

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510297

研究課題名(和文) 温暖化が里山の昆虫類の生物多様性の低下に及ぼす影響に関する研究

研究課題名(英文) Influence of the climate warming on insect biodiversity in the Satoyama

研究代表者

石井 実 (ISHII, Minoru)

大阪府立大学・生命環境科学研究科(系)・教授

研究者番号：80176148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)： 気候温暖化が里山の昆虫類に及ぼす影響を明らかにするために、ギフチョウなどを対象に研究を行った。本種の蛹を標高の異なる地点に置いたところ、初冬の気温が高い場所では羽化率が低かった。飼育実験の結果を加味すると、蛹期における「長い秋」が高い死亡率の要因と考えられた。衰退の顕著な大阪府北部の産地の個体群を調査したところ、卵の孵化率の低下が確認された。また既に本種が消えた産地では林床植生の植物種数が少なく、野生ジカの生息密度が高いことがわかった。これらの成果は、本種の衰退に暖冬の影響と野生ジカによる下層植生の過剰採食が関係し、個体群縮小による近交弱勢が拍車をかけている可能性が示された。

研究成果の概要(英文)： In order to elucidate the influence of climate warming on the insect biodiversity in the Satoyama coppice, status quo of various insect species including the univoltine papilionid, *Luehdorfia japonica*, were investigated. The survivorship of *L. japonica* pupae placed at different sites, the adult emergence rate was low at a site with a warm winter. The results showed that "a long autumn" causes higher mortality of the pupae as was shown in rearing experiments. The average hatching rate of eggs was proved to be low at a habitat where this species has been declining in northern Osaka. Field investigation showed that the density of wild deer was high and species richness of undergrowth plant community was small at a habitat where this species has been extinct. The results of this study showed that *L. japonica* has been declining not only by the mild winter and the over grazing of undergrowth by the wild deer but also by the inbreeding depression due to the population reduction.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学

キーワード：気候温暖化 昆虫類 生物多様性 里山 ギフチョウ 休眠

## 1. 研究開始当初の背景

日本における生物多様性の危機要因として、「生物多様性国家戦略」(3次戦略以降)では、開発等による生息地の消失、里山(広義)の土地利用の変化、化学物質・外来生物の影響に加えて、地球温暖化があげられている。とくに、わが国の田園の景観を形づくってきた里山は、人為により維持されてきた二次的な自然ではあるが、多種多様な野生生物に生息場所を提供してきた。しかし、燃料革命や肥料革命による里山林の価値の低下による消失や放棄、生産性向上のための圃場整備、農業の担い手の高齢化、農産物の輸入自由化など農業を取り巻く情勢の変化による水田を主体とする農耕地の変質や減少などが進行し、そこに生息する野生生物の衰退が顕著になってきた。現在、里山は国土面積の約4割を占めるとされるが、そこにわが国の絶滅危惧種の約半数が見られる。

昆虫類では、環境省のレッドリスト掲載種の約9割が日本固有種や固有亜種を含む東アジア固有の要素(日華系)であり(下図参照)その多くは里山の二次的自然環境に依存している(石井, 2003, 2010)。これらの種は、南方系でも北方系でもなく、温帯域に分布の中心をもつ日本周辺に特有の狭域の要素といえる。四季の明瞭な温帯域に生息する種は、季節的な休眠や移動が生活史の中に組み込まれているのが特徴であり、それらは主に日長や温度により制御されている。

例えば、環境省の絶滅危惧類にランクされる日本固有種のギフチョウ *Luehdorfia japonica* は、年1回、春に成虫が出現し、里山林の林床に自生するカンアオイ類の新葉を食べて幼虫が育ち、夏・秋・冬を蛹態で過ごす。申請者らは、本種のこの10カ月にも及ぶ蛹期間が、夏休眠・冬休眠という2種類の休眠により制御されて

いることを明らかにした(Ishii and Hidaka, 1982, 1983)。すなわち、蛹化直後の蛹は夏の長日と高温により維持される夏休眠の状態にあるが、これは秋の短日と中温により消去され、成虫分化が始まる。その後、蛹は成虫分化の途中で休眠に入るが、これは冬の低温により消去され羽化が起こるので、冬休眠の状態であるといえる。

ギフチョウの生息記録は本州内の26府県から知られるが、産地の衰亡が著しいのは太平洋側の地域であり、日本海側や内陸の産地は比較的よく維持されている(石井, 2010)。気象庁のデータにもとづく解析によると、本種の産地は、最寒月の平均気温が5未満の地域に多く残されていることが確認された(谷川・石井, 2010)。これは本種の蛹の2度目の休眠(冬休眠)が冬季の低温により維持・消去されることと関係があると考えられる。申請者らは、南方系のナガサキアゲハが蛹休眠の性質や低温耐性をほとんど変化させることなく、暖冬傾向に助けられて日本列島を東進・北上していることを明らかにしているが(Yoshio and Ishii, 1998, 2004ab; 吉尾・石井, 2010)、温帯系のギフチョウの場合は、暖冬傾向により、逆に分布が縮小している可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、ギフチョウを温暖化の影響を受けている可能性の高い種のひとつと考え、里山林の管理が良好で、本種の生息環境が整っているとみなされる里山について、1)本種が現在も生息している里山、および過去に記録があるが現在は絶滅したと考えられる里山を対象に、気候条件を比較するとともに、2)本種の蛹の「暖冬」に対する耐性を明らかにする室内および野外実験を行う。また、3)他の里山性昆虫でも同様の現象が生じていないかについて、文

献調査を行うとともに、4)いくつかの里山でルートセンサス法による野外調査を実施する。

1)のギフチョウの生息と気候条件の関係の解析については、現在および過去の生息地において、1年を通じて気温および本種の蛹が形成される地表付近の温度を測定し、それらの推移が本種の生活史の完結に適合しているかについて検討を行う。とくに、冬季の地表面付近の温度は本種の蛹の冬休眠の維持・消去に関わる環境要因であり、積雪の有無や多寡などを含めて、生息の可否を決めている可能性がある。

2)のギフチョウの「暖冬」に対する耐性に関わる室内・野外実験は、準自然条件での飼育により得られた蛹を用いて行う。室内実験では、中温短日で夏休眠を消去した蛹を「寒い冬」(1 前後)の条件、「暖冬」(10 前後)の条件に2~5ヶ月間置き、生存率や羽化率を調査する。「寒い冬」条件は、寒冷地の生息地では通常、蛹が積雪下にあることを考慮し、0 以上とする。野外実験では、蛹化直後の蛹を、1)の現在および過去の本種の生息地に放置し、生存率と羽化率を比較する。その際、積雪のある調査地では、蛹を積雪下に置く区と蛹が雪上に露出する区を設ける。これら一連の実験により、冬の寒さおよび長さ、積雪の有無・期間と、蛹の冬季の生存率と春の羽化率の関係が明らかにできると考えている。

3)ギフチョウ以外の里山性昆虫に関する文献調査は、愛好家などが多く、生息に関する情報が集積しているチョウ類やトンボ類、セミ類などを対象に行う。とくに、チョウ類ではオナガアゲハのような温帯性のアゲハチョウ類や1化性のヒョウモンチョウ類、トンボ類では温帯性の種が多いアカネ類、セミ類では北寄りの温帯域に分布するエゾゼミやエゾハルゼミ、ミンミンゼミなどの種が、何らかの温暖化の影響を受

けている可能性がある。

4)温暖化が里山の昆虫類に及ぼす影響に関する野外調査では、いくつかの里山において、ルートセンサス法により指標とする昆虫類(チョウ類、トンボ類、セミ類など)を定量的に評価する。調査対象とする里山は、1)の調査地を主体に選定し、春~秋に調査を行う。この調査では、南方系の昆虫の侵入状況や温暖化にともなう植生の変化が里山の温帯系昆虫に及ぼす影響についても検討を行う。

### 3. 研究の方法

本研究は3年計画で行うこととし、ギフチョウを温暖化により衰退する可能性のある里山性昆虫のひとつとみなし、初年度は、1)本種の現在および過去の生息地(5ヶ所)における生息と気候条件との関係の野外調査、2)本種の蛹の「暖冬」(10 )および「寒い冬」(1 )における生存率・羽化率の比較(室内実験)、上記5ヶ所の調査地に放置した場合の生存率・羽化率の比較(野外実験)を重点的に行う。

次年度以降は、1)2)の追加実験・調査を行うとともに、3)本種以外の里山性昆虫に対する温暖化の影響に関する文献調査をインターネットなども利用して実施するとともに、4)温暖化が里山の昆虫類に及ぼす影響に関する野外調査を1)の調査地において、対象とする種群を定めてルートセンサス法を用いて実施する。

### 4. 研究成果

気候温暖化がギフチョウ蛹の生存率に及ぼす影響を明らかにするために、室内飼育で得られた蛹を7月下旬から4月上旬まで、データロガーとともに大阪府内の標高の異なる3地点(A:約930m、B:約430m、C:約4m)の地表と地上1m付近に置き、羽化率を比較した。その結果、すべての地点

で成虫の羽化が認められたが、羽化率は他の地点・位置では75~92%と高率だったのに対して、地点Cの地上1mでは58%と低かった。各設置場所の気温変化を比較したところ、地点Cの地上1mでは11~12月の最高気温が15℃を超える日が多いことがわかった。これは飼育実験で既に明らかにした「長い秋」の条件に相当し、これが高い死亡率の要因と考えられる。

ここ数年間ギフチョウの記録が途絶えた大阪府北部の産地(調査地Y)において、本種の衰退要因を明らかにするために、コドラートを設けて食草や蜜源植物を含む林床植生の植物社会学的調査を実施した。林床植生の衰退には、温暖化による林床の乾燥化のほかに草食獣による過採食が疑われたため、防護柵を設置するとともにカメラトラップを配置した。その結果、防護柵外のカメラトラップでは多数のニホンジカやイノシシなどの野生獣が確認され、林床植生の草丈が低かった。

また、調査地Yに近く、近年、ギフチョウが急速に衰退している産地(調査地M)において、生息状況調査および下層植生調査を実施した。また、前年度得られた蛹より羽化した成虫を人工交配し、卵の孵化率や蛹化率などを調べた。その結果、調査地Mにおける2013年の卵調査では約14000枚の食草(ミヤコアオイ)の葉を調べても卵塊を発見できなかった。人工交配実験では6個体の雌成虫から合計1045卵を得たが、孵化率は43~97%で平均69%と低かった。一方、蛹化率(幼虫期の生存率)は97%と高い値を示した。下層植生調査では、調査地Mでは29種が確認されたのに対して、上記の調査地Yでは14種と少なかった。これらの結果から、調査地Mでは何らかの原因で本種の急激な衰退が進行し、近交弱勢による孵化率の低下が懸念されることが明らかになった。また、本種の衰退に

はニホンジカによる食草群落を含む下層植生への採食圧が関係していることが推定された。

ギフチョウ以外では、やはり里山の温帯性落葉広葉樹林に依存するゴマダラチョウの幼虫の越冬時の降樹のタイミングと気温との関係について、大阪府南部で野外調査を行った。その結果、本種の幼虫は短突起型になり体色の変化し始めてから食樹を下るが、その時期は11月中旬から12月上旬で、比較的短期間に行われることが明らかになった。食樹を下るタイミングに関わる環境要因としては気温があげられ、平均気温約11℃、最低気温約7℃より低くなるあたりがきっかけになると考えられた。

#### 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15件)

長田庸平・石井実・岡島秀治(2014) 神奈川県大磯丘陵の里山におけるチョウ類群集の種多様性. 蝶と蛾, 65: 17-25. 査読有.

Tanahashi, I., Mifune, T., Hirai, N. and M. Ishii (2014) Wing color change by sunlight irradiation in the spotless grass yellow butterfly, *Eurema laeta betheseba* (Lepidoptera, Pieridae). *Lepidoptera Science*, 65:44-49. 査読有.

石井実(2013) アゲハチョウ類に関するいくつかの話題. 昆虫と自然 48(6): 2-3. 査読無.

石井実・平井規央・山楚めぐみ(2012) モンシロチョウの夏季没姿は成虫の移動によるものか? 査読無.  
昆虫と自然 47(14): 25-28.

平井規央・谷川哲朗・石井実(2012) オオタテハモドキの分布拡大. 昆虫と自然 47(6): 20-23. 査読無.

蓑原茂・矢後勝也・田中和夫・森地重博・平井規央(2012) 関東地方におけるクロマダラソテツジミの一時発生と分布拡大について. *Butterflies (Teinopalpus)* (62): 40-56. 査読有.

立岩邦敏・広渡俊哉・池内 健・神保宇嗣・岸本年郎・石井実(2012) 大台ヶ原におけるガ類群集を利用した森林環境評価. 環動昆, 23(2):55-74. 査読有.

Fujisawa and Ishii, M. (2012) Effects of hydrological modifications and nature restoration projects on ground beetles along the Yodo River, Osaka Prefecture, Japan. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*

23:187-198. 査読有 .

Fujisawa, T., Lee, C.M. and Ishii, M. (2012) Species diversity of ground beetle assemblages in the distinctive landscapes of the Yodo River flowing through northern Osaka Prefecture, central Japan. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 23:89-100. 査読有 .

石井実 (2012) 温暖化にともなう南方系害虫の動向 . 熱帯農業研究, 5(2) . 査読有 .

Hirai, N., T. Tanikawa, M. Ishii (2011) Development, seasonal polyphenism and cold hardiness of the blue pansy, *Junonia orithya orithya* (Lepidoptera, Nymphalidae). *Lepidoptera Science* 62:57-63. 査読有 .

Sakamoto, Y., N. Hirai, T. Tanikawa, M. Yago, M. Ishii (2011) Two Strains of *Wolbachia* and sex ratio distortion in a population of an endangered butterfly, *Zizina emelina* (Lepidoptera: Lycaenidae), in northern Osaka Prefecture, central Japan. *Annals of the Entomological Society of America* 104:483-487. 査読有 .

Hirai, N., Y. Sakamoto, M. Ishii (2011) Effects of photoperiod and temperature on development and diapause in a noctuid moth, *Asota ficus* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae), of the Osaka population. *Lepidoptera Science* 62: 166-174. 査読有 .

石井実 (2011) 熱帯におけるウスキシロチョウの生活史と移動 . 昆虫と自然 46(14): 30-33 . 査読無 .

石井実 (2011) 里山の崩壊で急速に衰退する日本的なチョウ類 . *Makoto*(156): 2-7 . 査読無 .

〔学会発表〕(計 38 件)

石井実 (2014) チョウ類を指標とした里山の植生管理 . 第 61 回日本生態学会大会 . 広島, 3月 16 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2014) 水生昆虫の移住と周辺環境との関係 ~人工池を用いた野外実験~ . 第 61 回日本生態学会大会 . 広島, 3月 16 日 .

斎藤裕介・平井規央・石井実 (2014) 大阪府南部におけるクワガタムシ類の生息状況 . 関西自然保護機構 (KONC) 2013 年度大会 . 大阪, 2月 23 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2014) 人工池における水生昆虫群集の初期遷移に関する研究 . 関西自然保護機構 (KONC) 2013 年度大会 . 大阪, 2月 23 日 .

吉村忠浩・竹内剛・平井規央・石井実 (2014) 大阪府北部におけるギフチョウ個体群の保全 . 関西自然保護機構 (KONC) 2013 年度大会 . 大阪, 2月 23 日 .

中塚久美子・池内健・小林茂樹・長田庸平・広渡俊哉・平井規央・石井実 (2014) 大

阪府の緑地におけるリター層の蛾類の種多様性と食性 . 関西自然保護機構 (KONC) 2013 年度大会 . 大阪, 2月 23 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2013) 異なる時季に里山に設置した人工池への水生昆虫の移住 . 日本環境動物昆虫学会 (第 24 回大会) . 神戸, 11月 16 日 .

北野絵理・平井規央・石井実 (2013) キャンパス内ビオトープ池におけるヨシ刈りと外来種除去が水生動物群集に与える影響 . 日本環境動物昆虫学会 (第 24 回大会) . 神戸, 11月 16 日 .

石井実・谷川哲朗・天満和久・天満奈央・平井規央 (2013) ギフチョウは気候温暖化により衰退するか? 日本鱗翅学会第 60 回大会 . 堺, 11月 10 日 .

吉村忠浩・竹内剛・森地重博・Anja Silwa・石井実 (2013) 大阪府北部鴻心山におけるギフチョウ個体群の現状と補強の試み . 日本鱗翅学会第 60 回大会 . 堺, 11月 10 日 .

土田大希・平井規央・石井実 (2013) 微小卵型寄生バエの産卵行動における寄主と植物の影響 . 日本昆虫学会大会第 73 回大会 . 札幌 . 9月 13 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2013) 水生昆虫群集の初期遷移は人工池の設置時季によって異なるか? 日本昆虫学会大会第 73 回大会 . 札幌 . 9月 13 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2013) 異なる季節に設置した人工池における水生昆虫群集における水生昆虫群集の形成過程の比較 . 第 60 回日本生態学会大会 . 静岡 . 3月 6 日 .

石井実 (2012) 人が関わってきた自然: 私たちの課題と展望 . 日本環境動物昆虫学会第 24 回大会 . 名古屋, 11月 18 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2012) 里山の内外に設置した人工池への水生昆虫の移住と群集形成 . 日本環境動物昆虫学会第 24 回大会 . 名古屋, 11月 17 日 .

森岡賢史・平井規央・石井実 (2012) 福井県中池見湿地におけるトンボ類の種多様性 . 日本環境動物昆虫学会第 24 回大会 . 名古屋, 11月 17 日 .

石井実・平井規央・坂本佳子・天満和久・天満奈央 (2012) ヒメシロチョウの生活史と行動 . 日本鱗翅学会第 59 回大会 . 松山, 10月 26 日 .

鈴木真裕・平井規央・石井実 (2012) 里山の内外に設置した人工池の水生昆虫群集の初期遷移 . 日本昆虫学会第 72 回大会 . 町田, 9月 17 日 .

土田大希・平井規央・石井実 (2012) マダラヤドリバエの産卵行動における寄主と植物の影響 . 日本昆虫学会第 72 回大会 . 町田, 9月 17 日 .

石井実・谷川哲朗・天満和久・天満奈央・平井規央 (2012) ギフチョウは気候温暖化により衰退するか? 日本昆虫学会第 72 回大会 .

町田, 9月16日.

<sup>21</sup>平井規央・矢後勝也・坂本佳子・石井実 (2012) ヒメシルビアシジミの生活史と温度・日長反応. 第72回日本昆虫学会大会. 町田, 9月16日.

<sup>22</sup>Sakamoto, Y., N. Hirai, M. Ishii (2012) Difference in larval development and female oviposition preference in host plants between two populations utilizing different plants as larval hosts in an endangered lycaenid butterfly, *Zizina emelina*. 24th International Congress of Entomology. Taegu, Korea, 8月24日

<sup>23</sup>Tsuchida, T., N. Hirai, M. Ishii (2012) Effects of leaf shape and host larva on oviposition preference of a tachinid fly, *Sturmia bella*, between two butterfly host plants. 24th International Congress of Entomology. Taegu, Korea, 8月23日

<sup>24</sup>Suzuki, M., Hirai, N. and Ishii, M. (2012) Aquatic insect assemblages in artificial ponds newly created in a *Satoyama* coppice in southern Osaka, central Japan. 24th International Congress of Entomology. Taegu, Korea, 8月21日

<sup>25</sup>Fujisawa, T. and Ishii, M. (2012) Influence of the river regulation works on ground beetle assemblages in riverbeds of the Yodo River flowing through northern Osaka Prefecture, central Japan. 24th International Congress of Entomology. Taegu, Korea, 8月21日

<sup>26</sup>Ishii, M. and Tanikawa, T. (2012) Is the univoltine papilionid, *Luehdorfia japonica* (Lepidoptera), declining by the climatic warming? 24th International Congress of Entomology. Taegu, Korea, 8月20~22日.

<sup>27</sup>藤並理紗・鳥居美宏・中山祐一郎・石井実 (2012) 大阪府内における里山林の林内環境と外来生物の侵入状況. 第59回日本生態学会大会. 大津, 3月19日.

<sup>28</sup>Sakamoto, Y., N. Hirai, M. Ishii (2012) Comparison of male mating behavior between two lycaenid butterflies, *Zizina emelina* and *Pseudozizeeria maha*. 5th EAFES International Congress. 大津, 3月19日.

<sup>29</sup>Tsuchida, T., N. Hirai, M. Ishii (2012) Oviposition preference of a generalist tachinid fly, *Sturmia bella*, between two butterfly host plants. 5th EAFES International Congress. 大津, 3月18日.

<sup>30</sup>Fujisawa, T., Cheol-Min Lee, Ishii, M. (2012) Species diversity and characteristics of ground beetle assemblages in the distinctive landscapes of the Yodo River, Osaka Prefecture, central Japan. 5th EAFES International Congress. 大津, 3月18日.

<sup>31</sup>石井実・平賀耕介・山田竜平・秋田耕佑・平井規央 (2012) 都市域に造られたビオトープ池における水生動物群集の初期遷移. 関西自然保護機構 (KONC) 2011年度大会. 大阪, 3月3日

<sup>32</sup>鈴木真裕・平井規央・石井実 (2011) 南大阪の里山林の内外に設置した人工池の水生昆虫群集. 日本環境動物昆虫学会第23回大会. 宮崎, 11月12日.

<sup>33</sup>藤並理紗・鳥居美宏・中山祐一郎・石井実 (2011) 大阪府内の里山林における外来生物の侵入状況. 日本環境動物昆虫学会第23回大会. 宮崎, 11月12日.

<sup>34</sup>平井規央・石井実 (2011) 地上と屋上に設置した寄主植物上のアゲハチョウ類の発育の比較. 日本環境動物昆虫学会第23回大会. 宮崎, 11月12日.

<sup>35</sup>石井実・平賀耕介・山田竜平・秋田耕佑・平井規央 (2011) 都市域に造られたビオトープ池における水生動物群集の2年間の変化. 日本環境動物昆虫学会第23回大会. 宮崎, 11月12日.

<sup>36</sup>藤澤貴弘・石井実 (2011) 瀬田川・宇治川における放流量の操作が地表性甲虫類の多様性に与える影響. 第71回日本昆虫学会大会. 松本, 9月19日.

<sup>37</sup>平井規央 (2011) 日本におけるクロマダラソテツシジミの分布拡大. 第71回日本昆虫学会大会. 松本, 9月18日.

<sup>38</sup>坂本佳子・平井規央・石井実 (2011) シルビアシジミとヤマトシジミの雄の配偶行動の比較. 第71回日本昆虫学会大会. 松本, 9月18日.

〔図書〕(計3件)

石井実 (2014) チョウたちと守る里山. 「エコロジー講座7 里山のこれまでとこれから (日本生態学会編)」pp.42-55, 文一総合出版.

Ishii, M. and Nakamura, Y. (T. R. New ed) (2012) Insect Conservation: Past, Present and Prospects 「Development and future of insect conservation in Japan.」の項. pp.339-357, Springer.

平井規央 (積木久明編) (2011) 地球温暖化と南方性害虫「イチジクヒトリモドキの分布拡大と休眠性」の項. pp.84-92, 北隆館.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石井 実 (ISHII, Minoru) 大阪府立大学・生命環境科学研究科・教授  
研究者番号: 80176148

### (2) 研究分担者

平井 規央 (HIRAI, Norio) 大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 70305655