

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660143

研究課題名(和文) 木くずを固めて巣を作るスズメバチに学ぶ天然系構造用接着剤の開発

研究課題名(英文) Development of Bio-adhesives Derived from Hornet Nests

研究代表者

塔村 真一郎 (Tohmura, Shin-ichiro)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・領域長

研究者番号：70353779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：スズメバチは木くずを唾液で固めて巣を作ることから、スズメバチの唾液が木くずの接着剤として機能することに着目し、唾液中に含まれる有効成分を単離・同定することで、天然系の構造用木材接着剤を開発することを目的とする。入手できたキイロスズメバチ等複数種の巣を解体して内部構造を調べたところ、巣は多層構造となっており、各巣盤をつなぐ支柱は長さがどれもほぼ一定であること、また直下の巣盤の面積や重さに応じた支柱の径や本数で構成されていることがわかった。またキイロスズメバチおよびコガタスズメバチの成虫の唾液腺および巣から抽出した成分の単離・同定を試み、それらの接着性能について検討した。

研究成果の概要(英文)：The hornet hardens a small piece of wood with saliva and makes a nest. We paid our attention to saliva of a hornet used for a nest functioning as adhesive of the small piece of wood. In this study, we tried to isolate and identify the effective ingredient included in saliva of the hornet and to develop a new bio-adhesive for wood-based materials. We obtained several nests of some *Vespa* species and investigated the structural properties of pillars in their hornet nests. In addition, we analyzed compounds which we extracted from the salivary gland of "*Vespa simillima*" and "*Vespa analis*" adults and tried to estimate their bonding ability to wood.

研究分野：木質材料

キーワード：接着剤 スズメバチ 巣

## 1. 研究開始当初の背景

スズメバチの巣は支柱によってつながれた階層構造を持つ巣盤とそれを覆う外皮から成り立っており、それらの素材は木くずを唾液で固めただけの極めて単純なものであることから、木質構造や木質材料学的視点から見ると非常に興味深い。すなわち、巣の素材を建築材料として観た場合、唾液成分は接着剤と考えることができ、もしかして唾液成分と木粉だけで高強度で高耐久性を有する木質材料が作れるのではないかとこの着想を抱いた。

唾液成分については近縁種であるアシナガバチの研究でタンパク質構成までわかっているが、(Karlら(1990))スズメバチの唾液成分は明確になっていない。スズメバチの巣はアシナガバチの巣に比べ大きさや重さは数十倍にも及び、しかも内部には支柱がある。スズメバチの支柱は粒径の細かい木粉が唾液で何重にも塗り重ねられ、肉太になっている。この階層構造によって支柱は強靱性を発揮していると考えられている。(Kamedaら(2010))

一方バイオミメティクスな接着剤について最近ではフジツボやアワビなど固着生物の機能を利用した接着システムの研究が盛んになっている。木材用の純粋な天然系接着剤としては、キトサン(Umemuraら(2007))やクエン酸とスクロースによる接着剤(Umemuraら(2010))などの例があるが、いずれも強度性能や耐久性に問題がある。仮にスズメバチの巣を構成する接着物の強度性能や耐久性が高く評価されれば、天然系の構造用接着剤へと展開できる。

## 2. 研究の目的

スズメバチは、木粉を唾液で固めて巣を作る。巣の柱は巨大な巣を支える強度を有し、また外層部は過酷な屋外条件から巣を守る耐久性を有している。本研究ではこの巣に使われる材料を住宅の構造部材や外装材としての観点からその性能を評価し、さらにスズメバチ唾液成分のタンパク質を単離・同定、合成することによって木材用接着剤としての特性評価を行い、天然系の構造用木材接着剤として開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 巣の入手

茨城県内のスズメバチ専門の駆逐業者等から計30個の巣を入手した。スズメバチの種類は、オオスズメバチ、キイロスズメバチ、コガタスズメバチ、モンズメバチの4種類であり、いずれも茨城県内で採取されたものである。図1にキイロスズメバチの巣の全体像を示した。

### (2) 巣の構成材の計測

キイロスズメバチやコガタスズメバチは図



図1 キイロスズメバチの巣の全体像

軒下や樹枝にぶら下がる形で巣作りをする性質がある。そこで本研究では、キイロスズメバチとコガタスズメバチの巣の構成材を対象とした。まず、巣を、外皮、支柱、巣盤、繭、蛹、幼虫のパーツごとに分けた。それから、支柱と巣盤は、重量と長さを計測し、繭と蛹、幼虫は重量を計測した。キイロスズメバチ、コガタスズメバチともに、計測した全部の巣の中からより破損の少なかった巣を10個選抜して、寸法データを解析に供した。

### (3) 支柱の強度性能

支柱部分を切除し、支柱自体の強度性能について、引張り試験により評価した。支柱は、短冊状に裁断して、試料の幅や厚さ、長さを計測したのちに、小型試験機(小型卓上試験機 Ez-Test, 島津製)に取り付けて、引張り試験を行った。材料には、キイロスズメバチとコガタスズメバチの巣から採取した支柱を用いた。対照として、同スズメバチの外皮を、支柱と同様に短冊状に裁断して、引張り試験に供した。

### (4) 支柱組織の染色

支柱を形成する構造物を明らかにするために、薄切試料を作製して、顕微鏡下で観察を行った。材料にはキイロスズメバチ巣の支柱を用いた。組織はブアン液で固定し、エタノールとキシレンで置換した後、パラフィン液を用いて包埋した。作製したパラフィンブロックはマイクロトームを用いて、0.4 $\mu$ m厚で薄切して、切片試料とした。染色液で、木材部分とタンパク部分を染色したのち、支柱の構造を観察した。

### (5) 唾液腺タンパクの解析

スズメバチは、巣の素材と自らが分泌する唾液を混ぜて巣作りをすることから、唾液には、接着性のタンパク質が含まれることが示唆される。しかし、成虫の唾液を回収して解析に供することはかなり困難であるため、成虫の唾液腺に着目して検討した。スズメバチの胸部より唾液腺を剝離して、プロテアーゼ阻害剤を加えた抽出バッファーを用いてタンパクを抽出した。解析に供

すまで、-80 で冷凍保存した。解析には SDS-PAGE (ポリアクリルアミドゲル電気泳動法) を用いた。

#### (6) 台湾の巣の調査

スズメバチの生態学が専門の研究者らの聞き取り調査を行い、国内の巣よりも台湾や東南アジア等の南方の種の巣の方がより大きく、台風などにも耐えられる頑丈な構造であることがわかった。そこで、台湾林業試験場のハチの専門家の協力を得て、台北市近郊に生息するスズメバチの巣の調査を行った。また、専門業者から新鮮な巣材について提供を受け、解析に供した。

### 4. 研究成果

#### (1) 巣の構成材の計測

支柱は、重量を計測し、一つの巣盤を支えている数、長さ、面積を算出した。巣盤は巣房の数を数え、重量を計測、面積を算出した。巣の重量は、巣盤と支柱の重量に繭と蛹、幼虫の重量を加え、巣全体の重量とした。図2に、コガタスズメバチとキイロスズメバチの巣盤あたりの平均支柱数を示した。この結果から、キイロスズメバチのほうが一つの巣盤を支える支柱の数は多いことが分かる。しかし、支柱の数、支柱の総面積、巣盤面積、巣房数、巣の重量をパラメーターとして、相関関係を算出した結果、一つの巣盤を支える支柱の総面積と巣盤面積、あるいは、巣盤の重量と支柱の総面積の間に、高い相関関係があることが確認できた。コガタスズメバチとキイロスズメバチの傾向は同様である。これらのことから、スズメバチの巣の支柱は、数ではなく、面で巣盤の重さを支えていることが示唆された。

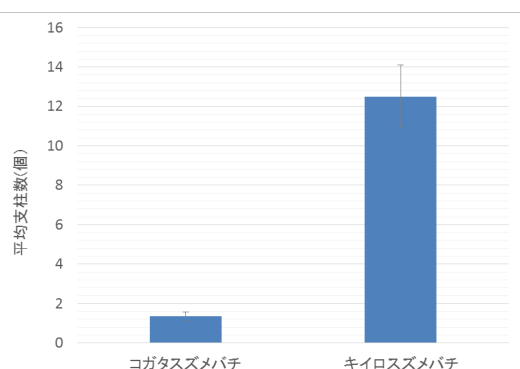


図2 巣盤あたりの平均支柱数

#### (2) 支柱の強度性能

巣盤間の支柱および巣を覆う外皮は自然物であるため、一定の形状にすることが難しいため、試験的に支柱をうまくスライスできたサンプルで、引張り試験を行った。引張り強度として、破断強度(%), 破断伸び(%), ヤング率(MPa)を算出した。しかし、

試料ごとのばらつきが大きく、安定した結果が得られていない。そのため、試料作製を含めて、現在、再解析を進めている。

#### (3) 支柱の組織学的検討

支柱切片を顕微鏡下で観察した結果、木材部分とタンパク部分が混在しており、両部分により支柱が形成されていることが分かった。スズメバチは、蛹から成虫になった後に、巣房に残ったシルクを巣作りに再利用することが知られている。そのため、染色されたタンパク部分は、その多くがシルクであると考えられ、シルクによる支柱の強度性能への影響が示唆された。

#### (4) 唾液腺タンパクの解析

成虫の唾液腺から抽出したタンパクの SDS-PAGE を行った結果、200kDa を超える高分子から 20kDa 以下の低分子タンパクまで、唾液腺には、多くのタンパクが含まれることが分かった。また、幼虫が出す唾液から抽出したタンパクと比較したところ、バンドパターンが全く異なっており、成虫と幼虫では、唾液中に含まれるタンパク組成に違いがあることが示唆された。

今後はこのタンパク成分の接着剤としての性能評価を行う予定である。

#### (5) 台湾種の巣の調査

台湾種のスズメバチはどれも、都市郊外林の高木の高い場所に巣を作り、遠目から肉眼でもはっきり分かるほど大きいもの(全長推定 1m 程度)であった。

採取した5つの巣サンプルのうち最も大きなものは、巣の上半分の半球状のもので、内部に5層の巣盤を持ち直径が50~54cm、高さが30cmあった。多くの巣は上部全体が枝に絡み付くように頑丈に固定されており、外部の支柱は見られなかった(図3)。また、外皮は日本のそれより数倍分厚く、硬かった。台湾種のスズメバチの成虫のサイズはキイロスズメバチよりむしろ小さいくらいであり、巣盤の孔や巣盤間の支柱は概ね日本の種と同等であった。本数や分散状態も前述の結果と似ていると推察された。

巣からの唾液成分の抽出を行い、国内種の巣の成分と比較を行う予定である。



図3 台湾で入手したスズメバチの巣

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塔村 真一郎 (TOHMURA SHIN-ICHIRO)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料

研究領域・領域長

研究者番号：70353779

(2013-2014 年度)

(2) 研究分担者

亀田 恒徳 (KAMEDA TSUNENORI)

独立行政法人農業生物資源研究所・新機

能素材研究開発ユニット・ユニット長

研究者番号：70334042

(2013-2014 年度)

宮本 康太 (MIYAMOTO KOHTA)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料

研究領域・主任研究員

研究者番号：70353878

(2013-2014 年度)

松原 恵理 (MATSUBARA ERI)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料

研究領域・主任研究員

研究者番号：20467898

(2014 年度)