

陸水生態系における水生生物の大量発生のメカニズム とその駆除・防除に関する研究

-ユスリカ類に焦点をあてて-

平林公男

信州大学学術研究院理工学域繊維学系

陸水生態系における水生生物（本寄稿文では主にユスリカ類に焦点をあてる）は、主要な構成員の一つであり、生産層から沈降する堆積有機物の分解や、detritus food-chain (web) における二次生産者としての役割、羽化に伴う水域外への有機物の除去など、物質循環における重要な役割を果たしている（岩熊 1986; Iwakuma, 1986, 1987; Tokeshi, 1995）。しかし一方でヒトと生物の生活空間の重なりや、水域の有機汚濁などのために、ヒトにとって不快生物とされる水生生物の大量発生、大量飛来などが、各地で問題化した（Ali, 1995; 近藤ほか, 2001）。発生場所が比較的狭い水域であれば、化学的防除が可能であるが、薬剤抵抗性獲得の問題や、他生物への影響、コストなどの観点から、対象範囲の広い自然環境下での有用性は極めて低い（Ali, 1995; 田原, 1986; Tabaru et al., 1987）。こうした点から、対象水域からの「不快昆虫類の撲滅」という視点から、「水生生物との共存」という考え方に移行していく必要性が叫ばれてきた。これまで私が関わってきたユスリカ類の駆除・防除に関する研究は、こうした考えに基づき、その生物のもっている生態学的な特性や既存の生態系内における他生物の機能や構造などを積極的に活用し、これらを駆除・防除するための対策に役立てようとする試みである。そのためには対象生物の生態的知見の蓄積が必須である。なお、さらに詳しく知りたい読者は、平林（2005）などを参考にされたい。

1970年代から1990年代後半にかけて、諏訪湖沖帯からは大型2種のユスリカ類が大量発生していた（Yamagishi and Fukuhara, 1971; 平林ほか, 2001; 中里ほか, 2001）。すなわち、オオユスリカ（*Chironomus plumosus*）が年に3回（Nakazato and Hirabayashi, 1998）、アカムシユスリカ（*Prosilocerus akamusi*）が年に1回の羽化期をもち、3月から11月まで、湖畔でほぼどの時期においても羽化した大量のユスリカ成虫が観察された（Nakazato et al.,

1998）。特に秋期はオオユスリカとアカムシユスリカの羽化期が重なるため、大きな社会問題となった（平林ほか, 2001）。

1989年に社会医学的な立場から、アカムシユスリカに焦点をあて、その発生动態（平林, 1991a）、住民・観光客・外因性気管支喘息患者へのアンケート調査（平林, 1991b; Hirabayashi and Okino, 1998; Hirabayashi et al., 1998）、ユスリカ被害を未然に防ぐための成虫発生予測法の確立、防除に向けた野外実験（幼虫対策; メソコスムを利用した魚類による捕食実験、成虫対策; 光量、光質のちがいによる走光性に関する実験）等（平林, 1991c）をスタートさせた。その結果、アカムシユスリカ成虫の行動特性が明らかとなり、飛翔時間帯や飛翔範囲（水平・垂直的な飛翔距離）などが環境条件と共に報告された。これらの情報により、成虫対策をとる上での「被害範囲」や「被害時間帯」の特定ができるようになった。また、地域住民との共働により、「ユスリカ飛来マップ」を作成し、湖周辺域における面的なユスリカ類の飛来密度が相対的に明らかとなり、高密度で飛来する場所などが特定できた。被害の実態が把握できると、それらの情報に基づく対策が検討できる。ユスリカ対策としては、長期的な視点にたった対策と、短・中期的な視点にたった対策（対症療法的な対策）が検討された。長期的な対策としては、湖水の水質浄化が検討され、諏訪湖生態系の生物生産性自体を下げ、生物量を減らす方向にもっていくことが目標となった。水中の栄養塩類を利用して増殖する植物プランクトン類（特に「アオコ」と呼ばれている藍藻類 *Microcystis* spp.）の死骸が湖底に堆積し、底生動物群集の餌となることから、湖に流入するリンや窒素などの栄養塩類の削減（終末処理場における汚水処理や流入河川水中の栄養塩削減）を行うことにより、植物プランクトン類現存量の減少を招き、餌環境の不適によるユスリカ類の減少・ユスリカ相の変化がもたらされることを

シナリオとして考えた。この様な諏訪湖生態系全体の変化については、時間がかかることが予想された。一方、湖周辺の住民や、観光業に携わる人々にとっては、ユスリカ類の大量飛来は日々の生活にとって、極めて大きな問題である。そこで、短・中期的な対策を複数、提案することを検討し、そのための基礎的な野外実験を実施した。前述の通り、化学的な駆除・防除法は検討から除外され、物理的な手法を中心に検討が行われた。湖沼におけるユスリカ類の駆除・防除に関する研究は、世界的に見てもそれほど多くの事例は無く、アメリカの Lake Monroe 湖岸にある Sanford 市において実施された光を利用したユスリカ誘導実験が主なものであった (Ali et al., 1984; 1986)。可視光領域においてユスリカ成虫の走光性を光量(光の強度)・光質(光の色)との関係で明らかにし、色よりも光量に依存してユスリカ成虫が集中飛来することを報告している。この性質を利用して、人口密度の高い Sanford 市の反対側の山地湖岸へ、成虫を誘引することに成功した。諏訪湖においても、こうした事例を基に、アカムシユスリカ、オオユスリカ成虫の走光性に関する野外実験を幾つか試みた (Hirabayashi et al., 1992)。種による反応性の違いはあるものの (オオユスリカの方が (おそらく *Chironomus* 属と言いかえても良い)、アカムシユスリカと比較して相対的に光による反応性は敏感である。これは、配偶行動などの違いに起因していると思われる (近, 1986)。), 1) 光質では近紫外光 (350 nm 付近) で有意に成虫が誘引されること、2) 光量では強光源に成虫が誘引されることが明らかとなった (Hirabayashi et al., 1992)。これらの成虫の行動特性を生かして、対策活動に結びつけるために、地元住民の協力も得ながら、大規模な野外実験を実施した。前者 1) では諏訪湖畔に建つ信州大学諏訪臨湖実験所 (現在の山地水環境教育研究センター) 施設内に 10 基の大型電撃殺虫器 (誘引源はブラックライト: BL ランプ) を設置し、ユスリカ成虫の大量捕獲実験を実施した。併せてユスリカ以外の昆虫類の捕獲割合なども調査した。その結果、大量のユスリカ成虫が捕獲された一方、ユスリカ以外の多くの昆虫類も捕獲されるため、実験所周辺環境に生息する生物群集への大きな影響が示唆された (Hirabayashi et al., 1993)。また後者 2) については、諏訪湖内にある人工島 (初島: 湖畔より 300m 沖合に位置) にイカ釣り漁で使用される 1500W の電球を 5 灯設置し、湖岸へのアカムシユスリカ成虫の飛来数の変化を観察した。一定の効果は認められたが、湖岸への有意な飛来量の変化までには至らなかった (平林ほか, 1998)。

これらの研究と平行して、ユスリカ成虫の休息習性や湖岸への飛来時間の季節変化などについても調査し、生態学的な知見も蓄積した (平林ほか, 1992)。休息習性の知見からは、湖畔にある植生を利用して、緩衝帯としての

機能をもたせ、ユスリカ成虫が直接人家に飛来することを防ぐ”自然の壁”として提言した (平林・中本, 2000; 平林・沖野, 1999)。ユスリカ成虫は、昼間、植物などの葉や茎に留まって休息している。どのような植物にも均一に休息しているわけでは無く、植物の葉の形態や、葉の密度など、留まりやすい形態があることが示唆された。12 種類の植物群落のうち、シロバナシナガワハギ (*Melilotus alba*) が最も高密度に休息していた。ユスリカ成虫が高密度に休息する植物群落形質の特徴としては、茎長あたりに多くの葉がついていることが示された。また、我が国の水辺植生の代表であるヨシ (*Phragmites australis*) に注目してみると、ヨシ体表面に休息するユスリカ成虫の約 70% が葉に留まっていたが、葉の裏面と表面とでは有意な差は認められなかった。湖畔における植生も、ユスリカ類の休息場としての機能を持たせるのであれば、こうした知見を基に、陸上の植生帯を街創りとともに検討する必要があると示唆される。植物 (植生) を「ヒトとユスリカの生活圏を分ける緩衝帯として利用する」という発想は、湖や河川周辺のような自然環境のみならず、食品工場や製紙工場などの外部からの昆虫類の侵入を嫌う施設周辺においても十分応用可能である。今後、さらなる研究事例の蓄積が必要となってくる。

ユスリカ類の成虫は、種類毎に飛翔時間帯が決まっていること (平林ほか, 2003)、蚊柱 (交尾行動としての群飛) を形成する時間帯や気象条件 (気温や照度など) も種によって異なっていることも明らかとなった (Hirabayashi and Ogawa, 2000; Hirabayashi et al., 2000; Hirabayashi and Nakamoto, 2001; Hirabayashi and Nakamoto, 2002)。さらに、雄成虫が群飛を形成するときに放つ羽音も種類毎に決まっており、仮に同一時間帯に同所的に異種の蚊柱が形成されても、羽音が異なることにより生殖隔離が成立していることも明らかとなった。ある特定の種はある特定の音響 (波長) に誘引されることを意味していた (Ogawa and Sato, 1993)。それを利用して、防除に役立てるための音響トラップや音響-光トラップの開発を行った (Hirabayashi and Ogawa, 1999)。ターゲットとする種のみを効率的に捕獲できるかの検討である。そのためには、主要種の誘引羽音を調べる必要があり、調査の結果、種毎に誘引波長が異なることはもちろんのこと、同一種でも季節により誘引羽音が異なることが明らかとなった (Hirabayashi and Nakamoto, 2001)。こうした発想は、池庄司 (1993) や Kanda et al. (1986) により、カ類で報告が成されていたが、ユスリカ類については事例報告が少なかった (Ogawa, 1992; Ogawa and Sato, 1993)。近年では、光の波長を自由にコントロールできる LED と併せて音響を利用し、より精度の高い捕獲法が検討されている。

諏訪湖の湖水浄化の効果が、予想よりも早く進み、近年

湖から発生してくるユスリカ類の優占種の変遷や発生量の変化が観察されている (Hirabayashi et al., 2003a, 2003b; 永田・平林, 2009). 湖内での水質の変化, 水生植物の種類相や現存量の変化, 魚類相や現存量の変化など, 諏訪湖生態系において, レジームシフト(生態系の状態が突発的に大きく変化を起こす現象)が起きている (Hanazato et al., 2009). 新たなステージに入った諏訪湖では, 生き物と環境の変化を追うためのモニタリング調査が極めて重要であり, 湖水の浄化が進んでいく過程を逐一記録していくことが必須である。「継続こそ力なり」である。ユスリカ類の発生種, 発生量の変遷を地道にモニタリングしていくことが, 今後の諏訪湖における駆除・防除対策を立てる上で重要である。以上のようなユスリカ類で得られた駆除・防除に関する知見は, プユ類, カ類など, 他の衛生昆虫類についても応用可能な部分が多く, 今後さらなる進展に期待がもてる。

謝 辞

私が諏訪湖でのユスリカ対策の研究を始めて今年でちょうど 25 年になります。この度学会賞をいただくにあたり, 御推薦いただいた信州大学の中村寛志先生, ならびに日本環境動物昆虫学会の理事, 評議委員の皆様, 事務局の皆様にご心より感謝申し上げます。また, これまでご指導・ご鞭撻を賜りました信州大学の林秀剛先生, 沖野外輝夫先生, 村山忍三先生はじめ多くの先生方, 研究者の方々に厚くお礼申し上げます。ありがとうございました。

引用文献

- Ali, A. (1995) Nuisance, economic impact and possibilities for control. In "The Chironomidae - Biology and ecology of non-biting midges" (Armitage, P. D., P. S. Cranston and 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.
- Hanazato, T., T. Nagata, M. Sakuma, H. D. Park, K. Hirabayashi and K. Takei (2009) Changes in ecosystem structure associated with the restoration of water quality in the shallow eutrophic Lake Suwa, Japan. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 30: 1085-1087.
- 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*) 成虫大量飛来一. 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一. 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一. 日本衛生学会誌 46: 676-687.
- 平林公男 (2005) 12章 おじやま虫も諏訪湖の家族. 「山岳科学叢書3 アオコが消えた諏訪湖一人と生き物のドラマー」沖野・花里編, pp. 263-287, 信濃毎日新聞社, 長野市.
- Hirabayashi, K. and T. Okino (1998) Massive flights of chironomid midge nuisance insects around a hypereutrophic lake in Japan: A questionnaire survey of tourists. *J. Kansu Entomol. Society.* 71: 439-446.
- Hirabayashi, K., K. Kubo, S. Yamaguchi, K. Fujimoto, G. Murakami and Y. Nasu (1998) Survey on negative impact of chironomid midges (Diptera) on bronchial patients in a hyper-eutrophic lake area in Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 3: 37-43.
- Hirabayashi, K. and K. Ogawa (1999) The efficiency of artificial wingbeat sounds for capturing midges in black light traps. *Entomol. Exp. Appl.* 92: 233-238.
- 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.
- Hirabayashi, K. and K. Ogawa (2000) Field study on capturing midges, *Prosilocerus akamusi* (Diptera: Chironomidae), by artificial wingbeat sounds in a hyper-eutrophic lake. *Med. Entomol. Zool.* 51: 235-242.
- 平林公男・中本信忠 (2000) 富栄養湖周辺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. 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. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 94: 123-128.
- Hirabayashi, K. and N. Nakamoto (2002) Effects of sound traps on capture of chironomid midges near a hyper-eutrophic lake in urban area in Japan. *Proceedings of the 4th International Conference on Urban Pests.* 235-241.

- Hirabayashi, K., R. Nakazato, A. Ohara and T. Okino (1992) 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.
- 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. 日本環境動物昆虫学会誌 4: 71-77.
- 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. 環動昆 9: 8-15.
- Hirabayashi, K., R. Nakazato, A. Ohara and T. Okino, (1993) 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., M. Ando and N. Nakamoto (2000) Effective sound frequency on swarming midges, *Einfeldia dissidens* (Diptera: Chironomidae) 10th International symposium on river and lake Environments. *Proceeding of the symposium.* 65-68.
- 平林公男・中里亮治・沖野外輝夫 (2001) 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. 日本陸水学雑誌 62: 139-149.
- Hirabayashi K., T. Hanazato and N. Nakamoto (2003a) Population dynamics of *Prosilocerus akamusi* and *Chironomus plumosus* (Diptera: Chironomidae) in Lake Suwa in relation to changes in the lake's environment. *Hydrobiologia* 506-509: 381-388.
- Hirabayashi K., T. Hanazato, M. Ogawara, M. Sakuma and N. Nakamoto (2003b) Long-term investigation of *Prosilocerus akamusi* (Tokunaga) midges (Diptera, Chironomidae) from a shallow eutrophic Lake, Suwa, in Central Japan - An attempt to forecast the massive emergence of adult midges. *Med. Entomol. Zool.* 54: 89-96.
- 平林公男・山本優・武田昌昭・花里孝幸・中本信忠 (2003) 諏訪湖湖岸におけるユスリカ成虫の飛翔行動. 日本ペストロジー学会誌 18: 91-101.
- 池庄司敏明 (1993) 蚊Mosquitoes. 東京大学出版会, 東京.
- Iwakuma, T. (1986) Ecology and production of *Tokunagayusurika akamusi* (Tokunaga) and *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera: Chironomidae) in a shallow eutrophic lake. Ph.D thesis. Kyushu University, Japan.
- 岩熊敏夫 (1986) 陸水における二次生産, 特に底生動物の生産と富栄養化の関係について. 日生態会誌 36: 169-187.
- Iwakuma, T. (1987) Density, biomass, and production of Chironomidae (Diptera) in Lake Kasumigaura during 1982-1986. *Jan. J. Limnol.* 48: 559-575.
- Kanda, T., K. Ogawa and T. Takagi (1986) Intertaxonomic variability of wingbeat frequency among sibling taxa within some anopheline species groups in East Asia. *Jpn. J. Sanit. Zool.* 27: 385-387.
- 近雅博 (1986) ユスリカ類の配偶行動. インセクタリウム 23(8): 18-25.
- 近藤繁生・平林公男・岩熊敏夫・上野隆平 (共編) (2001) ユスリカの世界. 培風館, 東京.
- 永田貴丸・平林公男 (2009) 水質変化に伴う動物相の変化. 水環境学会誌 32(5): 18-21.
- Nakazato, R. and K. Hirabayashi (1998) Effect of larval density on temporal variation of life cycle patterns of *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera: chironomidae) in the profundal zone of eutrophic lake Suwa during 1982-1995. *Jpn. J. Limnol.* 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. *Jpn. J. Limnol.* 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. 日本陸水学雑誌 62: 127-137.
- Ogawa, K. (1992) Field trapping of male midge *Rheotanytarsus kyotoensis* (Diptera: Chironomidae) by sounds. *Jpn. J. Sanit. Zool.* 43: 77-80.
- Ogawa, K. and H. Sato (1993) Relationship between male acoustic response and female wingbeat frequency in a chironomid midge, *Chironomus yoshimatsui* (Diptera: Chironomidae). *Jpn. J. Sanit. Zool.* 44: 355-360.
- 田原雄一郎 (1986) ユスリカの科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. *J. Am. Mosquito Contr.* 3: 45-49.
- Tokeshi, M. (1995) Production ecology. In "The Chironomidae -Biology and ecology of non-biting midges" (Armitage, P. D., P. S. Cranston and L. C. V. Pinder, eds), pp.269-296, Chapman & Hall, London.
- 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.

Mass flight mechanism of aquatic insects and plans for their control in a freshwater ecosystem – focus on chironomid midges in the hypertrophic Lake Suwa. Kimio Hirabayashi. Institute of Textile Science and Technology, School of Science and Technology, Academic Assembly, Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano, 386-8567, Japan.

Abstract

Adult Chironomidae (Diptera) emerging from eutrophic lakes or polluted water bodies are a severe nuisance and cause economic problems. In the Lake Suwa area, mass flights of adult chironomid midges, particularly *Chironomus plumosus* and *Prosilocerus akamusi*, have occurred frequently, causing problems in the daily life of local residents and to the tourist industry. I have tried to clarify the biological and hygiene problems caused by these mass flights. To control adult midges, (1) studies on the flight behavior and resting habit of midges were carried out, and (2) field trial trapping control methods for midges by attracting them to lights and sounds were investigated. Any plans that effectively promote human coexistence with other organisms as auxiliary measures must be examined.