

## EUの気候変動への適応の動向 はん濫リスク対応を中心に

イギリスではこのほか、IPCC第四次報告書第2作業部会（適応策）の執筆者であるサザンプトン大学のニコルス教授、レディング大学のアーネル教授と英国の海岸、水資源分野におけるそれぞれの適応策について議論を行っています。紙面の関係もあり、ここでは省略します。

### はん濫リスクの評価・管理に関する指令

EUは昨年9月、はん濫リスクに関する指令を制定し、今後のはん濫リスクへの対応方針をEU全体として提示しました。

EU指令は、加盟国は指令に提示される目標を達成する義務を負う一方、達成のため方法は各国に委ねられるという性格のもので、国ごとの対応に自由度が許容されています。指令を遵守していないと認められた場合には警告が発せられ、さらに改善が認められなければ欧州裁判所に提訴され、審査されることとなります。その審査の結果、改善が要求される場合には、改善が認められるまでの間、毎日罰金が課徴されるといった罰則がつけられています。

はん濫リスクに関する指令としては、次のように目標時期と必要な作業実施内容が規定されています。

2011年12月22日

流域内の地形、土地利用のわかる地図の準備や過去のはん濫状況を調査するはん濫リスクの予備アセスメントを実施。

2013年12月22日

浸水範囲や浸水深などを表したはん濫ハ

ザードマップと、被災区域内の住民数や経済活動種などを表したはん濫リスクマップを、頻度の異なる事象ごとに作成。

2015年12月22日

優先順位付けした対策の一覧表と対策実施状況のモニタリング計画などからなるはん濫リスク計画を策定。

各国でのこれらの作業を受け、欧州委員会は2018年までに施策の実施状況を欧州議会と理事会に報告するものとされており、報告書の作成にあたっては気候変動の影響を勘案するものとされています。また、以上の作業は6年ごとに実施し、再評価・改訂するものとされ、その場合にも気候変動の影響を勘案するものとされています。

### 適応に向けたEUの動き

はん濫リスクに関する指令には気候変動を考慮すべきとされていますが、具体的な考慮の内容は記載されていません。

一方、EU委員会は、昨年6月に「欧州における気候変動への適用 EU、行動の選択」というグリーンペーパーを公表しています。グリーンペーパーは諮問文書であり、これに続いて具体的な政策を記載したホワイトペーパーが出され、さらにホワイトペーパーに基づき、EU委員会から指令の提案が行われます。

グリーンペーパーは、「EUは地球の気温上昇を産業革命以前に対し<sup>2</sup>以下とすることを目標としている。<sup>2</sup> 以上になると、危険の増大や気候変動の不確実性が深刻に

なるとともに、適応に要する費用の増大が非常に大きくなる」とした上で、気候変動の予測、影響について言及し、欧州における適応の必要性を強調し、EUの行動の選択における次の4つの柱を示しています。

EU内での早期の適応行動

EUの外部活動における適応策の統合化  
気候研究を通じて得られる知見の拡大による不確実性の低減

欧州社会、業界、公共部門を調和、包括した適応戦略の準備

ホワイトペーパーは、今年中に出されるようですが、はん濫リスクの指令と同様に、適応策推進のための作業工程が明確に提示される可能性があります。

表1は加盟国におけるアセスメントの実施例です。ここでは、報告名の略称を併せて示していますが、フィンランドやドイツ、ポルトガルは報告名に適応策を含みます。表1に示される各国のほか、デンマークやフランス、スロバキアなどでは既に適応戦略の

国	影響評価報告の略称
フィンランド	FINADAPT
ドイツ	KomPasss
ハンガリー	VAHAVA
オランダ	CcSP
ポルトガル	SIAM
スペイン	ECCE
スウェーデン	SWECLIM
イギリス	UKCIP

表1 EU各国の気候変動に関する影響評価実施状況

本稿は、本年1月30日から2月6日まで欧州に出張し、気候変動に対する適応策の取組み状況を調査した際に得られた情報を、収集した関連資料と併せて整理したものです。

出張国はデンマーク、オランダ、イギリスの3カ国で、うちオランダ、イギリスについては、増大するはん濫リスクに対し既に気候変動対応を実施してきている国として直近の動向を調査しました。オランダでは公共事業省の、イギリスではテムズ川の管理を行っている英国環境庁の担当者から説明を受け、議論し、デンマークでは欧州機構環境庁（EEA）で、はん濫対応を中心に、適応策全般におけるEUの動向について説明を受けました。

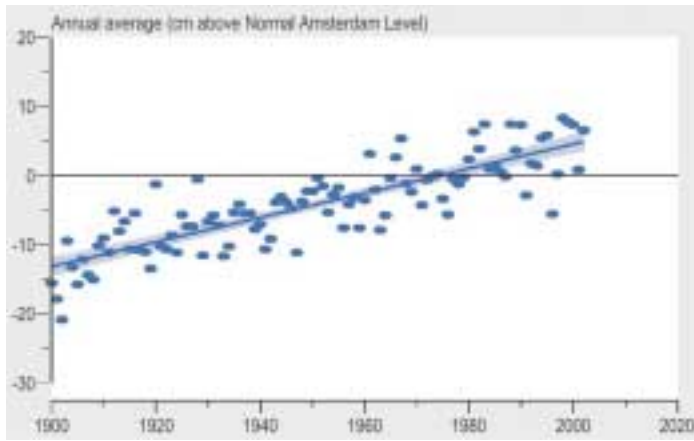


図1 オランダ沿岸の海面標高の推移 1

の1つです。気候モデルが解決すべき課題の1つです。

ことではできません。トレンドの直線を引くことが容易であれば、これを計画に取り込むのも容易だと思われませんが、我が国の海面標高の推移から将来の海面上昇を設定するのはかなり難しい作業となります。欧州と日本沿岸の傾向が異なる原因は明確ではありません。気候モデルが解決すべき課題の1つです。

ための準備がなされています。

1953年の高潮災害と対応

1953年の1月31日夜から2月1日にかけて、オランダとイギリスの沿岸部を中心に、高潮と暴風雨による大きな被害が起きました。オランダではこの災害を契機に58年から「デルタプロジェクト」が開始され、イギリスではテムズ・バリアーの計画が検討されるようになっていきます。

「デルタプロジェクト」、テムズ・バリアーによるはん濇防御計画とともに将来の海面上昇が見込まれています。気候変動を取り入れた例として最近よく紹介されている事例ですが、計画検討時の1950～60年代に、気候変動が海面上昇の原因であると、

どの程度認識されていたかについては確認できていません。サザンプトン大学のニコルス教授によれば、海面が上昇しているという問題認識が古くからあり、気候変動により海面上昇が生じるという考え方を受け入れやすかったとのこと。教授の説明に従えば、イギリスでは海面上昇問題が先になり、いつの頃かそれが気候変動問題と結びついたということのようです。

図1はオランダ沿岸の海面標高の推移を示しています。図1は地面との相対的高さの推移を表しており、5、6 cm程度の地盤沈下の影響が含まれていますが、これを差し引いたとしても、先の100年間に10 cmを上昇の傾向が明確なことであり、トレンドの直線も容易に引くことができます。また欧州周辺の海面標高は、オランダの例と同様に明確な上昇傾向を示しています。

一方、我が国の海面標高の推移の最新版は、気象庁の「気候変動監視レポート2006」に見ることができ、10 cm程度の振幅をもって大きく変動しており、オランダの例のような明確なトレンドを見出すことはできません。トレンドの直線を引くことが容易であれば、これを計画に取り込むのも容易だと思われませんが、我が国の海面標高の推移から将来の海面上昇を設定するのはかなり難しい作業となります。欧州と日本沿岸の傾向が異なる原因は明確ではありません。気候モデルが解決すべき課題の1つです。



図2 はん濇防御施設の安全性評価結果および将来の対策方針とエリア(オランダ) 2

オランダのはん濇防御法 (フリッド・プロテクション・アクト)

オランダの「デルタプロジェクト」の実施期間は、1958年から97年の40年間で、その後は96年に成立したはん濇防御法に基づき活動が引き継ぐことになりました。この法律は、はん濇防御に対する長期の安全性を提供・維持することを目的として制定されたもので、主たる内容は次のとおりです。

輪中堤に適用する(図2の黄色の領域)。輪中堤ごとに対応すべき確率年を設定する(干拓地で1万年から4千年、上流の河道部で1250年の確率年が設定されている)。

公共事業省は、確率年に対応する水位

などの水理的な条件を設定する。また、主要施設の設計、維持管理および安全性評価に用いる技術的なガイドラインを提示する。

はん濇防止のための具体的な管理は、与えられた条件やガイドラインに従って水管理組合が責任を持って実施する。

とは、国がはん濇防御に必要な施設の規模や強度を施設の評価方法も含めて提示し、これに基づき、水管理組合が管理実践することによって行われます。国の提示は5年ごとに見直されるので、気候変動の関係でいえば、海面上昇などの変化状況に応じた対応が容易になります。

施設の改修には、安全性評価が必要で

す。安全性評価は5年ごとに実施して、議会に報告されます。図2は、最新である2006年の報告書から、堤防を中心とする主要防衛施設の安全性評価結果を示したものです。評価は、適合(図2中の緑線)、不適合(青線)、判断不可(白線)の3種であり、不適合箇所や判断不可の箇所も多くなっています。

不適合や判断不可は第1回評価の2001年と比較して多くなっていますが、これは、評価条件を変更したためです。すなわち、第1回では主として高さの評価が試験的になされたのに対し、第2回では、施設の安定性がこれに加えられています。評価内容がより高度になったためで、例えば、堤防に関しては越流、波浪による越水、堤防のり面のすべり、パイピング、流水面の侵食の各項目が評価対象となっています。判断不可は、こうした評価を行うのに必要な堤防内部と基礎に関する情報が得られなかったことに主な原因があります。我が国でも同様の検討が進められていますが、同様の壁が存在しているようです。

堤防を高く上げない対応  
(ルーム・フォー・ザ・リバー)

海面上昇の影響を直接受けるデルタ地域については、海面上昇に対し堤防の嵩上げは避けられません。一方、海面上昇の影響の小さい河道部においては、他のさまざまな方法が存在します。こうした領域については、堤防を嵩上げしない対応をいくつかの工夫

針転換が図られています。この方針転換には英語名で「ルーム・フォー・ザ・リバー」の名称がつけられており、デルタ域上流での実施が検討されています(おおむねの領域は図2)。

オランダはライン川の最下流国であり、1993年と95年の短期間に2回の大きな出水を記録し、95年の出水では、ライン川のオランダの入口であるLois(図2)において観測史上最大の毎秒1万2千m<sup>3</sup>の流量を観測しています。これら出水を加えた解析を通じて、ライン川の計画流量を現在の毎秒1万5千m<sup>3</sup>から2015年には毎秒1万6千m<sup>3</sup>に、さらに2100年には気候変動の影響も考慮して毎秒1万8千m<sup>3</sup>とすることが目標とされました。この流量増加に対する対応策として、「ルーム・フォー・ザ・リバー」が提唱されたのです。堤防の嵩上げを避ける理由として、嵩上げによる環境や文化遺産への影響が大きいこと、これ以上の嵩上げはかえってリスクを大きくすると考えられることなどが挙げられています。

「ルーム・フォー・ザ・リバー」では、それぞれの地点に応じたさまざまな手法が考えられています。具体的には、堤防の再配置、河道外での副水路の設置、はん濫域の標高低減、グリーン・リバー(大規模な出水時のみ河道の役割をする農地などの緑地)の設置、障害物の除去などです。

このプログラムは今年までが計画調査期間となっており、既に約40カ所において基本的対策を設定しています。来年中にプログラムの許諾を得た上で2009年から15

年までにかけて実施することが予定されています。

テムズ川の洪水管理計画

先にも示したように、1953年のはん濫を契機にテムズ・バリアーの計画が検討されるようになりましたが、これは海面の影響を受けるテムズ・エスチュアリーにおける対策です。ロンドン中心部を守ることから多く紹介されてきました。現在、百年後を念頭にいた「テムズ・エスチュアリー(TE)2100プロジェクト」が進められています。これについては、後に紹介することとし、ここでは、海面の影響を受けない上流側における検討状況を紹介いたします。

河道域に対しては、環境庁において流域はん濫管理計画(CFMP)の検討が実施されています。CFMPは、EUの水に関する指令と英国地方政府の個別戦略を連携するもので、環境庁が流域内の政策決定者とはん濫リスク管理計画政策を共有し、同意してもらったための高度な戦略ツールと位置付けられています。

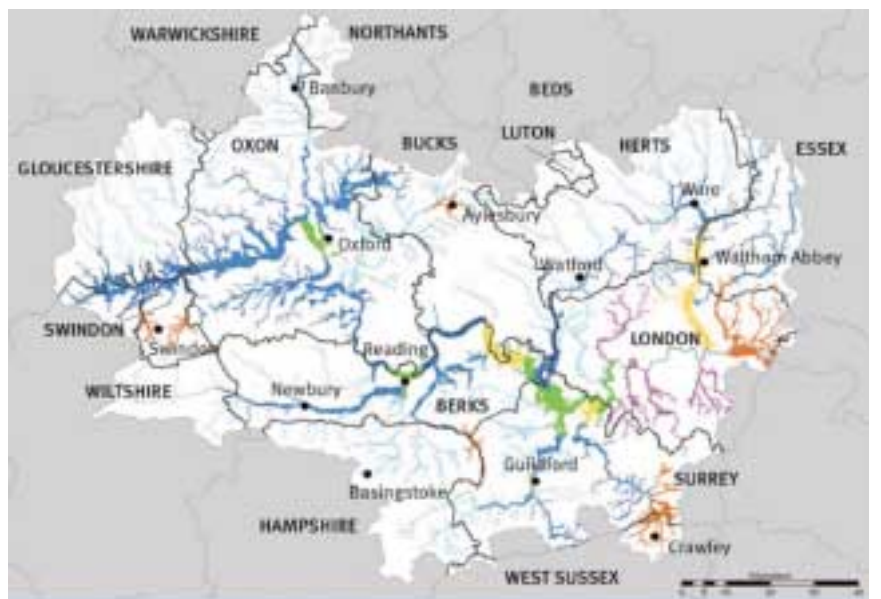


図3 テムズ川河川部のはん濫原とその特徴<sup>3</sup>

テムズ流域のCFMPは昨年1月に報告がとりまとめられています。そこでは、自然のはん濫原域が流域の開発状況やはん濫防御施設の整備状況により分類されるとともに(図3)、はん濫リスクなどの解析を通して、分類別の流域の特性、達成目標が整理され、さらに達成のための戦略がまとめられています。戦略として記述されているのは、はん濫対応状況を示す指標、目標達成のために必要な行動、行動の実施時期と実施者、進捗状況の把握方法の各項目です。

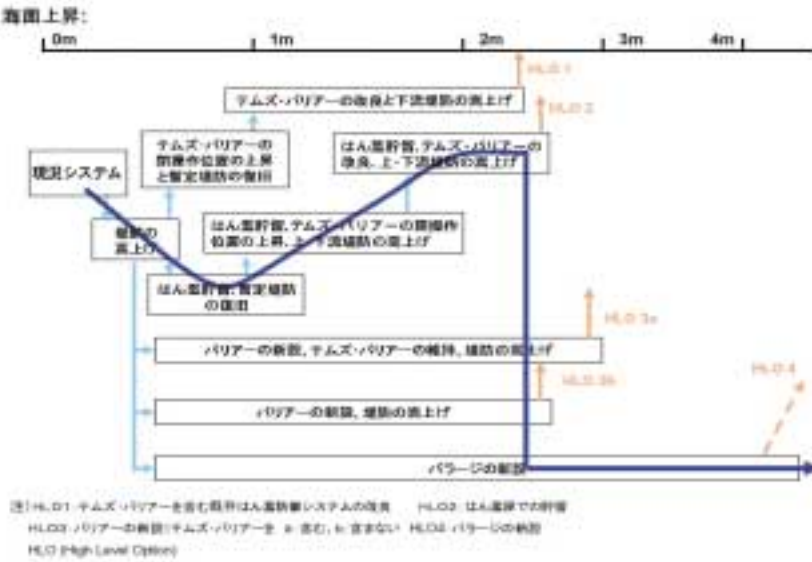


図4 TE2100で検討されている海面上昇に応じたオプションとその選択(EA資料より作成)

TE2100で検討されている海面上昇に応じたオプションとその選択(EA資料より作成)

TE2100は、1983年に完成・共用されたテムズ・バリアーは、高潮時にゲートが全閉され、ロンドン中央部のはん濫を防御します。また、低潮位時に閉じ、出水時の流量を上流に貯留するという操作も実施されています。

テムズ・バリアーは確率年千年の事象に対応するものとして計画されています。計画には将来の海面の上昇が見込まれており、計画時点では確率年2千年の安全度をもっていたのですが、最近の確認では現在の安全度がおおむね確率年千年に相当しており、気候変動の影響により、将来に向かって安全度が低下することとしました。

こうした中、100年後を見据えた計画を策定するため「TE2100プロジェクト」が実施されています。

このプロジェクトは、2003年に開始されたもので、4つの段階を経て政府へ計画提案されます。現在、第3段階に入り、来年にかけて、対策オプションが選定・評価され、09年から10年に向け、最終的なとりまとめが行われる予定です。

図4は現在検討されている対策オプションと実施シナリオを示したものです。図4の横軸は海面上昇量を表しており、海面上昇に併せて対応可能なオプションが提示され、その中で推奨される道筋が青線で示されています。はん濫リスクは、気候変動の影響などによりそのままでは時間とともに増大する傾向をもっています。この道筋は、リスクの増大状況に応じて逐次対策を講じ、常に許容レベル以下のリスクに収めるよう考えられています。新しい方針として、はん濫貯留が盛り込まれていますが、これは先に紹介したように、メイキング・スペース・フオー・ウォーターと称されるもので、浸水深が大きく危険がある地域からの人口、資産の撤退などを含むものです。

なお、将来の海面上昇量についてはいくつかのシナリオがあり、グリーンランドの氷解を見込んだ最高水位を与えるものは、4.2mの上昇が見込まれています。

図4はこうした上昇も意識して作成されています。

今後の展開

以上紹介したように、欧州における気候変動への適応への行動は現在進行形のもの

一連の作業では、UKCIP(表1)の予測結果などに基づく気候変動の影響も考慮されており、テムズ流域全体としての主たる検討結果として、

- ・気候変動は将来のはん濫リスクを高める最も大きな要因となり、はん濫防御施設によりすべてを防ぐことはできない。
- ・はん濫原は最も重要な財産であり、再開発や都市の近代化の機会を捉えた計画の策定が極めて重要である。

の結果を得ています。気候変動への今後の対応は明確ではありませんが、「TE2100

00プロジェクト」でも主張されているはん濫空間の確保(メイキング・スペース・フオー・ウォーター)の考え方が導入されるものと推測されます。なお、河道部の計画洪水の確率率は数十年から100年程度です。

テムズ・エスチュアリー(TE)2100プロジェクト

1983年に完成・共用されたテムズ・バリアーは、高潮時にゲートが全閉され、ロンドン中央部のはん濫を防御します。また、低潮位時に閉じ、出水時の流量を上流に貯留するという操作も実施されています。

図4は現在検討されている対策オプションと実施シナリオを示したものです。図4の横軸は海面上昇量を表しており、海面上昇に併せて対応可能なオプションが提示され、その中で推奨される道筋が青線で示されています。はん濫リスクは、気候変動の影響などによりそのままでは時間とともに増大する傾向をもっています。この道筋は、リスクの増大状況に応じて逐次対策を講じ、常に許容レベル以下のリスクに収めるよう考えられています。新しい方針として、はん濫貯留が盛り込まれていますが、これは先に紹介したように、メイキング・スペース・フオー・ウォーターと称されるもので、浸水深が大きく危険がある地域からの人口、資産の撤退などを含むものです。

が多くなっています。オランダ、イギリスの事例では、施設のみによるはん濫防御から河道外での計画を取り込んだ対応への転換が検討され、一部実施されています。1つの方向を示すものですが、ニコルス教授の言によれば、専門家の評価は高いが一般の評判は必ずしもよくないそうです。今後の展開が注目されます。

参考文献

- 1 Netherland Environmental Assessment Agency: The effect of climate change in the Netherlands, p.39, 2005
- 2 Transport and Water Management Inspectorate: Assessment of primary flood defenses in the Netherlands, p.10, 2006に Delta works、Room for the Riverの領域と Lobithを加筆
- 3 Environmental Agency: Thames Region CFMP summary document , p.34, 2007

執筆者

- 尾澤 卓忠 (河川局河川計画課計画調整室長)
- 柏井 条介 (国土技術政策総合研究所流域管理研究室)
- 野口 賢一 (国土技術政策総合研究所海岸研究室主任研究員)
- 吉谷 純一 (独立行政機構法人国土交通省 国土技術政策総合研究所水災害・リスクマネジメント国際センター 上席研究員)

# Bangladesh シクロン・シドル災害現地調査

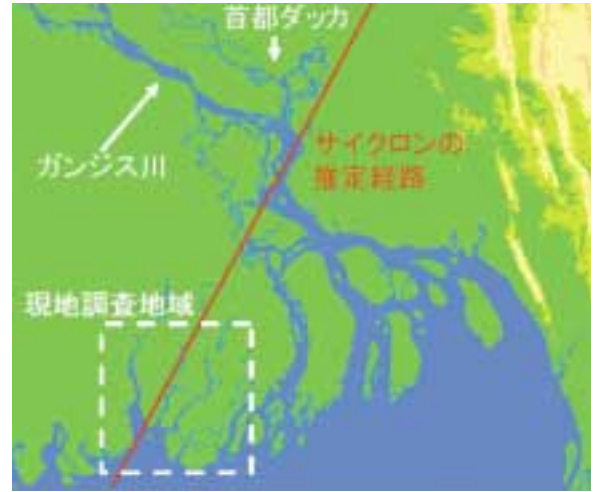


図1 サイクロンの推定経路と現地調査地域

ホームページで公開されています。

Bangladesh とサイクロン・シドルの概要

Bangladesh は、ガンジス川の河口に位置し、日本の4割の国土面積に1億4千万人の人口を抱える一方、洪水や高潮にたびたび見舞われています。サイクロンによる高潮のため、パキスタンから独立する直前の1970年に約30万人が亡くなり、1991年にも東部を中心に約14万人が犠牲になつていました。今回の被災地である南西部に大きなサイクロンが来襲したのは1970年以来です。

サイクロン・シドルは、11月11日にベンガル湾で発生し、15日午後6時30分頃にバルグナ県・パタルガタ付近に上陸しました(図1)。最大風速は69 m/秒(1分間平均)、最低気圧は944 hPaでした。

現地調査は、被害が大きかった南西部の4県(バルグナ、バゲルハット、ポトアカリ、ピロジブール)で行いました。調査地域を図1に示します。

## 調査の概要

これを受け、高潮に対する防災の観点から、高潮災害の実態と被災国の復旧・復興支援に必要なニーズなどの把握のため、07年12月8〜18日および08年1月17〜24日にかけて行った現地調査について、その結果を報告します。

なお、現地調査の速報は本年1月から国土交通省河川局のホームページで公開しており、各地点の詳細な被災状況についてはそちらを参照ください。また、土木学会が行った現地調査結果も土木学会

Bangladesh 国のサイクロンへの対応状況

Bangladesh では、1970年のサイクロンの後、サイクロン対策プログラム(CPP(Cyclone Preparedness Programme))により警報伝達体制が整備され、サイクロンの警報が住民に直接伝えられるようになりました。サイクロン発生時には気象レーダーからの情報が気象局に集まり、そこから警報が住民まで届くシステムが南部の11県で整備され、スタッフ134名とボランティア約4万2千名で運営されています。

また、避難場所となるサイクロンシェルター(写真1)が日本などの援助により多く建設されています。今回、サイクロンによつて倒壊などの大きな被害を受けたサイクロンシェルターは皆無で、サイクロン来襲時には収容定員以上の人々を収容し、大きな効果を発揮しました。なお、平時には学校として利用されており、今後も多目的施設としての大きなニーズがあります。



写真1 学校にも活用されているサイクロンシェルター

## 被害の概要

表1のよつに、全国では死者3363人、行方不明871人の被害があり、前述の南西部4県に集中していました。 Bangladesh 政府は、国内64県のうち南西部を中心とした17県を中度の被災、9県を深刻な被災、4県(今回現地調査を実施)を最も深刻な被災地と指定しています。

県名	死者(人)	行方不明(人)	負傷者(人)
バルグナ	1,292	26	16,310
バゲルハット	810		11,428
ポトアカリ	457	221	8,500
ピロジブール	400	511	1,161
その他	404	113	17,883
合計	3,363	871	55,282

表1 各県の人的被害(12/18現在)

	全管理延長・箇所	決壊・全壊	半壊
堤防	9,943km	367km	2,015km
水門・堰等	13,949カ所	325カ所	587カ所
護岸	468km	36km	25km

表2 治水施設の被災状況

被災地は網目のよつに大小の河川が流れている低平地で、サイクロン上陸時は干潮でしたが、堤防高を上回る高潮が発生し、海岸や河川から水が溢れて浸水しました。また、治水施設や道路施設などのインフラや学校にも甚大な被害が生じました。

治水施設の被災状況は表2のとおりです。堤防の最低必要高はこの地域では3m以上とされていますが、各地で越流の痕跡が見られ、越流水深が2m以上との証言もありました(写真2)。堤防は、写真3のよ



写真4 高潮で流されて生き残った子供たち



写真3 堤防が流された地点



写真2 堤防上の高潮最高水位



写真5 強風と高潮で被災した集落

害、シユン  
ドルボン  
（世界遺産の  
マングロー  
ブ林）の環  
境破壊など  
も大きく、  
被害総額約  
31億140  
0万ドル、  
復興費用約  
4億580

うに完全に破壊・流失してしまつた箇所もありましたが、多くの場所では一部は残つていたものの、著しい破壊が見られました。樹木は強風あるいは越水の影響によりいたるところで倒れており、倒木に伴い根株が掘れたことによる道路や堤防の被災が多数見受けられました。また、海岸沿いのある村では近くにシェルターとなる構造物がないために住民が高潮で流され、生き残つた人々は浮いているものにつかまってやっと生き残つたと聞きました（写真4）。

現地の家屋は、簡易な木組みと藁ぶきやトタンぶきの家屋が多く、写真5のようにその多くが風や高潮により倒壊していました。

調査時までには再建された家も多くありましたが、テント生活を余儀なくされている住民の方々もいました。

このほか、潮・風による農作物への被害、シユン

・2カ月前に津波警報が発令されたが実際には襲来しておらず、今回も大丈夫と思込んだため、逃げるのが遅くなって被災した。  
・収容人数500人程度のシェルターに立錐の余地もなく多くの人々が避難し、一夜を明かした。  
・近くにサイクロンシェルターがないので堤防の上に避難したため、的確な情報を得られなかった。  
・家畜は財産なので、家畜とともに家にとどまった。

0万ドル、長期的な災害対策費用約13億5100万ドルと推定されています。また、沿岸部では井戸による取水が困難なため、池の水を浄化して利用する「point Sand Filter」と呼ばれる過施設が利用されていますが、高潮により使用している池が塩水化し使用不可能となっていました。

被災地では、飲料水、食料といった緊急援助の段階は終わり、生活を立て直す段階に入っていました。高潮による塩田化で米の収穫機会を失つた上に、家畜、漁具が流出するなど生活基礎も失っており、数カ月後の食料不足への対応、収入源の確保が大きな課題となっていました。

**アンケート結果から見た住民意識**

最後に、住民の方々に行ったアンケート結果の一部を紹介します。

・情報は入手していたが、満潮まで時間があると避けられなかった。  
・2カ月前に津波警報が発令されたが実際には襲来しておらず、今回も大丈夫と思込んだため、逃げるのが遅くなって被災した。  
・収容人数500人程度のシェルターに立錐の余地もなく多くの人々が避難し、一夜を明かした。  
・近くにサイクロンシェルターがないので堤防の上に避難したため、的確な情報を得られなかった。  
・家畜は財産なので、家畜とともに家にとどまった。

執筆者(バン格拉デシュ サイクロン・シドル現地調査団)  
吉田 大(河川局治水課河川保全企画室 課長補佐)  
馬場 仁志(北海道開発局開発建設部河川 工事課長)  
田中 茂信・三宅 且仁  
(独立木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター上 席研究員)  
加藤 史訓(国土技術政策総合研究所河川 研究部海岸研究室主任研究員)

サイクロン警報やサイクロンシェルターにより多くの人命が救われたと考えられますが、アンケート結果からはいくつかの改善点が見受けられ、今後も継続的な防災教育や災害経験の伝承なども含めたソフト対策のさらなる充実が重要と思われまふ。

また、今回の災害は、ところによって堤防高を大きく上回る高潮による浸水と強風によつて引き起こされたものであり、長期的には必要な堤防高の確保を目指しながらも、当面は堤防の強化などのハード対策も着実に進めなくては、今回のような大規模な被害を防ぐことはできません。河岸侵食の制御も含め、治水安全度を総合的に高める対策を検討する必要があると思われまふ。

# 紹介

## ツバルにおける気候変動対策調査



図1 ツバル国位置図

調査団を派遣しました。気候変動による海岸侵食などの被害状況を調査し、適応策の支援を検討するため、私たちは本調査団に参加し、本年3月2日から14日にかけてツバル国などに派遣されました。

ここでは、その調査結果の概要などについて紹介します。

### ツバル国の概要

ツバル国は、赤道よりやや南の南太平洋上(図1)にあり、南緯5度から10度、東経176度から180度までの間の約670kmの間に6つの環礁と3つの島が点在しています。

### 地形の特徴

島は、図2のように外洋側のストームリッジとラグーン側のビーチリッジに囲まれています(「リッジ」とは英語で峰、尾根などの意味です)。ストームリッジは、外洋側の陸地に激しい風波でサンゴ岩の栗石(長径30cm程度)などが打ち上げられ、海岸に沿って帯状に堆積しています。高さは標高4m程度で、住宅地などを越波から守る自然の堤防の役割を果たしています。

一方、ラグーン側にはビーチリッジがあり、高さは標高2〜3m程度となっています。ビーチリッジ上は、住宅地などとして利用され、政府庁舎などの公共施設も建設されています。

外洋側のストームリッジとラグーン側のビーチリッジの間は、標高1m前後の低地で、もともと沼地、マングローブ林、タロイモ田などだったところです。潮が満ちてくると(大潮の満潮位は平均海面から約1m上)、サンゴ礁と砂でできた透水性の高い地盤から海水が湧出し、低地は浸水します(写真1)。70年代までは人の住まない土地でしたが、人口の増加に伴って、住宅などが建設されてきています。

### 海岸侵食と高波被害

過去に米軍が撮影した航空写真などによると、1940年代はラグーン側には切れ目なく砂浜が存在していました。しかし現在

南太平洋に「ツバル」という国がありません。マスメディアなどでは「海面上昇の影響などを最も早く受ける国」などとして紹介される国です。

昨年12月に大分県別府市で開催された「第1回アジア・太平洋水サミット」に参加したツバル国アピサイ・イエレミア首相は、別日総理大臣官邸で、福田内閣総理大臣と首脳会談を行いました。会談の中で、福田首相は、ツバル国における気候変動問題の対策について、日本の協力の可能性を調査するため、ツバル国へ調査団の派遣を表明しました。

これを受けて日本政府は、外務省、国土交通省、環境省、JICAなどで構成する

調査は首都のあるフナフティ環礁フォンガファレ島を中心に行いました。フォンガファレ島は、19世紀末には人口2百数十人だったのですが、人口が増加し続けており、現在では同国の人口の約半分に相当する4000人以上が居住しています。

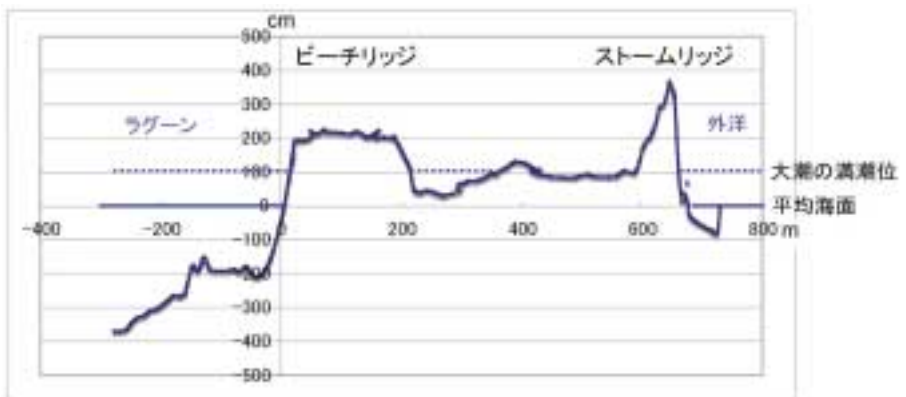


図2 フォンガファレ島の地形(東京大学茅根教授より提供)



写真1 満潮時に低地が浸水(左：平常時、右：大潮の満潮時)



の衛星写真を見ると、海岸には砂浜はほとんどなく「サンゴの基盤の上」に「サンゴ」の浜がわずかに残っているだけです。一部に残



写真2 侵食する傾向が見られるラグーン側の海岸

る砂浜は、幅20 m程度(干潮時)、前浜勾配はおおむね1/10程度で、満潮時にはほぼ水没してしまいます。浜の陸側には50 cm程度の段差(浜崖)が生じているところがあり、海岸が侵食されている傾向にあります(写真2)。そのすぐ背後には人家やヤシの林などがあり、海岸侵食によって倒れているヤシも見られます。また、細長い島の南端と北端のラグーン側には、延長数百 m、幅30 m程度の砂や小礫の浜があります。

ラグーン側の砂浜を構成する砂は、外洋側から波に運ばれて環礁の開口部を通りラグーン側に流入していると考えられます。

立、舟着場の建設など人工的な土地の改変が行われており、波浪などの自然的な作用



写真3 飲料水は各住宅の雨水タンクの水などを利用

と人工的な土地の改変などが海岸侵食の原因になっていると考えられます。

一方、外洋側のストームリッジの一部では建設材料用に栗石の採取が行われてきており、低くなった箇所から越波することがあることです。また、ラグーン側は海岸のすぐ近くまで住宅地などとして利用されており、地盤の高さは満潮時の海面から1~2 m程度と低く、高波被害が発生しやすくなっています。ツバル政府や住民によると、これまでも高波によって越波することがあったとのこと。

このような海岸の侵食や高波による被害は、気候変動による海水面の上昇や熱帯低気圧の強大化によって、ますます深刻となるおそれがあります。

人口増加などによる課題

ツバル国では、かつては雨水や地下水で水をまかかっていましたが、塩水化と水質の悪化などによって地下水はほとんど利用されていないようです。現在では、個人の住宅の雨水タンクや政府の給水車などの水を利用して使っています(写真3)。

下水については、ほとんど未処理のまま海に排出されています。また、多くの豚が飼育されていますが、その糞尿もそのまま海や沼に流入しています。

住宅地などが多い地区付近のラグーンでは、サンゴ礁が藻で覆われ、サンゴが大幅に減少してきていると考えられます。

今後の対応

ツバルで生じている課題を見ると、人口の増加などに伴って水質が悪化し、サンゴなどの生態環境の悪化を招き、土砂の供給が減少して海岸侵食を助長していくなど、さまざまな課題が密接に関係しあっています。また、これらの課題の多くは、気候変動によって深刻化していくおそれがあります。このようなことを念頭に置きつつ、さまざまな課題への対応を検討していくことが重要であると考えます。

執筆者

泊 宏(河川局海岸室海洋開発官)  
山田 浩次(国土技術政策総合研究所  
海岸研究室主任研究官)

# 紹介

## 山岳地域における災害リスクの増大に対する国際的な取組み



京都大学大学院農学研究科  
教授

みずやま たかひさ  
水山 高久

地域では河床勾配が急なため、洪水到達時間1時間程度以下の急激な出水で多量の土砂を含むことになり、土石流もこの現象に含まれる。

### 氷河湖の決壊による洪水ヒマラヤ

氷河湖が決壊して発生する洪水(鉄砲水)は、GLOF (Glacial Lake Outburst Flood)と呼ばれ以前から知られているが、近年になって温暖化により氷河が縮退し(後退し)、モレーン氷河が侵食運搬した土砂による堰止め氷河湖が多数誕生し、多くのGLOFが発生している<sup>1</sup>。

地球温暖化で海外の山岳地域での災害の様子が変化しつつある。ここで紹介するのは、1つは映画「不都合な真実」でも衝撃的な写真が出てくる山岳氷河の後退による氷河湖の形成と決壊による土石流、フラッシュフラッド (Flash Flood) 発生危険性で、もう1つは温暖化の影響と言つてよいのかわからないが、気候変動による乾燥地域の豪雨によるフラッシュフラッドである。筆者は実際に現地に向いているわけではなく、もっぱらメディアや海外の研究者の動きからの話題提供である。

なお、フラッシュフラッドは、急激な増水を伴う洪水で、日本語の鉄砲水が当てはまる。米国などでは6時間程度以下の到達時間の洪水に対して広くこの用語を当てはめているが、日本を含めて山岳

15万<sup>m</sup>の氷なだれ(岩なだれと記述している文献もある)が突入して高さ5mの波が発生し、これが堰止め部分を越流して決壊したと推定されている<sup>3</sup>。最大流量1600<sup>m</sup>/秒、毎秒4~5mの流速で40km流下し、人命を含む大きな被害を与えた。また流出した土砂量は300万<sup>m</sup>と見積もられている。

ブータンでは、1994年10月、ルゲ氷河湖が決壊し古都プナカなどが土石流の被害にあい、21名が死亡した<sup>4</sup>。

ヒマラヤでは毎年0.09度ずつ気温が上昇しているという観測データがある<sup>4</sup>。対策としては、排水路の設置や、余水吐の設置などのハード対策と、衛星などによる氷河湖の監視<sup>5</sup>、水位計などによる監視、決壊の情報を下流域に伝えるシステムの整備などが考えられ、本年1月には決壊の監視について日本の大学の技術協力を始めたと報じられていた。

### アルプス

アルプス周辺国のスイスやイタリアでは、1987年頃から土石流による災害が発生し、90年代になると顕著になってきた。写真3は、1987年7月18日にツァヴ



写真2 1985年8月4日ネパール・クンブヒマールで発生したGLOFの発生源 Dig Tsho( Tshoは湖の意)とその直下流部。梅村順先生(日大工学部)が2003年に撮影した。写真ではモレーンでせき止められた湖が決壊し水位低下した跡が明瞭に見える。



写真1 ネパール、ヒマラヤにおける山岳氷河の後退(名古屋大学、雪氷圏研究グループのHPより)



写真3 スイス、ツァブラージャで撮影されたフラッシュフラッドの先頭部(1987年7月18日)

乾燥地、半乾燥地のフラッシュフラッド  
温暖化によるかははっきりしないが、乾燥地や半乾燥地に集中豪雨が発生するケースが増加する傾向があるようにある。一時的ではあるが砂漠が緑になった写真を見ることがある。乾燥地では降雨の浸透が抑えられる傾向があり、豪雨があるとフラッシュフラッドとなる。また、乾燥地では植生がほとんどないか貧弱であるため、出水時に土砂が侵食されやすく土石流か土石流に近い流れとなる。下流では降雨が無い状態で上流部に降雨がありフラッシュフラッド

ドになる場合には避難が間に合わないことも考えられるかもしれない。このような地域では平時は流量が少ないので、人々は川のすぐそばに住む傾向があり、また出水の頻度が低いために堤防がなかったり、あつても貧弱な場合が多く被害が大きくなる。貧困な人々が多く被災することも対応を複雑にする。ペルー、パキスタン、モロッコなどJICAが対策に関わった土石流、鉄砲水対策もそのような事例と考えられる。

国際的取組み  
ここまで述べてきた国々以外にも、世界各国でフラッシュフラッドは発生し、大きな問題となっている。たとえば、インドネシアでは、2006年1月2日に東部ジャワ州でバンシル(バンダメインドネシア語でフラッシュフラッドの意味)が発生し、100人以上の死者を出している。また、南米のペネズエラでは、1999年12月の記録的な大雨により発生したフラッシュフラッドにより数万人ともいわれる死者を出している。このような背景のもと、近年WMO(世界気象機関)も本格的にフラッシュフラッド災害の被害軽減に向けた取組みを始めるなど、国際社会の関心は高まっていると言える。

国際的に協調して研究が進められていくという情報は持ち合わせていないが、地域ごとに研究は盛んになっており、いくつかの土石流に関する国際会議や、国際水文学協会、国際水工学会などでも主要

ラージャ渓(Vall Zavravia)スイス連邦グラウビュンデン州)で撮影されたフラッシュフラッドの先頭部である。1993年には、アレッチ氷河の麓のブリークの町をフラッシュフラッドが襲い大きな被害を与えた。2001年6月のテシユ村の土石流については発生時には雨が降っておらず氷河が解けて氷河湖に流れ込んだためと、モレーンの凍土が解けたためなどが原因として言われている。

このような洪水は急勾配の渓流を流れるので、土砂濃度が高くなり土石流と呼んでよいような流れになることもある。

災害が多発しているのは確かであろうであるが、科学的な報告はまだ見ておらず情報を収集しているところである。しかし、1990年頃、スイスが日本との科学技術協力協定の研究課題として土石流を提案したことがあり、現在モロッコパリの複数の大学、研究所が共同でEUに「Monitoring and modeling flash floods for hazard mitigation in a changing world(変化する世界における防災のためにフラッシュフラッドの観測とモデル化)」という課題名で研究費を申請しており、日本はEU外なので研究費の配分は受けられないという条件の下で、土石流対策の専門家として研究への参加を誘われている。

課題として取り上げられていくものと考えられる。日本について言えば、これまでの蓄積から世界をリードしている土石流や鉄砲水に関する研究、災害情報、天然ダム形成と決壊などに関する知識と対策のノウハウを必要とする国々に伝え、防災、減災のために共に働くべきであると思う。多くの専門家を有する国土交通省に期待したい。

参考文献

- 1 山田知充; 氷河による天然ダムの形成と決壊、田畑茂清ほか; 天然ダムと災害、第7章、古今書院、2002、p.129-142
- 2 檜垣大助・梅村順(2005): 氷河湖決壊に対するハザードマップ作成の課題 - ヒマラヤを例として -、(社)日本測量協会ハザードマップ小委員会編: ハザードマップ - その作成と利用 -、2005、p.204-207.
- 3 福原隆一(訳); ネパールヒマラヤ、クンブ地方で発生したランモチエ氷河の鉄砲水、M.Zimmermann; The Langmoche flashflood, Kunmb Himal, Nepal, 砂防学会誌 46-3、1993、p.40-43
- 4 「空から落ちてくるツナミ」氷河湖の決壊恐れるブータン、MSN産経ニュース、2007.12.10 19:20
- 5 小森次郎; ネパール東部ヒンク・ホンク地域およびブータンヒマラヤの氷河湖の現状と拡大特性、地学雑誌115(4)、2006、p.531-535

プロフィール  
1977年京都大学大学院農学研究科博士課程修了。建設省中部地方建設局富土砂防工事務所調査課、建設省土木研究所砂防研究室、京都大学農学部助教授、京都大学農学部教授を経て、1997年から現職。2006年砂防学会会長。