

# 環動昆

## 原著

永田齊寿・飯塚日向子・北原正彦：福島県いわき市郊外山域のチョウ類  
群集における成虫の食物資源利用様式 ..... 153

柳川 綾・清水 進：昆虫病原性糸状菌分生子のイエシロアリ  
腸内からの検出（英文） ..... 161

柳生将之・中村寛志・宮崎敏孝：天竜川水系の山地河川，藤沢川における  
大規模洪水がイワナにおよぼす影響 ..... 169

## 研究奨励賞受賞論文

広渡俊哉：鱗翅目昆虫を利用した森林環境の評価に関する研究 ..... 177

## 解説

今井長兵衛：ウエストナイルウイルスの西半球侵入と流行実態 ..... 189

第19回日本環境動物昆虫学会年次大会印象記 ..... 199

会 報 ..... 201

投稿規定 ..... 212

総目次 ..... 217

Vol. 18

# 4

2007

## 日本環境動物昆虫学会

## 福島県いわき市郊外山域のチョウ類群集における成虫の食物資源利用様式

永田齊寿<sup>1)</sup>・飯塚日向子<sup>1)</sup>・北原正彦<sup>2)</sup>

1) 福島県立勿来高等学校

2) 山梨県環境科学研究所

(受領 2007年6月11日; 受理 2007年11月13日)

Food resource usage patterns of adult butterfly communities in the suburban mountainous areas of Iwaki City, Fukushima Prefecture. Narihisa Nagata<sup>1)</sup>, Hinako Iiduka<sup>1)</sup> and Masahiko Kitahara<sup>2)</sup>. <sup>1)</sup>Nakoso High School, Kubotamachidoori Nakosomachi Iwaki, Fukushima2-1, Japan. <sup>2)</sup>Department of Animal Ecology, Yamanashi Institute of Environmental Sciences, Kenmarubi, Fujiyoshida, Yamanashi 403-0005, Japan.

### Abstract

Adult butterfly communities and their diet resource usage were monitored from April to November 2005 by transect counts at 3 suburban mountainous areas of Iwaki City in Fukushima Prefecture. Across the entire study area, 47 varieties of adult diet resources were recorded. Of these, 45 varieties were plants with 34 belonging to herbaceous species. The results indicated that flower nectar of herbaceous plants was utilized by many butterfly species, suggesting that they are the primary diet resources for adult butterflies. In this study area, the adult diet resource breadth (number of adult diet resource varieties recorded) of each butterfly species was not significantly related with its larval potential resource breadth and voltinism (number of generations per year). As well, the dependent rates on exotic plants (the proportions of the number of exotics used to that of all nectar plants) in the respective study areas were relatively low (c.20-30%). However, the species diversity ( $H'$ ) of nectar plants utilized in the areas were relatively high (3.69-4.02), suggesting that there were few effects on the present adult resource environment from the invasion of exotics. The results suggested favorable habitats were maintained for the diet resources of adult butterfly communities. Studies done in different regions have had similar results to ours, suggesting that the resource usage patterns obtained in this study have a high generality. From the analysis of adult diet resources, it was concluded that appropriate maintenance and management of the habitats with high species diversity of nectar plants and many herbaceous plants such as perennials is very important for conserving butterfly diversity.

**Key words** : Adult diet resource, Butterfly community, Exotic plant, Herbaceous plant, Iwaki City, Nectar plant.

2005年4月から11月まで、福島県いわき市郊外山域の3地域において、トランセクト法を用いてチョウ類成虫の個体数モニタリングと利用餌資源の調査を実施し、当地における成虫の餌資源利用様式の解明を試みた。その結果、石森山、水石山、仏具山の3地域全体で、成虫の利用餌資源が47種類確認され、その内45種が植物で、34種が草本に該当した。全地域共に草本植物の花蜜は、多種の成虫に利用され、利用回数も多く、成虫の主要な餌資源であることが確認された。また全地域を通じて、各種成虫の食性幅（成虫の利用餌資源の種類数）と、その幼虫の潜在食性幅および化性（年間世代数）の間には、有意な関係は認められなかった。一方、各地域で確認された利用蜜源植物における帰化植物への依存率（蜜源植物の利用回数に占める帰化植物の割合）は約20~30%と相対的に低く、蜜源植物の多様度  $H'$  は3.69~4.02と相対的に高いことから、各地域共に帰化植物の侵入による影響はまだ少ないと推察され、チョウ類群集にとっては好適な成虫餌資源環境が維持されているものと判断された。今回得られた結果は、他の地域の既存の調査結果と類似している面が多く見られ、高い普遍性を有する結果であると判断された。本研究の結果より、成虫の餌資源利用様式からみると、多年草などの草本植物がよく生育し、蜜源植物の種多様度の高い生息環境の維持・管理が、チョウ類群集の多様性保全ためには極めて重要であることが示唆された。

## 緒 言

福島県いわき市は、東北地方で最大の面積を有する市で、東側は太平洋に面しており、今日までに 110 種のチョウ類が記録されている（松崎, 1981, 1984）。福島県立勿来高等学校理研部では、いわき市周辺地域におけるチョウ類群集の現状や特性を把握することを目的として、2004 年 4 月から 2005 年 11 月まで同市郊外山域で、チョウ類群集の多様性と構造に関する調査を行った。その結果、調査を行った市内の 3 地域（石森山・水石山・仏具山）で、多少の違いはあったものの、相対的に高い種多様性が認められ、3 地域共にチョウ類群集にとっては比較的良好な生息環境が維持されていることが示唆された（永田ら, 2006）。

一方、群集の多様性と資源利用様式の間をみるために、2005 年の調査においては、成虫の食物資源利用様式についても、成虫の個体数モニタリング調査と並行して実施した。我が国ではこれまでに、チョウ類各種成虫の食物資源利用については、福田ら（1982, 1983, 1984a, 1984b）の詳細な定性的記載が見られるほか、定量的な研究については、富士山北麓（北原, 2000）、埼玉県浅羽ビオトープ（上村, 2004）、東京都荒川千住新橋緑地（瀬田, 2006）などの地域で実施されている。しかし、チョウ類成虫の食物資源利用に関する群集レベルの定量的研究はまだ数少なく、特に東北地方については全く研究例が無いのが現状といえる。

そこで本論文では、上述した 2005 年のチョウ類成虫の食物資源利用に関する調査の結果を報告し、併せて成虫の食物資源利用様式とチョウ類群集の多様性の関係を解明し、最後に成虫の食物資源利用様式からみたチョウ類群集の保全の在り方について考察することを試みた。

## 調査地および調査方法

### 1. 調査地概要

調査を行ったいわき市は、福島県の太平洋側の南端部に位置し、阿武隈山地の東縁部にあたり、東北地方で最大の面積（1231.13 km<sup>2</sup>）を有する市である。調査地には、いわき市内の東部、中央部、南部に位置する次の 3 つの地域を選んだ。各地域の詳しい記載は前報（永田ら, 2006）で行っているため、ここでは概要のみを述べる。

#### (1) 石森山

石森山は、いわき市の中心部から北へ約 6 km の地点に位置し、標高は 224.8 m である。地域一帯は保全林として市の指定を受けており、管理の良く行き届いた典型的な里山環境といえる。この地域内に、総延長約 2.9 km の固定の調査ルートを設置した。ルートは頂上付近以外は舗装され、沿道には小さな広場や空地が点在し、ツツジ *Rhododendron kaempferi* Planch. var. *kaempferi* 等

が植栽されている。全域の植生はコナラ *Quercus serrata* Thunb. を主とした二次林であり、ルート沿いにはクスギ *Quercus acutissima* Carruth. も多く見られ、他に灌木類、常緑針葉樹などが見られた。

#### (2) 水石山

水石山は、いわき市の中心部から北西へ約 16.5 km の地点に位置し、阿武隈山地の東端にあたり標高は 735.2 m である。当地域内に総延長約 2.1 km の固定の調査ルートを設置した。地域一帯は県立公園の一部にあたり、道路は整備され舗装されている。山頂付近は半自然性のシバ *Zoysia japonica* Steud. 草原になっていて、定期的に草刈等の人的管理が実施され、草本植物が多く見られた。それ以外の区域は、コナラ等の落葉樹が主体の植生であり、一部、空地や針葉樹林なども存在した。

#### (3) 仏具山

仏具山は、いわき市南部の茨城県境に近い地点に位置し、標高は 670.5 m で、県立公園の一部に指定されている。この地域内に、総延長約 2.0 km の固定の調査ルートを設置した。ルートは山頂の一部を除きほとんどが未舗装で、草刈等の人的管理も山頂の一部以外はほとんど実施されていない。空地はあまり見られないが、林縁部にはソデ・マント群落が発達し、多くの草本植物が見られた。森林はヤシヤブシ *Alnus firma* Siebold et Zucc., コナラ等の落葉樹林を主体とし、一部にはスギ *Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don 植林も見られた。

## 2. 調査方法

調査は、チョウ類成虫の主要出現期にあたる 2005 年 4 月～11 月に、トランセクト法（矢田, 1996）を用いて実施した。各調査地域について、原則として月 2 回（4 月および 11 月は月 1 回）、晴天無風（ないし風力 4 m 以下）で、気温 17℃ 以上の気象条件の日を選択し、調査を行った。ただし、諸事情のためにやむを得ない場合には、なるべくこの条件に近い日に調査を行った。調査時間帯は原則として午前 10 時～午後 3 時とし、調査地域内に設置した固定の調査ルートをほぼ同じ速度で歩行して、調査者の前方、左、右、高さそれぞれ約 5 m の範囲内で、目撃した全てのチョウの種名と個体数を記録した。

スジグロシロチョウとエゾスジグロシロチョウ、サトキマダラヒカゲとヤマキマダラヒカゲについては野外での同定が困難であったので、それぞれ 1 種として扱い、スジグロシロチョウ類、キマダラヒカゲ類として扱った。

成虫の食物資源利用は、調査ルート左右約 5 m 以内でチョウ類の餌資源利用を観察した場合、餌資源の種類と利用成虫の種および利用回数を記録する方法で調査した。

## 3. データの解析

データの解析手法は北原（1999, 2000）に従い、その詳細については前報（永田ら, 2006）に示した。ただし、

蜜源植物相の解析には、その種数および利用回数に占める在来・帰化植物の割合、平均多様度 (Shannon - Wiener 指数  $H'$ )、相対多様度 (Pielou (1969) の均衡度指数  $J'$ ) を使用した。両多様度指数の計算式は次の通りである。

$$H' = - \sum (n_i/N) \cdot \log_2 (n_i/N)$$

$$J' = H' / \log_2 S$$

ただし、 $n_i$ 、 $i$  番目の種の利用回数； $N$ 、全利用回数； $S$ 、総種数

また、解析に使用したチョウ類の2つの生態的特性 (幼虫の食性幅と年間世代数) は、以下のように決定もしくは推定した。各種の幼虫の食性幅については、福田ら (1982, 1983, 1984a, 1984b)、遠藤・仁平 (1990) に基づき決定した。すなわち、幼虫の食餌植物が1科内の10種以内に限定されている種群を幼虫狭食性種、逆に幼虫の食餌植物が1科内の11種以上、または2科以上にまたがり記録されている種群を幼虫広食性種とした。一方、各種の年間世代数については、福田ら (1982, 1983, 1984a, 1984b)、角田 (1982) および今回の実際の野外の調査結果に基づき判断した。

帰化植物・在来植物の区分けについては、上村 (2004) の区分けと同様に、清水健美編 (2003) に従い、安土桃山時代以降に我が国に定着した植物種を帰化植物種として扱った。それ以前に日本に定着したと考えられている植物群 (史前帰化植物) については、ここでは全て在来植物として扱った。

## 結 果

### 1. 成虫の利用食物資源

Table 1 に、各調査地域ごとの、全調査期間を通じて確認された成虫の餌資源の項目とそれらを利用していたチョウの種数および利用回数 (全チョウ種込みの値) を示した。3地域全体では、成虫の利用餌資源が47種類確認された。その内、45種類 (95.7%) が植物であり、クヌギの樹液利用以外はすべて訪花 (花蜜の利用) であった。残りの2種は、路上の水と昆虫等の死骸の液体 (または塩類) 利用であった。

調査地域ごとにみると、石森山では22種類の成虫餌資源が確認された。その内21種類 (95.5%) が植物で、残り1種類 (4.5%) が路上吸水だった。利用されていた21種の植物の内訳は、草本が16種 (85.7%)、木本が3種 (14.3%) で、草本の内、一年草が4種 (19.0%)、多年草が14種 (66.7%)、木本の内、低木が2種 (9.5%)、高木が1種 (4.8%) であった。5種以上のチョウの利用が確認された餌資源は、クヌギ、シロツメクサ *Trifolium repens* L.、アザミ類 *Cirsium* spp. の3種類で、

クヌギ以外は草本植物であった。一方、4種以下のチョウの種の利用が確認された餌資源は18種類であり、その内の3種以外はすべて草本植物であった。つぎにチョウの利用回数の多い餌資源をみると、多種のチョウに利用されていた餌資源とほぼ同様で、クヌギ、シロツメクサ、ヒメジョオン *Erigeron annuus* (L.) Pers. の順だった。上位8種類の内、クヌギと路上吸水以外は全て草本植物であった。餌資源の利用回数を詳しくみると、観察

Table 1 The list of adult diet resources observed in each of the three study areas of this study, their types, and the number of butterfly species and the number of all adult butterflies which utilized the resource.

Mt. Ishimori				
Adult resource	Japanese name	Type <sup>1)</sup>	Species	Frequency utilized
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	クヌギ	T	8	28
<i>Trifolium repens</i> L.	シロツメクサ	P *	6	12
<i>Cirsium</i> spp.	アザミ類	P	5	6
<i>Ikeridium dentatum</i> Thunb.	ハナニガナ	P	3	7
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	ヤマハギ	S	3	4
Water(sipping mud)	路上吸水	O	3	7
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	ヒメジョオン	A *	2	11
<i>Trifolium pratense</i> L.	アカツメクサ	P *	2	5
<i>Clinopodium chinense</i> (Benth.) Kuntze	クルマバナ	P	2	2
<i>Aster inuamae</i> Kitam.	ユウガキク	P	2	2
<i>Justicia procumbens</i> Sieb. et Zucc.	キツネノマゴ	A	2	4
<i>Geranium thunbergii</i> Sieb. et Zucc.	ゲンシヨウコ	P	1	1
<i>Rubus microphyllus</i> L.f.	ニガイチゴ	S	1	2
<i>Isodon inflexus</i> Kudo	ヤマハッカ	P	1	1
<i>Oxalis corniculata</i> L.	カタハミ	P	1	5
<i>Taraxacum platycarpum</i> Dahlst.	カントウタンポポ	P	1	1
<i>Phedimus aizoon</i> L.	キリンソウ	P	1	2
<i>Picris hieracioides</i> L.	コウリソウ	P	1	1
<i>Bidens pilosa</i> L.	コセンダングサ	A *	1	2
<i>Aster scaber</i> Thunb.	シラヤマギク	P	1	1
<i>Spiranthes sinensis</i> Ames	ネジバナ	P	1	1
<i>Lamium purpureum</i> L.	ヒメドリソウ	A *	1	1

Mt. Mizuishi				
Adult resource	Japanese name	Type <sup>1)</sup>	Species	Frequency utilized
<i>Lysimachia clethroides</i> Duby	オオトラノオ	P	10	48
<i>Trifolium pratense</i> L.	アカツメクサ	P *	7	9
<i>Cirsium</i> spp.	アザミ類	P	6	41
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	ヒメジョオン	A *	6	21
<i>Trifolium repens</i> L.	シロツメクサ	P *	5	23
<i>Astilbe microphylla</i> Knoll	チダケサシ	P	5	11
<i>Aster microcephalus</i> Franch. et Sav.	ノコギリク	P	4	11
<i>Lysimachia fortunei</i> Maxim.	ヌマトラノオ	P	4	44
<i>Ikeridium dentatum</i> Thunb.	ハナニガナ	P	3	4
<i>Geranium thunbergii</i> Sieb. et Zucc.	ゲンシヨウコ	P	3	3
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold et Zucc.	イヌザンショウ	S	3	4
<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunb.	クサギ	S	3	7
<i>Castanea crenata</i> Siebold et Zucc.	クリ	T	3	5
Water(sipping mud)	路上吸水	O	2	5
<i>Isodon inflexus</i> Kudo	ヤマハッカ	P	2	2
<i>Persicaria thunbergii</i> Siebold et Zucc.	ミゾソバ	A	2	6
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq.	マルバハギ	S	2	14
<i>Clinopodium chinense</i> (Benth.) Kuntze	クルマバナ	P	1	4
<i>Rubus microphyllus</i> L.f.	ニガイチゴ	S	1	2
<i>Clathra barbinervis</i> Siebold et Zucc.	リョウブ	T	1	1
<i>Ranunculus sibiricus</i> H.Lév.	キツネノボタン	P	1	1
Carcass of worm	動物死骸	O	1	1
<i>Erigeron philadelphicus</i> L.	ハルジオン	P *	1	1
<i>Fumaria vulgaris</i> L.	ウツボグサ	P	1	3
<i>Ranunculus japonicus</i> Thunb.	ウマノアシタ	P	1	2
<i>Elythia ciliata</i> (Thunb.) Hyl.	ナギナタコウジュ	A	1	1
<i>Lotus corniculatus</i> L.	ミヤコグサ	P	1	1

Mt. Butsugu				
Adult resource	Japanese name	Type <sup>1)</sup>	Species	Frequency utilized
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold et Zucc.	イヌザンショウ	S	6	15
<i>Lysimachia clethroides</i> Duby	オオトラノオ	P	5	24
<i>Cirsium</i> spp.	アザミ類	P	5	14
<i>Aster microcephalus</i> Franch. et Sav.	ノコギリク	P	5	10
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	ヒメジョオン	A *	4	34
<i>Astilbe microphylla</i> Knoll	チダケサシ	P	4	8
<i>Persicaria thunbergii</i> Siebold et Zucc.	ミゾソバ	A	4	4
<i>Angelesica pubescens</i> Maxim.	シシウド	P	4	4
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	ヤマハギ	S	3	7
<i>Styrax japonica</i> Siebold et Zucc.	エゴノキ	T	3	3
<i>Aster inuamae</i> Kitam.	ユウガキク	P	2	12
<i>Clinopodium chinense</i> (Benth.) Kuntze	クルマバナ	P	2	4
<i>Rubus microphyllus</i> L.f.	ニガイチゴ	S	2	3
<i>Stephanandra tanakae</i> Franch. et Sav.	カナウツグサ	S	2	2
<i>Dianthus superbus</i> L.	カワラナデシコ	P	2	2
<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.	キンミズヒキ	P	2	2
<i>Geranium thunbergii</i> Sieb. et Zucc.	ゲンシヨウコ	P	1	4
Water(sipping mud)	路上吸水	O	1	3
Carcass of worm	動物死骸	O	1	3
<i>Trifolium repens</i> L.	シロツメクサ	P *	1	1
<i>Ikeridium dentatum</i> Thunb.	ハナニガナ	P	1	1
<i>Ranunculus sibiricus</i> H.Lév.	キツネノボタン	P	1	1
<i>Erigeron philadelphicus</i> L.	ハルジオン	P *	1	1
<i>Potentilla sprangeli</i> Lehmann	キジムシロ	P	1	1
<i>Lonicera japonica</i> Thunb.	スイカズラ	S	1	1
<i>Turritis glabra</i> L.	ハタザオ	P	1	1
<i>Trifolium pratense</i> L.	アカツメクサ	P *	1	1

<sup>1)</sup> A, Annuals; P, Perennials; S, Shrubs; T, Trees; O, Others; \*, Exotic plant

された 107 回の内 65 回 (60.7%) が草本植物の利用であり、成虫の主要餌資源が草本植物の花蜜であることを強く示唆している。他の 2 地域と比較すると、木本植物の利用回数が 35 回 (32.7%) と高いのが石森山の特徴といえる。これは 3 地域の中で唯一、調査ルート上に樹液の出ているクヌギがあったことと、森林に占めるクヌギの割合が他の 2 地域よりも高かったことに起因していたと考えられる。一方、大部分が森林地帯ではあったにも関わらず、クヌギ以外の木本植物の利用はヤマハギ *Lespedeza bicolor* Turcz. とニガイチゴ *Rubus microphyllus* L.f. しか確認できず、路上吸水を除いた全てが草本植物の花蜜の利用であった。これら成虫に利用されていた草本植物は、主に森林の林縁部や広場、空地などに見られた。

水石山では 27 種類の成虫餌資源が確認され、その内 25 種類 (92.6%) が植物で、残り 2 種類 (7.4%) が路上の水と昆虫等の死骸の液体 (または塩類) 利用であった。上記 25 種の植物の内訳は、草本が 19 種 (76.0%)、木本が 6 種 (24.0%) で、草本の内、一年草が 3 種 (12.0%)、多年草が 16 種 (64.0%)、木本の内、低木が 4 種 (16.0%)、高木が 2 種 (8.0%) であった。5 種以上のチョウの利用が確認された餌資源は、オカトラノオ *Lysimachia clethroides* Duby, アカツメクサ *Trifolium pratense* L., アザミ類, ヒメジオオン, シロツメクサ, チダケサシ *Astilbe microphylla* Knoll の 6 種類で、全て草本植物であった。一方、4 種以下のチョウの利用が確認された餌資源は 19 種類であり、ほとんどが草本植物であった。次にチョウの利用回数の多い餌資源をみると、多種のチョウに利用されていたオカトラノオが最多で、ヌマトラノオ *Lysimachia fortunei* Maxim., アザミ類, シロツメクサ, ヒメジオオンの順番になり、上位 5 種類が全て草本植物だった。このことは、調査ルートの山頂部分が半自然性のシバ草原であったことも一要因と考えられる。チョウの餌資源の利用回数が、3 地域の中で最多で 276 回観察され、その内 237 回 (85.9%) が草本植物の利用であったことも、これと関連していると思われる。水石山の調査結果も、チョウ類成虫の主要な餌資源が草本植物の花蜜であることを支持した。

仏具山では 3 地域の中で最多の 28 種類の成虫餌資源が確認され、その内 26 種類 (92.9%) が植物で、残り 2 種類 (7.7%) が路上の水と昆虫等の死骸の液体 (または塩類) 利用であった。上記 26 種の植物の内訳は、草本が 19 種 (73.1%)、木本が 7 種 (26.9%) で、草本の内、一年草が 2 種 (7.7%)、多年草が 17 種 (65.4%)、木本の内、低木が 5 種 (19.2%)、高木が 2 種 (7.7%) であった。5 種以上のチョウの利用が確認された餌資源は、イヌザンショウ *Zanthoxylum schinifolium* Siebold et Zucc., オカトラノオ, アザミ類, ノコンギク *Aster microcephalus* Franch. et Sav., リョウブ *Clethra*

*barbinervis* Siebold et Zucc. の 5 種類で、その内 3 種類が草本植物であった。仏具山も多くの部分が森林地帯であるが、多種のチョウに利用されていた上位 9 種の餌資源の内、7 種類が草本植物だった。一方、4 種以下のチョウの種の利用が確認された餌資源は 21 種類で、その多くは草本植物であった。チョウの利用回数の多い餌資源は、多種のチョウに利用されていた餌資源とほぼ同じであり、ヒメジオオンが最多で、オカトラノオ, イヌザンショウ, アザミ類, ユウガギク *Aster iinumae* Kitam. の順番で、イヌザンショウ以外は全て草本植物であった。チョウの餌資源の利用回数を詳しく見ると、観察された 174 回中 129 回 (74.1%) が草本植物の利用であり、成虫の主要な餌資源が草本植物の花蜜であることが当地域でも支持された。当地域は林縁部にソデ・マント群落が発達しており、成虫が利用していた多くの草本植物はそこに分布していた。

一方、今回の調査は、水石山頂に見られた草原の部分を除いて、3 地域共にほとんどが森林地帯で実施されたが、木本植物でチョウの成虫の餌利用が確認されたのは、11 種 (10 種が花蜜の利用, 1 種が樹液の利用) のみで、つる性のスイカズラ *Lonicera japonica* Thunb. 以外は全て落葉広葉樹種の利用であり、針葉樹種の利用は全く確認できなかった。したがって、チョウの成虫にとっては、針葉樹よりも落葉広葉樹の方が、餌資源として利用可能性が高いことが考えられた。

## 2. 成虫の食性幅

Table 2 に、各調査地域で餌資源利用が確認できたチョウ種とそれらの利用していた餌資源の種類数および利用回数 (全利用餌資源込みの値) を示した。5 種類以上の利用餌資源が確認できたチョウは、石森山ではベニシジミ, スジグロシロチョウ類, ヤマトシジミ, キチョウの 4 種であった。水石山ではジャノメチョウ, スジグロシロチョウ類, モンキチョウ, ヒメキマダラセセリ, ベニシジミの 5 種であった。仏具山ではスジグロシロチョウ類とキアゲハの 2 種であった。餌資源の利用回数の多かったチョウ種は、上記の多種類の餌資源を利用していた種とほぼ同様であった。

1 化性および多化性の種群間で、成虫の食性幅 (各種の成虫の利用餌資源の種類数) を Mann-Whitney の *U* 検定で比較したところ、3 地域共に両種群間には有意な違いは認められなかった (石森山:  $U=22.0$ ,  $z=-1.192$ ,  $P>0.05$ , 水石山:  $U=79.0$ ,  $z=-0.301$ ,  $P>0.05$ , 仏具山:  $U=85.5$ ,  $z=0.280$ ,  $P>0.05$ )。また、幼虫狭食性と判断された種群と幼虫広食性と判断された種群間で、成虫の食性幅を Mann-Whitney の *U* 検定で比較したところ、3 地域共に種群間には有意な違いは認められなかった (石森山:  $U=109.0$ ,  $z=1.181$ ,  $P>0.05$ , 水石山:  $U=62.0$ ,  $z=-0.977$ ,  $P>0.05$ , 仏具山:  $U=103.5$ ,  $z=0.647$ ,  $P>0.05$ )。

3. 成虫餌資源の月別変化

Fig. 1 に、各調査地域で確認された成虫の利用餌資源の種類数の月別変化を示した。成虫が利用していた餌資源の種類は、各地域とも4月より徐々に増加して、石森山は9月が9種類で最多になり、水石山は8月が12種類で最多になり、仏具山は8月が13種類で最多になった。一方、各調査地域における各種餌資源を利用していたチョウの利用回数の月別変化は Fig. 2 に示した。石森山では、7月にベニシジミが最も多く餌資源を利用し、各種チョウが餌資源を利用した合計回数は39回で最多になった。水石山では、8月にジャノメチョウが最多の11種の餌資源を利用し、各種チョウの餌資源の合計利用回数は89回で最多になった。仏具山では、7月にスジグロシロチョウ類が最も多く餌資源を利用し、各種チョウの餌資源の合計利用回数は57回で最多になった。

4. 成虫餌資源として確認された帰化植物

3地域全体で、成虫の餌資源として利用されていた蜜源植物は45種類で、その内の6種類(13.3%)が帰化植物だった (Table 1)。調査地域ごとでは、石森山で21種、水石山で25種、仏具山で26種の蜜源植物が確認され、その内で、帰化植物は石森山で5種、水石山で4種、仏具山で4種含まれていた。従って、全蜜源植物に占める帰化植物の割合は、石森山で23.8%、水石山で16%、仏具山で15.4%の順だった。つぎに成虫の餌資源利用回数における帰化植物への依存割合をみると、石森山で29.0%(31回)、水石山で19.6%(54回)、仏具山で21.3%(37回)だった。全6種類の利用帰化植物の内、3地域共に利用されていた帰化植物はヒメジョオン(一年生草本)、シロツメクサ(多年生草本)、アカツメクサ(多年生草本)の3種で、ハルジオン *Erigeron philadelphicus* L. (多年生草本)は水石山と仏具山で利用が確認され、コセンダングサ *Bidens pilosa* L. (一年生草本)とヒメオドリコソウ *Lamium purpureum* L. (一年生草本)は石森山でのみ利用が確認された。

考 察

1. 成虫の利用食物資源について

今回の福島県いわき市における調査結果から、チョウ類の成虫は、木本植物より多年草などの草本植物を餌資源としてよく利用していることが定量的に実証された。木本植物は草本植物に比べ、一般に開花期間が短いことが関係している可能性が考えられるが、浅羽(上村, 2004)の結果より、開花期間と餌資源の利用回数は相関関係がないことが報告されており、開花期間が餌資源の選択に影響がある可能性は低いと考えられる。多年草などの草本植物が餌資源としてよく利用している調査結果

は、富士山北麓(北原, 2000)などからも得られており、今回認知できた成虫の餌資源利用様式は、かなり普遍性を持ったパターンであることが示唆された。と同時に、成虫の餌資源利用様式からみると、多年草などの草本植

Table 2 The list of butterfly species which diet resource use was observed, the number of species of their utilized diet resources, and the number of all adult individuals which diet resource use was observed.

Mt. Ishimori			
Users in butterflies	Japanese name	Species	Frequency utilized
<i>Lycaena phlaeas</i> (Linnaeus)	ベニシジミ	8	21
<i>Zizeeria maha</i> (Kollar)	ヤマトシジミ	7	20
<i>Pieris</i> ( <i>Artogeia</i> ) ssp.	スジグロシロチョウ類	7	9
<i>Eurema hecabe</i> (Linnaeus)	キチョウ	5	7
<i>Papilio machaon</i> (Linnaeus)	キアゲハ	3	3
<i>Parnara guttata</i> (Bremer & Grey)	イチモンジセセリ	2	4
<i>Daimio tethys</i> (Meneuries)	ダイミョウセセリ	2	3
<i>Vanessa indica</i> (Herbst)	アカタテハ	1	9
<i>Neope</i> ssp.	キマダラヒカゲ類	1	6
<i>Kaniska canace</i> (Linnaeus)	ルリシジミ	1	5
<i>Curetis acuta</i> Moore	ウラギンシジミ	1	4
<i>Sasakia charonda</i> (Hewitson)	オオムラサキ	1	4
<i>Erynnis montanus</i> (Bremer)	ミヤマセセリ	1	2
<i>Lothe diana</i> (Butler)	クヒカゲ	1	2
<i>Celastrina argiolus</i> (Linnaeus)	ルリシジミ	1	1
<i>Colias erate</i> (Esper)	モンキチョウ	1	1
<i>Lothe sicelis</i> (Hewitson)	ヒカゲチョウ	1	1
<i>Nephargynnis anadyomene</i> (C.&R.Felder)	クモガシロウモン	1	1
<i>Nymphalis xanthomelas</i> (Denis & Schiffemuller)	ヒドシチョウ	1	1
<i>Papilio bianor</i> Cramer	カラスアゲハ	1	1
<i>Polygona c-aurum</i> (Linnaeus)	キタテハ	1	1
<i>Ypthima argus</i> (Butler)	ヒメジョオン	1	1

Mt. Mitsuishi			
Users in butterflies	Japanese name	Species	Frequency utilized
<i>Minos dryas</i> (Scopoli)	ジャノメチョウ	12	73
<i>Pieris</i> ( <i>Artogeia</i> ) ssp.	スジグロシロチョウ類	11	14
<i>Ochlodes ochraceus</i> (Bremer)	ヒキマダラセセリ	5	23
<i>Lycaena phlaeas</i> (Linnaeus)	ベニシジミ	5	15
<i>Colias erate</i> (Esper)	モンキチョウ	5	14
<i>Fabriciana adippe</i> (Denis & Schiffemuller)	ウラギンシロウモン	4	31
<i>Thorissa varia</i> (Murray)	コチャハネセセリ	4	21
<i>Parnara guttata</i> (Bremer & Grey)	イチモンジセセリ	4	20
<i>Eurema hecabe</i> (Linnaeus)	キチョウ	4	4
<i>Argyronome laodice</i> (Pallas)	ウラギンシロウモン	3	16
<i>Daimio tethys</i> (Meneuries)	ダイミョウセセリ	3	5
<i>Everes argiades</i> (Pallas)	ツバメシジミ	3	4
<i>Ypthima argus</i> (Butler)	ヒメジョオン	3	3
<i>Nephargynnis anadyomene</i> (C.&R.Felder)	クモガシロウモン	2	5
<i>Papilio machaon</i> (Linnaeus)	キアゲハ	2	2
<i>Argyronome rutilana</i> (Motschulsky)	オオウラギンシロウモン	2	4
<i>Papilio bianor</i> Cramer	カラスアゲハ	1	4
<i>Polygona c-aurum</i> (Linnaeus)	キタテハ	1	4
<i>Potanthus flavum</i> (Murray)	キマダラセセリ	1	3
<i>Cynthia cardui</i> (Linnaeus)	ヒメカサネ	1	2
<i>Erynnis montanus</i> (Bremer)	ミヤマセセリ	1	2
<i>Celastrina argiolus</i> (Linnaeus)	ルリシジミ	1	2
<i>Ladoga camilla</i> (Linnaeus)	イチモンジチョウ	1	1
<i>Leptalina unicolor</i> (Bremer&Grey)	キンイロモンジセセリ	1	1
<i>Papilio protenor</i> Cramer	クロアゲハ	1	1
<i>Lothe diana</i> (Butler)	クヒカゲ	1	1
<i>Strymonis mera</i> (Janson)	ミヤマカラスシジミ	1	1

Mt. Butsugu			
Users in butterflies	Japanese name	Species	Frequency utilized
<i>Pieris</i> ( <i>Artogeia</i> ) ssp.	スジグロシロチョウ類	14	66
<i>Papilio machaon</i> (Linnaeus)	キアゲハ	5	5
<i>Araschnia burejana</i> Bremer	サカハチチョウ	4	10
<i>Daimio tethys</i> (Meneuries)	ダイミョウセセリ	4	9
<i>Argyronome laodice</i> (Pallas)	ウラギンシロウモン	4	7
<i>Ochlodes ochraceus</i> (Bremer)	ヒキマダラセセリ	3	10
<i>Lycaena phlaeas</i> (Linnaeus)	ベニシジミ	3	9
<i>Polygona c-aurum</i> (Linnaeus)	キタテハ	3	6
<i>Parnara guttata</i> (Bremer & Grey)	イチモンジセセリ	3	5
<i>Celastrina argiolus</i> (Linnaeus)	ルリシジミ	3	5
<i>Nephargynnis anadyomene</i> (C.&R.Felder)	クモガシロウモン	3	4
<i>Papilio bianor</i> Cramer	カラスアゲハ	3	3
<i>Argynnis paphia</i> (Linnaeus)	ミドリシロウモン	2	12
<i>Neptis sappho</i> (Pallas)	エミシジミ	2	2
<i>Anthocharis scolymus</i> (Butler)	ツマキチョウ	2	2
<i>Damora sagana</i> (Doubleday)	ハクドクシロウモン	2	2
<i>Ladoga camilla</i> (Linnaeus)	イチモンジチョウ	1	3
<i>Thorissa varia</i> (Murray)	コチャハネセセリ	1	3
<i>Choaspes benjaminii</i> (Guerin—Meneville)	アオバセセリ	1	2
<i>Parantica sita</i> (Kollar)	アサキマダラ	1	1
<i>Eurema hecabe</i> (Linnaeus)	キチョウ	1	1
<i>Everes argiades</i> (Pallas)	ツバメシジミ	1	1
<i>Libythea celtis</i> (Laicharting)	テンノウチョウ	1	1
<i>Cynthia cardui</i> (Linnaeus)	ヒメカサネ	1	1
<i>Erynnis montanus</i> (Bremer)	ミヤマセセリ	1	1
<i>Papilio helenus</i> (Linnaeus)	モンキアゲハ	1	1
<i>Colias erate</i> (Esper)	モンキチョウ	1	1
<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus)	モンシロチョウ	1	1

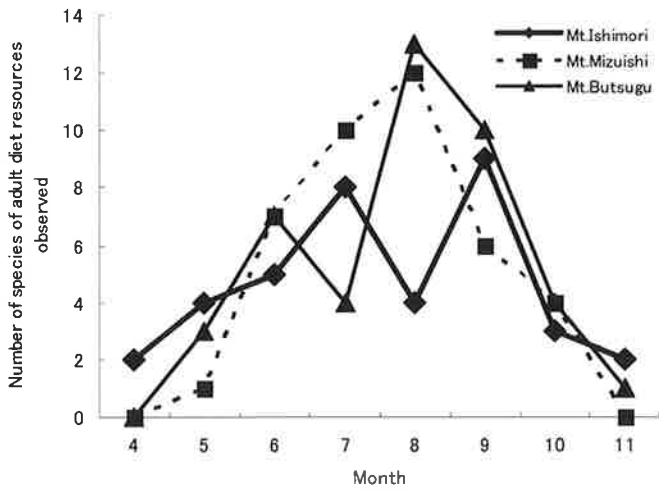


Fig. 1 Seasonal changes in the number of species of adult diet resources observed

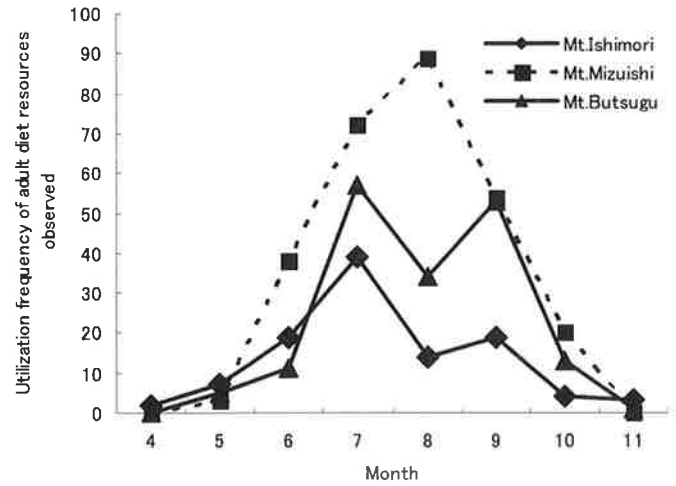


Fig. 2 Seasonal changes in the utilization frequency of adult diet resources observed

物がよく生育できるような生息環境の維持・管理が、チョウ類群集の多様性保全ためには重要であることが支持された。

今回の東北地方のいわき市における調査結果と中部地方の富士山北麓での調査結果(北原, 2000)を比較してみると、後者では、48種類の成虫餌資源が確認され、その内45種類が植物であった。草本植物の利用は36種で、その内多年草が29種であった。今回の調査でも、路上吸水と動物の死骸利用以外はすべて植物の利用であり、それも草本植物の内の多年草の利用が多く確認され、富士山北麓で得られた結果と極めて類似していた。また富士山北麓では、5種以上のチョウの利用が確認された餌資源は8種類あったが、その内、オカトラノオ、アザミ類、アカツメクサ、シロツメクサ、ヒメジョオン等の5種類は、本調査においても3地域の内のいずれかで5種以上のチョウの利用が確認されており、これらは広域的に多種のチョウ成虫に利用されている餌資源であることが示唆された。

一方、富士山北麓では、最も多くのチョウ類(20種)が利用していたのは、路上の水(または塩類)であった。しかし、本調査では、3地域全体で4種のチョウで確認できたのみである。この一因としては、本調査では、仏具山を除き他の2地域の調査ルートが、ほとんど舗装されていたことが挙げられよう。但し、大部分が未舗装であった仏具山においても、成虫の路上での吸水行動はスジグロシロチョウ類においてのみ確認されただけである。富士山北麓の場合、未舗装でも草の生い茂った道では吸水はほとんど確認されなかったという(北原, 2000)。しかし、仏具山の道も草の生い茂っている箇所はあるが、それは一部であった。以上のように、路上での吸水に関する結果については、両地域で異なる結果となったが、

原因ははっきりせず、今後、調査前の天候等を考慮に入れて、当地域での吸水行動の少ない理由について解明していきたい。

## 2. 各種成虫の食性幅と関連特性

今回の結果から、成虫の食性幅(餌資源の種類数)は、種間によりかなり異なっていることが分った。このことは、幼虫期同様成虫期にも、1地域個体群の中に特殊な資源利用をする種(specialist)と様々な資源を利用する種(generalist)が混在することを示唆していると思われる。つぎに餌資源の利用回数も多く、多種類の餌資源を利用していたチョウ種の多くは個体数も多く、観察頻度も高かった(永田ら, 2006)。したがって、一概に言うことはできないが、これらの種は当地域における成虫期の広食性種であることを示唆していると考えられる。

一方、今回得られた成虫の食性幅と文献に基づく幼虫の食性幅の間の関係を解析したところ、3地域共に有意な関係は認められず、富士山北麓での結果(北原, 2000)と同じになった。これはある種の幼虫期と成虫期の食性幅が必ずしも一致していないことを示唆しており、北原(2000)も指摘するように、幼虫が狭食性でも成虫が広食性であったり、その逆の組み合わせも普遍的に見られることを暗示している。また成虫の食性幅と化性(年間世代数)の間にも、3地域とも有意な関係は認められず、富士山北麓での調査結果(北原, 2000)と同様になった。これも北原(2000)が指摘するように、1化性種でも成虫の寿命が長いことなどにより、様々な餌資源を利用できる種が群集内に存在することが一要因と考えられた。

### 3. 成虫の餌資源としての帰化植物

今回の調査で、3地域で確認された全餌資源の内、6種が帰化植物に相当した。その内、3地域で共通に確認された帰化植物はヒメジョオン、シロツメクサ、アカツメクサの3種であった。石森山では、シロツメクサが種数、利用回数、双方においてクヌギに次いで2番目に多く利用されていた。水石山でもこれら3種の帰化植物は、5種以上の多種のチョウに利用され、仏具山においては、ヒメジョオンが利用回数で最多の個体に利用されていた。ヒメジョオンは埼玉県浅羽ビオトープにおいても、種数、利用回数共に最多のチョウの利用が確認されている(上村, 2004)。また富士山北麓では、これら3種の帰化植物は5種以上の多種のチョウに利用され、成虫の利用頻度も相対的にかなり高かった(北原, 2000)。東京都荒川千住新橋緑地では、アカツメクサが種数、利用回数共に2番目に多い成虫の利用が確認されている(瀬田, 2006)。以上のように、ヒメジョオン、シロツメクサ、アカツメクサ3種の帰化植物は、今回のエリアを含めて広範な地域・地方で、多種・多個体のチョウ類成虫が利用する餌資源となっており、これら3種は、様々な地域のチョウ類群集を維持するための重要な成虫餌資源として位置づけられると思われる。

川村ら(2002)は、チョウ類の蜜源植物に関して、中山間地未整備水田では在来種への依存度が高く(帰化植物への依存率は28.8%)、市街地基盤整備水田では帰化植物への依存率が高くなる(帰化植物への依存率は61.5%)ことを示した。またチョウ類群集の多様性は、在来種への依存率の高い中山間地未整備水田の方が、帰化植物への依存率の高い市街地基盤整備水田より高いことも示した。すなわち、都市化するにつれて、成虫の蜜

源は帰化植物への依存率が高まり、チョウ群集全体の多様度は低下する傾向にあることが判明した。今回のいわき市郊外山域の蜜源の帰化植物への依存率は、石森山で29.0%、水石山で19.6%、仏具山で21.3%と川村ら(2002)の中山間地未整備水田の値(28.8%)とほぼ同じかそれよりもより低い値を示した。一方、チョウ類群集の多様度  $H'$  は、石森山で4.18、水石山で3.97、仏具山で4.26であり、 $J'$  の値も石森山で0.83、水石山で0.80、仏具山で0.84であり、川村ら(2002)の市街地整備水田の  $H'$  が2.72、 $J'$  が0.63と比較すると各地域共に相対的に高く、上記の川村ら(2002)が指摘する傾向を支持するような結果が得られた。

蜜源植物の多様度  $H'$  と帰化植物への依存率の関係について、今回と他地域の調査結果を用いて解析したところ、帰化植物への依存率と蜜源植物の多様度  $H'$  は、有意な負の相関関係にあることが判明した( $r=-0.9211$ ,  $P<0.05$ )(Fig. 3)。すなわち、成虫が利用する蜜源植物の多様性の低下もしくは単純化は、成虫が蜜源を帰化植物に依存する率を高める結果になることが示唆された。そして恐らく、人為的攪乱や環境改変等を通じて、蜜源植物の多様性の低下もしくは単純化が生じると共に、それと並行してチョウ類群集の多様性も低下するのだと推測される。

今回調査を行ったいわき市内の3地域では、相対的に蜜源植物の多様性が高く、帰化植物への依存率が低いという結果が得られた。このことは、これら3地域が成虫の餌資源環境の視点から見た場合には、かなり好適な環境が保持されていることを示唆しており、現況のチョウ類群集の多様性維持・保全のためには、同じく現況の成虫餌資源環境の維持・管理が極めて重要な事項であると言える。

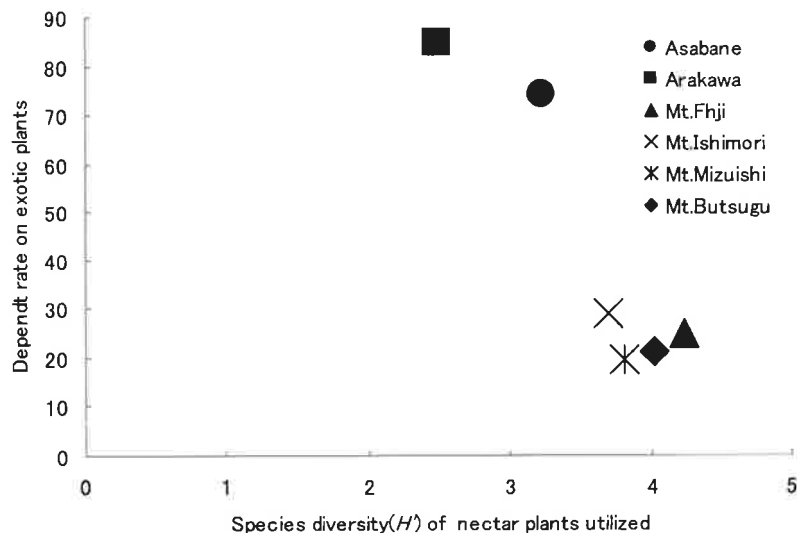


Fig. 3 Relationship of species diversity ( $H'$ ) of nectar plants utilized and the dependent rate on exotic plants ●, Asabane (Uemura, 2004); ■, Arakawa (Seta, 2006); ▲, Mount Fuji (Kitahara, 2000)



## 謝 辞

本研究を行うにあたり、貴重な文献を提供していただいた北海道大学大学院農学研究科の上村佳孝博士に厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 遠藤 茂・仁平 勲 (1990) 日本産蝶類幼虫食餌便覧. グループ多摩虫, 東京.
- 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1982, 1983, 1984a, 1984b) 原色日本蝶類生態図鑑 I・II・III・IV. 保育社, 大阪.
- 上村佳孝 (2004) 郊外河畔ビオトープにおけるチョウ類群集の蜜源植物利用様式—造成初年の記録 自然環境科学研究 17: 107-115
- 川村みゆき・大窪久美子 (2002) チョウ類群集及び植物との関係からみた立地環境の異なる水田地域の生息地としての評価. ランドスケープ研究 65 (5): 547-552
- 北原正彦 (1999) 富士山北麓の様々な森林環境におけるチョウ類群集の種多様性. 環動昆 10: 11-29.
- 北原正彦 (2000) 富士山北麓森林地帯のチョウ類群集における成虫の食物資源様式. 環動昆 11: 61-81.
- 松崎有光 (1981) 福島県いわき市産蝶類最近の知見. ちようちょう 4 (5): 43-49.
- 松崎有光 (1984) 福島県いわき市産蝶類追加記録種及び分布確認種について. ちようちょう 7 (12): 36-39.
- 永田斉寿・飯塚日向子・北原正彦 (2006) 福島県いわき市郊外山域におけるチョウ類群集の多様性と構造. 環動昆 17: 153-165.
- Pielou, E. C. (1969) *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley, New York.
- 瀬田和明 (2006) 荒川千住新橋緑地におけるチョウ類群集の吸蜜植物利用様式. 蝶と蛾 57 (4): 354-358
- 清水健美 編 (2003) 日本の帰化植物. 平凡社, 東京.
- 角田伊一 (1982) 福島県の蝶. 歴史春秋社, 福島.
- 矢田 脩 (1996) トランセクト調査のすすめ. 昆虫と自然 31 (14): 2-4.

## Detection of entomopathogenic fungus conidia in alimentary tracts of the termite, *Coptotermes formosanus*

Aya Yanagawa<sup>1) 2)</sup> and Susumu Shimizu<sup>1)</sup>

1) Institute of Biological Control, Graduate School of Bioenvironmental Science, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan.

2) Research Fellowship of the Japan Society for the Promotion of Science for Young Scientists

(Received June 20, 2007 ; Accepted November 8, 2007)

### Abstract

Workers of termites, *Coptotermes formosanus* Shiraki, treated with three entomopathogenic fungus conidia, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Beauveria brongniartii*, groomed each other, removed conidia from the body surface, and eliminated them through their alimentary tract. When termites were kept in groups (10 termites / 90 × 15 mm dish), many conidia were detected in their foregut, midgut and hindgut, but when termites were reared individually (1 termite / 30 × 15 mm dish), few conidia were found. Our findings suggested that self grooming is less effective, but mutual grooming is very effective in the removal of three entomopathogenic fungus conidia from the termite cuticle. Although all of the termites had conidia in their alimentary tract within 3 h, most of the conidia did not germinate. The results also indicate that the nutritional environment in the termite gut restricts conidium germination.

**Key words :** *Coptotermes formosanus* Shiraki, grooming behavior, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Beauveria brongniartii*, alimentary tract

### Introduction

*Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus* and *Beauveria brongniartii* exist commonly in soil and have high pathogenicity to termites, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Yoshimura *et al.*, 1998; Rosengaus and Traniello, 2001; Yanagawa and Shimizu, 2005). Consequently, it is important for termites to protect their colonies from such fungi coexisting in the environment because they live in high density population and a high humidity habitat which has suitable properties for fungal infection (Vargo *et al.*, 2003). However, even though the soils contain resistant populations of entomopathogenic fungi, it is difficult to find fungal epizootics in termite populations (Yaginuma, 1990). For the sustainable pest control of termites, it is important to understand the relationship between the termite and entomopathogenic fungi in the termite population; however, there is very little

information about the nature of this relationship.

The biology of sociality that enhances colony resistance to pathogens is well documented in termites (Boucias *et al.*, 1996; Rosengaus and Traniello, 2001; Shimizu and Yamaji, 2003). Thus, social behavior plays a key role in colony resistance against fungal diseases. Termites, *C. formosanus* Shiraki, reared individually, were highly susceptible to the entomopathogenic fungi, *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* and *B. brongniartii*, while termites reared in groups were highly resistant (Yanagawa and Shimizu, 2005). When reared in groups, foreign bodies such as fungus conidia on the termite body surface were removed from the cuticle by mutual grooming behavior and excreted through the alimentary tract. In the previous study (Yanagawa and Shimizu, 2007), we found that no conidia of *M. anisopliae* germinated and penetrated the body cavity through the alimentary tract; however, little is yet known about fate of conidia of other

entomopathogenic fungi removed from the termite cuticle.

The initial objective of this study was to examine the fate of entomopathogenic fungi, *M. anisopliae* 455, *P. fumosoroseus* K3 and *B. brongniartii* 782 in the termite alimentary tract. Additionally, we analyzed the growth of these three entomopathogenic fungi in the alimentary tract.

## Materials and methods

### Insects

The termites, *C. formosanus*, were collected in Fukuoka, Japan, maintained in plastic boxes (49 × 36 × 32 cm) in a dark chamber at 25°C, and fed on seasoned pinewood (kuromatsu; *Pinus Thunbergii*). Worker termites were transferred from the above colonies into 90 × 15 mm Petri dishes containing a wet paper disc (No 2. Qualitative Filter Paper, Toyo Roshi Kaisha Ltd., Tokyo, Japan, diameter; 90 mm) and placed in a dark chamber at 25°C for 1 to 3 weeks before use.

### Preparation of conidial suspensions

*B. brongniartii* 782 and *P. fumosoroseus* K3 were maintained on L-broth agar (polypeptone, 1%; yeast extract, 0.3%; sucrose, 2.0%; NaCl, 0.5%; agar, 2.0%), and *M. anisopliae* 455 was maintained on potato dextrose agar (potato extract, 0.4%; glucose, 2.0%; agar, 1.5%) at 25°C. Conidia were harvested with a brush from 10- to 15-day-old cultures.

To detect conidia in the alimentary tract, the conidia of *M. anisopliae* 455, *B. brongniartii* 782 and *P. fumosoroseus* K3 were surface-labeled with 0.01% fluorescein isothiocyanate (FITC) (F-143, Molecular Probes, Oregon, USA) solution according to the protocols outlined by Hung and Boucias (1992). The FITC-labeled conidia in a 0.025% aqueous solution of Tween 20 (0.025% Tween 20 solution) were counted with a Thoma hemocytometer and adjusted to a concentration of  $1.0 \times 10^7$  conidia/ml.

### Detection of conidia in the alimentary tract

For inoculation, termites were put into a microcentrifuge tube containing FITC-labeled conidial suspensions of *M. anisopliae* 455, *P. fumosoroseus* K3 and *B. brongniartii* 782. Around twenty termites were submerged once in 1 ml conidial suspensions with

gentle swirling for 5 seconds, removed from the tube and dried on filter paper (No 2. Qualitative Filter Paper, Toyo Roshi Kaisha Ltd., Tokyo, Japan). The termites were then washed once in 0.025% Tween 20 solution to remove nonattached conidia. After treatment with FITC-labeled conidia, the termites were partitioned into two densities. Ten termites were each put into Petri dishes (90 × 15 mm) containing a wet paper disc (diameter; 85 mm) and reared en masse at 25°C, and the others were placed individually in the wells of a 24-well microtiter plate containing a wet paper disc (diameter; 3 mm). At intervals of 0, 3, 6 and 24 hours, ten termites were sampled from each density and stored at -20°C. Termites stored at -20°C were dissected in 95% EtOH and their alimentary tracts were removed. The alimentary tracts were carefully pressed to see inside through the gut membrane using cover glass, mounted in a drop of Vectashield (H-1000, Vector Laboratories, Burlingame, CA) to stabilize the fluorescence and examined with an epifluorescent microscope (Axioplan2, Carl Zeiss, Gottengen, Germany) at 200 X. The treatments were replicated three times in *M. anisopliae* 455 and twice in other two. Totally, 560 termites were observed.

### Assessment of nutritional environment in termite alimentary tract

To assess the growth conditions of three species in the termite alimentary tract, two liquid media were prepared; L-broth, which is commonly used to maintain entomopathogenic fungi, and Czapek-Dox Broth (C-1551, Sigma, MO, USA), which is minimum nutrition medium. Then,  $10^5$ /ml conidial suspensions of *M. anisopliae* 455, *B. brongniartii* 782 and *P. fumosoroseus* K3 were prepared in 0.025% Tween 20 solution. The termite hindgut was pulled out from the anus with forceps and washed once in phosphate-buffered saline (PBS: NaCl, 0.8%; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.02%; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.29%; KCl, 0.02%; pH 7.4) solution. It was mounted on a microscopic slide and spread gently using forceps. In one treatment, conidial suspension was evenly smeared on the hindgut (approximately 4–8 μl), and incubated for 24 hours at 25°C. In another treatment, samples were dried for 1 minute after smearing conidia and just enough L-broth or Czapek-Dox Broth was added to cover the hind gut (approximately 4–8 μl) and incubated in the same way. Conidia incubated on thin layers of L-broth agar on microscopic slides were prepared as a control. The treatment was