

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：31307

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25440244

研究課題名(和文) 羽化リズムに関わる温度較差反応の普遍性を探る

研究課題名(英文) How commonly amplitude dependent phase shift of adult eclosion timing occurred in insects?

研究代表者

田中 一裕 (Tanaka, kazuhiko)

宮城学院女子大学・学芸学部・教授

研究者番号：00316415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、温度較差反応が地上で蛹化する昆虫の羽化時刻決定にも使われているのかどうか、羽化リズムだけでなく孵化リズムにも関わっているのかどうかを検証することにある。地上で蛹化するキイロショウジョウバエとカイコガでは、較差が小さいほど羽化が早くなることが明らかになった。これらの事実は、この反応が単に地中の特異な温度環境に対する適応というよりも羽化時計が本来持つ特性であることを強く示唆している。孵化リズムについてもヒメギス類を対象に温度較差反応の有無を検討したが、孵化率が悪く、十分なデータが得られなかった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to determine 1) if amplitude dependent phase shift of adult eclosion rhythm is found in insects pupating above the ground and 2) in the egg hatching rhythm. In both the fruit fly (*D. melanogaster*) and the silk moth (*B. mori*), the insects pupated above the ground, the adult eclosion occurred earlier with decreasing temperature amplitude. These observations strongly suggest that amplitude dependent phase shift of adult eclosion timing is based on mechanistic properties of the eclosion clock.

We analyzed katydids hatching rhythm under thermoperiods with different temperature amplitude, but failed to obtain the data. This is at least in part due to the lower hatchability of eggs collected in the field.

研究分野：生理生態学

キーワード：羽化リズム 温度較差 カイコ ショウジョウバエ

1. 研究開始当初の背景

昆虫の羽化時刻は概日時計によって制御されている (Saunders, 2002). 概日時計の同調因子としてもっとも強いのは光であるが, 温度も重要な同調因子となる. 土中のような光が届かない環境では, 地温の日周期変化こそが唯一の時刻信号である. これまでの昆虫の概日時計に関する研究は同調因子としての光の役割に注目しすぎたきらいがあり, 同調因子としての温度周期の役割に焦点をあてた研究は少なかった. しかし近年になって, 自然条件下を意識した研究, すなわち光だけでなくそれ以外の時刻信号 (温度等) も日々刻々と変化しながら概日時計の位相調節を行っていることを意識した研究が増えており, 時刻信号としての温度変化の役割にもようやく光が当たるようになってきた.

これまでの研究から, 土中で蛹化する昆虫の多くは地温の日周期変化を時刻信号として羽化時刻を決めていることがわかっている. しかしながら, 地温の日周期変化は時刻信号としてはノイズが多い. 土の熱伝導率は低いので, 地温の上昇開始時刻 (地温における夜明け) は土深が深くなるほど遅くなる. もしも蛹が単純に地温の上昇開始を朝とみなして羽化を始めるのであれば, 土中深くにいる蛹ほど羽化が遅れることになる. しかし, これは野外観察の結果と一致しない. 自然条件下では, たとえ蛹化深度が違って, 蛹はほぼ同じ時間帯に一齐に羽化する. このことは, 彼らが土深に伴う夜明け信号の遅れを何らかの方法で補正していることを示唆している. 2002年, われわれは早朝に羽化するタマネギバエが地温の日較差を利用して土深に伴う時刻信号の遅れを補正していることを発見した. 温度較差が小さくなるほど羽化時刻をはやめるのである. 自然条件下において, 地温の日較差は, 土深が深くなるほど小さくなる. 小さな温度較差のもとで羽化が早まるという特性は, 土深に伴う夜明け信号の

遅れを補正し, 蛹化深度とは無関係に適切な時間帯に羽化することを保障する仕組みとして機能する, と考えられた (Tanaka & Watari, Naturwissenschaften, 2003). この反応を「温度較差反応」と呼ぶことにした.

土中ではタマネギバエだけでなく, さまざまな昆虫が蛹化する. もしも, 彼らの蛹化深度も多かれ少なかればつくのであれば, 温度較差をもちいた羽化時刻の補正は羽化直後の成虫が適切な時間帯に地上にでるうえで不可欠であろう. 検討はまだ始まったばかりだが, 同じく土中で蛹化するハエ類 (シリアカニクバエ) や蛾類 (ヨトウガ) も温度較差反応をもつことが明らかになっている (Miyazaki et al., 2011, Tanaka et al., 2013). これらの事実は, 温度較差反応が土中で蛹化する昆虫のあいだにひろく存在することを示唆している.

2. 研究の目的

地温の日周期変化は土中で蛹化する昆虫の羽化時刻を決める主要因であるが, 時刻信号としてはノイズが多い. 土の熱伝導率は低いので, 地温の上昇開始時刻は土深が深くなるほど遅くなる. 土中で蛹化する昆虫たちは, 土深に伴う時刻信号の遅れを地温の日較差をもとに補正していた. 温度較差が小さいほどはやめに羽化するのである. これが温度較差反応である. 本研究の目的は, 温度較差反応が地上で蛹化する昆虫の羽化時刻決定にも使われているのかどうか, 羽化リズムだけでなく孵化リズムにも関わっているのかどうかを検証することで, この反応の普遍性と特殊性を明らかにすることにある.

2. 研究の方法

(1) 地上蛹化種の羽化リズムにも温度較差反応が関わっているかを探る

我々はこれまで地中で蛹化する種でのみ温度較差反応の調査を行ってきた. 本研究では, これに加えて地上部で蛹化する種も羽化

時刻の決定に際して温度較差を示すかどうかを検証する。材料としては飼育が容易なカイコガ、キイロショウジョウバエ、休眠蛹の入手が容易なキンモンホソガを用いた。本来、種間比較は種の系統関係を考慮して行うのが理想であるが、系統が近い種は同じような場所で蛹化する傾向があり、現時点では蛹化場所が大きく異なる（地上か地中か）近縁種の適切な組み合わせを見出せなかった。そこで本研究では、飼育の容易さを基準に供試材料を決めた。

(2) 孵化リズムにも温度較差反応が関わっているかを探る

孵化リズムと同様、孵化リズムにも温度較差反応が見られるかどうかを、地中に比較的大型の卵を産むヒメギス類（コバネヒメギス）を材料に調べる。

4. 研究成果

(1) 地上蛹化種の孵化リズムにも温度較差反応が関わっているかを探る

カイコ、キイロショウジョウバエおよびキンモンホソガの蛹を全暗・較差が異なる温度周期の下に置いて孵化リズムの解析を行った。カイコでは、温度較差が 3 以上の場合に、明瞭な孵化ピークが現れること、温度較差が小さいほど孵化が早くなることが明らかになった。この事実は、温度較差反応が蛹化場所に関係なく孵化時計が本来持つ特性であることを示唆している。この実験は平均温度を 25 に固定して行った。そのため温度較差が小さくなるほど高温相の温度は低くなり、低温相の温度は高くなった。温度較差ではなく、低い高温相の温度もしくは高い低温相の温度が孵化をはやめた可能性を否定できない。そこで、高温相あるいは低温相の温度を固定した場合でも温度較差に応じて孵化が早まるのかどうかを確認する実験を現在継続中である。

全明条件下で育てたキイロショウジョウ

バエの蛹を全暗・較差が異なる温度サイクル下において孵化時刻を比較したところ、本種においても温度較差が小さいほど孵化時刻が前進する傾向がみられた。しかしながら、本種の孵化時刻は蛹期の温度サイクルだけでなく、蛹期初期の明から暗への移し替えの影響も強く受ける。そのため、本種における温度較差反応の存在をきちんと証明するためには、蛹期の温度サイクルの効果と明から暗への移し替えの効果を明確に分離しなければならない。現在、両者の効果を分離するタイプの実験を継続中である。

キンモンホソガについては、低温処理を終えた蛹をアクトグラフにセットしたものの、ほとんど孵化しなかった。休眠打破に失敗したのかもしれない。

(2) 孵化リズムにも温度較差反応が関わっているかを探る

コバネヒメギスの休眠卵を低温処理した後、さまざまな温度周期の下に置いて孵化時刻を比較した。しかしながら、低温処理による休眠打破がうまくいかなかったのか、ほとんど孵化せず、十分な量のデータを得ることはできなかった。

いくつか失敗もあったものの、温度較差反応が地中蛹化種にだけみられる特性ではないこと、蛹化場所とは無関係に昆虫のあいだでひろくみられる特性である可能性が高いことは明らかになった。これらの事実は、温度較差反応は土中環境への適応機構というよりも概日時計が本来もつ仕組みに由来する特性であることを強く示唆している。今後、温度較差反応の適応的意義について、再検討が必要になりそうである。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Miyazaki, Y., Watari, Y., Tanaka, K. & Goto S. The amplitude of the temperature cycle alters the adult eclosion time and the expression pattern of the circadian clock gene *period* in the onion fly. *Journal of Insect Physiology*, 査読有, 86 巻, 2016, 54-59.

DOI: 10.1016/j.jinsphys.2016.01.002
渡康彦, 斎藤治, 田中一裕. アクトグラフを用いたタマネギバエの自然条件下での歩行活動の記録 - 小学校理科教育での応用の可能性 -. 芦屋大学論叢, 査読有, 63 巻, 2015, 27-35 頁.

Watari, Y. & Tanaka, K. Effects of background light conditions on thermoperiodic eclosion rhythm of the onion fly, *Delia antiqua*. *Entomological Science*. 査読有, 17 巻, 2014, 191-197.

DOI: 10.1111/ens.12034

〔学会発表〕(計 12 件)

田中一裕, 渡康彦. 温度較差がカイコの羽化時刻におよぼす影響(). 日本応用動物昆虫学会 & 日本昆虫学会合同大会, 2016 年 3 月 28 日, 大阪府立大学(大阪府堺市).

田中一裕, 渡康彦. 温度較差がカイコの羽化時刻におよぼす影響. 日本昆虫学会, 2015 年 9 月 21 日, 九州大学(福岡県福岡市).

田中一裕. 温度較差がカイコの羽化時刻におよぼす影響. 日本昆虫学会東北支部会, 2015 年 7 月 15 日, レイクサイドみなとや(福島県猪苗代町).

田中一裕, 渡康彦. 地上で蛹化するキイロショウジョウバエも温度較差を用いて羽化時刻を補正するか. 日本昆虫学会, 2014 年 9 月 16 日, 広島大学(広島県東広島市).

田中一裕. 温度較差がキイロショウジョウバエの羽化時刻におよぼす影響. 日本昆虫学会東北支部会, 2014 年 7 月 26 日, 弘前大学白神自然観察園(青森県中津軽郡西目屋村).

〔図書〕(計 1 件)

沼田他, 北隆館, 昆虫の時計 - 分子から野外まで -, 2014, 245.

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中一裕 (TANAKA Kazuhiro)
宮城学院女子大学・一般教育部・教授
研究者番号: 00316415

(2) 研究分担者

渡康彦 (WATARI Yasuhiko)
芦屋大学・臨床教育学部・教授
研究者番号: 80240539

(3) 連携研究者

()

研究者番号: