

飼育温度とカブトムシの成長 パート9. 雌雄で異なる休眠の温度反応

土浦日本大学中等教育学校 4年 池田拓実



研究の背景

カブトムシ (*Trypoxylus dichotomus*) はコガネムシ科カブトムシ属の昆虫であり、寿命はおおよそ1年で、そのうち11ヶ月は幼虫として土の中で過ごす (図1)。3齢幼虫期に休眠して越冬することが知られている (山中・藤山 1994、小島 2019)。

小学1年生の時に、カブトムシの幼虫を近くの公園で見つけ、家に持ち帰り、場所を変えて飼育したところ、寒い部屋よりも暖かい部屋で飼育した幼虫の方が早く羽化した。この結果がおもしろかったので、飼育温度とカブトムシ幼虫の発育の関係に興味を持ち、パネルヒーターや冷蔵庫を使って飼育温度を変える実験を始めて9年になる。その結果、**高温(おおよそ25℃)で幼虫を飼育すると、オスよりメスの方が早く羽化する「羽化ずれ」が起こる**ことを発見した。羽化ずれは最大で2ヶ月にも及んだため、**温暖化が進むとオスとメスが出会えなくなる可能性がある**。そこで、この羽化ずれが起こる仕組みを明らかにする研究に取り組んだ。



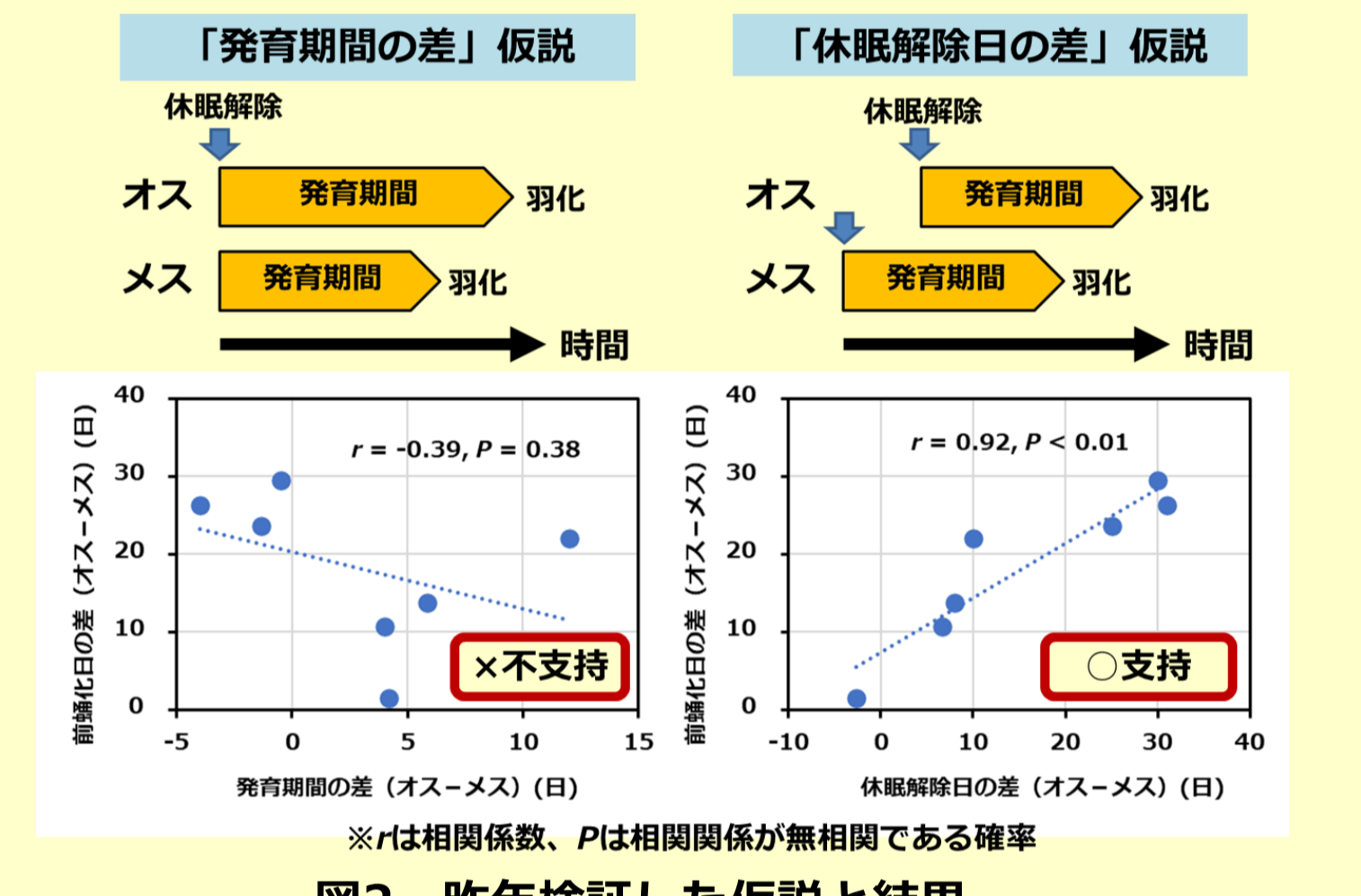
図1. カブトムシの一生。休眠とは成長や活動の一時的な停止 (巖佐ほか編 2013)

研究1「休眠解除日の差」仮説の再検証

(1) 目的

昨年は室温から25℃に昇温する飼育実験を行い、高温による羽化ずれを説明する2つの仮説を検証した (図2)。その結果、前蛹化日の雌雄差は発育期間 (休眠解除日～前蛹化日) の雌雄差では説明されなかったが、休眠解除日の雌雄差で説明された。したがって、**幼虫を25℃で飼育すると、発育をそえる休眠の調節が働かないため、メスの方がオスより早く休眠が解除されて発育を開始してしまうことにより羽化ずれが起こると考えられた**。

今年には**設定温度を5段階に増やした飼育実験**を行い、休眠の調節が働かなくなる温度条件を明らかにし、「休眠解除日の差」仮説を再検証する。



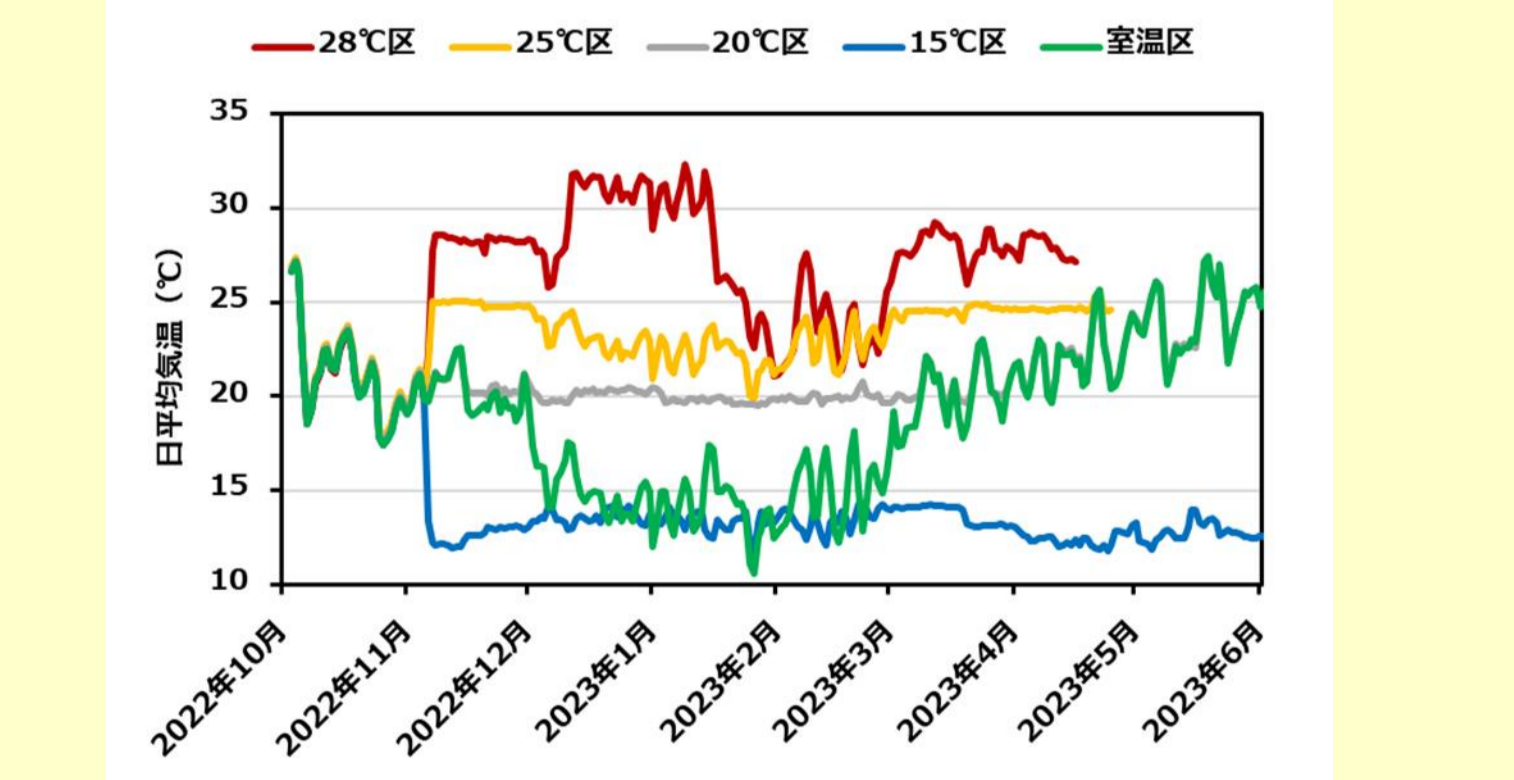
(2) 方法

つくば市のクヌギ林でメスの成虫を採集し、産卵させ、孵化した幼虫を使用した。ガラスビン (475mL) に飼育マット (腐葉土) と3齢幼虫を1匹ずつ入れ、発泡スチロール製の飼育箱にオス、メスそれぞれ5匹を置いた。飼育箱は飼育温度を5段階 (室温、15℃、20℃、25℃、28℃) に設定、2022年11月6日からヒーターで加温に設定し、幼虫の体重を月1回測定し、発育を観察した。飼育箱の気温は、1時間ごとに自動記録した。

昨年の自由研究で推定した発育ゼロ点T0 (オス: 12℃、メス: 7℃) と有効積算温度定数K (オス: 902℃・日、メス: 1274℃・日) を今年の飼育箱の日平均気温データに適用し、日平均気温からT0を差し引いた有効温度を前蛹化日からさかのぼって足し合わせていき、Kの値を超えた日を休眠解除日とした。発育期間は、休眠解除日から前蛹化日までの日数を発育期間とした。

(3) 結果と考察

2022年11月にヒーターによる加温を始めると、すぐに日平均気温が変化した (図3)。今年の春は例年より暖かく、室温区 (ヒーターなし) の日平均気温は3月以降、20℃を超える日が見られた。



25℃区と28℃区の体重増加は10月で停止したが、それ以外の温度区では11月まで体重が増加した (図4)。飼育温度が高いほど、休眠開始日が早い可能性がある。

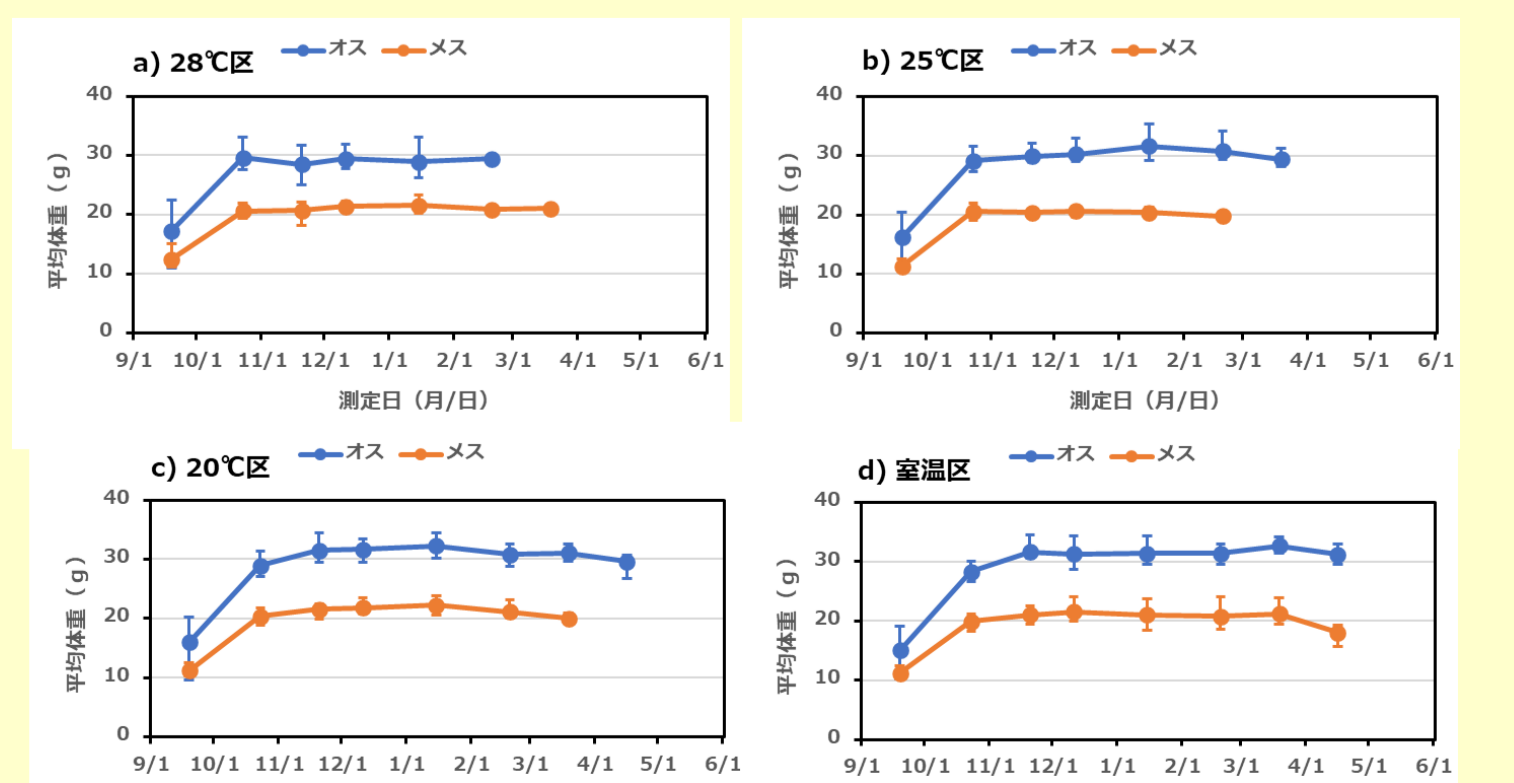
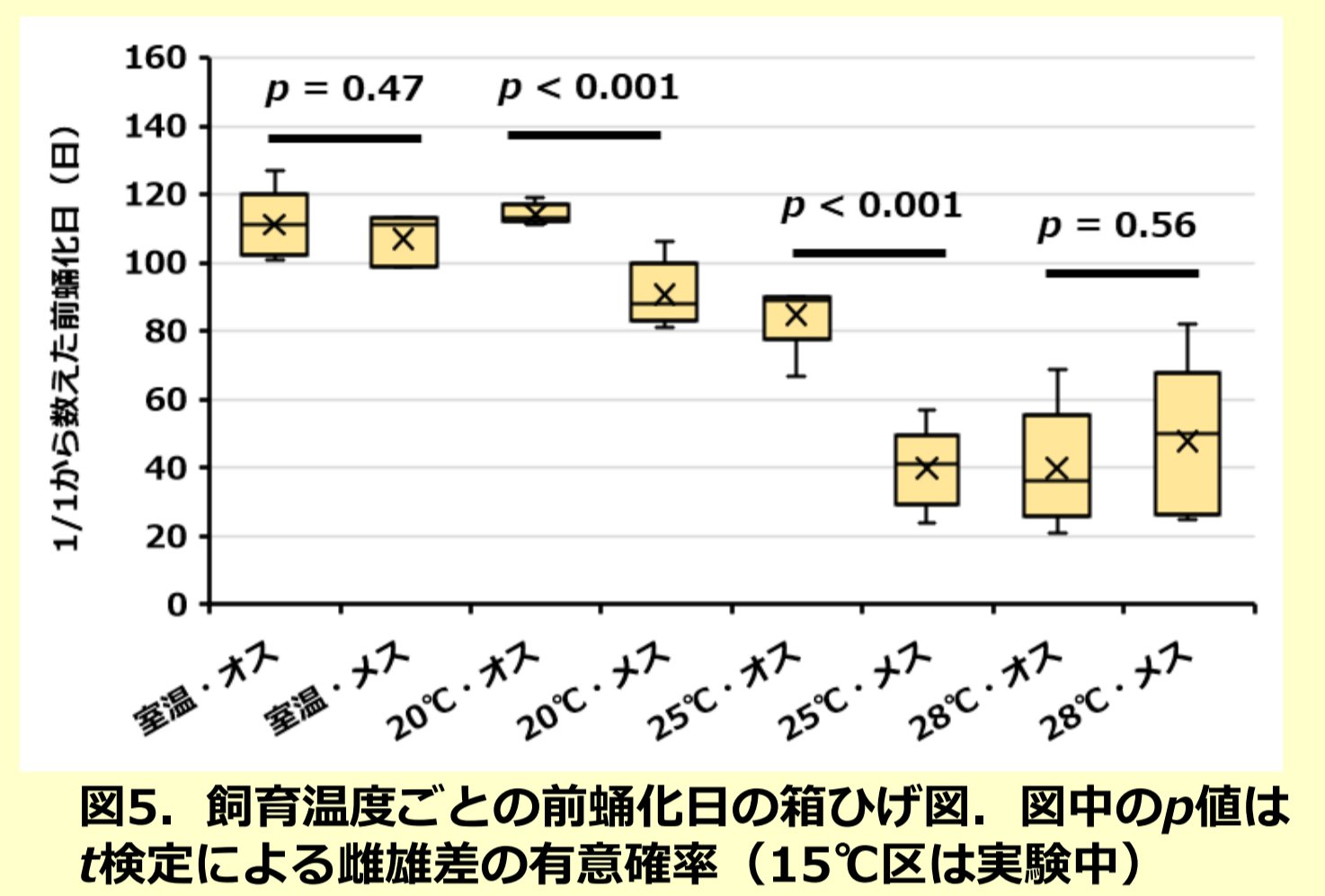


図4. 幼虫の体重変化(15℃区は実験中)。エラーバーは最大値と最小値

20℃区と25℃区の前蛹化日はメスの方がオスより早く、その雌雄差は統計的に有意だった (図5)。しかし、**室温区と28℃区では有意な雌雄差が見られなかった**。したがって、飼育温度が高いほど発育がずれるわけではないと考えられた。



発育期間は、室温区以外の加温区ではほとんど雌雄差が見られなかった (図6)。加温区の結果は、昨年と同じだった。

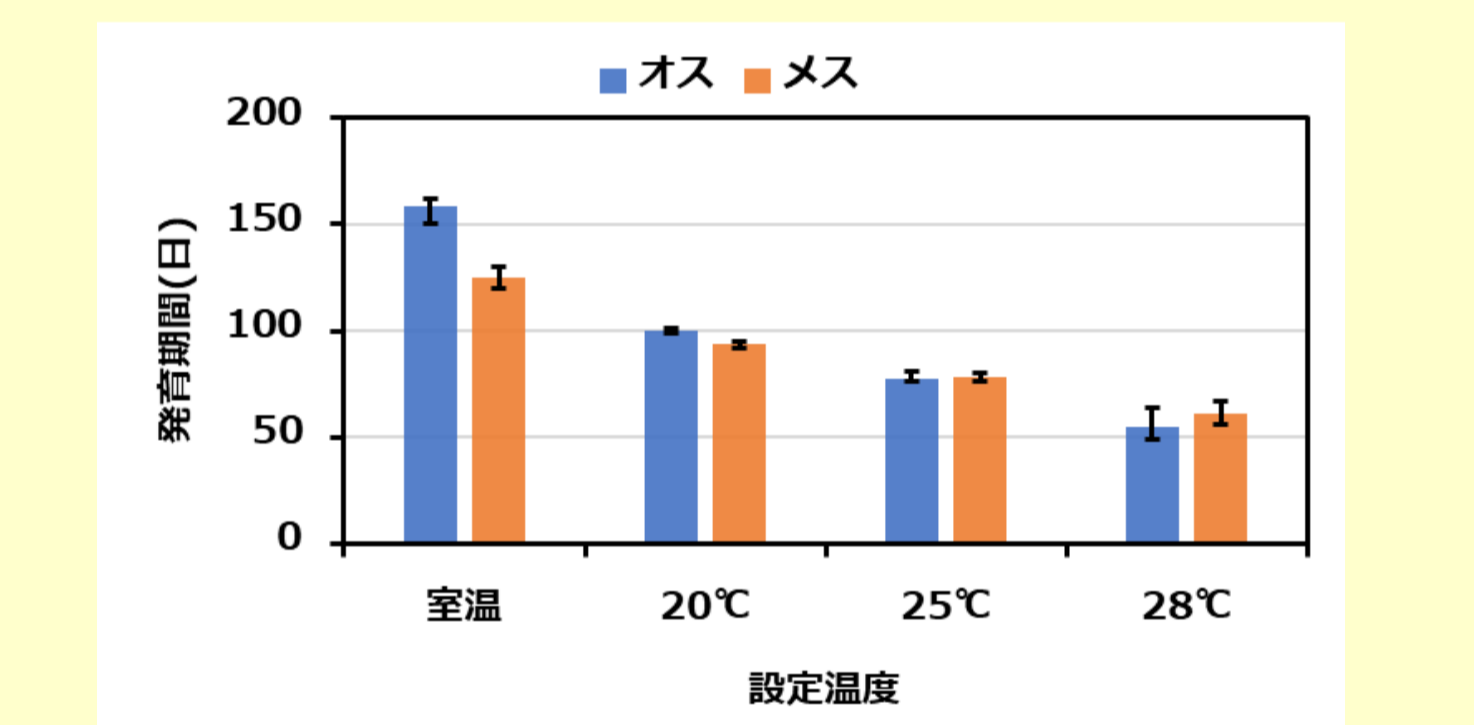


図6. 昨年の有効積算温度で推定した発育期間 (休眠解除～前蛹化)。エラーバーは最大値と最小値

休眠解除日は、前蛹化日に雌雄差が見られた20℃区と25℃区で、メスの方がオスより早かった (図7)。25℃区の結果は、昨年と同じだった。

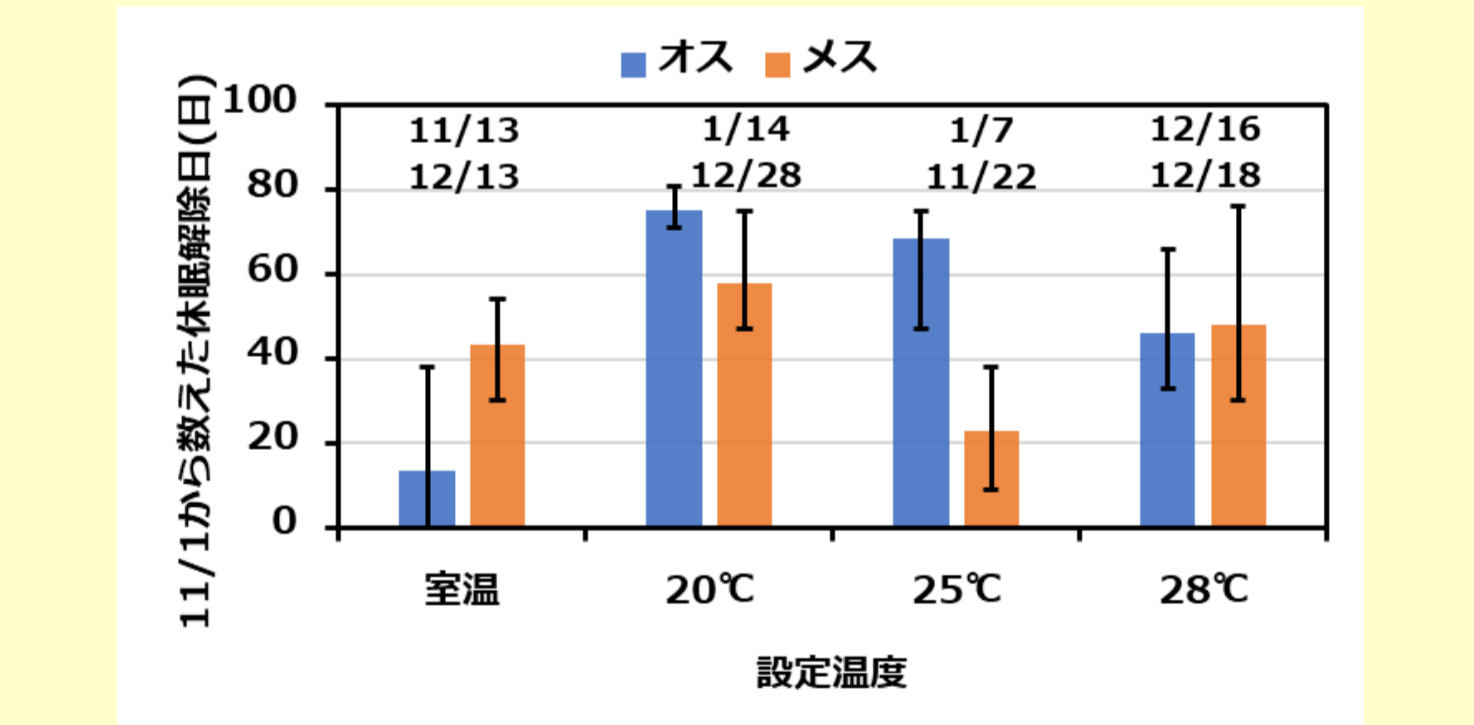


図7. 昨年の有効積算温度で推定した休眠解除日。エラーバーは最大値と最小値。図中の日付は上段がオス、下段がメスの休眠解除日

発育期間の雌雄差 (図8a) も、休眠解除日の雌雄差 (図8b) も、前蛹化日の雌雄差との相関関係は有意でなかった。したがって、「発育期間の差」仮説も「休眠解除日の差」仮説も支持されなかった。しかし、室温区のオスの休眠解除日が11月13日と早すぎるため (図7)、室温区の雌雄差も大きくなった (図8)。年が異なると室温区の温度も異なるため、**昨年の有効積算温度を今年の発育の推定には利用できない可能性が高い**と考えられた。

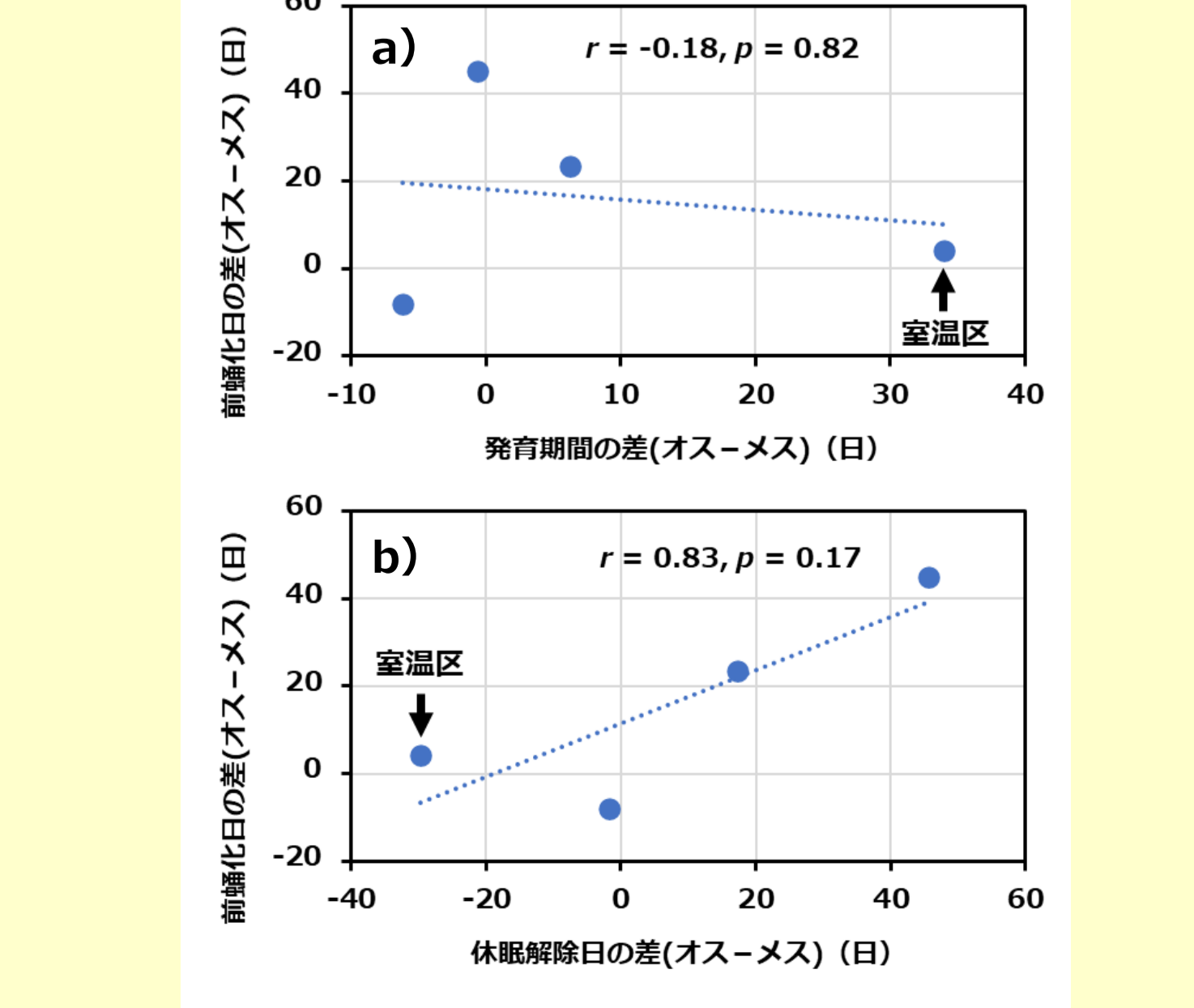


図8. 発育期間の雌雄差 (a) または休眠解除日の雌雄差 (b) と前蛹化日の雌雄差の関係。rは相関係数、pは相関関係が無相関である確率を表す。

研究2「休眠期間の雌雄差」仮説の検証

(1) 目的

幼虫の休眠は、越冬の準備をしていると考えられる (巖佐ほか編 2013)。しかし、高温で飼育すると休眠が不要と判断され、早期に打ち切られる可能性がある。この考えに基づくと、高温による羽化ずれは「飼育温度が高いほど、休眠期間はオスよりメスの方が短くなる」とする「**休眠期間の雌雄差**」仮説で説明できる (図9)。そこで、研究1の実験結果を解析し、この仮説を検証することを目的とした。

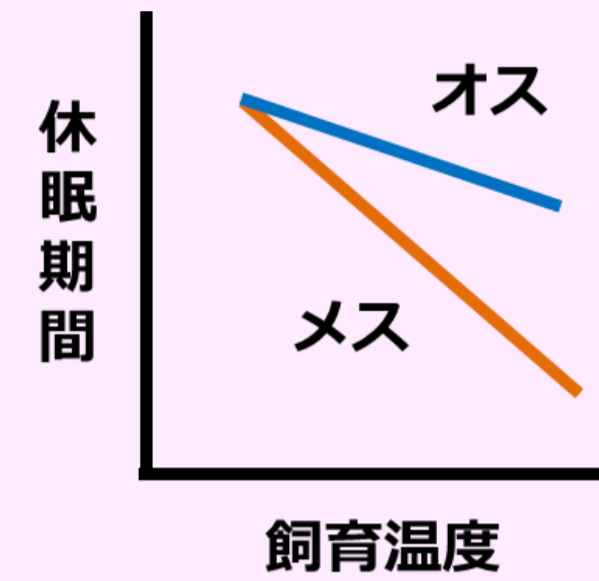


図9. 「休眠期間の雌雄差」仮説のイメージ

(2) 方法

休眠中は摂食活動が止まるため (巖佐ほか編 2013)、体重も変化しなくなると考えられる。そこで、体重を測定した期間のうち、体重の増加が0.5g未満となった期間の始まりの日を休眠開始日として、研究1で推定した休眠解除日までの日数を休眠期間とした。

休眠期間を飼育温度ごとにまとめた結果、**有効積算温度による休眠期間の推定が不正確**と考えられたため、発育期間の代わりに2023年1月1日から前蛹化日までの日平均気温の期間平均値を幼虫ごとに計算して、発育に影響する飼育温度とした。次に、飼育温度と前蛹化日の関係を直線回帰した。これまでの自由研究により、前蛹化日は主として飼育温度と休眠の影響を受けると考えられるので、回帰直線は飼育温度による変化を、「**回帰直線からのずれ**」は飼育温度以外の要因である休眠による変化を表すと考えた。得られた回帰式で各データの飼育温度から前蛹化日の理論値を計算し、理論値と実測値の差 (理論値 - 実測値) を「回帰直線からのずれ」として休眠期間の変化を考察した。

(3) 結果と考察

加温区の休眠期間は、どの飼育温度でも大きく変動し、休眠期間に雌雄差は見られなかった (図10)。一方、室温区の休眠期間は統計的に有意な雌雄差が見られた。しかし、室温区のオスの休眠期間は多くがマイナスの値を示し、最も休眠を必要とするはずの室温区で休眠しなかったことを意味するため、**休眠期間が正しく推定できていないと考えられた**。

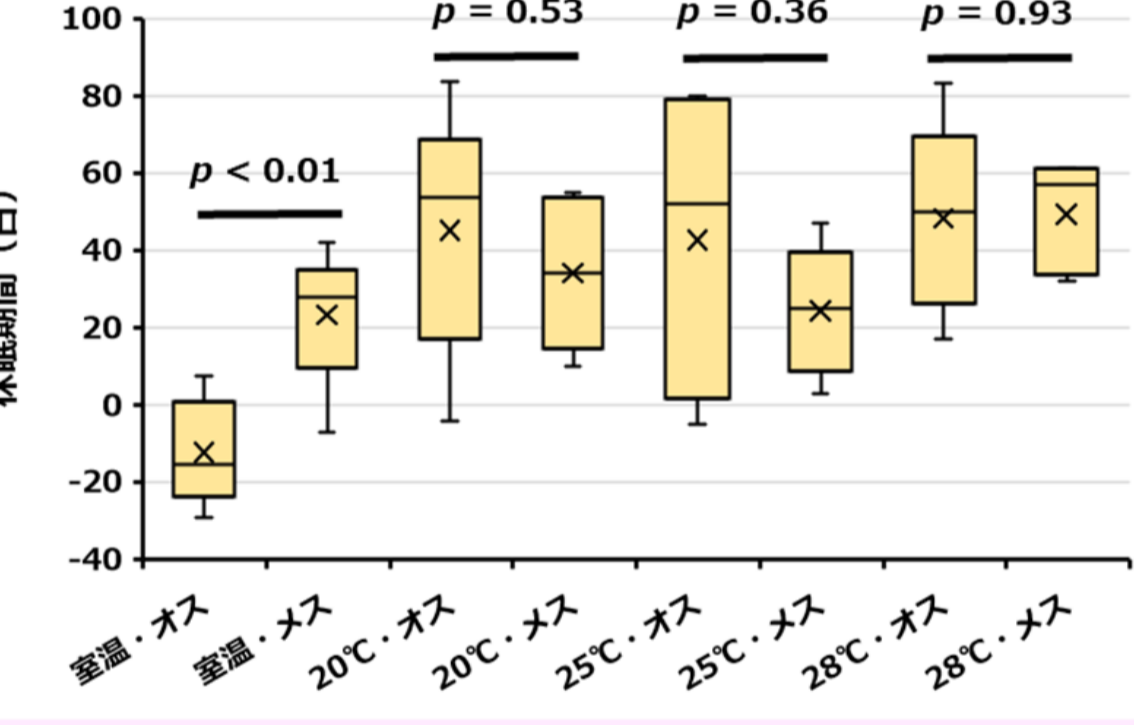


図10. 飼育温度ごとの休眠期間の箱ひげ図。図中のp値はt検定による雌雄差の有意確率

休眠期間を正確に推定できなかったため、代わりに飼育箱の平均気温 (1月1日から前蛹化日まで) と前蛹化日の関係をグラフにした (図11)。オスもメスも前蛹化日は平均気温が高いほど早くなるという明瞭な直線関係を示したが、決定係数 (R²) はオスよりメスの方が低かった。図中の回帰直線からのずれは飼育温度以外の要因である休眠による前蛹化日の変化と考えられるため、主として正の方向 (↑) へのずれは休眠の長期化、負の方向 (↓) へのずれは休眠の短期化を表すと考え、回帰直線からのずれを計算して、休眠期間の変化を推定した。

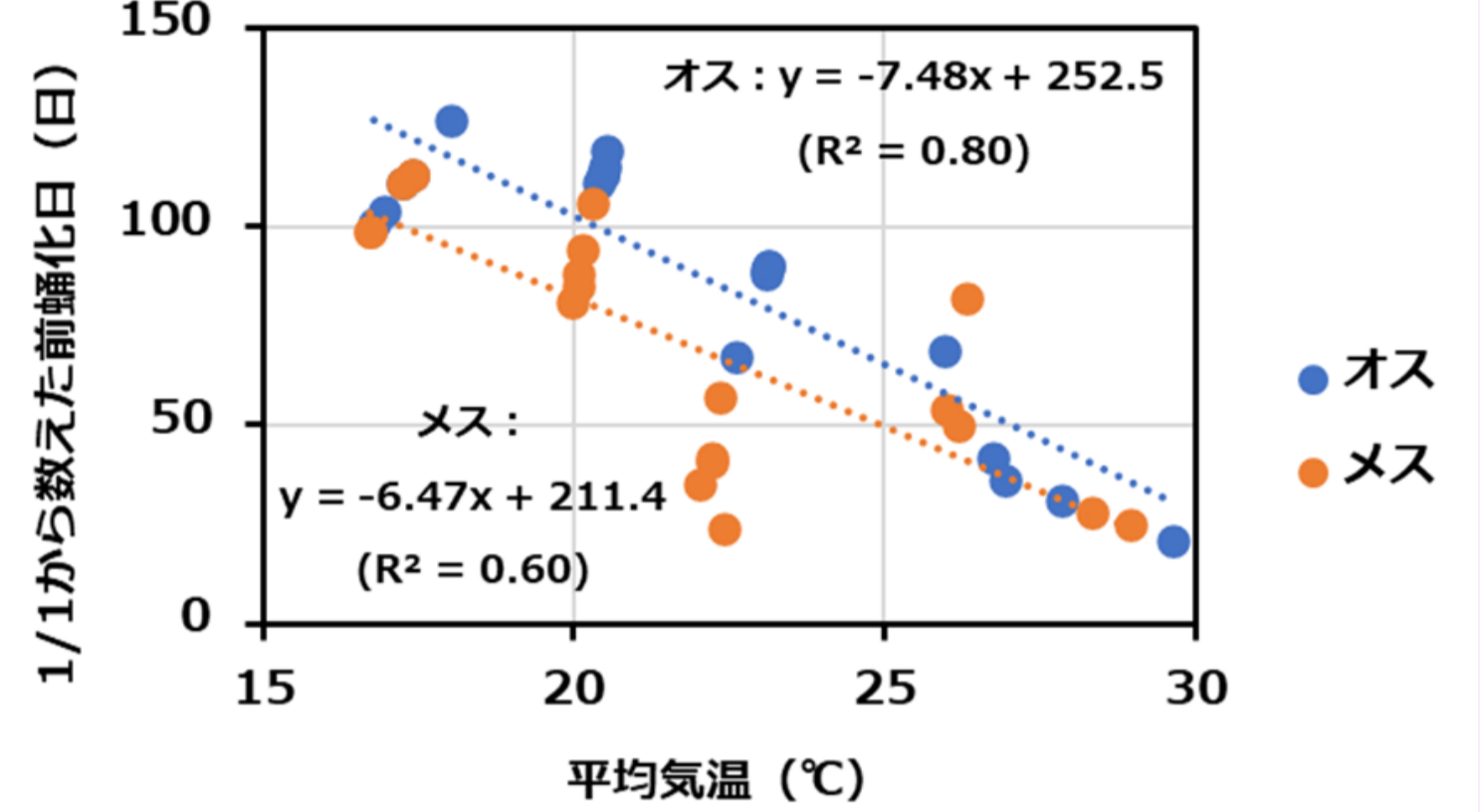


図11. 飼育箱の平均気温と前蛹化日の関係。図中の式は直線回帰式、R²は決定係数

前蛹化日の回帰直線からのずれを図12に示す。オスの前蛹化日は、20℃区で回帰直線から正の方向にずれしており、有意に**休眠期間が長期化**したと考えられた (図12a)。メスの前蛹化日は、25℃区で回帰直線から負の方向にずれしており、有意に**休眠期間が短期化**したと考えられた (図12b)。したがって、飼育温度に対する休眠の反応の雌雄差が20℃区と25℃区に限られていた点では、「**休眠期間の雌雄差**」仮説は支持されなかった。しかし、前蛹化日の雌雄差が雌雄で正反対の休眠期間の変化によって説明された点では、**同仮説が支持された**。

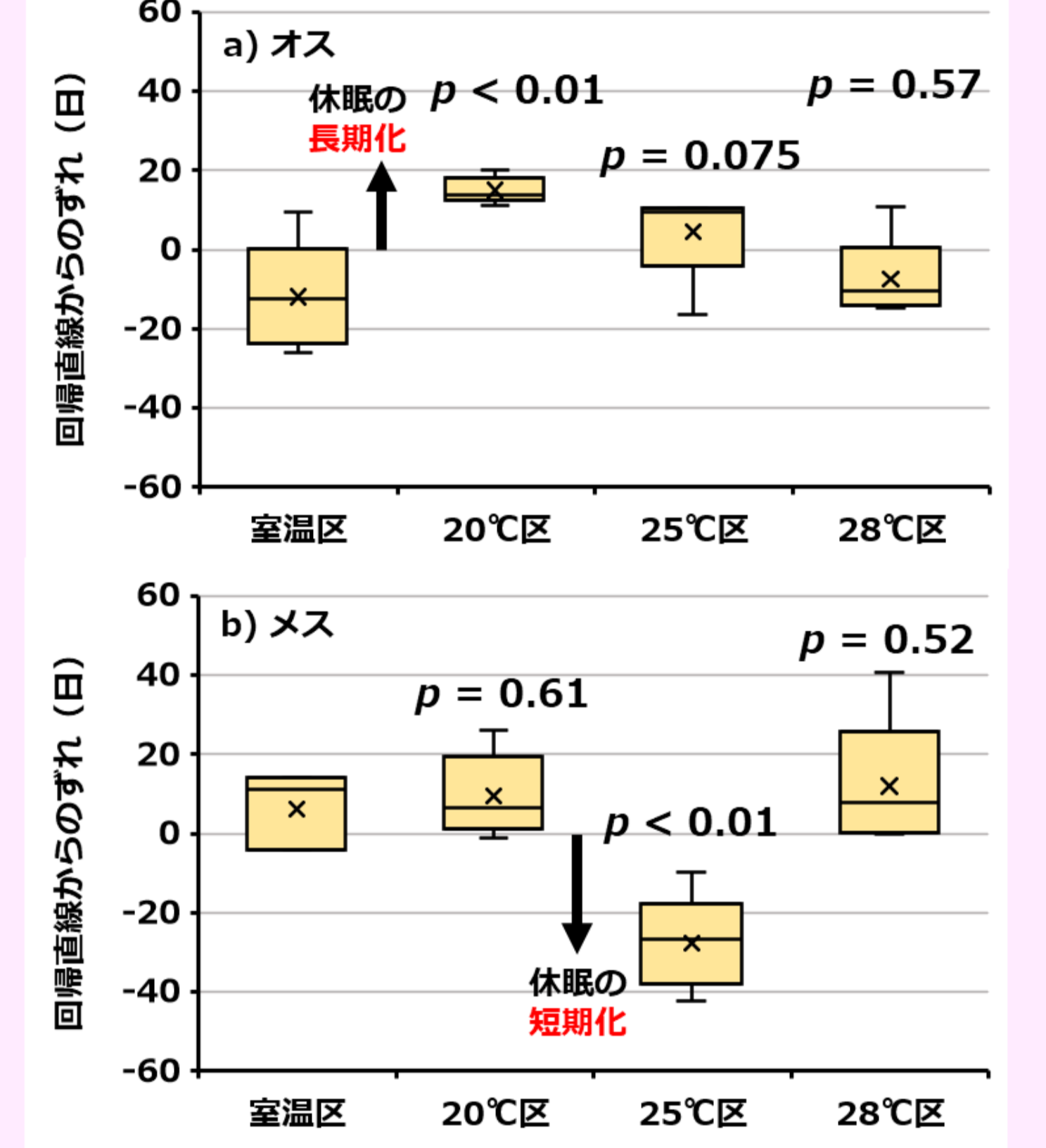


図12. オス(a)とメス(b)の前蛹化日の回帰直線からのずれ。図中のp値は室温区との差の有意確率 (t検定)

まとめ

今年の自由研究では、カブトムシの幼虫を高温 (25℃) で飼育した時に見られる羽化ずれの原因を解明するため、設定温度を5段階にした飼育実験を行い、昨年に検証した「休眠解除日の差」仮説を再検証するとともに、新たに「休眠期間の雌雄差」仮説を検証した結果、次のことが分かった。
①発育の雌雄差は20℃区 (平均気温20℃) と25℃区 (平均気温23℃) のみで観察された。
②室温の温度条件を含む飼育実験で推定した有効積算温度は、年によって室温が異なるため、他の年における発育の推定には利用できない → 「休眠解除日の差」仮説は再検証できなかった。
③温度に対する休眠反応の雌雄差は発育の雌雄差

が観察された20℃区と25℃区に限定して見られ、オスの20℃区では**休眠期間が長期化**し、メスの25℃区では**休眠期間が短期化**したと推定された。④高温に対する休眠期間の変化が雌雄で正反対であったことから、「**休眠期間の雌雄差**」仮説は**部分的に支持された**。
以上より、飼育温度が高いほど発育の雌雄差が大きくなるわけではなく、**羽化ずれは平均気温が20℃から23℃までの場合に限定されている**ことが明らかになった。この温度範囲で、オスは休眠期間を延長し、メスは休眠期間を短縮するという、**雌雄で正反対の休眠行動をとることが羽化ずれの原因**であると考えられた。

今後の課題

- 飼育温度が高いほど羽化ずれの程度も大きくなると予想したが、28℃区で羽化ずれが起きなかった。この理由を明らかにする。
- 高温に対する休眠行動 (休眠期間の長さ) が雌雄で異なる理由を明らかにする。
- 幼虫が休眠する理由は越冬の準備であると仮定して研究を行った。これを証明する。

謝辞

土浦日本大学中等教育学校の宇佐神楽先生には、一昨年より、本研究のご指導をいただきました。心より感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- 巖佐庸・倉谷滋・斎藤成也・塚谷裕一 編 (2013) 岩波生物学辞典 第5版. 岩波書店.
- 桐谷圭治 (2012) 日本産昆虫、ダニの発育零点と有効積算温度定数: 第2版. 農業環境技術研究所報告, 31, 1-74.
- 小島渉 (2019) 不思議だらけカブトムシ図鑑. 彩図社.
- 山中幹夫・藤山静雄 (1994) カブトムシには幼虫休眠が存在する? New Entomologist, 43, 60-64.
- 【徹底解説】相関係数 - Staat (https://corvus-window.com/all_correlation-coefficient/) 2023年5月2日参照
- 向後千春, 富永敦子 (2009) 統計学がわかる【回帰分析・因子分析編】(ファーストブック). 技術評論社.