

特集：フェロモントラップによるニカメイガの発生予察〔1〕

フェロモントラップによるモニタリング

農林水産省農業研究センター ^{なか}中 ^{むら}村 ^{かず}和 ^お雄

はじめに

性フェロモンを誘引源としたトラップが、害虫の発生予察のために用いられるようになってから久しい。フェロモントラップは、誘引性が高く、取り扱いが簡単なため、多くの昆虫で広く用いられているし、これからもその適用は増加していくであろう。

フェロモントラップを用いて昆虫個体群をモニタリングするとき、害虫の生息状況を知ることが目的とした場合もある。わが国で未発生のコドリガの侵入を警戒したり、最近、発生が問題になっているオオタバコガの分布を確認したりする場合である。後者の場合、外観からは本種との識別が困難な近縁種のタバコガがいるが（吉松, 1995）、両種の性フェロモンの構成比率は異なるから（KEHAT and DUNKELBLUM, 1990; SUGIE et al., 1991）、それぞれのフェロモンを誘引源としたトラップを設置すれば、両種の生息状況を知ることができる。これらの場合は、性フェロモンの持つ高い種特異性と誘引性とを利用したものであるから、ここで要求されるのはこれら二つの特性の強さである。

一方、フェロモントラップを用いて害虫の発生時期や発生量を予測しようとする場合は、その害虫の生息密度を知ることが基本である。したがって、この場合に問題になることは、フェロモントラップが個体群の構成要員のうちあるグループのものをかたよって抽出していないか、また抽出率は一定であるかということである。言い換えれば、ここで要求されるのは、誘引性の高さもさることながら、かたよりの少なさと抽出率の安定さである。

そういった面から見ると、フェロモントラップは必ずしもよいモニターとはいえない。それどころか、例えばライトトラップなどに比べて、大きなかたよりをもち、抽出率も種々の条件で変動する。以下、特にフェロモントラップの抽出率に焦点を当てて、害虫個体群のモニターとしてのトラップの特質と、それに基づく注意とを考察したいと思う。

I フェロモントラップの持つかたより

フェロモントラップが本質的に持つ最大のかたより

は、成虫のうち雄だけしか捕獲しないことである。われわれは普通、昆虫の性比は1:1で、常に雄と同数の雌が存在すると暗黙の仮定をおく。しかし、この仮定がいつも成り立つ保証はないし、多くの昆虫では雄のほうが雌よりも早く羽化してくるのが普通である。また、雄のフェロモンへの反応の強さは、羽化後の時間に伴って変化するため、この点でもフェロモントラップはかたよりを持つ。フェロモントラップが持つこのかたよりは、常に頭に入れておくことが重要であるし、他の手段によって雌のモニタリングが可能なきときは、雌の生息数を推定して、性比をチェックすることが必要である。

II 抽出率の変化

1 トラップ—雌間の競合

フェロモントラップの抽出率は、本質的に一定ではない。我々がフェロモントラップを野外に配置して雄を誘引することは、いわば人工の“雌”を配置することである。そして、野外に生息する雌と競合して、雄を奪い合う。このとき、奪い取る雄の数は、トラップと雌がそれぞれに放出するフェロモン量によって決まる。この関係を KNIPLING and MCGUIRE (1966) は、次のような簡単な式で表した。すなわち、トラップ効率 E は、

$$E = V_0 / (F_0 + V_0) \quad (1)$$

ここで、 F_0 は野外に存在する雌の数で、 V_0 は雌等量で表したトラップのフェロモン量である。この式からもわかるように、雌の数 F_0 が増加すると、トラップ効率、すなわち抽出率は減少する。

このように、トラップの抽出率は野外雌の生息密度の変動に伴って変化するのである。実際、フェロモントラップに捕獲される雄の数は、ライトトラップでの捕獲数に比べて、野外の生息密度が増加すると少なくなることは、一般に認められている（例えば、KONDO et al., 1993）。このため、トラップに捕獲された雄の個体数と個体群の大きさとの間には、単純な比例関係はない（NAKAMURA and OYAMA, 1978）。

SHIRAI and NAKAMURA (1995) は、マークしたコナガの雄をフェロモントラップで捕獲して、一つの圃場の個体数を推定し、その圃場に設置したトラップでの捕獲数と生息数との間に直線関係を認めた。しかし、彼らの得た再捕獲率は低く、推定値の分散は非常に大きいと予想されるから、このデータの信頼性は高くない。今後、同様

な研究が行われ、誘殺数と生息成虫数との関係が明らかにされることを期待したい。

フェロモントラップでの捕獲数と次世代の幼虫による被害との間に、直線関係を認めたものも多い(例えば、KONDO and TANAKA, 1995)。被害量は畑全体やその地域の平均値をとることが普通であるから、捕獲数が多ければその周辺の被害量も相対的に多いことを示すものであろう。

トラップ一雌間の競合は、雄の飛翔距離にも影響を与える。もし雌の密度が高いなら、雄はトラップに誘引されるよりも雌に誘引される確率が高くなる。したがって、日没後の活動時刻が来て、飛翔を開始した雄が交尾しないしは誘殺されるまでに飛翔する平均距離は、雌の密度によって変動することになる。ハスモンヨトウの雄を1箇所から放して、周囲に配置したトラップで捕獲した結果は(小山・若村, 1976; WAKAMURA et al., 1990)、このことを明らかに示している。放飼した雄をトラップで捕獲して移動距離を求めようとする場合には、この雌一トラップ間の競合の効果を考えなければならないが、この効果を組み入れた分散のモデルはいまだに提案されていない。

トラップの周囲から放飼した雄の誘殺数を基にして、野外に生息する雄の数を HARTSTACK et al. (1971) の式を用いて推定しようとする試みがなされているが(HARTSTACK and WITZ, 1981; WAKAMURA et al., 1992; SUGIMOTO et al., 1994)、この式は、もともと、ライトトラップに誘殺される成虫のために作られた式であるから、当然のことながら雌一トラップ間の競合の効果は含まれていない。したがって、この式をフェロモントラップでの誘殺数に当てはめて求められた有効範囲の大きさ(“effective radius”)も、生息個体数も実際の値とはかけ離れていることに注意すべきである。例えば、HARTSTACK and WITZ (1981) や WAKAMURA et al. (1992) で求めた有効範囲の大きさは、季節によって大きく変動しており、雌一トラップ間の競合の効果が大きく関与していることを示唆している。

ところで、(1)式はトラップと雌との競合を表す式としては不完全である。この式では、雌もトラップも雄の誘引に関しては同等であると仮定されているが、これは一般には成り立たないからである。なぜなら、1日当たりの雌の交尾回数も成虫期間の交尾回数も限界があるのに、フェロモントラップでは無限に“交尾”できるからである(NAKAMURA and OYAMA, 1978)。一度交尾して、産卵を始めた雌はフェロモンの放出を止めるが、フェロモントラップはいつまでもフェロモンを放出し続けるのである。その結果、フェロモントラップという人工の雌に対するフェロモンを放出しうる野外雌の割合は、時間と

ともに変化することになる。言い換えると、フェロモントラップによる雄の抽出率は、雌の羽化後の時間に伴って変化するのである。

フェロモントラップを発生予察のために用いる目的の一つは、誘殺時期から産卵時期を知ろうとすることであるが、いくつかの種では卵数のピークよりも誘殺数のピークのほうが後になることが知られている(例えば、宮原ら, 1977; 堀切ら, 1978)。この現象が起こることの原因の一つとして、NAKAMURA (1982) は、上に述べたトラップと雌との“交尾”回数の違いを示唆した。つまり、フェロモントラップに比べて雌の密度が高かった場合には、羽化を始めた雄の大部分のものは雌と交尾する結果、雌は産卵を開始してまもなく卵数はピークに達する。そうなると、雌に対するトラップのフェロモン量が相対的に高まるから、まだ交尾能力を持つ雄は今度はトラップに誘引され始め、やがて誘殺数のピークが形成される。もしそうなら、産卵時期と誘殺時期の間のずれは、生息密度によって変動することになる。しかし、今のところ、これらの機構を実験的に確かめたものはないようである。

2 雄をめぐるトラップ間の競合

複数個のトラップを設置して、害虫個体群のモニタリングに使用する場合には、トラップ間の間隔をどの程度あけるべきかが問題となる。これは、フェロモン源の有効範囲と雄の活動範囲によって決定される。

フェロモンの有効範囲(Active space)(BOSSERT and WILSON, 1963; NAKAMURA and KAWASAKI, 1977)は、雄の風上飛翔が誘起される範囲と定義されるもので、基本的にはフェロモンの放出量と雄のフェロモン感知濃度で決定される。フェロモンは媒体である空気によって運ばれていくから、風の諸要素、特に風力が有効範囲の大きさと形状に大きな影響を及ぼす。フェロモン源から風下側に形成されるブルームの実体は、飛び飛びに放出されてくるフェロモンの固まりより成るもので(広岡, 1987; 神崎, 1993)、その位置は風向によって左右にうねりながら時々刻々変化する。したがって、フェロモントラップの有効範囲は、ある一定時間に存在したブルームの位置を積分したときに、存在の頻度が一定以上であった範囲で表されるものである(NAKAMURA, 1984)。それは、フェロモン源から風下側に長く伸びた範囲で、円にはならない。

今、直線上にトラップを並べて、それぞれのトラップでの誘殺数を求めてみると、両端のトラップでの誘殺数が真ん中のものよりも多くなるのが普通である。二つのトラップから等量のフェロモンが放出されている場合には、それぞれの有効範囲の大きさは等しいから、トラップに挟まれた場所に飛来してきた雄は、ほぼ同じ確率で

どちらかのトラップに誘引されるであろう（ここでは、誘引されないで飛び去るものは考えない）。これをトラップの側から見ると、あたかも二つのトラップが雄を奪い合っているように見える。真真中に配置されたトラップは両側のトラップと競合する結果、誘殺数が少なくなるが、両端に位置するトラップは、片側のトラップと競合するだけだから、誘殺数は多くなるはずである。トラップの間隔が小さくて有効範囲が互いに重なるような場合は、交信かく乱の効果が現れるから、誘殺数はさらに少なくなる。

トラップ間の競合が起こる距離は、フェロモンの有効範囲の大きさと雄の飛翔範囲とによって決められる。WALL and PERRY (1987) が、雄がフェロモン源に誘引される「誘引の範囲」(the range of attraction) と飛翔している雄を「抽出する範囲」(the sampling range) とを区別し、前者は時間によって変動しないが、後者が時間とともに増大するとしたのは、その意味で適切である。しかし、彼らが「誘引の範囲」を雄がフェロモン源に反応する“最大距離”と定義したのは、不合理である。最大距離が有効範囲の大きさを表す一つのパラメータではあっても、距離は「範囲」ではないのである。それに、この“範囲”がこの距離を半径（ないしは直径）とする円であるかのような間違った印象を与える。BOSSERT and WILSON (1963) によって、厳密に定義された「有効範囲」(the active space) に代わって新しい用語を用いる理由は見当たらない。

おわりに

以上、フェロモントラップの持つ特質とそれによって生じる問題点を考えてきたが、フェロモンの持つ高い誘引力と種特異性は、もちろんモニターとして優れた大きな特質である。このことから、トラップで得られる誘殺数からは、単に害虫の発生時期や発生量を予測するだけでなく、さらに多くの情報を引き出すことができるものである。

例えば、鹿児島県および高知県の数地点に設置したフェロモントラップに誘引されたハスモンヨトウの誘殺曲線の時系列分析を行った結果では（中村、未発表）、春における誘殺雄のピークが海岸地帯から内陸部へと移っていくことが示されており、成虫の移動を示唆している。また、誘殺曲線の同様な解析の結果、各世代に相当するピークが得られたが、多くの地点でその中間にもピークが見られた。このピークが何に起因するのかは不明であるが、この解析によって新しい事実が見いだされるかも

しれない。

また、ハスモンヨトウの一晚における誘殺は、日没後と夜半とにピークを持ち、夜半のピークのほうが大きいのが普通である。しかし、日によってはその逆の場合もある。これらが起こるメカニズムも未解明であるが、両者の違いが雄の生息場所の違いや生理的条件の違いを反映している可能性もある。

これらは今後に残された課題であるが、これらの情報を引き出し、解析するためには、トラップでの誘殺数は最低一晚ごとに、できれば毎時間ごとに得る必要がある。すでに近藤ら (1994) や片山 (私信) によって、誘殺数を自動計測できるトラップの開発が手がけられているから、こういったきめ細かい情報を得ることも可能となっており、今後の発展に期待されるところが大きい。

引用文献

- 1) BOSSERT, W. H. and E. O. WILSON (1963): J. Theor. Biol. 5: 443~466.
- 2) HARTSTACK, A. W. et al. (1971): J. Econ. Entomol. 64: 1090~1100.
- 3) HARTSTACK, A. W. and J. A. WITZ (1981): Environ. Entomol. 10: 908~914.
- 4) 広岡芳年 (1987): 植物防疫 41: 483~488.
- 5) 堀切正俊ら (1978): 九州病虫研報 24: 117~118.
- 6) 神崎亮平 (1993): 植物防疫 47: 493~498.
- 7) KEHAT, M. and E. DUNKELBLUM (1990): J. Insect Behav. 3: 75~83.
- 8) KNIPLING, E. F. and J. U. McGUIRE, Jr. (1966): USDA Agr. Inf. Bull. No. 308, 20 pp.
- 9) KONDO A. and F. TANAKA (1995): Appl. Entomol. Zool. 30: 103~110.
- 10) ——— et al. (1993): Appl. Entomol. Zool. 28: 503~511.
- 11) 近藤 章ら (1994): 応動昆 38: 197~199.
- 12) 宮原義雄ら (1977): 同上 21: 59~65.
- 13) NAKAMURA, K. (1982): Appl. Entomol. Zool. 17: 292~300.
- 14) ——— (1984): Appl. Entomol. Zool. 19: 192~201.
- 15) ——— and K. KAWASAKI (1977): Appl. Entomol. Zool. 12: 162~177.
- 16) ——— and M. OYAMA (1978): Appl. Entomol. Zool. 13: 176~184.
- 17) 小山光男・若村定男 (1976): 応動昆 20: 151~156.
- 18) SHIRAI, Y. and A. NAKAMURA (1995): Appl. Entomol. Zool. 30: 543~549.
- 19) SUGIE, H. et al. (1991): Appl. Entomol. Zool. 26: 151~153.
- 20) SUGIMOTO, T. et al. (1994): Appl. Entomol. Zool. 29: 349~358.
- 21) WAKAMURA, S. et al. (1990): Appl. Entomol. Zool. 25: 447~456.
- 22) ——— et al. (1992): Appl. Entomol. Zool. 27: 1~8.
- 23) WALL, C. and J. N. PERRY (1987): Entomol. exp. Appl. 44: 5~14.
- 24) 吉松慎一 (1995): 植物防疫 49: 495~499.