

環境要因によるため池環境  
(ため池の生物多様性にとっての環境) の評価方法の構築

一般社団法人 自然再生と自然保護区のための基金

中川 亜希子

## 1. 研究の背景

日本国内においてため池は約 20 万個存在するとされ、水草・水棲昆虫・両生類等の一時的または永続的な生息地として、重要な環境である。絶滅危惧種が記録されていることが明らかなため池については、保全上重要であるとして各都道府県レッドデータブック等に掲載されている（兵庫県 2011 など）。しかし耕作放棄地の増加に伴い、ため池の利用停止および管理放棄により、池干しまたは埋立てが行なわれたり、あるいは池縁部の木本伸張による池上部のうっ閉、底泥の堆積等が進行し、環境が変化しつつある池が増加している（土山 2001、石井・角野 2003）。例えば、香川県におけるアンケートによると、ため池管理者の高齢化が進み、管理が停止している池が 30%以上に及んでいる（嶺田ほか 2006）。管理停止に伴って池上部が樹林で覆われるに伴い、外来生物であるアメリカザリガニの捕獲率が増加する（山田ほか 2002）など、池が管理放棄されると数年～十数年の間で池の生物相が大きく変化するとともに、水生生物の生息地としての機能が衰退・消失することとなる（角田 2017）。さらに 2018 年に発生した 7 月豪雨により多くのため池が決壊し、防災上重要視されていなかった小規模なため池で甚大な被害が生じたことから、ため池の防災対策について農林水産省および各都道府県において見直しが行なわれた。これにより、防災上重要なため池の基準が見直され従来の 5 倍以上の約 64,000 箇所が指定された。再選定されたため池においては、自治体がマップを公表し、避難に係る判断に必要な情報を提供するほか、利用されていないため池等の統廃合や容量縮小を検討する、としている（農林水産省 2019）。こうした背景により、我が国のため池灌漑の開始以来、ため池の生物多様性は最大の危機を迎えているといえる。

ため池の生物多様性や環境についての重要性・評価は確立されているものの、個々のため池の評価を得るためには、生物相の調査が必要であり時間や経費がかかる。とはいえ、災害対策のため、ため池の将来像の決定は速やかに行なわれる必要があり、ため池の詳細な調査の必要性を判断するためにも、ため池個別の広域的・網羅的な評価が求められている。これまでのため池の生物に関する研究内容としては、特定の生物群の分布確認である、または、特定の生物群に影響を与える環境要因の特定であることが多く、水生生物全般・種多様性を対象とした横断的な研究は少ない。また、ため池の自然再生手法については、水生植物の保全を対象とした事例が数例あるのみである。このことは、現地の全生物相の現状把握には多大な時間と労力がかかること、生物群に影響を与える要因の数や寄与度が多様であること、正確な現状把握が優先され保全対策の立案が困難になっている等の問題点を示唆している。これらの状況を踏まえ、筆者らは生息する生物の正確な種類や数を把握するよりも、多くの生物にとって有効な環境要因を把握することの重要性に着目し、さらに、膨大な数のため池の現状（環境要因）が文献・既存情報（地理情報や国土数値情報等）により推定されたならば、水生生物全般・種多様性を対象とした保全対策の研究や立案にすみやかに寄与できると考えた。

先行研究（Kadoya et al. 2011）によると、ため池の水生植物・トンボ・底生生物の多様性にとっての駆動因は、ため池周辺の土地利用率よりも「ため池内部の環境」—すなわち富栄養化の指標としてクロロフィル a 量、生息地劣化の指標として護岸率、外来生物侵入の指標としてブルーギル個体数、によって説明できるとしている。

こうした知見を踏まえて、本研究では、ため池に生息する生物群に共通して作用する環境条件（環境要因）を用いて、ため池内部の環境を網羅的かつ簡便に評価することのできる統一的・汎用的手法の構築を目指す。また、構築した評価手法を用いて、土地利用率など地理情報によってため池の評価を予測し、近畿圏内の地図を作成する。

## 2. 研究方法

### （1）ため池の生物多様性に影響する環境要因の網羅的調査

まず、ため池の生物多様性に影響する環境要因を網羅的に把握するため、国内外の文献から、ため池に生息する各生物群（鳥類、魚類、両生類、甲殻類、水生昆虫、水産貝類、水生植物）に作用する環境要因（73 個）に関する知見を抽出し、作用の働き方を取りまとめた（表 1）。

表1  
ため池の生物多様性に  
影響する環境要因(1/3)

凡 例	---	(10種以上に) 負の関係
+++ (10種以上に) 正の関係	-	(10種未満に) 負の関係
+ (10種未満に) 正の関係	<--->	(10種以上に) ある範囲内で負の関係
<+++> (10種以上に) ある範囲内で正の関係／ある範囲内で育成可能	<->	(10種未満に) ある範囲内で負の関係
<+> (10種未満に) ある範囲内で正の関係／ある範囲内で育成可能	+-	正の関係をもつ種と負の関係をもつ種の両方がある

大区分	環境要因	植物	昆虫	両生類	魚類	甲殻類	鳥類	貝類	引用文献
1	地形地質・管理方法	標高	---	-<+>					(夏原・神原 2000), (一ノ瀬・森田 2003), (水谷 2009)
	面積	+++<+++>			---		+++		(中ほか 1998), (一ノ瀬・森田 2005), (嶺田・石田 2006), (一ノ瀬・加藤 1993), (樋口ほか 1988), (水上・萩原 2004), (Dharshani Mahaulpatha et al. 2000), (Takaharu et al. 2015), (MUNEMITSU AKASAKA et al. 2009), (武田 1990)
2		勾配	---	<+>	-	-	---		(中ほか 1998), (夏原・神原 2000), (雨嶋ほか 2006), (風間ほか 2007), (大河内ほか 2001), (武田 1990)
3		地形の複雑さ	+++	+++					(中ほか 1998), (角道・日下部 2004)
4		底質の多様さ	+++	+++		+++	+	+++	(大滝 1978), (中ほか 1998), (山田ほか 2004), (角道 2009), (リバーフロント整備センター(編) 1996), (近藤 1998), (田上ほか 2007), (生方・倉内 2007), (日置ほか 1996), (尾崎ほか 2017)
5		水域間の連続性	+++			+++			(Munemitsu Akasaka and Noriko Takamura 2012), (Munemitsu Akasaka and Noriko Takamura 2011), (兵庫県県土整備部土木局河川整備課河川計画室 2011)
6		岸辺の人工化率	---	---	-		---	<++++>	(中ほか 1998), (石井・角野 2003), (浜島 2008), (藤原ほか 1998), (田上ほか 2007), (高村 2003), (高村ほか 2016), (Taku Kadoya et al. 2011)
7		植生の管理	+++						(山田ほか 2004), (嶺田ほか 2006a), (嶺田ほか 2006b)
8		光環境の多様性	+++	+++	+	+++	+++	+	(山田ほか 2004), (雨嶋ほか 2006), (嶺田ほか 2006a), (嶺田・石田 2006), (藤原ほか 1998), (木村・高橋 2008), (萱場 2014)
9		水位	---<+++>	---<-><+>	-<+>	<+>		+++	(浜島 1979), (中ほか 1998), (雨嶋ほか 2006), (国立環境研究所編集委員会(編) 2006), (嶺田ほか 2006a), (風間ほか 2007), (田中 2011), (角野 2014), (リバーフロント整備センター(編) 1996), (石井・一ノ瀬 2008), (森ほか 2007), (生方・倉内 2007), (日置ほか 1996), (MUNEMITSU AKASAKA et al. 2009), (武田 1990), (尾崎ほか 2017), (角道 2010)
10		水位の多様性				+++			(角道・日下部 2004)
11		水位変動	+++++	---	-	---		-	(Rørslett B. 1991), (Blindow, I. et.al. 1993), (樋口ほか 2005), (雨嶋ほか 2006), (国立環境研究所編集委員会(編) 2006), (嶺田ほか 2006b), (嶺田・石田 2006), (美馬ほか 1996), (角道 2010), (Brock, M.A. et al. J.D 2003), (Nishihiro, J. and Washitani, I 2009), (森 2004), (武田 1990)
12		環境悪化からの経過時間	---						(西廣 2014)
13		狩猟						---	(Dharshani Mahaulpatha et al. 2000), (樋口ほか 1988)
14		給餌						+++	(鈴木 2010), (樋口ほか 1988)
15		人の侵入						-	(鈴木 2010)

表 1  
ため池の生物多様性に  
影響する環境要因 (2/3)

凡 例	---	(10 種以上に) 負の関係
+++ (10 種以上に) 正の関係	-	(10 種未満に) 負の関係
+ (10 種未満に) 正の関係	<--->	(10 種以上に) ある範囲内で負の関係
<++++> (10 種以上に) ある範囲内で正の関係/ある範囲内で成育可能	<->	(10 種未満に) ある範囲内で負の関係
<+> (10 種未満に) ある範囲内で正の関係/ある範囲内で成育可能	+ -	正の関係をもつ種と負の関係をもつ種の両方がある

大区分	環境要因	植物	昆虫	両生類	魚類	甲殻類	鳥類	貝類	引用文献
17	水質	Ca2+	-						(浜島 2008)
18		K+	<+>						(浜島 2008)
19		Mg2+	<+>						(浜島 2008)
20		NO3-	+++						(石井・一ノ瀬 2008)
21		NH4-		---					(一ノ瀬・森田 2006)
22		Cl-	+						(小林ほか 2006)
23		Si		+++					(高村 2003)
24		Fe		+++					(高村 2003)
25		無機態窒素	++++						(小林ほか 2006), (浜島 2008)
26		リン酸態リン	---						(浜島 2008)
27		全窒素	++++	---	---				(下田・橋本 1993), (中 2001), (嶺田ほか 2006a), (香川 2008), (下田 2009), (環境庁 1971), (高村 2003)
28		全リン	---		---				(下田・橋本 1993), (中 2001), (嶺田ほか 2006a), (下田 2009), (環境庁 1971)
29		pH	<++++>	---	<++++>+++				(中 2001), (一ノ瀬・森田 2002), (嶺田ほか 2006a), (浜島 2008), (環境庁 1971), (高村 2003)
30		DO	+++		+++				(小林ほか 2006), (端 2012), (環境庁 1971)
31		EC	++++						(中 2001), (小林ほか 2006), (Michiko SHIMODA 1997)
32		栄養塩類	---						(Rørslett B. 1991), (下田・橋本 1993), (中 2001), (石井・角野 2003), (浜島 2008), (下田 2009)
33		COD	---		---		+		(中 2001), (小林ほか 2006), (浅間・山城 1987), (環境庁 1971), (高村ほか 2016)
34		BOD	---						(小林ほか 2006)
35		透明度	+++						(小林ほか 2006), (下田 2009), (天野 2012), (大塚ほか 2004)
36		濁度	---						(中 2001), (MUNEMITSU AKASAKA et al. 2009)
37		SS	++++		---				(小林ほか 2006), (香川 2008), (環境庁 1971)
38		クロロフィル a	---	---		---			(高村 2003), (Taku Kadoya et al. 2011)
39		農薬流入の程度	---	---		-		-	(高村 2003), (畠山ほか 1991), (山室ほか 2014), (菅谷・畠山 1999), (畠山・菅谷 1999)
40	植生	水面の植被率・水草の量	-	+++<++++>			+++	+++	(長田ほか 1997), (近藤 1998), (藪内ほか 2014), (阿部ほか 2007), (水上・萩原 2004), (関崎 2012), (生方・倉内 2007), (高村 2003), (高村ほか 2016), (尾崎ほか 2017)
41		水生植物の種数・多様度		+++					(高村 2003), (一ノ瀬ほか 2009)
42		植生の多様性		+++	+	+++	+++		(長田ほか 1997), (リバーフロント整備センター (編) 1996), (東・武内 1999), (日置ほか 2000), (藤原ほか 1998), (田上ほか 2007), (関崎 2012)
43		抽水植物の茎密度		+++					(角道 2009), (角道 2010)
44		抽水植物の植被率・面積		++++					(高村 2003), (角道・日下部 2004)
45		ヨシ原の奥行き		+++					(生方・倉内 2007)

表1  
ため池の生物多様性に  
影響する環境要因(3/3)

凡 例	---	(10種以上に) 負の関係	
+++	(10種以上に) 正の関係	-	(10種未満に) 負の関係
+	(10種未満に) 正の関係	<--->	(10種以上に) ある範囲内で負の関係
<+++>	(10種以上に) ある範囲内で正の関係／ある範囲内で生育可能	<->	(10種未満に) ある範囲内で負の関係
<+>	(10種未満に) ある範囲内で正の関係／ある範囲内で生育可能	+-	正の関係をもつ種と負の関係をもつ種の両方がある

	大区分	環境要因	植物	昆虫	両生類	魚類	甲殻類	鳥類	貝類	引用文献
46	侵略的外来	ソウギョ	---							(立川 2002), (高村ほか 2016)
47	生物	ヌートリア	---						---	(石田ほか 2015), (森 2002), (村上 2002)
48		オオカナダモ	---							(久保 2012)
49		ウシガエル		---	---	---	---	---		(太田 2002)
50		オオクチバス		---	---	---	---	-	-	(林ほか 2006), (藤本 2009), (嶋田ほか 2005), (嶋田・藤本 2009), (中村 2009), (淀 2002), (高村 2003), (森 2004)
51		ブルーギル	---	---	-	---	---		---	(国立環境研究所編集委員会(編) 2006), (林ほか 2006), (谷口 2012), (森 2004), (高村ほか 2016), (Taku Kadoya et al. 2011)
52		魚食性外来魚種数				---				(高村ほか 2016)
53		ミシシッピーアカミミガメ	---	---	---	---	---		---	(有馬ほか 2008a), (有馬ほか 2008b), (安川 2002)
54		コイ	---	---						(高崎 2001), (宮崎 2010), (関崎 2012)
55		アライグマ	---	---	---	---	---	---	---	(金田・加藤 2011), (池田 2002)
56		アメリカザリガニ	---	---	---	---	---		---	(久保 2012), (伴 2002), (高村ほか 2016)
57	周辺環境	池周辺の樹林率・森林面積・最短距離		++++	+<+>	<+>		+		(夏原・神原 2000), (一ノ瀬・森田 2004), (雨嶋ほか 2006), (風間ほか 2007), (水谷 2009), (伊勢・三橋 2006), (関崎 2012), (高村 2003), (武田 1990), (高村
58		池周辺の湿地率		+++				+++		(風間ほか 2007), (一ノ瀬・加藤 1993)
59		池周辺の水田率・水田面積		---	+	+		+++		(風間ほか 2007), (水谷 2009), (一ノ瀬・加藤 1993), (高村 2003), (渡辺ほか 2019)
60		池周囲の水田の冬季湛水面積率			+					(高村ほか 2016)
61		圃場整備率			-					(高村ほか 2016)
62		耕作放棄率			-					(高村ほか 2016)
63		池周辺の畑地率・畑地面積		+++						(李ほか 2001)
64		池周辺の農地率		+++						(高村ほか 2016)
65		池周辺の都市率・市街地面積	---	---	-					(MUNEMITSU AKASAKA et al. 2009), (高村 2003), (高村ほか 2016)
66		池周辺の道路延長			-					(水谷 2009)
67		上流のダム貯水池と池の接続※	---	---	-	---	---	---	---	(Toshikazu Kizuka et al. 2014)
68		道路から池の視認性※	---	---	-	---	---	---	---	(Toshikazu Kizuka et al. 2014)
69		周辺のため池・水辺の密度	+++	+++	+	+				(Møller and Rørdam 1985), (Linton, S. and R. Goulder 2003), (風間ほか 2007), (水谷 2009), (徳江 2011), (Linton, S. and R. Goulder 2000), (守山ほか 1990), (守山ほか 1992), (関崎 2012)
70		集水域の樹林率・森林面積・最短距離	+++							(下田 2009)
71		集水域の農地率	---	+++						(高村ほか 2016)
72		集水域の都市率・市街地面積	---	---						(高村ほか 2016)
73		ニホンジカ	---							(辻野ほか 2007)

※「上流のダム貯水池と池の接続」「道路から池の視認性」については、外来生物ブルーギルの移入に関する環境要因であり、ここに記したプラスマイナスは、ブルーギルの各生物群への影響を示す

## (2) 現地調査による「ため池内部の環境」の評価方法

把握できた環境要因のうち、以下の全ての要件を満たす環境要因を、現地調査による「ため池内部の環境」の評価項目とし、11項目を選出した。

- ・ため池内部の環境であること
- ・ため池に生息する複数の生物群に影響を与える（及ぶ可能性の高い）もの
- ・ボート・網・ワナを用いずに調査可能なもの
- ・専門機関に依頼することなく調査可能なもの

評価項目11項目の内訳は、水質（pH、電気伝導度、溶存酸素量、透明度）、物理環境（水位、岸辺の人工化率）、植生（植生管理、植生の構造の多様性、水面の植被率）、外来生物（侵略的外来生物による影響度、移入可能性）とした。

調査方法の詳細は以下のとおりとした。水質は表層水を採水し、機材にて計測した。使用機材はpHは堀場製作所コンパクトpHメータB-712、電気伝導度は堀場製作所コンパクト電気伝導率計B-771、溶存酸素量はFUSO溶存酸素計、透明度は共立理化学研究所クリンメジャー透明度計。水位は堤体から約2mの水深を本多電子株式会社ポータブル測深機PS-7FLにて測定した。岸辺の人工化率は池周における人工物の割合を目視にて計測した。植生管理は、堤体に樹木およびネザサ等大型植物が生育している場合に「管理なし」とした。植生の多様性は、岸辺～水中において木本、湿生植物（ミゾソバ、スゲ類等）、抽水植物（ヨシ、ガマ、マコモ、ハス等）、浮葉植物（スイレン、ヒシ等）、沈水植物のうち、確認できた種類数（浮遊植物については成育状態を確認し、沈水植物または浮葉植物に分類）。水面の植被率は目視にて確認した。侵略的外来生物による影響度は、水中および池周囲において生体または痕跡を目視にて確認し、特定できた外来生物が悪影響を及ぼす生物群の多少によって区分した。移入可能性は、道路からため池の視認性の有無およびダムからの接続の有無を目視にて確認し区分した。

評価の方法は、上記の各評価項目について、生物（群）の生息に適するか否か、または好適不適の度合いを示す知見にもとづいて加点基準を作成、それぞれ2点、1点、0点を加点し、得点が多いほど良好な環境であると評価することとした。評価項目によっては、具体的な基準が得られていないものがあった（例えば「岸辺の人工化率が高いほど生息に不適」など）。そうした項目については、加点基準を少しずつ変えて数パターンを作成し、加点基準案とした（表2）。

現地調査後、数パターン作成した加点基準案に従って各ため池の得点を算出した。また、パターンごとに正規性（正規分布に近いかどうか、結果の解釈のしやすさとして重要、歪度をもちいた）および、調査項目のうち「植生の多様性」との相関係数（スピアマンの順位相関係数）について、比較した。加点基準案のうち、結果の正規性が高く、かつ植生との相関が高いものを選び採用した（表：現地調査におけるため池の調査項目と加点基準）。これにより、各ため池の合計得点は0点～22点までの値をとる。以下、現地調査にもとづいて上記の手法により評価した合計得点を「現地得点」とする。

表2 現地調査におけるため池の調査項目と加点基準

調査項目	点数			生物との関係性 (いずれも正の影響または、影響の範囲が明確)
	2点	1点	0点	
1 pH	6.5 ≤ x < 8.5	5 ≤ x < 6.5 または 8.5 ≤ x < 9	x < 5 または x ≥ 9	魚類、昆虫（トンボ）、植物（水草）
2 EC (μ S/cm)	50 ≤ x < 100	x < 50 または 100 ≤ x < 150	x ≥ 150	植物（水草） ※EC と関係が強い水質項目の栄養塩類は、植物・昆虫・魚類と関係
3 DO (mg/L)	x ≥ 7.5	5 ≤ x < 7.5	x < 5	植物、魚類
4 透明度 (cm)	x ≥ 100	50 ≤ x < 100	x < 50	植物 ※透明度と関係が強い水質項目の濁度・SS・クロロフィル a は、植物・昆虫・底生生物と関係
5 水位 (cm)	100 ≤ x < 250	x < 100	x ≥ 250	植物、魚類、両生類、昆虫（トンボ、コウチュウ）、鳥類（カモ類）
6 岸辺の人工化率 (%)	x < 25	25 ≤ x < 50	x ≥ 50	植物、昆虫（トンボ）、両生類（カエル）、底生生物
7 植生管理	管理あり		管理なし	植物
8 植生の多様性 (種類)	x ≥ 3	x = 2	x ≤ 1	昆虫（トンボ）、甲殻類（エビ）、魚類、両生類（カエル）、鳥類
9 水面の植被率 (%)	10 ≤ x ≤ 90	x < 10	x > 90	貝類、昆虫（トンボ）、鳥類
10 侵略的外来生物による影響度	外来生物は確認できない	動物に影響する外来生物 または 植物に影響する外来生物の いずれか一方を確認	動物に影響する外来生物 および 植物に影響する外来生物の 両方を確認	ソウギョ・ヌートリア・オオカナダモ：植物に影響 ウシガエル・オオクチバス：動物に影響 ブルーギル・ミシシッピーアカミミガメ・コイ・アメリカザリガニ・アライグマ：動植物双方に影響
11 移入可能性	道路からの視認性なし および ダムからの接続なし		道路からの視認性あり または ダムからの接続あり	ブルーギルの移入に影響

### (3) 現地調査地の選定

現地調査の実施地選定については、多様なタイプのため池を選定するため、以下の方針とした。近畿7府県（兵庫、大阪、京都、滋賀、奈良、和歌県、三重県）の全ため池を対象とすること。各ため池の集水域森林率、1000m 圏水域率、池内の最低傾斜、池形状の複雑さ（形状指数）を、地理情報ソフトウェアによって計測、数値に応じてABCにランク付け後、先の4指標のABCの組み合わせ（81種類）をおおむね均等に含むこと。各ため池の形状および位置情報については、木塚ら（2016）により整備された「小規模止水域」を使用した。「小規模止水域」データは、縮尺1/25,000の地形図に記載されているすべての開水面のポリゴン（面）データから、天然湖、ダム湖、河川・入り江を除外し、さらに野生生物の生育・生息が期待できない水域として下水処理場、工業用地、ゴルフ場を除外したものである。

調査地選定の結果、近畿7府県に位置する小規模止水域92箇所を調査地とした。現地調査は、2018年8月4日から10月26日までの計17日間（前日の降水量50mm以下の日に実施）、午前9時～午後4時までの間に行なった。調査した92箇所のうち12箇所は古墳の掘や環濠であり、7箇所は琵琶湖の内湖であったため、これらを除外した73箇所をため池として、評価・解析の対象とした。

### (4) 近畿地方の全ため池の環境の予測方法

ため池の環境を予測するモデル式（予測モデル）を作成した。現地得点を目的変数とし、説明変数には土地利用率、標高、池面積など、現地調査をせずとも入手可能な情報を持ちいた。本予測モデルの従属変数、すなわちため池の環境を予測した得点を、以下「予測得点」とする。

説明変数は、最低傾斜、形状指数、池面積、集水域面積、集水域森林率、集水域耕地率、およびため池周囲の土地利用（ため池からのバッファ距離100m・250m・1000m・2000m圏内の市街地率、森林率、水域率、水田率、河川・湿地率、畑地率）の26個とした。また、多重共線性が発生するのを防ぐため、説明変数間のVIF統計量を計算し10以下であることを確認した。

説明変数の詳細な算出方法については、以下のとおり。最低傾斜については、10mメッシュDEM（国土地理院2017）により、各水域内の傾斜の最低値。形状指数（コンパクト比、CompactRatio）各水域ポリゴンの周長を、同じ面積の円の周長（円周）で割ったもの。集水域面積については、10mメッシュDEMをもとに、ため池の重心点を流出点として算出。水域率を除く各土地利用については、環境省自然環境保全基礎調査（第6～7回）1/25000植生図をもとに作成した。植生図の凡例のうち、市街地率については、市街地・公園・墓地等・工場地帯を使用。森林率については、低木群落・草原・伐採跡地・湿原・河川・池沼・砂丘・耕作地・市外地等を除く群落を使用。水田率については、水田雑草群落。河川・湿地率については、湿原・河川・池沼植生を使用。畑地率については、果樹園・畑雑草群落・牧草地・ゴルフ場・芝地を使用した。水域率の算出にあたっては、木塚ら（2016）により整備された水域データのうち、止水域（小規模止水域・天然湖・ダム湖が含まれる）の割合を計算にもちいた。

予測モデルの構造については、全ため池の得点が正規分布することを仮定し、重回帰式とした。予測モデルの変数選択にあたり、全変数総あたりの組み合わせによりモデルを作成し、各モデルについて予測の良好さを示す基準である赤池情報量基準（AIC、値が小さいほど予測が良好であることを示す）を算出し、最も予測の良好なモデルとなる変数の組み合わせを採用した。ソフトウェアは、統計解析についてはR i386 3.6.2、地理情報の処理については集水域の算出をarcmap10.5（ESRI社）、集水域以外のデータの算出にはQGIS 3.0.1を用いた。

## 3. 結果

### (1) 現地調査結果

現地調査結果の概要を表3～5に示した。各平均値は、pH 7.0、EC 101.0  $\mu$ S/cm、D0 6.1mg/l、透明度 59.9cm、

水位 142.7cm、岸辺の人工化率 42.4%、水面の被植率 19.3%、植生の多様性 1.8 種類、植生管理 (有の確率) 72.6% であった。植生について、木本は 8 割以上の池で確認されたものの、木本以外の植生については 4 割の池で確認されるに留まった。植生が 1 種類以下の池は全体の半数近く (47.9%) におよび、うち植生が木本のみである割合は 8 割を占めた。外来生物については、対象種がおよそ 4 割の池で確認された。

表 3 調査結果の概要

	pH	EC ( $\mu$ S/cm)	DO (mg/L)	透明度 (cm)※	水位 (cm)	岸辺の人工化率 (%)	水面の植被率 (%)	植生の多様性 (種類)
平均	7.0	101.0	6.1	59.9	142.7	42.4	19.3	1.8
標準偏差	1.1	59.2	1.9	35.9	75.7	38.3	35.1	1.1
最大値	10.4	310.0	11.3	130.0	390.0	100.0	100.0	5.0
最小値	5.2	31.0	1.5	8.0	20.0	0.0	0.0	0.0

※透明度は計測機器の都合上、最大値130cm

表 4 調査結果の概要 (植生の多様性および植生管理)

	植生の多様性					植生管理	
	木本	木本以外					
		湿性	抽水	浮葉	沈水		合計
有 (%)	83.6	17.8	34.2	32.9	16.4	39.7	72.6
無 (%)	16.4	82.2	65.8	67.1	83.6	60.3	27.4

表 5 調査結果の概要 (外来生物)

	外来生物				外来生物の侵入可能性
	植物に影響する種	動物に影響する種	動植物に影響する種	合計	
有 (%)	1.4	26.0	12.3	37.0	38.4
無 (%)	98.6	74.0	87.7	63.0	61.6

現地調査の予備項目として、「ニホンジカの有無」、「ため池と排水路との落差」を調査したものの、ニホンジカの有無については有 1 箇所のみであり評価不能であった。ため池と排水路との落差については、全てのため池において魚類にとって遡上可能な落差の限界値である 50cm を上回ったことから、水系は分断されていると判断され評価不能であった。

現地調査した 73 池の現地得点を集計した。現地得点の平均は 12.2、最大値 17、最小値 6、標準偏差 2.58、正規性を示す歪度は -0.6 (0 に近いほど正規分布に近い、図 1)、植生の多様性との相関は 0.37 (やや弱い相関、 $P < 0.01$ ) であった。

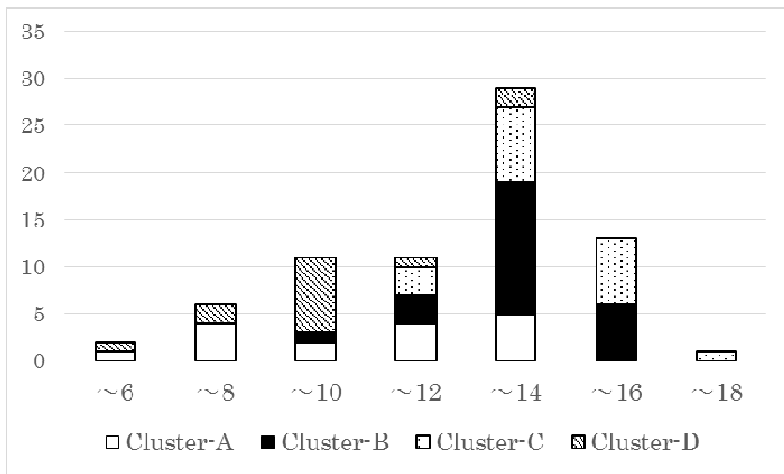


図1 現地調査したため池における現地得点のヒストグラム

## (2) モデルによる近畿地方の全ため池の得点予測

現地調査の結果をもとに、予測モデルを作成し、近畿地方の全ため池の得点を算出した。作成できた予測モデルは以下のとおりであった。

$$\text{予測得点 } y = \text{切片} + 250\text{m 圏市街地率} + 2000\text{m 圏水田率} + 100\text{m 圏水田率} + 100\text{m 圏畑地率} + \text{集水域森林率} + 1000\text{m 圏河川湿地率}$$

$$\text{AIC} = 318.1, \text{自由度調整済み決定係数 } R^2 = 0.40$$

予測の良好さを示す基準である AIC は 318.1 で、全変数を用いたモデルの AIC (344.4) に対して減少しており、予測の良さは向上しているものの、自由度調整済み決定係数  $R^2=0.40$  であり、本モデル式は実測サンプルの 4 割を説明するにとどまる。

予測モデルにおける説明変数の各係数については表 6 のとおり。表 6 における標準偏回帰係数は、説明変数および目的変数をそれぞれ標準化した値から算出される偏回帰係数のことで、標準偏回帰係数同士の値を比較し、説明変数への影響の大小を測ることが出来る。目的変数への影響が大きい順に、250m 圏市街地率、2000m 圏水田率、100m 圏水田率、100m 圏畑地率、集水域森林率、河川・湿地率となった。各 p 値は、100m 圏水田率および集水域森林率において 0.05 を上回っており、偏回帰係数が 0 である可能性が少ないとは言えない。とはいえ、双方の変数を除いてモデル式を作成した場合に予測の良さが低下すること、また p 値が 0.1 以下と比較的小値であることから、適切な変数としてみなすこととした。

表 6 予測モデル式の回帰係数および信頼性

	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	t 値	p 値
切片	13.74	1.09	11.91	12.61 / 47.07	0.00
250m 圏市街地率	-0.06	0.01	-1.56	-4.54	0.00
2000m 圏水田率	-0.07	0.03	-0.87	-2.51	0.01
100m 圏水田率	0.03	0.01	0.68	1.91	0.06
100m 圏畑地率	0.37	0.01	-0.60	-2.34	0.02
集水域森林率	-0.03	0.01	0.56	1.81	0.07
1000m 圏河川・湿地率	0.37	0.18	0.52	2.07	0.04

※切片の t 値/標準化後の切片の t 値

予測得点と現地得点の差 (=残差) は、平均値が $-5.48 \times 10^{-7}$ 、最大値 3.61、最小値-5.29 であった。残差の散布図および、予測得点と現地得点の散布図を作成した (図 2, 3)。残差はおおむね正規分布であることからモデル式の構造 (重回帰式) は妥当であるといえる。また、予測値と実測値の散布図は、幅広とはいえ一直線に並んでいることから、予測精度は改善の余地があるものの、大まかな傾向の判別に利用できるといえる。

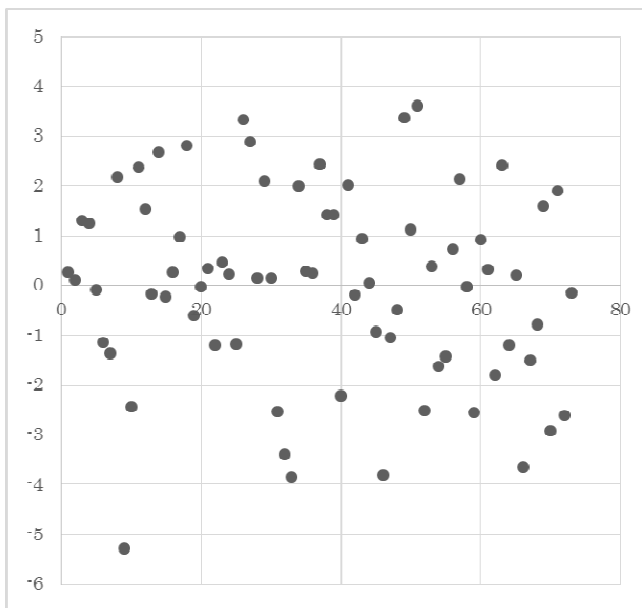


図 2 予測得点と現地得点の差  
(残差: y、横軸はサンプル番号)

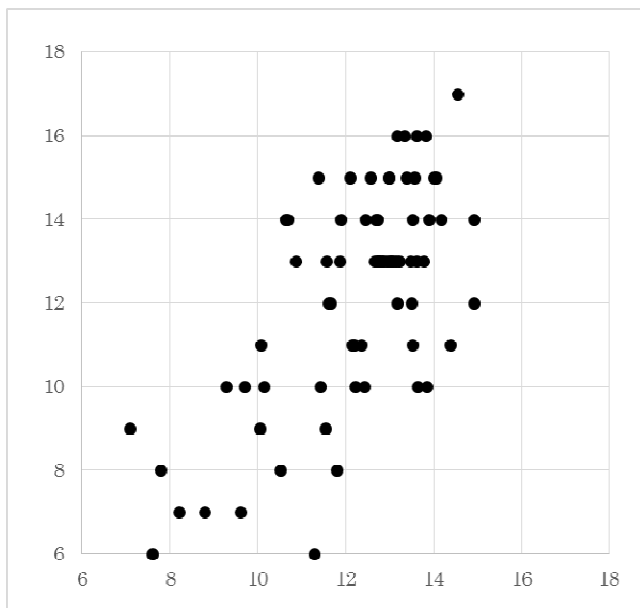


図 3 予測得点(x)と現地得点(y)

予測モデルをもちいて、近畿地方の小規模止水域を評価した。評価の対象はため池であるものの情報処理上、堀および内湖など、ため池以外の止水域が含まれる。また、現地調査地の 99%は標高 250m 未満であったことから、本予測モデルの適用範囲を標高 250m 未満とした。評価できた小規模止水域は 26,970 箇所、平均値 12.14、最大値 19.06、最小値 4.98、標準偏差 2.10 であった。予測値の分布を地図上に示した (図 4)。

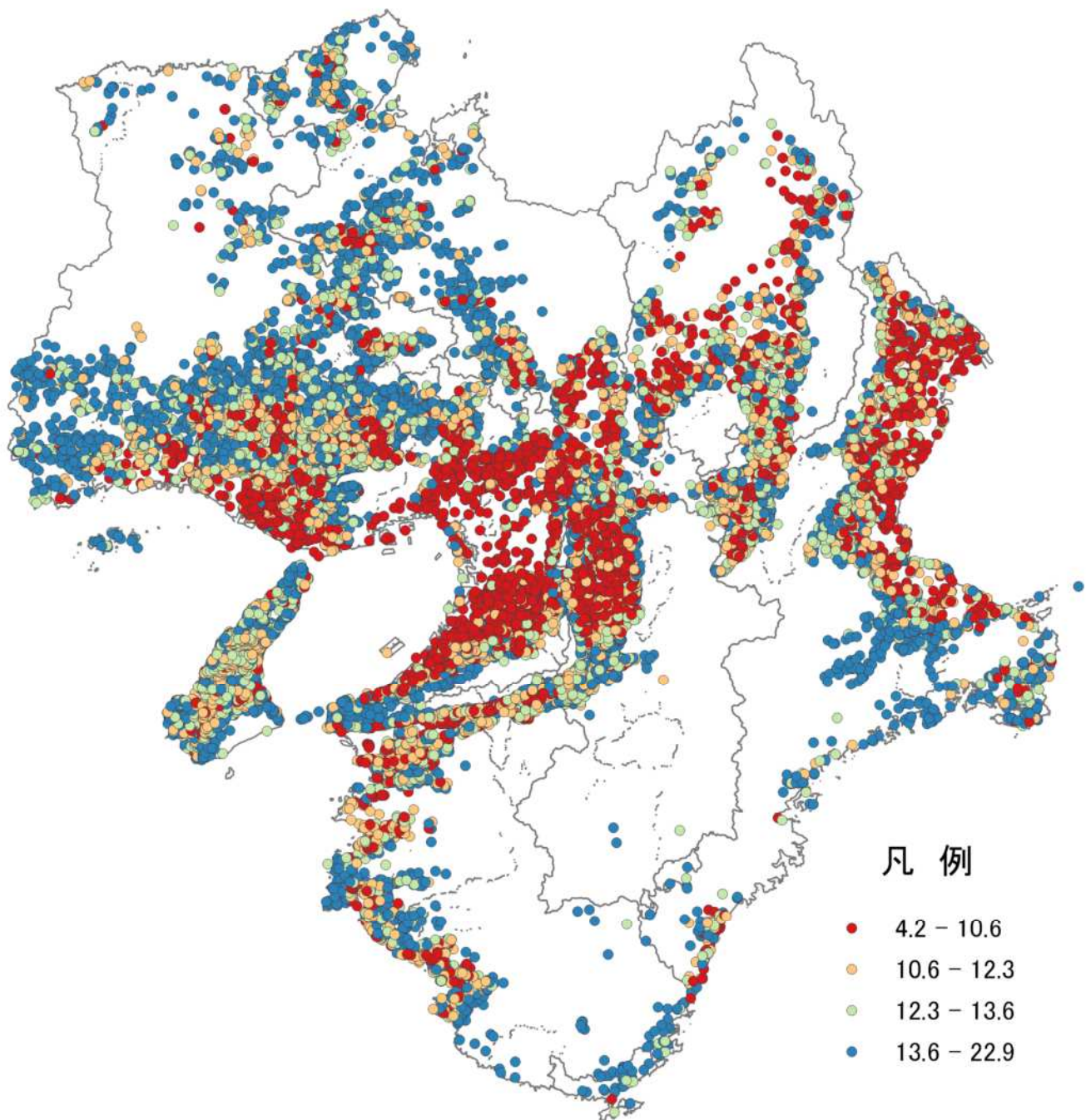


図4 小規模止水域※の予測評価

※評価の対象は標高 250m 未満のため池としているが情報処理上、堀および内湖など、ため池以外の止水域が含まれる。

#### 4. 考察

##### (1) 予測モデルから読み取れる「高得点のため池の立地条件」

予測結果について、予測モデルを構成する説明変数は全て土地利用率となったことから、予測にはため池個々の形質（最低傾斜、形状指数、池面積、集水域面積）ではなく、ため池周辺の土地利用が強く反映されたものとなった。説明変数のうち、最も強く影響する変数は市街地率（負の係数）であるため、都市域・住宅域において予測得点が低く、丘陵～山地において予測得点が高くなった。市街地率の次に、2000m 圏水田率や 100m 圏畑地率が予測に影響しており、都市域から離れていても、水田地帯の真ん中に位置する池や、果樹園やゴルフ

場内にある池においては、予測得点は低くなった。水田率については2000m圏水田率（負の係数）に加え、100m圏水田率が正の係数として加わっていることから、水田に立地した池であっても、谷津田など小規模な谷あいにかかれた水田に位置する池は予測得点が高くなった。加えて、河川・湿地率は比較的面積の大きな湿地帯をとまう池において予測得点を良好にし、集水域森林率は集水域の位置や形状の違いから池ごとに差が生じやすく、隣り合う池で立地がほぼ同一であっても予測に微妙な差を生じさせた。「予測の高い池の立地条件」をまとめると、①市街地・工場地帯の中ではない、②水田地帯より谷津田、③畑・果樹園・牧草地・ゴルフ場の中ではない、④比較的規模のある湿地帯をもつ、⑤集水域の森林率が高い、となった。

## (2) 「高得点のため池の立地条件」と「ため池内部の環境」との関係

こうした「高得点のため池の立地条件」が、「ため池内部の環境」に与える影響について推察し、理論的な整合性を確認するため、各説明変数と現地調査結果との相関を算出した。相関係数は、スピアマンの順位相関係数およびp値について、予測モデルにもちいた各土地利用率と現地調査の各項目の評価結果（加点数1~3点）との間で算出した。統計的に有意（ $P < 0.05$ ）となった相関係数を表7に記した（表内の数字は相関係数、数字の後の\*\*は $p < 0.01$ 、\*は $p < 0.05$ を示す）。

表7 予測モデルにおける説明変数と現地調査結果の相関

	EC	DO	透明度	水位	岸辺の人工化率	植生管理	植生の多様性	水面の植被率	外来生物	移入可能性
市街地率(250m圏)			-0.24*		-0.34**					-0.42**
水田率(100m圏)						0.24*				0.41**
水田率(2000m圏)										
河川・湿地率(1000m圏)	0.39**									
畑地率(100m圏)		0.40**				-0.36**				
集水域森林率			0.24*		0.41**					

相関係数から分かることは、250m圏市街地率が高いほど、外来生物の移入危険度・岸辺の人工化率・透明度が悪化傾向。100m圏水田率が高いほど植生管理・移入危険度が向上する傾向。1000m圏河川・湿地率が高いほどECが向上する傾向。100m圏畑地率が高いほど、DO（溶存酸素）が向上し、植生管理が悪化する傾向（管理放棄される）。集水域森林率が高いほど、透明度および岸辺の人工化率が向上する傾向がみられた。特に市街地率については、評価項目のグループである、水質、物理環境、植生、外来生物のうち、植生を除く3グループにわたって総合的に悪影響を及ぼしていることが読み取れた。ため池内部の環境別に考察すると、ため池の水質については、周囲の土地利用が影響を与えることが知られており、森林が多いほど水質は良好となり、農地や建物用地が多くなると水質は悪化する（桑原ほか2015、イリシャットほか1998）。岸辺の人工化率については、250m圏市街地率（負の関係）と集水域森林率（正の関係）という、性質の異なる2つの立地条件が関係しており、市街地においては人口が多くすみやかに安全を確保する必要があること、また、管理放棄により景観を損ねかねないために岸辺の人工化が進行しやすい一因であると考えられた。集水域森林率の高い池については、降雨が地表に到達することを植生が物理的に遮断するため、集水域からの直接流出量が安定することが知られており（中野1976、清原1987）、岸辺を人工化するための優先順位が高くなかった可能性が考えられた。植生管理については、100m水田率（正の関係）と100m畑地率（負の関係）という、ため池ピンポイントの立地条件が深く関係していることから、水田耕作の有無が維持管理（草刈り等）に影響を与えていると推察された。移入可能性は、道路からため池の視認性またはダムからの接続が有る場合に評価が低くなる（＝移入されやすくなる）もので、250m圏市街地率（負の関係）と100m圏水田率（正の関係）が影響していた。現地調査において、市街地においては、ため池周囲に道路があり特にため池より上部にも道路が延伸しているために、道路から池を見下ろしやすかった。一方、水田に立地するため池においては、ため池まで道路が延伸していることはあったものの、ため池上部まで道路が延伸していないことが多く、池周囲の植生が水面を隠すなどして道路から池への視認性が低かった。こうしたメカニズムの解釈は、既存の知見や現地調査による確認とおおむね適合する。このため、本研究において導かれた「高得点のため池の立地条件」は、ため池内部の環境として、

特に水質、岸辺の人工化率、植生管理の有無、外来生物の移入可能性が反映されているという特徴を持つと解釈できた。

### (3) 本評価手法および予測値の妥当性—兵庫県ホットスポットとの比較

本評価手法および予測値の妥当性を評価する方法のひとつは、既に「生物多様性が豊かなため池」と判明しているため池の予測得点と、近畿圏における予測得点の平均値とを比較し、「生物多様性が豊かなため池」の予測得点が高ければ本評価手法および予測値の妥当性は高いと考えることができる。「生物多様性が豊かなため池」に類する情報の候補として、各府県のレッドリストに記載されている、保全上重要な地域・生態系・ホットスポットが挙げられる(兵庫県 2011、大阪府 2014、京都府 2015、奈良県 2016、和歌山県 2012、三重県 2015)。このうち、兵庫県以外においてはため池の位置情報が詳細に明示されていない。このため、「兵庫県版レッドリスト 2011」に記載されている「貴重な野生生物等(生態系)」のうち、ため池群に関するスポット(以下、兵庫県ホットスポット)を、「生物多様性が豊かなため池」のモデルとする。兵庫県ホットスポットは、ため池の位置情報が比較的詳細とはいえ、ため池そのものの特定は困難であったことから、兵庫県ホットスポット 14 箇所の 3 次メッシュ(46 メッシュ)を特定し、メッシュ内に位置する全ため池(300 箇所)の予測得点の平均値を算出した。比較対象は、兵庫県および近畿圏の全てのため池における予測得点の平均値とした。

比較の結果、兵庫県ホットスポットの平均値は、兵庫県および近畿圏より統計的に有意に高得点であった(Welch -t 検定、いずれも  $p < 0.01$ )。従って、本評価における予測値の妥当性は高いと考えられる(表 8)。

表 8 兵庫県ホットスポットと兵庫県および近畿圏の平均値の比較

	兵庫県ホットスポット (池数=300)	兵庫県全体 (池数=11739)	近畿圏全体 (池数=26974)
予測得点の平均値	12.91	12.47	11.99
標準偏差	1.29	1.81	2.08

### (4) 予測精度の向上のために

本予測モデルについて、現状、自由度調整済み決定係数  $R^2 = 0.40$  にとどまる予測精度の向上が課題として挙げられる。現状の予測精度の原因として、現地調査地点数(=サンプル数)、現地調査地の選定方法、予測モデルの説明変数の種数が考えられる。

現地調査地点数については、母集団を適切に表現するサンプルが得られなかった可能性が考えられる。標高を例にすると、現地調査地点数は標高 50~100m で 53.4%を占め、次に 100~150m で 17.8%、0~50m で 12.3%である。これに対し、近畿全体に実在するため池数は 50~100m で 27.5%、100~150m で 18.9%、0~50m で 23.1%であることから、現地調査地は標高 50~100m に集中し、これ以外の標高に所在する現地調査地点数が十分でないことが把握される。但しこれは、各ため池の集水域森林率、1000m 圏水域率、池内の最低傾斜、池形状の複雑さ(形状指数)の 4 項目に関する全組み合わせパターンについての予測可否を検証することを目的に、組み合わせパターン毎に均等なサンプル数を選定したことに由来するもので、この検証目的には符合する選定方法であった。このため、今回の現地調査地に加え、追加の現地調査地をランダムサンプリング方式で選定することにより、不足している情報を補足できると考えられる。

説明変数については、種数を追加すべきと考えられるものの、現状既に、机上で得られ、かつ、生物多様性に関する情報を網羅した情報 26 個を説明変数の候補とし、総あたりで最も予測力の高いモデルを採用している。説明変数には土地利用率も用いていることから、予測得点には土地利用率が示すため池の立地環境が反映されている。しかし、ため池における個々のイベント—例えば護岸改修や外来生物の侵入、土砂の流入、保護・保全活動等については、それらを示す情報が 26 説明変数中には含まれておらず、予測得点にそれらが反映でき

ていない。このことが精度に影響を与えている可能性が考えられる。それらの情報が得られる文献の最有力候補は、自治体がため池個別の情報を記録した「ため池台帳」で、堤体、堤長、総貯水量などの多数の項目が閲覧可能であるものの、電子データによるの公開・提供は行なわれていない。「ため池台帳」以外には、航空写真から判別する人工護岸率や衛星画像のバンド解析による水質測定などが挙げられるが、いずれも、今回のように予測対象数が5万弱ある場合には、相当のコストを要することから、例えば地域を限定する、規模の大きなため池に絞り込む、等を経れば予測は可能と考えられる。また、ネット配信記事におけるバス釣り情報やため池の保護・保全イベント情報の取得も有効な手段として考えられるものの、記事内におけるため池の位置情報が自動で取得できる等の情報化が進むことが条件となる。

#### (5) 防災や文化の継承など複合的な視点からのため池評価

ため池の主目的は灌漑であるものの、生物多様性保全機能のほか、防災・歴史・文化・景観等、多面的な機能が認められていることから、生物多様性を含むため池の多面的機能の評価方法について検討した。はじめに、ため池の機能の種類・具体例を調査し、評価のために必要な情報の例・生物多様性との関係性について検討した。調査にあたり、「ため池百選（農林水産省 2010）」の選定要件・選定池の特徴、および、「防災重点ため池」の選定基準（農林水産省 2019）を参考にした。

ため池の機能の種類は、かんがい・用水温の向上などの「農業の礎」、洪水調節・土砂流出防止などの「防災」、産業遺産・祭事信仰の場などの「歴史・文化・伝統」、名勝指定、観光スポットなどの「景観」、養殖・栽培・憩いの場などの「地域との関わり」、生物の生息地・良好な自然環境の「生物多様性」などが認識されている。

こうした機能を、全てのため池を対象に評価するための情報として、「農業の礎」については貯水量、受益面積、栽培作物の商品価値など、「防災」についてはため池の浸水区域内における家屋・公共施設の有無、貯水量、家屋等の位置関係、管理状況など、「歴史・文化・伝統」についてはため池の築造年代、祭事・信仰・伝説・民話の有無など、「景観」については名勝・自然公園の指定の有無、ネット上の公開画像数など、「地域との関わり」については養殖・漁労・カモ猟・栽培の有無、継続年数、利用者人数など、「生物多様性」については（本研究における評価項目のほか）在来生物の種数、繁殖地・越冬地・中継地として利用する生物の数などが考えられた（表9）。

こうした情報は、前述の「ため池台帳」記載項目以外には、広域的に整備された情報はほとんど存在しないため、全てのため池に対する一様な評価は実質的に不可能である。実現にあたっては、「ため池台帳」のウェブ上での公開・提供に加え、多分野の学術研究機関・研究者らがウェブ上においてため池ごとに調査・研究成果を追記・公開されるシステムの整備が有効であろうと考えられた。

これらため池の機能と生物多様性との関係について、本研究における評価項目および、ため池周囲の土地利用率との関係に照らし合わせて検討した。「防災」「景観」「地域との関わり」については、市街地率の高さや来訪者の多さが評価されることから「生物多様性」と相反する可能性が高く、「農業の礎」「歴史・文化・伝統」については想定される明確な障害や効能はないと判断された。ゆえに、ため池の評価において全ての機能を統合した指標を作ることは、「生物多様性」と相反する機能が多いため適当ではなく、機能ごとにため池を評価し、例えばレーダーチャートに示すなど多軸による評価が適当と考えられた。

表9 ため池の機能・具体例・評価のために必要な情報・生物多様性との関係

機能の種類	具体例	評価のために必要な情報の例	生物多様性との関係
農業の礎	灌漑、用水温の向上など	貯水量、受益面積、栽培作物の商品価値など	特になし
防災	洪水調整、土砂流出の防止など	ため池の浸水区域内における家屋・公共施設の有無、貯水量、家屋等の位置関係、管理状況など	周囲の市街地化とマイナスの関係
歴史・文化・伝統	産業遺産、祭事・信仰の場、伝説・民話の発祥など	ため池の築造年代、祭事・信仰・伝説・民話の有無	特になし
景観	名勝指定、観光スポットなど	名勝・自然公園の指定の有無、ネット上の公開画像数など	外来生物移入の機会が増加など、マイナスである可能性
地域との関わり	養殖、漁労、カモ猟、栽培、憩いの場など	養殖・漁労・カモ猟・栽培の有無、継続年数、利用者人数など	外来生物移入の機会が増加など、マイナスである可能性
生物多様性	生物の生息地、良好な自然環境	(本研究における評価項目のほか) 在来生物の種数、繁殖地・越冬地・中継地として利用する生物の数など	

## 5. 今後の方針

本研究におけるため池の評価手法および予測モデル・予測マップを暫定版とし、これらの有効性について判断を確定するため、今後も現地調査地を増やして研究を続行し、モデルの改善を図っていく。今年春から夏にかけて学会等で中間報告を行い、助言を得る予定としていたが、予定されていた学会等は中止または延期となり再開の目処はたっていない。学会等の助言が得られる場が再開次第、研究を再開していく。

## 6. 謝辞

国立環境研究所の角谷拓主任研究員には、本研究の基盤となる情報である小規模止水域のGIS情報をご提供いただいた。大阪自然史博物館の横川昌史学芸員には、館所蔵の標本情報をご提供いただいた。新潟大学教育学部の志賀隆准教授には、ため池における水草の生育地情報のご提供および水草の同定にご協力いただいた。兵庫県立人と自然の博物館の三橋弘宗主任研究員には、GISの処理方法についてご教示いただいた。株式会社ネイチャースケープの中川功氏には、研究開始から4年もの間、現地調査のサポートをはじめ調査結果のとりまとめ助言まで全般にわたる技術的支援をいただき、また家族として著者の妊娠・育児期間中の研究継続に対し厚い理解とサポートをいただいた。この場を借りて、心より深く感謝申し上げる。

## 8. 引用文献

- Blindow, I.; G. Andersson; A. Hargeby; Johansson. Long-term pattern of alternative stable states in two shallow eutrophic lakes. . *Freshwater Biology*. 1993, Vol. 30, p. 159-167
- Brock, M.A.; Nielsen, D.L.; Shiel, R.J.; Green J.D.; Langley; J.D. Drought and aquatic community resilience: the role of eggs and seeds in sediments of temporary wetlands. . *Freshwater Biology*. 2003, Vol. 48, p. 1207-1218
- Dharshani Mahaulpatha; Tharaka Mahaulpatha; Kaneyuki Nakane; Tadashi Fujii. 西日本の西条盆地における内水面での越冬水鳥の冬期分布に影響を及ぼす要因. *日本鳥学会誌*. 2000, Vol. 49, p. 167-213
- Linton, S.; R. Goulder. Species richness of aquatic macrophytes in ponds related to number of species in neighbouring water bodies. . *Archiv fur Hydrobiologie*. 2003, Vol. 157, p. 555-565
- Linton, S.; R. Goulder. Botanical conservation value related to origin and management of ponds. . *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*. 2000, Vol. 10, p. 77-91
- Michiko SHIMODA. Differences among Aquatic Plant Communities in Irrigation Ponds with Differing Environments. *Japanese Journal of Limnology*. 1997, Vol. 58, p. 157-172
- MUNEMITSU AKASAKA, NORIKO TAKAMURA, HIROMUNE MITSUHASHI, YASURO KADONO. Effects of land use on aquatic macrophyte diversity and water quality of ponds . *Freshwater Biology* . 2009 , Vol. 55(4), p. 909-922
- Munemitsu Akasaka; Noriko Takamura. The relative importance of dispersal and the local environment for species richness in two aquatic plant growth forms. *OIKOAS*. 2011, Vol. 120(1), p. 38-46
- Munemitsu Akasaka; Noriko Takamura. Hydrologic connection between ponds positively affects macrophyte  $\alpha$  and  $\gamma$  diversity but negatively affects  $\beta$  diversity. *ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA*. 2012, Vol. 93(5), p. 967-973
- Møller; Rørdam. Species numbers of vascular plants in relation to area, isolation and age of ponds in Denmark. *Oikos*. 1985, Vol. 45, p. 8-16
- Nishihiro, J. and Washitani, I. Quantitative evaluation of water-level effects on “regeneration safesites” for lakeshore plants in Lake Kasumigaura, Japan. . *Lake and Reservoir Management*. 2009, Vol. 25, p. 217-223
- Rørslett, B.. Principal determinants of aquatic macrophyte richness in northern European lakes. . *Aquatic Botany*. 1991, Vol. 39, p. 173-193
- Takaharu Natsumeda; Noriko Takamura; Megumi Nakagawa; Yasuro Kadono; Tetsuo Tanaka; Hiromune Mitsuhashi. Environmental and biotic characteristics to discriminate farm ponds with and without exotic largemouth bass and bluegill in western Japan. *Limnology*. 2015, Vol. 16(3), 139-148
- Taku Kadoya; Munemitsu Akasaka; Takashi Aoki; Noriko Takamura. A proposal of framework to obtain an integrated biodiversity indicator for agricultural ponds incorporating the simultaneous effects of multiple pressures. *Ecological Indicators*. 2011, Vol. 11 p. 1396-1402
- Toshikazu Kizuka; Munemitsu Akasaka; Taku Kadoya; Noriko Takamura. Visibility from Roads Predict the Distribution of Invasive Fishes in Agricultural Ponds. *PLoS One*. . 2014, 9(6)
- イリシャット ラヒム・柿本 大典・今井 剛・浮田 正夫. 森林流出水の水質特性と森林植生の水源涵養機能に関する研究. . 1998, Vol. 594(VII-7)p. 73-83
- リバーフロント整備センター (編). *川の生物図典*. 東京, 山海堂, 1996, 674pp.
- 阿部 桂輔, 内海 絢那, 野崎 礼実, 松奥 三沙, 松岡 翔, 溝口 由佳, 吉見 祐城, 滝 朋子. カモ類によるため池の選択に水生植物が与える影響. *Strix*. 2007, Vol. 25, p. 35-43
- 安川 雄一郎. *ミシシippiaアカミミガメ*. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 97
- 伊勢 紀, 三橋 弘宗. モリアオガエルの広域的な生育適地の推定と保全計画への適用. *応用生態工学*. 2006, Vol. 8(2), p. 221-232
- 一ノ瀬 友博, 森田 年則. 兵庫県北淡町の農村地域のため池におけるトンボ類の分布とそれを規定する要因について. *ランドスケープ研究*. 2002, Vol. 65(5), p. 501-506
- 一ノ瀬 友博, 石井 潤, 森田 年則. 淡路島のため池におけるトンボ類の空間的自己相関と環境要因. *農村計画学会誌*. 2009, Vol. 27(Special\_Issue) p. 191-196
- 一ノ瀬 友博, 加藤 和弘. 都市及び農村地域における鳥類の分布と土地利用の関係について. *造園雑誌*. 1993, Vol. 56(5), p. 349-354
- 雨嶋 克憲, 栗原 彰子, 松岡 明彦. HSI モデル (生息場適正指数モデル): トウキョウサンショウウオ *Hynobius tokyoensis*. 環境アセスメント学会生態系研究部会 HSI モデル公開用ホームページ. 2006 (参照日 2015-07-20),
- 下田 路子, 橋本 卓三. ため池の水草の分布と水質. *水草研究会報*. 1993, Vol. 49, p. 12-15
- 下田 路子, 香川 尚徳. 愛媛県旧北条市の柑橘園地域におけるため池の水草の分布と土地利用・水質との関係. *The society of Vegetation Science*. 2009, Vol. 26(2), p. 65-78
- 夏原 由博, 神原 恵. ニホンアカガエルの大阪府南部における生育

- 適地と連結性の推定. ランドスケープ研究. 2000, Vol. 64(5), p. 617-620
- 角田裕志. ため池の管理放棄と改廃による水域生態系への影響: 人口減少で何が起きるか?. Wildlife and Human Society. 2017, Vol. 5(1)p. 5-15
- 角道 弘文. ため池の水生植物が水生昆虫の生息に及ぼす効果について. 環境情報科学論文集. 2009, Vol. 23, p. 143-148
- 角道 弘文. ため池における水位変動が浅場に生息する水生昆虫に及ぼす影響. 農村計画学会誌. 2010, Vol. 28, p. 363-368
- 角道弘文, 日下部貴規. 水生動物の生息空間としての機能を支えるため池の環境特性. 農業土木学会誌. 2004, Vol. 72 (7) p. 579-582
- 角野 康郎. 日本の水草. 東京, 文一総合出版, 2014, 326p.
- 萱場 祐一. 野外研究サイトから (28). 日本生態学会誌. 2014, Vol. 64, p. 265 - 270
- 環境庁. 生活環境の保全に関する環境基準 (湖沼). 水質汚濁に係る環境基準. <http://www.env.go.jp/kiyun/wt2-1-2.html> (参照日 2016-07-20)
- 関崎 悠一郎, 須田 真一, 角谷 拓, 鷺谷 いづみ. ため池のイトトンボの分布に影響する間接要因としてのコイ. 保全生態学研究. 2012, Vol. 17, p. 25-35
- 木塚 俊和, 石田 真也, 角谷 拓, 赤坂 宗光, 高村 典子. 地理空間情報から推定した野生生物の生育・生息場所としての小規模止水域の空間分布. 保全生態学研究. 2016, Vol. 21(2), p. 181-192
- 久保 優, 照井 慧, 西廣 淳, 鷺谷 いづみ. 福井県三方湖周辺の水路・小河川における在来沈水植物の分布に対する外来生物の影響. 保全生態学研究. 2012, Vol. 17(2), p. 165-173
- 宮崎 佑介, 松崎 慎一郎, 角谷 拓, 関崎 悠一郎, 鷺谷 いづみ. 岩手県一関市のため池群においてコイが水草に与えていた影響. 保全生態学研究. 2010, Vol. 15(2), p. 291-295
- 国土地理院. DEM10m メッシュ. 基盤地図情報ダウンロードサービス, 国土地理院. <https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php> (参照日 2017-5-10)
- 京都府. 京都府レッドデータブック 2015-地域生態系レッドリスト. 京都府. <http://www.pref.kyoto.jp/kankyo/rdb/eco/list.html> (参照日 2020-4-4)
- 近藤 高貴. 用水路の淡水二枚貝群集. 水辺環境の保全-生物群集の視点から-. 江崎保男, 田中哲夫. 東京, 朝倉書店, 1998, p. 80-92
- 金田 正人, 加藤 卓也. 外来生物アライグマに脅かされる爬虫両生類. 爬虫両棲類学会会報. 2011, Vol. 2, p148-154
- 桑原 亮・梅田 信. 流域背景に基づくダム湖流入河川の栄養塩濃度および負荷量の統計的解析.. 2015, Vol. 71(4)p. 745-750
- 香川 尚徳, 四方 政樹, 木田 真由美, 下田 路子. 柑橘園地域のため池において水草の豊かさに及ぼす水質の影響. 陸水学雑誌. 2008, Vol. 69(1), p. 1-23
- 高崎 保郎. トンボ類. ため池の自然-生き物たちと風景. 浜島繁隆. 東京, 信山社サイテック, 2001, p. 125-140
- 高村 典子. ため池の保全を考える. 水環境学会誌. 2003, Vol. 26(5), p. 25-30
- 高村 典子, 小熊 宏之, 松崎 慎一郎. ため池の生物多様性損失の評価とプロジェクト総括. 平成 27 年度 環境研究総合推進費 終了成果報告集. 2016, S-9-4-41, (参照日)
- 国立環境研究所編集委員会(編). 湿地生態系の自然再生技術評価に関する研究(特別研究). 国立環境研究所特別研究報告. 2006, Vol. p. 1-60
- 三重県. 三重県レッドデータブック 2015-希少野生動植物主要生息生育地(ホットスポットみえ). 三重県. <http://www.pref.mie.lg.jp/MIDORI/HP/shizen/88859000001.htm> (参照日 2020-4-4)
- 山室 真澄, 神谷 宏, 石飛 裕. 宍道湖における沈水植物大量発生前後の水質. 陸水学雑誌. 2014, Vol. 75(2), p. 99-105
- 山田 和司, 中島 敦司, 溝口 恵史, 緒方 京一, 鈴木 武彦, 養父 志乃夫. 溜池の水生植物群落再生に関する生態的管理の効果. ランドスケープ研究. 2004, Vol. 67(5), p. 515-518
- 山田宏之, 別所良起, 中尾史郎, 中島敦司, 養父志乃夫. 放棄ため池群における水棲生物相の地理的偏りについて. 環境システム研究論文集. 2002, Vol. 30 p. 63-69
- 守山 弘, 飯島 博, 原田 直国. トンボの移動距離をとおしてみた湿地生態系のあり方. 人間と環境環境. 1990, Vol. 15(3), p. 2-15
- 守山 弘, 飯島 博, 白木 彩子, 長田 光世. 谷津田環境の配置がもつトンボの種供給機能. 環境情報科学. 1992, Vol. 21(2), p. 84-88
- 小林 浩幸, 山本 眞, 國弘 実. 農村地域における水生植物の生育地の水質. 雑草研究. 2006, Vol. 51 (3), p. 133~138
- 森 貴久, 川西 誠一, Navjot S. Sodhi, 山岸 哲. ダム湖を利用するホシハジロの個体数と浅水域面積. 応用生態工学. 2007, Vol. 10(2), p. 185-190
- 森 生枝. ヌートリア野生化個体によるドブガイの大量捕食. 岡山県自然保護センター研究報告. 2002, Vol. 10, p. 63-67
- 森誠一. 三重県上野市におけるため池の魚類相. 国立環境研究所特別研究報告. 2004, Vol. 183, p. 5-9
- 水上 象吾, 萩原 清子. 雨水調整池が都市域の自然創出に果たす役割-鳥類の出現と環境要因との関連性に着目して-. 環境システム研究論文集. 2004, Vol. 32, p. 319-326
- 水谷 貴行. ヤマアカガエル HSI モデル. 株式会社エコリス. 2009 (参照日 2015-07-20), (参照日)
- 菅谷 芳雄, 畠山 成久. 農薬汚染河川水中での淡水産二枚貝ドブガイ (*Anodonta woodiana japonica*) の生長速度の季節変動. 環境毒性学

- 会誌. 1999, Vol. 2(1) p. 77-86
- 清原真琴. 中国地方中西部におけるダム集水域流出特性の比較考察—タンクモデルを利用して—. 地理科学. 1987, Vol. 42(1)p. 30-41
- 生方 秀紀, 倉内 洋平. トンボ成虫群集による湖沼の自然環境の評価—鉾路湿原達古武沼を例に—. 陸水学雑誌. 2007, Vol. 68, p. 131-144
- 西廣 淳. 関東平野の湖沼における水生植物の衰退と再生. 八郎湖流域管理研究. 2014, Vol. 3, p. 17-26
- 石井 潤, 一ノ瀬 友博. 棚田のため池群における水草の分布様式と環境要因. 農村計画学会誌. 2008, Vol. 27, p. 73-81
- 石井 禎基, 角野 康郎. 兵庫県東播磨地方のため池における過去 20 年間の水生植物層の変化. 保全生態学研究. 2003, Vol. 8, p. 25-32
- 石田 惣, 木邑 聡美, 唐澤 恒夫, 岡崎 一成, 星野 利浩, 長安 菜穂子. 淀川のヌートリアによるイシガイ科貝類の捕食事例および死殻から推定されるその特徴. Bulletin of the Osaka Museum of Natural History, . 2015, Vol. 69, p. 29-40
- 浅間 茂, 山城 隆. ガンカモ類と COD 値との関係. Strix. 1987, Vol. 6, p. 96-102
- 村上 興正. ヌートリア. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 69
- 太田 英利. ウシガエル. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 106
- 大河内 勇, 大川 畑修, 倉品 伸子. 道路側溝での両生類の転落死防止方法. 日林誌. 2001, Vol. 83(2), p. 125-129
- 大阪府. 大阪府レッドリスト・大阪の生物多様性ホットスポット. 大阪府. <http://www.pref.osaka.lg.jp/midori/tayouseipartner/redlist.html> (参照日 2020-4-4)
- 大滝 末男. 水草の観察と研究. 東京, ニュー・サイエンス社, 1978, 139p.
- 大塚 泰介, 桑原 靖典, 芳賀 裕樹. 琵琶湖南湖 における沈水植物群落の分布および現存量-魚群探知機を用いた推定-. Japanese Journal of Limnology. 2004, Vol. 65, p. 13-20
- 谷口 義則. ブルーギルが生態系に与える影響. 日本水産学会誌. 2012, Vol. 78(5), p. 991-996
- 端 憲二. 魚類の生息を考慮した水路の改良. 農業土木学会誌. 2012, Vol. 55, p. 1067-1072
- 池田 透. アライグマ. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 70
- 中 優. 三重県松坂市のため池における水草相. 水草研究会会報. 2001, Vol. 72, p. 5-16
- 中 優, 日置 佳之, 田中 隆, 水谷 義昭, 百瀬 浩. 水草の生育環境としての池の空間構造. 環境システム研究. 1998, Vol. 26p. 245-252
- 中村 雅彦. 上越教育大学構内の池に生息するオオクチバス *Micropterus salmoides* の食性. 上越教育大学研究紀要. 2009, Vol. 28, p. 219-226
- 中野英章. 森林水文学. 東京, 共立出版, 1976, 228p
- 長田 光世, 飯島 博, 守山 弘. 湿性緑地の植生構造とトンボの対応関係に関する基礎的研究. ランドスケープ研究. 1997, Vol. 60(5), p. 547-552
- 辻野 亮, 松井 淳, 丑丸 敦史, 瀬尾 明弘, 川瀬 大樹, 内橋 尚妙, 鈴木 健司, 高橋 淳子, 湯本 貴和, 竹門 康弘. 深泥池湿原へのニホンジカの侵入と植生に対する採食圧. 保全生態学研究. 2007, Vol. 12, p. 20-27
- 天野 邦彦. 湖沼の水質改善と霞ヶ浦等における水草再生の現状と課題. 八郎湖流域管理研究. 2012, Vol. 1, p. 1-7
- 田上 かほり, 水谷 正一, 松澤 真一, 後藤 章. 生態系保全型圃場整備が魚類・カエル類の生息に及ぼす効果の検証. 農業農村工学会大会講演会講演要旨集. 2007, Vol. p. 488-489
- 田中 洋次, 澤田 佳宏, 山本 聡, 藤原 道郎, 大藪 崇司, 梅原 徹. 淡路島北部における放棄ため池の現状と水生植物保全上の課題. 農村計画学会誌. 2011, Vol. 30, p. 255-260
- 渡辺 黎也, 日下 石碧, 横井 智之. 水田内外の環境が水生昆虫群集に与える影響. 保全生態学研究. 2019, Vol. 24(1), p. 49-60
- 嶋田 哲郎, 進東 健太郎, 高橋 清孝, Aaron Bowman. オオクチバス急増にともなう魚類群集の変化が水鳥群集に与えた影響. Strix. 2005, Vol. 23, p. 39-50
- 嶋田 哲郎・藤本 泰文. オオクチバスによる小鳥の捕食. Bird Research. 2009, Vol. 5, p. S7-S9
- 東 淳樹, 武内 和彦. 谷津環境におけるカエル類の個体数密度と環境要因の関係. 日本造園学会誌. 1999, Vol. 62(5), p. 573-576
- 藤原 宣夫, 百瀬 浩, 田畑 正敏, 舟久保 敏, 半田 真理子, 田中 隆. ダム湖におけるカモ類の行動と環境選択. 環境システム研究. 1998, Vol. 26, p. 37-44
- 藤本 泰文, 星 美幸, 神宮宇 寛. 侵入直後のオオクチバス *Micropterus salmoides* が短期間のうちに溜め池の生物群集に及ぼした影響. 伊豆沼・内沼研究報告. 2009, Vol. 3, p. 81-90
- 徳江 義宏, 大澤 啓志, 今村 史子. 都市域のエコロジカルネットワーク計画における動物の移動分散の距離に関する考察. 日本緑化工学会誌. 2011, Vol. 37(1), p. 203-206
- 奈良県レッドデータブック改訂委員会 (編). 大切にしたい奈良県の野生動植物 奈良県版レッドデータブック 2016 改訂版. 奈良, 奈良県くらし創造部景観・環境局景観・自然環境課, 2017, p. 746-752
- 日置 佳之, 百瀬 浩, 水谷 義昭, 松林 健一, 鈴木 明子, 太田 望洋. 湿地植生計画のための鳥類の潜在的な生息地図化とシナリオ分析に関する研究. J. JILA. 2000, Vol. 63(5), p. 759-764

- 日置 佳之, 養父 志乃夫, 裏戸 秀幸, 田中 隆, 逸見 一郎, 土屋 憲昭. 水生植物保全のための溜池の生体構造図化. 環境システム研究. 1996, Vol. 24, p. 89-97
- 農林水産省. ため池百選 地域活性化の核として保全・活用される取り組みのために. 農林水産省. [https://www.maff.go.jp/j/nousin/bo-usai/tameike/pdf/101213\\_t\\_pamph\\_all.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bo-usai/tameike/pdf/101213_t_pamph_all.pdf) (参照日 2020-4-4)
- 農林水産省. 平成 30 年 7 月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方【概要】～防災重点ため池の再選定と今後の対策～. 農林水産省. [https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/190605\\_2.pdf](https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/190605_2.pdf) (参照日 2020-4-4)
- 農林水産省. 重点防災ため池の再選定について. 農林水産省. <https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/190611.html> (参照日 2020-4-4)
- 畠山 成久, 菅谷 芳雄. 化学物質の生態影響評価のためのバイオモニタリング手法の開発に関する研究. つくば, 環境庁国立環境研究所, 1999, 52p.
- 畠山 成久, 白石 寛明, 浜田 篤信. 霞ヶ浦水系河川のヌカエビ (*Paratya compressa improvisa*) 生物試験による農薬毒性の季節変動. 水質汚濁研究. 1991, Vol. 4(7), p. 460-468
- 伴 浩治. アメリカザリガニ. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 169
- 樋口 広芳, 村井 英紀, 花輪 伸一, 浜屋 さと. ガンカモ類における生息地の特性と生息数との関係. Strix. 1988, Vol. 7, p. 193-202
- 樋口 伸介, 堤 聰, 嶋 栄吉, 吉田 裕一. 青森県の農業用ため池における水生植物と水管理について. 農業土木学会誌. 2005, Vol. 73(9), p. 789-792
- 尾崎 保夫, 林 紀男, 片桐 浩司. 水環境の保全をめざした沈水植物再生の取り組みと今後の課題. 日本水処理生物学会誌. 2017, Vol. 53(3)p. 81-93
- 美馬 和代, 堤 孝弘, 近藤 高貴. 琵琶湖の水位変動が貝類に及ぼした影響. 大阪教育大学紀要 第三部門. 1996, Vol. 45(1), p. 93-100
- 浜島 繁隆. 池沼植物の生態と観察. 東京, ニュー・サイエンス社, 1979, 110p.
- 浜島 繁隆. 東海地方におけるため池と灌漑水路の水草の分布と水質. 植物地理・分類研究. 2008, Vol. 56(2), p. 63-71
- 武田 恵世. カモ科鳥類の越冬する池の環境条件. Strix. 1990, Vol. 9 p. 89-115
- 風間 聡, 松本 哲, 沢本 正樹. 数値地図情報ならびに水文モデルデータを用いた HSI モデルによる生物生息域の推定. 土木学会論文集. 2007, Vol. B1 (Hydraulic Engineering) 63(4), p. 323-337
- 兵庫県. 兵庫県版レッドリスト 2011 (地形・地質・自然景観・生態系). 兵庫県. [https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/jp/environment/生物多様性/兵庫県版レッドリスト/兵庫県版レッドリスト 2011 \(地形・地質・自然景観・生態系\) /#chapter7](https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/jp/environment/生物多様性/兵庫県版レッドリスト/兵庫県版レッドリスト 2011 (地形・地質・自然景観・生態系) /#chapter7) (参照日 2020-4-4)
- 兵庫県県土整備部土木局河川整備課河川計画室. ひょうご・人と自然の川づくり事例集 2011 生態系に配慮したひょうごの川. 神戸, 兵庫県, 2011, 105p.
- 木村 雄太郎, 高橋 俊守. 棚田におけるトンボ成虫分布とそれを規定する要因について. 農業農村工学会大会講演会講演要旨集. 2008, Vol. 1. 2008, p. 972-973
- 藪内 喜人, 浜端 悦治, 神谷 要. 沈水植物の塊茎密度が水鳥の採食行動に与える影響. Bird Research. 2014, Vol. 10, p. A1-A8
- 有馬 進, 鈴木 章弘, 鄭 紹輝, 奥菌 稔, 西村 巖. ミシシッピーアカミガメのハス食害調査. Coastal bioenvironment / 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター. 2008, Vol. 11, p. 47 -53
- 有馬 進, 鈴木 章弘, 鄭 紹輝, 田中 明, 奥菌 稔, 西村 巖. ミシシッピーアカミガメの食害調査と駆除. Coastal bioenvironment / 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター. 2008, Vol. 12, p. 53 -57
- 淀 太我. オオクチバス. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 117
- 李 承恩, 盛岡 通, 藤田 壮. トンボ類を指標生物とした都市域におけるビオトープの空間的特性の評価. 土木学会論文集. 2001, Vol. 2001(671) p. 1-11
- 立川 賢一. ソウギョ. 外来種ハンドブック. 日本生態学会. 東京, 地人書館, 2002, p. 111
- 林 成多, 山内 健生, 寺岡 誠二, 中野 浩史, 川野 敬介. 出雲市平田地域のため池生物調査(3)水生無脊椎・脊椎動物の調査結果. ホンザキグリーン財団研究報告. 2006, Vol. 9, p. 39-55
- 嶺田 拓也, 石田 憲治. 希少な沈水植物の保全における小規模なため池の役割. ランドスケープ研究. 2006, Vol. 69(5), p. 577-580
- 嶺田 拓也, 石田 憲治, 廣瀬 裕一. 希少な沈水植物が生育する小規模なため池の環境特性と管理水準. 農業工学研究所技報. 2006, Vol. 204, p. 43-52
- 嶺田 拓也, 石田 憲治, 廣瀬 裕一, 松森 堅治. 水生植物保全に向けたため池管理実態の把握—香川県仲多度津地方を事例として—. 農村計画学会誌. 2006, Vol. 25, p. 347-352
- 鈴木 弘之. 河川における冬期の水鳥分布に影響を及ぼす自然要素と人為攪乱. 日本鳥学会誌. 2010, Vol. 59(2), p. 174-180
- 和歌山県. 和歌山県レッドデータブック. 和歌山県. <https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/032000/032500/yasei/reddata.html> (参照日 2020-4-4)