アメリカシロヒトリ成虫の行動時刻の決定と光条件¹⁾

新井 哲夫・馬淵 正人

弘前大学農学部

Effects of Light Conditions on the Timing of Adult Activities in *Hyphantria cunea* DRURY (Lepidoptera: Arctiidae). Tetsuo ARAI and Masato MABUCHI (Laboratory of Entomology, Faculty of Agriculture, Hirosaki University, Hirosaki, Aomori 036). *Jap. J. appl. Ent. Zool.* **23**: 162-169 (1979)

Moving activities (walking and flight) of male and female adults of *Hyphantria cunea* occurred 1 to 2.5 hr after eclosion and again 0.5 to 2 hr before sunrise under natural conditions of light at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$, approximately. Moving activities on the next day started about 0.5 hr after sunset. The calling pose of females began during the twilight period and ended within 0.5 hr after sunrise. The mating began about 0.5 hr before sunrise. When females were exposed to light after eclosion, their movements were inhibited. Their movements were triggered by transfer to the natural (dark) conditions, when they had emerged more than 1 hr before the transfer; if not, their movements were observed 1.5 to 2 hr after adult eclosion. The calling pose began at around sunrise when females had been transferred from light to the natural (dark) conditions 6.5 hr but not 2.5 hr before sunrise. When females were continuously exposed to artificial dim light (lower than 1 lux) after adult eclosion, the calling pose occurred at about 12 hr after sunset. When they were first exposed to light (280-300 lux) and then to dim light (<1 lux), the calling pose was seen at about 12 hr after the change in light intensity.

緒 言

アメリカシロヒトリ *Hyphantria cunea* の羽化後の雌成虫の活動、とくにコーリングポーズの解発には、環境条件のうち温度が重要な影響をおよぼし、また越冬世代と不休眠世代とで環境に対する反応がやや異なることが報告されている (HIDAKA, 1977)。すなわち、雌成虫のコーリングポーズは 25°C 暗黒中では見られないが、不休眠世代では暗黒中で 25°C から 15°C への温度低下によって、越冬世代では温度低下をともなう明から暗への変化によって、解発される。

はたしてコーリングポーズは、たんなる環境変化のみによって解発され、測時機構は関与していないのであろうか。この点を明らかにするため、不休眠世代を用いて、羽化時刻および明から暗への変化が、羽化後の歩行、飛翔、コーリングポーズおよび交尾などの諸行動の時刻決定にどのような影響をおよぼすかを個体ごとに調

査した。

本研究を遂行するにあたり、御指導いただいた弘前大学農学部 正木進三教授、安藤喜一助教授、卵を提供していただいた秋田農試 小山重郎博士(現沖縄農試)に感謝する。

材料および方法

1976 年 5—6 月、秋田市内で採集したアメリカシロヒトリの卵塊を、 $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$ の自然日長室内に保ち、幼虫にサクラの葉を与えて飼育した。成虫の行動観察は、7 月下旬 (Figs. 1, 2, 3 and 4) にはこの不休眠世代を用いて、また 9 月中・下旬 (Figs. 5 and 6) にはその子世代を用いて、 $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$ の自然日長室内または恒温室で行った。羽化直後の成虫を、内側半面に黒紙を固定した直径 2.3 cm 長さ 6 cm のガラスチューブに入れた。人工照明には 10w 昼光色蛍光灯を用い、照度を 280-300 lux とした。1 lux 以下の照度を得るには、10w 昼光色

1) 弘前大学農学部昆虫学教室業績 第 83 号
1979 年 3 月 5 日受領

Fig. 1. Time of eclosion and movements (walking and flight) of adults under natural conditions of light (late July) at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$, approximately. A: females. B: males. $\rightarrow$: eclosion. $\bullet$: walking or flight of females. $\times$: walking or flight of males. $\circ$: calling pose of females. $\square$: period of light under natural conditions. [cross-hatched] : period of darkness under natural conditions. [dotted] : 0.5 hr before and after sunrise or sunset.

蛍光灯を何枚もの白紙でおおった。照度 1 lux 以下では連続的に、その他の条件下では 5 分ごとに行動を観察した。暗期中には、懐中電灯に赤いセロファンを何枚も重ねた非常に弱い赤色光を用いた。

結 果

1. 自然光条件下での行動

$24.5 \pm 1^\circ\text{C}$ の自然日長室内での羽化、および羽化直後の成虫を 1 匹ずつ隔離した場合の行動を調べた。

雌成虫は日没前後に羽化した (Fig. 1-A)。羽化後 3 分ほど歩き回った後、垂直面に静止する。そして翅が伸びきり、屋根型に腹部をおおって本来の蛾の姿になるが、成虫に機械的刺激を与えない場合、それまでの時間は、羽化後平均約 29 (21—55) 分であった。その後の歩行および飛翔 (以後たんに運動とする) は、羽化後 1 時間半から 2 時間半に始まった。翌日の運動開始時刻は、日没後 30 分頃であった。コーリングポーズは薄明期中に始まり、日の出後 30 分頃までに終了した。コーリングポーズ前に若干の個体が運動するようであったが、そ

れほど明確でなかった。

雄成虫は、雌と同様日没前後に羽化し、羽化後 1 時間から 1 時間半に運動を始めた (Fig. 1-B)。その後、雌成虫がコーリングポーズを示すより少し早い時刻に、運動を再開した。これは、HIDAKA (1972) の報告した野外での活発な飛翔の時刻に相当する。翌日の運動開始は、雌と同様日没後 30 分前後であった。

雌雄 1 対を容器に入れると、翅の伸展後の運動は、羽化後 1 時間から 1 時間半頃に雌雄ほとんど同時に開始された (Fig. 2)。これは場所が狭いための相互の接触による場合もあるだろうが、単独においてもみられたように、その時間帯での運動性の高まりを示すと思われる。単独の場合と同様、コーリングポーズまたは交尾の前 2 時間頃にも運動がみられた。日の出前 30 分頃の薄明期に大多数の対が交尾し始めた。例外と思われるが、薄明期に交尾した後、その日の午後再び交尾した 1 例が観察された。翌日は、未交尾、既交尾にかかわらず、日没後 30 分頃に活発に運動を開始した。

2. 人工照明による活動の抑制

Fig. 2. Time of eclosion, movement and mating of male and female pairs under natural conditions of light (late July) at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$, approximately. $\odot$ —: mating. Male and female pairs are connected by a vertical line. See Fig. 1 for symbols.

次に、羽化および明から暗への変化の時刻と、雌成虫の羽化後の運動の関係を調べるため、自然の光条件下での羽化直後に人工照明下に移し、その後再び自然の光条件（暗）に移す処理を行った。

羽化直後から 20 時（日本標準時刻）まで明期に保った後に暗黒に移した場合、運動の開始時刻は羽化時刻によって異なった（Fig. 3—A）。すなわち、羽化後約 1 時間以上経過した後に明から暗に移すと、運動はその約 30 分後から始まる。ところが、羽化後 1 時間以内に明から暗に移すと、羽化から約 1 時間半後に運動を開始した。人工照明の時間を 22 時まで延長しても、自然条件（暗）に移してから 30 分頃に運動を開始した（Figs. 3—B and 4—A）。このことから、翅が伸びてから 1—2 時間で運動の準備態勢は完了するが光によって抑制され、その後に暗くなると解発されることがわかる。

3. コーリングポーズ解発の条件

羽化および明から暗への変化の時刻と、雌成虫のコーリングポーズの関係を調べるため、自然の光条件下で羽化した直後から明条件に保った後、22 時または翌日の 2 時に自然条件（暗）に移した場合のコーリングポーズの時刻を比較した。22 時に明から暗に移すと、コーリングポーズは日の出近辺にみられた（Fig. 4—A）。しかし、

その時刻は自然の光条件の場合（Fig. 1）より少し遅れる傾向がみられた。翌日の 2 時、すなわち日の出前 2 時間半に明から暗（自然条件）に移すと、薄明期にコーリングポーズはみられなかった（Fig. 4—B）。このことから、コーリングポーズは明から暗への変化またはそれによって解発される運動の後、一定時間の経過後に薄明条件によって解発されると思われる。

4. 薄明条件におけるコーリングの調節

コーリングポーズの時刻設定が、明から暗への変化を基準としているのか、それとも羽化または翅の伸展後の運動時刻を基準としているのかを明確にするため、羽化直後からまたはある期間の照明を与えた後に、コーリングポーズを抑制しない 1 lux 以下の人工照明に雌成虫を保ち、運動およびコーリングポーズを観察した。これは、コーリングポーズが 25°C 暗黒中では生じないためである（HIDAKA, 1977）。

まず羽化直後から人工薄明に保った場合、羽化後 2 時間頃に運動を始めた。その後も完全に静止せず、継続的に動く個体が多かった（Fig. 5）。コーリングポーズの時刻は、それほどはっきりしていないが、日没後 12 時間頃（前夜の運動の約 8 時間後）にみられた。そこで、コーリングポーズの時刻設定が運動の時刻によるのか、そ

Fig. 3. Effect of introduction of an artificial light period after eclosion on the activities of females at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$. LL: artificial light. See Fig. 1 for the other symbols.

れとも日没または人工薄明への移行によるのかを明確にするため、羽化後明条件を与え、20時、23時および翌日の2時に1 lux以下の恒常条件に移した。どの処理においても、1 lux以下の恒常条件に移した後1時間頃に運動が開始され、コーリングポーズは照度低下後12時間頃（前夜の運動後11時間頃）にみられた（Fig. 6）。運動からコーリングポーズまでの時間は、羽化後に明期を入れない区（Fig. 5）と入れた区（Fig. 6）とで異なるが、日没または人工薄明への移行からコーリングポーズまでの時間は、どの場合もほぼ一定である。このことから、明条件から人工薄明への移行が、明から暗への変

化と同じ効果を持っていると思われる、コーリングポーズの時刻設定に関与する反応は、光条件の変化によって始動する可能性が高い。Fig. 6—Aの運動時刻とコーリング時刻との間には $r=0.6430$ ($P<0.05$) の相関があったが、それ以外には羽化時刻も運動時刻もコーリング時刻との間に相関を示さなかった。これらのことから判断すると、羽化前に日没（明から暗への移行）がきても、それはコーリングポーズの時刻設定に対して有効に作用すると思われる。

考 察

以上の結果から考えられる恒温 ($24.5 \pm 1^\circ\text{C}$) でのアメリカシロヒトリの羽化後の成虫の行動の時間的変動パターンを Fig. 7 に模式的に示した。

成虫の羽化（A）後、翅が伸展した後の最初の運動（ B_1 ）は、羽化または明から暗あるいは少くとも1 lux以下への照度変化（以後これらをいずれも L-off として示す）のいずれかによって決められ、L-off の約1時間前を境として、それ以前に羽化した個体の運動は明条件によって抑制され、L-off によって解発される（ B_1 —a）。それ以後に羽化した個体は、L-off にかかわりなく羽化時刻から1時間半—2時間経過後に運動する（ B_1 —b）野外で羽化した夏世代の成虫は、20時（日本標準時刻）頃から飛翔し始め、1—2時間ほどさかんに飛び回り、23時頃にはほとんどが幼虫の餌食物の葉に止まることが HIDAKA (1972) によって報告されており、これは B_1 の運動に相当する。その後2時半—3時頃に再びしだいに活気づき、3時半すぎには雄成虫は活発に飛翔するが、雌成虫は静止している。この飛翔は B_2 に相当すると思われるが、この実験では雌雄共に運動する個体がみられ、性による差は顕著でなかった。 B_1 から B_2 までの時間帯において、Fig. 7(上) の条件下では少数が運動したが、Fig. 7(中・下) の条件下では B_1 から C（コーリングポーズの時刻）の間でこきざみに運動する個体が多くみられた。翌日の L-off 後の運動は B_3 に示したように、L-off 後30分頃に始まった。 B_1 —a も B_3 も L-off による解発と考えられるが、L-off から運動開始までの時間が異っている。 B_1 での運動も、人工照明によって抑制されると、L-off 後30分頃に始まる（Fig. 7—下）。これは、L-off の運動解発に対する作用が、成虫の生理状態によって異なるためではないかと思われる。

Fig. 7(上) の条件におけるコーリングポーズおよび交尾（C）は、薄明への移行によって解発されるようで

Fig. 4. Effect of introduction of an artificial light period after eclosion on the activities of females at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$. See Figs. 1 and 3 for symbols.

Fig. 5. Activities of females under continuous dim illumination (less than 1 lux) after eclosion at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$. : dim light. See Fig. 1 for the other symbols.

ある。しかし、薄明の効果は、L-off 後の経過時間によって異っており、L-off 後4—6時間(D)が必要なのではないかと考えられる。しかし、これは Fig. 4 からの推察であり、今後さらに詳細に調査したい。

アメリカシロヒトリのコーリングポーズや交尾は、自然条件において温度が $18-20^\circ\text{C}$ 以下に低下すれば、日

暮れ、真夜中、夜明けのいつでも観察される (HIDAKA, 1977)。また 25°C 暗黒中ではコーリングポーズは解発されないが、 25°C から 15°C へ温度が低下した場合、不休眠世代の成虫は全暗中でもコーリングポーズを示すことから、コーリングポーズや交尾行動の主要な解発要因は温度であると HIDAKA (1977) は結論した。はたし

Fig. 6. Activities of females under continuous dim illumination after exposure to artificial light from eclosion to 20:00 (A), 23:00 (B) or 2:00 (C) at $24.5 \pm 1^\circ\text{C}$. See Figs 1, 3 and 5 for symbols.

てコーリングポーズは、たんに環境変化の刺激によって解発されるだけなのであろうか。Fig. 7 (上)に示したように、コーリングポーズの解発に対する薄明の効果は、L-off 後一定時間が経過しないと生じない。HIDAKA (1977)によると、薄明期において交尾行動が解発されるには、羽化後少なくとも8時間の暗期が必要であるとしている。したがって、何らかの測時機構の関与が考えられる。それは、Fig. 7 (中・下)によって一層明確に示されている。すなわち、L-off のほぼ12時間後にコーリングポーズが観察される。たとえL-off 後に羽化しても、コーリングポーズの時刻はL-off からの経過時間によって決まるようである。しかし、羽化後に明条件が与えら

れると、2回目のL-off から測時を始め、それ以前のL-off によって作動した測時機構は、明条件に移されることによって再設定されると思われる。

アメリカシロヒトリの羽化時刻が光周期や温度周期によって決定され、それにはサーカディアン振動系が関与していることが示された (HIRAI, 1969, 1972)。運動やコーリングポーズの自由継続リズムの周期については調べなかったが、それらの時刻の決定にも測時機構が関与しているのではなかろうか。運動の開始は羽化時刻の規制を受けるが、明条件によって抑制され、暗条件への移行によって解発される。コーリングポーズも、羽化時刻を設定するL-off シグナルによって調節される測時系と

Fig. 7. Diagrammatic representation of the daily sequence of activities. The upper panel shows the sequence of behaviors under natural conditions of light at a constant temperature ($24.5 \pm 1^\circ\text{C}$) approximately and the middle and bottom panels in the continuous dim illumination. A: eclosion. B: moving activities. C: calling pose or mating. D: the time zone in which the calling pose is triggered by dim light. For further explanation see text.

密接に関連している可能性が強い。

しかし、環境変化に対する反応性は行動によって異なるから、それらの相互関係について論じることはむずかし

い。すなわち、自然条件から暗期への移行の時刻を前進させると、その程度によって L-off 後に生じる羽化の同調性が異なり、6 時間以上ではもはや新しい条件に同

調できない (HIRAI, 1969)。羽化は、直前の環境変化にある程度まで対応できるが、その限度を越えると新しい条件に同調するためには数回の環境周期のくりかえしが必要である。また全明に移されると羽化の同時化はみられず、明条件による羽化の抑制は完全ではなく、羽化する個体もある (HIRAI, 1969)。他方、運動は直前の環境変化にすぐに対応でき、明条件では完全に抑制され、L-off 後一定時間の経過後に生じる。コーリングポーズも、1 lux 以下の恒常条件への移行から一定時間の後に生じる。したがって、これらの行動を指示する測時系と羽化の測時系がまったく別のものなのか、それとも密接な関連はあるが、たんに環境変化に対する反応性が異なるだけなのかを判定することは困難である。このような現象は、ノシメダラメイガ *Plodia interpunctella* のコーリングポーズや運動においてもみられた (新井, 印刷中)。これらの機構の関連については、今後より詳細に調べねばならないが、いずれにしても測時系による調節は、成虫の生存期間が短い種において、配偶行動の斉一化をすみやかに進行させ、種の維持をはかるうえで非常に有利であると思われる。

摘 要

アメリカシロヒトリの成虫の行動時刻の決定に関与する光条件の影響について調べた。

24.5±1°C、自然日長条件下において、羽化は日没前後にみられた。その後の成虫の運動は、羽化後 1—2 時間半および日の出前 30 分—2 時間にみられた。翌日の運動開始は、日没後 30 分頃であった。雌成虫のコーリングポーズは、薄明期中に始まり日の出後 30 分までに終了した。雌雄を対にすると、日の出前 30 分頃に交尾を開始した。

自然の光条件下で羽化した成虫に人工照明を与え、その後自然条件 (暗) に移した場合、暗条件への移行後 30 分ほどで運動が解発される。羽化後 1 時間以内に暗条件に移すと、羽化の 1 時間半から 2 時間後に運動が始まった。

日の出 2 時間半前まで明条件においた後自然の光条件に移すと、薄明期でのコーリングポーズはみられないが、6 時間半前の移しかえではみられた。

日没後に羽化した雌をただちに 1 lux 以下の人工薄明におくと、コーリングポーズは日没から 12 時間目頃にみられた。羽化後いったん明条件においた後に人工薄明に移すと、コーリングポーズはその約 12 時間後にみられた。

引用文献

- 新井哲夫 (1979) ノシメダラメイガの諸行動の日周期性に対する光周期の影響。日生態会誌 29 (印刷中)。
HIDAKA, T. (1972) Biology of *Hyphantria cunea* DRURY (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. XIV. Mating behavior. Appl. Ent. Zool. 7: 116—132.
HIDAKA, T. (1977) Mating behavior. In: Adaptation and speciation in the fall webworm (HIDAKA, T. ed.), Tokyo: Kodansha, pp. 81—110.
HIRAI, Y. (1969) Biology of *Hyphantria cunea* DRURY (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. VIII. Experimental studies of the timing mechanism of adult eclosion. Appl. Ent. Zool. 4: 42—50.
HIRAI, Y. (1972) Biology of *Hyphantria cunea* DRURY (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. XIII. Temperature drop as a time cue for adult eclosion. Appl. Ent. Zool. 7: 52—60.