応的管理

# 安全基準と堤防の評価及び堤防強化(オランダ側提供資料)

- オランダでは、2050年に安全基準を満たすことを目的に、12年ごとの堤防の安全性評価(safety assessment of the levees)と議会への評価結果の報告を行っている。※1
- 政府は気候変動や新しい知見等を加味して水理条件を更新する。堤防評価のガイドラインや評価ツールを提供し、オランダで最も古い行政機関である水管理委員会(Waterboard)が行う。基準を満たさない堤防があった場合、気候変動や土壌の沈下を考慮し、国のプロジェクトの一部(予算:政府50%、水管理委員会50%)として、堤防が強化される。また、このプログラムには地元のステークスホルダーも関与する。※1
- オランダでは、安全基準の設定から堤防の評価及び強化まで順応的管理が進められている。

<安全基準と堤防評価>※1

## ◎安全基準

2017年新水法(Water law)

50年

2067年

50年

目標:2050年までに基準を満たすこと

## ○堤防の安全性評価

12年

12年

12年

12年

12年

12年

12年

12年

12年

更新:観測された(発現済みの)気候変動※2を水理条件として、それに対応するように更新

## ○堤防の強化

5~6年

5~6年

基準を満たさなかった場合

基準を満たさなかった場合

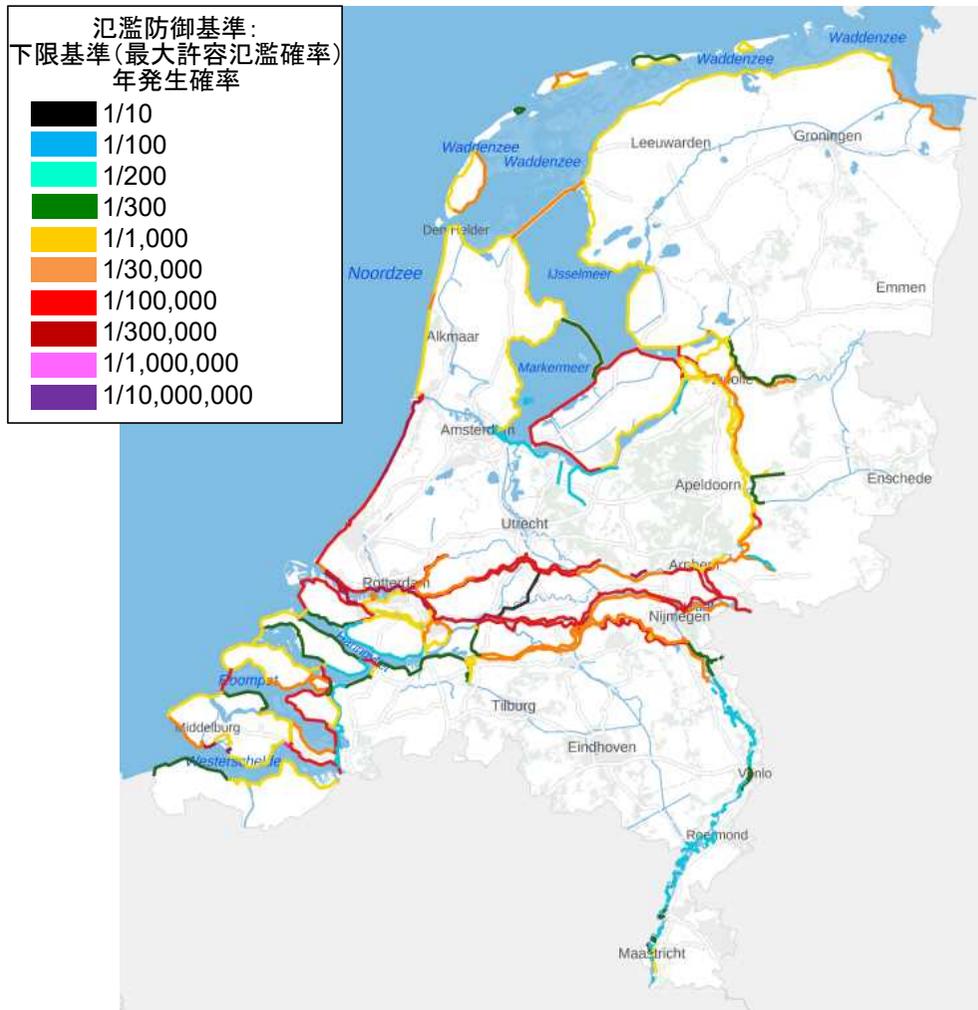
## ○堤防の毎年の点検

1年

毎年の点検と緊急時の訓練

# 氾濫防御基準の考え方

- 2017年1月1日から法整備された氾濫防御基準として、警報基準 (Signaleringswaarde) および下限基準 (Ondergrens) が定められている。※1※2※3
- 下限基準は、許容可能な最大の氾濫確率であり、同基準を確保することで少なくとも年間死亡率 $10^{-5}$ を保証することとなっている。※1※2 下限基準は警報基準の3倍である。※3



氾濫防御基準 (下限基準) ※3



氾濫防御基準 (警報基準) ※3

出典: ※1 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会 (国土交通省水管理・国土保全局), 資料2 諸外国における気候変動による将来の外力の増加量の考慮の仕方, p4, 2018.5.11, [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/chisui\\_kentoukai/dai02kai/dai02kai\\_siryou2.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/dai02kai/dai02kai_siryou2.pdf)  
 ※2 Rijkswaterstaat et al, Water veiligheid Begrippen Begrijpen, p49, 51, 52, 68, 2017.6  
 ※3 Infomatiehuis Water & Hoogwaterbeschermingsprogramme, Waterveiligheidsportaal, <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/norm>

# 【参考】氾濫防御基準の考え方(水管理・国土保全局作成資料※1)

- オランダの水法では洪水防御基準として「警報基準」と「下限基準」を規定。
- 定期的(12年に1度)な法定安全度評価において「警報基準」を上回る洪水氾濫の可能性が認められた場合にはインフラ・環境大臣に報告される。また、同基準の超過は対策実施のための補助金支給の条件の1つである。
- 「下限基準」は許容可能な最大の洪水氾濫確率であり、同基準を確保することで少なくとも基準防御レベル(死亡率年10万分の1以下)を保証することとなる。

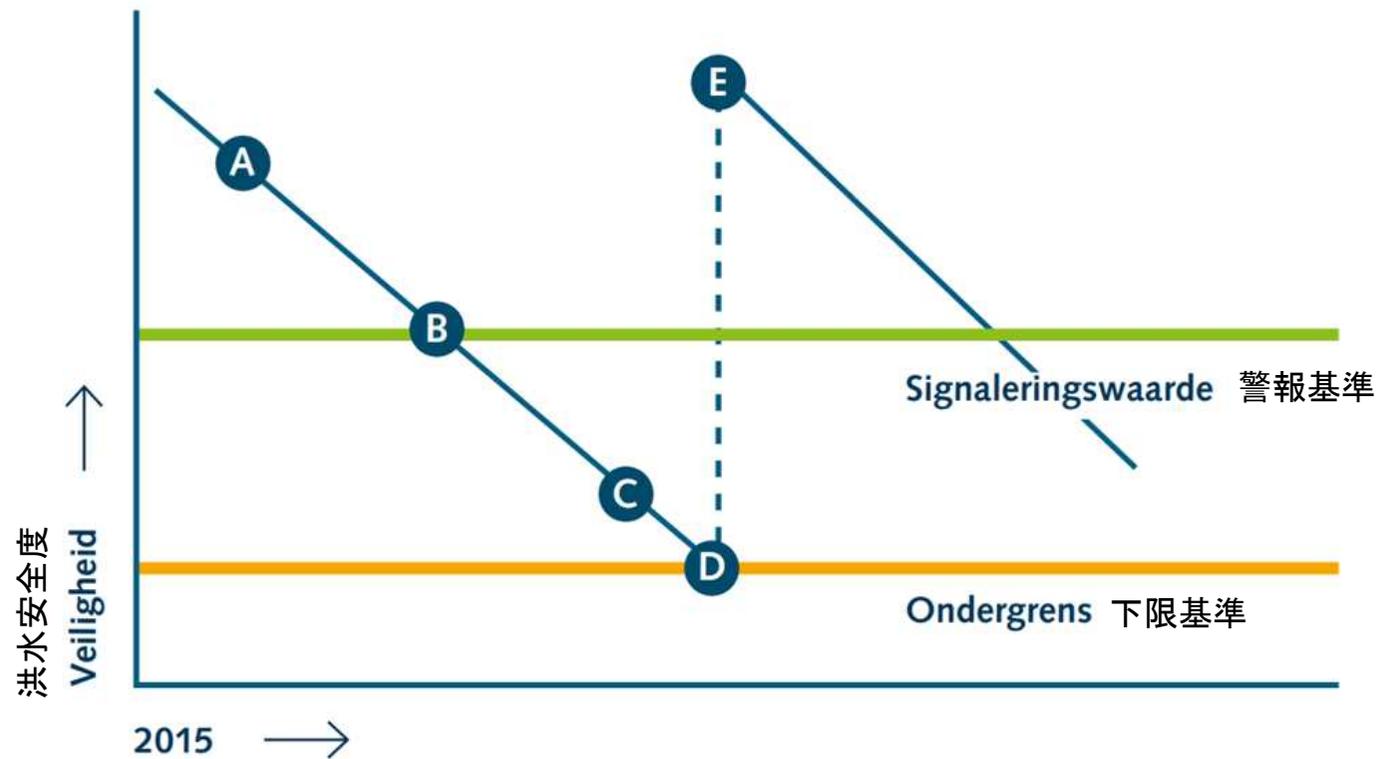


図 洪水安全度の経年変化と順応的適応方法の概念図 ※2

- A. 気候変動や老朽化による堤防強度の低下による洪水安全度の低下 B. 警報基準到達後直ちに対策を実施するための準備  
C. 堤防補強開始 D. 下限基準 E. 堤防補強直後の治水安全度

出典: ※1 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会(国土交通省水管理・国土保全局), 資料2 諸外国における気候変動による将来の外力の増加量の考慮の仕方, p4, 2018.5.11, [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/chisui\\_kentoukai/dai02kai/dai02kai\\_siryou2.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/dai02kai/dai02kai_siryou2.pdf)

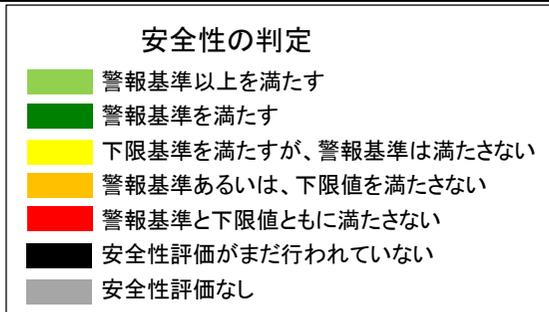
※2 Rijkswaterstaat et al, Water veiligheid Begrippen Begrijpen, p49, 51, 52, 68, 2017.6

# 堤防の安全性評価

- 各堤防は、6年以内に氾濫防御管理者によって評価されなくてはならない。
- 評価されたデータは、水安全ポータル(Waterveiligheidsportaal)を介して人間環境・輸送局(Inspectie Leefomgeving en Transport, ILT)に提出され、規定に従って確認される。人間環境・輸送局が承認した場合、評価は完了となる。
- 現在(2019年9月2日)、全体の約1/5の安全性評価が完了しており、安全性の判定がされているもののほとんどが警報基準を満たしていないことがわかる。



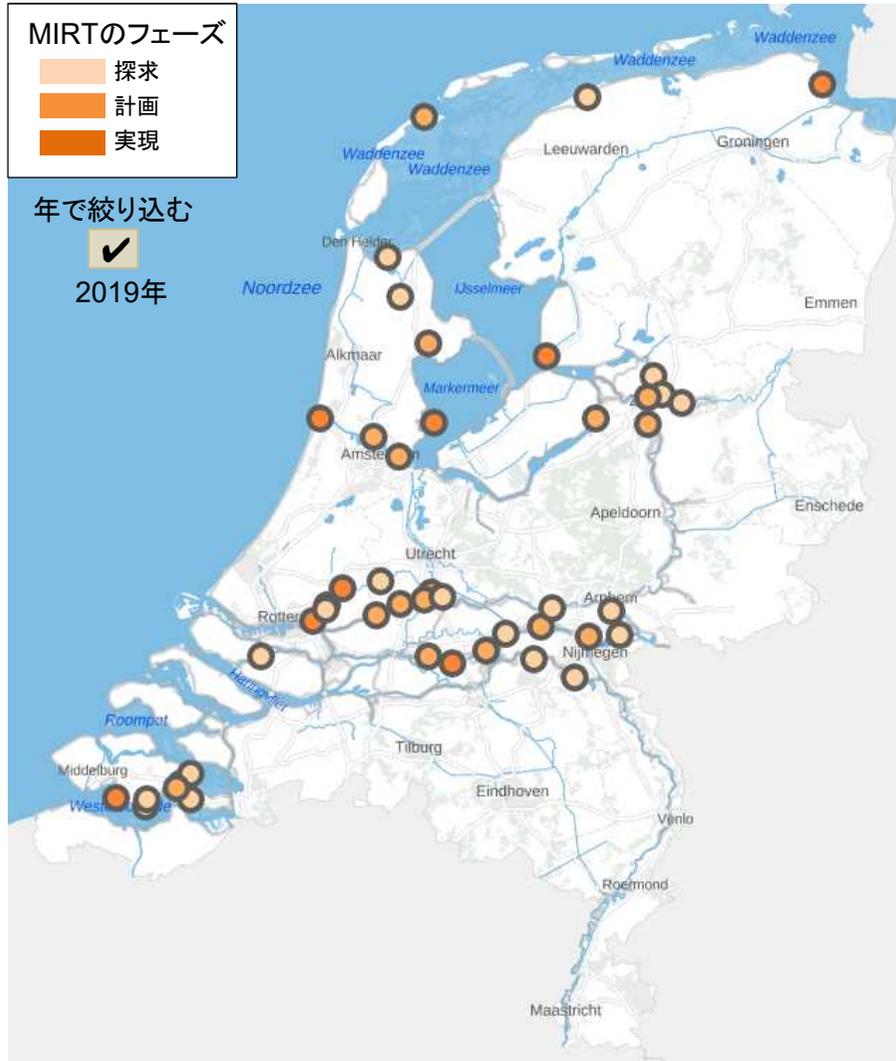
安全性評価の進捗状況※



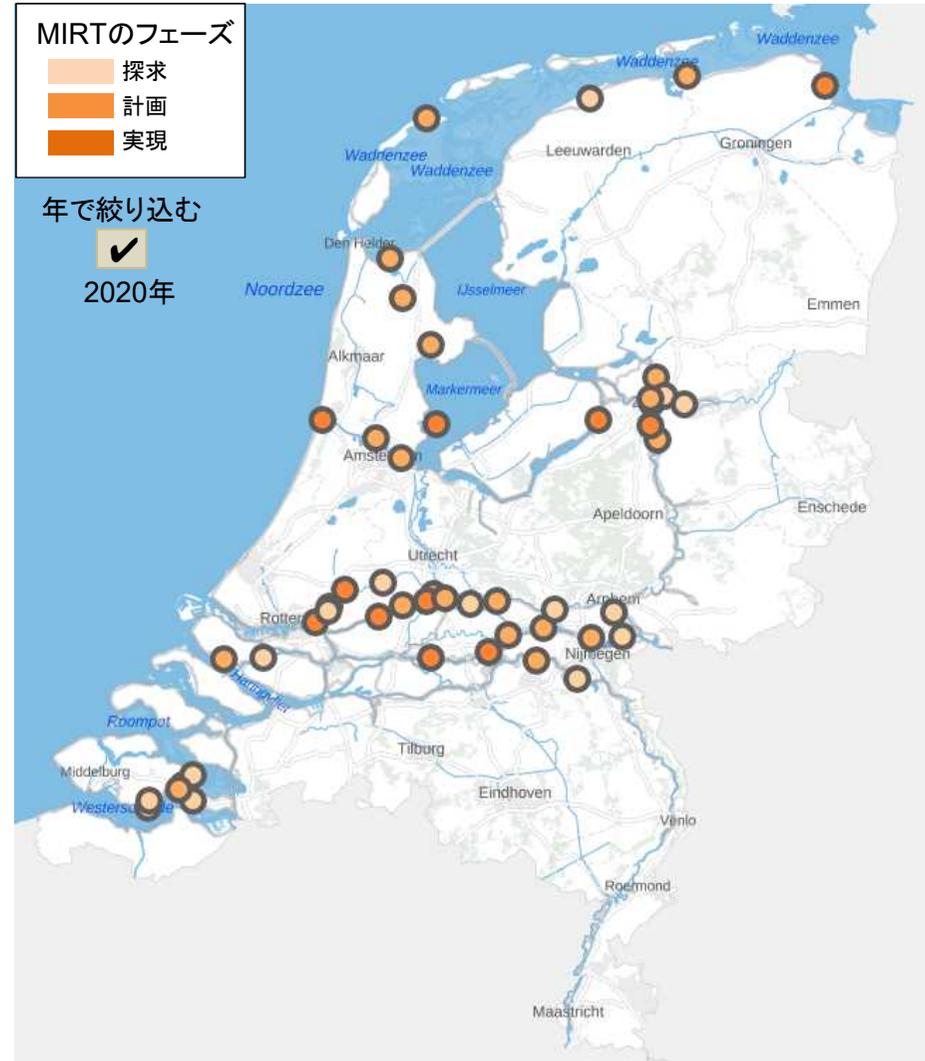
安全性の判定※

# 堤防の強化

- 堤防の強化が必要な場合、MIRTメソッド(MIRT-werkwijze)によって対策の実現まで3つのフェーズ(探索、計画、実現)を踏むこととなる。管理者は、州や地方自治体などステークホルダーと協力して有望なソリューションや代替案を選択する。※1
- 代替案は、計画のフェーズで最終的なプロジェクト計画が立案される。実現のフェーズでは、入札や対策の実施が行われる。※1



2019年のMIRTのフェーズ※2



2020年のMIRTのフェーズ※2

出典: ※1 HWBP voor sterke dijken, MIRT-werkwijze, <https://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Projecten/handleiding+voor+projectaanvraag/MIRT-werkwijze/default.aspx>

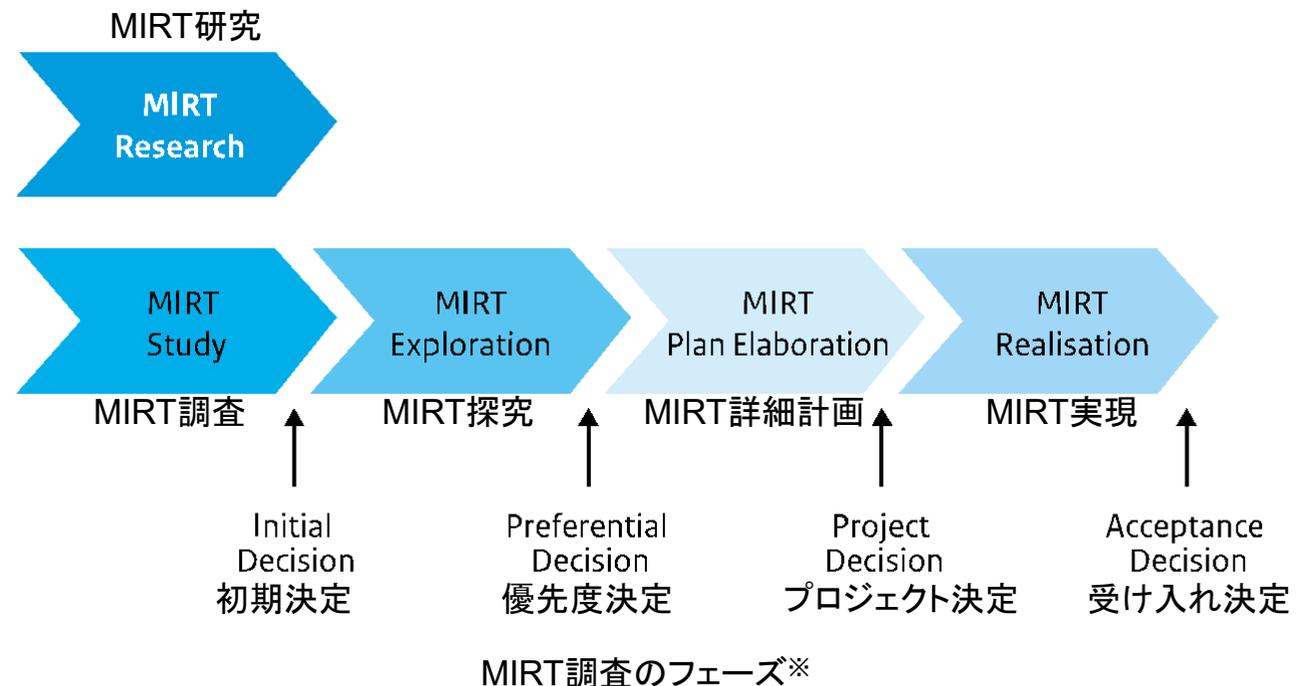
※2 Infomatiehuis Water & Hoogwaterbeschermingsprogramme, Waterveiligheidsportaal, <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/projects>

# 【参考】MIRTプログラムの概要

- MIRTプログラム (Multi-Year Programme for Infrastructure, Spatial Planning, and Transport) は、インフラ水管理省がインフラおよび水への投資の観点から統合計画を提供する複数年のプログラムである。
- MIRTプログラムでは、国家レベルと地域レベルの両方で、複数のステークホルダーの利益に対するソリューションを提供する。
- 当事者は段階的に作業を進め、この後続のフェーズで政治上の決定からMIRTは終了する。

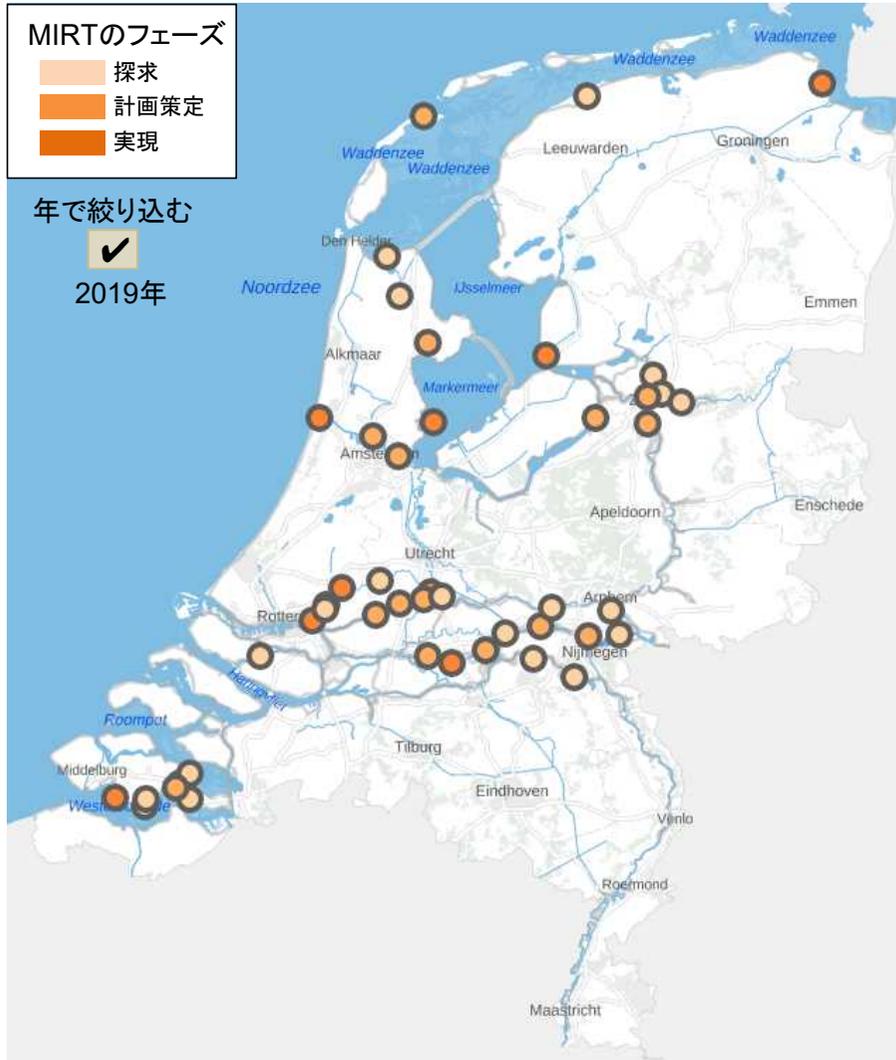


MIRTプログラムの概要※



# 堤防の強化

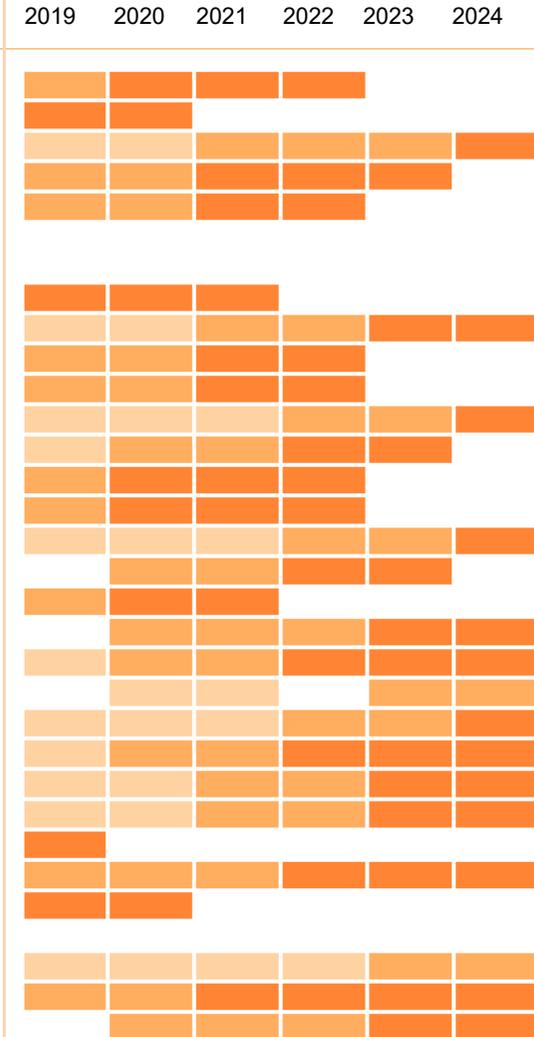
■ 氾濫防御プログラムHWBP (Hoogwater Beschermingsprogramma)※1で実施される・されているプロジェクトの経年的なフェーズは以下のように示される。(現在実施されているプログラムは、氾濫防御プログラム2019-2024)



2019年のMIRTのフェーズ※2

氾濫防御プログラムHWBPで実施されるプロジェクト

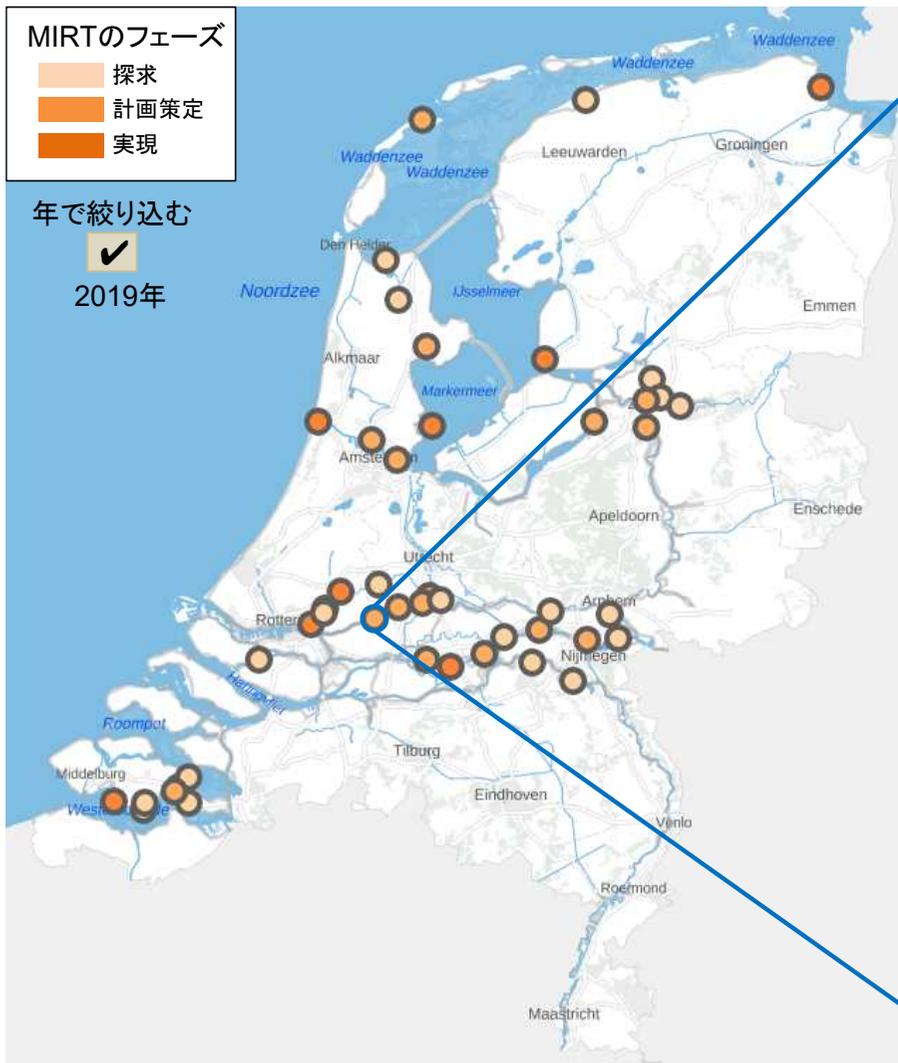
- Fort Everdingen - Ameide Sluis
- Vianen
- Grebbedijk
- Neder-Betuwe
- Zuid-Beveland West, Hansweert S1 (1)
- Verbetering IJsseldijk Gouda Voorlanden, spoor 3
- Verbetering IJsseldijk Gouda (VIJG) spoor 1
- Verbetering IJsseldijk Gouda (VIJG) spoor 2
- Capelle/Zuidplas
- Waaiersluis te Gouda
- Wolferen-Sprok
- Sprok-Sterreschans
- Stad Tiel
- Gorinchem-Waardenburg (GoWa)
- Tiel - Waardenburg (TiWa)
- Geervliet - Hekelingen 20-3
- Zettingsvloeiing V3T
- Ameide-Streefkerk
- Sterke Lekdijk: Wijk bij Duurstede-Amerongen
- Sterke Lekdijk: Culemborgse veer - Beatrixsluis
- Sterke Lekdijk: Irenesluizen - Culemborgse veer
- Sterreschans-Heteren
- Ravenstein - Lith
- Zuid-Beveland West, Westerschelde S2 (1)
- Zuid-Beveland West, Westerschelde S2 (2)
- Zuid-Beveland West, Westerschelde S3
- Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard (KIJK)
- SVK Holl.IJsselkering (schuif)
- Restopgave Hollandse IJssel
- Cuijk - Ravenstein
- Sterke Lekdijk - Salmsteke
- Zwolle-Olst



プロジェクトの経年的なフェーズ※2

# 【参考】堤防の強化

■ 堤防強化においては、対策を行う水管理委員会や対策の実現のフェーズなど個別の詳細な情報を提供する。

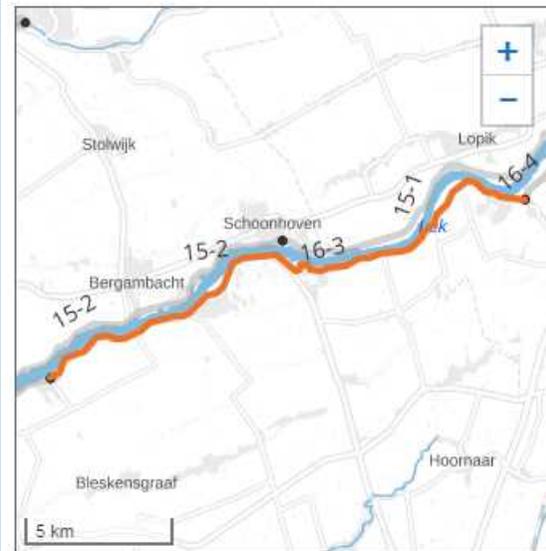


2019年のMIRTのフェーズ※

## Wolferen-Sprok ウォルエレン-スプロック

Projectcode 22AI      プロジェクトコード 22AI  
 Waterschap Rivierenland      リヴィエレンランド水委員会

Verkenningfase	探求フェーズ	
Planuitwerkingsfase	2019 - 2020	計画フェーズ
Realisatiefase	2021 - 2022	実現フェーズ
		2019-2020
		2021-2022



Aantal dijkvakken	97	堤防区間数	97
Totale lengte dijkvakken	10.600m	堤防区間全長	10,600m
Aantal kunstwerken	0	河川構造物数	0

## 4. 氾濫リスク評価と対策

# リスクベースアプローチ

# アメリカにおけるハリケーン・カトリーナの襲来

- 2005年、襲来した過去最大級のハリケーン・カトリーナによってアメリカのルイジアナ州ニューオーリンズ市は特に甚大な被害を受けた。死者1,400人以上、全壊した家屋は約100,000戸、ニューオーリンズだけで被害額は200億ドル(約2兆2,000億円)、被害を受けた沿岸地域全体では1,000億ドル(約11兆円)となった。アメリカにおいて、最も大きな災害となった。※1※2
- ニューオーリンズ市は町の7割が海水面以下にあり、国土の3割が海水面以下にあるオランダと似ている。※1
- オランダ政府は危機感を募らせ、リスクに目を向けることとし、デルタプログラムを開始した。※3※4



ハリケーン・カトリーナによる浸水状況※5



ハリケーン・カトリーナによる浸水状況※6

- 出典: ※1 Bob Maaskant, Research on the relationships between flood characteristics and fatalities: Based on flooding in New Orleans caused by Hurricane Katrina, 2007.5, pp7-14, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:d9640e6b-5840-4a54-a85b-4d6980d33185/datastream/OBJ/download>  
※2 Link et al., The Federal Response To Hurricane Katrina Lessons Learned, 2006.2  
※3 Anna Wesselink, Flood Safety in the Netherlands: The Dutch Response to Hurricane Katrina, 2007.4  
※4 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナーin 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ オランダ公共事業局講演内容  
※5 FEMA, Photograph in Louisiana, <https://www.fema.gov/media-library/assets/images/45880>  
※6 FEMA, Photograph in Louisiana, <https://www.fema.gov/media-library/assets/images/45585>

# オランダの長期計画 デルタプログラム

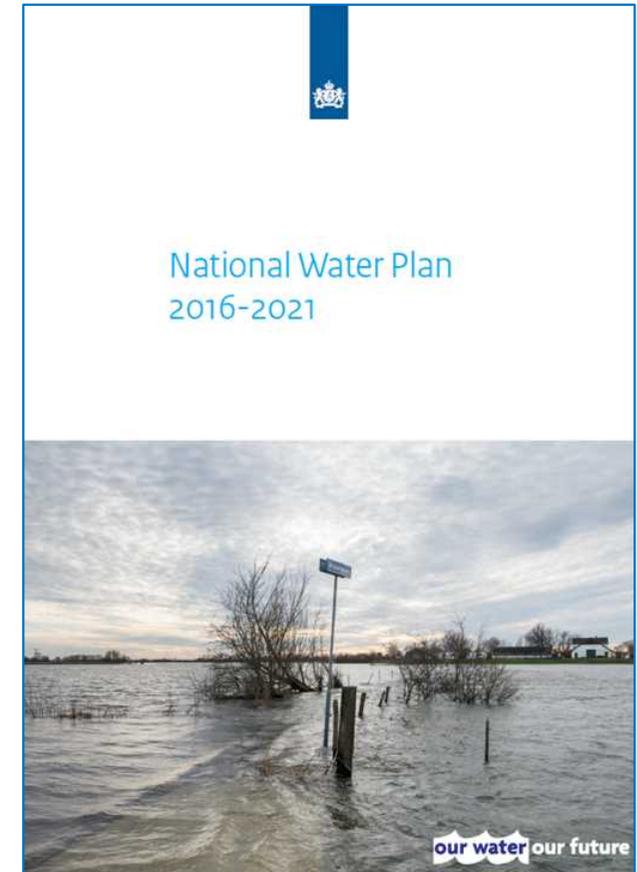
- デルタプログラム (Delta Programme) とは、政府 (現在のインフラ水管理省、経済省) が現在と将来のためにオランダを安全で魅力的な場所とし続けることを目的として実施する長期的な計画である。デルタプログラムは、氾濫リスク管理 (Flood risk management) と淡水確保 (Fresh water supply) を目標に計画されている。※1※2



デルタプログラム2011※1



デルタプログラム2020※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 Ministry of Infrastructure and Water Management, Ministry of Agriculture, Nature, and Food Quality, Ministry of the Interior and Kingdom Relations, Delta Programme 2020: Continuing work on the delta: down to earth, alert, and prepared, <https://english.deltacommissaris.nl/documents/publications/2019/09/17/dp2020-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>

# 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。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、インフラ水管理省及び公共事業局はハード・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	2019	2020
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	氾濫防御新基準	「2050年までに新基準を満たす」	法律改正・空間計画に重点	堤防改善の進捗状況	堤防改善の進捗状況
氾濫リスク管理関連	—	—	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	—	—	—	堤防強化によって氾濫リスクが50%となる	2027年までに氾濫リスクが50%となる予定

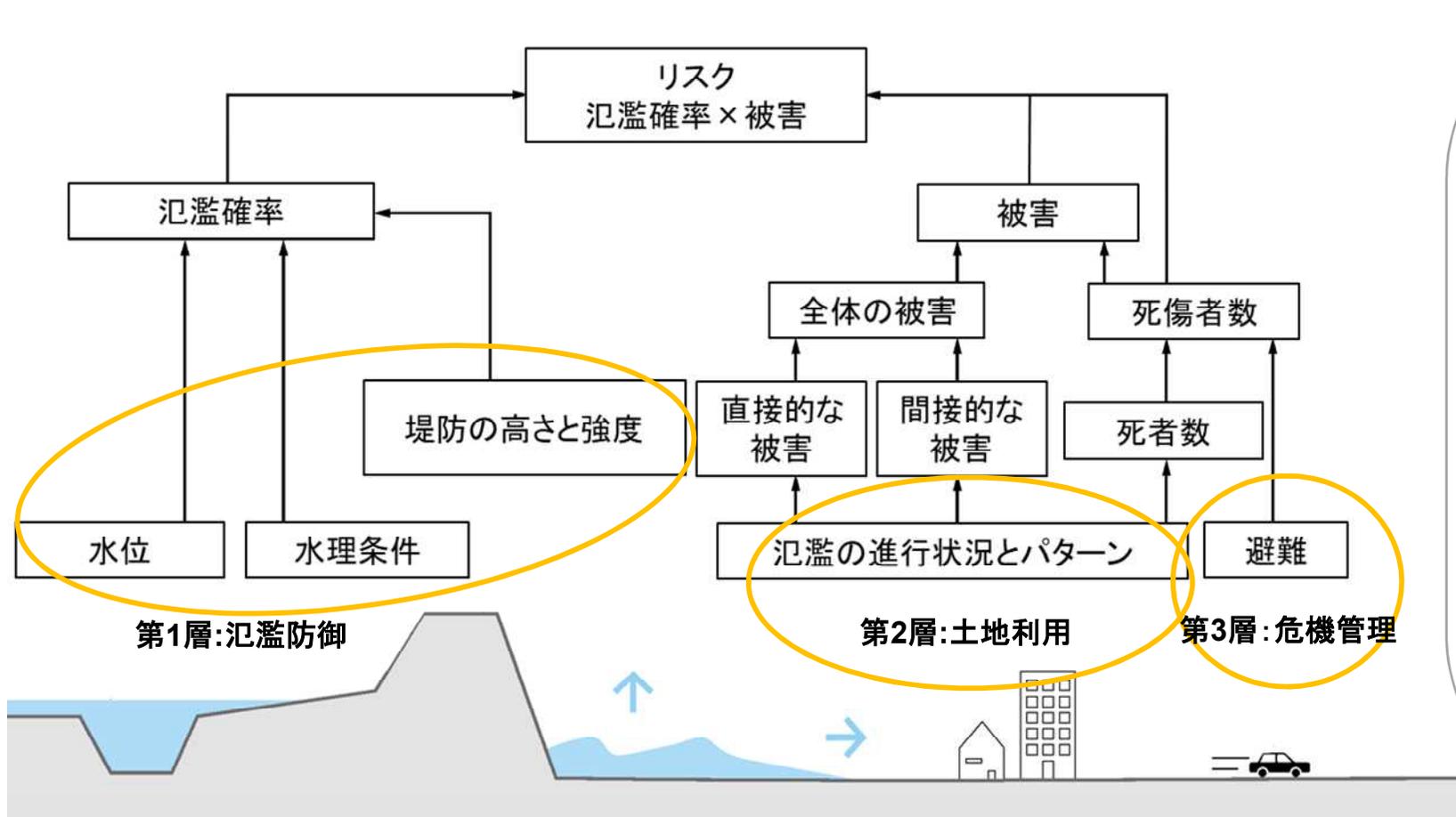
⇒デルタプログラム2015によれば、KNMI'14はKNMI'06と比較して海面上昇の最大値の予測が若干ことなるもののほとんど違いがない(very similar)シナリオである。

出典: ※1 2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

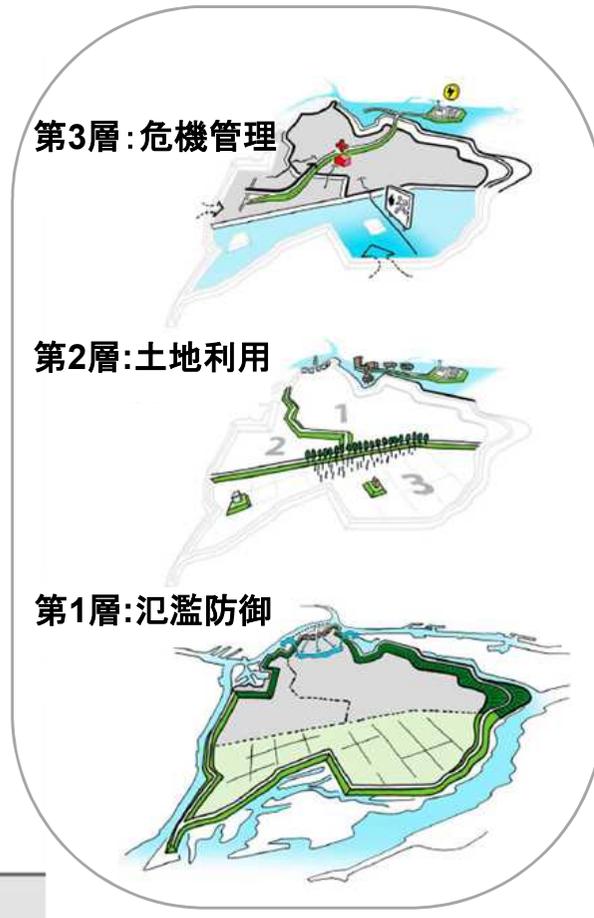
※2 The Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Ministry of Agriculture, Nature and Flood Quality, The Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Delta Programme 2011: Working on the delta, 2010.9, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2010/09/14/2011-delta-programme>

# リスクベース・アプローチの適用

- 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 $10^{-5}$ 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



重層的氾濫リスク管理概略図※3

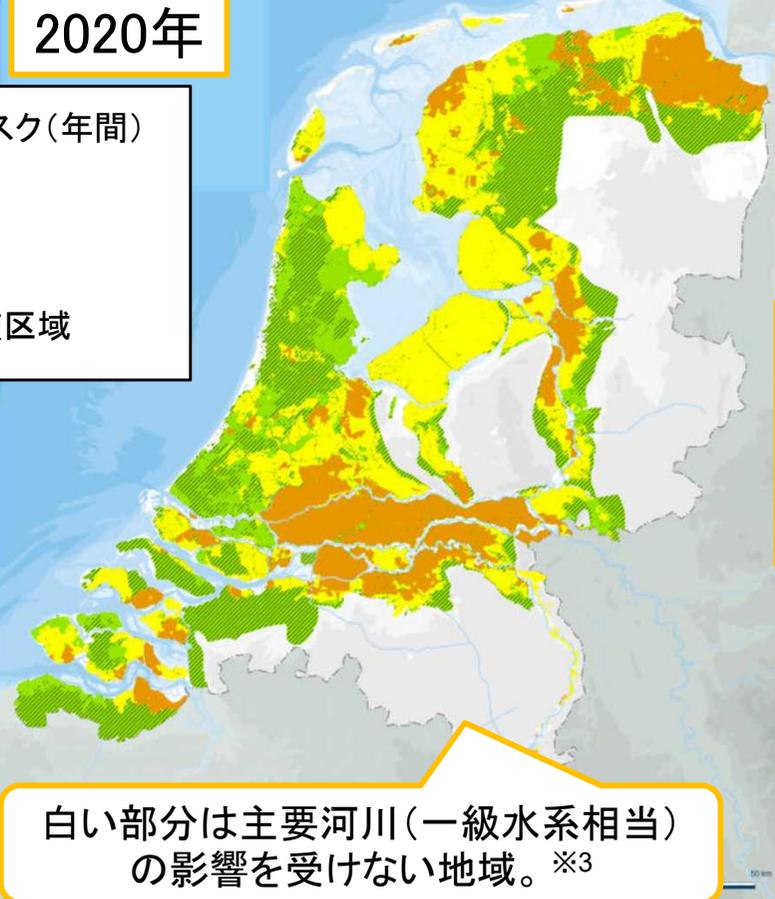
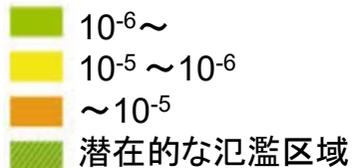
出典: ※1 2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
 ※2,3 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2014: Work on the delta, 2013.9, pp36(※2), pp83(※3), <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2013/09/17/delta-programme-2014>

# 個人リスクと目標値“年間死亡率 $10^{-5}$ ”

- 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 (Societal risk) を示している。産業分野での個人の許容リスクは、年間 $10^{-6}$ 以下とされているが、デルタプログラムでは、経済的な側面から $10^{-5}$ 以下と設定した。<sup>※1</sup>
- 個人の許容リスクを年間 $10^{-6}$ 以下とするためには、 $10^{-5}$ 以下の場合に比べて50億ユーロ (5,900億円) 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、 $10^{-5}$ 以下の個人リスクを設定した。<sup>※2</sup>

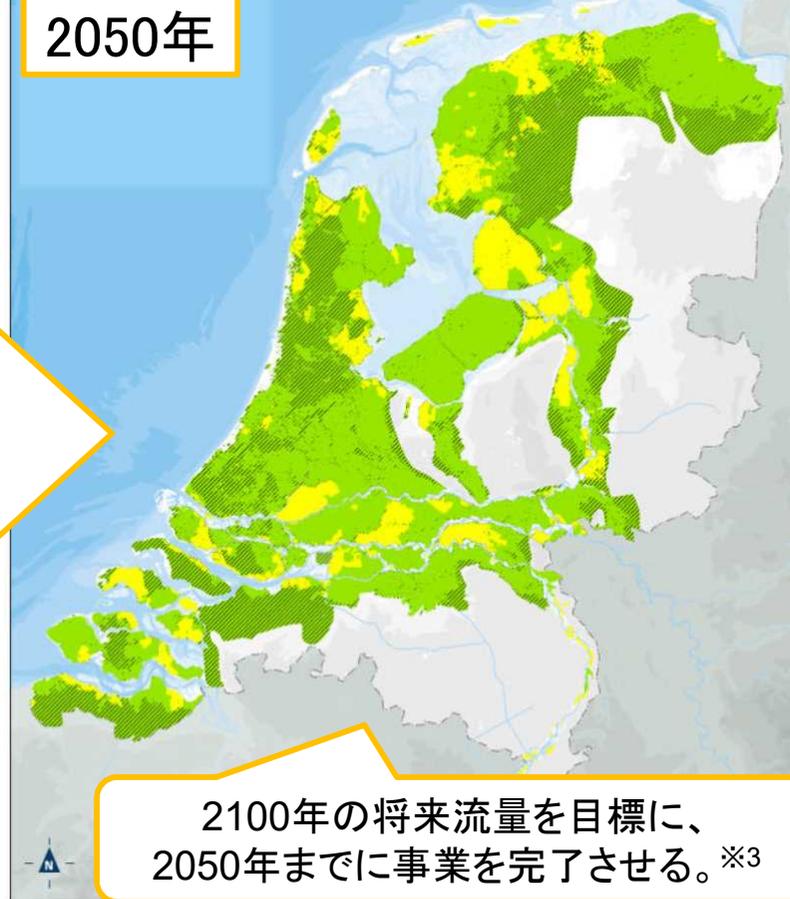
2020年

国民1人1人のリスク(年間)



白い部分は主要河川(一級水系相当)の影響を受けない地域。<sup>※3</sup>

2050年



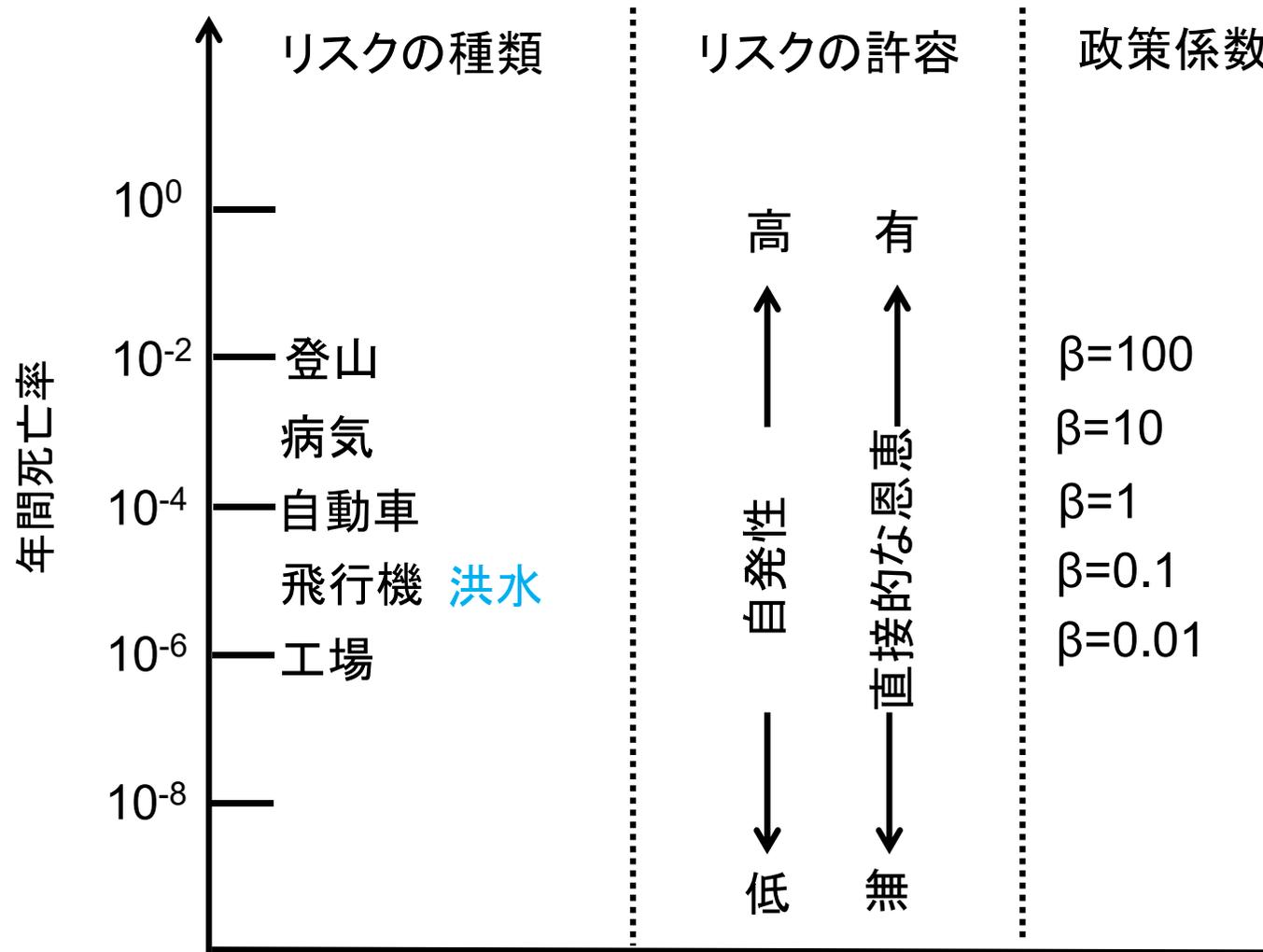
2100年の将来流量を目標に、2050年までに事業を完了させる。<sup>※3</sup>

地域ごとの個人リスク (左:現状のままの2020年、右:氾濫防御基準を満たした2050年)<sup>※2</sup>

出典: <sup>※1</sup> 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>  
<sup>※2</sup> J.Van Alphen, The Delta Programme and updated flood risk management policies in the Netherlands, 2016.7, pp9  
<sup>※3</sup> 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

# 【参考】オランダの様々な許容リスク

■ オランダでは、自然災害や人為災害から人々を守るためにリスク基準(Risk criteria)あるいは許容リスク(tolerable risk, acceptable risk)が設定されている。登山の場合にはある程度自分が自発的にリスクを引き受ける形となるが、洪水や工場の場合には自発性は低い。



様々なリスクの年間死亡率(参考資料※1※2を基に一部編集)

出典: ※1 J.K. Vrijling et al., Criteria for acceptable risk in the Netherlands

※2 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナーin 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ オランダ公共事業局講演内容

# 重層的氾濫リスク管理

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

重層的氾濫リスク管理の概要※2

	各層の詳細	オランダで実施されている対策
<b>第3層:</b> 	◎あらゆる氾濫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?)」※3  など
<b>第2層:</b> 	◎氾濫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
<b>第1層:</b> 	◎予防策を実施する氾濫防御 <b>最優先</b>  氾濫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 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
 ※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 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

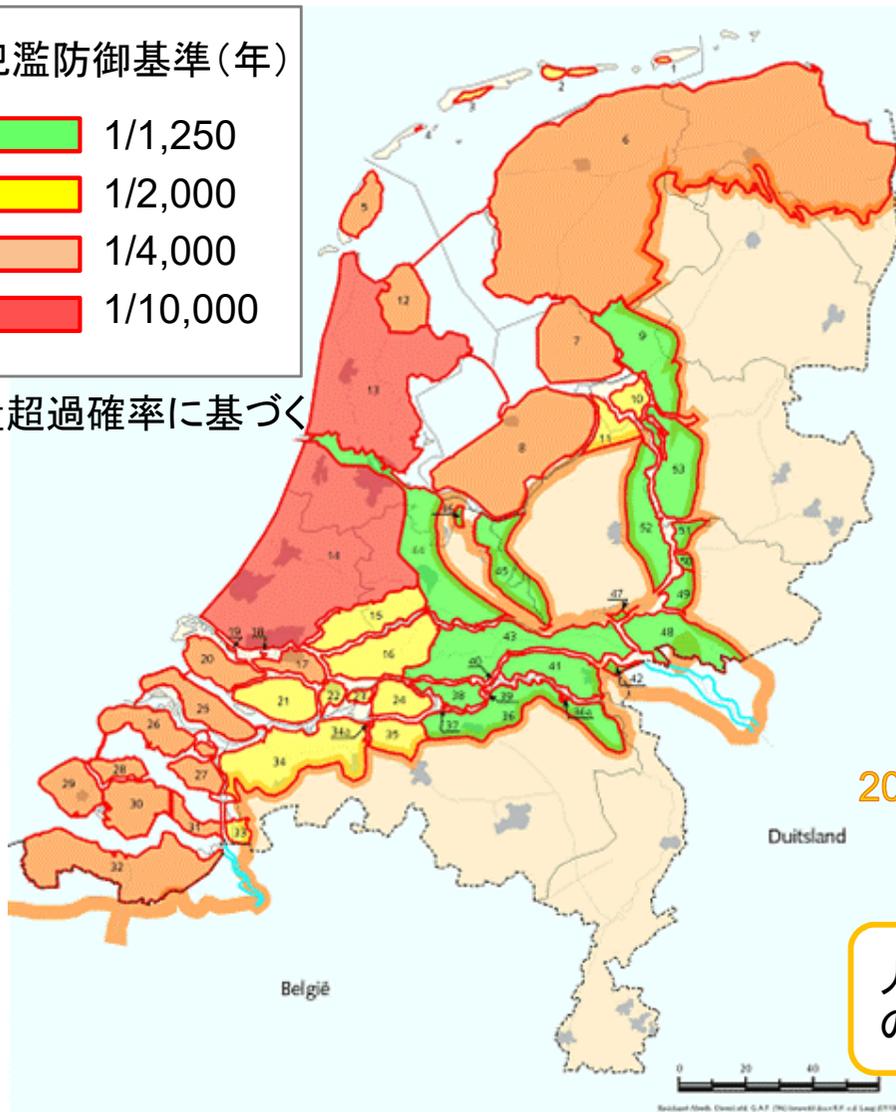
# 法整備された氾濫防御基準

■ 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年までに氾濫による年間死亡率を $10^{-5}$ 以下にすることを目標として、氾濫確率に基づいた氾濫防御基準(2017年1月1日～)<sup>※1</sup>が適用された。

氾濫防御基準(年)



流量超過確率に基づく



流量確率に基づく氾濫防御基準<sup>※2</sup>

氾濫防御基準(年)



氾濫確率に基づく

2017年1月1日  
から適用

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。



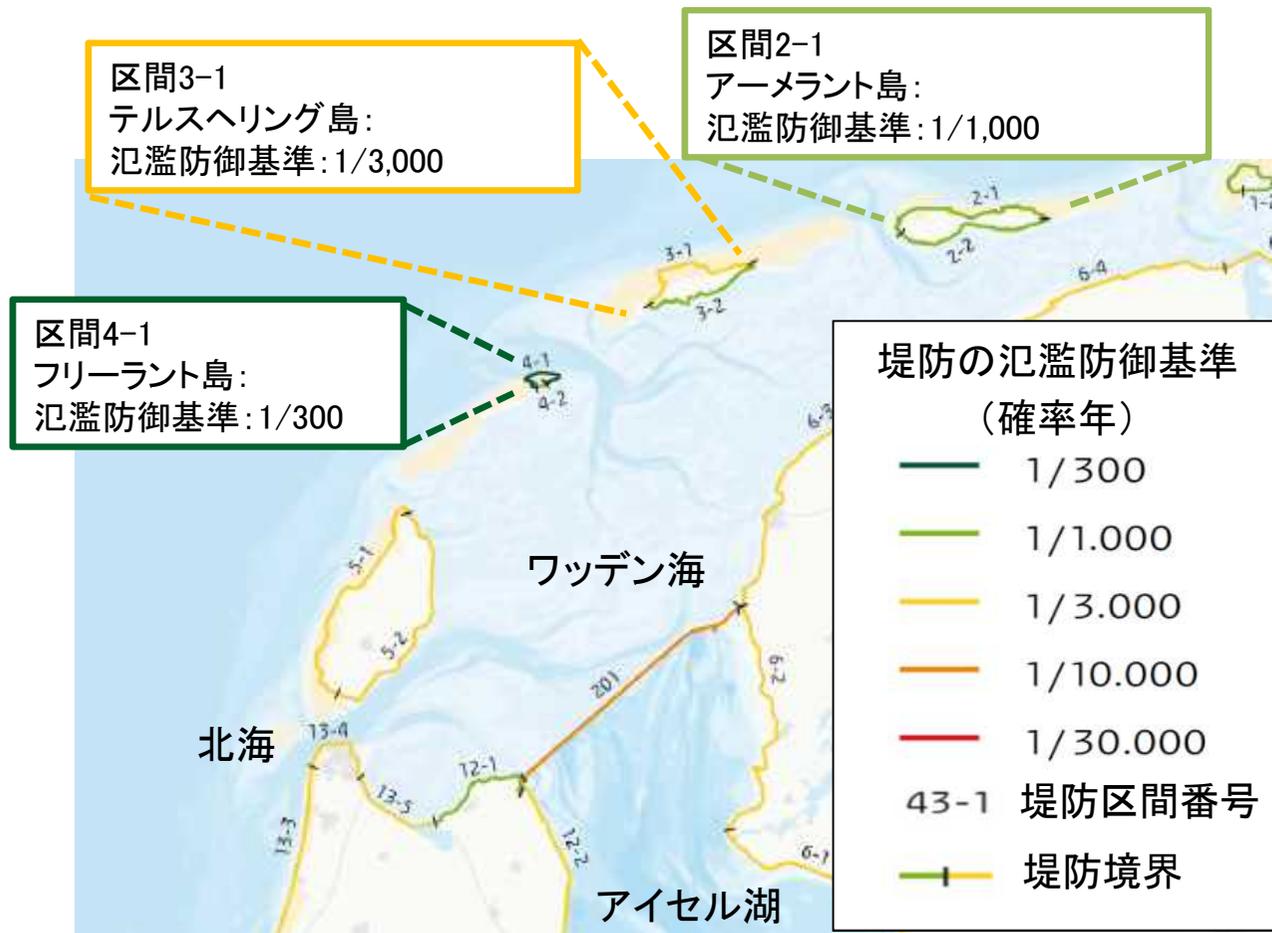
氾濫確率に基づく氾濫防御基準<sup>※1</sup>

出典: <sup>※1</sup> Ministry of Infrastructure and the Environment & 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>

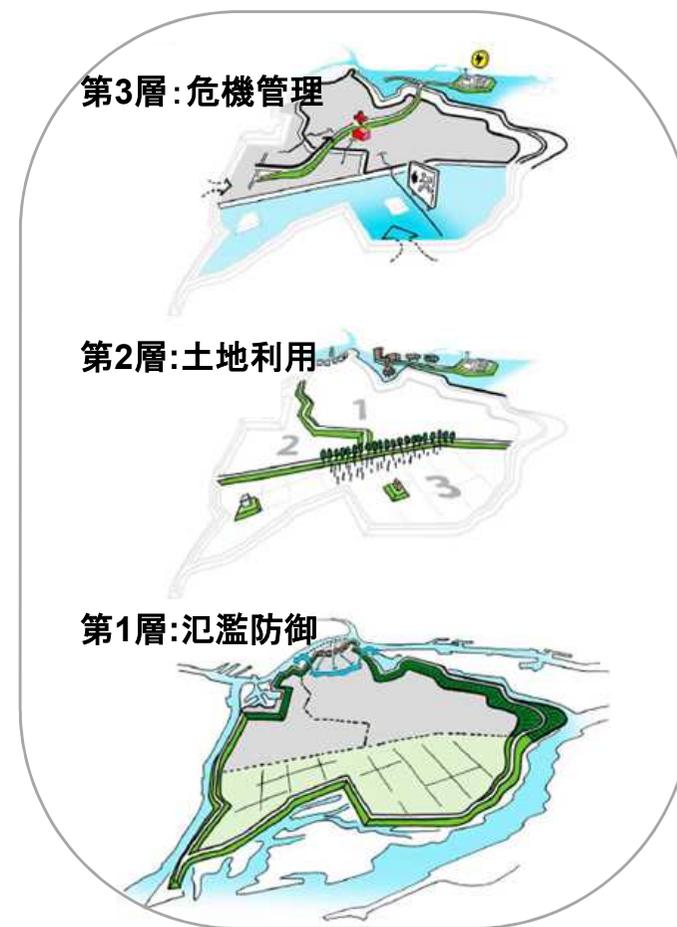
<sup>※2</sup> Rijkswaterstaat(Ministerie van Verkeer en Waterstaat), Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris): Floris study – Full report, 2005.11, pp13, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715?collection=research>

# 相対的に低く設定された氾濫防御基準

- 相対的に低い氾濫防御基準(確率年)が設定された場合、重層的氾濫リスク管理における第2層土地利用あるいは第3層危機管理によって目標値である年間死亡率 $10^{-5}$ 以下を達成していく。※1
- オランダでは、土地利用規制や土地利用誘導に関しては積極的に行われていない。オランダ国土の6割は浸水しやすい土地であり、移転等を考えるのであれば、フランスやベルギー国境付近の山間地に移転するしかない。オランダの考えは「人をどこに移す」ではなく、「人がそこにいる状態で安全にする」という考え方であるため、危機管理が重要な役割を果たす。※1



氾濫防御基準の設定状況(一部を例示) ※2



重層的氾濫リスク管理概略図 ※3

出典: ※1 2018/11/28 日蘭の治水技術に関する意見交換会

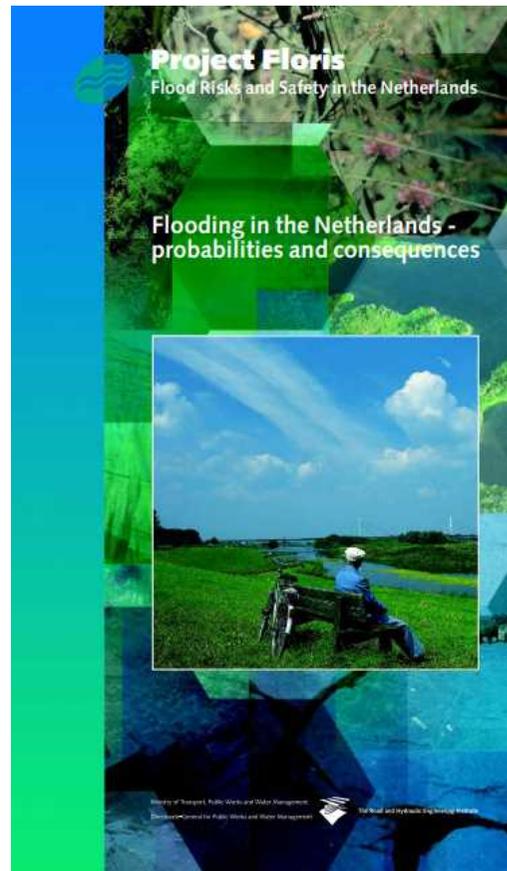
※2 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, National Water Plan 2016-2021, 2015.12, pp14, <https://www.government.nl/documents/policy-notes/2015/12/14/national-water-plan-2016-2021>

※3 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2014: Work on the delta, 2013.9, pp83, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2013/09/17/delta-programme-2014> 57

# リスク評価(人的被害)

# オランダのリスク評価プロジェクトFloris

- 2001年、堤防リングの弱部を見極め、氾濫確率(probability of flooding, 堤防の決壊確率)と氾濫被害(consequences of flooding)を軽減するための投資費用と便益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、オランダの氾濫リスクと安全性)」プロジェクトを開始し、評価結果を2005年に公開し、社会的な安全レベル(国の許容リスク)を決定する上での基礎データとした。※1※2
- Florisの中では、「オランダが将来、氾濫(洪水)を管理するために取らなければならない対策を適切に検討することが可能となる」と示されており、オランダが21世紀最初の年に将来のための対策を検討し始めたことがわかる(気候変動考慮の有無は不明)。※2



Florisプロジェクト※2



越水状況※1



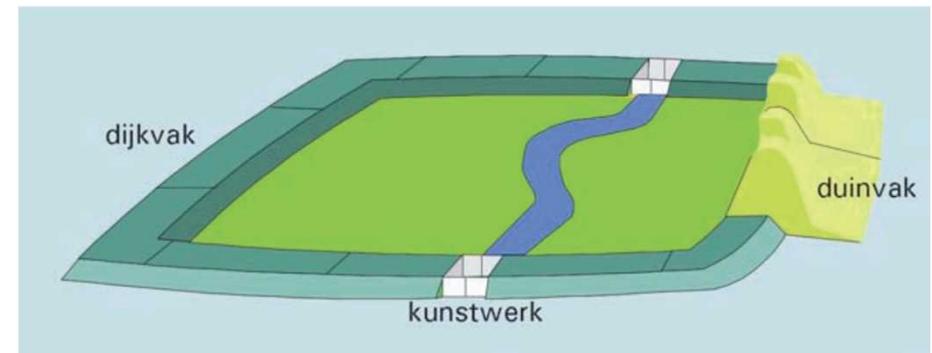
安定性を失った斜面※1

各堤防リングにおける現状の氾濫リスクを把握  
(氾濫確率と氾濫被害の算定)



氾濫リスクを算定するメリット:

- ①現在の安全が十分かを把握
- ②基準に基づいた対策の優先順位付けにより安全性を向上
- ③堤防のリスク評価が可能に
- ④大規模な氾濫への準備が可能に



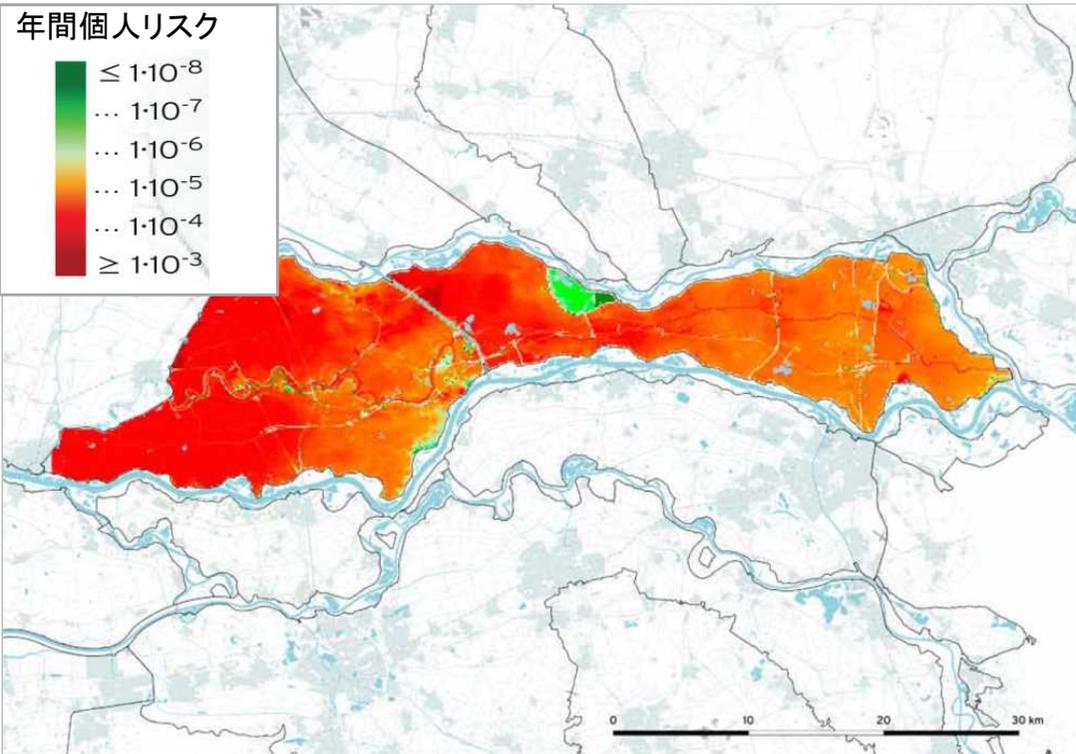
堤防リング※1

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>

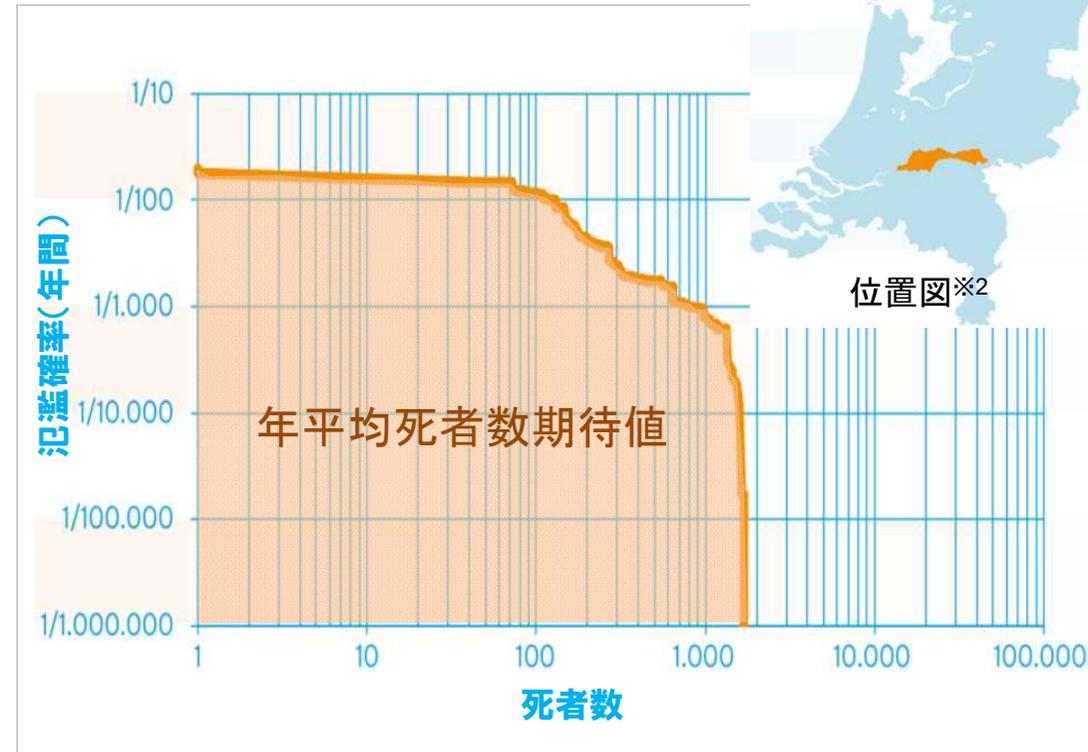
※2 Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Project Floris: Flooding in the Netherlands – probabilities and consequences, 2003, <http://publicaties.minienm.nl/documenten/project-floris-flood-risks-and-safety-in-the-netherlands-flooding>

# Floris2プロジェクト

- Floris第2期(Floris2)ではオランダの全堤防リングを対象に、リスク分析※1※2が行われた。
- Floris2では、堤防の決壊メカニズムや水理構造物・砂丘の決壊メカニズムを考慮することで確率的に評価し、各堤防の氾濫確率が示され、各堤防リングの人的リスク(個人リスク、社会リスク)と経済的なリスクが示された。※3



年間個人リスク※3



FNカーブ(参考資料※3を一部編集)

許容リスク: 年間 $10^{-5}$ (死亡率10万分の1以下)

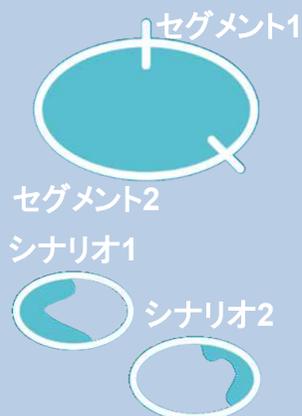
出典: ※1 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) – Full report, 2005.11, pp7, 34, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715?collection=research>  
 ※2 Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Project Floris: Flooding in the Netherlands – probabilities and consequences, 2003, <http://publicaties.minienm.nl/documenten/project-floris-flood-risks-and-safety-in-the-netherlands-floodin>  
 ※3 Rijkswaterstaat VNK Project Office, The National Flood Risk Analysis for the Netherlands: FINAL REPORT, 2016.4, pp100-101

# Floris2で行われたリスク算定の流れ

■ Floris2では、氾濫確率および被害の算定を別々の工程で行っており、リスクは最終的に両者の掛け合わせから算出している。

## ＜氾濫被害 (consequence of flooding) の算定＞

氾濫防御システムが決壊した際に発生する被害 (被害・死者) を決定



### STEP A1: 被害セグメントを定義

解説: 被害形態が同じになるように堤防システムをセグメントに分割

### STEP A2: 氾濫計算を実施

解説: 河川に面する地域では氾濫による水位低減を考慮し、異なる水位で計算

### STEP A3: シナリオを定義

解説: 堤防が決壊する・決壊しない場合を組み合わせて氾濫シナリオを定義

氾濫シナリオ	被害セグメント1	被害セグメント2
1	決壊	決壊しない
2	決壊しない	決壊
3	決壊	決壊

氾濫シナリオ	経済的被害	死者数
1	$E_1$	$N_1$
2	$E_2$	$N_2$
3	$E_3$	$N_3$

### STEP A4: 各シナリオの被害を算定

解説: 各シナリオの経済的被害および死者数を計算

## ＜氾濫確率 (probability of flooding) の算定＞

堤防システムの各部分で決壊確率を決定



### STEP B1: 堤防システムを要素or区間ごとに分割

解説: 堤防システムを均一な強度特性で分割

### STEP B2: 決壊確率を計算

解説: 様々な決壊メカニズムの決壊確率 (= 浸水確率) を計算  
越水・溢水 → 区間の最大決壊確率とほぼ同じ  
パイピング → 堤防が長いほど決壊確率は大きい

区間	堤防決壊メカニズムごとの決壊確率		区間ごとの決壊確率
	越水	パイピング	
1	Probability <sub>ov,1</sub>	Probability <sub>pi,1</sub>	Probability <sub>f,1</sub>
2	Probability <sub>ov,2</sub>	Probability <sub>pi,2</sub>	Probability <sub>f,2</sub>
3	Probability <sub>ov,3</sub>	Probability <sub>pi,3</sub>	Probability <sub>f,3</sub>
4	Probability <sub>ov,4</sub>	Probability <sub>pi,4</sub>	Probability <sub>f,4</sub>
5	Probability <sub>ov,5</sub>	Probability <sub>pi,5</sub>	Probability <sub>f,5</sub>
組み合わせ	Probability <sub>ov,tot</sub>	Probability <sub>pi,tot</sub>	氾濫確率

### STEP B3: シナリオ確率を計算

解説: シナリオ確率は確率と被害をリンク  
シナリオ確率の合計は、堤防システムのどこかで氾濫する確率に等しい

氾濫シナリオ	シナリオ確率
1	Scenario probability <sub>1</sub>
2	Scenario probability <sub>2</sub>
3	Scenario probability <sub>3</sub>
組み合わせ	氾濫確率

## ＜リスクの算定＞

氾濫シナリオごとの確率と被害を基に、経済的被害および死者数の期待値を算定

リスク算定までの流れ (参考資料※1※2をもとに作成)

出典: ※1 VNK2 project office, Flood in Netherlands (VNK2): The method in brief, 2012.7, p12-13 (consequence), p14-16&19-20 (probability), <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/>  
※2 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) Floris study - Full report, 2005.11 <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715>

# Floris2で行われたリスク算定の流れ(詳細)

## <リスク算定(Risk Calculation)>

期待値は、考えられる全被害の期待値の合計

シナリオの確率と各シナリオの推定被害から、社会的リスク(FNカーブ)、経済的被害曲線(FSカーブ)を作成でき、地域の個人リスク(LIR)、避難なしの地域の個人リスクを算定

氾濫シナリオ	シナリオ確率 × 被害	シナリオ確率 × 死者数
1	Scenario probability <sub>1</sub> × E <sub>1</sub>	Scenario probability <sub>1</sub> × N <sub>1</sub>
2	Scenario probability <sub>2</sub> × E <sub>2</sub>	Scenario probability <sub>2</sub> × N <sub>2</sub>
3	Scenario probability <sub>3</sub> × E <sub>3</sub>	Scenario probability <sub>3</sub> × N <sub>3</sub>
合計	被害の期待値 = 年間リスク	死者数の期待値 = 年間リスク

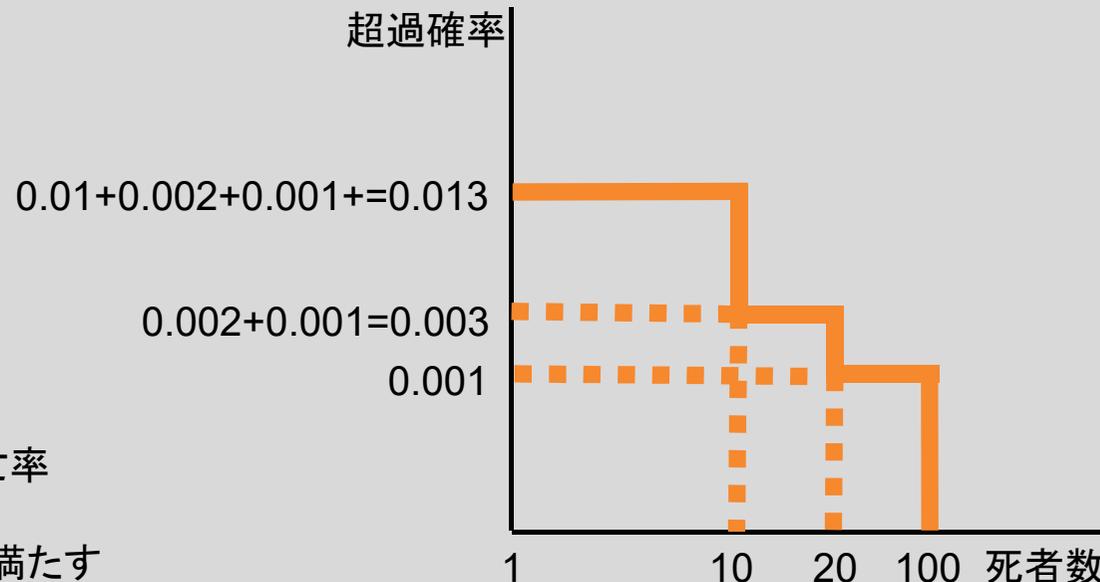
例) 社会リスク(FNカーブ)

シナリオ	シナリオ確率 × 死者数
1	0.01 × 10 = 0.1
2	0.002 × 20 = 0.04
3	0.001 × 100 = 0.1

死者数の年間リスク  $0.1 + 0.04 + 0.1 = 0.24/\text{年}$

死者数の年間リスク ÷ 堤防リング内人口 = 年間死亡率

↓  
目標値  $10^{-5}$  を満たす



リスク算定の流れ(参考資料※1※2をもとに作成)

出典: ※1 VNK2 project office, Flood in Netherlands (VNK2): The method in brief, 2012.7, p12-13 (consequence), p16-17 (risk)

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/>

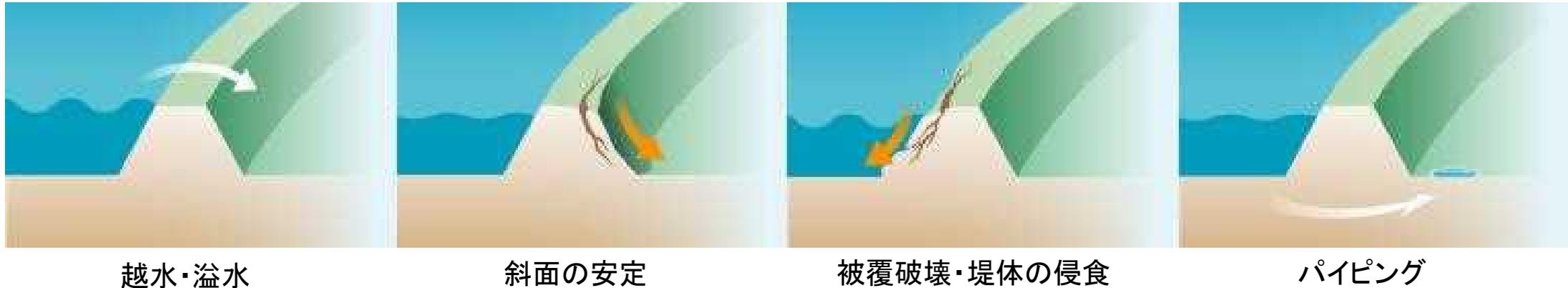
※2 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) Floris study - Full report, 2005.11

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715>

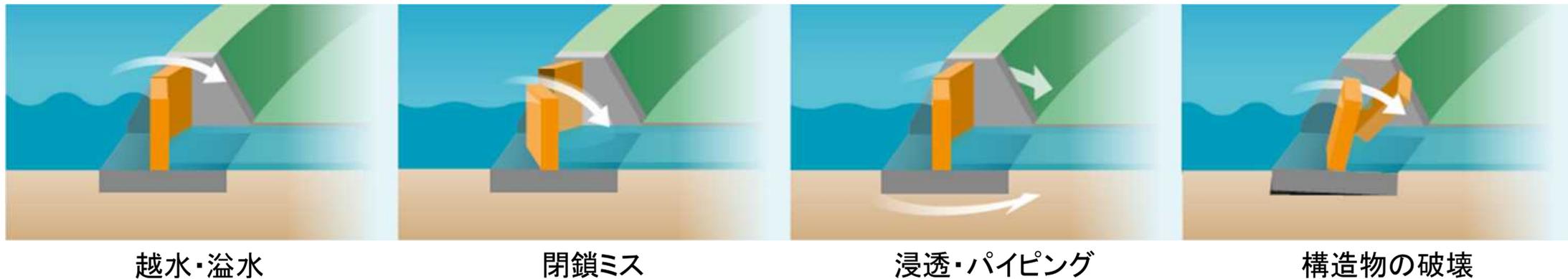
# 【氾濫確率の算定】堤防の決壊メカニズム

- Florisプロジェクトでは堤防の決壊メカニズムは、越水・越波、斜面の安定、被覆破壊と堤体の侵食、パイピングの4つの決壊メカニズムが考慮されている。
- 水理構造物の決壊メカニズムは、越水・溢水、閉鎖ミス、浸透・パイピング、構造物の破壊などの決壊メカニズムが考慮されている。砂丘の決壊メカニズムは、砂丘の侵食が考慮されている。<sup>※1※2</sup>

Florisで考慮された堤防決壊メカニズム<sup>※3</sup>



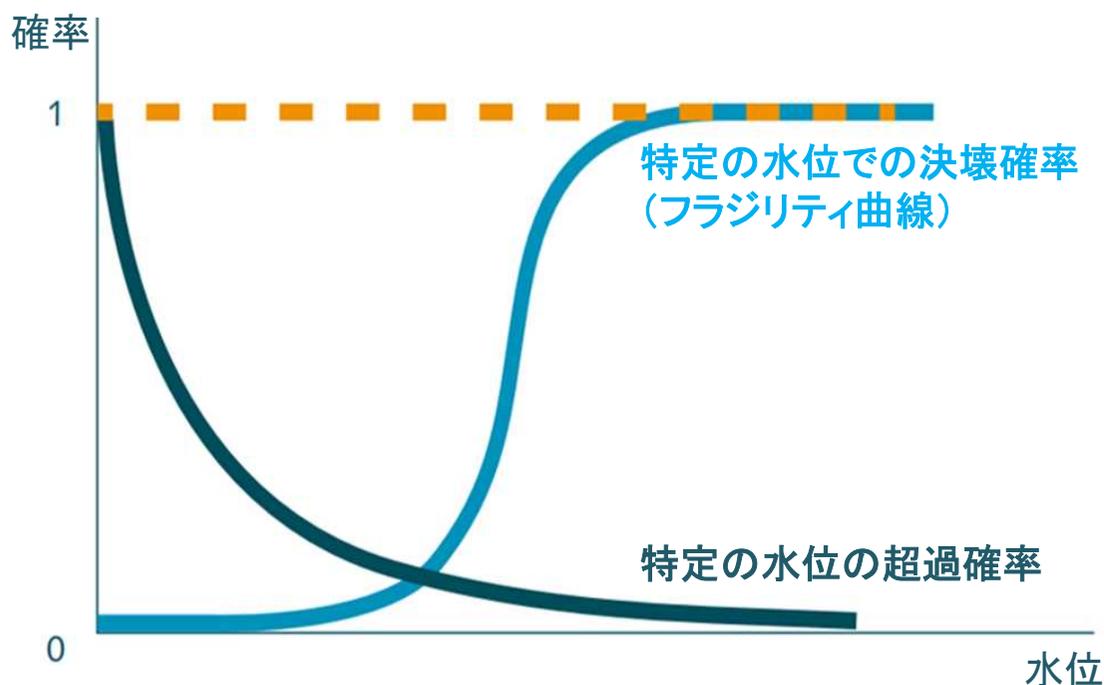
Florisで考慮された水理構造物の決壊メカニズム<sup>※3</sup>



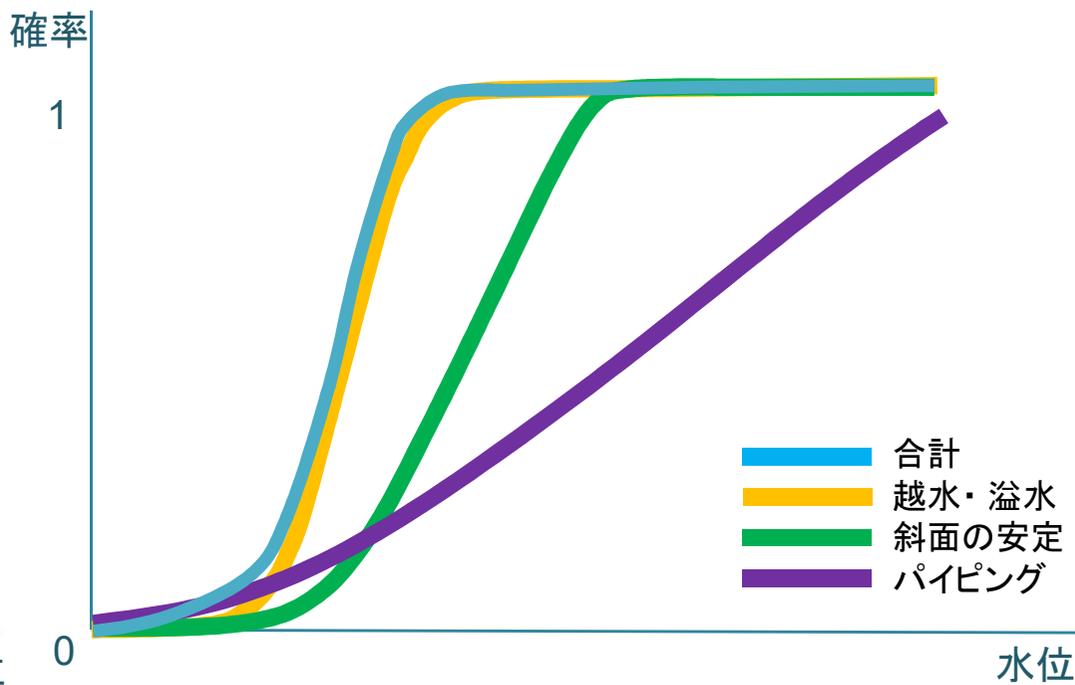
出典: ※1 Elisabet de Boer, Comparison of Reliability Methods for Flood Defence Systems, 2007.6,  
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A18c44a40-5de1-42d0-bb03-e96a5a903250>  
※2 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) – Full report, 2005.11,  
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:60751ba9-2271-404a-8fdd-518cd7af0715?collection=research>  
※3 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](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Eindrapport%20Veiligheid%20Nederland%20in%20Kaart_tcm21-63921.pdf)

# 【氾濫確率の算定】堤防のフラジリティ曲線

- 氾濫確率は、特定の水位の超過確率に、それらの水位での決壊確率を乗じた積である。※1※2
- 特定の水位での決壊確率は、フラジリティ曲線(Fragility Curve, 脆弱性を示す)で表現され、決壊メカニズムや強度特性によって異なる。全ての決壊メカニズムのフラジリティ曲線を組み合わせる(合計する)ことで、堤防のフラジリティ曲線が得られる。※3



水位分布とフラジリティ曲線に基いた決壊確率計算の概略  
(参考資料※3を一部編集)

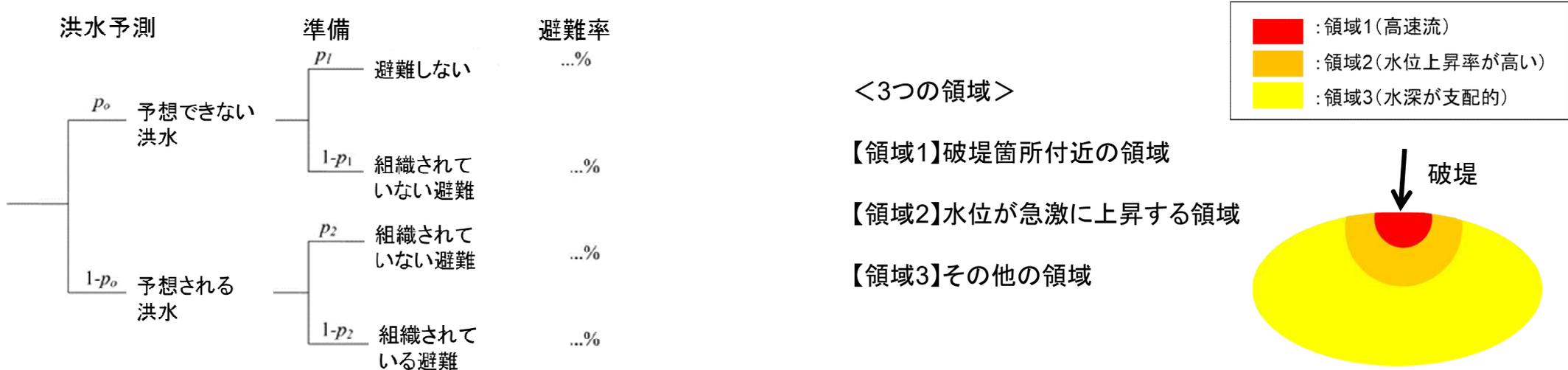


フラジリティ曲線の例(参考資料※3をもとに作成)

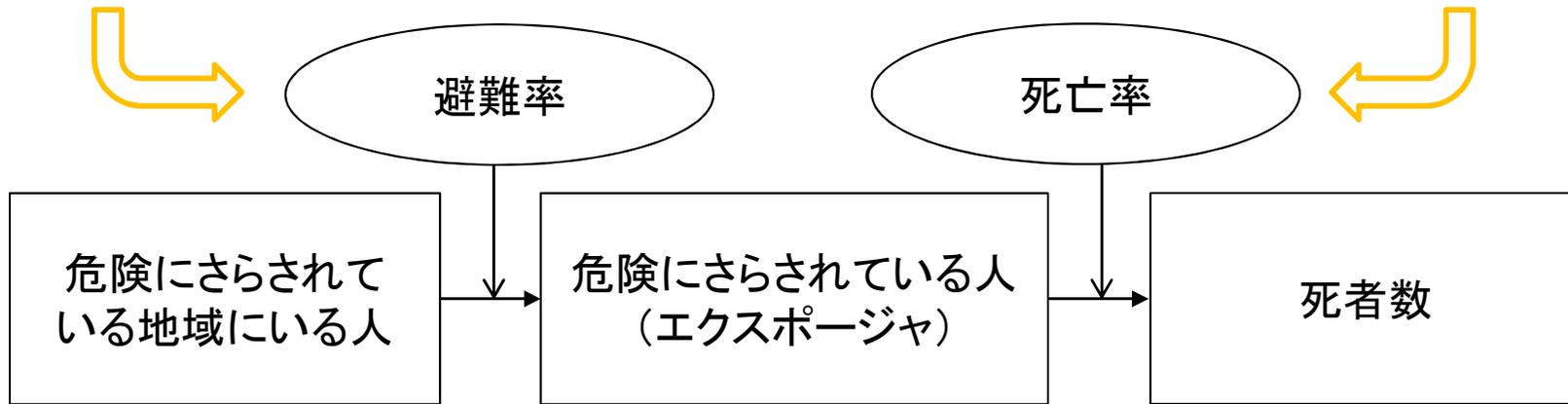
出典: ※1 VNK2 project office, Flood in Netherlands (VNK2) : The method in brief, 2012.7, p32, <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/>  
 ※2 2019/6/24 HKVコンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
 ※3 ENW(expertisenetwerk waterveiligheid), Fundamentals of Flood Protection, 2017, p88, <http://publicaties.minienm.nl/documenten/fundamentals-of-flood-protection>

# 【被害の算定】想定死者数の算定方法

■ 氾濫による想定死者数は、定量的な氾濫リスク分析により算出できる。特定の堤防リング内で氾濫が発生した場合の死亡者数は、氾濫の影響人口と避難率、被災時の死亡率によって決定される。



イベントツリー分析: 避難率の推定



氾濫リスク分析: 人命喪失の定量化※

出典: ※ R.B.Jongejan et al., The potential use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 1):Basic principles, 2009, pp2093-94

# 【被害の算定】想定死者数の算定方法

- 氾濫による死亡率は、以下の3つの領域に分けて算定する。氾濫特性を関連付け、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により検証されている。

<3つの領域>※1

【領域1】破堤箇所付近：高速流を特徴とする領域。この領域での死亡率はほとんど1。

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

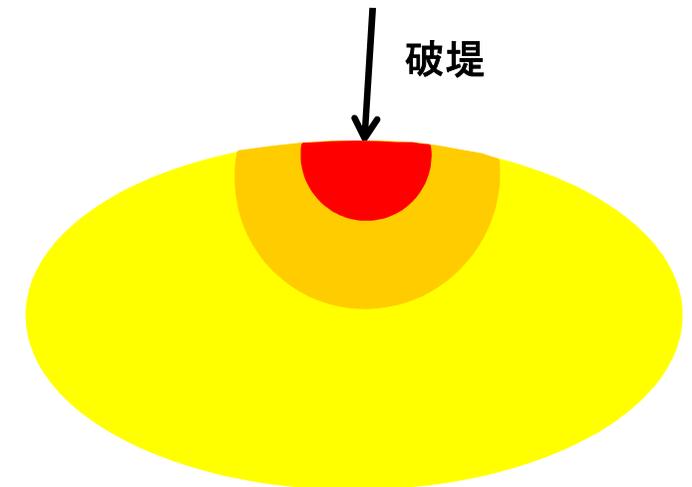
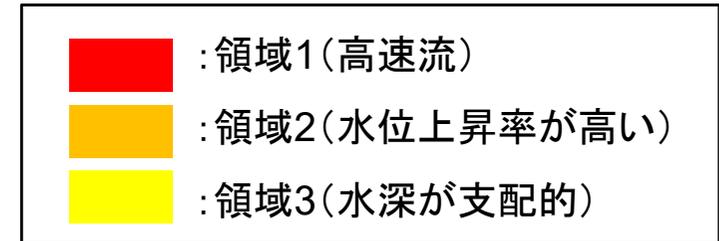
$h$  = 浸水深さ(m)、 $v$  = 流速(m/s)

【領域2】水位が急激に上昇する領域：水位の高い上昇率を特徴とする領域。安全に避難することが難しい。

$$w \geq 0.5m/hr$$

$w$  = 上昇率(m/hr)

【領域3】その他の領域：流速、水位の上昇率、浸水深さが相対的に低い領域。要配慮者 (Vulnerable individuals) は、溺死や低体温症による死亡の可能性はある。



領域イメージ図  
(参考資料※2をもとに作成)

出典： ※1 R.B.Jongejan et al., The potential use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 1): Basic principles, 2009, pp2093-94

※2 S.N.Jonkman, Loss of life estimation in flood risk assessment: Theory and applications, 2007, pp252, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aabc4fb945-55ef-4079-a606-ac4fa8009426>

# 【被害の算定】想定死者数の算定方法

- 氾濫による死亡率は、以下の3つの領域に分けて算定する。氾濫特性を関連付け、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により検証されている。

<3つの領域>

【領域1】破堤箇所付近

$$F_D(h) = 1$$

$F_D$  = 氾濫による死亡率

【領域2】水位が急激に上昇(0.5m/hr)する領域

$$F_D(h) = \Phi\left(\frac{\ln(h)-\mu}{\sigma}\right) \text{ なお、} \mu = 1.46, \sigma = 0.28$$

$F_D$  = 氾濫による死亡率、 $h$  = 浸水深さ(m)

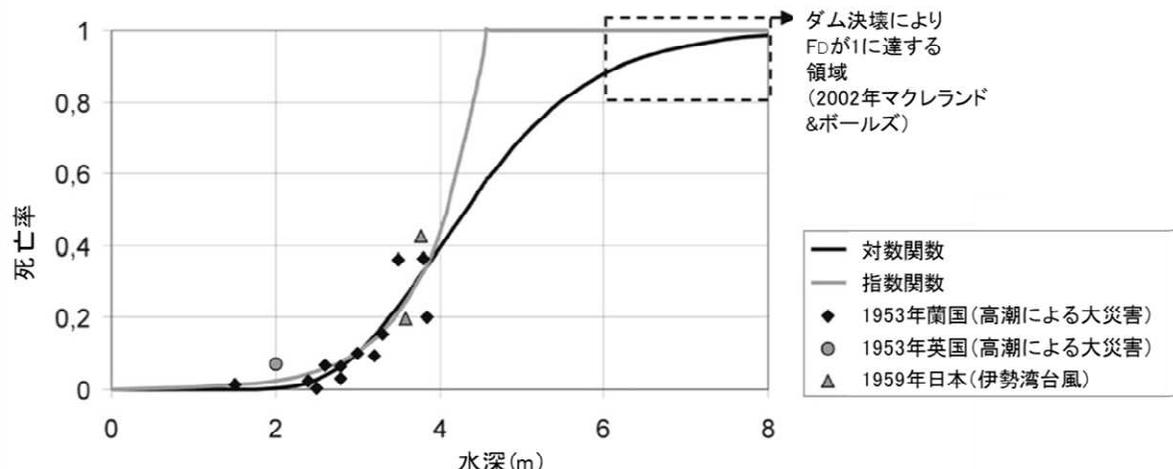
【領域3】その他の領域

$$F_D(h) = \Phi\left(\frac{\ln(h)-\mu}{\sigma}\right) \text{ なお、} \mu = 7.6, \sigma = 2.75$$

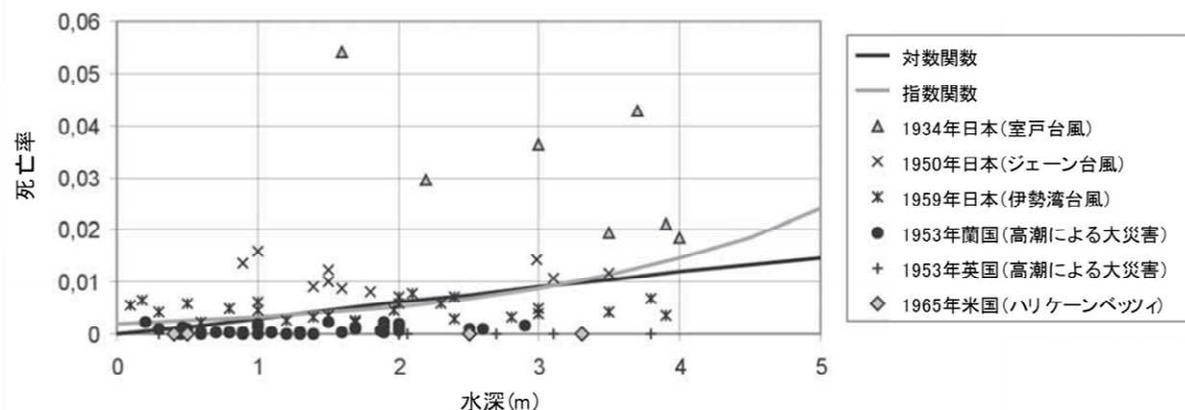
$F_D$  = 氾濫による死亡率、 $h$  = 浸水深さ(m)

領域3においては、データにばらつきがある。

1934年日本で発生した室戸台風では、特に高い死亡率を示す。



領域2: 水位が急激に上昇(0.5m/hr)する領域での死亡率関数 (参考資料※を一部編集)



領域3: その他の領域での死亡率関数(参考資料※を一部編集)

# 【被害の算定】避難の考え方

- Floris2では、予防的避難 (preventive evacuation) の効果を考慮している。予防的避難は4つのシナリオ (洪水が予測されるか、水平避難が組織的に行われるか) に分類される。※1
- 予防的避難は低地での交通渋滞の結果として多くの死者数を出す可能性がある。Floris2では、避難によって死者数が減少すると想定している。つまり、この場合には避難しない場合が最悪なシナリオになる。※1

## アルブラッセルワールト・ファイフヘーレンランデンでの予防的避難※2

		避難率	条件付き	
予期せぬ洪水	避難しない	0.00	0.40	} 決壊箇所の水理条件として 洪水と高潮両方の影響を受ける区間
	組織化されていない避難	0.03	0.44	
予想される洪水	組織化されていない避難	0.59	0.12	
	組織化された避難	0.76	0.04	
-----				
予期せぬ洪水	避難しない	0.00	0.10	} 決壊箇所の水理条件として 洪水が支配的な区間
	組織化されていない避難	0.59	0.04	
予想される洪水	組織化されていない避難	0.80	0.26	
	組織化された避難	0.89	0.60	

<参考> 条件付き確率: 氾濫中に人口の一部が避難することを含む避難率  
 組織化された避難: リードタイムが十分にある場合の避難  
 組織化されない避難: リードタイムが少なく混沌とした避難

出典: ※1 VNK2 project office, Flood in Netherlands (VNK2): The method in brief, 2012.7, p23-24,

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/>

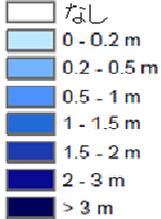
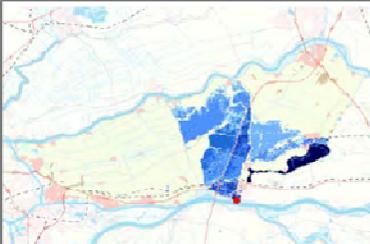
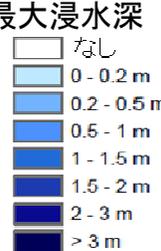
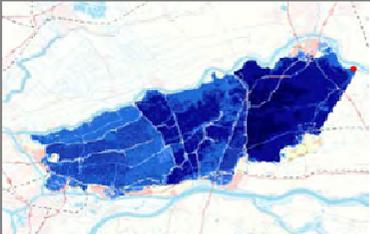
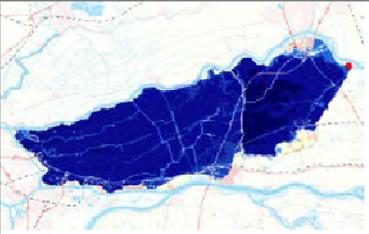
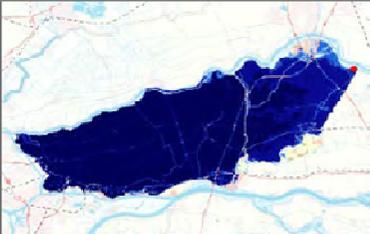
※2 drs. R. Vergouwe, ir. M.C.J. van den Berg, ir. P. van der Scheer, Veiligheid Nederland in Kaart: VNK2 Overstromingsrisico Dijkkring 16

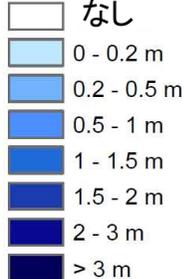
Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden, 2014.5, <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/dijkkringrapporten/dijkkringrapporten/fase-2/16-alblasserwaard/>

# 【被害の算定】経済的被害と死者数の算定

- Floris2では堤防区間ごとに氾濫計算を行い、経済的被害および死者数を算定している。※1
- 死者数の最小値は組織化された避難を伴う場合、最大値は避難しない場合を示す。

被害算定結果(アルブラッセルワールト・ファイフヘーレンランデンの例)※2

堤防区間1	TP-1D	TP	TP+1D
最大浸水深 			
経済的被害[M€]	1.020	1.575	1.930
死者数[人]	10-100	15-155	20-190
堤防区間16	TP-1D	TP	TP+1D
最大浸水深 			
経済的被害[M€]	4.910	8.710	13.665
死者数[人]	55-495	115-1.060	180-1.625

最大浸水シナリオ (TP+1D)	
最大浸水深 	
経済的被害[M€]	21.375
死者数[人]	2.255-20.205

→最大浸水シナリオは破堤箇所が3箇所ある場合

出典: ※1 VNK2 project office, Flood in Netherlands (VNK2) : The method in brief, 2012.7,

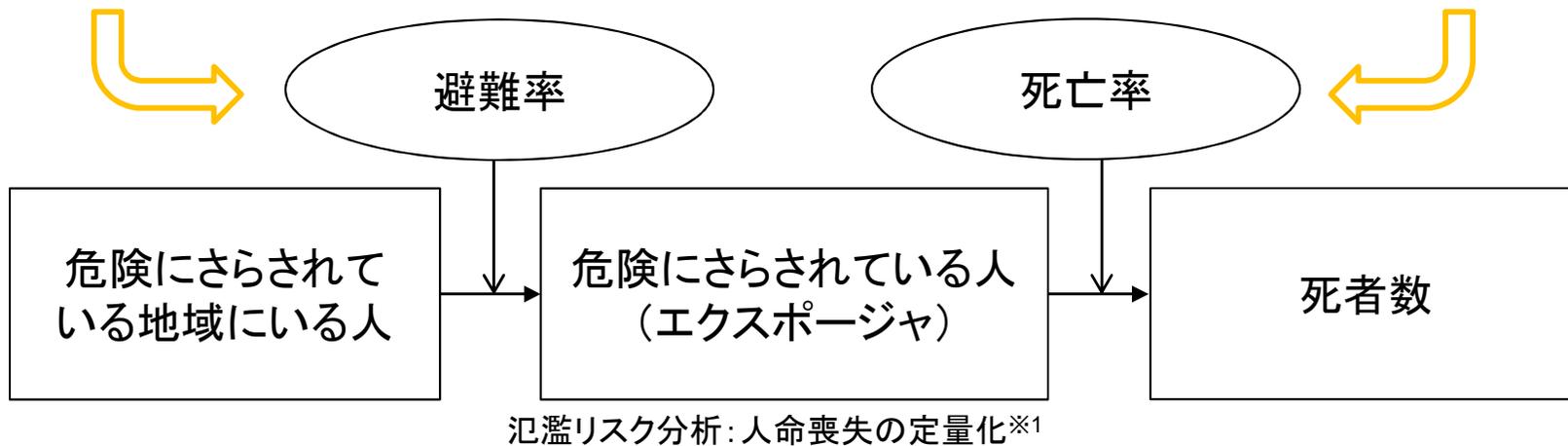
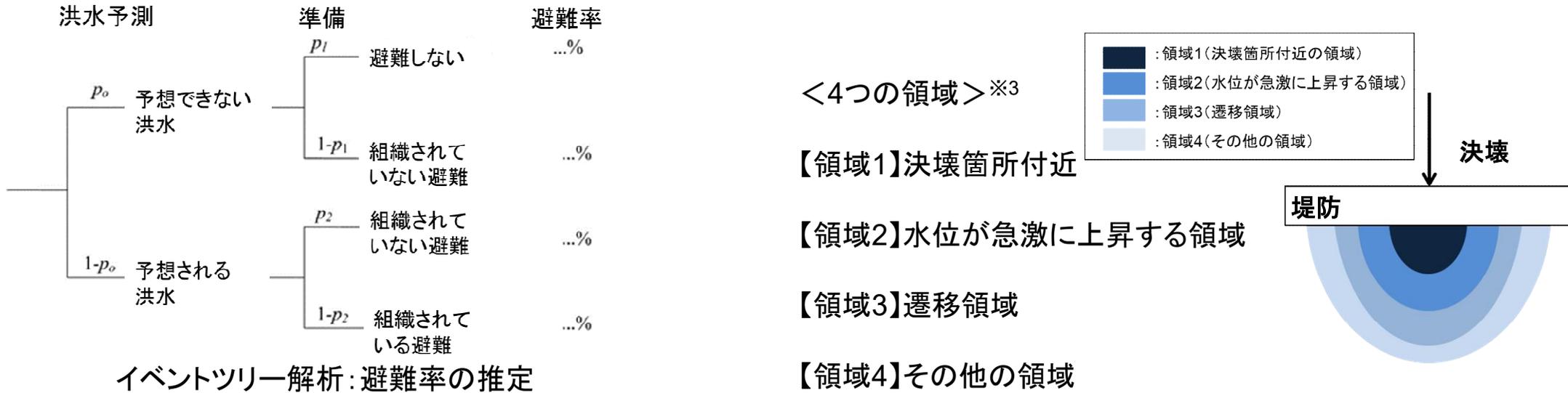
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/>

※2 drs. R. Vergouwe, ir. M.C.J. van den Berg, ir. P. van der Scheer, Veiligheid Nederland in Kaart: VNK2 Overstromingsrisico Dijkkring 16

Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden, 2014.5, <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/dijkringrapporten/dijkringrapporten/fase-2/16-alblasserwaard/>

# 【最新の研究】想定死者数の算定方法

- オランダの氾濫による死者数推定方法は、氾濫リスク分析から算出する。特定の地域で氾濫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※2
- 死亡率は4つの領域で死亡率を算定する方法(2009年Maaskantら※3)が研究されている。※2



出典: ※1 R.B.Jongejan et al., The potential use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 1): Basic principles, 2009, pp2093-94

※2 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

※3 B.Maaskant et al., Analyse slachtofferaantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties, 2009.1, pp4-43~4-44.

# 【最新の研究】想定死者数の算定方法

- 氾濫による死亡率は、以下の4つの領域に分けて算定する。氾濫特性を関連付け、死亡率関数から推定する。※1
- 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。※2

<4つの領域>※1

【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)】

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

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

$$\mu_N = 1.46, \quad \sigma_N = 0.28$$

【領域3(遷移領域)】

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

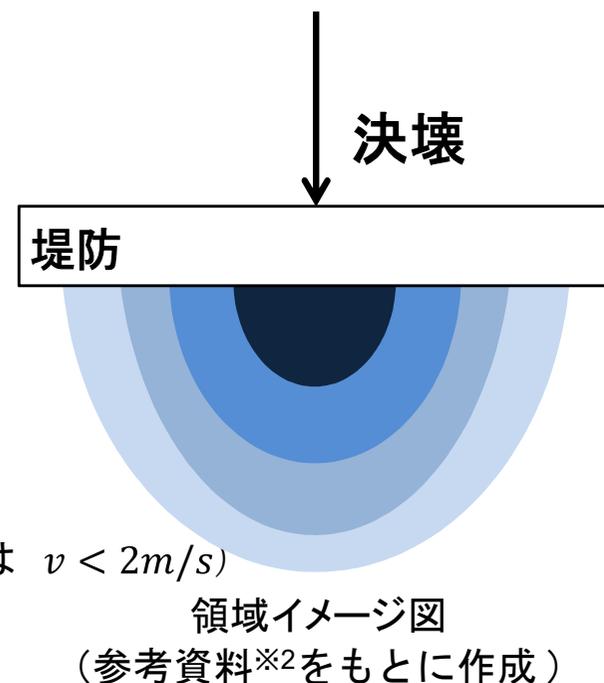
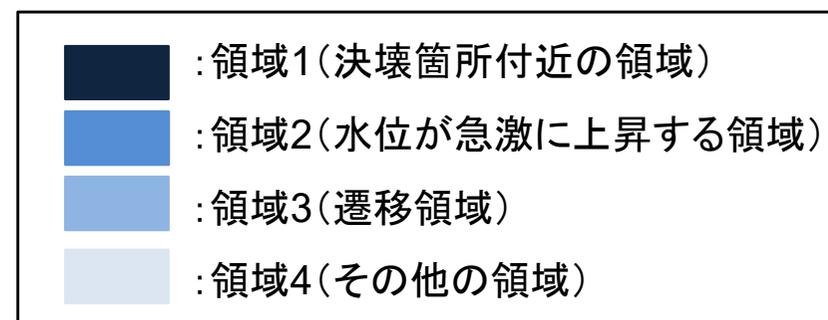
$$F_D = F_{D,Remain} + (w - 0.5) \frac{F_{D,Rise} - F_{D,Remain}}{3.5}$$

【領域4(その他の領域)】

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

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

$$\mu_N = 7.60, \quad \sigma_N = 2.75$$

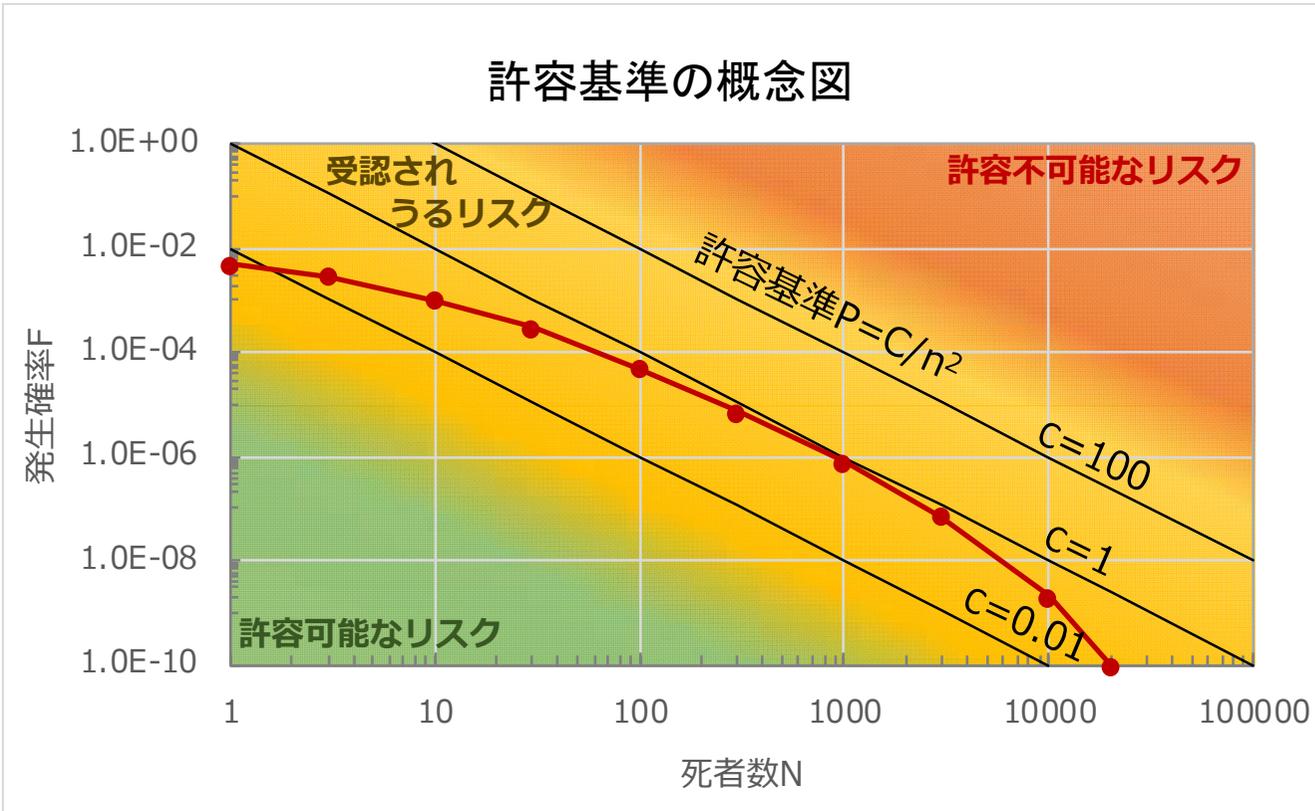


出典: ※1 B.Maaskant et al., Analyse slachtofferaantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties, 2009.1, pp4-43~4-44.  
 ※2 S.N.Jonkman, Loss of life estimation in flood risk assessment: Theory and applications, 2007, pp252,  
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aabc4fb945-55ef-4079-a606-ac4fa8009426>

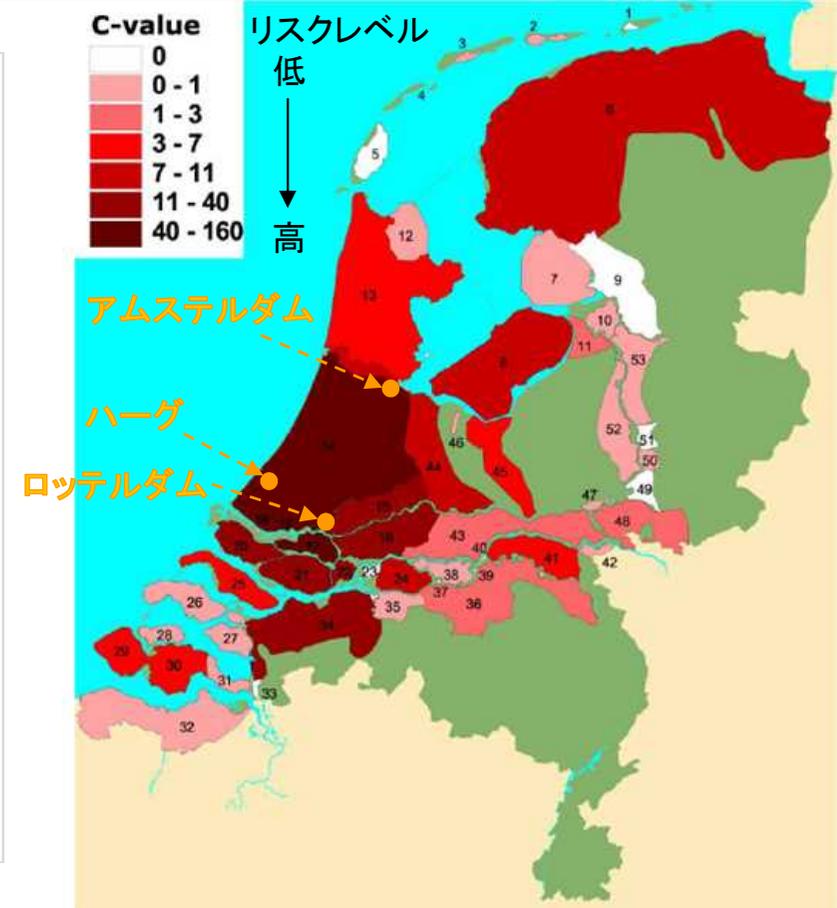
# 社会リスクと許容基準

- オランダでは、氾濫による死亡リスクに対する許容基準として、 $n^{-2}$  に比例する直線を堤防リングごとに設定している。
- 堤防リングごとに、地域の状況や政策係数などを考慮して係数Cが決定される。オランダの事例( $n^{-2}$  に比例する直線)では、死者数1000~10000程度の事象が支配的となることが多い。
- F-Nカーブの下側の面積を積分すると、年間あたりの死亡リスクとなる。

許容基準の概念図



(参考資料※1※2※3をもとに作成)

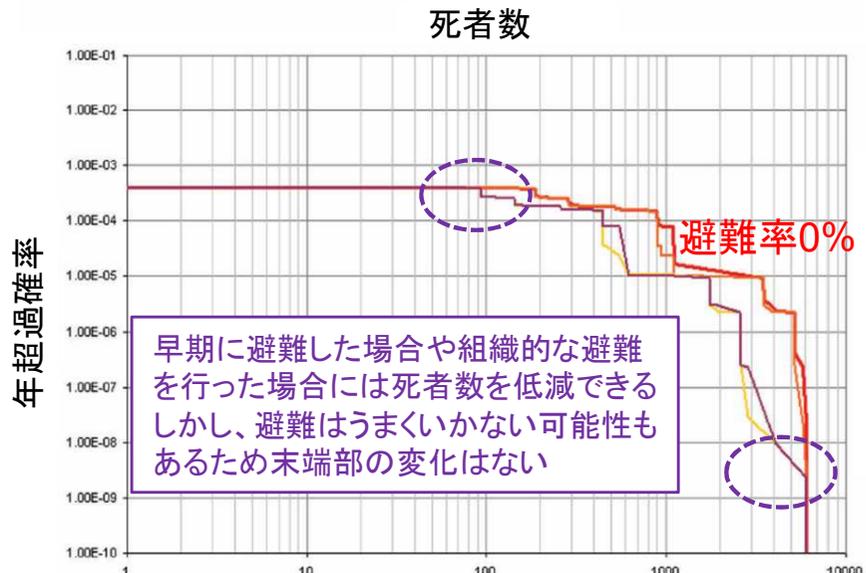
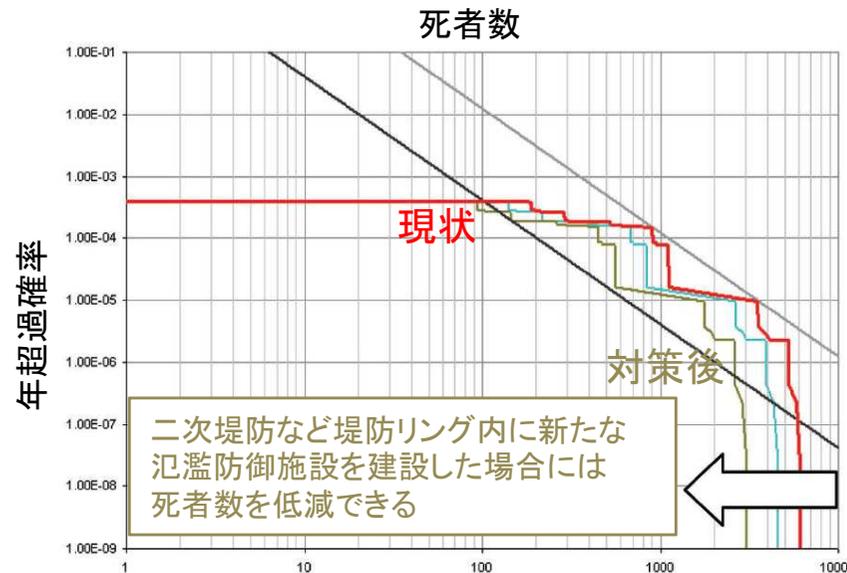
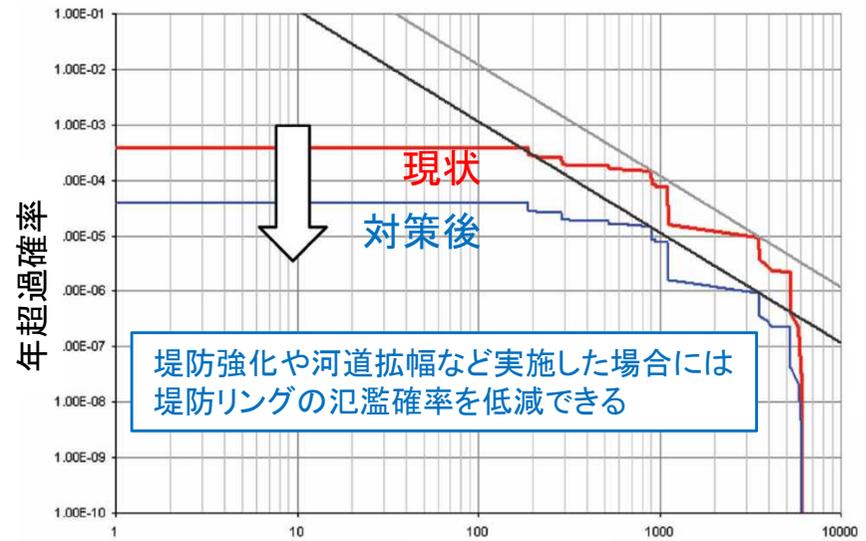
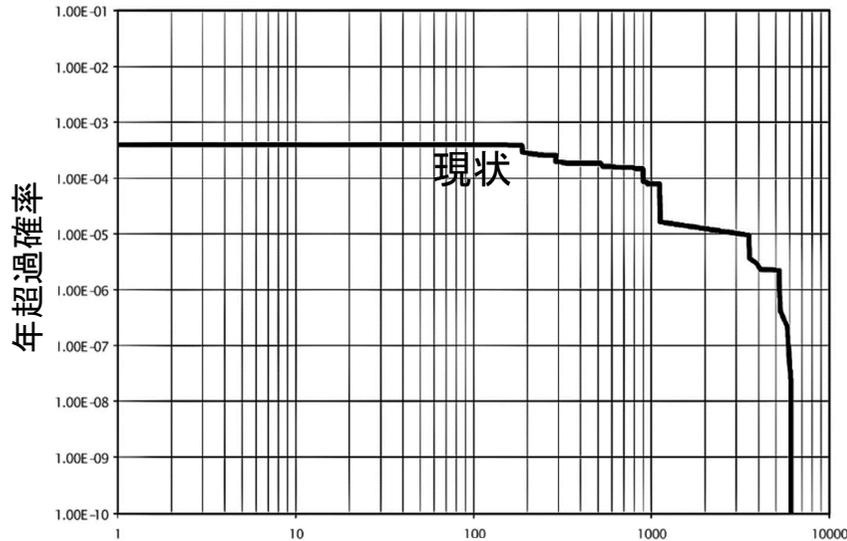


堤防リングごとに決定された係数C※4

- 出典: ※1 Health and Safety Executive(HSE), Risk management: Reducing risks protecting people, HSE's decision-making process, 2001, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.pdf>
- ※2 Health and Safety Executive(HSE), Societal Risk: Initial briefing to Societal Risk Technical Advisory Group, 2009, <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr703.pdf>
- ※3 R.B.Jongejan et al., The potential use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 1): Basic principles, 2009
- ※4 B. Maaskant et al., The use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 2): estimation of the individual and societal risk for the dike rings in the Netherlands

# 社会的リスク

■ 社会リスクは、多くの死者数が発生する確率を示すものである。一般に、FNカーブ(FN-curve)で表され、死者数の確率分布を示すことで社会的観点から死亡リスクを評価できる。



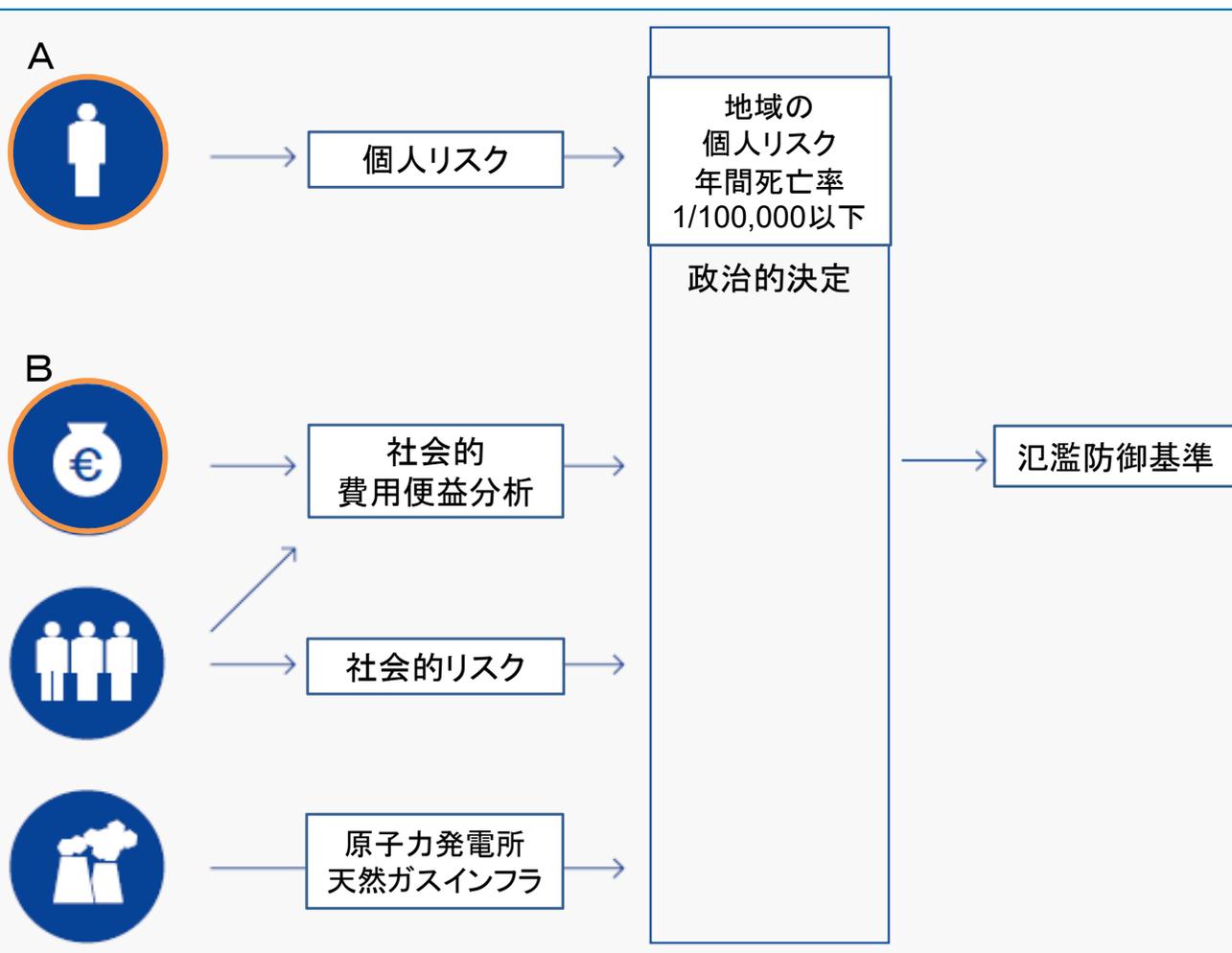
FNカーブの概要※

# 汜濫防御基準の決定方法

# 氾濫防御基準の決定方法

■ 氾濫防御基準は大きく2つの原則に基づいて決定された。※1※2

- A) 誰もが同一の最低防御レベルを満たす: 地域の個人リスク(Local Individual Risk, LIR)のような基本的防御レベル
- B) 社会リスクおよび社会的費用便益分析(Societal Cost-Benefit Analysis, SCBA)に基づいて、氾濫被害が非常に大きな場合には氾濫の可能性(確率)を小さくすることが適切



氾濫防御基準決定の原則※1

A LIR:  $10^{-5}$ 以下  
 $LIR = \text{氾濫確率} \times \text{死亡率} \times (1 - \text{避難率})$

B 下記の場合には基準を引き上げる

- ・死者数が多い場合(6地域)
- ・費用便益分析によって便益を見込める場合(便益がある場合にはさらなる投資)

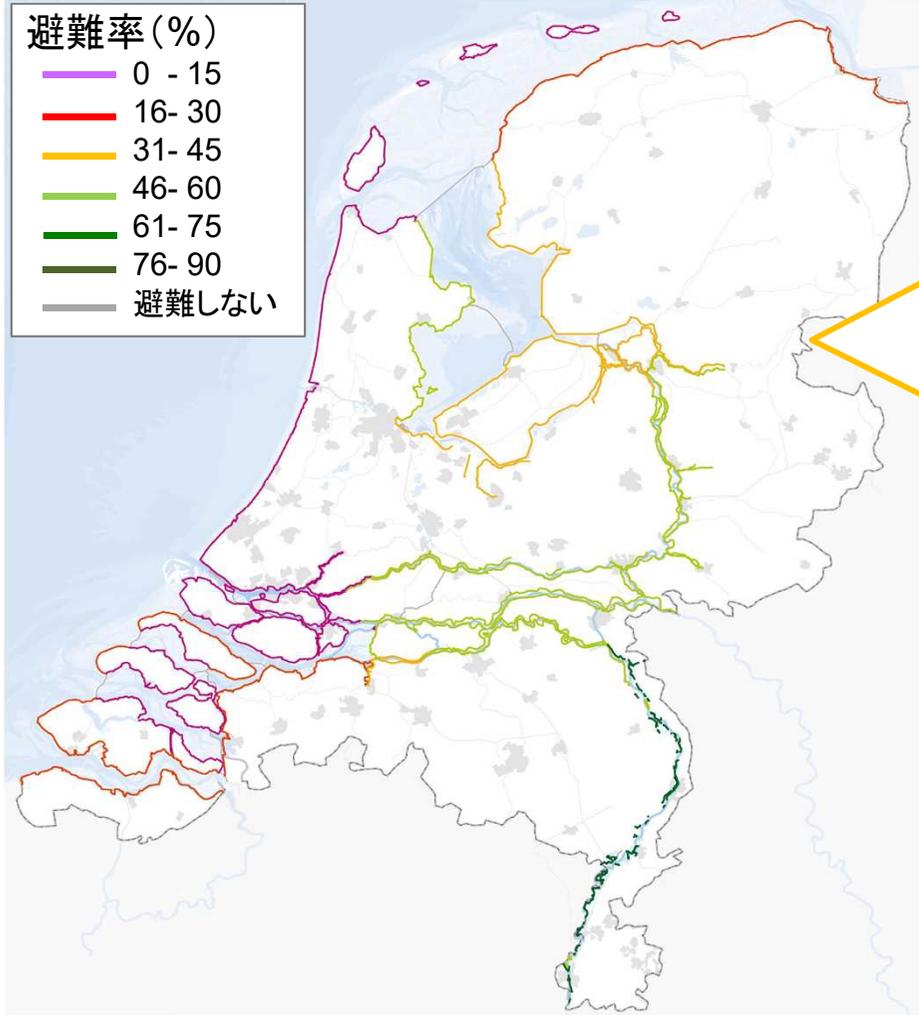
$10^{-5}$ は必ず守る最低限の安全レベル。

出典: ※1 ENW(expertisenetwerk waterveiligheid), Fundamentals of Flood Protection, 2017, <http://publicaties.minienm.nl/documenten/fundamentals-of-flood-protection>

※2 2019/6/25 公共事業局での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

# 氾濫防御基準の決定方法 避難率

- 避難率は、地域ごとに設定され、人口が集中する沿岸地域では低い値が設定された。避難率が高いと予想される地域では、それほど堤防を強化する必要はなくなる。避難率は現状のものを用いている。※1※2
- 2009年政府調査したが避難率(予測値)がFloris2で使用されており、2013年にさらに更新され、氾濫防御基準の設定(下図)※3に用いられた。※1



氾濫防御基準決定において想定した避難率※3

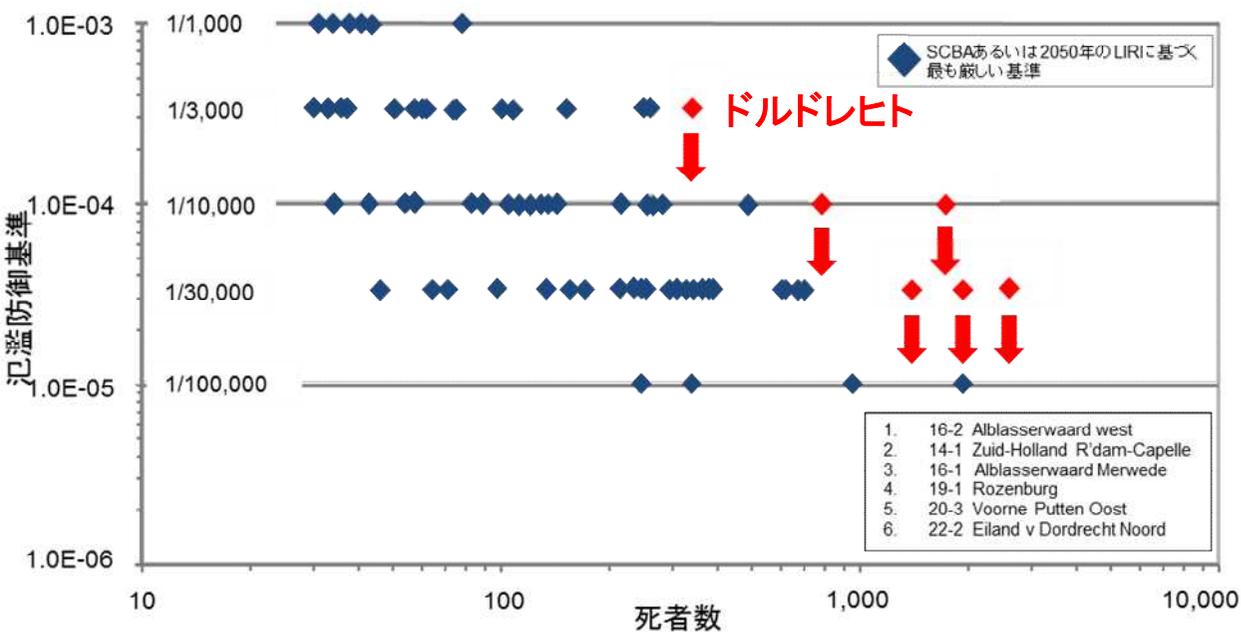
避難の定義；  
この避難は予防的な水平避難を示しており、浸水のないところにいけるかどうか。※2

現在、Bas Kolen(HKV)は垂直避難を死亡率に反映する(モデル化)研究、調査を行っている。  
ドルドレヒトで行われている取り組みは、このパイロット研究であり、垂直避難を考えた戦略によってどんな効果があるのかを調査している。※2

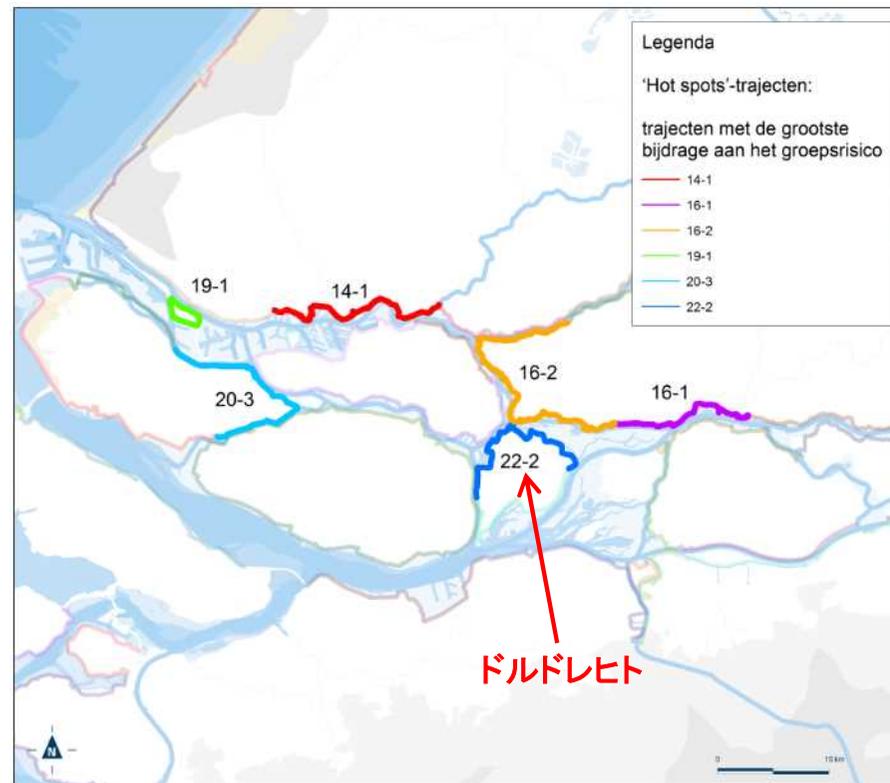
# 社会的リスクの高い地域への対処

■ オランダのドルドレヒト市などの社会的リスクの非常に高い6つの地域では、行政的な判断により氾濫防御基準を一段階高める措置を行っている。

氾濫防御基準に対する想定される死者数※



※潜在的に死傷者が多数発生する6つの地域は、氾濫防御基準を高めている。



氾濫防御基準を高めた6つの地域※

# 近年の治水対策と気候変動適応

# 欧米諸国における気候変動の検討経緯

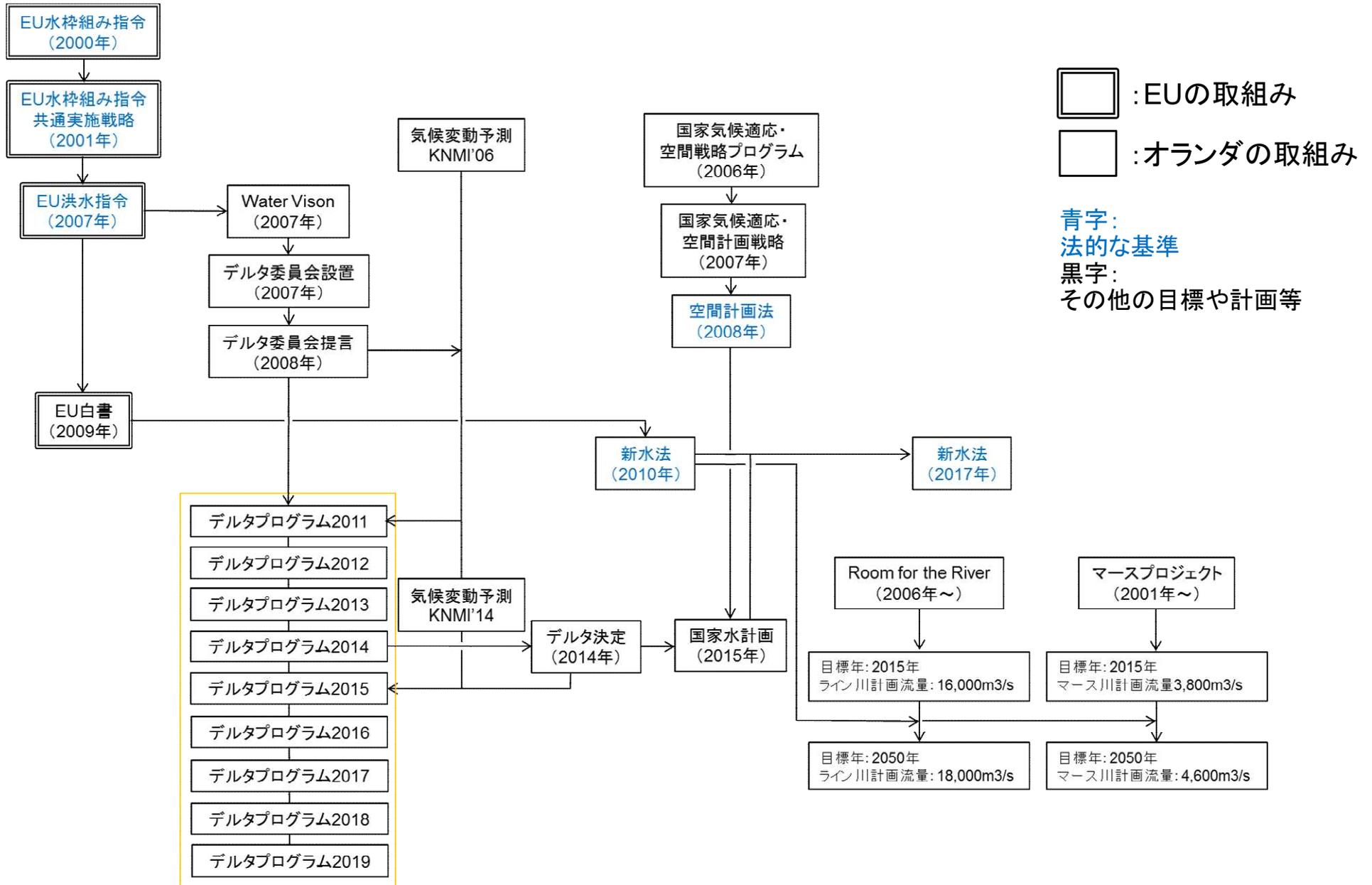
IPCC	EU	イギリス	オランダ	アメリカ
			<p>1953年高潮災害 死者1,800人以上、避難7,200人</p> <p>1958年～ デルタプラン(一連の高潮防御施設整備)</p>	
2001年 第3次評価報告書 TAR	<p>2000年 水枠組み指令</p> <p>2001年 水枠組み指令 共通実施戦略</p>		<p>1993年洪水 避難10,000人 1995年洪水 避難250,000人</p> <p>2001年 マースプロジェクト (マース川の計画流量引き上げ)</p>	
2007年 第4次評価報告書 AR4	2007年 洪水指令	<p>2002年 TE2100プロジェクト開始 流域洪水管理計画</p> <p>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 担当当局による経済評価の補足文書」</p> <p>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</p> <p>2008年気候変動法2008 「Future Water」 「2007年洪水から学ぶこと」</p>	<p>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</p> <p>2007年 国家気候適応・空間計画戦略</p>	2005年 ハリケーンカトリーナ 死者1,800人以上
2013年 第5次評価報告書 AR5	2009年 EU白書	<p>2009年 イギリス気候変動予測プロジェクト</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>2013年 国家適応プログラム(NAP)</p>	<p>2009年 新水法、国家水計画(2009-2015)</p> <p>2010年 新デルタ法 デルタプログラム開始</p> <p>2012年 新デルタ法発効</p> <p>2014年 デルタ決定(Delta Decisions)内閣決定</p> <p>2015年 国家水計画(2016-2021)決定</p> <p>2017年 新水法で氾濫防御基準を規定</p>	<p>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」</p> <p>2012年 ハリケーンサンディ 死者132人(米・カナダ)</p> <p>2013年 大統領気候行動計画 USACE海面上昇考慮手法技術基準</p> <p>2014年 全国気候変動影響調査</p> <p>2015年 気候変動影響を考慮した基準洪水水位の 設定に係る大統領令</p> <p>2017年 ハリケーンハービー 死者60人以上(米) 2017年 ハリケーンイルマ 死者129人(米・カリブ諸国) 2017年 ハリケーンマリア 死者2900人以上 (米・北米・プエルトリコ・中南米)</p>

青字: 法令・基準  
黒字: 計画・目標等  
茶字: 主な災害

IPCC及び欧米諸国における気候変動の検討経緯(参考資料※をもとに作成)

出典 ※ 国土交通省 国土技術政策総合研究所 国総研プロジェクト研究報告 第56号 第三部 気候変動影響に対する適応策に関する研究Ⅲ-1: 海外における適応策レビュー, 2017.4, pp150-151, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/kpr/prn0056pdf/kp005607.pdf> をもとに作成

# オランダにおける近年の気候変動検討経緯



オランダにおける気候変動の検討経緯(参考資料※1※2をもとに作成)

出典: ※1 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2014: Work on the delta, 2013.9, pp36, <https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2013/09/17/delta-programme-2014>  
 ※2 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部,海外事例 技術政策動向 米英オランダ気候変動適応策概要,2016.2,pp1-3, [http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/info\\_data/2013kaigaijirei/06gaiyou/130918gaiyou-netherlands.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/info_data/2013kaigaijirei/06gaiyou/130918gaiyou-netherlands.pdf)

# EU洪水指令とEU白書

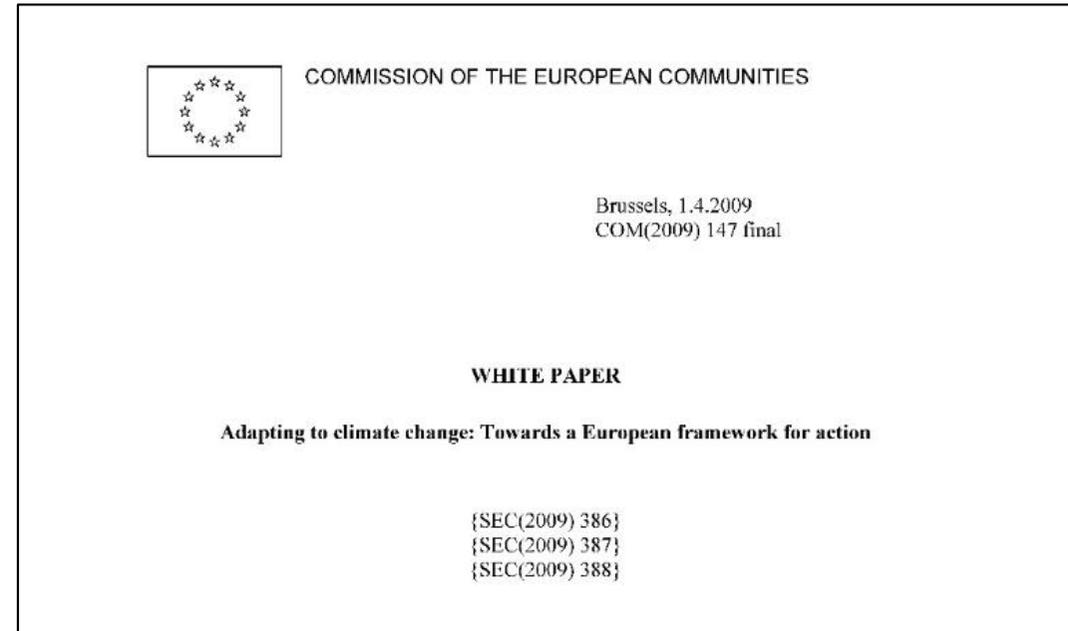
- 欧州では、EU洪水指令(2007)※1において、洪水ハザードマップと可能性のある負の結果を示した洪水リスクマップの作成を各国へ指示した。
- さらに、EU白書(2009)※2において、「将来の予測の不確実性にかかわらず純粋な社会的および/または経済的便益を生み出す後悔しない(no regret)適応策を優先するべきである。」と位置づけ、気候変動によるリスクの評価と適応策を具体的に展開している。

## EU洪水指令 (2007) ※1



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



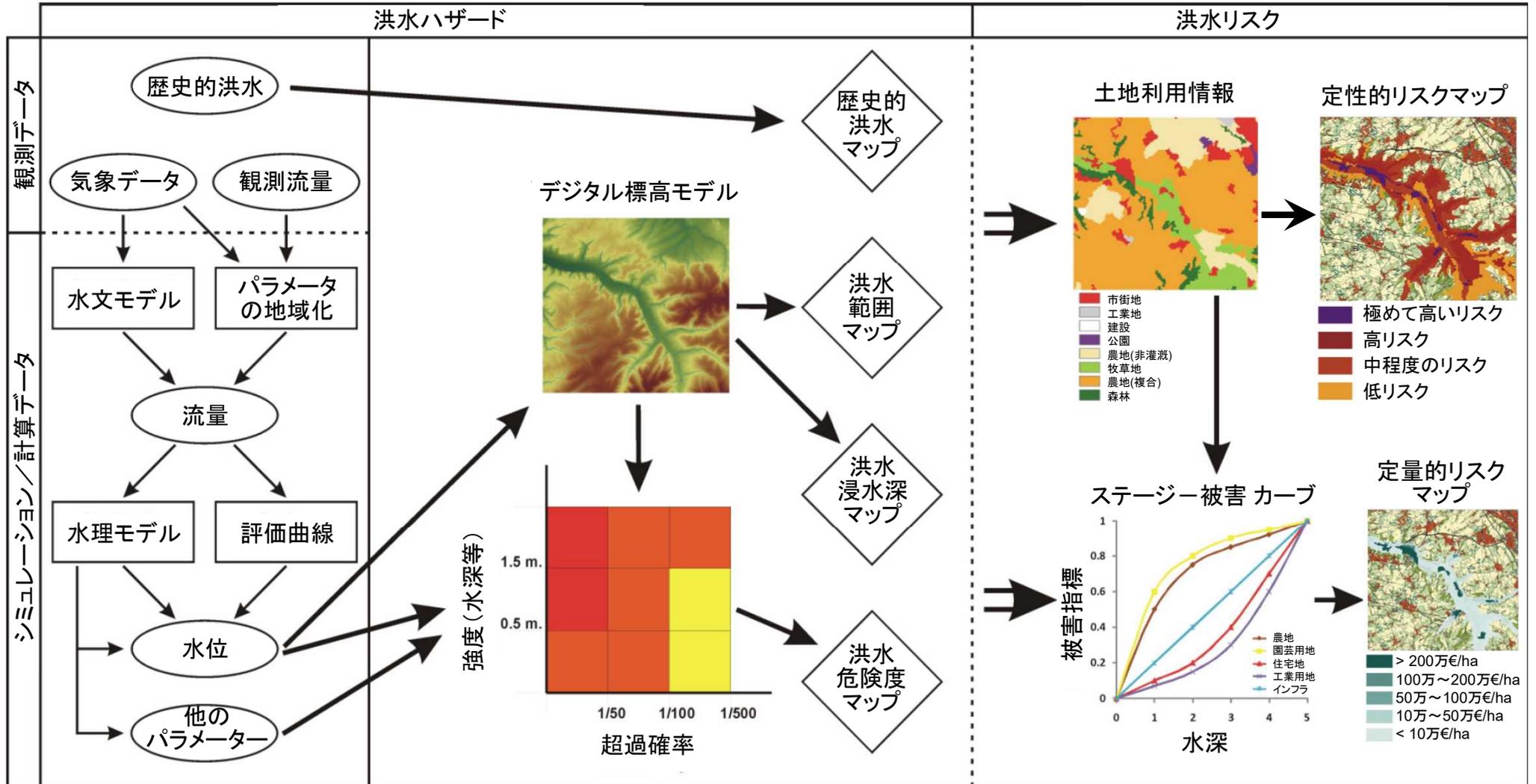
「将来の予測の不確実性にかかわらず純粋な社会的および/または経済的便益を生み出す後悔しない(no regret)適応策を優先するべきである。」と位置づけ、気候変動によるリスクの評価と適応策を具体的に展開している。

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。



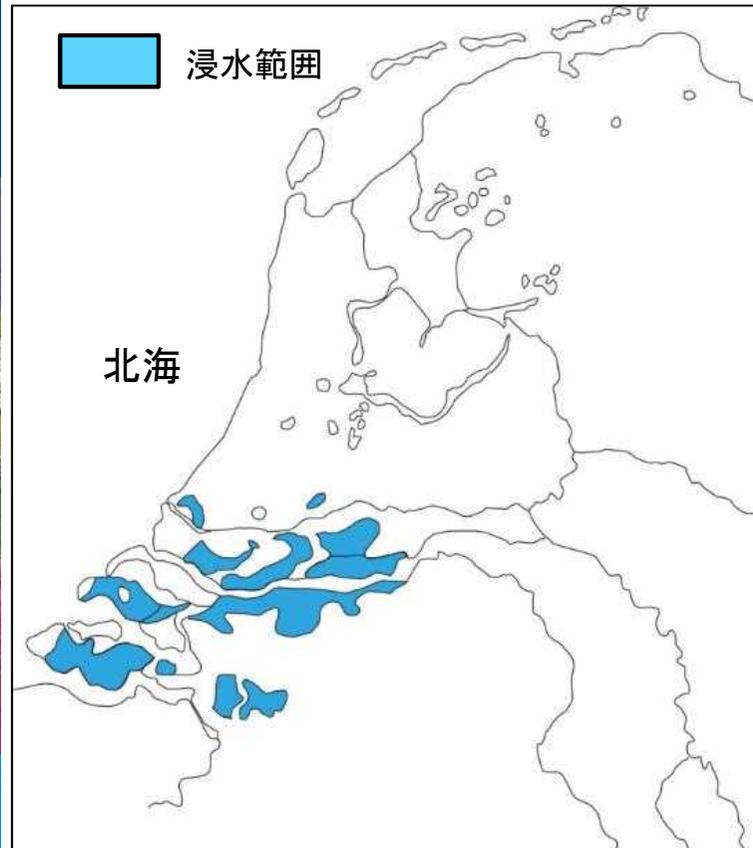
洪水ハザードマップと洪水リスクマップ(参考資料※一部編集)

# 1953年北海高潮による大災害

- 1953年北海高潮(North Sea flood of 1953)で、175,000haが浸水、4,500戸の家屋が損壊、1,800人が死亡、経済的被害は、当時の国内総生産の約10%程度の大規模なものになった。※1※2
- 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。※2



パンフレット※1



1953北海高潮災害氾濫区域図  
(参考資料※2をもとに作成)



決壊状況※3



浸水状況※3

- 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](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>

# 大規模プロジェクト デルタプラン

- 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6,500億円)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(参考資料※をもとに作成)

# 氾濫防御法による氾濫防御基準の法整備

- 1953年の北海高潮を契機として、オランダ政府は1996年に氾濫防御法 (Flood Protection ActあるいはFlood Safety Act) を採択し、法的に氾濫防御基準 (= 治水安全度、Legal flood protection standards) を設定した。 ※1※2
- 沿岸部・河川上流部・中間部と分けて設定された。沿岸部では最悪条件として1/10,000年確率潮位、河川上流部では1/3,333年確率流量、中間部では1/2,000～1/4,000の確率規模が段階的に設定された。オランダは、高い確率規模の下で国土を保護してきた。 ※3

## ＜氾濫防御基準の設定＞

### 河川上流部:

当初1/3,333年確率の流量確率を対象としていたが、長大な堤防が景観、自然、文化的・歴史的遺産などに与える影響が懸念され、1/1,250年確率に下げられた。

### 中間部:

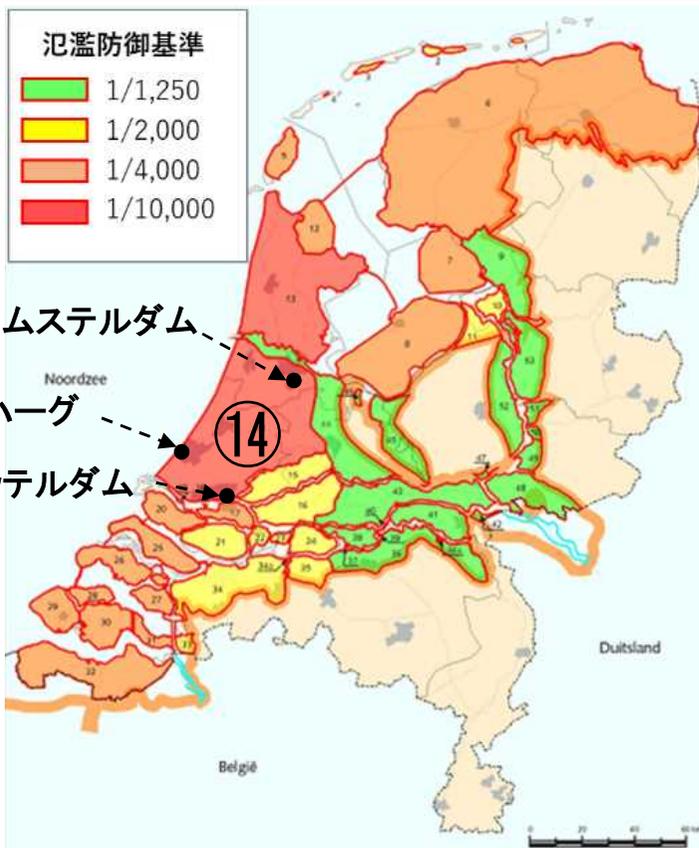
河川(洪水)と潮位の両方の影響を受けることから、中間的な防御レベルとして1/2,000～1/4,000年確率の各段階が設定された。

### 沿岸部:

1953年北海高潮における実績潮位に基づき、起こり得る最悪条件(もし満潮時に嵐が発生していたら)を加味して計画対象潮位を決定。年確率に直すと、1/10,000年確率。 ※5

※5 沿岸部の基準決定には、経済的価値と人口が最も多い堤防リングNo.14「中央ホラント (Central Holland)」の費用便益分析が行われ、投資費用と氾濫リスク低減のバランスを取って、氾濫防御基準が決定された。その他の沿岸部では投資費用は考慮されずに氾濫被害を算定し、No.14の堤防リングと比較することで氾濫防御基準を決定した。

## オランダは高い確率規模で国土を守ってきた



法的な氾濫防御基準 (参考資料※4をもとに一部編集)

出典: ※1 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナーin 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ オランダ公共事業局講演内容

※2 Harry De Looff, SAFETY ASSESSMENT OF FLOOD DEFENSES IN THE NETHERLANDS: ORGANIZATION, METHOD AND RESULTS, 2001.7

※3 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, pp203-208, [http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/river/autonomy\\_kasen\\_01.pdf](http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/river/autonomy_kasen_01.pdf)

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

※5 J.M.Kind, Economically efficient flood protection standards for the Netherlands, [https://www.deltares.nl/app/uploads/2014/12/kind2014\\_JFRM1.pdf](https://www.deltares.nl/app/uploads/2014/12/kind2014_JFRM1.pdf)

# 1993年および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120億円)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(480億円)以上となった。※2



1993年洪水 ライン川派ワール川状況※3



1995年洪水 ライン川派ワール川状況※4

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

※2 M.J. van Duin et al., 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

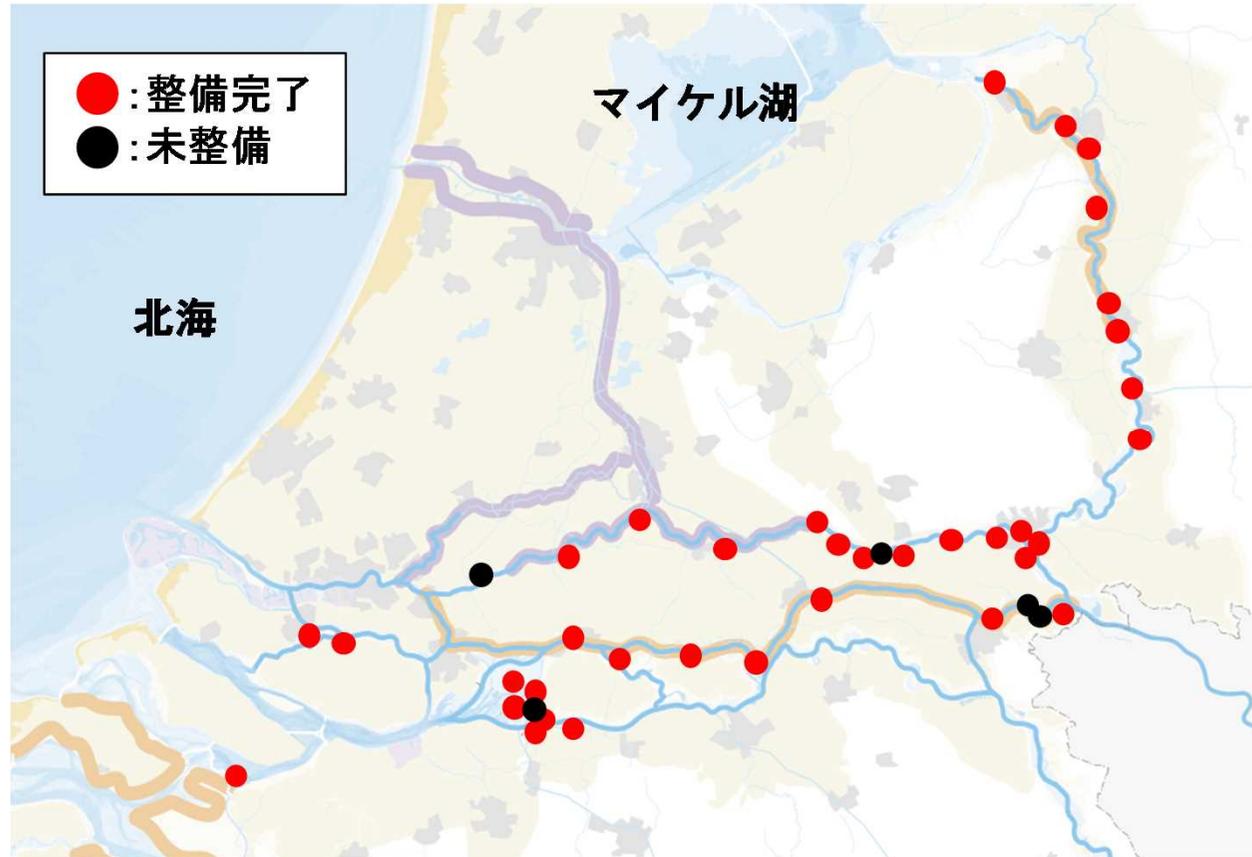
<http://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/images/0/09/DrukOpDijken1995.pdf>

※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](https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/Luchtfoto_rivier_de_Waal_hoogwater_1995_312766)

# 河川空間拡張プロジェクトRoom for the Riverの概要

- これまでは既存の堤防強化にのみ焦点を当ててきたが、1993年及び1995年洪水を受けて、政府は河川により多くの空間を与えるプロジェクトを開始した。\*1\*2
- 2006年、オランダ政府は河川空間拡張プロジェクトRoom for the Riverを承認し、翌年から作業が開始した。このプロジェクトの総費用は約23億ユーロ(約2,700億円)\*1であり、39の事業が行われた。
- オランダ政府が主体となって、州政府・水管理委員会・地方自治体と協力して進められた。



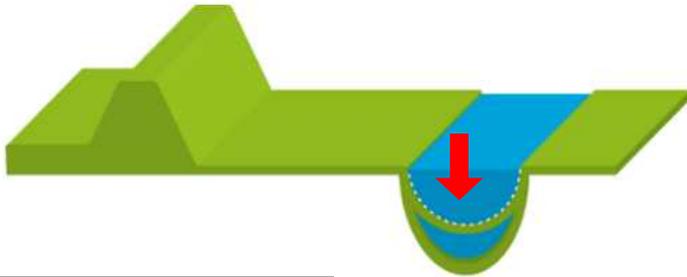
河川空間拡張プロジェクト整備状況(2016年4月時点、参考資料\*3\*4をもとに作成)

- 出典: \*1 European Environment Agency, Interview- The Dutch make room for the river, 2018.8, <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/interview-2014-the-dutch-make>
- \*2 Room for the River for a safer and more attractive river landscape, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>
- \*3 Rijkswaterstaat Room for the River department of communication, Room for the River for a safer and more attractive river landscape, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>
- \*4 Rijkswaterstaat Room for the River department of communication, Dutch Water Program Room for the River

# Room for the Riverで実施された河川整備内容

■ Room for the Riverでは、以下に示すような河川整備が行われた。

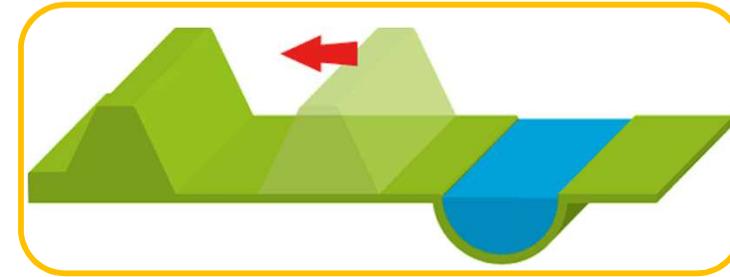
低水路河床掘削



貯水



引堤



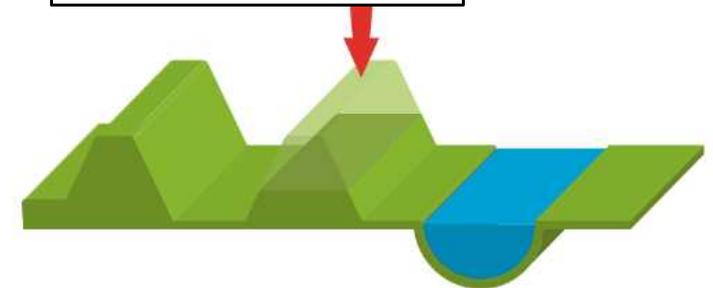
堤防の嵩上げ



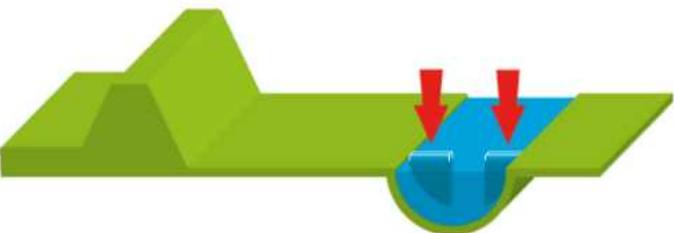
貯水



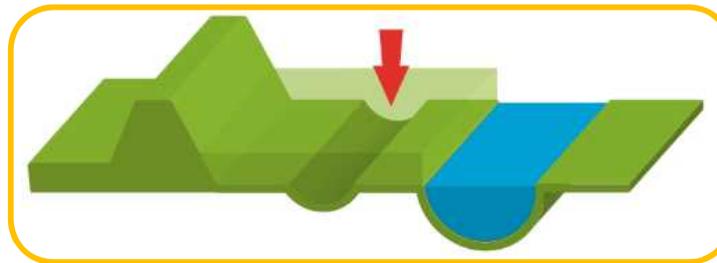
高水敷の切り下げ



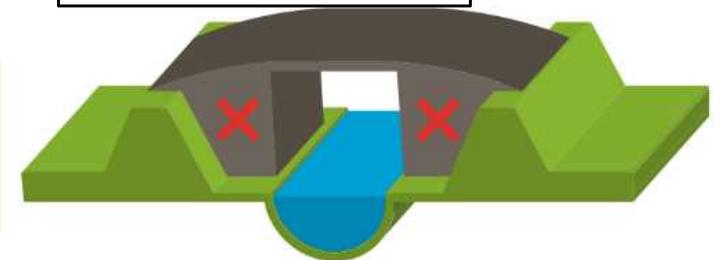
水制工の引き下げ



干拓地の河川用地転用



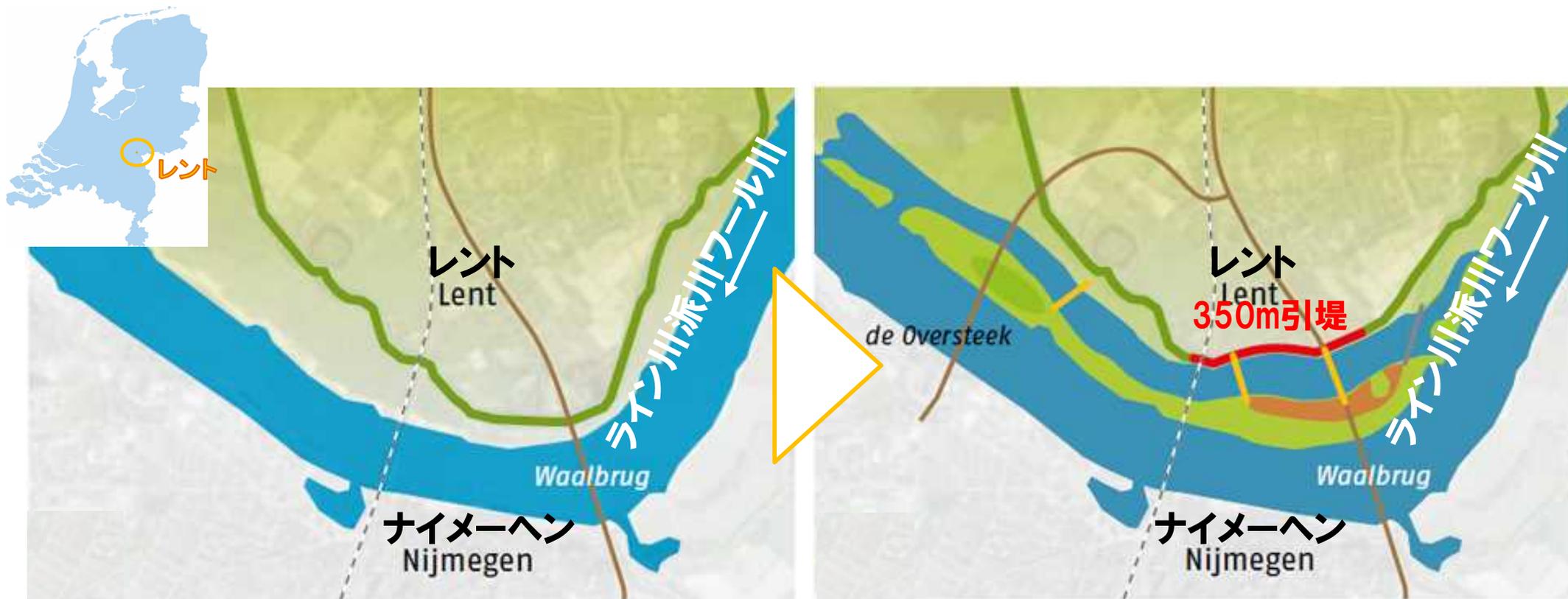
流下障害物の除去



Room for the Riverで実施された具体的な河川整備内容(参考資料\*をもとに一部編集)

# Room for the Riverで実施された河川整備 レントの事例

- 1993年及び1995年洪水によって、ライン川派川ワール川で大量の河川流量を流下できないことが明らかになり、これは特にナイメーヘン(Nijmegen)・レント(Lent)でボトルネックとなっており、より河積が必要となった。\*1
- Room for the Riverのプロジェクトの下で、公共事業局は350mの引堤及び延長4kmの二次水路の掘削が実施されたことによってライン川派川ワール川の水位を34cm低下させた。(政府が事業費を負担し、州は維持・管理費を負担)\*2\*3
- 同工事のために、中州の約50軒の家屋が移転された。\*3



事業の実施イメージ(参考資料\*4\*5をもとに一部編集)

出典: \*1 ROOM FOR THE WAAL, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/room-for-the-waal/>

\*2 Government of the Netherlands, News: Room for the Waal project reduces floods risk in the Nijmegen area, 2015, <https://www.government.nl/latest/news/2015/12/03/room-for-the-waal-project-reduces-flood-risk-in-the-nijmegen-area>

\*3 2019/6/21 レントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

\*4 Rijkswaterstaat, Room for the river Waal Nijmegen

\*5 国土交通省国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部, 米英蘭の水災害・水資源管理に係る気候変動適応策に関する事例調査, 2012.6

# Room for the Riverで実施された河川整備 レントの事例

■ レントでの引堤事業において形成された中州(1/150年確率洪水では一部浸水する想定)の住民のために、新たな橋梁が建設された。※1

視察時撮影



引堤後の状況※1

視察時撮影



新たに建設された橋梁の状況※1

視察時撮影



新たに建設された橋梁の状況※1



引堤箇所の状況(参考資料※2※3をもとに一部編集)

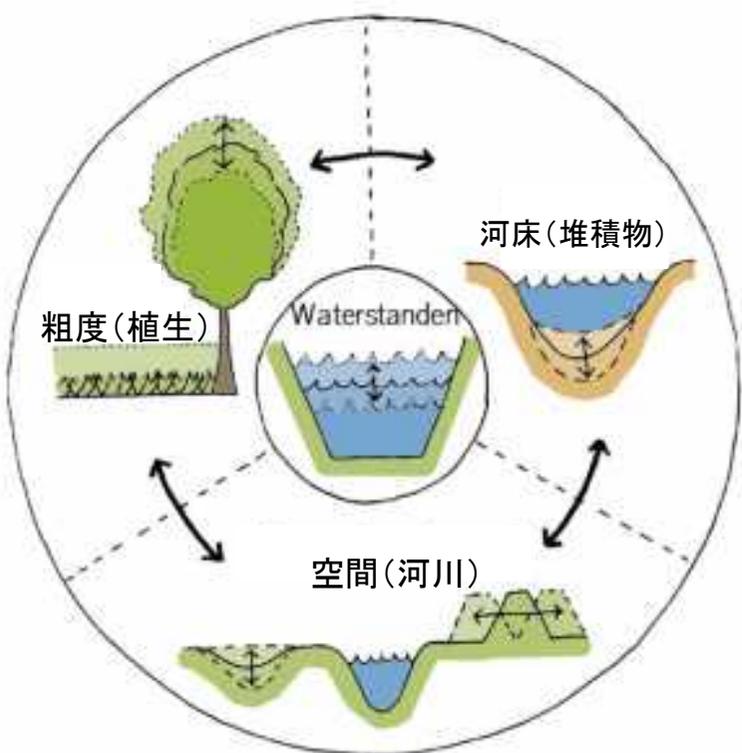
出典: ※1 2019/6/21 ドルドレヒト市での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

※2 Rijkswaterstaat, Room for the river Waal Nijmegen

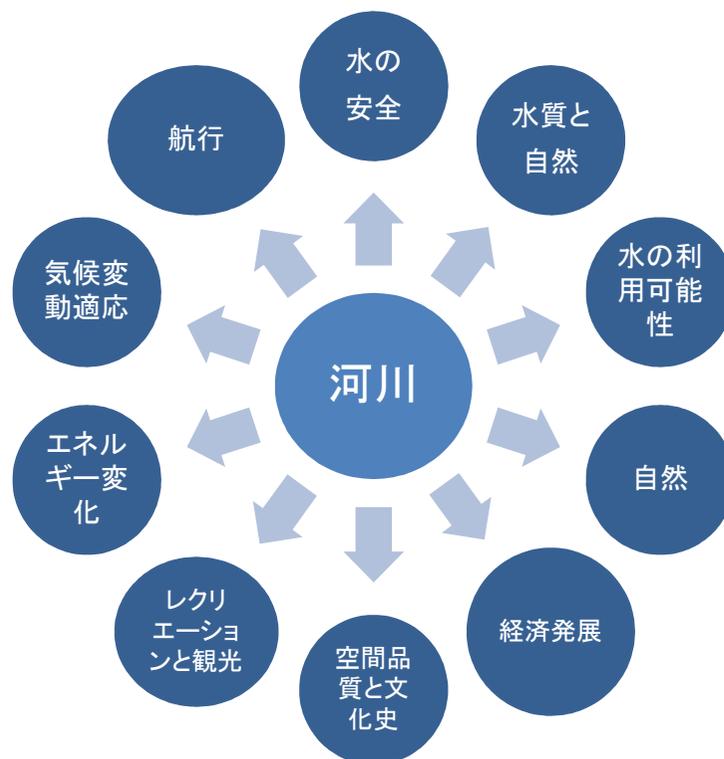
※3 国土交通省国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部, 米英蘭の水災害・水資源管理に係る気候変動適応策に関する事例調査, 2012.6

# 【参考】統合河川管理プログラムの概要

- オランダでは現在、治水や環境、気候変動などを考慮した統合河川管理プログラム(Program integral river management)の“準備”が行われている。このプログラムは、河道の挙動を考慮して、気候変動による外力の極端化に伴う高水位および低水位（貨物船の航行制限や生活用水の不足など）の問題に焦点を当てている。
- 現在は国レベルおよび地域レベルで関係組織が合意に達したばかりで、2021年あるいは2022年にプログラムの概要が決定されることとなっており、対策は2028年から2050年の間に実施されることとなっている。



河川の挙動の概要  
(参考資料※をもとに一部編集)



河川がもたらす様々な影響  
(参考資料※をもとに一部編集)



低水位の際の貨物船の航行制限※



高水位の状況※

# Room for the Riverで実施された河川整備 ノールトワールトの事例

- ライン川派川ニューウェ・メルウェーデ川 (Nieuwe Merwede) に面するノールトワールト (Noordwaard) では、干拓地の河川用地への転用 (非干拓地化) 事業が実施され、約3億ユーロ (約360億円) の費用が投じられた。\*1\*2
- Room for the River プロジェクトにおいて、最も広範囲に工事が行われた事業の1つである。この事業の大きな目的は2つあり、洪水対策 (上流の都市への水位低減効果) と土地利用において土地の価値を上げる (環境対策、レクリエーションでの活用) ことであった。\*3

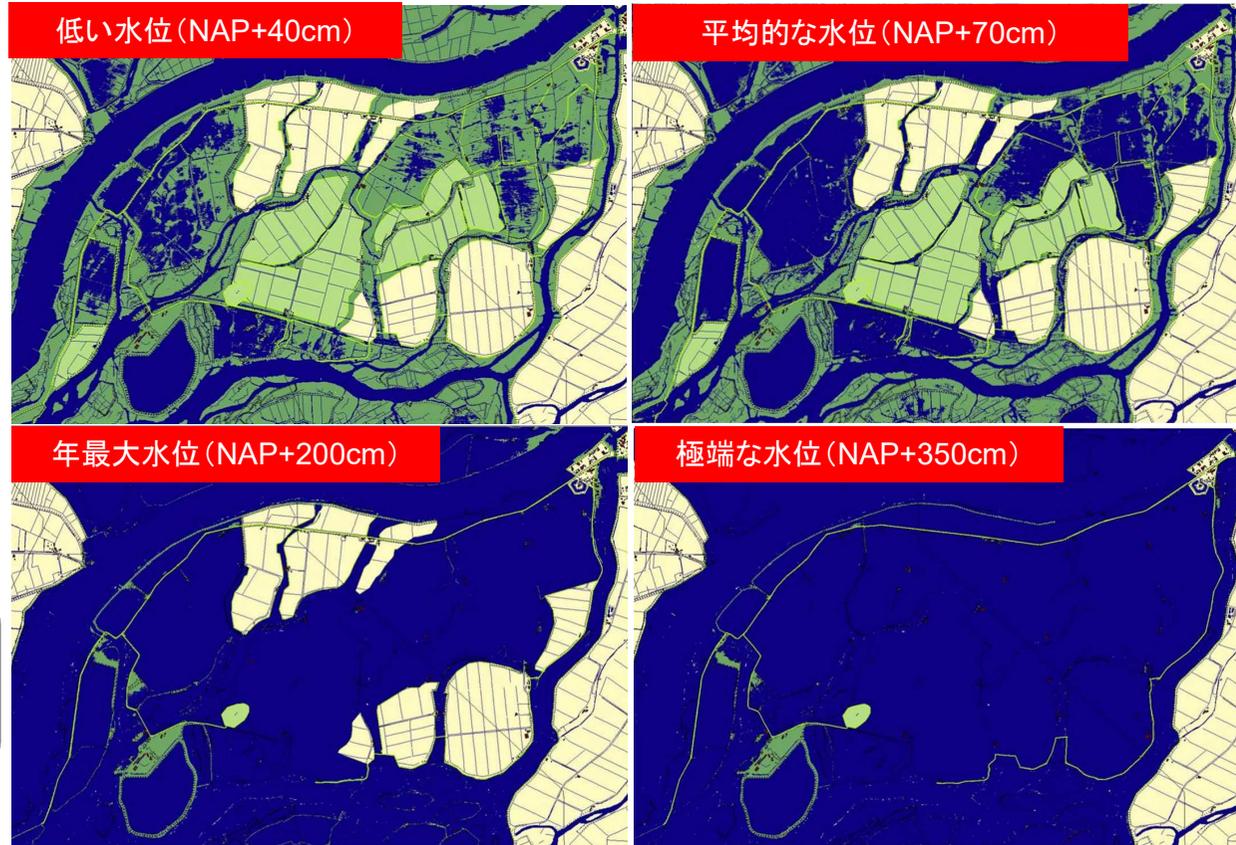
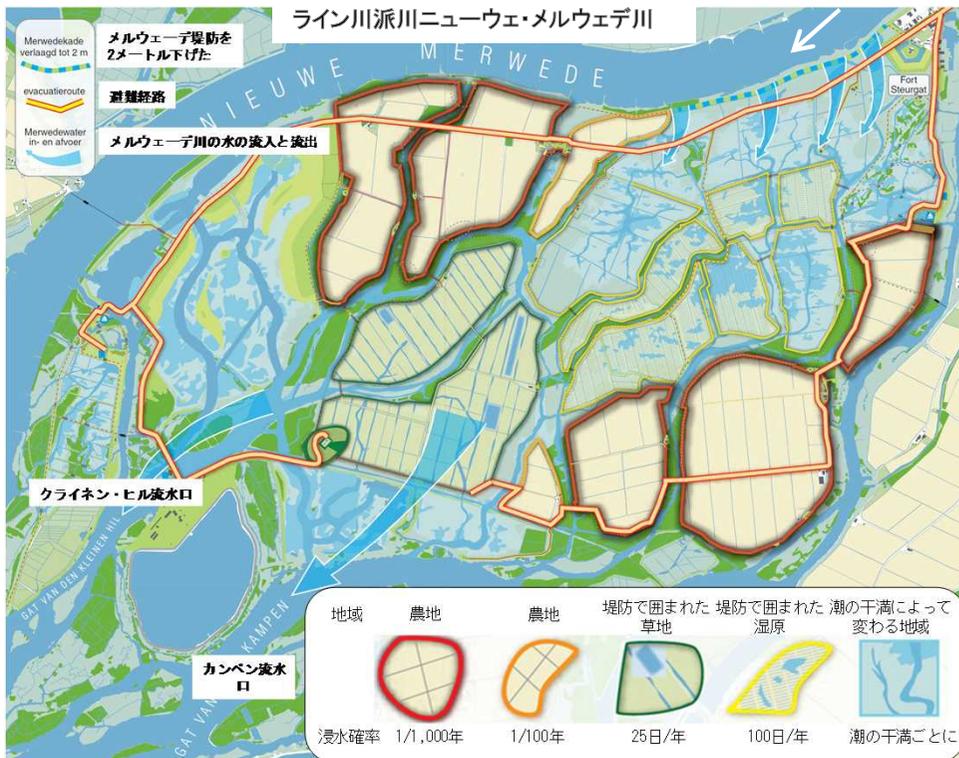


ノールトワールトの位置図 (参考資料\*4をもとに作成)

- 出典: \*1 Rijkswaterstaat Room for the River department of communication, Room for the River for a safer and more attractive river landscape, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>
- \*2 国土交通省国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部, 米英蘭の水災害・水資源管理に係る気候変動適応策に関する事例調査, 2012.6
- \*3 2019/6/22 公共事業局による国立公園ビスボスの現地視察会
- \*4 Rijkswaterstaat, Noordwaard viewer(modeluitvoer), <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/verwachtingen-water/rijn-maasmonding/noordwaard-viewer>

# Room for the Riverで実施された河川整備 ノールトワールトの事例

■ 部分的に延長2kmの堤防を切り下げることで、大量の河川流量を流下させることができるようになった。ライン川派川ニューウェ・メルウェーデ川の水位がNAP(アムステルダム標準水位)+200cmに達した場合にノールトワールトに流れ込み、流入部付近のウェルケンダム(Werkendam)では6cm、さらに上流部のホルクム(Gorinchem)では30cmの水位を低減させることができる。※1※2



Room for the Riverで実施された具体的な河川整備  
(参考資料※2をもとに一部編集)

水位ごとの浸水状況(参考資料※3をもとに一部編集)  
NAP:アムステルダム標準水位

出典: ※1 Rijkswaterstaat Room for the River department of communication, Room for the River for a safer and more attractive river landscape, <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>  
 ※2 Sytske Stuij, Innovation in Integrated Watermanagement and Landscape, [http://www.nlandscape.nl/sites/default/files/case/ecoshape\\_presentation\\_noordwaard.pdf](http://www.nlandscape.nl/sites/default/files/case/ecoshape_presentation_noordwaard.pdf)  
 ※3 Rijkswaterstaat, De-poldering Noordwaard: Plan, process and procedure

# Room for the Riverで実施された河川整備 ノールトワールの事例

- ノールトワールは政府の所有であるが、一部市民へ貸し出されており、夏季は家畜(牛や水牛、羊、ヤギなど)の飼育を行っている。※1
- 冠水頻度の高い場所では、親水性の高い家畜を飼育しており、洪水時に家畜が避難できるように、あらかじめ高台が作られている。家畜飼育の第一の目的は、家畜が草本類を食べるような「メンテナンス」を行ってくれることである。※1
- 堤防の維持においては、オランダの多くの堤防で羊を飼育している状況が見られる。

視察時撮影



牛の飼育状況※1

視察時撮影



水牛の飼育状況※1

視察時撮影

水牛は比較的親水性が高い家畜である。



水牛の水浴び状況※1



羊による堤防の“メンテナンス”状況※2

視察時撮影



羊による堤防の“メンテナンス”状況※1

出典: ※1 2019/6/22 公共事業局による国立公園ビースポスの現地視察会

※2 Deltares, Water- its control and combination; Multifunctionality and flood defences, 2013.1, [http://publications.deltares.nl/Deltares048\\_EN.pdf](http://publications.deltares.nl/Deltares048_EN.pdf)

# Room for the Riverで実施された河川整備 ノールトワールの事例

- Room for the River プロジェクトは、環境面でも大きな効果を与えた。
- 旧川を復元したことで多くの魚類および鳥類が集まるようになった。エリアによっては、これまで数が減っていた希少種が再び住み着くようになったとの情報もある。

視察時撮影



視察時撮影



視察時撮影



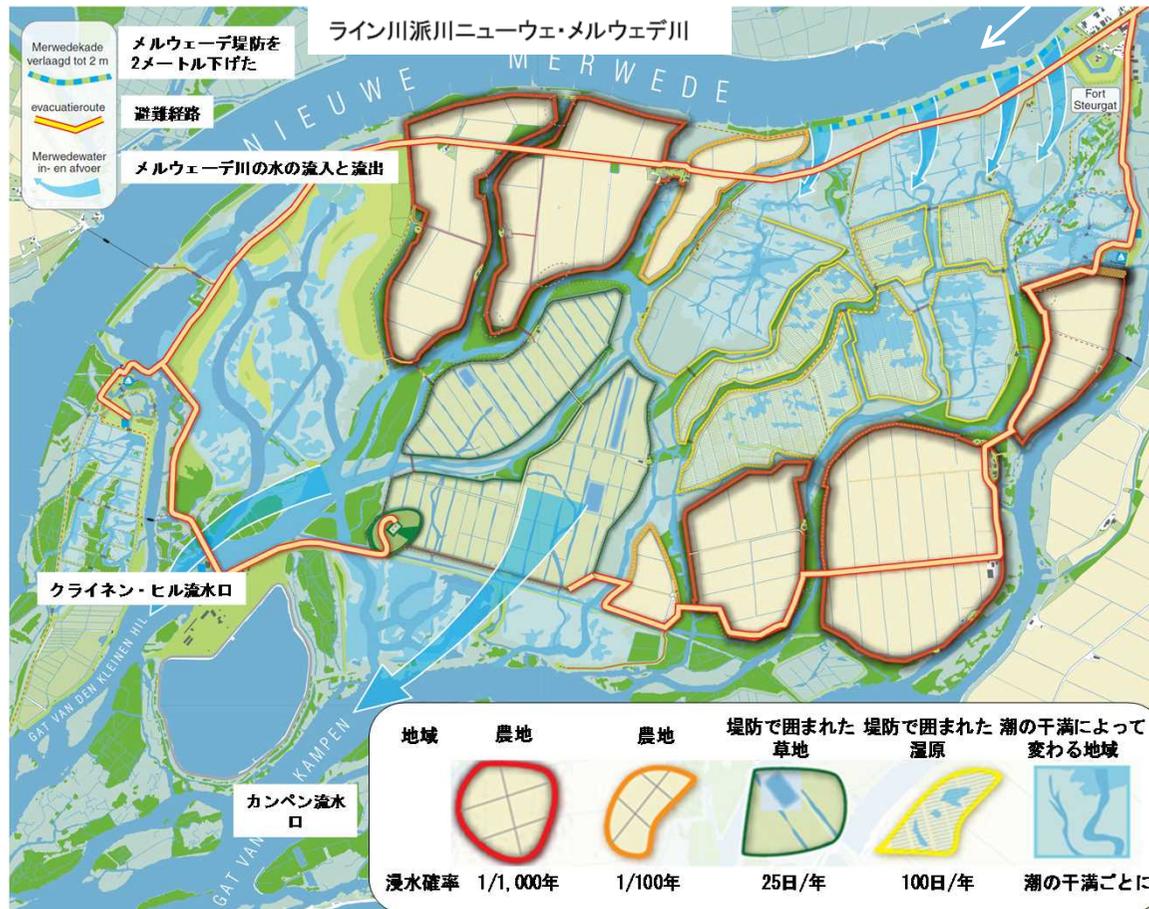
視察時撮影



旧川復元箇所の状況と確認した鳥類※

# Room for the Riverで実施された河川整備 ノールトワールの事例

- ノールトワールでは、自治体と公共事業局が協議した上で25kmの避難経路を整備している。基本的には平常時も使用する一般道を兼ねているが、一部一般道が浸水することが予想される場合には、堤防を築くことで避難路を整備している場所もある。避難路は300～390cmの高さに整備されており、周辺(概ねNAP+100cm)よりもはるかに高い。※1
- この地域では、他の地域よりも早いタイミングで避難警報が発令される。避難の警報は特別なプロトコルが作成されており、自治体(ウェルケンダム)が住民へ電子メールを送信し、返信がない場合には自治体職員が住民へ電話する仕組みとなっている。※1



Room for the Riverで実施された具体的な河川整備(参考資料※2をもとに一部編集)

一般道が浸水する可能性があったため、堤防を築いて避難路を整備している。



視察時撮影

整備された避難路※1



視察時撮影

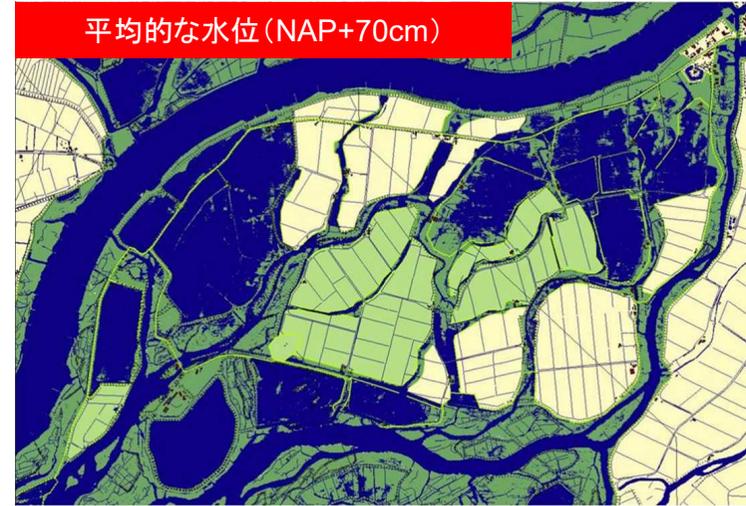
平常時の一般道※1

出典: ※1 2019/6/22 公共事業局による国立公園ビースポスの現地視察会  
 ※2 Sytske Stuij, Innovation in Integrated Watermanagement and Landscape, 2018.7

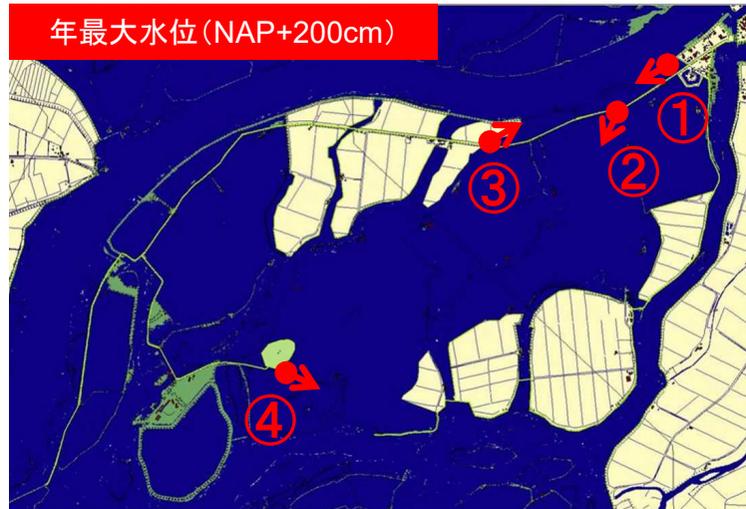
# Room for the Riverで実施された河川整備 ノールトワールトの事例

- 2020年2月10日、ストームシアラ(storm Ciara)の影響からライン川派川ニューウェ・メルウェーデ川の水位が224cmに達したことで、プロジェクト完了以来初めてノールトワールトに河川水が流入した。これによって、上流のドルドレヒト市(Dordrecht)では30cmの水位低減を確認している。※1
- 遊水地内で飼育されている水牛などの家畜は安全な高台に避難することができた。※1

平均的な水位 (NAP+70cm)



年最大水位 (NAP+200cm)



水位ごとの浸水状況(参考資料※2をもとに一部編集)



流入状況※1



遊水地内の家畜の避難状況※1



流入状況※1



浸水状況※1

出典: ※1 公共事業局提供

※2 Rijkswaterstaat, De-poldering Noordwaard: Plan, process and procedure, 2018.7

# ドルドレヒトの事例 概要

- デルタ地帯の南部にあるドルドレヒト(Dordrecht)は、高潮と洪水の両方の影響から水位が上がりやすく、浸水リスクが高い地域である。旧市街は3~4m程度の高台になっており、堤防に囲まれていない地域でもある。
- ドルドレヒトは重層的リスク管理(Multi-layer flood risk management)の研究のパイロットエリアとされている。
- 単に堤防を築いたり、堤防の嵩上げをすること(重層的氾濫リスク管理における第1層相当)は費用面から断念し、ドルドレヒト市は土地利用(第2層)および第3層(危機管理)の対策を講じることとした。

街が浸水した際には、フォーストラートよりも河川側の土地が高いため、ノアの箱舟のように安全になる。\*



北海の高潮とライン川の洪水の両方の影響を受ける地域。\*



ドルドレヒトの位置図(参考資料\*をもとに一部編集)



ドルドレヒトの北部の地盤高(参考資料\*をもとに一部編集)

# ドルドレヒトでの重層的氾濫リスク管理

- 重層的氾濫リスク管理とは、3段階で対策を講じ、リスクを低減していくリスク管理手法である。ドルドレヒト市はこの手法のパイロットエリアに指定されている。※1
- 堤防の氾濫防御基準を満たすため、最優先は第1層（予防策による氾濫防御）であり、堤防の氾濫防御基準を満たすため、ハード対策が行われている。ドルドレヒトでは、費用面の理由から第2層および第3層から対策を講じることとした。※1※2

ドルドレヒトを例とした重層的氾濫リスク管理の概要（参考資料※2※3を基に作成）

	各層の詳細	責任や出資	特記事項
<b>第3層:</b> 	<p>◎あらゆる氾濫に対応する危機管理 避難情報などの情報提供、など</p> <p>例:)TVやラジオ、ソーシャルメディアによるニュース、サイレン、最近ではメール配信を開始</p>	<p><b>地方自治体</b> (避難勧告等の発令は首長の役割)</p> <p>公共事業局や水管理委員会→地方自治体の首長→市民の順で情報提供される (日本と同様に法的に規定される)</p>	<p>ドルドレヒトでは、無理に水平避難をして道中で被害に遭うことを避けるため、垂直避難を推奨</p>
<b>第2層:</b> 	<p>◎氾濫被害を抑制する土地利用 家屋を新築する場合に水害に耐えられる機能を持たせる、など</p> <p>現状では法的に規定されていないため、「できるだけのことをする」スタンス</p>	<p><b>地方自治体</b> 現状では補助金などはない</p>	<p>今後、法的に規定される可能性がある</p>
<b>第1層:</b> 	<p>◎予防策を実施する氾濫防御 氾濫防御基準を満たしているかどうかを把握するための堤防等の安全性評価(12年ごと)、ハード対策の実施※3</p>	<p>基準設定: <b>政府</b>(原則50年ごと) 安全性評価: <b>水管理委員会</b>(12年ごと) 対策実施: <b>水管理委員会</b>(予算は政府50%、水管理委員会50%)</p>	<p>危機管理で2050年の年間死亡率1/100,000を達成しようとしている</p>

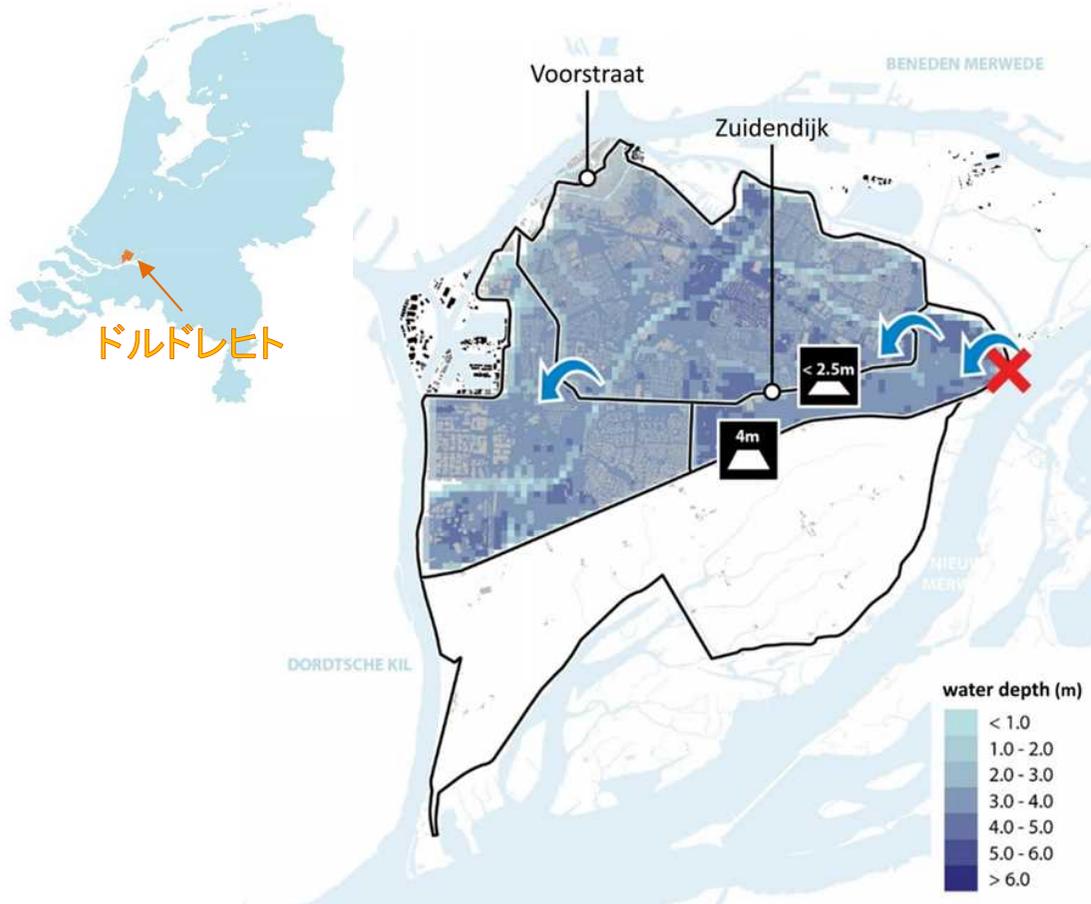
出典: ※1 2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

※2 2019/6/21 ドルドレヒト市での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

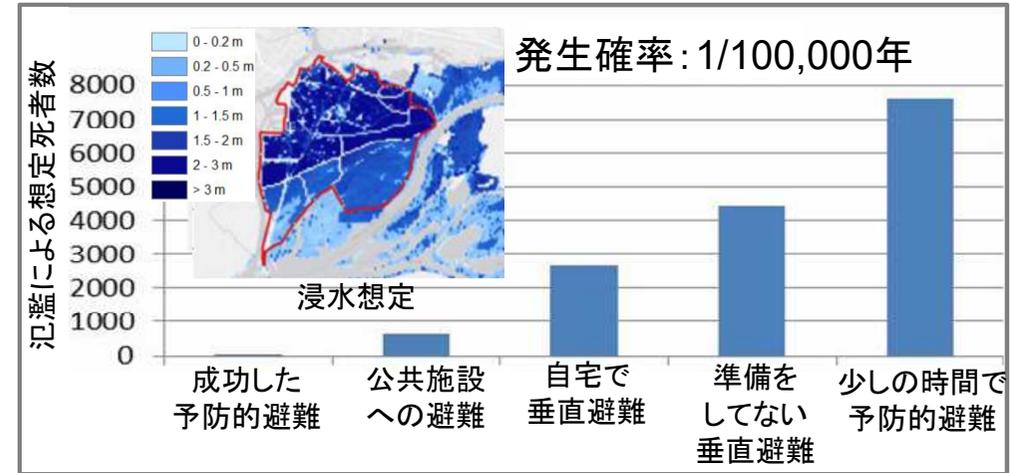
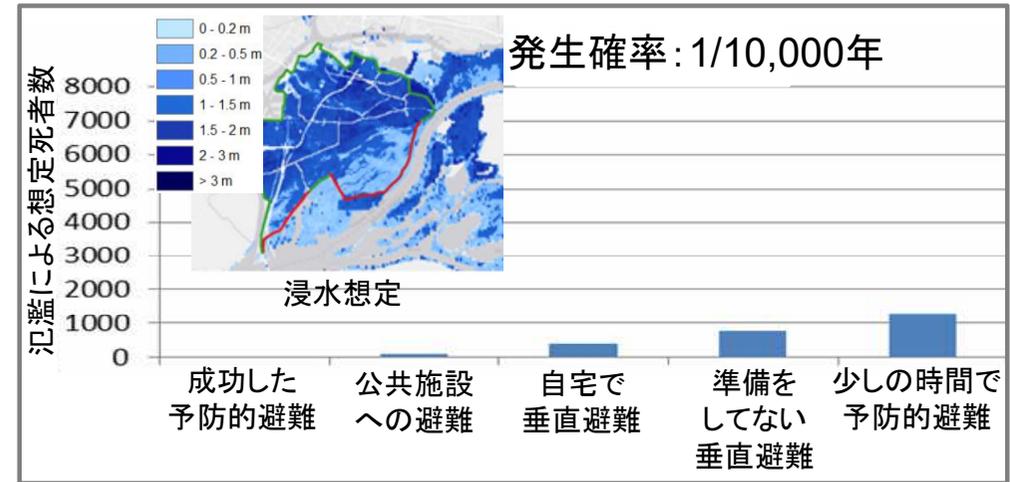
※3 The Ministry of infrastructure and the Environment and The Ministry of Economic Affairs, Delta Programme 2015: Working on the delta, 2014.9, pp14, <https://english.deltacommissaris.nl/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015>

# ドルドレヒトの避難

- ドルドレヒトでは、4つの“移動オプション(verplaatsingsopties)”に基づいて死者数と被害を最小限に抑えることを目的として柔軟な避難戦略が設定されている。※1
- 4つの移動オプションとは予防的避難・垂直避難・救助・避難を示しており、リスクとリードタイムを考慮して選択される。※1※2
- 避難戦略ごとの想定される死者数は、予防的避難が成功した場合に最も小さく、次いで公共施設へ避難をした場合が小さい。また、誤ったタイミング(リードタイムが少ない場合)の水平避難は想定死者数が相対的に大きいため、市町村はリードタイムが少ない場合には垂直避難を推奨している。※2



ドルドレヒトの位置図(この図の浸水深の発生確率は記載されていない)※3



発生確率ごとの氾濫時の想定死者数の変化  
(参考資料※2をもとに一部編集)

出典: ※1 Bas kolen et al, Waterveiligheidsplan (2019/6/13 HKV提供資料)

※2 2019/6/21 ドルドレヒト市での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

※3 Berry Gersonius et al., Resilient flood risk strategies: Institutional preconditions for implementation, 2016.12

# ドルドレヒト市民に求められていること

- 1953年の北海高潮では、ある住民が自転車を水に浸からないような高さで木にくくりつけた。
- 今、市民の意識がなくなりつつある。自分で洪水前に自転車をくくりつけておけば、水が引いてから降ろすことができる。つまり、自分を自分自身で守ることができる。

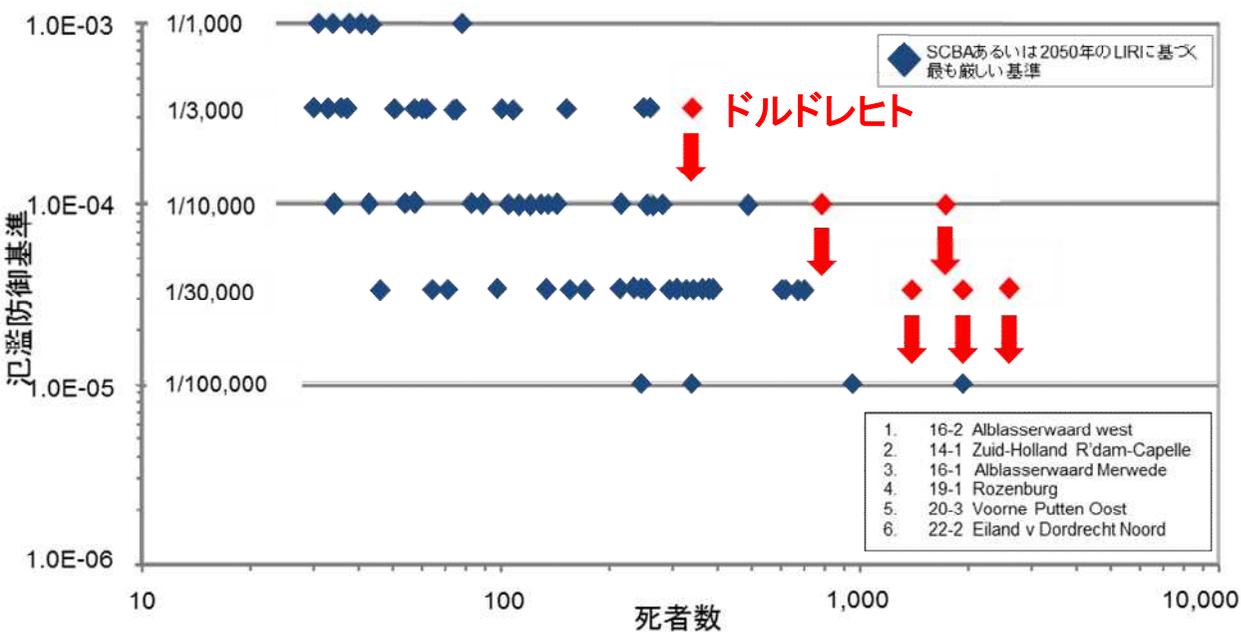


今、ドルドレヒト市民にはこのような心がけが求められている。

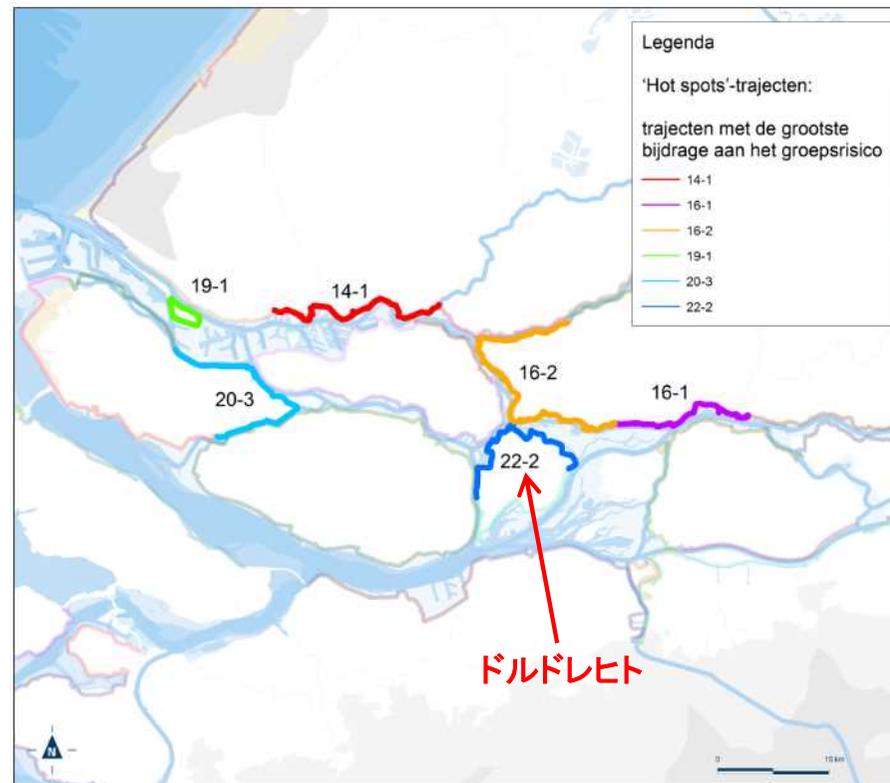
# 社会的リスクの高い地域への対処

■ オランダのドルドレヒト市などの社会的リスクの非常に高い6つの地域では、行政的な判断により氾濫防御基準を一段階高める措置を行っている。

氾濫防御基準に対する想定される死者数※



※潜在的に死傷者が多数発生する6つの地域は、氾濫防御基準を高めている。



氾濫防御基準を高めた6つの地域※

# 社会的リスクの高いドルドレヒト

■ドルドレヒト市では、社会的リスクが高いため、1ランク高い防御基準に引き上げられている。第1層の堤防による防御を行うにあたり、比較的成本の高い堤防補強工事を行っているほか、景観等に配慮した可動式堤防も計画されている。

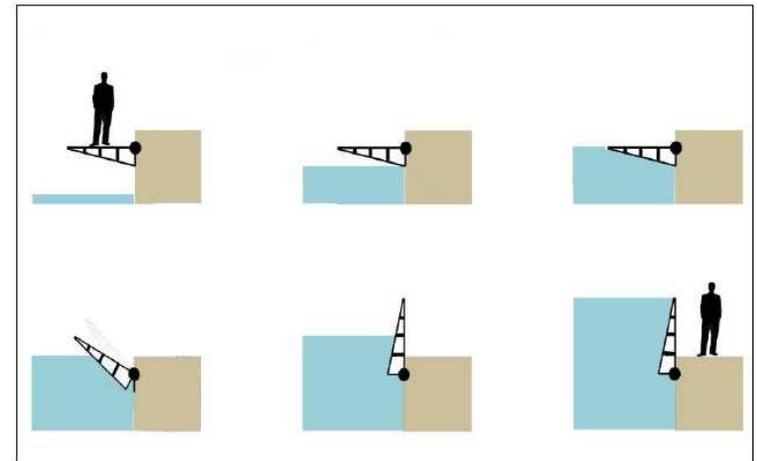
## ◆堤防補強工事の状況

もともと、堤防の上に家屋が立地しているため、鋼矢板等を用いた堤防補強工事を実施している。  
コストは高くなるが社会的リスクを勘案し、高い防御基準をもとにした工事が実施されている。



鋼矢板による堤防補強工事状況※

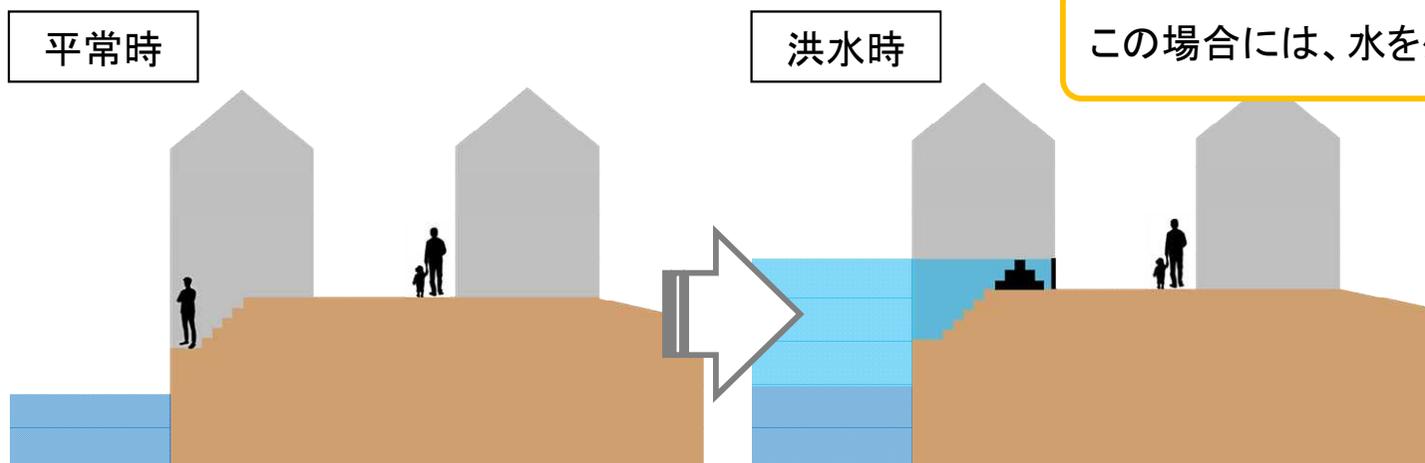
## ◆河川水位に応じて機能を発揮する可動式の堤防(計画中) 旧市街地と水辺空間との景観に配慮



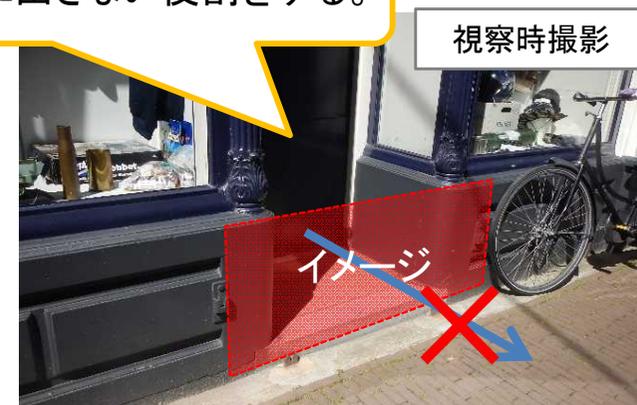
可動式堤防イメージと設置計画箇所※

# ドルドレヒトでの第1層氾濫防御＝“予防”

- オランダでは可動堰などを導入している地域がいくつかあるが、ドルドレヒトでは小規模な氾濫の対策として、過去から行われてきた止水板や土のうを用いている。
- 現在、河川水位に応じて機能を発揮する可動式の堤防を計画中である。将来的には、イノベーティブな文化財を守りつつ、街を安全にしていける予定である。



平常時と洪水時の小規模な氾濫対策の状況(ドルドレヒト市の視察時説明資料※をもとに作成)



止水板による氾濫防御※



視察時の運河の状況※



増水時の運河の状況のイメージ※

# ドルドレヒトでの第2層土地利用

- ドルドレヒトでは、教会などの文化遺産を守るために、小堤防を築いている。また、家屋の所有者が対策を行わなければならないケースなどもある。現状では家屋に耐水性を持たせる法的な規定はされておらず、「できるだけのことをする」スタンスではあるが、2019年夏から法的に規定される可能性がある。<sup>※1</sup>
- 旧市街地の住民はリスク管理の意識が高いため、家屋の1階部分に浸水させないような高床化や貴重品を2階に置くようにしたりする対策をとっている。<sup>※1</sup>



フォーストラートの空撮写真<sup>※1</sup>



増水時の状況<sup>※2</sup>



文化財を守るための小堤防<sup>※1</sup>



増水時の状況<sup>※1</sup>



土のうの置き方に関するレクチャー<sup>※1</sup>



浸水しない高さにある電気供給施設<sup>※1</sup>

出典: <sup>※1</sup> 2019/6/21 ドルドレヒト市での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
<sup>※2</sup> 2019/6/13 HKVコンサルタント提供資料

# ドordレヒトでの第3層危機管理

- 浸水中に、住民自身で何をできるのかを情報共有するために、展示やゲーム、屋根裏への避難の情報提供（無理に水平避難して被害に遭うことを考えて、ドordレヒト市が垂直避難を推奨）、学校での情報提供などを行っている。
- 避難情報はまず、公共事業局が洪水の予測を立てて水管理委員会、市町村へ連絡がいき、市長がサイレンやソーシャルメディアのニュース、携帯のメッセージ（避難場所を知らせる）等の手段を用いて住民へ周知する。



洪水に関する展示※



洪水に関する展示※



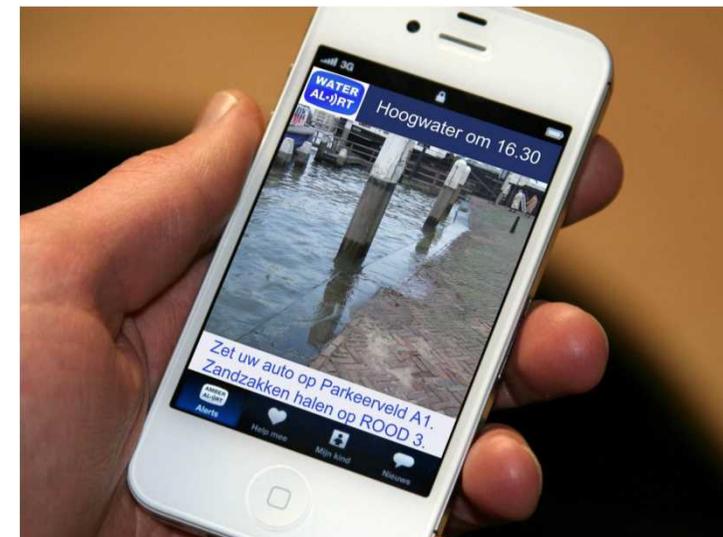
洪水に関する展示※



屋根裏への避難訓練※



子供への防災教育※



携帯電話を用いた情報の周知※

## 【参考】避難勧告(指示)発令の基準

- オランダでは、洪水や高潮が発生した際に、政府がどの段階で避難に関する情報を市民へ提供するのかを定めている。全国統一のナショナルカラーコード(Landelijke kleurcodering)と呼ばれる色分けを用いて、警告レベルを示している。
- 公共事業局で洪水予測を行い、警戒レベルが高くなると、インフラ水管理省や水管理委員会、自治体まで連絡がいく。公共始業局や水委員会が自治体にアドバイスをし、自治体の首長が避難勧告(指示)を発令することとなっている。

ライン川、レク川、ワール川におけるナショナルカラーコード(参考資料※をもとに作成)

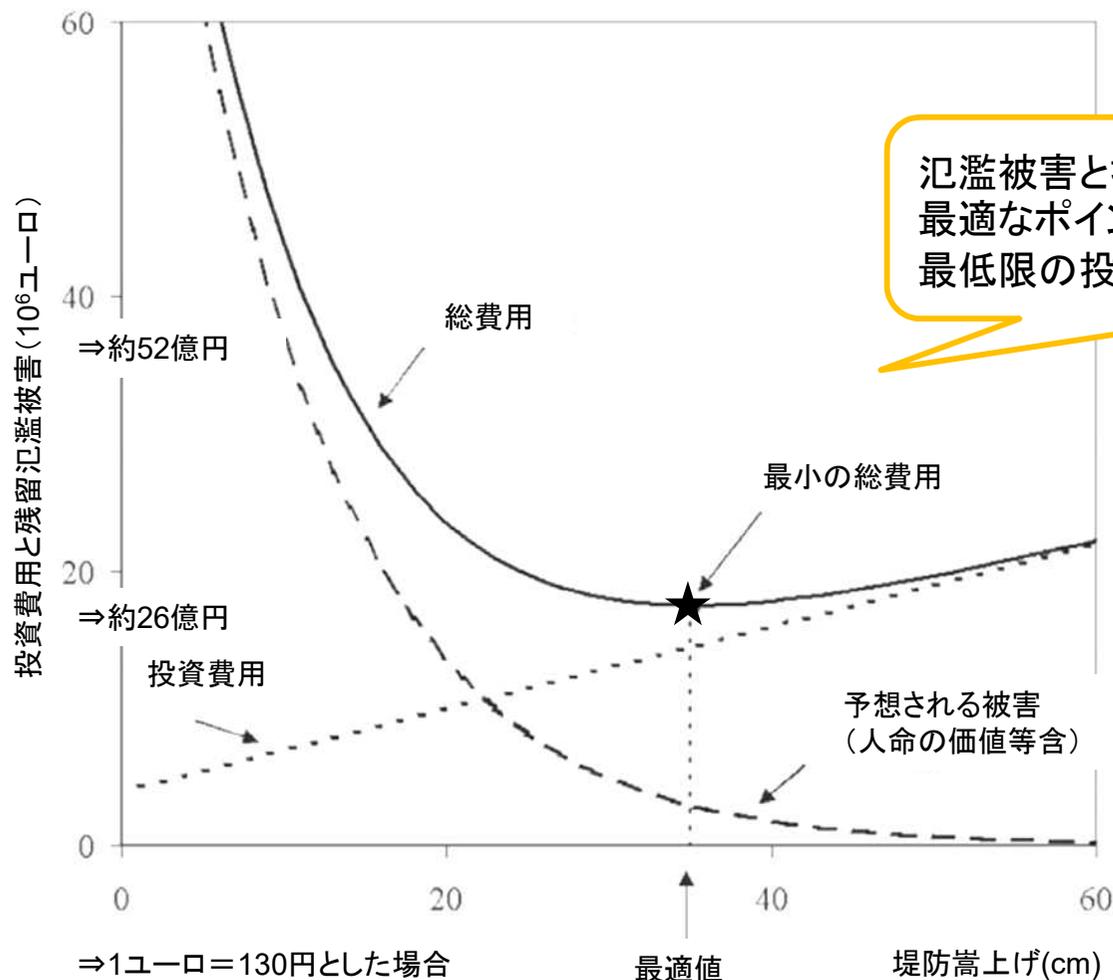
カラーコードの対象	ライン川、レク川、ワール川		説明
	ロビス地点の水位(m, NAP)	ロビス地点の流量(m <sup>3</sup> /s)	
緑	平常		毎日、定期的に水を管理している。
黄	12.00(夏) 13.00(冬) 年に数回	4,200(夏) 5,260(冬) 年に数回	水管理委員会は標準的な対策を講じる。堤防の外の地域と氾濫原で船の積み込みなどが制限される場合がある。
オレンジ	15.00 5年に1回	8,073 5年に1回	水管理委員会は広範囲にわたる対策を講じる。氾濫防御において決壊が起こる可能性がある。
赤	16.50 20～100年に1回	11,689 20～100年に1回	深刻かつ例外的な状況。大規模な緊急対策が講じられる場合がある。決壊が発生する可能性がある。国家安全保障が危機に瀕している可能性がある。
標準的な高水	18.00 1250年に1回	16,000 1250年に1回	-

---

# 費用便益分析

# 費用便益分析の基本原則

- 氾濫リスクを低減するための最も安価な方法を決定する手段として費用便益分析 (Cost-benefit analysis) が行われている。費用便益分析では、財政的/経済的損失だけでなく、自然・景観・文化遺産・人命への影響など「無視できないこと (imponderables)」も考慮されているため、‘社会的’費用便益分析 (Social cost-benefit analysis) と呼ばれる。※1
- この静的な費用便益分析では、経済的観点から、強化すべき最適なポイントとその規模を決定した。※2

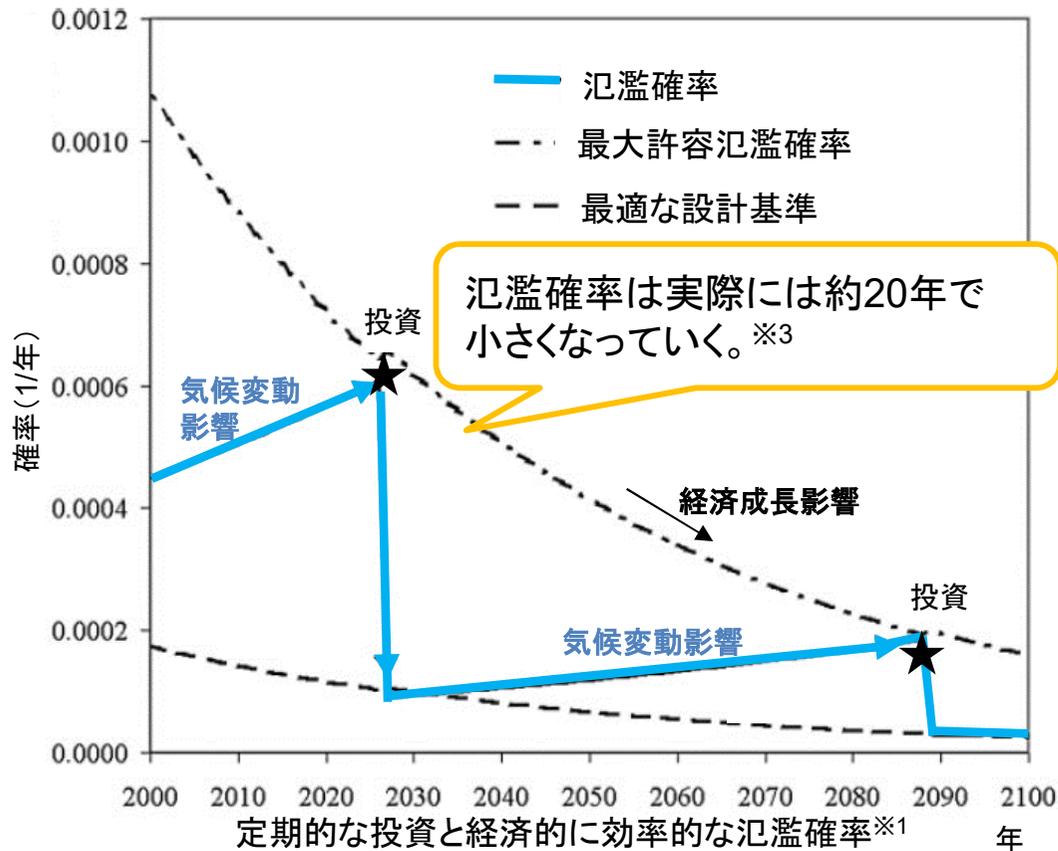


氾濫被害と投資費用のバランスを見ながら最適なポイントを見出している。最低限の投資費用を求めるためのもの。※3

‘最適化モデル (optimisation model)’ を使用した費用便益分析の原則※2

# 動的な費用便益分析

- 数理最適化モデル (OptimaliseRing) では、気候変動と経済発展の影響が考慮される。気候変動の影響 (海面上昇や大きなピーク流量) によって、氾濫確率は時間とともに増加する。また、経済成長とともに堤防リング内で保護されるべき価値が増加することによって、最大許容氾濫確率は低くなる。<sup>※1</sup>
- 氾濫防御への投資は、1回限りではなく、繰り返し行い、投資直後はすぐに氾濫確率が小さくなるノコギリ歯パターンを示す。<sup>※1</sup>
- 統計的な人命の価値 (value of statistical life) として1つの人命あたり620万ユーロ (約7.4億円) が考慮されている。<sup>※2※3※4</sup>
- 経済成長率はデルタシナリオの経済成長が高いものと低いものの平均を用いて、会計検査院や中央財務局と相談の上で1.9%と決定している。<sup>※5</sup>



**“命の値段”**  
 実際には、人命の金銭的な価値ではなく、平均的な死亡リスクを低減させるための支払意思額の総計を示したものの。530人のインターネットアンケート結果から決定された。

人命の価値について、オランダでは多かれ少なかれ社会に受け入れられている。人命の価値を含まない場合、便益を過小評価する。オランダの基本的な安全保障として $10^{-5}$ があるため、死亡率を考える上では同じ基準である。<sup>※3※4</sup>

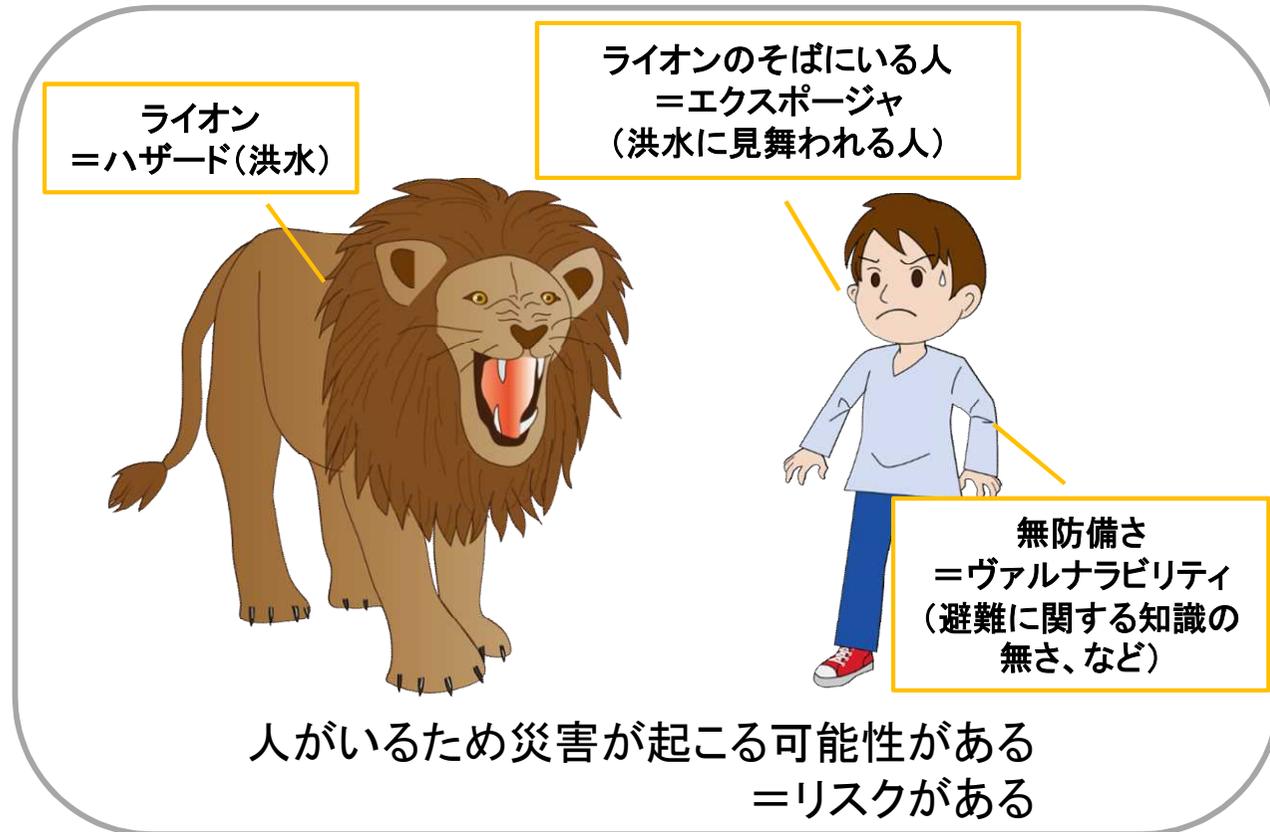
出典: <sup>※1</sup> J.M. Kind, Economically efficient flood protection standards for the Netherlands, 2012, [https://www.deltares.nl/app/uploads/2014/12/kind2014\\_JFRM1.pdf](https://www.deltares.nl/app/uploads/2014/12/kind2014_JFRM1.pdf)  
<sup>※2</sup> 2018/11/29 北海道河川財団主催 日蘭治水セミナー in 北海道～気候変動による洪水リスク増大にどう対応すべきか～ オランダ公共事業局講演内容  
<sup>※3</sup> 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
<sup>※4</sup> 2019/6/24 デルタレスでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
<sup>※5</sup> 2019/6/25 公共事業局での治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

## 5. 氾濫リスクに関する情報提供

# 汜濫リスクの示し方

# ハザードとリスク

- ライオン(ハザード)のそばに人(エクスポージャ)がいなければ、襲われる危険(リスク)がない。ライオンのそばに人がいる場合、ライオンに襲われる危険(リスク)がある。また、ライオンの強さや、人(エクスポージャ)の無防備さ(ヴァルナラビリティ)などで、襲われた場合の被害が異なる。



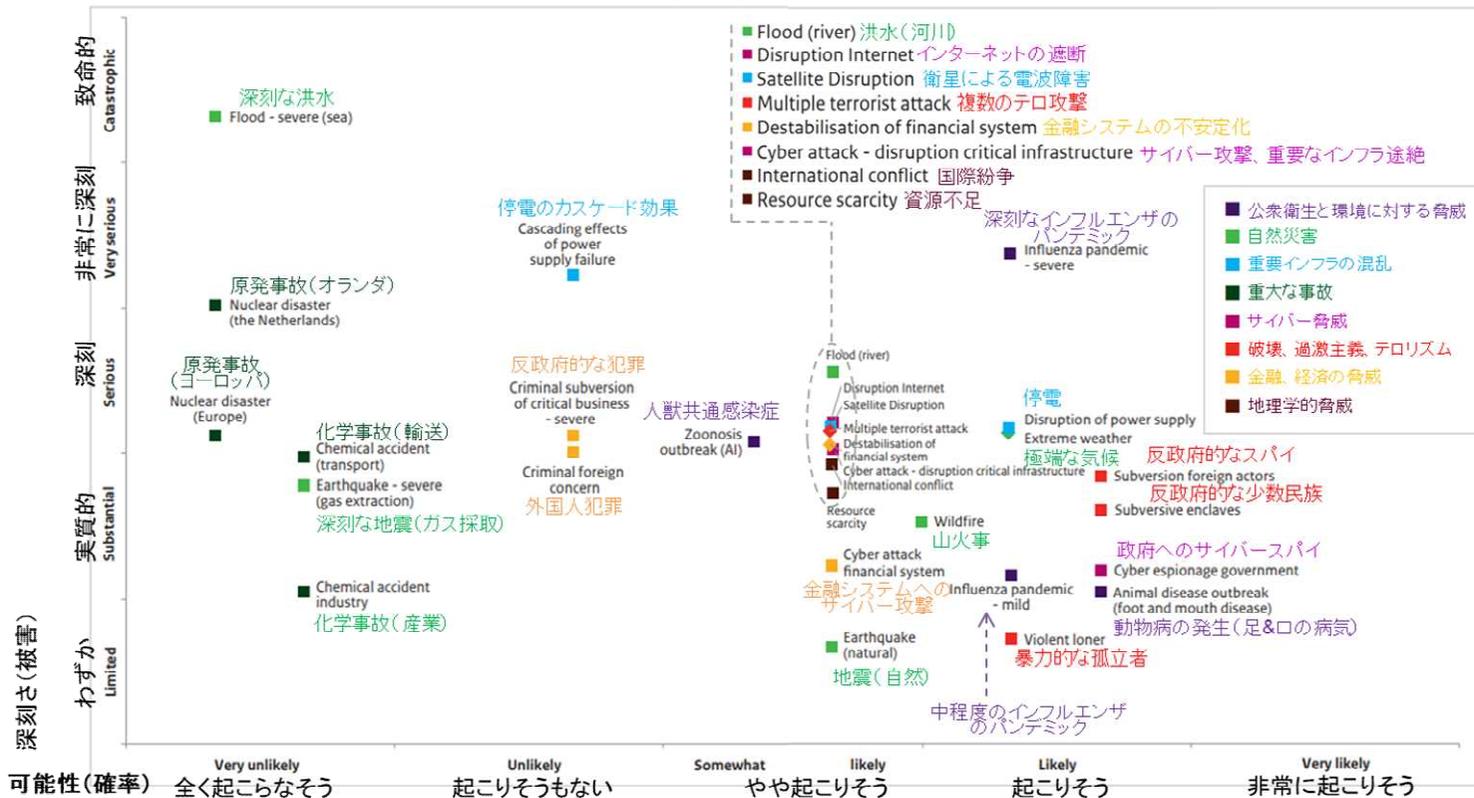
リスク・ハザード・ヴァルナラビリティのイメージ図(参考資料※1※2※3をもとに作成)

- 出典: ※1 厚生労働省・中央労働災害防止協会,自動車整備業におけるリスクアセスメントマニュアル: 第2章リスクアセスメントの基本, 2009.10, pp38,  
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/100119-all.pdf>  
※2 厚生労働省, 職場のあんぜんサイト リスクアセスメントの実施支援システム: 食品加工作業におけるリスクアセスメント~災害ゼロをめざして! ~⑦リスクとハザード,  
<http://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/syokuhin07.html>  
※3 松田勝彦: 地球温暖化への適応に向けて自然災害・水資源分野(水資源・水害・土砂災害): 地方公共団体の適応策としての流域治水の紹介, 2017.1, pp39, 113  
<http://www.mlit.go.jp/common/001170905.pdf>

# リスクの比較

- オランダ政府は、どの災害や危機、脅威が国家安全保障を危険にさらすのか可能性のあるのかを調査し、公表している。これは国家リスクプロファイル(National Risk Profile、通称NRP)と呼ばれおり、「リスクの比較」に重点を置いている。※1※2
- 洪水というのは確率や頻度としては低いですが、起こると被害が大きいものに分類される。このリスク評価は様々あるが、こういった比較を行うことで何を優先して準備すべきか、ということが明確化される。※3
- リスクの考え方は、分野によって異なる。※3

リスクダイアグラム



深刻さ(被害)の分類

分類	基準: (例)死者数
わずか	10人未満
実質的	10人以上100人未満
深刻	100人以上1,000人未満
非常に深刻	1,000人以上10,000人未満
致命的	10,000人未満

可能性の分類

分類; 定性的アプローチ	定性的アプローチ (5年間)
全く起こらなそう	0.05%未満
起こりそうもない	0.05%以上0.5%未満
やや起こりそう	0.5%以上5%未満
起こりそう	5%以上50%未満
非常に起こりそう	50%以上

出典: ※1 Netherlands US Water Crisis Research Network (NUWCReN), Flood preparedness in The Netherlands a US perspective, 2009, pp16,

[https://www.preventionweb.net/files/30381\\_nuwcren2012floodpreparednessinthene.pdf](https://www.preventionweb.net/files/30381_nuwcren2012floodpreparednessinthene.pdf)

※2 Government of the Netherlands, National Risk Profile 2016: An All Hazard overview of potential disasters and threats in the Netherlands, 2016.11, 194-195, [https://www.clingendael.org/sites/default/files/pdf/Dutch%20National%20Risk%20Profile%202016\\_english.pdf](https://www.clingendael.org/sites/default/files/pdf/Dutch%20National%20Risk%20Profile%202016_english.pdf)

※3 2018/11/28 日蘭の治水技術に関する意見交換会

# 浸水インフラ(道路、鉄道、空港)

- オランダでは堤防決壊によって浸水があった場合に、インフラが水没する可能性があるかどうかを示している。
- 道路・鉄道の場合には100mごとに浸水しているかを示し、空港は一部でも浸水すると使用できないと想定している。

道路※



鉄道※



空港※



シナリオ等の記載はないが、想定される最大浸水深に基づくものと推測される

# アプリ「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)にどの程度の浸水深になる可能性があるのか、また、その浸水を経験する確率を知ることができる。\*1

The screenshot shows the app's search results for a flooded area. The main heading is 'Als ons water stijgt' (When our water rises) with a sub-heading '水位が上昇したら' (When the water level rises). The location is 'Zuiderwagenplein 2, 8224 AD Lelystad'. The user has searched for 'Rijkswaterstaatの住所を入力' (Enter Rijkswaterstaat address). The main result is 'Ja, je overstroomt maximaal 4.0 meter' (Yes, you will be flooded up to 4.0 meters), with a sub-heading 'はい、あなたの家は4.0mまで浸水します。' (Yes, your house will be flooded up to 4.0m). Below this, it says 'あなたが人生でこれを経験する可能性は10%以上です。' (The chance of you experiencing this in your lifetime is 10% or more). To the right, there is a section 'Wat betekent dit voor mij?' (What does this mean for me?) with a list of impacts: '水なし' (No water), '電気なし' (No electricity), 'ガスなし' (No gas), 'トイレなし' (No toilet), 'インターネットなし' (No internet), '滞在: あなたは数日間待機' (Stay: you will wait for several days), and '降りる: 道路に大勢の人' (Leave: many people on the road). Below this is a button 'Wat kan ik doen?' (What can I do?). At the bottom, there are three sections: 'あなたの地域の水深' (Water depth in your area) with a map and a scale from 0 to 6 meters; '滞在か、離れるか?' (Stay or leave?) with a button 'Ga ik of blijf ik?' (Do I go or stay?) and a sub-heading '移動か?' (Move?); and '極端な条件' (Extreme conditions) with a photo of a flooded car and a button 'Lees meer' (Read more).

「浸水するの？」検索結果の例\*2

アプリを開発する上で、どんな情報を市民に示すかについて多くの研究を行った。研究の結果、人は一度にたくさんのことを見せられたくないということがわかった。そのため、最初にシンプルな情報を与え、さらに興味がある人は詳しい情報を見られるようにしている。浸水する確率も示している。1/100年確率や1/1000年確率という表し方は一般市民にとってわかりにくいいため、一生涯においてどれだけの確率かを示している。さらに、アイトラッキング等で調査した結果、一般市民は地図を見ないことがわかったために家のイラストを示している。\*3

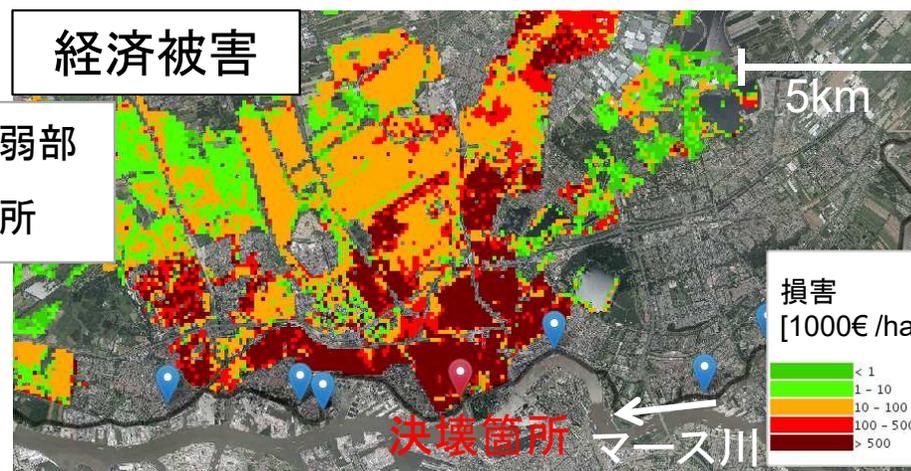
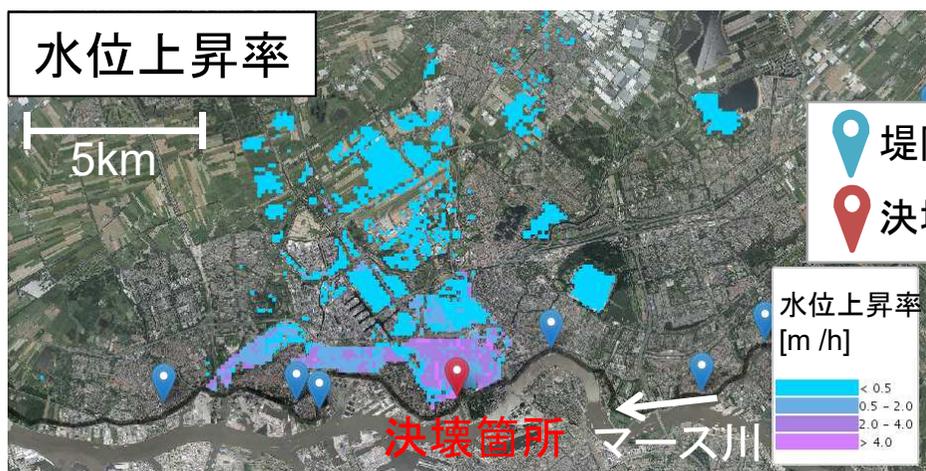
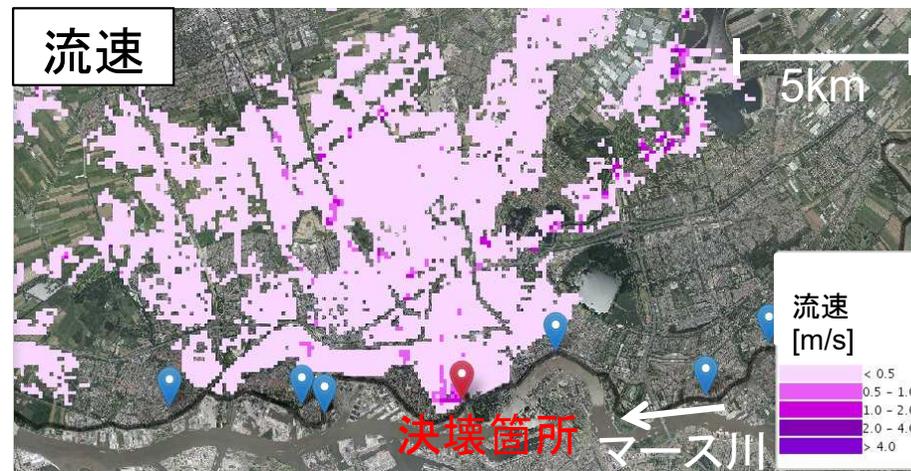
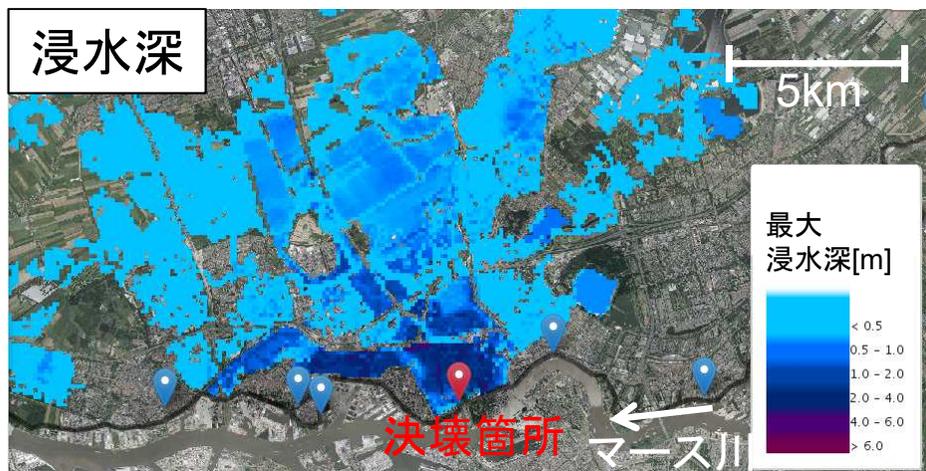
## <参考>

アイトラッキング: 人が「どこを・どのように・いつ見るのか」がわかる視線計測技術。

出典: \*1 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会、2018/1/12 デルタ委員会事務局Delta Commissionでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会  
\*2 Rijkswaterstaat, Overstroom ik?, <http://www.overstroomik.nl/>  
\*3 2018/11/28日蘭の治水技術に関する意見交換会

# 氾濫被害の推定(ロッテルダム周辺を例に)

- オランダのインフラ水管理省 (Ministry of Infrastructure and Water Management) と公共事業局は、危機管理者向けツール「国家情報システム『水と洪水』」※1を提供している。※2
- 氾濫計算時の水位は、発生確率の異なる複数シナリオ (TP+2D、TP+1D、TP、TP-1Dなど) が選択可能である。



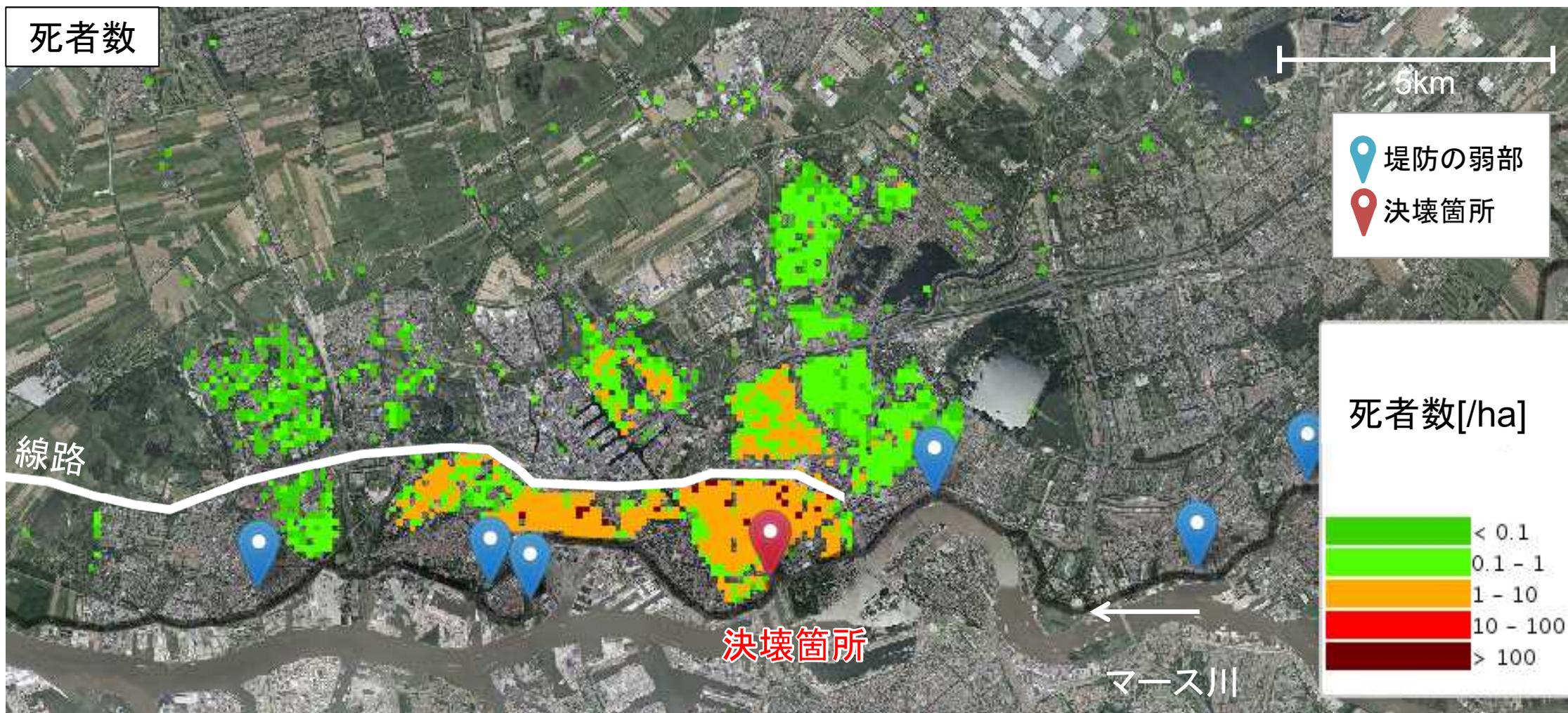
ロッテルダム周辺を決壊箇所とした場合の洪水シミュレーション結果  
(最悪なシナリオの場合、参考資料※1をもとに一部編集)

出典: ※1 Rijkswaterstaat and Ministerie van Infrastructuur en Milieu, LIWO open Kaarten:Overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem, <https://www.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#/viewer/31>  
 ※2 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

# 氾濫被害の推定(ロッテルダム周辺を例に)

- 「国家情報システム『水と洪水』」※1では、氾濫発生時の浸水深や流速、水位上昇率だけでなく、1haあたりの経済的被害や死者数も公開されている。※2
- オランダで首都アムステルダムに次いで人口が多い港湾都市ロッテルダムではいくつかの箇所で1haあたり100人を超える死者数が想定されている。

## 死者数



ロッテルダム周辺を決壊箇所とした場合の氾濫シミュレーション結果(最悪シナリオ、参考資料※1をもとに一部編集)

出典: ※1 Rijkswaterstaat and Ministerie van Infrastructuur en Milieu, LIWO open Kaarten:Overstromingen vanuit het hoofwatersysteem,

<https://basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#/kaarten>

※2 2018/1/11 HKV コンサルタントでの治水分野における気候変動適応策に関する意見交換会

---

# 防災教育

# 北海高潮資料館の概要

- 1953年の北海高潮(North Sea flood of 1953)ではオランダ、イギリスを始め、北海沿岸諸国で甚大な被害を記録した。オランダでは、175,000haの浸水、4,500戸の家屋の損壊、1,800人以上が犠牲になり、オランダ史上最大の被害となった。 ※1※2※3
- 北海高潮資料館(Watersnoodmuseum) ※1※4は、高潮および洪水被害や復興、デルタワークス(Delta Works)、水の安全性に関する展示をしている。視覚的にわかりやすく学ぶことができる体験型施設である。



北海高潮資料館※4

視察時撮影

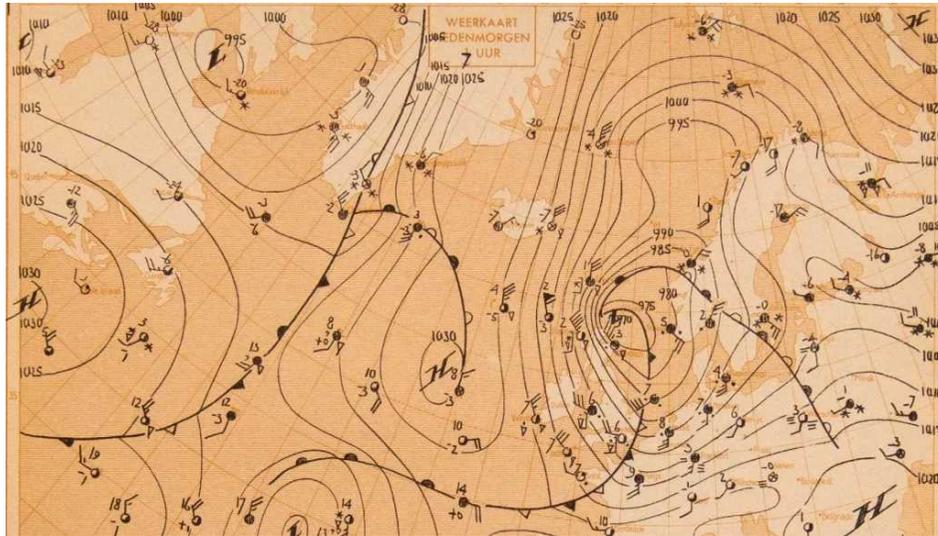


北海高潮資料館の外観

- 出典： ※1 Watersnoodmuseum, <https://watersnoodmuseum.nl/>  
※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](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>  
※4 Watersnoodmuseum Museum Guide(北海高潮博物館ガイド)

# 北海高潮資料館の概要

- 1953年の北海高潮に関する気象的な要因（高潮の発生要因である嵐など）や被害状況（破堤状況、人的被害など）を展示している。
- 1953年1月31日の夕方、嵐によって海面が3m以上上昇し、1月31日から2月1日の夜にかけて89の堤防が破堤した。※1



1953年1月31日の天気図（KNMIが作成）※1



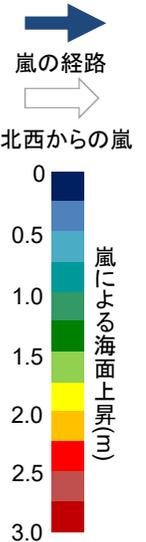
1953年北海高潮での海面上昇



1953年北海高潮での浸水状況※2



1953年北海高潮での破堤状況（破堤箇所と破堤時刻）



# 被災地に建設されたギフトハウス

■ 1953年北海高潮の被災地には、ノルウェー(326戸)、スウェーデン(230戸)、オーストリア(206戸)、デンマーク(72戸)、フィンランド(15戸)、フランス(1戸)から無償のギフトハウスが建設された。

視察時撮影



展示されたギフトハウスの外観

視察時撮影



展示されたギフトハウスの内観

視察時撮影



展示されたギフトハウスの内観



建設されたギフトハウス※



建設されたギフトハウス※

# 北海高潮資料館での防災教育

- プロジェクションマッピングによる拡張現実(AR)を利用した砂場(zandbak)で、堤防や宅地を盛って仮想の氾濫から家屋を守る遊びを体験できる。

視察時撮影



ARを利用した砂場の体験

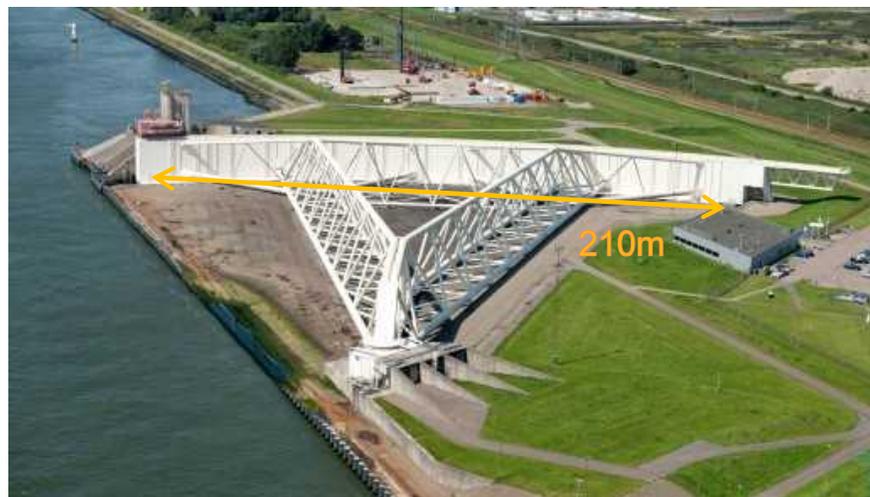
# マエスラント高潮堰の概要

- マエスラント高潮堰 (Maeslantkering) は、デルタプランで最後に建設された世界最大級の可動堰である。ユーロポートの入り口にあるマエスラント高潮堰は、5mの高潮にも対応できる。<sup>※1</sup> 片翼の幅210m、高さ22m、回転半径250mである。<sup>※2</sup>
- 高潮堰の建設費6億3500万ユーロ(約760億円)は、この地域の全ての堤防を強化する代替案よりも約1億8000万ユーロ(約210億円)安価だった。<sup>※3</sup>

視察時撮影



マエスラント高潮堰



マエスラント高潮堰(空撮)<sup>※3</sup>



マエスラント高潮堰(空撮、閉鎖時)<sup>※4</sup>

出典: <sup>※1</sup> 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部, 海外事例 技術政策動向 国別洪水対策・気候変動予測・適応策: オランダ マエスラント高潮堰概要, [http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/info\\_data/2013kaigaijirei/02kouzuitaisaku-kikouhendou/02netherlands/130913kouzuitaisaku-kikouhendou-netherlands2.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/info_data/2013kaigaijirei/02kouzuitaisaku-kikouhendou/02netherlands/130913kouzuitaisaku-kikouhendou-netherlands2.pdf)

<sup>※2</sup> 石井歩ら, 高潮対策用大型水門の海外事例調査, 2002

<sup>※3</sup> Watersnoodmuseum, Maeslant Barrier, <https://watersnoodmuseum.nl/en/knowledgecentre/maeslant-barrier/>

<sup>※4</sup> TU Delft, De Maeslantkering, <https://www.tudelft.nl/citg/over-faculteit/afdelingen/hydraulic-engineering/education/high-school-students-scholieren/field-of-activity-werkveld/de-maeslantkering/>

# マエスラント高潮堰ハウスの概要

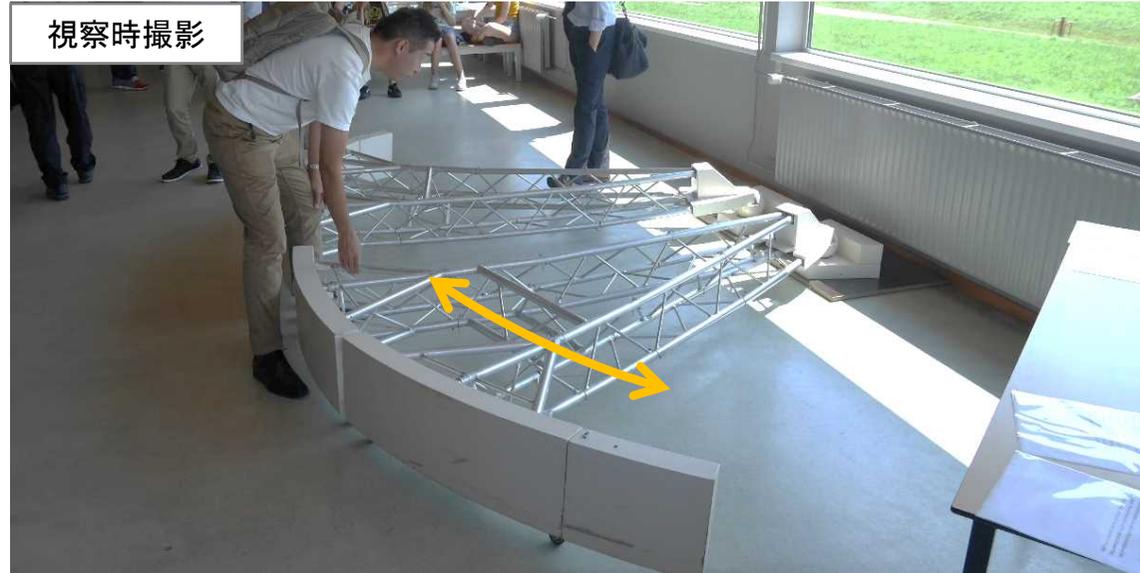
- マエスラント高潮堰に近接する高潮堰“ハウス” (het Kering huis)※は、南ホラント州 (Zuid Holland) の氾濫防御とマエスラント高潮堰に関する情報を視覚的にわかりやすく学ぶことができる体験型施設である。

視察時撮影



デルタワークスで建設された構造物※( )は完成した年

視察時撮影



マエスラント高潮堰の模型

視察時撮影



水に関する知識を身に付ける (防災教育)

# マエスラント高潮堰ハウスの概要

■ マエスラント高潮堰に近接する高潮堰“ハウス” (het Kering huis) ※は、南ホラント州 (Zuid Holland) の氾濫防御とマエスラント高潮堰に関する情報を視覚的にわかりやすく学ぶことができる体験型施設である。

## 政府

「水の政策を策定します。国家水計画では将来の水政策について定めており、デルタプログラムでは将来の世代のためにオランダを安全で住みやすくするための具体的なプロジェクトを説明しています。」

## 州政府

「地域の水政策を策定し、地下水の管理をします。大規模なプロジェクトを指揮し、国の決定における地域の利益を監視しています。南ホラント州では、水のタスクに関して、自然・経済・空間計画などに配慮しながら包括的なアプローチを取っています。」

## 水管理委員会

「堤防・水位・水質・浄水・(場合によっては)水路の管理を担当します。デルフトランド水管理委員会は、強固な堤防や清潔で十分な水、浄化された排水を提供します。」

## 市町村

「都市部の上下水道の建設・維持を確実にに行います。州政府および水管理委員会と協力して水計画を作成します。」

## 視察時撮影

### Het Rijk

Formuleert het waterbeleid op hoofdlijnen. Speerpunten zijn duurzaamheid en inspelen op klimaatverandering. In het Nationaal Waterplan staat het waterbeleid voor de toekomst uitgestippeld. Het Deltaprogramma beschrijft concrete projecten om Nederland voor de komende generaties veilig en leefbaar te houden.

Daarnaast beheert Rijkswaterstaat de grote rivieren en kanalen, het IJsselmeer, de Noordzee en de Waddenzee.

### Provincies

Formuleren het regionale waterbeleid en beheren het (diepe) grondwater. Zij regisseren grootschalige gebiedsprojecten en bewaken de regionale belangen bij nationale besluiten over de waterhuishouding.

De provincie Zuid-Holland pakt haar watertaken allesomvattend aan. Dat wil zeggen: zij let ook op aspecten, zoals natuur, economie en ruimtelijke ordening. Daarin werkt ze samen met haar waterpartners aan duurzame innovatieve oplossingen voor te veel, te weinig, te zout en voldoende zoet water.

De kernopgaven van het provinciale waterbeleid zijn:

1. waarborgen van de waterveiligheid;
2. zorgen voor mooi en schoon water;
3. ontwikkelen van mooi en schoon water;
4. realiseren van een robuust en veerkrachtig watersysteem.

### Waterschappen

Zijn verantwoordelijk voor dijken, peilbeheer, de kwaliteit van het oppervlaktewater, het zuiveren van het afvalwater en (soms) het beheer van de vaarwegen.

Het Hoogheemraadschap van Delfland zorgt voor stevige dijken, schoon en voldoende water en gezuiverd afvalwater in het gebied dat wordt begrensd door de Noordzee, de Nieuwe Waterweg en de lijn Rotterdam-Zoetermeer-Wassenaar. Een dichtbevolkt en gevarieerd gebied, dat deel uitmaakt van de economische motor van Nederland.

### Gemeenten

Zorgen voor aanleg en onderhoud van de riolering en de afwatering in stedelijke gebieden.

Gemeenten werken vaak samen met waterschap en provincie om een waterplan op te stellen. Vaak is het mogelijk om samen een combinatie te vinden waarin ruimte voor water, natuurontwikkeling en recreatie hand in hand gaan.



政府



州政府



水管理委員会



市町村

「水のためにもともに働く」と題した水管理に係る行政機関の役割を示したパネル

---

## 6. まとめ

## まとめ

- ◆ オランダでは、RCP2.6シナリオは現在の気候でも十分に発生する自然変動内の範囲内と解釈しており、確実なRCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオに着目している。
- ◆ 堤防管理において水管理委員会が責任を持ち、法的に決められた氾濫防御基準に従って堤防強化等の順応的な管理を実施している。  
2017年以降、新たに堤防や構造物を設計する場合には、水管理委員会が施設の耐用年数に合致した気候変動シナリオを選定することとなっている。
- ◆ 氾濫防御基準は、国が定めた許容リスク:年間死亡率 $10^{-5}$ を必ず満たすように設定されている。過剰投資を前提としており、特に死者数が多い6地域では基準を引き上げた(社会的リスク)。また、費用便益分析によって便益を見込める場合にも基準を引き上げることができる。
- ◆ ドルドレヒトでは、市が責任を持って、重層的氾濫リスク管理の第2層(土地利用)および第3層(危機管理)の対策を講じている。旧市街では第1層氾濫防御対策として洪水前に止水板を設置し、氾濫水を広げないような取り組みがなされている。ドルドレヒトでは、3つの層の対策を組み合わせることで国の許容リスクである年間死亡率 $10^{-5}$ を満たすことを目指している。
- ◆ 1993及び1995洪水を契機として、洪水流量を安全に流下するためRoom for the Riverを開始し、オランダ全土で40の事業が実施された。ナイメーヘンおよびレントでは大規模な引堤事業を、ノールトワールトでは自然環境に配慮した非干拓地化事業をそれぞれ実施した。将来の気候変動影響も考慮されている。
- ◆ 費用便益分析は、氾濫被害と投資費用のバランスを見ながら最適値を見出し(静的な分析)、投資のタイミングを決定(動的な分析)している。氾濫被害には人命の価値も含まれている。