

## 第4章 環境配慮施設としてのビオトープの現状評価 — 石川県の事例 —

### 第1節 本章の目的

第3章で示したように農村整備事業における環境配慮施設の一つとしてビオトープがある。本章では、農村地域に整備されたビオトープに対する地域住民の認知や意識、利活用状況を把握する上での基本情報として、それらのビオトープが生物の生息空間として機能しているかという観点から、石川県内各地のビオトープの生物の生息状況と環境条件の現状を明らかにし、生物の生息場所としての評価を示す。また、ビオトープが地域住民に受け入れられるためには、住民が自然に親しむために、日常的に訪問、休息、利用できる施設であることも重要であると考えられる。この考え方に基づき、生物観察のしやすさ、安らぎ空間、人々の交流空間等としての機能、言い換えれば、ビオトープの持つ「交感価値」(嘉田, 2002)の機能という観点からビオトープを評価した。

### 第2節 生物の生息空間としてのビオトープの評価

#### (1) 調査、分析の方法

##### 1) 評価対象生物

ビオトープの生物多様性の保全機能を評価する1つの方法として、環境配慮計画で設定された保全対象種の保全の程度について評価する方法が考えられた。しかし、今回、調査の対象とした23地区のうち、保全対象種の未設定地区が5地区、「既存の生物」や「魚類」など対象種が漠然としている地区が3地区、保全対象種が設定されていたとしても、ビオトープにおける対象種か、他の環境配慮施設における対象種か不明な地区も多く、保全対象種による評価は不可能と判断した。そこで、ビオトープは本来、「特定の種を保全することを目的にするのではなく、生物の多様性の維持・回復をめざしたものである」(池谷, 1993)という考え方にに基づき、本研究では、ビオトープが農村地域の生物多様性の維持に貢献しているかの観点で、同一

の生物群を設定して評価することとした。評価する対象がすべて水辺を伴うビオトープであったため、評価の対象は水生動物とした。水生動物のうち、トンボ類の成虫とカエル類の成体は、水生動物とは別に評価対象種として特に取り上げた。その理由として、両分類群は生活史において水域と陸域の両方の環境を利用しているため、水辺のみでなく草地や周辺林地など、環境要素がモザイク状に配置されている農村地域の特徴も反映した生物群であること、またトンボ類の成虫やカエル類の成体は陸域にいるため地域住民にも認知されやすい生物であることから、環境配慮の効果を評価する対象種として適切であると判断した。また、魚類は他の水生動物とは別に集計、評価した。

## 2) 現地調査

トンボ類、カエル類、水生動物、魚類の生息状況を把握するため、目視または捕獲による現地調査を行った。トンボ類については、0 に示した3期に各1回ずつのセンサス調査を実施した。調査では、ビオトープの池の周囲を1周踏査し、目視でおおよその種を判断できる約10mの範囲内に出現した成虫の種と数を記録した。目視で判断できない場合は写真撮影、または捕獲をして同定を行った。歩行中にヤゴの羽化殻を確認した場合は、成虫が出現しなかった種について種と数を記録した。その場で同定が困難な場合は持ち帰り室内で同定した。

カエル類については、01 に示した灌漑期と非灌漑期にトンボ類のセンサス調査と同時にいった。調査は、ビオトープの池の周囲の踏査中に、約3m以内にいるか飛び出してくるカエル類を目視により種の区別をし、種と数を記録した。すぐに水中に飛び込んだため直接観察による判断ができない場合は、大澤ら(2003)の調査方法を参考に、逃避行動の違いと水面に飛び込む水音の大きさの違いを指標とし、各季節に出現する可能性のある種の生活史も考慮して種の判断をした。さらに春期にはアカガエル類を対象とし、ビオトープ内に産卵された卵塊数を記録した。なお、カエル類の調査は成体のみを対象とし、幼生は水生動物の調査で対象とした。さらに、春期にもカエル類の卵塊調査を行い、1卵塊を確認した場合は、雌雄の2個体がいたと判断して成体の記録数に加えた。

表1. ビオトープの生物調査対象生物と調査時期

調査対象生物	調査時期		
	灌漑期	非灌漑期	春期
トンボ類	2013.6/7～7/26	2013.9/18～10/30	2014.3/25～5/18
カエル類	2013.6/7～7/26	2013.9/18～10/30	2014.2/19～3/24
水生動物	2013.6/7～7/26	2013.9/18～10/30	—
魚 類	2013.6/7～7/26	2013.9/18～10/30	—

水生動物については、表1に示した2期に捕獲調査を実施した。捕獲の対象はビオトープの池内に生息する両生類、甲殻類、水生昆虫類、貝類、環形動物とした。両生類は、カエル類の成体の目視調査は別途実施しているため、捕獲では幼生のみを対象とし、成体が捕獲された場合は集計からは除外した。捕獲は口径35cm、網目1.5mmのタモ網を用いて、ビオトープの規模に応じて約15分～30分間行い、それぞれの種と数を記録した。種の同定が困難なものについては標本として持ち帰り室内で同定した。1回の調査での捕獲数が多数であった種については、数の記録は30を上限とした。

魚類については、水生動物の捕獲時に同時に行った。個体が小さくて同定できなかった魚類については、科までの同定とし、数は数個体であったため1種として記録した。

なお、ビオトープが用水機場の中にあって、フェンスで囲まれて水辺に近づけない2地区のビオトープについては、水生動物と魚類の現地調査は行えなかった。そのため、1地区については2009年に石川県が生き物調査を実施した際のデータ（石川県農林水産部農業基盤課，2011）を代用し、1地区はデータ欠損とした。

なお、現地調査に際し、国内希少野生動植物種と石川県希少野生動植物種が捕獲される可能性が考えられたため、現地調査に先立ち捕獲許可申請を行った。許可申請は、国内希少野生動植物種はシャープゲンゴロウモドキとマルコガタノゲンゴロウを、石川県希少野生動植物種はシャープゲンゴロウモドキとマルコガタノゲンゴロウ、トミヨと対象種とし、調査終了後に捕獲状況について報告を行った。

### 3) 種多様度指数

調査の結果は、カエル類、トンボ類、水生動物、魚類の生物群別に、3期の合計種数と個体数を集計し、生物多様性指数を算出した。生物多様性指数は(1)式に示す

シャノン・ウィナー式を用いた（以下、「種多様度  $H'$ 」）。

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \log_2 P_i \cdots \cdots (1)$$

$S$  は種数， $P_i$  は  $i$  番目の種類の個体数が総個体数  $N$  にしめる割合。

#### 4) 環境調査

杉山（1999）は、ビオトープの条件づくりに取り入れてゆくべき環境の構造要素として、地形、凸凹構造、間隙や穴、素材などをあげている。特にトンボ類、カエル類については多様なトンボ類が生息する池沼環境についての研究も多い。例えば上田（1998）はため池のトンボ群集について、池の水生植物群落や周辺の樹林のあり方が重要であることを指摘している。また森（1999）は、トンボ池を設置する場合の環境構造として、設置する場所の周辺林地との位置関係、山地や草地との連続性、水生植物の状態や池の水深、勾配、護岸材、水供給などの条件を整えることが豊かなトンボ相をめざす際に重要であるとしている。カエル類については、長谷川（1998）は、近年のほ場整備と休耕化が、産卵場所の喪失などにより水田で繁殖するカエル類の生息に衰退の要因となっているとしている。また、カエル類の生活史を通しての保全を図るためには、良好な土水路環境、適切な畦畔管理のあり方や（佐藤他<sup>+</sup>，2004 など）、アカガエル類の保全について、樹林地のあり方の重要性が指摘されている（大澤他，2001；片野他，2001）

これらの文献を参考として、トンボ類やカエル類を中心とする多様な生物が生息できる空間としてのビオトープを設置する際に重要な要素と考えられる項目と評価の基準を設定した（表 2）。評価項目は、ビオトープの設計時に考慮すべき立地条件と、ビオトープ設置後に植生の遷移や順応的管理を行う中でも変更することが可能な内部環境要素に分けて分類し、分析を行うこととした。立地条件は、ビオトープが設置された場所周辺の樹林地割合とため池の数、経過年数の 3 項目とした。内部環境要素は、主に生物多様性を高めるためにビオトープ内部で構造上の工夫を行うことが必要と考えられる表 2 に示す 12 項目を設定した。ただし、規模、樹林地との隣接については、基本的には設置後に変更が行えない項目であるが、ビオトープ内の要素の一部と考えられるため、内部環境要素に含めることとした。

各ビオトープの立地条件、規模の基本的情報を得るために、県農林水産部農業基盤課からビオトープの位置図、設計図面の提供を受け、GIS ソフトウェアの ArcView 10.1 (ESRI 社製) を用いてビオトープの位置と範囲を入力した。樹林地面積割合は、ビオトープの中心から半径 1km のバッファーを設定し、バッファー内の樹林地面積

割合を算出した。バッファーないの樹林地の入力は、自然環境保全基礎調査の植生調査情報提供の1/2.5万植生図のGISデータ(<http://www.vegetation.biodic.go.jp/>, 2013.7 閲覧) を利用し、植生の大区分のうちの河辺林, 溪畔林, 常緑広葉樹林, 常緑広葉樹二次林, 植林地, 竹林, 低木群落, 落葉広葉樹二次林, 落葉広葉低木群落と, 大区分の耕作地のうちの中区分の果樹園と, 大区分の市街地等のうちの残存・植栽樹群地の面積を用いた。ため池の数は, 半径 1km のバッファー内に一部でもかかった池の数を求め, 数に応じて 0~2 のスコアを設定した。規模はビオトープの敷地面積を求め, 広さに応じて 0~3 のスコアを設定した。経過年数はビオトープの完成年度の 3 月末を 0 年とし, 翌年度 4 月から 2012 年 3 月末時点での経過年月を算出した。内部環境構造の 12 項目のうち, 規模と樹林地隣接の項目以外の 10 項目には, それぞれ 0~3 のスコアを設定し, 現地確認で各項目のスコアを判断した。樹林地隣接は, 隣接するかしないかどちらかであるが, 他の内部構造の最大スコアに合わせて隣接する場合は 3 とし, しない場合は 0 とした。

## 5) 統計分析

各生物群の生息状況と, 環境要素との対応関係を明らかにするために統計分析を行った。説明変数となる環境要素の変数がサンプル数(地区数)より多いため, 最初に回帰木分析を行った。回帰木分析では, 目的変数をカエル類, トンボ類, 水生動物, 魚類の各生物群の種数, 種多様度  $H'$  とし, 環境要素を説明変数とした。分析は, 説明変数を全環境要素とした場合と, 内部環境要素のみとした場合の 2 ケース行い, それぞれで選択された変数を抽出した。ただし, トンボ類については, 陸域及び水域ネットワークは生息要因とはならないと考えられるため, 変数から除外した。次に, 回帰木分析で選択された変数を用いて, 種数についてはポアソン回帰モデル分析, 種多様度  $H'$  は重回帰モデル分析を行い, ステップワイズ法による AIC 最小モデルで, 各分類群の生息に影響を及ぼしている変数を求めた。これらの統計処理には, フリーソフト R ver.3.02 を使用し, 回帰木分析は R のパッケージである mvpart を使用した。

表2. ビオトープの環境要素の設定項目及びスコア

項目／スコア・(割合)		判断基準	
立地条件	樹林地割合	(%)	ビオトープの中心から半径 1km 以内の樹林地の面積割合
	ため池数	2	ビオトープの中心から半径 1km 以内にあるため池の個数が 3 個以上
		1	ビオトープの中心から半径 1km 以内にあるため池の個数が 1~2 個
		0	ビオトープの中心から半径 1km 以内にあるため池の個数はなし
経過年数	1~	ビオトープが完成してからの経過年数	
内部環境要素	規模	3	1,000m <sup>2</sup> 以上
		2	500-999m <sup>2</sup>
		1	100-499m <sup>2</sup>
		0	1~99m <sup>2</sup>
	樹林地隣接	3	ビオトープの周囲から 10m 以内にまとまった樹林地が接している
		0	ビオトープの周囲から 10m 以内にまとまった樹林地が接していない
	水深多様性	3	40cm 以上, 20~40cm, 20cm 以下の水深が, 3 段階以上ある。
		2	40cm 以上, 20~40cm, 20cm 以下の水深が, 2 段階程度ある。
		1	護岸からの傾斜がある程度で, 水深の多様性はほとんど無い。
		0	護岸からの傾斜もなく, 水深が均一である。
	開放水面	3	水域に 3.3m <sup>2</sup> の開放水面が 3 カ所以上ある。
		2	水域に 3.3m <sup>2</sup> の開放水面が 2 カ所はある。
		1	水域に 3.3m <sup>2</sup> の開放水面が 1 カ所しかない。
		0	水域に 3.3m <sup>2</sup> の開放水面は 1 カ所も無い。
	水供給	3	年中を通して水の供給が止まることはなく, 水源は自然である。
		2	年中を通して水の供給が止まることはなく, 水源は用水からの取水である。
		1	非灌漑期にビオトープに水が入らない場合がある。
		0	非灌漑期にも灌漑期にもビオトープに水が入らない場合がある。
	池形状	3	水際の線が全て曲線的で複雑な形をしている。
		2	水際の線単純な円や直線的な部分は 1 / 2 未満である。
		1	水際の線の 1 / 2 以上が直線的である。
		0	水際の線が全て直線的である。
	池内構造	3	池内に生物の休息, 隠れ場所となる多孔質空間(粗朶,乱杭,石積等)が 3 種類以上ある。
		2	池内に生物の休息, 隠れ場所となる多孔質空間が 2 種類は設置されている。
		1	池内に生物の休息, 隠れ場所となる多孔質空間が 1 種類は設置されている。
		0	多孔質空間は全く設置されていない。
	水際構造	3	水面の外周になだらかな傾斜のエコトーンが 1 / 3 以上
		2	水面の外周になだらかな傾斜のエコトーンが 1 / 3 ~ 1 / 5 程度
		1	水面の外周になだらかな傾斜のエコトーンがごく一部 (1 / 5 以下) にしかない
		0	エコトーンは無い
	材料	3	池の護岸と池底の材料にコンクリートは使用されていない。
		2	池の護岸と池底あわせて 1/3 程度まで使用している。
1		池の護岸と池底あわせて 1/3 以上, 2/3 以下で使用している。	
0		池の護岸, 池底全てコンクリートが使用されている。	
水生植物	3	高茎、低茎、浮葉、沈水植物の繁茂(1m <sup>2</sup> 以上) をそれぞれ 1 点として 3 点以上ある	
	2	高茎、低茎、浮葉、沈水植物の繁茂(1m <sup>2</sup> 以上) をそれぞれ 1 点として 2 点ある	

		1	高茎、低茎、浮葉、沈水植物の繁茂(1m <sup>2</sup> 以上) をそれぞれ1点として1点ある
		0	水生植物は何も無い
陸域ネットワーク		3	ビオトープ内と周辺地域を、両生類が自由に行き来できる構造となっている。
		2	ビオトープ内と周辺地域を、両生類が行き来できない部分が一部あるが、陸域をつなぐ工夫や草刈りなどの管理方法の工夫により、行き来におおよそ支障は無い。
		1	ビオトープ内と周辺地域を、両生類が行き来できない部分が半分以上ある。
		0	ビオトープ内と周辺地域を、両生類がほとんど、或いは全くできない。
水域ネットワーク		3	入口、出口の両方が常に移動できる構造となっている。
		2	入口、出口のどちらかが移動できない構造となっている。
		1	入口、出口の両方が移動できない構造となっている。
		0	入口、出口の両方が常に移動できない構造となっている。

## (2) 調査結果

### 1) 環境要素

石川県内の23地区のビオトープの環境要素について調査した結果を表3表3に示した。ビオトープがどのような場所に作られているかを示す立地条件の1つとしての樹林地割合は、最大で76%、最小で0%、平均は31%であった。ため池の数は、3個以上の地区は8地区、1~2個の地区は6地区、0個は9地区であった。ビオトープ設置後の経過年数は、長い地区で12年、短い地区で1年であった。

規模(ビオトープ面積)は、最大で5,110m<sup>2</sup>、最小で20m<sup>2</sup>、平均は767m<sup>2</sup>であった。ビオトープ面積と設置後の経過年数との対応関係を図1に示した。ビオトープ面積は、より新しく造成されたものほど有意に減少する傾向があった( $r^2=0.216$ ,  $p<0.05$ , 外れ値のAWを除いた場合は $r^2=0.225$ ,  $p<0.05$ )。

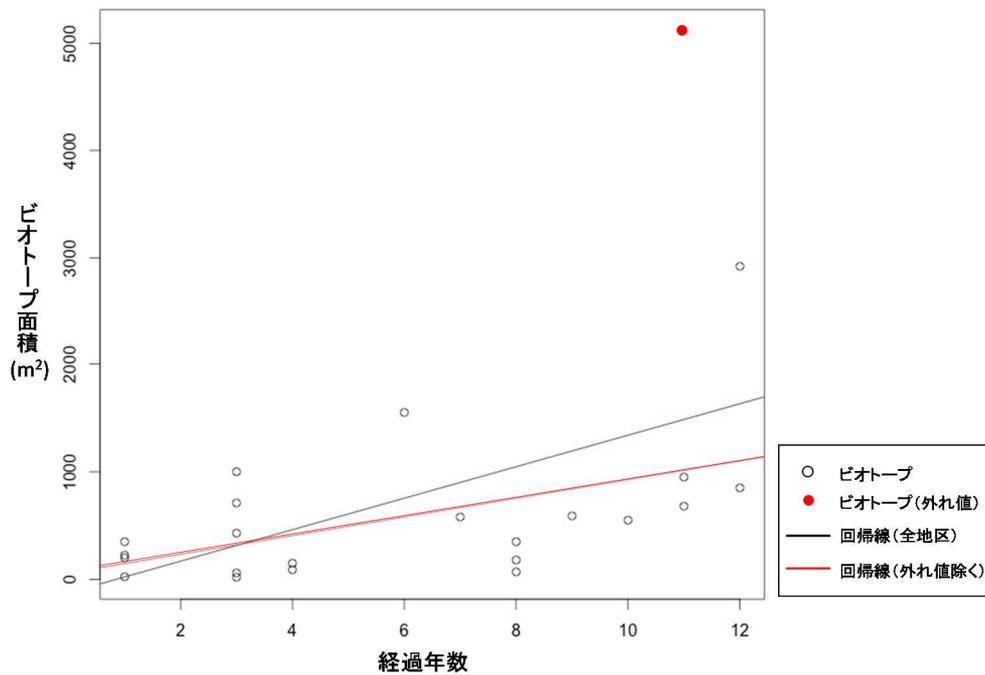


図1. ビオトープ面積と経過年数

樹林地との隣接状況は、樹林地が30%以上の地区であればすべてが隣接しており、樹林地割合10~20%程度のところでは、樹林地に隣接していない地区もあった。水深の多様性は、多様な水深であることを示すスコア3のビオトープは4地区であった。水深が一律なビオトープは、水田をビオトープとして残し、何も手を加えていないものが多かった。開放水面は80%以上のビオトープで確保されていたが、植生遷移が進んでいるため、または植栽されたハスやスイレンなどで一面覆われているため、開放水面がほとんどないビオトープもあった。ビオトープへの水供給は、周囲の丘陵地からのしみ出し水などの自然の水が水源となっているビオトープはごくわずかで、ほとんどは農業用水が水源となっていた。そのため、非灌漑期に水が供給されないビオトープが9地区あった。また、灌漑期も水が供給されない期間のあるビオトープが3地区あり、水生生物の生息場所としての水源が確保されていないビオトープが少なくない状況であった。池の周囲の形状は、曲線的で複雑な形をしているビオトープは3地区と少なく、直線的な形状のビオトープが多かった。池内部に多孔質な空間が形成されるように工夫されたビオトープが2/3あった。水域と陸域の境界である水際の大部分をなだらかな構造にしたビオトープは5地区と20%程度で、池の周囲のほとんどが石や木杭などで固められたビオトープが7地区あった。ビオトープをつくる材料として、護岸部分や水路底部にコンクリートを使用し

ているビオトープが 3 地区あった。水生植物の生育状況は、抽水植物、浮葉植物、沈水植物の全てが生育するビオトープは 7 地区と 1/3 であったが、全く水生植物が生育していないビオトープも 2 地区あった。ビオトープと周辺の水田や丘陵地などをカエル類などの小動物が行き来できるよう、陸域のネットワークに配慮したビオトープは 19 地区と 80%以上であった。しかし、ビオトープの周囲に深いコンクリート水路があり脱出できない、池の護岸が垂直となっていて移動ができないなど、構造的に配慮されていないビオトープが 2 地区あった。ビオトープの池と周辺水路との間を魚類が行き来できるよう、水域ネットワークに配慮したビオトープは 10 地区と 40%であったが、上流、下流とも両方とも行き来できないビオトープは 2 地区であった。

図 2 は各ビオトープの内部環境要素についてレーダーチャートとしてまとめたものである。AW, HR のビオトープはほとんどの項目で高いスコアであったが、他のビオトープはごく一部の機能を除き、ほとんどの機能が満たされていなかった。



図2. 地区別のビオトープ内部環境要素レーダーチャート

表3. ビオトープの環境要素調査結果

地区	立地条件			内部環境要素												計
	経過 年数	樹林地 割合	ため池 *1	規模*2	樹林地 隣接	水深多 様性	開放 水面	水供 給	池形 状	池内 構造	水際 構造	護岸 水路床 材料	水生 植物	陸域ネ ットワ ーク	水域ネ ットワ ーク	
AW	11	44.6%	2(3)	3(5,110)	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	34
HR	6	55.2%	0(0)	3(1,550)	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	33
TR	3	72.3%	0(0)	0(20)	3	0	1	1	0	1	0	3	2	3	3	17
IM	12	6.7%	1(2)	2(850)	3	2	3	1	2	1	2	3	2	3	3	27
KT	10	9.9%	1(2)	2(550)	0	2	3	2	1	2	1	3	3	3	2	24
TC	8	23.2%	1(2)	1(350)	3	2	0	1	0	1	0	2	1	3	2	16
SE	12	45.4%	0(0)	3(2,920)	3	3	3	3	1	1	2	2	3	3	3	30
SN	8	4.7%	0(0)	1(180)	0	2	0	0	2	0	0	3	1	3	2	14
OT	8	0.0%	0(0)	0(70)	0	1	3	2	0	1	1	2	0	1	3	14
YT	7	24.9%	1(1)	2(580)	0	2	3	1	3	2	1	2	2	3	2	23
MN	4	67.3%	2(7)	1(150)	3	1	1	0	1	0	0	3	2	3	2	17
NS	1	45.5%	2(4)	0(25)	3	1	3	1	1	0	2	3	2	1	0	17
HG	3	0.0%	2(8)	1(430)	0	2	3	1	2	0	0	0	2	3	2	16
OO	3	53.7%	2(26)	2(1,000)	3	2	3	2	1	1	1	3	2	3	0	23
TK	1	42.7%	2(4)	1(225)	3	2	3	2	1	0	3	3	3	3	2	26
SD	3	52.7%	2(4)	2(710)	3	3	3	1	3	0	3	3	1	2	2	26
FN	11	0.0%	0(0)	2(950)	0	3	3	0	3	3	1	3	3	3	2	26
FT	9	15.2%	1(2)	2(590)	0	2	3	2	1	2	1	3	2	3	3	24
TD	4	75.7%	2(9)	0(90)	3	2	3	1	2	3	2	3	2	3	2	26
YS	3	54.0%	1(1)	0(60)	3	2	3	2	2	0	3	3	3	3	3	27
FK	1	0.0%	0(0)	1(350)	0	1	3	2	2	1	0	0	1	2	3	16
TE	11	7.8%	0(0)	2(680)	0	2	3	2	0	1	1	3	3	3	3	23
IN	1	0.5%	0(0)	1(200)	0	2	3	1	1	1	0	0	0	3	3	15

\*1( )内は個数, \*2( )内はm<sup>2</sup>

## 2) 生物の生息状況

### ① トンボ類

各ビオトープで出現したトンボ類の種数及び種多様度  $H'$  を表 4 に示した。全地区を合わせて 10 科 40 種のトンボ類の成虫を確認した。ビオトープ単位で見ると平均は 6.9 種で、AW のビオトープの 30 種が突出しており、他のビオトープは多くても 10 種程度であり、トンボの種数は貧弱であった (図 3)。

最新の図鑑である尾園ら (2012) を元に石川県に分布するトンボを抽出すると、合計種数は 64 種となる。そのうち、平地の湿地や浅い水たまり、池沼などに生息する種を上田 (1998) の生息地分類に基づいて取り出すと 48 種となり、これらがビオトープで確認可能な種と考えられる。したがって、AW では今回、春夏秋期に各 1 回ずつの調査で、確認可能な種のおよそ 2/3 が確認されたことになる。個別の池沼でのトンボの出現状況について調べた事例はあまりないが、長田・田畑 (1992) は、一般に、1 つの池で通年で 20 種から 30 種のトンボが見られれば多様な生物空間であると推定されるとしている。これらのことから、今回の調査で 30 種のトンボを確認したビオトープのトンボ相は全体としては豊かであると言って良いであろう。

種多様度  $H'$  は平均は 1.83 で、最大が 3.64、最小が 0.00 であった (図 4)。なお、出現種うち、コバネアオイトトンボは環境省のレッドリストと石川県の絶滅危惧種に、キトンボは石川県の絶滅危惧種に指定された種であるが、いずれも AW のビオトープで確認されたものであった。

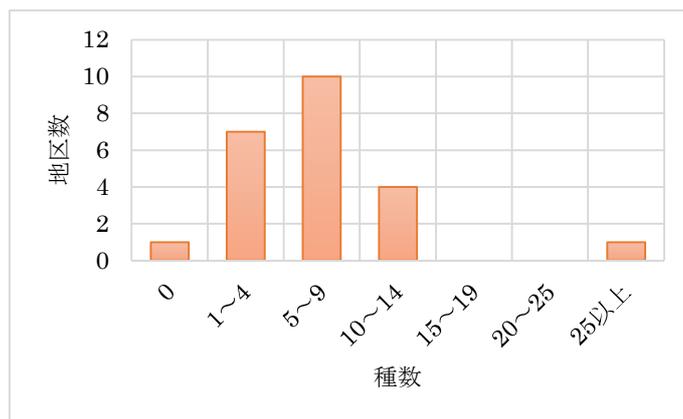


図3. トンボ類出現種数別頻度

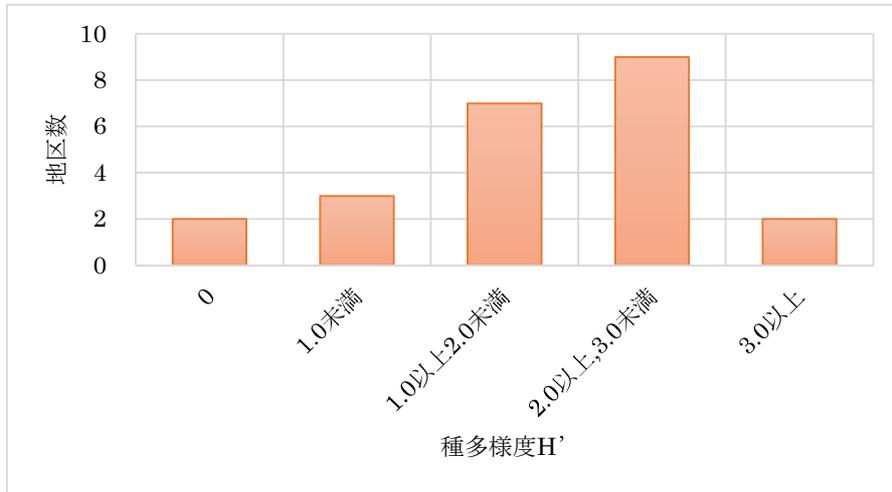


図4. トンボ類種多様度 H' 頻度

表4. 地区別トンボ類出現状況

科名	種名	AW	HR	TR	IM	KT	TC	SE	SN	OT	YT	MN	NS	HG	OO	TK	SD	FN	FT	TD	YS	FK	TE	IN
52	1 アオイトンボ	181			1										3									
	2	オオアオイトンボ	16		4		1					1			2									
	3	コバネアオイトンボ*1,2	2																					
	4 カワトンボ		30																					
	5	ニホンカワトンボ	2	1					1			2	1											
	6	ハグロトンボ	48	16	17																2			
	7	モノサシトンボ	175																		3	14		
	8	イトトンボ	3																					
	9	エゾイトトンボ	66													8								15
	10	クロイトトンボ																						
	11	セスジイトトンボ			1				6								1			3				
	12	オオイトトンボ	10																					
	13	アオモンイトトンボ							2															
	14	アジアイトトンボ	51			17	2		18		4					17			4	9	1			1
	15	ヤンマ																				15		
	16	マルタンヤンマ	12			1		2	2	2						6					1	10		3
	17	ギンヤンマ	4																					
	18	クロスジギンヤンマ	10																					
	19	サナエトンボ	2																		1			
	20	ウチワヤンマ																						
	21	コサナエ	10																					
	22	オニヤンマ	2		1								1				2							
	23	エゾトンボ						1																
	24	ヤマトンボ							1															
	25	トンボ	57																					
	26	チョウトンボ	28	21	1	1	19	3	2		1	11	11	19	2	3		2			2			1
	27	ナツアカネ	23													1								
	28	リスアカネ	36	16			13	7	13	6	4	1	3	11	15		2	29			27	2		1
	29	ノシメトンボ	3				5		20			1				8			24	2		17		6
	30	アキアカネ	1				1																	2
	31	タイリクアカネ																						
	32	コノシメトンボ	1																					
	33	マユタテアカネ	1		1		1																	
	34	ネキトンボ	1																					
	35	キトンボ*1	3																					
	36	コシアキトンボ					1	3								1	1				1			
	37	コフキトンボ	4			1																1		
	38	ショウジョウトンボ	77			1	1		1															
	39	ウスバキトンボ	1													1			30					
	40	ハラビロトンボ	6	3	2		3	1	1		3	10	3	1	1	9	2	5	5	2	4	2		1
41	シオカラトンボ	2	1									1			2	2					6			
42	シオヤトンボ	1			1						2											2		
43	オオシオカラトンボ	40																						
44	ヨツボシトンボ																							
種数(平均:6.9)		30	7	7	7	12	6	10	2	4	6	7	3	3	12	7	3	4	10	5	7	0	7	1
種多様度 H' (平均 1.83)		3.64	2.23	1.81	1.50	2.52	2.25	2.54	0.81	1.86	1.97	2.13	1.12	0.80	3.06	2.75	0.88	1.58	2.19	2.11	2.40	0.00	1.99	0.00

\*1: 石川県の絶滅のおそれのある野生動植物掲載種 2:環境省レッドリスト掲載種

## ② カエル類

カエル類は、全地区を合わせて3科8種のカエル類の成体及び幼体を確認した(表5)。石川県の平地や丘陵地で確認されているカエル類(石川県, 1996)のうち, 確認できなかったのはアズマヒキガエルのみであった。地区別の種数をみると平均は3.0種で, 最大は6種, 最少は1種で, 23地区のうち17地区が3種以下であった。種多様度  $H'$  は平均は1.00で, 最大は2.08, 最小は0.00であった。

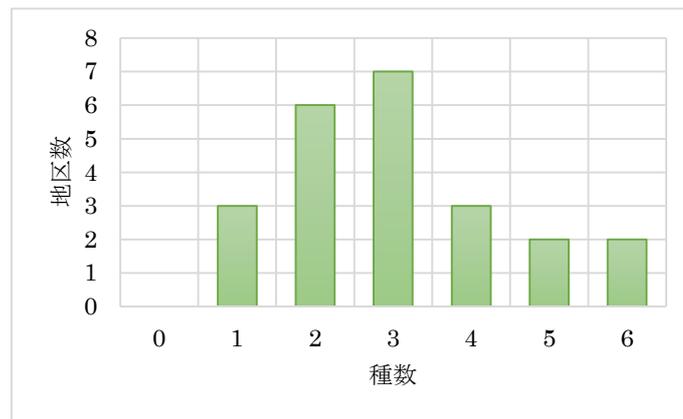


図5. カエル類出現種数頻度

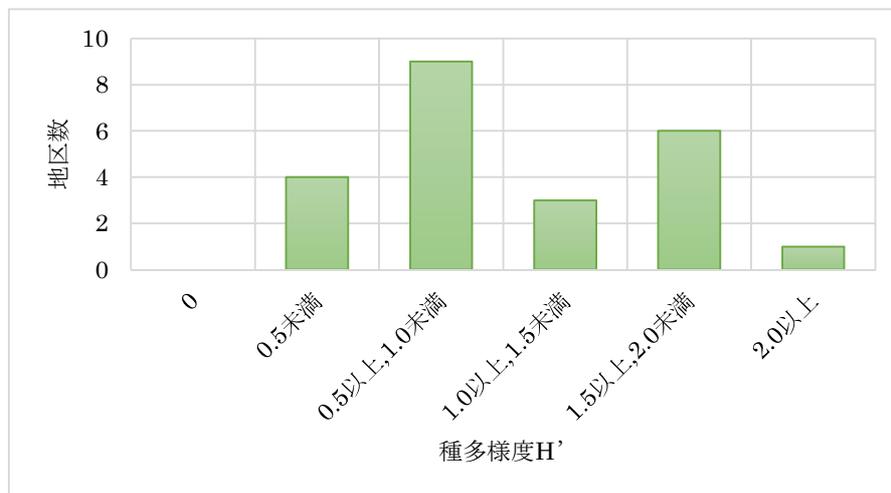


図6. カエル類種多様度  $H'$  頻度

表5. 地区別カエル類出現状況

科名	種名	AW	HR	TR	IM	KT	TC	SE	SN	OT	YT	MN	NS	HG	OO	TK	SD	FN	FT	TD	YS	FK	TE	IN
1	アマガエル ニホンアマガエル	17	16	3	1	8	3	14	4	39	15		13	1	1	3	1	1	2	1	8		7	5
2	アカガエル シュレーゲルアオガエル	6	3					1					4		1		10			2	1		1	
3	モリアオガエル	17										8										3		
4	アカガエル ニホンアカガエル	2	7		1						1			1	12					8	20			
5	ヤマアカガエル			2																				
6	ツチガエル	61																9			3	4	1	
7	トノサマガエル	8	7	2	7	16		3	1	7	48		8	20	3	20	1				13	1	5	1
8	ウシガエル*3		1		8	0		44		1					5									
種数 (平均 : 3.0)		6	2	3	4	2	1	4	2	3	3	1	3	3	5	2	3	2	1	3	6	2	4	2
種多様度 H' (平均 : 1.00)		1.91	1.91	1.56	1.52	0.92	0.00	1.14	0.72	0.75	0.90	0.00	1.44	0.53	1.76	0.56	0.82	0.47	0.00	1.10	2.08	0.72	1.57	0.65

\*3 : 外来生物法指定の特定外来生物

### ③ 水生動物

水生動物の出現種を表6に示した。全地区を合わせて、両生類7種、貝類9種、甲殻類10種、トンボ目14種、コウチュウ目28種、カメムシ目7種、ハエ目1種、カゲロウ目1種の計77種が確認できた。地区別に種数をみると平均は13.9種で、最大は28種、最少は0種で、22地区のうち11地区が10種程度であった。種多様度H'は平均が2.87で、最大は3.59、最小は0.00であった。なお、出現種のうち、ゲンゴロウ、シャープゲンゴロウモドキ、マルコガタノゲンゴロウ、クロゲンゴロウ、ルイスツブゲンゴロウ、ガムシ、ミズスマシ、ヒメミズカマキリ、マルタニシ、オオタニシ10種が環境省や石川県のレッドデータブック掲載種で、アメリカザリガニの1種が要注意外来生物であった。

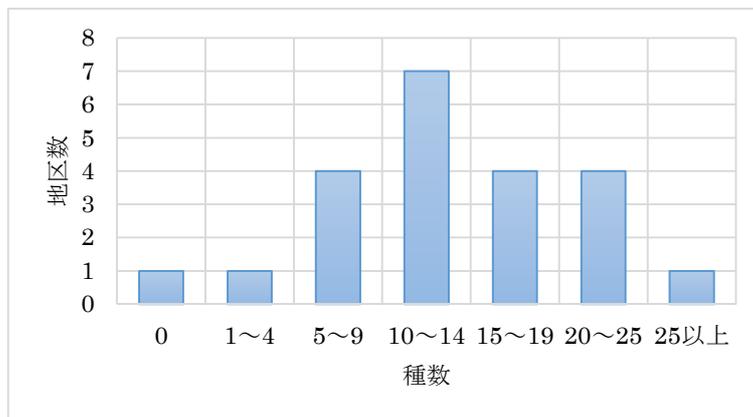


図7. 水生動物出現種数別頻度

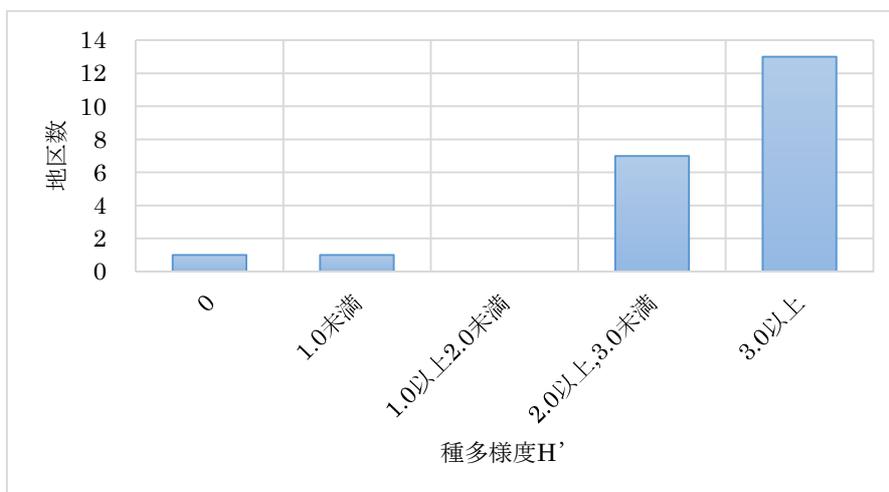


図8. 水生動物種多様度H'頻度

表6. 地区別水生動物出現状況

分類	種名	AW	HR	TR	IM	KT	TC	SE	SN	OT	YT	MN	NS	HG	OO	TK	SD	FN	FT	TD	YS	FK	TE	IN	
1	アジアイトトンボヤゴ	50	15		2			1									1			1	5		1		
2	キイトンボヤゴ																			8	3				
3	サナエヤゴ	3																							
4	ヤンマヤゴ 1	42		10	2			3							3	34				3	4		7		
5	ヤンマヤゴ 2																								
6	ギンヤンマヤゴ				15																	17			
7	マルタンヤンマヤゴ																					9			
8	ショウジョウトンボヤゴ	4																		6	2	1			
9	アカネヤゴ	18	3													1		2		11					
10	シオカラヤゴ									2	30		1		24	30	1	4		30		15	5	4	
11	オオシオカラヤゴ																			5	1				
12	ハグロトンボヤゴ		10																16						
13	ウスバホトンボヤゴ																		1						
14	ゲンゴロウ	11																							
15	マルコガタノゲンゴロウ	1																							
16	シャープゲンゴロウモドキ	2																							
17	クロゲンゴロウ	55																							
18	ヒメゲンゴロウ	6		40	2			10		15	5		5	21	1	7	30	5	16	23	3		1		
19	オオヒエゲンゴロウ	1																							
20	クロズマゲンゴロウ				3																				
21	コシマゲンゴロウ	1		7						2							1				1				
22	キベリクロヒメゲンゴロウ	11																							
23	モンキヤマゲンゴロウ													1											
24	ルイスツブゲンゴロウ														18		1								
25	昆虫類																								
26	コソバゲンゴロウ	13																							
27	チビゲンゴロウ				15																			2	
28	ハイイロゲンゴロウ																						8		
29	ヒメガムシ	3						2		3	1		9	4	2		30		7	1	1	1	1		
30	ガムシ			2																					
31	ガムシ sp.1			1																					
32	キベリヒラタガムシ	10													3		2								
33	ヤマトゴマフガムシ			5	5					1				5								2	2		
34	ゴマフガムシ			1				28		15				3							1	2	20	5	
35	タマガムシ	1						1																	
36	ウスモンケンガムシ									1															
37	ミズスマシ	20																							
38	オオコオイムシ	1	35	15																					
39	コガシラミズムシ				15			5		1										4			5	5	
40	コミズムシ			40		16		31		30					30	30	30		30	20	3	30	10		
41	チビミズムシ							4																	
42	マツモムシ	60		30	1	9		4		2				3	3	30	2		5	18		3			
43	コマツモムシ							8																	
44	アメンボ	35		5		20		6		10	10		5		15		30	15	5	15	10	30			
45	ヒメアメンボ							5										5				15			
46	シマアメンボ							4							3										
47	ミズカマキリ				1															1					
48	ヒメミズカマキリ	1																							
49	ガガンボ																	1							
50	カゲロウ類							5														10			
51	トビケラ類																					10			
52	ツチガエル幼生	35	30																16		30	31	37	5	
53	両生類	30										30													
54	モリアオガエル幼生																								
55	トノサマガエル幼生										10					2	2	30					1	5	
56	アマガエル幼生					1		9			20					3			5				1		
57	シムレーゲル幼生			2																	2	30		30	
58	ウシガエル幼生							6		1				1	2										
59	アカハライモリ	1		15																					
60	オオタニシ	9	10		1						30													60	
61	マルタニシ		3	40	2						10	25	10		5				12				3		
62	モノアラガイ																						10	1	
63	ヒメモノアラガイ	2																							
64	サカマキガイ				2			46			32			20		30	30	15		30	4	17		1	
65	カワニナ		18	10							45		7	15		1			12		2		2	15	
66	ドブガイ										1										1				
67	シジミsp																		4	1				1	
68	ドブシジミ																		30						
69	モクズガニ																								
70	ミシクシ																		2						
71	ミシクシ sp.																								
72	ミズムシ		25																				2		
73	コソバムシ							4															30	1	
74	カイエビ																		30						
75	環形動物																						3		
76	イトミミズ科sp.																								
77	ヒル亜綱sp.	3									2								16			7	1	2	1
78	種数(平均 13.3)	28	9	17	13	6	0	23	0	15	13	2	8	13	15	10	14	21	7	18	24	14	23	13	
	種多様度H(平均2.74)	3.70	2.84	3.43	3.02	2.14	0.00	3.59	0.00	3.06	3.18	0.99	2.11	2.87	3.12	2.66	3.11	3.83	2.40	3.43	3.99	2.95	3.52	3.18	

#### ④ 魚類

魚類は、全地区を合わせて 8 科 16 種を確認した (表 7)。最大は 8 種で、最少は 0 種、平均は 2.4 種で、22 地区のうち 16 地区が 0~2 種と、少なかった。種多様度  $H'$  は、最大が 2.49、最小が 0.00、平均は 0.82 であった。なお、16 種の出現種のうち、トミヨの 1 種が石川県のレッドデータブック掲載種であった。

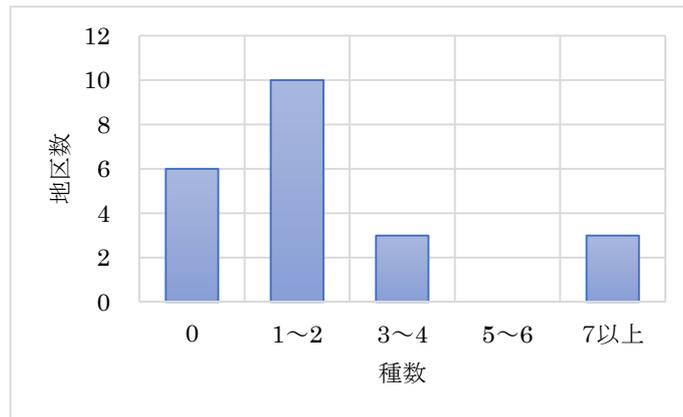


図9. 魚類出現種数別頻度

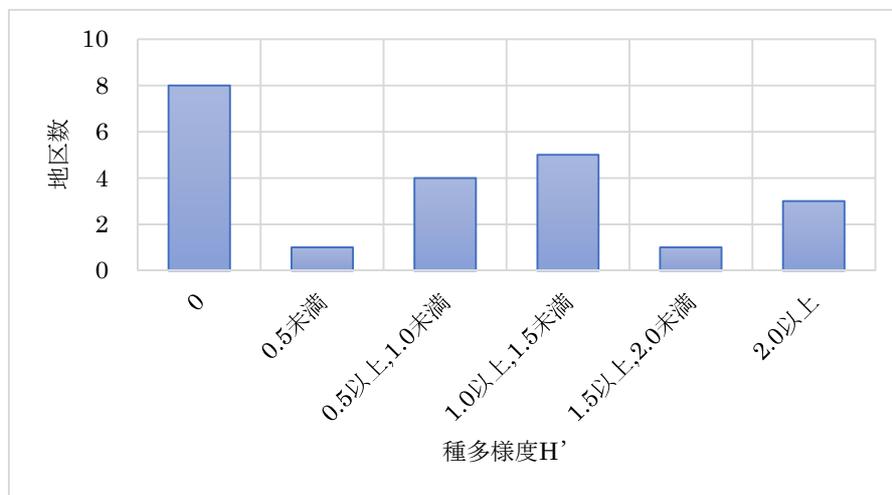


図10. 魚類種多様度  $H'$  頻度

表7. 地区別魚類出現状況

科名	種名	AW	HR	TR	IM	KT	SE	SN	OT	YT	MN	NS	HG	OO	TK	SD	FN	FT	TD	YS	FK	TE	IN
コイ	ギンブナ	1			1	5	12		3								27	1				3	3
	ウグイ																4						9
	タモロコ																6	3					1
	カマツカ																2						
	カワムツ				1																		
	コイ科稚魚								5										1		20		
ドジョウ	ドジョウ		8			1			18	7		2					5	14			4	4	14
	シマドジョウ											2							10				
キュウリウオ	アユ																2						
メダカ	キタノメダカ*2	15					19			34							30					6	2
トゲウオ	トミヨ *1						35																
ハゼ	トウヨシノボリ													4	3			5	2				1
	ウキゴリ													4				1	1				
	スミウキゴリ																						6
	ドンコ																	6				14	
	ハゼ科 sp.								2														3
	種数	2	1	0	2	2	3	0	4	2	0	2	0	0	2	1	0	7	8	2	0	2	4
種多様度 H'	0.34	0.00	0.00	1.00	0.65	1.45	0.00	1.47	0.66	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.11	2.47	0.92	0.00	0.65	1.73	2.49

\*1：石川県レッドデータブック掲載種 \*2：環境省レッドリスト掲載種

### 3) ビオトープの生物多様性に影響を及ぼす環境要素

#### ① トンボ類

トンボ類の種数について、全ての環境要素を説明変数として回帰分析を行った結果を図 11 に示した。ビオトープの規模、樹林地割合、水供給、経過年数、ため池数が選択された。内部環境要素のみを説明変数とした場合は、全変数の場合と同様に規模、水供給が選ばれ、さらに水生植物、材料、開放水面、池内構造も選択された (図 12)。以上の 9 変数についてポアソン回帰分析を行った結果、ステップワイズ法による AIC 最小モデルとして、経過年数、樹林地割合、ため池数、水供給、水生植物の 5 変数を説明変数とするモデルが選ばれた (AIC=107.89)。ただし、水生植物に有意性はなかった。回帰係数がもっとも大きかったのはため池数であった (表 8)。

種多様度  $H'$  についての全変数による回帰分析結果を図 13 に、内部環境要素のみの結果を図 14 に示した。護岸水路底材料と水供給が共通して選ばれ、樹林地割合、経過年数、ため池数が全変数の場合に、水生植物、水際構造、池形状が内部環境要素のみの場合に選択された。これらの 8 変数について重回帰分析を行った結果、AIC 最小モデルとして、経過年数、樹林地割合、ため池数、水供給、水生植物の 5 変数を説明変数とするモデルが選ばれ (AIC=23.74)。このうち、経過年数、樹林地割合のみが有意であった (表 8)。ため池数と水供給は有意ではなかったが、回帰係数は他の変数より大きかった。

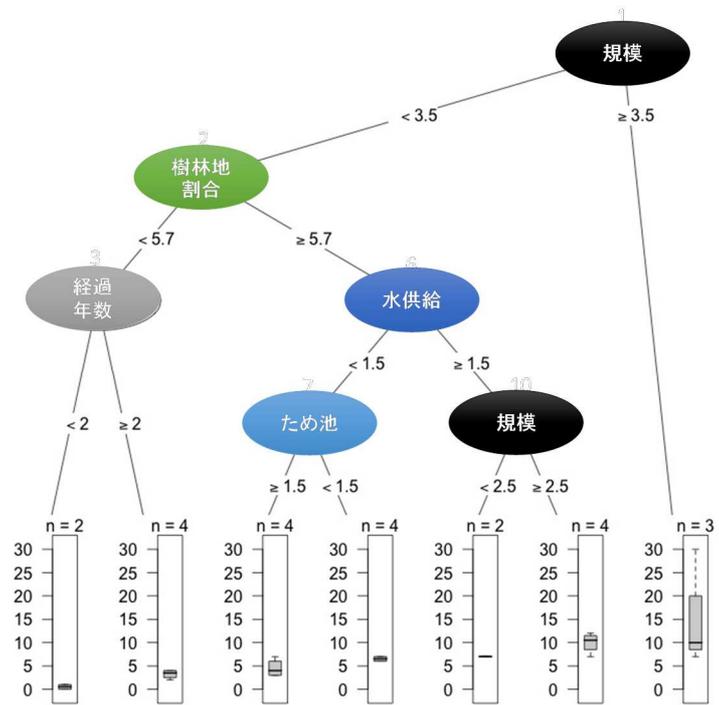


図11. トンボ類種数についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

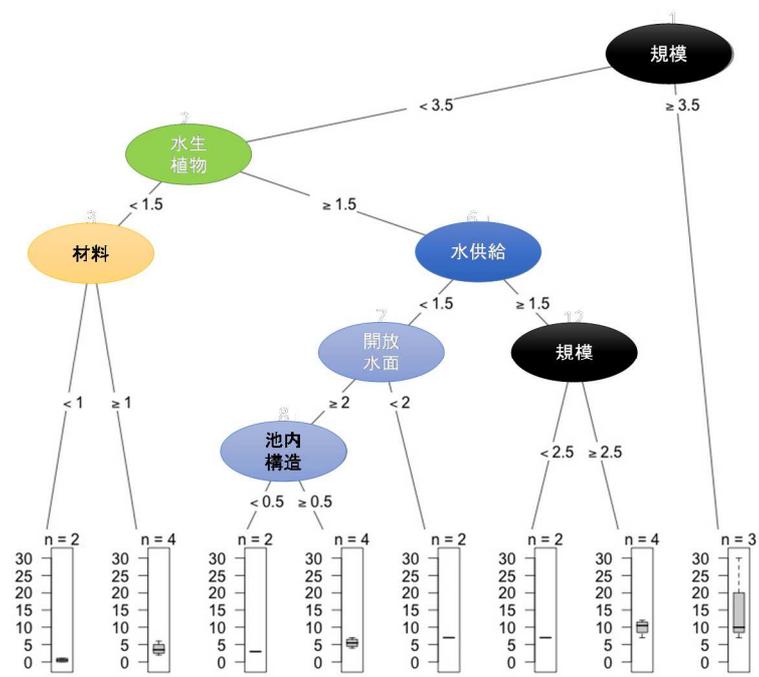


図12. トンボ類種数についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

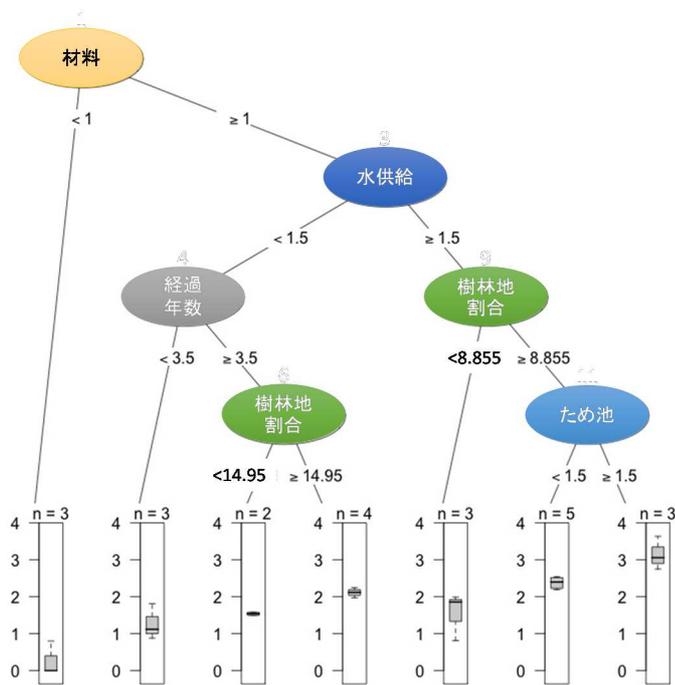


図13. トンボ類種多様度  $H'$  についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

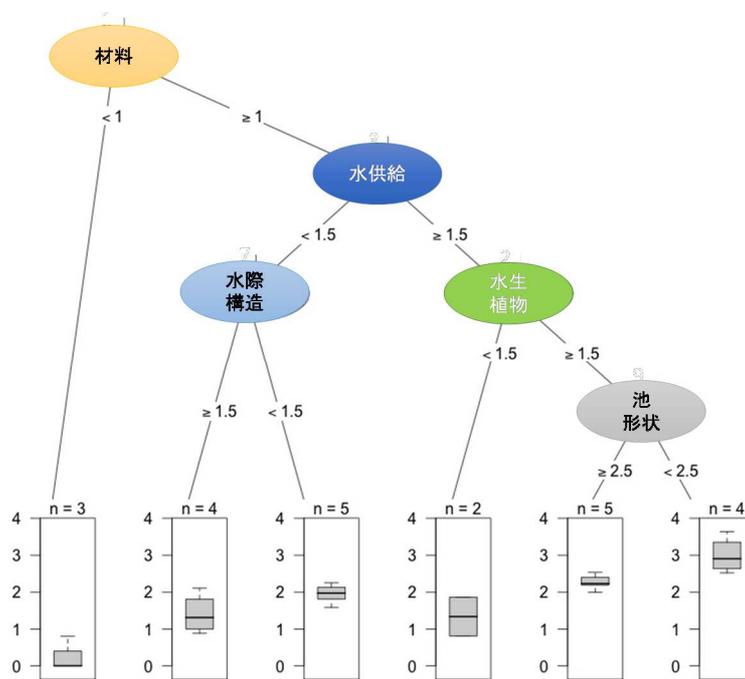


図14. トンボ類種多様度  $H'$  についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

## ② カエル類

カエル類の種数についても同様の手続きで分析を行った。回帰木分析では、水際構造、開放水面、水供給、規模、樹林地割合、池内構造、経過年数の7変数が選択され（図15、図16）、ポアソン回帰分析の結果、水際構造のみが最終的に選択された（AIC=80.37、表8）。

カエル類の種多様度H'では、回帰木分析で樹林地割合、水供給、水際構造、規模、経過年数、ため池数、池形状、水生植物の8変数が選択され（図17、図18）、重回帰分析を行った結果、規模、経過年数、樹林地割合、開水面が最終的に選択された（AIC=159.52）。ただし、水際構造のみが有意であり、他の変数は有意ではなかった（表8）。

なお、カエル類については、陸域ネットワークと水域ネットワークも変数に加えたが、いずれも選択されなかった。

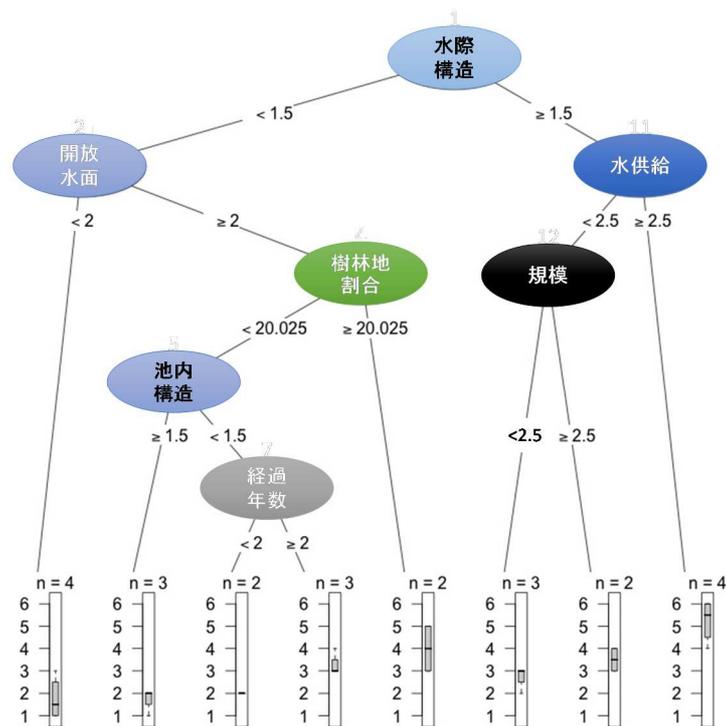


図15. カエル類種数についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

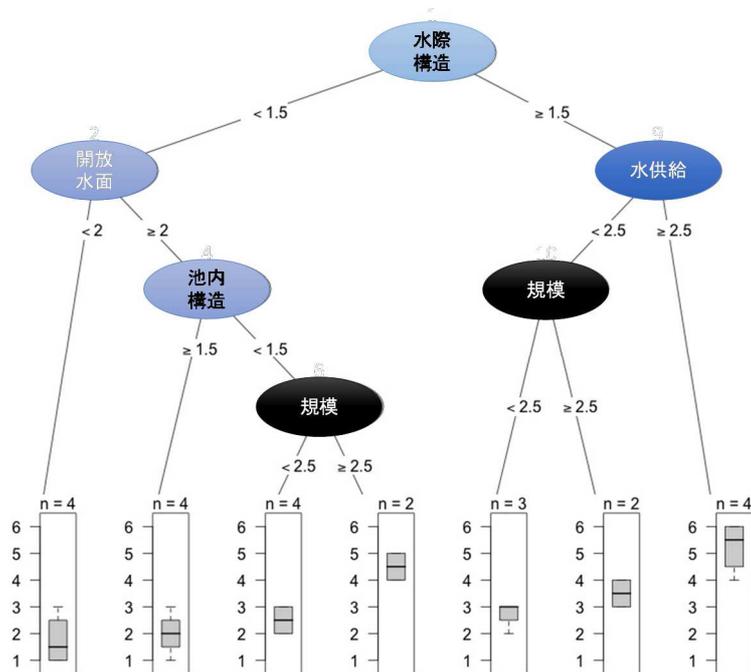


図16. カエル類種数についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

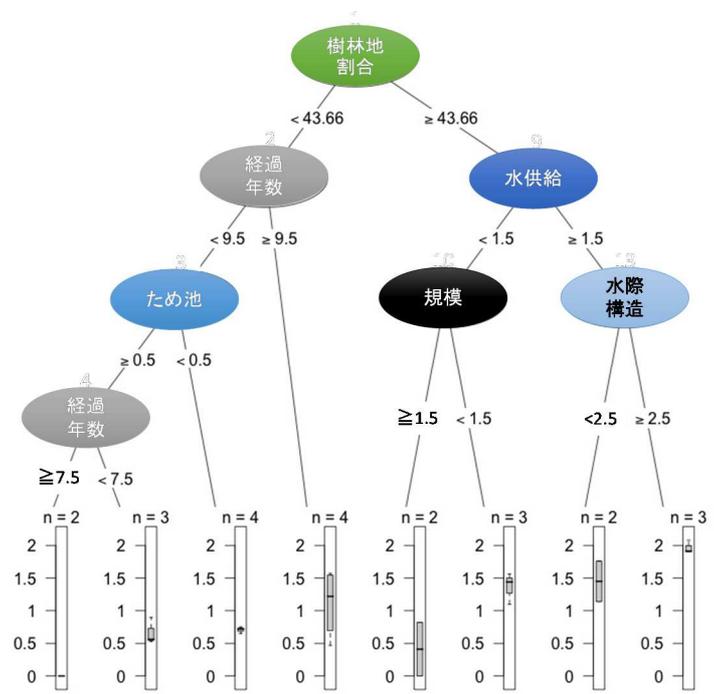


図17. カエル類種多様度 H'についての環境要素（全変数）についての回帰木分析結果

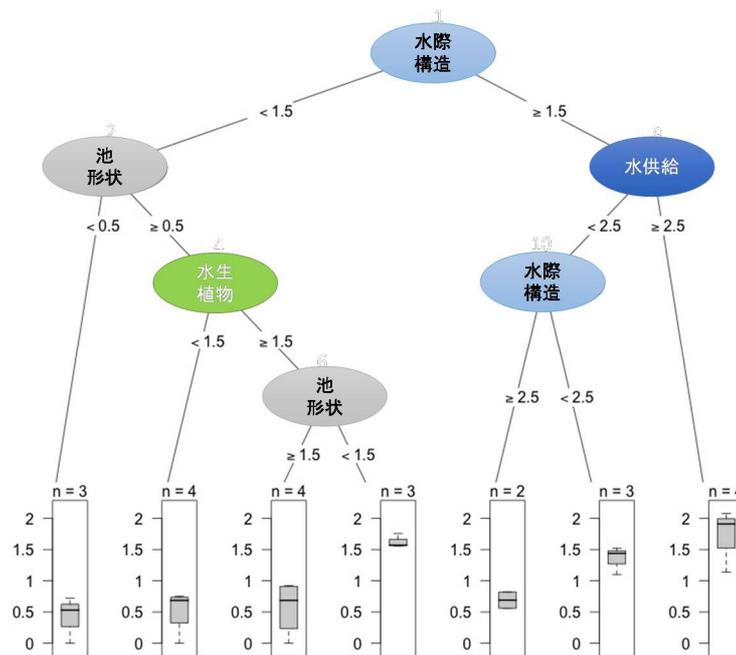


図18. カエル類種多様度  $H'$  についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

### ③ 水生動物

水生動物の種数は、回帰木分析では、経過年数、樹林地割合、規模、開放水面、水際構造、水生植物、水供給、池内構造が選択された（図 19、図 20）。以上の 9 変数についてポアソン回帰分析を行った結果、最終的に、規模、樹林地割合、経過年数、開放水面が選択された（AIC=159.52）。開放水面の割合の回帰係数が最も大きく、規模は有意ではなかった（表 8）。

水生動物の種多様度  $H'$  の回帰木分析では、開放水面、経過年数、水深多様性、樹林地割合、規模、護岸水路底材料、水供給、水生植物、池内構造の 9 変数が選択された（図 21、図 22）。重回帰分析を行った結果、規模、経過年数、樹林地割合、開放水面、護岸水路底材料の 5 変数が選択された（AIC=-14.25）。しかし、有意性があったのは開放水面割合と樹林地割合の 2 変数のみで、他の変数は有意でなかった（表 8）。

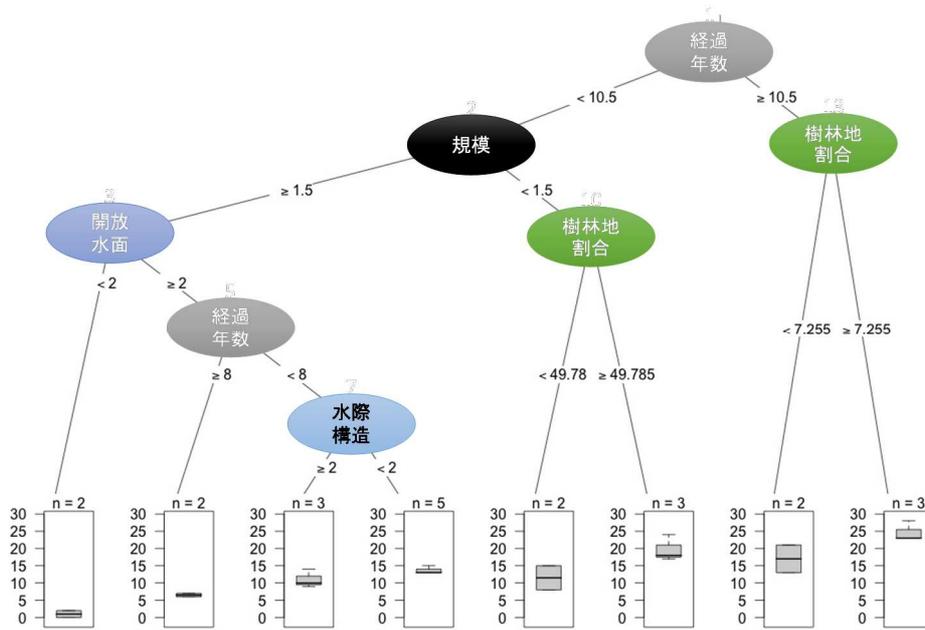


図19. 水生動物種数についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

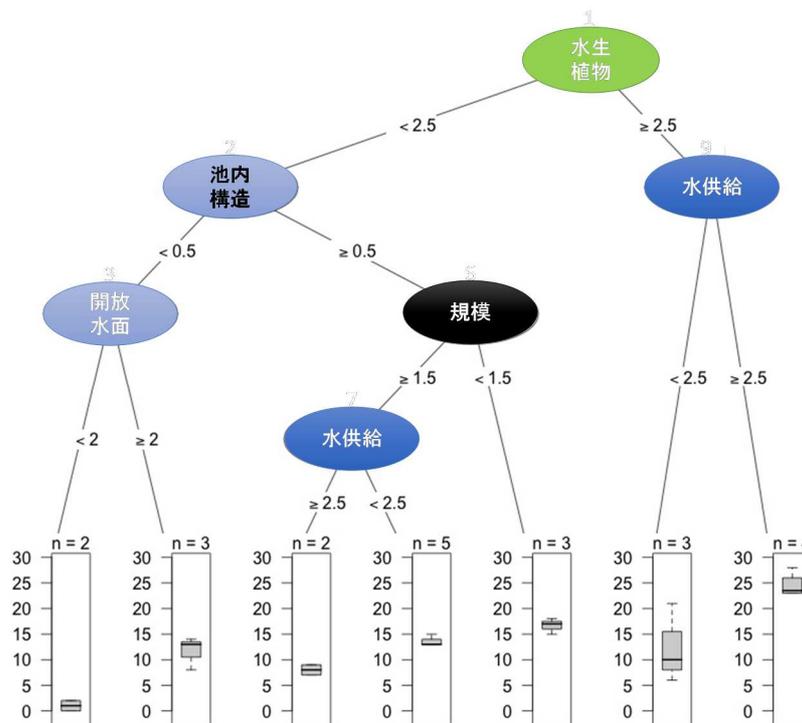


図20. 水生動物種数についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

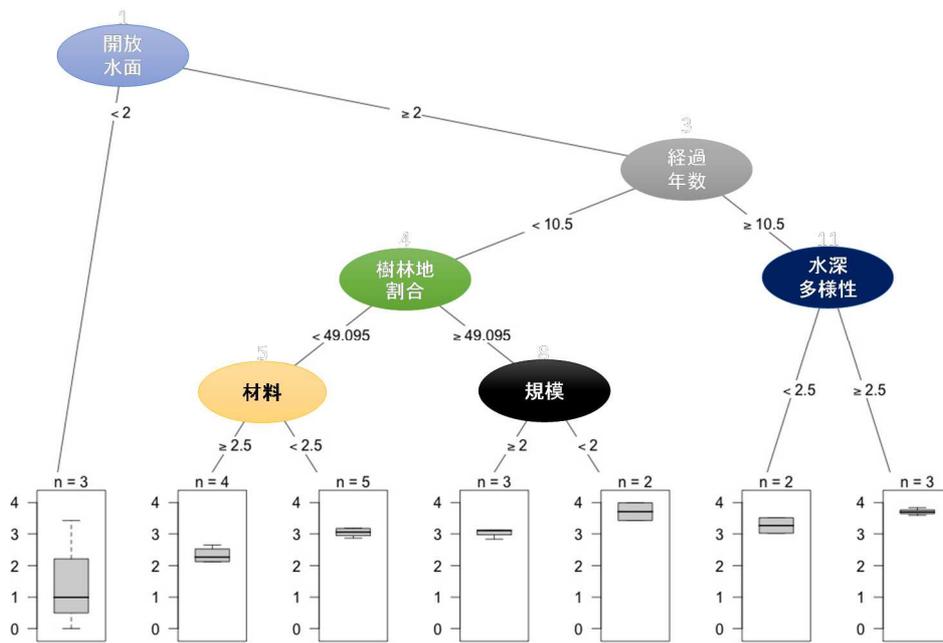


図21. 水生動物種多様度  $H'$  についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

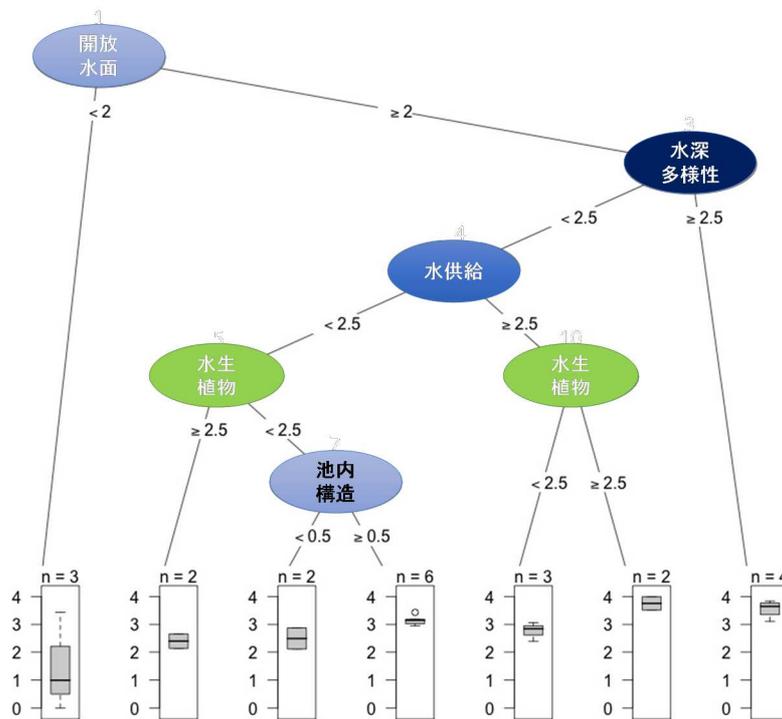


図22. 水生動物種多様度  $H'$  についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

#### ④ 魚類

魚類については、水域ネットワークも加えて分析した。種数は、回帰木分析で池内構造、樹林地割合、水深多様性、経過年数、池形状、樹林地隣接、水域ネットワーク、水生植物が選択された（図 23, 図 24）。以上の 8 変数によりポアソン回帰分析を行った結果、樹林地割合、池内構造の 2 変数が最終的に選択された（AIC=82.57, 表 8）。樹林地割合は、回帰木分析では割合が小さいほど種数が多い傾向を示しており、ポアソン回帰でも個体数を低下させる変数として選択されている。つまり、樹林地割合が小さい場所は丘陵地よりも平野部などの低地の特徴であり、一般に平地の方が魚種が多くなることを反映していると考えられた。

魚類の種多様度  $H'$  では、回帰木分析により池内構造、樹林地割合、水深多様性、経過年数、水際構造、水供給、規模、樹林地隣接、水域ネットワークの 8 変数が選択され（図 25, 図 26）、重回帰分析により、最終的に種数と同様の樹林地割合、池内構造が選択された（AIC=-11.86）。ただし、池内構造は有意ではなかった（表 8）。

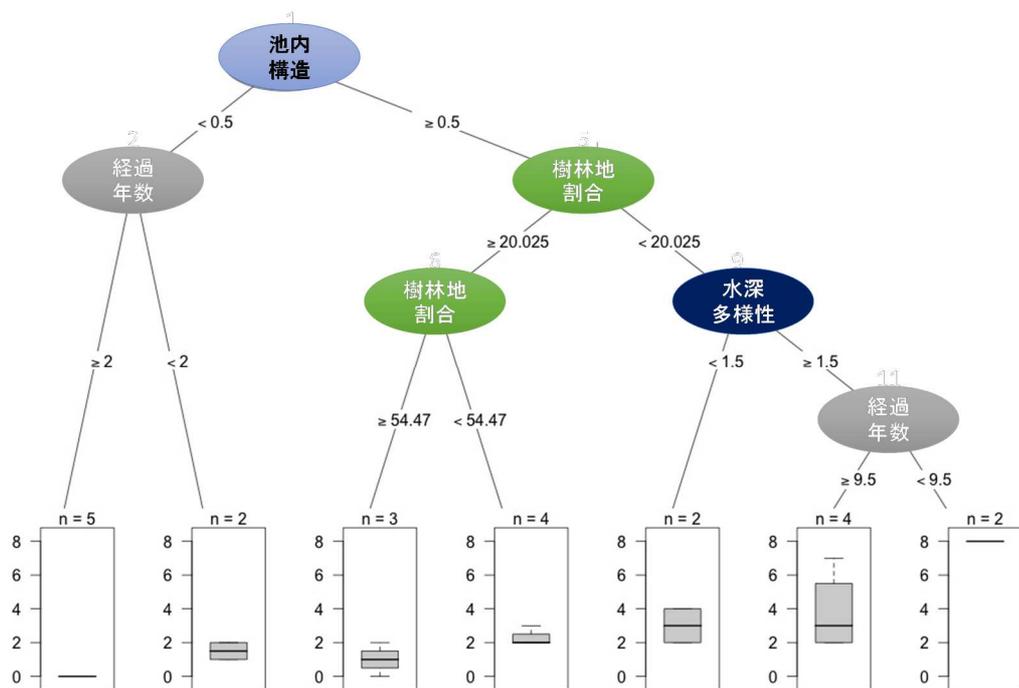


図23. 魚類種数についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

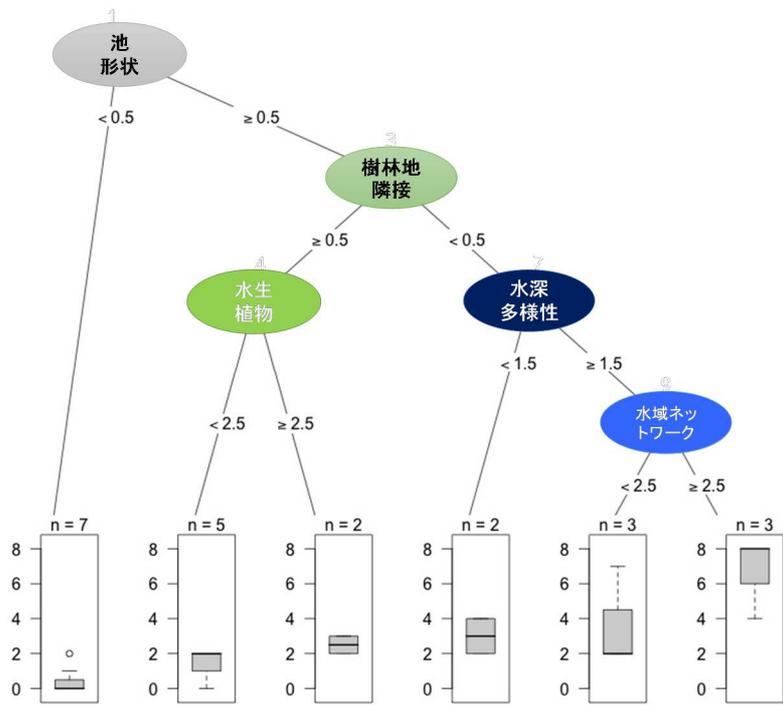


図24. 魚類種数についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

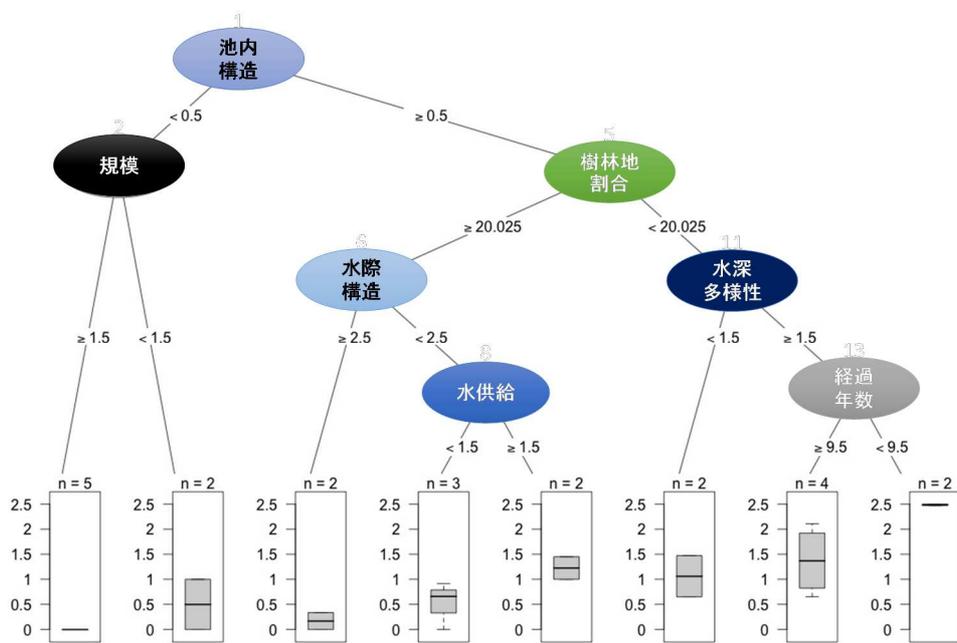


図25. 魚類種多様度  $H'$  についての環境要素（全変数）回帰木分析結果

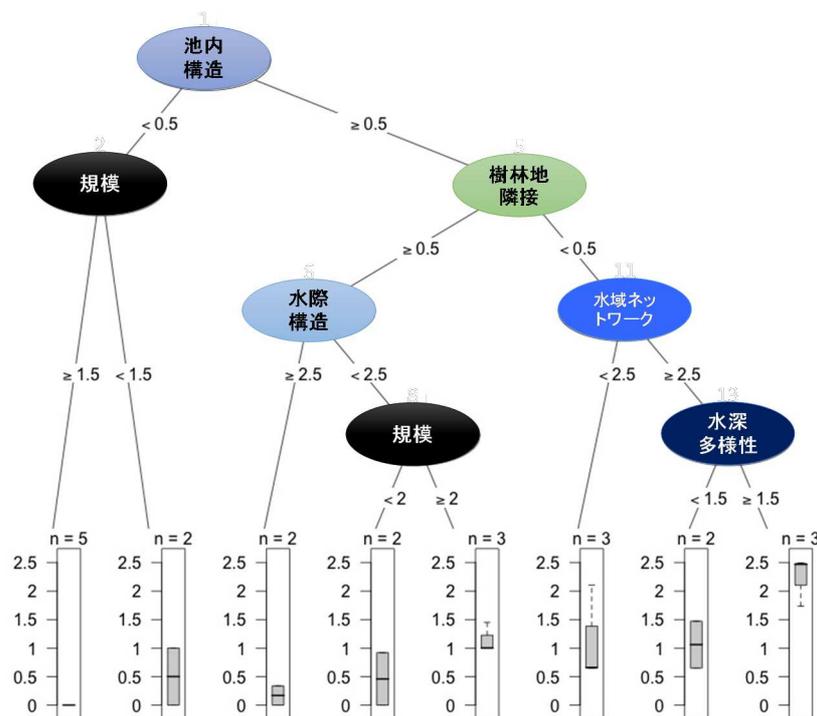


図26. 魚類種多様度  $H'$  についての環境要素（内部環境要素のみ）回帰木分析結果

表8. 一般化線形モデル・ロジスティック回帰分析及び重回帰分析結果

トンボ種数				
Deviance Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.57999	-0.62332	-0.00867	0.50158	1.67809
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-0.475260	0.326353	-1.456	0.145317
経過年数	0.121562	0.027892	4.358	1.31e-05 ***
樹林地割合	0.010656	0.004234	2.517	0.011843 *
ため池数	0.417482	0.110009	3.795	0.000148 ***
水供給	0.191068	0.086610	2.206	0.027378 *
水生動物	0.193256	0.128747	1.501	0.133340
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)				
Null deviance: 88.266 on 22 degrees of freedom				
Residual deviance: 16.173 on 17 degrees of freedom				
AIC: 107.89				
トンボ種多様度 $H'$				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.88777	-0.36871	0.02598	0.22126	0.81699

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.465619	0.367500	-1.267	0.22224
経過年数	0.111541	0.037180	3.000	0.00805 **
樹林地割合	0.015418	0.005315	2.900	0.00995 **
ため池数	0.313989	0.159114	1.973	0.06494 .
水供給	0.230626	0.112149	2.056	0.05543 .
水生動物	0.228425	0.151359	1.509	0.14962

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5348 on 17 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7299, Adjusted R-squared: 0.6504

F-statistic: 9.187 on 5 and 17 DF, p-value: 0.0002227

AIC=-23.74

### カエル種数

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.31677	-0.45056	-0.07216	0.42571	1.24526

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	0.7437	0.2087	3.563	0.000366 ***
水際構造	0.2519	0.1051	2.398	0.016482 *

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 15.4192 on 22 degrees of freedom

Residual deviance: 9.6719 on 21 degrees of freedom

AIC: 80.37

### カエル種多様度 H'

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.80009	-0.42621	0.03503	0.40614	0.93725

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.645045	0.194809	3.311	0.00367 **
樹林地割合	0.006723	0.005023	1.338	0.19654
ため池数	-0.236183	0.143453	-1.646	0.11612
水際構造	0.289028	0.109428	2.641	0.01610 *

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5212 on 19 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4012, Adjusted R-squared: 0.3066

F-statistic: 4.243 on 3 and 19 DF, p-value: 0.01872

AIC=-26.37

### 水生動物種数

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.7474	-1.5070	-0.1395	1.2969	3.0139

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	0.911404	0.371036	2.456	0.01403	*
規模	-0.120938	0.072001	-1.680	0.09302	.
經過年数	0.059764	0.020078	2.977	0.00291	**
樹林地割合	0.007267	0.002479	2.931	0.00338	**
開放水面	0.506448	0.115626	4.380	1.19e-05	***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)  
Null deviance: 92.166 on 21 degrees of freedom  
Residual deviance: 57.073 on 17 degrees of freedom  
(1 observation deleted due to missingness)  
AIC: 159.52

### 水生動物種多様度 H'

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.86721	-0.31899	-0.02537	0.26771	1.35034

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	0.769093	0.655739	1.173	0.25802	
規模	-0.246827	0.190517	-1.296	0.21351	
經過年数	0.121739	0.059994	2.029	0.05942	.
樹林地割合	0.019256	0.007883	2.443	0.02657	*
開放水面	0.821460	0.181231	4.533	0.00034	***
護岸床材料	-0.339254	0.202350	-1.677	0.11305	

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.6457 on 16 degrees of freedom  
(1 observation deleted due to missingness)  
Multiple R-squared: 0.6283, Adjusted R-squared: 0.5122  
F-statistic: 5.409 on 5 and 16 DF, p-value: 0.004225  
AIC=-14.25

### 魚類種数

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.0977	-1.0845	-0.5711	0.5965	2.1367

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	0.788573	0.270966	2.910	0.003612	**
樹林地割合	-0.023086	0.006256	-3.690	0.000224	***
池形状	0.437715	0.133721	3.273	0.001063	**

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)  
Null deviance: 55.277 on 21 degrees of freedom  
Residual deviance: 30.454 on 19 degrees of freedom  
(1 observation deleted due to missingness)  
AIC: 82.571

### 魚類種多様度 H'

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.9728	-0.5452	-0.1417	0.5202	1.2750
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	0.97285	0.28805	3.377	0.00316	**
樹林地割合	-0.01481	0.00582	-2.544	0.01981	*
池形状	0.25333	0.14266	1.776	0.09178	.
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0.7171 on 19 degrees of freedom (1 observation deleted due to missingness)					
Multiple R-squared: 0.3327, Adjusted R-squared: 0.2624					
F-statistic: 4.736 on 2 and 19 DF, p-value: 0.02144					
AIC=-11.86					

### 3) ビオトープの生物多様性を高める上で重要な環境要素

以上の分析結果を表9にまとめた。立地条件とした経過年数、樹林地割合は、全ての分類群で種数あるいは多様度のいずれか、またはその両方で重要な要因として選択されていた。周辺のため池の数は、トンボ類とカエル類で重要な要因となっていた。周辺のため池は、新しく造成されたビオトープへの種の供給源としての役割を持っており、経過年数も造成後の年数が長いほど周囲から移動してくる確率が高くなることを反映したものであろう。樹林地割合は、トンボ類とカエル類では、特定の生育ステージで樹林地を必要とするものが多いことが選択された理由の1つであろう。魚類については、先述したように、むしろ樹林地面積が小さいことが低地平野部の指標となることで選択されたものと思われる。ビオトープの規模は、回帰木分析ではいずれの分類群でも選択されたが、ポアソン回帰や重回帰分析では、最終的に選択されなかった。

ビオトープの池の内部環境を示す要因としては、回帰木分析では水供給、池内構造、水際構造、水生植物が全分類群で選択されていたが、最終的には、水供給と水生植物はトンボ類で、水際構造がカエル類で、池内構造は魚類で選択されただけであった。この他、水生動物では開放水面の割合が種数で、材料が多様度で最終的に選択されていた。このように、重要な内部環境要素は分類群によって異なっており、結局、多様な生物が生息するビオトープとするには、少なくとも今回検討した環境要素のいずれについても配慮することが望ましいと考えられる。そこで、内部環境要素の合計と、生物分類群毎の生物種数と多様度指数H'の最大値を1として基準化した4分類の合計値とした数を図27、図28に示した。内部環境要素合計点と、

生物種数及び種多様度 H' の 4 分類の合計点との関係をみたところ、有意な正の相関がみられた ( $p<0.01$ )。

表9. 統計分析により選択されたビオトープの生物多様性に影響を及ぼす環境要素

環境要素		トンボ類		カエル類		水生動物		魚類	
		種数	種多様度 H'	種数	種多様度 H'	種数	種多様度 H'	種数	種多様度 H'
立地条件	経過年数	0.12*** ○ —	0.11** ○ —	○ —	○ —	0.06** ○ —	0.12 ○ —	○ —	○ —
	樹林地割合	0.01* ○ —	0.01** ○ —	○ —	0.01 ○ —	0.01** ○ —	0.02* ○ —	0.02*** ○ —	-0.01* ○ —
	ため池の数	0.42** ○ —	0.31 ○ —	—	-0.24 ○ —	—	—	○ —	—
内部環境要素	規模	○ ○		○ ○	○	-0.12 ○ ○	-0.25 ○		○ ○
	樹林地隣接							○	○
	水深多様性						○ ○	○ ○	○ ○
	開放水面	○		○ ○		0.51*** ○ ○	0.82*** ○ ○		
	水供給	0.19* ○ ○	0.23 ○ ○	○ ○	○ ○	○	○		○
	池形状		○		○			○	
	池内構造	○		○ ○		○	○	0.44** ○	0.25 ○ ○
	水際構造		○	0.25* ○ ○	0.29* ○ ○	○			○ ○
	護岸床材料	○	○ ○				-0.34 ○		
水生植物	0.19 ○	0.23 ○		○	○	○	○		
陸域ネットワーク	—	—			—	—	—	—	
水域ネットワーク	—	—			—	—	○	○	

上段数字は、ポアソン回帰分析、重回帰分析により選択された環境要素の回帰係数、

\* :  $p<0.05$  \*\* :  $p<0.01$  \*\*\* :  $p<0.001$

下段の○は、回帰分析で選択された環境要素（左側は立地条件、内部環境要素の全てを説明変数とした場合、右側は内部環境要素のみを説明変数とした場合）

— : 分析に用いなかった要素

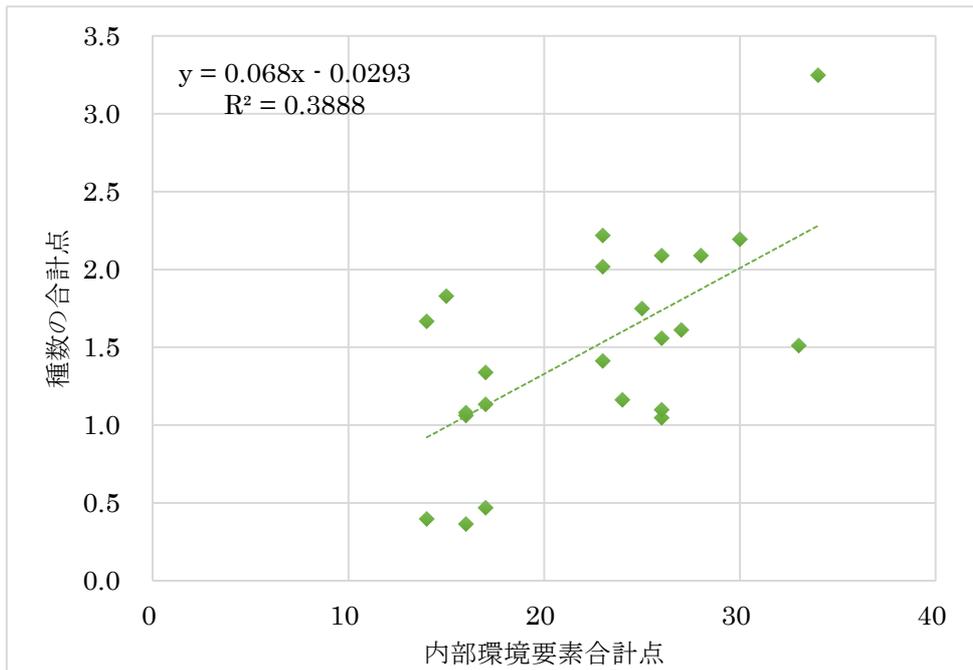


図27. 内部環境要素合計点と種数

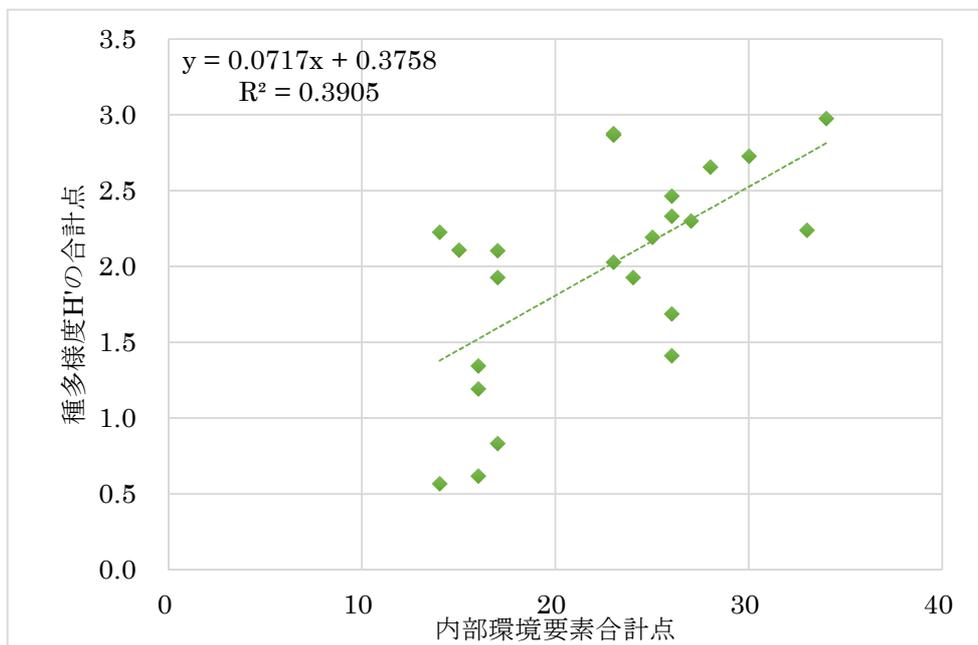


図28. 内部環境要素合計点と種多様度 H'

### 第3節 自然に親しむ空間としてのビオトープの評価

地域住民が自然に親しむ空間として整備されているかどうかという交感価値の観点で現状を評価した結果について以下に述べる。

#### (1) 調査、分析の方法

交感価値の観点から設定した評価項目を表10に示した。各項目とも0～2の3段階のスコアを設定し、現地調査を行った。現地調査は2013年6月～7月に実施し、ビオトープが設置された対象集落のビオトープに一番近い人家までの距離をレーザー距離計により計測した後、項目ごとに設定したスコアに従い目視による評価の記録を行った。各スコアの合計を算出し、満点の14に対する指数を0～1で算出し、ビオトープの交感価値機能指数とした。

表10. ビオトープの交感価値を評価する項目とスコア

項目	スコア	スコア判断基準
接近性	2	水辺に近づけるところ（幅1m/1カ所）が2カ所以上ある。
	1	水辺に近づけるところ（幅1m/1カ所）が1カ所以上ある。
	0	水辺に近づけるところ（幅1m/1カ所）がない。
休息	2	ビオトープ内に座ってながめられるところが2カ所以上ある。
	1	ビオトープ内に座ってながめられるところが1カ所ある。
	0	ビオトープ内に座ってながめられるところがない。
周辺景観	2	視界に交通量の多い道路や視界を遮るような工場等が何もない。
	1	視界に交通量の多い道路や視界を遮るような工場等があるが、ビオトープに隣り合っていない。
	0	視界に交通量の多い道路や視界を遮るような工場等があり、ビオトープと隣り合わせである。
音	2	風、鳥の音が聞こえ、人工の音はほとんど聞こえない。
	1	風、鳥の音が聞こえ、人工の音はするが気にならない程度である。
	0	人工の音しかしない。
立地	2	対象集落の一番近い人家から100m以内にある。
	1	対象集落の一番近い人家から100～500m内にある。
	0	対象集落の一番近い人家から500m以上離れている。
自然度	2	園芸種の植物は植栽されていない。
	1	1種のみ園芸種の植物が植栽されている。
	0	2種以上園芸種の植物が植栽されている。
安全性	2	人が近づく場所の池の水深は浅い。危険な場所には近づけないようになっている。

1	人が近づく場所の池の水深が深い場所もあるが、落ちて子どもがあがれるよう、法面の傾斜は緩くなっている。
0	水深が深い場所があり、法面の傾斜が急になっている。橋や柵など老朽化が進んでいる。

## (2) 調査結果

### 1) 各地区ビオトープの現状評価

各地区のビオトープについて交感価値の評価結果を表 11 に示した。各交感価値のスコアの最高点 14 点が 1 となるよう、各地区の交感価値機能指数を算出した。

表11. ビオトープの交感価値の評価調査結果

地区	接近性	休息	周辺 景観	音	立地	自然 度	安全 性	合計	交感価値 機能指数
AW	2	2	2	2	0	1	1	10	0.71
HR	2	2	2	1	2	1	2	12	0.86
TR	2	2	2	2	2	2	2	14	1.00
IM	0	0	1	1	1	2	0	5	0.36
KT	2	2	2	2	1	0	2	11	0.79
TC	0	0	1	2	1	2	0	6	0.43
SE	2	2	1	1	1	1	1	9	0.64
SN	0	0	2	2	0	2	0	6	0.43
OT	0	1	0	0	0	2	0	3	0.21
YT	2	2	1	2	2	0	2	11	0.79
MN	0	2	2	2	0	2	1	9	0.64
NS	0	0	1	2	2	2	0	7	0.50
HG	2	2	2	2	2	1	2	13	0.93
OO	2	2	1	2	0	2	1	10	0.71
TK	2	2	2	2	1	2	2	13	0.93
SD	2	2	2	0	1	2	1	10	0.71
FN	1	2	1	2	1	1	1	9	0.64
FT	0	0	1	2	0	2	0	5	0.36
TD	2	2	2	1	0	2	1	10	0.71
YS	2	2	2	2	2	2	2	14	1.00
FK	2	2	1	2	1	1	1	10	0.71
TE	2	2	2	1	2	2	2	13	0.93
IN	2	1	0	0	1	0	2	6	0.43

水辺への「接近性」については、水辺に近づけるところが2箇所以上ある施設が15地区で全体の65%であった。近づくための工夫としては、水辺への階段（図29-a,b）や緩い傾斜の設置（図29-b）、池が深い場所では観察デッキを設置する（図29-c）など、水辺に近づいて生物観察ができるように工夫されていた。そのような工夫が全くないビオトープも7地区（30%）あった。特に調整池内に設置されたビオトープは、調整池が深く危険であるためフェンスで囲まれており、フェンス越しに眺めるしかない状態であった（図29-d）。

	
<p>階段が設置され、水辺に近づける。</p>	<p>水際は緩い傾斜にしている。</p>
	
<p>水の中をのぞけるよう、観察デッキが設置されている。</p>	<p>フェンスがあり水辺に近づけない。</p>

図29. 水辺への接近性

「休息」という観点では、ビオトープ内に座って眺められるところが2カ所以上あるビオトープは16地区と70%であった。座って眺める場所としては、ベンチ（図30-a）、スツール、四阿など、休息を目的に設置した施設もあったが、特に施設を設置しなくても、護岸の傾斜が緩く草刈りも行われて、座って休息できる場合（図30-b）も加点の対象とした。座って休息するところが全くないビオトープは5カ所（22%）あった。このようなビオトープは、休息施設もなく、草刈りがされずに護岸に座ってもビオトープを眺める状況にはないもの（図30-c）や、深い排水路に囲まれており、座ると危険な場所もあった（図30-d）。

	
<p>設置されたデッキとベンチから眺められる。</p>	<p>護岸や道沿いでも座っても眺められる。</p>
	
<p>座っても眺めるビオトープが見渡せない。</p>	<p>深い排水路に囲まれ、休息する場所が無い。</p>

図30. ビオトープの休息のしやすさ

「周辺景観」については、視界に人工的なものが入らないように工夫されているかという観点で評価した。いずれのビオトープも周辺に田園風景が広がっており、丘陵

地や遠くの山並みを眺めることができた (図 31-a,b)。しかし、9 地区のビオトープでは、幹線道路や工場などが大きく視界に入り (図 31-c), さらに 2 地区では人工物が隣接し (図 31-d), ビオトープにいて安らぎを感じられるような空間ではなかった。



図31. ビオトープの周辺景観

「音」については、風や鳥の鳴き声など自然音しか聞こえない静かな場所にあるビオトープは 15 カ所 (65%) であったが、車や工場の音など人工音しか聞こえない場所が 3 カ所 (13%) あった。「立地」は集落からの距離の近さによって評価した。ほ場整備事業での対象集落の一番近い人家から 100m 以内の距離にあるビオトープは 7 カ所 (30%), 100m から 500m の範囲が 9 カ所 (40%), 500m 以上離れた地区が 7 カ所 (30%) で、人家からは比較的離れた場所にあるビオトープが多かった。

「自然性」は園芸品種が植栽されているかどうかを判断基準とした。園芸品種の植栽が一切見られなかったビオトープは 14 カ所 (61%) と多くを占めていたが、たとえば、サクラやモミジなどの園芸種の樹木が植栽されたビオトープ (図 32-a), ビオトープ内の池にスイレンやハスなどが植栽されたビオトープ (図 32-b,c) など、園芸

品種が植栽されているビオトープも 8 カ所 (39%) あった。樹木は園芸種であっても、ビオトープ内に陰影をもたらし、景観的にも生物の生息空間としても多様な環境をもたらすため評価される工夫であるため、多くのビオトープで植栽されていた。植栽する樹木を地域の野生種に限るような配慮がされた例 (図 32-d) は多くなかった。また、池の中に園芸植物を植栽している場合は、多くの場合、夏の繁茂期には植栽された植物で開放水面がほとんど無くなるような状態が見受けられた。



図32. ビオトープの自然性

「安全性」の面では、水深が深い場所がほとんどなく、子供だけでも安全に遊べると判断でき、施設の老朽化がないビオトープは 9 カ所 (39%) しかなく、池の法面の傾斜が緩く、大人と一緒にいれば安全が確保できると判断されたビオトープと合わせても 17 カ所 (74%) であった。施設の老朽化 (図 33-a) や、ビオトープの設置場所の関係上、池の中に落ちたら上がりにくい危険なビオトープ (図 33-b) が 6 カ所 (26%) あった。

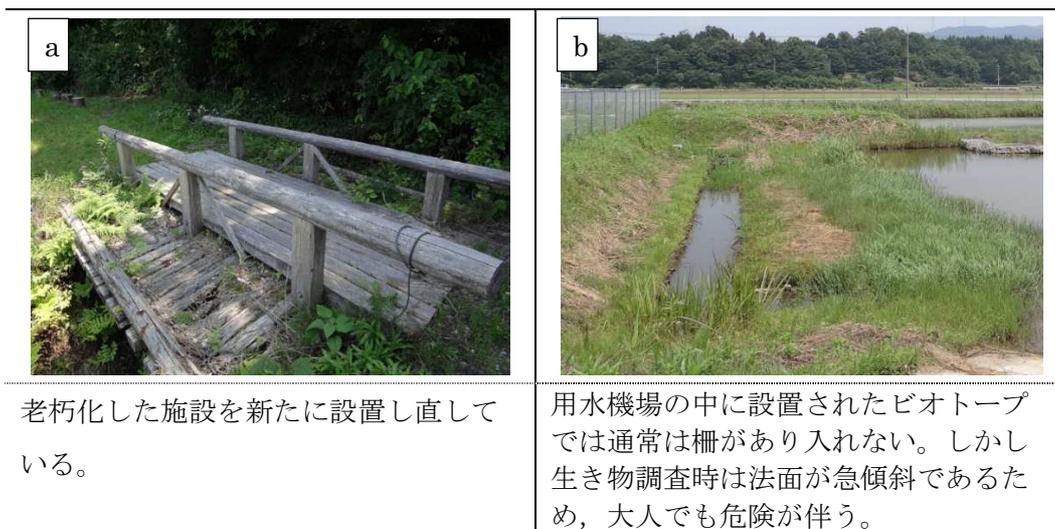


図33. ビオトープの安全性

以上の結果をまとめたものが図 34 である。YS のビオトープは全ての項目を満たしていたが、それ以外のビオトープでは、一部の項目、あるいは多くの機能が満たされていないかった。

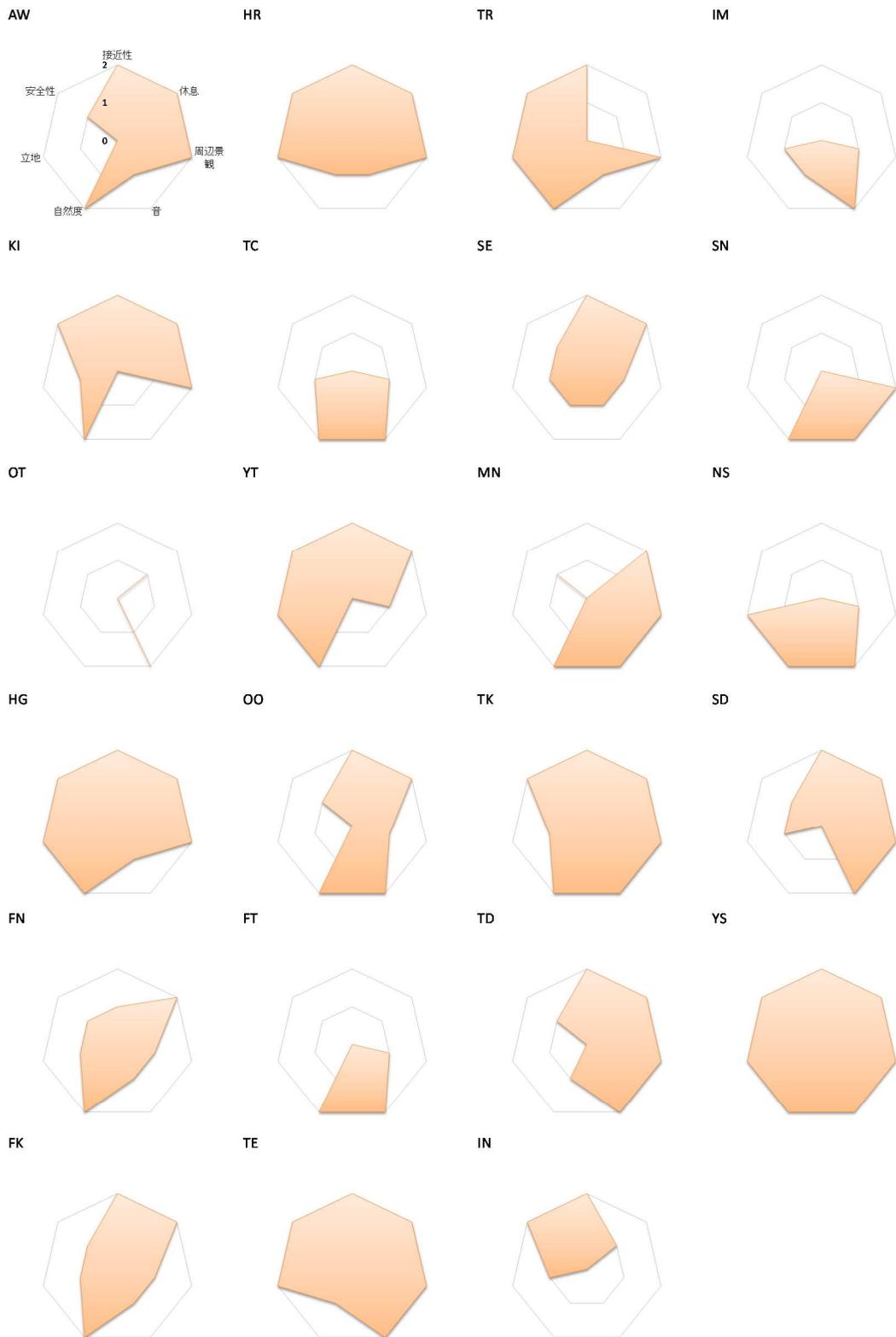


図34. ビオトープの交感価値評価レーダーチャート

## 2) 交感価値機能指数による評価結果と地域住民行動、意識の関係

上で検討した交感価値機能指数と、地域住民へのアンケート調査で明らかになった地域住民の行動及び意識等との対応関係を表 12 に示した。各地区のビオトープの交感価値機能指数と有意な正の相関が認められたのは、ビオトープに行った理由に対する回答のうち、散歩で行ったことがあると答えた人の割合（図 35）、ビオトープの維持管理作業に参加した動機として「散歩や遊びの場として大切」と答えた人の割合であった（図 36）。このように交感価値機能指数の高さと散歩や遊び等日常的な利用との間に高い相関がみられたが、生き物調査や維持管理作業への参加率、生きものがい場所を守りたいと思って維持管理活動に参加する人など、地域活動への参加率との間には有意な相関は認められなかった。また、生き物調査の感想として「ビオトープが作られて良かった」を選択した比率とも有意な相関は認められなかった。

表12. 交感価値機能指数と地域住民アンケート結果との対応関係

地区	交感評価機能指数	散歩で行った比率	参加率		生き物調査参加感想 ビオトープが作られて良かった	維持管理参加理由 1)	
			生き物調査	維持管理		散歩や遊びの場として大切	生きものがい場所を守りたい
AW	0.71	0.28	0.56	0.52	0.38	0.22	0.50
HR	0.86	0.32	0.22	0.17	0.00	0.17	0.67
TR	1.00	0.38	0.16	0.06	0.67	—	—
IM	0.36	0.11	0.05	0.00	0.00	—	—
KT	0.79						
TC	0.43	0.24	0.11	0.19	0.00	0.00	0.29
SE	0.64	0.26	0.58	0.72	0.70	0.21	0.50
SN	0.43	0.19		0.29		0.00	0.47
OT	0.21						
YT	0.79						
MN	0.64						
NS	0.50						
HG	0.93	0.29	0.36	0.30	0.36	0.15	0.35
OO	0.71	0.17	0.41	0.47	0.14	0.00	0.40
TK	0.93						
SD	0.71						
FN	0.64	0.20	0.06	0.00			
FT	0.36						
TD	0.71						
YS	1.00	0.33		0.22		0.40	0.60
FK	0.71						
TE	0.93	0.40	0.27	0.39	0.27	0.34	0.52
IN	0.93	0.41	0.09	0.43	1.00	0.08	0.46
R <sup>2</sup>		0.348	0.117	0.004	0.003	0.594	0.214
p 値		*	0.302	0.834	0.834	**	0.179

\* :  $p < 0.05$     \*\* :  $p < 0.01$     — : 参加理由への回答者が 5 名以下であったため集計から除外

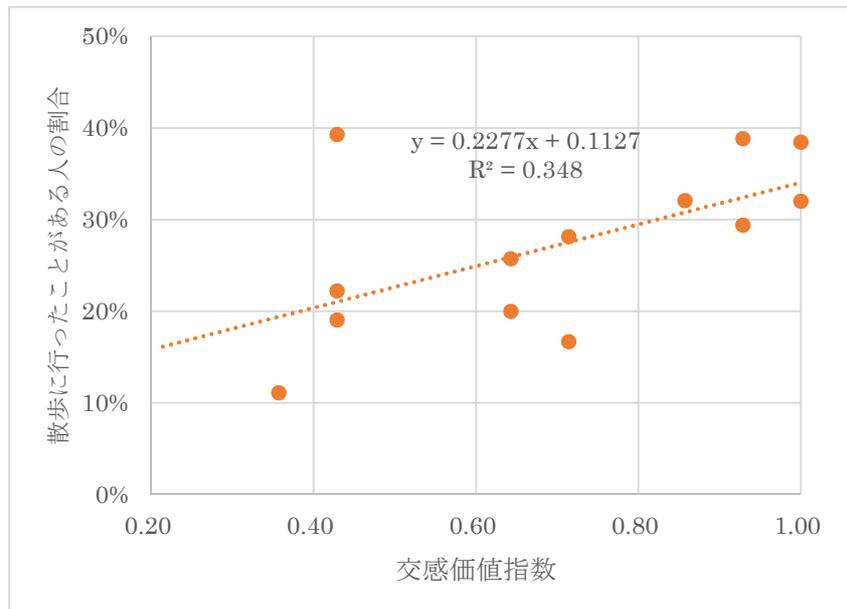


図35. 触れあい指数と散歩に行ったことがある人の割合

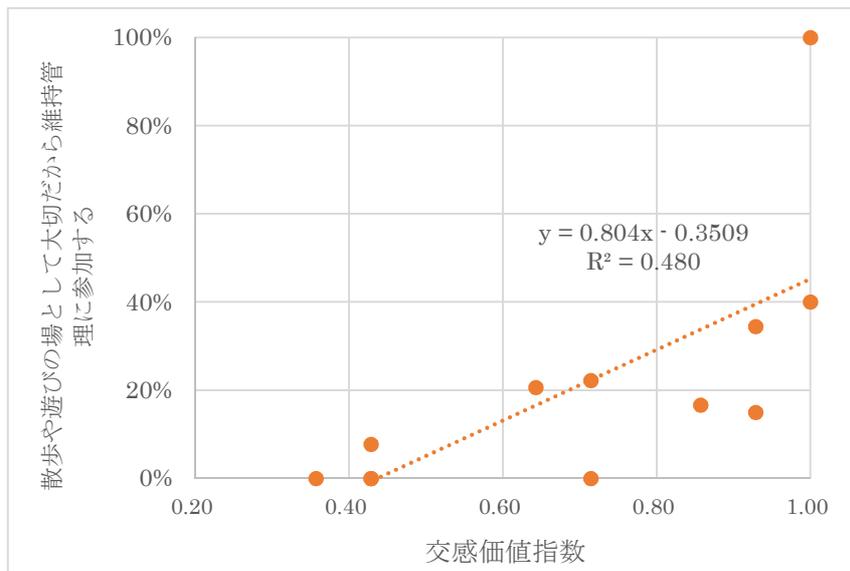


図36. 交感価値指数と「散歩や遊びの場として大切」が動機となり維持管理活動に参加する人の割合

上で有意な相関が見られた住民行動の2項目について、交感価値を構成する各項目と対応関係の分析を行った結果を表13に示す。散歩に行った人の割合は、ビオトープの安全性、水辺への接近性、人家からのビオトープまでの近さ（立地）と有意な相

関がみられた。維持管理作業への参加動機で「散歩や遊びの場として重要」と答えた人の割合は、休息場所の有無と安全性に有意な相関がみられた。

表13. 交感価値指数と地域住民アンケート結果との対応関係

(上段：R<sup>2</sup>，下段：p 値)

項目	接近性	休息	周辺景観	自然性	音	立地	安全性
散歩	0.474	0.235	0.049	0.112	0.107	0.369	0.717
	**	0.093	0.469	0.265	0.274	*	**
散歩や遊びの場として大切	0.338	0.423	0.220	0.002	0.009	0.372	0.404
	0.078	*	0.172	0.899	0.789	0.061	*

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01

散歩や遊びでビオトープを利用する比率の高さとビオトープまでの距離とに相関があることが上で示されたが、どれくらいの距離にビオトープがあることを地域住民が望んでいるかを探るため、地域住民へのアンケートで、ビオトープに行ったことがある人に、ビオトープが遊びや散歩に行くのに遠いと思うかどうかを尋ねた。同時にビオトープの位置を示す地図を見せ、自分の家からかかる時間についても尋ねた。この2つの質問への回答結果を図37に示した。「ちょうどよい距離だ」と思う人は、ビオトープまでの所要時間が5分以内の人では90%、10分くらいでは77%、15分以上では44%と低下し、「もっと近い方がよい」と思う人は5分以内では4%と少なく、10分くらいでは22%、15分以上になると55%と、ちょうど良い距離だと感じる人と比率が逆転した。この結果から、ビオトープが5分以内のところにあることを望む人が多く、遠くても10分くらいが望ましいと感じていることが伺えた( $\chi^2=109.463$ ,  $df=4$ ,  $p<0.01$ )。

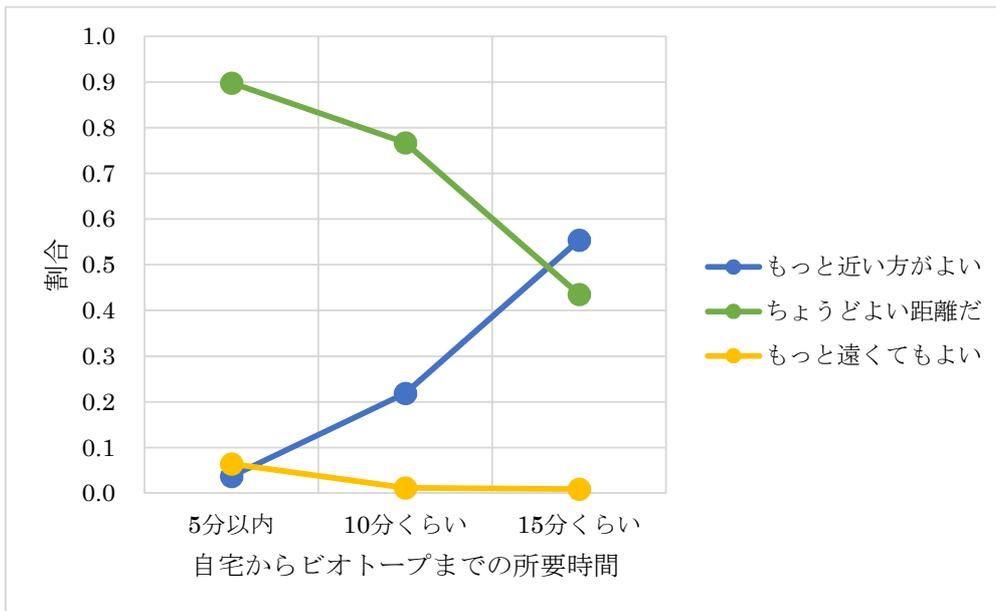


図37. ビオトープに行ったことがある人の所要時間と距離感覚

#### 第4節 まとめ

##### (1) 生物の生息空間としてのビオトープ

今回の分析結果から、生物の生息空間としてのビオトープは、立地条件としてはビオトープの造成後の経過年数、樹林地割合が、またトンボ分類群によっては、周辺のため池数が重要であることが示された。一方、重要な内部環境要素は分類群によって異なっており、結局、多様な生物が生息するビオトープとするには、少なくとも今回検討した環境要素項目のいずれについても配慮することが望ましいと結論できた。

立地条件については、整備範囲が決まっているため地理的状況による制限があり、配慮方法を大幅に工夫できるものではないが、樹林地がいくらか存在する地区であれば、樹林地近くにビオトープを設置することが望ましいとは言えよう。ただし、ビオトープの交感価値という観点からは、後述するように集落から近いという点も重要であり、その両方を加味した設置場所の検討が行われるべきである。

内部環境要素についても、より多様な環境要素を持ったビオトープほど生物種数、生物多様性ともに高くなることが示された。今回の調査対象地区のうち、生物の種数やその多様性において、もっとも高く評価されたAWのビオトープは、立地条件の3要素に加えて、その規模においても突出している。しかし、このビオトープの生物の多様さは、立地条件や規模だけに理由が求められるわけではなく、ビオトープの内部の

環境要素の多様さも大いに貢献していた。図 2 に示したように、AW のビオトープは、いずれの要素も他のビオトープより総じて高いレベルであった。特に、水生植物は、密生していないヨシ帯、適度な密度の抽水植物や浮葉植物など、多様な生活形の植物が揃っていた。さらに、今回の評価項目には含めていないが、図 38 に示すようなミズゴケの湿地、背後の丘陵地からの浸み出し水による湿地などもビオトープ内に形成されており、多様な生息場所が存在する場所である。トンボ類の 2 種の絶滅危惧種はいずれもこのビオトープで確認されたものであり、トンボ類以外でもゲンゴロウ類の絶滅危惧種は全てこのビオトープで確認されている。このように環境を整えれば、新たに設置されたビオトープでも多くの動物が生息するようになり、希少種の保全にも貢献することをこのビオトープは示している。

ただ、このビオトープにも欠点があり、ビオトープと水田との間が深いコンクリート 3 面張りの水路になっており、水田とビオトープの交流が困難であるため、近くの水田で多くみられるアカガエル類やトノサマガエルなど歩行移動性のカエルの個体数が少ない。また、下流水路とビオトープ内の池との間も落差が大きく、水域ネットワークが遮断された状態であることから、魚類は放流されたメダカとギンブナ以外は確認されていない。また、ビオトープの排水口の直下にある溜枡には多くのドブガイが確認されているが、ビオトープの池内からは確認されていない。今回の対象となったビオトープは、いずれも水域ネットワークという点では不十分なものが多く、総じて魚類が貧困であったため統計的な分析では重要な変数として選択されなかったと思われるが、ビオトープ内の内部環境の整備とともに、水域ネットワークの構築も、地元施工において工夫が可能な場合もあり、順応的管理の一環として取り込まれることが望まれる。



図38. AW のビオトープの植生の状態

AW 以外のビオトープで、内部環境要素が貧弱である原因として、植生の遷移が進まないような護岸構造（図 39-a）として設計、施工された設計上の問題点の他に、1) 管理が行き届かず植生遷移が進みすぎる（図 39-b）、2) 非灌漑期に水が入らない（図 39-c,d）などの、設置後の管理上の問題などが考えられた。このように、ビオトープの生物多様性の保全の為に、計画時には環境要素に対する検討の他にも、適切な環境維持のための維持管理手法の作成とその実行体制が必要であると考えられた。

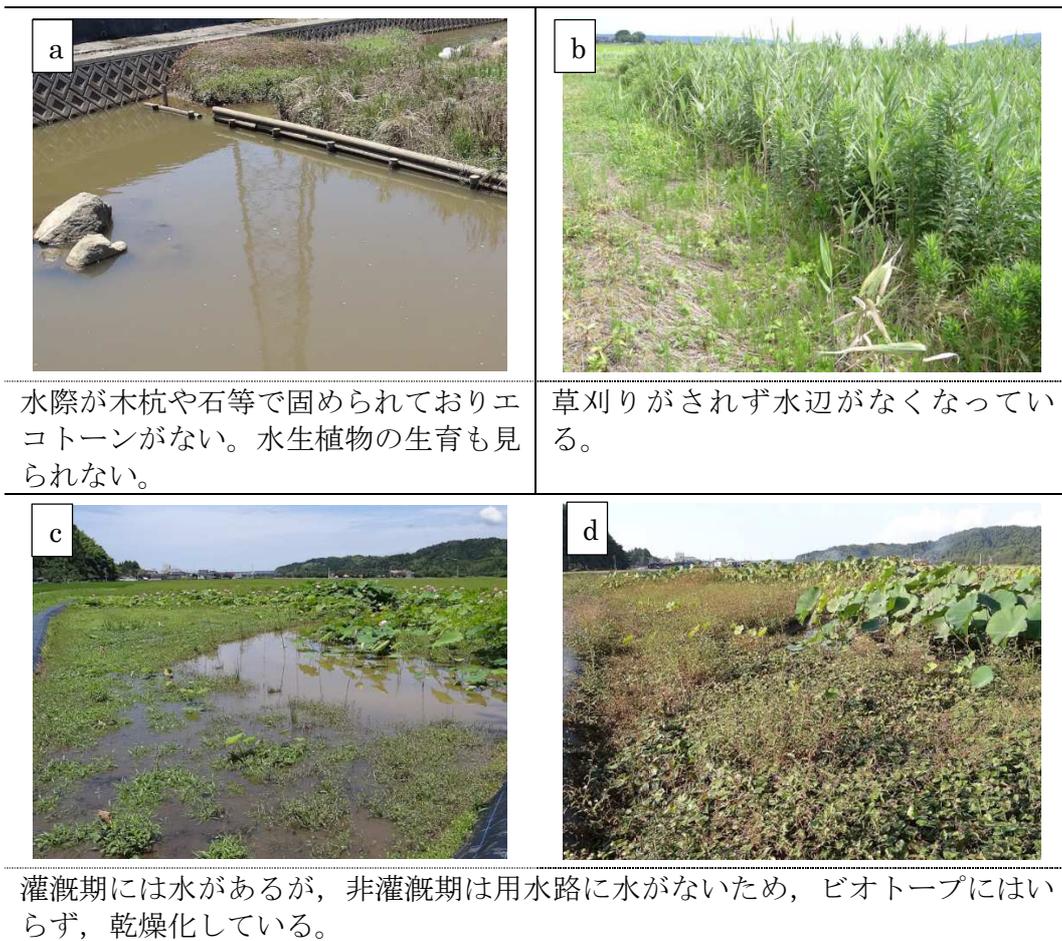


図39. 設計、管理上において問題となるビオトープ

## (2) 人が自然に親しむための空間としてのビオトープ

散歩へ行く人の割合、また維持管理活動などの参加動機などから、一部のビオトープでは地域住民が生物や自然に親しむ空間として、人々に利用や認識されている実態が明らかとなった。その場合、集落から近いことといった基本的なアクセスのしやすさがまず重要であり、ビオトープの内部の問題として、休息できる場所があり、安全に水辺や生物に直接手で触れられる状態になっていることが重要であることも明らかになった。一方で、今回の調査で大人でも一人では危ないビオトープが約 1/4 にのぼっており、安全性が保たれていないビオトープには人々は近づいていないことも明らかとなった。ビオトープを人々が自然や生物に親しむ空間として、散歩や遊びなど日常的にも利用されるものとするためには、水谷（1992）が指摘するように、設置場所、地域の人々の目の届く距離、水辺空間内部の構造など、より安全な施設としての

検討も必要と思われる。なお、今回の調査では、有意性は認められなかったが、ビオトープ内の安全性も景観的な安らぎ効果や癒し効果と結びついていると思われることから、休む場として危険や不快感を感じるようなものは作らない、遠ざける、樹木などでお遮蔽するなどの景観的な配慮も必要であると思われる。

今回の調査対象地区のうち、交感価値機能指数が最も高く評価された YS のビオトープは、居住地から近く、規模は小さいが広いほ場の中では自然度が高い空間として管理されていた。ビオトープの池の周囲どこからでも水辺にふれることができ、身近に生きものを観察できる場所であった。これらのことを反映してか、この地区は散歩する人の割合が比較的多かった。また維持管理作業への参加率は低いものの、参加した人の理由は「散歩や遊びの場として大切だから」、「生きものがある場所を守りたいから」が最も割合が多かったことは、交感価値機能が備わっていることを表していると思われた。しかし、季節になればシュレーゲルアオガエルの成体やイトトンボ類の数も多く、ギンヤンマ、マルタンヤンマなどの羽化殻も見られるなど、他の地区に比べて生物相は比較的豊かであったが、生き物調査は行われておらず、アンケート調査結果では調査があったらよいと思う人が 80%を超えていたことは、ビオトープの交感価値機能を十分に生かしきれていないとも言える。今後、生き物調査を実施することで、より地域住民に利用され、維持管理作業への参加率も高くなる可能性が十分にあると考えられた。

以上から、今後、ビオトープが地域住民に認知され、利活用されてその意義が認められていくためには、ビオトープの設計時には人の視点に立った交感価値機能の面からの検討が必要であり、またそれを生かした活動も重要であると結論できた。



背後に樹林地を控え、集落、田園風景、遠くの山並みによる景観が形成されている。散歩で訪れる割合も多い。

カエル類、トンボ類の種類も比較的多くの種類が見られる。

図40. YS のビオトープ