

jh210001-NAH

日本全土の洪水氾濫被害の将来展望

風間 聡 (東北大学)

概要

気候変動に対する緩和策と適応策についてその効果を定量的に示し比較した。二次元不定流モデルと治水経済調査(案)を用いて、洪水時の浸水深と被害額を算出した。また2050年における洪水被害を推定するため6つのGCMを用いて将来気候における降水量を求め、それを入力値として将来の浸水深と被害額を求めた。適応策として土地利用規制に着目し、その効果を検証した。RCP8.5シナリオからRCP2.6シナリオに温暖化を緩和することによる洪水被害軽減額は年192億円と推定され、再現期間100年の洪水時に10m以上浸水する箇所を規制する土地利用規制による適応策の効果は年576億円と推定された。費用対効果について考察すると緩和策は0.056となる一方、適応策の費用を288億円で抑えられれば適応策の費用対効果を2.0以上に維持できると推察される。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

東北大学

(2) 共同研究分野

超大規模数値計算系応用分野

(3) 参加研究者の役割分担

風間聡、東北大学、洪水氾濫モデル適用

峠嘉哉、東北大学、洪水氾濫モデル開発

柳原駿太、東北大学、洪水氾濫モデル開発

滝沢寛之、東北大学、数値計算高速化

2. 研究の目的と意義

平成27年の関東東北豪雨、平成30年西日本豪雨災害、令和元年東日本台風、令和2年7月豪雨のように豪雨は広い範囲で生じ、水害の激化が気候変動によって顕在化しているとされる。これに対して国土強靱化政策にみられるような治水事業の有効性を知るには、将来の洪水規模を知る必要がある。しかし、将来の降雨による洪水被害を推定するには3つの問題がある。第一に詳細な地域対策を考えるには高分解能の出力が必要であり、計算コストが大きいこと、第二に将来降雨予測データは開発機関により

大きな差があること、第三に将来の温暖化シナリオを含む各開発機関データを考慮すると多くの将来予測パターンがあり、その計算コストも大きいことが問題である。近年では、数多くの計算結果を用いた不確実性の議論が世界で多くなされているが、日本国内の議論は始まったばかりである。

降雨の予測は年々高分解能化、高精度化しており、これらのデータを利用できる高精度な洪水氾濫リスクシミュレーションの開発が望まれている。本課題は平成30年度に高分解能化と高速化を実施したが、様々なシナリオが想定される将来展望を得るためには、さらなる高速化が必要である。8つのGCMと3つの温暖化シナリオ(RCP2.6, 4.5, 8.5(温暖化の強度を表している))の計24回の計算の組み合わせ計算を日本全土で行うことによって、洪水リスクの将来予測の不確実性を議論することができ、さらには洪水対策(適応策)の効果の議論が可能となる。

これらを通じて、本研究では、日本全域の将来の洪水リスクを推定するための高速な洪水氾濫シミュレーションによる将来の洪水被害対策に生かせるデータ作成を目的とする。

3. 当拠点公募型研究として実施した意義

研究目的を達成するためには、洪水予測・評価の数値シミュレーションの高速化が不可欠であり、その開発のための計算機資源が必要である。これまでの研究により、特に日本全域の計算には、地方または流域に分ける並列化による高速化の効果が高いことがわかっている。しかし、本研究では日本全土を空間分解能 250m かつ時間刻み 30 秒程度で数日間のシミュレーションによって浸水域と浸水期間を求めるには、単純な並列化だけでは十分な高速化を実現できない。さらに被害金額推定や将来気候モデルの活用、リアルタイム降雨の直接入力などは、計算負荷をますます増加させるため、現在利用可能な計算機環境では実現が不可能となっている。これに答えるための様々な条件下での計算には、高性能計算システムの有効利用が不可欠である。加えて並列化の最適配置やモデルパラメータの同定などは一部経験的な手法に頼っているケースも多く、最適な領域区分やパラメータ値を自動的に求めるに至っていない。水理学・流体力学的な計算技術は土木工学において用意されるが、高速計算や数値計算モデルの最適化についてはサイバーサイエンスセンターにおいてノウハウがあり、これらを併せることによって、高精度な洪水リスク計算が可能となる。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

該当しない

5. 今年度の研究成果の詳細

5.1 データセット

(1) 現在気候の日降水量データ

降水量データとして Tezuka et al. によって作成された極値降雨データを用いた。このデータは AMeDAS 観測所における 1971 年から 2000 年の最大日降雨量を頻度解析し得られた各再現期間における日降雨量と、任意の点における集水面積と地点流出係数の関係から作成され

ており、任意地点において確率洪水となる降雨の分布データである。

(2) GCM 及びシナリオデータ

気候予測情報として、日本全国 1km 地域気候シナリオによる 6 つの気候モデルと 2 つの放射強制力シナリオを利用した。GCM (General Circulation Model) は、気候モデルのうち、大気・海洋・陸地・雪氷などの変化を考慮して、地球の気候を再現し、気候の変化を表現する数理モデルである。RCP (Representative Concentration Pathways) (代表濃度経路) シナリオは、大気中の温室効果ガス濃度がどのように変化するかいくつかの代表的な仮定を立て、それに基づいて作成された将来予想シナリオである。RCP シナリオを用いることにより、放射強制力の経路を複数用意し、それぞれの将来の気候を予測するとともに、その放射強制力経路を実現する多様な社会経済シナリオを策定できるため、緩和策の効果やその結果現れる気候変化による影響を反映できる。

温暖化影響・適応評価において、利用する GCM によって気候予測結果が異なることが知られている。これは気候システムをモデル化する際の不確実性によるものである。よって本研究では、GCM の不確実性を考慮するため、次に示す 6 つの GCM を用いた。GFDL-CM23, HadGEM2-ES, MIROC5, MRI-CGCM3, CISRO-Mk3-6-0, IPSL-CM5A-LR の 6 つである。使用した期間は 1981 年～2005 年 (現在) 及び 2031～2055 年 (近未来) である。

気候モデル出力値を用いて気候変動の影響評価を行う際、気候モデル出力に含まれる系統誤差すなわちバイアスが妨げになる。バイアスは気候モデル内部のパラメータ処理などにより生じ、時空間解像度の変換を伴う作業を含めてダウンスケーリングにより処理される。本研究において使用する 6 モデルのうち GFDL-CM23, HadGEM2-ES, MIROC5, MRI-CGCM3 の 4 モデルはデルタ法によりダウンスケーリングされている。デルタ法とは、GCM 出力値と観測値の統計

的特徴を比較する際、平均のみを補正する手法である。この時気候変数の平均値はテイラー展開により近似的に表される。残りの CISRO-Mk3-6-0, IPSL-CM5A-LR の 2 モデルは正規分布型スケールリング法)によりダウンスケールリングされている。この方法は補正後の値が正規分布に従うと仮定し、確率分布の母数を補正する手法である。また、時間スケールが異なると、統計データの特徴は必ずしも一致しない。そのためバイアス補正を行うとかえって誤差が大きくなることがある。そこでカスケードバイアス補正と呼ばれる補正も行われる。これは時間スケールを月、日、時の三段階に分け、大きい時間スケールから順に値を補正していく手法である。

RCP シナリオは RCP2.6, RCP8.5 の 2 つを対象にした。これらは温室効果ガス濃度の放射強制力、すなわち地球に出入りするエネルギーが地球の気候に対して持つ放射の大きさを示す。RCP2.6, RCP8.5 は、工業化以前と比較して放射強制力が今世紀末にそれぞれ 2.6W/m^2 , 8.5W/m^2 上昇するシナリオである。RCP8.5 は 2100 年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオであり、産業革命前と比べて全球平均気温の上昇は 2100 年に 4°C 前後となる。現時点の緩和に関する全ての約束と制約が実施されたとしても、20%の確率で同上昇が 2100 年までに 4°C を超える。RCP2.6 は将来の気温上昇を 2°C 以下に抑えるという目標のもとに開発されたシナリオで、将来排出量の最も低いシナリオである。

(3) 土地利用データ

洪水氾濫計算および浸水深から被害額を算出する過程で利用する土地利用データとして、田中らにより作成された 5 次メッシュの土地利用データを使用した。このデータは、国土数値情報、土地利用細分メッシュデータに格納された 3 次メッシュ 1/10 細分区画 (100m メッシュ) の土地利用情報から、250m のメッシュ内において最も占める割合が多い土地利用を、そのメッシュにおける土地利用として抽出し作成され

たものである。土地利用の内訳は、(1) 田 (2) 畑地 (3) 森林 (4) 荒地 (5) 建物用地 (6) 幹線交通用地 (7) その他の用地 (8) 河川地および湖沼 (9) 海浜 (10) 海水域 (11) ゴルフ場である。

(4) 標高データ

洪水氾濫計算に用いた標高データは国土数値情報の標高・傾斜度 3 次メッシュ及び 5 次メッシュデータを使用した。なお、5 次メッシュデータについては河川上に窪地地形が多く生じたため、国土数値情報の河川データの形状データに重なる窪地については標高を隣接するメッシュ中の最低標高まで埋める処理を施した。

5.2 解析手法

被害額を求める流れは Tezuka et al. や田中らの手法に倣う。洪水時の浸水深を求め、国土交通省による治水経済調査マニュアル (案) に基づき被害額を求めた。以下に詳細を記す。

(1) 洪水氾濫解析

洪水氾濫計算において、浸水深算出のために二次元不定流モデルを用いた。このモデルの詳細は 2019 年のプロジェクト jh190014-NAH において説明されている。二次元不定流モデルは非線形の偏微分方程式であり解析的に解けないため、差分法を用いて数値的に解く。なお、この二次元不定流モデルにおける運動方程式を直交する二方向において立てる。また、このモデルでは家屋を流体が進入しない領域と仮定し、運動方程式において家屋の抵抗を考慮することとした。

粗度係数は水理公式集を参考に設定し、家屋の占有率は場所による変化はないと仮定し、土地利用ごとに一定とした。土地利用が建物用地の場合、家屋の平均寸法は 14.941m とした。建物用地以外の土地利用区分において、運動方程式における抵抗項の影響は小さいため、家屋の平均寸法を大きくした。また、家屋を正方形と想定して家屋の付加質量係数を 2.0、家屋の抗力係数を 1.0 とした。

以上は概ね Tezuka et al. や田中らの手法に沿う形であるが、本研究においては空間解像度を高度化した。Tezuka et al. や田中らは空間解像度を 3 次メッシュ（約 1km 四方）としていたのに対し、本研究においては 5 次メッシュ（約 250m 四方）解像度を用いた。これにより河川の様子をより詳細に表現できる。しかし主に山間部の小河川において標高上深い窪地地形となる箇所が散見され、そこに実現象では有り得ないような浸水が見られたため、該当箇所のみ周囲 4 メッシュ中最低標高まで標高を引き上げた。高速化のための並列化数は石塚らの成果によって最適な分割数を選び、精度にそん色ないことが確認されている^[業績 2]。

(2) 被害額の推定

国土数値情報データの土地利用分類に従い、治水経済調査マニュアル（案）を参考に、土地利用区分ごとの計算手順を作成した。治水経済調査は、堤防やダム等の治水施設の整備による経済的な便益や費用対効果の計測を目的として実施される。手塚らや秋間ら、田中らは、この被害額算定式を参照している。既往研究に倣い既往研究と同一の値と手法を用いた。以下に、項目ごとの計算方法を説明する。

- ・田の被害額として単位面積当たりの水稻年収量に都道府県別水稻 10 アール当たり年収量を用いた。この値は、「作物統計（平成 14 年産）」（農林水産省）による平成 14 年における都道府県別の水稻の平均収量に、全国平均年収量の平成 10 年～平成 14 年間の平均増加率を乗じて平成 16 年の値としたものである。米の単位評価額は 289 千円/t（平成 16 年）とした。
- ・畑地の作物は多様な作物が考えられるため、農作物の単位評価額が平成 11 年度の主要農作物単位評価額平均値に近く、全国幅広く栽培されているトマトを代表作物として選定した。単位面積当たりのトマトの年収量は 5,770t/km² であり、評価額は 264 千円/t である。
- ・建物用地は都市計画区域のうち市街地化調整

区域を居住地、それ以外の区域を事業所として設定した。浸水深別被災家屋延床面積は氾濫解析により得られる浸水したメッシュの面積とした。都道府県別 1m² 当たり評価額は都道府県別に次式を用いて算出した木造建物評価額と非木造建物評価額とを当該都道府県の木造建物総延床面積と非木造建物総延床面積の構成比を用いて加重平均して求めた。

木造（非木造）建物評価額＝

木造（非木造）建物 m² 当たり建築費 × 補正係数

ここで、木造（非木造）建築 1m² 当たり建築費は、「平成 16 年建築着工統計調査」（国土交通省）により定められた。補正係数は、同統計調査における補正調査による単価補正率を過去 5 年間について平均し、定められた。木造（非木造）家屋総延床面積は、「平成 16 年度固定資産の概要調査」（総務省）により定められた。なお階層による被害額補正は行っていない。

家庭用品被害は平成 17 年国勢調査結果より都道府県別の一般世帯数を求め、居住地としたメッシュ数を用いて除し、都道府県毎の単位面積当たり一般世帯数を算出した。この結果と氾濫計算の結果から、浸水深別被災世帯数を算出した。1 世帯当たり家庭用品所有額は、平成 16 年評価額での 15,927 千円/世帯を用いた。

事業所従業者 1 人当たり償却資産評価額として、日本標準産業分類（平成 5 年 10 月改訂）による産業大分類のうち、農業、林業、漁業を除いた分類項目の平均値である平成 16 年評価額 18,090 千円/人を用いた。同様に、事業所 1 人当たり在庫資産評価額として 3,084 千円/人を用いた。平成 13 年事業所統計調査結果から、都道府県別に産業大分類 D～M の従業員数を求め、事業所のメッシュ数を用いて除し、都道府県ごとの単位面積当たりの従業者数を算出した。この結果と氾濫計算の結果から被災事業所従業者数を算出した。

- ・幹線交通用地の被害は一般資産被害額に

1.694 を乗じて求めた。1.694 は家屋被害、家庭用品被害、事業所償却・在庫資産被害額の総額である一般資産被害額に対する公共土木施設の被害率である。この値は昭和 62 年から平成 8 年の 10 年間分の水害統計の中から、全国にわたり被害の生じた主要水害について水害統計及び農水省統計資料を基に算出された値である。

・ゴルフ場の被害額はサービス業の償却資産と在庫資産の和とした。事業所 1 人当たり償却・在庫資産評価額は、産業大分類項目における平成 16 年サービス業償却資産評価額 3,667 千円/人および、在庫資産評価額 465 千円/人を用いた。平成 13 年事業所統計調査結果から日本標準産業分類（平成 5 年 10 月改訂）による産業小分類項目 76C ゴルフ場および 76D ゴルフ練習場従業者数を合計し、ゴルフ場のメッシュ数を用いて除し、単位面積当たりの都道府県別ゴルフ場従業者数として被災事業所従業者数を算出した。この結果と氾濫計算の結果から、被災事業者従業者数を算出した。

この他の土地利用については浸水による経済的被害が生じないと仮定した。

(3) 洪水氾濫解析

a) 将来気候における降水量の増加率

始めに 6 つの GCM および 2 つの RCP シナリオ（現在：1980 年～2005 年，将来：2030 年～2055 年）から得られる毎日の降水量データから県庁所在地に稚内、釧路、帯広、函館を加えた全国 50 地点それぞれ各年の最大日降水量を抜き出し、頻度解析を行う。この頻度解析において、確率分布型として一般化極値分布である GEV (Generalized Extreme Value) 分布、母数推定法として PWM (Probability Weight Moment) 法を用いる。PWM 法とは確率分布の母数推定の基準として通常の積率に変えて、確率で加重した積率を用いる手法である。GEV 分布は、ある母集団に対する最大値および最小値の漸近分布である。1975 年に Natural Environment Research Council によって、イギリスにおける

河川の年最大日流量の分布に推奨されて以来、降雨や洪水流量の最大値抽出など水文頻度解析において重要な役割を担っている。この手法を用いて Tezuka et al. も再現期間を算出している。頻度分析により各地点における各再現期間の日降水量を現在気候と将来気候のそれぞれに対し求める。以上により得られる日降水量の比を降水量の増加率とした。これを ArcGIS の Spatial Analyst ツールの逆距離荷重法により日本全土に分布させて降水量の増加率分布とした。これに Tezuka らによって作成された極値降雨分布を掛け合わせて得られる降雨分布を将来気候における極値降雨分布とした。以上により得られた降雨分布のうち MRI-CGCM3 によるものを図-1 に示す。

b) 年期待被害額

日本において国土交通省は河川の重要度を A 級から E 級の 5 段階に区分し、それに応じて計画規模、すなわち対象降雨の降雨量の超過確率年を設定している。これには一級河川の主要区間において 100 年以上、1 級河川のそのほかの区間及び 2 級河川においては、都市河川は 50 から 100 年、1 級河川は重要度に応じて 10 から 50 年、あるいは 10 年以下が採用される例が多いと記されている。そこで本研究においては全国の河川の計画規模を概ね 50 年として仮定した。さらに、発生確率の低い再現期間 100 年以上の災害は年期待被害額に大きな影響を及ぼさないと仮定した。以上より、年期待被害額を以下の次式により算出することとした。

$$AED = (PD(50) + PD(100)) / 2 \times (1/50 - 1/100)$$

ここで、AED：年平均期待被害額、PD(x)：再現期間 x 年における潜在被害額である。この年平均期待被害額は、50 年に 1 回の洪水に耐えるよう設計された堤防のある地域において、追加的に治水整備をしない場合に今後発生する被害を 1 年当たりの被害額として平均化したものである。

c) 土地利用規制

本研究においては現在気候における再現期

間 100 年の洪水の浸水深に応じて土地利用を変化させた。例えば 3m 以上浸水した建物用地の土地利用に被害額を計上しない森林の土地利用へと一律に変えた。いわば防災集団移転のようなものである。この規制後の土地利用分布を入力値として被害額を計算した。土地利用を変化させると、土地の粗度も変化するため洪水流の動態も変化し、浸水深が変化してしまうことが考えられる。そこで 3m 以上浸水する土地に対し土地利用規制を行った場合の土地利用分布を入力データとして浸水深及び被害額を計算し、この手法により算出された被害額と比較した。また、3m 以上あるいは 10m 以上浸水する箇所を規制する土地利用規制のことを以後 3m 規制及び 10m 規制と呼ぶことにする。

5.3 結果・考察

(1) 現在気候における洪水災害被害額

a) 土地利用規制を行わない場合

洪水氾濫モデルに、現在気候の降水量データを入力し、浸水深を算出した。その浸水深を基に再現期間 50 年と 100 年の洪水災害の 5 次メッシュの空間解像度をもつ被害額分布を求め、更に年期待被害額を求めた。日本全土における潜在被害額は、再現期間 50 年において 132 兆 25 億円、再現期間 100 年において 145 兆 9005 億円と推定された。年期待被害額は 1 兆 3895 億円と推定された。水害統計によると平成 8 年から 27 年の平均水害被害額は約 5107 億円であり 25)、これは本研究において算出した年期待被害額の 37%程度である。また、再現期間 100 年の洪水被害の土地利用別の被害額は、田と畑地を合計した農用地が 1 兆 836 億円、商用地が 106 兆 9480 億円、居住地が 37 兆 8639 億円、ゴルフ場が 50 億円となり、全体の被害額に占める割合はそれぞれ、0.743%、73.302%、25.952%、0.003%となった。

計算対象外の沖縄を除いた 46 都道府県中、大阪府、愛知県、東京都における被害額が他と比べて大きく、これら 3 県における被害額の合

計は全体の被害額の 19%を占める。

b) 土地利用規制を行う場合

3m 規制を行う場合の年期待被害額の全国合計額は 9473 億円と推定された。土地利用規制を行わない場合と比較して 4422 億円年期待被害額が減少した。割合にして約 32%の減少となった。また、都道府県別に年期待被害額の減少率を見ると、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、奈良県、長崎県、鹿児島県において減少率が 50%を超えた。この 7 県はいずれも山地や丘陵地が多く、河川の近くに人口が集中しやすいと考えられる。

10m 規制を行う場合の再現期間 100 年の洪水の被害額を計算した。年期待被害額の全国合計額は 1 兆 3318 億円と推定された。土地利用規制を行わない場合と比較して 577 億円被害額が減少した。割合にして約 4.2%の減少となる。また、都道府県別に年期待被害額の減少率を見ると、山梨県、長野県、岐阜県、鳥取県、高知県において減少率が 50%を超えた。3m 規制において被害額軽減効果が大きい県と必ずしも一致していない。浸水深が 10m を超える箇所は河道幅が狭くなおかつ渓谷である場所が多い。河道幅が狭い場合、5 次メッシュ解像度の土地利用は河川周辺の田や畑地、建築用地の土地利用と見なされてしまうことが多い。そのため河道幅の小さい河川沿いの浸水被害が 10m 規制により軽減されたと推察する。

(2) 将来気候における洪水災害被害額

a) 土地利用規制を行わない場合

将来気候における再現期間 100 年の確率降水量の増加率を用いて、将来気候における再現期間 100 年の洪水の潜在被害額分布を求めた。また、この潜在被害額と現在気候における再現期間 50 年の洪水の潜在被害額を用いて将来気候における年期待被害額を推定した。RCP2.6 シナリオの 6 つの GCM の平均値が 1 兆 4266 億円、RCP8.5 シナリオの 6 つの GCM の平均値が 1 兆 4458 億円と推定された。現在気候の年期待被害額からそれぞれ 2.7%、4.1%増加した。また、こ

の結果から現在気候と将来気候における被害額の差額を計算することにより RCP8.5 シナリオから RCP2.6 シナリオに温暖化を緩和する緩和策の軽減被害額を考えた。北海道と東北地方において RCP2.6 シナリオよりも RCP8.5 シナリオの年期待被害額が小さい傾向にある。一方、西日本は RCP8.5 シナリオの被害が増加する傾向にある。そのため RCP8.5 シナリオから RCP2.6 シナリオに温暖化を緩和すると、西日本においては緩和策の効果が見られるものの、北日本においては洪水被害がかえって増加することになる。都道府県別の緩和策の効果を図-2 に示した。

b) 土地利用規制を行う場合

将来気候において 3m 規制を行った場合の年期待被害額は、RCP2.6 シナリオの 6GCM 平均値が 9882 億円、RCP8.5 シナリオの 6GCM 平均値が 1 兆 76 億円と推定された。土地利用規制を行わない場合と比べて RCP2.6 シナリオの年期待被害額は 30.7%、RCP8.5 シナリオの年期待被害額は 30.3%減少した。

将来気候において 10m 規制を行った場合の年期待被害額は、RCP2.6 シナリオの 6GCM の平均値が 1 兆 3690 億円、RCP8.5 シナリオの 6GCM の平均値が 1 兆 3882 億円と推定された。土地利用規制を行わない場合と比べて RCP2.6 シナリオと RCP8.5 シナリオの年期待被害額は約 4%減少した。減少率は現在気候と比べてわずかに小さいが、将来気候においても土地利用規制の効果は現在気候の規制効果と同程度得られる。

c) 気候変動に対する適応策と緩和策の比較

5.3(1)(2)にて記述した年期待被害額を表-1 にまとめた。表-1 を見ると、緩和策の効果は年期待額にして 192 億円と見なすことが出来る。一方適応策の効果は、土地利用規制の有無による被害額の差額になるため 3m 規制を行えば年期待額にして 4380 億円、10m 規制を行えば 576 億円の洪水災害抑制効果があると言える。これらを比較すると適応策の一つである土地利用規制の効果大きいことが窺える。

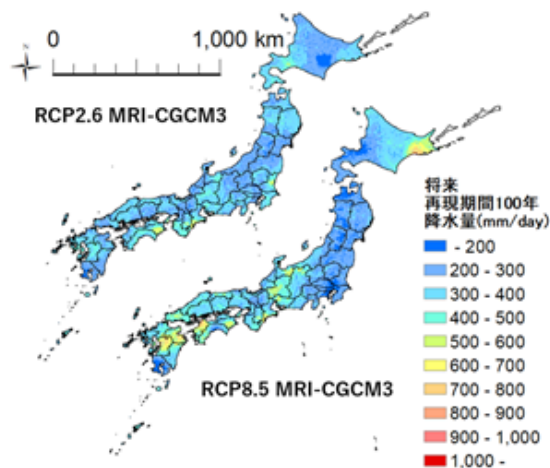


図-1 MRI-CGCM3 による再現期間 100 年降水量

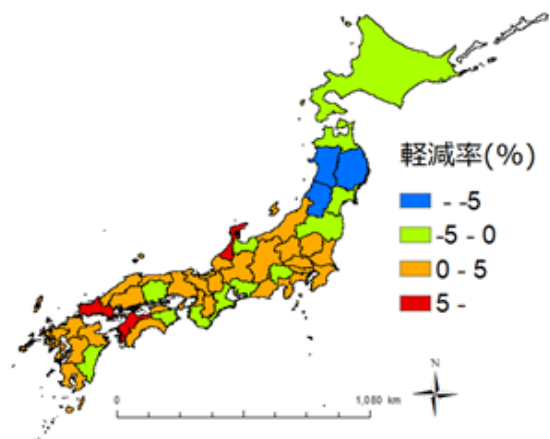


図-2 緩和策による被害軽減額の都道府県別分布

表-1 年期待被害額まとめ

年期待被害額(兆円)	現在気候	RCP2.6将来気候	RCP8.5将来気候
土地利用規制なし	1.3895	1.4266	1.4458
3m規制	0.9473	0.9882	1.0076
10m規制	1.3318	1.3690	1.3882

表-2 緩和策と適応策の費用対効果

対策	費用(億円/年)	便益(億円/年)	費用対効果
緩和策	8176	461	0.056
10m規制	288	576	2.000

公共事業として適応策と緩和策を考える際、費用対効果を考慮する必要がある。そこで両対策の年あたりの費用対効果を考察する。日本の土地区画整理事業の費用対効果の中位数は 2.0 である。10m 規制の年期待便益は約 576 億円で

あるから、10m 規制の適正費用は約 288 億円である。また、緩和策の費用として平成 29 年度地球温暖化対策関係予算案の合計額約 8176 億円を用いる。緩和策の便益を算出するに当たり、緩和策の効果は洪水被害抑制以外にも多方面に至るため、環境省の S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究において算出されている被害額を参考に緩和策の総合的な便益を仮定する。温暖化の影響を被害額として求めている洪水、斜面崩壊、高潮、砂浜消失、干潟消失、ブナ被害、熱中症死亡被害の被害額総計のうち洪水の影響の被害額が占める割合は約 42%である。そこで、本研究において求められた洪水に対する緩和策の便益である 192 億円を 0.42 により除し、約 461 億円が緩和策の総便益であるとみなす。以上より費用便益比を求め、表-2 に示した。緩和策の費用対効果は 1.0 を大きく下回る。したがって洪水被害対策における緩和策は費用が大き過ぎる事業である。一方土地利用規制は費用を 288 億円に抑えることが出来れば、有効な事業として成立する。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

緩和策の評価や適応策を考慮するなど計画以上に実施することができた。今後は内水氾濫や豪雨の発生地域の違いを詳細に分析するとともに、より正確な洪水被害額が推定できるようなモデル開発を進める予定である。

7. 研究業績一覧（発表予定も含む）

(1) 学術論文（査読あり）

[1]柳原駿太, 山本道, 風間聡, 峠嘉哉, Yikai Chai, 多田毅, 田んぼダムの潜在的な洪水被害軽減の国内地域別評価, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 77. No. 5, pp. I_33-I_42, 2021.

[2]石塚歩, 山下毅, 江川隆輔, 滝沢寛之, 山本道, 風間聡, ベイズ最適化による洪水シミュレーションコードの集荷分散自動調整, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 1-11, 2021.

[3]柳原駿太, 風間聡, 川越清樹, 日本全域にお

ける人口変動に伴う洪水・内水氾濫・斜面崩壊の曝露人口の変化, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 77. No. 2, pp. I_1375-I_1380, 2021.

(2) 国際会議プロシーディングス（査読あり）

(3) 国際会議発表（査読なし）

[1]So Kazama, Impact and adaptation for flood in Japan under climate change, International Symposium 2021 by Ecology and Civil Engineering Society, Leading-edge research of the impact of climate change on ecosystems and infectious diseases, Online, 2021.9.23.（招待）

[2]Hayata Yanagihara, So Kazama, Yoshiya Touge, Evaluation of the Damage-mitigation Effect of Improving the Capacity of Inland Water-drainage Facilities Considering Climate Change in Japan, HS16-A004, AOGS, 2021.8.4. Online.

[3]Hayata Yanagihara, So Kazama, Seiki Kawagoe, Changes in exposed population to heavy rainfall disasters associated with population decline in Japan, The 9th International Symposium on Water Environment Systems --with Perspective of Global Safety, pp.22-23, 2021.11.26. Sendai.

(4) 国内会議発表（査読なし）

[1]気候変動と水災害について, 東北都市環境問題対策協議会研修会, オンライン, 2021.11.25.（基調）

[2]河川洪水・内水氾濫リスクの高まりとその適応策について, 小布施町環境フォーラム, オンライン, 2022.2.27.（基調）

(5) 公開したライブラリなど

<http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/>

(6) その他（特許, プレスリリース, 著書等）