

愛媛県におけるオオキトンボの分布と土地利用の関係

村上裕 久松定智*1 武智礼央*2 高橋士朗*2 豊田康二*2 橋越清一*2 松井宏光*2

Keywords : generalized linear models(GLM), principal component analysis(PCA), endangered species

本研究において、ため池を主な産卵場所として利用するオオキトンボ *Sympetrum uniforme* を対象種とし、2017年に愛媛県松山市内で実施した分布調査のデータを用いて、本種の分布と土地利用の関係を検証した。現存植生区分と土地利用区分を主成分分析にて統合した合成変数、標高、ため池面積、池干しの有無を環境要因として、オオキトンボの分布確率を推定する一般化線形モデルを構築して評価した結果、本種が飛来する池の周辺環境は水田と住居が混在する里地環境であり、ため池の面積の大きさも影響を与えることが明らかにされた。

はじめに

オオキトンボは、腹長27-36mmのアカネ属のトンボで、未熟な羽化成虫の観察例は非常に少ない¹⁾。産卵場所としてため池の浅瀬を選択することが多く、収穫後の水田では確認事例がない²⁾。本種は愛媛県レッドデータブックにおいて絶滅危惧Ⅱ類に区分されている²⁾。また、愛媛県以外においても29都府県でレッドデータブックに掲載され、うち6都府県では絶滅種として区分されている(環境省生物多様性センター「都道府県絶滅危惧種検索」<https://ikilog.biodic.go.jp/Rdb/pref>)。本種は環境省レッドリスト2020(環境省生物多様性センター「レッドリスト2020について(令和2年)」<https://ikilog.biodic.go.jp/Rdb/booklist>)においても絶滅危惧ⅠB類(EN)に区分されていることから、全国的に生息数の減少が著しい種である。本種は、ため池の浅瀬を産卵場所として選択するとされるものの、ため池における産卵時期以外の成虫の発生消長や、保全対策を講じる為に不可欠なため池の管理状況と幼虫発生の関係といった基礎的な情報は不足している。

オオキトンボは、他の多くのアカネ属のトンボと同様に卵越冬を行う種であるが、同じアカネ属のアキアカネ *S. frequens* が主に収穫後の水田を産卵に利用するのに対して、秋期に減水したため池で産卵行動が観察されることが多

い種である³⁾。愛媛県においては卵越冬後、羽化個体は6月から確認されるが、7月下旬には羽化は収束し、8月上旬から9月上旬まではため池を離れる。成熟した個体は9月中旬以降ため池で再び確認されるようになり、産卵行動が観察される^{3,4)}。村上ら(2020)は、本種が秋期以降に減水を行うため池で産卵するが、減水の速度やため池底部の水分状態によって孵化幼虫数に差がある可能性があることを明らかにしたものの、産卵のために飛来するため池の周辺環境も含めた環境条件は明らかになっていない。

本研究では、ため池周辺の環境要素が本種の生息に与える影響を評価するために、愛媛県中予地域の瀬戸内海沿岸地帯のため池群において2017年に実施したオオキトンボの分布調査のデータを用いて、ため池周辺の植生や土地利用、ため池面積、標高との関係を検証した。オオキトンボは全国的に生息数の減少が著しい種で、当該地域における保全体制も十分に整っていない。乱獲の恐れも懸念されることから調査地の詳細については非公開として扱うこととした。

調査方法

(1) 分布調査

分布調査の範囲は、オオキトンボの産卵行動が例年観察される愛媛県中予地域の瀬戸内海沿岸地帯の行政区域に設定した。愛媛県農地整備課作成のため池台帳では分布調査の範囲内には 309 面のため池が築造されて

愛媛県立衛生環境研究所 東温市見奈良1545番地4

*1 人間環境大学 *2 NPO森からつづく道

おり、このうち無作為に 50 面のため池を調査対象地点として抽出し、座標情報、ため池面積を基本データとして整理した。2017 年 6 月から 7 月の新成虫羽化時期と、同年 9 月から 11 月にかけての産卵飛来時期に、各池あたり 10 分間目視調査を行い、成虫を 1 頭以上確認したものについて在データとして記録した。新成虫羽化時期の調査は、本種がため池周辺の雑草等に静止していることが多いことから、ため池周囲を踏査することで確認に努めた。不在データの精度を高めるために、生息が確認されなかったため池では 1 週間程度の間隔をおいて再調査を行った。調査は雨天を除く午前中に 1 名または 2 名で行った。

(2) 環境要因と統計解析

環境要因として、環境省が公開している 1/25,000 縮尺の現存植生図 GIS データ(環境省自然環境局生物多様性センター自然環境 Web-GIS, <http://www.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html>)から、該当する 2 次メッシュ範囲を統合して解析に用いた。各調査地点の座標から半径 100m, 200m, 300m, 400m, 500m の円形バッファを発生させ、各植生および土地利用区分が占める面積の割合(%)を求めた。区分は上述の現存植生図の細区分凡例(Hanrei_N)を基準としたが、ヒルムシロクラスと開放水域は、面積を統合して水域面積として扱った。この面積割合を用いて分散共分散行列による主成分分析を行い、各バッファサイズにおいて累積寄与率が概ね 80%になるまでの主成分を植生および土地利用の指標とし、合成変数名を PC_1, PC_2, PC_3, PC_4 とした。ため池の標高は、国土交通省

が公開している基盤地図情報のうち、5m メッシュ標高を用いて調査地点の座標から半径 100m の円形バッファ内に含まれる標高データの平均値を調査地点の標高とした。

ため池周辺の環境要因が本種の分布に与える影響を評価するために、一般化線形モデル(generalized linear models :GLM(誤差構造:二項分布, リンク関数:ロジット))による解析を行った。応答変数にはオオキトンボの在/不在データ, 説明変数には、調査地点の標高, ため池面積, 池干しの有無, 植生および土地利用の合成変数(PC_1, PC_2, PC_3, PC_4)を用いた。

GLM 構築はバッファサイズ毎に行い、全ての説明変数を組み込んだモデルを用いてバッファサイズ毎の赤池情報量基準(AIC)を比較して AIC が最小となる景観スケールを決定した。説明変数の多重共線性の検討には VIF 値を用いて、VIF < 3.0 を解析採用基準⁵⁾とした。次に最適なバッファサイズにおいて全ての説明変数の組み合わせで AIC を比較し、AIC 最小モデルとの差が 2 以下のモデル($\Delta AIC < 2.0$)を説明力の高いモデル群として採用し、選択された説明変数を評価した。また、調査地点間の空間自己相関を考慮するために、選択されたバッファサイズにおいて $\Delta AIC < 2.0$ となった全モデルの回帰残差を用いて Moran's I を算出した。GIS データの解析には QGIS10.2 を用い、統計解析には R3.6.4 を用いた。

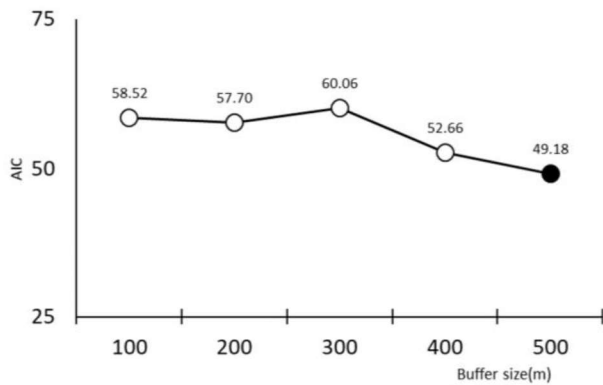
結果

分布調査では 50 地点中 18 地点(36.0%)のため池でオオキトンボの生息が確認された。

表 1 主成分分析によって得られた固有ベクトルと寄与率

バッファサイズ	軸名	植生および土地利用区分																		寄与率
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
100m	PC_1	0.017	NA	-0.016	0.012	0.028	0.002	0.126	0.015	NA	-0.433	-0.005	NA	0.803	-0.228	NA	-0.010	0.002	-0.313	0.372
	PC_2	-0.011	NA	0.018	0.013	0.008	0.006	0.700	-0.018	NA	0.142	0.014	NA	-0.272	0.038	NA	0.006	-0.001	-0.642	0.165
	PC_3	-0.005	NA	0.045	0.082	0.054	0.005	0.406	0.008	NA	-0.130	-0.003	NA	-0.176	-0.758	NA	0.023	-0.001	0.448	0.140
	PC_4	0.013	NA	-0.064	-0.077	0.014	-0.003	-0.235	0.031	NA	0.785	0.002	NA	0.244	-0.458	NA	-0.035	0.002	-0.218	0.115
200m	PC_1	0.025	NA	-0.028	0.050	0.078	0.005	0.186	0.025	-0.005	-0.116	-0.004	NA	0.714	-0.431	-0.002	-0.006	0.005	-0.496	0.467
	PC_2	-0.024	NA	-0.030	-0.087	-0.048	0.040	0.691	0.053	0.005	0.048	0.013	NA	-0.378	0.265	-0.002	0.001	-0.007	-0.540	0.192
	PC_3	-0.022	NA	0.079	0.017	-0.021	0.027	0.472	0.048	-0.005	-0.097	-0.011	NA	-0.260	-0.706	0.004	0.048	-0.005	0.434	0.156
	PC_4	-0.020	NA	0.114	0.510	0.550	0.026	-0.280	-0.054	0.002	-0.021	0.002	NA	-0.392	-0.231	-0.001	0.141	-0.008	-0.338	0.072
300m	PC_1	0.027	NA	-0.024	0.026	0.047	0.010	0.195	0.041	-0.011	-0.055	-0.006	NA	0.707	-0.488	-0.010	0.000	0.003	-0.463	0.559
	PC_2	-0.035	NA	-0.051	-0.124	-0.058	0.096	0.757	0.160	0.004	0.021	0.007	NA	-0.413	0.113	-0.006	-0.033	-0.007	-0.430	0.165
	PC_3	0.038	NA	-0.140	-0.137	-0.069	-0.029	-0.228	-0.045	0.009	0.078	0.015	NA	0.311	0.765	-0.022	-0.109	0.010	-0.447	0.128
	PC_4	-0.004	NA	0.040	0.506	0.482	0.071	-0.324	-0.039	-0.001	0.016	0.004	NA	-0.338	-0.083	-0.008	0.179	-0.005	-0.495	0.059
400m	PC_1	0.041	NA	-0.018	0.004	0.031	0.004	0.196	0.057	-0.020	-0.036	-0.009	NA	0.708	-0.504	-0.014	0.005	0.001	-0.445	0.622
	PC_2	-0.079	NA	-0.005	-0.102	-0.028	0.111	0.773	0.191	0.002	0.013	0.002	NA	-0.464	-0.034	-0.007	-0.022	-0.006	-0.345	0.164
	PC_3	0.054	NA	-0.169	-0.236	-0.141	0.003	-0.011	-0.013	0.026	0.050	0.019	NA	0.294	0.768	-0.044	-0.195	0.009	-0.415	0.092
	PC_4	-0.002	NA	0.033	0.513	0.373	0.127	-0.364	-0.009	0.000	0.064	0.002	NA	-0.272	0.028	0.014	0.092	0.001	-0.600	0.042
500m	PC_1	0.063	0.000	-0.018	-0.007	0.037	-0.007	0.194	0.066	-0.022	-0.038	-0.013	-0.001	0.703	-0.495	-0.012	0.005	0.001	-0.458	0.637
	PC_2	-0.129	0.001	-0.001	-0.085	0.013	0.091	0.762	0.205	0.000	0.010	0.001	0.000	-0.464	-0.020	-0.009	-0.014	-0.004	-0.357	0.169
	PC_3	0.104	0.000	-0.170	-0.286	-0.155	0.097	-0.002	-0.083	0.030	0.062	0.025	-0.001	0.276	0.745	-0.036	-0.218	0.004	-0.391	0.083
	PC_4	-0.028	0.006	0.111	0.546	0.311	0.166	-0.391	0.002	-0.005	0.058	-0.004	-0.002	-0.240	0.052	0.029	-0.020	-0.002	-0.589	0.039

A:アカマツ群落、B:アカマツ植林、C:アカメグリシワ・エノキ群落、D:クズ群落、E:コナラ群落、F:ゴルフ場・芝地、G:シイ・カシ二次林、H:スギ・ヒノキ・サワラ植林、I:ツルヨシ群落、J:水域面積、K:工場地帯、L:自然裸地、M:常緑果樹園、N:水田雑草群落、O:造成地、P:竹林、Q:畑地雑草群落、R:緑の多い住宅地



植生および土地利用に関する主成分分析の結果，全

図1 各バッファサイズのフルモデルのAICの値

●はAICが最も低いバッファサイズを表す。

表2 選択されたモデル ($\Delta AIC < 2.0$) の各変数の係数の推定値と標準誤差

ΔAIC	ため池面積		土地利用PC1		土地利用PC3		土地利用PC4		池干しの有無	
	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE
0	124.2	75	-6.3	2.0	-	-	-	-	-	-
1.26	114.4	72	-6.4	2.2	-	-	-	-	0.9	1.0
1.28	-	-	-7.2	2.0	-	-	-	-	-	-
1.71	114.7	78	-6.3	2.0	2.3	4.3	-	-	-	-
1.80	124.0	76	-6.5	2.1	-	-	2.6	5.7	-	-

てのバッファサイズにおいてPC_1には常緑果樹園(表1 植生および土地利用区分:M)の因子負荷量が正の要因として大きく寄与していた(因子負荷量 0.703-0.803)。半径200m以上のバッファサイズではPC_1に常緑果樹園に次いで水田雑草群落(同区分:N)と、緑の多い住宅地(同区分:R)の因子負荷量が負の要因として寄与していた。

景観スケールのモデル選択にあたって、バッファサイズ400mにおける平均標高と、バッファサイズ500mにおける平均標高およびPC_2は、全ての説明変数を組み込んだGLMにおいてVIFが3.0以上となり、これらの説明変数はGLM構築から除外した。AICを算出した結果、バッファサイズ500mのAICが最小となり、解析する景観スケールとした(図1)。バッファサイズ500mにおいて、オオキトンボの確認の有無を応答変数、ため池面積、池干しの有無、PC_1、PC_3、PC_4を説明変数として全ての説明変数の組み合わせのGLMにおいて、AIC最小モデルとの差が2以下のモデル($\Delta AIC < 2.0$)は5つのモデルが選択された。選択された全てのモデルでため池面積がプラス要因の説明変数として選択され、次いでPC_1がマイナス要因の説明変数として選択された(表2)。標高は全てのモデルで選択されなかった。調査地点の空間自己相関は認められ

なかった(Moran I test p-value ≥ 0.65)。

考察

本解析で用いたPC_1は、因子負荷量から常緑果樹園が多く、水田と住宅が少ないという共通の特徴があった。愛媛県における常緑果樹園の殆どは柑橘園地であり、調査対象地域もそれに該当することからPC_1の解釈として、山間部の柑橘園地を中心とした農耕地とすることが出来る。選択されたGLMではPC_1が負の効果として選択されたことから、オオキトンボの飛来するため池の周辺環境として、柑橘園が少なく住居と水田が混在した周辺環境、すなわち水田景観を有する里地環境に位置するため池を選好すると考えられた。オオキトンボの産卵行動は秋期に減水を行うため池で主に観察されるが³⁾、調査対象地域のため池における秋期の減水管理の主な目的が裏作である裸麦への湿害防止(ため池管理者へのヒアリングによる)であり、水田周辺のため池が山間部の果樹園に位置するため池と比較して優先的に減水管理を行っている可能性が高いものの、本調査では減水管理を行うため池の環境条件は明らかにすることが出来なかった。また、ため池面積が正の効果として選択されていることから、本種の産卵行動は面積が広いため池を選択する傾向があると考えられた。

まとめ

- 1 オオキトンボが飛来するため池の環境条件を検討した。
- 2 オオキトンボが確認されたため池は、周囲にかんきつ園が少なく、住居と水田が混在する環境で、ため池面積の大きさも影響を与えている。

文献

- 1) 杉村光俊ほか: 中国・四国のトンボ図鑑, 204 - 205 (2008)
- 2) 久松定智: 愛媛県レッドデータブック2014 愛媛県の絶滅のおそれのある野生生物「オオキトンボ」, 176 (2014)
- 3) 久松定智ほか: 愛媛のトンボ, (2013)
- 4) 村上裕ほか: 保全生態学研究, 25:279-286 (2020)
- 5) Zuur *et al.*: Methods in Ecology and Evolution, 1 (1): 3-14 (2010)

Relationship between Land Use and Distribution of *Sympetrum uniforme* in Ehime Prefecture, Japan

Hiroshi MURAKAMI, Sadatomo HISAMATSU, Reo TAKECHI, Shiro
TAKAHASHI,
Koji TOYODA, Seiichi HASHIGOE, Hiromitsu MATSUI

In this study, *Sympetrum uniforme* flies, which uses reservoirs as its main egg-laying site, was selected as the target species, and the relationship between the distribution of this species and land use was verified using data from a distribution survey conducted in Matsuyama City, Ehime Prefecture, in 2017. Synthetic variables integrated by principal component analysis of existing vegetation and land use categories, land elevation, reservoir area, and presence or absence of dried ponds were used as environmental factors. Based on these factors, we constructed and evaluated a generalized linear model to estimate the distribution probability of *S. uniforme* flies, and found that the area around the ponds where this species was observed was a satochi environment with a mixture of rice paddies and dwellings, and that the size of the reservoir area also had an effect.