

# 内水氾濫を考慮した高原地域での戦略的な EbA導入策に関する基礎的研究 — 那須塩原市をケーススタディとして —

池田 裕一<sup>1</sup>・高林 優美<sup>2</sup>・飯村 耕介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 宇都宮大学教授 地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科  
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)  
E-mail: ikeda@cc.utsunomiya-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>学生会員 宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科社会デザイン科学専攻  
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

<sup>3</sup>正会員 宇都宮大学助教 地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科  
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)  
E-mail: k\_ikumura@cc.utsunomiya-u.ac.jp

近年、気候変動による水害の激甚化が課題となっており、河道だけでなく堤内地の整備も含めた流域治水による適応が求められている。EbAは自然環境の多様な機能を活用した気候変動適応策の1つで、堤内地の防災や減災などの効果が期待されている。本研究では、栃木県那須塩原市を高原地域のケーススタディとし、水害対策にEbAを導入するにあたり、内水氾濫を考慮した水害リスクと緑地環境のデータを標準地域メッシュ上に配置し、GIS上でゾーニングする方法を検討した。その結果、内水氾濫流が山間部から平野部へ流れる向きに沿って、緑地の多い地区から浸水被害が多い地区へと変化することが可視化され、地区ごとのEbA整備だけでなく地区をまたいだ広域的戦略的なEbA導入策を検討することが容易となった。また森林荒廃の保全の必要性も明らかになった。

**Key Words:** climate change, EbA, green infrastructure, inland water flooding, forest devastation

## 1. はじめに

近年、気候変動による水害の激甚化・頻発化が課題となっており、もはや河道だけでなく、堤内地の整備も含めた流域治水による適応が求められている。加えて高度成長期以降に集中的に整備された社会資本は、老朽化が急速に進んでおり、経済的な余裕も失われつつある。このような状況で既存施設の維持更新を図りながら、管理コストや手間をかけずに社会資本の効果を引き出すために、堤内地の自然環境の保全あるいは創生による解決策が求められている<sup>1)</sup>。

その一つとして注目されているのがグリーンインフラである。これは、自然環境が有する機能を社会における様々な課題解決に活用しようとするもので、1990年代末から欧米諸国で発案された社会基盤整備手法である。我が国においても平成27年に閣議決定された国土形成計画や第4次社会資本整備重点計画で「国土の適切な管理」

「安全・安心で持続可能な国土」「人口減少・高齢化等に対応した持続可能な地域社会の形成」といった課題への対応の一つとして、グリーンインフラの取り組みを推進することが盛り込まれた<sup>2)</sup>。

このグリーンインフラの一環としてEbA (Ecosystem-based Adaptation) という取り組みがある。これは、気候変動に対する適応戦略として、生物多様性や生態系サービスを活用することである<sup>3)</sup>。自然環境が有する多様な機能を積極的に活用することで、緩和策と適応策の両方の効果が期待でき、地域の居住環境の向上や防災・減災等について、多様な効果が期待できるものとして注目されている。

ただし、EbAは地域に面的に導入すべき施策が多い一方で、既存インフラの再整備等でピンポイント的に導入せざるを得ない事例が多い。より広域的面的な視点から地域全体の災害リスクや環境資源の状況を見据えて、地

域全体として有機的に機能を最適化できるような整備内容とその優先順位を策定すべきである。また面的な施策に関しては、地域住民に広く合意形成を図る必要がある。EbA 導入に際しては、住民に分かりやすい進め方が必要となるだろう。

グリーンインフラの戦略的な導入に関しては、平野部の都市域を対象にして、いくつかの地区に分割し、それらの災害リスクと緑地の状況を数値化することによりゾーニングを行い、GIS 上で可視化した例がある<sup>4)</sup>。ただし、行政機関により整備されたオープンデータのみを用いることにしたために、未整備なデータ、特に最近の流域治水で重要視されてきている内水氾濫が考慮されていない。また、平野部の都市域だけでなく、例えば森林を含む高原地域の検討も必要であり、その場合、EbA 整備に関しては森林荒廃も考慮すべき重要な要因である。

そこで本研究では、那須塩原市を高原地域のケーススタディとして、災害リスクの評価にオープンデータにない内水氾濫を追加し、緑地環境に加えて森林荒廃の状況も考慮して、EbA の戦略的導入方法を検討することにする。

## 2. 対象地域及び解析方法

対象地域の那須塩原市（図-1）は、面積 592.74km<sup>2</sup>、人口 115,511 人（2021 年 4 月 1 日現在）、栃木県の北部に位置し、山間地と平野部を同程度含んでいる。

簡便で標準的な EbA 導入策を検討するにあたり、市域を標準地域メッシュで区分し、災害リスク及び緑地の状況の集計単位とする。標準地域メッシュは、緯度 30 秒、経度 45 秒で区切ったメッシュ（面積約 1.291km<sup>2</sup>）で、行政機関により様々なオープンデータが整備されている。地域の区分方法としては、行政的な小学校区<sup>4)</sup>や地形的な小流域<sup>5)</sup>で区分した例があるが、区分ごとの面積が異なるために集計結果を単純には比較できない。また小学校区を用いると、地域コミュニティごとに合意形成を図ることができるが、地区名とリスク評価を結びつけると公開時に支障をきたす可能性もある。そのため本研究では単純に分割・集計が容易な標準地域メッシュを用いることとした。

本研究では、災害リスクの評価指標には、メッシュごとの河川氾濫および内水氾濫による浸水想定区域の面積率を用いる。前者については、国土数値情報に「洪水浸水想定区域」として、想定最大規模降雨に対する河川氾濫解析の結果が提供されている<sup>6)</sup>。後者については、まだデータが提供されていないため、自分で解析する必要が



図-1 調査対象地域(栃木県那須塩原市)

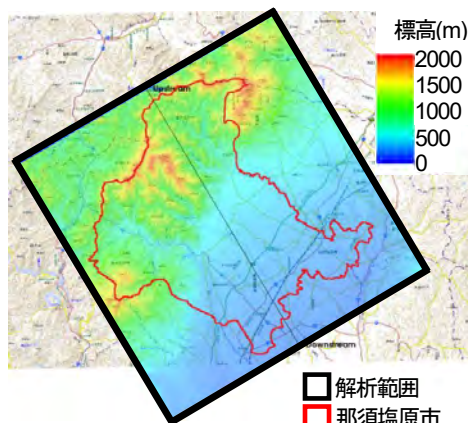


図-2 内水氾濫の解析範囲

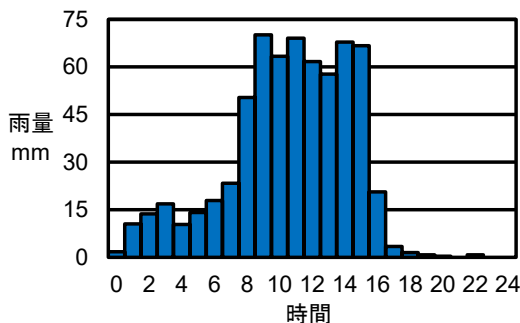


図-3 内水氾濫予測に用いたハイエトグラフ

ある。本研究では、国内でよく普及している iRIC の Nays2D Flood ソルバー<sup>7)</sup>を使用して内水氾濫解析を行った。このソフトウェアはフリーで扱っても平易であり、国土数値情報の標高データを活用した解析が可能である。図-2に内水氾濫の解析範囲を示す。地形データは、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ)を用いた<sup>8)</sup>。計算格子幅を縦断方向・横断方向共に 50m とした。解析に用いる雨量時系列は、既往最大降雨として令和元年東日本台風のもの、想定最大規模降雨量となるよう引き伸ばして使用した（図-3）。そしてこの解析結果の最大浸水深と「洪水浸水想定区域」データをもとに、浸水深 20 cm 以上を浸水域とし、メッシュごとの浸水面積

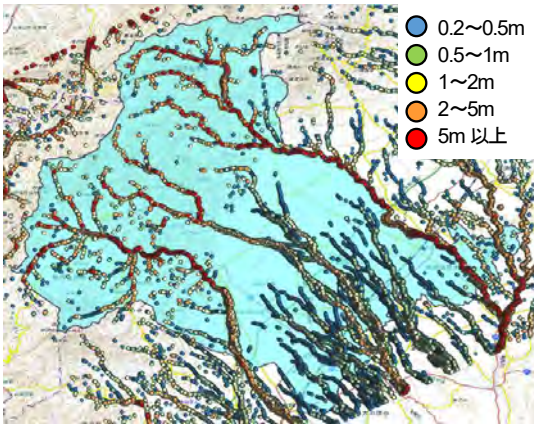


図-4 内水氾濫の浸水域図

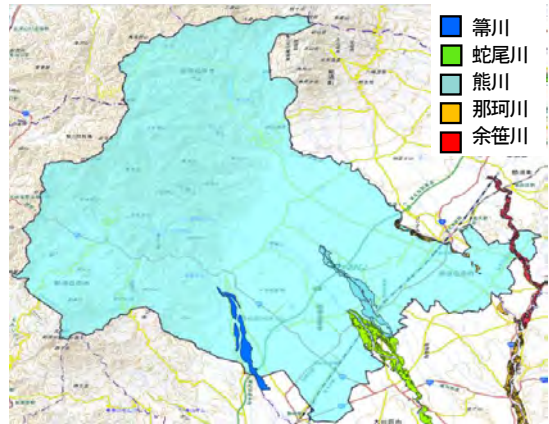


図-5 外水氾濫の浸水域図

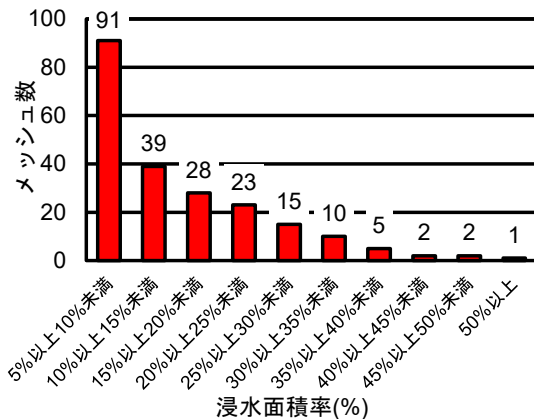


図-6 標準地域メッシュあたりの内水浸水面積率ヒストグラム

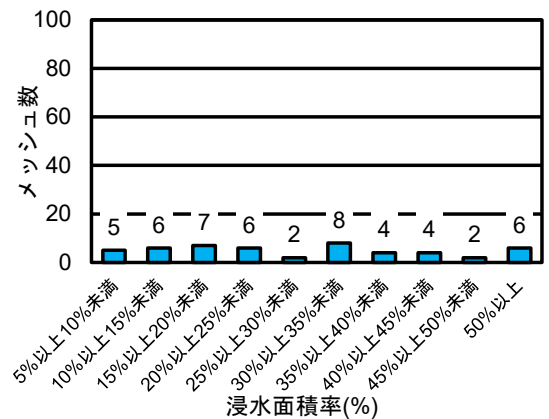


図-7 標準地域メッシュあたりの外水浸水面積率ヒストグラム

率を算出した。これを災害リスクの評価指標とした。さらに人口<sup>9)</sup>及び事業所数<sup>10)</sup>のデータも含めて災害リスクに対する曝露を可視化した。

次に緑地の状況の評価指標として、国土数値情報の土地利用データ<sup>11)</sup>からEbAの導入対象となる森林、田んぼ、農地の3つの土地利用分布図の面積データを合算し、メッシュごとの緑地面積率を算出した。さらに、森林範囲の経年変化と国土地理院が整備した空中写真<sup>12)</sup>とから森林荒廃領域を調査することにした。空中写真は、森林の経年変化を見るために1976年及び2012年に撮影されたものを使用した。

### 3. 解析結果及び考察

#### (1) 浸水想定区域

図-4に内水氾濫の解析結果から得られた最大浸水深の分布を、図-5に洪水浸水想定区域(外水氾濫)の分布図を示す。図-5の外水氾濫による浸水範囲が河川のごく周辺にとどまっているのに対し、図-4の内水による浸水範囲

は、極めて広範囲にわたっており、北西部の森林地域から南東部の市街地へと標高差に従って流れながら集中・分散している様子がわかる。災害リスクを評価するにあたり、外水氾濫だけでは不十分であり、内水氾濫の状況を考慮することが必要不可欠であることは明らかである。

図-6,7それぞれに、内水及び外水による浸水面積率ごとのメッシュ数のヒストグラムを示す。ここで両図では「浸水面積率0%以上5%未満」の区分を省略している。これは、この区分のメッシュ数が全体の半数以上に達しており、その他の区分の浸水面積率の比較がしにくくなるためである。両図を見ると、内水の浸水面積率の低いメッシュ数が、外水のそれに比べて顕著に多いことがわかる。河川のごく周辺だけでなく、地域に面的に氾濫する特徴が現れており、このような右下がりの度数分布を示すことにより、面積率の大小によるゾーニングが妥当であることを裏付けることになっている。そして内水及び外水の浸水面積率の平均は、それぞれ5.77%(約270m四方)、2.34%(約170m四方)となり、内水のほうが外水の2倍以上という結果となった。このように度数分布や平均値から内水氾濫を考慮することの重要性が定量的に

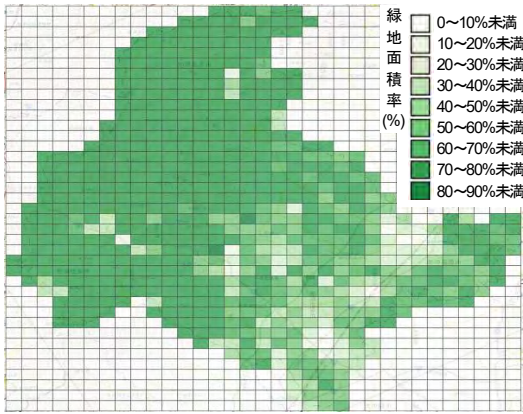


図-8 標準地域メッシュあたりの緑地面積率分布

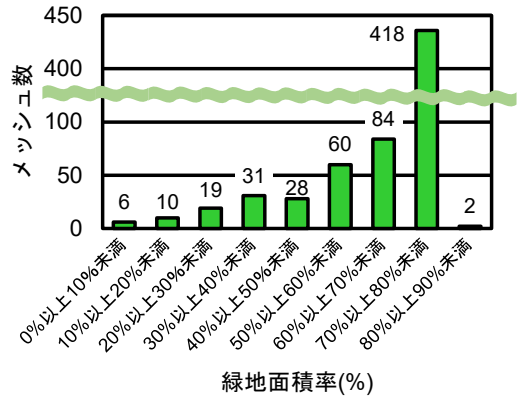


図-9 標準地域メッシュあたりの緑地面積率ヒストグラム

表-1 ゾーニングに使用するタイプ分類 (数字は該当するメッシュ数)

区分		災害リスク	
		大	小
緑地	大	ゾーン1 (60)	ゾーン2 (383)
	小	ゾーン3 (132)	ゾーン4 (83)

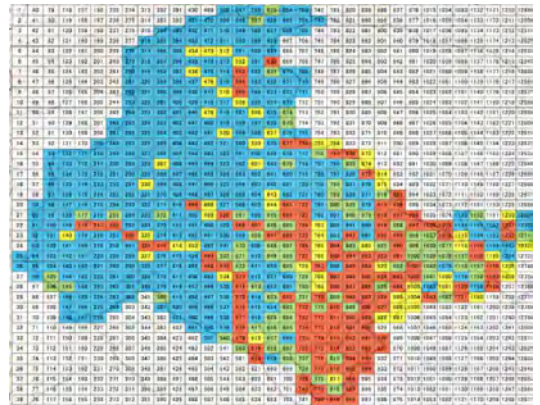


図-10 ゾーニング結果 (各メッシュの色分けは表-1による)

も明らかにできたといえる。

(2) 緑地環境

図-8, 9 に標準地域メッシュあたりの緑地面積率の分布及びヒストグラムを示す。緑地面積率の平均は、67.8%であった。緑地面積率の平均を下回るメッシュは、南東の平野部で多く見られた。森林、田んぼ、農地それぞれの分布について、森林は市内北西部に、田んぼは市内南東部に、農用地は市内中心部に多く分布した。図-9でおおよそ単調に右上がりの度数分布を示すことにより、面積率の大小によるゾーニングが妥当であることを裏付けることになっている。

(3) 浸水想定区域および緑地環境に基づくゾーニング

以上の解析結果より、災害リスクの評価指標である浸水面積率(平均6.59%)及び緑地の状況の評価指標である緑地面積率(平均67.8%)のヒストグラムが単調変化であることがわかったので、両者の平均値を大小の基準として、表-1のように4タイプにゾーニングする。図-10はメッシュごとに4タイプのゾーニングをした結果である。表-1に各ゾーンに該当するメッシュの個数も示した。地理的な位置を見ると、「災害リスクが高く、緑が多い」ゾーン1のメッシュ数は少なく、河川上流部や市城南東の平野部に散在している。「災害リスクが低く、緑が多い」ゾーン2はメッシュ数が市域の半数を超えてお

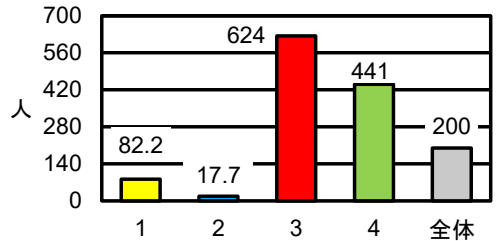


図-11 各ゾーンのメッシュあたり人口平均値

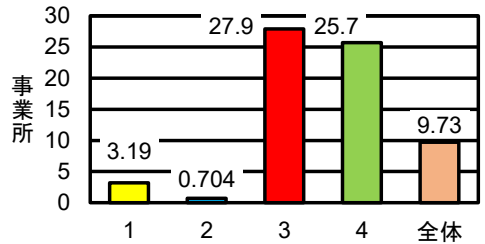


図-12 各ゾーンのメッシュあたり事業所数平均値

り、市内西部を中心に広範囲に分布している。「災害リスクが高く、緑が少ない」ゾーン3はメッシュ数が全体の4分の1程度で、河川周辺部や南東の市街地に集中して分

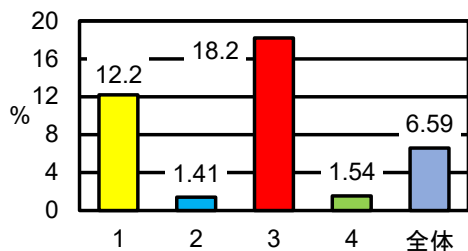


図-13 各ゾーンのメッシュあたり浸水面積率平均値

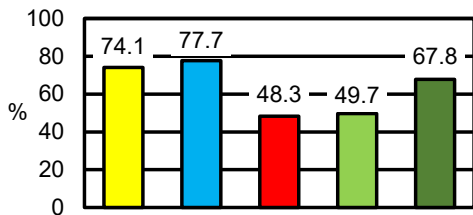


図-14 各ゾーンのメッシュあたり緑地面積率平均値

布している。「災害リスクが低く、緑が少ない」ゾーン4のメッシュ数はさほど多くなく、ゾーン3に隣接するように分布している。

図-11, 12, 13, 14 はそれぞれ、各ゾーンにおける人口、事業所数、浸水面積率、緑地面積率のメッシュごとの平均値を示したものである。これらの数値と図-10の分布状況から各ゾーンでの浸水対策やEbA整備を次のように考えることができる。

ゾーン1は浸水面積率が比較的大きいが、人口・事業所数が極めて少ないので、浸水対策の優先順位は低い。ただし森林面積率が高いので、森林保全により保水機能の向上に取り組むことは可能である。ゾーン2は浸水面積率が明らかに低いので、浸水対策はさほど必要でないといえる。一方で緑地面積率が高く、浸水リスクの高いゾーン3の北西に多く分布していることから、このゾーンをEbA整備することにより、市域全体での浸水リスク低減に寄与できる可能性がある。ゾーン3は、市街地に広く分布しており、浸水面積率が高く、事業所数・人口が多いため、浸水対策を講じることは不可欠である。このゾーンは比較的緑地が少ない領域とされているが、図-14を見ると他のゾーンに比べ著しく緑地が少ないわけではないので、緑地環境の保全や市街地での水庭整備<sup>13)</sup>により地区ごとの対策は可能であろう。ただしゾーン3は市域の南東に多く、内水氾濫の浸水深も大きくなっているため、ゾーン内の対策だけでは不十分な可能性がある。そこで内水氾濫流の上流側に位置して緑地面積の多いゾーン2でEbA整備を実施して、ゾーン3の災害リスク軽減を図る広域的な戦略も考え得る。ゾーン4はゾーン3の周囲に分布しており、事業所数・人口はゾーン3と同程度に多いが、浸水面積率は明らかに低いので、さ

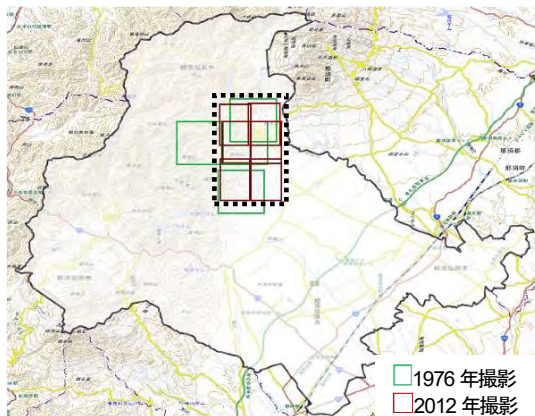


図-15 森林荒廃調査結果（黒の点線は荒廃が確認された領域）

ほど浸水対策は必要ないだろう。ただし、ゾーン3よりも標高が高いところが多いので、降水がゾーン3に集中しないために緑地環境や水庭の整備が望まれる。

#### (4) 森林荒廃の状況

森林の荒廃状況を調査するにあたり、まず国土数値情報で1976年と2009年の土地利用データを比較したところ、森林領域の変化は見られなかった。そこで、空中写真によって森林の状況を判読・比較することとしたが、比較可能な国土地理院の空中写真は、図-15の黒の点線の範囲内の1976年と2012年撮影のもののみで、全域の比較調査はできなかった。それでも入手できた空中写真を比較すると、そのすべてで1976年に森林であった部分が2012年には広く荒地状態になっており、森林荒廃が進んだ様子が確認できた。その面積は市全体の約6%に及び、森林荒廃は深刻な状況である。森林は「緑のダム」とも呼ばれ<sup>14)</sup>、荒廃地域を保全することにより、保水機能の向上や土砂災害防止などEbA整備の中核になり得る。しかし、荒廃の状況を知るためのデータ整備には課題が残るものといえる。

#### 4. おわりに

本研究では、高原地域の那須塩原市をケーススタディとして、気候変動に伴う水害激甚化に適応するためにEbA整備を戦略的に導入する方策について検討した。その結果、得られた知見は以下の通りである。

- 1) 内水氾濫を考慮することにより、従来の河川からの洪水浸水想定区域図にはない新たな浸水域が広範囲に現れ、浸水リスクをより的確に評価することができた。
- 2) 浸水面積率と緑地面積率の大小により市内を4つのゾーンに区分し、ゾーンごとのEbA整備について系統的

に検討することが可能となった。特に、内水氾濫流は山間部から平野部に向かって流れ、その向きに沿って緑地の多い地区(ゾーン2)と浸水面積が大きい地区(ゾーン3)が配置されていることが明らかになり、地区ごとに対策を講ずるのみではなく、ゾーンをまたいだ広域的な戦略を検討することも可能になった。

- 3) 森林荒廃の状況は那須塩原市では深刻といえるが、全域を調査するにはデータや空中写真の整備状況が不十分であった。

今後は、EbA 整備などによる浸水被害の低減効果を評価していくつもりである。

**謝辞:** この研究を実施するにあたり、「環境省令和3年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託業務(那須塩原市)」で収集したデータ・分析結果を使用させていただきました。また、那須塩原市気候変動対策局および関係部署の皆様には多大なご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

## REFERENCES

- 1) 国土交通省：第5次社会資本整備重点計画  
(<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001406599.pdf>, 2022年8月現在).
- 2) 国土交通省 総合政策局 環境政策課：グリーンインフラストラクチャー ～人と自然環境のより良い関係を目指して～,  
(<https://www.mlit.go.jp/common/001179745.pdf>, 2022年8月現在).
- 3) 環境省：生物多様性分野における気候変動への適応  
([https://www.env.go.jp/nature/biodic/kikou\\_tekiou-pamph/tekiou\\_jp.pdf](https://www.env.go.jp/nature/biodic/kikou_tekiou-pamph/tekiou_jp.pdf), 2022年8月現在).
- 4) 上野祐介, 小島葉月, 長谷川啓一：都市スケールでの戦略的な

グリーンインフラ導入策の検討—金沢市を例にした防災・環境・経済の統合—, 第46回環境システム研究論文発表会講演集, pp.45-51, 2018.

- 5) 王尾和寿：流域圏における水系を視点とした景観特性の分析—那珂川, 霞ヶ浦, 鬼怒川, 小貝川の各流域を事例として—, 地学雑誌, pp.534-552, 2008.
- 6) 国土交通省：国土数値情報 洪水浸水想定区域データ,  
([https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2\\_1.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2_1.html), 2022年8月現在).
- 7) iRIC Software : Nays2DFood ソルバー,  
(<https://i-ric.org/solvers/nays2dflood/>, 2022年8月現在).
- 8) 国土交通省 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス,  
(<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, 2022年8月現在).
- 9) 国土交通省：国土数値情報 1km メッシュ別将来推計人口データ,  
(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-mesh1000h30.html>, 2022年8月現在).
- 10) 総務省統計局：e-Stat 政府統計の総合窓口,  
(<https://www.e-stat.go.jp/>, 2022年8月現在).
- 11) 国土交通省：国土数値情報 土地利用3次メッシュデータ,  
(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-a.html>, 2022年8月現在).
- 12) 国土交通省 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス,  
(<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, 2022年8月現在).
- 13) 国土交通省 総合政策局：社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会 技術部会 国土交通技術行政の基本政策懇談会(第14回) グリーンインフラの推進について,  
(<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001370646.pdf>, 2022年8月現在).
- 14) 藤治光一郎, 保屋野初子：緑のダムの科学 減災・森林・水環境, 築地書館, 2014.

(Received June 24, 2022)

## BASIC STUDY ON STRATEGIC MEASURES OF EbA DEVELOPMENT IN A HIGHLAND REGION CONSIDERING INLAND INUNDATION ~ CASE STUDY OF NASUSHIOBARA CITY ~

Hirokazu IKEDA, Yumi TAKABAYASHI and Kosuke IIMURA

In recent years, intensification of flood damage due to climate change has become a serious issue, and “River Basin Disaster Resilience and Sustainability by All” is now required to be adapted, by means of not only river channel development, but also landside area maintenance. EbA (Ecosystem-based Adaptation) is one of climate change adaptation measures that utilizes various functions of natural environment and ecosystem, which is expected to be effective for disaster prevention and mitigation in landside areas. In the present study, a method of strategic implementation of EbA for flood damage control was examined by a case study of Nasushiobara City in highland region of Tochigi Prefecture, Japan. Standard region mesh of Japan was utilized to divide the city area. Flood risk data, including analysis results of inland water inundation, and green environment data were introduced on the mesh system and a zoning map with using these two indexes was visualized on GIS. It was shown that the inland water flows over a wide area from the mountainous area to the plain area, and, according to this inland water direction, the area property changes from green area to flood damage area. Therefore, this zoning method makes it easy to consider EbA development not only simply in each district but also strategically over cross regional districts. Moreover, necessity of conservation of desolate forest was clarified.