

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 8 月 4 日現在

機関番号：92604
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2017～2021
課題番号：17K15406
研究課題名(和文)ハビタットの時間的変化と昆虫類の生息の関係性の解明とエコロジカル・デザイン手法

研究課題名(英文)The construction of ecological design method based on the relationships of habitat temporary change and insects distribution,.

研究代表者
板川 暢 (Itagawa, Satoru)

鹿島建設株式会社(技術研究所)・地球環境・バイオグループ・主任研究員

研究者番号：00773566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：攪乱後の時間的な変化が生物多様性にもたらす影響の把握とそれを加味したエコロジカル・デザイン手法の検討を検討した。大規模な攪乱を受けた環境を対象に、その後の環境の状態と生物生息状況の変化を、現地調査による生物相モニタリングとUAVの空撮画像を用いてアーカイブ化した。津波による攪乱を受けた湿地では、トウホクサンショウウオの産卵数、トンボ類の多様度は4-5年でピークを迎え、その後減少傾向にあった。植生遷移に伴う環境の均一化に起因すると見られた。人為的な攪乱後に創出されたアカガエル類の産卵環境では、環境成熟に伴って産卵数が増加した。一方で、周辺環境からの移動コストの影響度は時間経過に伴って下がった。

研究成果の学術的意義や社会的意義
生態系サービスを有効に活用するグリーンインフラとして注目されており、その基盤となる生物多様性の保全・復元が進められている。こうした空間を創出するにあたっての尺度となる生態学的知見の蓄積は十分とは言えず、グリーンインフラの基盤となる生物多様性の状況の把握と、それに基づいたエコロジカル・デザイン手法を提示していく必要がある。本研究では、生態学的な攪乱後の環境状態と生物分布を継続的にモニタリングし、UAV等を用いてアーカイブ化した。それらで得られたそれぞれの時間的変化の対応関係の精査を行い、それらに基づいたエコロジカル・デザイン手法を提示している。

研究成果の概要(英文)：We examined the impact of temporal changes after disturbance on biodiversity and suggested the ecological design methods based on temporal change effects. This study focused on environments that had faced large-scale disturbance, we archived changes in environmental conditions and the distribution and amount, diversity of terrestrial amphibian and Odonata by field survey monitoring and aerial photography from UAV. In the wetlands disturbed by the tsunami, the number of hatching eggs *Hynobius lichenatus* and the richness and heterogeneity of Odonata increased in 4-5 years after disturbance. Afterwards those were gently declined. According the homogenization of the environment due to vegetation succession and transition. In the habitat of created after human disturbance, the number of eggs deposited of family *Rana* increased with the habitat growth. On the other hand, the effect of the cost of moving from the surrounding environment as a landscape factor decreased with time shifting.

研究分野：景観生態学

キーワード：時間変化 エコロジカル・デザイン トウホクサンショウウオ トンボ類 アカガエル類 湿地 UAV

1. 研究開始当初の背景

生態系サービスを有効に活用するグリーンインフラストラクチャー(以下,グリーンインフラ)として注目されており,その提供の基盤となっている生物多様性の重要性が謳われている。多面的な機能を有するグリーンインフラと生物生息空間の保全と創出を構築していく具体的な手法についての検討が求められているが,その尺度となる生態学的知見の蓄積は十分とは言えない。

グリーンインフラの基盤となる生物多様性の状況の把握と,それに基づいた空間の創出やその管理のあり方(エコロジカル・デザイン)を提示していく必要がある。特に,既存インフラや土地利用の代替としてグリーンインフラを構築することを鑑みると,大規模な攪乱を受けた環境や自然復元地のような事例を対象に,ハビタットの形成・再生・復元プロセス,逆に消失・劣化プロセスに関する生態学的な研究が必要である。

2. 研究の目的

人間活動の圧力や生息環境要素の成熟等のハビタットの時間的な変化に伴う生物生息状況・多様性の時間的な変化のプロセスの把握とそれらに及ぼす影響を定量的に明らかにする。また,こうした知見を蓄積するために,グリーンインフラの生物多様性に関する情報と環境自体のアーカイブ化を進める。最後に,明らかになった生態学的知見に基づいたグリーンインフラのエコロジカル・デザイン手法の提示する。

3. 研究の方法

本研究では,ハビタットの時間的な変化にとそれに伴う生物多様性の状況を把握するために,自然災害と人為的な環境変化に焦点を当て,生態学的な攪乱後の環境状態と生物生息状況の復元過程に注目した。

① 津波浸水域の低湿地と生物相と植生遷移のモニタリング

東日本大震災で津波の浸水被害を受けた低平地の湿地環境を中心に環境の遷移とそこに生息・繁殖する生物相の分布動態の継続的なモニタリングを行った。湿地環境に生息し,水域・陸域の両方を生活史の中で利用する生物種は,攪乱後の植生遷移等の環境変化の影響を受けやすいことから,本研究ではトウホクサンショウウオ(*Hynobius lichenatus*)及びトンボ類に注目して調査を行った。トウホクサンショウウオについては,繁殖・産卵期にあたる4月上旬に卵囊・成体の位置情報と卵囊数,各卵囊の発生段階・死卵状況・産卵環境・基質・水温・水深・産み付け位置を記録した。トンボ類については,初夏(6月)・夏季(8月)・秋季(11月)に調査を実施し,確認種及び個体数と確認地点の位置情報を記録した。2012年度から継続データと合わせて生物生息状況・多様性の状況について精査した。環境の時間的な変化に伴う状態の把握として,無人航空機(UAV)による空撮を実施し,湿地環境を含めた低平地とその周辺環境のオルソ画像と現地調査から対象地の植生図を作成した。

② ミティゲーション実施地におけるアカガエル類の産卵数変化と規定要因

建設工事に伴うミティゲーションとして新規に創出・復元された環境において調査を実施した。当該地では,樹林化が進んでいた既存の湿地環境の整備,ビオトープ型の雨水調整池の設置等の生物多様性保全対策が行われた。人為的に創出した空間は,生物の生息基盤として成熟するまでに一定の時間を要するため,生息基盤となる空間の成立後のモニタリングを実施し,生物の移入・定着,生物多様性の変遷の過程を把握した。また,保全対象となる生物種の記録から,移入・定着に寄与する要因を分析した。

当該地域に生息するアカガエル類(ニホンアカガエル,トウキョウダルマガエル)は,里山の生物多様性保全の指標種で,里山のような水域や樹林などの複合環境の健全性評価に際して,アカガエル類の産卵状況が指標として用いられる。竣工中の2018年から竣工後2年目の2021年までの4年間,アカガエル類の産卵期に年2回(4月下旬,5月上旬),環境の改変があった湿地・水辺環境において産卵数と確認位置を記録した。

合わせて,調査地点(産卵確認地点および対照地点)で,アカガエル類の産卵環境の選択要因である水深,産み付け位置(水面から卵塊までの深さ),水温,水域タイプ(止水・流水),相対光強度(全球画像から算出)を記録した。また,UAV空撮画像から1mメッシュの傾斜角度ラスタ,植生被覆ラスタを作成し,それらから樹林地から調査地点までの移動に伴うコスト距離を算出した。傾斜角度,植生被覆の移動コストは,地上徘徊性生物の「移動しづらさ」を考慮して設定し,移動コストの累積値が最小となるように移動していくと仮定した。環境改変後の2020年および2021年の調査結果を用いて,上記の環境要因値について産卵有無との関係について分析を行った。

4. 研究成果

①-1 トウホクサンショウウオの卵囊数の動態と分布変化

トウホクサンショウウオの卵囊が確認された低湿地環境を8区域に区分した。この際,地形や

集水域、構造物や汽水・海水による分断を考慮し、同一の調査区域のハビタットに依存している個体のグループであると判断した。それぞれの調査区域において、トウホクサンショウウオの卵嚢確認数を集計した。既報の通り、2012年は地盤沈下に伴って海水が流入するようになった湿地にも多数の卵嚢が確認されていたが、2013年に大幅に確認数が激減した。津波という生態学的攪乱と改変に伴って、従来の産卵環境の状態変化と移相と減少が大きく影響していると考えられた。その後、植生回復・拡大に伴う環境の成熟と個体群の回復が進み、攪乱から5年後の2016年までは確認数が増加した。本研究課題の対象期間中の2017年から卵嚢確認数は漸減していき、攪乱から10年後の2021年には調査期間において最低の確認数となった(図1)。

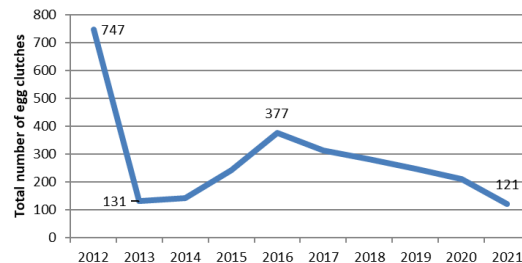


図1 2012年～2021年のトウホクサンショウウオの卵嚢確認数の推移

卵嚢数の変化に、過去の卵嚢数や状態が寄与するかを検証するために、ポアソン分布を仮定したGLMMによる分析を行った。津波の浸水による影響を受けたと考えられる2011年および2012年の卵嚢から孵化した個体が、成熟して産卵が可能になっていると考えられる2017年までのデータを用いて分析を行った。ランダム効果には目的変数とする卵嚢数の調査年度を設定した。まず、対象年度の総卵嚢数を目的変数、前年度以前の総卵嚢数・生存(発生が進んでいる)卵嚢数・死卵嚢数を説明変数に設定し、それぞれの関係を確認した。次に、時系列的な卵嚢数の関係を検証するために、連続する年度の後年度の総卵嚢数を目的変数、前年度の総卵嚢数・生存卵嚢数・死卵嚢数のそれぞれを説明変数に設定したモデルを作成した。

GLMM分析による年度間の卵嚢数の関係(表1)は、連続する年の卵嚢数との関係(調査時点から1年前の卵嚢数の影響)を対象としたモデルでは、前年度の総卵嚢数・生存卵嚢数及び死卵嚢数が、次年度の総卵嚢数に有意に正の相関を示した。目的変数とする対象年度の2年前の卵嚢数を説明変数としたモデルでは、総卵嚢数・生存卵嚢数及び死卵嚢数が負の相関を示した。対象年度の4年前の卵嚢数を説明変数としたモデルでは、総卵嚢数・生存卵嚢数及び死卵嚢数が正の相関を示した。なお、各区域および全域の卵嚢確認数の年度間の時系列自己相関は認められなかった。

表1 表-4 GLMM分析結果一覧

表内数字は回帰係数・固定項、アスタリスクは有意確率($p < 0.05$: *, $p < 0.001$: ***), 灰色掛けは同一モデルで最も説明力の高い変数を示す。(※ N:各モデルのサンプル数, Total:総卵嚢数, Alive:生存卵嚢数, Dead:死卵嚢数)

Variations term	Objective variable	Explanatory variable		
Annual (1 year)		The number of egg clutches in the previous year (2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017)		
		Total	Alive	Dead
		0.0056249 ***	0.0071523 ***	0.015873 ***
2 years		The number of egg clutches in the each two years ago (2012-2014, 2013-2015, 2014-2016, 2015-2017)		
		Total	Alive	Dead
		-0.004849 ***	-0.004826 ***	-0.02182 ***
3 years	The relationships between the total number of egg clutches in each year and	The number of egg clutches in the each three years ago (2012-2015, 2013-2016, 2014-2017)		
		Total	Alive	Dead
		-0.0003712	-0.0006081	0.00008489
4 years		The number of egg clutches in the each four years ago (2012-2016, 2013-2017)		
		Total	Alive	Dead
		0.0020527 ***	0.0020313 *	0.015915 ***
		3.514	2.515	5.230

①-2 トンボ類の分布・多様性の変化

トンボ類の確認された低湿地環境を12区域に区分し、各区域のトンボ類の種数を集計した。トンボ類の多様度の変化を把握するために、全調査区域の種数(γ 多様性)、各区域の種数(α 多様性)、及び各調査域の特異性(β 多様性)を算出した。 β 多様性は、 γ 多様性を α 多様性で除した値の平均(①)、差分値の平均(②)をそれぞれ算出した。

津波による攪乱後10年間で、トンボ類43種の出現を確認した。 γ 多様性の変化は2012年から2015年までは漸増したが、復興事業による湿地環境の埋め立て等でハビタットが減少したことによって、出現種も減少した。その後、2018年以降は大きな変化はなく、安定的であった(図2)。 γ 多様性に変化の見られた2018年までの β 多様性の推移については、津波による攪乱後数年については、個体群の復元と分布拡大に伴って漸減していたが、その後については明確な傾向を見出すことができなかった(図3)。

しかしながら、特定の種が遷移の進んでいない湿地特定の植生に集中的に出現する種が確認

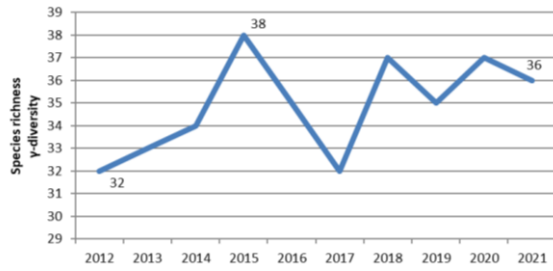


図2 トンボ類のγ多様性(種数)の推移

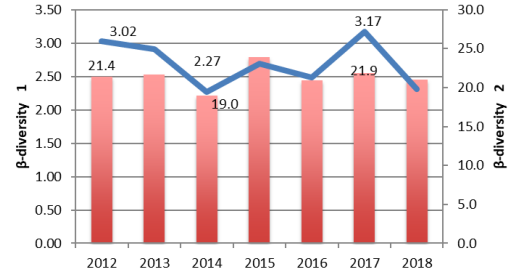


図3 トンボ類のβ多様性の推移

※ 左軸(青線): β多様性①, 右軸(赤棒): β多様性②

されている。攪乱後の植生遷移や人為的な改変により固定化されていくことを鑑みると、環境の相補性によるβ多様性は今後再び減少していくことが推察される。本研究で対象とした手法ではなく、種と個体数の両方を鑑みた種組成の非類似性等を精査することで、その傾向を読み解くことができる可能性があり、今後の課題である。

①-3 湿地環境の植生変化

2017年から2021年までのUAV空撮画像を基に作成したオルソ画像と現地確認結果を踏まえて、各年の相関植生図を作成した。相関植生図の中央部に残された湿地は、淡水及び汽水の湿地になっている。上流側の淡水湿地は攪乱から数年は中低茎の湿生草が広がっていたが、高茎湿生草本群落(黄緑色)やヨシ(薄橙色)に取って代わられた(図4)。さらに遷移が進み、汽水側の干潟状の湿地にもヨシが拡大し、湿地の乾燥化と植生の均一化が進んでいる(図5)。



図4 2017年6月の低湿地部の相関植生図



図5 2021年6月の低湿地部の相関植生図

①-4 津波攪乱後の湿地環境のエコロジカル・デザインの検討

本研究のトウホクサンショウウオの産卵数とその分布状況、およびトンボ類の分布・多様度等の状況を鑑みると、従前の状況との比較はできないが、大規模攪乱から5年程度までは植生の回復・拡大に伴って、個体数・多様性は増加していた。その後は植生遷移に伴って、トウホクサンショウウオの卵数減少し、トンボ類の多様度も低下した。これらは、環境の均一化や湿地の乾燥化に伴って、ハビタットの多様性低下と量の減少したことに起因していると窺えた。

以上を踏まえて、一定時期までは植生回復と環境の成熟を促しつつも、その後の段階においては人為的に小規模な攪乱や植生管理を施して、環境の均一化を妨げることが求められる。環境の時間的変化とそれに呼応する個体群・多様性の動態についての定量的な関係性の解明は今後の課題である。

②-1 環境復元後のアカガエル類の産卵数の動態と分布変化

建設工事中の2018年~2019年、および工事完了後の2020年~2021年にアカガエル類の産卵状況を確認した。2018年には保全対策を講じる前の湿地環境では産卵を確認できず、調査対象区域全域で2腹分の卵塊しか確認できなかった。保全対策が進んだ2019年には31腹分の産卵が確認され、ニホンアカガエルの移入・産卵が進んでいることが窺えた。工事完了後の2020年には67腹分、2021年には135腹分の産卵が確認され、産卵確認数は保全対策以前に比べて大幅に増加した(図6)。ニホンアカガエル、トウキョウダルマガエルの産卵可能サイズの成体個体が多数分布しているのが確認された。以上から、保全対策によって周囲の環境が成熟し、ハビタットへの移入・定着がさらに進み、そして整備された環境がアカガエル類の生息および産卵のハビタットとして成熟してきたことが窺えた。

②-2 アカガエル類の産卵環境の選択要因とその時間変化による影響

アカガエルの産卵に寄与する要因を解明するために、環境要因値について産卵確認地点と対照地点で比較、および産卵確率と環境要因の単独の関係を、切片にランダム効果を加えた二項分布の一般化線形混合モデル (GLMM) で分析した。また、単要因分析で有意な要因であることが示された変数を複数組み込んで、アカガエル類の産卵確率を予測するモデルを構築した。分析の結果、4月・5月の水温、最大水深、相対光強度は、産卵確認有無で有意な差と寄与が認められた (図7)。これらは、2020年、2021年で共通した傾向だった。樹林地からの移動コストは、2020年では産卵確認地点の方が有意に低かったが、産卵確率との有意な関係は認められなかった。一方で、2021年では産卵確認地点の方が有意に高く、産卵確率と有意な正の関係を示した。

アカガエル類の産卵確率が二項分布にも基づくと仮定して、アカガエル類の産卵が確認された地点の産卵確率を「1」、非確認地点の産卵確率を「0」として被説明変数に採用した。説明変数には各地点のコスト距離、相対光強度、水深 (実数・二乗値)、止水/流水の違いを説明変数に用いた。また、調査月 (産卵期の前期/後期) で、産卵確認頻度や説明変数が与える影響・効果が異なることを想定し、両条件の違いを切片のランダム効果として加えた。

採用した変数の総組み合わせでモデル選択を行い、AIC (赤池情報量規準)、逸脱度を比較した結果、水域環境の違いを説明変数に入れたモデルの方が、ランダム効果に入れたモデルよりも適合度が高かった。ランダム効果に調査月のみを組み込んだ GLMM 分析の結果、2020年の調査結果を対象としたモデルの説明力は説明変数が「コスト距離+水深+相対光強度」の場合が一番高かった (ベストモデル; AIC が最小) (表2)。総じて有意な寄与を示したコスト距離、相対光強度は、アカガエル類の産卵選択に重要な要因であることが分かった。一方で 2021年では、説明変数が「コスト距離+水深+相対光強度」の場合でモデルの説明力が一番高く、2020年と同じ結果となった。しかしながら、有意な寄与が示された変数は相対光強度と水深のみであった。コスト距離は 2020年のモデル同様に負の関係性を示したが、有意な寄与は認められなかった。

②-3 アカガエル類の産卵環境保全のためのエコロジカル・デザインの検討

分析結果から、水温・光強度が高く、水位に多様性がある水辺を有したビオトープ等を整備することで、アカガエル類の産卵環境を創出することができるが示された。特に、光環境においては、複数年度に渡ってすべての分析において有意な関係性が示され、他の変数に比べてその影響度が高かった。水位や水温等の条件が満たされたコントロール地点においても、光環境が不十分の箇所では産卵が認められなかったことから、アカガエル類の産卵環境として重要な要素であることが窺えた。

また、環境整備初期の個体の移入・定着を図る時期においては、成熟個体のハビタットとされる周囲の樹林等から距離が近く、かつ植生を伝って容易に移動が可能である箇所に水辺環境を整備することが必要であることが示された。一方で、産卵可能個体の移入・定着がある程度進んだ段階においては、その効果は低減することが示された。ハビタットの時系列的な変化に伴って、加味すべき環境要素が変化することを示すことができたとともに、それに応じた保全策を検討することが重要であることが示された。

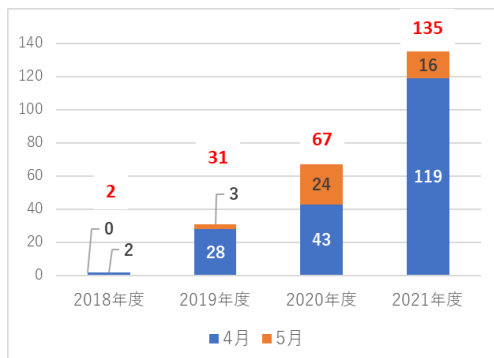


図6 アカガエル類の産卵確認数の推移

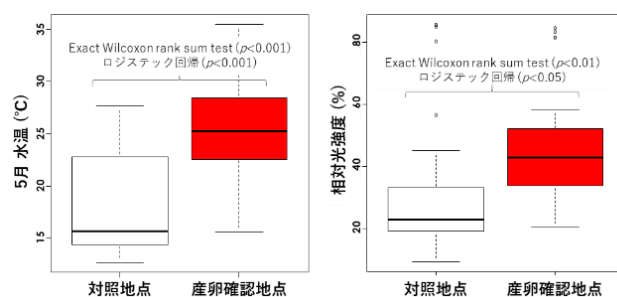


図7 2020年のアカガエル類の産卵確認地点と対照地点の環境要因値の比較

表2 GLMMによるアカガエル類の産卵確率と環境要因との関係 (2020年調査結果)

※上位モデル (ΔAIC<2) およびフルモデル、帰無モデルを表示。表内数字は係数・逸脱度・AIC (赤池情報量規準)

	適合度	(切片)	コスト距離	水深	水深^2	流水:1/止水:0	相対光強度	逸脱度	AIC
1		-2.466	-0.039 *	0.123 .			0.081 *	73.6	83.6
2		-1.695	-0.040 *		0.004		0.082 *	74.7	84.7
3		-0.969	-0.039 *				0.077 *	76.9	84.9
4		-3.230	-0.037 .	0.280	-0.007		0.077 *	73.0	85.0
5		-2.387	-0.039 *	0.133		-0.199	0.080 *	73.5	85.5
フルモデル		-3.166	-0.038 .	0.307	-0.007	-0.291	0.075 *	72.9	86.9
帰無モデル		0.928						84.2	88.2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 板川 暢、一ノ瀬 友博	4. 巻 11
2. 論文標題 都市中小河川のハグロトンボ (<i>Calopteryx atrata</i>) の移動距離に影響を及ぼす要因	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ランドスケープ研究(オンライン論文集)	6. 最初と最後の頁 32~38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5632/jilaonline.11.32	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomohiro ICHINOSE, Satoru ITAGAWA, Yumi YAMADA	4. 巻 1
2. 論文標題 A Century of Land-use Changes and Economic Damage in Kesenuma City Caused by the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Information Science	6. 最初と最後の頁 53-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11492/ceispapersen.2019.1_53	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Satoru Itagawa, Tomohiro Ichinose
2. 発表標題 An annual change of the distribution of egg clutches of <i>Hynobius lichenatus</i> and Odonata species diversity in the tsunami inundated lowland area.
3. 学会等名 ICLEE 9th conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板川 暢 高山晴夫 山口毅志 越川義功 吉澤 誠 小淵考晃 上野恵美
2. 発表標題 宇都宮市最終処分場エコパーク下横倉における生物多様性保全 竣工後1年目の生物相の移入・定着状況
3. 学会等名 土木学会第76年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板川 暢 山口毅志 高山晴夫 越川義功 吉澤 誠 小淵考晃 上野恵美
2. 発表標題 宇都宮市最終処分場エコパーク下横倉における生物多様性保全 湿地土壌シードバンクを活用した 緑化地の植物相・植生 の経年変化
3. 学会等名 土木学会第76年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山晴夫 板川 暢 山口毅志 越川義功 吉澤 誠 小淵考晃 上野恵美
2. 発表標題 宇都宮市最終処分場エコパーク下横倉における生物多様性保全 再生された湿地の植生と埋土種子発芽試験
3. 学会等名 土木学会第76年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板川暢 越川義功 高山晴夫 吉澤誠 小淵考晃 上野恵美 駒場聡
2. 発表標題 宇都宮市新最終処分場（仮称）第2エコパークにおける生物多様性保全 湿地土壌シードバンクを活用したピオトープ造成・緑化
3. 学会等名 土木学会第75年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高山晴夫 板川 暢 山口毅志 越川義功 吉澤 誠 小淵考晃 上野恵美 平石知広
2. 発表標題 宇都宮市最終処分場エコパーク下横倉における生物多様性保全 発芽試験による希少植物再生
3. 学会等名 土木学会第75年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 村松 伸、村上 暁信、林 憲吾、栗原 伸治	4. 発行年 2017年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 256
3. 書名 スプロール化するメガシティ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------