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除対策への提言

平 林 公 男

信州大学医学部衛生学教室

Studies on the Massive Flights of Chironomid Midges (Diptera : Chironomidae) as Nuisance Insects and Plans for their Control in the Lake Suwa Area, Central Japan
3. Some experimental trials for control of nuisance midges and proposed counterplans

Kimio Hirabayashi

Department of Hygiene, Shinshu University School of Medicine, Matsumoto

In the present paper the author tried to forecast the massive emergence of adult *Tokunagayusurika akamusi* midges from Lake Suwa. Furthermore, several control measures for chironomids were examined. The results obtained are as follows:

1. The forecast for the emergence of adult midges from the lake. A survey of the chironomid larva population was carried out at three stations in the lake. *T. akamusi* emerged at about the tenth day after the decrease of the larval number and at this time the temperature of the bottom water was within the range of 11-18°C. The flights of adult midges were closely related to environmental factors such as air temperature, the strength and the direction of the wind and the light conditions.

2. The attraction of adult midges to lamps of various colors and wattages was studied. A comparative study on various colors of lights of the same intensity (100 W) showed that white was more attractive to chironomids than yellow, and that both colors were preferred to red, green, or blue. The experiment on light intensity showed that 100 W was more effective than 40 W and 20 W and that no differences in preference were observed between 100 W and 60 W white lamps. Therefore, the light intensity was thought to be more important than color for the control of adult midges.

3. *Cyprinus* is the natural enemy of the larva and pupae of *T. akamusi*. The total numbers of adult *T. akamusi* emerging from Enclosure A (in which there were 10 times as many *Cyprinus* as in the natural lake water), Enclosure B (no predator was present), and Station C (the natural lake) were 458, 1108, and 684 ind./m², respectively. It was estimated that 38% of larvae or pupae were eaten by the fish in the lake, and by putting *Cyprinus* into the water, the percentage increased to 58%. It seems that *Cyprinus* has a significant effect in reducing the number of midges in field trials.

4. The control of *T. akamusi* may also be achieved by employing general prevention, by physical and biological means, depending upon the nature of the breeding source, and the cooperation of inhabitants and persons concerned is necessary to carry out the control of adult midges.

5. The proposals for the control of the nuisance caused by chironomid midges are as follows:

(1) To make the inhabitants aware of the ecological role of chironomids in the lake, and the importance of protection of the natural ecosystem. Monitoring of the lake should be better organized and should be carried out regularly.

(2) Town planning which is in harmony with the environment should be proposed.

(3) The restoration and conservation of the ecosystem in the littoral zone (increases of aquatic plants, small fish, aquatic insects, etc.).

(4) Lake Suwa and rivers flowing into it should be cleaned up to stop the progress of eutrophication of the lake.

Key words: *Tokunagayusurika akamusi*, Nuisance midges, Counterplans, Prediction of flights, Phototaxis, Biological control

アカムシユスリカ, 迷惑昆虫, 対策案, 発生予測, 走光性, 生物的制御

はじめに

わが国の富栄養湖沼（霞ヶ浦，諏訪湖，琵琶湖南湖，児島湖，宍道湖，など）の湖底には，底生動物として大量のユスリカ類の幼虫が生息している¹⁻³⁾。これらの幼虫は年に何回か羽化し，多数の成虫が湖の周辺の人家や観光施設などをめがけて飛来し，様々な問題を引き起こしている⁴⁻⁶⁾。この様な現象は，新たな公害問題として取り上げられ，ユスリカ類は“迷惑昆虫 (Nuisance Insects)”と称されて，地域住民に嫌われている⁷⁾。また，近年では，ユスリカ類が気管支喘息のアレルゲンとなることも指摘され，医学的にも注目されている⁸⁻¹²⁾。

ユスリカ類の大量発生に対しては，その制御に関する多くの研究がなされており¹³⁻¹⁵⁾，Ali¹⁶⁾，Tabaru et al.¹⁷⁾による詳細かつ総合的な総説がある。従来の研究は物理的な制御をはじめとして，化学物質による方法，生物的な捕食関係による方法などが挙げられるが，中でも殺虫剤を用いた化学的防除が効果的であるとされており^{18,19)}，都市河川^{20,21)}，養魚池^{22,23)}，下水処理場^{24,25)}などユスリカ発生源の比較的限定された地域においては，有効性が認められている。しかし，この様な化学薬品を用いた防除は，対象範囲が広い自然湖沼などにおいては効果が期待できず，また，他の生物種への影響が懸念されたり，薬剤抵抗性の獲得など，様々な問題を抱えている^{16,17)}。また，生物的方法としての魚類による捕食に関しては，いくつかの魚種で研究されており，限定された水域での有効性は認められているが，これについても他生物への影響などの問題が指摘されている¹⁶⁾。したがって，防除範囲の広い止水域におけるユスリカ対策に関する研究は，近年までほとんど例がなく²⁶⁾，その対策も目途が立っていないのが現状である。

本研究では，すでに第1報²⁷⁾で，ユスリカ大発生に関して，湖内の幼虫分布，湖からの成虫発生量，飛翔時間帯，飛翔範囲，等を明らかにし，また，第2報²⁸⁾では，湖周辺地域に住む住民のユスリカ問題に対する意識構造，ならびに具体的な被害の実態をアンケート調査によって明らかにした。

本報告は，これらの前報の結果を基に自然湖沼におけるユスリカ対策を提案しようとするものであり，現場での制御に関する若干の実験を行い防除対策を検討した。具体的には成虫の被害を未然に防ぎ，より効果的に防除を行うための発生予測の試み，飛来成虫については走光性に関する誘引実験を行い光による誘導を検討し，幼虫については湖内での生物的制御の効果を調査し，捕食者である魚類（コイ）の役割を検討した。

材料・方法

調査地域である諏訪湖，およびその周辺地域の概況については，前報(第1報)²⁷⁾において述べた。調査および実験の対象としてはアカムシユスリカ (*Tokunagayusurika akamusi*) を主としたが，これについても前報に詳述した。調査および実験の期間は1989年9月26日から11月9日までの45日間である。

1. 湖からの成虫発生予測

(1) 底泥中のユスリカ4齢幼虫および蛹の個体数

成虫発生予測のため，底泥中のユスリカ4齢幼虫と蛹の個体数変動を調査した。諏訪湖湖心から東岸にかけての直線上に位置する水深6 m，4 m，2.5 mの3地点で底泥の採集を行った (Fig. 1)。Ekman-Birge 採泥器 (採集面積15×15 cm²，約10 cmの深さまで採泥できる) により，1地点につき3回の採泥を行い，ネット (NGG54：メッシュサイズ0.33 mm) で泥を除き，ネット内に残された試料を1回分ずつポリ袋に入れた。試料は実験室に持ち帰り，直ちに幼虫と蛹を種類ごとに選別し個体数を測定した。各地点の底泥表層水温は自記温度計 (離合社，RMT) により，調査期間中，20分間隔で測定した。

(2) 湖底からの成虫羽化量

測定場所は，前記幼虫の採集地点と同じであり，底泥表面に設置する湖底式エマージェンストラップ (福原：1970の改良型²⁷⁾) を用いた。採集日ごとに，羽化成虫，蛹，脱皮殻を回収し，実験室に持ち帰り個体数を調べ，成虫と蛹の合計を羽化量とした。

(3) 湖岸における成虫飛来量

ライトトラップによる捕獲成虫数と，成虫の壁面にお

Fig. 1 The sites of emergence trap experiments (black circles) and predation experiments (A, B, C) using floating nets in Lake Suwa.

ける休息個体数の測定を行った。調査は東岸に位置する信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所(以後、臨湖実験所)にて、毎日行った。

a) ライトトラップによる成虫飛来量

6Wのブラックライトの付いたライトトラップ(SEIDENKO 電気捕虫機 CL-206N)を、臨湖実験所の敷地内(地上1.5 m)に設置し、夕方16:00から翌朝の7:00までの15時間点灯した後回収した。

b) 壁面に休息している成虫個体数の変動

臨湖実験所の建物の壁面(白色)に休息(resting)しているユスリカ成虫の個体数を調査期間中、毎朝6:00(日の出前)に測定した。測定したコドラートの大きさは1.62 m² (1.8 m×0.9 m)、材質はコンクリートで、降雨は屋根により遮られている。なお、気象条件として、1日の積算降雨量、19:00の気温(°C)を毎日、臨湖実験所にて観測した。

2. 野外における人工光源による成虫誘引実験

実験は臨湖実験所の屋上(地上約18 m)において、9月29日から10月7日まで行った。ライトトラップ5機を用い、色およびワット数(照度)の異なる電球の光(可視光領域に限定)に対する走性を調べた。トラップの配置をFig. 2に示した。中心(St. 1)に常に基準となる100 Wの白色光電球(以下W-100と呼ぶ)の付いたトラップを設置し、それを中心にして約11 m離れた4ヶ所(St. 2~5)にトラップを設置した。St. 2-3, 4-5の距離は約9 m, St. 2-5, 3-4の距離は約17.5 mである。また、St. 2~5側は湖岸に、St. 4~5側は流入河川の衣之渡川に面している。トラップの吸入口から床までは50 cm、電球の

Fig. 2 Arrangement of light traps on the rooftop (18 m high) of Suwa Hydrobiological Station. At position (1) trap with white 100 W bulb was always set as a standard, and at positions (2) to (5) experimental traps with four different kinds of bulbs were set and rotated in turn.

中心から床までは60 cmの距離がある。吸入口から電球までは水平方向に約30 cm離れている。各々の設置位置の不平等をなくすために、基準となるSt. 1を中心として毎日、各トラップをSt. 2からSt. 5へと順次ずらし、4日間で1シリーズの実験終了とした。なお周辺部には実験に影響を及ぼすような強力な光源はなかった。

光の色については100Wの白色(W-100)、黄色(Y-100)、青色(B-100)、緑色(G-100)、赤色(R-100)電球を用いて実験を行った。各電球の波長は、白色の100 V, 40Wの電球との比エネルギーとしてFig. 3に示した。

照度については、ワット数の異なる白色の電球、100W

Fig. 3 Distribution of relative spectroscopic energy of the bulbs which were used for light induced experiments. The energy of the white 40 W bulb (100 V) was calculated as 100%. Cited from Toshiba Lighting & Technology Co. “Technical Data”.

(W-100), 60W (W-60), 40W (W-40), 20W (W-20)を用いた。使用した各電球の照度は、照度計(東芝5号)を用いて、電球下(60 cm)で測定した。その結果、W-100は474, W-60は251, W-40は171, W-20は52.5Luxであった。

実験時間は日没時から翌日の日の出までとし、回収は毎朝6:00に行った。試料は殺虫剤で処理した後、すぐに実験室に持ち帰り、白色バット上にあげ、肉眼で種類ごとに雌雄の別に分類し、個体数と湿重を測定した。なお、個体数が多い場合には、試料の総重量を測定し、その中から三回の標本抽出を行い総個体数を推定した。

3. 魚によるユスリカ幼虫捕食実験

実験は1989年10月7日から10月30日まで行った。湖内の水深2.5 mの地点(Fig. 1)に面積 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 、深さ2.5 mの「網いけす」を2基(A, B)設置した。「網いけす」は四方を網(網目約0.9 cm)で囲ったもので、底張りは無く、魚は底泥に接触できる状態になっている。実験区Aには、平均体重407.3 gのコイ(*Cyprinus sp.*)20尾を入れた。この密度は、諏訪湖における推定密度の約10倍

に相当する。実験区Bには、魚を入れず対照区とした。「いけす」外に比較のための実験区Cを設けた。各実験区の水面には、ユスリカ羽化成虫を捕獲するために、面積 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 、高さ1 mのかや状の羽化トラップを、下端が水面下約50 cmまで水没するように設置し、1~2日ごとに成虫の羽化数を測定した。なお、予備調査により、「いけす」設置地点付近の幼虫数がほぼ一定であることを確認した。

結 果

1. 降雨量および底泥表層水温の変化

調査期間中における一日毎の積算降雨量と、湖心(水深6 m)、2.5 m地点の自記温度計による底泥表層水温の変化をFig. 4に示した。湖心部では、9月29日には 18°C を越えていたが、それ以降は徐々に低下し、10月9日には 13°C まで急激に下がった。この低下は、降雨と一致している。12日から17日にかけて明らかな上昇を示したが、18日から19日にかけて再び降雨の結果とも思われる急激な低下がみられた。その後は、不規則な高低を示したが10月31日には 11°C まで低下した。2.5 m地点では、湖心に比べ水温の変化が激しいが、基本的な変動のパターンは同じであった。10月9日、18日、24日に見られる急激な水温の低下は、いずれも降雨と合致し、また、10月30日には 10°C まで低下した。降雨による底層水温の低下は、湖心と2.5 m地点で比較してみると、水深の浅い2.5 m地点の方が顕著に現れていた。

2. 4 齢幼虫、蛹、成虫(羽化および飛来成虫)の個体数変動と気温

Fig. 5に4 齢幼虫、蛹、ならびに成虫(羽化および飛来成虫)の個体数変動と19:00の気温の変化を示した。なお、羽化成虫、蛹、4 齢幼虫の個体数は、湖内3地点の平均値で示した。

19:00の気温は、10月6日までは 15°C 前後を変動していたが、7~11日の期間は 10°C 前後まで下がった。12~16日までは再び 15°C 前後を変動したが17日には 6.6°C と、調査期間中、最低気温を示した。その後、 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ の間を変動し、下降の傾向を示した。

4 齢幼虫の個体数は、10月上旬まで、 350 個体/m^2 前後を変動し、10月6日には 395 個体/m^2 であった。それ以後個体数は急激に減少し、10月24日には 44 個体/m^2 と最小値を示した。蛹数は4 齢幼虫の減少に対応して増加し、10月12日から18日にかけて99個体が捕獲された。蛹数は4 齢幼虫のピークから6日後の10月12日にピークを示し、さらに、羽化成虫数はそれから4日後の10月16日に64個

Fig. 4 Changes of daily precipitation (mm/day) and the water temperature at the bottom of the two experimental sites: the central point of the lake, 6.0 m deep, and another point 2.5 m in depth from 26 September to 3 November, 1989.

Fig. 5 Changes in the numbers of pupae and fourth instar larvae in the sediment, adults emerging from the sediment, adults resting on the wall, and adults flying (by light trap), and air temperature at 19:00 from 26 September to 9 November, 1989.

体/m²のピークを示した。ここで、10月6日の4齢幼虫の個体数(395)を100%とすると、その内の25.1%が泥上で蛹となり、蛹個体数の64.6%が成虫となることが推計された。以上のことより、4齢幼虫から蛹を経て、羽化する時間的過程と湖底からの発生量が明らかとなった。

飛来成虫数は、ライトトラップによる捕獲個体数と、湖岸にある建物の壁上に resting している個体数とを示した。このいずれもが10月17日にピークを示し、先に述べた4齢幼虫、蛹、羽化成虫の個体数のピークに対応するものと考えられる。湖からの羽化が観察されなくなった11月5日以後、6日間は飛来成虫が捕獲または観察された。また、羽化の終了は、底泥表層水温が11°Cになった時期と一致していた。

3. 光によるユスリカ成虫の誘引実験

異なった色、あるいは異なったワット数(照度)の電球に誘引された成虫個体数(全捕獲数に対する各色あるいは各ワット数の電球に集まった成虫捕獲数の割合)を Fig. 6, および Fig. 7 に示した。Fig. 7 には照度もあわせて示した。

まず、Fig. 6 に示した色との関係についてみると、W-100(照度474 Lux)で、最も多くの成虫が捕獲された。これに次いでY-100が多くの成虫を誘引しているが、この照度はW-100に次いで高く、261 Lux であった。これらの他は、いずれも成虫捕獲数が少ない傾向を示した。

Fig. 7 は白色光を用いて行った照度との関係についての実験結果である。W-100 は、W-40、W-20 に比べてより効果的にユスリカ成虫を誘引していることがわかる。ただし、W-100 と W-60 とは、成虫捕獲数に有意な差が認められなかった。

4. 魚による捕食の効果

コイを用いた実験の結果を Fig. 8 に示した。実験区Aに入れたコイの密度は、諏訪湖において推定されているコイの密度の10倍に相当する。いずれの実験区においても、実験期間中の羽化個体数の変動パターンは類似していた。

捕食者の少ない実験区B(対照区)における成虫羽化量は、他の実験区に比べ明らかに多く、捕食圧の差を示している。実験区Bでは、10月19日に最大羽化数151個体/m²を示した。これに対し、実験区Aでは、実験期間を通じて、20個体/m²前後の羽化が見られた。実験区Cでは、実験区AとBの中間の値を常に示していた。

実験期間中の羽化成虫の積算個体数は、捕食者であるコイの存在する実験区Aでは458個体/m²、コイを除いた実験区Bでは1108個体/m²、いけすの外側である実験区

Cでは684個体/m²となり、実験区AとB、実験区BとCとの間では、有意差($p < 0.01$)が認められた。以上のことから、コイにより羽化途中のユスリカの約58%が捕食されたと推定された。

考 察

1. ユスリカ成虫大量発生予知の可能性

Fig. 6 Attraction of adult *Tokunagayusurika akamusi* to five different colors with the same wattage (100 V) tested in the field. The bars represent the percentages of adults attracted to light.; W, Y, B, G, and R indicate white, yellow, blue, green, and red incandescent lamps, respectively.

Fig. 7 Attraction of adult *Tokunagayusurika akamusi* to four different lights of the same colors but different wattages tested in the field. The bars represent the percentages of adults attracted to white light while the line graphs indicate the light intensities.; 100-W, 60-W, 40-W, and 20-W indicate white incandescent lamps 100 watts, 60 watts, 40 watts, and 20 watts, respectively.

Fig. 8 Predation experiment by carp in enclosed 0.5 mm mesh nets. A: Enclosure with 20 carps of about 400 g weight each. B: Enclosure in which no carp were included. C: Not enclosed.

ユスリカ被害を未然に防ぐためには、成虫の大量飛来を予知する事が不可欠である。本研究により、成虫の大量発生の時期、ならびに発生量の予知は、生物学的な発生段階を継続的に追跡調査することによって可能であることが明らかとなった。

すなわち、生物学的発生段階の各ステージの時間的關係は、4 齢幼虫数が減少し始め、蛹の数がピークに達するまでに約6日間を要し、その4日後に底泥からの羽化成虫のピークがあることが解明された (Fig. 5)。換言すると、4 齢幼虫の個体数のピークから約10日後に湖岸地域で成虫の大量飛来が予測されることになる。

飛来との関係については、羽化量が多ければ飛来量も多くなることは明らかである。しかし、羽化が始まった後に、飛来成虫がほとんど確認されなくなった10月18、19日は、何れも近日に降雨があり、水温も急激に低下している期間であった。また、飛翔時間帯の気温も17日には調査期間中、最低を示した (Fig. 5)。山岸ら²⁹⁾は *C. plumosus* 成虫について、飛翔時間帯の気温が10°Cを割ると、成虫飛翔量が少なくなることを報告している。これらの日の飛来成虫の少ない要因については、降雨、降雨による底層水温の低下、あるいは飛翔時間帯の気温の低下、等が考えられる。

T. akamusi 幼虫は、夏期の水温の高い時期に底泥の深部に潜って夏眠する事が知られている²⁾。そして、水温が下がる秋期に底泥表面に出てきて羽化する。つまり、比較的低温に適応した種であることが報告されている³⁰⁾。よって、他のユスリカ類よりも低い水温で羽化が始まる。底泥からの羽化は、底層水温に依存して起こり、今回の調査では18°Cから羽化が始まり11°Cで終了した (Fig. 4, Fig. 5)。これは岩熊ら³¹⁾が霞ヶ浦、および諏訪湖の *T. akamusi* の羽化と水温についての報告結果に良く一致している。10月17日ならびに27日の成虫大量飛来 (大量

羽化) と水温との関係を見ると、12~16日、あるいは24~26日にかけて2.5 m 地点では水温の急激な上昇が観察された (Fig. 4)。この急激な水温上昇が、発生段階における有効積算温度と関係し、大量発生の引き金になったと推察される。

どこに飛来するかについては、第1報²⁷⁾に示したように、風や光との関係が無視できない。風向、風速ならびに、光の配置により飛来量が決定されと考えられる。

以上を総合すると、成虫羽化は底層水温に依存しており、飛来成虫数は飛翔時間帯の気温、風、光の配置などの湖水外条件に大きく影響されと考えられる。

ユスリカによる“Nuisance”の問題は、湖からの発生量 (=羽化量) をコントロールするか、または、飛来状況コントロールするかの何れかで解決は可能であると考えられる。以下、この2点について考察をする。

2. 羽化量のコントロール

従来の研究では、有機リン系の殺虫剤 (テメフォス²¹⁾ ほか)、ならびに幼若ホルモン系の IGR 剤^{32,33)} (デミリンほか) などの化学物質の散布による方法が有効であるとされてきた。都市河川や養鰻池などの比較的小規模な水域についての実施例が報告されている^{18~23)}。しかし、こうした化学的防除を自然湖沼のような限定されない水域に適用することは、湖沼生態系の攪乱を引き起こすことや、薬剤の残留性の問題、さらには、経済的な問題など様々な問題点があり、安易に実施できない^{16,17)}。近年、微生物 (*Bacillus thuringiensis*)³⁴⁾ の産する殺虫性の結晶タンパクを用いてユスリカ駆除をする試みが進められているが、研究途上にある^{35~37)}。

自然湖沼の様な水域において、最も可能な方法として、生物的防除が考えられる。生物防除に関する研究では、ウイルス、糸状菌、線虫などの生物がユスリカの天敵として報告されているが、防除の効率やその効果などから

魚類を用いた研究報告例が多い^{16,17)}。

岩熊ら³⁸⁻⁴⁰⁾は、諏訪湖において隔離水界を用い、実験的にカワチブナ (*Carassius cuvieri*) やコレゴヌス (*Coregonus lavaretus*) 等の魚類を投入し、ユスリカ幼虫の変動とその羽化量について検討している。その結果、魚種によってその捕食量、捕食時期が異なる事を報告している。

本研究では諏訪湖での在来種でもあるコイ (*Cyprinus*) を用いて、その捕食効果についての検討を行った。コイによる捕食圧を除いた実験区Bに対し、高密度にコイを入れた実験区Aでは、羽化途中のユスリカ幼虫あるいは蛹の約58%が捕食されることが明らかとなった。さらに、網いけすの外側、すなわち、天然魚の存在する湖内においては約38%が捕食されており、生物的防除が現状でも有効に機能していることが明らかとなった (Fig. 8)。しかし、平出・沖野⁴¹⁾が1983年に諏訪湖内で推定した魚類によるユスリカの捕食量は50.8%で、今回の天然魚による捕食の割合はそれを大幅に下回った。この理由として、ユスリカに対する捕食者の位置にあるワカサギ (*Hypomesus olidus*)、コイ (*Cyprinus*)、フナ (*Carassius*) などの魚類の生息数が、近年、急激に低下していることが推測される。これは、諏訪湖の漁獲量が、1975年までは約450 t 程度あったものが、1976年から82年には約300 t に減少し、近年では170 t 前後にまで減少していることから理解できる。とくに、ワカサギの漁獲高の減少が大きく影響を及ぼしている (長野県水産試験場資料)。この原因として、護岸工事による沿岸帯 (水草帯) 破壊による魚類の生息場所や産卵場所の減少などが影響を与えていると推察される。以上のことからユスリカ成虫の大発生を制御する要因の一つとして天敵魚の役割を考慮する必要がある。すなわち、湖における魚類の生息場所や産卵場所の回復が急務であることを意味する。

3. 成虫に対する防除法の検討

光に誘引される昆虫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、誘引反応行動には様々な場合がある。一般に夜行性の昆虫の多くは、300-390 nm の近紫外光領域に反応特性を持つものが多い⁴²⁾。しかし、蚊の *Aedes aegypti* は赤外領域近くにその誘引波長を持っていることが報告されている⁴³⁾。この様に昆虫の種類・グループ間で異なった反応特性を持つ事が知られている⁴⁴⁻⁴⁶⁾。

近年問題となっているユスリカ類について、Belton et al.⁴⁷⁾ は、成虫が光に誘引されることを報告している。Ali et al.^{48,49)} は、湖沼から発生した成虫 (*Glyptotendipes*

paripes, *Goeldichironomus holoprasinus*, *Chironomus crassicaudatus*, Tanypodinae, etc.) を光によってコントロールするための室内実験、ならびに野外実験を検討し、ユスリカ成虫を集合させる重要な要因として、光の量 (明るさ、照度)、光の質 (色彩、波長)、発光源の種類、などを挙げている。この中で、最も重要な要因として光の量を指摘しているが、ユスリカ類の種類によってその誘引性に大きな違いのあることを同時に示している。

羽化したユスリカ成虫は、第1報²⁷⁾ で述べたように、光に誘引されて人家や観光施設に飛来し、“Nuisance”な昆虫となる。本報告ではさらに、実験的に誘引の状況が変化するかについて検討を行ったが、*T. akamusi* の場合には、可視光領域においては光の色にあまり関係がなく、光の強さ (照度) によってより効果的に誘引されることが明らかとなった (Fig. 6, Fig. 7)。このことは、第1報²⁷⁾ の飛来範囲の検討結果からも明らかになっており、強光を発する施設の存在が成虫飛来の範囲を広げていた。すなわち、湖周辺地域の無統制な光の配置がユスリカの飛翔行動を乱し、飛来密度を不均一化させ“迷惑昆虫”を顕在化していると考えられる。これらの結果は、Ali et al.^{48,49)} の実験結果とも良く一致している。以上のことを総合すると、適切な光の量、質の配置によりユスリカ成虫を誘導することは可能であると考えられる。

4. 湖沼におけるユスリカ対策への提言

(1) 住民の生活上の対策

地域住民のユスリカに対する被害感第2報²⁸⁾ で述べた様に、成虫の大量飛来に伴う「洗濯物や壁が汚れる」「食べ物に入る」などの生活に密着した“Nuisance”を訴えている。住民の生活上における自衛策としては、成虫飛来を減少させるために、「飛翔時間帯における電灯の照度を落とす」「網戸を付ける」「厚手のカーテンを付ける」などが挙げられる。この様な個人レベルでの対応から発展し、諏訪湖湖水、底泥の浄化がユスリカ発生を抑える根本的な方策であることを理解し、日頃から家庭雑排水の量を減らすように心掛けたり、積極的な湖の管理、保全のための地域活動への参加が期待される。

(2) 地域住民に対する啓蒙活動

ユスリカ問題の起こっている水域の周辺においては、とにかくユスリカ類の迷惑側面のみ注目が集まってしまう。しかし、湖沼生態系におけるユスリカ類の役割は非常に重要であり、湖底に堆積した有機物の分解や、湖外への持ち出しによる湖の浄化機能は大きい⁵⁰⁾。こうしたユスリカ類の益虫としての側面と迷惑昆虫としての両側面を理解した上で、生態系のバランスを取りながら防除

を遂行していかななくてはならない。今後、益虫としての側面を地域住民に対してアピールしていくことも大切であり、また、こうした研究成果を地域住民の意識に移転し、地域保全に導入していく啓蒙活動⁵¹⁾が今後の環境衛生の分野でも重要となってくると思われる。

(3) 発生状況の予知と予報

発生状況の予知を行うにあたり、関係諸機関、研究者による継続的な調査を組織的に行うことが大切である。ユスリカ幼虫数から発生量を、生物的発生段階と底層水温から発生時期を予知し、協議し判断して、地域住民に対して逐次情報を伝達し、対応を決めていくことが重要である。

(4) 町づくりと湖沼生態系への配慮

諏訪湖から発生するユスリカの問題を解決するためには、湖のみならず、その周辺地域も含めた総合的な対策を考えて行かなくてはならない。周辺地域においては、ユスリカ成虫の飛来を適当な方向へ誘導するように、光の性質、方向、強さなどに配慮し、街路樹による遮光やその配置なども含めた環境整備が必要である。また、湖内においては、天敵魚の計画的養殖による生物的コントロール、幼虫の餌となる有機物総量の削減、魚類等の捕食者（小魚、水生昆虫、小鳥など）の生活（産卵、採餌）場所の確保、水草帯復活に代表される水中—陸上間のバッファ空間としての沿岸生態系の回復、整備、などが重要である。この様に、ユスリカ対策を遂行するにあたり、地域の町づくりと湖沼生態系への配慮が十分に必要であると考えている。今、まさに自然環境と調和した人間活動の在り方を模索して行かなくてはならない時期にきているといえよう。

結 論

自然湖沼におけるユスリカの大量発生についての対策を検討するために、諏訪湖とその周辺地域をモデルとして、湖からの成虫羽化量と周辺地域への成虫飛来の予知の試み、成虫および幼虫の制御に関する実験的検討を試みた。以下に、得られた結果を列挙する。

1. 湖内における幼虫・蛹の個体数、および羽化量の変動から、成虫発生の予知が可能であることが明らかとなった。すなわち、幼虫の減少、蛹の出現が始まってから、10日前後に、湖からの成虫羽化はピークとなる。主な羽化要因は底層水温であり、飛来には、気温、風、光の配置などの要因が関与する。

2. ユスリカ成虫の制御実験として、光に対する誘引実験を行った。可視光領域における色については、白色

光がより効果的に成虫を誘引した。また、同一白色光では照度の高い電球ほどより効果的に成虫を誘引した。すなわち、可視光領域においては光質よりも、光量が成虫を集める重要な要因となっていることが示唆され、強光による成虫の誘引が可能であることが明らかとなった。

3. 幼虫、ないしは蛹の制御実験として、「網いけす」を用いた魚類の捕食実験を行った。高密度にコイを投入した実験区Aでは、いけす外(実験区C)、および魚を除いた実験区Bに対し、有意にユスリカの発生量は減少した。実験期間中の各実験区における成虫の発生量から、コイの高密度投入によっては、底泥から羽化するユスリカの約58%が除去され、また、現在の諏訪湖の魚類密度でも38%が除去されることが推定された。以上のことからコイをはじめとする魚類による幼虫除去は有効な対策の一つと考えられる。

4. 本研究で明らかとなったことを基に、諏訪湖地域をモデルとして、ユスリカ大量発生に対する対策を提言する。

(1) ユスリカ羽化の事前予知と情報の徹底：ユスリカ生活環、および成長要因の解明をさらに進める。

(2) 光の配置の再検討：成虫の誘引・捕獲のための強光の配置、および住民の生活圏への飛来を防止するための光の配置を考慮した町づくりを検討する。

(3) 沿岸生態系の回復：近年減少傾向が認められるコイ、フナなどの生活・繁殖場所としての沿岸生態系を回復させ、捕食者とのバランスをとる。このことは、成虫の捕食者ともなる昆虫類、鳥類の生活圏の確保にもなり、さらに、人間とユスリカの生活圏の分離のためにも役立つ。

(4) 湖への栄養塩類負荷の減少：ユスリカへの餌の供給を減少させ、現存量を減少させる。これは、富栄養化抑制の努力と一致する。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、御指導いただいた信州大学医学部村山忍三教授に深く感謝します。また御指導御助言をいただいた信州大学理学部沖野外輝夫博士、林秀剛博士、信州大学医学部那須裕博士に厚く御礼申し上げます。気象データを心良く提供して下さった信州大学教養部環境科学研究所の星川和俊博士に感謝致します。調査を行うにあたり、塩野崎寛氏、中里亮治氏（信大諏訪臨湖実験所）、大前浩美氏、伝田郁夫氏（長野県水産試験場）、東芝ライテック（株）の品田氏、王瑞生氏（信大医学部）に協力していただいた。この場をお借りしてお礼

を申し上げます。

本研究は、平成2年度文部省科学研究費奨励研究・特 (Grant No. 02954147) の補助を受けて行われた。

本研究の一部は、第60回日本衛生学会総会(1990)、第61回日本衛生学会総会(1991)にて発表された。

文 献

- 1) Iwakuma, T. and Yasuno, M.: Chironomid population in highly eutrophic Lake Kasumigaura, Verh. Internat. Verein. Limnol., **21**, 664-674 (1981).
- 2) Yamagishi, H. and Fukuhara, H.: 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 (1971).
- 3) 三浦 正: ユスリカ主要種とその発生消長について (中海及び宍道湖の水生昆虫相に関する研究2), 島大農研報, **12**, 41-45 (1978).
- 4) 清水憲一: 神田川におけるユスリカについて, 生活と環境, **23**, 25-38 (1978).
- 5) 井上義郷: 不快昆虫としてのユスリカ, 環境衛生, **22**, 6-12 (1975).
- 6) 井上義郷: 水域環境の変化とユスリカ, 遺伝, **30**, 25-31 (1976).
- 7) 三原 実, 井上義郷: 我が国における不快害虫としてのユスリカに関する研究, 2. 東京神田川におけるセスジユスリカ成虫の発生消長, 衛生動物, **28**, 431-437 (1977).
- 8) 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: ユスリカ喘息に関する研究, アレルギー, **35**, 395-401 (1986).
- 9) Kawai, K. and Konishi, K.: Fundamental studies on Chironomid allergy-2. Analysis of larval allergens of some Japanese Chironomids (*Chironomidae*, *Diptera*)—, Allergy, **35**, 1088-1098 (1986).
- 10) Ito, K., Miyamoto, T., Shibuya, T., Kamei, K., Mano, K., Taniai, T. and Sasa, M.: Skin test and radioallergosorbent test with extracts of larval and adult midges of *Tokunagayusurika akamusi* Tokunaga (*Diptera*: *Chironomidae*) in asthmatic patients of the metropolitan area of Tokyo, Annals of Allergy, **57**, 199-204 (1986).
- 11) Matsuoka, H., Ishii, A., Kimura, Y. and Noono, S.: Developmental change of Chironomid allergen during metamorphosis, Allergy, **45**, 115-120 (1990).
- 12) Kimura, H., Matsuoka, H. and Ishii, A.: ELISA inhibition method in detection of mite and Chironomid antigens in environmental samples of dust, soil and air, Allergy, **45**, 167-173 (1990).
- 13) 井上義郷: ユスリカの駆除対策, 生活と環境, **22**, 74-79 (1977).
- 14) 池本孝哉, 宮崎道雄, 渋谷敏朗: 東京都内のユスリカ発生とその対策, 環境衛生, **32**, 20-25 (1986).
- 15) 林 晃史: 都市型害虫とその管理—蚊でないカの防除—, 環境衛生, **36**, 20-25 (1990).
- 16) Ali, A.: Nuisance Chironomids and their control: a review, Bull. Entomol. Soc. Am., **26**, 3-16 (1980).
- 17) Tabaru, Y., Moriya, K. and Ali, A.: Nuisance midges (*Diptera*: *Chironomidae*) and their control in Japan, J. Amer. Mosquito Control Association, **3**, 45-49 (1987).
- 18) 佐藤英毅, 安野正之: 数種ユスリカの殺虫剤感受性試験, 衛生動物, **30**, 361-366 (1979).
- 19) 田原雄一郎: 本邦における昆虫成長制御剤 (ジフルベンズロン) の衛生害虫駆除分野における評価, 生活と環境, **33**, 77-81 (1988).
- 20) 田原雄一郎: 都市河川の汚染とセスジユスリカ的大量発生並びにその薬剤防除の試み, 衛生動物, **26**, 247-251 (1975).
- 21) 田原雄一郎, 松永秀子, 佐藤淳夫: 都市河川におけるセスジユスリカの薬剤防除, 特に有効水域と流失幼虫の生死について, 衛生動物, **29**, 87-91 (1978).
- 22) 大倉 正, 田原雄一郎: 養鰻池から発生するユスリカの防除に関する研究, 水産増殖, **23**, 1-7 (1975).
- 23) Yasuno, M., Hasegawa, J., Iwakuma, T., Imamura, N. and Sugaya, Y.: Effects of temephos on chironomid and plankton populations in eel culture ponds, Jpn. J. Sanit. Zool., **33**, 207-212 (1982).
- 24) 圓谷哲男, 森 忠洋, 松本利通: 下水処理場におけるユスリカ (*Chironomus yoshimatsui*) の生態とその発生防止, 1. 実態調査及びユスリカのライフサ

- イクル, 用水と排水, **24**, 69-73 (1982a).
- 25) 圓谷哲男, 森谷清樹, 森 忠洋, 松本利通: 下水処理場におけるユスリカ (*Chironomus yoshimatsui*) の生態とその発生防止. 2. 薬剤によるユスリカ発生防止, 用水と排水, **24**, 20-26 (1982b).
- 26) Mulla, M.S. Norland, R.L. Westlake, W.E. Dell, B. and Amant, J.S.: Aquatic midge larvicides, their efficacy and residues in water, soil, and fish in a warm-water lake, *Environmental Ent.*, **2**, 58-65 (1973).
- 27) 平林公男: 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*) 成虫の大量飛来—, 日衛誌, **46**, 652-661 (1991).
- 28) 平林公男: 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の意識構造とその数量化の試み—, 日衛誌, **46**, 662-675 (1991).
- 29) 山岸 宏, 福原晴夫: 諏訪湖のユスリカについて, JIBP-PF 諏訪湖生物群集の生産力研究, 46-59 (1969).
- 30) Iwakuma, T. and Yasuno, M.: Fate of the univoltine chironomid, *Tokunagayusurika akamusi* (Diptera: Chironomidae), et emergence in Lake Kasumigaura, Japan, *Arch. Hydrobiol.*, **99**, 37-59 (1983).
- 31) Iwakuma, T., Sugaya, Y. and Yasuno, M.: Dependence of the autumn emergence of *Tokunagayusurika akamusi* (Diptera: Chironomidae) on water temperature, *Jpn. J. Limnol.*, **50**, 281-288 (1989).
- 32) 大滝哲也: 幼若ホルモン殺虫剤, 環境衛生, **22**, 6-11 (1976).
- 33) Ali, A. and Jeffery, L.: Experimental Insect Growth Regulators against some nuisance Chironomid midges of Central Florida, *J. Econ. Entomol.* **73**, 243-249 (1980).
- 34) Ohba, M. and Aizawa, K.: Insect toxicity of *Bacillus thuringiensis* isolated from soils of Japan, *J. Invertebr. Pathol.*, **47**, 12-20 (1986).
- 35) Krieg, A. and Laugenbruch, G.A.: Susceptibility of arthropod species to *Bacillus thuringiensis*, In “Microbial Control of Pests and Plant diseases 1975-1980” ed. by H.D. Burges, pp. 837-896, Academic Press, New York (1981).
- 36) Ali, A.: *Bacillus thuringiensis* serovar. israelensis (ABG-6108) against Chironomids and some nontarget aquatic invertebrates, *J. Invertebr. Pathol.*, **38**, 264-272 (1981).
- 37) Ali, A., Richard, D.B. and Jonas, P.S.: Susceptibility of some Florida Chironomids and Mosquitoes to various formulations of *Bacillus thuringiensis* serovar. israelensis, *J. Econ. Entomol.* **74**, 672-677 (1981).
- 38) 岩熊敏夫, 安田 香, 平林公男, 林 秀剛: カワチブナ投入によるメソコスム内の底生動物群集変動とユスリカ羽化量, 文部省科学研究費特定研究 “メソコスムによる水域生物相互作用系の実験的解析” 105-108 (1986).
- 39) 岩熊敏夫, 花里孝幸, 安田 香, 林 秀剛, 平林公男, 大前浩美: ペリアジ投入によるメソコスム内の底生動物群集変動及びユスリカ羽化期・羽化期以降におけるペリアジの食性変化, 文部省科学研究費特定研究 “メソコスムによる水域生物相互作用系の実験的解析”, 109-113 (1986).
- 40) 岩熊敏夫, 花里孝幸, 林 秀剛, 平林公男, 安田郁子, 安田 香, 山本熔子, 菅野徳彦, 渡辺泰徳: メソコスムへの冷水魚コレゴナス (*Coregonus lavaretus maraena*) 投入による水界生態系攪乱と生物相互作用, 文部省科学研究費特定研究 “メソコスムによる水域生物相互作用系の実験的解析”, 126-144 (1988).
- 41) 平出 保, 沖野外輝夫: 諏訪湖湖内の有機物収支に及ぼすユスリカの影響, 諏訪湖集水域生態系研究, **9**, 31-44 (1983).
- 42) 藤山静雄: 灯火による昆虫の誘引の問題点と対策, 道路と自然, **49**, 26-31 (1985).
- 43) Magnum, C.L. and Callahan, P.S.: Attraction of near-infrared radiation to *Aedes aegypti* (Linnaeus), *J. Econ. Entomol.*, **61**, 36-37 (1968).
- 44) Williams, C.B. and Davis, L.: Simuliidae attracted at night to a trap ultraviolet light, *Nature (London)*, **179**, 924-925 (1951).
- 45) Glick, P.A. and Hollingsworth, J.P.: Response of the pink bollworm moth to certain ultraviolet and visible radiation, *J. Ecoc. Entomol.*, **47**, 81-86 (1954).
- 46) Barr, A.R. and Boreham, M.M.: Light intensity

- and the attraction of mosquitoes to light traps, J. Econ. Entomol., **53**, 876-880 (1967).
- 47) Belton, P. and Pucat, A.: A comparison of different lights in traps for Culicoides (Diptera: Ceratopogonidae), Can. Entomol., **99**, 267-272 (1967).
- 48) Ali, A. Stafford, S.R. Fowler, R.C. and Stanley, B. H.: Attraction of adult Chironomidae (Diptera) to incandescent light under laboratory condition, Environ. Entomol., **13**, 1004-1009 (1984).
- 49) Ali, A. Stanley, B.H. and Chaudhuri, P.K.: Attraction of some adult midges (Diptera: Chironomidae) of Florida to artificial light in the field, Florida Entomol., **69**, 644-650 (1986).
- 50) Iwakuma, T. and M. Yasuno.: The role of zoobenthos a shallow eutrophic lake., Arch. Hydrobiol. Beih., **28**, 515-524 (1987).
- 51) 沖野外輝夫：地域研究としての諏訪湖集水域生態系研究, 環境科学, **1**, 83-89 (1988).

(受付 1990年11月19日 受理 1991年2月8日)