

ISSN 1880-0114

国総研プロジェクト研究報告 第38号

平成24年2月

国土技術政策総合研究所資料 プロジェクト研究報告書

PROJECT RESEARCH REPORT of
National Institute for Land and Infrastructure Management
No. 38 February 2012

気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究

Research on River and Coast Management in response to Climate Changes

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究

大平 一典* (2006 年 4 月～2009 年 7 月)

山本 聡* (2009 年 7 月～2010 年 3 月)

Research on River and Coast Management in response to Climate Changes

Kazunori OHDAIRA* (2006. 4～2009. 7)

Akira YAMAMOTO* (2009. 7～2010. 3)

概要

気候変動に関して、①現在すでに現れている影響に対する X バンド MP レーダ等の革新的技術を取り込んだ新しい水管理技術の開発、②将来現れると予想される影響（降雨量変化、海面水位上昇等）に対する河川・海岸管理への影響及び考慮事項の把握、並びに③氾濫や渇水の被害評価手法の高度化、国土の脆弱性の把握、今後新たに取り組む適応策の提示を行うことを目的に、プロジェクト研究「気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究」を平成 18 年度から平成 21 年度までの 4 年間実施した。本報告は、その研究成果をまとめたものである。

キーワード：気候変動、河川、海岸、洪水、渇水、適応策

Synopsis

This four-year project research, started in FY 2006, aims at developing new water-management methods utilizing innovative technologies such as X-band parametric radar to cope with recent increase in extreme weather events, assessing the long-term impacts of climate changes due to global warming on river and coast management in Japan, improving estimation methods for flood and drought damage, and proposing a framework for procedures to develop adaptation measures.

Key Words: Climate Change, River, Coast, Flood, Drought, Adaptation Measures

目 次

プロジェクト研究実施者名簿	1
プロジェクト研究報告書とりまとめ担当者	2
第1章 研究の概要	3
1. 研究の概要	3
2. 気候モデルについて	4
第2章 個別の研究成果	6
I 降雨予測情報等を活用した次世代型水管理技術に関する検討	6
1. 洪水・氾濫予測に関する検討	6
1-1 XバンドMPレーダの実用化と活用	6
1-2 水系全体で洪水予測を可能にするための手法開発	8
2. ダムの効率的運用手法に関する検討	12
2-1 事前放流における水位低下・上昇特性の定性的分類の検討	12
2-2 降雨予測を活用した事前放流を含む新たな洪水調節方式検討	13
2-3 ダム管理への活用を目的とした降雨予測精度の検討	15
3. 洪水・氾濫に対する避難基準水位の設定等に関する検討	16
3-1 洪水氾濫時の水防活動及び避難行動の分析	16
3-2 降雨及び流域特性と河川の水位上昇速度の関係の分析	18
II 地球温暖化による河川・海岸への影響と対応策に関する検討	21
1. 河川における洪水氾濫に着目した検討	21
1-1 気候変動予測成果を活用した豪雨時の降雨量設定手法	21
1-2 堤防に作用する水理外力の評価手法の高度化検討	24
1-3 気候変動が氾濫危険性と河川整備に与える影響のマクロ評価	26
1-4 水害時の情報提供のあり方の提言	32
2. 海岸防護への影響に着目した検討	35
2-1 海面上昇の実態分析と潮位設定についての検討	35
2-2 極端現象を引き起こす気象擾乱の経年変化特性の分析	36
2-3 気候変動が高潮外力に及ぼす影響の見積もり	40
2-4 海岸防護構造物を対象にした気候変動を考慮したマネジメント	42
3. 水管理への影響に着目した検討	44
3-1 気候変動が世界の水需給バランスにあたえる影響の検討	44
3-2 地表到達水量に及ぼす気候変動影響の全国的傾向の分析	47
3-3 降水量変化が河川流況に与える影響の簡易推定法	48
3-4 渇水時における低水管理の高度化手法の開発	52

3-5	ダム群再編に関する課題分析と対応策.....	54
III	気候変動の影響に適応した国土保全方策の検討.....	57
1.	国土の脆弱性に関する俯瞰的評価の検討.....	57
1-1	長期沿岸防災計画のための地域タイプ分けと特性分析.....	57
1-2	気候変動に伴う降雨変化が土石流や斜面崩壊発生に及ぼす影響の検討.....	59
2.	水関連災害の被害評価手法の高度化検討.....	69
2-1	水害の経済評価の高度化と改良.....	69
2-2	濁水被害把握の高度化と改良.....	73
3.	水害に関する気候変動への適応ガイドラインの検討.....	77
第3章	研究のとりまとめと活用について.....	78
参考資料	成果にかかわる論文、報告書等のリスト.....	80
引用	82

プロジェクト研究実施者名簿

所 属	役 職*1	氏 名	担当期間	担 当*2
河川研究部	部長	大平 一典	2006. 4～2009. 7	研究総括
	部長	山本 聡	2009. 7～2010. 3	
	流域管理研究官	金木 誠	2006. 4～2007. 3	
	流域管理研究官	柏井 条介	2007. 4～2009. 3	
	流域管理研究官	藤田 光一	2009. 4～2010. 3	
河川研究部 河川研究室	室長	山下 武宣	2006. 4～2008. 3	I、II
	室長	金澤 裕勝	2008. 4～2009. 7	
	室長	服部 敦	2009. 7～2010. 3	
	主任研究官	菊森 佳幹	2006. 4～2009. 7	
	主任研究官	飯野 光則	2009. 7～2010. 3	
	研究官	武内 慶久	2009. 4～2010. 3	
	研究官	小野田 恵一	2009. 7～2010. 3	
河川研究部 海岸研究室	室長	福濱 方哉	2006. 4～2008. 3	II
	室長	諏訪 義雄	2008. 4～2010. 3	
	主任研究官	野口 賢二	2006. 4～2010. 3	
河川研究部 水資源研究室	室長	安田 成夫	2006. 4～2008. 3	I、II、III
	室長	三石 真也	2008. 4～2010. 3	
	主任研究官	水草 浩一	2008. 6～2010. 3	
	研究官	依田 憲彦	2008. 4～2010. 3	
	研究官	末久 正樹	2008. 4～2009. 6	
	研究官	尾関 敏久	2007. 4～2010. 3	
河川研究部 気候変動研究チーム	主任研究官	服部 敦	2006. 4～2009. 7	I、II、III
	主任研究官	菊森 佳幹	2009. 7～2010. 3	
	主任研究官	石神 孝之	2006. 4～2008. 3	
	主任研究官	飯野 光則	2008. 4～2009. 7	
	主任研究官	多田 智和	2006. 4～2008. 3	
	研究官	小野田 恵一	2008. 4～2009. 7	
	研究官	土屋 修一	2006. 4～2010. 3	
危機管理技術研究センター 砂防研究室	室長	小山内 信智	2006. 4～2010. 3	III
	主任研究官	水野 秀明	2006. 4～2010. 3	
	主任研究官	秋山 一弥	2006. 5～2008. 9	
	主任研究官	富田 陽子	2008. 10～2010. 3	
	研究官	桂 真也	2009. 4～2010. 3	
危機管理技術研究センター 水害研究室	室長	中村 徹立	2006. 4～2007. 8	I、II、III
	室長	榎村 康史	2007. 9～2009. 3	
	室長	伊藤 弘之	2009. 4～2010. 3	

*1 役職は研究当時を含む。

*2 ローマ数字は2章の構成に対応

プロジェクト研究報告とりまとめ担当者

所属・役職	氏名
河川研究部長（当時）	山本 聡
河川研究部・流域管理研究官（当時）	藤田 光一
危機管理技術研究センター・水害研究室長	伊藤 弘之
危機管理技術研究センター・砂防研究室長（当時）	小山内 信智
河川研究部・河川研究室長	服部 敦
河川研究部・海岸研究室長	諏訪 義雄
河川研究部・水資源研究室長	三石 真也
危機管理技術研究センター砂防研究室・主任研究官	富田 陽子
河川研究部海岸研究室・主任研究官	野口 賢二
河川研究部気候変動研究チーム・主任研究官	菊森 佳幹
河川研究部気候変動研究チーム・主任研究官	板垣 修
河川研究部水資源研究室・研究官（当時）	尾関 敏久
河川研究部気候変動研究チーム・研究官	土屋 修一

第1章 研究の概要

1. 研究の概要

地球温暖化による気候変動が洪水や高潮、渇水などによる災害発生リスクを増大させることが懸念されている。こうした懸念に対し、河川や海岸の管理という実務的側面において、どのように対応すべきかを具体的に検討しておくことは重要である。

本プロジェクト研究においては、XバンドMPレーダーなどの革新的技術を取り込んだ新しい水管理技術を開発するとともに、気候変動が河川・海岸管理に与える影響の評価、国土の脆弱性の把握を行い、今後新たに取り組むべき適応策を提示することを目指して、具体的には以下の事項を検討した。

- I. 降雨予測情報等を活用した次世代型水管理技術に関する検討
 - 1. 洪水・氾濫の予測技術の高度化に着目した検討
 - 2. ダムの効率的運用手法に着目した検討
 - 3. 洪水・氾濫に対する避難基準水位の設定等に関する検討
- II. 地球温暖化による河川・海岸への影響把握と対応策に関する検討
 - 1. 河川における洪水氾濫に着目した検討
 - 2. 海岸防護に着目した検討
 - 3. 水管理への影響に着目した検討
- III. 地球温暖化による気候変動の影響に適応した国土保全方策の検討
 - 1. 国土の脆弱性に関する俯瞰的評価の検討
 - 2. 水関連災害に関する被害評価手法の高度化の検討
 - 3. 水害に関する気候変動への適応のガイドラインの検討

第2章では、この全体構成にしたがって成果の要点を順次述べていく。なお、表-1.1に示すように各検討項目は相互に関係を持っている。各項目の成果の活用は、こうした相互関係も考慮して行うと良い。

表-1.1 各研究項目間の相互関係

対象	気候変化予測の実務への取り込み(既往施策への影響評価を含む)	影響評価手法	国土の脆弱性把握	新たに取り組むべき適応策の検討
河川洪水氾濫災害への対応	II-1	III-2	III-1	I-1、I-2、I-3 II-1、III-3
沿岸部高潮災害への対応	II-2			II-2
水資源管理への対応	II-3			II-3

本プロジェクト研究の実施体制は図-1.1に示す通りである。気候変動外力の設定については、21世紀気候変動予測革新プログラム(気象研究所、京大防災研究所、ICHARM、国総研)の中で検討を行い、気象予測データの提供を受けた。また、河川・海岸への影響評価においては地方整備局からの

データや解析モデルの提供を受けた。XバンドMPレーダーの実装に代表されるように、研究成果が地方整備局の現場管理にフィードバックできる工夫も行った。XバンドMPレーダーによる降雨観測については、防災科学技術研究所等から技術的協力を受け、研究を実施した。本省とは、社会資本整備審議会における議論に関わる情報・知見整理等において緊密な連携を図り、洪水・氾濫監視システムについて方向性をすり合わせ、本研究の成果が河川局の施策に反映しやすい体制を取った。さらに、国総研ではカバーできない多分野の学識者より種々のアドバイスを獲得する体制を取った。

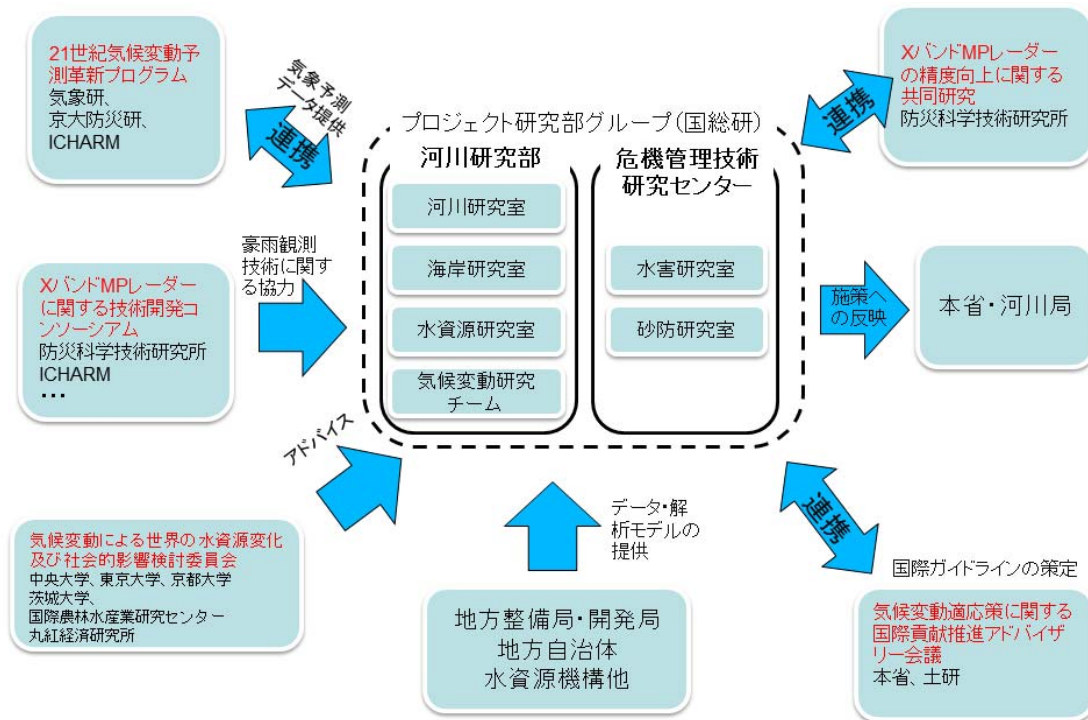


図-1.1 本プロジェクト研究の実施体制

なお、本プロジェクト研究の一環として実施された「降水量予測情報を活用した水管理手法に関する研究」(平成18～20年度)および「地球温暖化による気候変動の影響に適応した国土保全方策検討」(平成20～21年度)の成果も、本報告書において合わせて記述している。

本報告書は、とりまとめ時期の関係により、プロジェクト研究期間終了後に得られた研究成果も記載している。また、本プロジェクト研究には、プロジェクト研究期間が始まる前より開始していた研究課題もあり、その成果も載せているので、一部においてプロジェクト研究期間外の生じた事象を対象とした記述がある。

2. 気候モデルについて

本プロジェクト研究では、将来の気候外力として複数の気候モデルの出力値を用いている。本報告書では、気候モデルの種類を統一的に表-2.1の略称のように表記することとする。また、これらの気候モデルの出力値は、現在気候の再現値においても真値とは必ずしも一致せず、そのため将来の予測値についても不確実性(予測値の信頼性の幅)をもつものである。よって、そこから導き出される解

析結果についても確定値ではなく、信頼性の幅をもった値であることに留意する必要がある。

表-2.1 気候モデル

開発プロジェクト	気候モデル	略称			
		—	現在 (1979-2003)	近未来 (2015-2039)	将来 (2075-2099)
21 世紀気候変動予測 革新プログラム ¹⁾	全球気候モデル [前期実験] MRI-AGCM3.1S	革新前期 GCM20	革新前期 GCM20 (現在)	革新前期 GCM20 (近未来)	革新前期 GCM20 (将来)
	全球気候モデル [後期実験] MRI-AGCM3.2S	革新後期 GCM20	革新後期 GCM20 (現在)	革新後期 GCM20 (近未来)	革新後期 GCM20 (将来)
	領域気候モデル [前期実験]	革新前期 RCM5	革新前期 RCM5 (現在)	革新前期 RCM5 (近未来)	革新前期 RCM5 (将来)
	領域気候モデル [後期実験]	革新後期 RCM5	革新後期 RCM5 (現在)	革新後期 RCM5 (近未来)	革新後期 RCM5 (将来)
人・自然・地球共生プ ロジェクト ²⁾	全球気候モデル	—	現在 (1979-1998)	—	将来 (2080-2099)
		共生 GCM20	共生 GCM20 (現在)	—	共生 GCM20 (将来)

第2章 個別の研究成果

I. 降雨予測情報等を活用した次世代型水管理技術に関する検討

1. 洪水・氾濫予測に関する検討

1-1 XバンドMPレーダの実用化と活用

近年、局地的な大雨（いわゆるゲリラ豪雨）や集中豪雨による浸水被害が頻発している。国土交通省河川局では、このような水害に対し、適切な水防活動や河川管理を行うため、平成22年3月末までに三大都市圏等（関東：2基、北陸：2基、中部：3基、近畿：4基）に11基の最新型レーダを設置した。豪雨時の避難行動や防災活動等に役立てるため、平成22年7月5日より、XバンドMPレーダによる降雨観測情報（web 画像）を一般に配信を開始した。（<http://www.river.go.jp/xbandradar/>）

国土技術政策総合研究所では、XバンドMPレーダから得られるデータの処理システム、降雨観測情報の配信システムの開発、運用手法の検討、雨量の精度検証、精度向上の検討等を行い、また、XバンドMPレーダ雨量情報を用いた降雨予測、氾濫予測の高精度化等の技術開発や豪雨・洪水監視情報提供の高度化に資するXバンドMPレーダ雨量情報の利活用等についての検討を行っている。

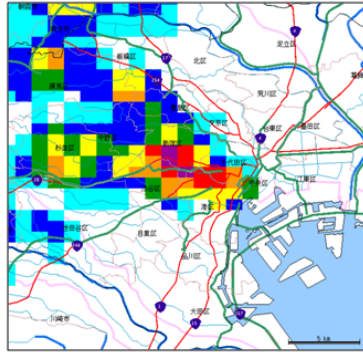
XバンドMPレーダによる降雨観測情報は、観測分解能250m、更新頻度1分で提供しており、既存レーダ（観測分解能1km、更新頻度5分）では、とらえることが難しい局地的かつ急速に成長する豪雨についても詳細かつリアルタイムでの観測が可能となった。（図-I.1.1.1）

図-I.1.1.2は、平成22年7月5日、東京都北部において、東京都板橋区で、20時30分までの1時間に107mm が観測されるなど、甚大な浸水被害が発生した局地的な集中豪雨をXバンドMPレーダが観測した結果を10分毎に示したものである（実際は1分毎に降雨情報を配信）。同レーダの観測によると、石神井川を囲むように1時間あたりに換算して100mm を超える雨域が集中していることが、きめ細かに確認できる一方で、隣接する新宿区等では、ほとんど雨域が観測されていないことが明確に把握できる。

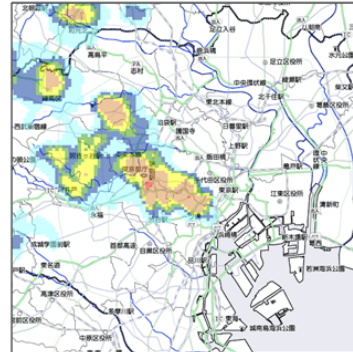
図-I.1.1.3は、当日の降雨事例において、同レーダで観測した雨量、地上雨量計で観測した雨量（10分値）を比較したものである。なお、XバンドMPレーダとCバンドレーダは、観測高度、メッシュサイズ等が異なり同一条件の比較はできないが、参考程度の比較としてCバンドレーダで観測した雨量も同時に示している。いずれの地点の地上雨量計と比較しても、地上雨量計で観測された10分毎の降雨の時間変化を、同レーダは追従できており精度よく観測できていることがわかる。また、参考までにCバンドレーダで観測した雨量と比較しても、同レーダは観測精度が高いことがわかる。

同レーダにより平成22年の夏に観測された降雨事例について観測精度を検証した結果、いずれの地域においても精度の高い観測ができており、特に従来レーダでは難しかった強降雨時の観測精度においても精度を維持して観測ができていることが確認されている。

【既存レーダ(Cバンドレーダ)】
 (最小観測面積:1kmメッシュ、観測間隔:5分
 観測から配信に要する時間 5~10分)



【XバンドMPLレーダ】
 (最小観測面積:250mメッシュ、観測間隔:1分
 観測から配信に要する時間 1~2分)



即時性の向上
 高頻度化(5倍)
 高分解能化(16倍)

図-I.1.1.1 XバンドMPレーダと既存レーダの雨量情報の比較

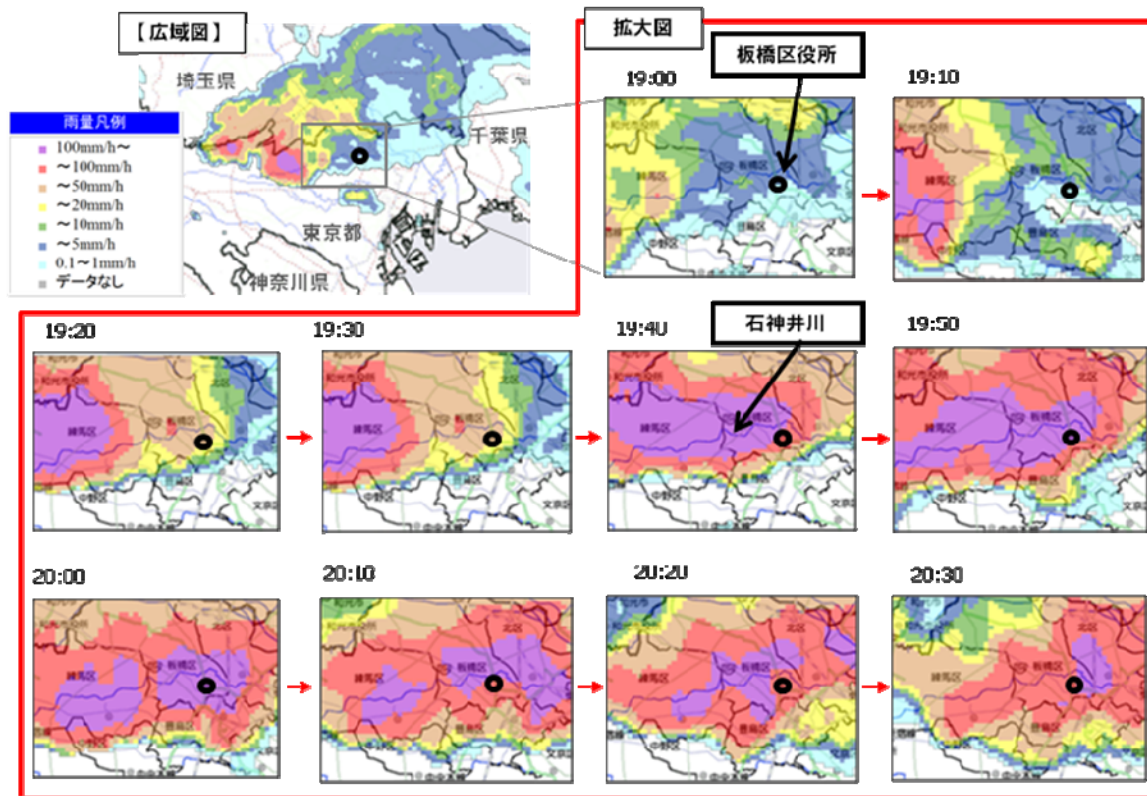


図-I.1.1.2 XバンドMPレーダの降雨観測状況 (2010/7/5 東京都北部豪雨の状況)

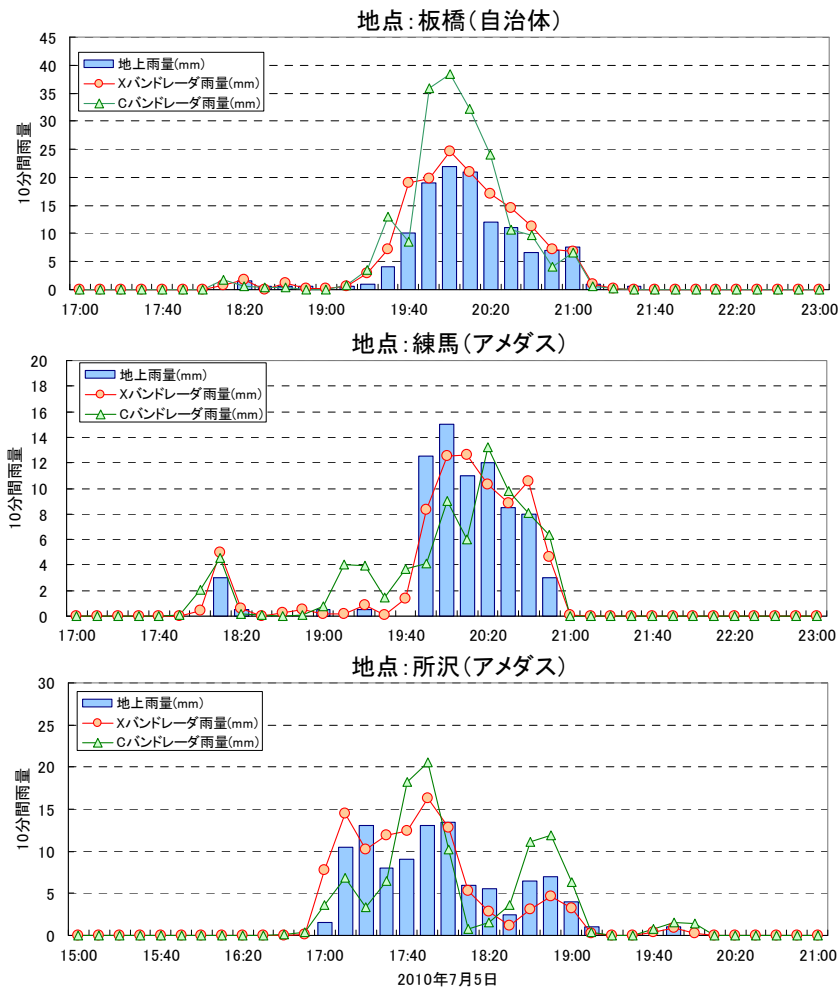


図-I. 1. 1. 3 XバンドMPレーダ観測値の比較 (2010/7/5 東京都北部豪雨)

1-2 水系全体で洪水予測を可能にするための手法開発

a) 目的

近年、記録的な大雨や局地的豪雨が多発化傾向にあり、治水施設の整備水準が低い地方部での洪水や、都市部での局所的豪雨に伴う内水氾濫による被害が目立っている。このため、重要施設の集中する河川下流だけでなく、堤内地を含む流域全体を視野に入れた洪水及び内水氾濫の監視・予測の必要性が高まっている。一方で、降雨の監視については従来からのCバンドレーダに加えて、より観測性能の高いXバンドレーダの整備が進められており、広域かつ緻密に精度の高い降雨量が得られるようになってきている。この降雨観測データ及び将来的な開発が見込まれる降雨予測データを活用し、水系全体を対象に局地的な豪雨による出水や内水氾濫も対象とした洪水監視・予測システムの開発が急務となっている。

b) 洪水・内水氾濫監視システム

水位計等観測施設が整備されていない地方部等では、悪天候時や深夜等において河川の水位や氾濫状況等を把握するのが困難であることから、避難勧告や水防活動等の重要な指示が遅れる可能性がある。近年の急激な降雨は瞬く間にアンダーパス等を浸水させ、進入してくる車両内の人が死亡する事故も発生している。このため図-I. 1. 2. 1 の洪水・内水監視エリアに示すように、水位計及びデータ送信施設が未整備のエリアに対して、既存技術を活用し、安価で確実な水位観測方法につい

て検討を行った。

検討方針は、水位を観測する機器部分とその観測データをリアルタイムで通信する機器部分に分割し、既存技術やその活用方法について調査を行った。



図-I.1.2.1 洪水・内水監視エリアのイメージ

観測機器は、観測データの記録機能を含めて機器価格5万円程度から市場にあり、近年安価になりつつあることが市場調査から確認された。通信機器は、携帯電話電波の利用から衛星を利用した通信サービスが民間会社によって展開されており、通信レベルに応じて係る費用及び通信可能なデータ容量について調査を行った。以上の調査結果を踏まえて、実用性の確認を行うために、図-I.1.2.2、I.1.2.3にある観測機器を河川にて設置した。設置した河川は東京都と神奈川県を流れる鶴見川であり、人口密集地を流れる都市河川である。5ヶ月間現地に設置した結果、観測の欠測や機器の損失はなく、水位監視としての実用性を確認できた。

なお、今回設置した水位計はリアルタイムで観測データを送信できないタイプのため、今後既存伝送機器との接続のための改良が必要となる。なお、観測部分だけでなく、通信は携帯電話電波を使用した通信機器とセットになった観測機器や起動電源を太陽電池から取得する機器があることも調査から確認できたので、リアルタイム監視が可能であるとともに設置・維持管理も容易で安価であることから、今後はこれらの機器の採用も検討すべきである。



図-I. 1. 1. 2. 2 設置した水位計の状態

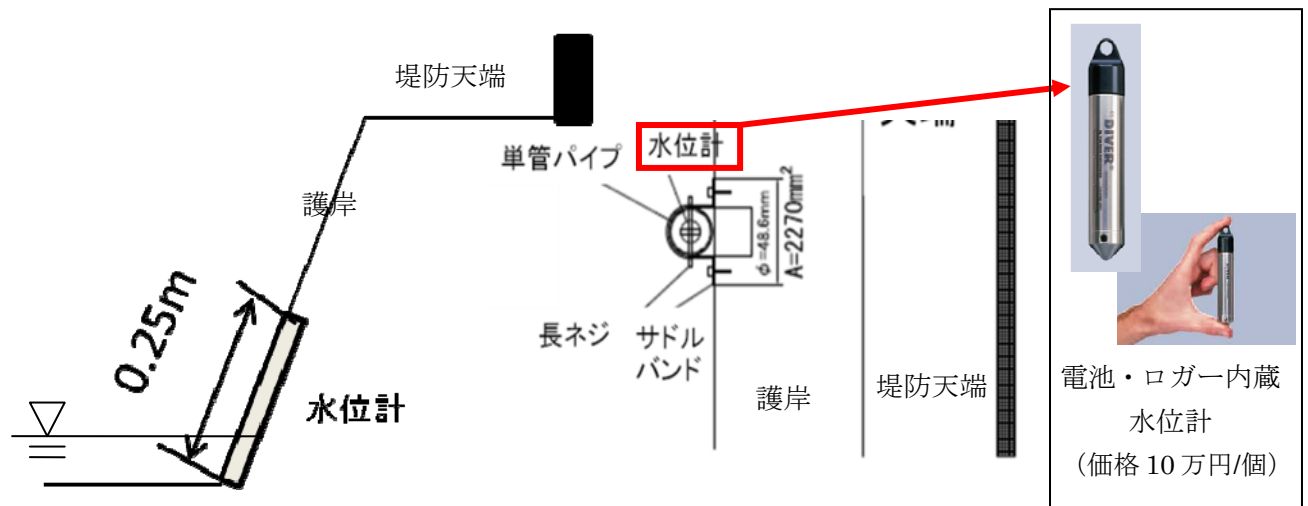


図-I. 1. 1. 2. 3 水位計の詳細図

c) 洪水・内水氾濫予測モデル

降雨の時空間分布を捉えられるレーダ雨量計のデータを適切に反映するため、鶴見川上流をモデル河川に選定し、広域かつ内水氾濫も対象とした洪水予測モデルの試作を行った（図-I. 1. 1. 2. 4～図-I. 1. 1. 2. 7 参照）。

上流域に多数存在する各支川に対して a) 項の水位計を設置・観測し、その観測結果から支川流域毎の流出現象が確認できたことによって、詳細なモデル定数の設定が可能となり、各支川や支川合流後の流出現象の再現が行えるモデルとなった。

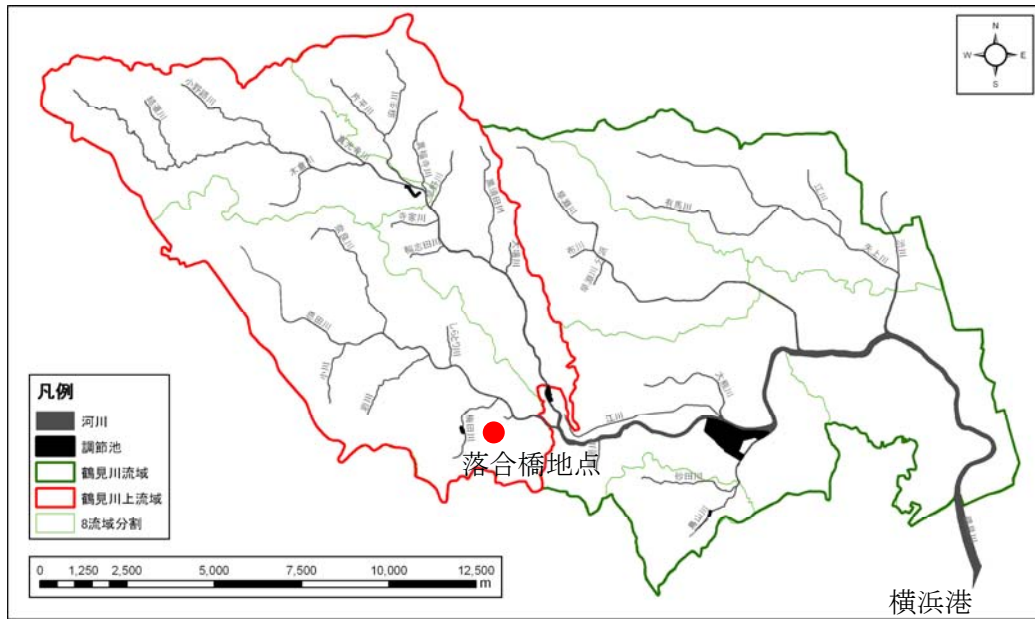


図-I. 1. 2. 4 鶴見川流域（赤枠部分：分布型モデル作成地域）

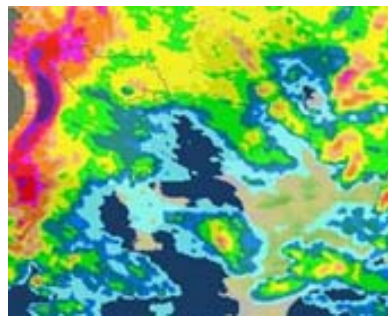


図-I. 1. 2. 5 平成 22. 12. 3 降雨の状況（Xバンド MP レーダ）による観測値

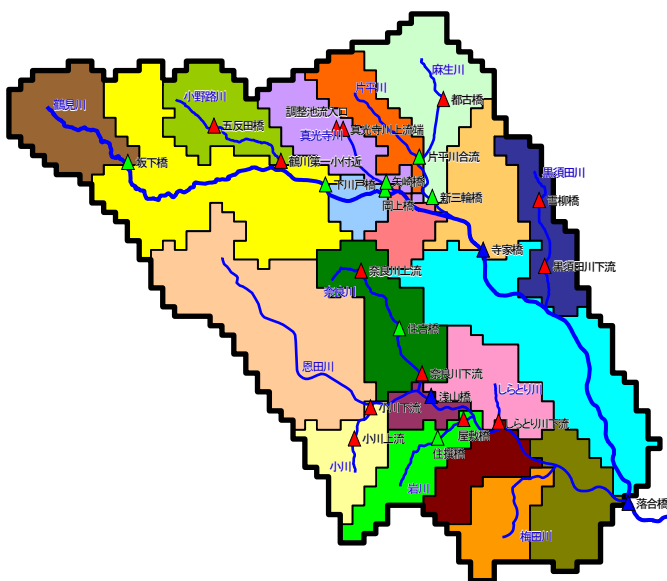


図-I. 1. 2. 6 支線分割
（分割した支川毎にモデル定数を設定）

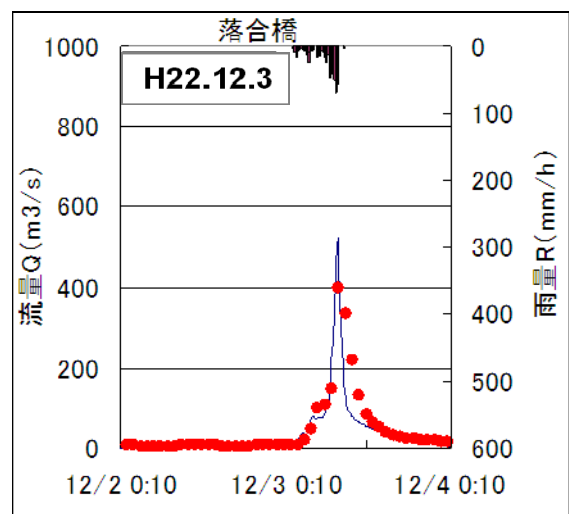


図-I. 1. 2. 7 再現結果（落合橋地点）

2. ダムの効率的運用手法に関する検討

2-1 事前放流における水位低下・上昇特性の定性的分類の検討

事前放流の有効性を考える上では各ダムの持つ水位低下・上昇特性（図-I.2.1.1）を把握することが重要であるため、各ダムにおけるその特性について以下のとおり定義し、指標化を行うとともに表-I.2.1.1に示すとおり定性的分類を行った。その結果、短時間の事前放流で水位を低下させることができ、比較的水位の回復が容易なダム（治水の効果を発揮しやすく洪水リスクの少ないダム）や、短時間では水位が低下させられず貯水の回復にも相当量の雨量が必要なダム（洪水リスクが多く、治水の効果の少ないダム）に分類した。

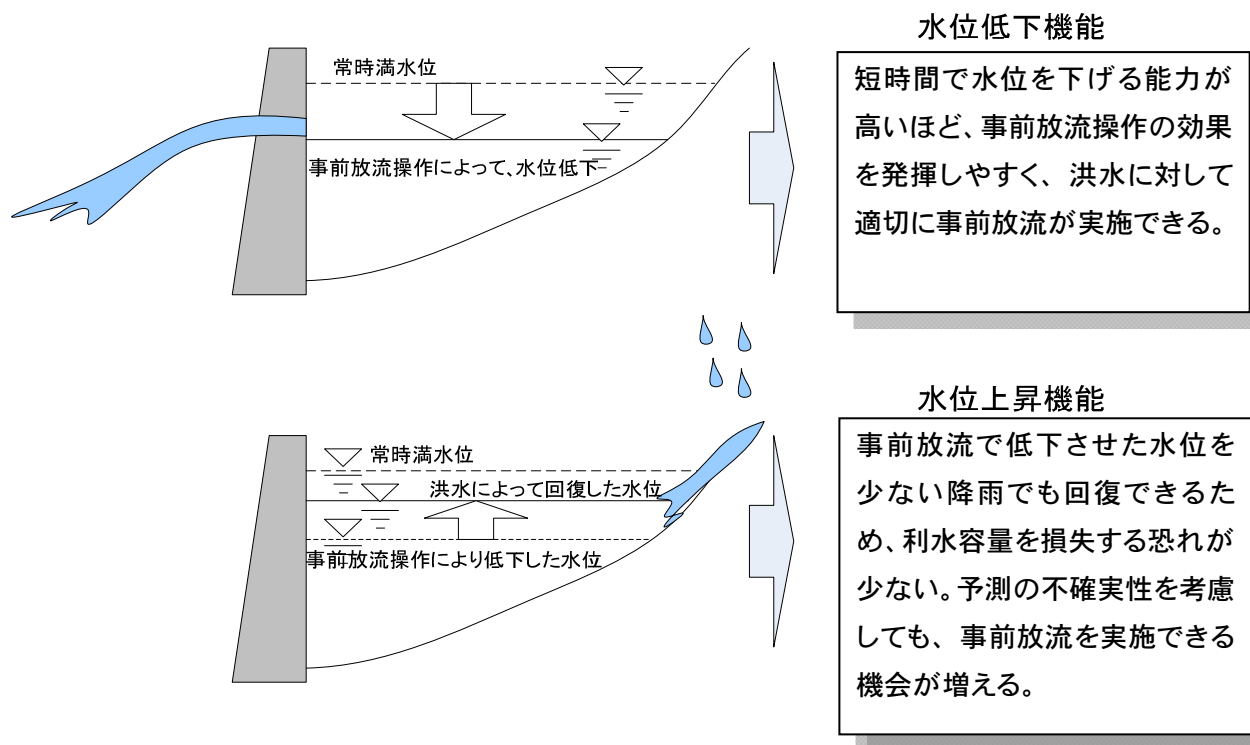


図-I.2.1.1 事前放流を実施する上で重要な視点

<定義・指標>

- ・ 水位低下特性：短時間で貯水位を低下させる特性

$$H_{DH} = X_{DH} Q_{H0} T_0 (\text{m}) \quad X_{DH} = H_Y / V_Y$$

H_Y ：有効容量水位差 V_Y ：有効貯水容量

Q_{H0} ：事前放流量 T_0 ：事前放流時間(12h と仮定)

- ・ 水位上昇特性：少降雨で貯水位を回復させる特性

$$H_{UP} = X_{UP} (R_{eo} - R_{Fe}) / 10^3 (\text{m}) \quad X_{UP} = A_s / A_b$$

A_s ：ダム集水面積 A_b ：ダム湖面積

R_{eo} ：有効雨量 R_{Fe} ：相当雨量

表-I. 2. 1. 1 定性的分類結果

		水位上昇パターン分類 (回復に必要な降雨量)		
		小 (100mm超)	中 (50mm以上100mm以下)	大 (50mm未満)
(12時間 による洪水調節 容量増大率)	小 (1.1未満)	グループA:	グループB: 宮ヶ瀬, 浦山	グループC: 十勝, 鹿ノ子, 大雪, 金山, 岩尾内, 三春, 玉川, 三国川, 相俣, 八田 原, 弥栄, 温井, 中筋川
	中 (1.1以上 1.5以下)	グループD: 大石, 下久保, 蓮, 真名川, 早明 浦, 下笠, 厳木, 竜門, 寺内	グループE: 札幌川, 釜房, 寒河江, 白川, 大 町, 川治, 川俣, 奈良俣, 味噌川, 阿木川, 岩屋, 九頭竜川, 一庫	グループF: 美利河, 漁川, 定山溪, 桂沢, 滝 里, 豊平峡, 忠別, 浅瀬石川, 四十 四田, 御所, 湯田, 七ヶ宿, 月山, 五 十里, 藤原, 矢木沢, 日吉, 緑川
	大 (1.5を越え る)	グループG: 石淵, 草木, 青蓮寺, 室生, 野村, 石手川, 富郷, 新宮, 耶馬溪	グループH: 鳴子, 手取川, 長島, 矢作, 比奈 知, 高山, 布目, 松原	グループI: 宇奈月

2-2 降雨予測を活用した事前放流を含む新たな洪水調節方式検討

降雨予測を活用した合理的なダム洪水調節手法について、図-I. 2. 2. 1 に示す効果的な洪水調節手法を目指し、新たなダム洪水調節手法の考え方を構築した (図-I. 2. 2. 2)。そして、実績洪水を基に大小の予測誤差の幅を設け、各洪水 3 パターンの予測に対し本手法による洪水調節シミュレーションを実施した結果を図-I. 2. 2. 3 に示す。3 パターンのいずれも実績の操作に比べて適切な事前放流を実施し、無害流量までの定量放流で収まる洪水が増える傾向にある。図-I. 2. 2. 4 は矢作ダム平成 16 年 7 月洪水におけるシミュレーション結果であり、実績操作に比べ最大放流量を大きく低減させている。他の個別事例では、実績降雨量が極端に多い場合や融雪による影響、放流能力の不足など、十分な対応が図られない条件も明らかとなった。

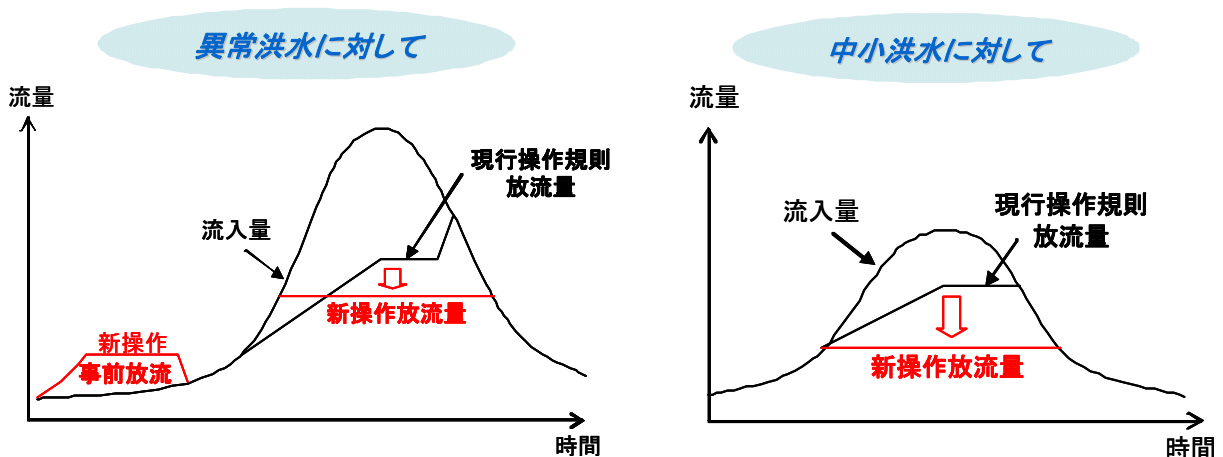


図-I. 2. 2. 1 降雨予測を活用した洪水調節操作

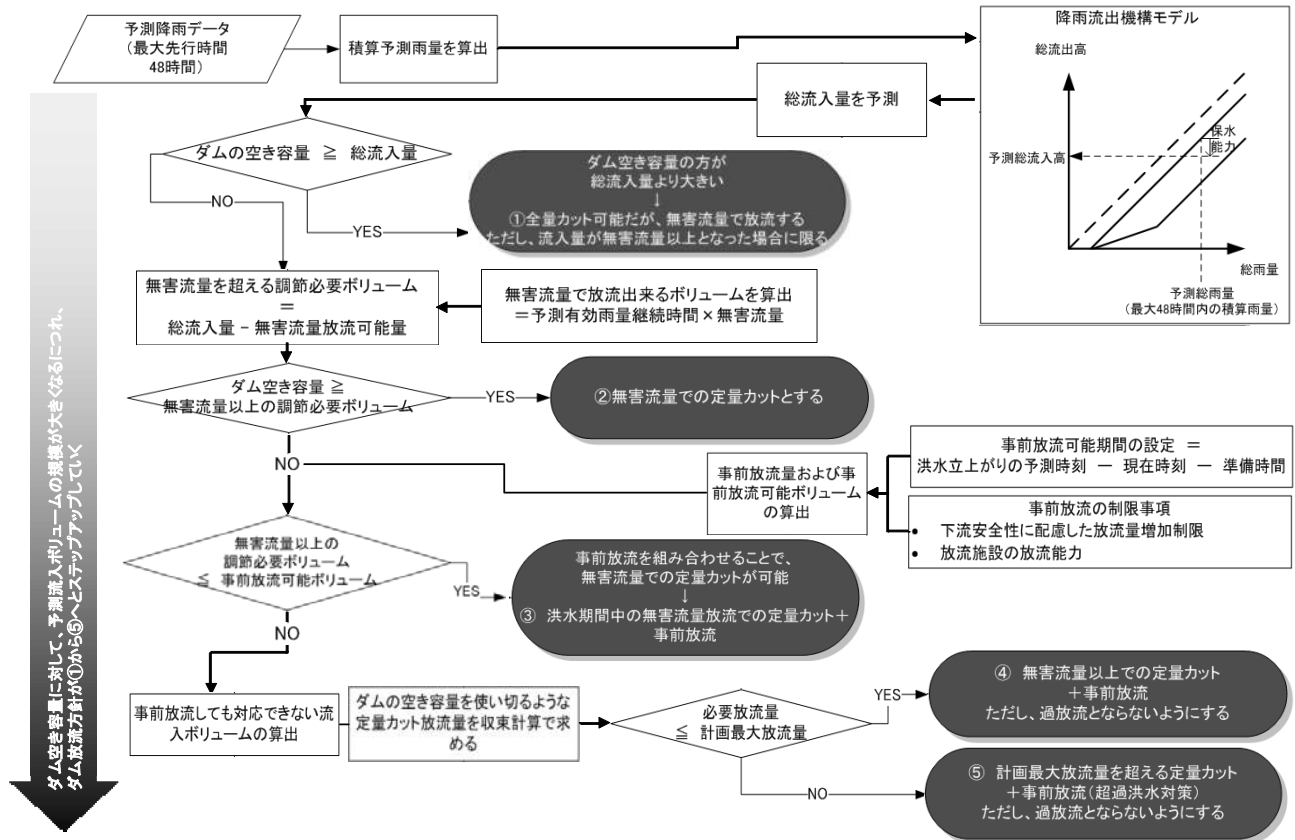


図-I.2.2.2 降雨予測を活用したダム洪水調節シミュレーションのフローチャート

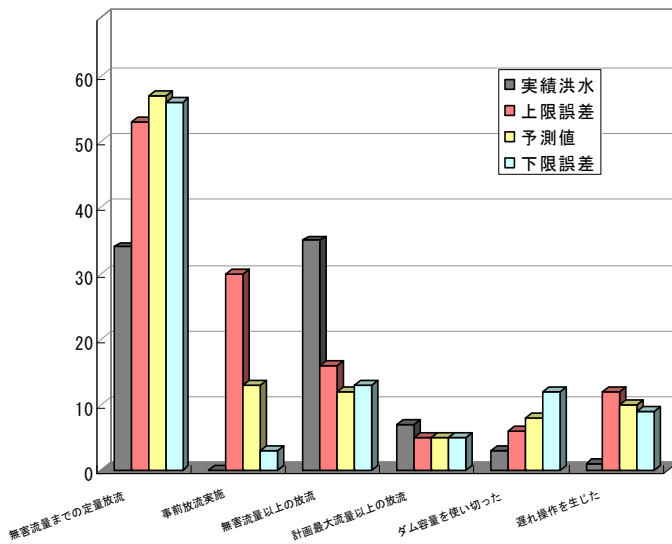


図-I.2.2.3 シミュレーション結果

実績累加雨量 448.61 [mm]
 実績ダム最大流入量 2,993.44 [m³/s]
 実績ダム最大放流量 2,378.06 [m³/s]
 シミュレーション最大放流量 974.04 [m³/s]
 放流量差分 実績-シミュレーション 1,404 [m³/s]

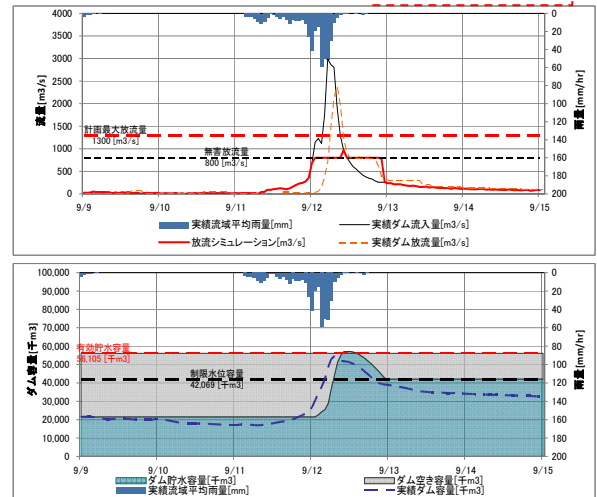


図-I.2.2.4 矢作ダム H16 年 7 月洪水の結果

2-3 ダム管理への活用を目的とした降雨予測精度の検討

降雨予測の誤差について、既往検討では、気象庁 RSM (20km メッシュ) の予測値を用いた分析事例 (図-I. 2. 3. 1) が存在する。一般に数値気象モデルの計算メッシュは、前線、低気圧等気象現象の水平スケールの 1/5 以下とすることが望ましいとされている。集中豪雨などの比較的的水平スケールの小さな気象現象がダム流域でも発生していること、ダム流域の大きさが主に 100km²~1,000km² 程度であることも合わせて考慮すると、さらに空間解像度の高い降雨予測が望まれる。そこで、ここではダム流域における降雨予測誤差を把握するため、メソスケール気象モデル(WRF)を活用したダウンスケールによる降雨予測の精度検証を試みた。降雨継続時間毎の予測雨量と実績雨量の関係は図-I. 2. 3. 2 に示すとおりである。以上の解析は、データ数が 14 洪水と数少ないため、確率統計的に未だ信頼性が十分とはいえず、今後、多くのダム流域、洪水において実施し、実績降雨との乖離を分析するとともに、リスク管理を適切に行いつつ上限値から下限値に至るまでの誤差を正確に把握することが求められる。今後、これらの精度向上が図られることにより、淀川や北上川などにおいて実施されているダム統合管理をより安全かつ確実にを行うための基礎データとして活用されることが期待できる。

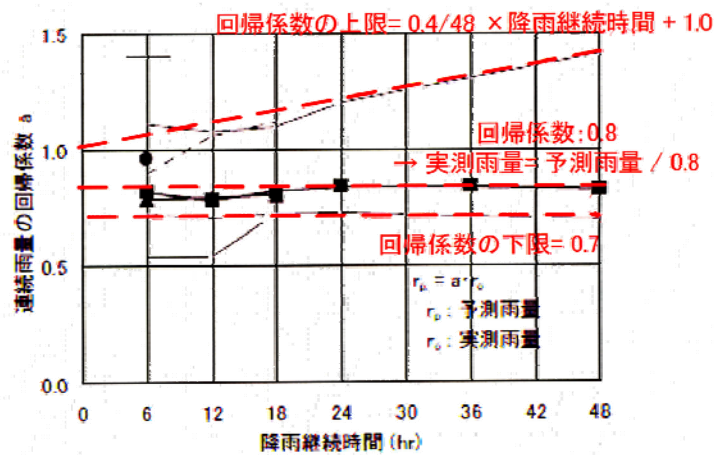


図-I. 2. 3. 1 既往検討成果による気象庁 RSM による予測誤差

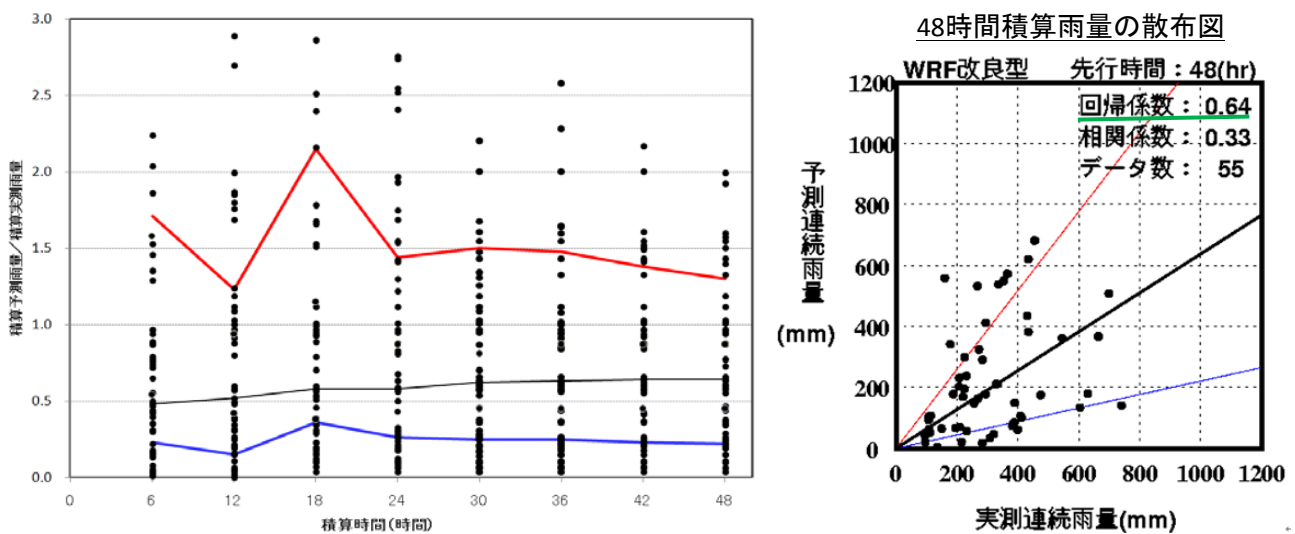


図-I. 2. 3. 2 積算時間毎の WRF 予測雨量の回帰係数

3. 洪水・氾濫に対する避難基準水位の設定等に関する検討

3-1 洪水氾濫時の水防活動及び避難行動の分析

a) 目的

洪水・氾濫に対して沿川住民が安全な避難行動をとるように誘導するためには、当該地域のその時刻における被災危険度に応じた適切な避難情報を伝達する必要がある。ここでは、適切な避難情報の内容や伝達方法等を検討するため、平成16年7月に起きた信濃川水系刈谷田川（図-I.3.1.1）の水害における沿川住民や水防団等に対してアンケート調査を行い、水防活動及び避難行動の分析を行った。

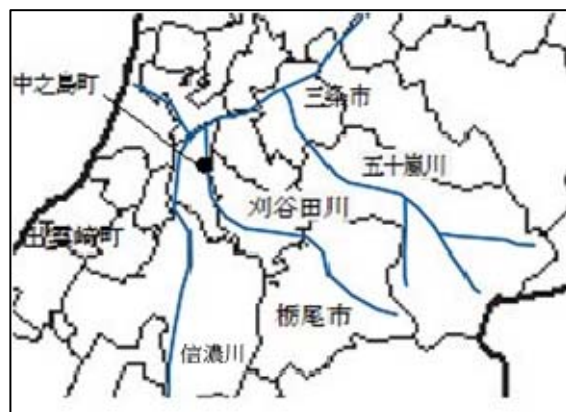


図-I.3.1.1 位置図

b) 調査概要

洪水被害：

平成16年7月13日に新潟県及び福島県において、梅雨前線の停滞に伴って長時間に及ぶ豪雨となり、各地で破堤被害が発生した。刈谷田川の破堤部上流の大堰水位観測所において、9時50分に最高水位が観測されている。中之島では、12時20分に災害対策本部が設置され、12時40分に避難勧告が発令された。また、豪雨災害調査委員会では12時52分が破堤時刻であると結論づけている。本調査における洪水被害は下記のとおりである。

- ・破堤地点：信濃川支川刈谷田川左岸9.3km（中之島地区）
- ・被害状況：死者3名、全壊家屋：16棟、半壊家屋：37棟



図-I.3.1.2 氾濫原因

アンケート調査：

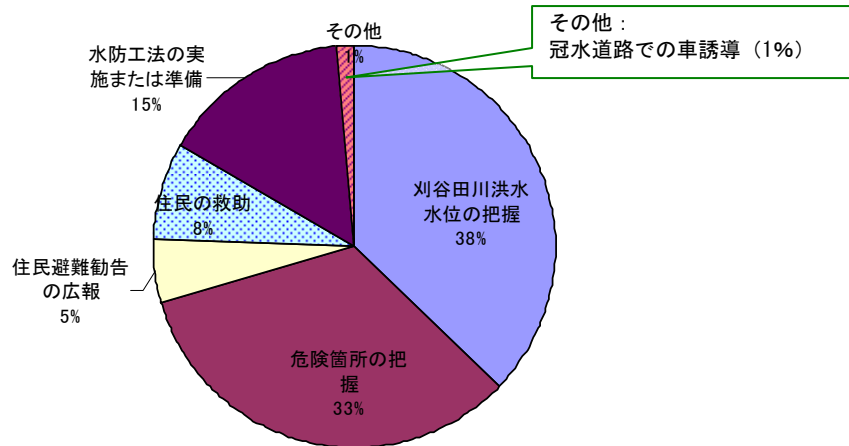
水防活動及び避難行動に関する実態調査を刈谷田川破堤部の堤内地側0.36km²の範囲（図-I.3.1.2）で行った。調査は、水防活動に関しては水防団、避難行動に関しては当該地域の住民を対象に、①災害時の避難指示等の伝達方法、②破堤氾濫流の時間変化・河川水位変化、③避難経路等を把握する方針でアンケートを作成して行った。

- ・水防活動：長岡市中之島消防団（61名）
- ・避難行動：当該地域住民（190世帯）

c) 調査結果

水防活動の実態

水防活動の一環として行われた巡視は、洪水水位及び危険箇所等の把握が実施目的の7割を占めていた。住民の避難勧告の広報は5%と少なかった（図-I.3.1.3）。



※複数回答

図-I. 3. 1. 3 巡視の目的

避難勧告を出すように本部より指示を受けたと答えた団員は 22%であり、その半数程度は勧告発出後 30 分以内であった (図-I. 3. 1. 4)。

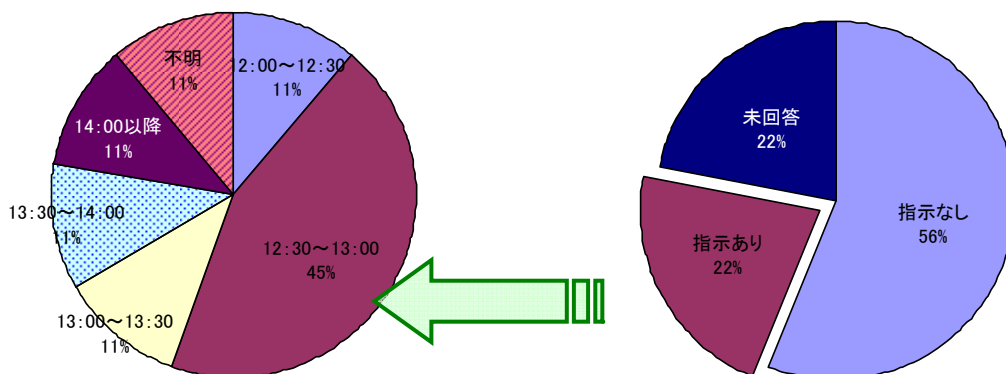


図-I. 3. 1. 4 避難指示を受けたタイミング

住民から受けた質問として、避難場所はどこかという質問を受けた人が 37%、避難勧告は出たかが 13%、河川水位の情報を求められた団員は 13%であった (図-I. 3. 1. 5)。

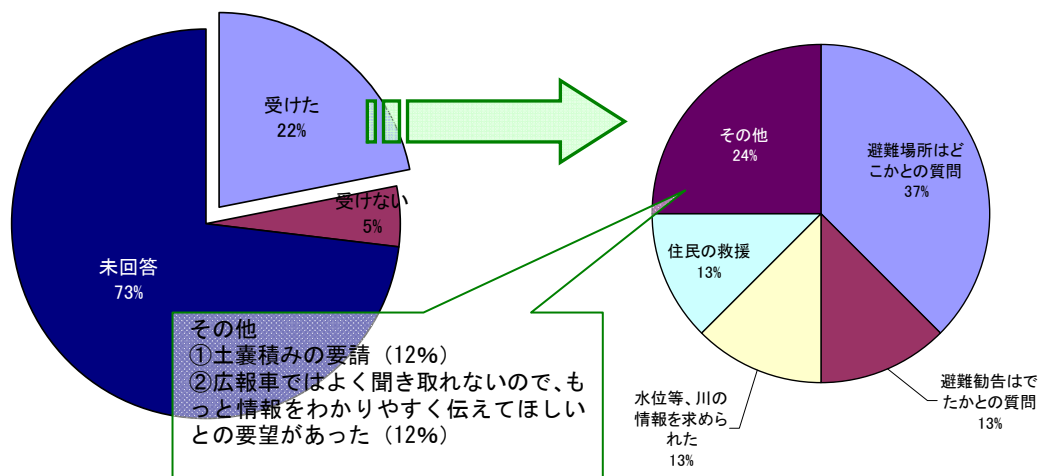


図-I. 3. 1. 5 住民からの問い合わせ

・避難活動等の実態

避難指示の情報を受けなかった人は59%であった（図-I.3.1.6）。

避難を始めた動機は、第三者の指示を受けたからと答えた人が20%、刈谷田川の水位上昇及び浸水等の状況による自己判断によるとの回答は65%であった（図-I.3.1.7）。

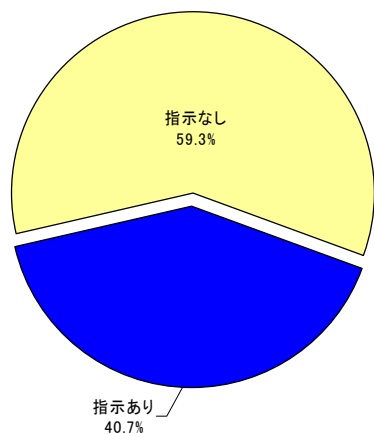


図-I.3.1.6 避難指示を受けたか

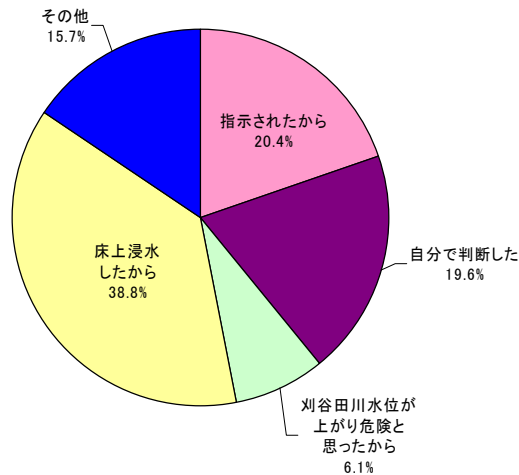


図-I.3.1.7 避難開始の理由

d) 分析結果

避難指示については約6割の住民が受けていないこと、避難の動機については、約半数の住民が河川水位や浸水深さを直接見て判断していることが判明した。避難情報を確実に伝えるとともに、河川水位や浸水深等の情報をどのように伝えるかがポイントなることが確認された。

3-2 降雨及び流域特性と河川の水位上昇速度の関係の分析

a) 目的

洪水・氾濫に対して安全な避難行動のためには、避難行動に要する時間を見込んで避難情報を発出することが重要である。河川水位が氾濫の危険性が高まる水位に達するのに要する時間は、そのときの河川の水位と水位の上昇速度との関係で決まるものであるため、ここでは、河川水位から避難情報を出すタイミングを検討するため、降雨や流域の特性と河川の上昇速度の関係の分析を行った。

b) 解析方法

対象流域は、降水現象から流出のピークに至る時間が短く降水量予測が有効に活用できると考えられる中小河川とした。対象降雨は、流域平均雨量が算出されている近年の降雨を1流域につき3降雨選定した。水位データは、観測データではなく、降雨から流出計算及び河道水位計算を行うことにより取得した。流量算出には貯留関数法を、河川水位の計算には一次元不定流計算をそれぞれ用いた。対象河川及び対象降雨を下記に示す。

表-I.3.2.1 対象流域

都道府県名	河川名	流域面積	河床勾配
栃木県	大芦川	152km ²	1/120~1/60
長野県	薄川（すすき）	73km ²	1/180~1/30
京都府	鴨川	208km ²	1/600~1/170

表-I.3.2.2 対象降雨

河川名	降雨	雨量 (mm)		
		時間最大	2日	3日
大芦川	H10.8.26	39.2	502.8	
	H10.9.15	41.3	268.4	
	H13.8.21	27.5	242.6	
薄川	H16.9.4	25.8	153.7	
	H16.10.8	9.3	127.3	
	H16.10.19	16.2	158.7	
鴨川	S58.9.7	32.8	241.0	278.7
	H8.8.28	29.4	235.3	248.8
	H9.8.5	29.2	138.2	

また、貯留関数法のパラメータは中小河川計画の手引き（案）（（財）国土技術研究センター）の手法を用いて求めた。河道の粗度係数は、標準的な値である 0.035 を用いた。

河川水位の上昇速度については、ピーク立ち上がり部の 30 分間での最大水位上昇量で評価した。

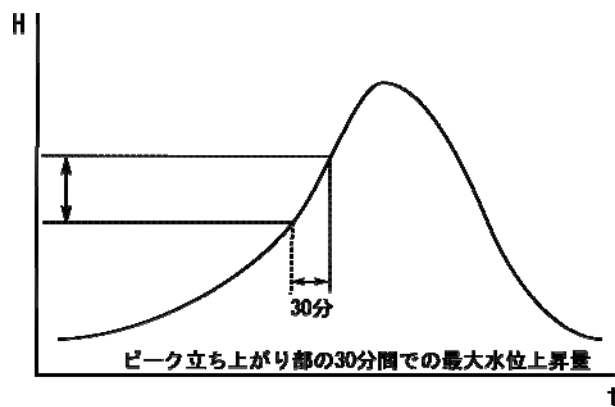


図-I.3.2.1 水位上昇速度の取り方

c) 解析結果

図-I.3.2.2 は河川ごとの時間最大雨量と水位上昇速度の関係を示したグラフである。時間最大雨量が大きくなるほど、水位上昇速度が大きくなる傾向が確認できる。下流ほど水位上昇速度が大きくなっているのは、ここで与えた降雨は、DAD（Depth Area Duration）の関係を考慮せず、流域に一樣に平均雨量を与えていることが原因であると考えられる。

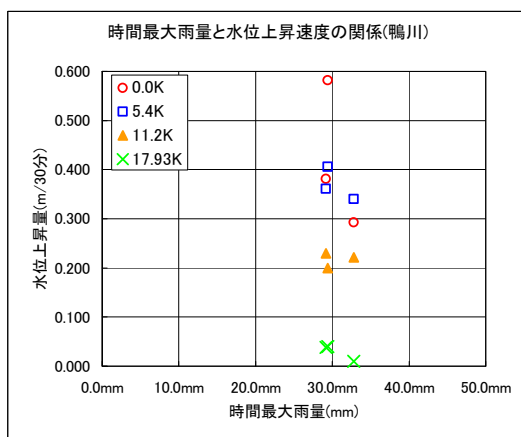
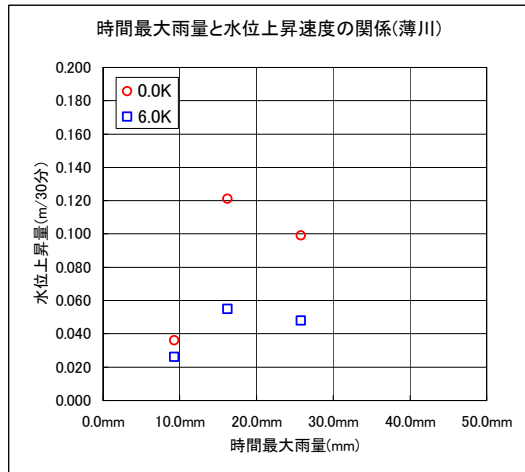
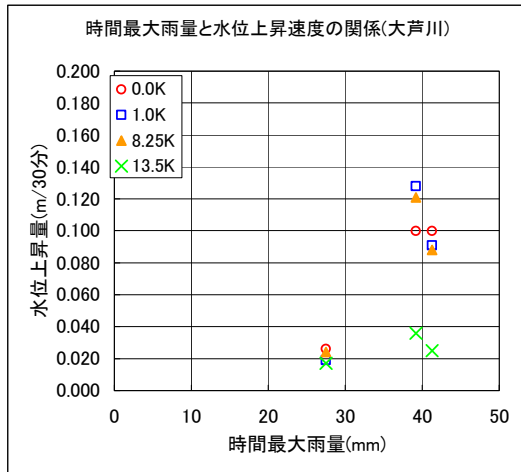


図-I.3.2.2 降雨強度と水位上昇速度の関係

d) 考察

避難基準水位の設定に当たっては、水位の上昇速度とともに、避難に要する時間や避難情報を発出してから避難を開始するまでにかかる時間等が関係する。水位上昇速度は、流域面積の諸元の他に、流域に降る雨の与え方により変わるものであるので、過去の降雨事例を参考にして、適切に設定する必要がある。

II 地球温暖化による河川・海岸への影響と対応策に関する検討

1. 河川における洪水氾濫に着目した検討

1-1 気候変動予測成果を活用した豪雨時の降雨量設定手法

気候変動による諸分野への影響の関心が高まっているが、治水分野への影響は特に懸念される事項の一つである。その影響を評価し、適切な適応策を検討・実施する必要がある。本項では、治水分野の適応策検討の際に、最も基本的な情報である極端降雨量の変化について評価を試みた結果を示すものである。

a) 年最大降雨量の生起確率分布の推定法

河道計画に通常用いられる水文量は年最大降雨量であり、その気候変動に伴う将来変化を求めることが必要となる。年最大降雨量の変化は生起確率分布 F の変化として与えられ、 $F=F(r_{mT}(t_i))$ を求める問題として設定される (r_{mT} : 再現期間 T 年の年最大降雨量, t_i : 時間(たとえば西暦 i 年))。しかし、このように設定された問題の答えを得るには、以下の条件が満足される必要があり、これらを満たすことは、本研究で用いた気候変動予測結果を含めて、實際上相当に困難である。

- (1) 極端降雨の再現精度が十分に高い気候モデルが存在する。
- (2) 確率分布の推定が可能な年数の計算がなされている。

条件(1)について言えば、計算結果には実現象に対し何らかのバイアスが残されたものと考えざるを得ず、現在、近未来、将来それぞれの計算期間も限られている。このことを踏まえ、本研究では気候モデルにおける現在と近未来、将来の関係(比: α)を求め、現在の観測値にこの関係を導入して将来降雨量を予測することとする。

条件(2)は、ある年 $i=a$ での確率分布 $F(r_{mT}(t_a))$ が、一定の気候条件下における確率現象として与えられることから必要になる条件であり、長期計算、あるいは、温室効果ガス濃度を一定とした短期のアンサンブル計算などにより得られることができる。しかしながら、河川計画が対象とする非超過確率の大きい領域での確率分布のばらつきを抑えるためには、非現実的な数の計算ケースとなることが想定され、現実問題として、計算機能力の制約等の原因により、条件(2)を満足させる計算結果を得ることは難しい。そのため、データの特性を把握した上で適当な近似解を求める作業が必要になる。

この近似的な方法については、Linsley et al.³⁾の提案する Station Year Method (以降、SY法)がある。SY法とは、ある地域内の地点の全データを合併し、その地域を代表する1組のデータとして扱うことによって、その地域の平均的な生起確率を推定する方法である。ここで、SY法では取り扱うデータの均質性・独立性の確保が重要となるが、均質性・独立性を評価する手法は確立していない。そこで本研究では、気象庁・気象研究所が開発した全球モデル(20Kmメッシュ、温室効果ガスの排出シナリオA1B)の計算結果を対象に、SY法を土台に図-II.1.1.1に概略を示す方法を提案した⁴⁾。すなわち、計算された現在および将来の連続した n 年のデータ(この場合、年最大降雨量)および確率分布が同様と検定される地域内の m 個の格子点のデータについて、これらを互いに確率分布が同一であり、かつ独立したデータとみなし、 $n \times m$ 個の全データから各地域の現在、将来の確率分布を作成するというものである。

現在、近未来、将来の n 年の連続データには気候変動によるトレンドが含まれており、上記のデータの取り扱いには、 n 年間における気候変動による影響が小さいと仮定したことになる。また、確率分布の同一性の確認は確率分布形が不明な場合の検定手法である順位和検定により、独立性の確認はスピアマン検定により行った。その際、図- II. 1. 1. 2 に示す地域分割を用いた。その結果、同一性については、平均年最大降雨量で基準化した各地域の年最大降雨量の生起確率分布について、各地域とも概ね満足し、かつ現在、近未来、将来の各分布も同一と見なせると判断された。また、地域内データの独立性については必ずしも確保されない結果となった。そのため、年最大降雨量の生起頻度解析結果の持つ信頼性を考える際に、独立性が完全には得られないことを何らかの形で考慮することが必要となる。そこで本研究では、モンテカルロシミュレーションにより年最大降雨量の推定値の信頼区間を算定する際に、サンプル数を各地域の全データ $n \times m$ 個から割り引いて設定することとした。具体的には、地域内格子点の組み合わせ総数に対する相関係数=0 の仮説が棄却されない組み合わせの割合を算定し、これを割引率として $n \times m$ 個に乗じて求めた値としてサンプル数を設定した。

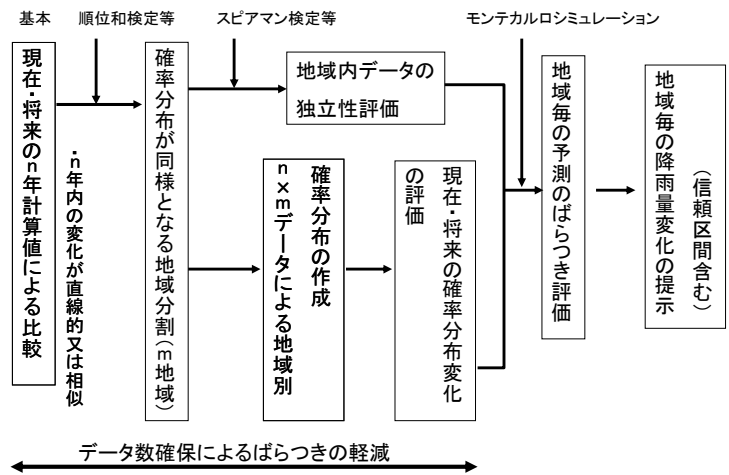


図- II. 1. 1. 1 気候変動モデルを用いた将来の年最大降雨量変化の推定手順

図- II. 1. 1. 2 に示す地域分割を用いた。その結果、同一性については、平均年最大降雨量で基準化した各地域の年最大降雨量の生起確率分布について、各地域とも概ね満足し、かつ現在、近未来、将来の各分布も同一と見なせると判断された。また、地域内データの独立性については必ずしも確保されない結果となった。そのため、年最大降雨量の生起頻度解析結果の持つ信頼性を考える際に、独立性が完全には得られないことを何らかの形で考慮することが必要となる。そこで本研究では、モンテカルロシミュレーションにより年最大降雨量の推定値の信頼区間を算定する際に、サンプル数を各地域の全データ $n \times m$ 個から割り引いて設定することとした。具体的には、地域内格子点の組み合わせ総数に対する相関係数=0 の仮説が棄却されない組み合わせの割合を算定し、これを割引率として $n \times m$ 個に乗じて求めた値としてサンプル数を設定した。

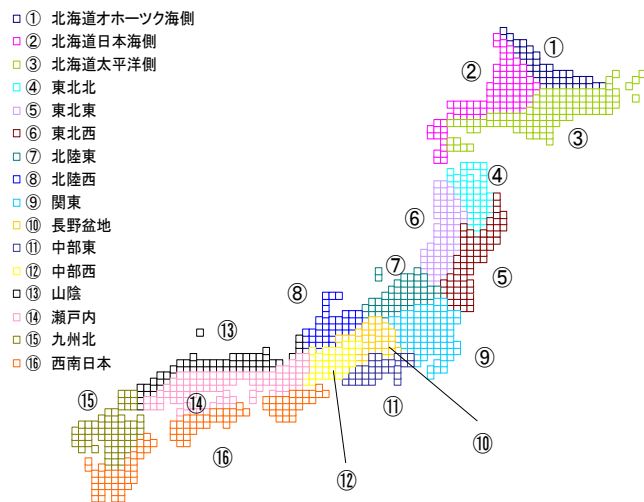


図- II. 1. 1. 2 地域分割 (16分割)

b) 全球・領域モデル実験結果の現在～近未来、将来の豪雨生起の比較

本研究で用いたデータは気象研究所で開発されたモデルによる実験結果であり、その種類を表- II. 1. 1. 1 にまとめて示す。革新前期 GCM20 による実験結果から、1 時間および 24 時間降水量の年最大値について、現在を基準とした近未来及び将来における年最大降雨量の倍率 α (近未来、将来/現在) を評価した結果を図- II. 1. 1. 3 に示す。この倍率を用いているのは、平均年最大降雨量で基準化した各ブロックの年最大降雨量の生起確率分布は、将来、近未来と現在でほぼ同じであるとの結果が出ており、したがって気候変動による降雨量変化を平均年最大降雨量同士の比較で概ね表現できると判断できたからである。なお、図- II. 1. 1. 3 には、モンテカルロシミュレーションにより年最大降雨量の推定値の信頼区間も併せて示している。

近未来の降雨倍率について、24時間の50%ileをみると、東北東、北陸東、九州北、西南日本において降雨量減少がみられ、他の地域は、最大で1割程度の降雨量増加がみられる（図-II.1.1.3 左下）。同様に1時間の50%ileをみると、東北東を除くすべての地域で降雨量増加がみられる。また、24時間と比較して降雨倍率がやや大きい傾向がある（図-II.1.1.3 左上）。

将来の降雨倍率について、24時間の50%ileをみると、北陸東を除いたすべての地域で降雨量増加が見られる。特に、北海道オホーツク海側、北海道日本海側、東北北、九州北では、50%ileで15%強、97.5%ileで20%強といったように大きく降雨量が増加する傾向が認められた（図-II.1.1.3 右下）。同様に、1時間の50%ileをみると、すべての地域で降雨量の増加が見られ、2.5%ile、50%ile、97.5%ileのすべてにおいて、24時間よりも大きい降雨倍率を示す結果となっており、全体的に対象時間が短くなるに従って降雨倍率が大きくなる傾向がある（図-II.1.1.3 右上）。

図-II.1.1.4 に示す領域

表-II.1.1.1 使用データと分析方法

数値実験	計算範囲	解像度	計算期間
全球モデル/ 前期実験 [革新前期 GCM20]	全球	20km	現在(1979-2003)/通年
			近未来(2015~2039)/通年
			将来(2075-2099年)/通年
領域モデル/ 前期実験 [革新前期 RCM5]	日本付近	5km	現在(1990-1999)/各年6~10月
			近未来(2026~2035)/各年6~10月
			将来(2086~2095年)/各年6~10月

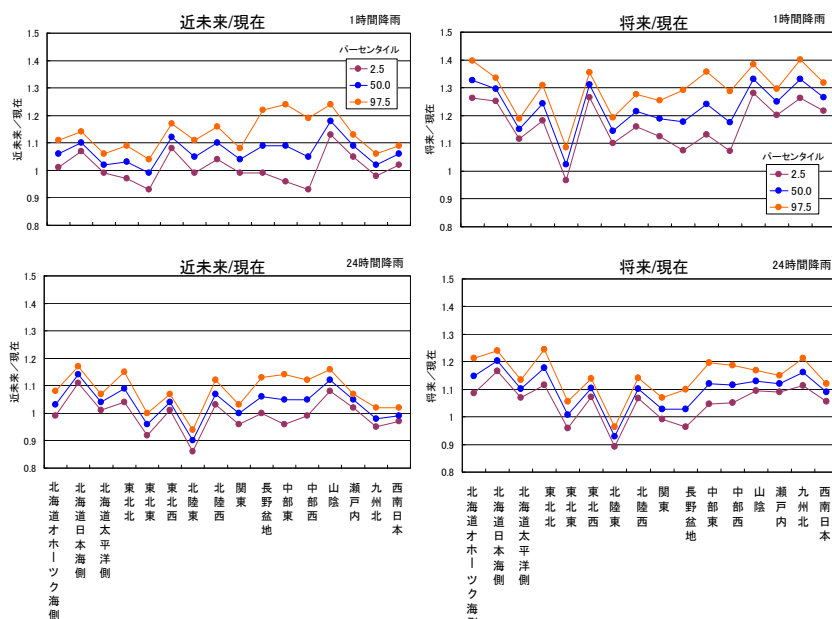


図-II.1.1.3 各地域における平均年最大降雨量の変化比 (革新前期 GCM20)

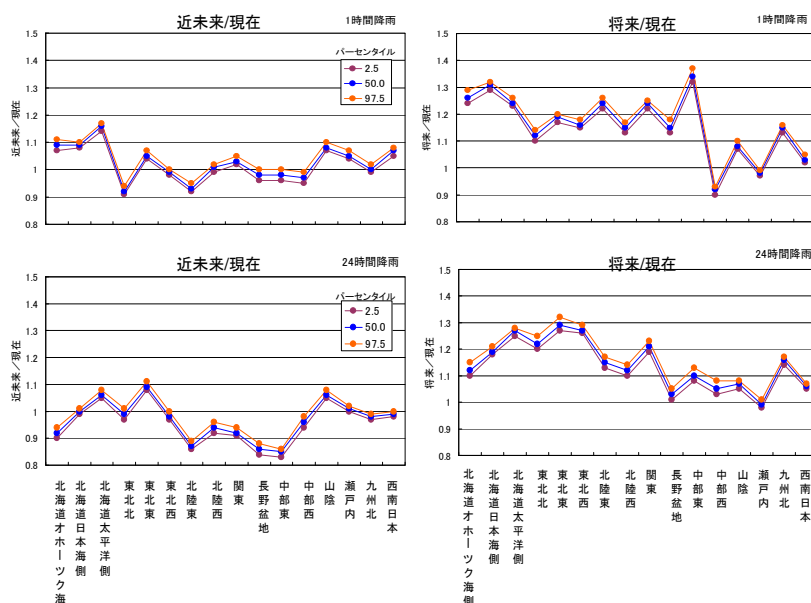


図-II.1.1.4 各地域における平均年最大降雨量の変化比 (革新前期 RCM5)

5km モデルの結果を全球 20km モデルと比較すると、信頼幅区間が狭くなっている。これは、メッシュサイズが小さくなったことで、各地域に属する格子点数 m が増加した影響と考えられる。また、降雨倍率の 50%ile 値に着目すると、大きく変化している地域が認められる。例えば、24 時間の降雨倍率について、近未来の 50%ile をみると、革新前期 GCM20 によると 1~1.5 程度であった北陸西、関東、長野盆地、中部東では、革新前期 RCM5 では 0.9 程度と減少傾向に転じている。同様に将来の 50%ile をみると、北陸東のように上記とは逆に増加傾向に転じている。

c) 考察

図-II.1.1.1 に示す方法を気候変動予測結果に適用することで、河道計画に用いられる年最大降雨量の気候変動に伴う将来変化を降雨倍率 α として推定できることを示した。a) に詳述したようにデータ制約等を考慮して提案した近似的手法であるものの、河道計画に用いられる年最大降雨量に α を乗じることで将来の降雨量を概算することによって、一般的な河道計画の検討時と同様に洪水の流量や水位等に基づいて適応策の検討が行えることの意義は大きいと考える。今後は、気候モデルの豪雨の再現性、分析方法（地域内の降雨の均一性、独立性が完全に得られていないこと）、現在と近未来、将来の生起確率が同形として扱っていることを再度検討し、統計的な信頼性を向上させる必要がある。これらの課題解決に取り組むとともに、気候モデルや分析手法により傾向や数値が異なることを踏まえて降水量変化の不確実性を評価し、将来想定すべき降雨変化を提示していくことが重要となる。

1-2 堤防に作用する水理外力の評価手法の高度化検討

気候変動下における将来降水量は 1-1 に示したように信頼区間（すなわち予測の不確実性）を伴って推定されることから、その幅の影響を加味して治水に及ぼす影響を評価できる手法を用意する必要がある。そこで、治水の根幹的構造物である堤防に着目し、堤防に作用する水理外力について信頼性解析の考え方を取り入れて評価する手法について検討を行った。本項では、堤防に作用する水理外力として年最高水位を用いることとし、計画高水位を超過する確率の算定手法と、そのモデル水系への適用による試算結果について示す。併せて、治水経済調査マニュアル（案）⁵⁾ に準じて現況と将来気候下における氾濫被害総額を算定した結果を示す。

a) 降水量など不確実性を考慮した計画高水位の超過確率の試算

確率年から降水量→最大流量→最高水位と一連で水理水文量を算定する従来の河川計画で用いられてきた手法に信頼性解析の手法を導入することで（図-II.1.2.1）、各確率年における計画高水位を超過する水位発生確率（以下、HWL 超過確率と呼ぶ）を算定した。なお、計画高水位以上の水位に達した場合に必ず破堤すると仮定した場合、HWL 超過確率は氾濫発生確率と見なせる。

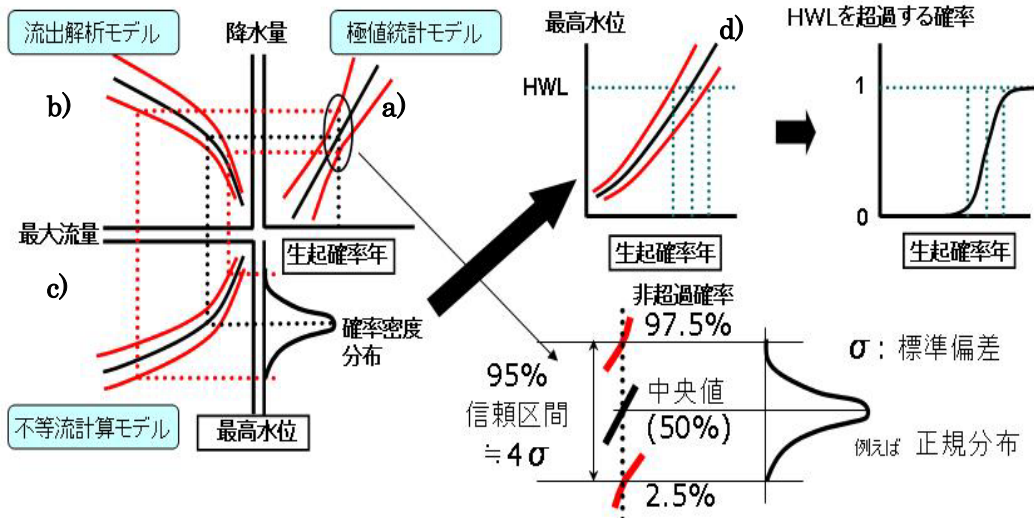


図-Ⅱ.1.2.1 信頼性解析を応用した水位発生確率の評価法のイメージ

確率年と降雨量の関係については、極値理論に基づいて確率分布を推定するとともに（図-Ⅱ.1.2.1a）の黒線）、さらにその推定に使用した観測データ数等を考慮して信頼区間を算定した（図-Ⅱ.1.2.1a）の赤線）。これら結果を利用して、本項ではある確率年に対応した降水量は各パーセンタイル値で確率的に分布する不確実性を有すると仮定した（図-Ⅱ.1.2.1 右下）。同様に最大流量と降雨量の関係については、既往実績から降雨の時空間分布を 12 パターン選定して、ある同一降雨量に引き延ばして流出計算を行うことで得た 12 個の最大流量の平均値（図-Ⅱ.1.2.1b の黒線）と、そのまわりのばらつきを統計処理することで得られる流量の確率分布（図-Ⅱ.1.2.1b の赤線）を設定した。各流量時における最高水位は準 2 次元不等流計算により算定した。その際、既往出水の逆算粗度係数のバラツキ等を考慮して粗度係数に確率的な幅を与えて水位が確率的に変化するようにした（図-Ⅱ.1.2.1c）。以上のように各関係に不確実性を与えることで、同一の確率年に対して水位が一つに決まらず、水位がある範囲である確率的に変化する様子も算定できるようにした（図-Ⅱ.1.2.1d）。なお、越水や破堤による氾濫による河川流量の低減については、本計算では考慮していない。

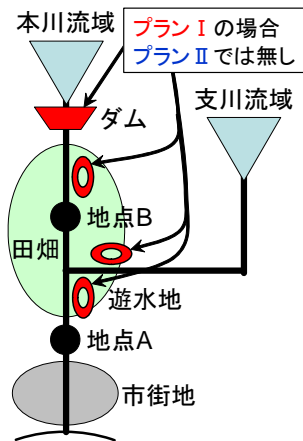


図-Ⅱ.1.2.2 モデル

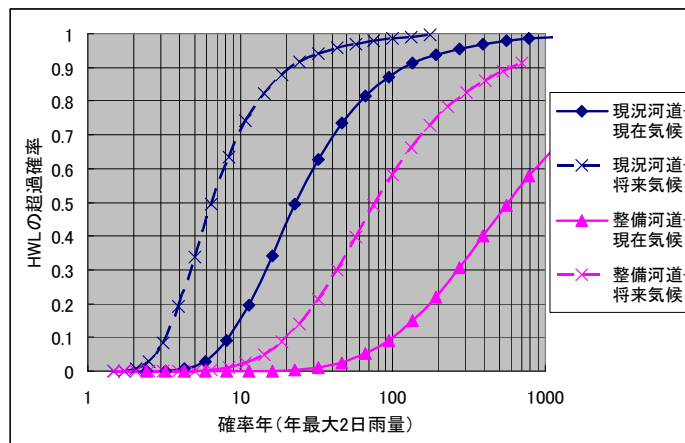


図-Ⅱ.1.2.3 確率年と HWL 超過確率の関係

図-Ⅱ.1.2.2 に模式的に示す対象水系に対して、整備途上の河道（以下、現況河道（図中のプランⅡ）と呼ぶ）と河川整備基本方針の目標規模（1/100）に対応した河道（河道改修+遊水地+ダムで構成される：以下、整備河道（図中のプランⅠ）と呼ぶ）の2種類を想定し、上記の手法を適用して確率年とHWL超過確率の関係を試算した結果を図-Ⅱ.1.2.3に示す。現在気候下の試算に加えて、1-1に示した革新前期RCM5の将来の降雨量倍率 α （=1.27）を用いて概算した将来気候下も併せて実施した。現況・整備河道とも将来気候下では、降水量増大のためHWL超過確率が著しく増加しており、氾濫発生に及ぶリスクが有意に高まることが示唆された。

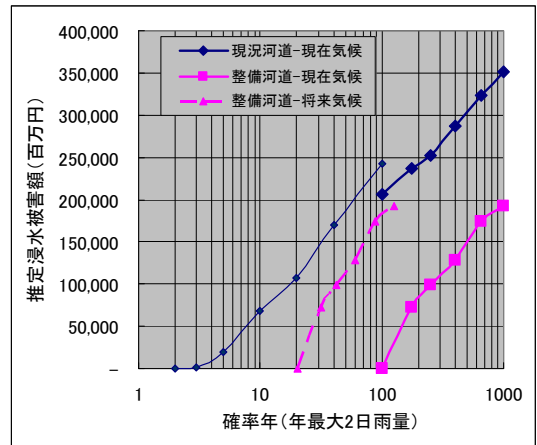


図-Ⅱ.1.2.4 確率年と推定浸水被害総額の関係

b) 河川整備および降水量増加に伴う浸水被害額変化の試算

a) と同一の現況河道と整備河道を対象として、治水経済調査マニュアル（案）⁵⁾に準じて、流下能力を超過する降雨時（確率規模は最大で1/1,000）における浸水総被害額を推算した。さらに、降雨量倍率 $\alpha=1.27$ を用いて、将来気候下における整備河道の被害額も併せて試算した（その際、土地利用状況は現況と同一とした）。それらの結果を図-Ⅱ.1.2.4に示す。現在気候下では整備を行うことで被害額が大幅に低減されるが、将来気候下ではその効果が減じ、確率規模100年程度の降水量で現況に相当する被害額に達する結果となった。

c) 考察

信頼性解析の考え方を取り入れた水位発生確率の評価手法をモデル水系に適用した試算結果は、将来気候下ではHWL超過確率、想定浸水被害額がともに増大し、河川整備基本方針に対応した整備河道であっても、その効果が気候変動によって少なからず目減りすることを示唆するものであった。今後、その対策の検討を行うにあたっては個別水系毎に氾濫リスク評価を行うことが重要であり、そのため本項で用いた評価手法を基盤として氾濫発生確率と被害規模の関係が得られるように拡張することが望まれる。

1-3 気候変動が氾濫危険性と河川整備に与える影響のマクロ評価

a) 大河川を対象とした影響評価

気候変動により将来の年最大降雨量が増加していく状況下において当初と同一の目標水準の治水安全度（年最大降雨量の確率年）を維持するためには、当初予定していた整備規模を拡充し、気候変動の影響による雨量増加分を埋め合わせる必要がある。本節は、その拡充の規模が図-Ⅱ.1.1.4に検討結果の一例を示した年最大降雨量の倍率 α

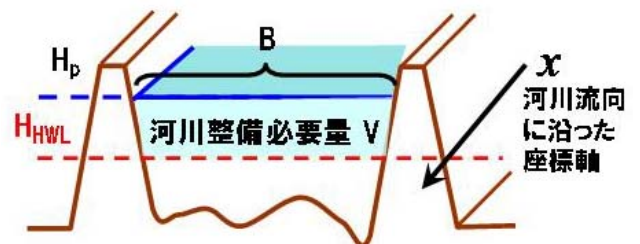


図-Ⅱ.1.3.1 河川整備必要量の定義

に応じてどのように増大するかについて、一級水系の国管理本川区間（大河川）を対象として、新たに設けた共通指標「河川整備必要量比」を用いて試算した結果を示すものである。

① 整備規模の大きさを表す指標「河川整備必要量比」の設定

河川整備基本方針に示されている目標水準に相当する洪水を現況の整備途上の河道に流下させると、図-II.1.3.1に示すように最高水位 H_p が計画高水位 H_{HWL} を上回る区間が生じる。本研究では、その区間が長大でありかつその区間の川幅が広いほど、さらに計画高水位を上回った水深が大きいほど、今後必要な整備規模が増大すると単純化して取り扱うこととした。そこで整備規模の大きさを表す指標として図-II.1.3.1の青色部分の水量 V を用いることとし、以降 V を河川整備必要量と呼び、式(II.1.3.1)により算定する。

$$V = \int_0^L B \cdot f(H_p - H_{HWL}) dx \quad (\text{II.1.3.1})$$

ここで、 B は水位 $H_p \sim H_{HWL}$ 間の平均川幅、 $f(z)$ は $z > 0$ の場合 $f(z) = z$ 、 $z \leq 0$ の場合 $f(z) = 0$ となる関数である。 H_p 、 H_{HWL} 、 B はいずれも河口からの距離 x の関数であり、国管理本川区間の総延長 L に渡って定義される。

現在気候下および将来気候下における河川整備必要量 V_P 、 V_F は、当初の整備規模とそれに気候変動の影響を吸収する拡充分を加えた整備規模に対応すると考え、これらの比 V_F/V_P を「河川整備必要量比」と設定した。

河川整備必要量比は、「気候変動適応を全て河川水系沿いのハード整備によって行う」ことを意図したものではなく、治水施策に及ぼす気候変動影響を包括的に表現でき、適応策検討の土台になりうることに着目して採用するものである。

② α と V_F/V_P の関係に関する基礎的検討

V の α に対する応答に関する基礎的な特徴を把握することを目的として、一様な断面および勾配を有する本川のみ河道とその上流端に接続する単一の集水域により構成されるごく単純な流域を想定し、本質的な意味合いが失われない程度に流出解析および水位算定手法を簡略化した上で、 V と α の関係を算定する。

長さ L 、川幅 B 、河床勾配 i の一様な幅広矩形断面を有する河道を想定する。ピーク流量 Q の流下時における最大水深 h が、式(II.1.3.2)に示す等流水深として算定できると単純化する。

$$h = \left(\frac{nQ}{i^{0.5} B} \right)^{3/5} \quad (\text{II.1.3.2})$$

ここで、 n はマンニングの粗度係数であり、以下では定数とする。水深 h が計画高水位に対応する水深 h_{HWL} を上回った場合、式(II.1.3.1)に従って河川整備必要量 V は $(h - h_{HWL})BL$ として算定できる。降雨強度 r と Q の関係式として、ここでは式(II.1.3.3)に示す合理式を適用する。

$$Q = f_p r A \quad (\text{II.1.3.3})$$

ここで、 f_p はピーク流出係数、 A は流域面積であり、以下ではいずれとも定数とする。 r は洪水到達

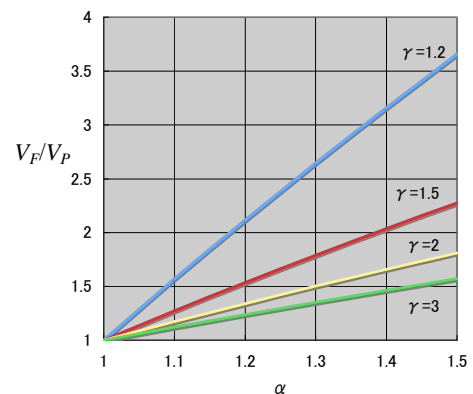


図-II.1.3.2 簡略化手法による V_F/V_P の算定結果

時間 t 内の平均降雨強度であり、ここでは t 時間年最大降雨量 R の t による商として求める。 t は A に伴って単調に増加する関数 $t(A)$ と仮定する。現在気候下での目標水準に相当する降雨強度を r_p 、同じく気候変動の影響を受けた将来の降雨強度を r_F とすると、式(Ⅱ.1.3.2)、(Ⅱ.1.3.3)より将来と当初の河川整備必要量の比 V_F/V_P を式(Ⅱ.1.3.4)に示すように導くことができる。

$$\frac{V_F}{V_P} = \frac{\Delta h_F BL}{\Delta h_P BL} = \frac{h_F - h_{HWL}}{h_P - h_{HWL}} = \frac{Q_F^{0.6} - Q_{HWL}^{0.6}}{Q_P^{0.6} - Q_{HWL}^{0.6}} = \frac{r_F^{0.6} - r_{HWL}^{0.6}}{r_P^{0.6} - r_{HWL}^{0.6}} = \frac{(\alpha\gamma)^{0.6} - 1}{\gamma^{0.6} - 1} \quad (Ⅱ.1.3.4)$$

ここで、 $\alpha(=r_F/r_p)$ は 1-1 における検討結果から継続時間 t と地域区分 C に応じて変化する関数 $\alpha(t, C)$ となる。 Q_{HWL} 、 r_{HWL} は、式(Ⅱ.1.3.2)、(Ⅱ.1.3.3)より算定される $h = h_{HWL}$ となる流量および降雨強度である。また、 $\gamma(=r_p/r_{HWL})$ は当初の整備計画の目標水準が現状の流下能力の水準に対してどの程度大きなものであるかを雨量強度の比として表わす変数である。

式(Ⅱ.1.3.4)の算定結果の一例を図-Ⅱ.1.3.2に示す。 γ が小さい、すなわち当初整備では流下能力をさほど大きくしない場合であり、かつ気候変動の影響で α が大きく増加する河川ほど、 V_F/V_P が大きな値となる傾向が認められる。また、 V_F/V_P は α の線形関数として近似できると判断される。

同一の地域区分内に位置する流域であっても、短時間の年最大降雨量に対する α のほうが大きくなる傾向が図-Ⅱ.1.1.4 に示した検討結果に認められる。したがって、ピーク流量がより短時間の降雨によって決定される小流域の方がより大きな α となり、それに伴い V_F/V_P も増大すると考えられる。

③級水系国管理区間(大川)での α と V_F/V_P の関係の試算

北陸地方と瀬戸内に位置する A、B 水系を対象として、治水計画の実務に用いられている流出解析および水位計算モデルを適用して、 V_F/V_P と α の関係を算定した。A、B 水系の河川整備基本方針において設定された目標水準を検討対象として、その整備目標に対する V_P を算定するとともに、A、B 水系が位置する地域区分の α の上限、中央、下

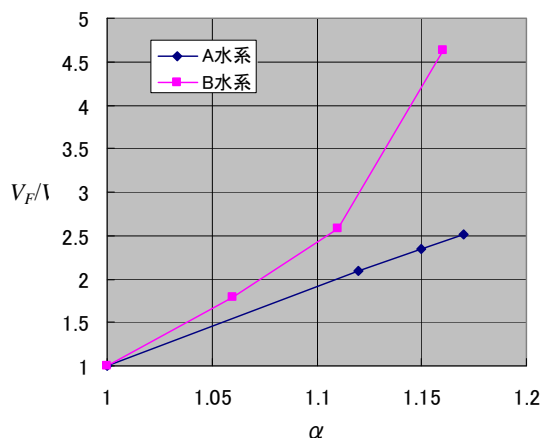


図-Ⅱ.1.3.3 一級水系の V_F/V_P の算定

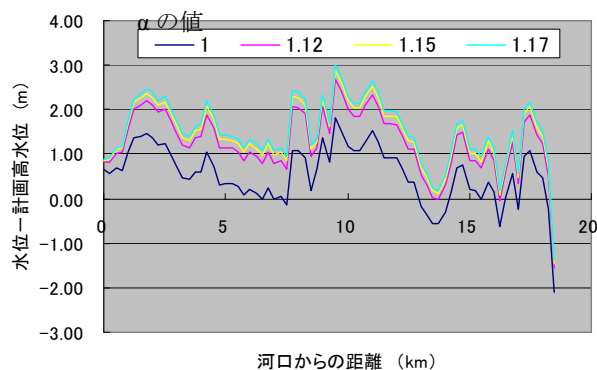


図-Ⅱ.1.3.4 A水系の水位計算結果

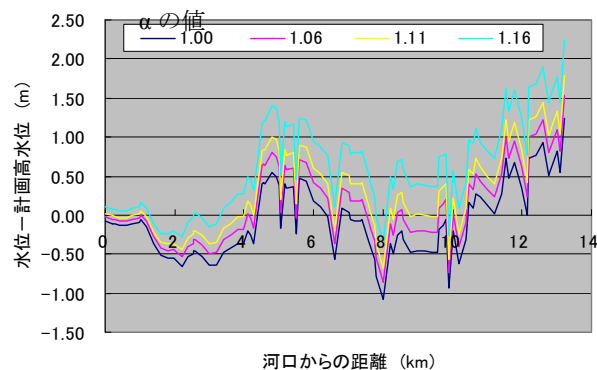


図-Ⅱ.1.3.5 B水系の水位計算結果

限値をそれぞれ用いて V_F を算定した。それら結果を用いて V_F/V_P を計算した結果を図-Ⅱ.1.3.3 に示す。A 水系では、図-Ⅱ.1.3.2 と同様に V_F/V_P は α と線形関係が認められた。それに対して B 水系では、 α の中央値までは線形関係が概ね認められるが、上限値において線形関係から外挿される値より大きな V_F/V_P となる結果を得た。

この原因については、水位が計画高水位を超過する区間の総延長（以下、超過区間長と呼ぶ）に着目することで説明できると思われる。図-Ⅱ.1.3.2 の簡易計算では超過区間長は常に L の一定値となるが、A 水系については図-Ⅱ.1.3.4 に示すように超過区間長の変化はごく小さく一定値として近似できる。それに対して、B 水系では α の信頼区間が広い (1.06~1.16) こと、およびその影響もあって図-Ⅱ.1.3.5 に示すように超過区間長が α に伴って増加する。

実際の河川では B を堤間距離と等しい水位によらない一定値として近似可能なことを考慮すると、超過区間長が一定の場合、 α に伴って V が増加するのは主に $H_p - H_{HWL}$ の影響によると考えられる (式(Ⅱ.1.3.4))。この場合には V と α の関係が線形近似できるならば、 $H_p - H_{HWL}$ に加えて超過区間長も α に伴って増加する場合には、その相乗効果によって線形関係から外れて V がより大きく増加する関係になると推察される。

④ 国の一級水系国管理区間(大川)を対象とした V_F/V_P の算定結果

③と同様に α の中央値を与えて流量倍率（流出計算により得た将来と現在の最大流量の比）および V_F/V_P を計算した結果を図-Ⅱ.1.3.6、Ⅱ.1.3.7 に示す。流量倍率は、大局的には α の地域分布に対応して北部から南部に向けて小さくなる傾向が認められる。これと同様の傾向が V_F/V_P にも認められるが、同程度の α を与えた水系間において V_F/V_P の差が大きくなっているため明瞭ではない。この原因は、 V_F は雨量倍率に応じて単調に増加するものの、 V_P では $H_p - H_{HWL}$ の大きさが整備の進捗状況（目標水準に対する整備達成の度合い）に応じて水系ごとに異なるためである。

⑤ α の変化に対する V_F/V_P の応答

α の下限値および上限値に対して V_F/V_P を算定した結果を図-Ⅱ.1.3.8 に示す。 α の上限と下限の

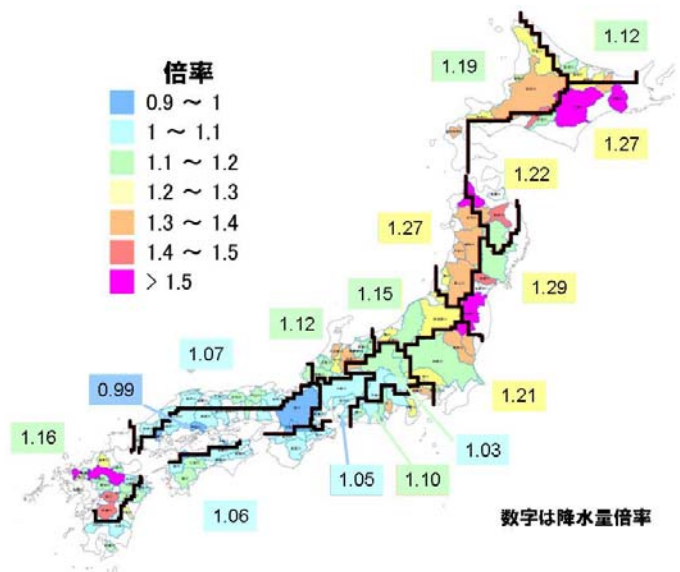


図-Ⅱ.1.3.6 流量倍率の全国分布

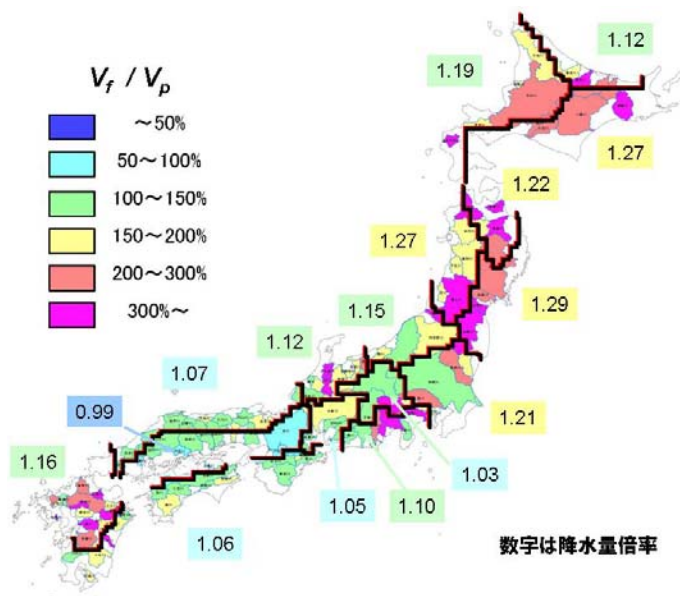


図-Ⅱ.1.3.7 河川整備必要量比の全国分布

差（すなわち 95%信頼区間の幅）は最大で 0.05 であるが（図-Ⅱ.1.1.4）、その程度の差違であっても V_f/V_p のランクが変わった水系が少なからず見られる。このことから、 α の変化に対して V_f/V_p が大きく応答する傾向が窺えた。それについてより詳細に調べるために、雨量倍率、流量倍率、 V_f/V_p の全水系単純平均値を算定した結果を表-Ⅱ.1.3.1 に示す。中央値の結果に着目すると、1 割程度の雨量増（ $\alpha=1.12$ ）に対してその影響を吸収するための河川整備必要量の増分は 8 割程度（ $V_f/V_p=1.82$ ）となっている。また同表に併記した中央値に対する 95%信頼区間の幅の比として定義した変化率から、雨量予測の 3.2% の推定幅が河川整備必要量では 11% と 3 倍強に増幅されることが分かった。

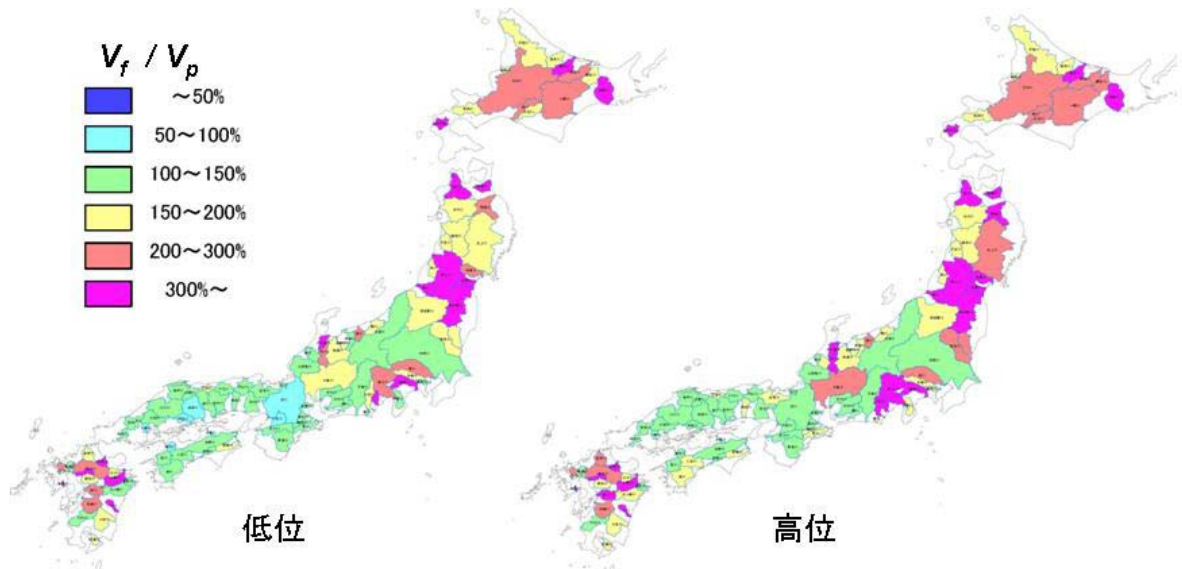


図-Ⅱ.1.3.8 河川整備必要量比の全国分布

表-Ⅱ.1.3.1 各指標の全国平均値の比較

	α	流量倍率	V_f/V_p
低位	1.10	1.14	1.74
中位	1.12	1.17	1.82
高位	1.13	1.20	1.94
変化率	3.2%	5.5%	11.1%

変化率：(高位-低位)/(中位)×100(%)

b) 中小河川を対象とした影響評価

一級水系において都道府県が管理する河川延長のうち治水対策を必要としない区間等を除く区間（以下、中小河川と呼ぶ）を対象として、航空レーザ測量による三次元地形データから河道形状を設定し、国土技術政策総合研究所が開発した中小河川

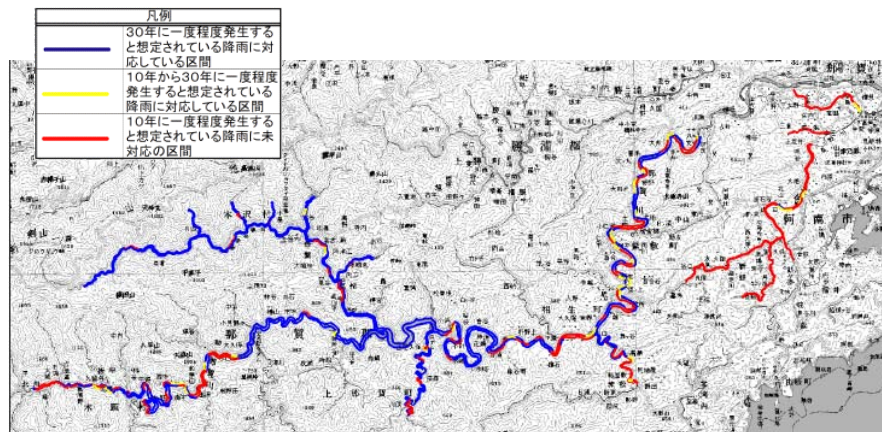


図-Ⅱ.1.3.9 治水安全度の評価結果の一例

治水安全度評価システムによって、全国同一の尺度による治水安全度評価が行われている⁶⁾。その結果は、図-Ⅱ.1.3.9 に一例を示すように治水安全度をランク区分し、それぞれに該当する河道区間を地図上に色分けして示した形で公表されている。以下では、気候変動が中小河川の治水安全度の低減に及ぼす影響を調べるため、同システムを用いて気候変動の影響によって降水量が増大した場合について治水安全度の評価を行い、現況の評価結果と比較してランク別区間長の変化について算定した結果を示す。

① 治水安全度の評価方法

中小河川治水安全度評価システムは以下の手順によって治水安全度（年最大降雨強度の生起確率年）が評価されている⁶⁾。まず、航空レーザ測量を基に河川の横断形状を得て、必要に応じ堤防高や河床高を修正する。次に、アメダス観測所の降雨強度から各生起確率年に対応する雨量を求め、合理式により流量を算定する。一次元不等流計算によって水位を計算し、堤防高から余裕高を引いた高さと比較することによって安全度を評価している。

② 気候変動によるランク別区間長の変化

全国各地から選定した 9 水系を対象として、現在および将来気候における降水量を与えて治水安全度の評価を行った。将来気候の降水量算定には図-Ⅱ.1.1.4 に示した α 値を用いている。各ランクの延長構成比率の算定結果を図-Ⅱ.1.3.10 に示す。この図より、100 年以上の高い治水安全度の区間長が減少し、10 年以下の区間が増加する傾向が見られる。

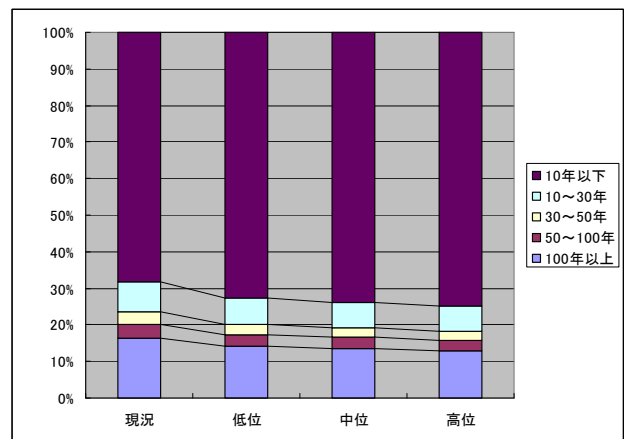


図-Ⅱ.1.3.10 治水安全度の評価結果の一例

c) 考察

大河川の試算結果では、 α に比較して整備規模が大きく変化することから、将来の気候変動の影響を見越した整備実施判断において、 α の信頼性が大きな位置を占めることになる。河川管理者の立場からは、予測の信頼性を向上させ、 α の推定幅を極力小さくすることが重要と言うことになる。また、中小河川の試算結果からは、気候変動の影響によって治水安全度の低い区間が有意に増大する傾向が見られた。以上に示した方法によって河道計画への影響を分析できる見込みが得られた。

今後は、気候変動の影響を見越した河川整備の長期的方針に関する議論を本格化させるための準備として、その議論の基盤情報である整備規模の将来像に無視し得ない幅があることを前提として、それへの対処案を複数挙げてその中から施策判断に繋げられるものを選定する考え方を具体化することが重要である。そうした検討を進めるにあたって、 V_F/V_P の推定幅および地域的変動の観点については、本報告の成果から定量的な検討材料を提供できる見込みを得ることができた。

1-4 水害時の情報提供のあり方の提言

a) 目的

水災害による人的被害を無くするためには、洪水等の発生時もしくは発生直前における住民の適切な避難行動選択が必要であり、そのためには適切な情報提供が重要となる。ここでは、既往の洪水ハザードマップ（図-Ⅱ.1.4.1）について、避難行動の指針としての観点から評価するとともに、改善すべき点を提示する。

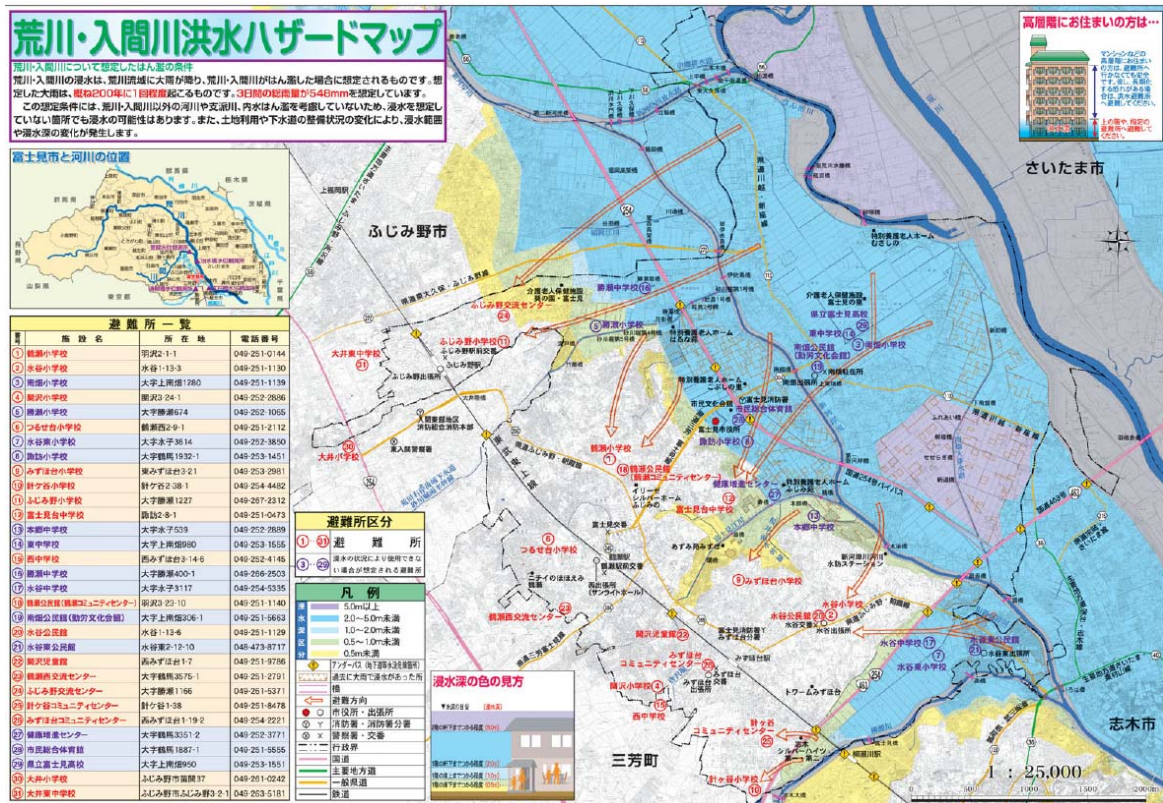


図-Ⅱ.1.4.1 既往ハザードマップの事例
(埼玉県富士見市荒川)

b) 既往の洪水ハザードマップの評価

既存ハザードマップについて「洪水ハザードマップ作成要領（平成14年9月）」にて紹介されている標準的な記載項目を参考に評価項目を整理し（表-Ⅱ.1.4.1）、評価を行った。

表－Ⅱ.1.4.1 評価項目

【基図へ記載する情報について】	
☆浸水想定区域と被害の形態に関する記載	
①	浸水深
②	はん濫水の流速と方向
③	洪水到達時間
④	一般的な家屋の流出及び全壊エリア
⑤	浸水継続時間
☆洪水以外の自然災害との連携	
⑥	土砂災害
⑦、⑧	地震、津波、高潮等
【避難及び防災情報等について】	
☆避難に関する情報の記載	
①	避難所（1次2次を含めて）
②	避難所に関する情報（収容人数・災害の種類による利用の有無）
③	避難ルート（大まかな方向や危険ルートの表示も含む）
④	避難行動（浸水深、建物の種類、浸水の前後など条件による避難行動）
⑤	避難の心得（持参品や避難所での生活についても含む）
☆役立つ防災情報に関する記載	
⑥	避難勧告等の情報伝達方法
⑦	防災に関する知識（危険水位及び洪水予報等）
⑧	防災情報の在りか
⑨	浸水実績エリア及び浸水被害写真等（過去の被害がない場合は、浸水想定イメージ）
☆災害時要援護者に関する情報	
⑩	災害時要援護者に関する情報
【マップの見やすさ使いやすさ等の工夫】	
①	基図の見やすさ（縮尺、表示及び航空写真）
②	マップの大きさ（大判・冊子）、紙質、折り方等
【活用してもらうための工夫】	
①	カレンダー、ゴミ収集などの行政情報との抱き合わせ等
②	作成段階での工夫

評価結果から全ての項目を満たす既存ハザードマップは無かった。なお、各ハザードマップ同じような課題を抱えていることがわかったと同時に、個別の検討結果や取り組みを反映したハザードマップがあることも判った。以下に、今回の評価概要をまとめた。

【評価概要】

- ①安全な区域の避難所への水平避難が基本となっており、事前避難ができなかった場合や悪天候・深夜・浸水等による避難中のリスクが考慮されていない。氾濫状況に応じた避難方法について、2階への垂直避難と水平避難を組み合わせて示したものも見られる。
- ②氾濫区域や浸水深が包絡的な表示になっている他、氾濫流の流速・流向や到達時間の表示がないため、洪水氾濫発生時の状況を把握しにくい。
- ③各市町村等における一律のマップとなっており、個々人を取り巻く条件・状況に関しての解像度が低い。このため各家庭にそれぞれの避難経路を設定させるものも見られる。
- ④数十年に1回程度の事象に対する備えであり、日常の意識・関心を継続するのが困難となっている。ハザードマップを捨ててしまう家庭も多いため、商店等の広告を掲載し、日常の利用を考慮したものも見られる。

c) 洪水ハザードマップの改善点の提案

洪水ハザードマップの課題として、地図内容の判りづらさから避難の必要な地域が判断できない、洪水時のみの情報のため使用頻度が低い、詳細な避難経路が不明確等、避難情報の事前提供媒体としてさまざまな課題が既存ハザードマップの評価から確認できた。

ここでは、東京大学への委託研究「水害時の状況に応じた避難及び避難情報提供に関する調査研究」等を参考に、水害時における避難行動のあり方という観点から改善点の方針を提示する。

①水害時の詳細な状況想定

氾濫状況等は刻一刻と変化するものであり、その状況変化に応じて適切な行動選択をしなければならない（図-II.1.4.2）。また、その場合は凌げたとしても長期湛水により長期間の孤立化・耐乏生活を強いられる恐れがあり、結果要介護者等によっては命に係わる事態も予想される。このため、浸水区域の包絡的情報のみならず、越水・決壊地点毎の氾濫挙動や避難経路上の内水浸水・水路等の状況、耐水時間等も情報提供することが望ましい。

②個別条件でのカスタマイズ

行政が個別世帯毎にハザードマップを作成するのは困難であり、各世帯が作成過程に参加し、提供された情報から個々の状況に応じて避難のタイミングや避難場所、方法等について定めることが望ましい。これにより、水害や水害時の避難について一層の理解が進むと考えられる。

③ 常的な利便性の付与

水害という数年から数十年に一度という頻度で発生する事象について日頃から関心を持ち続けるのは容易ではない。このためハザードマップにタウン情報等を付加し、日常の利便性にも寄与することが望ましい。これにより、廃棄される割合も減少すると考えられる。

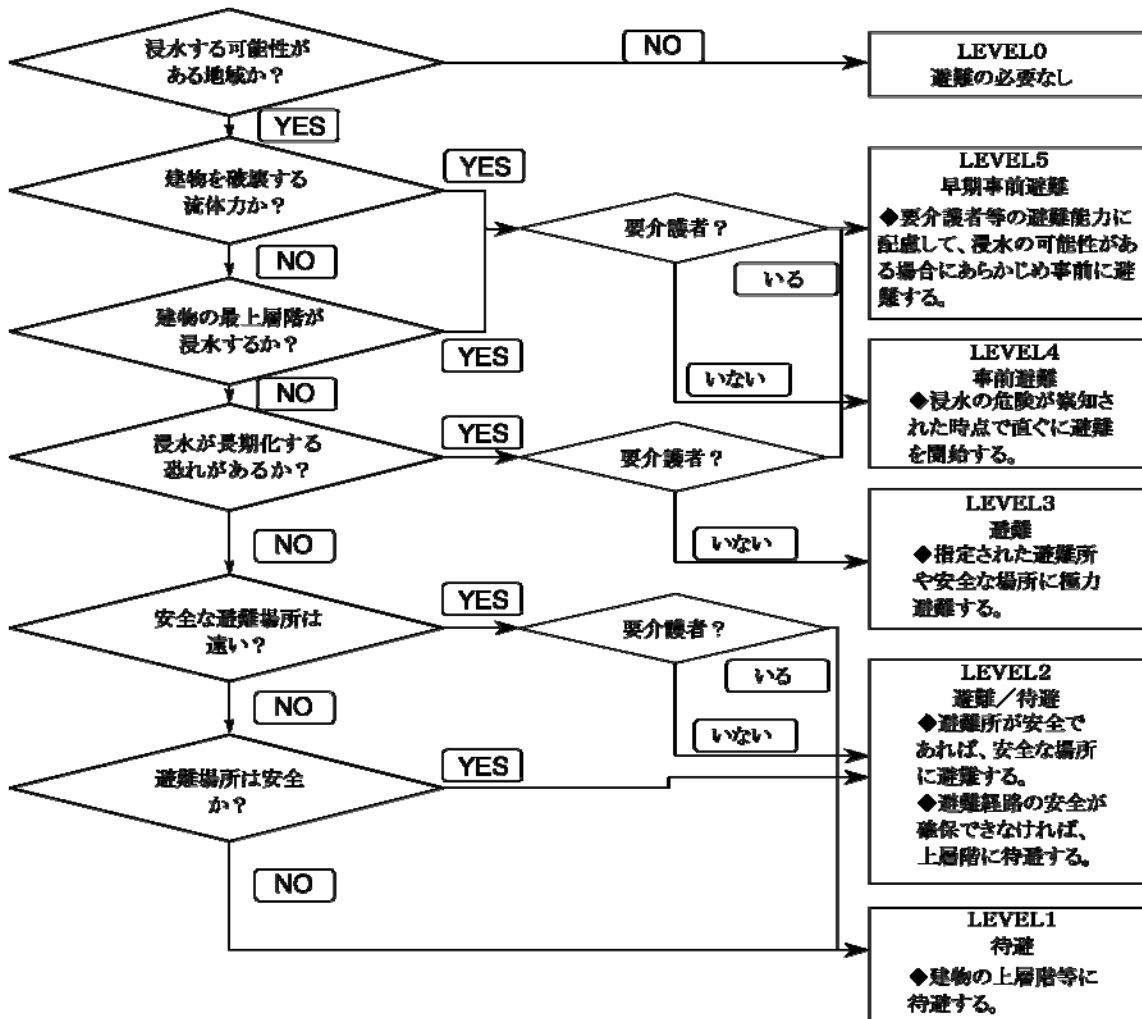


図-II.1.4.2 水害時の詳細な状況想定として避難のレベルに関するフローチャートの事例
 東京大学「水害時の状況に応じた避難及び避難情報提供に関する調査研究」より

2. 海岸防護への影響に着目した検討

2-1 海面上昇の実態分析と潮位設定についての検討

a) 日本沿岸の海面上昇量の実態分析

「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（平成20年6月、社会資本整備審議会答申）」において、海岸域では予想される高潮の増大に対し、施設更新時等に合わせ海岸堤防を段階的に嵩上げすることが適応策の1つとして提案されている（2-4にて詳述）。このためには海水面の上昇量を見積もる必要がある。

全国14の験潮場について、地盤変動の影響を取り除き潮位変動量を算出してみた。朔望平均満潮位の変動量について示したものが図-II. 2. 1. 1である。潮位変動量を1980年以降で算出したものも合わせて示した。その結果、地球温暖化の影響が現れていると言われる1970年代後半以降である1980年以降の潮位変動量は3mm/年前後となっていた。

我が国沿岸の潮位変化について、観測箇所数が多く確保できる1988年以降の験潮場の年平均潮位の変化速度、衛星高度計(1993年-2003年)の各験潮場近傍の格子点で算出した海面上昇速度を比較したものが図-II. 2. 1. 2である。図にはIPCC第4次評価報告書で示された衛星高度計観測値(1993年-2003年)の全球平均の海面上昇量3.1mm/年も入れてある。験潮場の変化速度と近傍の衛星海面高度計の海面上昇速度は一致しない場所もあるが、全体的に両者とも全球平均値3.1mm/年の前後に分布する。半島や離島では3.1mm/年から大きく離れる場所が多いが、これらの地点では海流流路の変動による水位変化を含んでいることが要因と考えられる。海面上昇を、験潮場や沿岸ごとに算出する方法も考えられるが、前述したとおり験潮場の潮位変化速度と近傍の衛星海面高度計で値が異なる場合もあること、海流流路変動の周期に比較して十分に長い期間のデータが得られないこと踏まえると、現状では日本沿岸一律3.1mm/年で見積もる方法が無難と考えられる。

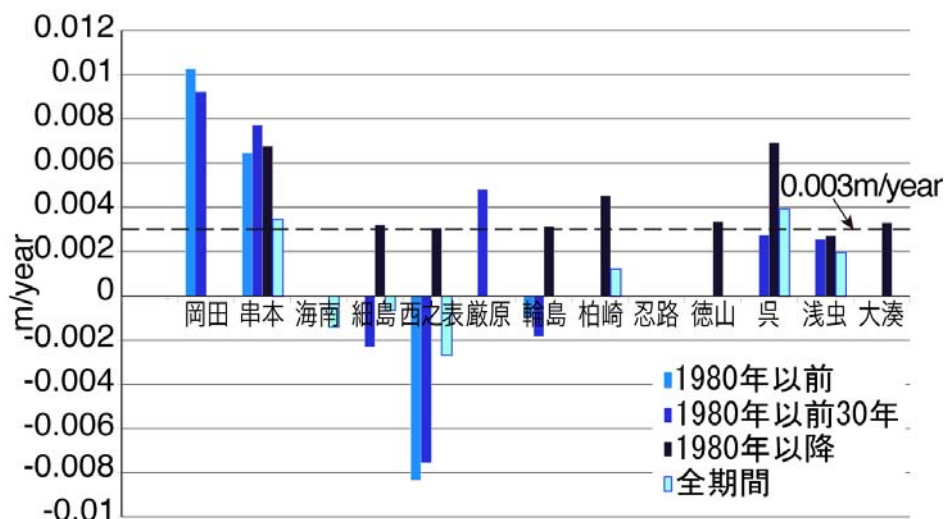


図-II. 2. 1. 1 朔望平均満潮位の変動量

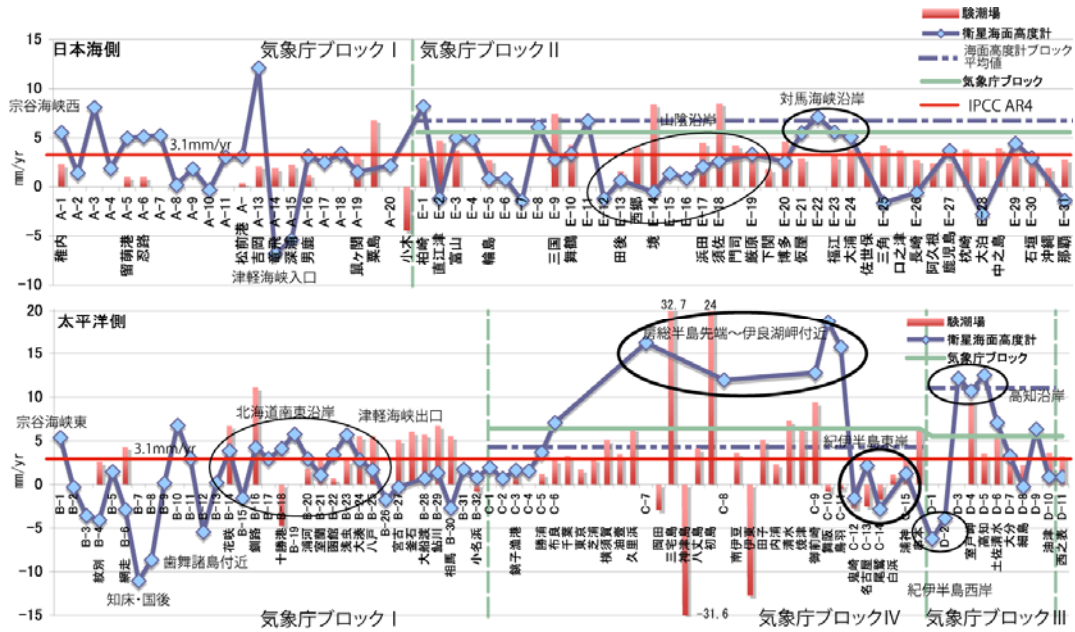


図-Ⅱ.2.1.2 衛星と験潮場の海面上昇速度比較（左ほど北）

2-2 極端現象を引き起こす気象擾乱の経年変化特性の分析

気候変動による海岸での外力変化として、海水面の上昇とともに台風の激化による波浪の増大が懸念されている。波浪の増大あるいは波浪の起動力である台風等の気象擾乱の激化がこれまでに生じているかについて、波浪観測データ及び天気図をもとに分析を試みた。

気象が海象を形成するので海象は気象現象の積算結果と言える。そこで、本研究では日本周辺を海象を特徴付ける台風・低気圧の移動特性に従って区分した。台風の経路と日本列島の形状を考慮し、6つの領域に区分した(図-Ⅱ.2.2.1)。南北に2つに区分する線として関東地方から中国地方を縦断

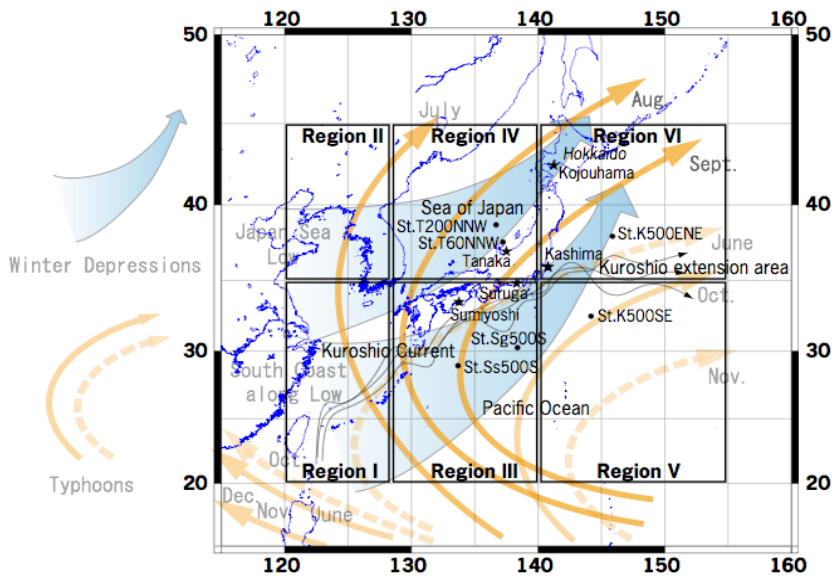


図-Ⅱ.2.2.1 波浪変化についての区分

する北緯 35 度線を用いた。東側として東北地方と伊豆諸島付近を通過する東経 140 度線を、西側を分けるものとして朝鮮半島から沖縄本島を通過する東経 128 度線により区分した。これにより縦の 3 列は台風の通過時期や経路の違いを反映でき、南北の 2 行により低気圧の経路を反映できる。

図-Ⅱ.2.2.2 に年最大波高及び上位 10 位までの年平均値の変化を示す。これらの値から、上昇傾向を見ることは出来ない。これは、気候の変化が緩慢であり年ごとのばらつきに埋もれてしまうことや波浪の発生成長が広い気象状態の集積の結果によるものであるからと考えられる。このため上位値を用いた統計解析では、気候の変化が表出しづらいと考えた。

年間の代表波浪の変化傾向（解析の過程）

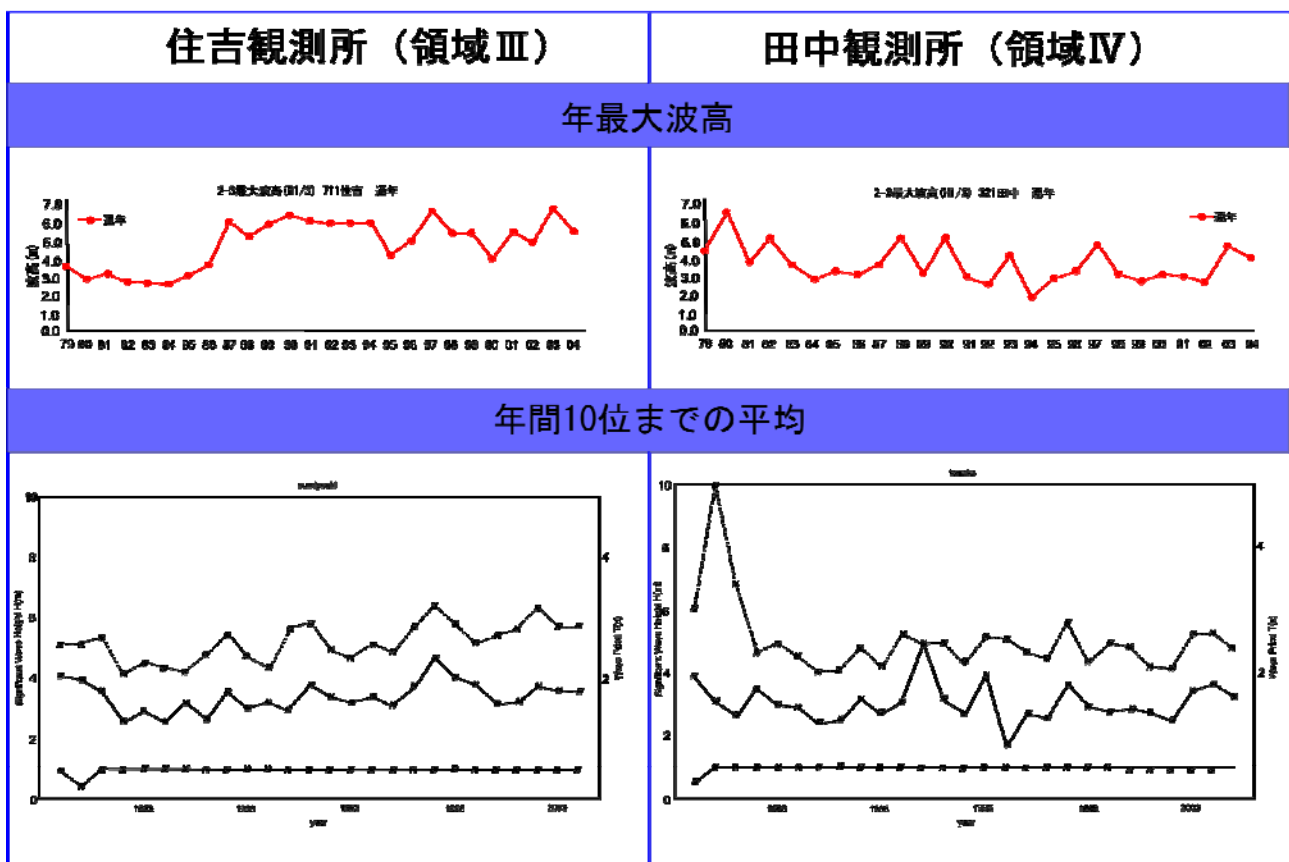


図-Ⅱ.2.2.2 上位値を用いた統計に依る経年変化

海岸へ来襲する外力は、多方向の発生源から総和であり、かつ発生源から伝播する間の気象の集積値であると言える。また、海岸地形変化は、波高と周期の組合せにおいて両者の広い帯域にわたる影響を受ける。そこで、波高と周期を結合したエネルギーフラックス（ H^2T として）を用いることとした。これにより、その地点へ来襲する総エネルギーとして算出できることとなる。

波高と周期の対についてそれぞれ一波とした時のエネルギーフラックスを算出して頻度を乗じ、総和を算出しその年のエネルギーフラックスとした。その際に閾値として、波高、周期、エネルギーフラックスについて設定した。波高とエネルギーフラックスについては 1990 年から 4 年間のエネルギ

一平均波の波高またはエネルギーフラックスの平均値、周期はうねり性とされている8秒を閾値とした。

これによる経年変化を示したのが図-Ⅱ.2.2.3である。日本海に面する徳光、西園の両観測所では、近年来襲する波浪エネルギーが増大していることがわかる。また、田中観測所においても若干の増加傾向がうかがえる。一方、日吉津観測所では大きな変化が見られない。これは、徳光、西園の両観測所はともに冬季風浪が直接来襲する西に開いた海岸に面するが、日吉津の両観測所は、島根半島の遮蔽域となっている地形的な特徴による。領域Ⅲに位置する駿河海洋、城南、住吉の各観測所では、高波浪の来襲エネルギーが増大している。

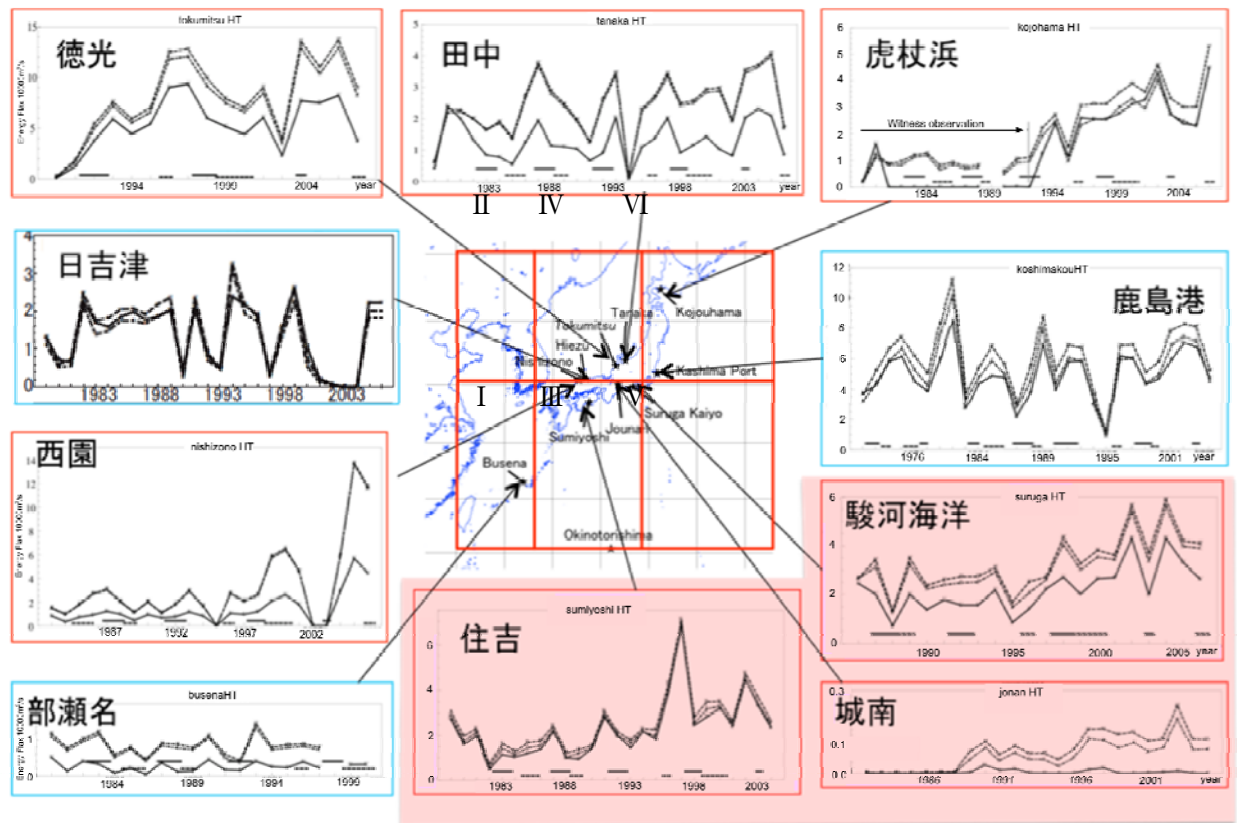


図-Ⅱ.2.2.3 年間エネルギーフラックスの変化

次に、主な高波浪や高潮の原因である低気圧・台風について調べた。我が国では1883年より天気図が作成されているが、すべての天気図に緯度線と経度線が表記されるようになったのは1915年からである。そこで、1915年から2007年1月までの印刷天気図を収集し、北緯20度～北緯46度、東経122度～東経153度の範囲で中心気圧が990hPa以下となった台風を含む低気圧を抽出し、中心気圧や位置のデータベースを作成した。なお、1951年以降の台風については気象庁ベストトラックデータを使用した。データベースの記述を、中心気圧は1hPa単位、中心位置の緯度経度は1度単位とした。1958年8月以降は、現在の印刷天気図形式となっているが、低気圧や台風の中心位置や中心気圧が表示されたのは1965年11月からである。それ以前のものについては、閉じた等圧線の中心付近を中心位置とし、中心気圧は閉じた等圧線の一番低い等圧線の値とした。また、台風は天気図上や概況分に中心気圧が表記されている場合はその値を採用した。ただし、初期の天気図では、何mm Hg以下と表現されているので、その値を中心気圧とした。

このデータベースから図-Ⅱ.2.2.1 で区分した領域毎に、各領域を通過する台風・低気圧の年間個数を図-Ⅱ.2.2.4 に、それらの領域内での最低気圧を年毎に平均したものを図-Ⅱ.2.2.5 に示す。

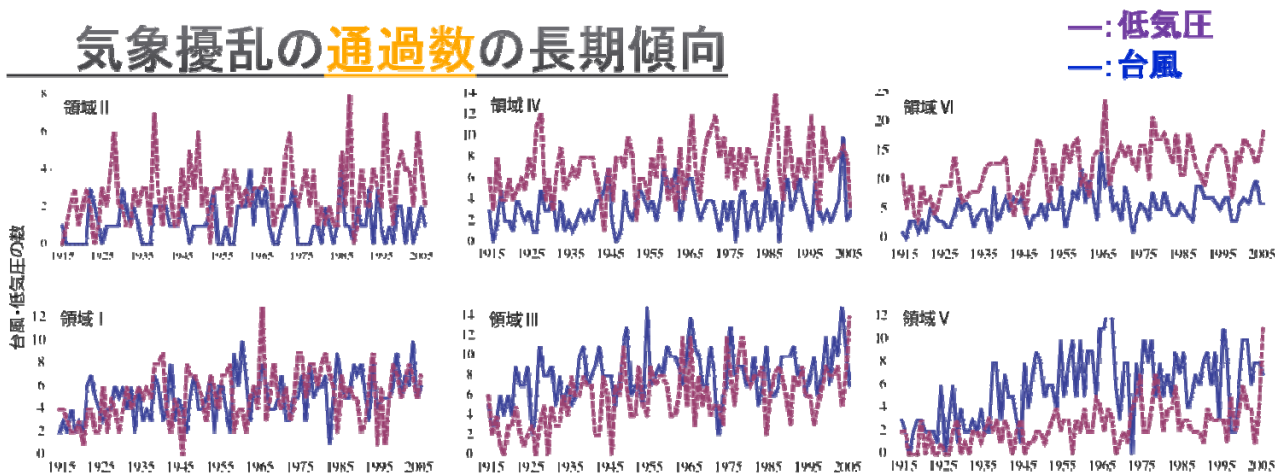


図-Ⅱ.2.2.4 ブロックを通過した台風・低気圧の個数の変化

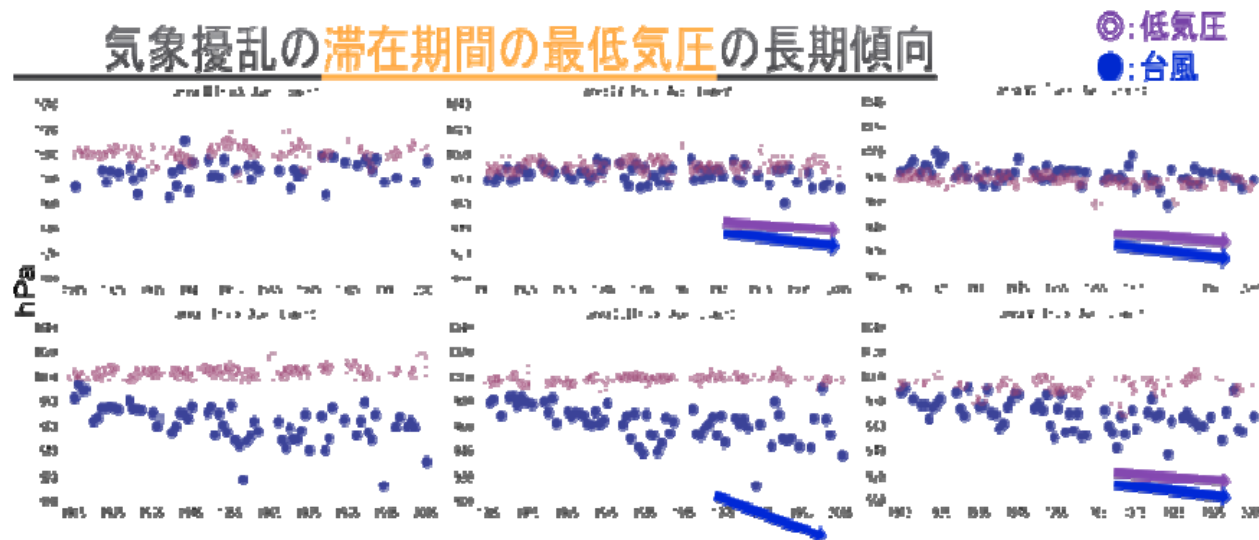


図-Ⅱ.2.2.5 ブロック内に滞在した間の最低気圧の変化

台風の発生域に近い領域 I、III、V では長期として見ると、近年は来襲数（通過数）、滞在時間ともに安定している。図-Ⅱ.2.2.3 で見たように台風の影響を強く受ける領域 III にある住吉観測所や駿河海洋観測所の来襲波浪エネルギーは上昇していた。そこで、領域 III の海象観測期間である 1979 年以降を中心に見ると、台風数は増加傾向にあり通過台風の最低気圧の年平均値（右端）も大きな低下傾向にあり年々台風の勢力が強くなっている。さらに、1915 年に比べ平均値で 40hPa 低下している。これが住吉、駿河両観測所の高波浪の増大として現れている可能性がある。

一方、図-Ⅱ.2.2.3 における徳光観測所や田中観測所の増加傾向の要因は、図-Ⅱ.2.2.4 の領域 IV から想定できない。しかし、領域 VI において低気圧が来襲数、滞在時間ともに増加傾向にあり、2008 年 2 月 24 日に生じたような大型の低気圧と付随して生じる気圧の谷が強化している可能性を示唆している。

2-3 気候変動が高潮外力に及ぼす影響の見積もり

国土技術政策総合研究所は、財団法人地球科学技術総合推進機構（平成22年3月31日解散）との共同研究により文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラムへ参画している。このプログラムで得られた予測データの活用し、同プログラムの京都大学防災研究所と連携して、気候変動に伴う台風の変化（コース等のシフト）による高潮偏差の生起確率の変化を試算した。

京都大学防災研究所が同プログラム内で気象研究所が実施した温暖化予測結果を用いて、統計的に有意となるようにモンテカルロ法を用いた確率台風モデルにより現在気候および100年後の将来気候についてそれぞれ10,000年分の台風を作成した（京大防災研確率台風(ver. H21)）。台風は計算メッシュごとの既存の台風通過情報から確率分布と乱数により移動、成長、消滅を再現される。国土技術政策総合研究所は、この作られた台風より東京湾、伊勢湾、大阪湾に影響を及ぼす台風を抽出し、それらについて高潮・波浪推算を実施した。

偏差を階級に分け、それら区分内の頻度の変化を図-II.2.3.2に示した（横軸に示した数字は、図-II.2.3.1に示した地点の位置に付された番号を意味する。）。現在気候から将来気候への頻度の変化を「頻度の変化量」を「現在気候と将来気候の頻度の和」で除したもので表現している。これにより現在気候では発生せず将来気候では発生した場合は1で表現され、逆に現在気候で存在したが将来で発生しない場合には-1として表現することが可能となる。0.5は、将来気候の頻度が現在気候の3倍となる。1となったものについてはマークの大きさにより頻度を示した。この図では、変化を確率密度ではなく頻度の実数により求めている。

高潮偏差が0.5mまでの低い区分では3つの湾とも負の値となっており減少している。東京湾では現在気候で出現しない2m以上の偏差が将来気候では沿岸のほぼ全体で生じている。このように、現在気候では高潮偏差が大きい湾口部や来襲頻度が低い東京湾で、将来において中程度以上の高潮偏差の頻度が上がる可能性を示している。一方、大阪湾および伊勢湾の湾奥部では現在気候でも3mを越える偏差が発生しており、将来気候では頻度が増す結果となっている。

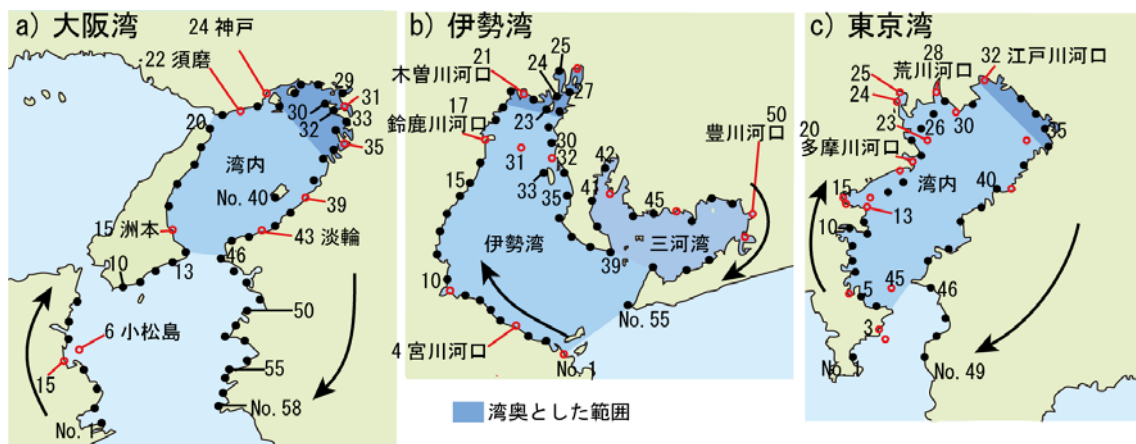


図-II.2.3.1 算出した地点の位置

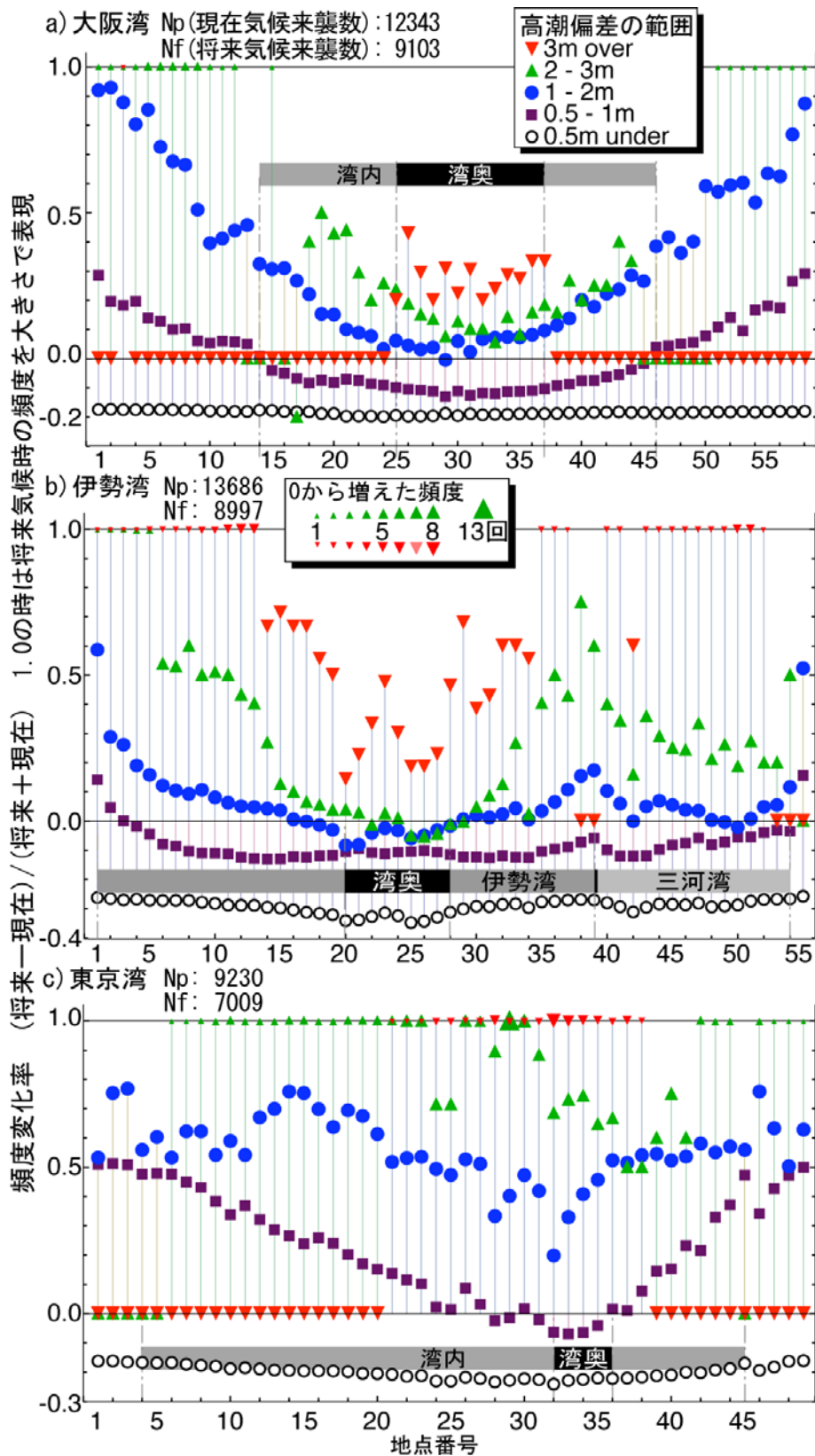


図-Ⅱ.2.3.2 極値解析の結果を用いた高潮偏差の変化

2-4 海岸防護構造物を対象にした気候変動を考慮したマネジメント

図-Ⅱ.2.4.1は、気候変化に伴う高潮の外力変化と海岸堤防の嵩上げ必要量の関係を示したものである。嵩上げ必要量は、平均海水面の上昇分 ΔZ_a 、潮位偏差の増加分 ΔZ_b 、波浪打上げ高の増加分 ΔZ_c の3つに分けることができる。

海岸防護施設に対する気候変化の影響は、海水面の上昇と台風等の激化に分けられる。台風等の激化は、潮位偏差の増大と波浪の増大をもたらすので、 ΔZ_b と ΔZ_c に効く。海水面の上昇は、一見 ΔZ_a のみに効くと思いがちだが、海岸堤防が存在する砕波後の打上げでは水深が大きいほど打上げ高が増すので、海面上昇 ΔZ_a と ΔZ_c の両方に効くので注意が必要である。 ΔZ_c は、海面上昇によるもの ΔZ_{c1} と波浪の増大によるもの ΔZ_{c2} に分けられる。

次に、気候変動の研究の進捗と段階的な嵩上げ手順の関係について整理する。IPCC第4次報告書においても、海水面の上昇については既に観測され今後も確実に生じるものとして扱われている一方、高潮現象の増加や熱帯サイクロン活動の増加については「可能性が高い」としており、今後の研究進捗を待つ部分も多いことから、段階的な嵩上げにあたっては両者を分けて考える。つまり、海面上昇に対する嵩上げ高は、 $\Delta Z = \Delta Z_a + \Delta Z_{c1}$ とし、海面上昇と台風等の激化の両方を考慮した嵩上げ高は、 $\Delta Z = \Delta Z_a + \Delta Z_b + \Delta Z_{c1} + \Delta Z_{c2}$ とする。

このうち、現状の研究進捗状況でも対応可能な、海面上昇に対する波浪うちあげ高増加に伴う堤防の嵩上げ高 ΔZ_{c1} は、海面上昇量 ΔZ_a が与えられれば、うちあげ高・越波量等に関する既往の研究成果を整理することにより、次のような簡易設定が可能である。

$$\Delta Z_{c1} = \Delta Z_a \times 0.7 \quad (\text{堤脚前面に砂浜有。})$$

$$\Delta Z_{c1} = \Delta Z_a \times 1.7 \quad (\text{堤脚前面に砂浜なし (堤脚が水没。)})$$

$$\Delta Z_{c1} = \Delta Z_a \times 1 \quad (\text{堤脚前面に消波工有。})$$

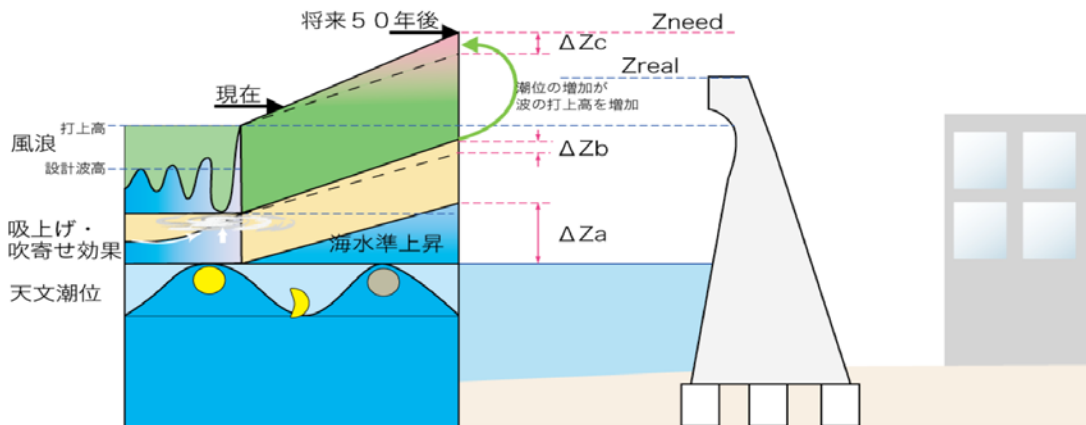


図-Ⅱ.2.4.1 海岸堤防を設定するパラメータと気候変動による影響

海岸堤防の主たる構造である、3面張りの直立堤及び傾斜堤を想定し、嵩上げ必要高が計算できた後に現場の制約等に応じて嵩上げの具体的な工法を選択するフローを図-Ⅱ.2.4.2のとおり整理した。あたりまえのことだが、嵩上げ高が大きいほど、用地等の制約や前面堤脚の状況等で施工条件が厳しくなるほど大がかりな嵩上げ対策工事になってしまう。段階的な嵩上げの第1段として、海面上昇への緊急的な対策として嵩上げを実施する際には現場で活用できるものと考えている。

なお、現状においても海岸侵食や越波が厳しい現場では、上記のような緊急対策ではなく、侵食対策や沖合消波との組み合わせも含めた総合的な検討が必要となる。また、景観や海浜へのアクセスに配慮が必要な現場では、ダブルパラペット化や背後に潮あそびを整備する等の対策検討も必要であろう。

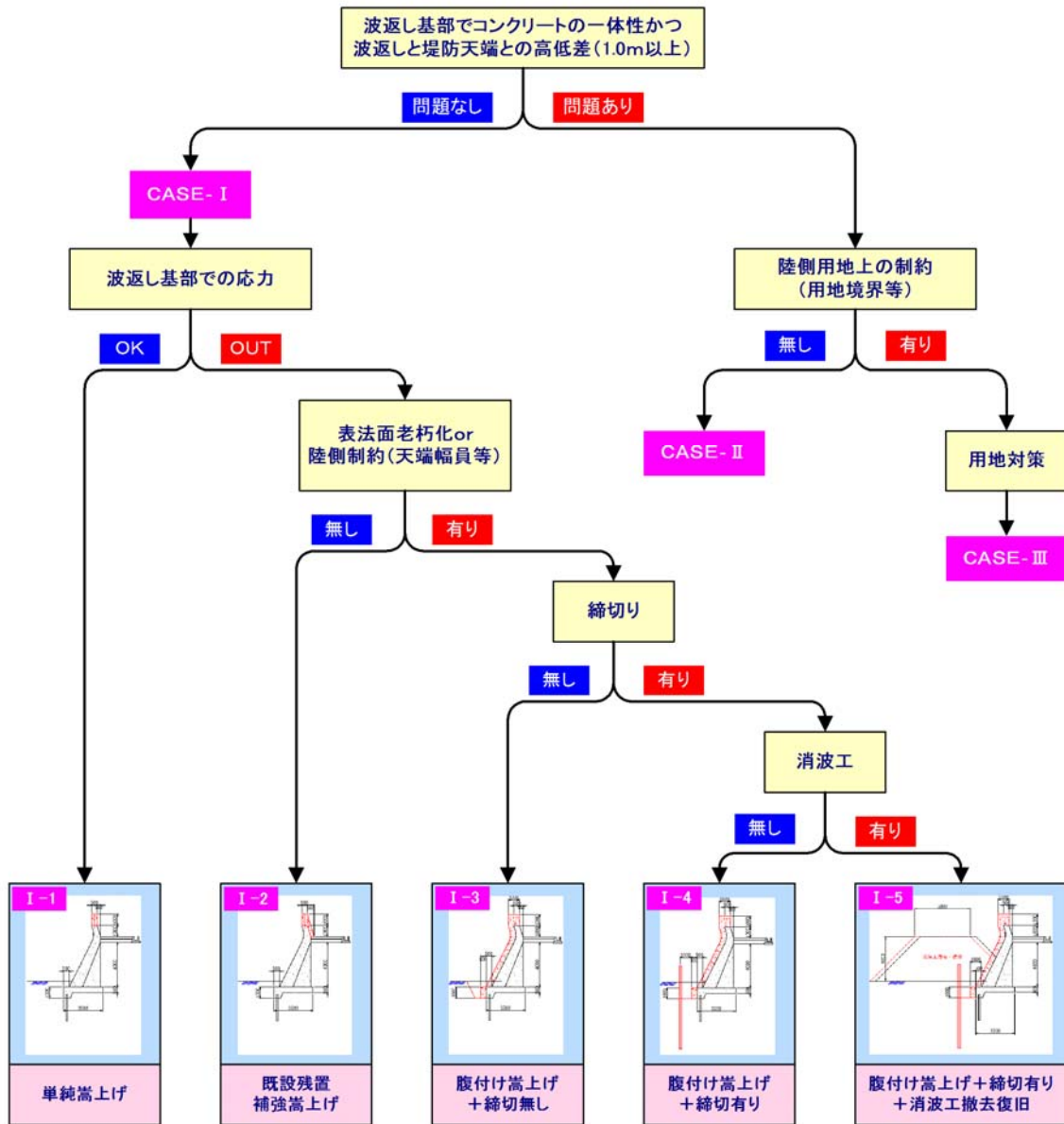


図-Ⅱ.2.4.2 堤防嵩上げの工法検討ツリー

3. 水管理への影響に着目した検討

3-1 気候変動が世界の水需給バランスにあたる影響の検討

a) 検討概要

将来の世界における水資源量変化と社会的影響を分析することを目的に、既往統計データを活用したマクロ的な解析を行うべく、水需給モデルを構築し、2050年における水資源需給バランス及び食料需給量について試算を行った。

b) 水需給量算定モデル（プロトタイプ）の構築

1990年における水資源需給及び2050年における水資源需給予測の算定フローの概要を図-Ⅱ. 3. 1. 1 に示す。入力値として必要な世界184カ国の統計データ（人口、GDP、水使用量、穀物生産量等）は気候変動に関する研究機関や統計機関等が公表しているものを採用し、水資源量は、世界各国の1990年（モデル上の現状再現）と2050年のデータを活用した。各検討項目の2050年の将来予測は、図-Ⅱ. 3. 1. 2に示すような1990年を基にして求めた世界各国のGDPと各検討項目との相関性を利用して算出した。また、将来の気候変動は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）で公表されている温室効果ガス排出シナリオA1Bを採用している。

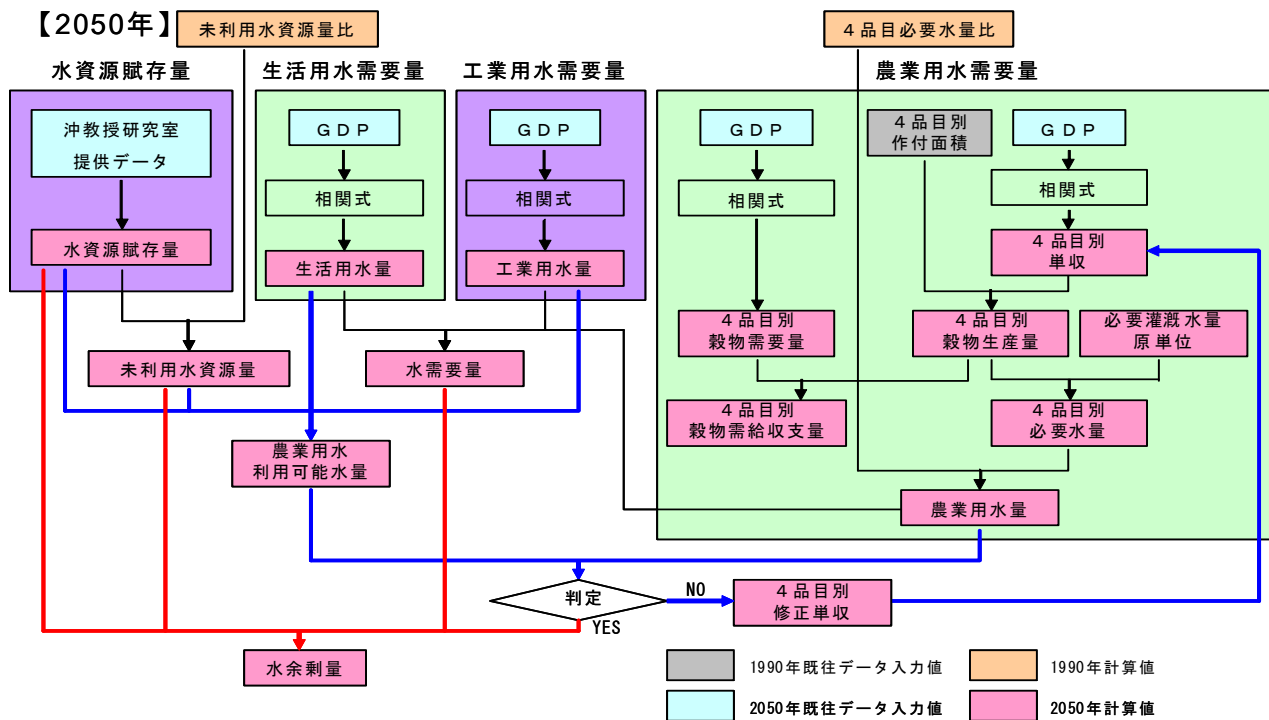


図-Ⅱ. 3. 1. 1 算定モデルの概要（フロー）

c) プロトタイプの計算結果

計算の結果得られた水資源需要量と主要 4 品目穀物の需要量及び生産量の世界全体値について図- II . 3. 1. 3 に示す。なお、プロトタイプでの計算は 1990 年及び 2050 年の単年において計算を行った。水資源賦存量は 2050 年に向けて微増なのに対し、水資源需要量は大幅に増加していることが分かる。このため、主要穀物の生産量も需要量に対して 50%程度と大幅に不足する結果となった。この不足量の内、食料用の不足は、カロリー換算（世界平均 2,026.8kcal/日（1990年））で約 15 億人分の 1 年間の消費に相当する。また、農業用水の充足率（農業用水利用可能水量 / 農業用水需要量）=水ストレスとして算出した 2050 年の主要国及び地域の水ストレス分布状況を図- II . 3. 1. 4 に示す。乾燥地帯においては農業用水需要量に対して利用可能水量が少なく厳しい状況がわかる。中国、オーストラリアの充足率が比較的高い理由は、この年における降水量が多く、水資源賦存量が多くなるという予測の影響が大きいものと考えられる。

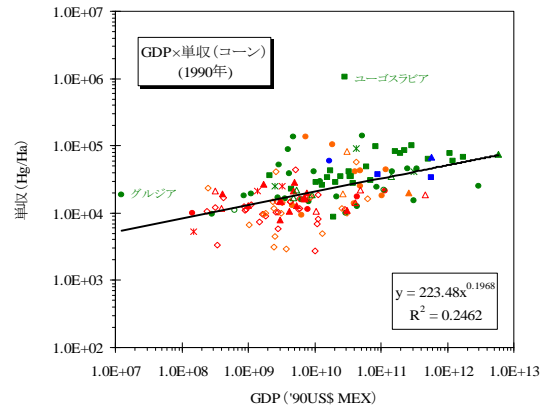


図- II . 3. 1. 2 GDP と単収との相関の例 (コト)

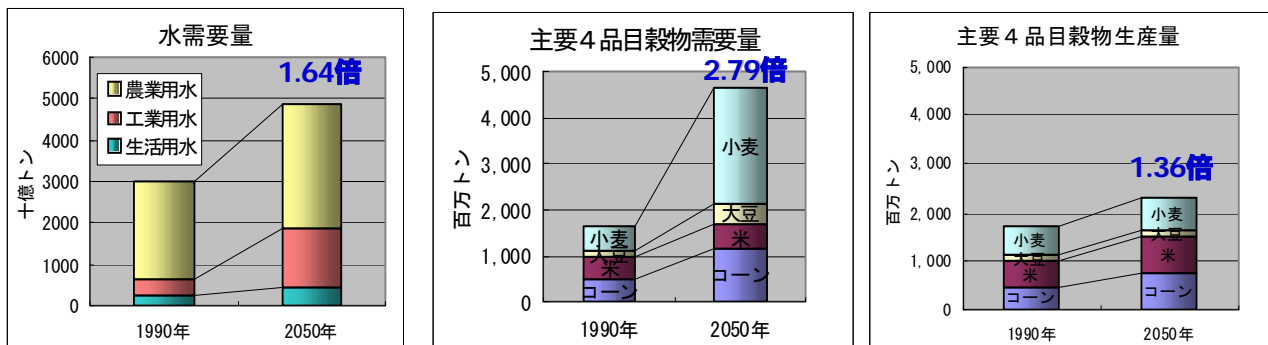


図- II . 3. 1. 3 算定モデル(プロトタイプ)による予測計算結果(1990年と2050年の世界全体値)

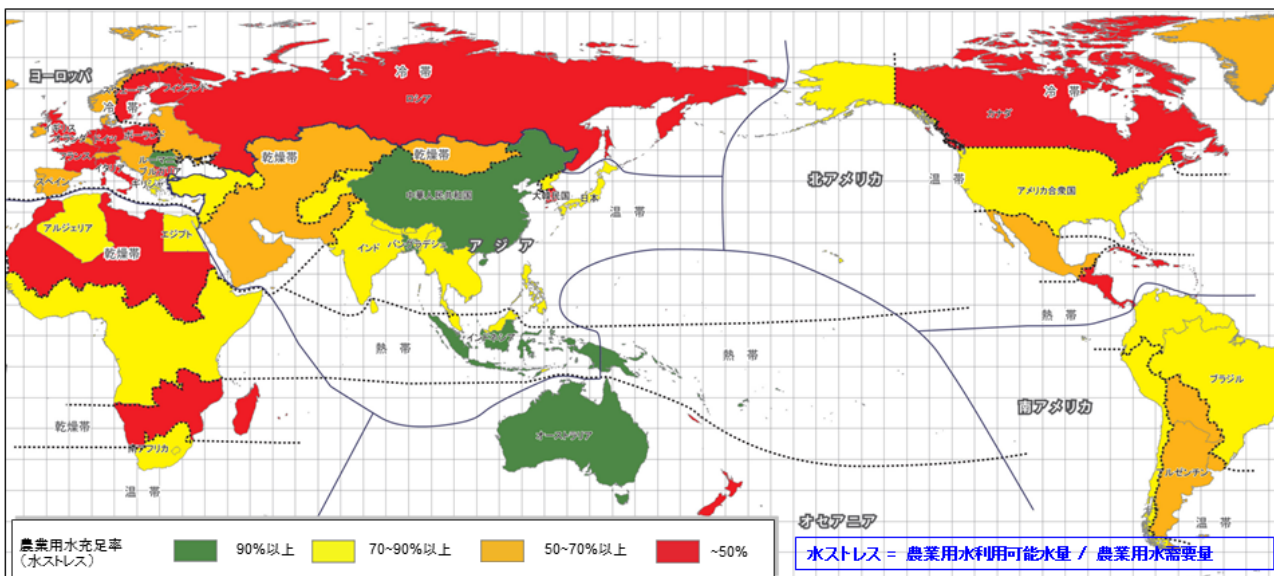


図- II . 3. 1. 4 水ストレス分布図(2050年)

d) 水需給量算定モデルの改良

図-Ⅱ.3.1.1に示したモデルを更に改良すべく、世界農産物需給予測モデルを活用した穀物価格の変動予測による作付面積の変化、穀物貯蔵量、GDP相関式の地域別細分化などを行い、設定した各需要間水配分シナリオ、水利用施策シナリオそれぞれについて2050年までの連続計算を試みた。

e) 算定結果と成果の活用

モデルによる算定結果について既存施設依存型（基本0）のほか、水需給のギャップを埋める対応策として、ダム建設等のハード対策（基本0a）、渇水調整等のソフト対策（基本0b）、ハード対策+ソフト対策+施設間の統合的な運用等による水利用向上策を実施した場合（基本1）のシナリオを設定して評価を行った。その一例として図-Ⅱ.3.1.5に米の需要量、生産量と農業用水の充足率の関係を示す。世界人口の増加や経済発展の影響により、米の需要量は2050年まで増加する傾向にある反面、生産に必要な農業用水の充足率が必要な水量に対して低くなることから、結果として生産量が低迷する状況となっていることがわかる。このほか、世界各国の水利用可能量、生活・工業用水需要量、穀物需要量、農業用水需要量、穀物生産量について主要国及び地域毎の傾向が明らかとなった。

今後は、我が国及び食料輸出入相手国等の水需給及び各種穀物需給量について更なる信頼性の確認を行い、我が国の将来の水資源及び食料の安全保障の観点から、潜在的危険性の把握と対策の考案、我が国が世界各国に対して果たすべき貢献策の検討等に活用することが期待できる。

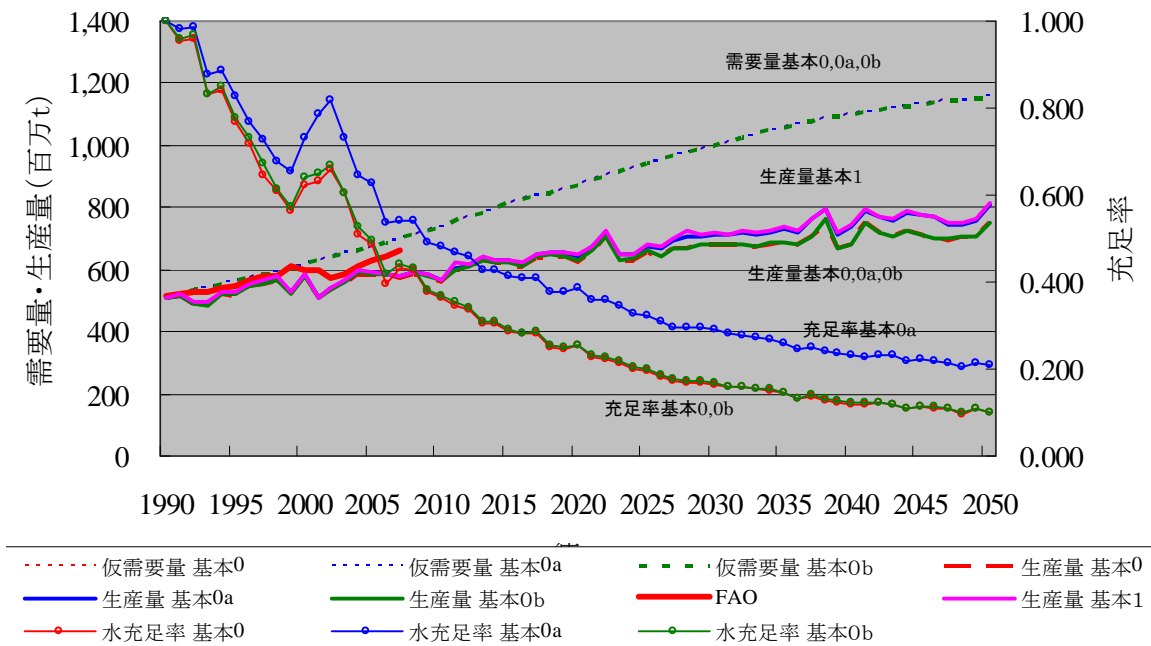


図-Ⅱ.3.1.5 需要量、生産量と農業用水充足率の関係（米）

3-2 地表到達水量に及ぼす気候変動影響の全国的傾向の分析

将来の渇水リスクを評価するために、共生 GCM20 による 1979～1998 年及び 2080～2099 年の出力値から、降水量及び融雪量を算出し、一級河川 109 水系の流域について、現在と将来の地表到達水量の比較から変化傾向の評価を行った。

降水量は、気候予測計算結果の年降水量、季節降水量、月降水量の全国 109 水系の流域平均値について、将来の変化率を全国 109 水系の流域別に整理した。

融雪量については、推定した積雪量から利根川統合管理事務所で実績のある融雪量推定式を用いて算出した（図-Ⅱ.3.2.1）。

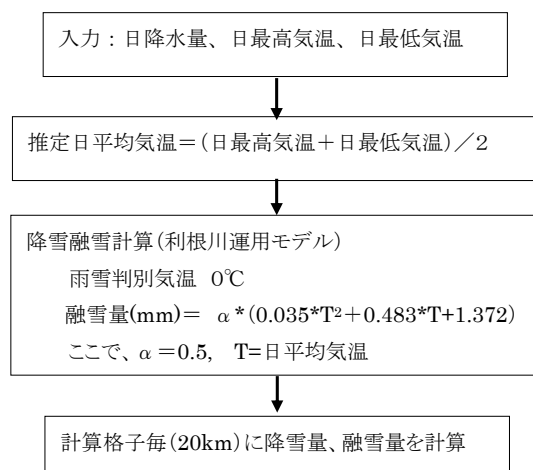


図-Ⅱ.3.2.1 降雪量、融雪量の算定フロー

河川流量に影響を及ぼす、融雪量と降雨量を加算した地表到達水量について、現在と100年後をシミュレーションにより比較すると、全国的な傾向として、11～2月、7～8月の間は増加し、3～6月、9～10月の間は、多くの地域で減少が見られ、現在の降水パターンが大幅に変化する恐れがある（図-Ⅱ.3.2.2）。

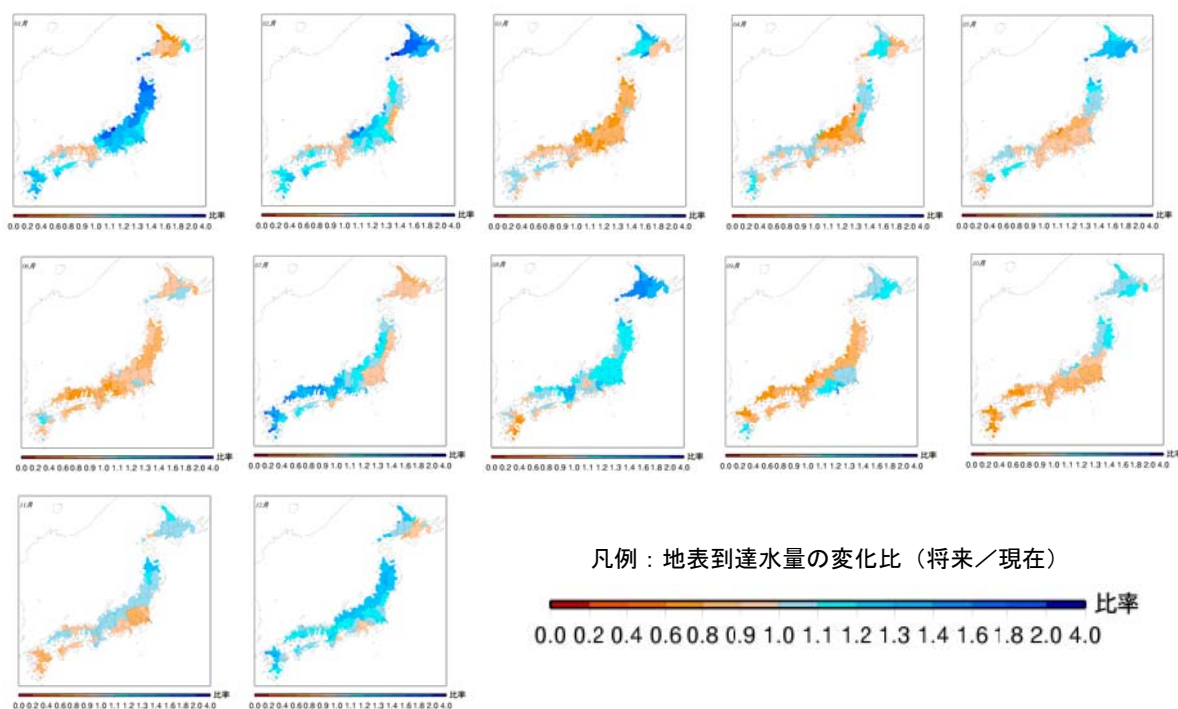


図-Ⅱ. 3. 2. 2 年降水量の地表到達水量(融雪+雨量)の変化

3-3 降水量変化が河川流量に与える影響の簡易推定法

IPCC 第4次評価報告書によると、今後、無降雨日数の増加、積雪量の減少、融雪時期の早期化などの気候変動の影響は不可避であり、高まる渇水リスクへの適応策が必要不可欠であることが報告されている。個別流域での具体的な適応策の検討に先だて、まず全国的に流域ごとに渇水リスクを評価する必要がある。それには、気候変動の影響を考慮して現状から変化させた降水量および気温を入力として流量を推定するために、流出モデルを用いる。その際、各流域の流出特性の差異が流量の推定に適切に反映されるように、既往の観測データに基づいて客観的にモデル係数が設定できることが望まれる。

本研究では、渇水が数ヶ月以上に及ぶ現象であることを考慮して、月単位の流出計算法として、降水量、流量、気温の実測データの相関関係を用いた流出モデルを提案した。さらに、積雪・融雪の有無で異なる2流域において気候変動に伴う流量変化を試算し、降水量の変化率(=(将来値)/(現在値))の大きさと同等の流量変化が生じない理由について、提案したモデルで表現される流出特性に基づいて考察した結果を示す。

積雪・融雪地域に位置する K ダム流域における月平均の降水量とダム流入比流量の関係を図-Ⅱ. 3. 3. 1 に示す。融雪期(3~5月)を除いて、図中に実線で示したように線形近似することが可能である。日平均気温 0°C以上の積算気温と融雪比流量(=(実測比流量)-(図-Ⅱ. 3. 3. 1)-1の実線から算定した比流量))の関係を図-Ⅱ. 3. 3. 2 に示す。積算気温は融雪比流量とほぼ線形関係にあることがわかる。図-Ⅱ. 3. 3. 1、2 に示した関係式を用いて K ダム流入量の再現計算を行った結果を図-Ⅱ. 3. 3. 3 に示す。簡易なモデルであるが、十分に低水流量を再現することが可能である。

将来の気温と降水量の変化を考慮した K ダム流域の月別平均比流量と現在との比較を図-Ⅱ. 3. 3. 4 に示す。積雪期(12月~2月)は気温上昇により降雪が降雨に変わるため流量が増加する反面、融雪期

(3月～5月)は積雪量の減少及び融雪の早期化のため流量が減少する傾向となった。降水量と流量の変化率を比較すると、積雪期の降水量はほぼ変わらないが、流量は大幅に増加している。また、融雪期の前半の3月は気温上昇に伴う融雪の早期化のため降水量が1割程度減少するにも係わらず流量は大きく増加している。それに対して、後半の4、5月は降水量の減少以上に流量は減少している。積雪・融雪期以外では、降水量変化と流量変化はほぼ同値である。

降雪がない水系のA流量観測点上流域を対象として流域を3分割し、降雨-流量関係を求め、A流量観測地点の将来の月別平均流量を推定し、現在と比較した結果を図-Ⅱ.3.3.5に示す。3～9月までの比較的流量が多い時期は、降水量変化率とほぼ同値の流量変化率を示した。10～2月の流量が少ない時期では、降水量の変化率に比べて流量の変化率が1に近い値、すなわち変化幅が小さくなる傾向が見られた。

積雪・融雪地域では、降水量の増減のみならず、気温上昇による積雪量の減少、融雪期の早期化の影響を受け、積雪期から融雪期の河川流量が大きく変化する。そのため、気温と積雪、融雪の応答関係を踏まえなければ、気候変動による流量変化を評価する事は難しく、気温に対する融雪の応答を把握し、適切な融雪計算をする事が重要となる。また、非積雪地域では、降水量が少ない部分と多い部分とで降雨-流量関係の勾配が異なるため、同じ降水量変化に対しても降水量が少ない範囲では流量の変化は小さくなる。つまり非出水期(10～5月)は出水期(6～9月)と比較して、降雨量の変化に対して流量は安定しており、気候変動の影響が現れにくい事を示している。以上より、積算気温-流量関係及び降雨-流量関係を整理する事が気候変動による河川流量の変化を推定する上で重要であると言える。今後は、全国の流域に対してこの関係を整理し、気候変動によって湧水リスクが高まる地域を明らかにする。

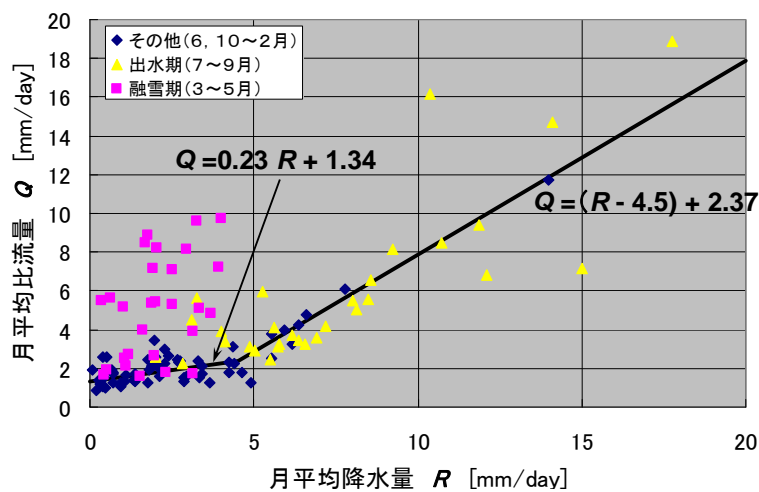


図-Ⅱ.3.3.1 Kダム流域の降水量と比流量の関係

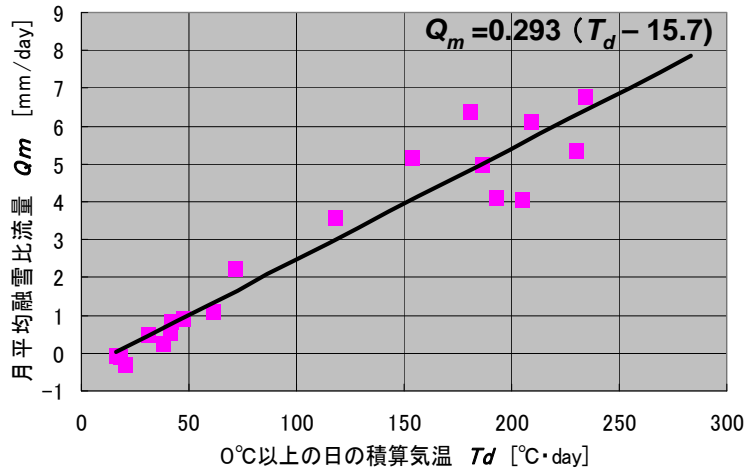


図-Ⅱ. 3. 3. 2 Kダム流域の積算気温と融雪比流量の関係

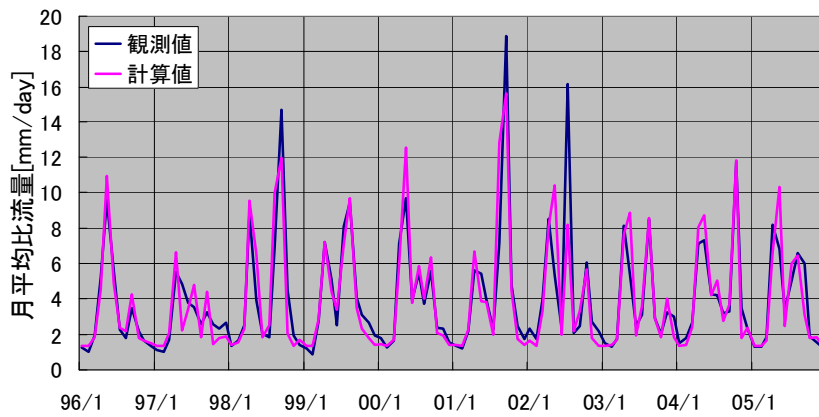


図-Ⅱ. 3. 3. 3 1996～2005年の月平均比流量の再現計算結果 (Kダム流域)

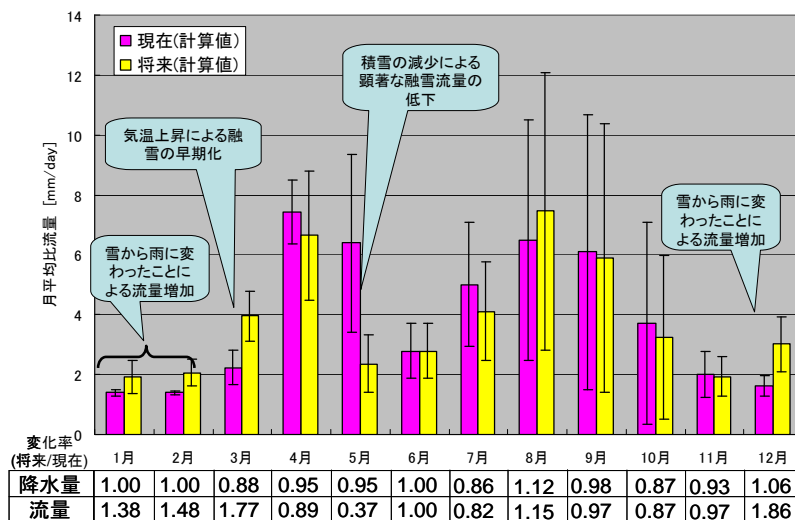


図-Ⅱ. 3. 3. 4 現在と将来の月別平均比流量の比較 (Kダム流域)

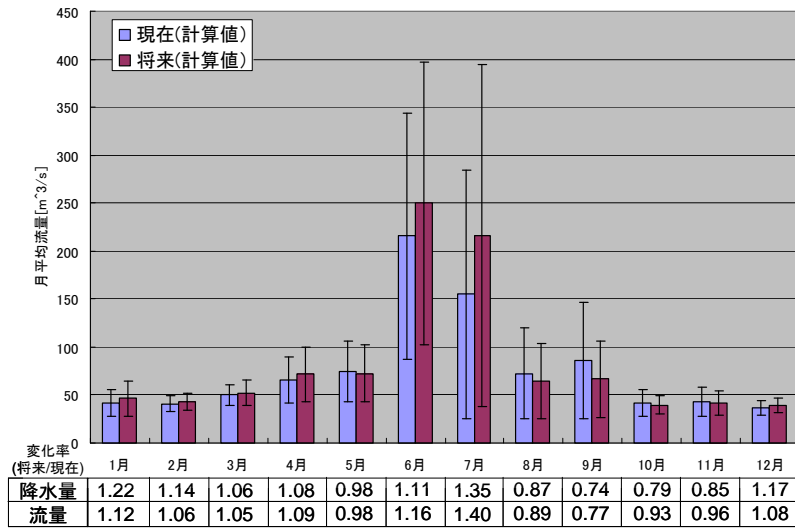


図-Ⅱ.3.3.5 現在と将来の月別平均比流量の比較 (A 流量観測点：ダム操作なし)

3-4 渇水時における低水管理の高度化手法の開発

渇水時において河川環境と整合しつつ円滑な水利用を行うためには、緻密な流水管理を行う必要がある。このため、筑後川をモデル水系として、流域の水循環を解明する低水管理シミュレータの構築及び、将来の渇水時において渇水対策を可能とする水需給把握システムの構築を検討した。

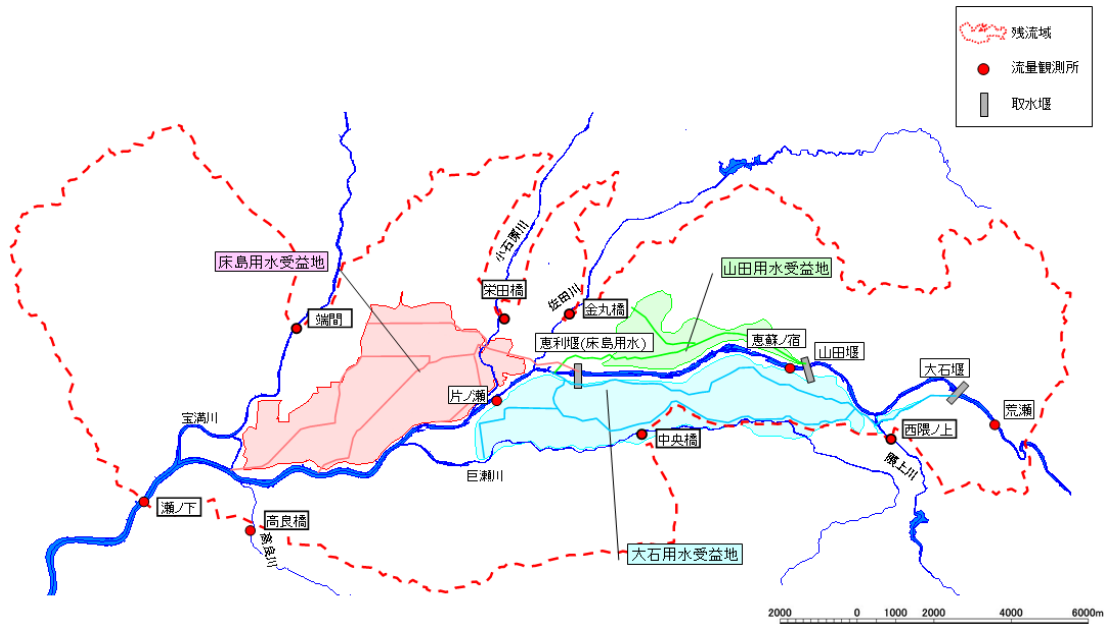


図-Ⅱ.3.4.1 夜明～瀬ノ下残流域と主要支川

a) 低水管理シミュレータの構築

表流水については、荒瀬地点では兩岸に低い台地が形成され、全ての流水が荒瀬地点において流下すると考えられるため、荒瀬地点流量を基に各種利水の取排水量、地下水量、都市排水量を推計して瀬ノ下地点流量を算定する手法を次のとおり開発した。

夜明～瀬ノ下間の残流域には、6つの主要支川が流入し、それぞれの流量観測所において、流況が把握されている(図-Ⅱ.3.4.1)。荒瀬地点流量や各種利水の取排水量を基に、余水排水量、還元率を用いて農業用水収支を表すと、瀬ノ下流量予測式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{瀬ノ下流量} = & \text{荒瀬流量} + \text{残流域流入量} - \text{都市用水量} + \text{都市排水量} + \text{地下水流入量} - 3 \text{ 堰取水}(X+Y+Z) + 3 \\ & \text{堰余水排水量}(x+y+z) + \text{還元率による還元量}((X-x) \times a + (Y-y) \times b + (Z-z) \times c) - \text{その他農} \\ & \text{水取水量} + \text{その他農水還元量} \end{aligned}$$

次に地下水については、当該区間における筑後川は、北側の朝倉山塊と南側の耳納山地に挟まれた低地部を流下しており、山地から地下水が河川へ流入する構造をなしている。これらの地下水位から当該区間沿川における地下水の流動状況は、図-Ⅱ.3.4.2のように推定できる。浅層地下水の流動する砂層の20%粒径(D20)と飽和透水係数の関係(クレーガーの表)により透水係数を $k=1.40 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ と設定し、また、筑後川中流部沿川での平均的な地下水位横断勾配Iは、地下水位観測所と河川水位の関係から、1/300程度と推定した。当該区間における平均的な砂層厚(10m)と河川延長から、地下

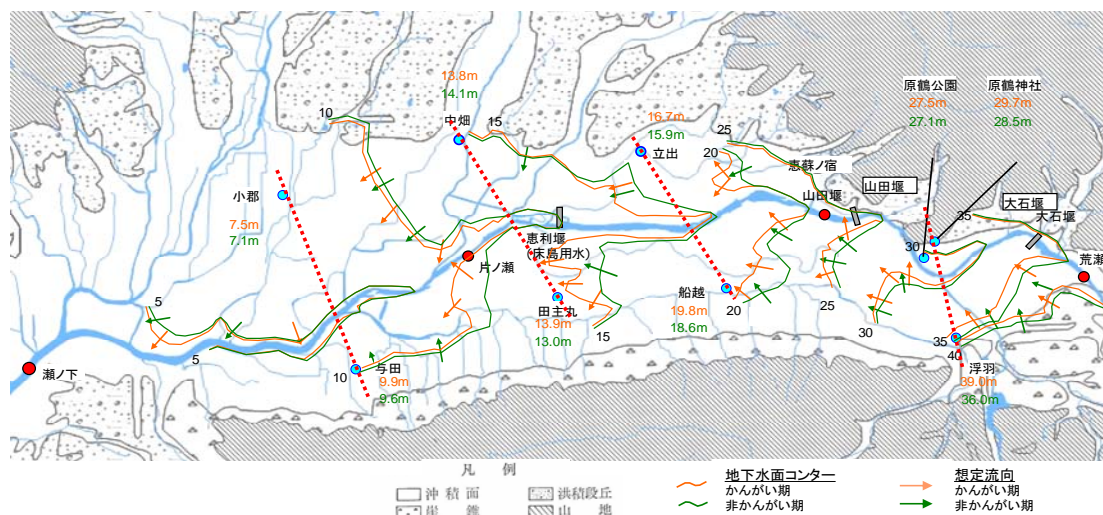


図-Ⅱ.3.4.2 地下水位平面分布図

水の河川への流入量を約 $0.26\text{m}^3/\text{s}$ と算定した。

b) 水収支再現性の確認と課題

以上の分析を基に瀬ノ下地点流況の再現結果を図-Ⅱ.3.4.3に示す。瀬ノ下地点の予測値と実績値は、概ね整合している。今後、モデルの精度向上を図る上で、着目すべき不確定要素としては、残流域流入量の他、余水排水量、農業用水の還元率が挙げられる。

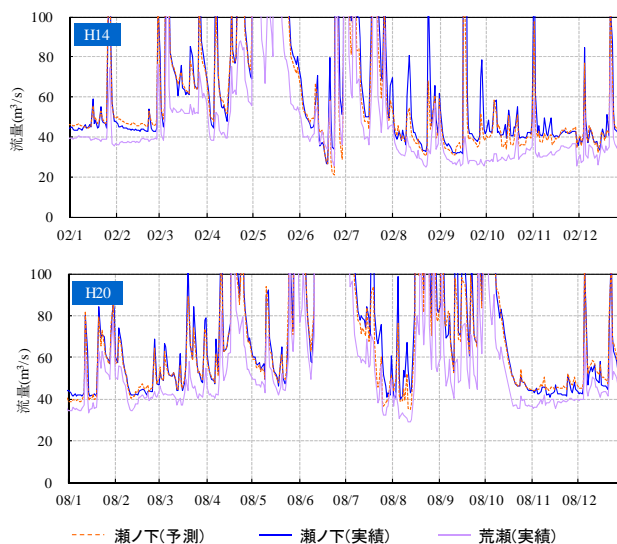


図-Ⅱ.3.4.3 瀬ノ下流量の予測計算再現結果

c) 水需給把握システムの構築

渇水時に利水者の渇水への耐性を考慮しつつ、節水率を設定することを可能とするべく、水需給把握システムの構築を行った。この水需給把握システムでは、筑後川に水源を依存する利水者全てを計上し、その水源を二級水系の自流及びダム、地下水、海水淡水化を含めて全て計上した。これらの条件設定の下、利水者の実際の給水ベースでの節水率と給水必要量を設定すれば、筑後川の取水率が逆算される。表-Ⅱ.3.4.1に、全利水者について節水率を一律20%に設定して、筑後川の取水率を求めた例を示す。これによれば、利水者Aのように他水源が豊富な利水者は、筑後川からの取水率を52%と厳しい取水制限まで対応することが可能であり、利水者Mのように水源を筑後川のみ依存する利水者は、取水率80%と緩やかな取水制限となる。また、逆に筑後川からの取水制限率を設定した場合の各利水者の節水率を求めることも可能である。本システムにより、取水率、節水率を適切に設定することにより、各利水者で必要となる節水率や、筑後川からの適切な取水率を求めることが可能となる。このようなシステムを活用し、各利水者間の平等な渇水調整が期待される。

表-Ⅱ.3.4.1 筑後川渇水時取水率・節水率算定システム
(全利水者の節水率を一律20%に設定)

用途	利水者	S 計画供給能力(m ³ /s)					R 取水率(%)				K 渇水時取水量(=S*N*R)(m ³ /s)					D 給水必要量 (m ³ /s)	E 節水率(%)
		S1	S2	S3	S4	ΣS	R1	R2	R3	R4	K1	K2	K3	K4	ΣK		
水道	A	3.08	7.57	1.55	0.58	12.77	52%	40%	40%	100%	1.59	3.03	0.33	0.58	5.52	6.94	20%
	B	2.46	0.35	0.38		3.19	66%	40%	40%		1.64	0.14	0.09		1.87	2.33	20%
	C	0.32		0.07		0.39	56%		40%		0.18		0.01		0.19	0.24	20%
	D	1.18	0.98	0.09		2.25	45%	40%	40%		0.52	0.39	0.03		0.94	1.18	20%
	その他	0.47				0.47	44%				0.20				0.20	0.25	20%
	小計	7.52	8.90	2.08	0.58	19.07	55%	40%	40%	100%	4.13	3.56	0.46	0.58	8.73	10.94	20%
工水	E	1.25				1.25	39%				0.49				0.49	0.61	20%
	F	0.17				0.17	80%				0.14				0.14	0.17	20%
	その他	0.25				0.25	80%				0.20				0.20	0.25	20%
	小計	1.67				1.67	49%				0.83				0.83	1.03	20%
農水	G	7.21				7.21	80%				5.77				5.77	7.21	20%
	H	3.50				3.50	80%				2.80				2.80	3.50	20%
	I	16.00				16.00	83%				13.31				13.31	16.65	20%
	J	6.40				6.40	69%				4.40				4.40	5.50	20%
	K	18.20				18.20	76%				13.83				13.83	17.31	20%
	L	12.12		2.10		14.22	77%		40%		9.27		0.42		9.69	12.12	20%
	M	28.08				28.08	80%				22.46				22.46	28.08	20%
	その他	6.43				6.43	80%				5.14				5.14	6.43	20%
	小計	97.94		2.10		100.04	79%		40%		76.99		0.42		77.41	96.80	20%
合計	107.12	8.90	4.18	0.58	120.78	77%	40%	40%	100%	81.95	3.56	0.88	0.58	86.96	108.77	20%	

3-5 ダム群再編に関する課題分析と対応策

近年、地質、地形面で良好なダムサイトが少なくなってきたり、財政の逼迫もあいまって、新規ダム建設はますます困難なものになっている。一方、既設ダム群は、建設時の社会的要請から順次整備を進めてきたため、治水・利水の目的を発揮する上で必ずしも最適な配置、容量配分になっていないのが現状である。このような背景から、既設ダムの機能を最大限有効活用するための「ダムの容量再編・再開発」が注目されている。ダム群再編の一例を、以下の図-Ⅱ.3.5.1に示す。

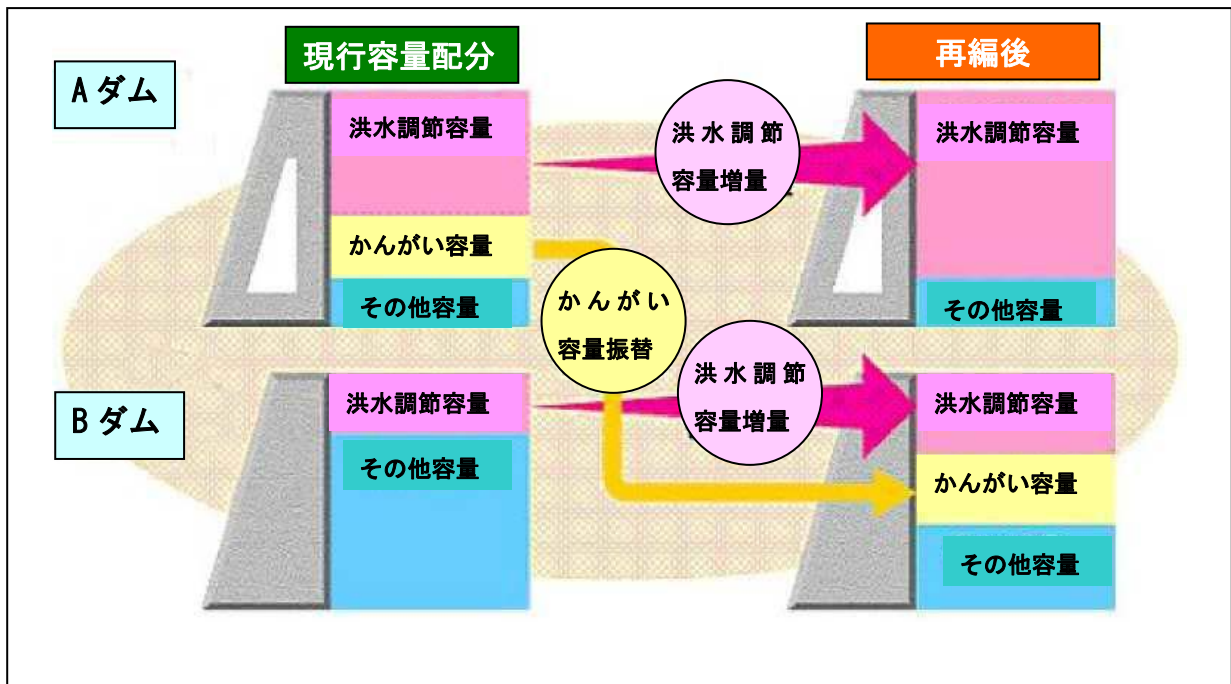


図-Ⅱ.3.5.1 ダム群再編の例

ダム群再編においては、複数のダムにおける治水容量、不特定容量、利水容量について、治水・利水機能を最適な効率で発揮すべく、再編することとなる。ここに、再編の対象となるダムは、国土交通省、（独）水資源機構など管理主体や設置根拠法、建設年次、利水者等が異なる上、現在治水容量として使用している容量に流水を貯留し、利水容量として活用すること等も想定されるため、権原、財産権、維持管理費、固定資産税、電源交付金などダムに関係する様々な法令等適用の取り扱いについて、調整を行う必要がある。また、集水面積の異なるダムに移転する利水者については、その利水安全度の担保にも配慮することが重要である。

本研究においては、利根川上流ダム群再編事業をモデルケースとして、今後の事業の円滑な推進に向けて、課題の分析と調整手法の具体的な検討を行い、調整手法ごとのメリット・デメリットを表-Ⅱ.3.5.1のようにまとめた。

a) 権原の取り扱い

ダムの権原については、建設の根拠となる特定多目的ダム法、水資源機構法、河川法により、その取り扱いが異なる他、治水、利水目的によっても、規定が異なる。ダム再編にあたっては、下流における水害、渇水被害の発生可能性が皆無ではないことに鑑みれば、調整に係わる実務は複雑となるものの、再編後の利用目的に応じた規定に合致するよう変更すべきである。なお、現在、利水の総合運用において実施されている協定締結による運用は、本再編に応用した場合、法令面から見て不適切であることも明らかにした。

b) 維持管理費の取り扱い

維持管理費については、ダム建設費に係わるアロケーションを参考に定められており、各ダムの建設費、経過年数により、その費用は大きく異なる。再編に伴い、維持管理費を再計算する必要性が生じるが、その手法として次の3案を示した。

- ①各ダムのアロケーションを各々再計算する手法
- ②再編対象となるダムを一括して再計算する手法
- ③再編の原因者（利根川では治水）以外は、維持管理費が増大しないよう再計算する手法

c) 利水容量の取り扱い

ダム再編に伴い、集水面積が変化する利水者にとっては、利水基準年において、所定の利水補給が可能となるよう配慮する必要がある。特に集水面積が小さなダムに移転する利水者については、1/10に相当する利水安全度を確保するべく、現存する利水容量よりも大きな容量を与えることを検討すべきであることを示した。

d) 固定資産税、電源交付金の取り扱い

ダムに課される固定資産税は、都市用水のみであることから、都市用水に係わる利水容量の再編に伴い、ダム所在市町村の収入となる固定資産税が変動することとなる。また、電源交付金についても、水力発電の出力の変動に伴い、交付金額が変動することとなる。これらの問題解決に向けては、例えば原因者である治水において、減収補填を行う制度創設が考えられることを示した。

表-Ⅱ.3.5.1 ダム群再編手法のメリット・デメリットの整理

ケース	財産権	使用権等	操作規則	維持管理費	税金・交付金	メリット・デメリット
1	●	●	●	●	●	○再編内容に応じて権原・財産や関連事項を全て変更するため 法的問題がない 。
						×権原・財産、操作規則、維持管理費アロケ、税金・交付金等を全て見直す必要があるため、 関係者との調整等に時間を要する 。
2	—	●	●	●	●	○協定書に加え操作規則を変更することでダム運用を何に基づいて実施しているかが明確になる。実運用上、より 実用的な操作規則により運用することが可能 となる。
						×兼用工作物の財産権を変えないことについて、影響を受ける利水者に対して協定書等で理解を得ることは難しいものと考えられる。 ×水利権者の変更時において協定等による 運用が法的に問題となる可能性 がある。
3	●	●	●	●	—	○再編対象の ダム所在市町村への支出・収入に影響がない ため、税金に関する手続きやダム所在市町村との調整が容易である。
						×権原・財産、維持管理費等を見直す場合、税金・交付金についても併せて見直しを行うべきであるため、 法的に問題となる可能性 がある。
4	●	●	●	—	—	○アロケーションを変更しないため、 事業者との費用負担調整が容易 になる
						×権限・財産を変更したにも関わらず、維持管理費の支出先や負担額が変わらないことが、 法的に問題となる可能性 がある。
5	—	—	●	—	—	○協定書、操作規則を変更することでダム運用を何に基づいて実施しているかが明確になる。より 実用的な操作規則により運用することが可能 となる。
						×変更した操作規則と権原・財産の間に不整合が生じ、 法的に問題となる可能性 がある。
6	—	—	—	—	—	○取水地点を共有するような利水形態においては 関係者合意が得られやすい と考えられる。
						×協定による運用について、 法的に問題となる可能性 がある。 ×治水で実施する場合、運用時の事故発生で国の責任が大きく問われる可能性がある。

Ⅲ 気候変動の影響に適応した国土保全方策の検討

1. 国土の脆弱性に関する俯瞰的評価の検討

1-1 長期沿岸防災計画のための地域タイプ分けと特性分析

将来、気候変動に伴い外力は増大、人口は減少に転じるという異なる局面を迎える。この観点から地球温暖化による自然条件の変化と同時に変異する社会状況の変化を把握し、事業の選択化・多様化により海岸保全の方向性を決定することが不可欠である。

本研究では、地域特性の変動を考慮した長期沿岸防災計画立案の第一歩として、わが国沿岸の社会特性分布を分析・整理することを目的とした。具体的には既往の国土数値情報の活用を図り、沿岸地域の施策方針の適合性による分類を実施した。

防災面の経験として、東北地方太平洋沖地震津波による被害や菜生海岸の海岸災害の教訓より海岸保全施設の背後であっても十分安全となる標高までの施策における配慮が必要であること、阪神大震災やハリケーンカトリナの経験として災害により地域の機能が損傷するとその回復は厳しいこと、地域ネットワークの再構築（特にコミュニティ）には長期を要すること等を考慮して影響範囲を設定することが肝要と考えられる。しかしながら、この点については社会学モデルを導入する必要があると考えられるため、本試算では内陸の範囲を広めに設定するにとどめた。ここで、標高毎に存在している人口の分布を把握しておく必要がある。人口データと標高データのオーバーレイにより各標高の人口と年変化を示したのが図-Ⅲ. 1. 1. 1である。この図からも1m以下の人口は全体に比して少なく、大都市圏のゼロメートル地帯とその周辺とが半数以上と考えられる。

地域特性の分析は、①人口増減、②人口密度、③災害弱者比率、④地形的危険度、⑤交通エネルギー

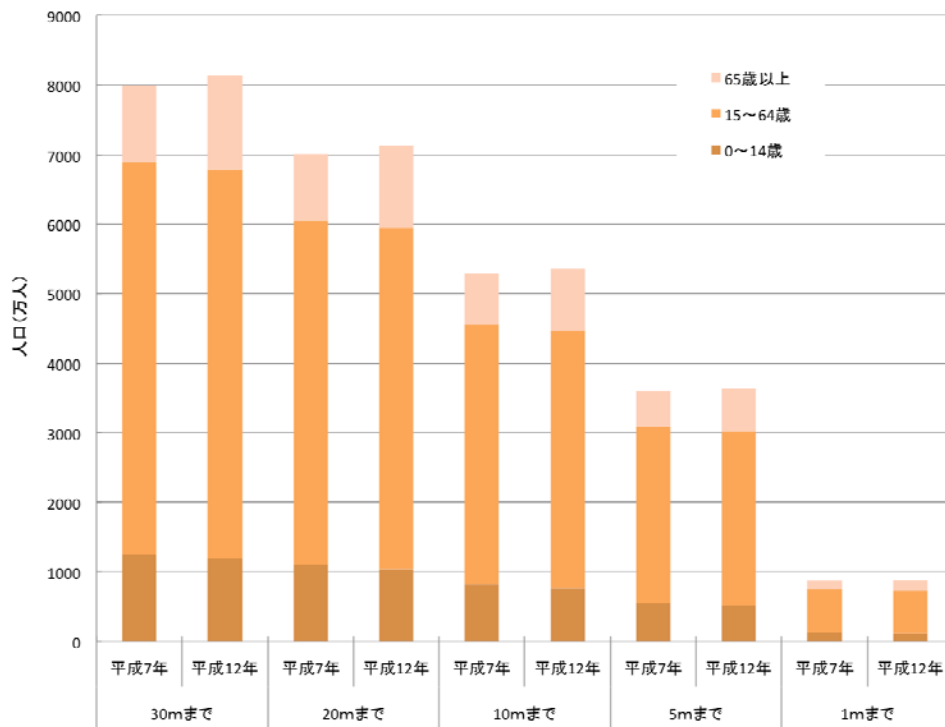


図-Ⅲ. 1. 1. 1 我が国の人口の標高別分布

一、⑥浄水・し尿処理施設の6つの指標を5段階に評価し、海岸法でいう「防護」と「環境」の観点から、防護のためのハード整備の必要性を分類することを意図し、表-Ⅲ.1.1.1に示すa)～e)の5つの沿岸タイプに分類した。各沿岸タイプの分類と着目した指標・その閾値は表-Ⅲ.1.1.2に示すとおりである。全国の沿岸についてタイプ分類した結果を示したものが図-Ⅲ.1.1.2である。図から、直轄海岸を抱える沿岸はほとんどが防護必須型及び防護優先型に分類されており、大きな違和感はないものになっている。一方で、人口増減等については直近のトレンドで分類しており、温暖化の影響も標高10m以上まで影響があるはずとの前提で整理されており、今後改良の余地があるかもしれない。

今後の政策への活用としては、図-Ⅲ.1.1.2のような分類結果を沿岸住民や国民と情報共有し温暖化適応策のハード整備重点化地域設定、そこから漏れた地域への早期ソフト対策充実の方向性が良いかについて議論していくことが考えられる。

表-Ⅲ.1.1.1 分類した沿岸タイプの性質の定義

沿岸タイプ	地域特性とハード整備の必要性
a) 防護必須型	人口密度：高い ， 人口 ：増加傾向 社会資本：整備が進んでいる <ハードによる防護が必要不可欠>
b) 防護優先型	人口密度：高い ， 人口 ：増加傾向 社会資本：整備中もしくはほどほど <自然環境への配慮余地あり>
c) 防護・自然 バランス型	人口密度：高い ， 人口：減少傾向 または、 人口密度：低い ， 人口：増加傾向 <防護と環境の両立（バランス）が重要。>
d) 自然適用型	人口密度：低い ， 人口 ：減少傾向 災害弱者比率：大 <ハード整備よりも環境を重視し、被害軽減を目指した防護施設と、徹底したソフト対策による減災を進める。>
e) 自然回帰型	人口密度：低い ， 人口 ：減少傾向 <自然海岸の価値の創造とソフト対策による自己防衛のための情報強化を進める>

表-Ⅲ.1.1.2 沿岸タイプの区分基準

沿岸タイプ	増減	密度	弱者	危険	交通 エネ	し尿
a) 防護必須型	4以上	4以上	—	—	4以上	4以上
b) 防護優先型	4以上	4以上	—	—	3以下	3以下
c) 防護・自然 バランス型	—	—	—	—	—	—
d) 自然適用型	2以下	2以下	4以上	4以上	—	—
e) 自然回帰型	2以下	2以下	3以下	3以下	—	—

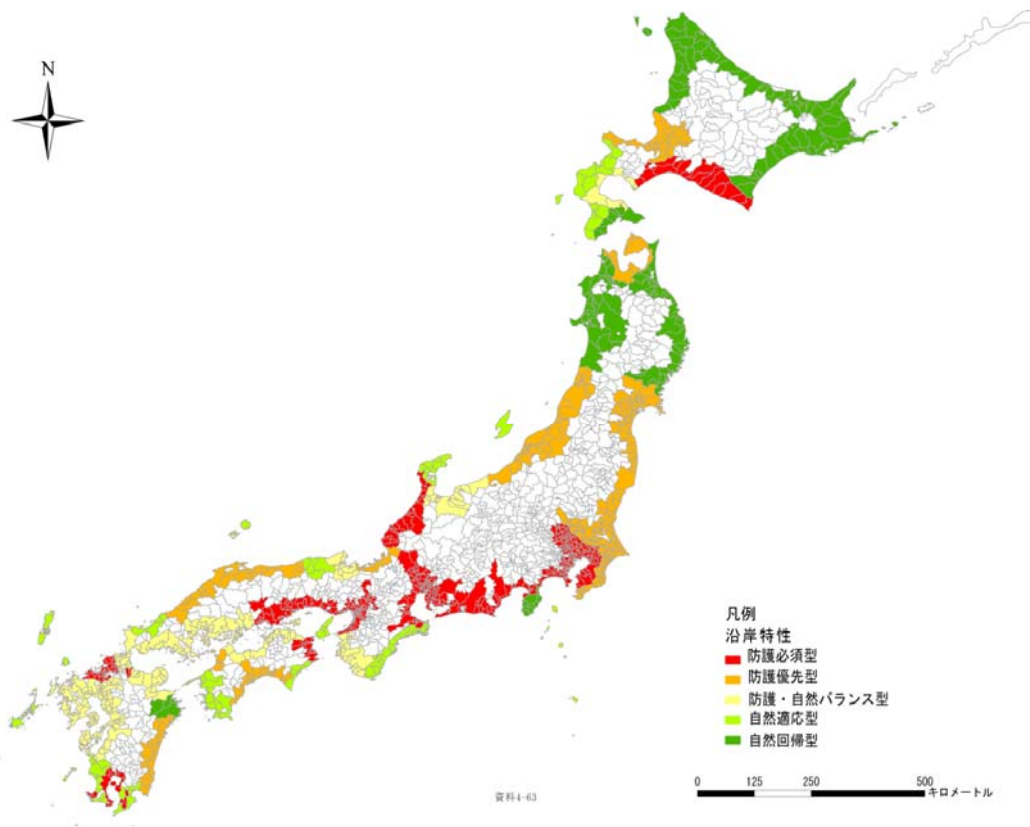


図-Ⅲ. 1. 1. 2 沿岸区分ごとのタイプ分け

1-2 気候変動に伴う降雨変化が土石流や斜面崩壊発生に及ぼす影響の検討

a) 概要

砂防研究室は、(社)砂防学会研究開発部会に設置された「気候変化が土砂災害に及ぼす影響に関する研究委員会」に参画し、気候変化と土砂災害の発生に関する基本情報の整理を行った。

委員会では、素因分科会、誘因分科会、短期現象分科会、長期現象分科会、極端現象分科会、雪崩分科会の6つの分科会を設置した。気候変動が土砂災害の素因や誘因に与える影響を検討することは、将来の土砂災害対策を検討する上での前提となる。降雨強度の大きな局地的豪雨や積算雨量の大きい豪雨が今後多発することが懸念されている。その豪雨によって短期間に土砂移動への影響が現れるものを短期現象、降雨規模全体が大きくなることで長時間を要して顕在化する支障がより激しくなるものを長期現象と称し、それにより土砂災害の発現形態がどのように影響を受けるのかを検討した。

b) 素因の整理

土砂生産や斜面崩壊の素因としての地盤条件は物理的風化と化学的風化が関与しているので、気候変化による熱環境の変化、植生の変化、地下水の動態変化が素因にどのような影響を与えるのか考えなければならない。

熱環境としては、気温、日射量、日較差などが考えられ、これらは物理的風化の中でも凍結融解作用による風化に大きな影響を与える。直感的には、気温が上昇すれば凍結融解の頻度は少なくなり、

凍結深度も小さくなると考えられるが、積雪が少なくなると積雪による断熱効果が減少し、凍結融解がむしろ活性化される可能性もある。

地下水の動態は降雨条件が変化すれば何らかの影響を受ける。少降雨状態が長く続けば常時の地下水位が下がることが考えられ、これは化学的風化に影響を与える。また、豪雨前の地下水位が下がった状態になれば、崩壊に必要な降雨量は多くなると考えられ、崩壊発生条件も変化することが予想される。

気候変化の影響を受ける地被条件として森林植生の変化が挙げられるが、想定される気温変化、降雨条件の変化によって森林が荒廃するほどの影響を受けるかどうかはわからない。また、気温変化によって樹種の変化がもたらされ、この変換の過渡期に森林が荒れた状態になることも考えられるが、このことも明らかになっているわけではない。さらに、地球温暖化緩和策としての森林管理のあり方が変化すれば、地被条件は人為的に変化させ得ると考えられる。

c) 誘因の整理

土砂災害の誘因となる気象現象については、100mm/h を超えるような局地的な集中豪雨（たとえば、平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨）や、一連の降雨量が 1,000mm を超えるような台風による大雨（たとえば、平成 17 年 8 月台風 14 号）等、極端な降水現象の増加が指摘されている。全国的な変化傾向に着目すると、年降水量に明確な変化傾向は認められないが（図-Ⅲ. 1. 2. 1）、極端な大雨は明らかに増加していることがわかる（図-Ⅲ. 1. 2. 2）。

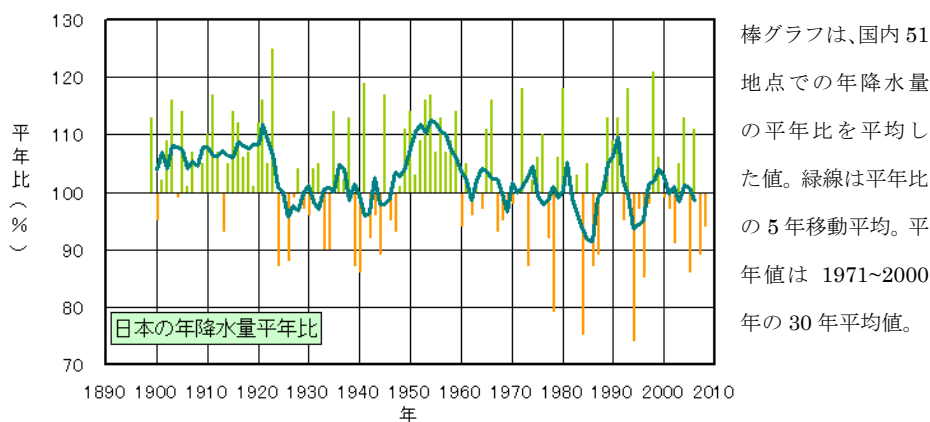


図-Ⅲ. 1. 2. 1 日本における年降水量の経年変化（1898~2008）

出典：気候変動監視レポート 2009（気象庁）

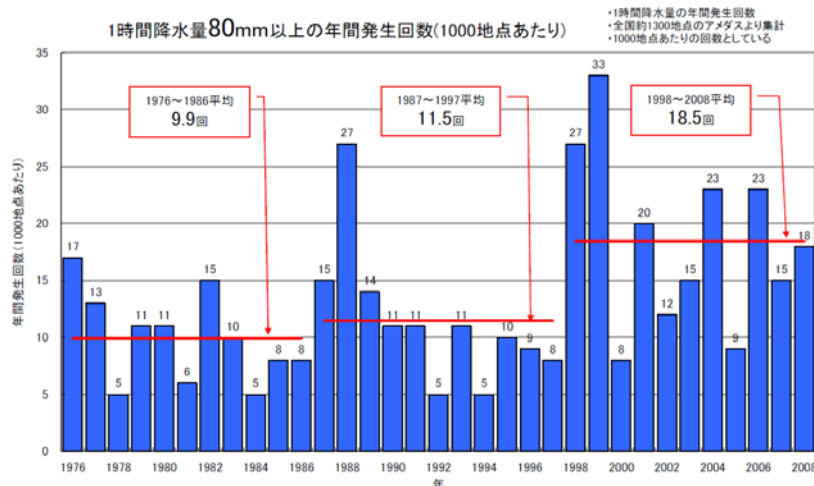


図-Ⅲ. 1. 2. 2 (1) 1時間降水量 80mm 以上の年間発生回数

出典：気候変動監視レポート 2009（気象庁）

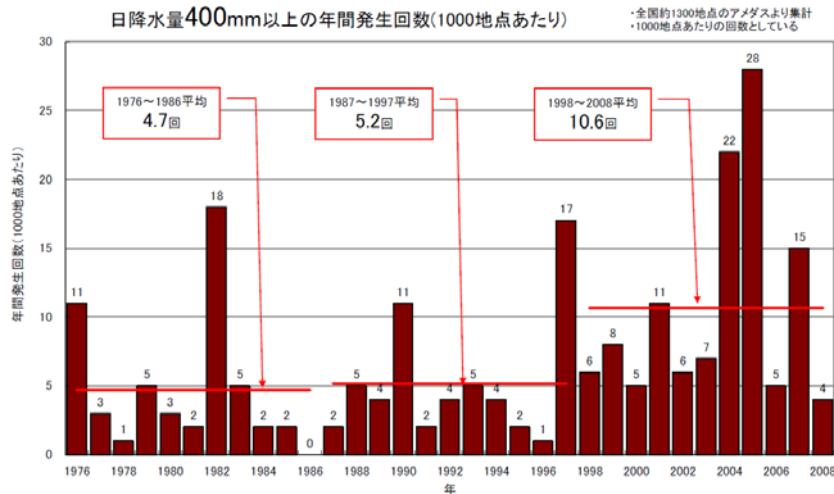


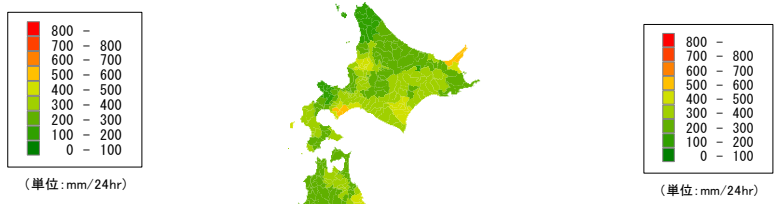
図-Ⅲ. 1. 2. 2 (2) 日降水量 400mm 以上の年間発生回数

出典：気候変動監視レポート 2009（気象庁）

d) 降雨量の変化が及ぼす土石流ピーク流量への影響について

1980～1999年の、全国のアメダス観測所における降雨量の観測結果を整理すると、全体の約7割の地点で年最大時間雨量が増加傾向を示した。このことから、土石流による土砂災害リスクは今後大きくなることが予想された。そこで、土石流のピーク流量が全国でどの程度高まるのかを推定した。図-Ⅲ. 1. 2. 3は全国の市町村毎に推定した、2080～2099年の100年超過確率規模の24時間雨量である。この期間の年最大24時間雨量は1980～1999年までの各年で観測された年最大24時間雨量に、IPCC第4次評価報告書で報告された年9%の増加率分を上乗せした値とした。図-Ⅲ. 1. 2. 4は、100年超過確率規模の24時間雨量から推定した土石流ピーク流量の分布である。土石流ピーク流量の算定は砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説に従った。また、推定に用いた土石流危険溪流のデータは平成11年度に実施した調査に基づいている。1980～1999年の期間と2080～2099年の期間を比較すると、全土石流危険溪流の6%程度で土石流ピーク流量が増加する。土石流ピーク流量推定に用い

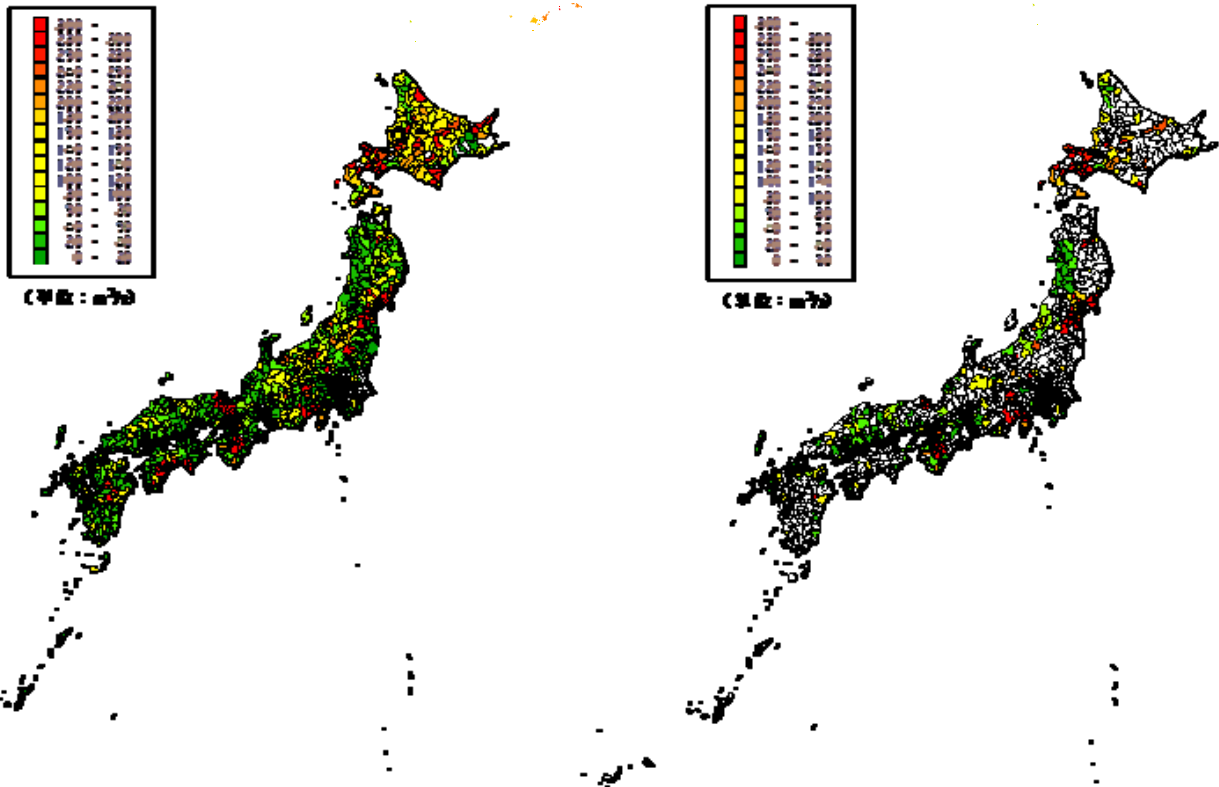
た流域内の移動可能土砂量が降雨による運搬可能土砂量を上回る溪流が多くなかったため、土石流ピーク流量が増加する溪流はあまり多くなならない結果となっている。



(a)1980~1999

(b)2080~2099

図-Ⅲ. 1. 2. 3 100年超過確率24時間雨量



(a) 1980~1999

(b)2080~2099

*(a)からみて変化のない所は白抜き表示

図-Ⅲ. 1. 2. 4. 土石流ピーク流量の変化

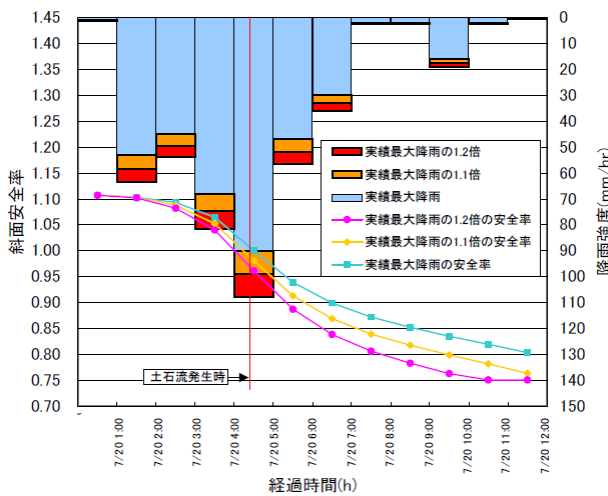
e) 降雨量の変化が及ぼす斜面崩壊への影響について

平松（1991、愛媛大学学位論文）の表層崩壊発生予測モデルを用いて、降雨量の変化が斜面崩壊発生に与える影響を検討した。対象区域は、平成 15 年 7 月 20 日に豪雨により多数の斜面崩壊が発生した熊本県水俣市宝川内地区および深川新屋敷地区（約 25km²）である。対象区域を 50m メッシュに分割し、実際の斜面崩壊の状況を再現するように土質強度などのパラメータをフィッティングした上で、宝川内地区のアメダス実績降雨波形（最大時間雨量 90mm、累積雨量（12 時間）342mm）の降雨強度を 1.1 倍および 1.2 倍に増大させた場合（図-Ⅲ. 1. 2. 5）の崩壊発生状況を計算した。

崩壊メッシュ数の経時変化を図-Ⅲ. 1. 2. 6 に示す。実績降雨波形を与えた場合では、計算時間（12 時間）内に崩壊する（安全率<1.0）と判定されたメッシュ数は 322 であったが、降雨強度を 1.1 倍および 1.2 倍に引き伸ばすと、崩壊メッシュ数はそれぞれその 1.44 倍、1.77 倍に増加した。

対象区域内のメッシュにおける安全率の経時変化を図-Ⅲ. 1. 2. 5 に示す。このメッシュは、4:20 頃に発生したと推定される土石流の発生域にあたっており、ほぼ同時刻にこのメッシュで崩壊が発生したと考えられる。崩壊発生時刻（安全率が 1.0 を下回る時刻）は、実績降雨波形を与えて計算した場合は 4:40 であったが、降雨強度を 1.1 倍および 1.2 倍にすると、崩壊発生時刻はそれぞれ 20 分、30 分早まることがわかった。

このように、降雨強度が大きくなると崩壊斜面数は急増し、甚大な災害が発生することが予想される。さらに、崩壊発生時刻も早くなることから、警戒・避難行動はこれまで以上に迅速な対応が必要になる。土砂災害警戒情報等の防災情報により确实・迅速な運用を行う必要があると考えられる。



	安全率が1.0を下回った時刻	実績最大降雨との時間差
実績最大降雨	4時40分	0分
実績最大降雨の1.1倍	4時20分	-20分
実績最大降雨の1.2倍	4時10分	-30分

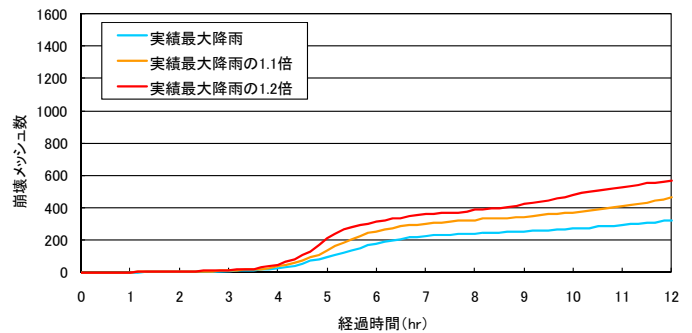


図-Ⅲ. 1. 2. 6 崩壊メッシュ数の経時変化

図-Ⅲ. 1. 2. 5 与えた降雨波形および安全率の経時変化（例）

f) 降雨量増加に伴うがけ崩れの発生頻度（発生数）と発生規模（崩壊土砂量）の変化

砂防研究室では、がけ崩れの発生した斜面の位置や誘因となった降雨の状況等に関する情報を昭和 47 年から収集しており、平成 19 年までに約 19,000 件のデータを蓄積している。この情報を用いて、がけ崩れ発生と降雨量との関係进行分析し、降水量の増加に伴うがけ崩れの発生頻度（発生数）と発生

規模（崩壊土砂量）の変化を評価した。

f-1) 降雨量の変化とがけ崩れ発生頻度の関係

T 年間で k 個のがけ崩れデータがある場合、雨量 R の任意の値を r とし、 k 個のデータのうち雨量が r 未満の割合を $\phi(r)$ とすると、雨量 $R > r$ となる斜面崩壊が発生する年平均回数 $nh(r)$ は、

$$nh(r) = \phi(r) \frac{k}{T} \tag{III. 1. 2. 1}$$

と表現できる。こうして得られた連続雨量と年平均災害発生件数との関係を図-III. 1. 2. 7 に示す。連続雨量が 400mm 以下の場合には、雨量の増分に伴って災害の発生数はほぼ直線的に増加するが、連続雨量が 400~500mm を超える付近からその増加幅は緩やかになる。連続雨量が 400mm 以下の直線的な増加の部分は、比較的短時間で表層土が飽和して崩壊に至り、連続雨量が 400~500mm に達するまでに崩壊すべき斜面が順次崩壊していく状況を示していると考えられる。連続雨量が 400~500mm を超える付近から増加幅が緩やかになるのは、表層崩壊として崩壊し得る斜面が概ね崩壊してしまった一方で、それ以上の降雨量がなければ崩壊には至らない条件の斜面（たとえば、勾配の緩い斜面）がここに来て崩壊を始めるが、崩壊に至るにはもともと多量の降雨を必要とすることから崩壊斜面数の増加量が鈍化するためと考えられる。図-III. 1. 2. 8 は、斜面角度別に崩壊に至った時の連続雨量頻度を示したものである。いずれの斜面角度にあっても崩壊発生時点の連続雨量にはバラツキがみられるが、斜面角度と連続雨量の平均値をとってその関係を見ると、表-III. 1. 2. 1 に示すように斜面角度が小さいほうが大きい場合よりも崩壊には多くの降雨量が必要である傾向がうかがえる。

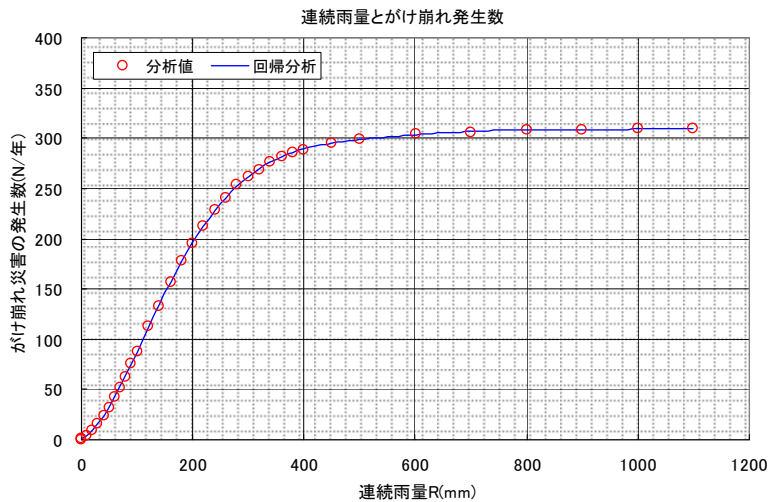


図-III. 1. 2. 7 連続雨量の変化とがけ崩れ災害発生数の関係

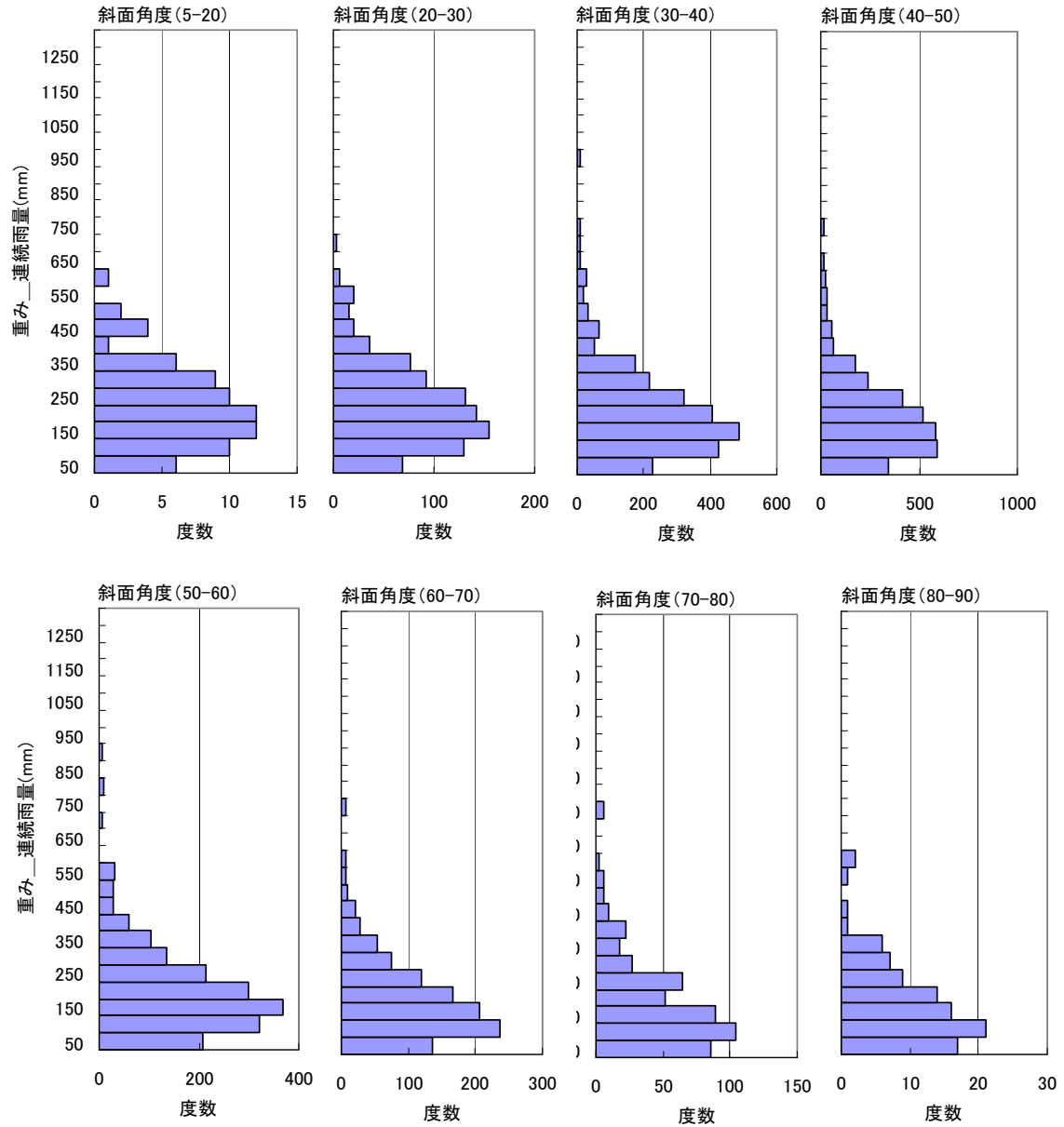


図-Ⅲ.1.2.8 斜面角度別の連続雨量頻度

表-Ⅲ.1.2.1 斜面角度別の連続雨量（平均値）

角度	平均角度	個数	平均雨量	中央値
5-20	17.527	73	202.873	182.00
20-30	29.089	900	203.576	181.50
30-40	37.540	2504	193.859	164.00
40-50	46.734	3131	182.053	155.00
50-60	58.188	1837	185.969	154.00
60-70	68.218	1077	168.602	139.00
70-80	77.464	489	166.876	131.30
80-90	87.042	95	155.805	126.00
平均	48.911	—	182.452	156.00

図-Ⅲ. 1. 2. 9 は、がけ崩れ発生時点の連続雨量の平均値（187mm：ここでは、地質区分できた崩壊地のデータのみを用いたため、表-Ⅲ. 1. 2. 1 に示した平均雨量とは数値が異なっている）を基準とし、連続雨量が 5%~30%増加した時のがけ崩れの発生件数増分を示したものである。この結果によると、連続雨量が 5%増加でがけ崩れ発生数は 5%程度増加し、同様に連続雨量が 10%、20%増加で発生数はそれぞれ 9%、18%程度増加することになると予測できる。

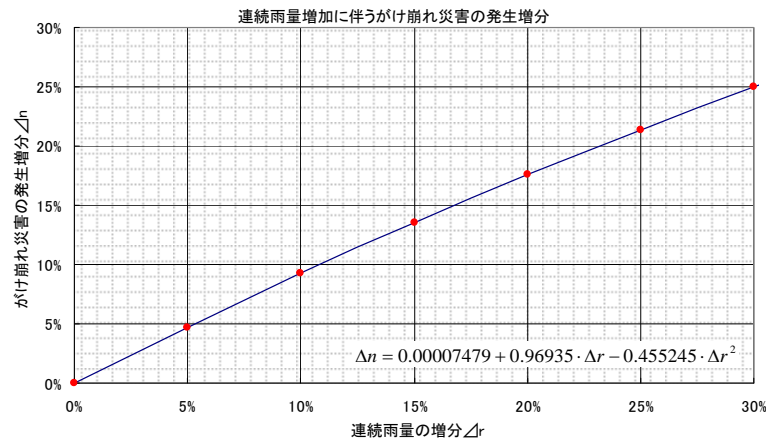


図-Ⅲ. 1. 2. 9 連続雨量の増分とがけ崩れ災害の増分

f-2) 降雨量増加に伴うがけ崩れ発生規模（崩壊土砂量）の変化

図-Ⅲ. 1. 2. 10 は崩壊発生までの連続雨量と 90%、95%カバー崩壊土砂量の関係を示したものである。図-Ⅲ. 1. 2. 11 は崩壊発生までの最大時間雨量と 90%、95%カバー崩壊土砂量の関係を示したものである。どちらも、雨量が増加した状態では崩壊土砂量が大きいものまで発生する可能性が高まる傾向を示している。

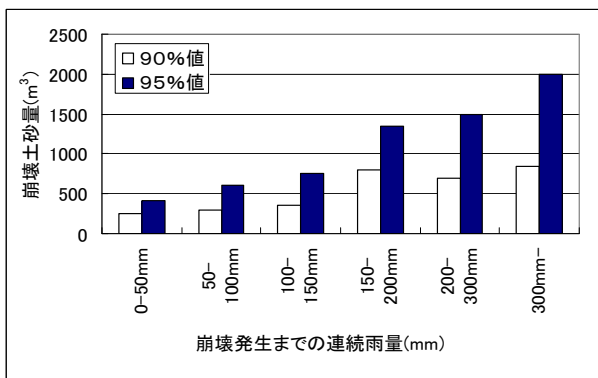


図-Ⅲ. 1. 2. 10 崩壊発生までの連続雨量と崩壊土砂量との関係

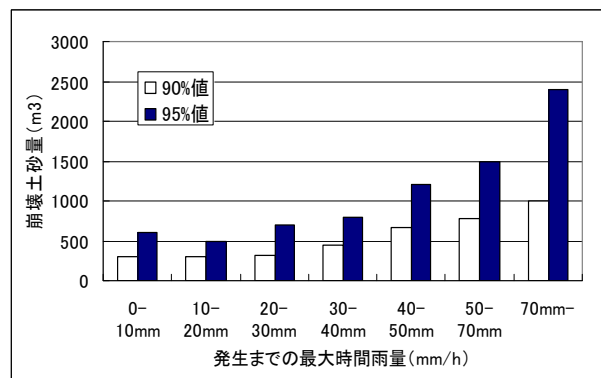


図-Ⅲ. 1. 2. 11 崩壊発生までの最大時間雨量と崩壊土砂量との関係

f-3) 地域別のがけ崩れ発生件数の増加予測

社会資本整備審議会の答申においては、全国を 11 の地域に区分した上で、共生 GCM20 による中位のシナリオに基づく外力（降水量）の変化量についての推定が試みられている。それによると、100 年後の年最大日降水量は現在に比べて概ね 1.1~1.2 倍となり、北海道、東北など地域によっては 1.3 倍、最大で 1.5 倍となる (A1B シナリオ)。100 年後における地域別の降水量の変化については、GCM20

で予測された年最大日降水量の増分と連続雨量の増分が等しいと仮定し、GCM20 で予測された年最大日降水量の変化率の中位値を用いることとした。

全国 11 の地域における降雨変化予測と、連続雨量の増分とがけ崩れ発生件数の増分の関係（図-Ⅲ.1.2.8）から予測されるがけ崩れの発生増分は、表-Ⅲ.1.2.2 に示すとおりである。がけ崩れの発生増分は、雨量増分に比例するような傾向を示し、最も雨量増分が低い中部地方でのがけ崩れ災害は 5.7%の増加、雨量増分が多い北海道で 20.6%、東北地方で 19.1%、それぞれがけ崩れが増加すると予測された。全国的には、概ね 6%~20%程度の増加になると予測された。

表-Ⅲ.1.2.2 降雨変化とがけ崩れ発生増分の関係

NO.	地域名	雨量増分	がけ崩れ災害の増分
①	北海道	1.24	1.206
②	東北	1.22	1.191
③	関東	1.11	1.101
④	北陸	1.14	1.127
⑤	中部	1.06	1.057
⑥	近畿	1.07	1.066
⑦	紀伊南部	1.13	1.118
⑧	山陰	1.11	1.101
⑨	瀬戸内	1.10	1.092
⑩	四国南部	1.11	1.101
⑪	九州	1.07	1.066

e) まとめと課題

気候変化により土石流、斜面崩壊の発生に関わる要因がどのように変化・作用するのかは複雑であり、必ずしも明確に議論できるレベルにまでは至っていない。しかしながら降水量の増加は、斜面崩壊や土砂移動現象に対して、その激しさを増す方向に作用するであろうことは想像されるため、一定の降雨増加を仮定した場合の土砂移動現象の変化を想定した。

24 時間雨量が 9 %増加した場合の土石流ピーク流量の増加については、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策指針）の手法に従った場合には、全土石流危険溪流のうち 6 %程度の溪流での増加に留まった。これは、移動可能土砂量によって土石流規模が決まっている溪流が多いためであり、本手法が対象としている「渓床不安定土砂再移動型」の土石流に関しては、発生頻度が増加したとしても、ピーク流量や氾濫範囲が増大する影響は限定的であるという結果である。

一方で、斜面崩壊については、実績降雨強度を 1.1 倍、1.2 倍に引き伸ばしたシミュレーション検討事例においては、崩壊メッシュ数がそれぞれ 1.44 倍、1.77 倍となり、崩壊発生時刻も数十分早まる結果であった。また、過去のがけ崩れデータ・ベースを整理すると、崩壊発生までの連続雨量が 400 ~500mm 程度までは降水量の増加に伴って年間がけ崩れ発生数も一様に増加していくことが分かる。また、斜面角度毎の崩壊発生時点の連続雨量の分布からは、連続雨量が増加することで、緩勾配斜面での崩壊発生の比重が高まることも示唆された。さらに、連続雨量、最大時間雨量の増加は、崩壊土砂量の大きながけ崩れを引き起こす可能性が高くなるという結果も得られた。

これらの結果からは、降雨の規模が増加していった場合、土石流やがけ崩れの発生頻度が増大することは当然として、対象とすべき土石流の形態が「溪床不安定土砂再移動型」だけではなく、「斜面崩壊型」のものも考慮すべきこと、より緩勾配の斜面での崩壊発生や崩壊土砂量が増大する可能性が高まることにも留意しなければいけないこと、さらに災害発生時間の早期化など、防災計画のあり方も変化させなければならないことが示唆された。

本章では、主に局地的な短時間豪雨の発生頻度が増加することによる土石流と斜面崩壊への影響について言及したが、局地的な短時間豪雨によっては、さらにフラッシュフラッドも発生しやすくなることが想定される。フラッシュフラッドは多くの山地溪流で発生する可能性があり、広い範囲での精度良い予測手法が求められる。局地的短時間豪雨の把握・予測手法とその活用方法の検討が今後の重要な課題のひとつと考えられる。

2. 水関連災害の被害評価手法の高度化検討

2-1 水害の経済評価の高度化と改良

a) はじめに

我が国の国土は、厳しい自然条件下にあり、河川氾濫区域内に人口や資産が集中する社会条件も加わり、洪水による甚大な被害を受けやすい状況にある。このような状況に対処するためには、優先順位の高い事業から効率的に進めていくことが重要であり、一定の規則に従い費用対効果を適切に評価する必要がある。現在、河川改修やダム・遊水池などの治水施設整備を実施する際には、その整備効果について、「治水経済調査マニュアル（案）」⁵⁾に準拠した手法で、治水事業による被害軽減額を事業効果として評価し、費用対効果分析を行っている。現行マニュアルの被害項目は、表-Ⅲ.2.1.1に示す通り、直接被害、間接被害に大別されるとともに、様々な項目に分類されるが、具体的な算定方法が示されている項目は、浸水による家屋・家財の被害や事業所の償却・在庫資産等の直接被害や、一部の間接被害に限られており、その他の間接被害については、算定方法が確立されておらず、治水事業効果の適切な評価の観点から課題が残されている。

表-Ⅲ.2.1.1 治水経済調査マニュアル（案）の被害項目

分類	区分	細分	内容 ^(注1)
直接被害	一般資産被害	家計	家屋・家財被害
		事業所 ^(注2)	償却・在庫資産被害
		農漁家	償却・在庫資産被害
	農作物被害		農作物の減収
	公共土木施設水害		公共土木施設、公益事業施設、農業用施設の被害
	人身被害		人命損傷
間接被害	営業停止被害	家計	浸水世帯の平時の活動阻害
		事業所 ^(注2)	浸水事業所の生産停止・停滞被害
	応急対策費用	家計	緊急的支出、代替品消費支出
		事業所	緊急的支出、代替品消費支出
		公共	ゴミ処理、避難所開設等の緊急的支出
	交通途絶被害		道路等交通途絶に伴う被害
	ライフライン切断による被害		電気・ガス・水道等の停止に伴う被害
	経済的波及被害		浸水事業所の営業停止被害から波及する周辺地域事業所での被害
精神的被害		浸水世帯の精神的打撃	

(注1) 網掛けの項目については具体的な算定方法が提示されている。

(注2) 公共・公益を含む。

b) 検討目的と方法

水害が発生し、浸水被害を受けた事業所は営業停止・停滞を余儀なくされるが、被災した事業所と取引関係にある事業所は、たとえ直接的な浸水被害を受けていなくても、間接的に被害を受けることになり、こうした被害が経済活動過程を通じて広範に波及していくことが考えられる。このような被害項目を経済的波及被害と呼んでいる。経済的波及被害の算定方法については、種々の検討

7), 8)がなされているところであるが、その確立には至っていない。

そこで、本検討では、近年発生した水害を対象に、被災した事業所の営業停止・停滞等による、被災地以外、及び他の経済主体（家計）に帰着される波及被害の推計を試みた。

c) 水害被害額の算定手法

(1) 計量化の対象とした被害

「治水経済調査マニュアル（案）」は、事業所活動に関する被害額算定について、表-Ⅲ.2.1.2の通り示している。

表-Ⅲ.2.1.2 治水経済マニュアル（案）で対象とする事業所被害

事業所被害	算定方法
事業所償却・在庫資産被害	事業所償却・在庫資産額に、浸水深別の被害率を乗じることによって資産の直接的な浸水被害額を算定。
営業停止・停滞損失	浸水被害を受ける事業所の従業者数に、営業停止・停滞による損失延べ日数及び1人1日当たりの付加価値額を乗じて算定。
事業所における応急対策費用	浸水被害を受ける事業所数に、代替活動等支出負担単価を乗じ事業所における代替活動等に伴う支出増を算定。

本検討で構築した経済モデルは、表-Ⅲ.2.1.3に示すように、(1)直接的又は間接的に被害を受けた事業所における生産活動の停止・停滞が経済活動過程を波及して、最終的に財消費量の減少として、家計に帰着する被害（家計に帰着する波及被害）、及び(2)生産活動の停止・停滞によって資本が遊休化する被害（事業所にとどまる被害）、を計量化の対象としている。

表-Ⅲ.2.1.3 計量化の対象とする被害

営業停止・停滞損失	概要
家計に帰着する波及被害	① 直接的な浸水被害を受けた事業所からの経済波及被害
	② 間接的な浸水被害を受けた事業所からの経済波及被害
事業所にとどまる被害	③ 直接的な浸水被害を受けた事業所で遊休化した資本の金銭価値

家計及び事業所の経済主体から構成される経済システムにおいて、水害により被害が波及するイメージを図-Ⅲ.2.1.1に示す。水害発生前（平常時）には、事業所で生産活動が行われ、生産された製品（財・サービス）は家計によって消費されるか、他の事業所によって原材料として利用されている。ここで水害が発生して、事業所の生産活動が低下すると、ユーザーに対する製品の供給減少が生じ、サプライチェーンを通じて、その影響は伝播していく。

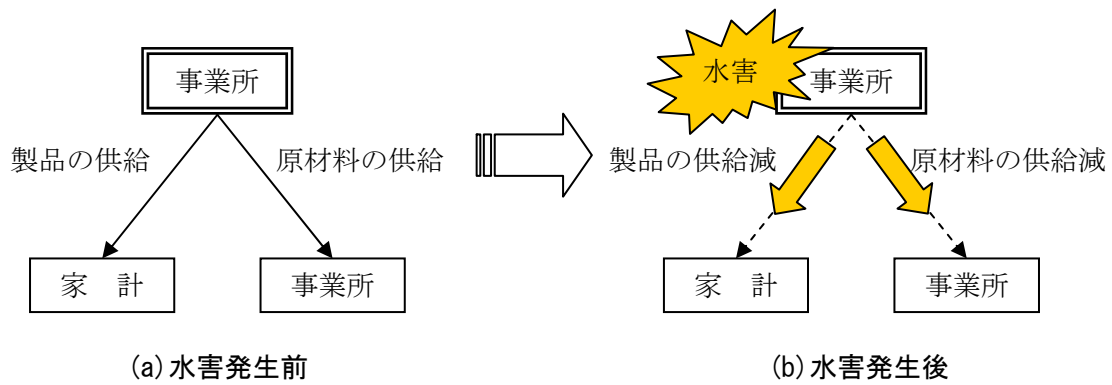
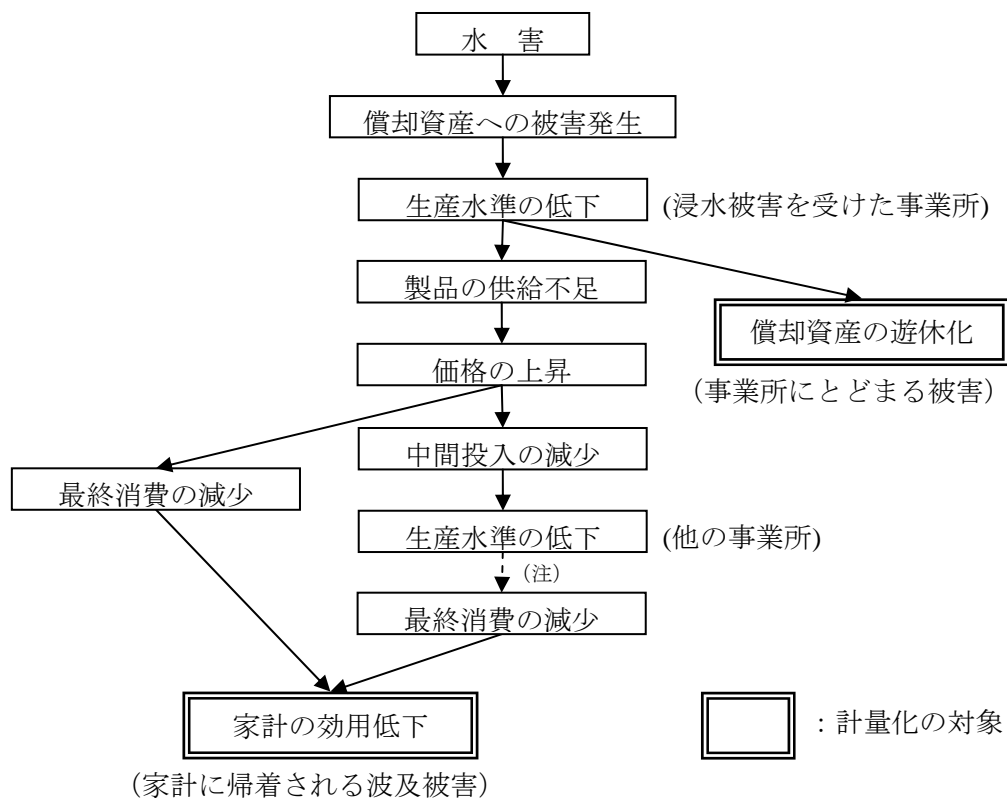


図-Ⅲ. 2. 1. 1 水害による被害の波及イメージ

波及被害は、最終的に消費財等の不足として、家計の効用低下に帰着され、モデルでの計量化の対象となる。モデルが扱う被害波及の流れを図-Ⅲ. 2. 1. 2 に示す。



(注) 浸水被害を受けた事業所と同様に「製品の供給不足」→「価格の上昇」の過程がある。

図-Ⅲ. 2. 1. 2 被害波及の流れ

(2) 使用した経済モデルの基本構造

本検討では、土屋・多々納・岡田(2005)「新潟県中越地震による経済被害の計量化」⁷⁾が示した

「空間的応用一般均衡モデル」を用いた地域経済のモデル化の考え方を採用した。「空間的応用一般均衡モデル」は、「全ての市場でのモノやサービスの取引（売買）の需要と供給が一致（均衡）している」との仮定のもとで、自然災害や公共プロジェクトが経済に与える影響・効果を評価する手法である。

本検討研究では、水害による産業の資本損傷を資本稼働率の低下として表現して、地域間・産業間の経済的依存関係を通じて、財の価格・生産量、家計効用に与える影響を定式化した。地域・経済主体（家計・企業）の相互依存関係を図-Ⅲ. 2. 1. 3 に示す。

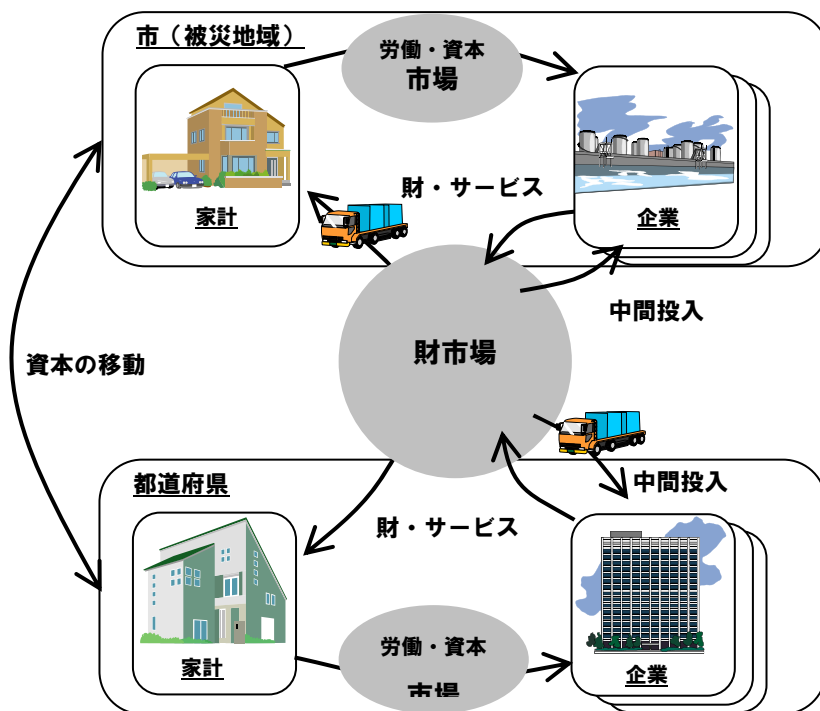


図-Ⅲ. 2. 1. 3 経済社会システムのイメージ

d) まとめと今後の課題

近年水害が発生した諏訪市・延岡市・名古屋市・豊橋市・岡崎市・一宮市の6市、及び名古屋市・豊橋市・岡崎市・一宮市の4市を統合したケースで算定を行った。

償却資産に資本稼働率の低下割合を乗じて算定した「事業所にとどまる被害」に対して、「事業所にとどまる被害」を入力データとして、産業連関表から経済モデルを用いて算定した「家計に帰着する波及被害」の関係は、図-Ⅲ. 2. 1. 4 の通りとなった。「家計に帰着する波及被害」は、「事業所にとどまる被害」の約4倍と算定され、「事業所にとどまる被害」に比べて相当に大きくなることが確認された。

今後は、こうした試算結果と水害統計調査等の結果を比較することにより、経済モデルや算定方法の信頼性の向上を図り、治水事業効果の適切な評価への反映に努めていく必要がある。

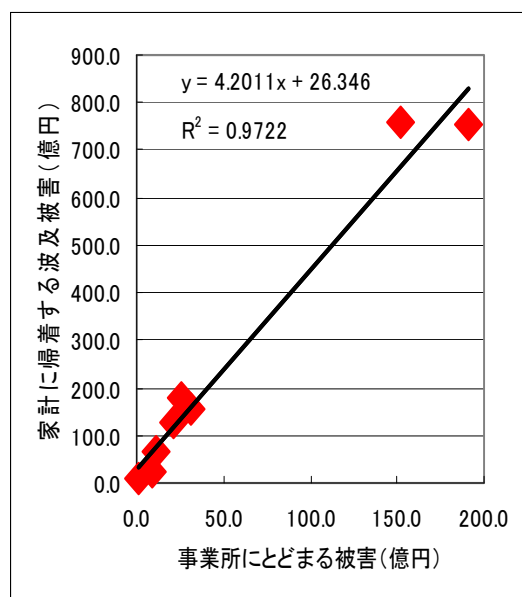


図-Ⅲ. 2. 1. 4 「事務所被害と家計波及被害」の関係性（4市統合含む）

2-2 渇水被害把握の高度化と改良

a) 新たな渇水被害項目の原単位検討

近年の社会状況の変化や渇水被害の情報等の資料を収集し、被害発生機構等の状況を整理し「渇水被害原単位」として、表-Ⅲ. 2. 2. 1 の項目を設定した。さらに、渇水時の被害状況等について実際の渇水を対象にヒアリング調査を実施し被害額原単位を設定した。

表-Ⅲ. 2. 2. 1 新たな渇水被害原単位調査項目

主体（水利用用途）	被害項目
家庭生活	井戸掘削、地下水利用、疎開
工場以外の事業所	事務所（病院、風呂）での水輸送、業務の外注、工事の遅延
工場	操業場所の変更
農業	代替水源確保のための投資、水購入・水運搬等の水確保、転作、作物被害、家畜死亡、水路改修、井戸掘削
自治体・水道事業体	給水車の投入、広報費、バルブ調整作業、住民対応等の渇水対策による残業増、水道局の経費増・収入減

b) 渇水受忍度の検討

渇水被害に対して、住民がどの程度の耐性を持っているかを確認するために、断水社会実験により調査を実施した。その結果を基に渇水受忍度について検討を行った。また、受忍度を応用した渇水調整について検討を行った。

(1) 社会実験の実施

大阪府枚方市において、住民 60 世帯 153 名を対象として、意識的に水を使用せず人為的に断水する社会実験を実施した。実験の概要を表-Ⅲ. 2. 2. 2 に示す。実験参加者に対して実施したアンケート結果を統計解析し、渇水耐性の弱い災害時要援護者の属性と渇水時の被害を把握することとし、属性は、国総研プロジェクト研究報告第 14 号を参考に、性別、年齢、住居状況、就業の有無等を設定した。今回の分析では受忍度という数量化できないデータを扱うため、数量化Ⅱ類を統計手法として用いた。すなわち、目的変数に受忍可否を、説明変数には属性をそれぞれ設定し、断水時間、

制限期間別に(1)式に示すモデル式を作成した。

表-Ⅲ. 2. 2. 2 断水社会実験概要

項目	条件	備考
実験実施の時期	平成21年9月25日～10月9日	
実験期間と断水時間	事前期間（断水を行わない） 6日	9月25日～9月30日
	6時間断水 3日	10月1日～10月3日
	9時間断水 3日	10月4日～10月6日
	12時間断水 2日	10月7日～10月9日
	計 14日間	
実験参加世帯数	60世帯（152人）	30世帯では「渇水による断水時の心構え」を事前配布

$$Y = aX_{11} + bX_{12} + cX_{21} + dX_{22} + eX_{23} + fX_{31} + fX_{32} \dots \quad (1)$$

Y：目的変数（受認の可否）

X_{ij}：説明変数（各属性）

a, b, c, ...：カテゴリースコア（目的変数への影響度）

モデル式は、回答結果をダミー変換して作成するものである。例えば、受認可であれば目的変数(Y)を1、不可であれば0とし、モニター属性として該当する場合には説明変数(X_{ij})を1、該当しない場合には0を設定してサンプル別に関係式を作成する。ここで目的変数0、1のグループを判別するため、相関比が最大となるように連立方程式を解き、各説明変数のカテゴリースコアを求める。この結果、得られたカテゴリースコア(a, b, c...)が正であれば受認可、負であれば受認不可に働く因子であると判断する。

分析結果を表-Ⅲ. 2. 2. 3 に示す。分析の結果カテゴリースコアが負となる、渇水に対して特に弱い属性としては、「家族人員が3人以上の世帯」「65歳以上のみの世帯」が抽出された。

表-Ⅲ. 2. 2. 3 分析結果（カテゴリースコア）

属性	カテゴリー	カテゴリースコア						
		6時間断水 3ヶ月継続	9時間断水 1ヶ月継続	9時間断水 3ヶ月継続	2～3日継続	12時間断水 1週間継続	12時間断水 1ヶ月継続	12時間断水 3ヶ月継続
性別	男	-0.52	-0.56	-0.42	-0.57	-0.43	-0.37	-0.31
	女	0.49	0.53	0.40	0.54	0.41	0.35	0.29
年齢	20歳未満	0.12	0.05	1.12	0.84	0.71	0.81	0.76
	20歳～64歳	-0.09	-0.42	-0.45	-0.42	-0.26	-0.36	-0.48
	65以上	0.17	1.35	0.15	0.40	0.01	0.22	0.70
家族構成	1人	-0.20	1.52	0.03	2.53	2.24	3.27	2.87
	2人	1.17	0.36	0.55	0.38	0.36	0.80	0.59
	3人	-1.83	-1.62	-1.33	-1.45	-1.37	-1.04	-1.26
	4人以上	-0.22	0.06	-0.01	-0.05	-0.03	-0.40	-0.22
高齢者の存在	65歳以上のみ	-0.67	-2.19	-1.38	-1.45	0.19	-2.02	-2.25
	65歳以上+65歳未満	-0.86	0.29	0.74	0.42	0.99	1.15	1.20
	65歳未満のみ	0.29	0.27	0.05	0.13	-0.24	0.06	0.09
幼児の存在	幼児のいる家庭	0.89	0.92	1.51	-0.31	-0.58	-0.77	-0.19
	幼児のいない家庭	-0.09	-0.09	-0.15	0.03	0.06	0.08	0.02
就業の有無	仕事に就いている	0.19	0.80	0.31	0.75	0.46	0.42	0.57
	仕事に就いていない	-0.18	-0.74	-0.29	-0.69	-0.42	-0.39	-0.53
住居状況	一戸建て	-0.15	-0.04	-0.08	0.15	0.03	0.03	0.03
	集合住宅	0.36	0.09	0.20	-0.36	-0.06	-0.06	-0.08
断水経験	断水体験有り	-0.09	0.03	0.39	0.21	0.06	0.07	0.20
	断水体験無し	0.08	-0.03	-0.35	-0.19	-0.05	-0.06	-0.18
節水意識	節水意識強い	0.00	0.24	0.17	0.24	0.25	0.16	0.23
	節水意識弱い	0.00	-0.40	-0.28	-0.40	-0.41	-0.27	-0.39

■：受認不可の因子上位2スコア

注）「カテゴリースコアが正：受認可」、「カテゴリースコアが負：受認不可」を示す。

(2) 受忍レベル曲線の作成

アンケート結果（断水が長期化した場合の厳しさの度合い）をもとに受忍レベルの評価を行った。「断水時間・期間」と「厳しさの度合い」の関係から、「厳しい」の回答比率50%・「やや厳しい以上の回答比率50%」の近似曲線を抽出し、受忍レベル図を作成した（図-Ⅲ.2.2.1）。断水期間が長くなるに従って、受忍できる、断水時間が短くなる傾向が理解できる。

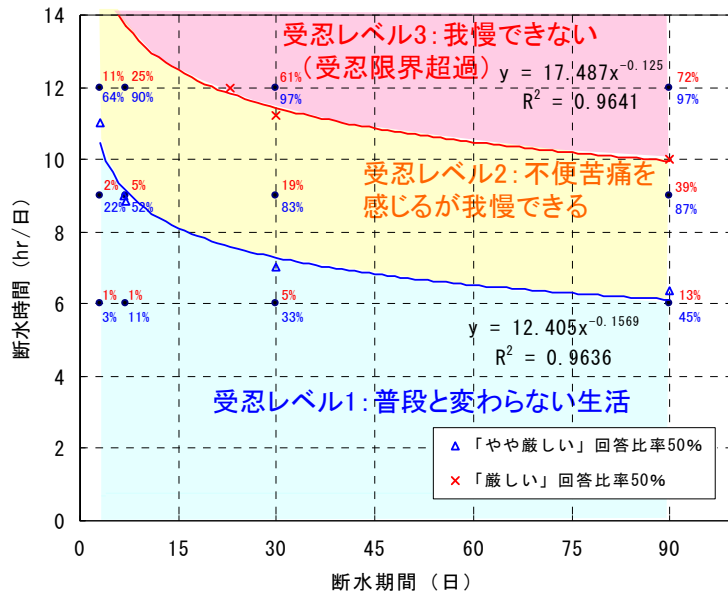


図-Ⅲ.2.2.1 受忍レベル曲線

(3) 受忍レベルを活用した施設運用シミュレーション

作成した受忍レベル曲線を基に、実施設備運用のシミュレーションを実施した。シミュレーションの対象としては、平成6年の吉野川における湧水を対象に、早明浦ダムにおける運用についてシミュレーションを実施した。結果を図-Ⅲ.2.2.2に示す。図中の、黄色で着色している箇所は、H6年に実際に行われた実績の給水制限である。赤色の実線が受忍レベル曲線を示しており、H6年の給水制限では、受忍レベルを超過していることがわかる。そのため新たに青色の実線で示す給水制限パターンを設定し、ダム容量に対してシミュレーションを実施したところ、最も貯水量が減少する時にもダムが枯渇しないことが確認出来た。今回のシミュレーションではこのような受忍レベルを基にした運用を行うことにより、施設のみでなく住民の視点に立った新たな湧水調整の可能性が確認された。

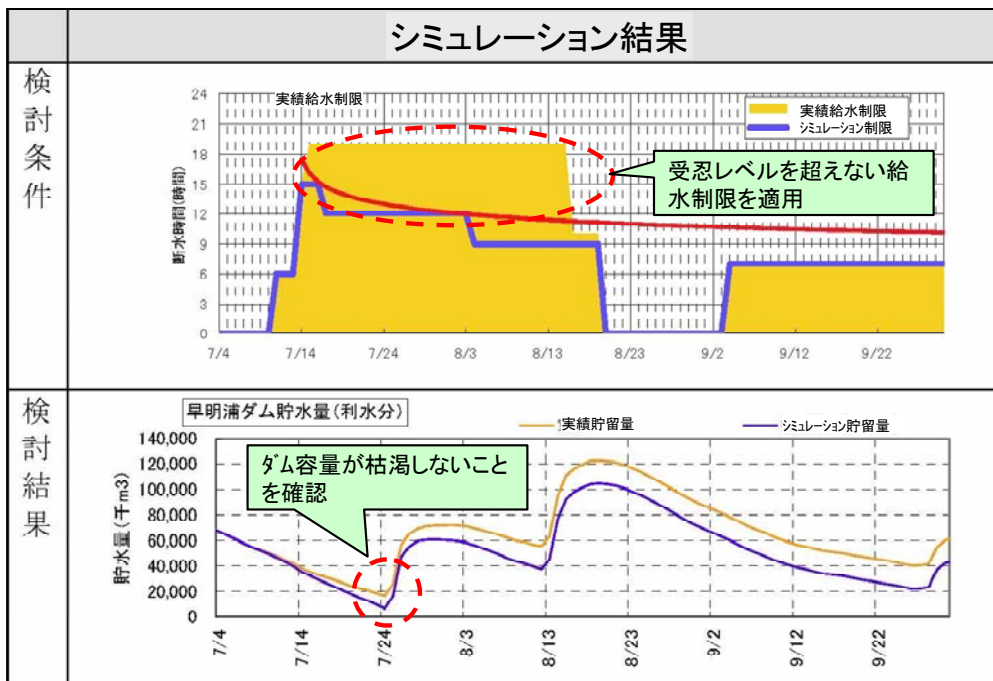


図-Ⅲ.2.2.2 湯水受忍度を基にした湯水調整シミュレーション

3. 水害に関する気候変動への適応ガイドラインの検討

気候変化に起因する洪水の強度と頻度の増加等は、地球規模の課題であり、地域によって影響の有無や度合は異なるものの、世界共通の課題である。その中でも、特にアジア・大洋州地域には、モンスーンアジアという気候条件や沖積地を生産・生活の基盤としているという土地条件が我国と類似している地域が多く、このような地域で気候変化への適応を図るためには、国、地方、コミュニティなど様々なレベルにおいて、政策決定者、実務者、市民、企業、科学者等幅広い関係者の理解と適応のための能力向上が重要である。

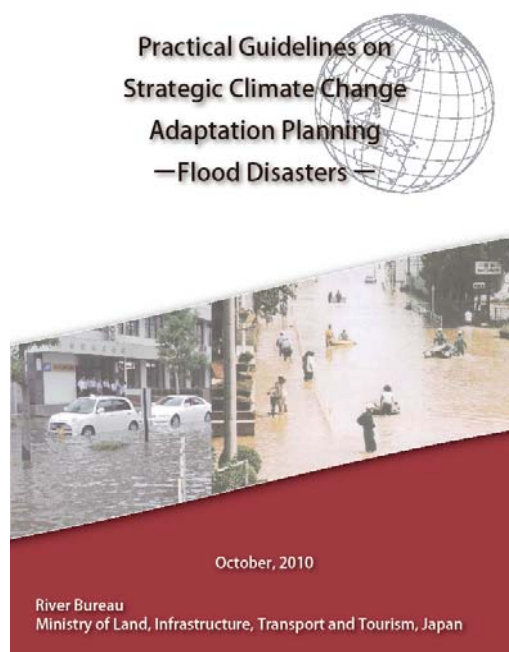


図-Ⅲ.3.1 適応策ガイドライン⁹⁾

洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン（以下、ガイドライン）（URL 参照：http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/guidelines/jpn_index.html）は、我国のこれまでの経験、施策、技術を踏まえて、気候変化に起因する洪水の強度と頻度の増加に対する適応策の検討手順の枠組みを示すものであり、アジア・大洋州地域を始めとする社会経済の発展及び人口の増加に伴う都市域の拡大や市街地の高度利用の進展が予測され、沖積地を生産・生活の基盤とし、治水対策が整備途上である国等における流域を単位とする河川や水資源の管理主体の実務者を主たる対象として作成された（図-Ⅲ.3.1）。作成は「気候変動適応策に関する国際貢献推進アドバイザー会議」（座長：東京大学小池俊雄教授）、本省、土研及び国総研で行い、2010年10月に英語版及び日本語版が発行され、国際シンポジウムなどで配布されている。

引き続きガイドラインの充実を図り、多くの国等の適応策検討に寄与するよう努めていく予定である。

第3章 研究のとりまとめと活用について

本研究の成果目標に対する研究成果及び成果の活用方針を表-3.1に示す。研究課題は「Ⅰ. 降雨量予測情報等を活用した次世代型水管理に関する研究」、「Ⅱ. 温暖化による河川・海岸への影響把握と対応策に関する研究」及び「Ⅲ. 地球温暖化による気候変動の影響に適応した国土保全方策に関する検討」から構成されている。Ⅰ. に位置づけられている「XバンドMPレーダの実用化と活用」に関しては、平成22年7月より11機のXバンドMPレーダが三大都市圏等で雨量情報を試験配信しているほか、その他の成果についても社会資本整備審議会の答申や「日本の水資源」（国土交通省水資源部）、河川局策定の「洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン」等に反映されている。本研究で得られた成果は、平成22年度から実施中のプロジェクト研究「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発¹⁰⁾」に取り込み、施策に反映できるようにさらに充実させていく。

表-3.1 研究のとりまとめと活用

研究の成果目標		研究成果	研究成果の活用及び活用方針 (施策への反映・効果等)
Ⅰ. 降雨予測情報を活用した次世代型水管理	①降雨量予測情報を用いた洪水・氾濫・予測に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・XバンドMPレーダの雨量算定システムを構築。それにより全国4地域（平成22年度現在）で本レーダが実装。 ・流域スケールで水象をきめ細かく監視するための安価な水位計及び電送装置の現地適応性を確認。 ・レーダ雨量計により得られた細密なデータを活用した内水氾濫統合型の分布型洪水予測モデルを開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本研究で構築したシステムによりXバンドMPレーダの雨量情報を配信中。 ・洪水予警報業務への適用性や有効性を確認しながら、今後の洪水監視・予測の高度化に活用していく。
	②想定される豪雨に対する避難基準水位等の設定に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・避難基準水位の設定を検討するため、モデル流域において流域諸元と河川の水位上昇速度の関係を定量化した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水防法の特別警戒水位を設定する際の参考として寄与している。
	③降雨量予測情報を活用したダムの効率的運用に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・事前放流や適切な放流量の設定を検討する手法を提示。実際の洪水を基にシミュレーションを実施し、本手法の適用性及び降雨予測誤差の影響を検証・評価。 	<ul style="list-style-type: none"> ・淀川ダム統合管理事務所、北上川ダム統合管理事務所において実施しているダム統合運用において、事前放流や操作規則で定める流量以上のオーバーカットを実施する際に、降雨予測を活用した合理的な洪水調節手法を活用している。
Ⅱ. 温暖化による河川・海岸への影響と対応策	①地球温暖化に対応する河川管理に関する研究	<p><河川関連の①②></p> <ul style="list-style-type: none"> ・気候変動下における降水量増大倍率の算定手法を開発。それを用いて将来及び近未来の洪水増大率を推算。 ・施策判断に直結する治水安全度・整備規模に関わる下記の2事項について試算し、河川管理への影響を全国スケール・地域別に把握。 <ul style="list-style-type: none"> ・氾濫危険度（確率年表示） ・気候変動の影響を吸収するための追加整備労力の ・適応策に資する以下の技術を開発あるいは提示。 <ul style="list-style-type: none"> ・ハザードマップの改善手法 ・降雨予測を活用した洪水調節検討手法（再掲） ・XバンドMPレーダ等を活用した洪水・氾濫予測高度化（再掲） 	<p><河川関連の①②></p> <ul style="list-style-type: none"> ・気候変動下における降水量増大率については、社会資本整備審議会答申「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について」（平成20年6月）に反映された。
	②温暖化による海面上昇、豪雨の増加の対応策の検討		

		<海岸関連の①②④> <ul style="list-style-type: none"> ・水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申、平成20年6月）に沿った対策が実施できるように、既上昇した潮位の上昇を取り込むための設計手法を提示。答申に示された堤防の段階的嵩上げの第1段階を実施できる技術的準備が整った。 	<海岸関連の①②④> <ul style="list-style-type: none"> ・気候変化への適応を取り組んだ堤防の計画・設計を行う事案が生じた際には知見提供もしくは技術指導を行っていく。
	④将来の動向を見据えた海岸防護対策の検討		
	③水管理への影響と対応策の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・地表水到達水量に及ぼす気候変動影響の全国傾向を提示。 ・積算気温と降雨量から河川低水流量を簡易に予測する手法を開発。 ・渇水時において緻密な流水管理を行うための低水管理シミュレーター等を構築。 ・ダム再編を実施する際の課題を抽出。その解決策を提示。 ・2050年における気候変動が世界の水需給バランスに与える影響を評価。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地表水到達水量への気候変動影響全国傾向がH19年版日本の水資源に反映された。 ・筑後川河川事務所において、渇水時には、開発した水需給把握システムを活用することとしている。 ・利根川水系ダム群再編事業に関する課題と対応策について関東地方整備局に提言。
Ⅲ．地球温暖化による気候変動の影響に適應した国土保全方策の検討	①想定外力に基づくリスクの大きい地域の抽出	<ul style="list-style-type: none"> ・地域特性を考慮した長期沿岸防災計画のための沿岸の施策タイプ分けの手法を試作した。 ・気候変動に伴う降雨変化が斜面崩壊危険度にもたらす影響の全国的傾向を提示した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・沿岸住民や国民と情報共有し温暖化適応策のハード整備重点化地域設定、そこから漏れた地域への早期ソフト対策充実の方向性が良いかの議論の際に活用できる。
	②気候変動による社会・経済的影響評価に関する検討	<ul style="list-style-type: none"> ・水害の被害について経済モデルを適用し、直接被害に加え波及被害を算出する手法を実用化。試算を通じ、波及被害の方が大きい傾向を把握。 ・近年の社会状況の変化や渇水被害情報を反映させた渇水被害額の算定式を作成。 ・断水社会実験を行い、渇水耐性が弱い住民属性を明らかにし、受忍レベル曲線を作成。 	<ul style="list-style-type: none"> ・四国地方整備局において、将来渇水が発生した際に、住民の視点に立った渇水調整を行うべく、早明浦ダムの取水制限について、本研究で明らかにした受忍レベル曲線を活用することとしている。
	③気候変動への河川・海岸の適応戦略の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・河川局による国際ガイドライン” Practical guidelines on strategic climate change adaptation planning -flood disasters-” の作成過程において、特に2章5節「ハザード、脆弱性、リスクの把握」および3章「適応策の検討」にインプットする情報を整理した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・河川局による国際ガイドライン” Practical guidelines on strategic climate change adaptation planning -flood disasters-” に成果反映

参考資料：成果にかかわる論文、報告書等のリスト

研究構成		論文、報告書等
I	降雨予測情報等を活用した次世代型水管理技術に関する検討【I】	
1	洪水・氾濫予測に関する検討	
1-1	XバンドMPレーダの実用化と活用	<ul style="list-style-type: none"> 笠井雅弘、服部敦、土屋修一(2009)：高精度レーダによるゲリラ豪雨に対応した監視・予測情報の配信に向けて、雑誌「河川」平成21年3月号、pp.47～50、日本河川協会 土屋修一(2009)：Xバンドマルチパラメータレーダによる豪雨監視、土木技術資料 平成21年10月号、p.22～25、土木研究センター 河川研究部気候変動研究チーム(2010)：最新型レーダによる豪雨観測情報の配信開始について、国総研ニューズレター No.33, 2010、国土技術政策総合研究所 三石真也、角哲也、尾関敏久(2010)：WRFによる降雨予測を活用したダム操作に関する検討、ダム工学 Vol.20 No.2, pp.94-104, ダム工学会
1-2	水系全体で洪水予測を可能にするための手法開発	
2.	ダムの効率的運用手法に関する検討	
2-1	事前放流における水位低下・上昇特性の定性的分類の検討	
2-2	降雨予測を活用した事前放流を含む新たな洪水調節方式検討	
2-3	ダム管理への活用を目的とした降雨予測精度の検討	
3.	洪水・氾濫に対する避難基準水位の設定等に関する検討	
3-1	洪水氾濫時の水防活動及び避難行動の分析	
3-2	降雨及び流域特性と河川の水位上昇速度の関係の分析	
II	地球温暖化による河川・海岸への影響と対応策に関する検討【II】	
1	河川における洪水氾濫に着目した検討	
1-1	気候変動予測成果を活用した豪雨時の降雨量設定手法	<ul style="list-style-type: none"> 柏井条介、土屋修一、石神孝之(2008)：気候変動による豪雨時の降雨量変化予測—GCM20による評価を中心に—、国土技術政策総合研究所資料 第462号、2008年5月 Kashiwai J, Iino S, Tsuchiya S(2009).、Projection of Japan's storm rainfall intensity affected by global climate change, Proc. of the 6th East asian area dam conference, pp.61-68, 2009 柏井条介、飯野光則、野口賢二、土屋修一、小野田恵一(2009)：気候変動に伴う河道管理への影響評価、21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」平成20年度研究成果報告書、pp.77～88、文部科学省研究開発局 藤田光一、服部敦、菊森佳幹、野口賢二、土屋修一(2010)：気候変動に伴う河道管理への影響評価、21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」平成21年度研究成果報告書 pp.83～93、文部科学省研究開発局
1-2	堤防に作用する水理外力の評価手法の高度化検討	
1-3	気候変動が氾濫危険性と河川整備に与える影響のマクロ評価	
1-4	水害時の情報提供のあり方の提言	
2	海岸防護への影響に着目した検討	
2-1	海面上昇の実態分析と潮位設定についての検討	<ul style="list-style-type: none"> 笹岡信吾・福濱方哉(2007)：等深線変化モデルを用いた潮位上昇が海岸侵食に与える影響予測手法、土木技術資料、第49巻第7号、pp.48～51、土木研究センター 野口賢二・加藤史訓・土屋修一(2008)：Can indications of climate change impacts be detected from recent phenomena in Japanese coasts? WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2008 (Proceedings), 論文ファイル番号 291, A S C E 野口賢二、福濱方哉、竹内一浩、山本享(2008)：天気図から抽出した擾乱データセットを用いた近年の海岸災害と気象の関係、海岸工学論文集、第55巻、pp.1336-1340、土木学会 野口賢二(2009)：我が国沿岸の外力環境の変化現況と気候変動に向けた外力設定の検討、極端気象現象とその気候変動による影響評価に関するシンポジウム報告書、p.104、京都大学防災研 野口賢二・諏訪義雄・五味久昭・松藤絵理子(2010)：気候変動
2-2	極端現象を引き起こす気象擾乱の経年変化特性の分析	
2-3	気候変動が高潮外力に及ぼす影響の見積もり	
2-4	海岸防護構造物を対象にした気候変動を考慮したマネジメント	

		<p>適応に向けたわが国沿岸の既海面上昇基準量の設定にむけて、海岸工学論文集、第57巻、土木学会</p> <ul style="list-style-type: none"> 野口賢二・青木健次・板橋直樹・五味久昭・佐藤慎司・渡邊国広・茅根 創(2010):サンゴ州島の形成・存続条件としての台風とビーチロック、海岸工学論文集、第57巻、土木学会 野口賢二・諏訪義雄(2010):現地海岸を対象とした気候変化に伴う海岸堤防・護岸の越波特性の変化に関する検討、海洋開発論文集、Vol.26, pp.45~50, 土木学会
3	水管理への影響に着目した検討	
3-1	気候変動が世界の水需給バランスにあたる影響の検討	<ul style="list-style-type: none"> 尾関敏久(2009):気候変動による世界の水資源量変化及び社会的影響に関する研究、国土技術政策総合研究所研究発表会資料 平成21年6月17日
3-2	地表水到達水量に及ぼす気候変動影響の全国傾向の分析	
3-3	降水量変化が河川流況に与える影響の簡易推定法	<ul style="list-style-type: none"> 土屋修一、服部敦(2008):気候変動による降水量変化に対する河川流量の応答に関する考察、水文・水資源学会研究発表会要旨集、pp.152~153、水文・水資源学会 土屋修一、服部敦(2008):気候変動によるダム流入量の変化に関する研究、第63回土木学会年次学術講演会講演概要集 土屋修一(2009)、気候変動による河川流量の変化について、リバーフロント Vol66, 2009. pp.13~16、リバーフロント整備センター 土屋修一(2009):気候変動による河川流量の将来変化について、極端気象現象とその気候変動による影響評価に関するシンポジウム報告書、pp.73、京都大学防災研究所
3-4	渇水時における低水管理の高度化手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> 三石真也、依田憲彦、豊田忠宏(2010):筑後川流域水収支評価モデル及び水需給把握システムの構築、ダム技術 NO.287, pp.54-62、(財)ダム技術センター S-4 温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究、2.(1)④ 温暖化各レベルに対応する水資源マネジメントの政策オプションに関する研究、地球環境研究総合推進費報告、環境省
3-5	ダム群再編に関する課題分析と対応策	
III	気候変動の影響に適応した国土保全方策の検討【III】	
1	国土の脆弱性に関する俯瞰的評価の検討	
1-1	長期沿岸防災計画のための地域タイプ分けと特性分析	<ul style="list-style-type: none"> 野口賢二・福濱方哉・五味久昭・五十嵐竜行・板橋直樹・鈴木純平(2007):気候変動に対応可能な長期的沿岸防災計画に向けた地域特性分析、海洋開発論文集、Vol.23, pp.147-152 (論文番号15) 土木学会 海洋開発委員会
1-2	気候変動に伴う降雨変化と斜面崩壊危険度との関係評価	<ul style="list-style-type: none"> 桂真也・富田陽子・小山内信智・井出修・和田博(2010):がけ崩れの災害リスク評価手法の検討、平成22年度砂防学会研究発表会概要集、p.414~415 桂真也・富田陽子・小山内信智:がけ崩れ災害の実態(昭和47年~平成19年)及びがけ崩れ災害リスク分析手法の開発について、地すべり研究(第54集)
2	水関連災害の被害評価手法の高度化検討	
2-1	水害の経済評価の高度化と改良	
2-2	渇水被害把握の高度化と改良	<ul style="list-style-type: none"> 依田憲彦、三石真也、服部敦(2009):給水制限を考慮した渇水被害レベルの区分、土木技術資料、VOL51 NO.10, pp26-29, (財)土木研究センター 依田憲彦、三石真也(2010):断水社会実験による渇水被害の分析、土木学会年次学術講演会論文集、第65回、pp511-512, 土木学会
3	水害に関する気候変動への適応ガイドラインの検討	http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/guidelines/jpn_index.html

引 用

- 1) 21 世紀気候変動予測革新プログラム : <http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/jp/>
- 2) 人・自然・地球共生プロジェクト : <http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/kyousei/>
- 3) RK Linsley, MA Kohler, J LH Paulhus : Applied Hydrology, McGraw-Hill, 1949.
- 4) 柏井条介・土屋修一・石神孝之 : 気候変動による豪雨時の降雨量変化予測—GCM20 による評価を中心—to、国土技術政策総合研究所資料、第 462 号、2008.
- 5) 国土交通省河川局 : 治水経済調査マニュアル (案) 、
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/h1704/chisui.pdf、2005.
- 6) 国土交通省河川局・国土技術政策総合研究所水害研究室 : 航空レーザ測量を活用した治水安全度評価、<http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/lp/index.html>
- 7) 土屋哲、多々納裕一、岡田憲夫 : 「新潟県中越地震による経済被害の計量化」、京都大学防災研究所年報、第 48 号 B、2005.
- 8) 石川良文、片田敏孝、木村秀治 : 「水害による地域経済への影響の事後分析」、土木計画学研究・講演集第 29 号、2004.
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局 : 国際 洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン、
http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/guidelines/jpn_index.html、2010.
- 10) 国土技術政策総合研究所気候変動適応対策本部 : 気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発、
http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/data/study_data/data1v2.pdf、2010-2013.

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告書

Project Research Report of NILIM

No.38

February 2012

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
企画部研究評価・推進課 TEL029-864-2675