

論文 Article

広島市絵下山公園におけるギフチョウの保全と飛翔行動の変化 — 巨大建造物出現に対する行動パターン

亀山 剛¹・渡辺一雄^{2,3}

Conservation and changes of flight behavior in *Luehdorfia japonica* (Papilionidae, Lepidoptera) at the Ege-san Municipal Park in Hiroshima City: Significance of a huge TV-tower

Takeshi KAMEYAMA¹ and Kazuo WATANABE^{2,3}

要旨: 絵下山公園は原爆爆心地から 12.4km にある広島市営公園でギフチョウの生息地である。この山頂部に 2006 年デジタルテレビ放送所の鉄塔および局舎が完成した。ギフチョウの行動研究と並行して、工事の影響を極力抑える努力を試み『ギフチョウの住む自然豊かな都市近郊型公園』の創成を目指している。本稿ではギフチョウの生息条件について総論を試み、保全の具体策と工事前後の飛翔、産卵状況の変化、今後の課題を述べる。ギフチョウは一時的に減少したが最近 2,3 年、回復しつつある。今後、適切な生息環境と景観の整備により里山のシンボル、ギフチョウの生息環境を保持した都市近郊型公園を目指したい。減少の原因は気候の異常変動と巨大鉄塔出現による飛翔・産卵行動の変化が考えられた。行動の変化を『飛翔パターン全体を認識・記憶する生理メカニズム』の存在とそのトータルな変更ととらえ、適応行動の遺伝という観点から仮説を立てて論じた。

キーワード: ギフチョウ, サンヨウアオイ, 人為依存型生息域, 移植, 環境保全

Abstract: Mt. Ege (“Ege-san” in Japanese; alt. 593 m) is located near Hiroshima City, 12.4 km from the atomic bomb memorial dome. The municipal park at the summit, is a popular Hiroshima sightseeing spot and a habitat of *Luehdorfia japonica*, a butterfly that is a symbol of the concept of “satoyama” (the area between mountain foothills and flat, arable land). In 2004, construction was begun of a digital TV tower at the summit area. At this time, we reviewed the principle habitat of *Luehdorfia* with a focus on their flight behaviors. We described successive changes related to individual numbers, ovipositions, and flight behaviors during the construction. The food plant, *Asarum hexalobum*, was transplanted to the area, and advice was offered to those involved with the construction on how to create and/or maintain a good habitat. Although the population of the butterflies temporarily diminished during the construction, its current status indicates a tendency toward recovery. We are planning to produce a unique natural park, in which *Luehdorfia* can be observed flying amongst the cherry blossoms in the spring.

Keywords: *Asarum hexalobum*, Environmental conservation, Food plant transplantation, Human-dependent habitat, *Luehdorfia japonica*

I. はじめに

ギフチョウ *Luehdorfia japonica* (図 1) は桜の開花期に出現する美しい日本の固有種で、人類の理想である里山的自然を代表するシンボル種である (石井ら, 1993; 渡辺, 2010)。広島市営絵下山公園は大都市近郊でギフチョウの姿が見られる数少ない自然公園である。ベッドタウンである広島市安芸区と呉市の境界に

位置し、山上からは広島市中心部、宮島、江田島をはじめ瀬戸内海を一望でき、春秋は多くの市民の憩いの場である。

2001 年、この絵下山山頂部のピーク A (図 2) に地上波デジタルテレビ塔およびテレビ各社の合同局舎の建設が決定された。この地は 30 年来のギフチョウの研究フィールドで (渡辺, 1998; Watanabe and Hirano,

1 復建調査設計株式会社環境技術部; Environmental-Division, Fukken Co.Ltd.

2 広島大学総合博物館客員研究員; Visiting Fellow, Hiroshima University Museum

3 広島大学名誉教授; Emeritus Professor, Hiroshima University

2006), 渡辺は設置場所選定の環境評価委員長でもあった。電波発信上の利点, 建設コストおよび既設2基(ピークBおよびC)のテレビ塔撤去跡地の整備計画を総合的に判断しての結論であった。跡地は広島市に返還・寄付されギフチョウ生息地保全に最大限の注意を払った設置計画および返還後の公園整備の留意事項に関する審議が「デジタルテレビ塔設置に伴う環境保全に関する審議会(会長, 渡辺)」において行われ実施された。亀山は協同研究者(Hirano,



図1 コバノミツバツツジで吸蜜するギフチョウ

広島県下では本格的な保全活動は絵下山の他に呉市大積山(神垣健司ら, 広島自然の会), 世羅町八田原ダム(中村慎吾, 亀山剛ら, 国土交通省八田原ダム管理所)で行われている(世羅町2007.4.21. 亀山剛撮影)。

Watanabe and Kameyama, 2006) であると同時に, テレビ塔建設事業の施工監理会社, 復建調査設計株式会社の担当者として事業全体に関与した(絵下山環境保全報告書, 2006)。

種と環境の保全の基本は, 対象種の属性の理解に基づく生息基本条件への配慮に始まる。ギフチョウの場合, 食草と飛翔条件の確保が重要で, 特に後者の個体群維持に対する役割の研究は未開拓領域が大きい。これまでの環境保全策は結論を急ぐあまり, とすればこの本質論が軽視される傾向が否めない。

この報告では, ①まず保全の基礎となるギフチョウの属性を踏まえた生息の基本条件を総括し, ②筆者らによる設置工事への関与を紹介しつつ, テレビ塔・局舎の建設に伴う飛翔行動, 産卵状況の変化を記述し, ③これを解釈する行動生理学的仮説を提案し, ④最後にこれからの課題と展望を述べる。

II. ギフチョウ生息地の類型化と保全のための原論

1. ギフチョウの全国的衰亡の概観

(1) 大都市圏は1970年代のエネルギー革命でほぼ壊滅した

大都市周辺に点々と産出したギフチョウは, 東京, 大阪, 名古屋, 神戸から1970年代を境にほぼ一斉に消滅した(渡辺(康), 1996; 渡辺, 2010)。

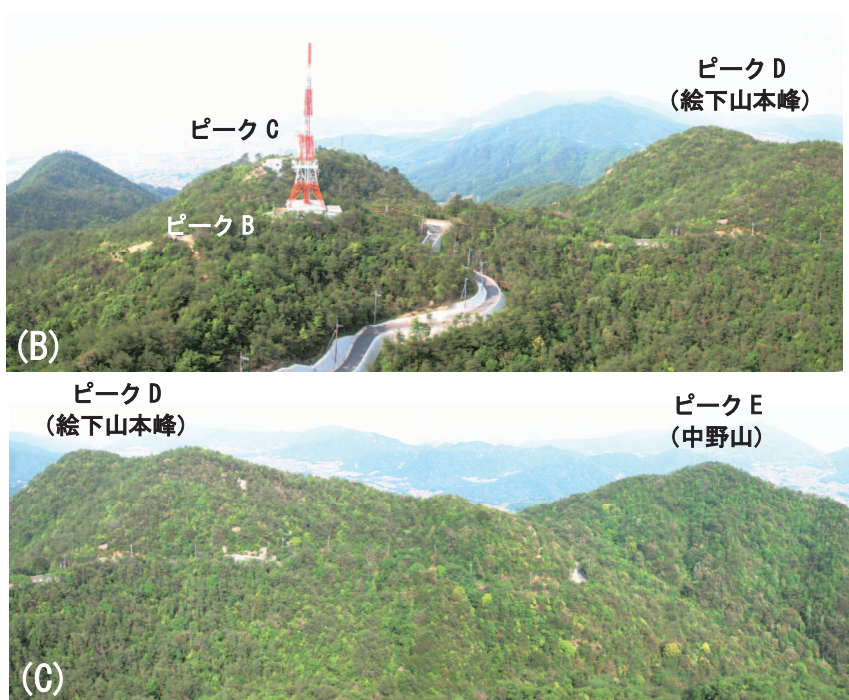
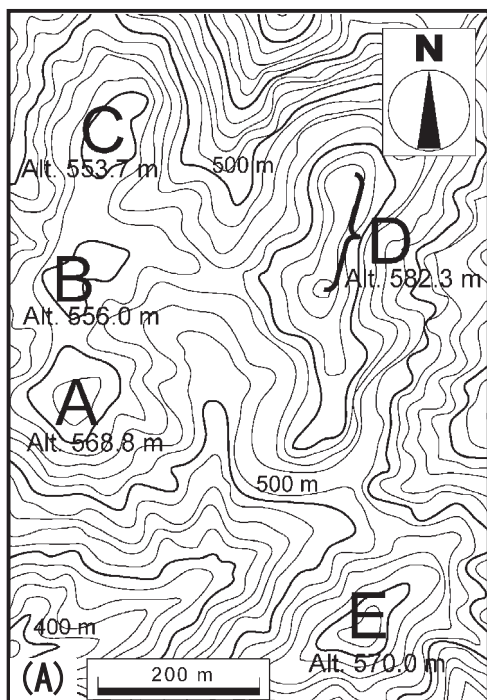


図2 ピークの名称とピークAからの鳥瞰(建設途上の鉄塔上部から)

(A) ピーク(A~E)。500m等高線からは公園整備がなくギフチョウが入れない。ギフチョウの個体は主にピークA, D, E間を巡回飛翔する(Hirano, Watanabe and Kameyama, 2006)。(B)と(C)はピークAに建設中のテレビ塔上部(地上45m)から2005.5.27.撮影。(B)北方を望む。ピークBまで直線距離約150, ピークCまで約330m。ピークCのはるか左方の峰は明神山。ピークBの手前に管理道路が見える。右方は絵下山本峰ピークD(直線距離約340m)。(C)東方を望む。ピークDから鞍部を隔て右にピークE(直線距離約480m)。

その食草のカンアオイ類は林縁で繁茂する傾向が強い。従って有史以来のヒトによる伐採、林床のタキギ集めや下草刈り、焼畑などによる里地・里山の拡大はその生息地の著しい増加を促した(高橋, 1979; 原, 1979; 石井ら, 1993)。そして都市開発とエネルギー革命に伴う日本人の里山依存生活の放棄が雑木林の荒廃を招き、藪の進出、日照状況の変化がカンアオイ類の衰退を招きギフチョウも消えていった。昆虫採集は直接的原因ではない。

ちなみに、北陸から山陰地方の日本海側では積雪と冬の落葉によって林内環境がいまも比較的安定に保持されギフチョウも少なくない。加えて積雪はギフチョウの越冬蛹を乾燥と極度の気温変化から守るのである。すなわち、ギフチョウの生息が危機的状況にあるのは主に太平洋側から瀬戸内海沿岸の都市周辺で、なかでも人為的作用で保持されてきた暖温帯型の里山産地で著しい。

にもかかわらず広島市(渡辺ら, 2000)と京都市(渡辺, 2010)だけは1970年代の一斉の衰亡・絶滅をまぬがれて近郊には近年まで残った。これには理由がある。

(2) なぜ広島市と京都市に残ったか—都市型里山の近傍に“本来の生息域”が—

広島市と京都市は、①都市圏のすぐ近傍にまで適度な里山がよく残りもともとギフチョウが多産した、②この里山のすぐ裏には懐の深い不安定な溪谷、すなわちギフチョウ本来の生息域(後述)が広く連続している、からである。

衰亡するギフチョウ個体群が最後まで残るのはこの懐の深い本来の“原初的生息域”らしい(渡辺, 1995; 渡辺, 2010)。しかし、この貴重なギフチョウ群も2000年前後を境に再び急減し、いまや広島も京都もきわめて危険な状態に至った。あらたな事態(5.)が進んだのである。

2. ギフチョウとはどういう蝶か—原初的生息域とは

大地にヒトが住み始めるよりずっと前の原初的生息域では、食草は自然のサイクルの中で保持され続けなければならない。林床植物のカンアオイ類の盛んな繁茂には木漏れ日のような適度の日照とある程度湿潤な土壌が必要で複雑な地形の溪谷斜面の林縁部に多い。ここでは洪水、土砂崩れに伴う被覆林の植生変化などにより、繁茂条件はときに連続的、ときに非連続的に数年から数十年単位で変化している。

一方、ギフチョウは♂と♀の発生タイミングが年々大きく変動し(後述)、これが交尾率と連動した♀の飛翔行動や分散度を左右する(渡辺(守), 2005; 渡辺,

2008)と考えられる。

すなわち、ギフチョウは溪谷と尾根という立体空間の中で繁茂と衰退を繰り返す食草に数キロ程度の移動飛翔(Matsumoto, 1984; 松本, 1994; Hirano, et.al., 2006)を伴いながら生活してきた。とはいえ、分散が野放図だと食草が限局されるためたちまち個体群の衰亡を招く。散逸が最も危険なのであり景観に依存した飛翔こそギフチョウをこの散逸から守っている(渡辺, 1998)のである。

生活環境の変動に対応したこの行動習性は強い淘汰圧に曝される。頂上集合性に代表される立体的な地形に依存した集合・散開運動(夏秋, 1989; 夏秋, 1996; 夏秋・竹内, 1998; 渡辺, 1998; Watanabe and Hirano, 2006; 渡辺, 2008)は、この不安定な斜面生活の中で長く厳しい淘汰をくぐりぬけて成立した生理メカニズムである。視覚を中心とする景観認識が基礎と考えられる。

この飛翔行動は地形と気候の不安定さに対応できる“柔軟性”を内包した厳格な遺伝的構造プログラミング heritable programming に基づくはずである。さもないと1千万年以上(Makita et al., 2000; 渡辺, 2002)、地球環境の大変動にめげず腰を据え分布域を動かさず生き残れる(原, 1979; 渡辺(康), 1996)はずがない。なお中部地方の高地湿原のヒメカンアオイ食のギフチョウ群(櫛原, 2011)など別の論点があるが本稿では立ち入らない。

3. 中国地方のギフチョウの分布像とその推移—たたらとマツタケとギフチョウ

分布図(図3)をよく見れば、一見散在している産地プロットもほとんどが大河川流域の溪谷とそれに連なる尾根筋に限定されることが判る。日本海側では鳥取県の日野川、島根県の斐伊川、広島県につながる江の川、浜田川で、瀬戸内海側では山口県の錦川、小瀬川、広島県の八幡川、大田川、黒瀬川、賀茂川である。この本流と支流とこれを取り囲む尾根筋の斜面がギフチョウの生息域なのである。

一つ一つのメタ個体群の個体数は多くはなく、カンアオイ類の繁茂が適切な密度に達すると数キロ圏を移動分散する母蝶が産卵しては新たな小産地の形成を繰り返していると考えられる。尾根や山頂部には♂が頂上志向によって集積し(Watanabe and Hirano, 2006)、同じく頂上志向を示す♀と交尾する(夏秋, 1989; 夏秋・竹内, 1999; 渡辺, 2008)。これによって、過度の散逸を防止しつつ異なるメタ個体群間の交流交雑が果たされて安定なギフチョウの生息域となる。溪谷・河川流域でこのエリアがいくつか重なり合えば、河口から

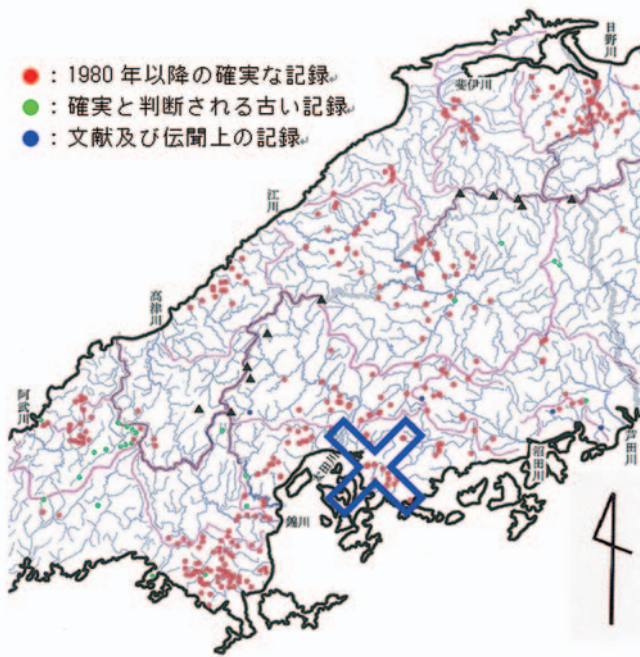


図3 中国地方のギフチョウの分布図と絵下山の位置
赤紫線は分水嶺。山口県周東半島（左下方）以外はおおむね大川川とその支流に依存して理解される。渡辺ら（2000）から転載。X印は絵下山の位置。

源流域まで、断続することはあれ数十キロに渡って生息域は連続することになる。この集積に関与せず分散する個体の比率とその発動条件は判っていない。

さて、人類の活動はこのギフチョウの生活に大きなインパクトを与えた。カンアオイ類は縄文期以来の林地の開拓などで生まれる適度の林縁で増幅した。足の遅いカンアオイ類にとっても3000年は短い時間ではない。

広島県南部における食草はサンヨウアオイ *Asarum hexalobum* である（渡辺，1991）。異所的に分布する近縁種ミヤコアオイ *Asarum asperum* と比較して陽地適応性が強く崩壊地や畑の畦まで拡がる傾向が認められる（渡辺ら，2000）。人為開発に伴う山裾から平地、低山地の傾斜地などへの展開力が優れているのである。これに乗っていくつものギフチョウのメタ個体群の小パッチがつながり合うと規模の大きな分布圏を形成する。

たとえば昭和20～30年代にギフチョウの多産した山口県周東半島の産地群（図3）は、有史以来開墾が重ねられたなだらかな低山のあちこちにサンヨウアオイが散在する広い地域で、渓谷や尾根からかけ離れた人為依存型生息地であった。現在、この産地群では全域にわたる乾燥化と藪の放置によりギフチョウが急速に失われつつある。

弥生時代になると大規模な稲田形成がカンアオイ類

を急速に失わせ多くのギフチョウが犠牲になったと思われる。加えて、ことに中国山地では大和王権の完成期（6世紀前半）以降、鉄の爆発的自国生産のため、「たたら」が里山にとどまらず尾根まで樹林を皆伐した（司馬，1997）。この徹底的皆伐は全域に風化花崗岩型の乾燥アカマツ林と、暖帯落葉樹、照葉樹林の点在を生み出した。ここでは枝打ちと下草刈りが繰り返され、暖温帯型の里地・里山が大展開しマツタケとギフチョウの多産がもたらされた。明治以降の乱伐と戦争の繰り返しはこれに拍車をかけ、昭和30年代まで最大化の時代であったようだ（浜田，1974；渡辺，2010）。

興味深いことに両種の衰亡はほぼ併行し、『人為依存度の強い生息域から順次消失』し、『より原初的な生息域が最後に残る』印象が強い。この傾向は1000年を越える環境変化のデータが跡付けられる平安京周辺の分析（渡辺，2010）からも伺われる。

4. 被爆地ヒロシマとギフチョウ—絵下山の位置づけ

世界中の蝶類研究者にとってギフチョウは東洋を代表するシンボル種である。一方、広島は被爆という歴史的・科学的事実の重みによって社会的知名度が高い。

絵下山公園は原爆爆心から車で40分、まさしく標的となった広島市全域をすり鉢の底のように眼下に一望する。10年ほど前までは絵下山のみならずこのすり鉢の北方山地も西方山地もギフチョウを多産し、ヒロシマはあたかも春になると美しく清楚なギフチョウに日々見守られていたのである。

絵下山は竹原市朝日山付近を東限とする約30kmにおよぶギフチョウ生息域（渡辺ら，2000）の最西端に相当し、広島市の北と西の山地のギフチョウとは飛翔圏のみならず生理的にも形態的にも僅差が認められメタ個体群を異にすると考えられる。

この絵下山から呉市を経て竹原市におよぶ地域は、有史以来の人為介入が大きい原初的な生息域に近く、奥行きある渓谷、斜面が散在したギフチョウの大きなメタ個体群でその連続性もよく保持されてきたと考えられる。ことに絵下山から東約8kmの呉市灰が峰、大積山、江の藤山から二級峽に至る山塊は起伏に富み懐深く原初的な生息域に近い大生息域であった。この間にある低山域にもギフチョウの小発生地が散在しており、わずかな個体交流も推測される。大積山方面では呉市の協力のもと、適切な山林管理に基づく保全活動が10年以上続いており（神垣，2009）、絵下山の保全にも有益である。

絵下山は標高500m以上は広島市の公園課により伐採と下草管理が行われサンヨウアオイとギフチョウの繁殖がよく守られてきた。一方、標高500mより下は

藪が茂り一部コシダ群落が進出しサンヨウアオイの繁茂はきびしく制約される。しかし株自体はコシダ群落内部や溪谷下部まで点々と分布し下草刈りなどの整備を行えば大産地の潜在力がある。

共に戦禍というアンチテーゼを共有する広島市と呉市の保全活動が成果を上げ、ギフチョウの大分布圏が確保できればユニークな地域自然文化財の創成になる。

5. 三つの未解決の課題

第一は、ギフチョウの分散、ことに受精卵を持った♀の分散状況が不明な点である。夏秋・竹内(1999)の約1kmの記録は貴重である。環境・生理条件を鋭く感受して“分散を惹起させる仕組み”が内在する可能性もある。バイオニアを作る分散が環境変動を先取りすれば種の存続に適応的だからである。

また、異なるメタ個体群間の遺伝子の混合が種の保持にどの程度必要か検証されていない。和歌山県竜王山、大阪府生駒山、大阪府箕面市など一気に絶滅しており孤立すると絶滅に向かう傾向がある(渡辺, 1995)。個体密度など個体群全体が直面した変動を感知して『分散を惹起させる仕組み』があり、別個体群との交流は『これを阻害する』と考えれば合理的である。

中国地方ことに広島県のギフチョウは、関西のギフチョウと比較して分散性が高い印象を抱いている。個体群にある遺伝的な差(広渡・渡辺, 2000; 渡辺, 2002; 平野, 2005)に対応するのか、たんに食草の分布・繁茂条件の差がそう見せるだけか判っていない。

第二は、地球環境の世界的変動である。日本列島は特にその西南部で太平洋側の乾燥傾向が著しく、動植物の種構成の大きな変動が語られて久しい。2005年前後から著しい広島市、京都市近郊のギフチョウの激減はこれに対応し、山口県から瀬戸内面全域も例に漏

れない。その広域性から大気条件の世界規模の変化が示唆される。炭酸ガスのみならず、諸種の排気ガスの質と量、酸性雨、都市保熱性の長期的影響など、単一因子ではなく未知の複合要因が推測される。

第三は、10数年来顕在化したシカ(ニホンジカ)の激増である。山林荒廃と環境変動に伴う自然植性の変化が原因らしい。被害は激甚で森林下層植生のみならず幼木の食害により高木層も変化させ、兵庫県では大事な傾斜地の土壌侵食まで引き起こしている(藤木, 2011)。ギフチョウの蜜源のスミレ類から小灌木まで根絶するだけでなく、本来忌避するカンアオイ類も多雪地で常緑が目立つため選択的食害を受ける可能性もある(近藤伸一氏私信)。滋賀県、京都府ではシカの激増と広範囲のギフチョウ産地の壊滅(小野克己氏私信)があり、広島県でも東広島市では被害が拡大しているが絵下山ではまだ姿を見ない。

Ⅲ. 生息状況の推移とテレビ塔建設の影響 — 飛翔行動の変更とその意味

絵下山山頂部におけるギフチョウの調査は1982年から30年間続け(渡辺, 1998)、標識・再捕獲法による飛翔ルートの追跡と解析は2002年から加えられた。このときから亀山が加わり、山頂部を中心とする回帰性の飛翔(Watanabe and Hirano, 2006)を証明し、直径約500m内に含まれる5つのピーク(図2)間の半径1kmに及ぶおおきな周回飛翔(Hirano, Watanabe and Kameyama, 2006)を証明して個体群保持に対するその役割を考察した。テレビ塔と局舎はこの個体数の最も多かったピークAを整地して建設された(図4)。その前後の発生、飛翔状況の変化を述べ、考察を加える。



図4 ピークAの東側のギフチョウが集まる空間

(A) 工事前。林床は午前中木漏れ日が差し込み鹿の子まだらとなりギフチョウが静止すると溶け込む。後方(西半分)は日照度が高く乾燥していてギフチョウはほとんど飛翔しない(Watanabe and Hirano, 2006 参照)。(B) デジタル送信施設完成後。基礎工事に伴い一旦は掘削・平準化されたが、後にお椀型の地形が再現された。

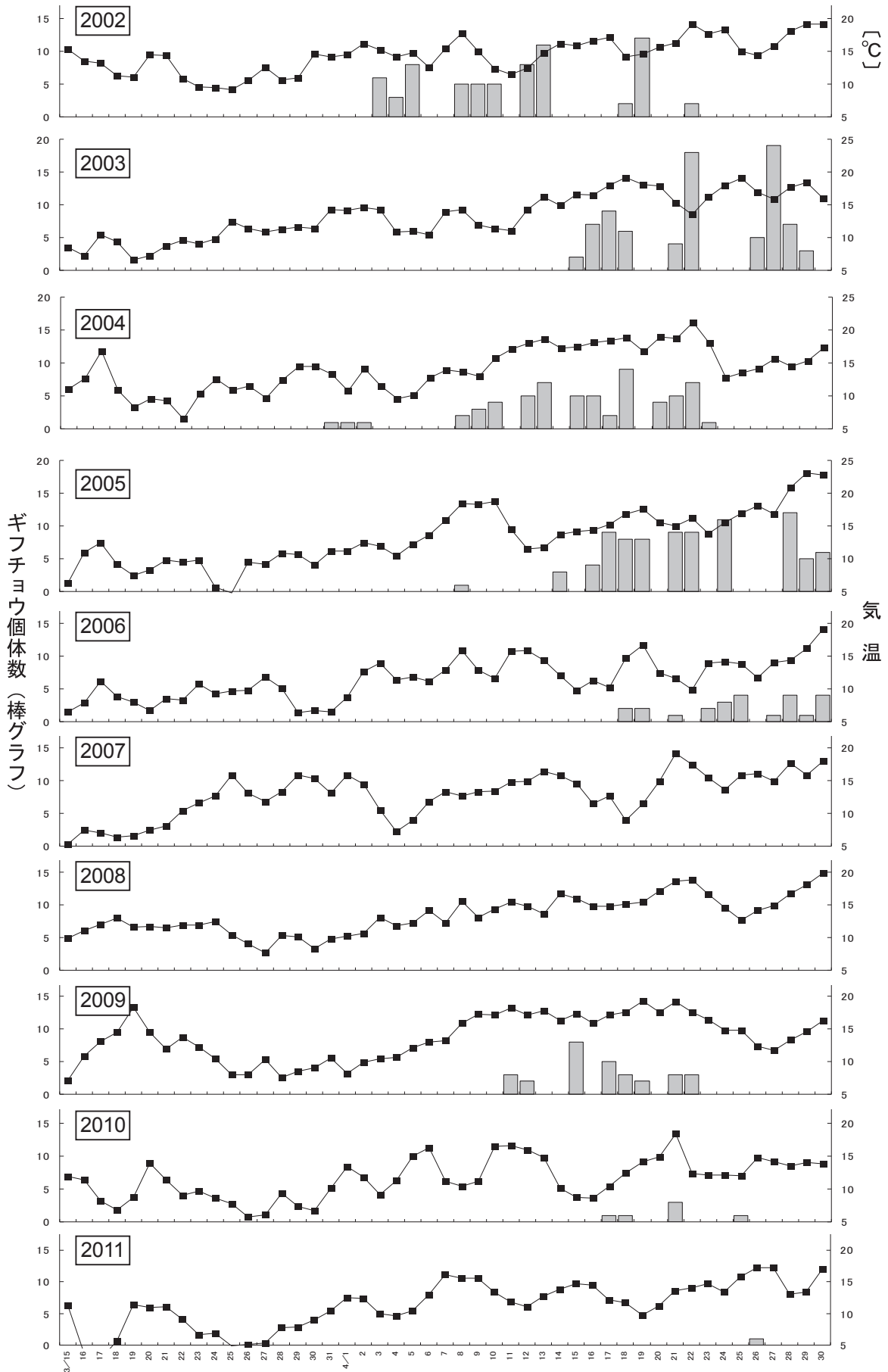


図6 気温変動とギフチョウ個体数

左スケールはマーキング法によって記録された実個体数。気温は広島地方気象台の日平均気温。5月のデータは含まない。

1. 山頂部への成虫飛来の概況

(1) 行動追跡の方法

原則として9時から16時に1~3名が個別にA~Eのピークを巡回し、飛来したギフチョウを捕虫網で捕獲し標識(図5)を施した。時刻, 場所, 性別, 汚損度, 飛来方向および行動の詳細を記録した後, 後翅裏面中央の黄色部に油性マーカーで数字を記入し放逐した(Watanabe and Hirano, 2006; 渡辺, 2008)。マーカーは各人別色を使用し, 新規個体には記録と通し番号を加えた。既標識個体は回帰性の故に概ね判別できるが, 双眼鏡でも番号確認に努め, 疑問のときは捕獲・確認した。

(2) 気温変動と発生・飛来状況

図5Aに示すように, 絵下山山頂部のギフチョウは, 工事に伴って一時的に消えたが, 3年後に自然回復し現在も生息を保っている。この変動の要因は気象的要因と工事による景観の変更が考えられた。

平均気温変動データは11.5km離れた広島地方気象台(広島市中区上八丁堀)による(図6)が, 絵下山上は約4度低いのでこの数値から4を減じて論じる。便宜上, 山頂飛来数=発生数, 山頂飛来初認日=羽化日と“みなし”で議論する。

データは含蓄に富むが一般化は難しい。あえて解釈を加えれば, ①3月下旬に0℃を下回る寒い日を持つ年(2005, 2006, 2010, 2011)は発生が遅れるか個体数を減じ, とくに寒暖の差が約5日おきに繰り返され平均気温が低いとこの傾向が著しい。このときしばしば♀の山頂集合(渡辺, 2008)が認められる。②ギフチョウの発生は, その開始に先立つ約5日間, 平均気温がやや高い日(約11℃以上)が続く場合が多い。

蛹の中での成虫形成は晩秋にはあらかた終わる(日高, 1973; 石井, 1988)が, まだ羽化シグナルだけ待つ状態ではない。冬季もダラダラ成長を続け3月中旬の羽化寸前まで続く(本田, 1985; 石井, 1988)。このことは冬季の気温の激変は蛹死亡率を高めることを意味するだろう。実験室ならぬ自然条件下では蛹化場所の日照度, 風当たり, 空間湿度, 土壌条件など変動要因はより大きい。

こうして発生タイミングと発生数は気候の影響を強く受ける。さらに飛翔行動はその日の気象条件に支配される。にもかかわらず確かにギフチョウは休眠消去や羽化期斉一化に特別な発生生理パターンを編み出しているに違いない。適切なる産卵こそが命をつなぐ強烈な淘汰圧の対象だからである。

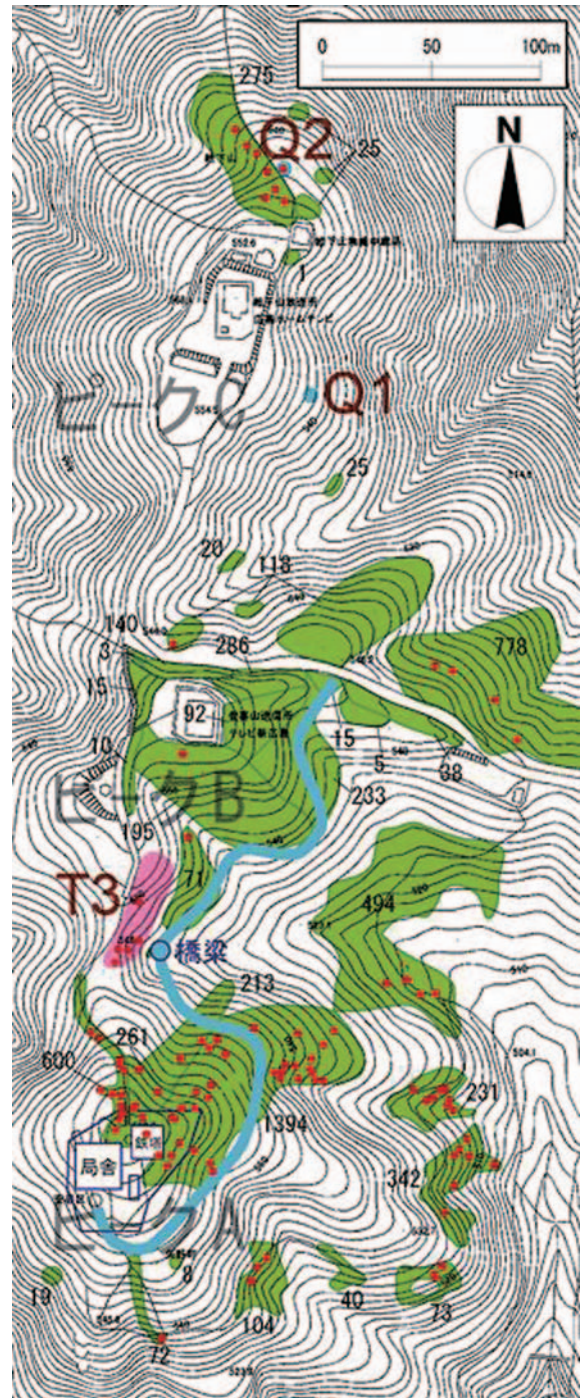


図7 ピークA, B, Cにおけるサンヨウアオイの分布状況と産卵

緑塗りはサンヨウアオイの分布範囲, 数値はその株数を示す(ピークD, E周辺は割愛)。ピークAの局舎, 鉄塔を囲む紺色直線は造成区域, 水色の太線は管理道路で, ○は橋梁を示す。赤のプロットが調査期間(2001~2011年)におけるギフチョウの産卵位置。大部分がピークAの北東側斜面に集中する。Q1, Q2はコドラート移植, T3は杭移植の位置を示す。

2. 食草サンヨウアオイ

(1) サンヨウアオイの特性と生育状況

サンヨウアオイは山頂部(等高線500m以上)では, ピークA, Bの東側から市道の北側にかけての斜面と, やや離れたピークCの北側に多く分布・繁茂し, 合

計 7,401 株を確認した (図 7)。パッチ状に群生しパッチ間に単独の株はほとんど見当たらない。パッチの形状にも大きな変化はなく同じ株を翌年ほぼ同じ位置に確認できる。やや開けた場所では葉は毎年更新されるが、薄暗い場所では 2 年以上更新されない個体もみられた。

一方、林や藪の茂り方の影響を受けて、それまで存在が確認できなかった場所から数年後に相当量の繁茂をみる場合があった。ときに根 (と少数の葉) だけで相当の長年月潜伏すると推測される。見当たらないから「ない」とはいえないのである。ウルム氷期には被覆森林相さえ激変したにもかかわらずカンアオイ類の分布像は大きく動かない事実 (原, 1979) は、数万年に及ぶ特異な生理的潜伏能 dormancy を備えた植物かもしれない。保全を目指す土地管理にあたっては大いに考慮を要する。

(2) 食草の状況と産卵

工事前の 2003 年までピーク A の北東側斜面の 2,468 株の群落群に集中的に産卵がみられたのでサンヨウアオイの移植はこれを待って 5 月に行われた。7 月に管理道路の伐採、整地が始まり、2004 年にはこの群落を上下に分断して敷設が進み、2005 年早春にピーク A 最上部の鉄塔・局舎の敷地に到達、完成した。4 月のギフチョウの飛翔・産卵を待って頂上部の掘削、平準化が始まった。この 2005 年度には平準化されたピークの周辺部でなお多数の産卵が認められた。

ピーク A から消失 (移植) したサンヨウアオイの株数は 890 株 (鉄塔・局舎敷地から 455 株、管理道路敷地から 435 株) で、残り約 1,500 株はそのまま残存している (消失率 36%)。しかしながら、鉄塔、局舎が完成した 2006 年春には、前項で触れた♂の山頂集合の欠如と未交尾♀のピーク E への滞留という異常行動 (渡辺, 2008) とともに全域で 1 卵塊も確認

できなくなった (図 8)。すなわち、2006 年は異常な気温推移が交尾行動の異変や交尾♀の分散を惹起した可能性と同時に、ピーク A の集合拠点消失、鉄塔という異質な巨大建造物出現があった。これが視覚に依存する♂♀のトータルな飛翔行動パターンにも強い影響を及ぼし巡回行動、交尾行動、産卵行動に激変をもたらした可能性が考えられる。

2006 年に産卵が途絶え一旦ギフチョウが姿を消してから再び復活しつつあることは、道路路面や周辺コンクリートが風雨で黒ずみ視覚的異質感が薄れたことによるのかもしれない。しかし、かつて豊穡であったピーク A の北から東斜面の食草パッチや東斜面下部の遊歩道のパッチでの産卵はいまだ検知できない。かわりに個体数の多かった頃は産卵の少なかったピーク B 北側の溪谷上部で認められたこと (2009, 2011 年、各 1 卵塊) は飛翔ルートの変更を示唆していて興味深い。パイオニア的な♀が二艘木、焼山、発喜山方面に潜在する発生地から進出した可能性も考慮せねばならない。

3. 巨大建造物に対する注目すべき飛翔行動 — 飛翔ルートは記憶されるか

管理道路の工事は、サンヨウアオイ移植完了を待って 2003 年 7 月より市道側から開始され 2004 年の 4 月に鉄塔と局舎の敷地に到達した。すなわち、2004 年の 4 月にはピーク A の山頂部にはまだアカマツ疎林の林床 (図 4A) には例年通りの♂の集合、占有飛翔が見られ (図 5B)、受精卵は食草移植後の新環境で産卵されたと考えられる。このあと 5 月に入ってから伐採、掘削、平準化と局舎・鉄塔の基礎工事が進み、翌 2005 年 4 月には局舎の足場が組まれ鉄塔下部の建設が進んでいた。

(1) 飛翔ルートとその変更

2005 年春、すっかり景観が変化したピーク A (図 9A) に対してギフチョウは興味深い飛翔行動を示した。すなわち、例年通りピーク A 北の階段 (図 9B) に沿って地表面を徘徊飛翔で登ってくるのである。そして建設中の巨大建造物に到達すると保護ネットに沿って高度を上げ上部を乗り越えて反対側 (南側) へ降下するかネットに静止 (図 9C, D) する。

翌 2006 年の 4 月には、白くピカピカの局舎・鉄塔が完成し、局舎わきや鉄塔下回りにヤマボウシ、リョウブ、コバノミツバツツジが植栽された (図 4B)。この年のギフチョウも、相変わらず“階段ルート” (図 10A 青線) から飛来し局舎の壁に沿って高度を上げ乗り越えて (図 9C) 南の反対側へ降下する飛翔コースを示した。

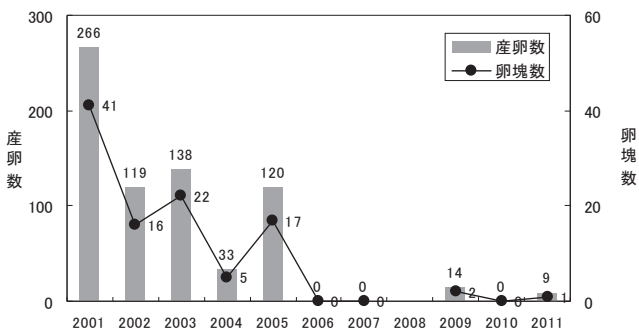


図 8 卵塊・卵数の経年変化

絵下山山頂部に分布する約 7,400 株のサンヨウアオイの中で確認された産卵。卵数 (棒グラフ) と卵塊数 (折れ線グラフ)。産卵確認位置は図 7 に示す。

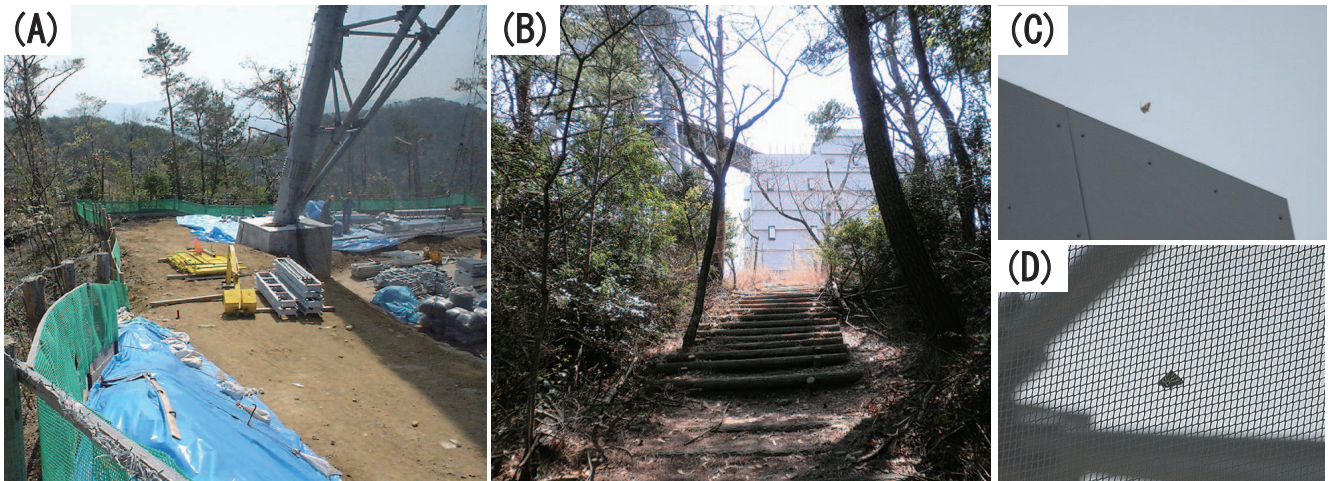


図9 工事中（2005年）と工事後（2006年）のピークAになおも飛来したギフチョウの行動

(A) 鉄塔下部（2005年5月12日）。この時点ではコンクリートの基礎部が裸出しているが、後に埋め戻され、ピーク部のお椀を伏せた形状が復元される。(B) 階段ルート（2011年4月12日）。奥に局舎が見える。(C) 完成した局舎を飛び越えるギフチョウ（2006年4月30日）。(D) 工事現場の保護ネットにとまるギフチョウ（2005年4月19日）。

重要なことは、この階段ルートの飛翔行動が2006年（建造後2年目）まで認められ、飛翔ゼロの二年間を挟んで2009年以降現れたギフチョウは、似たルートで飛来するのだが階段ルートからピークA方向には見向きもしないのである。ピークAはギフチョウ飛来山頂としての機能を失った（図5B）が、これは二年を要したのである。

そしてこれを補完するかのように“新しい飛翔ルート”（図10赤線）が生じていた。すなわち、ピークBに近接し、その南脇にある展望所（東屋）の約20m南の尾根道（ピークAへの歩道）に東から樹林を越えて飛来・降下し鹿の子まだらの陽だまり（図10C）で数秒間ずつ翅を開いては小移動して1分前後留まり、やがて西の樹林を越えて海側へ飛び去るのである（図10）。この新ルートは、飛来方向から、2004年までの『東側のピークD、EからピークAへ向かう巡回ルート』（Hirano et al., 2008, Fig.9）からの分岐と解釈される。分岐せず直進すれば樹林が切れた鞍部を経てピークAを階段ルートで登るのだがもう決してこれには向かわないのである。

気付いたのは2009年4月11日（渡辺）で、巡回飛翔の途上に生じる休息スポット（＝溜り場）（Watanabe and Hirano, 2006）と考えられた。さらに驚いたことに、まもなく展望所の海側の開けた西側斜面から風に逆らって尾根へ飛来し（図11）、そのまま尾根を横切り東へ飛び去る個体が時間をおいて数回認められたのである（うち一回は展望所脇の満開のソメイヨシノで吸蜜した）。先に樹林を越えて西側に飛去した個体の反転飛来は確実と思われた。尾根の西の樹林は、5～6mで切れるとそのまま海まで完全に開放した乾燥した急

斜面で、風が強くギフチョウの飛翔に全く適さない大空間である（図11）。

この“巡回ルート”（Watanabe and Hirano, 2006）は少なくとも数日間確認され、標識により同一個体の確認はできたが、別個体は確認できていない。2010年以降ギフチョウの発生数が再び低下しているが2011年に渡辺は再びこの溜り場で目撃し、同年4月29日には三好史久氏（広島市公園整備課長）が確認、撮影した（図10C）。この飛翔ルートが成立していることを強く示唆する。

ピークAを失った2005年以降、多くの成虫が集まるのは約500m南西に位置するピークE（図2A, C；図5B）であり、このピークBの新しい休息スポットで標識された個体もここで確認された（図5B）。

ピークEは2003、2004年までピークAとの間で頻繁な成虫の往来がある重要ピーク（Hirano et al., 2006）であるが、比較的鋭い独立峰で頂上は2♂が限界で安定した集積場所が多くない。これに対してピークAには3～4♂が同時に緩やかに占有行動をとる空間が2、3カ所存在していた（Watanabe and Hirano, 2006）。

(2) 仮説の提起—視認によるルートパターンは記憶され、遺伝するか

この飛翔ルートの変化は、巨大建造物の出現による集合拠点としてのピークAの機能喪失が原因であるなら、なぜ建造から2年間は“階段ルート”からピークAへの指向飛翔が引き続いて起こったのだろう。そして、2年のブランクを経て現れた個体は、なぜ巨大建造物以外に飛翔ルート上の大きな景観変化は認められないにもかかわらずこれを放棄したのだろう。数年



図 10 2009 年以降、新しく生じた飛翔ルートと休息スポット

(A) 青線は 2006 年までみられた“階段ルート”。赤線は 2009 年以降に新しく生じた飛翔ルート。(B) 展望所から南を見る。“休息スポット”と飛翔ルート。(C) 南側から見た休息スポットと飛翔ルート（最奥の左に展望所の端が覗く）。右の茂みにコバノミツバツツジがあり、しばしばこれを吸蜜して尾根上の休息スポットに舞い降りる。飛去の時は左の灌木を越えて西側へ去る。挿入のギフチョウは 2011 年 4 月 29 日スポット内（三好史久氏撮影）。

の間隙期を経て、巨大建造物を視認して忌避する新たな行動への神経回路のスイッチが入ったのではないだろうか。

すなわち、個体群が長年経験的に獲得している飛翔

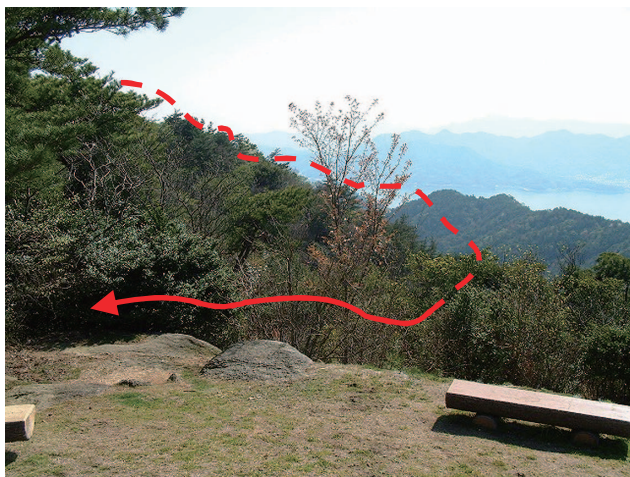


図 11 休息スポットの西側斜面と推定飛翔ルート

休息スポットから飛去したギフチョウ（赤破線）は海まで望む大空間で反転して尾根に戻ると推定（赤実線は確認ルート）。

ルートのパターンは、全体として 2 年間程度、世代を越えて伝達される（覚えている）仕組みを持つのではないだろうか。言い換えると、刺激入力と運動反射による行動上の獲得形質は少なくとも数年はシステムとして記憶され、消去までは数世代を要する（遺伝する）と仮定するのである。

行動学の古典的常識では飛翔方向は個体レベルの『視認と反射』の繰り返しで決まり、そこで獲得された経験が次世代に遺伝することはない。ましてピーク A の消失により産卵地も変更されているのだから成虫の飛翔ルートも変更されて当然だと普通は解釈されよう。

しかしながら、飛翔パターンを規定する生理機構も、従ってその発生機構も、解明されていない。19 世紀以来、発生学ではまず形態が解析の対象であり、行動の発生はこれからなのである。それ故、世代を越えた伝達の可否が議論できるはずがない。『種』は形態と行動において固有である。そして適応的淘汰にはむしろ行動の方が直接的なのである。

蝶道のように個体群内の複数個体が同様に行う飛翔

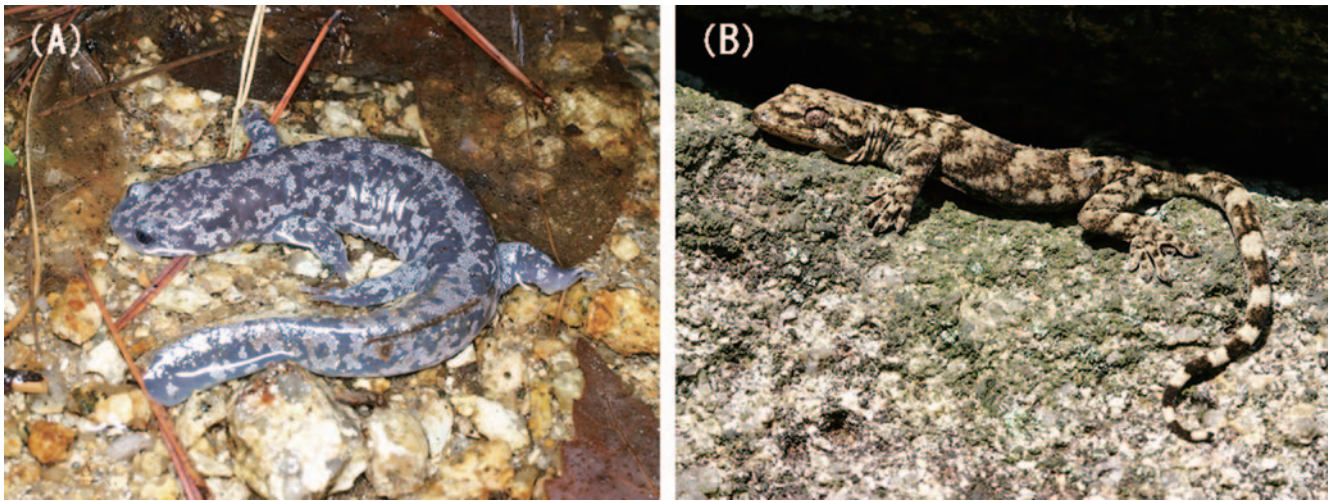


図 12 山上部における希少両生類と爬虫類

(A) ブチサンショウウオ。溪流源頭の岩の下に産卵する。橋梁（図 12）周辺に生息。健全な湧水と林床環境の指標でサンヨウアオイ生育を保障する。(B) タワヤモリ。巡回飛翔ピークから尾根の大岩の幅 1cm 程度の割れ目に生息。四国を中心に豊後水道沿岸部から本州瀬戸内海沿岸部に分布。有史以降の分布拡大は困難で絵下山は北限に近い遺存的分布地として重要。

ルートは、すべて各々の個体の個別要素の累積のみで決まるとは考えにくい。飛翔パターンは、その全体がいくつかの要素がシステムとして“構造化”（例えば柴谷，1999；池田，2011）された遺伝形質と考えられる。システムにはいくつかのパターンがあり、行動に際して刺激入力に応じて大まかに選択されては実行されると推測される。このパターン選択が記憶として生殖細胞を通過すれば次世代に伝達・継承される。いまや分子遺伝学や分子行動生理学の近年の知識はこれを説明する仕組みにはこと欠かない（例えば Rutherford and Lindquist, 1998；石川，2000 など）。生殖行動には強力な淘汰がかかるので進化生物学上のインパクトが大きいので今後の注意深い分子遺伝学的解明が課題である。



図 13 ピーク A, B 間の溪谷源頭部に建設された橋梁 2006 年 11 月撮影。油分流出防止のためコンクリート舗装を採用。左上隅にピーク A の鉄塔脚部が見える。

IV. 協議会に基づく環境保全対策とその効果

谷の源頭直下の湿地には環境省植物レッドリスト・絶滅危惧 I 類のオオミズゴケが、鞍部には紀伊半島南部、四国、九州が分布圏とされるオンツツジが、湧水の源頭部にはブチサンショウウオ（図 12A）が、巨岩の割れ目にはタワヤモリ（図 12B）が分布している。本事業は広島市公園区域で都市計画変更が必要で、渡辺は広島市の 2003 年度の都市計画委員会に臨時委員として出席し「市民の生き物とのふれあいの場としてギフチョウをシンボルとしつつ自然環境全般の保全を目指す」ことを説明して許可された。

1. 橋梁の設置と工事施工上の注意の徹底

本事業では、当初ピーク A およびピーク B 間の東側斜面の、溪谷最上部を横断して管理道路（幅員 5m、全長 380m）が計画された。これはブチサンショウウオとオオミズゴケを育む一年中涸れることのない湧水を断ち切ることになる。

この分断は、この 2 種にとどまらず、げっ歯類などの小動物の尾根越えの移動経路を奪い、ひいては総括的な当山塊の植物相、動物相に大打撃を与えると判断し、あらたに谷をまたぐ橋梁の設置に計画変更した。仮橋設置から本橋架橋までの掘削方法、舗装の種類まで協議会による慎重な議論と監視のもとで進められた（絵下山環境保全報告書，2006）。その結果、工事期間を通して湧水が涸れることなく、オオミズゴケ生育地、ブチサンショウウオ繁殖地はほぼ完全に保全され、小動物の移動経路としても十分に機能する橋梁が完成した（図 10；図 13）。

また、本事業は工事施工上、過去に例を見ない特徴

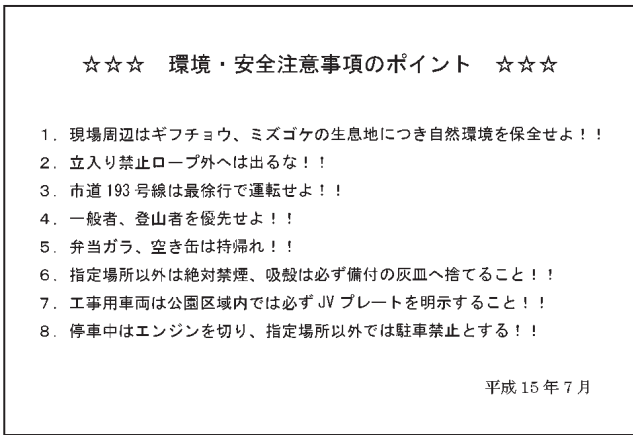


図 14 工事事務所に掲示された環境配慮事項
ギフチョウの生活状況や生態写真も常時掲示した。

が2つあった。第一は、各施工段階で協議会によるチェックと指導が徹底的に行われたことである。事前調査の2002年7月から共用（デジタル開局）後の2006年11月までの4年間、協議会が12回開催され、各施工段階で生じる環境配慮上の問題を検討し実施した。第二は、環境配慮事項を施工業者はじめ関係者全員に基本理念として徹底させた。工事期間中、ピークCに仮設された工事事務所の正面入り口にギフチョウの写真と現場での注意事項が常時掲示され（図14）、現場の作業員から「それらしいチョウを見た」等の情報提供を受けることもしばしばあった。現場での環境配慮は高いレベルで実現された。

2. サンヨウアオイの移植—活着と産卵

地形改変区域内のサンヨウアオイは絵下山山頂部の非改変区域へ移植した。将来のギフチョウの繁殖補助を考慮して、行動ルート内のピークCの東にQ1、北にQ2のコードラート移植、ピークAからピークBに至る尾根の東側斜面に杭移植（T3）の計3箇所を設定した（図7）。コードラート移植は、10m×10mの方形枠の中にサンヨウアオイを25株×10列=250株を配置するデザインで、杭移植は、斜面に1.5m間隔で格子状に148本の木杭を打ち、各杭を軸に50cmの位置に5株のサンヨウアオイを配置するデザインとした。

2003年5月19~23日、鉄塔・局舎敷地内の455株をQ1、Q2へ、管理道路敷地内の735株をT3へそれぞれ移植した（合計1,190株）。移植は規格化した指示（図14）のもとに株の採取、移動、植え付けを行い、植え付け直後に水締めを兼ねてQ1、Q2には約500ℓ、T3には約2,000ℓの灌水を行った。移植時に、3卵塊22頭のギフチョウの初齢幼虫を確認したが落下させないように注意を払いつつ他の株と同様に移動した。

その後3年間、毎年6月にモニタリング調査を実施した。移植1年目の冬季、Q1、Q2でかなりの株がイノシシに掘り返されたが地下部は無事で、翌年にはQ1が144/255株（56.5%）、Q2が171/230株（74.3%）、T3が557/735株（75.8%）、全体で872/1190株（73.3%）の活着が確認できた。その後2005年は995株（83.6%）、2006年は1007株（84.6%）と推移し、おおむね良好

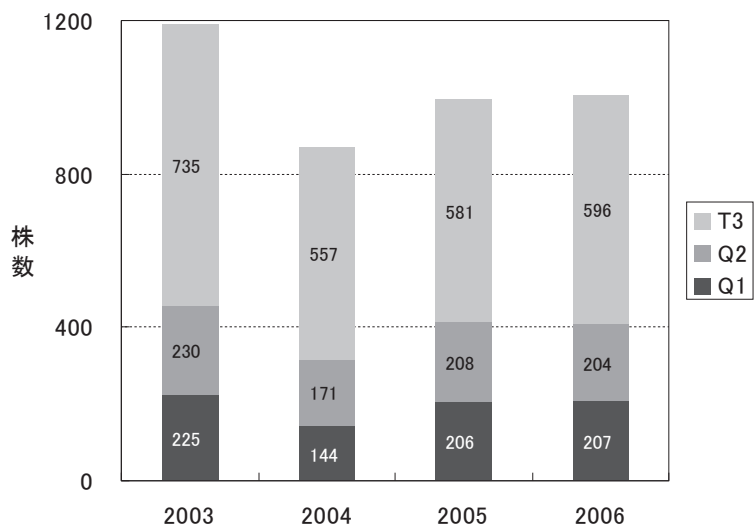


図 15 サンヨウアオイの移植

(A) ピークAの地形改変区域から1,190株を掘採る。株元から半径15cm、深さ20cmを掘り出し土を払い速やかに移動・移植。移植先に直径15cm、深さ15cmの穴を掘り根を広げて植え込む。(B) 活着したサンヨウアオイ（杭移植）。白○は活着した5株。棒グラフは移植から3年間の活着状況。漸減して回復するのは根からの発芽による。

な活着が得られた (図 15)。

その結果, T3 では 2004 年に 1 卵塊 8 卵, 2005 年に 3 卵塊 24 卵, 2009 年に 1 卵塊 7 卵の産卵を確認しギフチョウの産卵場所として新たに機能していた。T3 地点の樹相は, 高木はアカマツ, クロキ, コナラ, 低木はヒサカキ, コバノミツバツツジでいずれも樹齢が若く被覆度が低い。このため林床への日照が強乾燥気味でサンヨウアオイ株はやや矮小であるが, 数年後に林分の被覆が増せば繁茂が期待された。

V. 今後の頂上部の整備と課題

1. ピーク A (テレビ塔, 局舎周辺)

電波障害の排除のため, テレビ塔の周囲半径 20m の斜面が芝生の裸地とされたことは予期に反する誤算であった。ギフチョウの飛翔はこの広い芝生地を忌避する。将来のギフチョウの集合を期待して局舎脇や鉄塔の下周りにヤマボウシ, リョウブおよびコバノミツバツツジが植栽されたが, 適切な日陰を作るにはあと数年~10 数年を要し, 中央部が高木にできない制限からその機能は未知数である。当初, 局舎と鉄塔にギフチョウの生活に適した色彩を施す案が協議会の議題となって見送られたが, 鉄塔脚部の彩色と立体を利用した人口模擬林は改めて考えられる。また, 芝生の一部に電波障害が 100% 排除できる低灌木か日蔭用人工物を配置してカンアオイの移植も考えられる。

ピーク A の鉄塔の東北約 40m に, もともとギフチョウが多少とも集まる小突出部があり, 個体数の多かった 2005 年には飛来と滞留も認められた。ここはかつての産卵適地の斜面の上部 (約 30~50m) にあたる。ここにギフチョウが飛翔できる最小限の植栽と草刈りを行って飛翔ルートを創出すれば, ピーク B の再整備, T3 杭移植地の機能化, 局舎等の色彩の自然融合と相まってピーク A にかつてのギフチョウの楽園の復活も夢ではない。

2. ピーク B の整備およびピーク C への期待

ピーク B は現在, (株)テレビ新広島のアナログ送信塔が立っている (図 2B) が, この周囲および東から東北斜面には広くサンヨウアオイが分布し, 林下の潜在分布量も大きい。もともとは絶好のギフチョウ発生・飛翔地であったと推測され, 送信塔撤去後の広島市の公園整備 (絵下山環境保全報告書, 2006) にあたって適切なピーク地形の回復と植樹, および東面, 東北面の伐採を行えばきわめて良好なギフチョウの発生拠点創出できる。

また, 2006 年以降, ピーク A を失ったギフチョウが顕著な集合行動を示したピーク E (図 2C, 図 5) の

頂上部も適度な伐採で大きな飛来・集中拠点の創出が期待できる。

3. 絵下山塊のその他のピークと尾根道

ピーク C の西方 250m にピークを持つ明神山 (図 2B) は数年前までイノシシの多い荒れた山域であった。この尾根道に頂上を経て矢野ニュータウンに至る遊歩道が整備され, いまやハイキングコースとなり, 2010 年 4 月 25 日, 渡辺は明神山の頂上の小広場に舞い降りたギフチョウを目撃し標識確認を目指したが失敗した。

また, ピーク E から東南へ焼山ニュータウンに下る尾根道も近年ハイキング道として整備された。途中の小ピークは古くギフチョウが知られ, 2009, 2010 年には市民からの目撃情報もある。絵下山山頂部の改変に伴ってギフチョウの頂上部の行動が変化している中, 藪を開く登山道の整備はギフチョウの飛翔や繁殖に絶好である。藪の中に潜在していたサンヨウアオイも大繁殖に転ずる。ギフチョウ繁殖を意図すれば効果は倍増するだろう。

4. 将来の課題—伐採と林床整備および監視

ギフチョウは四季の変化に富むわが国の自然環境のシンボルに掲げるにふさわしい蝶で, 千年を越える世界に類例のない都市, 京都周辺でも豊かに産した (渡辺, 2010)。桜の頃, 被爆都市広島を眼下に多くの市民が訪れる絵下山自然公園の地でギフチョウの増幅を図ることは意義が深い。

広島県では, エヒメアヤメをはじめ多くの希少里山生物が, “草刈り”, “枝打ちと林床整備”, “水源や湿地の保持”などを待っている。市民の協力が期待される課題 (石井ら, 1993; 中村, 2005; 浅野, 2005) で, 既設の 2 基のテレビ塔撤去とこれらを集約できる行政, マスコミ, NGO などの強く柔軟な指導体制が期待される。デジタルテレビ塔, 局舎およびその管理道路を含む広い山域は, 鉄条網によって立ち入り禁止とされ監視カメラが設置されており, 保全の上からも好便で, 立入禁止地域内に多くのサンヨウアオイを生育させる努力を続けたい。

昆虫採集は元来教育的な文化行為である (渡辺, 2011)。しかし絵下山の現状はギフチョウ自体が氣息奄奄で採集どころではない。保全に成功し安定な発生が得られた場合, 解説板設置, マスコミの協力, 講演会など広報が先決で, 経緯を踏まえれば無断採集は許されまい。将来, 指導つきで児童や市民の採集の方策を考えるとところまでくれば嬉しいのだが。

一方, 自然 (気候変動と種ギフチョウの属性) には抗し得ない。仮に自然飛来に基づくギフチョウ復活の

希望が完全に断たれたと確証された場合には、事実を公表の上、別産地からの移植も考慮に値する。これらの成否は社会の文化の力で決まる。

【謝辞】

データの公表を快く承諾下さった広島地上デジタル放送送信施設建設委員会（幹事：広島テレビ放送株式会社 委員：日本放送協会広島放送局，株式会社中国放送，株式会社広島ホームテレビ，株式会社テレビ新広島），建設現場において面倒な環境配慮事項を一貫して遵守頂いた清水・五洋・増岡特定建設工事共同企業体および協力会社の皆様には深甚の謝意を表す。また広島市都市整備局緑化推進部は事業当初からご理解とご協力をいただいた。あわせて深甚の謝意を表す。

現場環境整備には広島テレビ元常務の笹川良男氏，広島市歴代公園課長の福永哲夫，三好史久氏，現地調査には北岡一真，藤野徹氏，植生は関太郎博士，大型動物は金井塚務氏，ギフチョウの休眠生理は本田計一博士，シカ害は近藤伸一，小野克己氏，マツタケは堀越孝雄博士，目撃記録は頼田弘子，長井正和，三好史久氏のご援助を頂いた。また移植作業にあたって協地産業株式会社に格別のご協力頂いた。心より御礼申し上げる。

【文献】

- 浅野敏久 (2005)：ギフチョウ生息地保全をめざした絵下山頂整備に関する市民意識。日本研究，3，73-84.
- 池田清彦 (2011)：『進化論を書き換える』，新潮社，東京.
- 石井 実 (1988)：ギフチョウの蛹休眠。『蝶類学の最近の進歩』（三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編），日本鱗翅学会特別報告6号，大阪.
- 石井 実・植田邦彦・重松敏則 (1993)：『里山の自然を守る』築地書館，東京.
- 石川 統 (2000)：『進化の風景』，裳華房，東京.
- 標原俊嗣 (2011)：湿原の輝き — ギフチョウの彩り。月刊むし，(482)，6-10.
- 絵下山環境保全報告書 (2006)：正式名：絵下山デジタルテレビ塔建設事業に係る環境の保全に関する協議会報告書。（協議会会長：渡辺一雄，実務担当：笹川良男（広島テレビ放送（株）取締役技術本部長），亀山剛（復建調査設計（株）環境技術部生物環境課係長）のもと，テレビ局5社の担当責任者，広島市都市整備局緑化推進部および関太郎博士が執筆。取り纏めは亀山，渡辺，笹川ら）
- 神垣健司 (2009)：『平成21年 灰ヶ峰公園のギフチョウ生息状況について』（呉市公園緑地課年次提出レポート；発表予定）
- 司馬遼太郎 (1997) 鉄と日本史，『司馬遼太郎が語る日本（未公開講演録愛蔵版Ⅱ）』，週刊朝日増刊号，朝日新聞社；102(31)；82-90.
- 柴谷篤弘 (1999)：『構造主義生物学』東京大学出版会，東京.
- 高橋真弓 (1979)：『チョウー富士川から日本列島へ』築地書館，東京.
- 中村康弘 (2005)：保全研究の現状と対策。『チョウの生物学』（本田計一・加藤義臣編），東大出版会.
- 夏秋 優 (1989)：大阪府鴻巣山におけるギフチョウの生態。蝶研フィールド，4(3) 6-10.
- 夏秋 優 (1996)：ギフチョウ成虫の行動について。昆虫と自然 31(5)，10-17.
- 夏秋 優・竹内 剛 (1999)：ギフチョウ成虫のマーキングによる行動調査。蝶と蛾 50(3)，216-222.
- 浜田 稔 (1974)：『マツタケ日記』浜田稔先生定年退官記念事業会，京都.
- 原 聖樹 (1979)：『ギフチョウの自然誌』築地書館，東京.
- 日高敏隆 (1973)：ギフチョウ — 23度の秘密 —。アニマ (2)，60-63.
- 平野和比古 (2005)：ギフチョウ自然個体群の個体群動態 — 遺伝子構成と飛翔行動の解析。広島大学大学院生物圏科学研究科修士論文.
- 広渡一成・渡辺一雄 (2000) 西日本産ギフチョウ *Luehdorfia japonica* のミトコンドリア ND5 遺伝子に認められたスニップス（一塩基多型）とその意味。ホシザキグリーン財団研究報告 (4)，215-224.
- 藤木大介 (2011)：県域スケールでシカによる自然林衰退を把握する。兵庫の林業，255，9-10.
- 本田計一 (1985)：ギフチョウの蛹は冬季は休眠しない。蝶と蛾，36：33-34.
- 松本和馬 (1994)：マーキング法で調べたギフチョウ成虫個体群の構造。昆虫と自然，29(4)：22-26.
- 渡辺一雄 (1991)：広島県のギフチョウの食草に関する覚え書。広島虫の会会報 (30)，5-20.
- 渡辺一雄 (1995)：ギフチョウの生息環境と共存への課題。昆虫と自然，30(4)，7-15.
- 渡辺一雄 (1996)：東広島キャンパスで発見されたギフチョウ — 生息環境と共存への課題。広大環境 (25)，8-16.
- 渡辺一雄 (1998)：ギフチョウの飛翔行動と分布論 — 地形依存的集合・散開運動による散逸の防止と生殖 —。ホシザキグリーン財団研究報告，2，165-223.
- 渡辺一雄・淀江賢一郎・難波通孝・山中捷二・後藤和夫 (2000)：中国地方におけるギフチョウ分布図および分布論。ホシザキグリーン財団研究報告，4，225-237.
- 渡辺一雄 (2002)：DNA が語るギフチョウの起源と個体群の分化。遺伝，56(2)，74-78.

- 渡辺一雄 (2008): ギフチョウは山で何をしているか——“西のギフチョウ”に関するノート. 月刊むし, 446, 2-9.
- 渡辺一雄 (2010): “京都”をとり囲むギフチョウ. 月刊むし, 470, 26-36.
- 渡辺一雄 (2011): 昆虫採集は理科離れへの“妙薬”——現代生命科学の現状から. 『山口県昆虫レッドリスト』, 巻頭特別寄稿 (山口むしの会編), 17-20.
- 渡辺 守 (2005): メタ個体群と景観. 『チョウの生物学』(本田計一・加藤義臣編), 東大出版会.
- 渡辺康之 (1996): 『ギフチョウ』(渡辺康之編著), 北海道大学図書刊行会.
- Hirano, K., Watanabe, K. and Kameyama, T. (2006): Flight behavior of *Luehdorfia japonica* (Lepidoptera, Papilionidae) at the summit area of Mt Egesan, Hiroshima City. 2. Peak-to-peak translocation of males in 2003, 2004 and 2005. *Trans. lepid. Soc. Japan*, 57, 279-290.
- Makita, H., Shinkawa, T., Ohta, K., Kondo, A. and Nakazawa, T. (2000): Phylogeny of *Luehdorfia japonica* butterflies inferred from mitochondrial ND5 gene sequences. *Entomol. Sci.*, 3(2), 321-329.
- Matsumoto, K. (1984): Population dynamics of *Luehdorfia japonica* LEECH (Lepidoptera: Papilionidae). A preliminary study on the adult population. *Res. Popul. Ecol.* 26: 1-12.
- Rutherford, S. L. and Lindquist, S. (1998): Hsp90 as a capacitor for morphological evolution. *Nature* (396), 336-342.
- Watanabe, K. and Hirano, K. (2006): Flight behavior of *Luehdorfia japonica* (Lepidoptera, Papilionidae) at the summit area of Mt Egesan, Hiroshima City. 1. Hill-topping and round-patrolling of males and their roles in mating and meta-population convergence. *Trans. lepid. Soc. Japan*, 57, 237-254.

(2011年8月31日受付)

(2011年11月18日受理)