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—

総説 REVIEW

鳥類の生息地としての水田生態系とその保全

片山 直樹^{1)*}・熊田 那央²⁾・田和 康太³⁾

1) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター 〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3

2) バードリサーチ 〒183-0034 東京都府中市住吉町 1-29-9

3) 国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

Naoki KATAYAMA^{1)*}, Nao KUMADA²⁾, Kota TAWA³⁾: Rice ecosystem as a habitat of birds and its conservation. *Ecol. Civil Eng.* 24(1), 127-138, 2021

1) Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, 3-1-3, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8604, Japan

2) Japan Bird Research Association, 1-29-9, Sumiyoshi, Fuchu, Tokyo 183-0034, Japan

3) River Restoration Team, Water Environment Research Group, Public Works Research Institute, 1-6, Minamihara, Tsukuba, Ibaraki 305-8516, Japan

Abstract: To clarify the function of rice ecosystem as a habitat for birds, we organized previous studies conducted mainly in Japan. Rice fields provide foraging habitats for birds throughout the year. Few bird species complete their life history in rice fields alone, and thus habitat heterogeneity with the presence of grassland, forest, and other (semi-)natural environments support high diversity of bird species. The post-war intensification of agriculture deteriorated the habitat quality of rice ecosystem and had a serious impact on bird diversity. The vegetation succession following the fallow and abandonment of cultivated rice fields since the 1970s has significantly changed species composition of birds. It was suggested that various types of wildlife-friendly farming implemented in Japan, such as organic farming, winter flooding, and the installation of shallow ditches (Ye) and fishways, are useful to conserve bird species in rice ecosystem. The knowledge can be useful for members of Ecology and Civil Engineering Society for planning future conservation management of rice ecosystem.

Key words: agricultural intensification and abandonment, biodiversity conservation, habitat heterogeneity, farmland birds, wildlife-friendly farming

はじめに

応用生態工学は「人と生物の共存」、「生物多様性の保全」および「健全な生態系の持続」を共通の目標に、生態学と工学との境界領域として発足した(川那部 1998; 応用生態工学会規約 <https://www.ecesj.com/contents/>)

2020年8月23日受付, 2020年12月6日受理

*e-mail: katayama6@affrc.go.jp

[guid_agreement.html](#), 2020年6月23日確認). 応用生態工学に期待されている役割の一つは、生物の生育・生息地(またはハビタット)としての機能を明らかにすることである(竹門 2007; 谷田 2017). 生活史や生態系の仕組みそのものの解明はまだ十分とは言えず、基礎科学的視点も含めたさらに多くの知見の蓄積が求められている(中村 2007; 竹門 2007).

これまでに応用生態工学誌(和文誌)に掲載された論

文は、河川環境、魚類や水生動物を対象としたものが多く、陸域や海域生態系に関する論文が非常に少ない（中村 2007；竹門 2007；谷田 2017）。応用生態工学が幅広い生態系を対象とする学問であること、また複数の生態系は相互作用しながら成り立つこと（中村 2007）を鑑みれば、より多様な生態系・生物種の知見が蓄積し共有されることで、応用生態工学のさらなる発展に寄与することが期待できる。

水田生態系の理解と保全は、これまで多くの生態学者が取り組んできた重要な課題である（守山 1997；江崎・田中 1998；水谷 2007；夏原 2015；宮下・西廣 2019）。応用生態工学会大会においても、例えば自由集会「田んぼのいきものをどうやって守っていくか？」が第 20 回大会（2016 年）から 4 年連続で開催される等、近年の水田生態系への注目度は高い。しかし、応用生態工学誌（和文誌）に掲載された水田生態系に関する学術論文は、魚類の生態や保全に関する研究が大半を占める（例えば端 2000；鈴木ほか 2001）。一方、その他の生物群、特に鳥類の生息地としての機能に関する事例報告や総説は非常に少なく、いまだ十分に認識されていない可能性がある。こうした知見の偏りを解消することで、水田生態系における生物多様性の保全をより包括的に進めることができる。鳥類の水田利用については既に複数の総説が存在するが（Amano 2009；Fujioka et al. 2010；亀田 2012；東 2017）、主要な農業活動の変化（農業の集約化、耕作放棄および環境保全型農業）が鳥類群集に及ぼす影響について、既往の知見をとりまとめた日本語の総説は少ない。

そこで本論文では、鳥類の生息地としての水田生態系の機能を明らかにするため、主に国内のこれまでの研究成果を整理する。まず、水田を利用する鳥類と、水田の採食場所としての機能を説明する。次に、水田周辺の森林や湖沼などの非農地がもたらす生息地の異質性が、水田性鳥類の生活史や種多様性を支える鍵の一つとなることを示す。加えて、戦後の農業の近代化や休耕・耕作放棄によって、鳥類の生息地としての水田の機能がどのように変化したかを整理する。そして、鳥類を保全するための水田の環境保全型農業の有効性について、これまでの知見を提示する。最後に、今後の応用生態工学的研究の必要性を議論する。

水田を利用する鳥類

日本ではこれまで外来種を除いて 633 種の鳥類が記録

されており（日本鳥学会 2012）、そのうち 153 種が水田を利用することが報告されている（Fujioka et al. 2010）。ただし、水田の必要性は種によって大きく異なる。稀にしか観察されない種を除外すると、特に水田を必要とする、すなわち年間のどこかで水田が最も重要な生息地になる、または水田を定期的に利用するとされる種は 53 種である（Table 1）。これらの種は水田で採食を行うほか、カルガモ *Anas zonorhyncha*、ケリ *Vanellus cinereus*、タマシギ *Rostratula benghalensis* の 3 種は田面や畔で営巣も行う。またマガン *Anser albifrons* 等の冬鳥はねぐらとしても利用する。これらの水田性鳥類の多くが絶滅の危険が高いか増大しており、保全の必要性が高い。なお、これらの種の個体数や分布域の変化については既往の総説等でまとめられている（Amano & Yamaura 2007；Amano et al. 2009；Fujioka et al. 2010；Katayama et al. 2015a）。

鳥類の採食場所としての水田

水田は、年間を通じて多様な鳥類種に採食場所を提供している。日本を含むアジアでは、春から初夏の間に湛水される水田は、多くのシギ・チドリ類にとって東アジア・オーストラリアフライウェイと呼ばれる渡り経路における重要な採食場所の一つとなっている（石川・中村 1988；Amano et al. 2010；Jackson et al. 2020；Kasahara et al. 2020）。また、サギ類、ケリやタマシギ等の国内で繁殖する鳥類にとっても、水田は主要な採食場所の一つである（Table 1）。

これらの水鳥類が湛水田で採食する生物種は多岐に渡り、例えばサギ類、トキ *Nipponia nippon* やコウノトリ *Ciconia boyciana* では胃内容調査やフィールドスコープを用いた直接観察の結果から、ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* 等の魚類やカエル類（幼生を含む）に加え、アメリカザリガニ *Procambarus clarkii* や昆虫等の多様な動物を捕食することが分かっている（小杉 1960；Sato & Maruyama 1996；Tojo 1996；遠藤・佐原 2000；Naito & Ikeda 2007；Amano & Katayama 2009；永田 2012；Endo & Nagata 2013；濱尾ほか 2013；片山ほか 2015；田和ほか 2016c）。一方、シギ・チドリ類では、アメリカザリガニ、ミズアブ科幼虫やミジンコ類等の無脊椎動物を採食することが報告されているが、小型の餌動物が多く、その識別が難しいことから知見は少ない（渡辺 2002, 2006, 2007）。ただし、韓国の水田ではイトミミズ科、貝類、ハエ目幼虫等の無脊椎動物 7 科とドジョウを

Table 1. List of birds dependent on rice fields (based on the Appendix of Fujioka et al. 2010). The list does not include rare species except for the two species (Oriental Stork and Crested Ibis), which went extinct in the wild and then were re-introduced in Japan. Category is based on the Red List of the Ministry of the Environment (Ministry of the Environment 2020): Critically Endangered IA (CR), Extinct Threatened II (VU), Near Threatened (NT), Information Deficient (DD).

水田を必要とする鳥類一覧 (Fujioka et al. 2010 の Appendix を参照). 稀にしか観察されない種は含まないが, 過去に野生絶滅し, その後再導入されたトキとコウノトリは含む. 英名および学名は日本鳥学会 (2012) に準拠. レッドリストランクは環境省 (2020) を参照: 絶滅危惧 IA 類 (CR), 絶滅危惧 II 類 (VU), 準絶滅危惧 (NT), 情報不足 (DD).

Common name 英名	Japanese name 和名	Scientific name 学名	Conservation status 保全状況
Species that use rice fields throughout the year 年間を通じて水田を利用する種			
Mallard	マガモ	<i>Anas platyrhynchos</i>	
Eastern Spot-billed Duck	カルガモ	<i>Anas zonorhyncha</i>	
Cinnamon Bittern	リュウキュウヨシゴイ	<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>	
Black-crowned Night Heron	ゴイサギ	<i>Nycticorax nycticorax</i>	
Grey Heron	アオサギ	<i>Ardea cinerea</i>	
Great Egret	ダイサギ	<i>Ardea alba</i>	
Little Egret	コサギ	<i>Egretta garzetta</i>	
Crested Ibis	トキ	<i>Nipponia nippon</i>	CR
White-Breasted Waterhen	シロハラクイナ	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	
Grey-headed Lapwing	ケリ	<i>Vanellus cinereus</i>	DD
Greater Painted Snipe	タマシギ	<i>Rostratula benghalensis</i>	VU
Carrion Crow	ハシボソガラス	<i>Corvus corone</i>	
Eurasian Tree Sparrow	スズメ	<i>Passer montanus</i>	
Species that use rice fields during spring or autumn migration 春秋の渡りの際に水田を利用する種			
Pacific Golden Plover	ムナグロ	<i>Pluvialis fulva</i>	
Latham's Snipe	オオジシギ	<i>Gallinago hardwickii</i>	NT
Pintail Snipe	ハリオシギ	<i>Gallinago stenura</i>	
Swinhoe's Snipe	チュウジシギ	<i>Gallinago megala</i>	
Long-billed Dowitcher	オオハシシギ	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	
Black-tailed Godwit	オグロシギ	<i>Limosa limosa</i>	
Spotted Redshank	ツルシギ	<i>Tringa erythropus</i>	VU
Marsh Sandpiper	コアオアシシギ	<i>Tringa stagnatilis</i>	
Wood Sandpiper	タカブシギ	<i>Tringa glareola</i>	VU
Temminck's Stint	オジロトウネン	<i>Calidris temminckii</i>	
Long-toed Stint	ヒバリシギ	<i>Calidris subminuta</i>	
Sharp-tailed Sandpiper	ウズラシギ	<i>Calidris acuminata</i>	
Ruff	エリマキシギ	<i>Philomachus pugnax</i>	
Chinese Sparrowhawk	アカハラダカ	<i>Accipiter soloensis</i>	
Species that use rice fields during summer 夏期に水田を利用する種			
Oriental Stork	コウノトリ	<i>Ciconia boyciana</i>	CR
Striated Heron	ササゴイ	<i>Butorides striatus</i>	
Cattle Egret	アマサギ	<i>Bubulcus Ibis</i>	
Intermediate Egret	チュウサギ	<i>Egretta intermedia</i>	NT
Ruddy-breasted Crake	ヒクイナ	<i>Porzana fusca</i>	NT
Grey-faced Buzzard-eagle	サシバ	<i>Butastur indicus</i>	VU
Zitting Cisticola	セッカ	<i>Cisticola juncidis</i>	
Species that use rice fields during winter 冬期に水田を利用する種			
Bean Goose	ヒシクイ	<i>Anser fabalis</i>	VU
Greater White-fronted Goose	マガン	<i>Anser albifrons</i>	NT

Tundra Swan	コハクチョウ	<i>Cygnus columbianus</i>	
Gadwall	オカヨシガモ	<i>Anas strepera</i>	
Falcated Duck	ヨシガモ	<i>Anas falcata</i>	
Eurasian Wigeon	ヒドリガモ	<i>Anas penelope</i>	
Northern Pintail	オナガガモ	<i>Anas acuta</i>	
Garganey	シマアジ	<i>Anas querquedula</i>	
Baikal Teal	トモエガモ	<i>Anas formosa</i>	VU
Teal	コガモ	<i>Anas crecca</i>	
White-naped Crane	マナヅル	<i>Grus vipio</i>	VU
Red-crowned Crane	タンチョウ	<i>Grus japonensis</i>	VU
Hooded Crane	ナベヅル	<i>Grus monacha</i>	VU
Northern Lapwing	タゲリ	<i>Vanellus vanellus</i>	
Snipe	タシギ	<i>Gallinago gallinago</i>	
Daurian Jackdaw	コクマルガラス	<i>Corvus dauuricus</i>	
Rook	ミヤマガラス	<i>Corvus frugilegus</i>	
Russet Sparrow	ニューナイスズメ	<i>Passer rutilans</i>	
Bull-bellied Pipit	タヒバリ	<i>Anthus spinoletta</i>	

食べていたことが報告されており (Nam et al. 2017), シギ・チドリ類も多様な生物種を利用すると考えられる。

晩夏 (8 月) 以降は, 水田性鳥類の主な食物であるドジョウやカエル類の個体数が減少することに加え (Lane & Fujioka 1998), 稲の伸長によって水鳥類の多くが田面に進入することが難しくなるため, 田面の利用頻度が低下し (成末・内田 1993; Sato & Maruyama 1996; Fujioka et al. 2001; 中島ほか 2006; Naito & Ikeda 2007; 兼島ほか 2012; 中津ほか 2012), 周辺環境を利用するようになる (後述)。その一方, スズメ *Passer montanus* など陸鳥類が採食場所として利用する (Fujioka et al. 2001; 笠原ほか 2013)。

秋の稲刈り後は, イナゴ類などの直翅目が豊富になるため, アマサギ *Bubulcus ibis* 等のサギ類の一部は再び水田で採食するようになる (Tojo 1996; Maeda 2001)。しかし, その後, 冬期に水田, 特に圃場整備が完了した乾田を利用する水鳥類は非常に少なくなる (Maeda 2001; 中島ほか 2006; Amano et al. 2008)。その一方, ガン・カモ類, ツル類, ヒバリ *Alauda arvensis* やタヒバリ *Anthus spinoletta* 等の陸鳥類はイネ *Oryza sativa* の落ち籾や草本植物を利用する (Maeda 2001; Amano 2009; 渡辺・田尻 2018)。ただし, 湿田または浅く湛水された水田では, トキ, タゲリ *Vanellus vanellus* やタシギ *Gallinago gallinago* 等の水鳥類がドジョウや貧毛類等の水生動物を利用でき, またハクチョウ類がイネの落ち籾等を漉し取ることができる (渡辺 2005; 嶋田 2007; 前田・吉田 2009; 中津ほか 2012)。

土地利用の異質性が支える鳥類の種多様性

水田は多くの鳥類にとって重要な生息地であるが, 水田だけで生活史を完結できる種は非常に少なく, 異なる生息地を目的に応じて使い分けている (東 2017)。例えば, サシバ *Butastur indicus*, トキやサギ類は, 主に林内に営巣し (Kojima et al. 1999; Mashiko & Toquenaga 2013; Mochizuki et al. 2015), 周囲の水田や畔で採食を行うため, 繁殖を成功させるために両方の環境が必要となる (東 2004; Katoh et al. 2009)。ただし, サシバの環境利用については地域差が存在し, 一概に生息地の異質性が必須とは言えない可能性もある (Fujita et al. 2016)。また, 越冬期のガン・カモ類も湖沼で休息し, 収穫後の水田等で採食する (山本・大畑 2000; 山本ほか 2002; Shimada 2002)。

さらに, 幾つかの種では複数の採食場所を季節ごとに使い分けている。サシバは, 繁殖期の初期から後期にかけて田面, 畦, 草地・畑地, そして森林と採食場所を変化させ, カエル類や昆虫類等の異なる食物種を利用する (東 2004; Sakai et al. 2011)。チュウサギ *Egretta intermedia* やケリは, 初夏には田面を好むが, 稲の草丈が高くなる晩夏にかけては開けた休耕田やハス田を多く利用する (Sato & Maruyama 1996; Tojo 1996; 兼島ほか 2012)。トキは, 7–9 月には湛水休耕田と畔を高頻度で利用するが, 10–11 月には稲刈り後の水田を利用する (中津ほか 2012)。コウノトリは, 6–7 月には主に水田で採食を行うが, それ以外の季節は池, 湿地や河川等の多様な環境を利用する (Naito & Ikeda 2007)。また, サ

ギ類を含む水鳥類の多くは、夏期には水田を利用するが、水のない冬期には通年湛水されるハス田や湖沼・河川等の開放水面を利用する (Yamada 1994; 中島ほか 2006; Amano et al. 2008; 木村ほか 2015)。

伝統的な水田生態系は、田面、畦、水路、河川、草地や森林といった複数の生息地から構成される (Katoh et al. 2009; Kadoya & Washitani 2011)。こうした多様な生息地を含む、いわば生息地の異質性が高い水田景観は、異質性が低い水田景観と比較して鳥類の種多様性が高くなる傾向にある (Katayama et al. 2014; Sasaki et al. 2020)。これらの事実は、水田生態系における生息地の異質性が鳥類の種多様性を支える鍵の一つになっていることを強く示唆している。

農業活動の近代化がもたらす影響

伝統的な水田生態系は鳥類の生息地としての機能を有してきたが、戦後の農業の近代化によってその機能は低下した (Amano et al. 2009; Katayama et al. 2015a)。特に深刻な影響をもたらしたのは、化学合成農薬と圃場整備の普及だが、これらの影響は時代によっても異なる。1950–1960年代は、生物毒性の強い化学合成農薬が使用され、水田の魚類や両生類等の水生動物の多くが死亡し、生物濃縮を通じて高次捕食者であるサギ類が多数斃死した (成末 1992; Katayama et al. 2015a)。また、コウノトリの野生絶滅をもたらす要因の一つになったと考えられている (江崎 2012)。一方、近年では生物毒性の低い農薬の開発が進み、鳥類への毒性影響は著しく軽減されている。ただし、農薬の影響がなくなったわけではなく、現在も食物量の減少を介したサギ類への間接的影響が示唆されている (Katayama et al. 2019a)。

1970年代以降は、圃場整備が全国各地に普及した。区画整理によって水田に隣接する半自然草地や森林の一部が消失し、生息地の異質性が失われた (Katayama et al. 2015a)。また、コンクリート製の深い排水路によって水田と水路の連結性が失われ、暗渠排水や中干しの徹底によって水田の乾田化が進んだ。こうした圃場整備による生息環境の変化は、水田と周囲の環境を行き来する淡水魚や両生類の個体数を激減させた (Katayama et al. 2011; Kidera et al. 2018)。その結果、巣から採食地まで最大 20 km 程度を移動しうるチュウサギ等のサギ類は、わずかに残る未整備の水田に集まって採食するようになった (成末・内田 1993; Lane & Fujioka 1998; 藤岡 2003; Katayama et al. 2012)。また、水田に営巣するケ

リの雛はコンクリート製の深い水路に落ちて死亡する可能性が指摘されている (脇坂・江崎 2015)。越冬期に水田を利用するカモ類も、乾田では個体数が少ないかまたは出現しないことが報告されている (山本ほか 2002; 前田・吉田 2009)。

農業の機械化が与える影響は、種によって異なるようである。田面や畔で営巣を行うケリでは、営巣失敗の主な理由が湛水や農機による巣の破壊であることが報告されている (Takahashi & Ohkawara 2007)。同様に、韓国の移植栽培の水田でも、セイタカシギ *Himantopus himantopus* の営巣時期が耕起・田植えの時期と重複しており、ほとんどの巣が破壊されている (Kim et al. 2009)。このように、農業の機械化は田面に営巣する鳥類の繁殖成功率を低下させた可能性が高い。一方、圃場整備の普及にともない収穫方法がバインダー刈りからコンバイン刈りに変化すると、マガンの食物である落ち稲量が増加する (嶋田・溝田 2011)。

休耕・耕作放棄田の機能

1970年代以降、減反政策や高齢化、米価の低下等様々な要因によって、休耕・耕作放棄田の面積が増加するようになった (Maeda 2001; Katayama et al. 2015a)。休耕・耕作放棄された水田には、維持管理の仕方や放棄年数等に応じて異なる植生が成立する (楠本ほか 2005)。定期的な耕起や放棄直後の水田では、草丈の低い一年生草本が優占し、こうした場所はタマシギの営巣場所として適している (Hsu & Severinghaus 2011; Katayama et al. 2020)。また、夏期のジシギ類やバン *Gallinula chloropus* の生息場所にもなっている (Fujioka et al. 2001)。しかし、近年では草丈の低い休耕田の多くが宅地化や転作、または管理放棄によって失われており、それに伴いタマシギの個体数も激減している (Amano et al. 2010; Katayama et al. 2020)。

一方、放棄後数年以上が経過した水田では、ヨシ *Phragmites australis* やガマ *Typha latifolia* 等の多年生草本が優占し、オオヨシキリ *Acrocephalus arundinaceus* やコジュリン *Emberiza yessoensis* 等の草地性・湿地性鳥類が生息できるようになる (Katayama et al. 2015b; Kitazawa et al. 2019)。休耕・放棄田は作付け水田よりも鳥類の種数・個体数が多く、重要な生息地として機能している (Maeda 2001)。しかし、サギ類等の開けた採食場所を好む種が利用できなくなるため、作付け水田を含む多様な環境を維持することが鳥類群集の保全に必要で

ある。

環境保全型農業の有効性

水田生態系の生息地としての機能を回復・向上させるため、これまでに様々な環境保全型農業の有効性が検証されてきた。その成果は、国内のシステマティックレビューによって、分類群ごとの保全効果が既に取りまとめられている（片山ほか 2020）。本章では、主に慣行栽培との比較によって鳥類に対する保全効果が実際に検証されている農法（Table 2）について、その結果を要約する。

一口に環境保全型農業と言っても様々な農法が存在するが、世界的にも最も注目を集めているのは化学合成農薬・化学肥料を原則使用しない有機栽培である。欧州の畑地・果樹生態系を中心に数多くの研究事例が報告されており、それらを用いたメタ解析の結果、有機栽培の農地は慣行栽培の農地よりも動植物の種数・個体数が多いことが示されている（Tuck et al. 2014；Katayama et al. 2019b）。日本でも近年の大規模な全国調査によって、有機栽培の水田は慣行栽培の水田よりも在来植物、アシナガグモ属のクモ類、アカネ属のトンボ類、およびトノサマガエル属のカエル類の種数や個体数が多いことが明らかとなった（Amano et al. 2011；Katayama et al. 2019a）。こうした食物量の増加は、ダイサギ *Ardea alba* 等のサギ類の採食効率を高め、その結果多くの個体が有機栽培

の水田が多い地域に集まっている（片山ほか 2015；Katayama et al. 2019a；夏原ほか 2020）。

一方、特別栽培等の農薬散布回数を減らす取組みは、植物や無脊椎動物の保全には有効であるものの、鳥類に対する保全効果は明確ではない（Baba et al. 2019；Katayama et al. 2019a）。この理由はまだ完全には分かっていないが、特別栽培の水田にカエル等の、水鳥類の食物が必ずしも豊富でないことが関わっている可能性がある。実際、ニホンアマガエル *Dryophytes japonica* の個体数は特別栽培の水田よりもむしろ慣行栽培の水田に多い傾向にある（Katayama et al. 2019a）。その理由としては捕食者の少なさ等の生物間相互作用の影響が考えられるが、今後さらに検証が必要である。

冬期湛水の保全効果も、欧米の水田生態系を中心に大きな注目を集めている（例えば Elphick & Oring 1998；Pernollet et al. 2015）。日本でもカモ類、サギ類、ハクチョウ類やシギ・チドリ類等の多くの水鳥類にとって、冬期湛水田は採食や休息の場所として機能している（山本ほか 1999；呉地 2007；前田・吉田 2009；Tajiri & Ohkawara 2013）。また、マガン等のガン類は、湛水田と非湛水田をそれぞれ休息と採食の場所として使い分けられている（呉地 2007；嶋田 2007）。このように様々な事例が一貫して、冬期湛水田の鳥類の生息場所としての有効性を報告している。

水田におけるビオトープの明確な定義はないが、一般

Table 2. Definitions in this study of agricultural practices that have been tested for their conservation benefits for bird species in rice fields and conventional farming. See text for actual conservation benefits.

水田性鳥類の保全効果が検証されている農法および慣行栽培の本研究の定義。実際の保全効果は本文を参照。

Management type 取組み	Definition in this study 本研究の定義
Organic farming 有機栽培	Farming methods that do not use synthetic pesticides or chemical fertilizers 化学合成農薬・化学肥料を使用しない農法
Winter flooding 冬期湛水	Flooding rice fields after the rice is harvested in the winter 稲刈り後の水田に冬期に水を張る農法
Special farming 特別栽培	Farming methods that use 50% or less of the target pesticides and the nitrogen content of chemical fertilizers than the conventional farming standards 慣行栽培基準に比べて、節減対象農薬の使用回数が50%以下、化学肥料の窒素成分量が50%以下の農法
Biotope ビオトープ	Maintenance of open water surfaces such as flooded fallow fields 湛水休耕田等のまとまった開放水面の維持管理
Installation of side ditch 江の設置	Installation of earthen-sided ditches within rice fields 田面の素堀の溝（承水路）の設置
Installation of fishways 魚道の設置	Installation of structures to fill vertical gaps between rice fields and drainage ditches 水田と排水路の落差を解消するための工作物の設置
Conventional farming 慣行栽培	Farming methods that use synthetic pesticides and chemical fertilizers in accordance with local conventional farming standards 各地域の慣行栽培基準に従って化学合成農薬及び化学肥料を使用する農法

的には、維持管理された湛水休耕田のようなまとまった開放水面を指す場合が多く、水生生物の生息・越冬場所として注目を集めている（田和ほか 2016a）。実際に国内の研究事例を用いたメタ解析によって、湛水休耕田は作付け水田よりも生物の種数・個体数が多いことが明らかになっている（Koshida & Katayama 2018）。鳥類に対しても、「休耕・耕作放棄田の機能」で述べたように、これらはサギ類やシギ・チドリ類等の水鳥類の重要な採食・繁殖場所であり、作付け水田よりも種数・個体数が多い（Fujioka et al. 2001；Maeda 2001）。

田面の素掘りの承水路は地域によって江、ヌルメやふよせ等様々な呼び方がある（本論文では江を用いる）。江の設置の鳥類に対する保全効果を検証した事例は少なく、我々が知る範囲では新潟県佐渡市のトキに関する事例のみである。江を設置した水田は、特に積雪期においてトキの飛来割合が高く（北陸農政局 田んぼと蛙の生きもの調査 <http://www.maff.go.jp/hokuriku/rural/toki.html>, 2020年6月23日確認）、ドジョウや小型無脊椎動物の採食効率も高いことが確認されている（Endo & Nagata 2013）。したがって、田面の江は水鳥類の採食環境として機能している可能性がある。

魚道の形状に応じて、様々な魚種が水田に遡上できることが実証されている（端 2000；高林・横川 2005；森ほか 2016）。水田における魚類の増加は、魚食性鳥類の保全にも有効となる可能性があるが、検証事例は非常に少ない。夏原ほか（2020）は、滋賀県の農業排水路堰上式魚道を設置する水田では、設置しない水田よりもチュウサギやダイサギの個体数が多いことを明らかにした。この結果は、適切に配置された魚道は水鳥類の保全にも有効となることを示唆している。

これらの環境保全型農業は、しばしば複数の取組みが同時に実施される場合がある。新潟県佐渡市では、放鳥トキの採食場所の確保のためにトキ認証水田の整備を行っている。トキ認証水田は農薬の使用量を慣行農法の半分以下に抑えることに加え、冬期湛水、江、魚道またはビオトープの設置のいずれか1つ以上を行う必要がある（西川 2015）。こうしたトキ認証水田は、慣行水田よりもトキの採食場所として選択されやすいことが放鳥トキのモニタリング調査から示唆されている（熊田ほか 2015）。また、兵庫県豊岡市では水田ビオトープ内に生物の退避場所として水深 80 cm 程度の深場を造成し、さらに魚道を設置したところ、コウノトリが周年飛来し、採食場所として利用したことが報告されている（田和ほか 2019）。ただし、これらの結果は特定の取組みの効果

なのか、複数の取組みの相加・相乗的效果なのかは明らかになっておらず、今後の課題である。

これらの研究事例の殆どは、個体の行動レベルでの保全効果（採食効率や空間分布）を検証したものであり、環境保全型農業の個体群レベルでの有効性を検証した事例は殆どない。環境保全型農業が実際に個体数の増加に寄与しうるか、検証する必要がある。また、上記の取組み以外にも、中干しの延期、畔の粗放的管理、夏期湛水や耕起の仕方等、水田の生物多様性に配慮した様々な取組みが提案・実施されているが（片山ほか 2020）、鳥類の保全効果を科学的に検証したものは非常に少ない（早川ほか 2016）。

今後の研究の考え方と方法

本総説では、鳥類の生息地としての水田生態系の機能を既往研究に基づいて整理した。その結果、水田は多くの鳥類に採食場所を提供していることや、生息地の異質性が鳥類の種多様性を支える鍵の一つであることが明らかとなった。次に、戦後の農業の集約化によって、水田の生物の生息地としての質が大きく低下したことを示した。また、1970年代以降に広まった休耕または耕作放棄が鳥類群集を変化させることを示した。そして最後に、水田性鳥類の保全のための環境保全型農業の有効性を、取組みごとに提示した。これらの知見は、応用生態工学会の関係者が今後、水田生態系の保全を計画・実行する際に活用できる。そして、水田の鳥類を対象とした研究がさらに活発になることが期待できる。以降では、今後の鳥類研究に有用な4つのトピックスを提示する。

季節や生活史に応じた生息地利用の解明

水田生態系を利用する鳥類の生活史や個体群動態については未解明の点も多い。こうした基礎的知見は鳥類の保全を考える上での最も重要な土台となるものであり、今後も研究を進めていく必要がある。例えば、食物内容等の基本的な採食生態についても、直接観察では食物種が不明のことも多かったが、近年になって安定同位体や環境DNAを用いた手法の有効性が調べられるようになった（田和ほか 2016b；安藤ほか 2020）。また、鳥類は行動圏が広いと、生活史が完結するような一連のつながりとしての生息地（谷田 2017）を扱うことが非常に難しい。しかし、近年では小型のGPSロガーの使用によって、渡りや越冬時の水田生態系の利用の仕方が少しずつ明らかになりつつある（嶋田ほか 2018；Kasahara et al. 2020）。これらの手法を用いることで、鳥類が季節

や生活史ステージに応じて水田生態系を構成する生息地や食物種をどのように使い分けているか、その詳細を明らかにすることが期待できる。

生態工学的視点の導入

兵庫県豊岡市では、再導入されたコウノトリの採食環境を確保するために、景観スケールでの生態系保全に取り組んでいる（兵庫県立コウノトリの郷公園 http://www.stork.u-hyogo.ac.jp/reintroduction/grand_design/, 2020年11月24日確認）。ここでは、河川の浅瀬や水田等の浅い湿地環境で採食するコウノトリの生態学的特徴を踏まえ、それらの環境を再生および創出するといった生態工学的アプローチが取り入れられている。具体的には、魚道等を活用した河川域から水田域までの水系ネットワークの整備や、農薬・化学肥料の削減等を、実証試験を繰り返しながら、地域の実情に合わせて導入することに成功している（西村・江崎 2019）。今後、より多くの地域でこのような生態工学的視点にもとづき、対象となる水田性鳥類の採食環境を含めた保全研究・計画が普及することが必要である。ただし、例えば魚道に関して言えば、鳥類の保全効果を高めるためにどのような魚道タイプを用いるべきか、またどの程度の面的規模で設置すべきか等、まだ明確に分かっていないことも多い。こうした生態工学的知見を増やすことで、水田性鳥類をより効果的・効率的に保全できるだろう。加えて、生態工学的アプローチによって保全が進められている例は、コウノトリやトキ、ツル類、ガン類、ハクチョウ類といった一部の象徴的な大型種に偏っている現状もある（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kankyo/gaiyou/panf/kawakara.pdf, 2020年11月24日確認）。特に生活史の中で水田への依存度が高く、減少が著しい種などについては、その体サイズや象徴性の度合いに関わらず、優先的に生態工学的視点によって保全を進めていく必要があるだろう。

異なる生息地をまたぐ横断的な保全管理

「生態工学的視点の導入」でも述べた通り、季節ごとに異なる生息地を使い分ける鳥類を個体群・群集レベルで保全するためには、複数の生息地をまたぐ横断的な保全管理が必要となる場合が多い。具体的には、環境保全型農業等の農地管理だけでなく、周辺の畔、水路、河川や森林等の管理を含むより広域スケールの管理を示す。近年では、河川や森林の整備等、様々な生息地における鳥類保全のための知見の蓄積が進んでいる（柿澤ほか 2018；益子ほか 2020）。例えば、河川域の湿地造成（遊水地、調節池等含む）や河口域の干潟再生と環境保全型

農業（魚道や湛水休耕田の維持管理）を横断的に組み合わせることで、鳥類群集の保全効果は相乗的に高まるかもしれない。こうした知見は、生息地の異質性を高める、といった曖昧な提言よりもイメージがしやすく、地方自治体等の非研究者でも実施の可否を検討しやすい。また、近年激甚化する水害の中で、流域全体で行う持続可能な流域治水への転換が社会的に進められており、河川域の湿地造成は治水上でも大きな注目を集めている（社会資本整備審議会 https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouuinkai/kikouhendou_suigai/pdf/03_honbun.pdf, 2020年11月24日確認）。このため、地方自治体等が生物多様性に配慮した持続可能な農村整備や土地利用の在り方を検討する際においても重要な基礎的知見となるだろう。

研究デザインの設計

これまでに述べた様々な保全管理の有効性を評価する際、重要となるのが研究デザインである。近年では、研究デザインが検出力に与える影響が調べられており、特に処理以前と以後で処理群と対照群を比較するBACI（Before-After-Control-Impact）デザインが最も優れていることが報告されている（Christie et al. 2019）。実際に、国内でも開発事業の影響評価においてBACIデザインを取り入れている技術コンサルタントも既に存在する（北海道技術コンサルタント <https://www.dogi.co.jp/service/environment/>, 2020年11月24日確認）。一方、水田生態系においてBACIデザインを取り入れた研究・管理計画については、例えば圃場整備の実施以前と以後で、整備区内・外のニホンアカガエル *Rana japonica* の卵塊数を比較した渡部ほか（2014）の研究などは存在するものの、数少ないのが現状である。また、コウノトリ野生復帰事業では、科学的な知見に基づいて目標と実践計画を定め、実践後に結果を評価し、それらを現場にフィードバックして実践計画を見直していくアダプティブ・マネジメントが導入されている（山岸ほか 2018）。今後、鳥類をはじめとする水田生態系の研究においても、こうしたデザインを可能な限り取り入れていくことが望ましい。それにより、対象となる鳥類にとって最適な保全管理を導くことができるだろう。

謝 辞

自由集会の共同企画者（佐川志朗氏、河口洋一氏）、講演者ならびに参加者の皆様には有益な議論の場をご提供いただいた。また、匿名の査読者二名からは原稿に対

し有益なコメントをいただいた。これらの方々に深くお礼申し上げる。本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20202001)により実施した。また、本研究はJSPS科研費 25830154, 17K15057, 18K11729 の助成を受けた。

摘 要

鳥類の生息地としての水田生態系の機能を明らかにするため、国内を中心に既往研究を整理した。その結果、水田は年間を通じ、多くの鳥類に採食場所を提供していることが示された。水田だけで生活史を完結させる種は少なく、草地や森林等の生息地の異質性が鳥類の種多様性を支えていた。しかし、戦後の農業の集約化は、水田の生息地としての質を低下させ、鳥類の生息・分布にも深刻な影響をもたらした。1970年代以降の休耕・耕作放棄に伴う植生遷移は、鳥類の群集組成を大きく変化させた。水田性鳥類を保全するためには、有機栽培、冬期湛水、江や魚道の設置等の様々な環境保全型農業が有効であることが示唆された。これらの知見は、応用生態工学会の関係者が今後、水田生態系の保全を計画・実行する際に活用可能である。

引用文献

- Amano T. (2009). Conserving bird species in Japanese farmland: past achievements and future challenges. *Biological Conservation* **142**: 1913-1921.
- Amano T. & Katayama N. (2009) Hierarchical movement decisions in predators: effects of foraging experience at more than one spatial and temporal scale. *Ecology* **90**: 3536-3545.
- Amano T., Kusumoto Y., Tokuoka Y., Yamada S., Kim E.Y. & Yamamoto S. (2008) Spatial and temporal variations in the use of rice-paddy dominated landscapes by birds in Japan. *Biological Conservation* **141**: 1704-1716.
- Amano T., Li M.H. & Yoshida H. (2010) Silent night in Japanese rice fields? A population decline in the Greater Painted Snipe. *Ornithological Science* **9**: 49-53.
- Amano T., Székely T., Koyama K., Amano H. & Sutherland W.J. (2010) A framework for monitoring the status of populations: an example from wader populations in the East Asian-Australasian flyway. *Biological Conservation* **143**: 2238-2247.
- Amano T. & Yamaura Y. (2007) Ecological and life-history traits related to range contractions among breeding birds in Japan. *Biological Conservation* **137**: 271-282.
- 安藤温子・安藤正規・井鷲裕司 (2020) 植物食性動物を対象とした食性解析手法. *日本生態学会誌* **70**: 77-89.
- 東淳樹 (2004) サシバとその生息地の保全に関する地域生態学的研究. *我孫子市鳥の博物館調査研究報告* **12**: 1-119.
- 東淳樹 (2017) 農村が育む鳥類の多様性. *農村計画学会誌* **35**: 477-481.
- Baba Y.G., Kusumoto Y. & Tanaka K. (2019) Positive effect of environmentally friendly farming on paddy field odonate assemblages at a small landscape scale. *Journal of Insect Conservation* **23**: 467-474.
- Christie, A.P., Amano, T., Martin, P.A., Shackelford, G.E., Simmons, B.I. & Sutherland, W.J. (2019) Simple study designs in ecology produce inaccurate estimates of biodiversity responses. *Journal of Applied Ecology* **56**: 2742-2754.
- Elphick C.S. & Oring L.W. (1998) Winter management of Californian rice fields for waterbirds. *Journal of Applied Ecology* **35**: 95-108.
- Endo C. & Nagata H. (2013) Seasonal changes of foraging habits and prey species in the Japanese Crested Ibis *Nipponia nippon* reintroduced on Sado Island, Japan. *Bird Conservation International* **23**: 445-453.
- 遠藤菜緒子・佐原雄二 (2000) ゴイサギ (*Nycticorax nycticorax*) の繁殖期の日周活動と採餌場の利用. *日本鳥学会誌* **48**: 183-196.
- 江崎保男 (2012) コウノトリの野生復帰とメタ個体群構築. *野生復帰* **2**: 3-10.
- 江崎保男・田中哲夫 (1998) 水辺環境の保全. 朝倉書店, 東京.
- 藤岡正博 (2003) フィールドワーカーが語る野生動物—サギ類— (http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/chougai/wildlife/obs_herons.pdf, 2020年9月2日確認).
- Fujioka M., Armacost Jr J.W., Yoshida H. & Maeda T. (2001) Value of fallow farmlands as summer habitats for waterbirds in a Japanese rural area. *Ecological Research* **16**: 555-567.
- Fujioka M., Lee S.D., Kurechi M. & Yoshida H. (2010) Bird use of rice fields in Korea and Japan. *Waterbirds* **33**(sp1): 8-29.
- Fujita G., Azuma A., Nonaka J., Sakai Y., Sakai H., Iseki F., Itaya H., Fukasawa K. & Miyashita T. (2016) Context dependent effect of landscape on the occurrence of an apex predator across different climate regions. *PloS one* **11**: e0153722.
- 濱尾章二・秋葉亮・齋田孝晴 (2013) 採食環境が競合するアオサギとダイサギにおける餌生物および獲得食物量の比較. *Bird Research* **9**: A23-A29.
- 端憲二 (2000) 田圃につける小さな魚道. *応用生態工学* **3**: 231-234.
- 早川友康・遠藤千尋・関島恒夫 (2016) 農閑期においてトキの採餌効率を高める農地管理手法としての秋耕起の有効性. *保全生態学研究* **21**: 15-32.
- Hsu Y. H. & Severinghaus L.L. (2011) Nest-site selection of the Greater Painted Snipe (*Rostratula benghalensis benghalensis*) in fallow fields of I-Lan, Taiwan. *Taiwania* **56**: 95-200.
- 石川俊浩・中村登流 (1988) 新潟県下におけるシギ・チドリ類の採食行動の比較と生態的分離. *日本鳥学会誌* **36**: 159-171.
- Jackson M.V., Choi C.Y., Amano T., Estrella S.M., Lei W., Moores N., Mundkur T., Rogers D.I. & Fuller R.A. (2020). Navigating coasts of concrete: Pervasive use of artificial habitats by shorebirds in the Asia-Pacific. *Biological Conservation* **247**: 108591.
- Kadoya T. & Washitani I. (2011) The Satoyama Index: A biodiversity indicator for agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment* **140**: 20-26.

- 柿澤宏昭・山浦悠一・栗山浩一 (2018) 保持林業—木を伐りながら生き物を守る. 築地書館, 東京.
- 亀田佳代子 (2012) 鳥類の視点からみた水田地帯の群集解析. 日本生態学会誌 **62**: 199-206.
- 兼島香織・千家正照・伊藤健吾・大西健夫・平松研 (2012) 水田地帯におけるケリの採食行動と採食環境の選択. 農業農村工学会論文集 **80**: 159-166.
- 環境省 (2020) 環境省レッドリスト 2020 (<http://www.env.go.jp/press/107905.html>, 2020 年 6 月 23 日確認).
- Kasahara S., Morimoto G., Kitamura W., Imanishi S. & Azuma N. (2020) Rice fields along the East Asian-Australasian flyway are important habitats for an inland wader's migration. Scientific Reports **10**: 1-9.
- 笠原里恵・森本元・山口恭弘・三上修・上田恵介 (2013) 水稲田における水稲の成熟段階および住宅からの距離がスズメ *Passer montanus* の採食場所選択に与える影響. 日本鳥学会誌 **62**: 24-30.
- Katayama N., Baba Y.G., Kusumoto Y. & Tanaka K. (2015a) A review of post-war changes in rice farming and biodiversity in Japan. Agricultural Systems **132**: 73-84.
- 片山直樹・馬場友希・大久保悟 (2020) 水田の生物多様性に配慮した農法の保全効果: これまでの成果と将来の課題. 日本生態学会誌 **70**: 201-215.
- Katayama N., Bouam L., Koshida C. & Baba Y.G. (2019b) Biodiversity and yield under different land-use types in orchard/vineyard landscapes: A meta-analysis. Biological Conservation **229**: 125-133.
- 片山直樹・村山恒也・益子美由希 (2015) 水田の有機農法がサギ類の採食効率および個体数に与える影響. 日本鳥学会誌 **64**: 183-193.
- Katayama N., Odaya Y., Amano T. & Yoshida H. (2020) Spatial and temporal associations between fallow fields and Greater Painted Snipe density in Japanese rice paddy landscapes. Agriculture, Ecosystems and Environment **295**: 106892.
- Katayama N., Osada Y., Mashiko M., Baba Y.G., Tanaka K., Kusumoto Y., Okubo S., Ikeda H. & Natuhara Y. (2019a) Organic farming and associated management practices benefit multiple wildlife taxa: A large-scale field study in rice paddy landscapes. Journal of Applied Ecology **56**: 1970-1981.
- Katayama N., Osawa T., Amano T. & Kusumoto Y. (2015b) Are both agricultural intensification and farmland abandonment threats to biodiversity? A test with bird communities in paddy-dominated landscapes. Agriculture, Ecosystems & Environment **214**: 21-30.
- Katayama N., Saitoh D., Amano T. & Miyashita T. (2011) Effects of modern drainage systems on the spatial distribution of loach in rice ecosystems. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems **21**: 146-154.
- Katoh K., Sakai S. & Takahashi T. (2009) Factors maintaining species diversity in satoyama, a traditional agricultural landscape of Japan. Biological Conservation **142**: 1930-1936.
- 川那部浩哉 (1998) 応用生態工学とは何か, それは今後どのように進めていくべきか. 応用生態工学 **1**: 1-6.
- Kidera N., Kadoya T., Yamano H., Takamura N., Ogano D., Wakabayashi T., Takezawa M. & Hasegawa M. (2018) Hydrological effects of paddy improvement and abandonment on amphibian populations; long-term trends of the Japanese brown frog, *Rana japonica*. Biological Conservation **219**: 96-104.
- Kim J. H., Fulton G.R., Kim H.T. & Cho S.R. (2009) The effect of different Rice *Oryza sativa* cultivation methods on nest-site location and nesting success in Black-winged Stilts *Himantopus himantopus* in reclaimed areas of South Korea. Pacific Conservation Biology **15**: 246-253.
- 木村一也・笠木哲也・中村浩二 (2015) 能登半島の農業景観とアオサギの採餌場所の季節変化の関係. 日本海域研究 **46**: 1-8.
- Kitazawa M., Yamaura Y., Senzaki M., Kawamura K., Hanioka M. & Nakamura F. (2019) An evaluation of five agricultural habitat types for openland birds: abandoned farmland can have comparative values to undisturbed wetland. Ornithological Science **18**: 3-16.
- Kojima Y. (1999) Nest site characteristics of the Grey-faced buzzard *Buteo indicus*. Japanese Journal of Ornithology **48**: 151-155.
- Koshida C. & Katayama N. (2018) Meta-analysis of the effects of rice-field abandonment on biodiversity in Japan. Conservation Biology **32**: 1392-1402.
- 小杉昭光 (1960) 数種のサギ科の鳥類の食性について. 山階鳥類研究所研究報告 **2**: 89-98.
- 熊田那央・後藤由香・中津弘・永田尚志 (2015) 放鳥されたトキの採食場所選択とトキ認証水田の利用. 日本生態学会第 62 回全国大会講演要旨 PB2-130.
- 呉地正行 (2007) 水田の特性を活かした湿地環境と地域循環型社会の回復: 宮城県・蕪栗沼周辺での水鳥と水田農業の共生をめざす取り組み. 地球環境 **12**: 49-64.
- 楠本良延・大黒俊哉・井手任 (2005) 休耕・耕作放棄水田の植物群落タイプと管理履歴の関係. 農村計画学会誌 **24** (Special Issue): S7-S12.
- Lane S.J. & Fujioka M. (1998) The impact of changes in irrigation practices on the distribution of foraging egrets and herons (Ardeidae) in the rice fields of central Japan. Biological Conservation **83**: 221-230.
- Maeda T. (2001) Patterns of bird abundance and habitat use in rice fields of the Kanto Plain, central Japan. Ecological research **16**: 569-585.
- 前田琢・吉田保志子 (2009) 水田の冬期湛水がもたらす鳥類への影響. 日本鳥学会誌 **58**: 55-64.
- 益子美由希・舟久保敏・田和康太・鶴田舞・中村圭吾 (2020) 鳥類の良好な生息場の創出のための河川環境の整備・保全の考え方. 国土交通省 国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人 土木研究所.
- Mashiko M. & Toquenaga Y. (2013) Increasing variation in population size and species composition ratio in mixed-species heron colonies in Japan. Forktail **29**: 71-77.
- 宮下直・西廣淳 (2019) 人と生態系のダイナミクス 1 農地・草地の歴史と未来. 朝倉書店, 東京.
- 水谷正一 (編) (2007) 水田生態工学入門. 農山漁村文化協会, 東京.
- Mochizuki S., Liu D., Sekijima T., Lu J., Wang C., Ozaki K., Nagata H., Murakami T., Ueno Y. & Yamagishi S. (2015) Detecting the nesting suitability of the re-introduced Crested Ibis *Nipponia nippon* for nature restoration program in Japan. Journal for Nature Conservation **28**: 45-55.
- 森淳・渡部恵司・小出水規行・竹村武士 (2016) 生息環境が

- 共通する水田を用いた水田魚道による再生産効果. 農業農村工学会誌 **84**: 35-39.
- 守山弘 (1997) 水田を守るとはどういうことか—生物相の視点から—. 農山漁村文化協会, 東京.
- 永田尚志 (2012) トキの野生復帰の現状と展望. 野生復帰 **2**: 11-16.
- Naito K. & Ikeda H. (2007) Habitat restoration for the reintroduction of oriental white storks. Global Environmental Research **11**: 217-221.
- 中島拓・江崎保男・中上喜史・大迫義人 (2006) 水田と河川, コウノトリ野生復帰地での餌場の相対的価値: 豊岡盆地に生息するサギ類を指標として. 保全生態学研究 **11**: 35-42.
- 中村太士 (2007) 応用生態工学が担ってきた研究領域と未知の領域—現状認識と新たな視点の発掘をめざして—. 応用生態工学 **10**: 47-58.
- 中津弘・永田尚志・山岸哲 (2012) 新潟県佐渡島中部で非繁殖期に群れ生活を営む放鳥トキ *Nipponia nippon* の環境利用と日周行動. 野生復帰 **2**: 63-73.
- Nam H.K. & Kim M.H. (2017) Determinations of shorebirds diets during spring migration stopovers in Korean rice fields. Korean Journal of Environmental Biology **35**: 452-460.
- 成末雅恵 (1992) 埼玉県におけるサギ類の集団繁殖地の変遷. Strix **11**: 189-209.
- 成末雅恵・内田博 (1993) 土地改良とサギ類の退行. Strix **12**: 121-130.
- 夏原由博 (2015) にぎやかな田んぼ. 京都通信社, 京都.
- 夏原由博・中西康介・藤岡康弘・山本充孝・金尾滋史・天野一葉・李美花・片山直樹 (2020) 滋賀県および愛知県の環境保全型稲作の生物多様性保全効果. 日本生態学会誌 **70**: 231-242.
- 日本鳥学会 (2012) 日本鳥類目録改定第7版. 日本鳥学会.
- 西川潮 (2015) 佐渡世界農業遺産における生物共生農法への取り組み効果. 日本生態学会誌 **65**: 269-277.
- 西村いつき・江崎保男 (2019) コウノトリ育む農法の確立—野生復帰を支える農業を目指して—. 日本鳥学会誌 **68**: 217-231.
- Pernollet C.A., Guelmami A., Green A.J., Masip A.C., Dies B., Bogliani G., Tesio F., Brogi A., Gauthier-Clerc M. & Guillemain M. (2015) A comparison of wintering duck numbers among European rice production areas with contrasting flooding regimes. Biological Conservation **186**: 214-224.
- Sakai S., Yamaguchi N., Momose H. & Higuchi H. (2011) Seasonal shifts in foraging site and prey of Grey-faced Buzzards (*Butastur indicus*), breeding in Satoyama habitat of central Japan. Ornithological Science **10**: 51-60.
- Sasaki K., Hotes S., Kadoya T., Yoshioka A. & Wolters V. (2020) Landscape associations of farmland bird diversity in Germany and Japan. Global Ecology and Conservation **21**: e00891.
- Sato N. & Maruyama N. (1996) Foraging site preference of intermediate egrets *Egretta intermedia* during the breeding season in the eastern part of the Kanto Plain, Japan. Journal of the Yamashina Institute for Ornithology **28**: 19-34.
- Shimada T. (2002) Daily activity pattern and habitat use of Greater White-fronted Geese wintering in Japan: factors of the population increase. Waterbirds **25**: 371-377.
- 嶋田哲郎 (2007) 水田生態系におけるマガン, オオハクチョウの環境利用. 伊豆沼・内沼研究報告 **1**: 27-34.
- 嶋田哲郎・溝田智俊 (2011) 農産業の変化にともなうマガンの食物資源量の変化と農作物被害. 日本鳥学会誌 **60**: 52-62.
- 嶋田哲郎・植田睦之・高橋佑亮・内田聖・時田賢一・杉野目齊・三上かつら・矢澤正人 (2018) GPS-TX によって明らかとなった越冬期のオオハクチョウ, カモ類の環境選択. Bird Research **14**: A1-A12.
- 鈴木正貴・水谷正一・後藤章 (2001) 水田水域における淡水魚の双方向移動を保証する小規模魚道の試作と実験. 応用生態工学 **4**: 163-177.
- Tajiri H. & Ohkawara K. (2013) The effects of flooding and plowing on foraging site selection by wintering dabbling ducks in rice fields. Ornithological Science **12**: 127-136.
- 高林主佳・横川信行 (2005) コウノトリとの共生に向けた水田魚道の技術展開. 農業土木学会誌 **73**: 577-580.
- Takahashi M. & Ohkawara K. (2007) Breeding behavior and reproductive success of Grey-headed Lapwing *Vanellus cinereus* on farmland in central Japan. Ornithological Science **6**: 1-9.
- 竹門康弘 (2007) 生息場の科学としての応用生態工学. 応用生態工学 **10**: 41-46.
- 谷田一三 (2017) 学会誌「応用生態工学」から見る学会の歩みと展望. 応用生態工学 **20**: 127-132.
- 田和康太・佐川志朗・丸山勇気・日和佳政・水谷瑞希 (2016a) 兵庫県豊岡市の水田ビオトープにおける水生動物群集の越冬状況. 野生復帰 **4**: 87-93.
- 田和康太・佐川志朗・三橋陽子 (2016b) コウノトリ *Ciconia boyciana* の再導入個体群における安定同位体比を用いた食性解析. 応用生態工学 **19**: 13-20.
- 田和康太・佐川志朗・宮西萌・細谷和海 (2019) 河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.
- 田和康太・佐川志朗・内藤和明 (2016c) 9年間のモニタリングデータに基づく野外コウノトリ *Ciconia boyciana* の食性. 野生復帰 **4**: 75-86.
- Tojo H. (1996) Habitat selection, foraging behaviour and prey of five heron species in Japan. Japanese Journal of Ornithology **45**: 141-158.
- Tuck S.L., Winqvist C., Mota F., Ahnström J., Turnbull L.A., Bengtsson J. (2014) Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: A hierarchical meta-analysis. Journal of Applied Ecology **51**: 746-755.
- 脇坂英弥・江崎保男 (2015) ケリ *Vanellus cinereus* の営巣場所, ヒナの離巢, そして繁殖成功. 人と自然 **26**: 1-7.
- 渡部恵司・森淳・小出水規行・竹村武士・西田一也 (2014) 圃場整備事業前後のニホンアカガエルの卵塊数の比較. 農業農村工学会論文集 **82**: 53-54.
- 渡辺朝一 (2002) 春期の水田で見られたキョウジョシギによるミジンコの採食例. 我孫子市鳥の博物館調査研究報告 **10**: 49-51.
- 渡辺朝一 (2005) 冬期の水田におけるタゲリの採食行動. 我孫子市鳥の博物館調査研究報告 **13**: 137-142.
- 渡辺朝一 (2006) 春期の関東平野水田におけるチュウシャクシギの採食行動. 我孫子市鳥の博物館調査研究報告 **14**: 65-69.
- 渡辺朝一 (2007) 関東平野の水田で春期に採集したキアシシギのペリット内容. Strix **25**: 61-70.

- 渡辺朝一・田尻浩伸（2018）コハクチョウが採食に利用する
稲刈り後の水田の特徴. 山階鳥類学雑誌 **49**: 53-62.
- 山岸哲・江崎保男・富田恭正・高木嘉彦（2018）コウノトリ
野生復帰の手引書. コウノトリの個体群管理に関する機
関・施設間パネル, 豊岡.
- 山本浩伸・大畑孝二（2000）石川県片野鴨池におけるトモエ
ガモの個体数変動と採食場所への飛び立ち行動. Strix **18**:
55-64.
- 山本浩伸・大畑孝二・桑原和之（2002）片野鴨池で越冬する
マガモの採食範囲—片野鴨池に飛来するカモ類の減少を抑
制するための試み II—. Strix **20**: 13-22.
- 山本浩伸・大畑孝二・山本芳夫（1999）石川県加賀市の水田
地帯における越冬期のカモ類の環境選好性. Strix **17**: 127-
132.