

2020 年度 S-18 プロジェクト研究成果報告

サブテーマ番号	S-18-3
研究課題名	自然災害・水資源分野を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価
研究代表者氏名	横木裕宗

1. 成果の概要

サブテーマ 3(1) 気候変動による氾濫・浸水災害の統合影響予測と適応策の経済評価 (代表: 横木裕宗)

(1) 全国沿岸域の浸水影響評価

気候変動に伴う水災害への悪影響はますます大きくなると懸念されるなか、様々な資源制約下で適切な適応策を講じなければならない。本サブテーマでは、日本全国の流域および沿岸域における気候変動による氾濫・浸水災害の影響予測と将来の社会動態の変化を含めた総合的な予測手法の高度化と、適応評価手法の開発を行うことを目指している。

浸水影響評価の一次推計として、最新の気候シナリオ、潮汐データ、社会経済シナリオ (SSP) を活用して日本沿岸域の海面上昇と浸水影響を 3 次メッシュ (1km) の解像度で日本全国一律に評価した。その結果、代表的濃度経路 (RCP8.5, MIROC-ESM) における全国の潜在的浸水面積は、2050 年に約 2,127km²、2100 年に約 2,598km² になると推計された。影響人口は 2050 年に約 461 万人-551 万人 (SSP1-5)、2100 年に約 253 万人-565 万人 (SSP1-5) となり、浸水被害額は 2050 年に約 400 億 US\$-644 億 US\$ (SSP1-5)、2100 年に約 580 億 US\$-1,850 億 US\$ (SSP1-5) と推計された。さらに、人口の密集する都市部や地形条件など、都道府県沿岸の特徴についても検証した。

また、これら浸水影響に対する適応評価として、特にマングローブが分布するベトナム、フィリピン、そして世界 112 カ国・地域においてグレーインフラ、グリーンインフラによる防護の効果とその費用便益分析を実施した。その結果、グレーインフラだけの防護よりもグリーンインフラを組み合わせると費用効果性が高くなることが明らかとなった。これらの研究では主にマングローブを活用したグリーンインフラの適応評価を行ったが、今後は日本で実現可能性の高い複数の適応評価を展開する予定である。

(2) 海岸保全施設を含む海岸線標高データの構築

今年度は日本沿岸部における海岸保全施設を考慮した標高データセットを構築した。海岸保全施設を有する海岸線の情報は、Google Earth Pro を利用し、衛星写真から目視で判読した。海岸

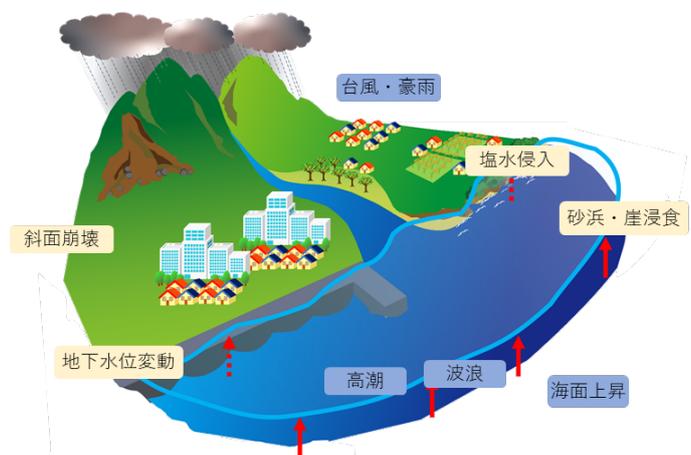


図-1: テーマ 3 の研究対象

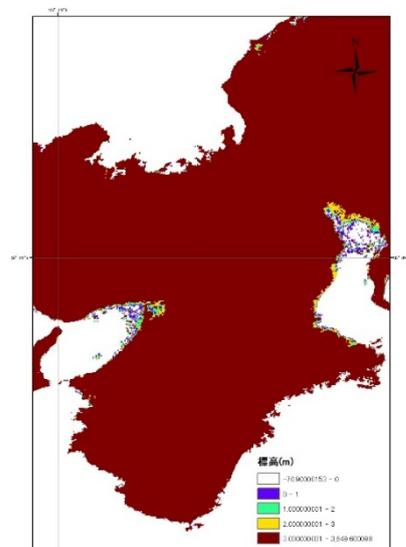


図-2: 海岸保全施設を考慮した標高データの一例

保全施設の高さの情報には、恒常的に作用する外力として沿岸波浪の高さと潮汐による水位上昇量から推定した。波浪場の計算では、ECMWFより入手した波浪再解析データセットから各季節の平均的な境界条件を求め、第3世代波浪推算モデルであるSWANを用いて日本沿岸部における波高を算出した。各季節における計算結果から最大波高値を抽出し、沿岸部での波高条件とした。潮汐変動については全球潮汐モデルNAOTIDEを用いて、日本国沿岸での過去10年間における最大潮位での水面高さを取得した。標高データは10mメッシュの標高データ（基盤地図情報）を500mメッシュデータに変換して使用した。本研究で抽出した海岸保全施設の情報と国土数値情報の海岸保全施設データを比較したところおおむね一致した。Google Mapで提供されるストリートビューから確認したところ、衛星画像では視認できない海岸保全施設のある個所や、砂浜など海岸侵食を防止する施設を本研究では海岸保全施設としていない箇所で見られた。海岸保全施設を考慮した標高データを検証すると、全国複数の地点で約1~2mの変化が見られ、標高値に海岸保全施設の効果を考慮することができた（図-2）。浸水影響評価において海岸保全施設の情報は重要であるため、今後はより効率的な抽出方法に加えて、抽出の精度の向上についても検討を進める。また、海岸保全施設を有する沿岸部においても標高の高い箇所があり、沿岸部の標高データの精度について複数の標高データから検討を行う予定である。

(3) 詳細な浸水リスク解析および浸水過程の可視化

（高潮浸水リスク解析）

高潮浸水リスク解析において地形データは重要な入力値であり、グリッド間隔や値の代表性によって解析結果が過小評価されたり過大評価されたりする可能性がある。S-18では高潮浸水リスクの評価結果について全国1kmグリッドで提示することを計画しているが、この要求仕様に対する解析において必要十分な地形データのスペックを明らかにし、その知見を踏まえた上で全国での高潮浸水リスク解析を実施することが重要であると考え。また、氾濫流解析ソルバによる浸水シミュレーションのアプローチと地形データに基づくレベル湛水法によるアプローチの比較評価や結果の融合も重要であると考え。そこで、①氾濫流解析ソルバによる局所域での高潮浸水シミュレーションにおける地形データの影響評価、②レベル湛水法による広域的な高潮浸水リスク評価、③これらの相互比較と結果の融合、を目指す。2020年度は、まず、茨城県的那珂川河口域を対象地域とする平面二次元氾濫流解析ソルバiRIC Nays2DFloodによる高潮浸水シミュレーションにおいて、AW3D高精密版地形データ（1m解像度の地盤高および地表高）ならびに国土地理院の数値標高データ（解像度5mおよび10m）をそれぞれ与えた際の結果を比較評価し、特に入力データの取り込み法や計算パラメータの設定法を検討した。さらにGoogle Earth EngineにおいてAW3D30（30mグリッドの全球数値標高データ）と他の地理情報（海岸線データ等）を組み合わせることで高潮浸水リスク域を抽出するアルゴリズムを実装し、約1kmのグリッドで同リスク域の広域抽出を行った。2021年度は、那珂川河口域での比較評価を完了するとともに、その成果に基づいて全国の幾つかの主要河川において氾濫流解析を実施すること、そしてGoogle Earth Engineに実装したアルゴリズムを氾濫流解析の結果や自治体の高潮浸水想定図に適合するように改良することを計画している。

（高潮浸水域の可視化）

高潮浸水解析の結果をわかりやすく、効果的に可視化することはアウトリーチの観点で重要であると考え。そこで2020年度は那珂川河口域を対象としてビジュアルプログラミング可視化ツールAVS/Expressによる可視化の検討を実施した。また、大洗港周辺を対象としてVR技術による3D可視化の検討も合わせて実施した。2021年度はそれ



それぞれの可視化法をさらに改良すると共に、さらに Google Earth を利用した浸水の可視化にも取り組む予定である。

(地理データ共有サイトの構築)

高潮浸水リスク評価の結果など、各研究で得られた成果を重ねて表示する地理データ共有サイトは重要な研究環境基盤であると考えられる。そこで2020年度は、国土院データなどをベースマップとして、これに浸水リスクマップなどを重ねて表示する試験サイトを構築した。2021年度は本サイトの改良(データ読み込み機能や数値表示機能などの追加)を進める予定である。

サブテーマ3(2) 高潮・高波等を対象とした沿岸域への気候変動影響予測と適応策の評価(代表: 森 信人)

(1) 目的

本サブテーマでは、我が国の沿岸域全体をカバーする沿岸ハザードの影響予測とこれを考慮した沿岸域の影響評価・適応策のプロトタイプを検討を行い、気候変動の沿岸域への影響と適応策の評価を目的とする。気候変動による高潮・高波等日本全国の沿岸域のハザード予測の集約、高度化および自然海岸等への海面上昇・波浪等の影響予測と物理的効果の評価を行うためのモデルを用いて、適応オプションの検討と経済評価を実施する。特に自然海岸の中で最も気候変動の影響が大きい砂浜海岸と人工海岸で経済的影響の大きい港湾域を対象に、気候変動の影響と適応策の検討を実施する(図-3)。

(2) 本年度実施内容ならびに成果

本年度は、海面上昇、高潮、波浪の沿岸ハザードの将来予測について、先行研究のデータを入手し、データの解析を進めた。また、波浪の高解像度ダウンスケール計算モデルの開発を開始した。さらに、全国砂浜DBのデータをアップデートするとともに、力学的海浜変形モデルの開発と現地観測データを対象とした精度評価を実施した(図-4)。力学的海浜変形モデルの開発では、XBeachモデルを用いて、過去再現計算を実施し、モデルの最適化を行った(図-5)。これらと並行して全国の主要な港湾域の防波堤の位置・高さのDB化、適応オプションのための港湾域の類型化についても着手した。

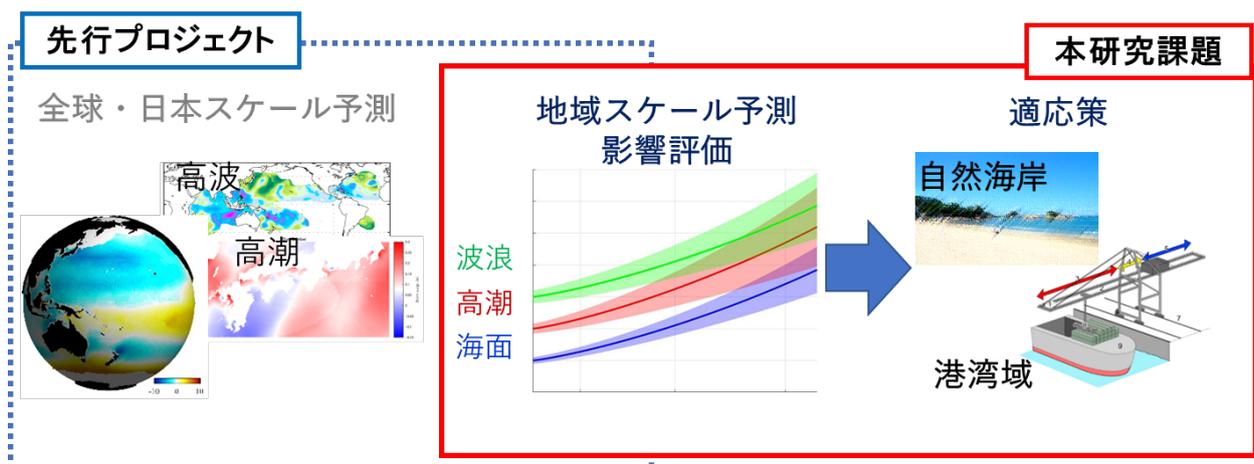


図-3: 本サブテーマの概要

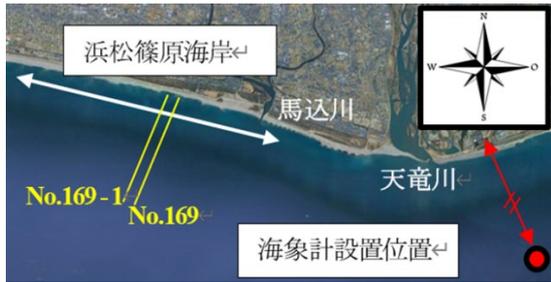


図-4：海浜変形モデル検証対象地点（静岡県浜松篠原海岸）

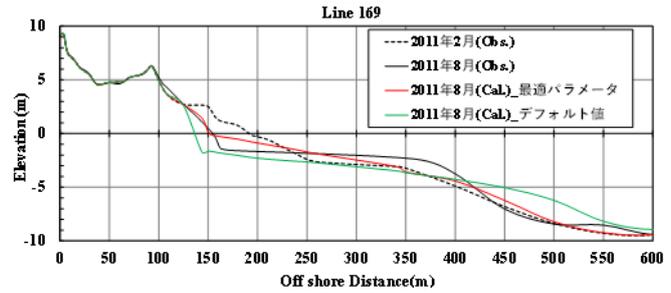


図-5：2011年を対象とした海浜変形モデル最適化の結果（黒線：観測結果，赤線：最適化結果，緑線：デフォルト設定）

サブテーマ 3(3) 河川洪水・内水氾濫による気候変動影響予測と適応策の評価（代表：風間 聡）

(1) 目的

詳細な地図情報を用いて河道からの洪水氾濫と内水氾濫を区別して洪水被害金額を求めるとともに、複数の適応策の効果を評価する。適応策として、1. 農業利水施設の高度利用、2. 河道掘削ならびに樹木伐採、を具体的な政策として評価を行う。農業利水施設については同班サブテーマ(4)の利水施設の結果を共有し、その相乗効果を示す。また、樹木伐採については、バイオマス燃料の利用による緩和策の効果を含んだ相乗効果を定量的に示すこととする。

(2) 2020年度実施内容ならびに成果

全国の洪水氾濫被害額が20世紀末に対し近未来に約42%、21世紀末に27.7%から56.6%増加すること、土地利用規制が被害額を19.8%減少するなど適用策の評価を行った(図-6)。また、土地構造、施設の改良・改変した適応策による内水被害軽減ポテンシャルを推計した。河道植生伐採適応として、茨城県において衛星観測に近い日時の植生採取により植生指標-バイオマス量の関係式を導き、衛星画像から富山5河川の植生分布を推定し粗度係数を算定した。さらに河道樹木伐採による水位低減の効果を定量的に評価した(図-7)。

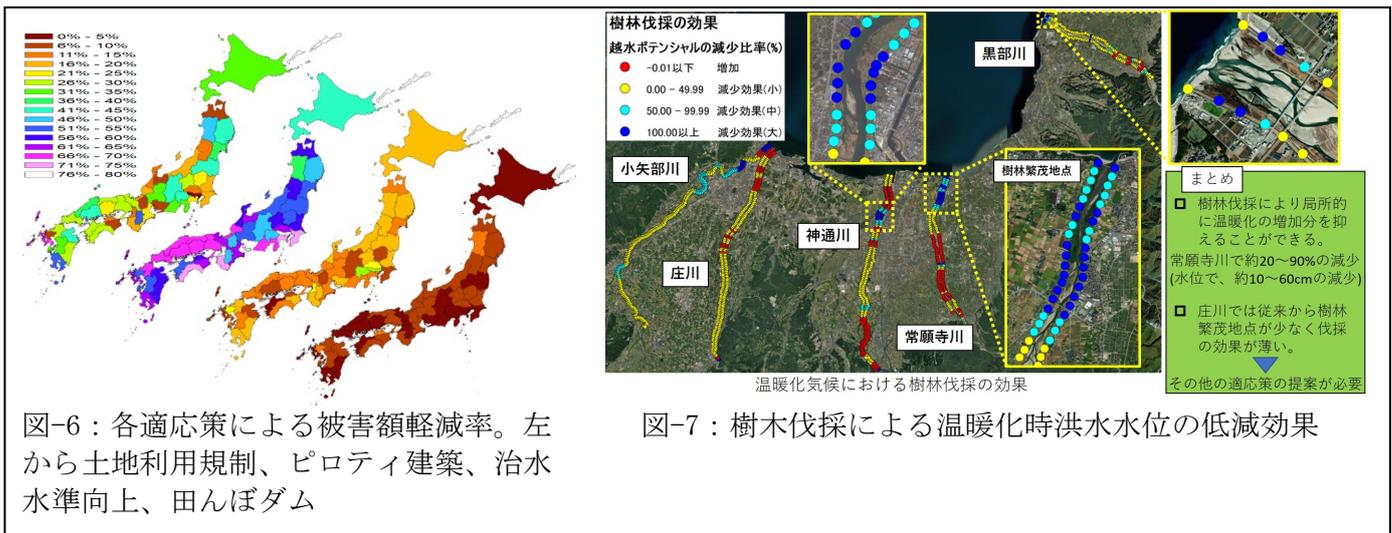


図-6：各適応策による被害額軽減率。左から土地利用規制、ピロティ建築、治水水準向上、田んぼダム

図-7：樹木伐採による温暖化時洪水水位の低減効果

(3) 課題

河道植生の推定、洪水流へのモデル構築に必要な現地観測が感染症対策のため十分に行えなかった。そのため、パラメータの同定が遅れている。また、他のグループとの情報交換も十分でない。オンライン会議の有利性を生かした情報交換を行えるよう環境を作る予定である。

サブテーマ 3(4) 流域における水資源への気候変動影響予測と適応策の評価（代表：吉田武郎）

全国の影響評価データベースの開発に向け、日本全域を 1km のスケールでカバーする分布型水文モデルを構築した。開発したモデル領域に対する過去 40 年（1980～2019 年）の気象データセットを整備し、自然状態での計算を行った。さらに、気象予測シナリオとして、MRI-AGCM3.2S の 150 年間（1950-2100 年）のデータを整備し、30 年間ずつのバイアス補正を実施した。さらに、モデル上で人間活動の影響を考慮するため、貯水池、農業用水の取水施設およびその実測取水データ、土地利用の変化に関する情報を収集するとともにモデル入力データとして整備し、第一次影響評価への準備を進めた。

貯水池管理グループでは、三重県安濃川および栃木県鬼怒川流域を対象に、ダム堆砂、温暖化による流入流況変化、さらに農業水利用形態の変化を組み合わせた統合評価モデルの開発を進めた。安濃川では、分布型流出モデル(Hydro-BEAM)を用いて、洪水調節、貯留、放流（幹線水路・河川）の実態を反映できるダム運用モデルを開発した。また、MRI-AGCM3.2s の複数の温暖化シナリオをもとに、2075-2099 年の将来流況予測、さらには堆砂進行レベルを変化させた場合の将来の給水制限日数の変化を評価した。また、作物成長モデルによって灌漑需要量を算出してダム灌漑用水モデルを構築し、2010 年から 10 年間の利水需給状況を、複数の営農シナリオの下で解析した。鬼怒川流域においても、同様にダムモデルの作成と、堆砂および温暖化による流況変化、また水補給ルールを変更させたものを組み合わせて、ダムの利水補給の安全度評価を行った。

農業水利用については、信濃川水系の利水基準点を対象に、気候変動に伴う積雪量の減少・融雪の早期化による灌漑期の渇水リスクの変化を評価した。その結果、現在期間から近未来、将来にかけて、渇水期間の長期化、渇水量の増加傾向が示された。その原因として少雪と灌漑期前半の少雨の同時生起確率の増加が示唆された。

地下水利用については、上流側で涵養された地下水を下流側の水田で利用する那須野ヶ原扇状地、沿岸域において水資源の大半を地下水に依存する米須地下ダム地域をモデル地域として選定した。那須野ヶ原扇状地においては、長期間の地下水位観測データに基づき、最も地下水位が低下しかつ最も水が必要となる灌漑期初期の地下水位と先行降雨の関係を整理した。米須地下ダム地域においては、構築するモデルに反映させる帯水層の水理特性を把握するため、地下水位・電気伝導度の自記観測を開始した。また、それぞれの地域の現地調査・文献調査結果に基づき、水収支を解析するためのモデル構築に着手し、基本的構造を決定した。

2. 成果一覧（予定を含む）

○学術論文（国内誌 7 件、国際誌 3 件）

<査読あり>

- 1) 【予定】 Kumano, N., M. Tamura, T. Inoue, H. Yokoki: Coastal Engineering Journal, (2021) (印刷中)
"Estimating the cost of coastal adaptation using mangrove forests against sea level rise"
- 2) Pham. T. O, M. Tamura, N. Kumano, Q. V. Nguyen: Sustainability, 12(24), 19p. (2020)
"Cost-benefit Analysis of mixing grey and green infrastructures to adapt to sea level rise in the Vietnamese Mekong River delta"
- 3) 熊野直子、田村誠、井上智美、横木裕宗: 土木学会論文集 G(環境), 76(5), I_221-I_231, (2020)
「海面上昇に適応するためのグリーンインフラを活用した多重防護の費用分析」
- 4) 武若 聡, 内堀 圭一郎, 海老原 友基, 森 信人 (2020) 沿岸漂砂量の時空間分布の推定, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2020, 76 巻, 2 号, p. I_451-I_456
- 5) 宮内 海峰, 森 信人, 志村 智也, 建部 洋晶 (2020) 気候変動に伴う日本周辺海域を対象とした海面上昇量の予測不確実性, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2020, 76 巻, 2 号, p. I_1135-

I_1140

- 6) 山本道, 風間聡, 峠嘉哉, 多田毅, 山下毅: 土木学会論文集 G (環境), Vol. 76. No. 5, pp. I_141-I_150 (2020), 日本全国洪水氾濫解析による気候変動への緩和策及び土地利用規制の評価.
- 7) 柳原駿太, 山本道, 風間聡, 峠嘉哉: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 76, No. 2, I_85-I_90 (2020), 日本全域を対象とした極値降雨データに基づく内水リスクの推定およびその将来変化
- 8) Yikai Chai, Yoshiya Touge, Ke Shi, So Kazama: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 76, No. 1, pp. 295-303 (2020), Evaluating potential flood mitigation effect of paddy field dam for Typhoon No. 19 in 2019 in the Naruse River Basin.
- 9) 石川彰真, 呉修一: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 76, No. 2, pp. I_655-I_660 (2020), 富山県河川を対象とした洪水解析に基づく堤防の越水・浸透・侵食ポテンシャル評価
- 10) 吉田武郎, 宮島真理子, 松尾洋毅, 森田孝治, 相原星哉, 皆川裕樹, 河島克久, 少雪条件下での灌漑期水資源の統計的予測-2019-20年積雪条件下での信濃川流域における検討-, 応用水文 33, 11-20.

<査読なし>

- 1) 石川彰真, 呉修一, 高橋岳, 京角和希, 第 28 回土木学会地球環境シンポジウム講演集, pp. 27-32 (2020), 粗度係数の設定が富山河川の洪水・侵食危険度評価に与える影響
- 2) S. Ishikawa, S. Kure, R. Yagi, B. PRIYAMBODHO, Proceeding of 22th IAHR-APD congress 2020, 5-5 (4-5-6) (2020), FLOOD HAZARD EVALUATION FOR RIVERS IN TOYAMA PREFECTURE, JAPAN

○学会・シンポジウム等における発表 (国内 11 件、国外 3 件)

<口頭発表>

- 1) 熊野直子, 田村誠, 井上智美, 横木裕宗: 第 28 回地球環境シンポジウム (2020 年 9 月 24 日、オンライン) 海面上昇に適應するためのグリーンインフラを活用した多重防護の費用分析
- 2) Mori, N., Morim, J., M. Hemer, X.L. Wang and COWCLIP Project (2020) Ensemble wave climate projections based on CMIP5 models, Virtual International Conference on Coastal Engineering. (国外, オンライン会議)
- 3) Oderiz, I., N. Mori, T. Mortlock, E. Mendoza, R. Sliva (2020) Impact of climate variability on extreme events in coastal regions, Virtual International Conference on Coastal Engineering, Virtual International Conference on Coastal Engineering. (国外, オンライン会議)
- 4) 山本道, 風間聡, 峠嘉哉, 多田毅, 山下毅, 土木学会年次学術講演会, オンライン (2020), 気候変動による洪水に対する土地利用規制事業の検討, CS13-08.
- 5) 石川彰真, 呉修一, 土木学会年次学術講演会, オンライン (2020), 富山県全河川を対象とした降雨流出解析に基づく水文特性と河川ハザード評価の比較, II-133.
- 6) So Kazama, GOBESHONA Global Conference, Online(2021), Comparison of adaptation measures for floods in Japan,
- 7) Yikai Chai・Yoshiya Touge・So Kazama, 土木学会東北支部技術研究発表会, オンライン (2021), Evaluating potential flood mitigation effect of paddy field dam in Naruse River Basin, II-61.
- 8) 山本道・風間聡・峠嘉哉・山下毅, 土木学会東北支部技術研究発表会, オンライン (2021), 田んぼダムによる洪水被害軽減潜在効果の推定, II-62.
- 9) 上原優・鈴木皓達・川越清樹, 土木学会東北支部技術研究発表会, オンライン (2021), 流域一帯の土砂・植生分布の規則性と特徴に関する研究, II-34.
- 10) 渡部隼・鈴木皓達・川越清樹, 土木学会東北支部技術研究発表会, オンライン (2021), 令和元年台風 19 号における阿武隈川流域自治体の防災情報と出水情報の検証, II-56.
- 11) 石川彰真, 呉修一, 土木学会中部支部研究発表会, オンライン (2021), 重要水防箇所との

比較による侵食危険度評価手法の課題検討, II-23

- 1 2) 高橋岳, 石川彰真, 呉修一, 土木学会中部支部研究発表会, オンライン (2021), 河道内樹林が洪水に与える影響評価と温暖化適応策としての管理方法の提案, II-27
- 1 3) 角哲也, 西村昂輝, 佐藤嘉展, 竹門康弘, 令和 2 年度京都大学防災研究所研究発表講演会 (2021) 気候変動とダム堆砂を考慮した安濃川水系の利水安全度評価
- 1 4) 小島裕之, 永谷言, 川村育男, 佐藤嘉展, 角哲也, 令和 2 年度京都大学防災研究所研究発表講演会 (2021) 気候変動と堆砂進行および利水需要変化がダムの利水機能に及ぼす影響に関する検討 1)

<ポスター発表>

- 1) Hayata Yanagihara, Tao Yamamoto, So Kazama, The 8th International Symposium on Water Environment Systems --with Perspective of Global Safety, pp.32-33, 仙台 (2020) Estimation of the risk of inland flood based on distribution of extreme precipitation in Japan(P).

○「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 横木裕宗: S-18 公開シンポジウム「気候変動影響予測・適応評価の総合的研究」, 2020 年 11 月 12 日 (オンライン) 「S-18 研究計画 (自然災害・水資源分野)」
- 2) 風間聡, 酒田, 2021. 1. 19. 気候変動下での水に関する問題, 庄内・社会基盤技術フォーラム.

○新聞・雑誌記事等

- 1) 日本農業新聞 (2020 年 10 月 13 日、全国版、11 ページ、「渇水予測手法を開発 農研機構 対策の判断正確に」)

○知的財産権

特になし

○受賞等

- 1) 風間聡, 学術賞, 水文・水資源学会, 2020. 9. 17.