

オランダの治水分野における気候変動適応策の 検討・実施状況に関する調査報告（第3報）

RESEARCH REPORT ON EXAMINATION AND IMPLEMENTATION STATUS OF CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN THE FIELD OF FLOOD CONTROL IN THE NETHERLANDS (3RD REPORT)

戸村翔¹・千葉学¹・山本太郎¹・武田淳史²・岩井真央³・植村郁彦⁴
舩屋繁和⁵・吉田隆年⁵・大村宣明⁵・星野剛⁶・山田朋人⁶・中津川誠⁷
Sho TOMURA, Manabu CHIBA, Taro YAMAMOTO, Atsushi TAKEDA, Mao IWAI,
Fumihiko UEMURA, Shigekazu MASUYA, Takatoshi YOSHIDA, Noriaki OMURA,
Tsuyoshi HOSHINO, Tomohito YAMADA and Makoto NAKATSUGAWA

¹正会員 一般財団法人 北海道河川財団 企画部（〒060-0807 札幌市北区北7条西4丁目5-1 伊藤110ビル）

²非会員 国土交通省北海道開発局 建設部 河川計画課（〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目）

³正会員 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 河川計画課（〒060-8506 札幌市中央区北2条西19丁目）

⁴正会員 （株）ドーコン 水工事業本部 河川環境部（〒060-0042 札幌市中央区大通西10丁目4-132）

⁵正会員 （株）ドーコン 水工事業本部 河川部（〒060-0042 札幌市中央区大通西10丁目4-132）

⁶正会員 北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

⁷正会員 室蘭工業大学大学院工学研究科（〒050-8585 室蘭市水元町27-1）

This report focuses on Dutch advanced efforts are under progress, including concrete climate change adaptation measures such as improvement of flood protection system. In order to grasp the detail from background to latest trends, we conducted an interview for flood control engineers and researchers and exchange of opinions with them as well as a document survey.

As a result, we got several new findings that give important implications when we consider climate change forecasts and adaptation measures in Japan such as, tolerable individual risk 10⁻⁵, consideration of societal risk, how to determine flood protection standards, multi-layer flood risk management in Dordrecht, latest review and research on crisis management, and so on.

Key Words : *climate change, individual risk, flood protection standards, multi-layer flood risk management, Dordrecht, Netherlands*

1. はじめに

平成28年8月北海道大雨激甚災害を受けて、国土交通省北海道開発局及び北海道庁は共同で「平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」を設置し、今後の水防災対策のあり方¹⁾を提言した。

北海道地方では同提言を受け、大規模アンサンブル気候予測データベース（d4PDF）²⁾を用いた将来気候予測³⁾に基づく氾濫リスク評価⁴⁾が実施され、十勝川流域及び常呂川流域において、気候変動を踏まえた治水対策が検討されている。⁵⁾

検討に際しては、我が国において気候変動予測に基づ

いた氾濫リスク評価及び気候変動適応に関する事例が数少ないため、オランダを始めとする諸外国の先進事例に着目し、千葉ら⁷⁾は検討に資する気候変動適応策の検討・実施状況に関する調査を実施し、報告してきた。

オランダに着目した主な根拠としては、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（水害経験及び水害リスクの観点）、河口デルタの低湿地帯に位置し自ら国土を開拓してきたため歴史的に見ても水害に対する意識が高いこと（リスク認識の観点）、気候変動予測から氾濫リスク評価、適応策実装など一貫した取り組みが進められていること（制度的な観点）、



図-1 堤防等の安全性評価実施状況（2020年4月現在）¹³⁾

法的な位置づけを持つ気候変動を考慮した計画を有していること（計画的な観点）などが挙げられる。

今回、資料調査を引き続き進めるとともに、さらに理解を深めるため2019年6月にはオランダで治水関係者らとの情報/意見交換会を実施した。対象者は、オランダ公共事業局（Rijkswaterstaat）・リヴィーレンランド水管理委員会（Rivierenland Water Board）・ドルドレヒト市（Municipality of Dordrecht）・デルタレス（Deltares）・デルフト工科大学（TU Delft）・HKVコンサルタント（HKV Consultants）の技術者・研究者らである。我が国における気候変動予測とリスク評価及び適応策検討に際して重要な示唆を与える複数の新たな知見を得たので、以下に詳細を報告する。

2. 政策決定

(1) 氾濫防御基準に基づくハード整備

オランダの氾濫リスク管理政策は、2050年までに氾濫防御システム（以下、「堤防等」）に守られる全オランダ国民の年間死亡率を10万分の1（ 10^{-5} ）以下にすることを目的として実施される。さらに、洪水時に多くの死者や重大な経済被害が発生する可能性がある場合には追加の防御レベルが提供されることとなる⁹⁾（詳細は(2)で報告）。

ライン川（Rhine）やマース川（Meuse）などのオランダ主要河川の堤防等は、2017年1月から水法（Water Act）で定められたリスクベースの氾濫防御基準（flood

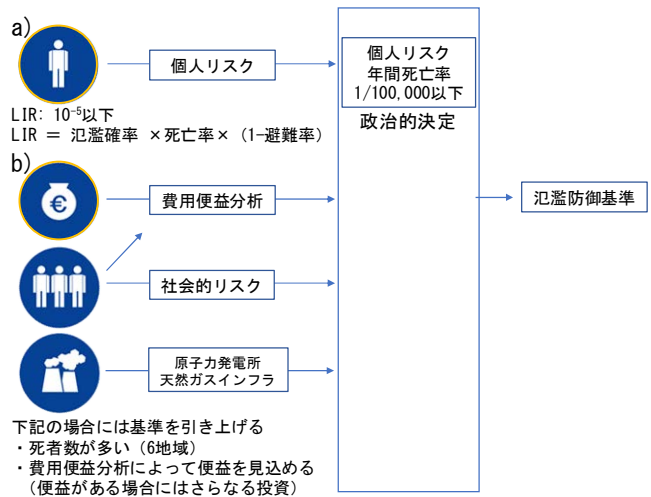


図-2 氾濫防御基準決定の原則¹⁴⁾

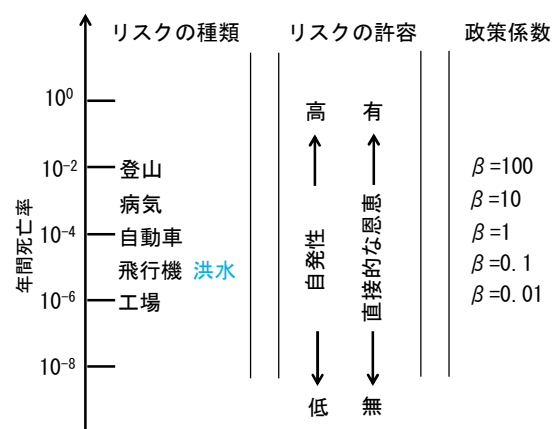


図-3 様々なリスクの年間死亡率（参考資料¹⁶⁾に一部追加）

protection standards) に基づいて安全性が評価され、安全性が不十分な場合にはオランダ公共事業局及び水管理委員会による氾濫防御システム強化プログラムであるHWBP（Het Hoogwater-beschermingsprogramma）¹⁰⁾の下で、補強及び強化される。¹¹⁾インフラ・水管理省（Ministry of Infrastructure and Water Management）は、堤防等の法定評価ツールWBI（Voor-bereiding Wettelijk Beoordeling sinstrumentarium）¹²⁾を用いて、法定要件を満たしているかを評価する。同省の監督機関である環境・運輸検査局（Human Environment and Transport Inspectorate）は評価結果を検査し、承認した場合には評価完了となる。

2020年4月現在、主要河川延長のうち23%が評価完了、5%が環境・運輸検査局が承認待ち、残り72%が未完了の状況である（図-1）。¹³⁾

(2) 氾濫防御基準の決定

前述のように、氾濫防御基準は、堤防等によって守られる地域の許容リスクに基づいて設定されているリスクベースの基準であり、下記に示す2つの原則に基づき決定されるものである（図-2）。¹⁴⁾

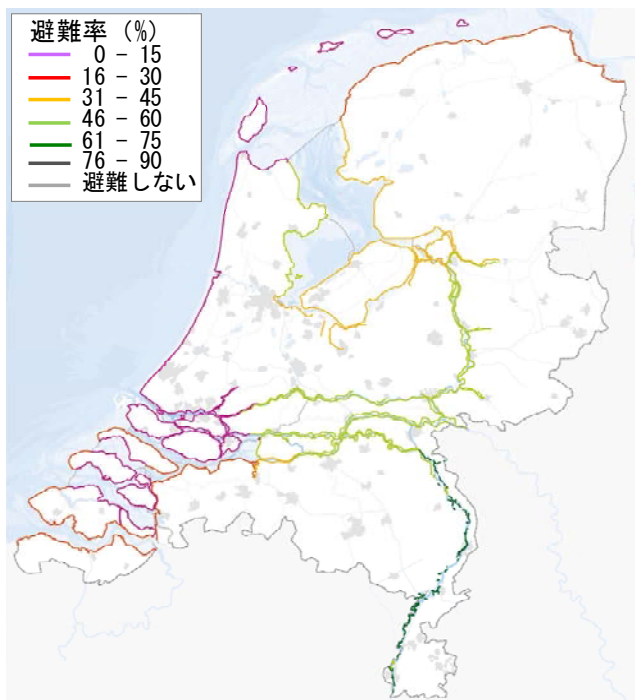


図-4 氾濫防御基準決定に用いられた避難率¹⁴⁾

a) 基本的な個人の許容リスク

オランダにおける治水分野の許容リスク (Tolerable individual risk) は、「産業分野の危険に関する国家政策 (The Dutch major hazards policy)」をもとに決定されている。産業分野における個人の許容リスクは1人あたりの年間死亡率100万分の1 (10^{-6}) 以下と設定されており、治水分野における許容リスク (local individual risk) はB/C及び避難の可能性等の観点から年間死亡率10万分の1 (10^{-5}) 以下と設定された。¹⁵⁾

オランダ国内において、年間死亡率 10^{-5} のリスクレベルは飛行機事故で死亡するリスクと同程度と認識されている (図-3)。その他のリスクと比較すると、「工場」や「飛行機事故」、「洪水」の死亡率は相対的に低く「登山」や「病気」の死亡率は相対的に高いことがわかる。さらに、「登山」や「病気」は自発性が高く、直接的な恩恵があるが、「工場」や「洪水」は自発性が低く、直接的な恩恵もない。¹⁶⁾

なお、氾濫防御基準決定に用いられた避難率 (図-4) は、人口が集中する沿岸地域では水平避難が難しいことから概ね低く、ライン川やマース川などの主要河川沿いの地域では沿岸地域と比較してリードタイムがあるため概ね高く、各々設定されている。ここでの「避難」とは、洪水前に浸水しない地域に移動するものと仮定された「避難」を指す (HKVコンサルタント及びオランダ公共事業局聞き取り結果)。

b) 社会的リスク及び費用便益分析

個人の許容リスクである年間死亡率 10^{-5} はオランダ全国民に提供される治水分野のリスクレベルであるが、下



図-5 氾濫防御基準が引き上げられた6地域¹⁴⁾



図-6 ドルドレヒト位置図

記の場合には氾濫防御基準の引き上げを行うこととなる (追加の防御レベルが提供されることを意味)。

- ・ 潜在的な死者数が多い場合 (閾値は死者数1,000人だが、行政的な判断となる)
 - ・ 費用便益分析によって便益を見込むことができる場合
 - ・ 浸水時に大きな社会的混乱を招くことが予想される原子力発電所などの特定の施設が存在する場合
- 氾濫防御基準の決定に際しては、「過剰投資」を原則とした同基準の引き上げを実施した。オランダ南西部のドルドレヒト (Dordrecht) をはじめとする6地域については、潜在的に死者数が多い、社会的リスク (societal risk) の高い地域として個人の年間死亡率 10^{-5} に加えて同基準の引き上げが実施された (図-5)。地形的特徴として、6地域は河川洪水及び北海の高潮の両方の影響を受ける地域であることが共通している (オランダ公共事業局聞き取り結果)。

3. ドルドレヒトの事例

(1) ドルドレヒトの概要

オランダ南西部に位置するドルドレヒトは、都市の権利を取得してから2020年で800年となるオランダの古都の一つである。

ドルドレヒトは周囲をライン川及びマース川に囲まれ

表-1 ドルドレヒトで実施される重層的氾濫リスク管理の概要 (参考資料⁸⁾及びドルドレヒト市聞き取り結果を基に、著者作成)

	各層の詳細	責任や出資	特記事項
第1層： 氾濫防御 	◎予防策を実施する氾濫防御 オランダ全国民の年間死亡率 10^{-5} を保証することを目的に設定された氾濫防御基準を満たすようなハード整備	基準設定：政府（原則50年ごと） 安全性評価実施：水管理委員会（12年ごと） 安全性評価ツール提供：公共事業局 対策実施：水管理委員会（予算は政府50%、水管理委員会50%）	ドルドレヒトでは、危機管理によって2050年の年間死亡率 10^{-5} を達成しようとしている
第2層： 空間計画 	◎氾濫被害を抑制する土地利用 適切な空間計画によって、氾濫後の復旧時間が短縮され、気候変動に対しても回復力が向上する 法的に規定されていないため、現状では“できるだけことをする”状況	自治体 現状では補助金などはない	今後、法的に規定される可能性がある
第3層： 危機管理 	◎あらゆる氾濫に対応する危機管理 平常時：防災教育や地域のコミュニティ強化、危機管理計画及び避難計画の検討あるいは立案 洪水時：避難情報の発令等 例：TV・ラジオ・ソーシャルメディアによるニュース、サイレン、メール配信	自治体 （避難情報の発令は首長の役割） 公共事業局→水管理委員会、自治体→自治体の首長→市民の順で情報提供（我が国と同様に法的規定）	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 今後、リバーシブルレーンの実地実験が実施される

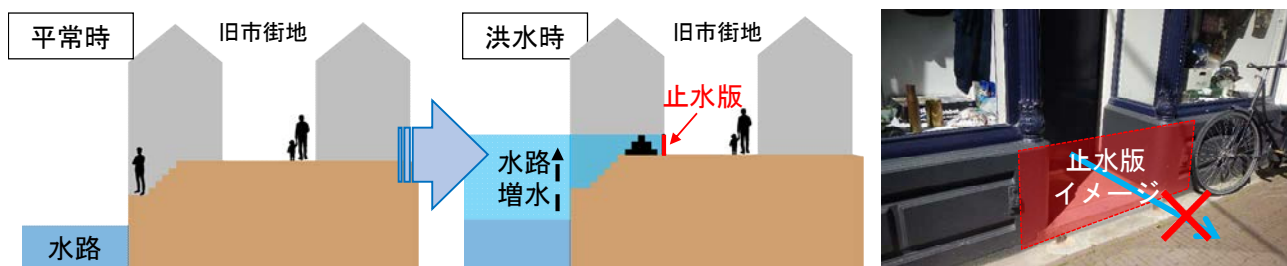


図-7 小規模洪水時の氾濫対策（左及び中央、ドルドレヒト市提供資料を基に著者作成）と現地撮影写真（右、著者撮影）

たデルタ都市であり、洪水時には周辺地域へ渡る橋が通行できなくなることから、「ドルドレヒト島 (Island of Dordrecht)」あるいは「自給自足の島 (self-sufficient island)」と呼ばれる地域である (図-6)。

ガバナンス構造は単純で、自治体（ドルドレヒト市）・水管理委員会（ホランセデルタ水管理委員会）・地域の危機管理当局から構成され、それぞれが氾濫リスク管理の役割と責任を有する。

(2) デルタプログラムと重層的氾濫リスク管理

オランダは低平地であり、河川氾濫が発生しやすい国土条件である。オランダ政府は、現在から将来にわたって国土を守り、異常気象に備える必要があると考え、水管理に関する具体的な施策等を示した年次計画であるデルタプログラム (Delta Programme) を開始した。

同プログラムは、氾濫防御・十分な淡水確保・耐候性の空間計画の3つ柱を目的としており、気候変動影響による海面上昇や極端豪雨頻度増加によって増大する氾濫リスクを管理する計画である。¹⁷⁾

ドルドレヒトは、デルタプログラムにおける回復力ある (resilient) 氾濫リスク管理に関するパイロット研究の対象地域である。重層的氾濫リスク管理 (multi-layer flood risk management) による「リスクに応じたカスタマイズ (Customisation according to risk)」という計画を持つ。¹⁸⁾水管理に係る各機関（オランダ公共事業局・水管理委員会・自治体が主体）が各々責任を有し3層の対策

を講じていくことで、ハード整備だけでなく空間計画あるいはソフト対策を組み合わせながら氾濫リスク低減を図る手法である。

ドルドレヒトで実施されている重層的リスク管理の概要を表-1に整理し、各層の要点を書き出し、ドルドレヒトでの取組状況等を報告する。

a) 第1層：氾濫防御（予防策）

堤防等を守るオランダ全国民の年間死亡率 10^{-5} を保証することを目的に設定されたリスクベースの氾濫防御基準を満たすような氾濫防御 (flood protection)，つまり、ハード整備（堤防強化等）を実施する必要がある。

前述のように、ドルドレヒトは社会的リスクの高い地域であるため、1ランク高い基準に引き上げられた経緯がある。旧市街地における堤防の嵩上げや無堤区間での築堤は費用面から断念されたものの、堤防上に家屋が立地しているような場所では鋼矢板等を用いた堤防補強工事が実施された。堤防補強工事は、社会的リスクを勘案した高い氾濫防御基準を基に工事が実施された。しかしながら、第1層の氾濫防御のみでは年間死亡率 10^{-5} を満たすことはできず、後述する第2層及び第3層の対策によって同リスクレベルを達成していくことを目指している。

また、ドルドレヒトの旧市街地フォーストラート (Voorstraat) では、過去の洪水経験からリスク管理への意識が高く、小規模の氾濫対策として止水板 (図-7) や土嚢、防護柵を用いた対策を実施している。

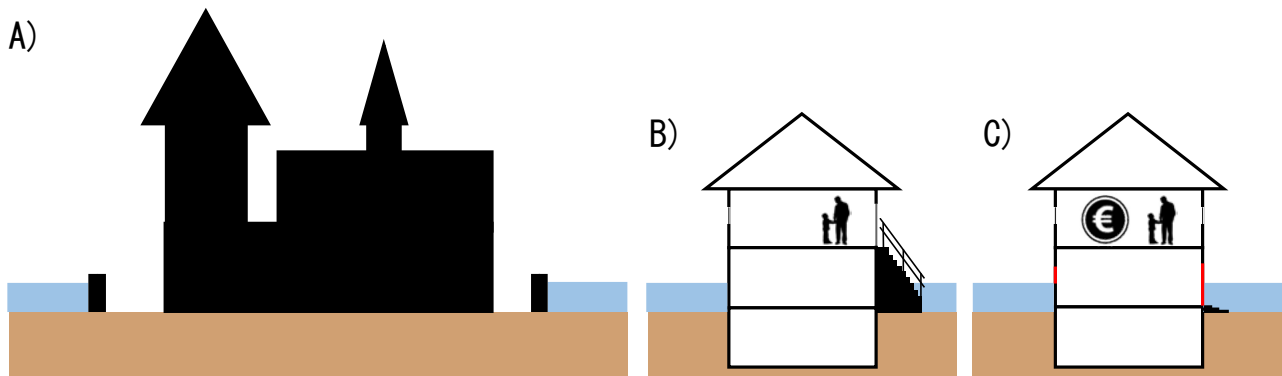


図-8 空間計画における各対策イメージ，A) 文化財を守るための小堤防，B) 高い位置に玄関を設置，C) 貴重品を2階に置く
(ドルドレヒト市提供資料を基に，著者作成)

今後、気候変動によって海面の上昇及び洪水流量の増大が予想されており、ドルドレヒトは両方の問題に対処する必要がある。現在、河川水位に応じて機能を発揮する可動式の堤防（Afsluitbaar Open Rijnmond）¹⁹を計画中であり、将来的には重要な文化財を守りつつ、市街地の氾濫リスクを低減させていく予定である。（オランダ公共事業局及びドルドレヒト市聞き取り結果）

b) 第2層：空間計画（土地利用施策）

適切な空間計画（spatial planning）の立案及び施策の実施によって、氾濫被害を軽減することができる。例えば、堤防等が氾濫防御基準を満たしていたとしても、依然としてリスクは完全には取り除かれない。適切な空間計画によって、氾濫後の復旧時間が短縮され、気候変動に対しても回復力（resilience）が向上する。⁹その他、地域を細かく区画化（compartmentalization）²⁰することで、河川が氾濫した場合に浸水から都市部を守ることも挙げられる。基本的には、二次堤防あるいは小堤防の建設など第1層との組み合わせによって氾濫リスクを低減していることが必要である。

ドルドレヒトの旧市街地では、洪水時に教会などの文化財を守るために小堤防を築いている（図-8A）。また、浸水する恐れのある家屋は所有者が対策を実施しなくてはならないケースもある。前述のように、旧市街地の住民はリスク管理への意識が高いため、家屋の1階部分を浸水させないように高床化させたり、高い位置に玄関を設置したり（図-8B）、貴重品を2階に置くような対策（図-8C）を講じている。

現状では、家屋の耐水化等に関する法的な規定はなされておらず、住民自身が“できるだけのことをする”状況であるものの、今後法的に規定される可能性がある。（ドルドレヒト市聞き取り結果）

c) 第3層：危機管理

危機管理（crisis management）としては、平常時の防災教育や地域のコミュニティ強化、危機管理計画及び避難計画の検討あるいは立案、洪水時の避難情報の発令等

が挙げられる。

ドルドレヒトでは、洪水時に住民自身ができることを展示やゲーム等から学習できるようにしている。洪水時の避難情報については、オランダ公共事業局が洪水予測を実施してナショナルカラーコード（Landelijke kleurcodering）²¹と呼ばれる色分けを用いて、警戒レベルを示し、水管理委員会及び自治体へ連絡する。オランダ公共事業局及び水管理委員会が自治体へ助言し、自治体の首長がサイレンやソーシャルメディアのニュース、携帯端末のメッセージ等の手段で住民へ周知する仕組みとなっており、我が国と概ね同様である。

また、ドルドレヒトにおける「避難」とは避難所への水平避難ではなく、垂直避難を示しており、自治体は垂直避難を推奨している。これは、洪水時の誤ったタイミング（リードタイムが短い場合）での避難所への水平避難は、道中で被害に遭うことを避けるためである。（参考資料²²及びドルドレヒト市聞き取り結果）。

大規模な河川氾濫が想定され、なおかつ十分なリードタイムがある場合には、高速道路を主な避難経路として利用して、島外へ避難する（オランダ公共事業局聞き取り結果）。2017年、オランダ公共事業局は洪水時の避難経路として、多車線道路における反対車線の進行方向を一時的に変更する交通規制であるリバースブルレーン（reverse laning）の実現性を評価した。今後、交通管理や避難計画、予想される費用等が検討される予定である。ドルドレヒト近郊の高速道路は、リバースブルレーンのパイロットロケーションに設定されており、実地実験が実施されることとなっている。⁹

4. おわりに

オランダにおける個人の許容リスクやリスクベースの氾濫防御基準の決定方法、同基準に基づくハード整備の実施状況、パイロット研究として実施されるドルドレヒトでの重層的氾濫リスク管理手法とその実施状況等を報告した。得られた主な知見を、以下に列記する。

- ・ 氾濫防御基準は、個人リスクだけでなく、社会的リスク及びB/Cを勘案しながら「過剰投資」を原則として決定されている。
- ・ ドルドレヒトではハード整備（第1層）を基本として、空間計画（第2層）及び危機管理（第3層）から、リスクに応じた回復力あるリスク管理が実施されている。
- ・ ドルドレヒトの危機管理については、先進的かつ多方面の検討がなされているなど、現在及び気候変動後の将来に備えて、氾濫リスクを管理あるいは低減させていく取組がなされている。

我が国においても、気候変動影響が現実のものとなっている状況にあり、早期に治水安全度を達成するハード整備とともに、気候変動下において回復力ある空間計画や過去の洪水経験を活かした危機管理など、リスクに応じたリスク管理が重要であると考えます。

今後も継続的に情報/意見交換会を実施し、両国の治水技術の向上に資する連携を図っていく。

謝辞：本調査にあたっては、オランダ公共事業局・リヴィーレンランド水管理委員会・ドルドレヒト市・デルタレス・デルフト工科大学・HKVコンサルタントの技術者・研究者らと情報/意見交換会を実施し、オランダ側から数多くの情報提供とご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会：平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方，2017。
- 2) 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF)： <http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/> (閲覧日：2020年4月)。
- 3) 山田朋人，星野剛，舩屋繁和，植村郁彦，吉田隆年，大村宣明，山本太郎，千葉学，戸村翔，時岡真治，佐々木博文，濱田悠貴，中津川誠：北海道における気候変動に伴う洪水外力の変化，河川技術論文集第24巻，2018。
- 4) 舩屋繁和，植村郁彦，吉田隆年，大村宣明，千葉学，戸村翔，山本太郎，岡部博一，佐々木博文，小林彩佳，大屋祐太，星野剛，山田朋人：実河川流域における大量アンサンブル気候予測データに基づく将来気候下での降雨の時空間分布について，河川技術論文集第25巻，2019。
- 5) 戸村翔，舩屋繁和，植村郁彦，吉田隆年，大村宣明，千葉学，山本太郎，岡部博一，佐々木博文，小林彩佳，星野剛，山田朋人，中津川誠：Florisモデルを用いた将来気候下における大規模水害時の死者数推定，水工学論文集第64巻，2019。
- 6) 北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会：第2回北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会，
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat000001rty

q.html (閲覧日：2020年4月)。

- 7) 千葉学，戸村翔，山本太郎，植村郁彦，舩屋繁和，吉田隆年，大村宣明，時岡真治，佐々木博文，濱田悠貴，星野剛，山田朋人，中津川誠：オランダの治水分野における気候変動適応策の検討・実施状況に関する調査報告，河川技術論文集第24巻，2018。
- 8) 千葉学，戸村翔，山本太郎，植村郁彦，舩屋繁和，吉田隆年，大村宣明，岡部博一，佐々木博文，小林彩佳，星野剛，山田朋人，中津川誠：オランダの治水分野における気候変動適応策の検討・実施状況に関する調査報告(第2報)，河川技術論文集第25巻，2019。
- 9) Ministry of Infrastructure and Water Management, Ministry of Agriculture, Nature, and Food Quality and Ministry of the Interior and Kingdom Relations: Delta Programme 2019 – Continuing the work on the delta: adapting the Netherlands to climate change in time, 2018。
- 10) HWBP voor sterke dijken:
<https://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/default.aspx>
(閲覧日：2020年4月)。
- 11) Stuurgroep Water: Draaiboek - Eerste Beoordeling Primaire Keringen Overstromingskans, 2016。
- 12) De Waal, H. (Deltares): Basisrapport WBI 2017 - Versie 1.2, 2018。
- 13) Waterveiligheidsportaal:
<https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment> (閲覧日：2020年4月)。
- 14) ENW(Flood Risk Management Expertise Network): Fundamentals of flood protection, 2017。
- 15) Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation: Delta Programme 2014 – Working on the delta, 2013。
- 16) Vrijling, J.K and Van Gelder, P.H.A.J.M., Criteria for acceptable Risk in the Netherlands, 2005。
- 17) Ministry of Infrastructure and Water Management, Ministry of Agriculture, Nature, and Food Quality and Ministry of the Interior and Kingdom Relations: Delta Programme 2020 - Continuing the work on the delta, 2019。
- 18) Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation: Delta Programme 2015 - The decisions to keep the Netherlands safe and liveable, 2014。
- 19) Technische Universiteit Delft: Afsluitbaar Open Rijnmond - een systeembenadering, 2010。
- 20) Klijn, F., Asselman, N. and Van der Most, H.: Compartmentalisation: flood consequence reduction by splitting up large polder areas, 2010。
- 21) Ministerie van Infrastructuur en Milieu: Nationaal Crisisplan - Hoogwater en Overstromingen, 2016。
- 22) Kolen, B., and Helsloot, I.: Time needed to evacuate the Netherlands in the event of large-scale flooding - strategies and consequences, 2012。

(2020. 4. 2受付)