

## 論 文

### 竹筒トラップの設置場所が管住性ハチ類の利用に及ぼす影響

遠藤 知二<sup>1)</sup>・今崎 惟<sup>2)</sup>・辻井 美咲<sup>1)</sup>

1) 神戸女学院大学 人間科学部・2) 神戸女学院大学 人間科学研究科

Effects of trap site location on the use of trap-nests by cavity nesting wasps and bees

Tomoji Endo<sup>1)</sup>, Yui Imasaki<sup>2)</sup>, and Misaki Tsujii<sup>1)</sup>

(1) School of Human Sciences, Kobe College, 2) Graduate School of Human Sciences, Kobe College)

#### Abstract

A survey on the cavity-nesting wasps and bees was carried out by using the trap-nests made of bamboo canes in the rural area of Sasayama City, Hyogo prefecture during 2010. A total of 60 trap-nests were placed in three different spatial scales; landscape scale (5 areas), plot scale (3-5 plots per area), and trap scale (3 traps per plot). This design allowed us to analyze the effect of spatial scales on the nesting of individual species of cavity-nesting wasps and bees. Numbers of brood per trap of the most dominant *sphacid* wasp, *Isodontia harmandi* were varied among each of three spatial scales. Two species of common mason wasps, *Anterynchium flavomarginatum micado* and *A. gibbifrons* showed contrasting responses to spatial scales, i.e. the numbers of brood cells were different at plot scale in *A. f. micado* and at landscape scale and trap scale in *A. gibbifrons*. Several environmental factors of both landscape and trap scales were examined whether to explain the use of trap-nest by cavity-nesting wasps and bees. GLM analysis showed that all species tend to avoid mouldy traps, but that different species were differently influenced by environmental factors, such as conifer plantation area and diversity index of landscape at landscape scale, and distance to water area at trap scale. We further need to study to elucidate specific responses of cavity-nesting wasps and bees to environmental factors in various spatial scales.

**Key words** : cavity-nesting wasps and bees, trap-nest, landscape scale, trap scale, spatial scale

**キーワード** : 管住性ハチ類、竹筒トラップ、景観スケール、トラップスケール、空間スケール

#### はじめに

ヨシや竹の筒あるいはドリルで孔を開けた角材などを野外に設置して、その空間に営巣する有剣ハチ類（ここでは管住性ハチ類という）を誘引する手法は、トラップネスト（trap-nest）と呼ばれており、多くの景観生態学研究に用いられている（Gathmann et al. 1994; Tscharnke

et al. 1998; Steckel et al. 2014など）。このトラップは、ハナバチやカリバチなど、送粉や生物防除といった重要な生態系サービスの担い手となる複数の機能グループが利用すること、さらにそれらのハチ類に寄生する天敵も利用するため、栄養段階間の相互作用に関するデータもが得られることが、大きな利点になってお

り (Tscharntke *et al.* 1998, Klein *et al.* 2003)、景観生態学研究のモデル生物の1つになっている。これらのハチは巣と餌場の間を往復する中心採餌を行うため、巣を中心とした周囲の環境条件の影響を受けやすいと考えられる。そこで、これらの研究では、しばしば一定の広がりをもった空間スケールの景観特性が、機能グループの種数や個体数にどのような影響を及ぼしているかが問題とされることが多い (Steffan-Dewenter 2002)。たとえば、熱帯林に隣接するアグロフォレストリーでのトラップネストによる調査では、熱帯林からの距離が離れるにつれて、管住性ハチ類と天敵類のどちらも種数は減少したが、個体数は管住性ハチ類では減少せず、天敵類では大きく減少した (Klein *et al.* 2006)。これは、天敵類の方がより小さな空間スケールの環境特性に影響を受けていることを示している。また、熱帯林周辺のいくつかの生息地タイプで調査を行った Tylianakis *et al.* (2006) は、熱帯林からの距離とともにハナバチの種数は減少することを見いだしたが、カリバチではそのような傾向を見いだせなかった。このように、機能グループや種によって異なる空間スケールの景観特性に対する反応は異なっており、ある場所の管住性ハチ群集は、複合的な空間スケールの景観特性を反映していると考えられる。

その一方、高さや風向きなど、トラップを設置している場所のごく近傍の環境条件も、これらのハチ類の利用に影響を及ぼすことが指摘されている (McIvor 2016)。Flicke (1992) は、同所的に生息するイスカバチ属 (*Passaloecus*) のある種がクルミに設置したトラップを、別の種がマツに設置したトラップをそれぞれ選好したと報告している。Morato & Martins (2006) は、この事例も十分な根拠にもとづいているわけではないとしているが、管住性ハチ類の営巣場所選択には、微生息場所の環境条件への選好性も大きな影響を与えているだろう。

Tylianakis *et al.* (2006) は、トラップから得られた管住性ハチ群集の種多様性を空間スケールにもとづいて分析したところ、土地利用は個々のトラップの  $\alpha$  多様性に対してのみ有意な影響を与えていること、また、ハナバチの種数もカリバチの種数も、トラップ周辺の植物種数と正の相関があることを示した。これらのことは、トラップに近接する環境が結果に大きな影響を及ぼすことを示唆している。このことは、里山のような景観要素の入り組んだ景観では、なおさら重要だと考えられる。しかし、管住性ハチ類の営巣場所選好性については、ほとんどわかっていない。

本研究では、竹筒トラップによって得られた管住性ハチ類群集について、異なる空間スケールの環境要因がどのような影響を及ぼすかを検討する。とくに、複数のトラップを含む地点のスケール、複数の地点を含む区域のスケールのほかに、従来あまり分析されてこなかったトラップの設置場所そのもののスケールの、3つの異なる空間スケールで個体数や種数に影響があるかどうかを検討する。すなわち、(1) 管住性ハチ類群集の多様性に対して3つの異なる空間スケールがどのように寄与しているか、(2) 管住性ハチ類の優占種および全体の個体数と種数は、3つの異なる空間スケールで場所による差があるか、(3) トラップスケールと区域スケールのどのような環境要因が優占3種と全体の個体数と種数に影響を及ぼしているかを明らかにする。

## 調査地および方法

本研究で分析の対象としたサンプルは、アルマンアナバチ (*Isodontia harmandi*) の生態を研究するために2010年に兵庫県篠山市南矢代で行った竹筒トラップ調査のものである (今崎2011)。調査を行った南矢代地区 (35° 2' N、135° 10' E) は、松尾山 (標高687m) の東山麓に位置し、北西から南東に流れる谷川に沿っ

て開けた農村で、約1.3kmの谷沿いには水田や畑が耕作されている。

竹筒トラップには、端に節と開口部をもった長さ20cmのマダケ (*Phyllostachys bambusoides*) の筒を用いた。内径13-16mm (L) と10-12mm (M) の2種類の竹筒を6本ずつ、交互に園芸用ビニル被覆針金ですだれ状に編んだ計12本のを1つのトラップとして使用した。すなわち、トラップの竹筒に上から順に1から12までの番号を振ると、奇数はLサイズ、偶数はMサイズの竹筒となるよう構成された。

トラップの設置は、3つの空間スケールを考慮して行った。まず、いちばん広い空間スケールとして、南矢代地区から互いに200m以上離れた5区域を選んだ(図1:A-E)。Aは、山裾にある小林池を中心とした区域、Bは大歳神社周辺、Cは枝谷の奥に位置する放棄水田となった棚田の周辺、Dは一宮神社周辺、Eは谷の奥にある奥池を中心とした区域である。さらに、これらの区域のそれぞれに中間的なスケールとして、互いに30-50m離して、3-5地点を

設け、調査地全体で20地点を選んだ(図1:1-20)。各地点には互いに5-10m離して3か所の設置場所を選び、それぞれトラップを設置した。以上のように3つのスケールで、竹筒トラップ合計60基を設置した。トラップはいずれも、胸高直径20-40cmの樹木の主幹に、高さ約150cmのところまでビニル紐により固定した。トラップの設置は、アルマンアナバチの営巣活動に合わせて2010年6月19日に行った。

管住性ハチ類の営巣状況を調べるため、同年7月から8月にかけて6回にわたりトラップの点検を行った。営巣が確認された竹筒は適宜回収し、トラップの同じ部位に同じ内径サイズクラスの竹筒を補充した。また、ハチ類の営巣活動が終了した同年12月21日に。すべての竹筒トラップを回収した。回収した竹筒はすべて解体し、営巣のあったものは、育室数の記録をとった。巢内のハチ類の幼虫は羽化するまで飼育し、成虫が得られた場合は標本を作製して種まで同定した。成虫が得られなかった場合も巢

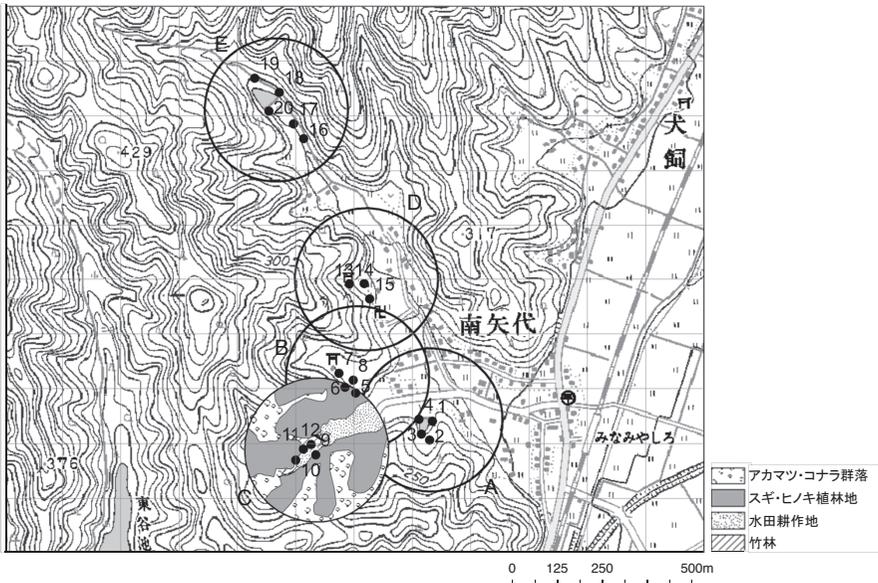


図1 調査地の地図。A～Eの円は各区域の半径200mバッファ、1～20の黒丸は竹筒トラップの設置地点を示す。C区域のバッファ円の内部は土地利用図の1例を表す。地図は国土地理院2.5万地形図篠山。

の構造などから同定したが、複数種の混在するヒゲクモバチ属 (*Dipogon*) やフタオビドロバチ属 (*Anterhynchium*) では、属レベルの同定にとどめたものもある。各トラップのデータは、竹筒番号1から6までの上半分と7から12までの下半分の2つの単位としてまとめた。

## 環境変数

管住性ハチ類の営巣に影響を与える要因として、しばしば景観スケールにおける景観要素の組成や配置が検討される (Steffan-Dewenter 2002)。ここでは、ArcGIS (ESRI ジャパン) を用いて各区域の中心から半径200mのバッファを設定し、内部の景観要素パッチをポリゴンとするシェープファイルを作成した。シェープファイルは、環境省生物多様性センターが提供する第6-7回植生調査 (1999~2012/2013) を反映させた植生図 (p523541) をもとに、スギ・ヒノキ植林地、アカマツ・コナラ群落、水田耕作地、竹林、市街地、開放水域の6タイプに区分したバッファを作成した。さらに、国土地理院による2009年撮影の空中写真 (CKK20092-C1-19) や現地踏査を参考にして、ポリゴンの形状に修正を加えた (図1; C区域のバッファ参照)。各区域のバッファ内の面積とその比率は表1の通りである。景観スケールの環境要因として、i) 各区域のスギ・ヒノキ植林地面積の比率、ii) アカマツ・コナラ群落面積の比率、およびiii) 景観多様度を、分析のための環境変数とした。j番目の区域の景観多様度 ( $D_{LANDj}$ ) は、シャノンの情報量指数

$$D_{LANDj} = - \sum_i p_{ij} \ln p_{ij}$$

を用いて計算した。ここで  $p_{ij}$  はj番目の区域におけるi番目の景観要素がバッファに占める面積の比率である。

竹筒トラップの設置場所の環境条件を表す変数として、iv) 開空度、v) 水辺までの距離、vi)

カビの程度を計測した。トラップ設置場所の明るさの相対的な指標を得るために、2010年9月25日に魚眼レンズを装着したデジタルカメラ (Nikon Coolpix 950) を用いて全設置場所のトラップ上で全天写真を撮影した。この画像を画像解析ソフトによりGSF (Global Site Factor) 値を求め、その場所の開空度とした。また、同日にトラップ設置場所から、ため池や水の流れる溝、細流などの最寄りの水辺までの距離を測定した。さらに、設置されたトラップの竹筒表面に生じたカビの程度を4段階 (カビのない状態を1、一部にカビが見られる状態を2、トラップの半分程度にカビが見られる状態を3、全体がカビにより黒ずんだ状態を4) で評価した。

## データ解析

3つの空間スケールが管住性ハチ類の多様性にどのように影響しているかを検討するために、Lande (1996) の手法にもとづいて、調査地全体の種数を、トラップ設置場所の  $\alpha$  多様性 (1設置場所あたりの平均種数)、設置場所間の  $\beta$  多様性、地点間の  $\beta$  多様性、区域間のベータ多様性の4つの構成要素に分割した (Tylianakis *et al.* 2006)。ある空間スケールのベータ多様性 ( $\beta$ ) は、

$$\beta = S_T - \bar{S}_{within} = \sum_j q_j (S_T - S_j)$$

で表される (Lande 1996)。  $S_T$  はその空間スケールのサンプル全体に含まれる種数、  $S_j$  は個々のj番目のサンプルに含まれる種数、  $\bar{S}_{within}$  はサンプル中の種数の平均、  $q_j$  はj番目のサンプルの重みづけ係数である。ここでは、区域DおよびEの地点数に応じて、区域間の  $\beta$  多様性を求める際に  $q_D=0.75$ 、  $q_E=1.25$  とし、それ以外の  $q_i$  は1とした。

本研究において優占種であったアルマンアナバチと、オオフタオビドロバチ (*A. flavomarginatum micado*) およびYamane & Murota (2015) に

よって最近記載されたオデコフタオビドロバチ (*A. gibbifrons*) の育室数について、区域間、地点間、設置場所（トラップ）間で差があるかどうかを、入れ子型の分散分析（nested ANOVA）を行なった（Sokal & Rohlf 1995; Crawley 2005）。トラップ間での分析を可能にするために、各トラップの上半分と下半分のデータをトラップ内の2つの独立した値として用いた。

アルマンアナバチでは、複数幼虫が1育室内で集団発育するため（飯田1934；今崎ら2013）、育室数が個体数のよい指標とならない。そこで、回収した巣内に含まれているハチの卵ないし幼虫の数を用いた。また、寄生者や捕食者による攻撃を受けハチの生存個体がない巣については、各地点における巣あたりハチ幼虫数の中央値を代用した。以上の3種を含めた管住性ハチ類の全種の育室数と種数についても、同様の分析を行なった。

アルマンアナバチ、オオフタオビドロバチ、オデコフタオビドロバチおよび管住性ハチ類全種のトラップあたり育室・幼虫数と種数が、異なった空間スケールのどのような環境要因に影響を受けているのかを明らかにするため、それらの値を応答変数として一般化線形モデル（GLM）によって解析を行った。用いた説明変数は、区域スケールの環境要因としてアカマツ・コナラ群落の面積率、スギ・ヒノキ植林地の面積率、および景観多様性、設置場所スケ

ールの環境要因として開空度、水辺までの距離、カビの程度の、合わせて6変数である。応答変数である各種のトラップあたり育室・幼虫数はいずれも強い集中分布を示し、過分散であったため、確率分布として負の二項分布を指定した。また種数の分散はそれほど大きくなかったため、確率分布としてポアソン分布を指定した。GLM分析は、AICにもとづいたステップワイズ法による変数選択を行なった。

分散分析、GLM分析にはR ver. 3.3.2を用いた（R Core Team 2016）。

## 結果

### 管住性ハチ類の多様性

本調査では、全体で11種1643育室・幼虫の管住性ハチ類が得られた（表2）。もっとも多かったアルマンアナバチは、239本の竹筒から1034個体の幼虫が得られ、全体の育室・幼虫の62.9%を占めた。ついで、オオフタオビドロバチは71本の竹筒から218育室（13.3%）、オデコフタオビドロバチは18本の竹筒から51育室（3.1%）、両種のどちらかを特定できなかったフタオビドロバチ属は、72本の竹筒から159育室（9.7%）が得られた。これら3種を合わせると、全体の89.0%を占めた（表2）。

竹筒トラップを利用した管住性ハチ類のトラップあたり平均種数（ $\alpha$ 多様性）は $1.9 \pm 0.7$  (SD) 種（レンジ：0-5）だった（図2）。地点レベルの $\alpha$ 多様性は $3.2 \pm 1.1$ 種（レンジ：2-5）で

表1 調査地の5区域における半径200mバッファ圏内の土地利用タイプの面積。括弧内は面積の比率を表す。

区域	土地利用タイプ							総計
	スギ・ヒノキ 植林地	アカマツ・ コナラ群落	水田耕作地	竹林	市街地	開放水域		
A	38115( 30.4)	21205( 16.9)	45485( 36.2)	2050( 1.6)	17843( 14.2)	845( 0.7)	125543( 100.0)	
B	54585( 43.5)	29496( 23.5)	30725( 24.5)	1548( 1.2)	9250( 7.4)	0( 0.0)	125603( 100.0)	
C	72930( 58.1)	36372( 29.0)	13040( 10.4)	3262( 2.6)	0( 0.0)	0( 0.0)	125604( 100.0)	
D	38618( 30.8)	43114( 34.3)	25320( 20.2)	962( 0.8)	17542( 14.0)	0( 0.0)	125556( 100.0)	
E	76350( 60.8)	36661( 29.2)	9514( 7.6)	0( 0.0)	0( 0.0)	2996( 2.4)	125521( 100.0)	
総計	280598( 44.7)	166847( 26.6)	124085( 19.8)	7822( 1.2)	44635( 7.1)	3841( 0.6)	627828( 100.0)	

あり、トラップ設置場所間の  $\beta$  多様性は  $1.3 \pm 0.8$  種となった (図2)。また、区域レベルの  $\alpha$  多様性は  $5.6 \pm 2.1$  種 (レンジ: 4-9) で、地点間の  $\beta$  多様性は  $2.5 \pm 1.4$  種となった。したがって、区域間の  $\beta$  多様性は 5.4 種となり、全体の  $\gamma$

多様性 (11種) のおよそ半分を占めた (図2)。

育室・幼虫数と種数の比較

優占種のアルマンアナバチは、20地点中19地点 (95%) で営巣したが、とくに幼虫数が多かったのはD区域 (一宮神社) で、この区域だけで全体の3割がみられた (表1、図3)。入れ子型分散分析の結果を表3に示した。アルマンアナバチでは区域間、地点間、トラップ間のいずれの空間スケールでも差があった。オオフトアオビドロバチは、20地点中15地点で出現し、地点間では育室数に有意な差がみられたが、区域間、トラップ設置場所間では差がなく、比較的まんべんなく出現していたことがわかる。一方、オデコフトアオビドロバチの出現は6地点に限定されており、B区域 (大歳神社) に集中していた (図3)。オオフトアオビドロバチとは逆に、育室数は地点間では有意差はなかったが、区域間、トラップ間では有意差があった。管住性ハチ類全体の育室数は、区域間では差はなく、より小さな空間スケールで差がみられた。この傾向は、種数でみても同様だった。

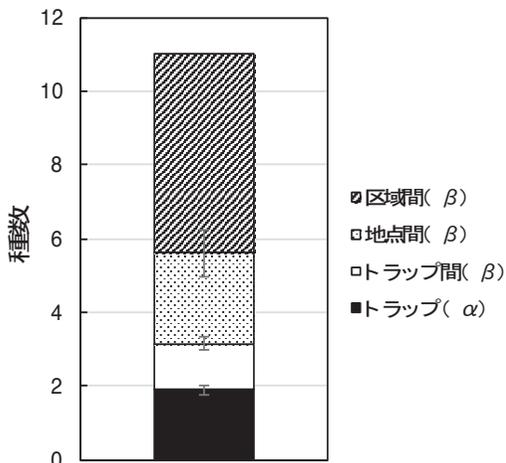


図2 竹筒トラップで得られた管住性ハチ類の種多様性の分割。総種数 ( $\gamma$  多様性) をトラップの  $\alpha$  多様性、トラップ間の  $\beta$  多様性、設置地点間の  $\beta$  多様性、区域間の  $\beta$  多様性に分割したものを表す。

表2 竹筒トラップの各設置地点における各種管住性ハチ類の育室・幼虫数。A ~ Eは調査地の5区域、1 ~ 20は設置地点を表す。数字は各設置地点の合計育室・幼虫数。

種	A				B				C				D				E				総計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
オオハキリバチ <i>Megachile sculpturalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	1	0	15	0	0	0	0	0	40
ベレエヒゲクモバチ <i>Dipogon conspersus</i>	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
ヒゲクモバチ属 <i>Dipogon</i> spp.	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	13	0	3	0	27
ナミヒメクモバチ <i>Auplopus carbonarius</i>	7	0	0	0	11	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
オオフトアオビドロバチ <i>Anterhynchium flavomarginatum micado</i>	21	10	8	20	23	0	5	0	0	14	11	9	0	3	33	28	10	14	0	9	218
オデコフトアオビドロバチ <i>A. gibbifrons</i>	0	8	1	0	11	19	0	7	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	51
フトアオビドロバチ属 <i>A.</i> sp.	17	19	1	2	20	6	0	7	0	4	7	4	8	9	21	11	3	6	0	14	159
フトスジスズバチ <i>Discoelius japonicus</i>	0	17	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	22
アルマンアナバチ <i>Isodontia harmandi</i>	98	9	26	50	16	151	12	17	2	7	0	30	116	75	134	90	59	12	8	122	1034
キバネアナバチ <i>I. maidli</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	26
オオジガバチモドキ <i>Trypoxylon malaisei</i>	0	0	0	12	0	0	0	0	7	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	23
ミカドジガバチ <i>Hoplammophila aemulans</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
総計	157	63	37	87	81	191	17	31	9	25	42	49	128	93	205	129	85	32	37	145	1643

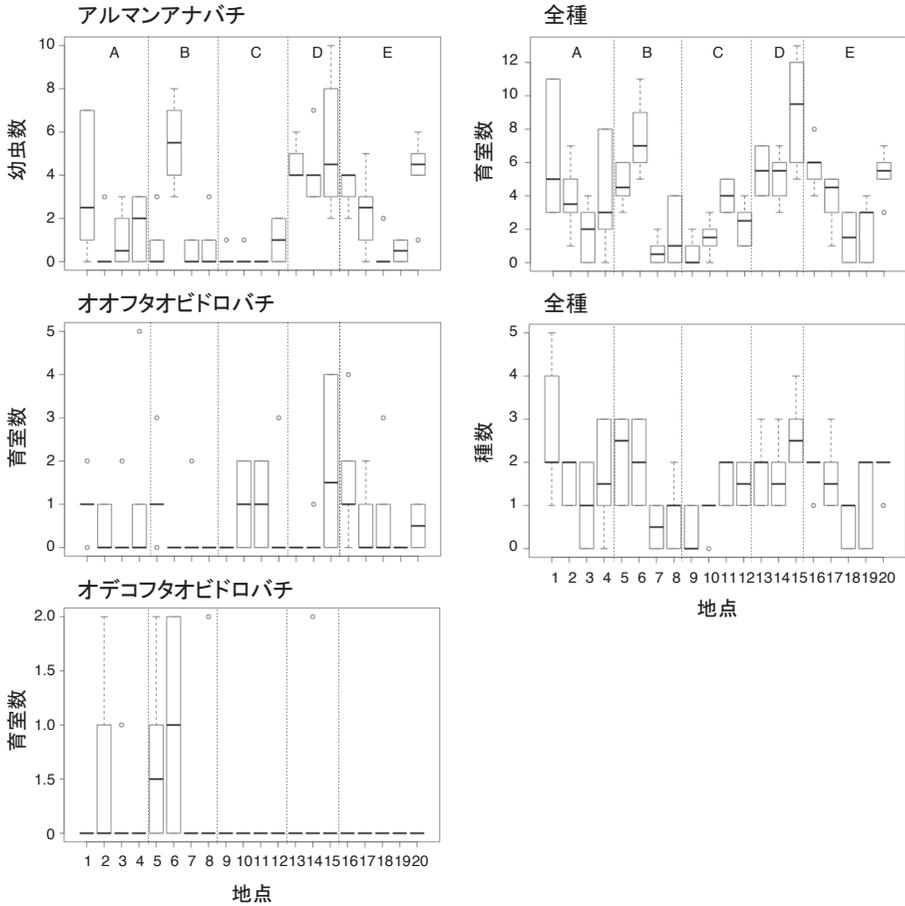


図3 各設置地点における3種の管住性ハチ類と全管住性ハチ類の1/2トラップあたりの育室・幼虫数、および総種数。

### 環境要因の育室数への影響

GLMによる分析の結果を表4に示した。アルマンアナバチの幼虫数では、区域スケールのアカマツ・コナラ群落の面積率とトラップスケールのカビの程度が有意な変数だった。アカマツ・コナラ群落は幼虫数に正の影響を、カビの程度は負の影響を与えていた。オオフトオビドロバチでは、区域スケールでは有意な変数はなく、カビの程度だけが負の有意な影響を与えていた。一方、オデコフトオビドロバチでは、区域スケールにおけるスギ・ヒノキ植林地面積率

と景観多様性、トラップスケールにおける水辺までの距離が、それぞれ正の有意な影響を与えており、カビの程度は有意ではなかった。管住性ハチ類全体の育室数で見ると、カビの程度だけが負の有意な影響を及ぼしていた。竹筒トラップに生じるカビは、管住性ハチ類の営巣にとって強い負の影響を与えており、カビのほとんど生じていないトラップにつくられる巣の育室数は、カビがみられるトラップに比べて有意に多かった(図4)。種数でも同様であった(表4)。

**考察**

本研究では、同じ農村内の5つの区域、各区域内で互いにやや離れた複数のトラップ設置地点、さらに各設置地点で近接してしかけられた3基の竹筒トラップという3段階の空間スケールで、管住性ハチ類の育室・幼虫数や種数に差があるかどうかを検討した。

アルマンアナバチは本調査地でもっとも優占する種であり、全区域でほとんどの設置地点(19/20)で出現した。実際に本種が多かったのはD区域や、A、B、E区域の一部であり、C区域での営巣はあまり見られなかった。また、多くのトラップを利用したとはいえ、約1/3のトラップ(19/60)では営巣がみられなかった。したがって、本種の育室・幼虫数にはどの空間

スケールでも差があった(表3)。アルマンアナバチの育室・幼虫数に影響を及ぼしていた環境要因からすると、C区域やE区域の一部で本種が少なかったのはこれらの区域で針葉樹の植林地が多いことと関係しているのかもしれない(表1)。アルマンアナバチは営巣材としてコケ類を用いており、スギ植林地で大量のコケを詰め込んだ巣を見かけることもあるが、本研究の結果はむしろ谷沿いの湿潤な場所よりも、むしろ水辺から離れたカビのはえない場所を好むといえるだろう。獲物として狩られるササキリモドキ類やウマオイ類は、それぞれ落葉樹の樹上、林縁のマント群落などに生息しており(加納ら2016)、おそらく餌の生態分布に左右されているのかもしれない。

**表3** 3つの空間スケールにおける3種の管住性ハチ類と全管住性ハチ類の育室・幼虫数の入れ子型分散分析の結果。

変動因	df	幼虫・育室数															
		アルマンアナバチ				オオフトアオビドロバチ				オデコフトアオビドロバチ				全種			
		SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
区域間	4	199.9	49.98	3.445	0.035	1.443	0.306	0.145	0.963	4.189	1.047	3.287	0.040	214.3	53.57	1.921	0.159
地点間	15	217.6	14.51	4.606	<0.001	31.72	2.114	2.097	0.031	4.778	0.319	1.124	0.368	418.2	27.89	3.994	<0.001
トラップ間	40	126.0	3.150	2.066	0.005	40.30	1.008	1.222	0.238	11.33	0.283	1.889	0.013	279.3	6.983	4.873	<0.001
トラップ内(残差)	60	91.50	1.525			49.50	0.825			9.000	0.150			86.00	1.443		
計	119	635.0				123.0				29.30				997.8			

**表4** 3種の管住性ハチ類と全管住性ハチ類の育室・幼虫数および全種数に対する環境変数の影響に関するGLM分析の結果。

説明変数	育室・幼虫数										種数	
	アルマンアナバチ		オオフトアオビドロバチ		オデコフトアオビドロバチ		全種					
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p		
区域スケール												
アカマツ・コナラ群落面積	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
スギ・ヒノキ植林地面積	-2.574	0.013	-	-	2.819	0.0067	-3.232	0.0021	-	-		
景観多様性	-2.415	0.019	-3.901	0.0003	2.552	0.0135	-3.302	0.0017	-	-		
トラップスケール												
開空度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
水辺までの距離	2.553	0.013	-1.924	0.059	2.404	0.0196	3.108	0.003	-	-		
カビの指標	-2.299	0.025	-5.350	<0.0001	-2.149	0.0361	-4.216	<0.0001	-2.815	0.0048		
AIC	451.75		266.62		89.482		509.2		177.09			

一方、オオフトオビドロバチとオデコフトオビドロバチは、環境要因に対する反応がかなり違っていることがうかがえた。オオフトオビドロバチの育室数は、地点間でのみ差が見られたのに対し、オデコフトオビドロバチでは逆に地点間では差がなく、区域間、トラップ間で差が見られた（表3）。これは、前者の営巣がほとんど見られなかったB区域で、逆にオデコフトオビドロバチがおもに営巣したということ（図3）と関係している。環境要因についての分析でも、景観多様性や水辺までの距離はどちらの種にも有意な影響を及ぼしたが、その影響の符号は逆で、オオフトオビドロバチは景観的には単調で水辺から離れた場所に多かったが、オデコフトオビドロバチは景観的には多様で水辺に近い場所に多いことを示している（表4）。ドロバチにとって水資源が重要であることは知られているが（Freeman & Jayasingh 1975）、このような正反対の結果が得られたのは、両種の環境選好性の違いを反映しているよりも、むしろ近縁な両種が競争関係にあり、空間的に分離したことの副次的な結果である可能性もある（遠藤2017）。この点については、今後の研究が必要であろう。

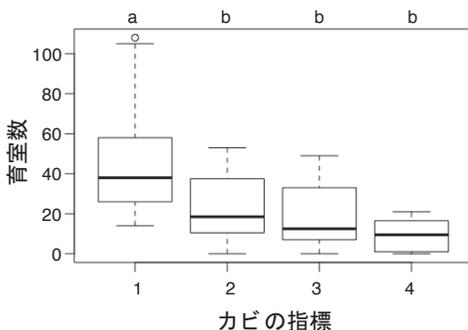


図4 トラップのカビの指標とトラップあたり育室・幼虫数の関係。カビの指標は数字が大きいほどトラップに多くのカビが生じていることを表す。異なるアルファベットは育室・幼虫数に有意な差があることを示す。

一方、トラップに生じるカビに対する強い忌避は、3種のすべてに共通し、全体でもきわめて強い負の効果があった（図4、表4）。これら管住性ハチ類がしばしば家屋の庇など雨の当たらない場所を好むことと考えあわせれば、この結果は日本の湿潤な環境の中では営巣基質がカビにおかされない条件がきわめて重要であることを再認識させるものである。竹筒トラップを設置する際には、こうしたカビ対策について今後十分に留意する必要がある。

エクアドルで調査を行ったTylianakis *et al.* (2006) は、比較的広い地理的範囲（約20×20km<sup>2</sup>）に水田、牧草地、コーヒー園、森林などいくつかの生息地タイプにまたがってトラップを設置し、生息地タイプを含めた異なる空間スケールによって種多様性を分割して分析した。その結果、全体の $\gamma$ 多様性に対する貢献は、生息地タイプ間の $\beta$ 多様性よりも、むしろトラップの調査プロット間の $\beta$ 多様性の方が大きいことを明らかにした。その調査プロットは、およそ75×75m四方ほどの空間サイズであり、本研究の区域スケールに近い。したがって、Tylianakis *et al.* (2006) のプロット間 $\beta$ 多様性が大きいことと本研究での区域間 $\beta$ 多様性が大きいこと（図2）とは、空間サイズからするとほぼ同じような現象を表しているのかもしれない。Tylianakis *et al.* (2006) の研究でトラップスケールの $\alpha$ 多様性が比較的低いことも、本研究と共通していた。これらのことは、トラップネストを利用する管住性ハチ類の野外における分布が空間的に異質であること、多くのハチの住みつき速度が遅くトラップの利用機会が低いこと、あるいは先住効果により特定の種がトラップを独占的に利用し、一方で他種を分散させることなど、いくつかの要因が関係しているのかもしれない。

いずれにせよ、営巣場所の局所的な環境要因に対する反応は、管住性ハチ類の種によってかなり個別的に異なっていると思われる。このこ

とは、管住性ハチ類群集の構成を把握するには、対象とする空間スケールに応じて、地点あたりのトラップ数を増やすよりも地点数を増やす、あるいは区域あたりの地点数を増やすよりも区域数を増やすことが肝要であることを示唆している。

## 謝辞

調査には、神戸女学院大学人間科学部動物生態学研究室所属の田口詠子さん、井尻菜々子さんをはじめ多くの学生に手伝ってもらいました。また、篠山市南矢代の当時の自治会長だった酒井忠之さんをはじめ、地元の方には快く調査を受け入れていただきました。ここに記して感謝します。

## 引用文献

- Crawley, M. J. (2015) *Statistics: An Introduction using R*. 2nd ed. Wiley.
- 遠藤知二 (2017) 竹筒トラップを用いた生物多様性モニタリングの有効性：オデコフタオビドロバチの事例. *野生復帰*, 5, 3-8.
- Flicke, J. M. (1992) Influence of tree species on frequency of trap-nest use by *Passaloecus* species (Hymenoptera: Sphecidae). *Great Lakes Entomology*, 25, 51-53.
- Freeman, B. E. & Jayasingh, D. B. (1975) Factors controlling the distribution in Jamaica of *Pachodynerus nasidens* (Latr.) (Hymenoptera: Eumenidae). *Biological Journal of Linnean Society*, 7, 231-241.
- Gathmann, A., Greiler, H. -J., & Tscharrntke, T. (1994) Trap-nesting bees and wasps colonizing set-aside fields: succession and body size, management by cutting and sowing. *Oecologia*, 98, 8-14.
- 飯田吉之助 (1934) アルマンモモアカアナバチの生態. *Mushi*, 7, 101-108.
- 今崎惟 (2011) アルマンアナバチの営巣生態 – とくに性配分、えさ投資と幼虫の生存率の関係. 神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科2010年度卒業研究
- 今崎惟・田口詠子・島津ゆうみ・遠藤知二 (2013) 竹筒トラップに営巣したアルマンアナバチ (*Isodontia harmandi*) の巣にみられる営巣過程とブルードの発育過程. *ヒューマンサイエンス*, 16, 7-17.
- 加納康嗣・河合正人・市川顕彦・富永修・村井貴史 (2016) バッタ目. 町田龍一郎監修・日本直翅類学会編. *日本直翅類標準図鑑* 学研
- Klein, A.-M., Steffan-Dewenter, I. & Tscharrntke, T. (2003) Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology*, 40, 837-845.
- Klein, A. -M., Steffan-Dewenter, I., & Tscharrntke, T. (2006) Rain forest promotes trophic interactions and diversity of trap-nesting Hymenoptera in adjacent agroforestry. *Journal of Animal Ecology*, 75, 315-323.
- Lande, R. (1996) Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, 76, 5-13.
- MacIvor, J. S. (2016) Cavity-nest boxes for solitary bees: a century of design and research. *Apidologie*, 48, 311-327.
- Morato, E., F. & Martins, R. P. (2006) An overview of proximate factors affecting the nesting behavior of solitary wasps and bees (Hymenoptera: Aculeate) in preexisting cavities in wood. *Neotropical Entomology*, 35, 285-298.
- R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing,

Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. (1995) *Biometry*. 3rd ed. W. H. Freeman & Co.
- Steckel, J., Westphal, C., Peters, M. K., Bellach, M., Rothenwoehrer, C., Erasm, S., Scherber, C., Tschardtke, T., & Steffen-Dewenter, I. (2014) Landscape composition and configuration differently affect trap-nesting bees, wasps and their antagonists. *Biological Conservation*, 172, 56-64.
- Steffan-Dewenter, I. (2002) Landscape context affects trap-nesting bees, wasps, and their natural enemies. *Ecological Entomology*, 27, 631-637.
- Tschardtke, T., Gathmann, A., & Steffan-Dewenter, I. (1998) Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. *Journal of Animal Ecology*, 35, 708-719.
- Tylianakis, J. M., Klein, A.-M., Lozada, T., & Tschardtke, T. (2006) Spatial scale of observation affects  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  diversity of cavity-nesting bees and wasps across a tropical land-use gradient. *Journal of Biogeography*, 33, 1295-1304.
- Yamane, Sk. & Murota, T. (2015) A new *Anterhynchium* species from Japan, with a key to the Northeast Asian species of the genus (Hymenoptera, Eumenidae). *Halteres*, 6, 95-103.

