山地水環境教育研究センター研究報告 1: 53-62 (2003) [陸水学雑誌 62:139-148 (2001)]

特集：諏訪湖の生物群集の研究

総説

諏訪湖におけるユスリカ研究

(2)不快昆虫としての成虫とその防除対策に関する検討

平林 公男・中里 亮治・沖野外輝夫

摘 要

諏訪湖周辺域では，毎年大量のユスリカ成虫が湖沿岸域に定期的に飛来し，住民の日常生活や観光業へ大きな支障をきたし，社会問題となっている。本研究では，諏訪湖におけるユスリカ類の成虫に焦点をあて，これまでの研究報告を整理し，(1)主な発生種の特徴，(2)近年の大量発生・大量飛来のメカニズム，(3)人々の生活とユスリカ成虫との関わりなどについて紹介した。また，成虫対策のために行われてきた野外実験として，(1)成虫の飛翔行動の特徴や休息習性などを利用した対策研究，(2)光や音による成虫誘引に関する実験などの概要を紹介し，ユスリカ類との共存を視野に入れた総合防除対策について述べた。

キーワード：ユスリカ類，防除対策，飛翔行動，諏訪湖，不快昆虫

はじめに

諏訪湖におけるユスリカ成虫の生態に関する研究は，幼虫に比べると極めて少ない。最初の報告は1970年代初めに Yamagishi and Fukuhara (1971) が成虫の出現時期からオオユスリカ (*Chironomus plumosus*)，アカムシユスリカ (*Propsilocerus akamusi*) の羽化期や，世代数などを予測し，幼虫の成長解析の結果と併せてその概要を明らかにしたものである。また，平出・沖野 (1983) は前記2種の成虫個体数変動を季節ごとに調査し，湖内から湖外へユスリカ成虫によって持ち出される有機物量を概算している。Iwakuma et al. (1989) は，諏訪湖と霞ヶ浦とでアカムシユスリカ成虫の羽化時期の違いに注目し，羽化が底泥温度に依存して行われることを報告している。1990年代に入って，諏訪湖周辺域では，人々の水辺に対する関心の高まりやアカムシユスリカ成虫の大量発生に伴い，不快昆虫としてのユスリカ成虫に注目が集まった。それに伴い，ユスリカ成虫の生態学的調査研究が湖周辺で始まり，平林 (1991a)，Nakazato and Hirabayashi (1998)，Nakazato et al. (1998) らが実態調査の結果を報告している。それらは，成虫発生源としての湖内の幼虫分布，湖からの成虫発生量，湖周辺地域への飛来種の組成，飛翔時間帯，飛翔範囲などである。また，平林 (1991b) により，ユスリカ成虫による住民生活への影響や住民の被害意識，具体的な被害例などが詳細に報告されている。対策活動としては，ユスリカ成虫の発生予報の試みや，魚類による捕食実験，光による成虫誘引実験など，具体的な方法論が提示され，現在も実用化に向けて検討中である (平林1991c)。

諏訪湖には，これまで3亜科14属19種のユスリカ類が記録されている (Nakazato et al., 1998)。しかし，近年，平林・山本 (未発表) が，初夏 (5/30 - 6/7) にライトトラップを湖岸に設置し，3亜科33属55種を記録している。これらの報告から，現在諏訪湖および諏訪湖周辺では3亜科35属66種が確認されていることになる (Table 1)。亜科別ではユスリカ亜科が最も多く16属36種で，全体の54.5%を占めている。属別では *Polypedilum* 属が10種，*Chironomus* 属が7種で多くの種を含んでいる。沖帯 (湖心付近の水深6 m) に生息するユスリカ類は，主にオオユスリカ，アカムシユスリカ，ウスイロカユスリカ (*Procladius choreus*) の3種である。一方，湖の沿岸域の砂泥地からは数種類のユスリカ幼虫が確認され，近年では，クロユスリカ (*Einfeldia dissidens*) やハイイロユスリカ (*Glyptotendipes tokunagai*) の幼虫が4 m 以浅 (特に2-2.5 m の水深) に数多く生息している (Nakazato et al., 1998)。同じ

Table 1. List of chironomid midges in and around Lake Suwa.

Scientific name	Nakazato et al. (1998)	Hirabayashi & Yamamoto (unpublished data)
Chironominae 16 G. 36 S.	6 G. 10 S.	16 G. 32 S.
Chironomus flaviplumus Tokunaga		○
C. fujiprimus (Fabricius)	○	
C. kiiensis Tokunaga		○
C. nippodorsalis Sasa		○
C. plumosus (Linnaeus)	○	
C. samoensis Edwards	○	
C. yoshimatsui Martin et Sublette	○	○
Cladopelma edwardsi (Kruseman)		○
Cryptochironomus albofasciatus (Staeger)		○
Demeijerea goryoensis (Ree et Kim)		○
Demicryptochironomus vulneratus (Zetterstdt)		○
Dicrotendipes pelochloris (Kieffer)	○	○
Einfeldia chelonia (Townes)		○
E. dissidens (Walker)	○	○
Glyptotendipes biwasecundus Sasa et Kawai		○
G. tokunagai Sasa	○	○
Harnischia japonica Hashimoto		○
Microchironomus tener (Kieffer)		○
Parachironomus arcuatus (Kieffer)		○
Paratendipes albimanus (Meigen)		○
P. tamayubai Sasa	○	
Polypedilum asakawaense Sasa		○
P. asoprinum Sasa et Suzuki		○
P. cultellatum Goetghebuer	○	○
P. kyotoense (Tokunaga)	○	○
P. masudai (Tokunaga)		○
P. nubeculosum (Meigen)		○
P. nubifer (Skuse)		○
P. parviacumen Kawai et Sasa		○
P. surugense Niitsuma		○
P. tamahinoense Sasa et Ichimori		○
Stenochironomus sp.		○
Micropsectra sp. (?=*fossarum* (Tokunaga, 1938))		○
Tanytarsus oyamai Sasa		○
T. smolandicus Brundin		○
T. takahashii Kwai et Sasa		○
Tanypodinae 5 G. 7 S.	2 G. 2 S.	5 G. 5 S.
Abrabesmyia monoliformis Fittkau		○
Conchapelopia japonica (Tokunaga)		○
C. quaturmaculata Fittkau	○	
Procladius choreus (Meigen)	○	
P. sagittalis (Kieffer)		○
Rheopelopia maculipennis (Zetterstedt)		○
Tanypus punctipennis Meigen		○
Orthocladiinae 14 G. 23 S.	6 G. 7 S.	12 G. 18 S.
Brillia japonica Tokunaga		○
Cricotopus bicinctus (Meigen)		○
C. bimaculatus Tokunaga		○
C. sylvestris (Fabricius)	○	
C. triannulatus (Maquart)		○
C. trifasciatus (Meigen)		○
C. spp.	○	
Eukiefferiella spp.	○	
Limnophyes doughmani Saether		○
L. minimus (Meigen)		○
Nanocladius tamabicolor Sasa		○
Orthocladius (*Euorthocladius*) sp.		○
O. sp. A		○
O. sp. B		○
Parametriocnemus stylatus (Kieffer)		○
Paratrichocladius rufiventris (Meigen)	○	○
Propsilocerus akamusi (Tokunaga)	○	
Psectrocladius soldidellus (Zetterstedt)		○
P. yunoquartus Sasa	○	
Rheocricotopus chalybeatus (Edwards)	○	○
Smittia aterrima (Meigen)		○
Tokunagaia sp. (?)		○
Tvetenia nagaokensis (Tokunaga)		○
Total 35 G. 66 S.	14 G. 19 S.	33 G. 55 S.

富栄養湖である霞ヶ浦，河口湖とこれまでに記載されている諏訪湖のユスリカ種数を比較してみると，霞ヶ浦では4亜科18属31種（Ueno et al., 1993），河口湖では4亜科33属66種（平林，2001）で，霞ヶ浦のほぼ2倍，河口湖とほぼ同数の種数となっている。今後，諏訪湖において，年間を通しての詳細な研究が進めば，さらなる種の追加が予想される。

諏訪湖沿岸域で捕獲されるユスリカ成虫のうちで，大量発生するユスリカ類はオオユスリカ，アカムシユスリカ，クロユスリカ，ハイイロユスリカ，ウスイロカユスリカの5種である（Nakazato et al., 1998）。本稿では，湖の中で生物体量の多い大型のユスリカ，オオユスリカとアカムシユスリカに加え，近年，沿岸域の砂泥地から夏期に大量発生し，湖周辺で新たな社会問題を引き起こしている小型のクロユスリカについて，成虫の生態や行動，防除法などについてこれまでに得られた知見をもとに概説する。なお，これらの幼虫に関する報告については，中里ら（2001）がまとめている。

諏訪湖に生息する主要ユスリカ種の特徴

オオユスリカ，アカムシユスリカは，諏訪湖では1920年代後半から生息が確認されており（宮地，1928），湖水の汚染がひどかった頃からの代表的な底生生物である（Yamagishi and Fukuhara, 1971）。また，ワカサギ *Hypomesus transpacificus nipponensis* の餌としてもよく知られており，秋季のワカサギの急速な成長はアカムシユスリカ幼虫の捕食によることが報告されている（竹内・沖野，1982）。両種とも我が国の富栄養化の進んだ湖（霞ヶ浦や琵琶湖の南湖など）では，周期的に大量発生する種類である（Iwakuma, 1987；高木・岡本，1993）。一方，クロユスリカは1980年代中頃からその発生が確認され始め，1993年頃から夏期に大量発生を繰り返している。我が国では池田湖，琵琶湖，児島湖，野尻湖などで記録されている（Sasa and Kikuchi, 1995）。これら3種の特徴を諏訪湖で得られた知見をもとに

Table 2. Biological characteristics of chironomid midges forming massive swarms around Lake Suwa (according to Hirabayashi and Nakamoto (2001), Hirabayashi and Ogawa (1999, 2000), and Nakazato et al. (1998)).

Scientific name Japanese name		*Chironomus plumosus* Ooyusurika	*Propsirocerus akamusi* Akamushiyusurika	*Einfeldia dissidens* Kuroyusurika
Larvae				
Habitat		profundal	profundal	littoral
Substratum		mud	mud	sandy mud
Adult				
Body length (mm) ♂/♀		9.5/10.5	8.5/9.5	5.5/6.5
Wet weight (mg) ♂/♀		4.7/5.7	6.0/15.0	1.0/1.6
Number of eggs per eggmass		2000-3000	900-1500	1000-1200
Emergence periods	spring	Mar.-May	-	-
	summer	Jun.-Jul.	-	Jun.-Sep.
	fall	Aug.-Oct.	Oct.-Nov.	-
Mating system		swarming	swarming and searching	swarming
Flight time	spring	18:00-20:00	-	-
(peak time)	summer	18:00- 6:00	-	18:00-20:00
	fall	18:00-20:00	17:30-19:30	-
Swarming time	spring	18:00-19:00	-	-
	summer	19:00-20:00	-	19:00-20:00
	fall	18:30-19:30	15:30-17:15	-
Most attractive sound frequency		270-300 Hz	150-180 Hz	240 Hz

Table 2に整理した。

1. アカムシユスリカ

諏訪湖ではアカムシユスリカは年1回，10月初旬から11月上旬にかけて成虫の発生が観察される（Yamagishi and Fukuhara, 1971)。秋になり水温が低下し始めると，底泥表面で蛹となって湖の表面で羽化し成虫となる。Iwakuma et al. (1989) によると，羽化は底層水温が18-10 ℃の範囲でみられ，10 ℃よりも下がると蛹化しなくなる。この結果，諏訪湖（標高759 m）では霞ヶ浦（標高0.16 m）に比べ，約2週間程度早く羽化する。山岸・福原（1969, 1970, 1971）は羽化の日周調査を行い，18:00-22:00にかけて最も活発に羽化が行われ，日中はほとんど羽化しないことを報告している。アカムシユスリカは空中で雄が群飛（swarming）を行い，そこへ雌が飛び込んで交尾する方法と，植物体上に休息している時に，雄が歩き回って雌を捜し，止まったままで交尾する方法の2タイプの交尾方法をもっている（Kon, 1987)。ただし，その割合は止まってペアを捜して交尾する方が多いようである（Otsuka et al., 1986)。雄成虫が蚊柱（群飛）を形成する時間帯は15:30-17:15の間であるが，気温10 ℃以下，または風力5 m sec^{-1} 以上の強風が吹いている時には蚊柱が形成されない（Hirabayashi and Ogawa, 2000)。飛翔時間帯（ライトトラップで成虫が捕獲される時間帯）は日没後（17:30-19:30）にピークがあり，24時間採集調査の結果，全体の67.4%がこの時間帯に捕獲され，その後は激減する(平林，1991a)。以上のことから，諏訪湖においては，湖からの羽化時間帯と成虫の飛翔時間帯とがほぼ一致している。羽化時間帯と飛翔時間帯とが重なることは，霞ヶ浦においてIwakuma and Yasuno (1981) が調査した結果と一致している。しかし，琵琶湖南湖では羽化時間帯のピークが午前中にあり，飛翔時間帯と羽化時間帯が重ならない（近1986; Kon 1987)。これらのことより，緯度などの地理的要因やユスリカを取り巻く湖内の様々な環境要因などによって，水域により羽化時間帯と飛翔時間帯とが必ずしも一致しないことが示唆される。成虫の寿命は7日間程度で，雌は螺旋状の卵塊を湖面に産む。その卵塊にはおよそ900-1500個の卵があり，急速に水分を吸収して膨張し，湖底に沈む。

2. オオユスリカ

オオユスリカは，ユスリカ類の中で最も大型の種類である。富栄養化した湖沼の湖底からは，ごく普通に採集される種である。諏訪湖では成虫が春（3月下旬から5月上旬)，夏（6月中旬から7月中旬)，秋（8月下旬から10月上旬）の年3回発生する年と，春，秋の年2回発生する年がある（Nakazato and Hirabayashi, 1998)。日本の他の湖沼では春と秋の年2回の発生である。各発生時期の成虫捕獲個体数は年によって異なり，例えば1968年には秋が最も多く，1969年には夏が，そして1970年には春が最も多かった（Yamagishi and Fukuhara, 1971)。Nakazato and Hirabayashi (1998) によると，1980年代前半は年2回，1990年代前半は年3回発生する年が多い

傾向が認められた。交尾方法は群飛のみである。蚊柱（群飛）形成時間帯は日没後1時間に集中するため，季節により形成時間はずれる。また，飛翔時間帯も季節によりそのパターンが大きく異なり，春と秋の個体群は日没後に飛翔時間が集中し，日の出に向かって減少し，昼間はほとんど飛翔しなくなる。一方，夏期は日没から日の出までの間，ほぼ均一に飛翔が確認される（平林，未発表）。雌は後ろ足に卵を挟んで飛び，触れたものに産みつける習性を持っている（近，1986）。1卵塊当りの卵数は，2000-3000とアカムシユスリカに比べて多い。

3. クロユスリカ

諏訪湖では6月上旬から9月下旬にかけて成虫が発生する。発生のピークは6月中旬と7月下旬のほぼ2回で，7月初旬から7月中旬にかけて，成虫発生数が一時期減少するパターンが確認されている（Nakazato and Hirabayashi, 1998）。交尾方法はオオユスリカ同様，群飛のみである。蚊柱形成時間帯はオオユスリカの夏個体群同様19:00-20:00の日没後1時間に集中する。また，飛翔時間帯は18:00-20:00にピークがあり，オオユスリカの春，秋個体群と同じパターンを示し，日の出に向かって減少し，昼間はほとんど飛翔しなくなる（平林，未発表）。卵塊はフットボール型で，産卵後水底に沈む。近年の湖内における個体数の増加は湖水や湖底環境の変化を示唆している（Nakazato and Hirabayashi, 1998）。

湖からのユスリカ成虫大量発生・飛来の要因

諏訪湖で「不快昆虫としてのユスリカ」が顕在化している理由として，現在の諏訪湖を取り巻く環境を考慮し，「湖からの成虫大量発生のメカニズム」と「湖周辺域への成虫大量飛来のメカニズム」とに分けて以下に整理した。また，これらの関係をFig. 1に模式的にまとめた。

1. 湖からのユスリカ成虫大量発生のメカニズム

諏訪湖からのユスリカ成虫の大量発生の要因として以下の二点が指摘されている（平林・沖野，1999）。まず，ユスリカ類の幼虫の餌が豊富であること，そして，ユスリカ幼虫・蛹の捕食生物（特に魚類）が減少したことである。

①餌が豊富　人為的な極度の富栄養化の結果，諏訪湖ではいくつかの特定生物の大量発生が観察されている。その一例として，リン・窒素などの栄養塩類が多量に河川から流入し，湖に生息する植物プランクトンが増殖し，

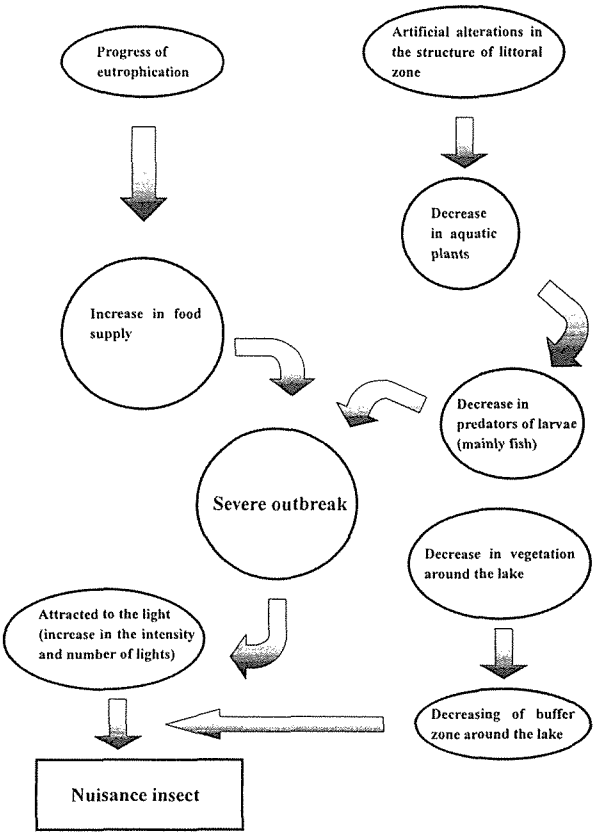


Fig. 1. A mechanism underlying the current massive flights of chironomid midges in Lake Suwa.

特に夏期の水温の高い時期にはアオコ（主に*Microcystis* spp.）が大量発生する。このため，過去には湖底層における貧酸素水塊の形成に伴う魚類の窒息死や，アオコによる悪臭などの問題が起きている（沖野，1990）。多量の植物プランクトンの死骸は湖底に堆積し，底泥に生活する底生動物（ユスリカ類の幼虫やイトミミズ*Limnodrils* spp. などの水生貧毛類）の餌となる。餌が豊富であるために，これを利用しやすいユスリカ類の現存量が増し，湖から大量発生していると推測される。

②捕食生物（特に魚類）の減少　ユスリカ幼虫・蛹は湖内にあっては魚類の重要な餌生物であり，諏訪湖産魚類（ワカサギ，鯉など）の生産量を維持する上で重要な役割を担っている。平出・沖野（1983）によると，オオユスリカの場合，羽化期に湖底に生息する幼虫の25.7%が湖面から成虫となって羽化し，残りの74.3%が主に蛹や幼虫の段階で魚類などに捕食されると推定している。また，アカムシユスリカの場合も，底泥表層に生息する幼虫数を100%とした時に，14.0%が成虫となって湖面から羽化し，残りの86.0%のうち蛹とならずに幼虫として次の年まで残る割合（35.2%）を差し引いた50.8%が

主に魚類などに捕食されると推定している。近年，ユスリカ幼虫・蛹の捕食生物としての魚類の減少が指摘されている。特に，ワカサギは不漁続きの年が多い。諏訪湖における漁獲量の変遷に注目してみると，最も湖の有機汚染のひどかった1970年代には年間500ｔを超える漁獲量が維持されていたのに対し，水質の回復傾向がみられる1980年代初めから中頃にかけては200ｔに減少，1980年後半から1990年代初めには150ｔまで減少している。近年では1995年に124ｔまで落ち込んでいる（関東農政局長野統計情報事務所 私信)。この要因として，水質が改善したことや，沿岸域の人為的な改変により，水生植物帯が減少し，魚類の再生産の場（産卵場所や生息場所など）が急激に減少したことなどが指摘されている（沖野ら，1991)。また，水生植物帯の減少は二次的にユスリカ類の捕食生物であるトンボ目（Odonata）などの昆虫類やカモ亜目（Anseres）やツバメ類 *Hirundo* spp. などの鳥類の飛来数にも大きな影響を及ぼしていると推察される（沖野，1990)。

2. 湖周辺域へのユスリカ成虫大量飛来のメカニズム

諏訪湖周辺域におけるユスリカ成虫大量飛来の要因として以下の二点が指摘されている。まず，人とユスリカ成虫の生活域を隔てていた沿岸緑地の減少，そして，成虫誘引源としての光量の増加である（平林・沖野，1999)。

①沿岸緑地の減少　湖と人間の生活場所の間に緩衝地帯としてあったヨシ *Phragmites australis*，マコモ *Zizania latifolia* を中心とする水生植物帯が1970年代前半から1980年代初めにかけて，しゅんせつと護岸工事のために壊滅した（沖野，1981)。また，湖岸が整備されたのに伴い，陸域の緑地帯が減少し，人家やホテル・商店が湖岸近くに建設された。湖畔には観光施設が増加し，観光客数も年々増加した。その結果，人とユスリカの生活域が接することになり，お互いに接触する機会が多くなった。また，以前は緑地帯がユスリカ成虫にとって，交配・休息の場となっていたが，湖周辺の植生が減少したために，人の生活域への飛来量が増加した。

②光量の増加　湖周辺の人家やホテル，商店などで使用する灯火が増加，かつ強力になり，ユスリカ成虫を人の生活圏へと誘引する誘蛾灯的な役割を果たしている。また，沿岸域の緑地帯の減少により，湖から湖畔域が見通せ，強力かつ多量の光に，効率よくユスリカ成虫が誘引されているものと思われる。

以上のように，成虫大量発生・大量飛来の要因として，湖内の要因ならびに湖周辺の要因が大きく影響を及ぼしていると思われる（平林・沖野，1999)。

人々の生活とユスリカ成虫

ユスリカ類は我々の身近に生息し，我々の生活に密着して生息する代表的な昆虫類の一つである。幼虫は人にとって有用な側面が多く，魚類などの水産資源の育成に欠かせない餌資源となっている。また，近年では「水質指標生物」として利用されたり（Saether, 1979; Kawai et al., 1999)，底泥に堆積した水中有機物を多量に食べ，成虫となって水域外へ飛び出ることから「水域の浄化者」としての役割にも注目が集まってきている（平出・沖野，1983；岩熊，1990)。一方，成虫は人にとって「不快害虫」,「病害虫」といったネガティブな側面を持つことが知られている（佐々，1988)。以下に成虫の不快性，病害性について整理する。

1. 不快昆虫としてのユスリカ成虫

諏訪湖周辺域では人とユスリカの生活域が重なっているため，湖周辺域で生活する住民や，観光に訪れた人々にとって，ユスリカ成虫は不快昆虫であり，様々な問題を引き起こしている。平林（1991b）は諏訪湖周辺域におけるユスリカ類による具体的な被害内容や住民・観光客に対する意識調査の結果を報告している。湖岸に接する2市1町の住民約250人を対象とし，アカムシユスリカ成虫の発生に対する意識調査を行った結果，約1割の人が「我慢できない」と回答した。また，そのうちの約半数は湖岸から500ｍ以内に居住している住民であった（平林，1991b)。職業別では，自営業者（商店やホテル・旅館経営者）が特に強い被害感を持っている（Table 3)。一方，同様な調査を諏訪湖に訪れた観光客約160人に対して実施したところ，約3割の人がアカムシユスリカに対し「我慢できない」と回答した。「我慢できない」と感じる人の割合は，湖からの成虫発生数が増加してくると高くなり，湖畔に設置したライトトラップで一晩に10,000個体以上の成虫が捕獲されると，「我慢できない」と回答する人の割合も1割を越すことが判明した（Hirabayashi and Okino, 1998)。また，成虫を不快と感じる時間帯も飛翔数の多い夕方に集中していた（Hirabayashi and Okino, 1998)。アカムシユスリカ成虫による具体的な被害例として最も多かったのが「洗濯物や家の壁が汚れる」であり，次いで「食べ物に混入する」であった。また，食品取扱店，旅館，ホテルなどの接客業では「商品を汚し客に不快感を与える」などの経

Table 3. Respondent information and perception of nuisance chironomids at Lake Suwa (cf. Hirabayashi, 1991b).

Items	Perception of nuisance category (%)			
	no trouble	endurable	not endurable	χ^2 test
Sex				not significant
Male	50.7	36.8	12.4	
Female	53.8	30.8	15.4	
Age				$p< 0.01$
A≦30	0.0	0.0	100	
30<A≦50	48.6	38.7	12.6	
50<A	54.1	34.4	11.5	
Occupation				$p< 0.01$
Farming	73.3	26.7	0.0	
Fishery	0.0	100	0.0	
Office worker	49.1	41.5	9.4	
Public employee	54.5	27.3	18.2	
Self-employed person	37.7	35.8	26.5	
Others	66.7	27.8	5.6	
Duration of residence				not significant
L≦10 years	43.8	39.6	16.7	
10<L≦30 years	48.7	37.0	14.3	
30<L years	61.5	32.3	6.5	

済的な被害項目や「ユスリカ成虫を捕食するクモが大発生し，その糞による被害がひどい」などの二次的な被害項目が挙げられた（平林，1991b）。

2. 病害虫としてのユスリカ成虫

近年，トビケラ，チョウ，ガ，ユスリカなどの昆虫の虫体成分（鱗粉，死骸）が微粒子となって空中に飛散し，これらがアレルギー疾患の原因（抗原・アレルゲン）となることが指摘されている（石井，1989）。村上ら（1990）によると“ユスリカ成虫が死後，人の気道に吸入されるほどに細かい粒子として家屋塵中に含まれ，さらに空中に浮遊し，それを人が吸入することにより引き起こされる喘息”を「ユスリカ喘息」と定義している。しかし，小型のユスリカ種では，直接成虫が人体に入り，アレルギー性結膜炎，鼻炎，喘息症状などを引き起こす可能性が指摘されている。我が国においては，佐々（1984），五十嵐ら（1985），佐伯ら（1987）がユスリカ喘息の存在を富山において初めて報告し，Kino et al.（1987）が，大気中，室内空気中にユスリカ抗原が浮遊していることを証明している。村上ら（1987）は，学童期の気管支喘息児約700名を対象に，オオユスリカ成虫抗原を用い，血清中の抗体陽性率を全国規模で調査した。その結果，全国平均で27.9%の児童が陽性反応を示した。一方，Ito et al.（1986），貴谷ら（1989）は，アカムシユスリカ成虫抗原を用い，成人喘息患者を対象に，抗体陽性率を調査した結果，全体の30～33%の者が陽性反応を示した。これらの結果は，従来から気管支喘息の重要なアレルゲンとして知られているコナヒョウダニ（*Dermatophagoides farinae*）に次いで高い値であり，スギ（*Cryptomeria japonica*）やブタクサ（*Ambrosia artemisiaefolia* L. var. *elatior*）などの花粉抗原よりも高い陽性率を示している。

Hirabayashi et al.（1997）は諏訪湖周辺域において，成人外因性気管支喘息患者約30名を対象に，セスジユスリカ（*Chironomus yoshimatsui*），オオユスリカ，アカムシユスリカの各成虫抗原の陽性率を明らかにしている。その結果，各々21.2，12.1，3.0%で，合計でユスリカ抗原に反応した人は27.3%であった。調査集団の大きさや年齢構成など，質的違いがあるために，これら陽性率の値を他の地域と単純には比較できないが，極めて高いという値ではない。しかし，ユスリカ抗原に諏訪地域の成人外因性気管支喘息患者の約3割の者が反応しているという事実が判明し，今後の対策が急がれるところである。

実験フィールドとしての諏訪湖

諏訪湖では，古くからユスリカ幼虫に関する研究が活発に行われ，基礎的なデータが継続的に蓄積されてきた。1990年代に入り，これまでの幼虫に関する基礎研究に加え，ユスリカ成虫との共存を目指した応用研究が行われ始めた。以下に自然湖沼におけるユスリカ成虫対策の先進的な野外実験を紹介し，成虫防除対策のための実験フィールドとしての諏訪湖を紹介する。

1. ユスリカ成虫の飛来範囲の推定

発生源からのユスリカ成虫の飛翔距離を明らかにすることは，水平的な成虫の飛来範囲を推定することになる。また，飛来数の多い地域は，ユスリカ成虫による被害も多発すると推定され，被害範囲の特定にもつながる。この様に，陸域における成虫の動態を詳しく知ることは，対策上極めて重要である。平林（1991a）は諏訪湖東部に位置する諏訪市内に湖からの距離が異なる調査地点を複数設け，アカムシユスリカ成虫の飛翔距離ならびに相対的な飛来量を調査した。その結果，成虫の飛翔距離は最大3 kmであると推定されたが，湖から発生した成虫の約9割が湖岸から500 m以内の地域に飛来することが推定された。一方，湖岸から500 m以上離れた地域でも，強光を発する光源（夜間照明付きの野外運動施設など）があると，地域的に成虫の飛来量を増す一因となること

も示唆された。また，湖から発生した成虫の分散には，飛翔時間帯における風（風速，風向）の状況が大きく影響しており，風速が6-7 m sec^{-1} 以上の風が吹くと，風下側で成虫の飛来量が増加する。また，成虫の飛翔高度も建物周辺で起こるビル風による巻き上げが大きく影響を与えており，様々な高さの建物で各階での捕獲数を調査した結果，どの建物でも最上階で最も多くの成虫が捕獲された（平林，1991a）。

2. ユスリカ成虫にとっての沿岸植生の果たす役割

ユスリカ成虫の沿岸植生の主な利用法としては，(1)植物体上を交配の場として利用（Otsuka et al., 1986），(2)群飛形成のマーカーとして利用（LeSage and Harrison, 1980），(3)植物体を産卵の場，または，産卵のための補助（茎や葉などにつかまる）として利用（Kon, 1987），(4)ユスリカ成虫の重要な休止・休息の場として利用されていることが報告されている。平林・中本（2000）は，オオユスリカとクロユスリカ成虫について，諏訪湖湖岸の陸上の植物群落ごとに休息している成虫数，ならびにヨシ植物帯の利用法について定量的な調査を行った。その結果，成虫休息数はユスリカの種によって植物ごとに大きな差があり，シロバナシナガワハギ *Melilotus alba* に最も多くの成虫が休息していた。特にオオユスリカの場合，茎単位長さあたりの葉数が多い植物に数多く成虫が休息する傾向が認められた。一方，クロユスリカではそうした傾向は認められず，オオユスリカで休息数の少なかった葉面積の小さなシバ *Zoysia japonica* やイヌムギ *Bromus catharticus* などのイネ科の植物に多かった。また，諏訪湖の沿岸抽水植物の代表種であるヨシについて，植物体全体に粘着剤を塗布し，24時間後に付着していたオオユスリカとクロユスリカ成虫数を計数したところ，飛来成虫の70％が葉に付着し，表裏では大きな差は認められなかった。対策上，湖岸へ飛来したオオユスリカ成虫の全てを湖畔の植物群落に休息させ，人の生活圏まで飛来させないようにするためには，シロバナシナガワハギの純群落の場合，計算上約400 m の幅で緑地帯が湖を取り囲む構造が必要となってくると推定される。しかし，実際には羽化した成虫は鳥類や昆虫類，クモ類などの捕食生物に食されたり，湖畔の光の配置や風向きなどで飛来量は大きく変化する。また，人々が不快と感じない程度の飛来量まで落とすことを目標とすれば，400 m よりもかなり狭い幅の緑地帯で十分に効果は現れてくると推定している。平林（1991c）はこれらの野外実験の結果を踏まえ，その対策について，湖を取り囲む地域の街づくりと併せて，総合的に対策活動を行っていかなければならないことを提案している。

3. 野外対策実験の場としての諏訪湖

これまで，ユスリカ成虫の発生に対する対策活動は，殺虫剤を用いた化学的防除が中心であった（Tabaru et al., 1987）。今までに様々な薬剤の効果が報告されているが，化学薬品を用いた防除は他生物種への影響が懸念され，また，薬剤抵抗性獲得の問題，対象範囲の広い自然湖沼などにおいては効果が期待できないなど，様々な問題を抱えている（田原，1986）。湖沼での防除対策として，最も根本的なものは，湖水の浄化である。流入する栄養塩類を減少させることにより，それを利用する植物プランクトンの減少を招き，さらにそれを餌とする生物やその死骸など，ユスリカ幼虫の餌量を相対的に減少させることが大切である。しかし，これらの方策には時間がかかるという欠点がある。そこで，対症療法的な方策ではあるが，湖から発生した成虫の制御をも含めた成虫対策が重要となってくる。

成虫対策でまず考えられるのは，「光を利用した制御」である。光を用いた検討は，アメリカの Lake Monroe において，Ali et al.（1984, 1986）によって報告されており，我が国では，平林（1991c）が諏訪湖において野外実験を行っている。両者とも可視光領域の光に焦点をあて，実験を行っており，色調よりも光量に依存してユスリカ成虫が多数集まることを報告している。平林ら（1998）は，諏訪湖内の人工島に1500 W の電球を5灯設置し，島周辺に湖内から発生した成虫を集め，湖岸域への飛来量を減少させる野外実験を行った。アカムシユスリカの場合，統計的に有意に近傍湖畔への成虫飛来量を減少させることができたが，実用化に向けては問題点も多い。一方，Hirabayashi et al.（1993a, b）は可視光領域の光よりも，近紫外光領域の光の方が，成虫誘引効果が高いことを報告し，近紫外光を利用した野外での誘引実験を試みている。近紫外光を発するランプを付設した電撃殺虫器を湖畔に10 m 間隔で10器設置し，その効果を地域的に検討している。アカムシユスリカの場合，1器あたり1日に平均12,000 ～ 18,000個体が捕獲され，最大で約60,000個体が捕獲された。

近年，Hirabayashi and Ogawa（1999）は270-300 Hz の音響（正弦波）にオオユスリカ雄成虫が敏感に反応し，大量に誘引されることを突きとめた。誘引源として光と音を組み合わせることにより，光単独時の数倍の成虫を捕獲できると報告している。また，アカムシユスリカ

(Hirabayashi and Ogawa, 2000), クロユスリカ成虫 (Hirabayashi and Nakamoto, 2001) についても同様な野外実験を行い，各々150-180 Hz, 240 Hz に雄成虫の誘引ピークがあることを報告している。こうした成虫制御に関する基礎的データの積み重ねにより，将来的には湖から発生した成虫をある特定の場所に誘導することが可能であると推測される。

ユスリカとの共存

ユスリカ類は，成虫が「不快害虫」「病害虫」としての側面を持つ一方，幼虫は「有用虫」「益虫」としての側面を持っている（佐々，1988)。この二面性を持つ昆虫について，人の都合だけで一方的に薬剤などで駆除してしまうといった対策は考えられず，今後「人とユスリカの共存」を考えて行かなくてはならない。

ユスリカとの共存を考える時に重要なことは，ユスリカの生活を我々が良く理解すること，また，我々の日常生活を見直すといった態度が必要となってくる。丸地ら (1991) は，この様な自然科学と社会科学両面からの検討を必要とする課題について，ユスリカ問題を例として報告している。ユスリカ問題の起こっている地域においては，とかくユスリカ類の不快性・病害性のみが強調され，水界生態系内におけるユスリカ類の果たす役割や，益虫としての側面はほとんど知られていない（平林，1991b; Hirabayashi et al., 1998)。地域住民や観光客に対して益虫としての側面を積極的にアピールし，ユスリカとの共存に理解を求めることも重要である。我々の意識改革・意識変化が生き物との共存の重要なキーとなり得る。

謝　　辞

ユスリカの同定をしていただいた環境科学㈱の山本優博士に，心から御礼を申し上げます。また，信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所の学生諸氏には様々な面で，協力をしていただきました。ここに感謝の意を表し御礼を申し上げます。最後に，信州大学諏訪臨湖実験所元技官の故塩野崎寛氏に，研究協力の感謝を申し上げるとともに，ここに謹んで哀悼の意を表します。

文　　献

Ali, A., S. R. Stafford, R. C. Fowler and B. H. Stanley(1984): Attraction of adult Chironomidae (Diptera) to incandescent light under laboratory condition. Environmental Entomology, 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 Entomology, 69: 644-650.

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（2001)：河口湖のユスリカ類－春期に大発生するヒガシビワヒゲユスリカ．ユスリカの世界，近藤繁生・平林公男・岩熊敏夫・上野隆平（編)：21-28．培風館，東京．

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., K. Kubo, S. Yamaguchi, K. Fujimoto, G. Murakami and Y. Nasu (1998): Survey on negative impact of chironomid midges (Diptera) on bronchial asthmatic patients in a hyper-eutrophic lake area in Japan. Environmental Health and Preventive Medicine, 3: 37-43.

平林公男・中本信忠（2000)：富栄養湖周辺域におけるユスリカ成虫の休息場所としての沿岸植生の役割．日本水環境学会誌，23: 572-578.

Hirabayashi, K., and N. Nakamoto (2001): Field study on acoustic response of chironomid midges (Diptera: Chironomidae) around a hyper-eutrophic lake in Japan. Annals of the Entomological Society of America, 94: 123-128.

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. Japanese Journal of Sanitary Zoology, 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. Japanese Journal of Sanitary Zoology, 44: 299-306.

平林公男・中里亮治・沖野外輝夫（1998）：強光を利用したユスリカ成虫防除に関する野外実験．日本環境動物昆虫学会誌，9: 8-15.

Hirabayashi, K. and K. Ogawa (1999): Effects of artificial wingbeat sounds on capture of chironomid midges (Diptera: Chironomidae) in trap equipped with black light lamp, Entomologia Experimentalis et Applicata, 92: 233-238.

Hirabayashi, K. and K. Ogawa (2000): Field study on capturing midges, *Propsilocerus akamusi* (Diptera: Chironomidae), by artificial wingbeat sounds in a hyper-eutrophic lake. Medical Entomology and Zoology, 51: 235-242.

Hirabayashi, K. and T. Okino (1998): Massive flight of chironomid midges (Diptera) as nuisance insects around a hyper-eutrophic lake in Japan: A questionnaire survey to tourists. Journal of the Kansas Entomological Society, 71: 439-446.

平林公男・沖野外輝夫（1999）：富栄養湖におけるユスリカ成虫大発生のメカニズムとその防除対策．水環境学会誌，22: 359-364.

平出保・沖野外輝夫（1983）：諏訪湖湖内の有機物収支に及ぼすユスリカ類の影響．諏訪湖集水域生態系研究，9: 31-44.

五十嵐隆夫・佐伯陽子・岡田敏夫・熊谷朗・佐々学（1985）：ユスリカ喘息の2症例．治療学，14: 121-126.

石井明（1989）：寄生虫・昆虫などによるアレルギー．健康と環境，4: 45-47.

Ito, K., T. Miyamoto, T. Shibuya, K. Kamei, K. Mano, T. Taniai and M. Sasa (1986): Skin test and radioallergosorbent test with extracts of larvae and adult midges of *Tokunagayusurika akamusi* T. (Daptera: Chironomidae) in asthmatic patients of the metropolitan area of Tokyo. Annals of Allergy, 57: 199-204.

Iwakuma, T. (1987): Density, Biomass, and Production of Chironomidae (Diptera) in Lake Kasumigaura during 1982-1986. Japanese Journal of Limnology, 48: S59-S75.

岩熊敏夫（1990）水源水域における底生動物の水質に及ぼす影響．公害と対策，26: 10-16.

Iwakuma, T., Y. Sugaya and M. Yasuno (1989): Depend of the autumn emergence of *Tokunagayusurika akamusi* (Diptera: Chironomidae) on water temperature. Japanese Journal of Limnology, 50: 281-288.

Iwakuma, T and M. Yasuno (1981): Chironomid population in highly eutrophic Lake Kasumigaura. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie, 21:664-674.

Kawai, K., E. Inoue and H. Imabayashi (1999): Difference in occurrence in relation to the eutrophication level among chironomid species of the genus, Tanytarsus, in littorals of lakes. Medical Entomology and Zoology, 50: 65-70.

Kino, T., J. Chihara, K. Fukuda, Y. Sasaki, Y. Shogaki and S. Oshima (1987): Allergy to insects in Japan. Ⅲ High frequency of IgE antibody responses to insects (moth, butterfly, Caddis fly, and chironomid) in Patients with bronchial asthma and immunochemical quantitation of the insect-related airborne particles smaller than 10 μ m in diameter. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 79: 857-866.

貴谷光・荒木洋行・周藤眞康・谷崎勝朗・多田慎也・高椅清・木村郁郎・松岡裕之・石井明（1989）：気管支喘息におけるユスリカ抗原の免疫・アレルギー学的検討．アレルギー，38: 1-8.

近雅博（1986）：ユスリカ類の配偶行動．インセクタリゥム，23: 18-25.

Kon, M. (1987): The mating system of chironomid midges: a review. Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University (Series of Biology), 12: 129-134.

LeSage, L. and A. D. Harrison (1980): The biology of *Cricotopus* (Chironomidae: Orthocladiinae) in an algal enriched stream: 1. Normal biology. Archiv für Hydrobiologie Supplementband, 57: 375-418.

丸地信弘・中間秀典・藤田雅美・那須裕（1991）：ユスリカ対策の環境サーベイランス・システム開発研究－環境保全を目指した問題解決の「理論」と「方法論」の提案－．環境科学年報（信州大学），13: 47-59.

宮地伝三郎（1928）：湖底生物研究予報(四)，仁科三湖，野尻湖，諏訪湖．水産研究誌．23: 277-290.

村上巧啓・筆原昌子・足立陽子・松野正知・足立雄一・岡田敏夫・五十嵐隆夫・住吉昭（1990）：DPC-Specific IgE Kit (AlaSTAT) によるオオユスリカ特異 IgE 抗体の測定．アレルギー，39: 267.

村上行啓・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(1987)：ユスリカ喘息に関する研究．第Ⅱ報 ユスリカ種別間の交叉抗原性について．アレルギー，36: 81-85.

Nakazato, R. and K. Hirabayashi (1998): Effect of larvae density on temporal variation in life cycle patterns of *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera: Chironomidae) in the profundal zone of eutrophic Lake Suwa during 1982-1995. Japanese Journal of Limnology, 59: 13-26.

Nakazato, R., K. Hirabayashi and T. Okino (1998): Abundance and seasonal trend of dominant chironomid adults and horizontal distribution of the larvae in eutrophic Lake Suwa, Japan. Japanese

Journal of Limnology, 59: 443-455.
中里亮治・平林公男・沖野外輝夫（2001）：諏訪湖におけるユスリカ研究（1)幼虫に関する知見を中心に．陸水学雑誌，62: 127-137.
沖野外輝夫（1981）：諏訪湖の汚染と生物．遺伝，35: 51-56.
沖野外輝夫（1990）：諏訪湖．八坂書房，東京.
沖野外輝夫・中里亮治・平林公男（1991）：諏訪湖のユスリカとその防除対策．水，33: 32-40.
Otsuka, K., M. Kon and T. Hidaka (1986): Mating System of Tokunagayusurika akamusi. 2. Experimental analysis of male mating behaviour at the resting place. Journal of Ethology, 4: 147-152.
佐伯陽子・五十嵐隆夫・村上行啓・足立壌一・松野正知・岡田敏夫・鏡森定信・熊谷朗・佐々学（1987）：ユスリカ喘息の臨床的検討－ユスリカ RAST 陽性者，陰性者の居住地分布，発作の季節変動について－．アレルギー，36: 1054-1060.
Saether, O.A. (1979): Chironomid communities as water quality indicators. Holarctic Ecology. 2: 65-74.
佐々学（1984）：吸入抗原としてのダニとユスリカの諸問題．アレルギア，13: 1-7.
佐々学（1988）：ユスリカ類研究の現状と将来への期待．遺伝，42: 2-3.
Sasa, M. and M. Kikuchi (1995): Chironomidae (Diptera) of Japan. University of Tokyo Press, Tokyo.
田原雄一郎（1986）：ユスリカの化学的防除に関する諸問題．生活と環境，31: 55-61.
Tabaru, Y., K. Moriya and A. Ali (1987): Nuisance midges (Diptera: Chironomidae) and their control in Japan. Journal of American Mosquito Control Association, 3: 45-49.
高木治美・岡本陸奥夫（1993）：琵琶湖南湖におけるユスリカ成虫発生の経年変化．水処理生物学会誌，29: 31-39.
竹内勝巳・沖野外輝夫（1982）：諏訪湖におけるワカサギ（*Hypomesus transpacificus nipponensis*）の成長と食性．環境科学の諸断面，三井嘉都夫（編著）：17-22．土木工学社，東京.
Ueno, R., T. Iwakuma and S. Nohara (1993): Chironomid fauna in the emergent plant zone of Lake Kasumigaura, Japan. Japanese Journal of Limnology, 34: 293-303.
山岸宏・福原晴夫（1969）：諏訪湖のユスリカについてⅠ．JIBP-PF 諏訪湖生物群集生産力研究，1: 45-56.
山岸宏・福原晴夫（1970）：諏訪湖のユスリカについてⅡ．JIBP-PF 諏訪湖生物群集生産力研究，2: 65-78.
山岸宏・福原晴夫（1971）：諏訪湖のユスリカについてⅢ．JIBP-PF 諏訪湖生物群集生産力研究，3: 77-90.
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.

平林公男：〒386-8567 上田市常田3-15-1，信州大学繊維学部応用生物科学科
中里亮治：〒311-2402 潮来市大生1375，茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター
沖野外輝夫：〒390-8621 松本市旭3-1-1，信州大学理学部物質循環学科

（受付：2001年1月17日；受理：2001年4月30日）