

植物防疫基礎講座：

フライトミルとスピードガンを組み合わせた 昆虫の飛翔距離推定法

長崎大学熱帯医学研究所 ^つ角 ^だ田 ^{たかし}隆
中央農業総合研究センター ^{もり}守 ^や屋 ^{せい}成 ^{いち}一

はじめに

昆虫にとって餌資源を探知する能力とともに、餌のある生息場所間を移動する能力もまた重要である。害虫の発生と分布状況の把握、あるいは作物への被害を予測するうえで、その害虫がどれだけ遠くから、どのくらいの速度で移動するのかという問題は、害虫の発生予察や被害解析にとって必要不可欠である。これまで野外における害虫の移動や分散は、主に標識再捕法によって調査されてきた。しかし、標識再捕法には多大な労力がかかるにもかかわらず、多くの場合再捕率が低く、得られた推定値の誤差が大きくなるため、その解釈が難しいという欠点がある。昆虫の移動能力を推定するに当たり、できる限り労力のかからない測定法がこれまで求められてきた。

フライトミルを用いた昆虫の飛翔能力測定は、宙づり飛翔法とともに実験室内でよく使用される方法である。フライトミルの使用によって飛翔継続時間のほか、飛翔速度、飛翔距離が計測できる。しかし、この方法では、供試虫をフライトミルのローターに固定することによって生じる物理的・行動的な負荷が飛翔に及ぼす影響は考慮されていないというより、むしろ考慮することができなかった。例えば、昆虫をローターに固定する角度のわずかな違いによって、飛翔速度はかなりばらつくことが経験的に知られている。このばらつきによる影響を少なくするために、昆虫をフライトミルのローターに取り付ける際には熟達した接着固定の技術が要求される。また、ローターの回転軸の摩擦や回転モーメントを減少させるための様々な工夫がなされてきた（例えば、Iro, 1980; MORIYA, 1987）。

そこで、昆虫が飛ぶときの速度を野外における自由飛翔に近い状態で計測できれば、その飛翔速度にフライトミルなどで得られた飛翔時間をかけることによって様々

な昆虫の飛翔距離が推定可能となる。さらに、この方法を用いれば、フライトミルの構造上の問題に起因する技術的な計測誤差を大幅に減らすことが期待できる。

速度違反の車を取り締まるときの車の速度や野球投手の投球速度を計測する場合、スピードガンが使われることはよく知られている。これまでに昆虫の飛翔速度が、様々な方法で測定されてきた（JOHNSON, 1969）。例えば、部屋の真ん中から昆虫を放して壁に当たったときの時間を計測し、中心から壁までの距離を衝突までの時間で割って速度を算出したり、野外で飛んでいる昆虫を自動車で並走して速さを測定したりしてきた。しかし、スピードガンを使って昆虫の飛ぶ速度を直接計測した学術的報告は筆者らの知る限りこれまで知られていない。

筆者らは、昆虫の飛翔速度を市販されているスピードガンを用いて直接測定し、従来のフライトミルによる測定で得られた飛翔時間をかけることによって、最大飛翔距離を推定する方法を考案した（TSUNODA and MORIYA, 2008）。本稿では、カメムシ目の重要害虫3種を対象にして、計測方法の概略と3種の計測結果を紹介したい。本文に先立ち、実験にご協力いただいた中央農業総合研究センターの水谷信夫博士・石崎摩美博士・渡辺朋也博士・山口卓宏博士（現 鹿児島県農業総合開発センター）に深謝の意を表する。

I 飛翔速度の計測

1 測定法

筆者らが実験に用いたスピードガンはストーカープロ（The STALKER PRO — Professional Sports Rader, Applied Concepts, Inc., TX, U.S.A.; 口絵参照）というタイプで、25℃、無風状態の室内での測定誤差は±0.1 km/時である。一般市販品であるため、詳細な仕様や価格などはインターネットで容易に検索可能である。本製品は電磁波のドップラー効果を利用しており、電磁波を発生する機械があるとその影響を受けやすい。このため、室内で計測する場合、蛍光灯やエアコンなどの電波発生源となる機器類の電源を切っておく必要がある。

実験には、ダイズの重要害虫ホソヘリカメムシ

Estimation of Flight Distance of an Insect with Flight Mill and Speed Sensor. By Takashi TSUNODA and Seiichi MORIYA

(キーワード: スピードガン, フライトミル, 速度, 飛翔時間, 距離)

Riptortus pedestris (FABRICIUS), イチモンジカメムシ *Piezodorus hybneri* (GMELIN), イネの重要害虫クモヘリカメムシ *Leptocoris chinensis* DALLAS を用いた。暗幕を取り付けてスリット状にした窓から日光が差し込む状態にしておき, これらのカメムシを室内で放すと, 多くの場合, 窓に向かって真っすぐに飛ぶ。窓から4m離れた場所から一人がカメムシを放し, もう一人が窓辺でスピードガンをもって飛翔中の最高速度を計測した(図-1)。スピードガンに対して計測対象個体が斜め方向に飛翔した場合には, スピードガンは速度を正しく計測できない。このため, 放飼点から窓辺のスピードガンめがけて真っすぐに飛ばなかった個体は計測から除外した。

2 カメムシの最高飛翔速度

測定した3種のカメムシのうちホソヘリカメムシが最も早く飛び, 雄は平均時速8.0kmで飛翔した(図-2)。



図-1 スピードガンによる計測状況

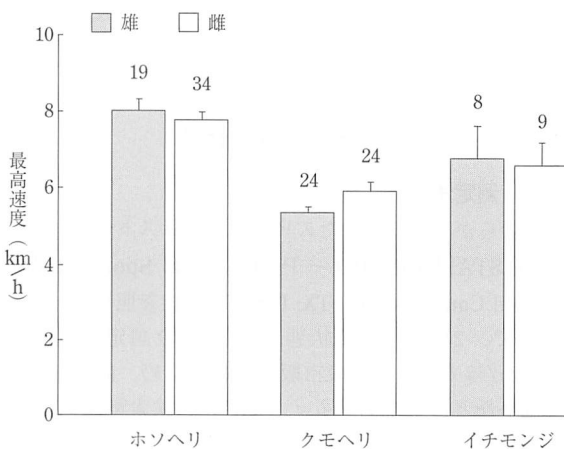


図-2 25°Cの条件下において, スピードガンで直接計測したホソヘリカメムシ, クモヘリカメムシ, イチモンジカメムシの最高飛翔速度
図中の数値は個体数を, 縦棒は標準誤差を示す (TSUNODA and MORIYA, 2008 を一部改変)。

飛翔速度が最も遅かったのはクモヘリカメムシ雄で, 時速5.4kmであった。イチモンジカメムシは他の2種の中間の速度であった。二元配置分散分析の結果, 3種間での飛翔速度には違いがあるが, 雄雌間には有意な差は認められなかった(表-1)。

昆虫には, 温度によって飛翔速度が変化するタイプと, 広い温度範囲にわたって比較的一定の速度で飛ぶタイプが存在する (JOHNSON, 1969)。ホソヘリカメムシとクモヘリカメムシの飛翔速度を19°C, 25°C, 29°Cの条件下で比較すると, ホソヘリカメムシは温度の上昇につれて飛翔速度も速くなった(図-3)。野外においてフェロモントラップに誘引されるホソヘリカメムシの個体数は, 午後2時ごろに最も多くなる (田淵ら, 2006)。このことは1日のうちで最も気温の高くなる時間帯にホソヘリカメムシが活動的であることを示唆している。最も活発に行動する時間帯により速く飛べることは, 餌や交尾相手の発見・獲得, 捕食者からの回避において有利であろう。一方, クモヘリカメムシでは温度の変化に伴った飛翔速度の変化は検出されなかった(図-3)。これらのことは, クモヘリカメムシの飛翔行動がホソヘリカメムシほど温度変化の影響を受けにくいことを示唆している。クモヘリカメムシの飛翔時間帯についての詳細なデータはないものの, 日没後に活発に行動することが知られている (KAINOH et al., 1980; 石崎ら, 未発表)。したがって, クモヘリカメムシが温度にそれほど影響を受けずに一定の速度で飛翔できることは, 気温の低下する夜間の飛翔にとって有利な形質と思われる。

II 移動距離の推定

1 飛翔持続時間

スピードガンで直接計測した自由飛翔時の最高速度に飛翔時間をかければ, 最大飛翔距離が推定できる(図-4, 5)。飛翔時間は, フライトミルの回転数から算出した。フライトミルはローターの一端に昆虫を固定して飛翔させ, その推進力を利用して支点を中心にローターを

表-1 スピードガンで計測したホソヘリカメムシ, クモヘリカメムシ, イチモンジカメムシの最高飛翔速度の二元配置分散分析 (TSUNODA and MORIYA, 2008 を一部改変)

	d.f.	F	P
性	1	0.330	0.567
種	2	38.266	< 0.001
相互作用	2	1.241	0.293
残差	112		

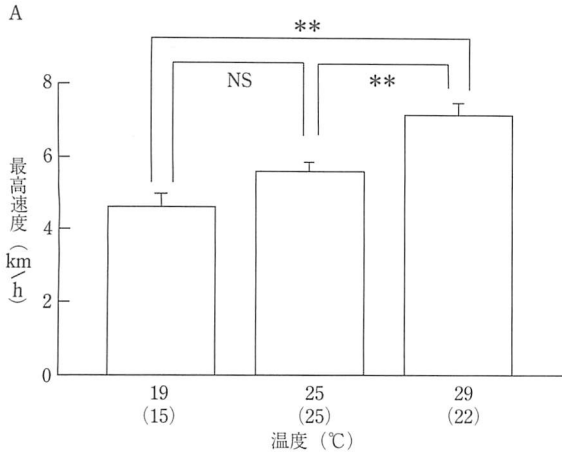


図-4 スピードガン側面
グリップ上部引き金状のボタンを押すことで計測する。

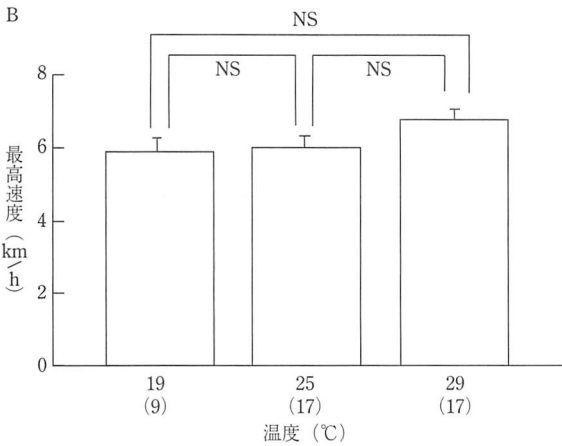


図-3 実験室で飼育された2種類のカメムシを19°C, 25°C, 29°Cの条件下で飛翔させ、スピードガンで測定した最高速度
図中括弧内の数値は個体数を、縦棒は標準誤差を示す。(A) ホソヘリカメムシ, (B) クモヘリカメムシ。多重比較にはフィッシャーのLSD検定を用いた。
* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, NS : 有意差なし。(TSUNODA and MORIYA, 2008).

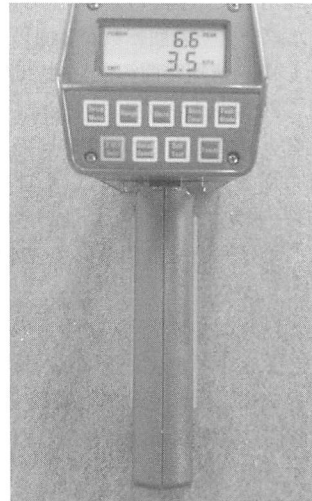


図-5 スピードガン表示部
瞬間最大時速が表示される。

回転させるものである(伊藤・守屋, 1985)。従来の方
法に加えて、前胸背板への固定を容易にするためにロー
ターには断面の小さな三角形のバルサ材を用いた。予備
実験では、ホソヘリカメムシの場合、ローターに固定さ
せようとすると長い後脚の可動範囲が大きいため、バル
サ材とローターとをつなぐピンに足を引っ掛けて飛べな
くなるがあった。筆者らは、ピンの部分をコの字状に
曲げることで後脚が引っ掛からないようにした(図-
6)。さらに、ローターの回転数を自動的に計測するため、
データ処理方法が基本的に同一であるアクトグラフ
(TABUCHI et al., 2007)のセンサーとデータ記録装置をフ

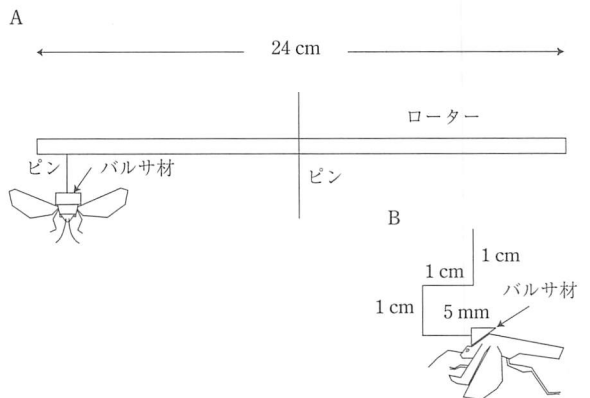


図-6 ホソヘリカメムシ計測用に作成したフライトミル
A : 概略図, B : 昆虫を固定する部分の拡大図
(TSUNODA and MORIYA, 2008).

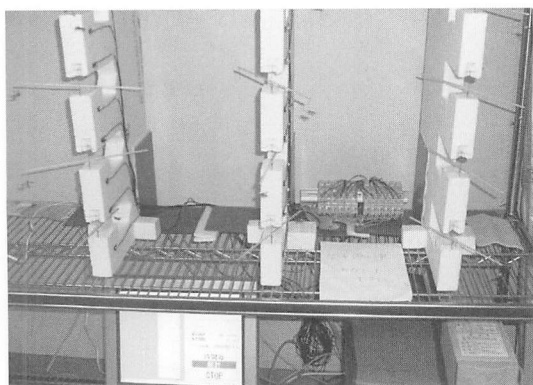


図-7 フライトミルで計測中のホソヘリカメムシ
12匹を同時に計測可能。

ライトミルに転用した(図-7)。事前の観察から、5秒間に記録されたローターの回転数が3回以上の場合を連続飛翔とみなした。飛翔時間の記録は25℃, 長日条件(13L11D)で、22時間行った(連日計測した場合でも計測開始時間を一定にするため、2時間のハンドリングタイムを設けてある)。したがって、1日当たりの飛翔距離を、(スピードガンで測定した最高速度)×(フライトミルで測定した延べ連続飛翔時間)×24/22として算出した。

クモヘリカメムシとホソヘリカメムシのフライトミルの実験では、クモヘリカメムシのほうが長時間飛ぶ傾向が見られた(図-8)。延べ連続飛翔時間を測定すると、種間での飛翔時間に有意な差が認められたが、雄雌間では検出されなかった(表-2)。

2 最大飛翔距離

スピードガンとフライトミルでの測定の結果、ホソヘリカメムシが1日に飛ぶ最大距離は雄で3.1 km, 雌で4.6 kmと推定された。一方、クモヘリカメムシは雄で24.2 km, 雌で29.4 kmであった。

これまで、フライトミルでは、(ローターの直径)×(円周率)×(ローターの総回転数)から飛翔距離の推定が行われてきた。この方法を用いて飛翔距離を推定すると、ホソヘリカメムシの雄で1.3 km, 雌で1.7 kmであった。また、クモヘリカメムシの雄は11.6 km, 雌は13.7 kmであった。したがって、従来のフライトミルだけで推定された飛翔距離は、実際の飛翔距離よりも過小評価されている可能性が高いと考えられる。フライトミルに固定されて飛翔するホソヘリカメムシの速度をスピードガンで測定したところ、自由飛翔時と比較して、約20%速度が低下した(守屋ら, 未発表)。ただし、計測

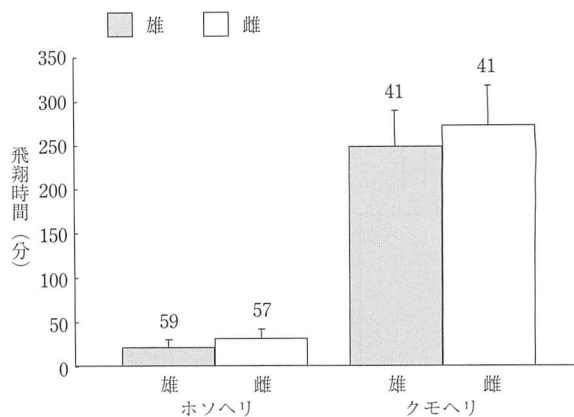


図-8 25℃におけるフライトミルでのホソヘリカメムシとクモヘリカメムシの飛翔時間
図中の数値は個体数を、縦棒は標準誤差を示す(TSUNODA and MORIYA, 2008)。

表-2 フライトミルで測定したホソヘリカメムシとクモヘリカメムシの飛翔時間の二元配置分散分析(TSUNODA and MORIYA, 2008)

	d. f.	F	P
種	1	74.958	< 0.001
性	1	0.368	0.545
相互作用	1	0.056	0.813
残差	194		

が前述の電磁波発生源となる機器類の多い恒温室内のため、数値の信頼性には再検討の余地がある。

おわりに

筆者らが実験に用いたスピードガンは、仕様書に示された性能によると数 mm 程度の物体の速度まで測定できる。したがって、スピードガンとフライトミルを組み合わせた本方法は、カメムシに限らず様々な昆虫に適用できるはずであり、今後昆虫の移動・分散を調査するうえで有益な方法となると思われる。

引用文献

- 1) ITO, K. (1980): Appl. Entomol. Zool. 15: 36 ~ 44.
- 2) 伊藤清光・守屋成一 (1985): 植物防疫 35: 183 ~ 185.
- 3) JOHNSON, C. G. (1969): Migration and dispersal of insects by flight, Methuen & Co Ltd., London, 763 pp.
- 4) KAINOH, Y. et al. (1980): Appl. Entomol. Zool. 15: 225 ~ 233.
- 5) MORIYA, S. (1987): ibid. 22: 19 ~ 24.
- 6) 田淵 研ら (2006): 応動昆 50: 123 ~ 129.
- 7) TABUCHI, K. et al. (2007): Environ. Entomol. 36: 871 ~ 877.
- 8) TSUNODA, T. and S. MORIYA (2008): Appl. Entomol. Zool. 43: (in press).