

エサキアメンボの和歌山県紀の川市と 京都府精華町における生息場所とその利用

増田 倫士郎*・江種 伸之**・中尾 史郎*

Habitat utilization of *Limnopus esakii* (Miyamoto) (Hemiptera: Gerridae) in
Kinokawa City, Wakayama Prefecture, and Seika-cho, Kyoto Prefecture

Rinshiro MASUDA*, Nobuyuki EGUSA** and Shiro NAKAO*

要旨：エサキアメンボでは、越冬世代の成虫はその他世代の成虫よりも飛翔性が強く、繁殖場所となる溜池と越冬場所となる溜池との間を秋季と春季に飛翔移動すると推定されている。その真偽を検討するために、和歌山県紀の川市で2ヶ年にわたって、冬季の成虫、ならびに初夏の幼虫と成虫の存否を96の溜池で調査した。さらに、冬季の存否と夏季の水面上の“植生面積”との組み合わせ、ならびに夏季の存否と冬季の“陸域面積”との組み合わせに基づいたパッチ占有モデルによって分布予測をおこなった。野外では、冬季も夏季も生息を確認できた溜池が存在した一方で、夏季あるいは冬季のみに生息を確認できた溜池もあった。モデル解析結果は実際の分布変動に近似した。これらの結果は本種が春季と秋季に飛翔移動することを強く示唆しており、繁殖場所と越冬場所とともに備えた溜池が、短命な局所個体群の創設雌の供給源であることを示した。こうした点に注目し、京都府精華町で新たに発見した生息場所の状況を記録した。

(2013年9月27日受理)

はじめに

エサキアメンボ *Limnopus esakii* (Miyamoto) は、中国、朝鮮半島、ならびに日本の北海道から九州、そして対馬に分布するアメンボ亜科の小型種である。本種は溜池、水路および河川の抽水植物群落内に生息する(林・宮本, 2005)。日本での分布は極めて局地的で(滋賀県生き物統合調査委員会, 2011)、生息場所の減少のため(立川, 1985; 林・宮本, 2005)、環境省の第4次レッドリストで準絶滅危惧類に選定されている(環境省, 2012)。

その一方、西日本の溜池では近年になって新しい生息場所の発見が相次いでいる(山尾・中尾, 2005; 矢崎・石田, 2008; 深川, 2012; 大串, 2012; 大原, 2013; 大原ら, 2013)。和歌山県の紀の川市では、2004年と2006年に複数の溜池での生息が確認され(山尾・中尾,

2005; 中尾・江種, 2007)、その分布状況から、本種が少なくとも500 m程は飛翔移動すると推察された(中尾・江種, 2007)。同地域のエサキアメンボは11月から2月下旬の間、枯死した抽水植物の堆積物中で越冬する(増田・中尾, 2013a)。本種の飛翔活動性には光周期で制御される明確な季節性があり、短日に反応して休眠した個体の飛翔性が夏季の繁殖個体よりも高い(増田・中尾, 2013b)。そのため、秋季に繁殖場所である水面から越冬場所である陸域に、そして春季に越冬場所である陸域から繁殖場所である水面に飛翔移動する個体のあることが示唆されている(増田・中尾, 2013b)。しかし、野外の個々の溜池におけるエサキアメンボの存否は越冬期とその前後に実際に変化しているかは未解明であり、越冬場所となっている溜池の空間配置の把握もなされていない。これらを解明することは、現存する個体群の長期

* 京都府立大学大学院生命環境科学研究科応用昆虫学研究室

Laboratory of Applied Entomology, Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University, Kyoto 606-8522, Japan

** 和歌山大学システム工学部環境システム学科

Department of Environmental Systems, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University, Wakayama 640-8510, Japan

的な存続と生息場所の保全を図る上で重要と思われる。

和歌山県の紀の川市の溜池群では空間明示モデルによるメタ個体群構造の解析が、2006年夏季の各溜池の抽水植物群落の面積をパッチ面積として、2004年と2006年の各々の溜池における個体の存否に基づいて遂行された(中尾・江種, 2007; 徳田ら, 2009; 江種ら, 2010)。ただし現実には、夏季の抽水植物群落は繁殖場所として利用されるだけであり、このモデル解析には冬季の生息(越冬)場所の存否、ならびに飛翔分散性の季節的差異は考慮されていない。もし、エサキアメンボの移動性が越冬前後に相対的に高く、越冬およびその前後の移動がメタ個体群の維持に強く貢献するならば、越冬可能場所の規模や分布、ならびに飛翔の季節性を考慮して夏季の個体の存否から冬季の分布を予測し、越冬個体の存否と繁殖可能場所の規模や分布から夏季の分布を予測した場合、より高い確率で実際の分布に整合すると考えられる。

本研究では、和歌山県紀の川市を対象にして、連続した2ヶ年の越冬時期と繁殖時期に野外調査をおこない、個々の溜池における個体の存否とその多寡を把握した。さらに同地の溜池群を対象に、越冬場所になると想定される個々の溜池の陸域面積、および繁殖場所になると想定される抽水植物群落の面積を調査して、それらを用いたパッチ占有モデル分析を遂行し、実際の存否とモデル解析結果の整合性を検討した。これらから、エサキアメンボの分布の2ヶ年にわたる経時的変動が越冬前後の高率での溜池間の飛翔移動で説明可能か検討した。また、京都府では、本種は深泥池のみに生息するとされてきたが(京都府企画環境部環境企画課, 2002)、府の南部地域において新たな生息場所を確認したので、その状況をあわせて報告することとした。

1. 方法

和歌山県

分布の現状を把握するため、和歌山県紀の川市貴志川町の51ヶ所と打田町の45ヶ所の溜池を調査対象地とした(図1)。この対象地は先行研究(中尾・江種, 2007;

徳田ら, 2009; 江種ら, 2010)の調査範囲と同じであった。越冬中のエサキアメンボを発見するために、2012年の2月から3月の間に1回、そして2013年の2月に1回、調査対象のすべての溜池を探索し、ヨシ *Phragmites australis* Trin, ガマ *Typha latifolia* L., マコモ *Zizania latifolia* Turcz, キショウブ *Iris pseudacorus* L. およびキシウスズメノヒエ *Paspalum distichum* L. の存在する溜池において、これら植物種の地上部残渣堆積物を40分間探索した。ただし、越冬個体を発見できた際には探索を終了した。夏季の幼虫と成虫の存否調査は、2012年の5月から7月の間に1回、ならびに2013年の5月に1回、調査者1名が捕虫網(長辺25 cm, 短辺18 cm, メッシュ径0.1~0.2 mm)で水面上の個体を見つけ採り方で30分間採集して、実施した。ただし、個体を発見できた際には探索を終了した。採集した成虫の性別と個体数、ならびに幼虫の齢と個体数を記録した。なお、エサキアメンボでは腹面色彩に黒色型と白色型の二型が知られる(村路・加藤, 1990)。和歌山県紀の川市では黒色型のみが越冬し、白色型は主に夏季のみに出現する(増田・中尾, 2013a)。越冬世代の個体と夏季に繁殖をおこなう世代の個体を判別するために、成虫については腹面色彩も記録した。

溜池の陸域面積(越冬可能場所の面積)を把握するために、2012年の2月から3月の間に1回、そして2013年の2月に1回、貴志川および打田の両町で調査を実施した。エサキアメンボの越冬個体は、水面からの距離が1 m以内のヨシ、ガマ、マコモ、キシウブ、スズメノヒエ、またはそれらの混在する、陸域の植物枯死材の堆積物内で越冬していた。その堆積範囲は最小で2 m²であった。したがって、陸域で2 m²以上の範囲で枯死物が堆積した範囲を(越冬可能性がある)“陸域面積”とした。陸域面積はその周囲長、幅、奥行きを測定して算出した。

溜池内の夏季の抽水植物群落面積を把握するため、2012年と2013年の5月に貴志川町と打田町で調査を実施し、水面上の植物群落を構成する植物種名、および各群落の各植物種が群落面積に占める被覆割合(植比率)

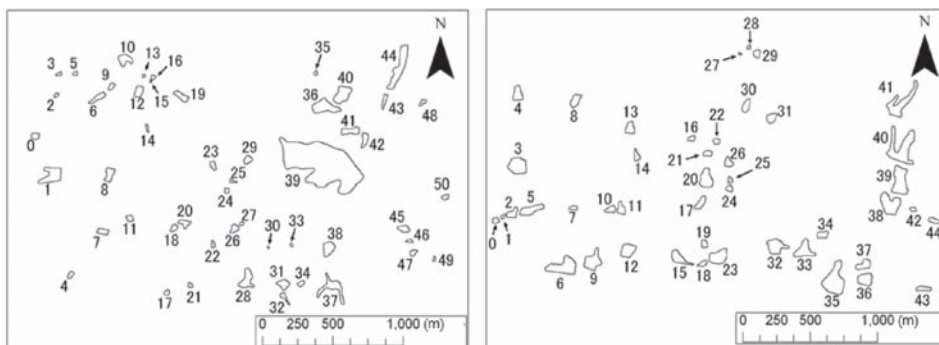


図1 和歌山県紀の川市の調査対象溜池。(左: 貴志川町, 右: 打田町)。

を百分率で記録した。先行研究（中尾・江種，2007）により，夏季の生息の可否は溜池内の抽水植物群落の面積と植被率に関係すると推察され，両町に共通する条件として，水面上の抽水植物群落の植被率80%以上，群落面積が6 m²以上が得られている。そこで，本稿ではこの条件を満たす抽水植物群落の面積を“植生面積”（繁殖可能な場所）とした。

解析に用いたモデルはパッチ占有モデルと呼ばれ，パッチの大きさ（今回は“陸域面積”と“植生面積”），パッチの空間的な位置（今回は溜池重心間の距離），各パッチの対象生物の有無およびその移動能力で構成される。パッチ占有モデルの基礎式は次の4つで表される。

$$\text{占有率 } J_i = \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{y'}{S_i}\right)^2} \frac{e}{A_i^x} \quad (1)$$

$$\text{移住率 } C_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{y'}{S_i}\right)^2} \quad (2)$$

$$\text{絶滅率 } E_i = \frac{e}{A_i^x} \quad (A_i > e^{1/x}) \quad , \quad E_i = 1 \quad (A_i \leq e^{1/x}) \quad (3)$$

$$\text{孤立度 } S_i = \sum p_j \exp(-\alpha \cdot d_{ij}) A_j \quad (4)$$

以上の式(1)から式(4)で表されるパッチ占有モデルは4つのフィッティングパラメータ (y' , e , x , a) を含むため，対象地に適した値を求める必要がある。今回の解析では，本研究でおこなった2年連続の野外調査から得られた冬季と夏季の存否情報，ならびに冬季の陸域面積と夏季の植生面積を交互に用いて解析をおこなった。つまり，2012年の2月と3月の調査で得られた越冬個体の存否情報と同年5月の植生面積を用いて同年の夏季の分布を予測し，同年5月から7月の調査で得られた幼虫と成虫の存否情報と2013年2月の調査で得られた陸域面積を用いて2013年冬季の分布を予測し，同年2月の調査で得られた越冬個体の存否情報と同年5月に得られた植生面積を用いて同年夏季の分布を予測するというように解析をおこなった。フィッティングパラメータの値は，貴志川町では溜池27, 36および41（図1）が生息池となること，式(3)の $e^{1/x}$ が冬季の陸域面積を用いる場合には，その最小値である2 m²になること，さらに式(3)の $e^{1/x}$ が夏季の植生面積を用いる場合にはその最小値である6 m²（中尾・江種，2007）になることを重視して，試行錯誤的に求めた。同様に，打田町では，溜池25が生息池となることを重視して求めた。次世代の占有状態は，先行研究（中尾・江種，2007；徳田ら，2009；江種ら，2010）と同様に空パッチでは移住率

が0.7以上，占有パッチでは絶滅率が0.3以下になった場合に生息と判定した。溜池重心間の距離は先行研究（中尾・江種，2007；徳田ら，2009；江種ら，2010）の値を適用した。以上のモデル解析で予測される生息池の分布と実際の分布情報，ならびに過去のモデル解析の結果とを比較した。

京都府

京都府相楽郡精華町の3つの池ならびに河川（木津川の支流）の1ヶ所を調査対象地とし，2013年の5月と7月に小型の捕虫網で調査者1名または2名が水面上のアメンボ類を30分間採集した。河川の調査流路長は約60 m，低水路の幅は約20 m，水深は30~70 cmであった。採集したエサキアメンボの個体数，成虫の性別と腹面色彩，ならびに幼虫の齢を記録した。生息を確認できた池の水深，ならびに植生とその面積を記録した。さらに，生息を確認できた池の重心から半径900 m圏内にある溜池の数，植生および陸域の有無を航空写真（Google，2013）から判定した。

2. 結果

和歌山県紀の川市

(1) 生息状況，陸域面積および植生面積

貴志川町では溜池27, 36, 40, 41および42で個体を確認できた（図2，表1）。冬季の成虫と夏季の幼虫を2ヶ年とも確認できた溜池は，27, 36および41であった（図2，表1）。これらの溜池で2012年の3月と2013年の2月に確認できた成虫は黒色型のみであり，2012年と2013年の5月に確認できた成虫は白色型のみであった（表1）。したがって，これらの溜池は越冬場所と繁殖場所の両方の機能を有する溜池であった。溜池40では，2012年の3月に越冬中の成虫を確認できたが，同年5月には成虫および幼虫を確認できなかった（図2，表1）。同溜池では，2013年の2月には越冬中の成虫を確認できなかったが，同年5月には幼虫を確認できた（図2，表1）。溜池42では，2012年には3月と5月に越冬中の成虫と第1世代虫をそれぞれ確認できたが，2013年には個体をまったく確認できなかった（図2，表1）。

打田町では溜池9, 16, 25および31で個体を確認できた（図3，表2）。2012年の2月から3月の間と5月，ならびに2013年の2月と5月の調査時に毎回個体を確認できた溜池は25のみであった（図3，表2）。溜池9と16は，2012年の2月から3月の間には越冬中の個体を確認できなかったが（図3），同年の5月から7月の間には白色型成虫と幼虫を確認できた（表2）。2013年の2月には同溜池では越冬中の個体を確認できなかった（図3）。溜池9では同年5月に白色型成虫と幼虫を確認できたが（表2），溜池16では個体を確認できなかった（表2）。溜池31では2012年の5月を除いて，2012年の

2月から3月の間、ならびに2013年の2月と5月に個体を確認でき(図3), 2月から3月の間には黒色型成虫のみを, そして5月には幼虫と白色型成虫を確認した(表2)。以上のことから, 恒常的に生息が認められる溜池は25で, 繁殖期だけに生息が認められる溜池は9と16で

あること, そして, 2012年に越冬場所としてしか機能していなかった溜池31は, 2013年には越冬場所としても繁殖場所としても機能していたことが明らかとなった。つまり, 貴志川町と打田町にはエサキアメンボが恒常的に生息する溜池が複数存在する一方, 繁殖時期または越冬

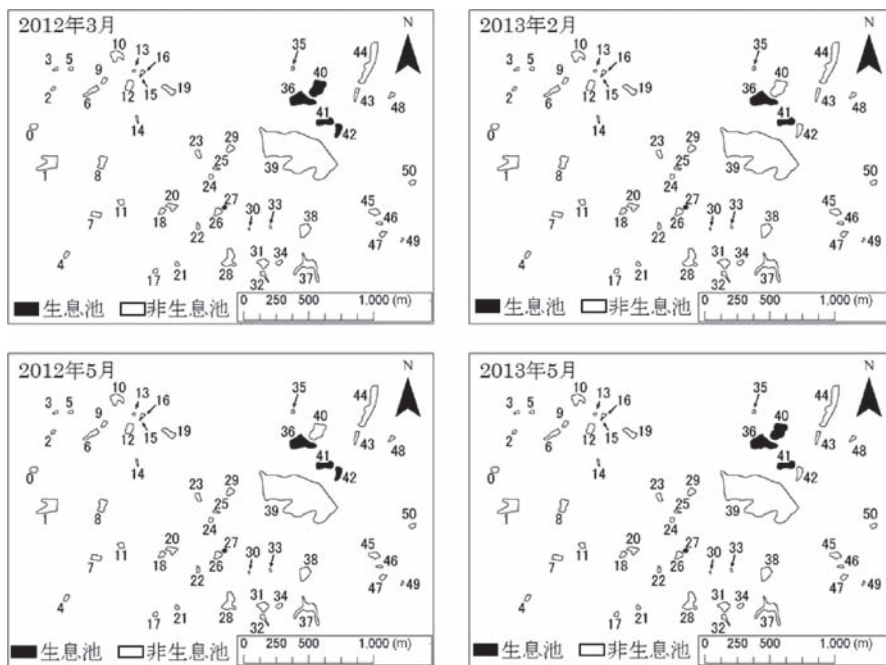


図2 貴志川町における生息池と非生息池の分布。

表1 貴志川町の溜池における個体数と成虫の色彩型。

調査年月日	溜池番号 ¹⁾	個体数			色彩型 ⁴⁾		
		若齢幼虫 ²⁾	中老齢幼虫 ³⁾	成虫(雌, 雄)			
2012	3月18・19日	27	0	0	3 (2, 1)	B	
		36	0	0	2 (2, 0)	B	
		40	0	0	3 (2, 1)	B	
		41	0	0	2 (0, 2)	B	
		42	0	0	3 (2, 1)	B	
2012	5月27日	27	0	8	1 (0, 1)	W	
		36	2	4	7 (7, 0)	W	
		41	1	1	3 (3, 0)	W	
		42	0	2	4 (3, 1)	W	
2013	2月14日	27	0	0	1 (0, 1)	B	
		36	0	0	2 (1, 1)	B	
		41	0	0	1 (0, 1)	B	
	2013	5月23日	27	1	1	1 (0, 1)	W
			36	0	7	6 (4, 2)	W
40			0	5	0	—	
		41	0	1	3 (2, 1)	W	

¹⁾ 図1参照。 ²⁾ 1齢幼虫から3齢幼虫。 ³⁾ 4齢幼虫以降。 ⁴⁾ 増田・中尾(2013a)に基づき類別。 W: 白色型。 B: 黒色型。 —: 該当なし。

冬時期だけに出現する溜池が存在した。生息池と水路で直接連結されない溜池において個体の存否状況が年次によって異なったことは、本種の分布域が飛翔によって拡大したと想定することに矛盾しなかった。

エサキアメンボを確認できた貴志川町の溜池 27 は小規模で水深が約 50 cm と浅く、池全体に抽水植物が繁茂しており、夏季には水面が見えない程の植被率となった(図 4)。それ以外の溜池 36, 40, 41 および 42 は相対的に大規模な溜池であり、汀線付近にのみ抽水植物が発育していた。本種を確認した打田町の溜池 16, 25 および 31 は小規模な池であり、夏季には溜池の水面が見

えなくなる程の植物群落が存在していた(図 5)。一方で、溜池 9 は相対的に規模が大きく、汀線付近のみに抽水植物群落が存在した。

貴志川町と打田町の両町ともに越冬可能な場所(陸域)を保持する溜池の数は、繁殖が可能な抽水植物群落を夏季に保持する溜池よりも少なかった(表 3, 4)。2012 年の冬季に越冬個体を確認した貴志川町の溜池 40(図 2)では、同年夏季には水位が低下しており、繁殖が可能な抽水植物群落が認められなかった。2012 年と 2013 年の夏季に幼虫と成虫を確認した打田町の溜池 9(表 2)では、2012 年冬季の溜池の水位低下および 2013 年の冬季の堰

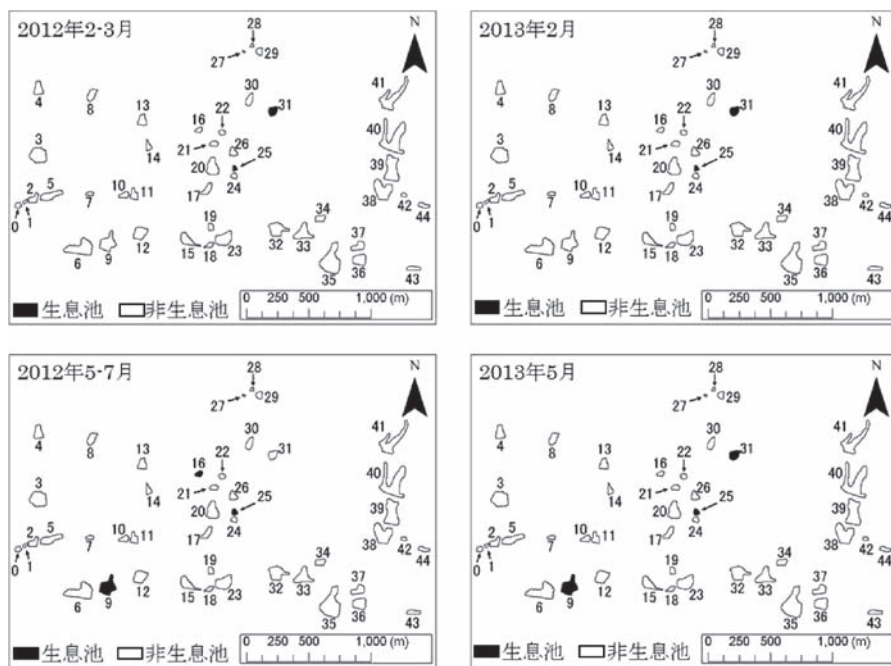


図 3 打田町における生息池と非生息池の分布。

表 2 打田町の溜池における個体数と成虫の色彩型。

調査年月日	溜池番号 ¹⁾	個体数			色彩型 ⁴⁾	
		若齢幼虫 ²⁾	中老齢幼虫 ³⁾	成虫(雌, 雄)		
2012	2月29日・3月1日	25	0	0	6 (2, 4)	B
		31	0	0	2 (1, 1)	B
	7月17日	9	0	2	1 (1, 0)	W
	5月17日	16	0	7	5 (2, 3)	W
2013		25	0	9	6 (3, 3)	W
	2月13日	25	0	0	1 (0, 1)	B
		31	0	0	5 (3, 2)	B
	5月24日	9	0	6	2 (1, 1)	W
		25	0	8	7 (2, 5)	W
	31	0	3	1 (0, 1)	W	

¹⁾ 図 1 参照。 ²⁾ 1 齢幼虫から 3 齢幼虫。 ³⁾ 4 齢幼虫以降。 ⁴⁾ 増田・中尾 (2013a) に基づき類別。 W: 白色型。 B: 黒色型。

堤の改修工事による水抜きにより越冬場所とみなせる陸域が認められなかった（図6：右）。2012年の夏季に幼虫と成虫を確認した打田町の溜池16（表2）では、2013年冬季の堰堤の改修工事に伴う排水によって陸域と植物

群落が消滅した（図6：左）。このように、打田町の溜池の陸域面積および植生面積の変化は劇的であり、その主要因は人為的なものであった。また、両町において本種が恒常的に生息する溜池には一定面積以上の陸域と植



図4 エサキアメンボが2ヶ年の冬夏ともに確認できた貴志川町の溜池27.
(左：2013年2月14日，右：2012年5月27日 撮影)。



図5 エサキアメンボが2ヶ年の冬夏ともに確認できた打田町の溜池25.
(左：2012年2月29日，右：2012年5月27日 撮影)。

表3 越冬可能な堆積物，ならびに抽水植物群落の存在する貴志川町の溜池の2012年と2013年の陸域面積と植生面積。

溜池番号 ¹⁾	2012年		2013年	
	陸域面積 (m ²) ²⁾	植生面積 (m ²) ³⁾	陸域面積 (m ²) ⁴⁾	植生面積 (m ²) ⁵⁾
19	0.0	168.7	0.0	99.8
20	27.6	81.2	0.0	74.1
25	0.0	29.6	0.0	28.4
27	127.2	60.7	93.9	65.6
36	1406.1	744.4	3071.5	1263.8
40	408.1	0.0	0.0	350.7
41	111.5	216.7	200.3	321.5
42	64.7	110.3	0.0	126.2
43	0.0	97.4	55.3	41.1
48	0.0	147.5	59.4	101.2

1) 図1参照。 2) 3月18日および19日に調査。 3) 5月27日に調査。 4) 2月14日に調査。 5) 5月23日に調査。

表4 越冬可能な堆積物，ならびに抽水植物群落の存在する打田町の溜池の2012年と2013年の陸域面積と植生面積.

溜池番号 ¹⁾	2012年		2013年	
	陸域面積 (m ²) ²⁾	植生面積 (m ²) ³⁾	陸域面積 (m ²) ⁴⁾	植生面積 (m ²) ⁵⁾
3	0.0	141.5	0.0	435.5
6	0.0	119.6	0.0	129.5
9	0.0	370.6	0.0	341.6
11	0.0	509.4	0.0	0.0
16	211.2	184.5	0.0	0.0
21	134.2	274.1	0.0	0.0
22	220.6	167.2	247.8	0.0
25	318.9	323.5	208.6	329.4
31	514.9	0.0	283.8	323.9

¹⁾ 図1参照. ²⁾ 2月29日および3月1日に調査. ³⁾ 5月17日に調査. ⁴⁾ 2月13日に調査. ⁵⁾ 5月24日に調査.



図6 人為的な強度の攪乱による生息場所の消失(2013年2月13日撮影).

左:打田町の溜池9(落水により越冬場所とみなせる陸域が消失), 右:打田町の溜池16(浚渫作業とともなって陸域消失).

生の両者が存在した(表1-4).

(2) モデル解析

モデルのフィッティングパラメータ (y' , e , x , a) の値は, 冬季の陸域面積を用いる場合には $y' = 40$, $e = 2$, $x = 1.1$, $a = 0.09$, 夏季の植生面積を用いる場合には $y' = 40$, $e = 4$, $x = 0.7$, $a = 0.02$ となった。貴志川町における分布変動とモデル解析結果を表5Aと表5Bにそれぞれ示し, 図7にモデルで予測された生息池の分布を図示した。貴志川町における分布予測結果は, 2013年冬季の溜池42を除き, 実際の分布状況と完全に一致した(図7, 表5)。2013年冬季の溜池42は, モデル解析では生息池と判定されたが(表5B), 実際には非生息池であった(図7, 表5A)。

打田町における分布変動とモデル解析結果を表6Aと表6Bにそれぞれ示した。また, 図8にモデル解析結果を図示した。2012年夏季の分布予測結果は, 溜池9, 16および24を除き実際の生息状況と一致した(図8, 表6)。同年夏季の溜池9と16は生息池であり, 溜池24は非生息池であった(図8, 表6)。2013年冬季では, 生息池

である溜池31がモデル解析では非生息池と判定された点だけが, 実際の分布と異なった(図8, 表6)。2013年夏季には, 生息池である溜池9がモデル解析で非生息池と判定された点だけ, 実際と異なっていた(図8, 表6)。

京都府相楽郡精華町

採集記録: 17. V. 2013 (5 齢幼虫 1 個体, 4 齢幼虫 2 個体, 3 齢幼虫 1 個体), 17. VII. 2013 (白色型雌成虫 9 個体, 白色型雄成虫 4 個体, 4 齢幼虫 1 個体)。これら成虫の証拠標本は京都府立大学応用昆虫学研究室に収蔵した。

1つの調整池でのみ生息を認めた。採集には失敗したが, 2013年の5月17日には同所で雌成虫1個体を目撃している。この調整池の形状は概ね長方形(50 × 200 m)であり, 水深は約70 cmであった。周囲は人工物で護岸されており, 植生面積は1,208.0 m²であった。7月にはヨシとガマの混生によって植被率が約95%となった(図9: 右)。また, 越冬場所になると思われる植物残渣の堆積物を認めた(図9: 左の点線部分)。この調整池の重心から半径200 mの範囲内には4つの溜池があり,

表5 貴志川町における2年間の分布変動とモデル解析結果

(A) 実際の生息状況					(B) モデルによる予測				
溜池番号 ¹⁾	2012年		2013年		溜池番号 ¹⁾	2012年		2013年	
	冬季	夏季	冬季	夏季		冬季	夏季 ²⁾	冬季 ³⁾	夏季 ⁴⁾
0	0	0	0	0	0	—	0	0	0
1	0	0	0	0	1	—	0	0	0
2	0	0	0	0	2	—	0	0	0
3	0	0	0	0	3	—	0	0	0
4	0	0	0	0	4	—	0	0	0
5	0	0	0	0	5	—	0	0	0
6	0	0	0	0	6	—	0	0	0
7	0	0	0	0	7	—	0	0	0
8	0	0	0	0	8	—	0	0	0
9	0	0	0	0	9	—	0	0	0
10	0	0	0	0	10	—	0	0	0
11	0	0	0	0	11	—	0	0	0
12	0	0	0	0	12	—	0	0	0
13	0	0	0	0	13	—	0	0	0
14	0	0	0	0	14	—	0	0	0
15	0	0	0	0	15	—	0	0	0
16	0	0	0	0	16	—	0	0	0
17	0	0	0	0	17	—	0	0	0
18	0	0	0	0	18	—	0	0	0
19	0	0	0	0	19	—	0	0	0
20	0	0	0	0	20	—	0	0	0
21	0	0	0	0	21	—	0	0	0
22	0	0	0	0	22	—	0	0	0
23	0	0	0	0	23	—	0	0	0
24	0	0	0	0	24	—	0	0	0
25	0	0	0	0	25	—	0	0	0
26	0	0	0	0	26	—	0	0	0
27	1	1	1	1	27	—	1	1	1
28	0	0	0	0	28	—	0	0	0
29	0	0	0	0	29	—	0	0	0
30	0	0	0	0	30	—	0	0	0
31	0	0	0	0	31	—	0	0	0
32	0	0	0	0	32	—	0	0	0
33	0	0	0	0	33	—	0	0	0
34	0	0	0	0	34	—	0	0	0
35	0	0	0	0	35	—	0	0	0
36	1	1	1	1	36	—	1	1	1
37	0	0	0	0	37	—	0	0	0
38	0	0	0	0	38	—	0	0	0
39	0	0	0	0	39	—	0	0	0
40	1	0	0	1	40	—	0	0	1
41	1	1	1	1	41	—	1	1	1
42	1	1	0	0	42	—	1	1	0
43	0	0	0	0	43	—	0	0	0
44	0	0	0	0	44	—	0	0	0
45	0	0	0	0	45	—	0	0	0
46	0	0	0	0	46	—	0	0	0
47	0	0	0	0	47	—	0	0	0
48	0	0	0	0	48	—	0	0	0
49	0	0	0	0	49	—	0	0	0
50	0	0	0	0	50	—	0	0	0

1；生息。0；非生息。—；該当なし。¹⁾ 図1参照。²⁾ 2012年冬季の存否と2012年夏季の植生面積を用いて解析。³⁾ 2012年夏季の存否と2013年冬季の陸域面積を用いて解析。⁴⁾ 2013年冬季の存否と2013年夏季の植生面積を用いて解析。

表6 打田町の溜池における2年間のエサキアメンボの分布変動とモデル解析結果

(A) 実際の生息状況

溜池番号 ¹⁾	2012年		2013年	
	冬季	夏季	冬季	夏季
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	1	0	1
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	1	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	1	1	1	1
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	1	0	1	1
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0

(B) モデルによる予測

溜池番号 ¹⁾	2012年		2013年	
	冬季	夏季 ²⁾	冬季 ³⁾	夏季 ⁴⁾
0	—	0	0	0
1	—	0	0	0
2	—	0	0	0
3	—	0	0	0
4	—	0	0	0
5	—	0	0	0
6	—	0	0	0
7	—	0	0	0
8	—	0	0	0
9	—	0	0	0
10	—	0	0	0
11	—	0	0	0
12	—	0	0	0
13	—	0	0	0
14	—	0	0	0
15	—	0	0	0
16	—	0	0	0
17	—	0	0	0
18	—	0	0	0
19	—	0	0	0
20	—	0	0	0
21	—	0	0	0
22	—	0	0	0
23	—	0	0	0
24	—	1	0	0
25	—	1	1	1
26	—	0	0	0
27	—	0	0	0
28	—	0	0	0
29	—	0	0	0
30	—	0	0	0
31	—	0	0	1
32	—	0	0	0
33	—	0	0	0
34	—	0	0	0
35	—	0	0	0
36	—	0	0	0
37	—	0	0	0
38	—	0	0	0
39	—	0	0	0
40	—	0	0	0
41	—	0	0	0
42	—	0	0	0
43	—	0	0	0
44	—	0	0	0

1：生息，0：非生息，—：該当なし，¹⁾ 図1参照，²⁾ 2012年冬季の存否と2012年夏季の植生面積を用いて解析，³⁾ 2012年夏季の存否と2013年冬季の陸域面積を用いて解析，⁴⁾ 2013年冬季の存否と2013年夏季の植生面積を用いて解析。

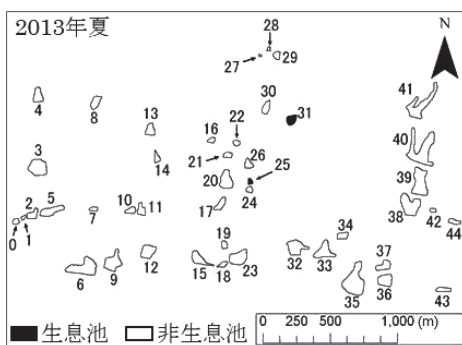
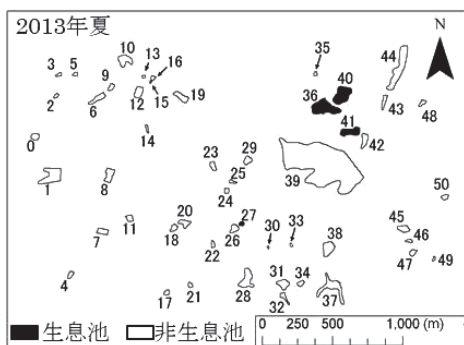
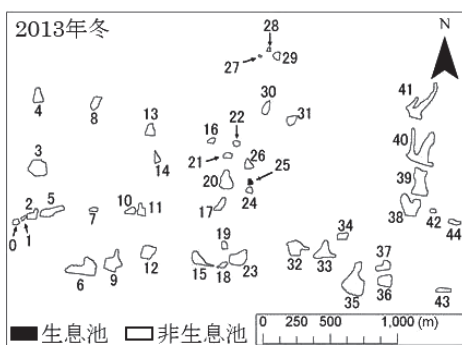
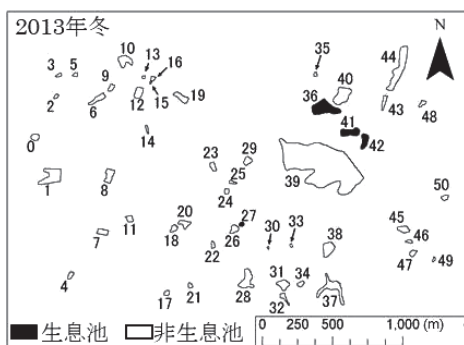
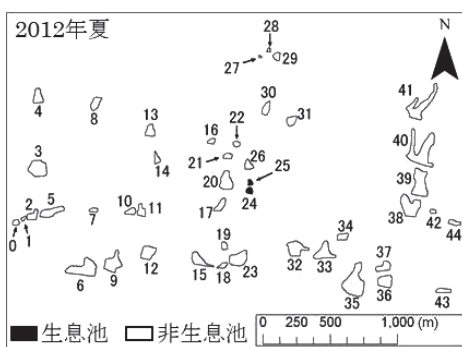
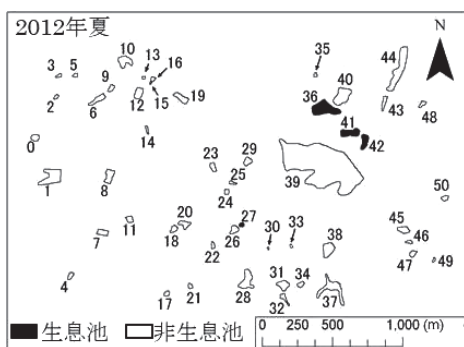


図7 貴志川町におけるモデル解析結果。

(A) は2012年冬季の存否と同年夏季の植生面積を、(B) は2012年夏季の存否と2013年冬季の陸域面積を、(C) は2013年冬季の存否と同年の夏季の植生面積をそれぞれ用いて解析した。解析には個体の存否情報、ならびに表3に示した陸域面積および植生面積を用いた。

図8 打田町におけるモデル解析結果。

(A) は2012年冬季の存否と同年夏季の植生面積を、(B) は2012年夏季の存否と2013年冬季の陸域面積を、(C) は2013年冬季の存否と同年夏季の植生面積をそれぞれ用いて解析した。解析には個体の存否、ならびに表4に示した陸域面積および植生面積を用いた。

半径400 mの範囲内には11個の溜池が存在した。200 m圏内の1つの溜池および400 m圏内の3つの溜池には、繁殖場所となる植生や越冬場所となるとと思われる陸域の構造が航空写真 (Google, 2013) で確認できた。半径900 m圏内にはさらに9つの溜池を認めたが、それらに植生または陸域を確認できなかった (Google, 2013)。

3. 考察

溜池における2ヶ年の存否状況の変動は、エサキアメンボが越冬前後に溜池間を飛翔移動するという仮説に矛盾しなかった。すなわち、繁殖時期である夏季に幼虫と白色型成虫を確認でき、越冬時期である冬季に個体を確認できなかった貴志川町の溜池40 (図2, 表1) や打田



図9 京都府相楽郡精華町におけるエサキアメンボの生息池。(左:2013年5月17日, 右:2013年7月17日 撮影).

町の溜池31(図3, 表2)の存在は, 秋季の飛翔による移出を示唆している。越冬前や越冬中の死亡による消滅を仮定するならば, 早春の飛翔移入の可能性を指摘できる。さらに, 2012年の調査では打田町の溜池9と16で, 夏季のみに個体を発見できた(図3, 表2)。溜池9は越冬場所となる陸域と越冬成虫が2012年3月に認められず(図3, 表2, 4), 同年5月下旬に幼虫と白色型成虫を発見できた(表2)。さらにこの溜池では, 2013年2月には堰堤の改修工事で水が完全に抜かれ(図6:左), 越冬成虫を発見できなかったが, 同年夏季の調査では幼虫と成虫を確認できた(表2)。これらの結果は春季の飛来を示唆する。

エサキアメンボの和歌山県紀の川市の個体群では, 7月に採集した白色型個体は全く飛翔せず, 発達した飛翔筋を有する個体が2.6%($n = 38$)と極めて低率であるのに対し, 3月中旬, 9月と10月に採集した黒色型個体は飛翔し, 3月中旬には75.0%($n = 8$), 9月には25.0%($n = 24$)が発達した飛翔筋を有している(増田・中尾, 2013b)。さらに, 本種の黒色型発現と生殖休眠の誘導は短日条件で促されることが知られる(村路・加藤, 1990)。紀の川市の個体群における黒色型発現の臨界日長は約14.25時間, そしてその雌の生殖休眠誘導の臨界日長は約13.75時間であり(増田・中尾, 2013a), 明期13時間未満で发育した休眠雌の飛翔性と発達した飛翔筋を持つ個体の割合は, 長日条件で发育したものよりも高い(増田・中尾, 2013b)。これらのことから, 2012年の7月に打田町の溜池9で生息を認めた幼虫と白色型成虫は(表2), 夏季に近隣の溜池から移入飛翔した成虫やその子世代ではなく, 越冬世代虫が近隣の溜池から飛翔移入して繁殖した結果, 出現したのだと捉えられる。

和歌山県紀の川市において, 本種が恒常的に生息する溜池が複数確認できた。それと同時に, 越冬前後の分布変動の事実は, 本種が春季と秋季に飛翔移動するとの想定に矛盾しないことを示唆した。京都府相楽郡では現時点で1ヶ所のみが生息池が確認できた。この池はエサキ

アメンボが夏季に繁殖するのに十分な植生面積が存在するとともに, 越冬場所となる陸域も確認できたことから, 恒常的な生息池として機能すると考えられた。京都府南部の同所で5月中旬に目撃された成虫の腹面色彩は確認できなかった。和歌山県紀の川市では5月中旬は第一世代の羽化前で, 生息する成虫はすべて越冬世代であることが判明している。したがって, より北東の内陸部の京都府精華町の調整池で今回目撃された個体はそこで越冬していた個体の可能性がある。同池の半径400m圏内には, 恒常的な生息池になる可能性がある4つの溜池があった。今回発見された精華町の個体群は, 現時点で生息池となっている調整池と400m圏内に存在する4つの溜池の間での個体の移入や移出によりメタ個体群を形成しているかもしれない。

和歌山県紀の川市における従来の空間明示モデル(中尾・江種, 2007; 徳田ら, 2009; 江種ら, 2010)は, 2004年と2006年の分布情報と夏季の植生面積をもとに遂行された。その解析では, 貴志川町で2004年に溜池20, 23および27(山尾・中尾, 2005), 2006年に溜池20, 25, 27, 41および42が生息池であったこと(中尾・江種, 2007), ならびに打田町で2004年に溜池11, 22, 25および37(山尾・中尾, 2005), 2006年に溜池25が生息池であったこと(中尾・江種, 2007)に基づきモデルが構築されていた。このモデル解析によって生息池と判定される溜池の数は既知の生息池よりも多かった(中尾・江種, 2007; 徳田ら, 2009; 江種ら, 2010)。夏季の存否と夏季の植生面積によるエサキアメンボの分布予測は, 冬季の越冬(繁殖停止や越冬中の高い死亡率)を考慮しないために生息の可能性を過大評価したと考えられる。本研究では2ヶ年を通じて冬季と夏季に野外調査をおこない, 冬季の存否と夏季の植生面積, そして夏季の存否と冬季の陸域面積を用いてモデル解析をおこなった。その結果, 貴志川町においては, 実際の生息状況とモデル解析による結果の整合性は極めて高かった(図7, 表5)。例えば, 過去の解析では, 局所集団の出現と消滅が動的平衡に達した際に生息池と判定されていた貴志

川町の溜池 43, 44 および 48 が (中尾・江種, 2007), 本研究のモデル解析では一度も生息池と判定されなかった (図 7)。このことは植生だけでなく陸域が本種の恒常的な生息には必要であることを示すものである。

本研究のモデル解析におけるフィッティングパラメータ (y' , e , x , a) の値は, 冬季の陸域面積を用いる場合には $y' = 40$, $e = 2$, $x = 1.1$, $a = 0.09$, 夏季の植生面積を用いる場合には $y' = 40$, $e = 4$, $x = 0.7$, $a = 0.02$ と定められた。中尾・江種 (2007) では, $y' = 30$, $e = 4$, $x = 0.7$, $a = 0.01$ として解析されている。 y' と a はともに移動能力の大きさを示す定数である。陸域面積と植生面積のいずれをパッチ面積として用いた場合でも, y' と a の値は先行研究よりも大きかった。本研究の解析結果が実際の生息状況と良く整合していたことは, 陸域面積を解析に網羅したばかりでなく, 移動能力や移住率をより適切に反映できたためと考えられる。アメンボ亜科では, 春季に越冬場所から水面へ飛翔移動して, その後, 繁殖 (産卵) を開始すると飛翔筋が溶解して飛翔性が低下する種が知られている (Fairbairn & Bulter, 1990; Kaitala & Huldén, 1990)。エサキアメンボの紀の川市個体群では, 3月中旬には 75.0% の個体が発達した飛翔筋を有しているが, 4月上旬には発達した飛翔筋を有する個体の割合は 0% であることが報告されている (中尾・増田, 2013b)。さらに, 同個体群の生息場所では産卵が 4月上旬に開始されることから (増田・中尾, 2013a), エサキアメンボにおいても春季の産卵開始に同期して飛翔筋を溶解させ, 雌が飛翔しなくなることが推察できる。つまり, 春季に高い飛翔性を保持する期間は長くとも 3月上旬から 3月中旬までの約 20 日間程度である。紀の川市の個体群では, 生殖休眠が誘導された黒色型雌の出現は 9月上旬以降であり (増田・中尾, 2013a), それらの雌が 9月中旬から 10月中旬までの約 30 日の間に越冬場所へ移動すると推察されている (増田・中尾, 2013b)。このように, 春季と秋季にそれぞれ出現する成虫を比較すると, 飛翔性を維持する期間は秋季の方で長いものの, 実際に飛翔可能な個体の割合は春季に高い。一方, 春季に出現する越冬後成虫の個体数は, 秋季の成虫個体数の約 25% にすぎない (増田・中尾, 2013a)。これらは, 越冬中の高い死亡率, ならびに秋季と春季の飛翔による死亡率を反映しているかもしれない。以上のことから, わずかな個体ながら高率で出現する飛翔性の高い越冬後成虫が短期集中的に分散することが春季飛翔の特徴であり, 低率ながら多数出現する飛翔性の高い越冬前の休眠成虫が比較的長い期間をかけて分散することが秋季飛翔の特徴であると指摘できる。春季と秋季の飛翔がメタ個体群維持にそれぞれどの程度の影響を与えているかを明瞭にするには, より長い距離を飛翔できる個体の出現割合および飛翔成功率の季節的差異などに関する調査が必要だろう。

貴志川町において, 存否が一定でなかった溜池 40 と

42 には, 近隣の恒常的な生息池である溜池 36 と 41 からの個体移入があったと推察できる (図 2)。溜池 36 と 41 は陸域と植生面積が十分に存在し (表 3), 2012 年から 2013 年の間の 4 回の調査において, 複数の越冬個体および繁殖個体が確認できたことから, 今後も貴志川町におけるエサキアメンボの恒常的な生息場所となる可能性が高いと考えられる。打田町の溜池 9 は夏季のみに生息池となった (図 3)。溜池 9 に最も近い恒常的な生息池は溜池 25 である。したがって, 春季には溜池 25 から溜池 9 への個体の移入が推察できる。溜池 9 と 25 の間に存在する非生息池である溜池が, 移出入に重要な役割を果たすのかもしれない。つまり, エサキアメンボの越冬または繁殖に適した溜池ではないが, 恒常的な生息場所から夏季のみあるいは冬季のみ生息池となる溜池の間にある溜池は, 移動時の一時的着水場所となる可能性がある。同様のことは貴志川町の溜池 39 においても指摘できる (図 2)。溜池 39 は恒常的な生息池である溜池 27 と溜池 36 および 41 の間における移動時に, 一時的な静止場所として機能するのではなからうか。

先行研究 (中尾・江種, 2007) で指摘されているように, 貴志川町の溜池 39 の植生 (水面上の抽水植物群落) 面積を増加するだけでなく, 越冬場所となる陸域を創出できれば, 溜池 39 は近隣の溜池からの個体移入によって恒常的な生息池となると推察できる。その結果, 貴志川町の溜池 36, 41 と溜池 27 を連結する移動経路を確保することができるであろう。一方, 打田町の溜池 31 は 2012 年には冬季のみ生息池となっていたが (図 3), 2013 年には冬季も夏季も生息池となっていたことから, 重要な発生源となる可能性が高く, 同町においては溜池 25 と 31 が重要と考えられる。さらに, 夏季のみに生息を確認できる溜池 9 の存在 (図 3) と, 生息池と生息池の間に存在する非生息池の分布状況から, 打田町においては, 溜池 9, 25 および 31 で囲まれる範囲に存在する溜池の環境改変ができれば, エサキアメンボの分布は現状より安定的になると考えられる。

引用文献

- 江種伸之・徳田裕二・中尾史郎, 2010. 紀の川流域の生息地におけるエサキアメンボのパッチ占有モデルによるメタ個体群存続の予測. 環境システム研究論文集, 38: 43-52.
- Fairbairn, D. J. & Bulter, T. C., 1990. Correlated traits for migration in the Gerridae (Hemiptera, Heteroptera): a field test. *Ecological Entomology*, 15: 131-142.
- 深川元太郎, 2012. エサキアメンボ長崎市黒崎永田湿地自然公園にも産す. こがねむし, 78: 68-69.
- Google, 2013. グーグルマップ (2013年9月20日参照) (<https://maps.google.co.jp/>)

- 林 正美・宮本正一, 2005. 半翅類. 日本産水生昆虫 科・属・種への検索. 川合禎次・谷田一三 編. 東海大学出版会. 神奈川. 291-378 頁.
- Kaitala, A. & Huldén, L., 1990. Significance of spring migration and flexibility in flight-muscle histolysis in water striders (Heteroptera, Gerridae). *Ecological Entomology*, 15: 409-418.
- 環境省, 2012. 昆虫類のレッドリスト (2013年9月20日参照) (http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=21555&hou_id=15619)
- 京都府企画環境部環境企画課, 2002. エサキアメンボ. 京都府自然環境保全課 (編): 京都府レッドデータブック上巻. 263 頁. 京都府企画環境部環境企画課, 京都府.
- 滋賀県生き物統合調査委員会, 2011. エサキアメンボ. 滋賀県生き物統合調査委員会 (編): 滋賀県で大切にすべき野生生物—滋賀県レッドデータブック 2010 年版一. 420 頁. 滋賀県自然環境保全課, 滋賀県.
- 中尾史郎・江種伸之, 2007. 紀の川流域におけるエサキアメンボ *Limnoporus esakii* のメタ個体群構造. 環境情報科学論文集, 21: 99-104.
- 増田倫士郎・中尾史郎, 2013a. エサキアメンボの腹面色彩と生殖休眠に及ぼす光周期の影響. 昆蟲 (ニューシリーズ), 16 (3): 147-158.
- 増田倫士郎・中尾史郎, 2013b. エサキアメンボの季節的飛翔移動の可能性. 昆蟲 (ニューシリーズ), 16 (4): 1-18.
- 村路雅彦・加藤正雄, 1990. エサキアメンボ *Limnoporus esakii* の生活史に関する知見. 中国昆虫, 4: 1-5.
- 大串俊太郎, 2012. 長崎ペンギン水族館のビオトープで発見されたエサキアメンボの生態. 長崎県生物学会誌 70: 25-28.
- 大原賢二, 2013. 熊本県八代市でエサキアメンボを採集. SATSUMA, 149: 153-154.
- 大原賢二・林 正美・山田量崇, 2013. 徳島県におけるエサキアメンボの記録. 徳島県立博物館報告, 23: 63-68.
- 立川周二, 1985. エサキアメンボは絶滅するか—その分布と生息地から—. *Rostraria*, 37: 521-525.
- 徳田裕二・中尾史郎・江種伸之, 2009. 紀の川流域の生息池におけるエサキアメンボの空間分布. 環境システム研究論文集, 21: 39-47.
- 矢崎充彦・石田和男, 2008. 東海地方の水生半翅類. 佳香蝶, 60: 165-200.