

武庫川流域における管住性ハチ類相とその多様性による 里山環境評価

橋本佳明¹⁾・遠藤知二²⁾・西本 裕³⁾

Measuring biodiversity of trap-nesting wasps and bees in the basin of River Mukogawa for evaluation of the satochi-satoyama habitats

Yoshiaki HASHIMOTO¹⁾, Tomoji ENDO²⁾, and Hiroshi NISHIMOTO³⁾

Abstract

For evaluating the basin environment as habitats of Satoyama insects, biodiversity was examined for cavity-nesting wasps and bees in the Mukogawa river basin using tube trap-nests. We subdivided the river basin into 6 sections; proximal and distal areas of each of the lower, middle and upper river reaches, and compared the community structure of trap-nesting wasps and bees among these sections. In both areas of the lower river reaches, species richness and diversity of wasps and bees were markedly lower. In the areas of the middle and upper river reaches, higher species richness of wasps and bees was maintained, but the community of the distal area in the middle reaches decreased similarity in nesting frequency and brood cell production. Furthermore, we compared the composition of different dietary groups in trap nesting species, grouped by the type of food provisioned for their larvae, among the sections, and found higher diversity of different dietary groups in the proximal area of the upper reaches than in the other area. These results suggest that the proximal area of the upper reaches represents a habitat most suitable for cavity-nesting wasps and bees among the areas of the Mukogawa river basin.

Key word: Mukogawa river, wasps and bees, habitat evaluation, Satoyama, tube trap-nest

はじめに

管住性ハチ類とは竹やヨシなどの折れた茎や樹木穿孔性昆虫の脱出穴に営巣するハチ類の総称である。分類学的にはハナバチ科、アナバチ科、ベッコウバチ科、スズメバチ科（ドロバチ類）等の異なる系統に属するハチ類で、本邦から60種ほどが知られている（郷右近 私信）。管住性ハチ類は、普通、一匹の親バチが1本の管を使い、その内部をドロ壁や葉片などで仕切り、複数の育房をつ

くる。育房は一匹の幼虫ごとに設けられ、花粉、鱗翅目の幼虫、直翅目、ハムシの幼虫、クモ類などを幼虫の餌として育房に貯蔵する（岩田, 1971）。こうした習性をもつ管住性ハチ類にはギングチバチ類などのように山地性の種もいるが、その多くが生息場所としているのは里山里地である。農村部では竹やヨシなどが家屋やその周辺のしつらえに多用されてきた。また、家屋周囲の耕作地やその背後の山林草地には幼虫の餌や巣材となる資源が豊富に存在している。幼虫の餌や仕切り壁の材料を巣

¹⁾ 兵庫県立人と自然の博物館 自然環境評価研究 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

²⁾ 神戸女学院大学 〒662-8505 兵庫県西宮市岡田山4-1 Kobe College, Okadayama 4-1, Nishinomiya, Hyogo, 662-8505 Japan

³⁾ 神小川聖心女子学院 〒665-0073 兵庫県宝塚市塔の町3-113 Tou-no-cho 3-113, Takarazuka, Hyogo, 665-0073 Japan

* Corresponding author: yoshiaki@hitohaku.jp

へ何度も持ち帰る、いわゆる中心場所採餌を行なう管住性ハチ類にとって、里山里地は巢場所とともに繁殖に必要な資源が比較的狭い範囲内で充足できる最も好適な生息環境なのである。

管住性ハチ類は人工的に設置した竹筒にも誘引されて営巣する。この習性を利用して、いろいろな太さの竹筒を束ねたトラップ（竹筒トラップ）でハチ類を簡便に採集・調査することができる。竹筒トラップは従来ハチ類の習性研究に利用されてきたが（岩田，1971；郷右近，1982），橋本らは、竹筒トラップを用いた管住性ハチ類の生息調査手法の確立に取り組み、里山環境の評価指標昆虫としての管住性ハチ類の有用性を明らかにしてきた（橋本・遠藤，1994，1996；遠藤・橋本，1994；池口・橋本・遠藤，1996；須賀・遠藤・坂田・橋本，2001）。本研究では、これらの成果を踏まえて、武庫川流域で竹筒トラップによる管住性ハチ類の生息調査を行い、武庫川流域の里山環境の現状をハチ類の生息状況から考察する。武庫川は、篠山市、三田市、神戸市（北区）、猪名川町、宝塚市、西宮市、伊丹市、尼崎市、大阪府能勢町を流れる全長約 65km、流域面積約 500km² の河川である。近年、武庫川流域では大規模なニュータウン開発等が行われてきた（客野，2006）。たとえば、武庫川中流域の三田市を含むエリアで 1976 年とそれ以降の土地利用状況を比較すると、河川の近縁部では森林と農地の減少はほとんど起こっていないが、河川の外縁部では森林と農地の 3 割程度が住宅や商業施設などの建設用地に変化している。また、宝塚市を含む下流域では森林の変化は 2 割ほどであるが、河川の近縁・外縁部とも農地の 6 割程度が住宅や商業施設などの建設用地に変化している。一方、武庫川上流域の篠山市を含むエリアでは、宅地の面積にはほとんど変化が見られず、農地と森林が 9 割以上を占めた良好な里山環境が残されている。こうした土地利用の変化は、武庫川流域の生物の生息環境にも大きな影響を与え、上流域に比べて中・下流域では、里山生物の種多様性の著しい減少が起こっていると考えられる。とくに、昆虫類は小型で移動能力の低いものが多く、自然環境の変化の影響を最も受けやすい動物群の一つである。このため、武庫川流域で里山昆虫の種の消失が加速的に起こっている可能性が高いと推定される。しかし、これまで、流域で陸生昆虫類の調査はほとんど行われていない。

兵庫県は「ひょうご・人と自然の川づくり」基本理念・基本方針（平成 8 年制定）や「武庫川水系河川整備基本方針」（平成 19 年制定）において、河川整備の基本方針として、流域内で種の絶滅を招かないことと流域内に残る優れた「生物の生活空間」の総量を維持することを 2 つの原則として掲げており、河川整備のためにも武庫川各流域での里山昆虫類の多様性の現状を把握するこ

とが求められている。昆虫類はほかの生物群にくらべて種数が膨大であり、また個体サイズが小さいため発見や採集が難しく、昆虫類の種多様性調査には多大な労力や時間が必要になる。しかし、管住性ハチ類は竹筒トラップを設置すれば、容易に採集することができる。さらに、管住性ハチ類は典型的な里山昆虫であるだけでなく、さまざまな昆虫を幼虫の餌資源として専門的に狩猟するものが多く、里山昆虫群集における食物連鎖網の高次捕食者の地位にある。また、管住性ハチ類の生息には「幼虫の餌」だけでなく、「成虫の餌」となる花蜜や「育房の材料」となる水苔や松ヤニなどの資源が必要であり、各々のハチ種ごとにそれらの資源の種類も異なっている。このため、管住性ハチ類の多様性は里山昆虫相の豊かさの指標として有用であるばかりでなく、その種組成や生息密度が分かれば、その地域の里山環境の様々な自然度の様相を把握することができる。そこで、本研究では、武庫川の上・中・下流の 3 流域で竹筒トラップによる管住性ハチ類の生息調査を行い、各流域間での管住性ハチ類の多様性の違いを明らかにするとともに、その結果から、各流域での里山環境の現状の評価をおこなった。

調査地の概要

武庫川は上、中流部においてはアカマツ林を主とする森林と農耕地が高い割合を占める田園地域を流れ、下流部では大阪平野に広がる都市部を流れており、流域ごとに土地利用の特徴が大きく異なる。ここでは、その流域ごとの土地利用の特徴と里山環境の自然度の関係を明らかにするために、武庫川流域を上流域（篠山市）、中流域（三田市）、下流域（宝塚市、西宮市、伊丹市、尼崎市）の 3 つの流域に区分した。また、1973 年以降、三田市周辺の中流域では大規模なニュータウン開発等が行われ、その近縁部では森林と農地の減少はほとんど起こっていないが、外縁部では森林と農地の 3 割程度が住宅や商業施設などの建設用地に変化し、現在も造成工事などが継続して進められている。同じ流域内での河川近縁部と外縁部での、こうした急激な土地利用の変化が昆虫の生息場所としての里山環境にどのような違いをもたらすのかを明らかにするために、3 流域区分をさらに河川近縁部と外縁部に分け、両縁部で大きな土地利用の変化がおこっていない流域との比較を試みた。

調査方法

竹筒トラップは、武庫川の上・中・下流域の各河川近縁部と外縁部の 6 区分で 5 つの調査地点を選び（図 1），1 調査地点には約 10 m × 10 m の範囲内で 5 個の直立式トラップをそれぞれ立ち木に固定して設置した。な

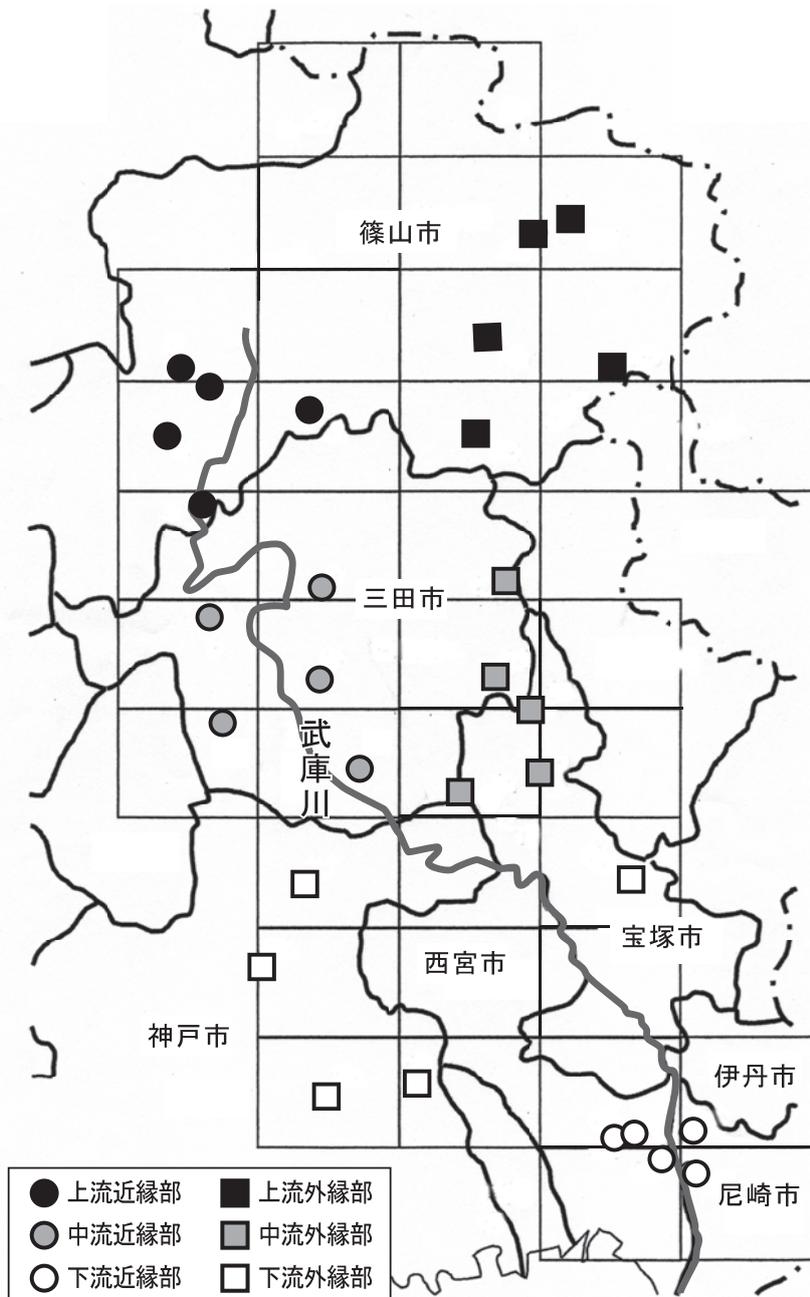


図1 竹筒トラップの設置地点.

お、下流域の河川近縁部については、溪谷部を避けてトラップを平野部に設置したため、尼崎市周辺での調査となっている。トラップは長さ 15 cm の内径の異なる竹筒とヨシ筒（内径 16 mm のメダケ、同 10 mm のメダケ、同 6 mm のメダケ、同 4 mm のヨシ）各 5 本、合計 20 本で構成されたものを用い、これを 1 基とした。トラップの設置は 2002 年 5 月に行い、全体で 30 地点、合計 150 基、総計 3,000 本を設置した。トラップの回収は同年 12 月に行い、橋本・遠藤 (1994)、遠藤・橋本 (1994) の方法にしたがって処理し竹筒内に営巣したハチ類の種組成、筒利用数、育房生産数（産卵・採餌が見られた育房数）などを記録した。

データの解析

出現した管住性ハチ類のデータは流域区分別に集計し、ハチ類の種数、生息期待種数、種組成の類似度を各区分間で比較した。各区分での生息期待種数は、竹筒トラップ 1 基当たりの累積出現種数から Chao 2 の推定法を用いて算出した。種組成の類似度は各区分での出現ハチ類の種在-不在データから類似度 (1-Jaccard 共通係数) を求め、Ward 法でクラスター分析をおこなって比較した。さらに、各区分でのハチ類の竹筒利用数、育房生産数の変化を調べるために、両総数の比較とともに、竹筒トラップ 1 基当たりの竹筒利用数と利用が見

られた竹筒 1 本当たりの育房生産数の平均値を求めて Kruskal-Wallis の検定をおこない、その結果、有意な差が検出された場合には Steel-Dwass の多重比較法を用いて、どの区分間で有意な差が見られるのかを検出した。また、各区分で出現が見られたハチ種の竹筒利用数、育房数からは、多様度指数 (Shannon-Wiener の H') と均等度 (Pielou の J') を各区分のトラップ設置地点

ごとに求めて平均値の検定を行い、群集構造の変化を検証するとともに、Bray-Curtis 類似度指数行列に基づく非計量的多次元尺度構成法を用いて群集構造の類似性の座標付けをおこなった。ついで、各区分でのハチ類の生息状況の変化に影響を与えている環境要素を推定するために、出現ハチ類の優占種のトラップ当たりの竹筒利用数と筒当たりの育房生産数を各区分間で比較するととも

表 1 竹筒トラップに営巣が見られた管住性ハチ類とその出現地点数。

種名	採餌グループ (幼虫の餌)	下流		中流		上流		総計
		近縁	外縁	近縁	外縁	近縁	外縁	
アナバチ科 (Sphecidae)								
アナバチ亜科 (Subfamily Sphecinae)								
ルリジガバチ (<i>Chalybion japonicum</i>)	徘徊性クモ	0	0	0	1	1	0	2
ミカドジガバチ (<i>Hoplammophila aemulans</i>)	鱗翅目幼虫	1	2	3	0	3	2	11
アルマンアナバチ (<i>Isodontia harmandi</i>)	直翅目	0	0	1	2	5	3	11
キバネアナバチ (<i>Isodontia maidli</i>)	直翅目	0	0	0	0	0	1	1
コクロアナバチ (<i>Isodontia nigella</i>)	直翅目	0	0	1	1	0	0	2
ギングチバチ亜科 Subfamily Crabroninae								
オオジガバチモドキ (<i>Trypoxylon malaisei</i>)	徘徊性クモ	0	1	3	1	1	3	9
ジガバチモドキの1種 (<i>Trypoxylon</i> sp1.)	徘徊性クモ	0	0	2	1	1	2	6
ハナバチ科 (Apidea)								
ハキリバチ亜科 (Subfamily Megachilinae)								
オオハキリバチ (<i>Chalicodoma sculpturalis</i>)	花粉	2	1	3	1	3	5	15
ハキリバチの1種 (<i>Megachile</i> sp.1)	花粉	0	0	0	1	0	0	1
ツルガハキリバチ (<i>Megachile tsurugensis</i>)	花粉	0	0	0	1	0	0	1
ツツハナバチ (<i>Osmia taurus</i>)	花粉	0	4	4	2	3	2	15
ツツハナバチの1種 (<i>Osmia</i> sp1.)	花粉	0	2	0	0	0	2	4
ムカシハナバチ亜科 (Subfamily Colletinae)								
チビムカシハナバチ類 (<i>Hylaeus</i> sp1.)	花粉	0	0	1	1	1	1	4
ベッコウバチ科 (Family Pompilidae)								
ヒメベッコウ (<i>Auplopus carbonarius</i>)	徘徊性クモ	3	3	4	5	4	4	23
ヒメベッコウの1種 (<i>Auplopus</i> sp1.)	徘徊性クモ	3	4	5	4	4	3	23
コガタヒゲベッコウ (<i>Dipogon bifasciatus</i>)	徘徊性クモ	0	0	1	0	1	1	3
ペレエヒゲベッコウ (<i>Dipogon conspersus</i>)	徘徊性クモ	0	0	1	0	0	0	1
ヒゲベッコウの1種 (<i>Dipogon</i> sp1.)	徘徊性クモ	0	0	4	3	2	2	11
シロオビヒゲベッコウ (<i>Dipogon sperconsus</i>)	徘徊性クモ	0	1	0	3	2	4	10
スズメバチ科ドロバチ類 (Family Vespidae)								
オオフタオビドロバチ (<i>Anterhynchium flavomarginatum</i>)	鱗翅目幼虫	5	2	4	4	2	4	21
フタスジスズバチ (<i>Discoelius japonicus</i>)	鱗翅目幼虫	0	2	4	5	4	1	16
ミカドドロバチ (<i>Euodynerus nipanicus</i>)	鱗翅目幼虫	1	0	0	0	0	0	1
エントツドロバチ (<i>Orancistrocerus drewseni</i>)	鱗翅目幼虫	0	0	0	0	1	0	1
チビドロバチの1種 (<i>Stenodynerus</i> sp1.)	鱗翅目幼虫	1	0	0	0	0	1	2

に、幼虫の餌としてなにを採餌するかに基づいて出現ハチ類をグループ分けし、各採餌グループ間で竹筒利用数の割合やトラップ当たりの竹筒利用数の違いを各区分間で比較した。

なお、データ解析には、解析プログラム PRIMER 6.0 (Clarke and Warwick, 1994) を用い、検定には統計ソフト SPSS 16.0 (日本 IBM) を用いた。

結 果

武庫川流域の管住性ハチ類相

武庫川流域 30 箇所に設置した 150 基の竹筒トラップから 4 科 15 属 24 種の管住性ハチ類の出現が確認できた (表 1)。最も出現種数が多かったのは、アナバチ科の 7 種で、ついでハナバチ科とベッコウバチ科が各々 6 種、スズメバチ科 (ドロバチ類) の 5 種の順であった。これらは、幼虫の餌として、1) 直翅目昆虫、2) 鱗翅目昆虫、3) 徘徊性クモ類、4) 花粉を集める 4 つの採餌グループに分類されるハチ類であった。流域全体でのハチ類の総竹筒利用数は 1,007 本、営巣率 (利用筒数 / 設置筒数) は 33.6% で、総育房生産数は 2,035 室であった。ハチ類の内、流域全体で竹筒利用数が多かった上位 3 種はオオフトオビドロバチ (312 本、全竹筒利用数の 31.0%)、アルマンアナバチ (147 本、14.6%)、ヒメベッコウ (102 本、10.1%) であった。育房生産数でも、オオフトオビドロバチ (533 室、全育房生産数の 26.2%)、アルマンアナバチ (289 室、14.2%) が 1 位と 2 位を占めたが、3 位はツツハナバチ (273 室、13.4%) で、ついでヒメベッコウ (250 室、12.3%) が続いた。

出現種数と種組成の変化

流域区分別に出現種数を見てみると、最も種数が多かったのは上流外縁部 (17 種) で、上流近縁部と中流外縁部 (各々 16 種)、中流近縁部 (15 種)、下流外縁部 (10 種)、下流近縁部 (7 種) の順で少なくなり、とくに下流域で種数が著しく少ないことが示された。この下流域での種数減少は、竹筒トラップ 1 基当たりの平均出現種数においても確かめられ、下流域の近縁部と外縁部では上流、中流域と比べて種数が有意に少なくなっていた (表 2)。さらに、各区分に設置したトラップ 1 基当たりの累積出現種数から推定した生息期待種数においても、中流と上流域では 16 種から 20 種のハチ類の生息が推定されたが、下流域での生息期待種数は 8 種から 10 種に大きく低下していることが推定された (表 2)。

ついで、各流域区分で出現が見られた管住性ハチ類の種組成の変化を見るために、クラスター分析を用いて出現ハチ類の種在 - 不在データから各流域区分の類似度 (1-Jaccard 共通係数) を比較し、図 2 に示した。これ

表 2 流域区分別の管住性ハチ類の出現種数、Chao2 による生息期待種数、竹筒トラップ 1 基当たりの出現種数 (平均値 ± 標準誤差)。* 記号は Kruskal-Wallis 検定で有意差があることを (***) : $p < 0.001$), 数値右肩のアルファベットが違う場合は Steel-Dwass の多重比較法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

		出現種数	期待種数	トラップ1基当たりの出現種数***
下流	近縁部	7	8.4	1.38 ± 0.15 ^a
	外縁部	10	10.2	1.70 ± 0.19 ^b
中流	近縁部	15	15.7	3.36 ± 0.29 ^b
	外縁部	16	18.4	2.72 ± 0.23 ^b
上流	近縁部	16	19.2	3.48 ± 0.32 ^b
	外縁部	17	18.4	2.96 ± 0.18 ^b

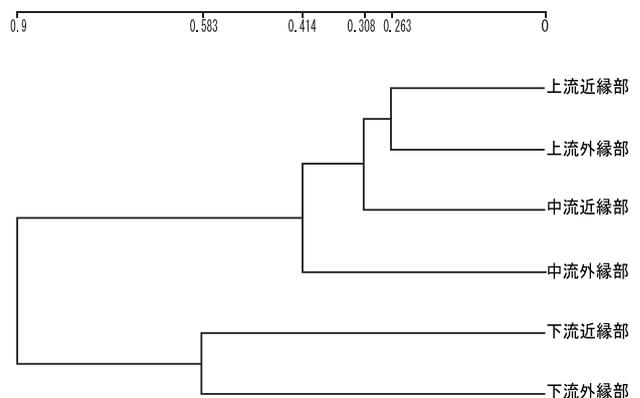


図 2 各流域区分の管住性ハチ類の種組成に基づくクラスター解析の結果。

を見ると、武庫川流域の管住性ハチ類相は下流両縁部と中・上流域の 2 つのクラスターに大別されることが分かる。さらに、中・上流域のクラスター内を見てみると、中流近縁部に対して、その外縁部は上流両縁部と種組成の類似性を低下させていることが示された。

竹筒利用数と育房生産数の変化

表 3 に、流域区分別の総竹筒利用数、総育房生産数、トラップ 1 基当たりの竹筒利用数、利用した竹筒 1 本当たりの育房生産数を示した。竹筒利用数が最も多かった区分は上流外縁部で、ついで中流近縁部、上流近縁部、下流近縁部、中流外縁部、下流外縁部の順で利用数は低下した。とくに、中流外縁部と下流外縁部ではトラップ当たりの竹筒利用数にも低下が見られ、他の流域間と有意な差が検出された。育房生産数が最も多かった区分も上流外縁部であったが、ついで上流近縁部、中流近縁部、中流外縁部、下流近縁部、下流外縁部の順になり、竹筒利用数とは違って、育房数は上流域から下流域の環境勾配とともに減少する傾向が見られた。筒当たりの育房生産数でも下流外縁部が最も減少を示し、中・上流域の区分と有意な差が検出された。

表3 流域区分別の管住性ハチ類の総竹筒利用数, 総育房生産数, 竹筒トラップ1基当りの竹筒利用数(平均値±標準誤差), 竹筒1本当りの育房生産数(平均値±標準誤差). *記号はKruskal-Wallis検定で有意差があることを(**: p<0.01; ***: p<0.001), 数値右肩のアルファベットが違う場合はSteel-Dwassの多重比較法で有意差(p<0.05)があることを示す.

		総竹筒利用数	総育房生産数	トラップ1基当りの竹筒利用数***	竹筒当りの育房生産数**
下流	近縁部	156	213	7.42±1.01	1.40±0.14 ^a
	外縁部	97	192	3.72±0.55 ^a	2.43±0.32 ^b
中流	近縁部	199	371	7.89±0.93 ^{bc}	1.94±0.89
	外縁部	169	368	5.96±0.68 ^{ac}	2.61±0.23 ^b
上流	近縁部	192	391	8.13±0.76 ^{bc}	2.18±0.19 ^b
	外縁部	242	500	9.83±0.83 ^b	2.21±0.15 ^b

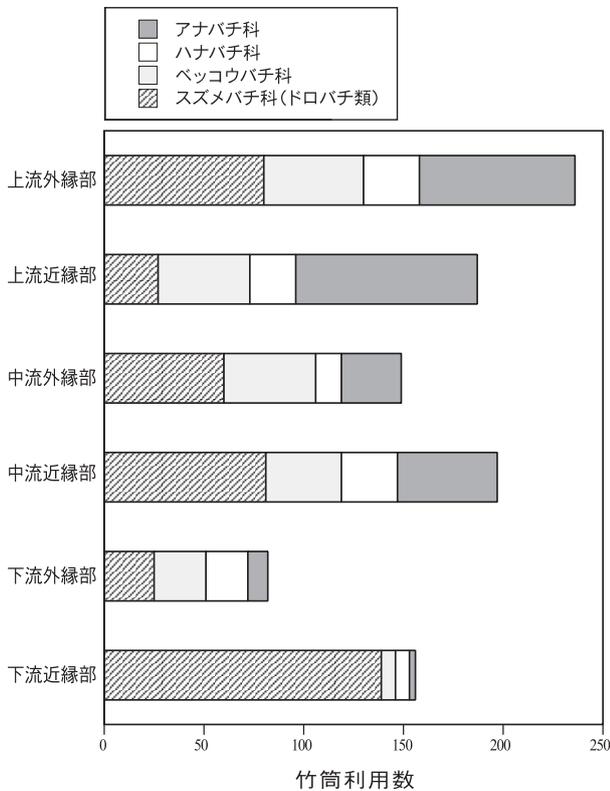


図3 各流域区分の管住性ハチ類の科別の竹筒利用数の割合.

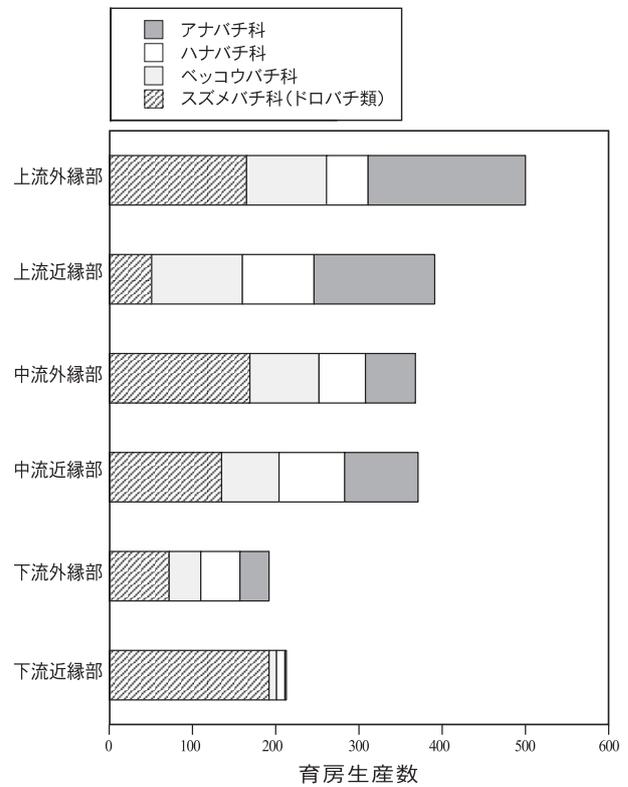


図4 各流域区分の管住性ハチ類の科別の育房生産数の割合.

ついで, 流域区分ごとにハチ科別の竹筒利用数の割合, 育房生産数の割合を比較した(図3, 4). 竹筒利用数をハチ科別に見てみると, アナバチ科の割合は下流近縁部で著しい減少が見られ, 一方, 上流両縁部で高い割合が示された. 逆に, スズメバチ科(ドロバチ類)は下流近縁部で最も高い割合が見られた. しかし, これはオオフタオビドロバチ1種の竹筒利用数が多かったため, この区分での本種の竹筒利用数は全利用数の84.6%を占めていた. ハナバチ科とベッコウバチ科の割合は下流外縁部でやや高くなる傾向が見られたが, 全区間を通して

大きな偏りは示されなかった. ハチ科別の育房数の割合でも, 竹筒利用数と同じような傾向が認められたが, スズメバチ科(ドロバチ類)の割合が下流近縁部だけでなく, 中流外縁部でも高くなった. これは, 中流外縁部ではオオフタオビドロバチ(15%)だけでなく, フタジズバチの育房生産数の割合(31%)が高いためであった.

群集構造の変化

各区分で, 調査地点あたりのハチ各種の竹筒利用数と

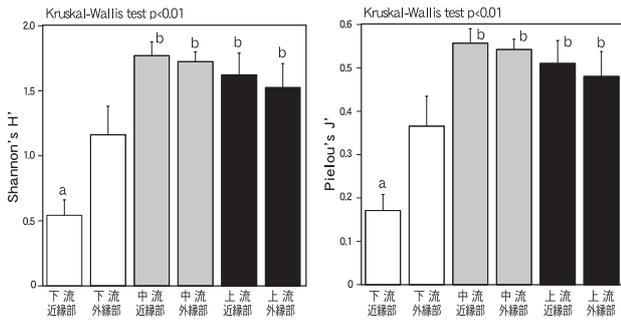


図5 竹筒利用数に基づく各流域区分の管住性ハチ類の多様度 H' 、均等度 J' 。グラフ上のアルファベットが違う場合は Steel-Dwass の多重比較法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。値は平均値±標準誤差。

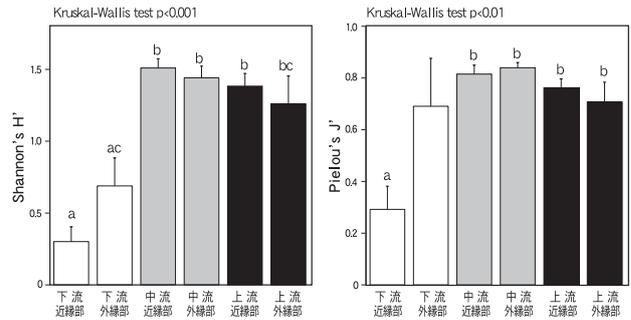


図6 育房生産数に基づく各流域区分の管住性ハチ類の多様度 H' 、均等度 J' 。グラフ上のアルファベットが違う場合は Steel-Dwass の多重比較法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。値は平均値±標準誤差。

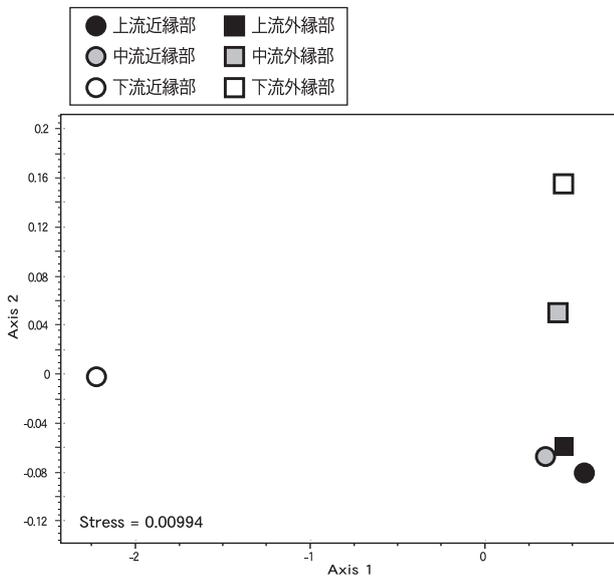


図7 竹筒利用数に基づく各流域区分の管住性ハチ類群集構造の非計量的多次元尺度構成法解析の結果。

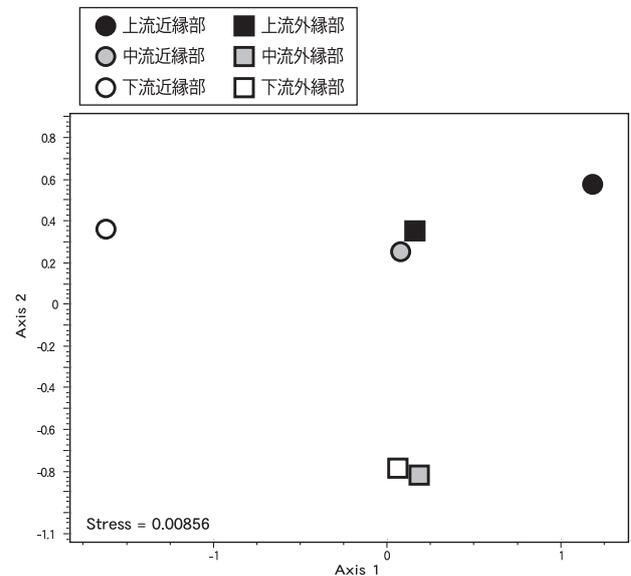


図8 育房生産数に基づく各流域区分の管住性ハチ類群集構造の非計量的多次元尺度構成法解析の結果。

育房数から多様度指数 (Shannon-Wiener の H') と均等度 (Pielou の J') を求め、その平均値を区間で比較した (図5, 6)。竹筒利用数と育房数に基づく両指数はともに、下流両縁部で他の区分と比べて減少する傾向が見られ、竹筒利用数に基づく指数では下流近縁部が多様度、均等度とも有意な流域区間差が検出され、育房数では下流両縁部が多様度に、さらに下流近縁部で均等度においても有意な流域区間差が検出された。一方、中流域と上流域の各区分間では、竹筒利用数、育房数ともに、いずれの指数にも有意な差は認められなかった。

ついで、ハチ類群集構造の類似性に流域区分間で差異があるかどうかを明らかにするために、非計量的多次元尺度構成法を用い、各区分で出現が見られたハチ類の種構成とその竹筒利用数、育房数から群集の類似性の座標付けをおこなった (図7, 8)。その結果、竹筒利用数と育房数に基づく類似性の両方で、下流近縁部は他の区分

から左側に大きく離れてプロットされ、この区分でハチ類群集構造が大きく変化していることが示された。一方、下流外縁部と中流外縁部は近くにまとまってプロットされ、それから離れた位置で、中流近縁部と上流両縁部がまとまりをもってプロットされた。このことから、中・上流域では中流外縁部のハチ群集が他の区分との類似性を低下させていることが分かった。

優占種の営巣パターンの変化

流域全体での竹筒利用総数、育房生産総数で上位を占めたのはオオフトオビドロバチ、アルマンアナバチ、ヒメベッコウ、ツツハナバチの4種であった。これら4種の各区分でのトラップ1基当たりの竹筒利用数を図9に、利用した竹筒1本当たりの育房生産数を図10に示した。これを見ると、優占4種が示す各区分での竹筒利用数や育房生産数の違いには、それぞれで異なるパタ

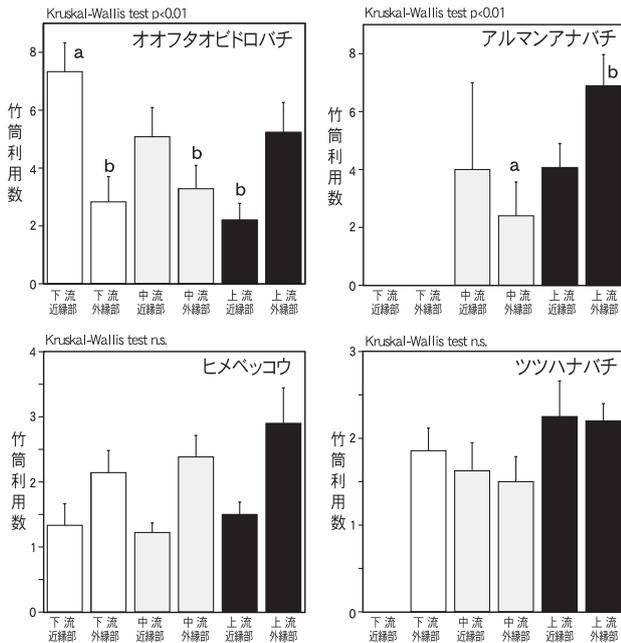


図9 優占4種の各流域区分での竹筒トラップ1基当たりの竹筒利用数。グラフ上のアルファベットが違う場合はSteel-Dwassの多重比較法で有意差(p<0.05)があることを示す。値は平均値±標準誤差。

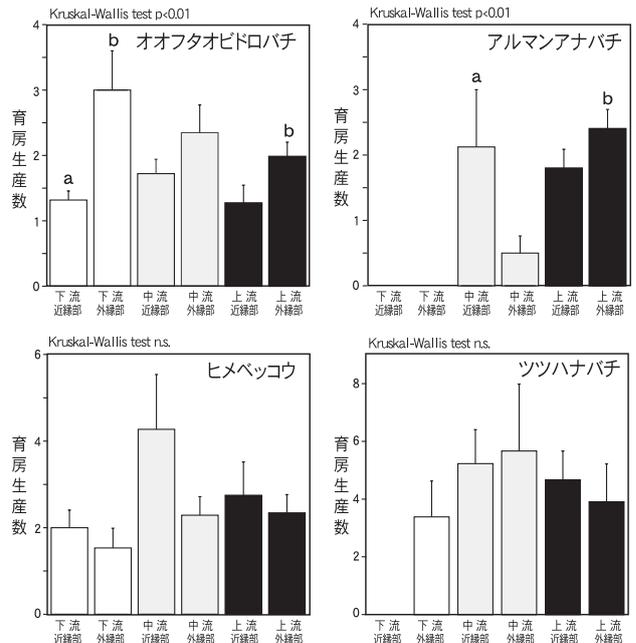


図10 優占4種の各流域区分での竹筒1本当たりの育房生産数。グラフ上のアルファベットが違う場合はSteel-Dwassの多重比較法で有意差(p<0.05)があることを示す。値は平均値±標準誤差。

ーンがあることが分かる。オオフトオビドロバチは全区間で出現が見られたが、1基当たりの竹筒利用数は下流近縁部で著しく多くなり、他の区間と有意な差が検出された。しかし、竹筒1本当たりの育房生産数を見ると、下流近縁部で逆に全区間中で最も少なく、この区間で竹筒の利用率は高いが、一本の竹筒には少数の育房しか生産できなかったことが示されている。アルマンアナバチは中流域と上流域だけで出現が見られたが、中流外縁部では竹筒利用数と育房生産数の両方に大きな低下が見られ、上流域と有意な区間差が検出された。ヒメベッコウもオオフトオビドロバチと同じく、全区間で出現が見られたが、トラップ当たりの竹筒利用数に流域間で有意な差は見られなかった。また、竹筒1本当たりの育房生産数も、中流近縁部で他の区間よりも多くなる傾向が見られたが、有意な区間差は検出されなかった。ツツハナバチは、下流近縁部でのみ出現が見られなかった。本種のトラップ当たりの竹筒利用数、筒当たりの育房生産数とも有意な区間差は検出されなかったが、中流両縁部で竹筒利用数は少なくなり、逆に筒当たりの育房生産数はこの流域区分で多くなる傾向が見られた。

採餌グループの構成変化

武庫川流域で出現が見られた管住性ハチ類を、幼虫の餌として1)直翅目昆虫、2)鱗翅目昆虫、3)徘徊性クモ類、4)花粉を集める4つの採餌グループに分類し、流域区分ごとに各採餌グループの竹筒利用数の割合、ト

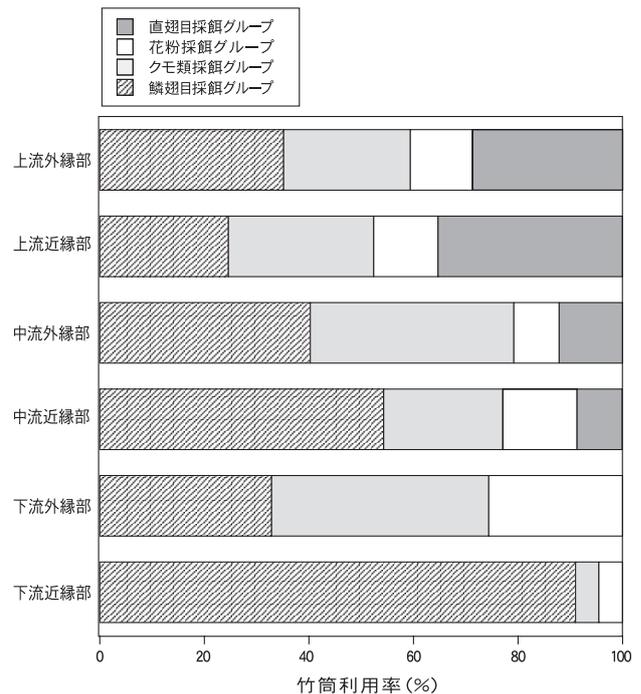


図11 各流域区分での採餌グループ別の竹筒利用数の割合。

ラップ1基当たりの竹筒利用数、調査地点あたりの竹筒利用数から求めた均等度(PielouのJ)を比較した(図11, 12, 13)。竹筒利用数の割合を採餌グループ別に見てみると、直翅目採餌グループは下流域で出現がなく、出現が見られた中流域と上流域では、上流域で高い竹筒利用数の割合を示した。鱗翅目採餌グループは下流

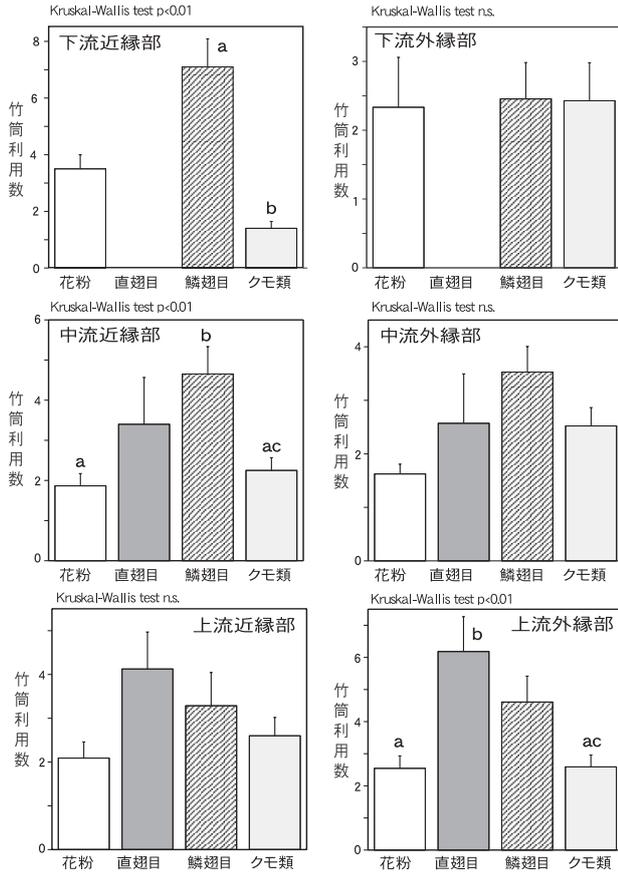


図 12 採餌グループの各流域区分での竹筒トラップ 1 基当たりの竹筒利用数。グラフ上のアルファベットが違う場合は Steel-Dwass の多重比較法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。値は平均値 ± 標準誤差。

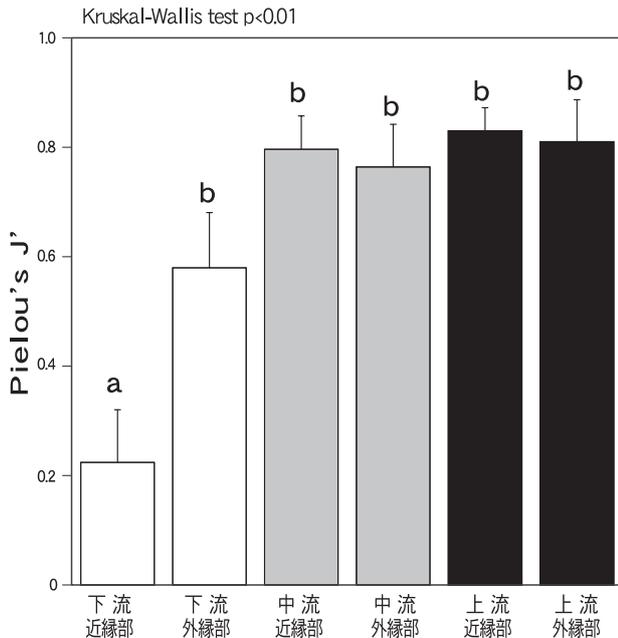


図 13 竹筒利用数に基づく各流域区分での採餌グループの均等度 J'。グラフ上のアルファベットが違う場合は Steel-Dwass の多重比較法で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。値は平均値 ± 標準誤差。

近縁部と中流近縁部で高い竹筒利用数の割合を示し、とくに、下流近縁部では全体の 9 割がこのグループで占められた。クモ類採餌グループは下流外縁部と中流外縁部で高い竹筒利用数の割合を示し、花粉採餌グループは下流外縁部で高い割合を示した。この傾向は、各採餌グループのトラップ当たりの竹筒利用数でも認められ、とくに、下流近縁部と中流外縁部で鱗翅目採餌グループの竹筒利用数に、また、上流外縁部で直翅目採餌グループの竹筒利用数に他の採餌グループと比べて有意な差が検出された。各採餌グループの均等度 (Pielou の J') は下流近縁部で最も低く、次いで下流外縁部が低くなり、両区分では中・上流域と有意な差が検出された。中流域と上流域の区分間では有意な差は検出されなかったが、両流域では中流外縁部で最も低い均等度が見られ、上流近縁部で、他の区分との差は大きくなかったが、最も高い均等度が示された。

考 察

本調査では、武庫川流域を下流・中流・上流域の河川近縁部と外縁部に分け、各区分での管住性ハチ類の生息状況を比較した。その結果、下流域の両縁部では出現種数から推定した生息期待種数と竹筒トラップ当たりの平均出現種数においても中・上流域と比べて大きな減少が認められた。また、種構成でも中流域と上流域の両縁部は高い類似性を示したが、下流両縁部とは大きな違いが見られることが分かった。さらに、竹筒利用数と育房生産数に基づく多様度指数と均等度においても、下流両縁部では中・上流域と比べて有意な減少が検出された。武庫川流域の土地利用状況には、森林と農地が高い割合を占める中流・上流域と、住宅や商業施設などの建設用地が高い割合を示す下流域という顕著な違いが見られるが (客野, 2006)、管住性ハチ類の種多様性も下流域と中・上流域で大きく異なっていることが明らかになった。

流域中で管住性ハチ類の種多様性の著しい低下が見られた下流域では、その竹筒利用率や育房生産性にも中流・上流域に比べて大きな減少が見られた。とくに、その外縁部では竹筒利用数、育房生産数ともに全区間で最も少なくなっており、トラップ 1 基当たりの平均竹筒利用数と竹筒 1 本当たりの平均育房生産数においても他流域と比べて有意な減少が確認された。どれだけの竹筒が利用されるかは、主として、トラップ設置地点で営巣場所を探しているハチ類の個体数が関係しており、どれだけの育房数が生産されるかは、その周辺の利用可能な餌資源などの量が関与していると考えられる (遠藤・橋本, 1994; 池口・橋本・遠藤, 1996)。下流外縁部で両数に著しい減少が見られたことは、この区分で営巣場所の消失が起

こっており、巣を探す親バチの個体数が減少しているだけでなく、増殖率の低下をもたらす餌資源量等の減少も起こっていることを示唆している。下流近縁部でも、その外縁部と同じく育房生産数、筒当りの育房生産数は中流・上流域と比べて著しく減少を示したが、竹筒利用数、トラップ当りの竹筒利用数は中流外縁部よりも多かった。しかし、中流外縁部とは違い、下流近縁部での竹筒利用数の8割強はオオフトオビドロバチ1種が利用したものであった。さらに、この区分でのオオフトオビドロバチの竹筒1本当たりの育房生産数を見ると全区間中で最も少なく、竹筒の利用率は高いが一本の竹筒には少数の育房しか生産できなかったことが示されている。管住性ハチ類では餌資源等の条件が悪い場所ほど営巣後の定着率が低下し、一本の竹筒に少数の育房だけを生産しては途中で放棄し、別の竹筒に再営巣を繰り返すことが知られている(市野, 1992; 遠藤・橋本, 1994)。オオフトオビドロバチは管住性ハチ類の中でも大型で強い飛翔力を持ち、営巣場所を探索する能力が高いだけでなく、餌であるメイガ類の幼虫を空中運搬できるので、営巣場所と採餌場所になる樹林地が離れて点在するような環境下でも出現が見られるハチ種である(橋本・遠藤, 1994; 遠藤・橋本, 1994; 池口・橋本・遠藤, 1996; 須賀・遠藤・坂田・橋本, 2001)。下流近縁部で中流外縁部よりも多い竹筒利用数が見られたのは、強い飛翔力をもつ本種が一本の竹筒に少数の育房しか生産できず、営巣放棄と再営巣を繰り返した結果である可能性が高く、むしろ、この区分でも営巣場所や餌資源量の消失が起こっていることを示していると考えられる。これらのことから、下流両縁部での著しい土地利用の改変は、管住性ハチ類の営巣場所や採餌場所などの著しい消失をもたらし、その結果、この区域で営巣活動をするハチの個体数や増殖率に大きな減少をもたらしていることが推察される。そのような環境下ではハチ類の絶滅も起こりやすくなり、オオフトオビドロバチのような点在化した営巣環境でも生息できるハチ種のみが残されることになる。中・上流域にくらべて、下流域で見られた出現種数や種構成の類似度の著しい減少、多様度の大きな低下も、この区分でのハチ類の生息場所としての環境の劣化を示唆していると思われる。

一方、武庫川流域で良好な自然環境が維持されていると考えられる中流域と上流域の区分間では、管住性ハチ類の出現種数や多様度に大きな違いは見られなかった。しかし、中流域の外縁部で竹筒利用数には大きな減少が認められ、トラップ当りの竹筒利用数でも上流域と比べて有意な減少が検出された。中・上流域でのハチ類科別の竹筒利用数の割合を見てみると、中流外縁部でアナバチ科とハナバチ科とくに減少が起こっていることが分かる。さらに、トラップ1基当たりの竹筒利用数をアナ

バチ科の優占種であるアルマンアナバチやハナバチ科の優占種であるツツハナバチで見ると、両種の利用数は中流外縁部で最も少なくなっていた。一方、スズメバチ科(ドロバチ類)やベッコウバチ科では、中流外縁部で中・上流域の他の区間と比べて竹筒利用数の割合に減少は見られず、スズメバチ科(ドロバチ類)の優占種オオフトオビドロバチとベッコウバチ科の優占種ヒメベッコウのトラップ当りの竹筒利用数でも中流外縁部でとくに減少は見られなかった。このように、中流外縁部で特定のハチ種群に竹筒利用数の低下が認められたことは、この区間で、それらの営巣活動に影響をあたえる特定の環境や資源などに消失が起こっている可能性を示唆している。たとえば、中流外縁部で著しい竹筒利用数の減少が認められたアルマンアナバチは幼虫の餌として直翅目昆虫を集め、ミズゴケ類を使って育房室の仕切り壁をつくるハチ種である。本種の出現には、農地や森林などの緑地環境とミズゴケ類の供給源となる環境が混在する生息場所が必要で、そのどちらか一方の環境だけが失われても営巣活動は制限されてしまうことになる。武庫川中流域の外縁部では、近年になってニュータウン開発などが進み、農地面積の3割程と森林面積の2割程が主に建設用地に造成されるなど、中・上流域で土地利用に変化が起こっている区分である(客野, 2006)。総量としての緑地面積の減少は少なくとも、ニュータウン開発では周囲の河川や湖沼などが住宅地への幹線道路として造成されることが多く、実際、武庫川中流域では河川などの水辺面積の10%程度が近年の造成で失われている。この区分では、水辺などが混在する環境の多様性が失われている可能性があり、それがアルマンアナバチの竹筒利用数減少に現れていると推測される。一方、中流外縁部で竹筒利用数の減少が見られなかったヒメベッコウは小型のクモ類を狩り、ドロで筒内に育房をつくる習性を持ち、市街地の社寺林のような場所でも、ある程度の樹林面積が残されていれば生息が可能な種である(橋本・遠藤, 1994; 遠藤・橋本, 1994)。このように、管住性ハチ類の出現には、環境の空間スケールだけに影響を受けるものから、環境の混在度に影響を受けるものまで、土地利用のパターンと多様な関係が見られ(池口・橋本・遠藤, 1996)、緑地面積など個々の環境が比較的残されていても、パッチとしての環境多様性が減少すれば、ハチ類の生息場所としての好適性は低下する。中流外縁部では、各種の竹筒利用率や育房生産性に基づく群集構造の類似性でも、中流近縁部や上流両縁部とは大きく変化していることが示されており、この区間で全体としては高いハチ類の多様性が見られても、その群集構造に変化をもたらす環境の多様性の減少が起こっていることを強く示唆している。

上記の考察から、武庫川流域で管住性ハチ類の多様性

とその生息場所として良好な環境が維持されているのは、中流近縁部と上流域の両縁部であることが分かったが、それでは、この3つの区分中、どの区分がハチ類の生息環境として最も高く評価されるのだろうか。この3区分は種組成と各種の竹筒利用率、育房生産性に基づく群集構造で高い類似性を示したので、ハチ類の分類学的構成ではなく、採餌グループの組成変化に基づいて、その評価をおこなってみた。武庫川流域で出現が見られた管住性ハチ類は、幼虫の餌として1) 直翅目昆虫、2) 鱗翅目昆虫、3) 徘徊性クモ類、4) 花粉を採餌する4つのグループに分類される。下流両縁部ではこの4つの採餌グループの内、直翅目昆虫を餌とするハチ類の出現は見られず、すべての採餌グループの出現が見られたのは中流と上流域の両縁部であった。さらに、この4つの採餌グループ別の竹筒利用数とトラップ1基当たりの竹筒利用数を中流と上流域の各区分で見ると、中流域の両縁部では、鱗翅目採餌グループやクモ類採餌グループの利用総数の割合が顕著に高く、トラップ1基当たりの利用数でもこれらの採餌グループの利用数が有意に多いことが検出される。一方、上流域の両縁部では竹筒利用数に特定の採餌グループの大きな偏りは見られなかったが、トラップ当たりの竹筒利用数では、その外縁部で直翅目採餌グループの利用数が有意に多いことが検出された。採餌グループの竹筒利用数から見ると、中流近縁部と上流両縁部のなかで、竹筒利用総数も多く、異なる餌を必要とするハチ類の利用数に偏りも見られない区分は上流近縁部だけであることが分かる。このことは、各採餌グループの竹筒利用数に基づく均等度の比較でも認められた。一般に、昆虫類では餌資源などの多様性が高く、それらの総量が多いほど、その場所に出現する昆虫類の多様度と個体数が豊富になることが知られている(Yamamoto et al., 2007)。上流近縁部で管住性ハチ類の高い種多様性が見られるだけでなく、異なる採餌グループの良好な生息状況が見られたことは、この区分でハチ類の営巣環境や餌資源が質的に最も良好な状況で維持されていることを示していると考察される。

本研究では、管住性ハチ類の生息状況から、武庫川流域の環境評価を試み、その結果、ハチ類の生息環境としては上流域の近縁部が最も評価が高く、下流域両縁部が最も評価が低いことを明らかにした。また中流域の外縁部では、ニュータウン開発などで、ハチ類の生息場所としての環境の多様性が失われつつある可能性を示した。管住性ハチ類は典型的な里山里地昆虫であり、それらの生息状況から見た環境評価は、その地域での里山環境の変化を示していると考えられる。武庫川流域で良好な里山環境を保全していくためには、上流域での大きな土地利用の改変を防ぐだけでなく、中流域で環境の多様性を復元する手立てを進めて行く必要があるだろう。

謝 辞

本研究は、兵庫県立人と自然の博物館総合共同研究「武庫川」の一環として実施したものであり、博物館の諸氏にはさまざまな助力と指導をいただいた。また、管住性ハチ類の研究方法については、東北学院大学の郷右近勝夫氏に有益なご教授をいただいた。これらの方々に、深く感謝します。

要 旨

本研究では、武庫川流域を下流・中流・上流域の近縁部と外縁部に分け、竹筒トラップを用いて各区分での管住性ハチ類の調査を行い、各流域間での管住性ハチ類の多様性の違いを明らかにするとともに、その違いから各流域での里山環境の現状の評価をおこなった。その結果、ハチ類の生息環境としては上流域の近縁部が最も評価が高く、下流域両縁部が最も評価が低いことが明らかになった。また、中流域の外縁部では、ニュータウン開発などで、ハチ類の生息場所としての環境の多様性が失われつつある可能性が示唆された。管住性ハチ類は典型的な里山里地昆虫であり、それらの生息状況から見た環境評価は、その地域での里山環境の変化を示していると考えられる。武庫川流域で良好な里山環境を保全していくためには、上流域での大きな土地利用の改変を防ぐだけでなく、中流域で環境の多様性を復元する手立てを進めて行く必要があると考えられる。

文 献

- Clarke, K. R. and Warwick, R. M. (1994) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 144 p.
- 遠藤知二・橋本佳明 (1994) 借坑性ハチ類の竹筒トラップの利用様式：トラップ間距離と口径の影響。人と自然, 4, 71-79.
- 郷右近勝夫 (1982) ススキの枯茎中に営巣するハチ類の生態。昆虫と自然, 17, 2-6.
- 橋本佳明・遠藤知二 (1994) 三田市フラワータウンとその周辺地域の借坑性カリバチ・ハナバチ類相：竹筒トラップ調査による地域環境の評価。人と自然, 4, 63-70.
- 橋本佳明・遠藤知二 (1996) 管住性ハチ類からみたニュータウンの環境形態とタウン内残存林のピオトープとしての活用。人と自然, 7, 65-71.
- 池口 仁・橋本佳明・遠藤知二 (1996) 確立モデルを用いた管住性ハチ類繁殖可能性の可視化。人と自然, 7, 89-96.
- 市野隆男 (1992) ドロバチ類の個体群動態に関する比較生態学的研究。京都大学博士論文, 324 p.
- 岩田久二雄 (1971) 本能の進化：蜂類の比較習性学的研究。眞野

書店, 565 p.

客野 尚志 (2006) 武庫川流域の土地利用と水系の変遷. 江崎保男 (編), 武庫川散歩. 人と自然特別号, 2, 91-101.

須賀 丈・遠藤知二・坂田宏志・橋本佳明 (2001) 竹筒トラップをもちいた管住性ハチ類の調査による生態影響評価手法の開

発. 長野県自然保護研究所紀要, 42, 23-33.

Yamamoto, N., Yokoyama, J., and Kawata, M. (2007) Relative resource abundance explains butterfly biodiversity in island communities. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 104, 10524-10529.

(2011年 8月 2日受付)

(2011年 10月 13日受理)