

第5章 環境と調和した地域づくり

1. 環境に関わる人づくり

(1) 学校での環境教育の推進

③ 小中学校・高等学校・特別支援学校における地域の教育資源（ひと・もの・こと）を生かした実践的な学習の推進

① 小中学校（義務教育学校）の取組

○奥出雲町立横田中学校（横田中学校緑の少年団）

奥出雲町立横田中学校は、島根県南東部、広島県と鳥取県の県境に位置し、かつてはたたら製鉄で栄えた地域で、その地形を活かし、農畜産、林業が盛んな地域である。緑と親しみ、緑を愛し、緑を守る活動を通して、ふるさとを愛し誇りに思い、人を愛する豊かな心を育むことを目的に緑の少年団の活動を推進している。特に花壇作業を通して地域との交流や、生徒のアイデアを取り入れた花壇の管理など、地域の景観を守る活動に積極的に取り組んでいる。

ア 花苗ポット上げ作業

校舎の目の前に大きな花壇があり、花壇はクラスごとに管理している。みんなで協力して6000株の花を育てていて、自分たちの親世代から続く大きな花壇は学校のシンボルとなっている。ポット上げ作業とは、芽が出て少し大きくなった苗をポットに植える作業のことである。園芸部が蒔いた花の種の芽が出たら、団員全員でポット上げ作業を行う。放課後の時間を使い、ピンセットを使い丁寧に行っていく。年に2回行うので、3年生になるとかなり手際が良くなり、班ごとの作業の速さを競い合いながら楽しく活動している。



【ポット上げ作業①】



【ポット上げ作業②】

イ 花壇作業

苗がある程度大きくなったら花壇に植えつける。土を耕してならし、植える箇所を30cm間隔で印を付けてクラスで協力して年6000株の苗を植える。1年生の花壇作業は、クラスで初めての共同作業となり、団結力が高まる活動となっている。花壇作業後は、団員が中心となって花壇管理を行っている。また、どのクラスの花壇が綺麗に咲いているかを競う「花壇コンテスト」を実施した。このコンテストを実施することで、昼休みに草抜きをする団員も増え、花壇にますます愛着をもつようになった。花壇の花が咲く頃には、地域の幼稚園児も散歩に来て花を愛でている様子が見られ、地域全体で愛される花壇となっている。

令和4年版環境白書 資料編



【花壇に植えつける様子】



【花壇の様子】

ウ 花苗販売

育てた花苗を校区である横田地区内でも育ててもらうため、地域の方々へ苗販売を行っている。販売会の開催1週間前から、町内の有線放送を使って地域の方々へ告知を行い、4000株の苗を販売する。3年前までは町内のスーパーマーケットの協力を得て、広告で宣伝してもらい、スーパーマーケットの駐車場で実施していたが、コロナ禍で校外での活動が困難になり、校内で実施するようになった。苗販売を通して地域の方々との交流を行うことは、団員にとってもふるさと奥出雲の温かさを実感できる時間となっている。



【販売の様子】



【会場の様子】

エ きこりプロジェクト（林業体験活動）

1年生は毎年「総合的な学習の時間」の中で、奥出雲町の森林の状況や多面的な働きを学んだ上で、森林組合の協力により「きこり体験」を行っている。実際に山で間伐を行い、地元のチップ工場に搬入した後、木材の重量を測定し、チップになる様子を見学する。団員にとって初めての間伐体験で、間伐や森林保全の必要性を体感し、木材チップが地元の温泉の燃料に使われることも知り、循環型林業を学ぶ有意義な学習になっている。

令和4年版環境白書 資料編



【間伐体験の様子①】



【間伐体験の様子②】

横田中学校は、地域住民、指導者から支援を受けながら、森林環境学習や奉仕活動を継続させ、ふるさとの自然や歴史、景観を愛する心を醸成している。また、生徒の元気な姿や取組は地域の活力となり、新たな交流の場を生み出している。少子高齢化が進み、生徒の数が激減しており、限られた時間の中で広い花壇を維持していくことが難しくなっている。今後は地域の方と協力して、ともに花壇作業をするなど工夫を凝らして、横田中学校のシンボルといえる40年以上の歴史ある花壇を守っていきたい。

② 県立学校の取組

○島根県立浜田高等学校 自然科学部生物班 嘉戸 阿南、村武 英亮

「ハッチョウトンボのヤゴが好む水ーヤゴが棲む水と棲まない水は何がちがうかー」

ア 要旨、概要

島根県浜田市金城町には、ハッチョウトンボという日本で最小のトンボが生息している。このトンボは、近年個体数が減少しており、環境省のレッドデータブックでは絶滅危惧Ⅱ類として掲載されている。金城町ではこのトンボの保全活動が積極的に行われている。浜田高校自然科学部は、2019年からトンボの保全を目的として生育環境の解明に取り組んだ。その結果、ハッチョウトンボが減少しているトンボ公園と、減少しつつも多くのトンボが発生している自然湿地とでは水環境に大きな違いがあることがわかった。トンボ公園には鉄細菌が繁殖し、自然湿地にはミズゴケが多かったことから、今年度はその水質の違いに注目した。ハッチョウトンボ成虫個体が確認されている4地点で水質調査を行い、ミズゴケが分泌する酸性物質とバクテリアの関係を明らかにした。

イ 問題提起、研究目的

(ア) はじめに

島根県浜田市金城町にある休耕田において、全国的にも希少なハッチョウトンボが発見されたことから、地域一体となった保全活動が始まった。浜田高校自然科学部では2013年から保全活動とともに生態調査を行ってきた。このハッチョウトンボは、日本最小のトンボで、1円玉ほどの大きさである(図1)。環境省のレッドデータブックでは絶滅危惧Ⅱ類とされており、近年急速にこのトンボの数が減少したため、金城町では公民館を中心に、保全のための除草作業や土砂の入れかえ作業が行われている。一方で、実際に前年と比較してこのトンボの個体数がどの程度減少したのか、生息の場で

令和4年版環境白書 資料編

ある湿地の状況がどの程度変化したのかについて詳細な調査データはなかった。そのため、ハッチョウトンボの保全には、湿地環境の状況を把握し、どのような環境が有効なのかを検証することが必要であると考え、2019年からトンボの生息環境の解明を目的とした調査研究を始め、現在で4年目になる。具体的には、地域の環境教育の場として人為的に管理されている「トンボ公園」と、人の手がほとんど加えられていない「自然湿地」の2地点（ともにトンボ生息地）を対象として、環境DNA調査（2ヶ月に1回）、ハッチョウトンボ成虫の個体数計数調査（毎年6月）、植生調査（7月）、水質調査（2ヶ月に1回）の4つの調査を行ってきた。環境DNA調査では、このトンボの幼虫（ヤゴ）が放出するDNAの有無や濃度から生息状況を推定するため、各地域の水辺のサンプルを採取して調べた（島根大学生物資源科学部・高原輝彦准教授による協力・指導の下）。植生調査では、その場所の植物相を観察することで、その湿地の栄養状態や水量を把握した。水質調査ではCOD（化学的酸素要求量）や無機窒素を測ることで、水の栄養状態を評価した。これまでの研究で、ハッチョウトンボが多く発生する「自然湿地」の水環境と、トンボが減少している「トンボ公園」の水環境が随分と異なっていることがわかった。今年度はハッチョウトンボ発生の根本ともいえるヤゴが生息する好適な水辺環境を明らかにすることで、ハッチョウトンボの保全に役立てたいと考えて研究に取り組んだ。以下、2019年から今年度までに明らかになった内容を「(イ) 先行研究」で詳細に記した。

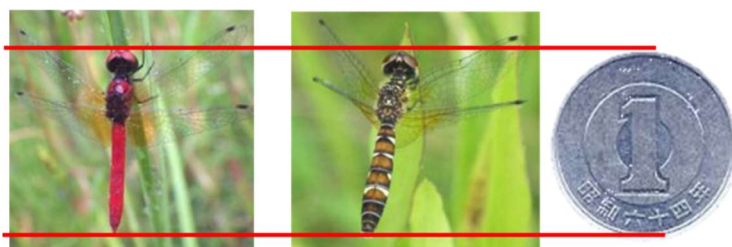


図1 1円玉程度の大きさのハッチョウトンボの成虫個体（左：オス 右：メス）

(イ) 先行研究

自然科学部は2013年から保全活動とともに生態調査を行ってきた。2017年にはハッチョウトンボに標識する方法で、トンボが上昇気流を利用して湿地間を移動していることを突きとめた（図2）。

2019年以降は、「トンボ公園」と「自然湿地」の2地点について環境DNA分析調査、水質調査、湿地の植生調査及び成虫の個体数調査の4つの調査を行い、比較検討することで、トンボの生育環境の解明を試みた。

このトンボ公園は、前述したように、地域の環境教育の場として人為的に管理されており、トンボ保全のために除草作業や土砂の入れかえ作業が行われている（図3）。また、トンボ公園から約460m離れた場所にあるもう1ヶ所のハッチョウトンボ生息湿地「自然湿地」は、山の谷あいにある湿地で、湧水があり、南側の水の多いところではミズゴケが群生している。一方で、乾燥化しているところでは水面が見えず、歩けば水が染み出す程度である。この自然湿地は、2021年に草刈りが行われたが、その他はほとんど人の手が加えられておらず、毎年多くのハッチョウトンボが観察されている（図4）。

令和4年版環境白書 資料編

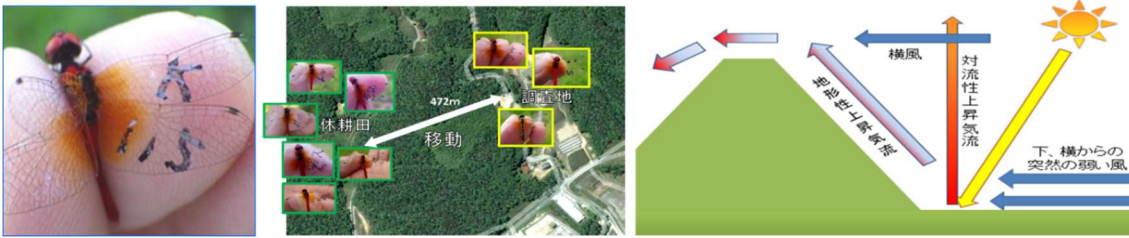


図2 2017年の研究：ハッチョウトンボが上昇気流を利用して湿地間を移動する



図3 トンボ公園（左：草刈りの様子 中・右：区画化されたトンボ公園）



図4 自然湿地（左・中：自然湿地 右：自然湿地南側に群生するミズゴケ）

・2地点比較で分かったこと（鉄細菌とミズゴケ）

この2地点での大きな違いとして、ミズゴケと鉄細菌に注目した。鉄細菌とは、二価の鉄イオンを酸化して三価の鉄イオンにする際のエネルギーを利用して生活している化学合成細菌で、二価の鉄イオンを多量に含む地下水が湧出する場所で繁殖する（小池 2011）。また酸化の際に酸素を消費し、赤茶色の沈殿を作る。この鉄細菌は、トンボ公園で多くみられたが、自然湿地ではほとんど観察することがなかった（図5）。また、植生については、トンボ公園にはガマやカンガレイ、ミゾソバなどの富栄養の低層湿原によくみられるタイプの湿生植物が多く、ミズゴケは見られなかった。自然湿地ではそのような湿性植物はなく、モウセンゴケやミズゴケ、イトイヌノヒゲなど湧水涵養型の貧栄養状態の湿地によく生育するタイプの湿生植物が多くみられた（図6）。また、COD を調べた水質調査では、自然湿地では年間を通してCOD 値が高く、トンボ公園では夏に高く冬に低いという季節変動がみられた（図7）。

令和4年版環境白書 資料編



図5 トンボ公園の水にある鉄細菌 (左: 鉄細菌がつくる油のような膜、中: 茶色い沈殿物のある泥、右: トンボ公園の泥と赤茶色の沈殿物を比べたもの)



図6 自然湿地のモウセンゴケ (左)、ミズゴケ (中)、イトイヌノヒゲ (右)

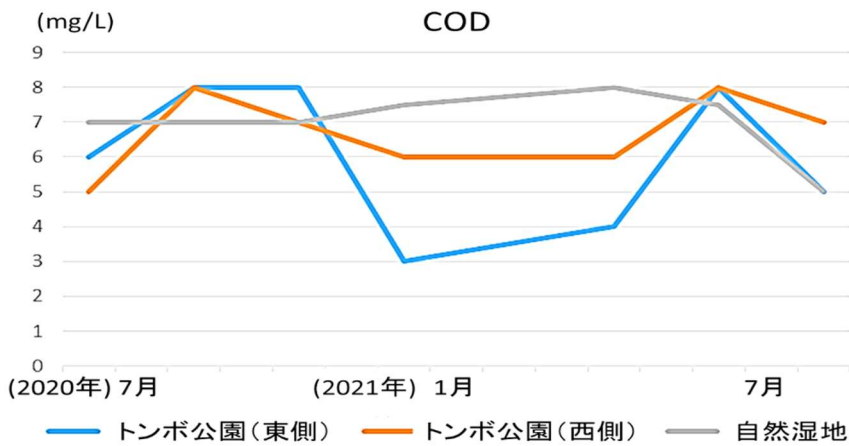


図7 トンボ公園と自然湿地のCOD (2020年～2021年)

・成虫の個体数と環境DNAの比較

2019年～2022年の調査で、トンボ公園、自然湿地いずれも成虫の個体数が減少していることがわかった(図8、図9)。環境DNA調査(水中のヤゴの生息状況を推定することができる)では、トンボ公園では2019年8月～2021年6月にかけてほとんど検出されていなかったが、2021年8月～2022年6月の間

令和4年版環境白書 資料編

にわずかに検出された。一方、自然湿地の環境 DNA は、減少傾向にあるが、検出された量はトンボ公園に比べて格段に多かった。図8、9の個体数、DNA量とともに、トンボ公園と自然湿地では縦軸の数値が異なっており、実際には、個体数もDNA量も、トンボ公園では自然湿地と比べて随分と少なかった。

2019年8月～2021年6月にかけて、トンボ公園でのDNA量が0であるにもかかわらず、トンボ公園に成虫が現れていた(図8)。前述したように、DNA量がヤゴの生息を表す指標となることから、トンボ公園にはヤゴがほとんどいないことがわかる。このことから自然湿地から成虫個体が飛来してきたと推測することができ、このDNA量と個体数の関係からも、ハッチョウトンボの成虫が湿地間を移動したという2017年の研究成果を裏付ける結果となった。

自然科学部は、2019年からハッチョウトンボの生育環境の解明を目指して調査・研究を行ってきた。ここで、長く疑問だったことは、なぜトンボ公園にはトンボが棲まないのかということである。つまり、図8、図9の結果は、成虫がトンボ公園に飛来して来たとしても、水中のDNA量は各段に少ない、つまりヤゴが育たず定着していないことを示唆している。「ハッチョウトンボは一年中、水のあるところでないと生きていけないトンボで、日当たりがよいことも欠かせない」と言われている(水上 2005)。また、「ハッチョウトンボを保全するためには、低茎草本からなる湿地を維持する必要がある」、「ハッチョウトンボの分布は必ずしも貧栄養で酸性の湿地に限定されるというわけではなく、ハッチョウトンボが好むような湿地がそのような環境条件のところに形成される傾向がある」、とも言われている(上田 2004)。このトンボ公園では日当たりがよく、富栄養化を防ぐために定期的に草刈りを行い、水が枯れることのないように山からの水を引き入れている。では、一体なぜトンボ公園ではヤゴは定着しにくいのか、トンボが多く発生する自然湿地と何が違うのか。2019年～2022年までの2地点の比較調査で分かったことを、表1にまとめた。この表からもトンボ公園と自然湿地とでは、植生も水質も随分異なっていることがわかる。トンボ公園には鉄細菌が多くミズゴケがない。自然湿地には鉄細菌がなく、ミズゴケが多く生育している。鉄細菌は酸化の際に酸素を消費している。ミズゴケは酸性物質を分泌するため、その蓄積によって酸性化した有機物の分解が非常に遅くなると言われている(長野県山之内町 2021)。両者のこれらの現象が2地点の湿地で実際に現れているのかどうか、もし現れているとしたら、このことがヤゴに何らかの影響を与えているのではないかと考えた。

今年度は、そのヤゴの生育環境として最も重要と考えられる水質について調査し、ヤゴが棲む水と棲まない水とではなにが違うのか、トンボ保全の根本となるヤゴの好む水の環境の解明に取り組むこととした。

令和4年版環境白書 資料編

●2019年～2022年までの調査結果のまとめ

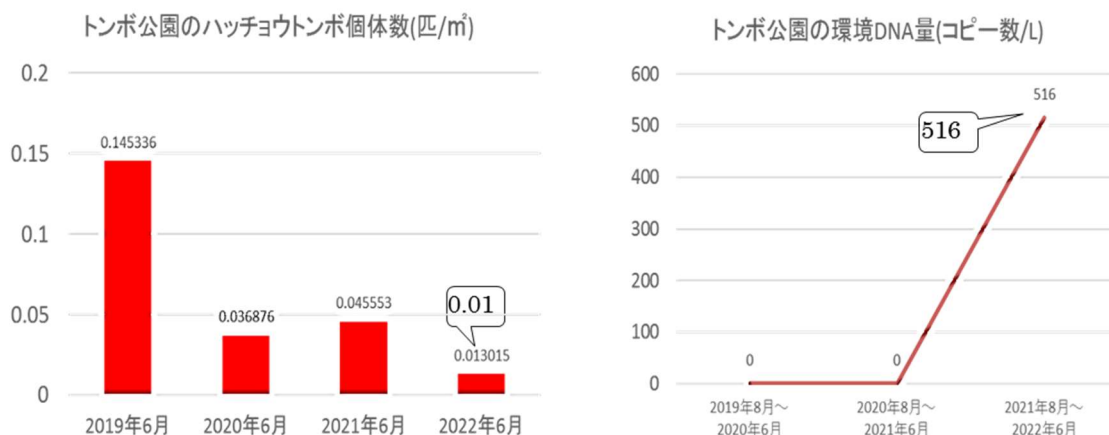


図8 トンボ公園の環境DNA量(左)と個体数(右)の変化

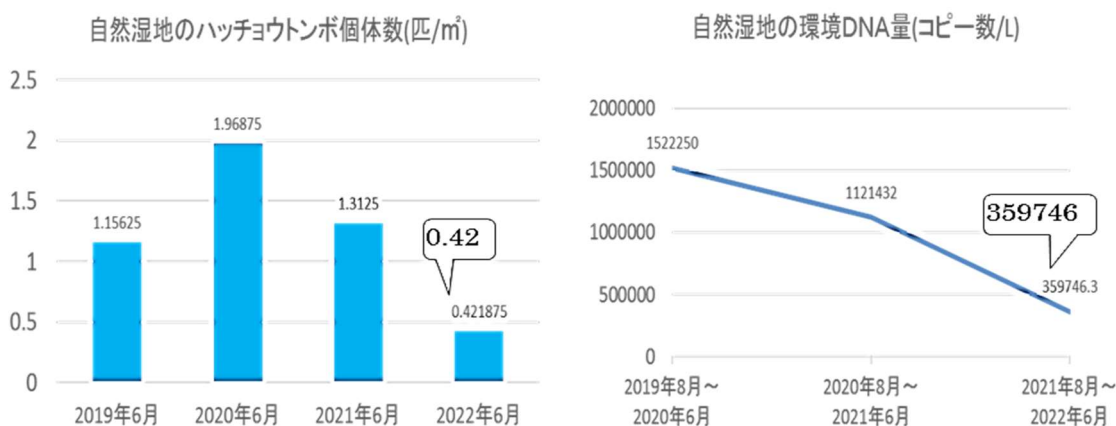


図9 自然湿地の環境DNA量(左)と個体数(右)の変化

表1 2019年～2022年までの2地点の調査結果のまとめ

	トンボ公園	自然湿地
環境DNA	ごくわずか	減少傾向であるが多い
成虫個体数	少ない(0.01匹/m ²)	減少傾向(0.4匹/m ²)
植生(優占種)	(富栄養な湿地に多い植物) カンガレイ ガマ サワヒヨドリ ミゾソバ	(貧栄養な湿地に多い植物) ミズゴケ モウセンゴケ イヌノヒゲ
ミズゴケ	なし	多い
鉄細菌	あり 水面に油のような膜 茶色い沈殿あり	なし

令和4年版環境白書 資料編

ウ 研究方法

・仮説

以下のような仮説を立てた。

- ①トンボ公園では、鉄細菌がヤゴの棲みにくい環境を作っている。
- ②自然湿地では、ミズゴケがヤゴの棲みやすい環境を作っている。

・調査方法

仮説①について

鉄細菌が酸素を消費しているならば、その水の溶存酸素量が低くなっているはずである。

確かめる方法→溶存酸素量を測定する。

仮説②について

ミズゴケから分泌された酸性物質によって分解者（バクテリア）の働きが抑えられているならば、有機物が分解されないために無機塩類が減少し、その周辺の水が貧栄養になっているはずである。

確かめる方法

- ・ミズゴケが生育してる周辺の pH を測定する。
- ・湿地の水に含まれる無機窒素、リン、カルシウム量を調べる（産業技術センターに依頼）。
- ・湿地の水を持ち帰り、細菌用の寒天培地で培養し、バクテリアの増殖の程度を観察して比較する。
- ・ミズゴケをすりつぶして作った抽出液を用いて寒天培地を作り、その培地に湿地の水を塗り、バクテリアが増殖するかどうかを観察する。

仮説①、②について以下の方法で調べた

I 浜田市金城町内でハッチョウトンボの成虫個体が発見された場所4地点（トンボ公園、自然湿地、今福地域、金城中学校敷地内）について、環境 DNA の検出の有無、溶存酸素量 (mg/L)、pH、無機塩類（窒素、リン、カルシウム、鉄）、鉄細菌およびミズゴケの有無について調査した。トンボ公園と自然湿地について、普段の調査ではその湿地全体の様子を把握するため広範囲の水を採取しているが、湿地の中の場所によって水量や植生の様子も異なっているため、今回の調査では局地的な狭い範囲の水たまりについて調査した（図10）。

- ・トンボ公園……トンボ公園の北側、水は流れがなく停滞している。
- ・自然湿地……自然湿地南側の湧き水が多く、ミズゴケが群生している。
- ・今福地域……畑の脇にある小さな水たまりのような場所。湧き水もあるかと思われるが水の量は少ない。
- ・金城中学校……中学校のグラウンド横にある湧き水でできた水たまりの水を採取。



図10 調査の様子

(左：今福地域 中：金城中学校にある水たまり 右：トンボ公園での溶存酸素測定の様子)

II Iの4地点の水とミズゴケを用いて以下の実験を行った。

(1)標準寒天培地（日水製薬株式会社）をつくり、持ち帰った各地点の水を $100\mu\text{L}$ ずつ加えて 24 時間培養した。24 時間後にバクテリアの増殖の様子を観察した。

(2)ミズゴケをすりつぶしたものを遠心分離して、その抽出液の pH を測定した。比較のため、よく似た形態で被子植物のオオカナダモと、浜田高校敷地内に生えているハイゴケも同様に抽出液の pH を測定した。

さらに、抽出液を用いて寒天培地（ミズゴケ培地）をつくり、(1)で多くのバクテリアの増殖が観察された地点の水を $100\mu\text{L}$ 加えて 24 時間培養した。

エ 結果

I 4 地点の湿地の調査結果について表 2 にまとめた。無機塩類については今年 2 月に調査したデータも記載した。

結果①：環境 DNA について

- ・トンボ公園以外の 3 地点でハッチョウトンボの DNA が検出された。

結果②：溶存酸素量と鉄細菌について

- ・トンボ公園、今福地域では酸素量が少なく、鉄細菌がつくる油のような膜と赤茶色の沈殿がみられた。

結果③：pH について

- ・自然湿地と金城中学校の水たまりで弱酸性だった。このミズゴケには、枯れて茶色くなった部分と緑色の部分があり、それぞれの場所で pH を測定したところ、茶色に枯れたミズゴケが多いところでは pH が平均で 5.4、緑色の部分では pH が平均 4.4 となった（図 11）。

結果④：無機塩類について

- ・リン (PO_4^-) と鉄 (Fe) はどの場所でも検出されなかった。
- ・窒素 (NO_3^-) は、自然湿地の 2 月で低い値だった。
- ・カルシウム (Ca^{2+}) は、トンボ公園の 8 月で特に多く検出された。

令和4年版環境白書 資料編

表2 4地点の調査結果のまとめ

	トンボ公園		自然湿地		今福地域		金城中学校	
環境DNA	なし		あり		あり		あり	
溶存酸素量	1.5mg/L		3.5mg/L		1.7mg/L		8.2mg/L	
pH	6.4		5.1		6.2		4.4	
鉄細菌の膜 赤茶色の沈殿	あり		なし		あり		なし	
ミズゴケ	なし		あり(多い)		すこし離れた 所にある		あり(多い)	
	2月	8月	2月	8月	2月	8月	2月	8月
NO3-	430	561	31	467	データなし	465	データなし	523
PO4-	0	0	0	0	データなし	0	データなし	0
Ca2+	1235	7325	515	1499	データなし	1458	データなし	961
Fe	0	0	0	0	データなし	0	データなし	0



図11 自然湿地にあるミズゴケ（左：枯れて茶色くなったもので周囲の水のpHは平均5.4だった
右：茎葉が緑色のもので周囲の水のpHは平均4.4だった）

II

(1) 4地点の水に含まれるバクテリアを24時間培養した結果（図12）

- ・トンボ公園の水を塗った培地では、数種類のコロニーが見分けられないほどにシャーレ全体にバクテリアが広がっていた。
- ・自然湿地の水を塗った培地では、数種類のコロニーが見られた。トンボ公園の水を塗った培地のようにシャーレ全体に広がってはいなかった。
- ・今福地域、金城中学校の水の培養では、数種類のコロニーが確認できた。また、トンボ公園の水の培地のようにシャーレ全体に広がってはいなかった。

(2) ミズゴケ・オオカナダモ・ハイゴケをすりつぶして、その抽出液のpHを測定した。その結果、ミズゴケが3.9で最も低く、オオカナダモが6.3で中性に近かった。ハイゴケは5.4で弱酸性だった（図13、図14、表3）。

また、ミズゴケ抽出液で作った寒天培地に、(1)でバクテリアが最も多く増殖したトンボ公園の水を塗って培養した結果、バクテリアは図12のトンボ公園のシャーレのように広がることはなかった。またコロニーの数は自然湿地のものよりも少なかった（図15）。

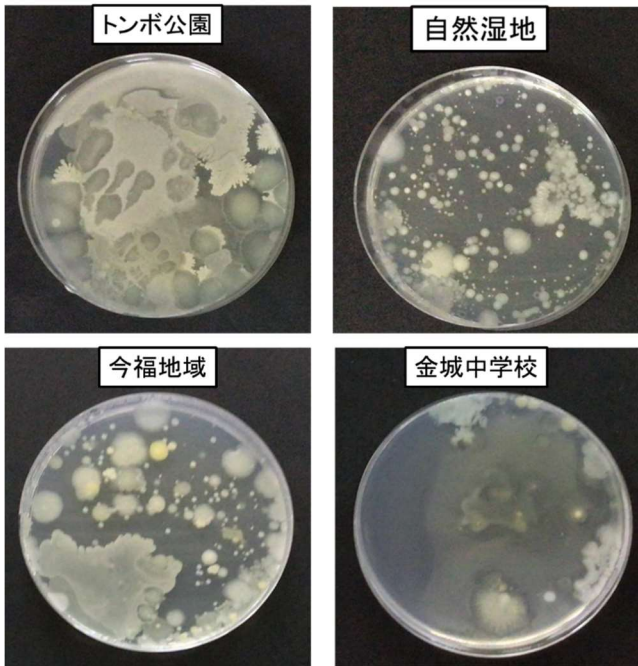


図12 4地点の水の培養結果

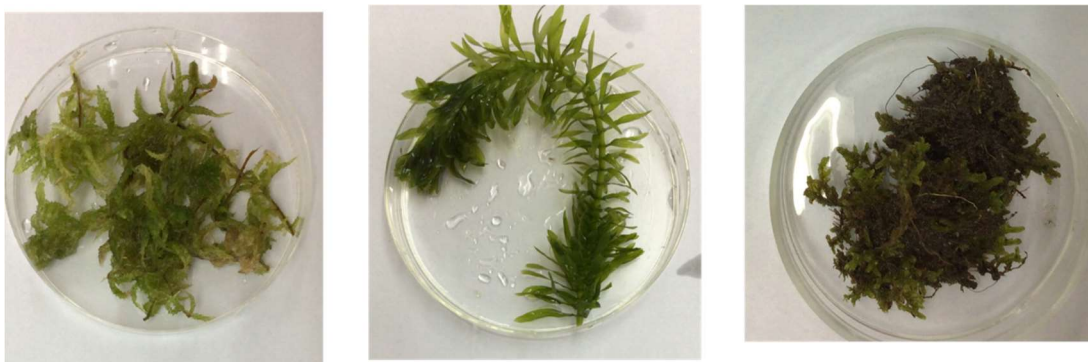


図13 pH測定に用いた植物 (左：ミズゴケ 中：オオカナダモ 右：ハイゴケ)

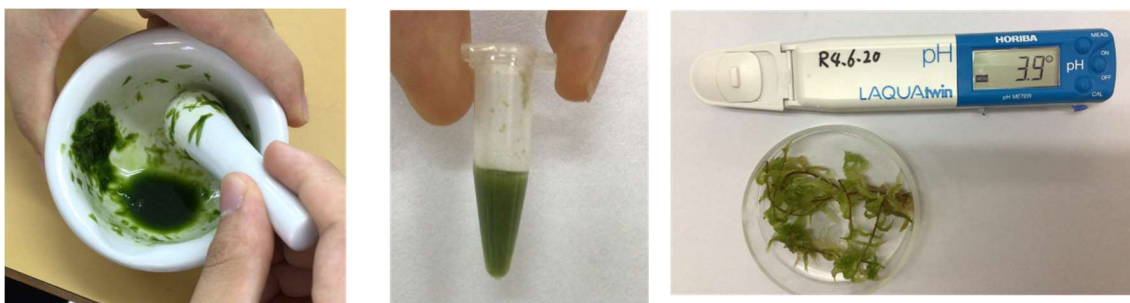


図14 抽出の様子

(左：すりつぶし作業 中：抽出液を遠心分離したもの 右：ミズゴケ抽出液の測定結果)

表3 pH測定結果

	ミズゴケ	オオカナダモ	ハイゴケ
pH	3.9	6.3	5.4

ミズゴケ抽出液培地+トンボ公園の水



図 15 ミズゴケ抽出液培地にトンボ公園の水を塗り 24 時間培養したバクテリアの様子

オ 考察

● I の結果について（表 2 より）

- ・環境 DNA が検出されたことから、ハッチョウトンボのヤゴがいると考えられる水は、自然湿地、今福地域の水たまり、金城中学校の水たまりの 3 カ所であると考えられる。
- ・4 地点の溶存酸素量を見ると、トンボ公園と今福地域で非常に低く、この場所には鉄細菌がみられた。鉄細菌が酸化する際に酸素を消費すると言われているが、このことから、鉄細菌がこの 2 地点の酸素量を減少させている主な原因と考えられる。トンボ公園でヤゴがない原因は、鉄細菌による低酸素の可能性もある。
- ・pH について、ミズゴケの群生が見られる自然湿地と金城中学校では、pH が低く、弱酸性を示した。自然湿地では特に茶色に枯れたミズゴケ周辺の水より、生きている緑色の葉の周辺の方が pH が低かった。このことから、ミズゴケは確かに周囲の水の pH を下げる働きがあり、その働きは枯れた葉よりも生きている緑葉の方が強いことがわかった。
- ・無機塩類 (NO_3^- : 窒素) について、自然湿地では窒素が少なかった。これは、ミズゴケによって周囲の水が弱酸性になったため、分解者のバクテリアの働きが弱くなったためだと考えられる。
- ・無機塩類 (PO_4^{3-} : リン) について、窒素が多い場所は富栄養化していると考え、リンが検出されないことが不思議に思われる。鉄細菌について調べると、二価鉄を酸化する際にリンを吸着する働きがあることがわかった。リンが検出されない原因は、鉄細菌であると考えられる。ただし、鉄細菌の膜や赤茶色の沈殿の見られない自然湿地や金城中学校の水でもリンが検出されていない原因については不明である。今後さらに調査する必要がある。
- ・Fe (鉄) について、どの場所でも鉄がほとんど検出されなかった。これは、二価鉄が鉄細菌によって酸化されて三価になると、速やかに水酸化物 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の沈殿物になるため、鉄イオンはほとんど検出されなかったと考えられる。
- ・金城町の水について、金城町には鉄穴流しの遺跡が複数あり、このあたりの地下にはもともと鉄が多く含まれているのではないだろうか。地下水の中の鉄分について、浜田市役所環境課、浜田保健所、保健環境科学研究所に問い合わせたが、鉄についてのデータは得られなかった。しかし、先ほどのリン、鉄細菌の関係を考えると、この地域全体の地下水には多くの鉄イオンが含まれており、鉄細菌はどの場所

令和4年版環境白書 資料編

でも繁殖しやすく、その鉄細菌の働きによって、水中にはリンや鉄が検出されなくなっているのではないだろうか。このことについてはさらに調査が必要である。

- ・無機窒素 (Ca^{2+} : カルシウム) について。トンボ公園で多く検出された。
- ・「湧き水」と「地下水」について。島根大学生物資源科学部教授の武田育郎先生から多くの知見をいただいた。武田先生によると「湧き水とは地下水脈よりも上にある水で、土壌水や土層水と呼ばれ、土壌表層の腐植物質などを含み、有機物が多い。一方で地下水では地下に浸透していく過程でろ過されて有機物は少なく、深いところの地下水では、地質の影響でカルシウム濃度が高くなる傾向にある。」とのことだった。また、鉄細菌が繁殖する理由について、「周辺の地下にある鉄（還元状態の二価鉄）が地下水とともに地表に出やすい条件がある場合、例えば、人工的に整備された水辺ではコンクリートの擁壁を守るため、地下水を積極的に排水する仕組み（例えば地下の集水パイプにつながった排水口など）がみられることが多い。」とのことだった。トンボ公園周辺の水について、どのように水が流入しているのかはわからないが、カルシウム濃度が他の湧き水の湿地に比べて多いことから、山からの水のみならず地下からの地下水が流入していると推測できる。「自然湿地の水が湧き水で有機物を含むことと、トンボ公園の水が地下水で有機物が少ないこと」は、昨年度までのCODの調査で、自然湿地ではCODの値が高く、トンボ公園では変動があるが、生産者による有機物生産が低くなる冬にCOD値が低くなっていることと合致する（図7）。

● IIの結果について

(1)、(2)の結果について。結果Iで述べたように、トンボ公園の水では他の3地点よりもバクテリアが多かった。ミズゴケ抽出液はpH3.9と低く、このことからミズゴケがつくる酸性物質がバクテリアの繁殖を抑えていると考えられる。また、4地点それぞれに現れたバクテリアの種類について、似た形のコロニーもあるが異なっているものもあった。このバクテリアの種類についてはまだ調査していないため、湿地ごとに出現するバクテリアの傾向も調べる必要がある（図14）。

また、ミズゴケ抽出液で作った培地では、バクテリアの繁殖が弱かったことから、ミズゴケがつくる酸性物質がバクテリアの繁殖を抑えていることを裏付けた（図15）。

- ・鉄細菌はpH4～7で二価鉄 Fe^{2+} から三価鉄 Fe^{3+} への酸化反応で発生するエネルギーを利用する細菌で、pH4以下では生育できないと言われている（地下水学会 2001）。このことから、ミズゴケが繁殖しているところではpHが低くなり、鉄細菌が繁殖しにくい環境を作っていることがわかる。つまり、ミズゴケのあるところには鉄細菌がおらず、鉄細菌がいるところにはミズゴケはないということである。このことは、昨年度までの調査結果（表1）と今年度の調査結果（表2）と合致している。なぜミズゴケのある所には鉄細菌が見られないのか、その理由はミズゴケが作る酸性物質によるものだとわかった。

● IとIIのまとめ

2019年から継続して行ってきた調査研究の結果と、今回の調査・実験の結果を合わせて考察した内容は以下のとおりである。

- i) トンボ公園には地下水が流入していること、ミズゴケがないことから、鉄細菌が繁殖しやすい環境になっている。また、他の分解者としてのバクテリアも繁殖しやすいことから、無機窒素が多く、富栄養環境になっていると考えられる。このことから、物質生産が盛んになり、ガンマやカンガレイなどの成長が速く大型になる植物が繁茂しやすく、その結果、様々な昆虫や動物などの捕食者が集まる一方で、低

令和4年版環境白書 資料編

茎草本を好む小型のハッチョウトンボにとって、棲みづらい水環境となっている。

- ii) トンボ公園では、鉄細菌によって、水中の溶存酸素量が減少し、小さなハッチョウトンボにとって、更に棲みにくい水になっている。
- iii) 自然湿地では、ミズゴケの酸性物質によって分解者（バクテリア）の繁殖しにくい環境が作られている。そのため貧栄養型の湿地を形成し、物質生産の低い環境となっている。ゆえに、大型昆虫や捕食者にとっては棲みづらいが、小さなハッチョウトンボには生息できる環境となっている。
- iv) 自然湿地では、地下水ではなく、湧き水が供給されているため、鉄分が少なく、鉄細菌が繁殖しにくくなっている。

以上のことから、最初にあげていた仮説を検証する。

仮説① トンボ公園では、鉄細菌がヤゴの棲みにくい環境を作っている。

仮説② 自然湿地では、ミズゴケがヤゴの棲みやすい環境を作っている。

仮説①について、まとめ ii) により、「トンボ公園では、鉄細菌がヤゴの棲みにくい環境を作っている。」ことが認められた。

仮説②について、まとめ iii) により、「自然湿地では、ミズゴケが、ヤゴの棲みやすい環境を作っている。」ことが認められた。

カ 結論

ヤゴの好む水について、私たちが明らかにした重要なポイントは以下の3点である

- 鉄細菌が繁殖していない水がよい。
- ミズゴケは鉄細菌の繁殖と富栄養化を抑える。
- 湧き水には鉄細菌は繁殖しにくい。

以上をまとめると、ハッチョウトンボのヤゴが棲みやすい水とは「湧き水があって、ミズゴケが繁殖している水」であり、これによって「鉄細菌の繁殖と富栄養化を抑える」ことができると考える。

ハッチョウトンボが好む環境については、「必ずしも貧栄養で酸性の湿地に限定されるというわけではない。」と言われている。このことは、全国のハッチョウトンボ保全団体との情報共有でも同じだった。今年行われたハッチョウトンボを守る会の方々と一緒に参加した「トンボサミット」では鉄細菌やミズゴケの話題は出ておらず、ミズゴケがなくても毎年トンボが発生している場所は全国各地にあり、鉄細菌を問題視する声もなかった。それではなぜ、ここ浜田市では鉄細菌がトンボの生態に関係しているのか、これはあくまでも推測であるが、たたら製鉄の盛んだった島根県の水には鉄分が多く、そのことが関係しているかもしれないと考えている。今回、提案した「ミズゴケがある水」とは、ミズゴケが必ず必要というわけではないが、**「湧き水・ミズゴケ・鉄細菌なし」の3点セットは、この地域でのハッチョウトンボ保全のための一つの方策として提案したいと思う。**ちなみに、この鉄分については、浜田市保健所や市役所環境対策課、島根県環境保全課等、様々な研究施設にも問い合わせたが、この地域の地下水の鉄分についての情報を得ることができなかった。この地下水についての情報をどこで得られるかは今後の課題としたい。

令和4年版環境白書 資料編

キ 参考文献

- ・ 島根県環境生活部自然環境課 (2014) 改訂しまねレッドデータブック 2014 動物編～島根県の絶滅の恐れがある野生動物～ 島根県
- ・ 水上みさき (2005) 「虫から環境を考える 1 湿地に生きるハッチョウトンボ」 偕成社
- ・ 上田哲行 (2004) 「丘陵湿地に生息するハッチョウトンボの場所利用と生息場所の保全について」『保全生態学研究』 9 : 25-36
- ・ 小池良洋 (2011) 技術開発ニュース No. 143 2011-7
- ・ 波田善夫 (2006) 「コケ植物とその生育環境 一生態屋から見た独断的コケ植物の姿一」『岡山コケの会ニュース』 No. 22 pp28-31
- ・ 長野県山ノ内町 (2021) 「やまのうちの自然とくらし -志賀高原ユネスコパークとともに-」

ク 謝辞

ハッチョウトンボのプライマーの設計、作成にご協力いただいた神戸大学大学院人間発達環境学研究所の源利文准教授及び坂田雅之様、環境 DNA 分析についてご協力いただいた島根大学生物資源科学部高原輝彦准教授、水環境について多くの知見とご助言をいただいた島根大学生物資源科学部武田育郎教授、湿地の植生の調査方法等についてご助言をいただいた岡山理科大学研究・社会連携課の太田謙様、水質の分析にご協力いただいた島根県産業技術センター食品技術科の松林和彦様、上野祐美様、ハッチョウトンボを守る会の皆様、その他ご協力いただいたすべての方にこの場を借りてお礼を申しあげます。ありがとうございました。