

オランダにおけるリスクベースの治水計画の要点

The point on risk-based flood management plan in the Netherlands

一般財団法人 北海道河川財団○正 員 戸村 翔 (Sho Tomura)
 国立大学法人 室蘭工業大学 大学院工学研究科 正 員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)
 一般財団法人 北海道河川財団 正 員 山本太郎 (Taro Yamamoto)
 千葉 学 (Manabu Chiba)
 国立大学法人 北海道大学 大学院工学研究院 正 員 山田朋人 (Tomohito Yamada)
 星野 剛 (Tsuyoshi Hoshino)

1. はじめに

近年は2015年9月関東・東北豪雨災害、2016年8月北海道大雨激甚災害、2017年7月九州北部豪雨災害、2018年7月西日本豪雨災害と、毎年のように豪雨災害が発生している。IPCC第5次評価報告書においても「気候システムの温暖化については疑いの余地がない。極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い。」¹⁾と報告されており、既に気候変動時代に突入していることが科学的にも証明されている。

北海道地方では、2016年8月北海道大雨激甚災害を受けて、基本方針と今後の水防災のあり方が提言された。基本方針としては、「気候変動の影響が現実のものとなったと認識し、北海道から先導的に気候変動の適応策に取り組むべき。過去の降雨や水害等の記録だけではなく、気候変動による将来の影響を科学的に予測し、具体的なリスク評価をもとに治水対策を講じるべき。」と提言され、2017年7月から北海道地方における気候変動の影響（降雨量、洪水量の変化）を最新の知見に基づき、大規模アンサンブル実験データを用いた科学的な気候変動予測が行われ、気候変動の影響による氾濫リスクの変化と人的リスク等の変化を算定した²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

また、今後の水防災のあり方としては「気候変動を考慮した治水計画」が示された。²⁾我が国においては、気候変動を考慮した具体的な治水計画の立案には至っておらず、2018年4月から気候変動を踏まえた治水計画に関わる技術検討委員会が設置され、現在検討が進められている。

気候変動の影響を日本の治水計画及び治水対策に取り入れるためのアイデアをオランダの事例から探ることとした。オランダを選択した根拠としては、下記に示す3点が挙げられる。

- ・ 低平地を抱える国土条件から歴史的に治水の意識が高い。
- ・ 将来の気候変動予測から氾濫リスクの推定、計画の策定及びハード整備など一貫した取り組みが進められている。
- ・ 気候変動を考慮した計画が法整備されている。

このようなことを背景に、資料調査及び関係者であるオランダ公共事業局のDurk Riedstra氏、独立研究所DeltaresのMark Hegnauer氏、HKVコンサルタントのBas Kolen氏、Bob Maaskant氏への聞き取り調査（2018年11月26日～11月29日）等を実施し、オランダの治水計画や治水事業の変遷と最新の動向を調査し、我が国の治水計画において資する要素を整理した。

2. 我が国の治水計画

(1) 計画の変遷

我が国における近代的な治水計画は、1910年の全国的な大水害の後に策定されたのが最初の長期的な治水計画であった。その後、時代とともに財政事情等の社会経済が変化し、合わせて治水計画も移り変わってきた。¹⁰⁾

1964年の河川法により、治水・利水の体系的な制度の整備を行うために、水系一貫管理制度として工事実施基本計画が立案され、基本方針や基本高水、計画高水流量等の内容が決定された。その後、1997年の河川法の改正により、治水・利水・環境の総合的な河川制度の整備を行うために、地域の意見を反映した現在の河川整備の計画制度（以下、「現行計画」という。）が導入された。現行計画では、大きく2つの計画のもとで河川整備を行うこととしており、「河川整備基本方針（以下、「基本方針」という。）」と「河川整備計画」がある。¹¹⁾基本方針は、河川整備の長期的な目標を示す方針であり社会資本審議会の意見が反映され、基本方針の決定・公表が行われる。河川整備計画は20～30年で達成できる短期的かつ具体的なものであり、住民や地方公共団体の長の意見が反映され、河川整備計画の決定・公表が行われる（図-1）。

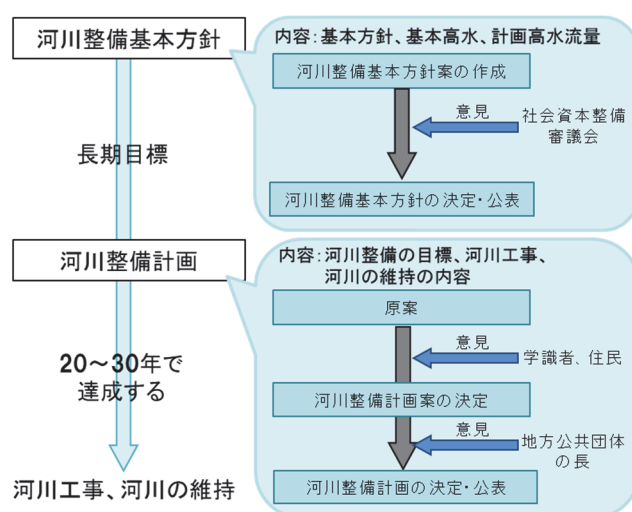


図-1 我が国における現在の河川整備計画制度
 （参考文献¹²⁾を基に作成）

(2) 計画の課題

現行計画は、流域の規模、人口や資産等から決定した治水安全度（計画規模）をもとに、計画流量の決定を行うものである。計画規模は一級河川主要区間では 1/100～1/200 年確率であり、現行計画は河川の重要度に応じた確率規模の洪水時の被害解消を目標としている。本研究では、ハザード（確率）ベースと呼ぶこととする。

現状では、目標整備水準に遠く及ばない整備途上であるとともに、近年の治水投資額の減少により、治水整備の進捗は鈍化し、目標達成まで要する時間の見通しを持ちづらい状況となっている¹³⁾。

近年頻発する水害を受けて、2017 年 5 月、水防法等の一部を改定する法律が公表され、「『逃げ遅れゼロ』、『社会経済被害の最小化』を実現し、同様の被害（2015 年 9 月関東・東北豪雨災害、2016 年 8 月北海道大雨激甚災害）を二度と繰り返さない根本的な対策が急務。」¹⁴⁾と提言されたが、前述のように具体的措置までは至っておらず、現在検討が進められている状況である。

また、国民の理解としては、ハザードベースでは 1 度発生したイベントがもう 1 度発生し得るとは考えにくいような誤解を与える可能性がある。例として、1/100 年確率は 100 年に 1 度発生する事象と思われがちだが、実際にはある年に超過する確率が 1/100 という意味であり、80 年間で約 55%の確率で発生する事象であるため、もう 1 度発生することは十分起こり得ることである。

3. オランダの治水計画

(1) 治水計画・治水事業の変遷 ハザードベースの治水計画

西欧に位置するオランダは、国土の約 1/4 が海面以下にある低平地である。西部は北海に面し、南部はライン川やマース川のデルタ地帯であり、このためオランダは度重なる水害に襲われてきた歴史を持つ。度重なる水害から自らの国土を守るために、堤防は輪中堤のように国土を囲むように築かれてきた。輪中堤のような堤防は、堤防リング（Dike-ring）と呼ばれる（図-2）。

オランダでは 1953 年の北海高潮（North Sea flood of 1953）で 1,800 人が死亡するなど甚大な被害を受けた。これを受け、政府はオランダの河口域を締め切り、高潮から国土を守る大規模事業計画「デルタプラン（Delta Plan）」を策定した。デルタプラン策定により大規模事業「デルタワークス（Delta Works）」が開始され、マースラント高潮堰（Maeslantkering）や東スヘルデ防潮水門（Oosterscheldekering）など、約 40 年間にわたり数多くの施設が整備されてきた¹⁶⁾。



図-2 堤防リングのイメージ
（参考文献¹⁵⁾を基に筆者作成）

1953 年の北海高潮を契機として、オランダでは全国土を覆う範囲で目標とする治水安全度が設定された。沿岸部（高潮の影響が大きい）、河川上流部（洪水の影響が大きい）、中間部と分けて設定され、沿岸部では、北海高潮の実績潮位に基づいて最悪の気象条件のもとで計画対象潮位を 5.0m と決定した。これは年確率に直すと 1/10,000 に相当する。河川上流部では、1/3,333 確率流量とする予定であったが、長大な堤防が景観、文化的・歴史的遺産等に与える影響が懸念され、1/1,250 年確率の計画規模が決定された。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ている¹⁷⁾。いずれにしても、非常に高い計画規模のもとで国土を保護してきたことがわかる。（図-3、図-4）

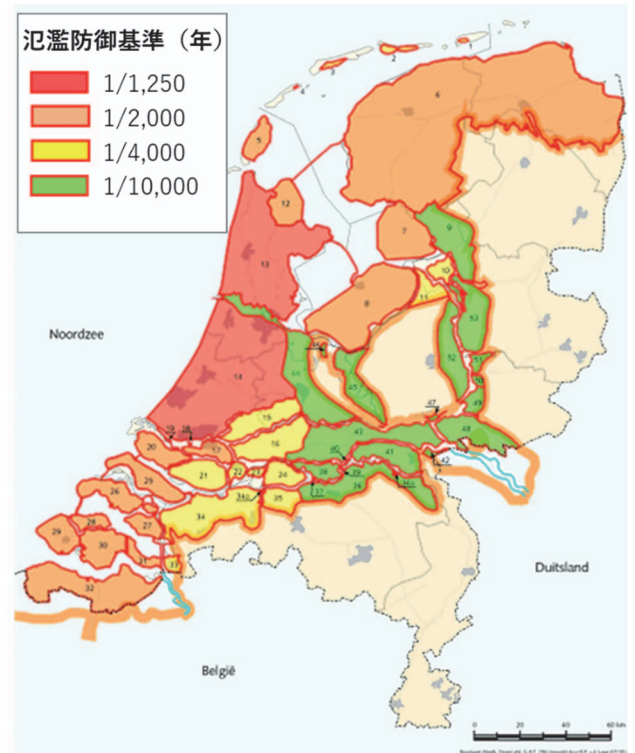


図-3 ハザードベースの氾濫防御基準¹⁸⁾

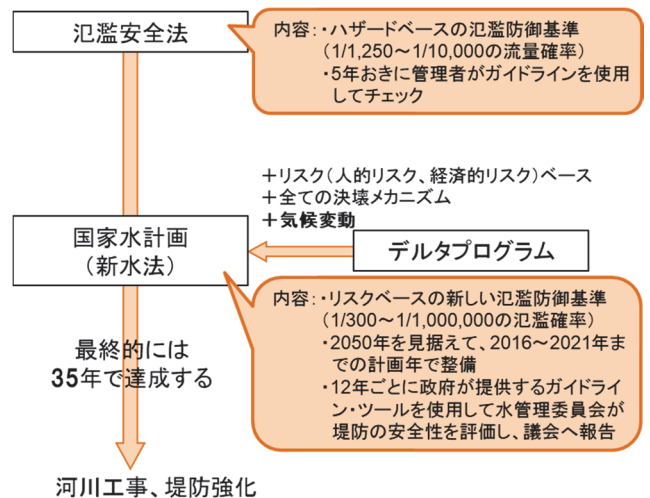


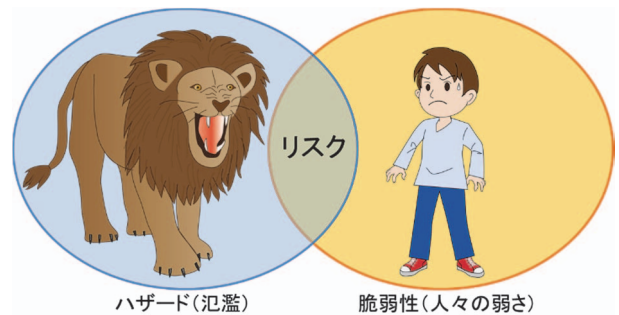
図-4 オランダにおける現在の河川整備計画制度
（ヒアリング結果を基に筆者作成）

図-5 リスクベースの新しい氾濫防御基準²⁰⁾

(2) 治水計画・治水事業の変遷 リスクベースの治水計画

1993年のライン川の洪水では約10,000人が避難し、1995年のライン川の洪水では約250,000人が避難する事態となった。¹⁶⁾政府は1996年氾濫防御法 (Flood Protection Act, 2009年に「新水法」として統合される。¹⁹⁾)を施行し、1953年以降に設定・整備されてきた治水安全度 (1/1,250~1/10,000年確率)を氾濫防御基準 (flood protection standards)として法的に整備することを決定¹⁸⁾ (図-4, 図-5)し、水管理委員会 (Water Boards)による堤防評価も合わせて法的に整備した。¹⁷⁾²¹⁾氾濫防御法ではライン川・マース川両河川の計画流量の評価を規定しており、政府は、ライン川を対象とした河川空間拡張プロジェクト「ルーム・フォー・ザ・リバー (Room for the River)」及びマース川を対象とした「マースプロジェクト (Maaswerken)」を開始した。これらのプロジェクトは従来の「氾濫流から国土を守る」こと「安全に下流へ流すこと」に移行したことを示している。各事業では、ライン川ロビス地点及びマース川ボルフハーレン地点の計画流量を引き上げており、2050年あるいは2100年までにさらなる引き上げを行う予定としている²²⁾²³⁾。両事業ともに政府主導で実施され、2050年の計画流量には気候変動予測 KNMI' 06²⁴⁾²⁵⁾の結果が考慮されおり、「気候変動を考慮した計画流量」となっている (ヒアリング結果)。

2005年ハリケーンカトリーナがアメリカのニューオーリンズに襲来し、多数の死者が出た。これを契機として、オランダ政府は氾濫による人的リスクに目を向けることとした²⁶⁾ (ヒアリングでは「モーニングコール」と表現された)。政府は、まず現状のオランダ全土の氾濫確率 (flood probability) と氾濫による被害 (consequence) を把握し、堤防の弱部を見極めるために「Floris プロジェクト (Flood Risks and Safety in the Netherlands, 英語表記ではFloris, オランダ語表記ではVNK)」¹⁸⁾¹⁹⁾を開始し

図-6 リスクの概念図 (参考文献²⁹⁾を基に筆者作成)

た。全ての堤防決壊メカニズムを考慮することで堤防区間 (堤防リングを細かく分割) を確率的に評価し、各堤防区間の氾濫確率を決定した¹⁶⁾。

これを踏まえ、2010年オランダ政府は、オランダを安全かつ魅力的で住みやすく働きやすい場所とし続けるための長期的な計画である第2のデルタプラン「デルタプログラム (Delta Programme)」²⁷⁾²⁸⁾を開始した (ヒアリング結果)。デルタプログラムはデルタプランのように大規模な事業に直結するような計画ではなく、今後の気候変動を考慮した治水対策や財源の確保等の舵取りの役割を担っている。氾濫リスク管理 (flood risk management)、淡水確保 (fresh water supply)などを目的に毎年内容が更新され、デルタ委員 (Delta Commissioner)によって議会に提出されている¹⁶⁾²⁵⁾。

デルタプログラムの本質的な内容を整理し提言された2015年の「デルタ決定 (Delta Decision)」と、その後内閣によって法整備された「国家水計画 (National Water Plan)」²⁰⁾では、氾濫リスク管理においてはオランダの全国民に同レベルのリスクレベルを提供するために、リスクベースの新たな氾濫防御基準が設定された¹⁶⁾²⁵⁾²⁷⁾²⁸⁾。水管理委員会は政府が作成したガイドライン及びツールを使用し12年ごとに堤防評価を行い、順応的管理が行われている。また、水管理委員会は堤防が氾濫防御基準を満たしているのかを議会に報告する義務を負い、基準を満たさない堤防は新たな対策を実施することが必要となる (ヒアリング結果)。

4. リスクベースの考え方

リスクとは、特定の事象の氾濫確率とその氾濫によって発生する被害のかけあわせである¹⁶⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁵⁾²⁷⁾²⁸⁾ (図-6)。海岸・河川整備等を実施するにあたり、基準となる許容リスク (tolerable risk) は政治的判断と社会的費用便益分析 (Social Cost-Benefit Analysis) によって決定された。国民一人一人のリスクを個人リスク

(individual risk, 通称 IR。)とし、年間1/100,000の許容リスクを目標として2050年までに達成することを目指している。年間1/100,000を基準として、氾濫確率あるいは氾濫による被害を減らすように堤防強化等の対策を実施する必要がある¹⁶⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁵⁾²⁷⁾²⁸⁾。

IRとは、オランダの住宅・空間計画・環境省 (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment) が産業分野で使用する指標であり、危険な事故で特定の場所での個人が死亡する可能性として定義されてきた。

³⁰⁾IRは下記の算定式により算定できる。

$$IR = P_f P_{(d|f)}$$

なお、 P_f は決壊確率 (氾濫確率)、 $P_{(d|f)}$ は堤防が決壊した場合の死亡率をそれぞれ示す³⁰⁾。

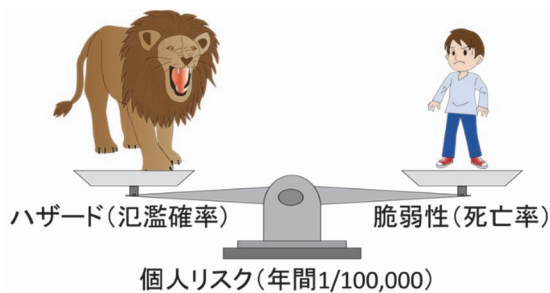


図-7 個人リスクの概念図(筆者作成)

氾濫確率と死亡率は概してトレードオフの関係にあり、オランダの全国民の IR を年間 1/100,000 にするためには両要素のバランスを取っていくことが必要である (

図-7)。気候変動によって外力が増加し氾濫確率が増大した場合にも、許容リスクを変更することなく、避難を実施することができれば、大きな計画変更をする必要はなくなり、柔軟な対策を実施することで、「too little too late (少なすぎ、遅すぎ)」を避ける早期の対応が可能となる (ヒアリング結果)。

5. まとめ

本研究では、オランダの治水計画・治水事業の変遷と最新の動向を調査し、我が国の治水計画に資する要素を整理した。以下に主要素を列挙する。

- ・オランダには我が国の基本方針のようなものがなく、整備計画に相当する比較的短期間で成果を上げるような枠組みである。
- ・オランダ政府は、他国の災害から自らの国土を守るためにリスクベースへ踏み切った。
- ・気候変動の不確実性に対応するため、12 年ごとに堤防評価を行うなど、順応的な管理体制が進められている。
- ・堤防高などの量的整備は概成しており、質的整備を主眼に堤防のリスク評価を綿密に行って整備に反映させている。
- ・政治的かつ経済的に決定された目標値を示し、そのために必要な氾濫防御基準を法整備し、気候変動にも対応した早期の対策を実施している。

謝辞

ヒアリングの企画にあたっては、国土交通省北海道開発局河川計画課及び株式会社ドーコンにご協力いただいた。情報提供にあたっては、オランダ公共事業局の Durk Riedstra 氏、独立研究所 Deltares の Mark Hegnauer 氏、HKV コンサルタントの Bas Kolen 氏、Bob Maaskant 氏から数多くの情報提供をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省: 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 (自然科学的根拠) の公表について、報道発表資料, 2013.9.
- 2) 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, 2017.3.
- 3) 北海道地方における気候変動予測 (水分野) 技術検討委員会: 北海道地方における気候変動予測 (水分野) 技術検討委員会【最終とりまとめ資料】, 2018.3.
- 4) 山田朋人ら: 北海道における気候変動に伴う洪水リスクの変化, 河川技術論文集 第 24 巻, 2018.
- 5) 時岡真治ら: アンサンブル気候予測実験データを用いた適応策としての治水対策の経済的評価, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1-I_6, 2018.

- 6) 星野剛ら: 大量アンサンブル気候予測データを用いた大雨の時空間特性とその将来変化の分析, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_13-I_18, 2018.
- 7) 植村郁彦ら: 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年最大流域平均雨量の算定, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_115-I_120, 2018.
- 8) 舩屋繁和ら: 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不確実性を考慮した将来気候下での確率雨量, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_121-I_126, 2018.
- 9) 星野剛ら: 大量アンサンブル気候予測データを用いた年最大降雨の時空間特性の将来変化の把握~十勝川流域を対象として~, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 74, I_25-I_31, 2018.
- 10) 松浦茂樹: 治水長期計画の策定の経緯とその根本的な考え方の変遷, 第 6 回日本土木史研究発表会論文集, 1986.6.
- 11) 国土交通省河川局: 石狩川水系河川整備基本方針, 2004.6.
- 12) 国土交通省水管理・国土保全局: 河川整備基本方針・河川整備計画について, http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/ab_out.html (閲覧日: 2018 年 12 月)
- 13) 山田正ら: 気候変化を踏まえた治水計画のあり方に関する研究, 河川技術論文集第 17 巻, 2011.7.
- 14) 気候変動を踏まえた治水計画に関わる技術検討会: 検討の背景及び前提 (資料 2), 2018.4.
- 15) Rijkswaterstaat, Flood Risks and Water Management in the Netherlands, 2012.9.
- 16) 北海道地方における気候変動予測 (水分野) 技術検討委員会: オランダ気候変動適応策調査団 調査報告 (資料 4), 2018.3.
- 17) 財団法人 国土技術研究センター: 欧米諸国における治水事業実施システム, JICE 資料第 101001 号, 2001.2.
- 18) Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Flood Risks and Safety in the Netherlands (Floris) Floris study-Full report, 2005.11.
- 19) Rijkswaterstaat VNK Project Office, The National Flood Risk Analysis for the Netherlands Final Report, 2016.4
- 20) Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs, National Water Plan 2016-2021, 2015.12.
- 21) Loof, Harry De: Safety assessment of flood defenses in the Netherlands: Organization, method and results, Proceedings of the 12th Biennial Coastal Zone Conference, 2001.7.
- 22) Rijkswaterstaat: Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins, Report RWS RIZA 2007.027, 2007.7
- 23) Hegnauer, M. et al.: Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins: Final report of GRADE 2.0, 2014.
- 24) Hurk, Bart. V. D. et al.: KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, KNMI Scientific Report WR 2006-01. 2006.5.
- 25) 千葉学ら: 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, p.391-396, 2018.
- 26) Wesselink, Anna J.: Flood safety in the Netherlands: the Dutch response to Hurricane Katrina, Technology in Society 29, 2007.4.
- 27) Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs; Delta Programme 2014 Working on the Delta: Promising solutions for tasking and ambitions, 2013.9.
- 28) Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs; Delta Programme 2015 Working on the Delta: The decisions to keep the Netherlands safe and liveable, 2014.9.
- 29) 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, p.38, 2009.10.
- 30) Jonkman, S.N. et al.: An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage, Journal of Hazardous Materials A99 1-30, 2002.9.