

# 内水氾濫解析を用いたグリーンインフラ の有する洪水調節機能に関する検討

横川 涼<sup>1</sup>・武藤 裕則<sup>2</sup>・鎌田 磨人<sup>3</sup>・田村 隆雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1)  
E-mail: c501931015@tokushima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 Ph.D. 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1)  
E-mail: muto\_yas@ce.tokushima-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>3</sup>正会員 学術博 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1)  
E-mail: kamada@tokushima-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 博士 (工学) 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1)  
E-mail: tamura@ce.tokushima-u.ac.jp

本研究では、徳島県にある海部川支川善蔵川流域を対象とし、農地や湿地をグリーンインフラとし、洪水調節機能を定量的に評価する内水氾濫解析モデルを構築し、人口減少が進む当該流域における将来の土地利用の在り方を考察した。平成26年台風12号を元に、Hazen法によって確率雨量を評価し、降雨外力の違いと土地利用の違いによる洪水調節機能に与える影響を評価した。前者では、床上浸水の被害が20年確率降雨以上で顕著に増加したことから、水害リスクの高い場所と農地による洪水調節機能の発揮限界について検討した。後者では、宅地転換が進む前の過去の土地利用では、湛水量の増減の応答が早く、とりわけ集中的に浸水する領域を特定した。以上から、浸水リスクがある場所での開発を控え、社会状況に連動した優先的な退避の施策の成立が今後重要視される。

**Key Words:** green infrastructure, inundation from inside waters, flood control function, flood analysis model, land use shange, population decline

## 1. はじめに

IPCCの第5次評価報告書によると、継続的な地球温暖化に伴う気象変動によって、降雨パターンの変化に加え、平成30年7月豪雨や令和元年度台風19号豪雨災害に挙げられる既存の整備基準を上回るような外力規模の水災害が今後さらに増加すると見込まれている<sup>1)</sup>。このような計画規模以上豪雨の発生確率や災害リスクが増加している状況の中、現状の河川を中核とした治水対策では、未曾有の水災害を防ぐことは困難であると考えられる。その他にも、現在の日本は人口減少社会への突入や建設就業者人口・建設投資の減少は顕著となっており、老朽化した既存インフラの修繕、更新は困難であるといえる<sup>2)</sup>。今後、限られた建設投資の中で、これまでの人工構造物を主体としたハード整備継続の他に、被害軽減・回避をするための新たな手法、思想での河川整備・治水対応策が必要であるとされている。河川整備や治水対策は高度経済成長期時代の急激な人口増加や都市化に伴い、大急ぎ

で進んだことが相まって、それまで危険視されていた領域への人や産業の進出が起こり、重要視された<sup>3)</sup>。しかし、それ以前は、限られた整備や土地利用によって、地域ごとの特徴を活かした治水がなされており、水害リスクの高い土地を、自然資本である水田や湿地として上手く維持・活用されていた<sup>4)</sup>。これは土地本来の有する多面的機能を活用した、現代のグリーンインフラの考え方に通ずる土地利用方法であるといえる。今後、人命や資産を守り、災害に強い社会を築くためには、想定を超える外力規模に対応できる持続可能な国土形成が必要であり、人工構造物(以後、グレーインフラとする)での単一的機能による安全性をグリーンインフラの持つ多面的機能を相乗し、補完するハイブリットインフラ<sup>5)</sup>として、複合的な治水対策を検討するべきであると考えられる。

そこで本稿では、都市域と比較して急激な財政悪化が予想され<sup>6)7)</sup>、グレーインフラ(ここでは県管理の河川構造物)の維持・更新不足に陥る地方を対象に、地域内に現存する水田や畑(以後グリーンインフラとする)が

持つ多面的機能の一つである洪水調節機能に関し、内水・外水氾濫解析ソフト「AFREL-SR」を活用して、数値・定量化することにより安全性を評価することを目的とした。また、開発により、宅地転換が進んだ現在の土地利用と自然資本による治水をある程度活用していた開発以前の土地利用を解析対象とし、結果を比較することにより、グリーンインフラを活用した将来の持続可能な土地利用のあり方について検討・考察を行った。

加えて、近年の外力（主に気候）変動を考慮し、治水安全度を確率雨量別に評価することでグリーンインフラの洪水調節機能について考察を行った。

本研究の対象地は徳島県海部郡海陽町の海部川流路延長 36.3km、流域面積約 206 km<sup>2</sup> 流域中で、最大の集落が形成され、流域内の人口・資産が集中している下流大里・四方原地区に存在する支川善蔵川流域である。また、海部川本川と接続している。この海部川上流部の山岳地帯は、年平均降水量が 3,000mm（徳島地方気象台）となっており、全国でも有数の豪雨地帯である<sup>8)</sup>。

## 2. 本研究で用いた条件・手法

### (1) 土地・標高データセット

今回、内水氾濫時のグリーンインフラの減災ポテンシャルを評価するために、空間解像度を 5m×5m としている。国土地理院が提供している基盤地図情報数値標高モデル 5mメッシュ（標高）により、現在（H26）の対象地の地

形を再現した（図-1 参照）。過去（S40 年代）の標高に関するデータに関しては、対象となる当時（S40 年代）のデータが存在しなかったため、現況の標高データを使用した。また、JR 牟岐線の開通により、盛土された部分の盛土を除いている。また、現在河川が整備され、流路が変更された善蔵川に関しては、周辺地よりも標高が低くなっており、地形が平坦となるように過去、流路が無かった場所は標高を変更している。また、土地利用に関しては、現況については国土交通省の国土数値情報ダウンロードから入手できる平成 26 年度版土地利用細分メッシュを用いたのち、空間解像度に合わせるために、国土地理院地図航空写真を使用し、手作業で土地利用を設定した。また、過去に関しては、国土交通省国土数値情報ダウンロードの昭和 51 年度版土地利用細分メッシュと地図・空中写真閲覧サービスの航空写真を活用し、再現を行った。

図-2 は解析対象地内の現況及び過去の土地利用別の割合を示したものである。水田と畑を合わせたグリーンインフラの土地利用割合は、過去の土地利用では約 70% であり、現況では約 50% となっている。

図-3 はそれぞれの土地利用区分を示したものである。

図（過去）は S40 年頃、図（現況）は H26 年頃の土地利用を再現している。過去の土地利用の特徴としては、現在ほど宅地転換が進んでおらず、数軒単位で密集した小規模集落が標高 4.0~5.0m を超える場所に点在しており、それ以外の土地では、水田か畑などの農作地として利用され

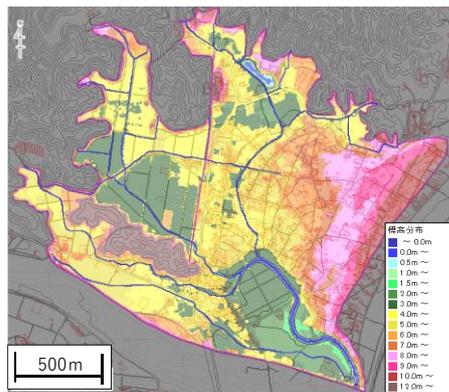


図-1 標高分布

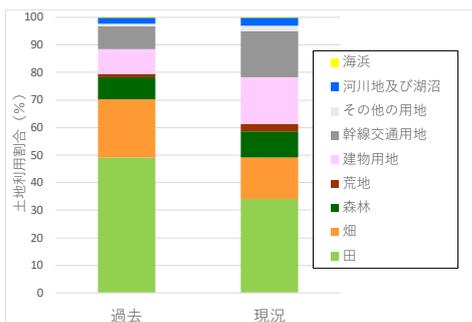


図-2 現況及び過去の土地利用割合

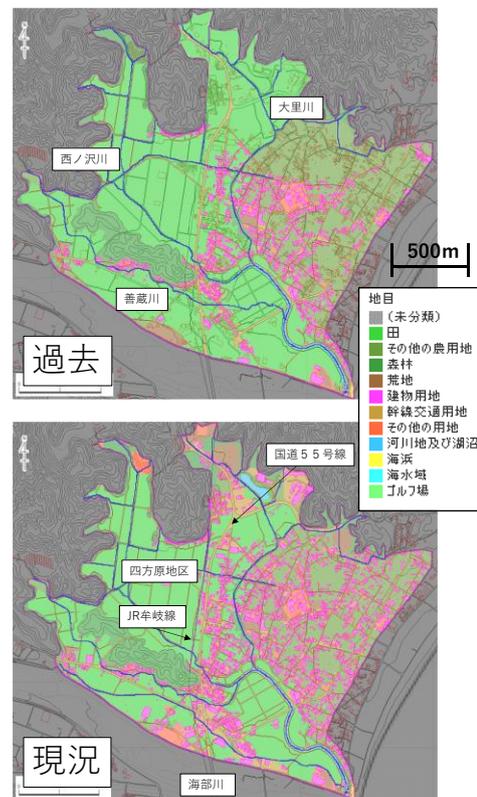


図-3 土地利用区分

ていた。現況では、主に標高 4.0mかそれ以下の農作地であった土地に住居や公共・商業施設が建設され、国道 55 号線や JR 牟岐線の鉄道が整備されたことから、交通利便性が向上し、住居が広範囲に広がった。そのため、建物用地と幹線交通用地の割合が依然より、増加している。

また、現況の善蔵川は流路が変更されており、過去の善蔵川の流路を航空写真を基に再現している。

## (2) 降雨量の検討

本研究では、解析対象地内に床上浸水の被害が発生した実績降雨<sup>9)</sup>として、気象庁管轄の海陽気象観測所において、平成 26 年台風 12 号期間中（8 月 2 日～8 月 4 日）に観測された 10 分間降雨を用いて、氾濫解析を行っている。氾濫解析に使用している降雨波形は、上記の降雨イベント 8 月 2 日 5 時～8 月 4 日 4 時までの 48 時間の降雨波形を使用し、グリーンインフラの湛水による洪水調節機能を評価するために降雨イベント後 12 時間を降水量 0mm の無降雨期間とし、合計 60 時間を今回の解析ケースとした（図-4 参照）。

海陽観測所における観測記録 2009-2019 を Hazen 法を用いて確率評価を行ったところ、対象とした実績降雨は、48 時間雨量において約 25 年確率降雨の降雨であった。潮位は上記サイトの阿波由岐観測所のデータを使用している。

降雨規模別のグリーンインフラの洪水調節機能を評価するために、Hazen 法によって 2・5・20・100・200 年の 5 つの確率降雨量を選定した。表-1 は各確率降雨と実績降雨における 48 時間雨量の降雨量を示したものである。降雨波形は、実績降雨（図-4）を設定された降雨量になる

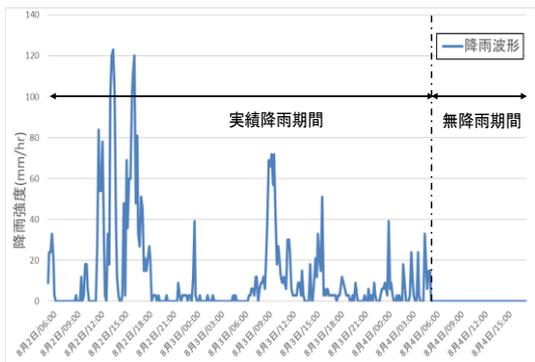


図-4 解析モデル降雨波形

表-1 確率降雨別 48 時間雨量

降雨再現期間(年)	降雨量 (mm)
2	350.0
5	463.1
20	569.3
100	656.8
200	688.1
実績降雨	581.0

ように引き伸ばして設定した。

## (3) 内水氾濫解析モデル

本研究では、三好ら<sup>10,11)</sup>が開発した内水流動数値解析モデルである。本解析モデルは図-5 に示す二次元不定流モデル（地表面）、一次元開水路不定流モデル（排水路）のサブモデルを結合することにより構築されている。流れの数値計算には、空間的には水位と流量フラックスとをスタガード配置した正方形グリッドモデルを差分化した。時間的には leap-frog 法により、陽的に離散化している。

また、対象流域内にある河川は全て開水路として設定し、下流端に水門を設置し、そこからポンプにより解析範囲外に該当する海部川本川へ排水している。

本流域は、河口からも近く、本川からの流入の影響を考慮して、その影響を潮位として、下流端のセルに設定している。下流端からの流入として、潮位は実績降雨時に観測されたデータを使用している。設定している本モデルでの外力の与え方として、実績降雨により作成した確率降雨を平野部では解析領域の地表面全体に一律で与えている。また、山地域にも降雨を与え、山地域からの流出の

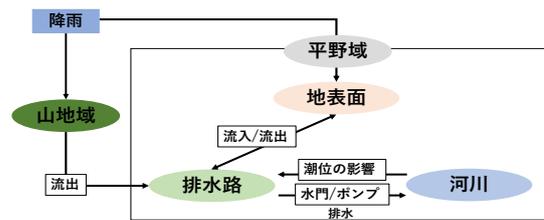


図-5 サブモデルの構成図

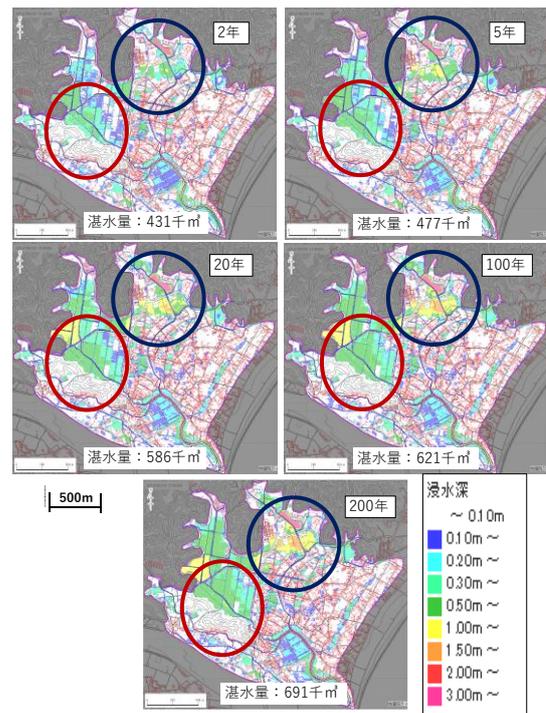


図-6 床下浸水被害地分布

影響を合理式法により平野域に与えている。

なお、土地利用の違いが流出特性に及ぼす影響を粗度係数と流出係数を変化することによって、二次元不定流モデル上で考慮している。

### 3. 解析結果・考察

#### (1) 確率雨量の検討

図-6 は確率降雨別にピーク湛水量を示したものである。すべての確率降雨でピーク湛水量に到達したのは、解析開始 12 時間後（8 月 2 日 17 時）であり、湛水量はそれぞれの下部に記載してある通りである。湛水量に変化が見られるのは、赤丸の四方原地区と青丸の住宅街である。赤丸の領域は、大部分が水田地帯であり、降雨による氾濫流を貯留していることが分かる。青丸領域では降雨の外力規模増加に伴い、床下や床上などの浸水被害家屋増加に繋がっている。そのため、外力規模の増加により、被害面積や被害地は北部の領域に集中する。

図-7 は確率降雨別のピーク湛水量と床上浸水（最大浸水深 0.5m 以上の建物用地）を縦軸に横軸には総降水量をプロットしたものである。床上浸水の被害地は、20 年確率降雨までは増加は少ないが、100 年確率降雨以上の外力規模では床上浸水の面積の増加が顕著にみられる。またピーク湛水量に関しては同じような傾向が見られなかった。これは、実績降雨に近い 20 年確率降雨程度までは農地に氾濫流が流入するため、農地以外の浸水被害は少

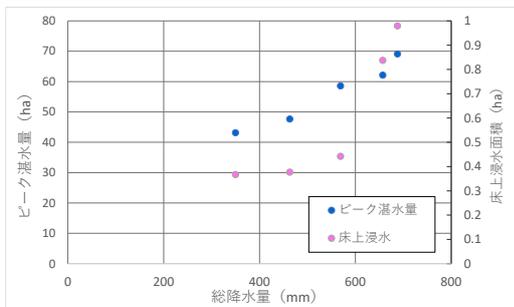


図-7 確率降雨別時間別ピーク湛水量

ないが外力規模が高くなると、農地以外の土地にも氾濫流が流入している。

なお、実績降雨のピーク湛水量は 599 千 $m^3$ であり、床上・床下ともに発生状況に変化が見られないことから 20 年確立降雨に類似性がみられた。

#### (2) 現況・過去土地利用比較検討

まず、本検討では対象地である海陽町の現況と過去の土地利用を再現することにより、グリーンインフラの持つ洪水低減効果を比較した。本検討において使用した降雨外力は降雨量の検討でも使用した平成 26 年台風 12 号の降雨である。図-8 は床下浸水（最大浸水深 0.1m 以

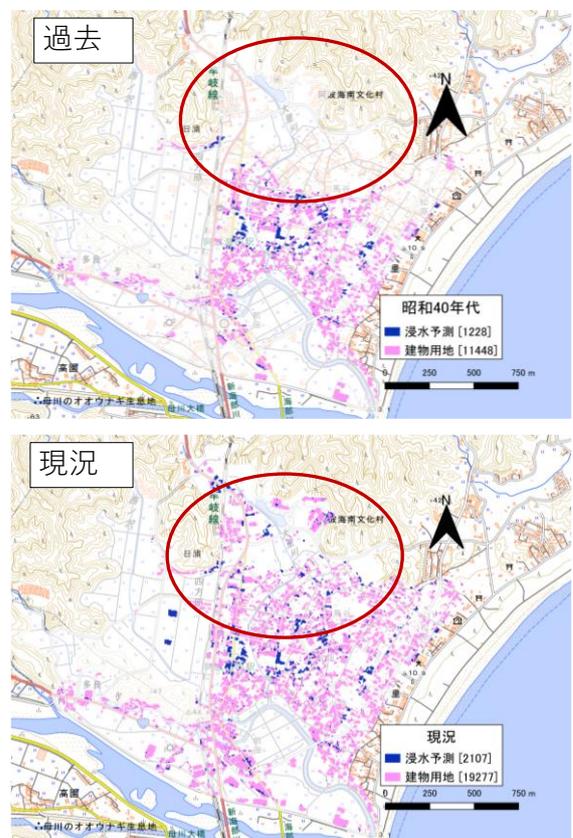


図-8 床下浸水被害地分布

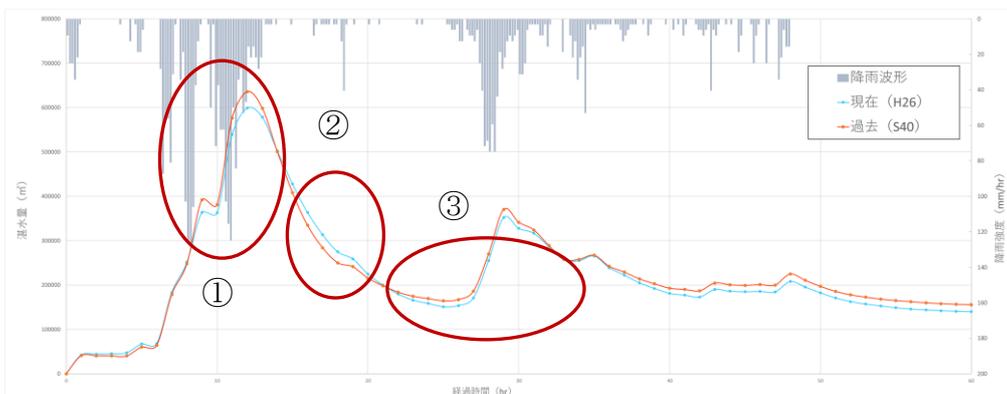


図-9 土地利用別湛水量の時系列変化

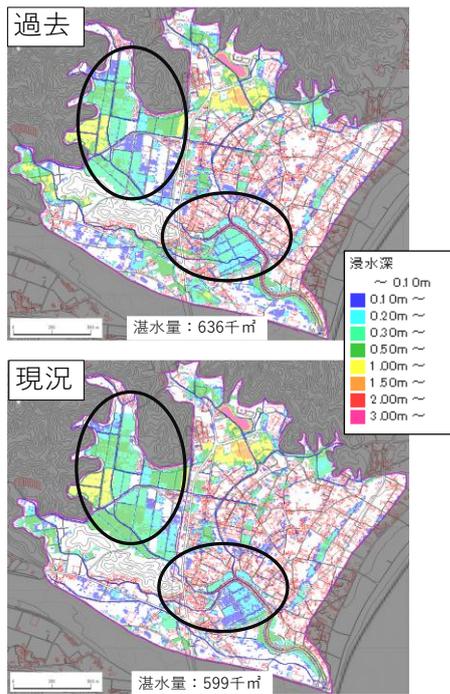


図-10 ピーク湛水量時浸水深分布

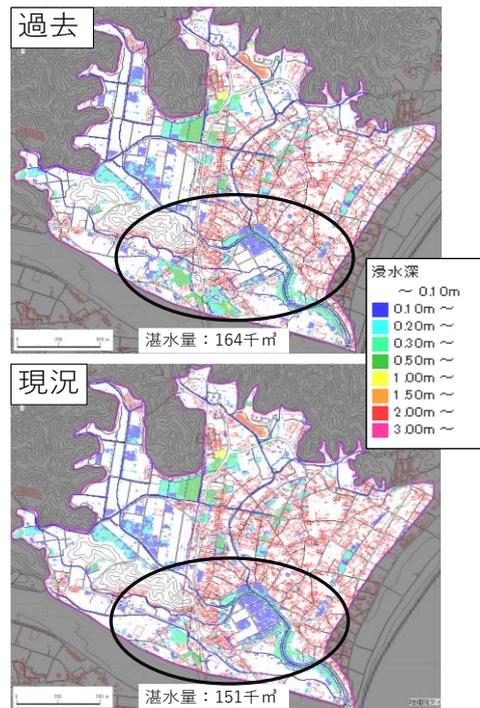


図-11 解析開始25時間後浸水深分布

上, 0.5m以下の建物用地) のあった地点をプロットし、示したものである。主に、床下浸水被害地の特徴として見られたのが、宅地転換が進み、新しく建設された赤丸の住宅街で、多くの床下浸水が増加がみられる。同じ地点の過去土地利用でも、畑や水田として同様に浸水しているため、水害リスクの高い土地にも、人々の進出が見られる。図-9 は、現況と過去の土地利用別湛水量の時系列変化を示したものである。湛水量の時間変化で過去と現況での違いを比較すると、まず、ピーク湛水量を記録した解析開始12時間後(8月2日17時)の湛水量は、現況は599千 $\text{m}^3$ に対し、過去は636千 $\text{m}^3$ となっており、約6%の増加となった。図-9 はピーク湛水深時の浸水深の分布を示したものである。過去土地利用は赤丸①のように降雨に対する湛水量の応答が高く、ゲリラ豪雨の様な短時間に大量の降雨が発生する降雨でも、早くから貯留能力を発揮している。また、ピーク湛水量以降は、赤丸②にあるように湛水量の減少も早い。その後は赤丸③のようにある程度の湛水が保たれている。治水の観点でみると、赤丸①、③は問題であり、その結果、現状の善蔵川河川改修による流路変更が行われたと推測される。しかし、グリーンインフラの観点で考察すると、ピーク湛水にむけて増加した湛水量の多くが図-10 の黒丸からも分かるように水田に貯留されており、浸水被害は比較的少ない。続いて、赤丸②で湛水量の減少が早い要因は、農地が持つ浸透能によるものと考察できる。農地から宅地転換によって、住宅街になった地域は浸透能が著しく低下するため、流域全体としてみると過去土地利用は現況よりも浸透能が高くなっている。

最後に、図-11 は図-8 の赤丸③に相当する解析開始25時間後(8月3日6時)の浸水深の状況を示したものであるが、黒丸で囲った地域で比較すると、過去の方が南部寄りの商業施設や住宅が点在する場所で浸水が見られるが、図-7 から分かるように浸水被害をもたらすほどの影響はない。湛水位が高い状態で維持されることは、水田植生や湿地生物のハビタットとなっている可能性がある。

#### 4. 本研究のまとめ

本研究では、徳島県海部郡海陽町大里地区の支川善蔵川流域を対象として、流域内で床上浸水の発生した実績降雨の降雨波形を用いて、過去の土地利用を再現したケースと外力である雨量を確率年ごとに変更した2パターンにおいて、水田と畑をグリーンインフラとして考え、洪水調節機能を評価するために内水氾濫解析を行った。

##### (1) 降雨外力の違いによる検討の結果

浸水深の分布や浸水面積の比較から、氾濫時に多くの氾濫流が四方原地区にある水田地帯へ流入することが分かった。また水害リスクが高く、浸水被害が発生しやすい地域が北部の湿地を宅地転換してできた住宅街であることが分かった。

##### (2) 土地利用の違いによる検討の結果

過去の土地利用を復元し、解析した結果、かつては農地や湿地であった場所において、湛水機能を発揮していた場

所を明らかにした。また、善蔵川流域において、土地利用の再編・適正な配置にグリーンインフラを配備することは、湛水能力だけでなく、水田の保水機能も維持できる。このように農地・湿地を適切に再整備することで当該地域の有する生態系ハビタット保持や生物多様性保持機能の観点からも効果的ではないかと考えられる。

### (3) 将来の土地利用の在り方の考察

検討対象流域では、昭和40年前後に国道55号の改良及び国鉄牟岐線（当時）の延線開業があり、それに伴い北・南部及び鉄道駅周辺の標高の低い地域への建物進出が見られる（図-3参照）。氾濫解析による浸水家屋の分布（図-7参照）から分かるように、現況において新たに浸水家屋となったのは、これらの新しく進出した地域のものが多い。渡辺<sup>12)</sup>による津波を対象にした検討結果では、住宅の立地傾向は災害リスクよりも、公共施設等への距離による利便性によって選考される傾向にあることが指摘されており、今回の結果は洪水についても同様であることを示している。以上の結果に基づき、将来の土地利用誘導のあり方を考えた場合、浸水リスクがある場所での開発を制限することに加えて、そのような場所からの優先的な退避を後押しする施策が肝要であり、そこでは基礎自治体による地域の人口減少とそれと連動する建物放棄動向を細やかに反映した展開が期待される。

**謝辞**：本研究は、環境省環境研究統合推進費JPMEERF20184005（研究代表者・中村太士 北海道大学 教授）より研究補助を受け行われた。ここに記して謝意を示します。

### 参考文献

1) 環境省,地球環境局：気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書統合報告書,政府決定者向け要約, 2014.

- 2) 国土交通省,中央建設業審議会：配布資料参考資料 4,建設業を取り巻く情勢・変化, 2016.
- 3) 国土交通省,総合治水対策のプログラム評価に関する検討会：流域と一体となった総合治水対策に関するプログラム評価書配布参考資料 2.総合治水対策の現状について, pp.11-16, 2004.
- 4) 高橋裕：川と国土の危機 水害と社会, pp.147-154, 岩波書店, 2012.
- 5) 大沼あゆみ：生態系インフラによる防災・減災（Eco-DRR）をどのように買う題していくべきか？ - 第五次環境基本計画に示されたグリーンインフラ：その経済的特徴と持続可能社会形成における意義 -, 環境経済・政策研究, Vol.11, No.2, pp.1-61-I-64, 2018
- 6) 赤井伸郎：選択する未来委員会「地域の未来ワーキング・グループ」, 少子高齢化・人口減少時代における ローカル・インフラの選択, 2014.
- 7) みずほ総合研究所：みずほりポート, 人口減少が地方財政に与える影響～地方税制見直しへの視点～, pp.1-4-I-12, 2006
- 8) 徳島県：二級河川海部川水系河川整備基本方針, 1.河川の総合的な保全と利用に関する基本方針, pp.1-1-I-7, 2015
- 9) 徳島県, 県土整備部河川整備課, 平成26年台風12号11号浸水痕跡マップ, MAP.9-11, 2015.
- 10) 三好学, 田村隆雄, 安藝浩資：面積割合加重平均の逆算による土地利用形態別流出係数の推定方法, 水工学論文集, Vol.71, No.4, pp.1-1315-I-1320, 2015.
- 11) 三好学, 田村隆雄, 武藤裕則, 安藝浩資：都市郊外部における排水路規定流量を考量した内水氾濫解析, 水工学論文集, Vol.72, No.4, pp.1-139-I-144, 2016.
- 12) 渡辺公次郎, 近藤光男：徳島都市圏における津波危険性を考慮した住宅立地傾向の分析, 日本建築学会計画系論文集, Vol.81, No.730, pp.1-2713-2721, 2016.

(Received June 30, 2020)  
(Accepted August 28, 2020)

## FLOOD CONTROL FUNCTION OF FARMLAND AS GREEN INFRASTRUCTURE USING INUNDATION ANALYSIS MODEL

Ryo YOKOKAWA, Yasunori MUTO, Mahito KAMADA, and Takao TAMURA

In this paper, flood control function of agricultural land and wetlands were considered using an inundation analysis model, expecting to work as green infrastructure against flood. The study area is located in Zenzo River basin, a tributary of the Kaifu River, Tokushima Prefecture, where population decline is severe in recent years. Based on the rainfall by Typhoon 1412 several probable rainfalls were evaluated, and the flood control function was examined with the different rainfalls, as well as the difference of land use. The results show that, since the flood damage due to inundation above floor level remarkably increase at and over 20-year period probable rainfall, the flood control function has a limit at some stage against extreme rainfall events. On the other hand, in the past land use where more farmlands existed, temporal variation of inundation volume reduces more rapidly compared with the current land use. The results indicate it will be necessary to suppress development in high risk areas, and the past land use will be a good reference for a wise land use.