特集 田んぼのいきものをどうやって守っていくか?—水田水域における多様な生物の保全と再生—

原著論文 ORIGINAL PAPER

休耕田を掘削して造成した湿地ビオトープにおける水生生物相

中島 淳^{1)*}・宮脇 崇²⁾

1) 福岡県保健環境研究所 〒818-0135 福岡県太宰府市向佐野 39

2) 北九州市立大学 国際環境工学部 〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1

Jun NAKAJIMA^{1)*}, Takashi MIYAWAKI²⁾: Aquatic biota in a wetland biotope constructed by excavating fallow field. *Ecol. Civil Eng.* 24(1), 79-94, 20211) *Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences, Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan*2) *The University of Kitakyushu, Faculty of Environmental Engineering, 1-1 Hibikino, Wakamatsu, Kitakyushu, Fukuoka 808-0135, Japan*

Abstract: The changes of water environment and aquatic biota were investigated over a three-year period in an artificial wetland biotope (Tebika Biotope) constructed by excavating fallow field. We identified 93 aquatic animal species in 18 orders and 4 submerged plants, so it was thought that this biotope was effective in biodiversity conservation. There was a marked seasonality in the number of aquatic insect species, with an increase in summer (mainly in August) and a decrease in winter (mainly in February). The species number and diversity index (Shannon-Wiener's H') was greater at a site of still water with ecotones. On the other hand, some unique species were found in the monotonous flowing water environment. Almost all the aquatic insects identified in this biotope were found in the ponds within 2 km of the biotope. This suggests that the aquatic biota of an artificial wetland biotope is highly dependent on the surrounding biota, and that ecotones and diverse flow regimes are important for the conservation of biodiversity. The growth of submerged plants and changes in the number of aquatic insect species suggest that the biota of this biotope may have been adversely affected by the invasive alien species, a crayfish *Procambarus clarkii*, and a snail, *Pomacea canaliculata*.

Key words: alien species, aquatic insect, biodiversity, conservation, paddy field

はじめに

前世紀から引き続き地球上の自然環境は劣化し続けており、中でも地表水の約2.3%とされる陸水域における生物多様性は悪化の一途を辿っていることから、その保全の重要性が繰り返し指摘されている (Dudgeon et al. 2006; Reid et al. 2019)。日本国内においてもその状況は同様であり、主に陸水域に生息する汽水・淡水魚類では国内から記録されている種の約6割、水生昆虫のうちゲ

ンゴロウ科では約4割、ミズスマシ科では約6割が、希少種として環境省版レッドリストに掲載されている状況にある (環境省 2020; 中島 2020)。また、陸水環境の中でも特に水田域に主に生息する種の状況は河川域などに比べてさらに危機的で、かつて身近な種として知られたトノサマガエル *Pelophylax nigromaculatus*、ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*、ミナミメダカ *Oryzias latipes* などはいずれも希少種となっているほか (環境省 2020)、水生昆虫類としてよく知られる大型のゲンゴロウ属 *Cy-bister* spp., タガメ *Kirkaldyia deyrolli* などの水田性種は各地で地域的な絶滅が続いている (市川 2009; 北野は

2020年9月2日受付, 2020年10月25日受理

*e-mail: nakajima@fihes.pref.fukuoka.jp

か 2011; 中島 2013; 西原 2016; 中島ほか 2020). 水田域はもともと自然の氾濫原湿地に生息した生物が多くみられる環境で、鳥類、両生類、魚類、昆虫類、甲殻類、植物など多くの分類群の生息場となっている (Moore 2006; 日本湿地学会 2017). 特に昆虫類のうち生活史の大部分を水中もしくは水面で生活する真水生のカメムシ目とコウチュウ目については、国内から記録されている約 490 種のうち、約 150 種が水田域を主要な生息場としていることが知られている (中島ほか 2020). したがって、国内の陸水環境の生物多様性保全を考える上で、悪化していく一方である水田域の生物多様性をどう保全していくかは大きな課題である.

こうした状況に対して、1999 年に施行された食料・農業・農村基本法では第三条において「自然環境の保全」が、2001 年に施行された改正土地改良法では第一条において「環境との調和に配慮」が、その目的として記述されるようになった. さらに「農林水産省生物多様性戦略」の公表 (農林水産省 2012), 「農業に有用な生物多様性の指標生物」の公表 (農林水産省農林水産技術会議事務局 2012) など、生物多様性と調和した水田域形成に向けた取り組みは少しずつ進んでいる. しかしながら、水田域は稲作という農業の場でもあり、高効率・高収益の近代的な農業としての稲作の推進と生物多様性保全の両立が困難であることも指摘されている (水谷 2007; 宇根 2016; 鬼倉ほか 2020).

そのような状況にある水田域において、水生昆虫類を中心とした生物多様性の保全・再生の手段として注目されているのが、湿地ビオトープ造成の取り組みである (養父 2005). ビオトープとは特定の生物群集が形成される条件を備えた最小単位の空間などとして定義されるもので、自然再生や生物多様性保全の手段としてしばしば用いられている (巖佐ほか 2003; 高橋ほか 2009). 国内では 2000 年代後半以降、生物多様性保全を目的として造成された湿地ビオトープに関する多くの事例が報告されており、その内容は水田域における休耕地を湿地ビオトープ化した事例 (市川 2004; 北村 2008; 久米ほか 2009; 大野・高橋 2009; 須田 2010; 高橋ほか 2010; 田中ほか 2013; 阪田・難波 2020), 非水田域に湿地ビオトープを造成した事例 (竹内ほか 2009; 山下ほか 2009; 井上ほか 2013), また河川を中心とした湿地ビオトープを造成した事例 (松井・増田 2018) や、流域生態系の一部としての湿地ビオトープを造成した事例 (田和ほか 2019) など様々なものがある. 上述した湿地ビオトープ造成の目的はその多くが生物の生息場の

再生を目指したものであるが、同時にこのような休耕地や非農地の湿地ビオトープ化は、生物多様性保全への効果のみならず、治水や水質浄化などグリーンインフラとしても大きな多面的機能を有することが指摘されている (グリーンインフラ研究会 2020; 西廣ほか 2020). 現在国内では水田耕作面積は減少し続けており、同時に休耕地も増加している (農林水産省 2019). したがって、こうした休耕地を湿地ビオトープとして活用することには様々な利点があるものと考えられ、特に水田域の生物多様性を保全する場として機能させるためには、湿地ビオトープの構造や水生生物の生態に関する知見を今後も各地で集積していく必要があるものと考えられる.

以上の背景より、本研究では休耕地に造成した湿地ビオトープの水質環境と生物相の状況を 3 年間にわたり毎月調査した結果を報告するとともに、特に水生昆虫類を中心とした水生生物の多様性保全に寄与するビオトープの環境構造や管理手法について考察を行う.

材料と方法

調査地

調査地は福岡県福津市手光地区に造成した湿地ビオトープ (通称: 手光ビオトープ) である (Fig. 1). 本ビオトープは標高約 25 m, 最大幅が東西約 60 m, 南北約 120 m で、10 年以上にわたり休耕していた水田を 2011 年 2 月に掘削して造成したものである (中島ほか 2012; 福岡県宗像・遠賀保健福祉環境事務所 2019). 本ビオトープの周辺は主に水田域を中心とした農地、森林、住宅地からなり、農業用ため池も多数存在する. なお、これらのため池群は多くの希少種の生息地となっていることから、当地域は「生物多様性の観点から重要度の高い湿地」において「No.457 古賀市および福津市のため池群」に選定されている (環境省 2014).

掘削前の休耕地はセイタカアワダチソウ *Solidago altissima* 等の草本が繁茂するやや湿った荒地となっており、小型重機により 2 つの池 (上池, 下池) と 1 つの水田、及びそれらを結ぶ水路を造成した. 上池は隣接した三面コンクリート護岸の小河川 (手光今川水系) から取水することができ、取水された水は上池内を通過して水路を経て水田に流れ込み、水田から流出した水は再度小河川に流れ込む構造となっている. 下池は上池や水路とは直接つながっておらず、独立した止水域である. 小河川からの取水は堰上げによって行うが、取水をしない場合でも東側の森林脇からの湧水や地下水位などの影響から、

Fig. 1. Map of study area and location of the six survey stations.
調査地点の地図と 6 調査定点の位置.

上池、下池、水路、水田ともに完全に干上がることはほとんどない。

本ビオトープ造成後調査を実施した 3 年間では、下池で夏季に数回の観察会を実施した際に陸域の草刈り、水

田で稲の栽培・収穫を行ったが、その他の生物の持ち込みは一切行わず、生物相の変化は自然の推移に任せた。

水生生物の採集と水質項目の測定

ビオトープ内に地点 A ～ F の 6 定点を設けた (Fig. 1).

地点 A は水田, 地点 B と C は下池, 地点 D は水路, 地点 E と F は上池に位置する. 各定点は 1 m 四方とし, この各定点において 2011 年 4 月から 2014 年 3 月の 3 年間, 毎月中旬に調査を行った.

採集調査はタモ網 (HOGA 社 IS40-1W; 目合 1 mm, 幅 40 cm) を用い, 約 10 分間にわたって定点内を満遍なくすくい採り採集を行った. 採集した生物は目視で同定できるものは種類と個体数を記録後, 生きたまま元の場所に放流した. また, 目視での同定ができない一部の種については 70% エタノール液において固定し研究室に持ち帰り同定した. 採集調査とあわせて, トンボ類 (成虫), アメンボ類 (成虫), 沈水植物を目視で記録した. 水生昆虫類の種の同定・分類は基本的に川合・谷田 (2018) に従い, トンボ目については尾園ほか (2012) を, コウチュウ目とカメムシ目については中島ほか (2020) を参考にした. 沈水植物の基準・同定は角野 (2014) に従った.

水質項目の測定は毎回の採集調査の直前に行い, 6 定点において水温, 電気伝導度 (EC), pH, 酸化還元電位 (ORP), 溶存酸素 (DO), 水深の 6 項目を測定・記録した. 水深はプラスチック製定規を用いて各定点の中心を 1 cm 単位で計測した. 他の項目については多項目水質計 (HORIBA 社 U-50) を用いて計測した. また, 本調査地が農薬類に由来する有機汚染物質の影響を受けているかどうかを確認するため, 547 種の農薬類が登録された GC/MS データベースを用いた土壌のスクリーニング分析 (宮脇ほか 2013) を行った. 分析には 2011 年及び 2013 年の 8 月に調査地点 A, B, F でそれぞれ採取した土壌を用いた.

以上の結果に基づいて水質環境の変化, 確認された水生生物の種数・希少種数について整理を行った. 希少種は環境省 (2020) 及び福岡県 (2014) において何らかのランクに掲載されているものとした. また, 水生昆虫類を対象として月ごとの出現種数の変化, 地点ごとの種数の変化, 多様度指数として Shannon-Wiener の H' (宮下・野田 2003) の変化を調べた. さらに水面性を除く真水生のカメムシ目・コウチュウ目を対象として, 周辺のため池環境に生息する種組成との比較を行った. 比較対象としたため池は本ビオトープから北東約 20 m に位置する池 A, 北西約 2 km に位置する池 B, 北約 2 km に位置する池 C とし, 2008 年~2014 年にかけて実施した任意採集による調査結果を用いた. 真水生種の定義は中島ほか (2020) に従った. 加えて, 侵略的な外来種の出現状況, 沈水植物の出現状況を整理した.

結 果

水質測定項目

四重極型 GC/MS を用いた 2 回の土壌分析の結果, いずれも有機塩素系農薬 (DDT 類, HCH 類等) をはじめ, 殺虫剤 (フィプロニル等) や除草剤等 (シマジン等) を含む農薬類はすべて定量下限未満であり, 本ビオトープの土壌がこれらの影響を受けていないことが明らかとなった. 次に, 調査した 6 定点において計測した 6 項目の水質環境の変化を示す (Fig. 2). 環境の大きな変化として, 定点 B と C を含む下池は 2013 年の 4, 5, 6 月に水がなくなり干出・乾燥したが, 他の地点・時期においては水が完全になくなるということではなかった. 水温は最高 38.2°C (地点 A, 2012 年 7 月), 最低 6.7°C (地点 E, 2012 年 1 月) であり, おおむね 7~9 月に高く 12~2 月に低いという明瞭な季節性がみられた (Fig. 2a). 電気伝導度, pH, 溶存酸素は地点間・季節間で大きな差はなかった (Fig. 2b, c, e). 酸化還元電位は冬季から春季に高く, 夏季に低いという季節性がみられた (Fig. 2d). 水深は期間を通して全体として顕著に浅くなっていく傾向がみられた (Fig. 2f).

水生生物相

全 36 回の定点による採集調査と全域の目視調査の結果をあわせると, 両生類 7 種, 魚類 4 種, 水生昆虫類 69 種, 甲殻類 7 種, 貝類 6 種の合計 18 目 93 種の水生動物を確認することができた (Table 1). 外来種はウシガエル *Lithobates catesbeianus*, アメリカザリガニ *Procambarus clarkii*, スクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata*, サカマキガイ *Physa acuta* の 4 種であった. 沈水植物はイトトリゲモ *Najas japonica*, ミズオオバコ *Ottelia alismoides*, キクモ *Limnophila sessiliflora*, イトモ類の一種 *Potamogedon* sp. の 4 種が確認された. 確認された全ての水生動植物のうち, 環境省もしくは福岡県のレッドリスト掲載種は 24 種であった.

定点調査において採集された水生昆虫類はカゲロウ目 (幼虫) 2 種, カワゲラ目 (幼虫) 1 種, トンボ目 (幼虫) 11 種, カメムシ目 (成虫・幼虫) 14 種, コウチュウ目 (成虫・幼虫) 20 種, トビケラ目 (幼虫) 2 種, ハエ目 (幼虫) 4 種であった. 真水生種で幼虫も確認されたのはタイコウチ *Laccotrephes japonensis*, ハイイロチビミズムシ *Micronecta sahlbergii*, エサキコミズムシ *Sigara septemlineata*, オオミズムシ *Hesperocorixa kolthoffi*, マツモムシ *Notonecta triguttata*, コマツモムシ *Anisops ogasawarensis*, マルミズムシ *Paraplea japonica*, マメゲンゴ

Fig. 2. Monthly changes of each water environments in six survey stations since April 2011 to March 2014. a, water temperature (°C); b, electric conductivity (μS/cm); c, potential hydrogen (pH); d, oxidation-reduction potential (mv); e, dissolved oxygen (mg/L); f, water depth (cm).

2011年4月から2014年3月にかけての水質環境の毎月の変化. a, 水温; b, 電気伝導度; c, pH; d, 酸化還元電位; e, 溶存酸素; f, 水深.

ロウ *Agabus japonicus*, ハイイロゲンゴロウ *Eretes gri-seus*, コガタノゲンゴロウ *Cybister tripunctatus lateralis*, ヒメガムシ *Sternolophus rufipes* であった. このうち, 真水生種においてはハイイロチビミズムシ, エサキコミズムシ, マメゲンゴロウの3種がほぼ全期間を通じて確認された一方で, ホッケミズムシ *Hesperocorixa distanti hokkensis*, ホソマルチビゲンゴロウ *Leiodytes miyamotoi*, カンムリセスジゲンゴロウ *Copelatus kammuriensis*, ミヤタケダルマガムシ *Hydraena miyatakei*, ゴマフガムシ *Berosus punctipennis*, キベリヒラタガムシ *Enochrus japonicus* の6種は各1回, 1個体しか採集されなかった. 水生昆虫類の確認種数には明瞭な季節性があり, 15種以上が確認された月は1年目が7~12月, 2年目が3月

及び5~10月, 3年目が7~9月で, いずれも8月を中心とした夏季に種数が多く, その一方で確認された種数が10種未満であったのは1年目が1月と2月, 2年目が12~2月, 3年目が4月及び11~3月で, いずれも2月を中心とした冬季に種数が少なかった (Table 2, Fig. 3). 3年間の月別の平均種数±SDは1月が6.0±0.0, 2月が4.0±1.0, 3月が10.7±4.9, 4月が10.7±2.5, 5月が13.0±6.1, 6月が15.0±6.2, 7月が15.0±6.2, 8月が21.3±1.2, 9月が17.0±1.7, 10月が15.0±1.0, 11月が12.0±5.6, 12月が8.3±6.8であり, 8月にもっとも多く, 2月にもっとも少なかった.

調査地点別の水生昆虫類の種数は地点Bが多く, 地点Dが少ない傾向がみられた (Fig. 4a). 全期間を通じ

Table 1. All aquatic animals and submerged plants by our survey from April 2011 to March 2014.
2011 年 4 月から 2014 年 3 月に実施した調査で確認されたすべての水生動物及び沈水植物.

Amphibia	
Caudata	<i>Hynobius nebulosus</i> *, <i>Cynops pyrrhogaster</i> *
Anura	<i>Hyla japonica</i> , <i>Rana japonica</i> *, <i>Lithobates catesbeianus</i> **, <i>Glandirana rugosa</i> *, <i>Fejervarya kawamurai</i>
Osteichthyes	
Cypriniformes	<i>Carassius langsdorfii</i> , <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> *
Perciformes	<i>Rhinogobius similis</i> , <i>R. sp.</i> OR
Insecta	
Ephemeroptera	<i>Cloeon</i> sp., <i>Caenis</i> sp.
Plecoptera	<i>Nemoura</i> sp.
Odonata	<i>Sympetma paedisca</i> *, <i>Lestes sponsa</i> , <i>Copera annulata</i> , <i>Ceriagrion melanurum</i> *, <i>C. nipponicum</i> *, <i>Paracercion calamorum</i> , <i>Ischnura senegalensis</i> , <i>Anaciaeschna martini</i> , <i>Anax parthenope</i> , <i>Trigomphus interruptus</i> *, <i>Epophtalmia elegans</i> , <i>Rhyothemis fuliginosa</i> , <i>Sympetrum eroticum</i> , <i>S. kunckeli</i> , <i>Pseudothemis zonata</i> , <i>Crocothemis servilia</i> , <i>Pantala flavescens</i> , <i>Lyriothemis pachygastra</i> , <i>Orthetrum albistylum</i> , <i>O. japonicum</i> , <i>O. melania</i>
Hemiptera	<i>Laccotrephes japonensis</i> , <i>Ranatra chinensis</i> *, <i>R. unicolor</i> , <i>Micronecta sahlbergii</i> , <i>Hesperocorixa distantii hokkensis</i> *, <i>H. kolthoffi</i> *, <i>H. mandshurica</i> *, <i>Sigara septemlineata</i> , <i>S. bellula</i> *, <i>Notonecta triguttata</i> , <i>Anisops ogasawarensis</i> , <i>A. exiguus</i> , <i>Paraplea japonica</i> , <i>P. indistinguenda</i> , <i>Hydrometra procera</i> , <i>Microvelia douglasi</i> , <i>M. horvathi</i> , <i>Aquarius paludum paludum</i> , <i>Gerris latidominis</i>
Coleoptera	<i>Peltodytes intermedius</i> , <i>Noterus japonicus</i> , <i>Hydrovatus acuminatus</i> *, <i>Hydroglyphus japonicus</i> , <i>Leiodytes miyamotoi</i> *, <i>Copelatus kammuriensis</i> *, <i>Agabus japonicus</i> , <i>Rhantus suturalis</i> , <i>Eretes griseus</i> , <i>Hydaticus rhantoides</i> *, <i>Cybister tripunctatus lateralis</i> *, <i>Hydraena miyatakei</i> , <i>Berosus punctipennis</i> , <i>B. lewisius</i> , <i>Sternolophus rufipes</i> , <i>Enochrus japonicus</i> , <i>E. simulans</i> , <i>Helochares pallens</i> , <i>H. nipponicus</i> *, <i>Luciola lateralis</i> *
Trichoptera	<i>Cheumatopsyche</i> sp., <i>Lepidostoma</i> sp.
Diptera	<i>Tipulidae</i> sp., <i>Chironomus</i> sp., <i>Stratiomys japonica</i> , <i>Eristalis</i> sp.
Malacostraca	
Decapoda	<i>Caridina typus</i> , <i>Neocaridina denticulata</i> , <i>Palaemon paucidens</i> , <i>Procambarus clarkii</i> **, <i>Eriocheir japonica</i>
Isopoda	<i>Asellus hilgendorfi</i>
Amphipoda	<i>Gammarus</i> sp.
Gastropoda	
Architaenioglossa	<i>Cipangopaludina chinensis laeta</i> *, <i>Bellamya quadrata histricea</i> , <i>Pomacea canaliculata</i> **
Sorbeoconcha	<i>Semisulcospira libertina</i>
Pulmonata	<i>Physa acuta</i> **
Hygrophila	<i>Planorbidae</i> sp.
Submerged plants	<i>Najas japonica</i> *, <i>Ottelia alismoides</i> *, <i>Potamogeton</i> sp., <i>Limnophila sessiliflora</i>

*, Threatened Species by Ministry of Environment (2020) and Fukuoka Prefecture (2014); **, alien species

た各地点の平均種数 $\pm$ SD は地点 A が 3.0 ± 2.5 , 地点 B が 7.5 ± 5.4 , 地点 C が 3.9 ± 3.2 , 地点 D が 1.0 ± 1.2 , 地点 E が 4.0 ± 2.6 , 地点 F が 3.4 ± 2.3 であった。また、調査地点別の水生昆虫類の多様度指数 H' は地点 B が高く、地点 D が低い傾向がみられた (Fig. 4b)。全期間を通じた各地点の多様度指数 H' の平均値 $\pm$ SD は地点 A が 1.3 ± 0.8 , 地点 B が 2.2 ± 1.0 , 地点 C が 1.5 ± 0.9 , 地点 D が 0.6 ± 0.7 , 地点 E が 1.4 ± 0.8 , 地点 F が 1.5

± 0.8 であった。

本ビオトープにおける水面性を除く真水生のカメムシ目・コウチュウ目の種組成を、周囲の 3 つのため池のそれと比較したところ、本ビオトープで確認された種のうち、周囲のため池で未確認の種はカンムリセシジメンゴロウのみであった (Table 3)。また、周囲のため池で生息が確認されているものの、本ビオトープで確認されなかった種は、コオイムシ *Appasus japonicus*, ミヤケミズ

Table 2. List of aquatic insects collected by our survey at six stations.
6 調査定点によって採集された水生昆虫類のリスト.

Scientific Name	Stage	Japanese Name	2011												2012												2013												2014		
			A	M	J	J	A	S	O	N	D					J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D				J	F	M								
Hemiptera																																									
<i>Laccotrephes japonensis</i>	A&L	Taikouchi	-	-	-	●	●	●	-	●	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-	-	-	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Ranatra chinensis</i>	A	Mizukamakiri	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Ranatra unicolor</i>	A	Hime-mizukamakiri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Micronecta sahlbergii</i>	A&L	Haiiro-chibimizumushi	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
<i>Hesperocorixa distanti hokkensis</i>	A	Hokke-mizumushi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
<i>Hesperocorixa koltzhoffi</i>	A&L	Oo-mizumushi	-	-	●	-	-	●	●	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-								
<i>Hesperocorixa mandshurica</i>	A	Naga-mizumushi	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-									
<i>Sigara septemlineata</i>	A&L	Esaki-komizumushi	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	●	-	-	●	-	●								
<i>Sigara bellula</i>	A	Omonaga-komizumushi	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Notonecta triguttata</i>	A&L	Matsumomushi	●	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Anisops ogasawarensis</i>	A&L	Komatsumomushi	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Anisops exugus</i>	A	Chibi-komatsumomushi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Paraplea japonica</i>	A&L	Marumizumushi	-	-	●	●	●	●	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Paraplea indistinguenda</i>	A	Hime-marumizumushi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Coleoptera																																									
<i>Peltodytes intermedius</i>	A	Kogashira-mizumushi	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Noterus japonicus</i>	A	Kotsubu-gengorou	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	●	-	●	-	●	●	●	-	-	-	-	-								
<i>Hydrovatus acuminatus</i>	A	Ko-marukeshi-gengorou	-	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-	-	●	-	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-							
<i>Hydroglyphus japonicus</i>	A	Chibi-gengorou	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	-	-	-	-	●	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Leiodytes miyamotoi</i>	A	Hoso-maruchibi-gengorou	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-								
<i>Copelatus kammuriensis</i>	A	Kanmuri-sesuji-gengorou	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-								
<i>Agabus japonicus</i>	A&L	Mame-gengorou	●	●	●	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	●	●	●	●								
<i>Rhantus suturalis</i>	A	Hime-gengorou	-	-	●	●	-	●	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Eretes griseus</i>	A&L	Haiiro-gengorou	●	-	●	●	●	●	●	-	-	●	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
<i>Hydaticus rhantoides</i>	A	Usuiro-shima-gengorou	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Cybister tripunctatus lateralis</i>	A&L	Kogatano-gengorou	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Hydraena miyatakei</i>	A	Miyatake-darumagamushi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-								
<i>Berosus punctipennis</i>	A	Gomafu-gamushi	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Berosus lewisius</i>	A	Togeba-gomafu-gamushi	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Sternolophus rufipes</i>	A&L	Hime-gamushi	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-							
<i>Enochrus japonicus</i>	A	Kiberi-hirata-gamushi	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Enochrus simulans</i>	A	Kiio-hirata-gamushi	●	●	●	-	●	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	-	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-							
<i>Helochaers pallens</i>	A	Ruisu-hirata-gamushi	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Helochaers nipponicus</i>	A	Suji-hirata-gamushi	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	-	●	●	●	-	-	●	-	-	-	-							
<i>Luciola lateralis</i>	L	Heike-botaru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Ephemeroptera																																									
<i>Cloeon</i> sp.	L	Futaba-kagerou-zoku	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	●	-	●	●	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Caenis</i> sp.	L	Himeshiro-kagerou-zoku	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Plecoptera																																									
<i>Nemoura</i> sp.	L	Onashi-kawagera-zoku	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Odonata																																									
<i>Copera annulata</i>	L	Monosashi-tonbo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Coenagrionidae</i> spp.	L	Itotonbo-ka	-	-	●	●	-	-	●	●	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	●	-	-	●	-							
<i>Anaciaeschna martini</i>	L	Marutan-yanma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
<i>Anax</i> sp.	L	Gin-yanma-zoku	●	●	-	●	●	●	●	●	-	-	●	-	●	●	●	●	●	●	-	-	●	-	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●							
<i>Trigomphus interruptus</i>	L	Futasuji-sanae	-	-	-	●	●	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-							
<i>Epophthalmia elegans</i>	L	Oo-yama-tonbo	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Rhyothemis fuliginosa</i>	L	Chou-tonbo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Crocothemis servilia</i>	L	Syujyou-tonbo	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-							
<i>Lyriothemis pachygastra</i>	L	Harabiro-tonbo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Orthetrum</i> spp.	L	Shiokara-tonbo-zoku	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							
<i>Libellulidae</i> spp.	L	Tonbo-ka	-	-	-	●	●	●	●	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							
Trichoptera																																									
<i>Cheumatopsyche</i> sp.	L	Shima-tobikera-zoku	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
<i>Lepidostoma</i> sp.	L	Kakutsutsu-tobikera-zoku	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Diptera																																									
<i>Tipulidae</i> sp.	L	Gaganbo-ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	●							
<i>Chironomus</i> sp.	L	Yusurika-zoku	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							
<i>Stratiomys japonica</i>	L	Mizu-abu	-	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	●	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-							
<i>Eristalis</i> sp.	L	Hana-abu-zoku	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	●	-						
Total species number			13	10	11	17	23	17	17	18	16	7	6	15	14	20	23	21	23	23	18	7	7	5	14	9	11	14	19	21	17	19	14	4	7	4	6				

A, adult; L, larva

Fig. 3. Monthly change of species number of aquatic insects since April 2011 to March 2014. 2011 年 4 月から 2014 年 3 月にかけての水生昆虫（カメムシ目，コウチュウ目，トンボ目，その他）の種数の毎月の変化。

ムシ *Xenocorixa vittipennis*, コバンムシ *Ilyocoris cinioides exclamationis*, クビボソコガシラミズムシ *Haliplus japonicus*, キイロコガシラミズムシ *Haliplus eximius*, ヒメコガシラミズムシ *Haliplus ovalis*, ツブゲンゴロウ *Laccophilus difficilis*, ルイスツブゲンゴロウ *Laccophilus lewisius*, チャイロマメゲンゴロウ *Agabus browni*, タマガムシ *Amphiops mater*, マメガムシ *Regimbartia attenuata*, コガムシ *Hydrochara affinis* の 12 種であった。

確認された外来種 4 種のうち，生態系被害防止外来種リスト（環境省 2015）に掲載されている侵略性のある外来種としては，ウシガエル，アメリカザリガニ，スクミリンゴガイの 3 種が確認された。いずれの種も本ビオトープが掘削された 2011 年の 8 月以降から確認され始めた（Fig. 5）。スクミリンゴガイは 2011 年，2012 年，2013 年ともに 8 月前後には多くの個体を確認されたが，冬季には生きた個体がほとんどみられなかった。アメリカザリガニは 2011 年の採集個体数は少なかったが，2012 年，2013 年の 8 月前後には多数の個体を確認された。ウシガエルは調査期間を通じて確認された個体数は少なかったが，2013 年 9 月のみ幼生（オタマジャクシ）がまとまって採集された。

沈水植物は前述した 4 種が確認されたが，4 種ともに確認されたのは本ビオトープが掘削された 2011 年の 7

～11 月にかけてのみで（Fig. 6），この時には下池全体にこれら 4 種の沈水植物と抽水植物のコナギ *Monochoria vaginalis*，イボクサ *Murdannia keisak* 等からなる群落形成された（Fig. 7a）。しかし 2012 年はキクモ 1 種のみが岸際のみで確認され，群落も形成されなかった（Fig. 7b）。その後 2013 年の 7～8 月にキクモが下池全体に群落を形成したが，9 月には消滅した。また同じ 2013 年 9 月には水田でミズオオバコが 1 株確認されたが，10 月には消滅した。

考 察

水質測定項目のうち，pH，溶存酸素の 2 つは，特に水生生物の生息に影響を与える項目である。一般的に国内の自然環境（湖沼；農業用水の場合）におけるこれら 2 項目の参考値として，pH は 6.5～8.5，溶存酸素は湖沼において 5 mg/L 以上の値をとることが知られている（環境省 2019）。本調査ではこれらの参考値を上回る，あるいは下回る場合もあったが，おおむねこれらの参考値内で数値は安定していたととらえることができる。また，農薬類が土壌や農地の生物に負の影響を与えることについては多くの研究例があるが（例えば，Jänsch et al. 2006；Kasai et al. 2016；Nakanishi et al. 2018；Ito et

Fig. 4. Monthly changes of species number (a) and Shannon-Wiener's H' (b) of aquatic insects in six survey stations since April 2011 to March 2014.
2011 年 4 月から 2014 年 3 月にかけての各地点における水生昆虫の種数と多様度指数 (H') の毎月の変化。

al. 2020), 本研究では底泥を対象に網羅的な分析を行い, そうした農薬類が検出されないことを明らかにした. これらのことから, 本ビオトープは生物に悪影響を与えるような水質環境を有した場所ではないことが明らかである. したがって, その生物相の変遷の結果は, 構造的な物理環境の変化, 自然の生物の移出入, 外来種等の影響によって生じたものとして以下の考察を行う.

生物多様性保全の観点からの本ビオトープの効果

本調査では 3 年間で 22 種の希少種を含む 93 種の水生动物, 2 種の希少種を含む 4 種の沈水性植物が確認された. 水生動物のうち, 特に水生のカメムシ目とコウチュウ目は環境保全型農業の取り組み評価のための指標生物として適していることが知られている (農林水産省農林水産技術会議事務局 2012). この点から特に真水生種の

Table 3. List of true aquatic Hemiptera and Coleoptera at Tebika Biotope, Pond A, Pond B, and Pond C.
手光ビオトープ及び池 A, 池 B, 池 C における真水生のカメムシ目とコウチュウ目のリスト.

Scientific Name	Japanese Name	Tebika Biotope	Pond A	Pond B	Pond C
HEMIPTERA					
1 <i>Laccotrephes japonensis</i>	Taikouchi	●	●	●	
2 <i>Ranatra chinensis</i>	Mizukamakiri	●	●	●	
3 <i>Ranatra unicolor</i>	Hime-mizukamakiri	●	●	●	●
4 <i>Appasus japonicus</i>	Kooimushi			●	
5 <i>Micronecta sahlbergii</i>	Haiiro-chibimizumushi	●	●	●	
6 <i>Hesperocorixa distantis hokkensis</i>	Hokke-mizumushi	●		●	●
7 <i>Hesperocorixa kolthoffi</i>	Oo-mizumushi	●	●	●	●
8 <i>Hesperocorixa mandshurica</i>	Naga-mizumushi	●		●	●
9 <i>Xenocorixa vittipennis</i>	Miyake-mizumushi			●	●
10 <i>Sigara septemlineata</i>	Esaki-komizumushi	●	●	●	●
11 <i>Sigara bellula</i>	Omonaga-komizumushi	●	●	●	●
12 <i>Ilyocoris cimicoides exclamationis</i>	Koban-mushi		●	●	
13 <i>Notonecta triguttata</i>	Matsumomushi	●	●	●	●
14 <i>Anisops ogasawarensis</i>	Komatsumomushi	●	●	●	●
15 <i>Anisops exiguus</i>	Chibi-komatsumomushi	●	●	●	●
16 <i>Paraplea japonica</i>	Marumizumushi	●	●	●	●
17 <i>Paraplea indistinguenda</i>	Hime-marumizumushi	●	●		
COLEOPTERA					
1 <i>Peltodytes intermedius</i>	Kogashira-mizumushi	●	●	●	●
2 <i>Haliphus japonicus</i>	Kubiboso-kogashira-mizumushi		●		
3 <i>Haliphus eximius</i>	Kihiro-kogashira-mizumushi		●		
4 <i>Haliphus ovalis</i>	Hime-kogashira-mizumushi		●		
5 <i>Noterus japonicus</i>	Kotsubu-gengorou	●	●	●	●
6 <i>Hydrovatus acuminatus</i>	Ko-marukeshi-gengorou	●	●	●	
7 <i>Hydroglyphus japonicus</i>	Chibi-gengorou	●	●	●	●
8 <i>Leiodytes miyamotoi</i>	Hoso-maruchibi-gengorou	●	●		
9 <i>Laccophilus difficilis</i>	Tsubu-gengorou		●		
10 <i>Laccophilus lewisius</i>	Ruisu-tsubu-gengorou			●	
11 <i>Copelatus kammuriensis</i>	Kanmuri-sesuji-gengorou	●			
12 <i>Agabus japonicus</i>	Mame-gengorou	●	●	●	●
13 <i>Agabus browni</i>	Chairo-mame-gengorou		●		
14 <i>Rhantus suturalis</i>	Hime-gengorou	●	●	●	
15 <i>Eretes griseus</i>	Haiiro-gengorou	●	●	●	●
16 <i>Hydaticus rhantoides</i>	Usuiro-shima-gengorou	●	●	●	●
17 <i>Hydaticus grammicus</i>	Ko-shima-gengorou		●		
18 <i>Cybister tripunctatus lateralis</i>	Kogatano-gengorou	●	●	●	●
19 <i>Hydraena miyatakei</i>	Miyatake-darumagamushi	●	●		
20 <i>Amphiops mater</i>	Tama-gamushi		●	●	●
21 <i>Berosus punctipennis</i>	Gomafu-gamushi	●	●		
22 <i>Berosus lewisius</i>	Togeba-gomafu-gamushi	●		●	
23 <i>Regimbartia attenuata</i>	Mame-gamushi		●	●	●
24 <i>Hydrochara affinis</i>	Ko-gamushi			●	
25 <i>Sternolophus rufipes</i>	Hime-gamushi	●	●	●	●
26 <i>Enochrus japonicus</i>	Kiberi-hirata-gamushi	●	●		
27 <i>Enochrus simulans</i>	Kihiro-hirata-gamushi	●	●	●	●
28 <i>Helochaeres pallens</i>	Ruisu-hirata-gamushi	●	●	●	●
29 <i>Helochaeres nipponicus</i>	Suji-hirata-gamushi	●	●	●	●

Fig. 5. Monthly changes of individual number of three alien species since April 2011 to March 2014. a, *Lithobates catesbeianus*; b, *Procambarus clarkii*; c, *Pomacea canaliculata*.
2011 年 4 月から 2014 年 3 月にかけての 3 種の外来種個体数の毎月の変化。a, ウシガエル；
b, アメリカザリガニ；c, スクミリンゴガイ。

Fig. 6. Monthly change of species number of submerged plants since April 2011 to March 2014.
2011 年 4 月から 2014 年 3 月にかけての沈水植物種数の毎月の変化。

Fig. 7. Change of aquatic plant community at Shimo-ike in Tebika Biotope. a, 13. October 2011; b, 15. October 2012.

手光ビオトープ下池における水草群落の変化. a, 2011年10月13日; b, 2012年10月15日.

種数に注目して、既知の同様の研究結果と比較を行うと、茨城県では造成後6年でカメムシ目が9種、コウチュウ目が14種（田中ほか 2013）、奈良県では造成後1年でカメムシ目が6種、コウチュウ目が9種（久米ほか 2008）、岡山県では造成後半年でカメムシ目が9種、コウチュウ目が13種（阪田・難波 2020）と報告されている。本研究では造成した年の8月までにカメムシ目が10種、コウチュウ目が14種、翌年8月までに同12種と15種、さらにその翌年8月までに14種と16種、最終的に造成後の3年間でカメムシ目14種とコウチュウ目19種が確認されている。また、中島ほか（2018）は福岡県内の止水性湿地の生物多様性の健全度を水生昆虫の種組成から調べる手法を考案しているが、これを用いて本結果を評価するとそのスコアは3.18点となり、こ

れは4段階で評価した中でもっとも良い「(I) とても豊かな湿地環境」に該当する。以上の点から、休耕田を掘削して造成した本ビオトープは、生物多様性保全に大きく貢献したと考えられた。

水生昆虫の種数を決定する要因

水生昆虫類の種数は夏季に多く、冬季に少ないという顕著な季節性がみられた。このことは、一般的に止水性昆虫の調査やそれを用いた環境評価を行う上で、調査時期の設定がきわめて重要であることを示している。

種数と多様度指数 H' は定点 B で顕著に大きく、定点 D で顕著に小さかった。定点 B は水系から独立した下池の一部であり、定点として設定した 1 m 四方の中に岸際のごく浅い植生豊富な湿地から水深のある池部分まで連続的に変化する環境構造を有している（Fig 1）。このような陸域から水域にかけて連続的に変化する移行帯（エコトーン）が生物多様性保全に重要である点についてはよく知られているところであるが（巖佐ほか 2003；高橋ほか 2009；日本湿地学会 2017）、本研究においてもその重要性が裏付けられた。一方で定点 D は上池と水田を結ぶ水路に設定した流水環境の地点で、種数や多様度指数 H' は小さかったもののオナシカワゲラ属 *Nemoura* sp., ヘイケボタル *Luciola lateralis*, トビケラ目 *Trichoptera* spp. 2 種はこの地点でのみ確認されたものであった。また、カワニナ *Semisulcospira libertina* の個体数も顕著に多かった。これらのことから、生物多様性保全を目的とした湿地ビオトープを造成する場合には、浅所から深所まで連続的に変化する移行帯（エコトーン）を伴う環境構造とともに、止水から流水にかけての多様な流速環境をデザインすることが重要であると考えられる。

湿地ビオトープに出現した生物の由来

本ビオトープはほぼ陸地化した休耕地を掘削して水をためたものであり、本調査で確認された水生生物のほとんどはもともとその場にいたものではなく、近傍地に生息していたものが移動してきたもの、あるいは沈水植物では地中の埋土種子が発芽したものが由来と考えられる。水生動物のうち両生類、魚類、甲殻類、貝類はいずれも飛翔ができないが、これらは本ビオトープに隣接する水路や水田に生息することを確認しており、上流あるいは下流の水系を伝って移動してきたものと考えられる。

また、水生昆虫類の多くは飛翔して本ビオトープに侵入したものと考えられ、本調査において確認された水生昆虫類（真水生のカメムシ目とコウチュウ目）のほぼ全種が、2 km 以内に存在する 3 つのため池で生息が確認

されている種であった。調査を行った2011年4月から2014年3月の3年間に於いて、周辺のため池に生息しながらビオトープに出現しなかった種は12種であったが、その後、コガムシは2015年に、マメガムシは2019年に、コオイムシは2020年にそれぞれ確認されている（中島 未発表データ）。渡辺ほか（2019）は水田域に生息する止水性昆虫が飛翔により移動する範囲を2～3 km 程度と報告しており、本調査結果はこの知見と一致する。その一方で、周辺のため池での生息が確認されているものの、ミヤケミズムシ、コバンムシ、クビボソコガシラミズムシ、キイロコガシラミズムシ、ヒメコガシラミズムシ、ツブゲンゴロウ、ルイスツブゲンゴロウ、チャイロマメゲンゴロウ、タマガムシの9種は現在に至る造成後10年間に於いて本ビオトープで一切確認がされていない（中島 未発表データ）。これらはいずれも比較的水質が良好で水生植物が豊富なため池環境を好む種であり（中島ほか 2020）、比較的富栄養で浅い本ビオトープの環境構造が生息に適していなかった可能性がある。西城（2001）は隣接するため池と水田間で、渡部（2016）は隣接する水田と明渠間で、その水生昆虫の種組成が大きく異なることを報告している。以上から、新規に湿地ビオトープを造成した場合にその生物相がどうなるのかは周辺環境の生物相に強く依存しており、特に飛翔が可能な水生昆虫類については周囲2～3 km に存在するため池・水田の水生昆虫相の影響を強く受けるが、同時にビオトープそのものの環境構造も非常に重要であると考えられる。

侵略的な外来種と沈水植物相、水生昆虫相の関係

本調査では侵略的な外来種としてウシガエル、アメリカザリガニ、スクミリンゴガイの3種が確認された。これら3種はいずれも造成から半年後の2011年8～9月以降に出現しており、本ビオトープ周辺の水田や水路に多く生息していることから、水路や陸上を通過して少しずつ移動・定着を行ったものと考えられる。このうちウシガエルは安定して確認されず、スクミリンゴガイは2011年の10月以降、アメリカザリガニは2012年の7月以降に個体数が増加した。外来種としてのアメリカザリガニとスクミリンゴガイが生態系に与える影響については多くの報告があるが、アメリカザリガニは水生の動植物に対して（Anastacio et al. 2005；Nishijima et al. 2017）、スクミリンゴガイは湿生植物に対して（Carlsson et al. 2004；日鷹ほか 2007）、それぞれ食害や切断による悪影響を与えることが報告されている。本調査でも特にこれら2種の外来種による悪影響を受けたと考えられ

るのが沈水植物で、本ビオトープを造成した2011年の7月から11月にかけてミズオオバコとキクモを中心とした大群落が下池に出現したが（Fig. 7a）、翌2012年の同一時期にはこの群落は出現せず岸際にわずかにキクモが生育するのみであった（Fig. 7b）。これら沈水植物が発芽するのは6月頃であること、2011年6月にはアメリカザリガニ、スクミリンゴガイともに確認されておらず、翌年の2012年6月にはすでにこの2種が確認されていたこと、本ビオトープで採集し研究室で栽培を続けているミズオオバコ、キクモ、イトトリゲモが、水抜き等の処置を行わずとも2020年現在、毎年発芽・生育していること（中島 未発表データ）、さらに前述したように2013年に採取した底泥には除草剤を含む農薬類の影響はみられなかったこと、以上の4点から考えると、沈水植物の種数・個体数の減少は、2011年秋以降に定着したアメリカザリガニとスクミリンゴガイの増加に伴う食害によるものである可能性が高い。なお、2013年7～8月には下池でキクモが群落を形成したが、この年は4～6月にかけて下池が干上がっており、これにより一時的にアメリカザリガニとスクミリンゴガイが全滅し食害されなかったことが理由と考えられる。

また、水生昆虫類の種数がかつとも多い夏季（8月）について、真水生のカメムシ目・コウチュウ目の合計種数は2011年が18種、2012年が16種、2013年が14種と年を追うごとにわずかながら減少していった。湿地ビオトープにおける経年の種数の減少については田中ほか（2013）がすでに指摘しているところであり、その理由として水路や池の水底に泥が堆積すること、水生植物の種数が減少することを挙げている。本調査においても水深はその3年間で顕著に浅くなっており、水生植物が減少したことから、同様の現象が生じていたものとも考えられる。ただし、田中ほか（2013）の調査では造成後4年程度は種数が増加しており、一方で本ビオトープの種数は2年目から減少していることからその傾向は大きく異なる。先行研究と本ビオトープの間の環境構造には大きな違いがあり、単純に比較することはできないが、本ビオトープでは前述したように水質環境には大きな制限要因はなかったと考えられることから、本ビオトープにおける水生昆虫類の種数が2年目以降減少傾向を示したことは、沈水植物の急速な減少、そしてアメリカザリガニとスクミリンゴガイの2種の外来種の増加と関係があるかもしれない。

以上、本調査結果から、休耕地に造成した湿地ビオトープは生物多様性保全に大きく貢献することが明らかで

あり、より高い成果を出すためには移行帯（エコトーン）と流速の2点に注目した多様な環境構造を創出するようなデザインが重要であるものと考えられた。同時にその生物相は周辺環境に生息する種に大きく影響を受けること、特にアメリカザリガニとスクミリンゴガイの2種の外来種の管理に注意する必要があることなどが明らかとなった。水田域の生物相は地域によって大きく異なることから、今後も各地で同様な調査がなされ、生物多様性保全により効果のある湿地バイオトープのデザイン、管理手法などについての知見が蓄積されることが望まれる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、種同定等でご教示いただいた福岡県保健環境研究所の緒方 健氏、須田隆一氏、石間妙子氏、どじょうクラブの野中繁孝氏、本バイオトープの調査に便宜を図っていただいた福岡県宗像・遠賀保健福祉環境事務所、福岡県自然環境課に厚くお礼申し上げます。

摘 要

1. 休耕田を掘削した湿地バイオトープ（手光バイオトープ）における3年間の調査において、18目93種の水生動物、4種の沈水植物を確認した。このうち環境省あるいは福岡県レッドデータブック掲載種は24種であり、本バイオトープが生物多様性や希少種の保全に効果があったことがわかった。

2. 水生昆虫の種数は夏季（8月）を中心とした時期に増加、冬季（2月）を中心とした時期に減少し、顕著な季節性があることがわかった。このことから、止水性昆虫相の調査は夏季に行うことが適していると考えられた。

3. 水生昆虫の種数及び多様性指数（ H' ）は顕著な移行帯（エコトーン）をもつ地点が大きかったが、一方で流水環境に特異な種も確認されたことから、生物多様性保全を目的とした場合には浅所から深所まで連続的に変化する移行帯を伴う環境構造とともに、止水から流水にかけての多様な流速環境をデザインすることが重要であると考えられた。

4. 本バイオトープで確認された水生昆虫類は、ほぼ全種が近隣の2km以内のため池に生息する種であったが、その一方でそれらのため池に生息しながらバイオトープで確認されない種もあった。このことから、本バイオトープ

の水生昆虫相は、周囲の水生昆虫相とバイオトープの環境構造の2点から決定したものと考えられた。

5. 本バイオトープの水生生物相は侵略性のある外来種であるアメリカザリガニとスクミリンゴガイによる悪影響を受けていたものと考えられた。

引用文献

- Anastacio P.M., Parente V.S. & Correia, A.M. (2005) Crayfish effects on seeds and seedlings: identification and quantification of damage. *Freshwater Biology* **50**: 697-704.
- Carlsson N.O.L, Brönmark C. & Hansson L-A. (2004) Invading herbivory: The golden apple snail alters ecosystem functioning in Asian wetlands. *Ecology* **85**: 1575-1580.
- Dudgeon D., Arthington A.H., Gessner M.O., Kawabata Z.I., Knowler D.J., Lévêque C., Naiman R.J., Prieur-Richard A.H., Soto D., Stiassny M.L.J. & Sullivan C.A. (2006) Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* **81**: 163-182.
- 福岡県 (2014) 福岡県の希少野生生物：福岡県レッドデータブック 2014. 福岡県, 福岡.
- 福岡県宗像・遠賀保健福祉環境事務所 (2019) 手光バイオトープ～きて、みて、さわって～. 福岡県宗像・遠賀保健福祉環境事務所, 宗像.
- グリーンインフラ研究会 (2020) 実践版！グリーンインフラ. 日経 BP, 東京.
- 日鷹一雅・嶺田拓也・徳岡美樹 (2007) スクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata* (Lamarck) の侵入が水田植物相に及ぼす影響. *農村計画学会誌* **26**: 233-238.
- 市川憲平 (2004) 放棄田バイオトープによる里の自然再生とタガメやその他の水生動物の定着. *ホシザキグリーン財団研究報告* **7**: 137-150.
- 市川憲平 (2009) 止水性水生昆虫の現状 2008. *昆虫と自然* **44**(1): 2-4.
- 井上大輔・福岡県立北九州高等学校魚部・北九州市響灘バイオトープ (2013) 響灘バイオトープの水辺の生きもの. 福岡県立北九州高等学校魚部, 北九州市.
- Ito H.C., Shiraishi H., Nakagawa M. & Takamura N. (2020) Combined impact of pesticides and other environmental stressors on animal diversity in irrigation ponds. *PLoS ONE* **15**(7): e0229052.
- 巖佐庸・松本英夫・菊沢喜八郎・日本生態学会 (2003) 生態学事典. 共立出版, 東京.
- Jänsch S., Frampton G.K., Römbke J., Van Den Brink P.J. & Scott-Fordsmand J.J. (2006) Effects of pesticides on soil invertebrates in model ecosystem and field studies: a review and comparison with laboratory toxicity data. *Environmental Toxicology and Chemistry* **25**(9): 2490-2501.
- 角野康郎 (2014) ネイチャーガイド日本の水草. 文一総合出版, 東京.
- 環境省 (2014) 生物多様性の観点から重要度の高い湿地 (http://www.env.go.jp/nature/important_wetland/index.html, 2020年8月1日確認).
- 環境省 (2015) 生態系被害防止外来種リスト (<https://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/iaslist.html>, 2020年8月1日確認).

- 環境省 (2019) 別表 2 生活環境の保全に関する環境基準 (湖沼) (<https://www.env.go.jp/kijun/wt2-1-2.html>, 2020 年 8 月 1 日閲覧).
- 環境省 (2020) 環境省レッドリスト 2020 (<http://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf>, 2020 年 8 月 1 日閲覧).
- Kasai A., Hayashi T.I., Ohnishi H., Suzuki K., Hayasaka D. & Goka K. (2016) Fipronil application on rice paddy fields reduces densities of common skimmer and scarlet skimmer. *Scientific Reports* **6**: 23055.
- 川合禎次・谷田一三 (2018) 日本産水生昆虫第二版：科・属・種への検索. 東海大学出版部, 神奈川.
- 北村泰一 (2008) 耕作放棄水田等を利用した水生昆虫ビオトープネットワーク構築の可能性. 南九州大学研究報告 **38A**: 47-59.
- 北野忠・唐真盛人・水谷晃・崎原健・河野裕美 (2011) 西表島におけるゲンゴロウ類の生息状況. 東海大学沖縄地域研究センター所報 **2010**: 37-43.
- 久米幸毅・池ノ上竜太・奥村和也・稲本雄太・北川忠生・久保喜計・細谷和海 (2008) 近畿大学田んぼビオトープに見られる水生生物. 近畿大学農学部紀要 **41**: 135-167.
- 松井明・増田栄之 (2018) 和田ビオトープ (福井県高浜町) の設計およびモニタリング調査. 応用生態工学 **20**: 221-229.
- 宮下直・野田隆史 (2003) 群集生態学. 東京大学出版会, 東京.
- 宮脇崇・飛石和夫・竹中重幸・門上希和夫 (2013) マイクロウェーブ抽出を用いる土壌中有機汚染物質のスクリーニング法の開発. 分析化学 **62**: 971-978.
- 水谷正一 (2007) 水田生態工学入門. 農文協, 東京.
- Moore P.D. (2006) Wetlands. Chelsea House, Hong Kong.
- 中島淳 (2013) 過去から現在における水生甲虫相の変遷～福岡県での事例～. 昆虫と自然 **48**(4): 16-19.
- 中島淳 (2020) 日本産水生コウチュウ目の最新情報. 昆虫と自然 **55**(9): 4-7.
- 中島淳・林成多・石田和男・北野忠・吉富博之 (2020) ネイチャーガイド日本の水生昆虫. 文一総合出版, 東京.
- 中島淳・中村晋也・大平裕 (2012) 福岡県福津市に造成したビオトープにおけるカスミサンショウウオの産卵事例. 九州両生爬虫類研究会誌 **3**: 46-48.
- 中島淳・上野由里代・井上大輔・須田隆一 (2018) 水生昆虫類を用いた平均スコア法による止水性湿地の生物多様性指標. 福岡県保健環境研究所年報 **45**: 61-65.
- Nakanishi K., Yokomizo H. & Hayashi T.I. (2018) Were the sharp declines of dragonfly populations in the 1990s in Japan caused by fipronil and imidacloprid? An analysis of Hill's causality for the case of *Sympetrum frequens*. *Environmental Science and Pollution Research* **25**: 35352-35364.
- 日本湿地学会 (2017) 図説 日本の湿地 人と自然と多様な水辺. 朝倉書店, 東京.
- 西原昇吾 (2016) 総論 水生昆虫の危機的生息現状と実践的な保全. 昆虫と自然 **51**(7): 2-4.
- 西廣淳・大槻順朗・高津文人・加藤大輝・小笠原奨悟・東海林太郎・長谷川雅美・近藤昭彦 (2020) 「里山グリーンインフラ」による気候変動適応：印旛沼流域における谷津の耕作放棄田の多面的活用可能性. 応用生態工学 **22**: 175-185.
- Nishijima S., Nishikawa C. & Miyashita T. (2017) Habitat modification by invasive crayfish can facilitate its growth through enhanced food accessibility. *BMC Ecology* **37**: DOI 10.1186/s12898-017-0147-7.
- 農林水産省 (2012) 農林水産省生物多様性戦略 (https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/s_senryaku/pdf/senryaku.pdf, 2020 年 8 月 1 日確認).
- 農林水産省 (2019) 作物統計調査/面積調査 長期累年 (<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031889370&fileKind=0>, 2020 年 8 月 1 日確認).
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2012) 農業に有用な生物多様性の指標生物調査・評価マニュアル (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/shihyo/>, 2020 年 8 月 1 日確認).
- 鬼倉徳雄・中島淳・林博徳・西山穂 (2020) 水田・水路でつなぐ生物多様性ポイントブック. 公益財団法人世界自然保護基金ジャパン, 東京.
- 大野豊・高橋剛一郎 (2009) 富山県立大学水田跡地のビオトープに関する調査・研究—2: ビオトープ化初期の昆虫相—. 富山県立大学紀要 **20**: 58-64.
- 尾園暁・川島逸郎・二橋亮 (2012) ネイチャーガイド日本のトンボ. 文一総合出版, 東京.
- Reid A.J., Carlson A.K., Greed I.F., Eliason E.J., Gell P.A., Johnson P.T.J., Kidd K.A., MacCormack T.J., Olden J.D., Ormerod S.J., Smol J.P., Taylor W.W., Tockner K., Vermaire J.G., Dudgeon D. & Cooke S.J. (2019) Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews* **94**: 849-873.
- 阪田睦子・難波靖司 (2020) 岡山県自然保護センター水田ビオトープにおける植物及び水生動物調査. 岡山県自然保護センター研究報告 **27**: 23-42.
- 西城洋 (2001) 鳥根県の水田と溜め池における水生昆虫の季節的消長と移動. 日本生態学会誌 **51**: 1-11.
- 須田達也 (2010) 水田跡地に創出した湿地ビオトープの機能—生物多様性保全と水質浄化機能の評価—. 農業および園芸 **85**: 425-434.
- 高橋剛一郎・寒川剛・石田雅大・赤座久明 (2010) 富山県立大学水田跡地のビオトープに関する調査・研究—3: ビオトープと周辺の哺乳動物—. 富山県立大学紀要 **20**: 61-65.
- 高橋裕・岩屋隆夫・沖大幹・島谷幸宏・寶馨・玉井信行・野々村邦夫・藤芳素生 (2009) 川の百科事典. 丸善株式会社, 東京.
- 竹内真一・成富勝・南風原武史・谷水翔・友納早苗・安田繁・丸居篤・宇根豊 (2009) 大学構内におけるビオトープの創出活動と小水田における生き物調査. 造園技術報告集 **5**: 60-63.
- 田中幸一・浜崎健児・松本公吉・鎌田輝志 (2013) 造成されたビオトープにおける水生昆虫の種数の変化. 昆虫 (ニューシリーズ) **16**: 189-199.
- 田和康太・佐川志朗・宮西萌・細谷和海 (2019) 川域から水田域までのエコロジカルネットワーク形成による水田魚類群集の生息場所および再導入コウノトリ *Ciconia boyciana* の採餌環境の保全. 日本鳥学会誌 **68**: 193-208.
- 宇根豊 (2016) 農本主義のすすめ. ちくま新書, 東京.
- 渡部晃平 (2016) 愛媛県南西部の水田における明渠と本田間の水生昆虫 (コウチュウ目・カメムシ目) の分布. 保全生態学研究 **21**: 227-235.
- 渡辺黎也・日石下碧・横井智之 (2019) 水田内の環境と周辺

の景観が水生昆虫群集（コウチュウ目・カメムシ目）に与える影響. 保全生態学研究 **24**: 49-60.
養父志乃夫（2005）田んぼビオトープ入門. 農文協, 東京.
山下寿之・大原隆明・中田政司・高橋剛一郎（2009）富山県

立大学水田跡地のビオトープに関する調査・研究—1：ビオトープ化初期の植生と植物相—, 富山県立大学紀要 **19**: 49-57.