ISSN 0915－4698

環動昆

報　文

井上　堅：生息地の土壌とともに移転されたハッチョウトンボ個体群の生息状況…… 1

平林公男・中里亮治・沖野外輝夫：強光を利用したユスリカ成虫防除に関する野外実験…… 8

吉村　剛・高橋旨象：室内試験による昆虫寄生菌 *Beauveria brongniartii*（Saccardo）Petch の殺蟻効力（英文）……16

大会印象記，第８回セミナー感想記 ……23

会　　報 ……26

会員名簿 ……(1)

会員動静

Vol. 9

1

1998

日本環境動物昆虫学会

環動昆
第9巻　第1号：1－7（1998）

生息地の土壌とともに移転された ハッチョウトンボ個体群の生息状況

井上　　堅[1)]

財団法人昆虫保存協会　昆虫博物館

（受領：1997年7月1日；受理：1997年10月1日）

The Inhabitive State of a Tiny Dragonfly, *Nannophya pygmaea* RAMBUR, after the Transfer to Another Area together with the Soil of its Original Habitat. Tsuyoshi INOUE (Insect Museum, Insect Preservation Association, Tsuruta, Utsunomiya, Tochigi 320-0047, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 9：1－7（1998）

A local population of the tiny dragonfly, *Nannophya pygmaea* RAMBUR was studied from June to August 1996, three years after it had been transferred to a non-habitat area together with the soil of its orginal habitat. More than 150 individuals were constantly maintained at the site during the period from late June to late July. The percentage of individuals in the area with soil transferred, compared to the total number of individuals, increased after the middle of July. This trend was clearer in males than in females. Furthermore, there was some relationship between the distribution pattern of particular species of plants and the number of males, i.e. male density was higher in the area dominated by juncaceous plants than by gramineous ones. These results suggest that the transfer of the tiny dragonfly together with the soil, is effective in enabling continuous reproduction at the destination site, probably because the soil serves in keeping the conditions of the original habitat.

Key Words：Population, Vegetation, *Nannophya pygmaea*, Mitigation, Soil transfer

生息地の土壌ごと他の地域へ移転されたハッチョウトンボの地域個体群について，移転から3年後の1996年6月から8月に調査を行った．調査地において，個体数は6月下旬から7月下旬までの期間，一定して150個体以上が確認された．そして7月中旬以降は，土

1）現在：㈱ジャストミートコーポレーション，〒310-0803 茨城県水戸市城南1-1-6.

壌の移転を行った区画に占める個体数の割合が増加した．この傾向はメスよりオスの個体数に顕著にあらわれた．特定の植物の分布状況とオスの個体数との間にも関係が見られ，オスの密度はイネ科の植物が優占している区画より，イグサ科の植物が優占している区画において高かった．こうしたことから，客土による個体群の移転は，その個体群がかつて存在していた生息地の状態を保持しやすく，繁殖に有効な方法であることが示唆された．

緒　言

ハッチョウトンボは不均翅亜目トンボ科に属する体長約2cmの非常に小さなトンボである．成虫は極めて短命で，平均寿命はおおむね2週間ほど（TSUBAKI and ONO, 1986)とされている．本種は低地から低山地にかけての，食虫植物が生育するような湿地や湿原などの環境に生息することが多く，こうした特殊な環境のよい指標（朝比奈，1982）として，環境庁の指定する指標昆虫に選定されている．またその一方で，利用されないまま数年を経過した水田（以下，休耕田とする）に本種が生息することは，馬場・川上(1939)の報告にもあるように，従来から知られていることである．

近年栃木県では，丘陵地の谷間に見られる休耕田において，ハッチョウトンボの生息が確認されることが多く，栃木県南東部のある開発地域においても，本種の生息が確認された．開発に先立ち，この地域では，1993年の夏季に養父・中島（1997）による生息状況調査が行われ，性別や行動の種類（摂食・縄張り行動）と植生との関係が示唆された．その後この開発地域では，本種個体群の保護を目的に，1993年の冬季に生息地の土壌をブロック状に切り出し，保全地域内の休耕田へ移すことにより，同時に土壌中に生息している幼虫を移転する試みが行われた．

保全地域ではその翌年から成虫の発生が確認されたが，土壌ごと個体群を移転することの有効性を検討するための十分な調査は行われていなかった．そこで著者は，今後の保全対策を講じる上での基礎資料とするため，1996年にこの地域において本種成虫の個体群動態を調査した．

方　法

1．調査地の概要

調査地は，栃木県芳賀郡茂木町南東部の丘陵地の谷間に形成された，全長約120mの緩やかな棚田状の休耕田となっている．図1に示すように，調査地の側部には沢がほぼ北から南へ流れており，休耕田に清水を供給している．休耕田の水位は数cmで，深い所でも10cmを越えることはなかった．調査地の北側は谷に沿って，さらに休耕田が続いているが，ススキなどに覆われている．また，南側には調整池が造成されており，東側と西側はクリ・コナラなどの落葉広葉樹林やスギ・ヒノキ林となっている．周辺の生息地とは，近い所からでも約2km離れており，隔離された状態となっている．

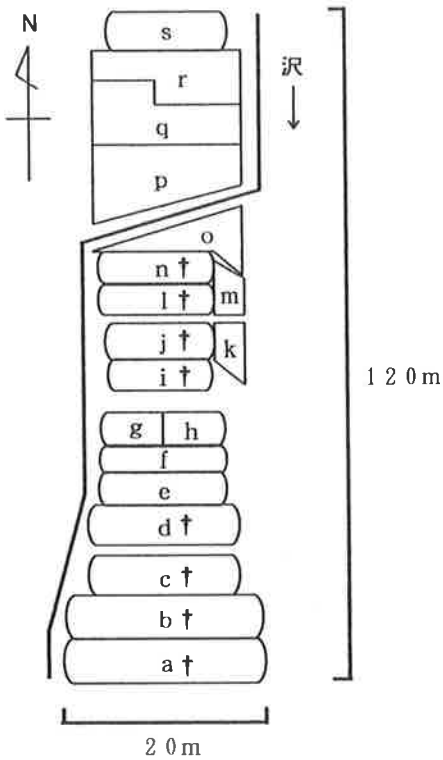


図1　調査地の概略図．

アルファベットで記された各区画のうち，†は客土の行われた区画を示す．

調査地の植生は，イグサ科やカヤツリグサ科の植物が優占的な所や，これらの植物の他に，タデ科やセリ科，イネ科の植物も比較的多く見られる所，そしてイネ科の植物に広く覆われている所があり，均一ではない．

調査地のうち，客土が行われたのは，図１中に「†」で示された８区画である．また，客土を行った区画の総面積（以下，客土区とする）は，未処理の区画の総面積（以下，未処理区とする）より若干小さかった（表２）．

２．調査方法

個体数の季節変動を把握するため，６月の上旬と下旬にそれぞれ１回，７月中旬から８月下旬におよそ 1週間の間隔で７回の計９回にわたって，標識・再捕獲による調査を行った．採集には直径が60cm，柄の長さが120cmの捕虫網を用いて，図１にアルファベットで示されている各区画の周縁部を原則として距離１ｍにつき一往復の割合でスウィーピングした．採集された個体はオス・メス別に個体数を記録し，調査日ごとに異なる色の油性カラーペンで翅に標識をして放し，その後再捕獲された個体は，各区画ごとに採集場所を記録した．ただし，６月５日の捕獲個体はほとんどが未熟個体であったので，標識はしなかった．

さらに，成熟個体が増加した７月中旬以降には，視認による調査も行った．視認調査では，調査地内で確認された全個体数を記録した．標識個体については，捕獲調査と同様に確認場所を記録したが，再標識はしなかった．また，それぞれの調査は原則として繁殖水域での出現個体数が最高となる，正午を挟んだ10時から15時の間の３時間に行った．

なお，客土区と未処理区間における性比や標識個体の割合などについての適合性検定には G 検定を用い，その結果は G の値で示した．

結　　果

１．個体数の推移

図２ａに示すように，調査地での本種成虫の捕獲個体数が最高となったのは６月下旬であり，176個体が確認された．この結果は，養父・中島（1997）が1993年に，本種個体群の本来の生息地において調査した時に記録された最多の個体数（110個体）を越えるものであった．７月に入り，全体の捕獲個体数は半減したが，減少は主に未処理区で起きており，客土区での個体数は７月下旬までの間ほぼ一定していた．そして個体数がさらに半減した８月以降も，全体に占める客土区での割合は依然高かった．

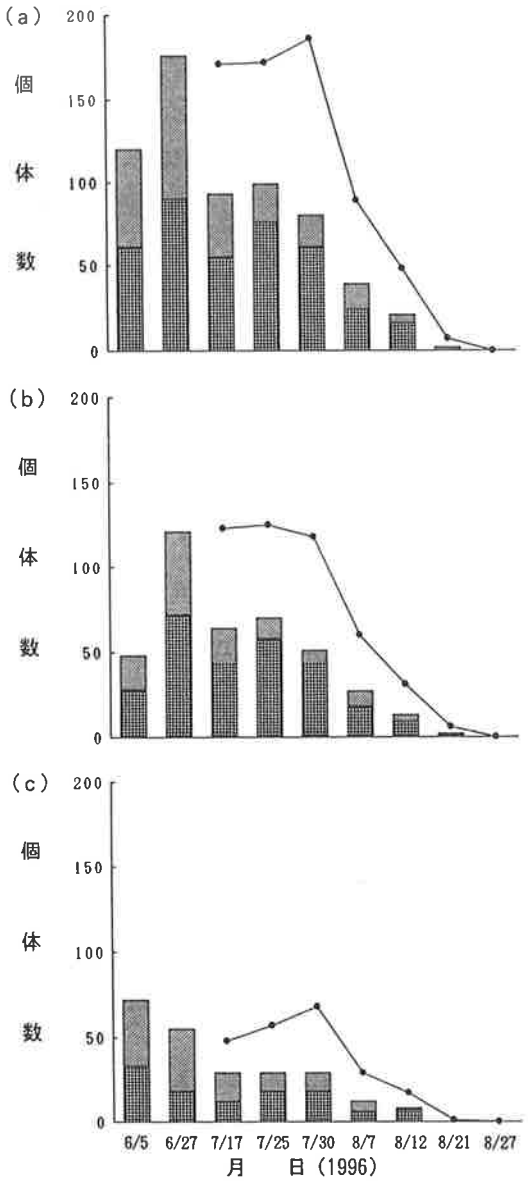


図２　個体数の推移．(a)：総個体数．(b)：オスの個体数．(c)：メスの個体数．□：客土区の捕獲個体数．▨：未処理区の捕獲個体数．-●-：全区画総合の視認個体数．

性別に見ても（図２ｂ，ｃ），７月以降に未処理区において個体数が減少する傾向は一致していた．また，捕獲されたメスの個体数は，６月初旬においてはオスより

多かったが，それ以降は，一貫してオスの個体数が多かった．なお，6月下旬以降のオス：メスの性比には変化が認められず（$G=2.782$, $P>0.5$），おおむね2：1の割合で推移しており，養父・中島（1997）による結果（1.8：1）と近似していた．また，捕獲により採集される個体数は，おおむね視認による確認数の半数であった．

2．標識・再捕獲調査

表1に示すように，標識個体は短期間に次々と未標識個体と入れ替わっており，この結果は山本（1968）の観察とも一致した．とくに，2週間以上の間隔をおいて行った2回目の捕獲調査では，1回目の標識個体は，1個体も再捕獲されなかった．また原則として1週間の間隔で行った7月以降の調査においても，再捕獲されたオスはおおむね10分の1であり，メスではさらに少なかった．

なお，標識・再捕獲法による個体数の推定は，個体の移動分散の傾向が均一ではないので，行わなかった．

3．客土の効果

処理区ごとの累積個体数を見てみると（表2），オスでは，客土区の個体数が，未処理区の2倍以上となっており，顕著な違いが認められた．一方メスでは，客土区と未処理区の個体数の比を1：1と仮定した場合，有意な差は認められなかった（$G=0.288$, $P>0.5$, $n=232$）．このため，客土区の性比は顕著にオスに偏っており，オス・メスがほぼ同数の未処理区の性比とは有意に異なっていた（$G=26.150$, $P<0.01$, $n=628$）．

また標識再捕獲個体については，客土区と未処理区で捕獲された個体数の比を1：1と仮定した場合，有意な差は認められず（$G=2.159$, $P>0.1$, $n=30$），標識再捕獲個体数の全捕獲個体数に占める割合においても，

表1　標識・再捕獲調査の集計結果

調査日 (i)		6月27日 1	7月17日 2	7月25日 3	7月30日 4	8月7日 5	8月12日 6	8月21日 7
オス	n_i	121	64	70	51	27	13	2
	R_i	115	60	68	50	27	13	2
	m_i	−	0	11	7	5	3	0
	r_i	−	15	7	3	2	0	−
	z_i	−	0	4	3	1	0	−
メス	n_i	55	29	29	27	12	8	0
	R_i	52	29	28	27	12	8	0
	m_i	−	0	1	0	1	2	0
	r_i	−	2	0	1	1	0	−
	z_i	−	0	1	1	1	0	−

n_i：i時点に捕獲された総個体数．R_i：i時点で標識して放した個体数．
m_i：i時点で再捕獲した標識個体数．
r_i：i時点で標識・放飼され，その後再捕獲された個体の合計数．
z_i：i時点以前に標識され，iでは捕獲されずi以後に再捕獲された個体数．

表2　オス・メスおよび，標識再捕獲・未標識個体の累積個体数と客土処理との関係

処理区（㎡）	オス	メス	合計	標識	未標識	合計
客　土（596）	273	112	385	19	215	234
未処理（646）	123	120	243	11	87	98
合　計	396	232	628	30	302	332

表中の個体数は捕獲調査の結果である．なお，標識再捕獲・未標識個体の個体数は7月17日以降の結果が示されている．性比：（$G=26.150$, $P<0.01$, $df=1$）．標識個体の割合：（$G=0.781$, $P>0.1$, $df=1$）．

客土区と未処理区との間に有意な差は認められなかった（$G=0.781$, $P>0.1$, $n=332$）．しかしながら，視認による調査結果では，客土区での標識個体の累積個体数（$n=42$）は，未処理区での累積個体数（$n=14$）より3倍も多く確認された．ただし，標識個体の全体に占める割合については，捕獲調査の結果と同様に，有意な差は認められなかった（$G=0.017$, $P>0.5$, $n=502$）．

客土が行われた区画では，おおむね未処理の区画より多くの個体が確認されていた（図3 a, b）．なお，処理区ごとに見た場合，各区画の面積と個体数との間には，客土区についてはオス・メスとも有意な正の相関が認められたが（オス：$r=0.737$, $P<0.05$, $n=8$；メス：$r=0.880$, $P<0.01$, $n=8$），未処理区についてはオス・メスともに非有意であった（オス：$r=-0.278$, $P>0.1$, $n=11$；メス：$r=0.510$, $P>0.1$, $n=11$）．

4．植生と個体数

表3に示されている，各区画で優占的に見られた植物の科ごとの構成および客土の有無と，個体群密度との関係について，オス・メス別に数量化Ⅰ類によって分析を行った（表4）．

その結果，オスについてはイグサ科・イネ科の植物，メスについてはタデ科・カヤツリグサ科の植物の有無は，客土の処理と同様に個体数に及ぼす影響が大きかった．また，これらのうちオスについてはイネ科の植物，メスについてはタデ科・カヤツリグサ科の植物が優占する区画は，そうでない区画より個体群密度が低くなる傾向が示された．ただし，自由度調整済の決定係数は，オスでは0.6886，メスでは0.5066であり，その他の要因が及ぼす影響も少なくないようである．

考　察

今回の調査では，移転が行われてから3年を経過した後も，客土区では未処理区に比べて，より多くの個体が生息していることが明らかとなった．

養父・中島（1997）は，今回の調査を行った個体群の本来の生息地での調査において，摂食や縄張り形成などの行動の種類や，性別によって個体が集中する植生が異なることを示唆した．今回の調査においても，植生は個体群密度を決定する上で，重要な要因となっている傾向が示されている．

また馬場（1956）は，ハッチョウトンボの生息に好適と考えられる湿地に，他の生息地から捕獲してきた本種の成虫119個体（オス61；メス58）を放して移転を試みたが，失敗に終わったことを報告している．この報告に植生の類似性や個体群の分布・行動などに関する詳細な記述はないが，成虫は本来の生息地にいた時と変わらぬ行動をとり，飛び去る個体は見られなかったとあるため，移転された個体群がその後の繁殖に失敗した原因は，幼

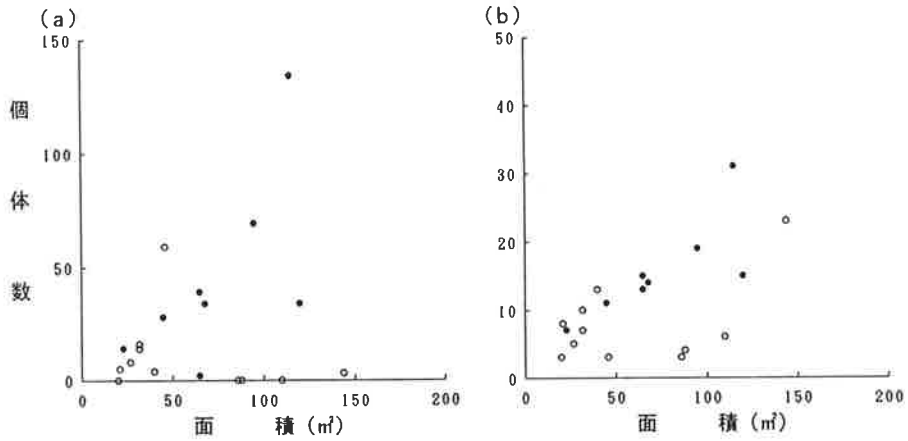


図3　各区画の面積と累積個体数の関係．

●：客土区，○：未処理区
（a）オスの相関（客土区：$r=0.737$, $P<0.05$, $n=8$；未処理区：$r=-0.278$, $P>0.1$, $n=11$）
（b）メスの相関（客土区：$r=0.880$, $P<0.01$, $n=8$；未処理区：$r=0.510$, $P>0.1$, $n=11$）
なお，個体数は視認調査の結果である．

表 3　優占植物の科ごとの構成と視認による累積個体数との関係

区　画		植物の科ごとの構成					オ　ス		メ　ス	
		Po	Um	Ju	Gr	Cy	個体数	密　度	個体数	密　度
客　土	a	○	○	○		○	134	116.5 (2)	31	27.0 (5)
	b			○		○	69	72.6 (3)	19	20.0 (11)
	i	○	○	○		○	28	62.2 (4)	11	24.4 (6)
	l	○			○		14	60.9 (5)	7	30.4 (4)
	j		○	○		○	39	60.0 (6)	13	20.0 (11)
	c			○		○	34	50.0 (7)	14	20.6 (10)
	d			○		○	34	28.3 (11)	15	12.5 (15)
	n	○	○		○		2	3.1 (14)	14	21.5 (9)
未処理	e		○	○		○	59	128.3 (1)	3	6.5 (16)
	f		○	○	○	○	16	50.0 (7)	10	31.3 (3)
	k			○		○	14	43.8 (9)	7	21.9 (8)
	m		○	○			8	29.6 (10)	6	22.2 (7)
	h			○	○		5	23.8 (12)	8	38.1 (1)
	o	○					4	10.0 (13)	13	32.5 (2)
	p				○		3	2.1 (15)	23	16.0 (13)
	g				○	○	0	0 (16)	3	15.0 (14)
	q	○			○	○	0	0 (16)	4	4.6 (18)
	r	○			○	○	0	0 (16)	6	5.5 (17)
	s	○		○	○	○	0	0 (16)	3	3.5 (19)
		合　計					463		210	

Po：タデ科（Polygonaceae）．Um：セリ科（Umbelliferae）．Ju：イグサ科（Juncaceae）．Gr：イネ科（Gramineae）．Cy：カヤツリグサ科（Cyperaceae）．括弧内の数値は個体群密度（1アール当たり）の順位を示す．それぞれの区画は，処理区ごとに，オスの密度の高い順に配列されている．

表 4　数量化 I 類による分析結果

アイテム	カテゴリー	頻度	オ　ス		メ　ス	
			カテゴリースコア	レンジ	カテゴリースコア	レンジ
Po	(+)	8	−0.3153	0.5446	−0.2366	0.4087
	(−)	11	0.2293		0.1721	
Um	(+)	7	0.4255	0.6737	0.1160	0.1837
	(−)	12	−0.2482		−0.0677	
Ju	(+)	12	0.3899	1.0579	−	−
	(−)	7	−0.668		−	
Gr	(+)	9	−0.6002	1.1404	−0.1077	0.2047
	(−)	10	0.5402		0.0970	
Cy	(+)	13	−	−	−0.2644	0.8373
	(−)	6	−		0.5729	
客　土	(+)	8	0.5623	0.9711	0.2869	0.4956
	(−)	11	−0.4988		−0.2087	
定数項			2.7319		2.7949	
重相関（R）			0.8298		0.7117	
決定係数（R^2）			0.6886		0.5066	

外的基準には，表 3 に示された個体群密度の対数変換値を用いた．各アイテムの記号は表 3 に同じ．

虫にとっての生息環境に問題があったためかもしれない.

今回の結果と馬場（1956）を合わせて考えると，生息地の土壌を移転地の客土として用いることは，本来の生息地の状態を長期にわたって保ちつつ，個体群の移転を可能にする有効な方法であると考えられる.

TSUBAKI and ONO（1986, 1987）は，ハッチョウトンボのオスでは，縄張り個体も非縄張り個体も，質の高い縄張りにいる方が交尾に成功する機会が多いことや，成熟して競争力が高まるのにともなって，個体がより質の高い縄張りへと侵入することを明らかにした．また FUJITA *et al.*（1978）は，本種の個体群動態を6月までの成熟個体が少ない時期と7月以降の成熟個体が多い時期とに大きく分け，この2つの時期の間では特定の生息区域におけるアバンダンスに変化が生じたことを示している.

今回の調査では，7月以降に総個体数は減少したにもかかわらず，客土区では個体数に大きな変化が見られなかった．このことから，客土区には成熟したオスの繁殖活動に好適な環境が多くあり，結果として移転地での繁殖が維持されているものと推察される.

一方メスについては，客土の有無や植生との間にオスのように顕著な違いは示されなかった．メスは産卵時以外，繁殖水域にとどまる必要性はなく，定住性のオスに比べて行動が流動的であるため（山本，1968），こうした結果となったのではないかと思われる.

以上のように，土壌ごとの個体群の移転は，本来の生息地との植生の違いを低く抑制し，繁殖個体の定着を維持する上で有効な方法である可能性が示唆された．しかしながら，現段階では植生の違いが実際に繁殖場所としての適性と関わっているかを断定することはできない．生育する植物の種類だけでなく，植物群落の立体的構造についても把握できれば，より明確にその関係を知ることが可能であったかもしれない．また，植生の混み合いの度合いや，開放水面の広さ，水深などの影響も考えられる．繁殖との関係を明確に知るためには，そこに生息する成虫の個体数と，各区画での幼虫の生息数あるいは成虫の羽化数とを比較する必要があろう．また，当地におけるハッチョウトンボの生息状況をより正確に把握するためには，未処理区での個体数の減少と個体の成熟度との関係についても明らかにすることが重要と思われる.

謝　辞

本調査の実施及び原稿の執筆にあたっては，元山形大学農学部教授の小林四郎博士，同大学農学部助手の安田弘法博士，大阪市立環境科学研究所の夏原由博氏から多大なるご指導を頂いた．また，昆虫保存協会の小塚堅樹事務局長をはじめ，森島啓司，菅井道雄，村上哲治，下山祐樹，荒木純一，伊賀雄一，大沼尚の各氏，そして大日本土木株式会社の工事関係者の方々にも様々なご協力を頂いた．ここに厚く御礼申し上げる.

引用文献

朝比奈正二郎（1982）第2回自然環境保全基礎調査における「昆虫類」．遺伝，36 (7)：4－17.

馬場金太郎（1956）ハッチョウトンボの移植．KONTYU, 24：137.

馬場金太郎・川上長衛（1939）新潟のハッチョウトンボ．昆蟲界，68：602－605.

FUJITA, K., K. HIRANO, M. KAWANISHI, N. OSAKI, E. YANO and M. YASUDA（1978）Ecological studies on a dragonfly, *Nannophya pygmaea* RAMBUR（Odonata：Libellulidae）. Seasonal changes of adult population and its distribution in a habitat. *Res. Popul. Ecol.* 19：209－221.

TSUBAKI, Y. and T. ONO（1986）Competition for territorial sites and alternative mating tactics in the dragonfly, *Nannophya pygmaea* RAMBUR（Odonata：Libellulidae）. *Behaviour* 97：234－252.

TSUBAKI, Y. and T. ONO（1987）Effects of age and body size on the male territorial system of the dragonfly, *Nannophya pygmaea* RAMBUR（Odonata：Libellulidae）. *Anim. Behav.* 35：518－525.

養父志乃夫・中島敦司（1997）ハッチョウトンボ生息地の保全に関する生態学的研究．ランドスケープ研究．60：324－328.

山本悠紀夫（1968）ハッチョウトンボ成虫の生活史．*TOMBO*, 11：18－25.

環動昆
第9巻　第1号：8－15（1998）

強光を利用したユスリカ成虫防除に関する野外実験

平林　公男[1)]・中里　亮治[2)]・沖野外輝夫[3)]

1）山梨県立女子短期大学一般教育科生物
2）山形大学理学部物質生命化学科
3）信州大学理学部物質循環学科

（受領：1997年8月6日；受理：1997年10月13日）

Field Trial of a Trapping Control Method for Chironomid Midges, *Propsilocerus akamusi* (Diptera) Using Attraction to High-Intensity Lights. Kimio HIRABAYASHI[1)], Ryoji NAKAZATO[2)] and Tokio OKINO[3)] ([1)]Liberal Arts, Yamanashi Women's College, Kofu, 400-0035 Japan, [2)]Department of Material and Biological Chemistry, Yamagata University, Yamagata, 990-2332 Japan, [3)]Department of Environmental Science, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-0802 Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 9：8－15 (1998)

Around Lake Suwa, massive flights of adult midges of *Propsilocerus akamusi* have been observed frequently, and they have caused some problems in the daily life of residents. In order to control the adult midges, this study was done on the attraction of adult midges using five lamps with strong light intensity (100 V, 1500 W, 24,000 ± 3,200 Lm) from October 11 to November 9 in 1990. Five poles were placed on a small island (St. 1) in Lake Suwa. Each lamp was set on a pole about 6 m above ground level. To estimate the effects of the lighting, we decided the days for lighting (ON) and not lighting (OFF). To evaluate the number of adult midges flying to the island, two light traps with a 6-watt black light lamp (LT1 and LT2) were set on the pole about 1 m above ground level there. Moreover, another two light traps were set on the shore of the lake (St. 2, LT3) and in the town (St. 3, 80 m distant from the shore line, LT4). There was a statistically significant difference of numbers of individuals caught between ON and OFF at St.1, that is, many adult midges were more attracted in the OFF than in the ON condition. Moreover, the ratio of the number of individuals attracted at St. 1 to that at St. 2 and St. 3 were significantly higher in OFF than in ON. We considered that the flying behaviour of adult midges of *P. akamusi* were greatly influenced by the lamps with strong light intensity.

Key words：Strong light intensity, Chironomid midges, *Propsilocerus akamusi*, Lake Suwa, Phototaxis, Adult behaviour.

富栄養湖周辺域で社会問題化しているアカムシユスリカ成虫の大量飛来に対する対策研究の一環として，強光源を用いた成虫防除に関する野外実験を行った．調査は1990年秋の成虫発生最盛期に行ない，諏訪湖内の人工島（St. 1）に100V，1,500Wの白熱電球（24,000±3,200Lm）を付けたポールを5基設置し，その光による誘引効果を検討するために点灯・不点灯の日を交互に決め実験を行った．飛来した成虫を捕獲するために，島内に2基(LT1とLT2)，湖岸（St. 2）に1基（LT3)，湖岸から80m離れたホテル街（St. 3）に1基（LT4）の合計4基の野沢式 ライトトラップ（6Wのブラックライトランプが1本付設）を設置して飛来成虫数を調査した．その結果，St. 1において，非点灯時の方が点灯時に比べて平均捕獲個体数が有意に多い結果となった．また，St. 2およびSt. 3における各々の平均捕獲数に対するSt. 1における平均捕獲数との比は，いずれの場合も，点灯，非点灯との間に有意な差が認められ，非点灯時の方が点灯時に比べ，より多くの成虫が捕獲できた．以上のことより，強光源がアカムシユスリカ成虫の飛翔行動に大きな影響を及ぼしていることが示唆された．

はじめに

近年，水辺に対する人々の関心が高まり，「親水性」を取り入れた水辺の環境整備や親水公園などの造成事業が，河川や湖沼の周辺部で活発に行われるようになってきた．それにともなって，人々が水辺に接する機会も多くなったことから，水域から発生する生物と人との行動圏が重なり合い，従来あまり問題とならなかった”不快害虫（Nuisance Insects)”としてのユスリカの問題が各地で取り上げられるようになってきた（村主・原田，1989；HIRABAYASHI and WATANABE, 1996)．特に富栄養化した水域からは，周期的に多量のユスリカ成虫が発生し，周辺に住む人々の生活に多大な影響をもたらしている（TABARU *et al.*, 1987；平林，1991b；ALI, 1995)．アメリカのLake Monroe湖岸にあるStanford市では，湖から大発生するユスリカ対策のために，毎年，年間300－400万ドルを支出していると報告されている（ALI *et al.*, 1980)．

諏訪湖は長野県のほぼ中央部に位置する断層湖である．湖心（36° 03′ N, 138° 05′ E）における海抜は759m，湖面積は13.3㎢，最大水深は6.5mの浅い湖で，周辺域の活発な人間活動のために，富栄養湖として世界的にも良く知られている（沖野，1990)．

諏訪湖ではオオユスリカ（*Chironomus plumosus* LINNAEUS）とアカムシユスリカ（*Propsilocerus akamusi* TOKUNAGA）がそれぞれ，年3回と年1回大量発生し（YAMAGISHI and FUKUHARA, 1971)，周辺住民，観光客などに“不快害虫”として嫌われている．平林（1991b)によると，湖岸から500m以内に居住している住民の約半数がユスリカ成虫に対して何らかの被害意識を持っており，観光客では3割の者が不快感を感じている（HIRABAYASHI and OKINO, 1998)．

一方，ユスリカ類は気管支喘息のアレルゲンとなり（CRANSTON, 1995)，ハウスダスト，ダニアレルゲンなどに次いで重要な抗原であることが報告されている（村上ら，1986)．諏訪湖周辺域では，ユスリカ類によって引き起こされる気管支喘息が血清疫学的に証明されている（HIRABAYASHI *et al.*, 1997)．

ユスリカ成虫対策を行うにあたり，成虫の行動についての生態学的な調査は極めて重要である．平林（1991a,b）は，アカムシユスリカ成虫による被害範囲をその飛翔行動と住民アン ケート調査から明らかにし，飛翔時間帯や，成虫の走光性などについて報告した．また，湖からの成虫発生予察の試み，魚類による幼虫捕食の評価，光による成虫誘引実験，成虫の休息習性などについて報告した（平林，1991c；平林ら，1992)．

ユスリカ成虫は可視光領域において，光量に依存して多く誘引される（ALI *et al.*, 1995；HIRABAYASHI *et*

al., 1993 a). 本研究ではこの性質を利用し，諏訪湖内の定点に強光を放射する光源を設置してユスリカ成虫を誘引し，陸地への飛来数の抑制を試みた．実験対象とした種は，全国各地の富栄養湖沼から発生しているアカムシユスリカである（SASA and KIKUCHI, 1995).

実験方法

実験は，アカムシユスリカ成虫の発生期間である1990年10月11日から11月９日の間に行った．実験場所の概要をFig. 1に示す．湖内にある初島（St. 1：湖岸線より約300mの距離に位置する直径約23mの円形の人工島）に，集魚灯として用いる白熱電球（100V，1,500W，全光束24,000±3,200 Lm，PS165型：舶用電球株式会社）を5灯，高さ６mのポールの先端に固定し，島の中央部に2.5m間隔で岸に向けて一列に並べた．Fig. 2に実験に使用した白熱電球の波長特性を示す．近紫外部の波長（300-400 nm）はわずかに放出されているのみで，赤外部に近づくにしたがって比エネルギー値が高くなるという分光分布を示した．

初島に飛来するユスリカ成虫を捕獲するため，島内にLT１とLT２の野沢式ライトトラップ（NH-５型；AC 100V，27.2 W，６Wのブラックライトランプが1本付設；National FL-6BA-37K：300-590 nmの波長域 345-355 nmにピーク）を地上１mの高さに設置し，同時に対岸への成虫飛来数を調べるため，湖岸より１mの距離にある湖畔公園の野外音楽堂のステージ（St. 2)と，湖岸から80mほど離れた距離にあるホテル街（St. 3）に，それぞれLT３とLT４の同型ライトトラップを設置し

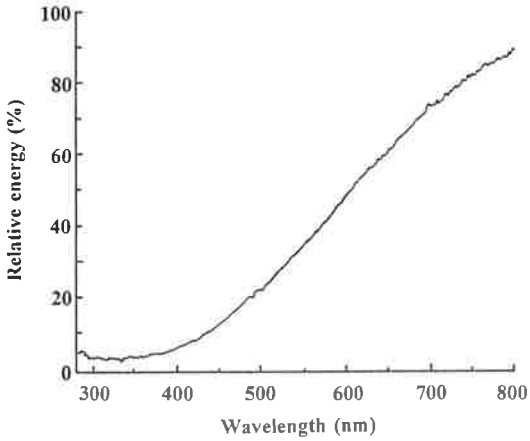
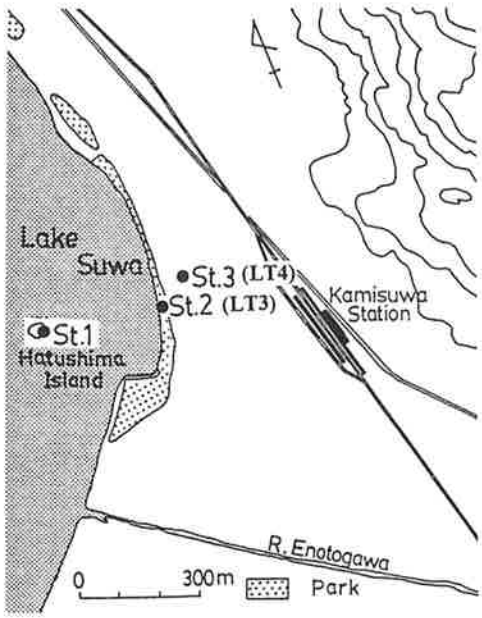


Fig. 2 Relative spectral distribution of the lamp with strong light intensity. (Source : Technical Data from Hakuyo Denkyu Co.)



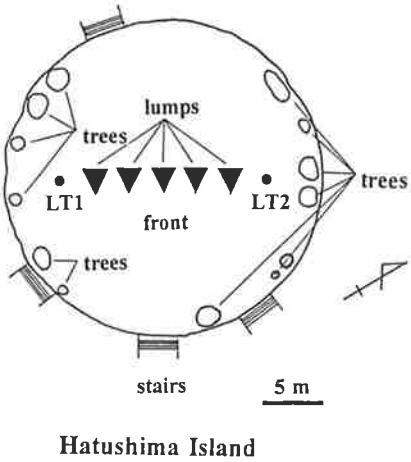


Fig. 1 Location of light traps in the southeast area of Lake Suwa. St. 1 : Hatsushima Island in the Lake, St. 2 : Kohan Park, St. 3 : Hotel in the town.

た．なお，St. 2，St. 3周辺には，本実験に大きく影響を及ぼすような強光源はなかった．

5灯の白熱電球は，その誘引効果を検討するために，日ごとに点灯，不点灯（島内では2つのライトトラップのランプのみが点灯）の日を設けて実験を行った．点灯はユスリカの飛翔時間帯（平林，1991 a）に合わせ，日没後から約5時間点灯とした．

ライトトラップは毎日，夕方5：00にタイムスイッチにより点灯させ，翌朝10：00のサンプル回収時まで稼働させた．採取したサンプルは，直ちにピレスロイド系殺虫剤（有効成分：*d*-T80-フタルスリン＋*d*-T80-レスメトリンのエアゾール，2－3秒噴霧）で殺虫した後，直ちに実験室に持ち帰りユスリカと他の昆虫とに分別し，ユスリカについては肉眼で種ごとに分類，個体数を数えた．ライトトラップで捕獲されたユスリカ個体数が1,000個体を越える場合には，サンプルの総湿重量を測定し，その中から3回の標本抽出（抽出した標本の合計が総サンプルの1割程度になるようにランダムに抽出）を行い，その数と湿重量とから個体数を推定した．データの解析には，MANN-WHITNEYの*U*検定を用い，各々の中央値の差の検定を行った．

結　果

実験期間中の各トラップの捕獲成績を気象データと共にTable 1に示す．初島（St. 1）のライトトラップ（LT 1とLT 2）で捕獲されたアカムシユスリカ成虫の平均個体数は，LT 1で2,681±575（±SE）個体／日，LT 2で4,137±914個体／日であった．期間中の合計捕獲数はLT 1で77,738個体，LT 2で11,9974個体であった．湖畔公園（St. 2）のLT 3は，平均373±83個体／日，合計10,814個体，ホテル街（St. 3）のLT 4は平均112±21個体／日，合計3,235個体で，諏訪湖からの距離が離れるに従って，捕獲数が減少した．

St. 1における白熱電球の点灯の効果を比較するために，点灯した時（ON）と，非点灯の時（OFF）とで，各地点ごとの成虫捕獲数をTable 2にまとめて示す．また，LT 3またはLT 4の捕獲数に対するLT 1またはLT 2の捕獲数の比率を計算した結果も合わせて示す．実験期間中，白熱電球点灯の日が12日，非点灯の日が17日となったが（Table 1），多量の降雨はユスリカ成虫の飛翔行動に影響を与える可能性が推察されたこと，降雨日のデータの多くが外れ値であることなどから，本報告では10㎜以上の降雨日のデータ（10月26日，30日，11月9日）は，解析からはずした．

St. 1においては，LT 1とLT 2のどちらのライトトラップにおいても，非点灯時の方が点灯時に比べて平均捕獲個体数が有意に多い結果となった（MANN-WHITNEYの*U*検定，$P<0.05$）．しかし，St. 2においては非点灯の方が，St. 3においては点灯の方が，わずかに多い傾向を示したが，両地点においては点灯・非点灯で統計的に有意な差は認められなかった．

一方，St. 2およびSt. 3での平均捕獲個体数に対するSt. 1におけるLT 1，LT 2およびLT（1+2）の平均捕獲個体数の比は，LT 3を基準とした場合，LT 4を基準とした場合，いずれの場合とも点灯と非点灯との間に統計的に有意な差が認められ（$P<0.05$），非点灯時の方がより多く成虫を捕獲した．

Table 3には全てのライトトラップ（LT 1からLT 4）で捕獲された成虫数と気象データ（日平均気温と日平均風力）との相関係数を，それぞれ点灯（左側）と非点灯（右側）に分けて示す．点灯時，St. 2における成虫捕獲数（LT 3）とSt. 1における成虫捕獲数（LT 1，LT 2，LT（1+2））との間には，有意な相関関係が認められないのに対して，非点灯時にはSt. 1とSt. 2における成虫捕獲数に有意な相関関係が認められた（$P<0.01$）．一方，気象データと各地点における捕獲数との間には，点灯・非点灯のいずれの場合も有意な相関関係は認められなかった．

考　察

光に誘引される昆虫類についての研究は数多くあり，昆虫の種類や光の波長域によって誘引行動のパターンは様々である（HIENTON, 1974）．ユスリカ類については，BELTON *et al.*（1967）が光に誘引されることを報告して以来，ALI *et al.*（1984，1986）が湖から発生した *Glyptotendipes paripes* EDWARDS，*Goeldichironomus holoprasinus* GOELGI，*Chironomus crassicaudatus* MALLOCHなどのユスリカ成虫について誘引要因を検討し，光量（明るさ，照度），光質（色彩，波長），発光源の種類などを指摘している．そして，特に光量が重要であることを報告している．

平林（1991 a）は，ユスリカ成虫の飛来範囲の検討結果から，諏訪湖周辺域では，夜間，強光を発する施設の存在が成虫の分散を助長していることを指摘し，羽化し

The result of field trials from October 11 to November 9

Mean air Temperature (℃)	Precipi -tation (mm)	Mean wind velocity (m/s)	ON / OFF	St. 1 LT1	St. 1 LT2	St. 2 LT3	St. 3 LT4
				(Number of captured midges)			
10.8	–	1.2	OFF	12	11	7	4
13.6	–	2.4	OFF	587	1607	290	47
13.6	8.0	1.3	ON	120	316	80	166
16.8	1.0	2.0	OFF	1211	2158	191	21
15.5	2.0	1.2	ON	3121	2703	510	183
15.5	–	1.4	OFF	8594	12321	1111	103
14.7	–	1.5	ON	3079	5413	81	229
13.7	–	2.7	OFF	11147	18075	1161	164
11.8	–	1.8	ON	211	275	80	103
11.0	–	1.8	–	–	–	–	–
10.2	–	1.8	ON	794	1324	431	51
11.1	–	1.6	OFF	2587	6819	225	50
10.8	–	1.5	OFF	9744	11432	296	170
10.8	0.0	1.2	ON	325	647	63	20
11.5	1.5	1.8	OFF	1282	3880	207	23
10.1	11.5	3.5	ON	147	524	69	28
11.1	0.0	3.5	OFF	1948	1837	217	70
9.2	–	2.6	ON	282	284	118	58
9.8	–	1.1	OFF	1972	1035	620	268
9.1	32.0	0.9	ON	7780	12382	1924	519
10.6	1.0	1.9	OFF	4149	3938	230	268
9.9	–	1.1	ON	2251	2977	1160	239
10.3	–	2.1	OFF	6263	14223	569	118
11.3	–	2.0	ON	438	598	541	70
12.3	6.0	3.3	OFF	2947	6514	268	124
12.9	–	2.7	OFF	746	942	38	57
10.7	–	1.6	OFF	2834	2103	13	21
11.3	–	2.8	OFF	2433	4986	255	20
8.5	–	3.4	ON	644	577	53	31
10.5	13.5	3.0	OFF	90	73	6	10
No.				77738	119974	10814	3235
n				2680.6	4137.1	372.9	111.6
				575.0	914.2	83.3	21.0

ather data (daily mean air temperature, daily precipitation and daily mean wind velocity) of the Suwa ological Observatory Station was used during the investigation periods.

こうした光に誘引されて湖岸の人家や観光施設来し，不快害虫となっていると報告している．外実験の結果から，可視光領域においては，アスリカ成虫の場合，光量に依存し，数多く誘引さも報告している（HIRABAYASHI *et al.*, 1993 a）．外実験では，これらの報告を踏まえ，ユスリカ対策活動の一環として光による成虫のコントロールを試みた．

平林（1991 a）によると，初島周辺におけるアカムシユスリカ幼虫の平均個体数密度は最も現存量の多い時で5000-7500個体/㎡で，湖内の幼虫高密度域であると報告されている．今回の調査で明らかとなった成虫飛来数は，発生源に最も近いSt. 1において最も多く，ついで，陸地の湖岸にあるSt. 2，湖岸より80m離れたSt. 3の順

Table 2 Mean number ± SE of adult midges, *P. akamusi*, collected in light traps from October 11 to November 9

Item	ON ($n=10$) Individual No. ±SE (median, quartile deviation)	OFF ($n=16$) Individual No. ±SE (median, quartile deviation)	U	P
St. 1				
LT1	1126.5±381.2 (541.0, 984.5)	3653.5±858.7 (2510.0, 1979.8)	39.0	<0.05
LT2	1511.4±534.8 (622.5, 1193.5)	5742.6±1362.0 (3909.0, 372.2)	33.0	<0.05
St. 2				
LT3	311.7±113.2 (99.5, 215.0)	356.1± 86.6 (242.5, 116.8)	69.0	n. s.
St. 3				
LT4	115.0± 26.1 (86.5, 66.0)	95.5± 21.2) (63.5, 61.0)	65.5	n. s.
LT1/LT3	7.3±3.6 (2.5, 2.1)	23.6±13.1 (9.6, 4.3)	39.0	<0.05
LT2/LT3	11.0±6.3 (3.7, 3.9)	26.0± 9.4 (17.9, 7.6)	35.0	<0.05
(LT1+LT2)/LT3	9.1±4.9 (2.9, 2.7)	24.8±11.2 (13.6, 5.3)	35.0	<0.05
LT1/LT4	10.6±2.2 (11.4, 5.7)	49.2± 9.8 (52.4, 24.3)	28.0	<0.01
LT2/LT4	14.6±3.3 (13.6, 9.4)	82.9±17.2 (83.7, 49.3)	26.0	<0.01
(LT1+LT2)/LT4	12.6±2.6 (13.4, 7.4)	66.0±12.8 (71.2, 39.3)	26.0	<0.01

n. s.: no significant difference. LTi: number of individuals collected in light trap i.

であった（Table 2）.

成虫の平均捕獲数を地点ごとに点灯・非点灯で比較した結果，St. 2とSt. 3においては統計的には有意な差は認められなかった．しかし，St. 1においては有意な差が認められた（Table 2）．また，湖岸にあるSt. 2と湖岸から80m離れたSt. 3における捕獲数との比較では，非点灯時には島内で捕獲された成虫数は，St. 2を基準にすると約25倍（LT1＋2の場合），St. 3では66倍（LT1＋2の場合）と点灯時の9倍および13倍に比べて有意に高い値を示した（Table 2）．これは非点灯時には，ライトトラップに付設されているブラックライトのみが湖上で点灯しているために，効率よく島周辺の成虫を誘引できたためであると思われる．また，非点灯時，St. 1とSt. 2で捕獲される成虫数がほぼ同じ動態を示すのに対して，点灯時にはそれが乱れてSt. 2の成虫捕獲数に影響を及ぼしていることが推察された（Table 3）．これは点灯時に，強光によって島周辺に集まって来た成虫が白熱電球の発する強光とブラックライトの発する短波長光の両方に攪乱・拡散されてしまい，効率よくトラップに誘引できなかったためと推察される．

点灯・非点灯で，陸地への成虫飛来数に有意な差が認められなかったことについては，以下の2点が原因として考えられる．まず第1に実験で設置した強光源の配置である．今回は湖内1地点に多くの成虫を集め，湖岸への飛来数をコントロールしようと試みた．しかし，HIRABAYASHI *et al.*（1993b）の報告によると，10器の電撃殺虫器を用いたアカムシユスリカ成虫の効率の良い捕獲方法は，電撃殺虫器を20～30m間隔に設置し，さらに，この様な誘引地点を数カ所設けて，成虫を分散的に誘引することであると述べている．つまり，湖内に強

Table 3　Correlation matrix for environmental variables and the number of captured midges in the case of ON (left) and OFF (right) condition

	LT2	LT (1+2)	LT3	LT4	Temp.	Wind	LT2	LT (1+2)	LT3	LT4	Temp.	Wind
LT1	0.92**	0.97**	0.42	0.75**	0.51	-0.40	0.92**	0.97**	0.75**	0.46	0.13	-0.07
LT2		0.99**	0.30	0.75**	0.52	-0.40		0.99**	0.77**	0.30	0.17	0.04
LT (1+2)			0.35	0.77**	0.55	-0.41			0.78**	0.37	0.16	0.01
LT3				0.46	-0.09	-0.38				0.44	0.33	-0.06
LT4					0.62	-0.59					-0.27	-0.15
Temp.						-0.62						0.08

Temp.：mean air temperature, Wind：mean wind velocity,　**：$P<0.01$.

光源を発する地域を複数設けることが必要であったと推測される．第2に実験に用いた白熱電球の波長特性についてである．用いた白熱電球の光の波長分布を見てみると，長波長領域の波長エネルギーを多量に放出している(Fig. 2)．HIRABAYASHI *et al.*（1993 a）によると，600 nmにピークをもち，450 nm以下の波長をカットしたランプにおいては，オオユスリカ，アカムシユスリカの両成虫ともに，光源に対して忌避行動を示すと報告されている．今回の野外実験においては，電球の出す長波長領域の波長が，成虫の行動に大きく影響を及ぼした可能性もある．今後は強光を発し，なおかつ長波長域の波長を放出しない電球の選定が同様な野外実験においては重要であると思われる．

今回の実験で，非点灯時に湖内において，成虫捕獲数が有意に高かったことは，強光の誘引効果を間接的に示唆しているものと思われる．また，陸地に比べ島内で多量のユスリカ成虫が捕獲できたことは，水際でユスリカ成虫を防除することの重要性を示唆するものでもある．

湖周辺域の無統制な光源の投置は，ユスリカ成虫の飛翔行動を攪乱し，飛来密度を不均一化させ，成虫を特定地域や箇所に集中的に集め被害を発生させている．今後は湖周辺域の町作りをも含めた総合的なユスリカ防除対策を広域的に行うことが重要であると考えられる．

諏訪湖に関しては，本実験結果からすれば，ユスリカ成虫の誘引効力の強い電球の選択やその電灯の本数，設置地点を増やすなどして，より効果的に初島内にユスリカ成虫を集中させる方法を検討することで，被害の分散を阻止できる可能性がある．また，多量に集まった成虫の回収・処理システムを検討するなど，施設のメインテナンスについても，野外で実践的な検討を重ねる必要がある．

謝　辞

本研究を遂行するにあたり，以下の方々に協力していただきました．この場をお借りして御礼を申し上げます．藤田晴康医師（前橋城南病院），内川公人博士（信州大学・医・寄生虫），那須裕博士（信州大学・医・公衆衛生），矢島孝氏（諏訪湖温泉組合），藤森東洋平氏（諏訪湖貸船組合），塩野崎寛氏（信州大学諏訪臨湖実験所），帆刈明夫氏（舶用電球株式会社），信州大学諏訪臨湖実験所の学生諸氏．

なお，本研究は，長野県諏訪湖ユスリカ対策研究会の成虫駆除対策研究班における活動の一環として行われたものである．

引用文献

ALI, A. (1980) Nuisance Chironomids and their control：a review. *Bull. Entomol. Soc. Am.*, 26：3−16.

ALI, A. (1995) Nuisance, economic impact and possibilities for control. In" *The Chironomidae-Biology and Ecology of Non-biting midges-*" (P. D. ARMITAGE, P. S. CRANSTON, L. C. V. PINDER eds), pp. 339−364, Chapman & Hall, London.

ALI, A., S. R. STAFFORD, R. C. FOWLER and B. H. STANLEY (1984) Attraction of adult Chironomidae (Diptera) to incandescent light under laboratory condition. *Environ. Entomol.* 13：1004−1009.

ALI, A., B. H. STANLEY and P. K. CHAUDHURI (1986) Attraction of some adult midges

(Diptera : Chironomidae) of Florida to artificial light in the field. *Florida Entomol.* 69 : 644−650.

BELTON, P. and A. PUCAT (1967) A comparison of different lights in traps for Culicoides (Diptera : Ceratopogonidae). *Can. Entomol.* 99 : 267−272.

CRANSTON, P. S. (1995) Medical significance. In" *The Chironomidae-Biology and Ecology of Non-biting midges-*" (P. D. ARMITAGE, P. S. CRASTON, L. C. V. Pinder eds), pp. 365−384, Chapman & Hall, London.

HENTON, T. E. (1974) Summary of investigation of electric insect traps. *U. S. A. (Department of agriculture), Technical Bulletin* 1498 : 1−134.

平林公男 (1991a) 諏訪湖地域における" 迷惑昆虫" ユスリカの大発生とその防除対策−第1報:アカムシユスリカ (*Tokunagayusurika akamusi*) 成虫大量飛来−. 日本衛生学会誌 46 : 652−661.

平林公男 (1991b) 諏訪湖地域における" 迷惑昆虫" ユスリカの大発生とその防除対策−第2報:ユスリカ問題に対する住民意識構造とその数量化の試み−. 日本衛生学会誌 46 : 662−675.

平林公男 (1991c) 諏訪湖地域における" 迷惑昆虫" ユスリカの大発生とその防除対策-第3報:" 迷惑昆虫" ユスリカの制御に関する若干の実験と防御対策の提言. 日本衛生学会誌 46 : 676−687.

平林公男・中里亮治・那須裕・沖野外輝夫・村山忍三 (1992)ユスリカ成虫の生態に関する研究 第一報 : アカムシユスリカ成虫の休息習性について. 環動昆 4 : 71−77.

HIRABAYASHI, K., K. KUBO, S. YAMAGUCHI, K. FUJIMOTO, G. MURAKAMI, and Y. NASU (1997) Studies of bronchial asthma induced by chironomid midges (Diptera) around a hyper-eutrophic lake in Japan. *Allergy,* 52 : 188−195.

HIRABAYASHI, K., R. NAKAZATO, A. OHARA, and T. OKINO (1993a) A study on phototaxis for adult chironomidae (Diptera) by artificial light in Lake Suwa. Response of adult chironomid midges to near ultraviolet and visible light. *Jpn. J. Sanit. Zool.* 44 : 33−39.

HIRABAYASHI, K., R. NAKAZATO, A. OHARA, and T. OKINO (1993b) A study on phototaxis for adult chironomidae (Diptera) by artificial light in Lake Suwa. 2. Effect of the light trap intensity and interval of electric collecting -killing insect traps using near-ultraviolet radiation. *Jpn. J. Sanit. Zool.* 44 : 299−306.

HIRABAYASHI, K. and T. OKINO (1998) Massive flights of chironomid midges (Diptera) as nuisance insects around a hyper-eutrophic lake in Japan. A questionnaire survey to tourists. *J. Kansas Entomol. Assoc.,* 71 : in press.

HIRABAYASHI, K. and S. WATANABE (1996) Massive flights of chironomid midges (Diptera) found on the shoreline of Lake Kawaguchi, Japan during the spring season. *Med. Entomol. Zool.* 47 : 223−230.

村上巧啓・五十嵐隆夫・佐伯陽子・足立雄一・松野正知・岡田敏夫・河合幸一郎・熊谷朗・佐々学 (1986) ユスリカ喘息に関する研究, アレルギー, 35 : 395−401.

沖野外輝夫 (1990) 諏訪湖. 八坂書房, 東京.

SASA, M. and M. KIKUCHI, (1995) Chironomidae (Diptera) of Japan. University of Tokyo Press. Tokyo.

村主節夫・原田正和(1989) ユスリカ発生に関する全国アンケート調査, 衛生動物, 40 : 227.

TABARU, Y., K. MORIYA, and A. ALI (1987) Nuisance midges (Diptera: Chironomidae) and their control in Japan. *J. Am. Mosq. Cont. Assoc.,* 3 : 45−48.

YAMAGISHI, H. and H. FUKUHARA (1971) Ecological studies on Chironomids in Lake Suwa, 1. Population dynamics of two large Chironomids, *Chironomus plumosus* L. and *Spaniotoma akamusi* TOKUNAGA, *Oecologia,* 7 : 309−327.

Jpn. J. Environ. Entomol. Zool. 9 (1) : 16－22 (1998)

Termiticidal Performance of an Entomogenous Fungus, *Beauveria brongniartii* (SACCARDO) PETCH in Laboratory Tests

Tsuyoshi YOSHIMURA and Munezoh TAKAHASHI

Wood Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011

(Received : October 28, 1997 ; Accepted : November 29, 1997)

室内試験による昆虫寄生菌 *Beauveria brongniartii* (SACCARDO) PETCH の殺蟻効力
吉村　剛・高橋旨象（京都大学木質科学研究所）

昆虫寄生菌 *Beauveria brongniartii* (SACCARDO) PETCH の殺蟻効力を室内試験によって検討した．カミキリムシ防除用として既に実用化されている，パルプ不織布を基質として培養された *B. brongniartii* 製剤（製剤名：バイオリサ・カミキリ）を用い，強制的に一定時間イエシロアリ職蟻を接触させることによってその殺蟻性を観察したところ，分生子数が 3.3×10^8 個/㎠ の製剤では1分間の接触で5日以内に全個体が死亡した．一方，分生子数が 5.6×10^6 個/㎠ の製剤では1日間接触させた場合でも5日後に約50%の死亡率を示すにとどまり，製剤における分生子数が殺蟻効力に大きく影響を与えることが明らかになった．次に強制的に感染させた個体とそうでない個体を同一容器中で飼育し，*B. brongniartii* の伝染性について実験をおこなったが，その結果，感染個体と非感染個体の比率が1：1程度であれば最終的に全個体の死亡が期待されることがわかった．

The termiticidal performance of an entomogenous fungus, *Beauveria brongniartii* (SACCARDO) PETCH was investigated using laboratory tests. Workers of *Coptotermes formosanus* SHIRAKI were forced to be exposed to sheet formulations of *B. brongniartii* (Formulation name : Biolisa • Kamikiri) developed against long-horned beetles with different conidial densities. All the workers exposed to the high-density formulation (3.3×10^8 conidia/㎠) for one minute died within 5 days, but one day's exposure to the low-density formulation (5.6×10^6 conidia/㎠) caused only approximately 50% death of workers in the same period. This suggested that the density of conidia seriously affect the termiticidal performance of the sheet formulation of *B. brongniartii*. When infected workers were kept with approximately the same numbers of un-infected insects in the same container, all the test individuals have died eventually, showing the contagious effect of *B. brongniartii*.

Key Words : Termiticidal performance, Entomogenous fungi, Laboratory test, *Coptotermes formosanus, Beauveria brongniartii*

Introduction

Social requirements are on the line that aims at less use of chemicals in termite control. Biological control, including all the methods established according to the physiological and ecological characteristics of targeted termite species, would be one of the promising alternatives.

As well reviewed by SU (1994), a novel baiting system has been developed in the United States based on new knowledge on feeding behavior of termites, to induce the colony elimination using much less of the chemicals compared with the conventional termite controlling methods. Use of pathogenic fungi for termite control has also been a research target for more than 25 years. Many fungal species have been tested for their pathogenicity against termites. *Aspergillus flavus* LINK (BEAL and KAIS, 1962 ; HANNASI, 1969), *Abisidia coerulea* BAINIER (LUND and ENGELHARDT, 1962), *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILL. (BAO and YENDOL, 1971 ; LAI *et al*., 1982 ; GRACE and ZOBERI, 1992 ; DELATE *et al*., 1995), *Metarhizium anioplae* (KO *et al*., 1982 ; LAI *et al*., 1982 ; HANEL and WATSON, 1993 ; DELATE *et al*., 1995 ; MILNER and STAPLES, 1996), *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD (YENDOL and PASCHKE, 1965 ; KO *et al*., 1982 ; YOSHIMURA *et al*., 1992), and *Penicillium* spp. (SMYTHE and COPPEL, 1966) were the major fungi species tested.

In these reports, rhinotermitid subterranean species, *Coptotermes formosanus* SHIRAKI and *Reticulitermes* spp., have been mainly used as test insects, probably because these species are the major pests for wooden constructions in the temperate countries and their activity occurs underground, which is also a suitable environment for the fungi.

Although, as described above, considerable data are available with respect to the basic pathogenicity of entomogenous fungi, no commercialized formulation has been evaluated for its termiticidal performance so far in Japan. In this paper, commercialized formulations of an entomogenous fungi, *Beauveria brongniartii* (SACCARDO) PETCH, are used to discuss their possibility for termite control.

Materials and Methods

Termites

Workers of *Coptotermes formosanus* SHIRAKI were obtained from a laboratory colony maintained in the dark at 28℃ and more than 85% R.H.

Fungal formulation

Nonwoven fabric sheet formulations of *Beuveria brongniartii* (SACCARDO) PETCH, which were developed against long-horned beetles (HIGUCHI *et al*., 1993), were supplied by Nitto Denko Corp. as test substrates (Formulation name: Biolisa • Kamikiri). The formulations have been evaluated not only for agricultural uses but also forestry uses such as against the adult Sugi Bark Bore, *Semanotus japonicus* LACORDAIRE (SHIBATA *et al*., 1991).

Forced-contact test

A forced-contact test was done for evaluating the termiticidal performance of *B. brongniartii*. A part of the sheet formulation (50 mm × 50 mm) was cut out, and a plastic cup (34 mm in diameter and 35 mm in height) with 30 workers of *C. formosanus* was then inverted on it so that the workers were forced to touch the fungal conidia. After 1 min, 2 h, and 1 day, the infected insects were transferred into a clean Petri dish with a damped filter paper, and the dish was incubated in the dark at 28℃ and more than 85% R. H.

For the next 5 weeks termite health was observed daily. Two formulations with different conidial density, 3.3×10^8 / cm² (the higher conidial density formulation : HCDF) and 5.6

$\times 10^6$ / cm² (the lower conidial density formulation : LCDF), were used. Three replicates were done for each treatment.

Contagiousness test

HCDF was used for the contagiousness test. Workers were forced to touch the formulation in the manner described above for one min. After that the treated insects were transferred into a clean Petri dish with untreated sound workers from the same colony, and the dish was incubated in the dark at 28℃ and more than 85 % R. H.

Table 1 shows the composition of workers of *C. formosanus* in the contagiousness test. The health of the insects was observed daily during the following 3 weeks. Three replicates were used for each ratio.

Table 1 Composition of workers of *Coptotermes formosanus* in contagiouseness test

Number of workers		Ratio
Infected	Untreated	
0	20	Control
2	20	1 : 10
4	20	1 : 5
7	14	1 : 2
10	10	1 : 1

Results and Discussion

Termiticidal performance of *B. brongniartii*

As shown in Fig. 1, conidial density in the formulation seriously affected the termiticidal performance of. *B. brongniartii*. One minute's contact with the higher conidial density formulation (HCDF) resulted in 100 % death of test insects within 5 days, but approximately 50% of the workers were still alive at 35 days even after the one day's contact with the lower conidial density formulation (LCDF). In the latter case, a mortality curve showed a plateau following 10 days. One day's contact with HCDF was enough to kill all the test insects within the

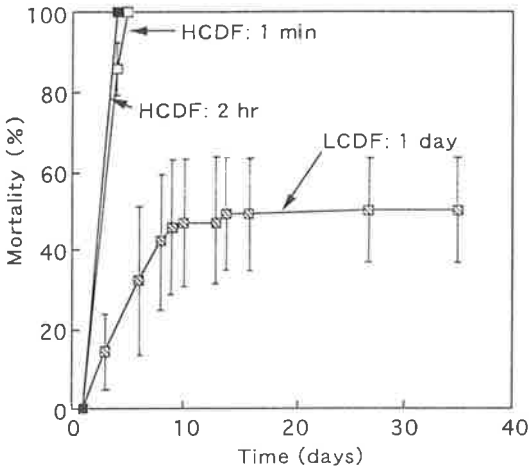


Fig. 1 Mortality of workers of *Coptotermes formosanus* in forced-contact tests (average ± standard deviation). HCDF : The higher conidial density formulation (3.3×10^8 conidia/cm²). LCDF : The lower conidial density formulation (5.6×10^6 conidia/cm²).

contact period (not shown in the figure), which might have been caused by suffocation by the attached conidia. In the untreated controls, and one min and 2 h contact to LCDF, less than 10 % death of workers were observed (not shown in figure).

These results indicate that the attachment of a cetrtain amount of conidia of *B. brongniartii* onto the body surface of insects, including termites, is indispensable to express the pathogenicity. This is supported by the result that the insecticidal performance of *B. brongniartii* against adults of a long-horned beetle, *Psacothea hilaris* (PASCOE), was drastically decreased when using the formulations with less than 10^7/cm² conidial density (HIGUCHI *et al.*, 1993).

We have reported the termiticidal performance of an entomogenous fungus, *Conidiobolus coronatus* TYRREL and MACLEOD, against *C. formosanus* (YOSHIMURA *et al.*, 1992). This fungus had a strong pathogenicity, resulting in the death of all of the workers on which only two or three conidia were attached. More

recently DELATE *et al.*, (1995) evaluated the potential use of the entomogenous fungi, *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILLEMIN and *Metarhizium anisopliae* (METSCH.) in a bait system. They did a choice-test using two plastic jars connected by a glass tube, in which a dampened and untreated, and a dampened and fungus-grown filter paper were placed as food each in one jar. Workers and soldiers of *C. formosanus* released into a plastic jar with an untreated filter paper moved immediately into the other plastic jar through the glass tube and walked around on the fungus-grown filter paper without any repulsion. And then all the test insects died within 4 days in the case of *M. anisopliae*. *B. bassiana* showed delayed toxicity compared with *M. anisopliae*.

Consequently it appears that the sheet formulation of *B. brongniartii* has a good termiticidal performance when sufficient contact is available, although the basic pathogenicity of *B. brongniartii* is inferior to the other entomogenous fungi tested so far.

Figures 2 and 3 were workers of *C. formosanus* after 7 days and 10 days following one min forced contact with *B. brongniartii*, respectively. No obvious growing out of hyphae from the termite bodies was observed until death. Two to three days after death many hyphae grew out (Fig. 2), and more 2-3 days were required for conidia formation (Fig. 3). This means that approximately 5 days and 10 days are needed for new conidia formation from the death and from the attachment of the old conidia, respectively. In the case of *C. coronatus*, many conidia were seen after 2 days following 6 h of fungal exposure (YOSHIMURA *et al.*, 1992).

Contagiousness of *B. brongniartii*

Mortality of untreated workers mixed with the *B. brongniartii*-infected individuals is shown in Fig. 4. All preliminarily infected workers

Fig. 2 A worker of *Coptotermes formosanus* infected with *Beauveria brongniartii* after 7 days of incubation following one min of forced contact. Scale bar is 1 mm.

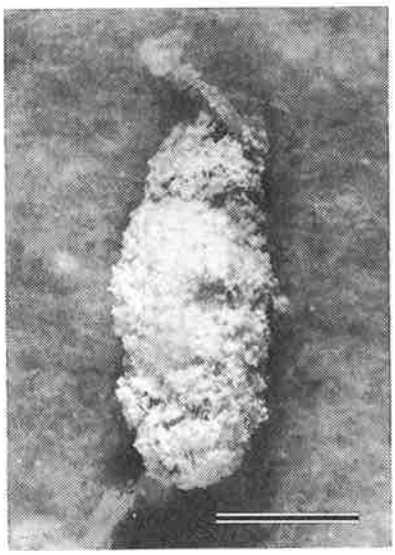


Fig. 3 A worker of *Coptotermes formosanus* infected with *Beauveria brongniartii* after 10 days of incubation following one min of forced contact. Scale bar is 1 mm.

died within 5 days as a result of forced contact test shown in Fig. 1, and most of the dead individuals were immediately buried by the sound companions using filter paper chips. This might indicate that the sufficient trans-

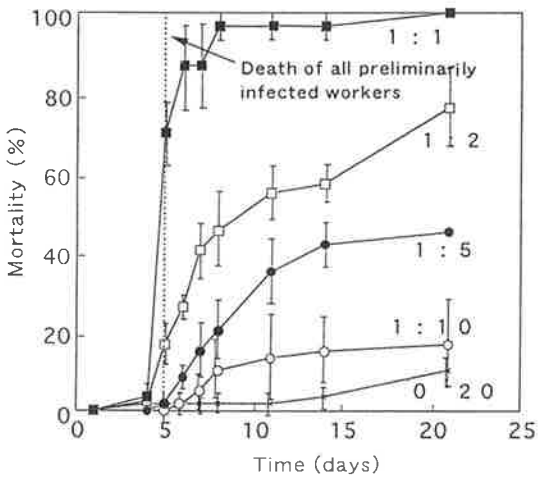


Fig. 4 Mortality of untreated workers of *Coptotermes formosanus* in contagiousness tests (average±standard deviation). Numbers inside the figure are ratios of infected and untreated individuals.

contamination of conidia between infected workers and untreated workers was accomplished by grooming and trophallaxis behavior only occurring before the total death of preliminarily infected individuals, because approximately 5 days were needed for the new conidia formation after death of insects as described above.

Mortality of untreated individuals increased according to the increase of the ratio of the infected workers. The highest ratio, 1 : 1, resulted in more than 90 % death of untreated workers after 8 days, while in the case of the lowest ratio, 1 : 10, mortality was less than 20 % even after 14 days. In the cases of the middle ratios, 1 : 2 and 1 : 5, approximately 60 and 40 % of test insects died after 14 days, respectively. After 10-14 days, mortality reached a plateau in the cases of the ratios of 1 : 5 and 1 : 10, probably supporting the assumption stated above. The increase of mortality in the cases of the ratios of 1 : 2 and 0 : 20 (untreated control) following 14 days might be caused by factors other than contagion.

These results suggest that *B. brongniartii* -infected workers of *C. formosanus* can kill approximately the same numbers of untreated individuals by contagion. In *C. coronatus*, a single fungus-infected worker of *C. formosanus* induced the complete death of together mixed 50 individuals (YOSHIMURA *et al.*, 1992). It is probably because only two or three conidia are required for the expression of pathogenicity in *C. coronatus* against workers of *C. formosanus* as described above.

The feeding populations of *C. formosanus* were estimated by the triple-mark-recapture method as 1-7 million per colony in the United States (SU and SCHEFFRAHN, 1988). It means that at least 0.5 million population should be infected with *B. bromgniartii* to eliminate the colony of *C. formosanus* by contagion of *B. brongniartii*, unlikely to be possible when considering the collection-infection-release procedure. Therefore, the total infection of a feeding population of *C. formosanus* by *B. brongniartii* should be preferably aimed when using the fungus for termite control in practical situations. Use of attractants such as trail-following pheromone (TOKORO *et al.*, 1992) in combination with the baiting techniques would be a promising way. Of course the termiticidal performance of *B. brongniartii* against an another important rhinotermitid pest termite in Japan, *Reticulitermes speratus* (KOLBE), whose feeding population has been estimated as 0.3-0.5 million per colony (MATSUOKA *et al.*, 1997), must be evaluated in the next step.

Host selectivity is also a very important factor for the biological control of insects. *B. brongniartii* is known to be parasitic on fewer insect species, generally on Coleoptera, than *B. bassiana* (AOKI, 1989). This is supported by the fact that no parasitic effects of *B. brongniartii* have been reported on plants or mammals so far. Those would be advantageous for the fungus when practical application in termite

control is considered.

Acknowledgement

We express our gratitude to Nitto Denko Corp. for the supply of the fungal formulations used in the present investigation.

References

AOKI, J. (1989) The entomogenous fungi, Zenkoku Noson Kyouiku Kyoukai, Tokyo (in Japanese).

BAO, Li-Li and W. G. YENDOL (1971) Infection of the eastern sunbterranean termite *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR) with the fungus *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILL. *Entomophaga* **16** : 343−352.

BEAL, R. H. and A. G. KAIS (1962) Apparent infection of subterranean termites by *Aspergillus flavus* LINK. *J. Insect Pathol.* **4** : 488−489.

DELATE, K. M., J. K. GRACE and C. H. M. TOME (1995) Potential use of pathogenic fungi in baits to control the Formosan subterranean termite (Isoptera., Rhinoter-mitidae). *J. Appl. Ent.* **119** : 429−433.

GRACE, J. K. and M. H. ZOBERI (1992) Experimental evidence for transmission of *Beauveria bassiana* by *Reticulitermes flavipes* workers (Isoptera : Rhinoter-mitidae). *Sociobiology* **20** : 23−28.

HANAL, H. and J. A. L. WATSON (1993) Preliminary field tests on the use of *Metarhizium anisopliae* for the control of *Nasutitermes exitiosus* (HILL) (Isoptera: Termitidae). *Bull. Entomol. Res.* **73** : 305−313.

HIGUCHI, T., Y. NINOMIYA and M. IBA (1993) Biorational pest control formulation against longicorn beetle damage using *Beauvera brongniartii* (SACC.) PETCH. *Nitto Giho* **31** (2) : 103−110.

KO, W. H., J. K. FUJII and K. M. KANEGAWA (1982) The nature of soils pernicious to *Coptotermes formosanus*. *J. Invert. Pathol.* **39** : 38−40.

LAI, P. Y., M. TAMASHIRO and J. K. FUJII (1982) Pathogenicity of six strains of entomogenous fungi to *Coptotermes formosanus*. *J. Invert. Pathol.* **39** : 1−5.

LUND, A. E. and N. T. ENGELHARDT (1962) Subterranean termites and *Absidia coerulea* BAINIER (Mucorales). *J. Insect Pathol.* **4** : 131−132.

MATSUOKA, H., K. TSUNODA, T. YOSHIMURA and K. YAMAUCHI (1997) Control of subterranean termite by bait system (Ⅲ) Suppression of feeding population of *Reticulitermes speratus* (KOLBE). Abstracts of the 47th annual meeting of the Japan Wood Research Society : 428 (in Japanese).

MILNER, R. J. and J. A. STAPLES (1996) Biological control of termites: results and experiences within a CSIRO project in Australia. *Biocont. Sci. Technol.* **6** : 3−9.

SANNASI, A. (1969) Studies of an insect mycosis Ⅱ. Biochemical changes in the blood of the queen of the moundbuilding termite *Odontotermes obesus* accompanying fungal infection. *J. Invert. Pathol.* **13** : 11−14.

SHIBATA, E., Y. YONEDA, T. HIGUCHI, H. ICHINOSE and N. YAMADA (1991) Control method of the adult Sugi Bark Bore, *Semanotus japonicus* LACORDAIRE, using the nonwoven fabric sheet with an entomogenous fungus, *Beauveria brongniartii* (SACC.) PETCH in Japanese Cedar, *Cryptomeria japonica* D. DON, stand. *Appl. Ent. Zool.* **26** : 587−590.

SMYTHE, R. V. and H. C. COPPEL (1966) Pathogenicity of externally occurring fungi to *Reticulitermes flavipes*. *J. Invert. Pathol.* **8** : 266−267.

SU, N.-Y. (1994) The termite bait age dawns. *Pest Control* **62** (6) : 36−38.

SU, N.-Y. and R. H. SCHEFFRAHN (1988)

Foraging population and territory of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in an urban environment. *Sociobiology* **14** : 353–359.

TOKORO, M. (1992) Identification of the trail pheromone of the subterranean termite, *Coptotermes formosanus* SHIRAKI (Isoptera: Rhinotermitidae). *Mokuzai Gakkaishi* **38** : 294–300.

YENDOL, W. G. and J. D. PASCHKE (1965) Pathogenicity of an *Entomophthora* infection in the eastern subterranean termite *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR). *J. Invert. Pathol.* **7** : 414–422.

YOSHIMURA, T., K. TSUNODA, M. TAKAHASHI and Y. KATSUDA (1992) Pathogenicity of an entomogenous fungus, *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, to *Coptotermes formosanus* SHIRAKI. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **4** : 11–16.