

れるのみである。そのような植生下に 40 種ほどの六脚類やダニ類が見られる他、緩歩動物のクマムシや輪型動物のワムシ等が知られている。六脚類のほとんどはトビムシ類で、南極のトビムシは $-70^{\circ}\text{C}$ でも生き残ることが知られている。昆虫類では、翅を完全に退化させたナンキョクユスリカ一種のみが知られている(図 5.4.2., B)。翅を失ったのは、ブリザードが吹き荒れる厳しい環境下で、生活圏から吹き飛ばされないためのものであろう。体長 2-6 mm で、南極大陸の純粋な陸生動物としては最大である。幼虫は土壤藻類やコケ群落の中で生活し、成虫になるまでに 2 年かかる。体液が凍っても生存できる。羽化後は 10 日ほどで一生を終える。本種はゲノムが 9,900 万塩基対しかなく、昆虫類の中で最も小さいゲノムサイズであることが知られている。

南極の海岸にはペンギンが 8 種、アザラシが 5 種生息しており、これらからは寄生性のシラミ類が得られている。ペンギンから 15 種類のハジラミが得られている。ミナミゾウアザラシの後脚の体表に取りつくカイジュウジラミ科のシラミの一種は、水深 2000 m 近い深海でも死なないことが判明している。ミナミゾウアザラシは、餌を求めて 2 時間近くも海中を泳ぎ、水深 2000 m 近くの深さにまで潜る。南極周辺に生息するフルマカモメのヒナからは、ナンキョクノミ(図 5.4.2., A)が得られている。

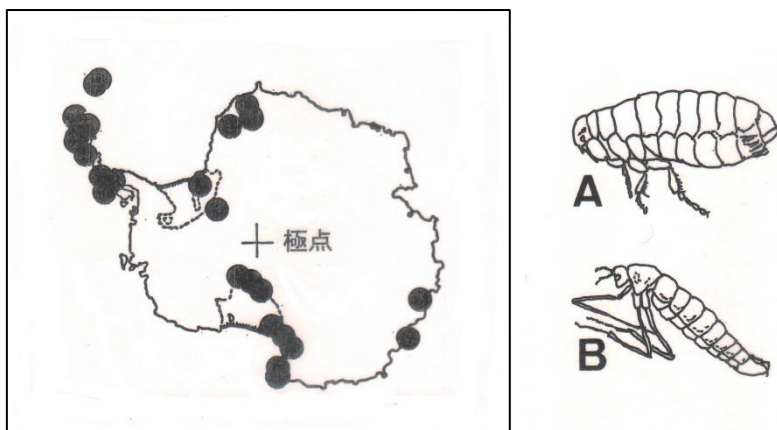


図 5.5.2. 南極で節足動物(寄生性のものを除く)が採集された地点と南極圏に生息する昆虫類。A：南極周辺の生息するフルマカモメのひなから見つかったノミの一種 *Glaciopsyllus antarcticus*; 南極ノミ(Antarctic flea)と呼ばれている; B：寄生性種を除いた南極大陸の昆虫は、本種ナンキョクユスリカ *Belgica antarctica* 一種のみである; 体長 2-6 mm, 翅が完全に退化している。(Gressitt, 1967 より描く)。

南極は、陸上に比べて海中の方がむしろ環境的に安定しており、陸上では $-89^{\circ}\text{C}$ の記録があるが、海中では $-1.9^{\circ}\text{C}$ 以下にはならない。南極圏に適応した魚類は 200 種ほどが数えられ、これらの魚類は $-2^{\circ}\text{C}$ でも凍らない生理機能を備えている。概して成長は遅く、長生きのようである。ほかの動物も代謝が不活発なためか成長が遅く、長生きのようで、20 年も生きるヒトデなどが見られる。また成長は遅いが大型になる種が多い。植物相の貧弱な南極にペンギンやアザラシのような大型動物が生息出来るのは、南極の海中から餌を獲得していることによる。

### 5.5.2 砂漠の生物

年間降水量が少なく(通常年間降雨量 250 mm 以下), 非常に乾燥した環境にある土地を砂漠と言う。また, 日較差が大きく昼間は暑く 50-60°Cになる場合もあるが, 夜は急激に冷え込み, 生物にとって過酷な環境にある。砂漠は大陸内部に発達し, 土壌環境から砂砂漠, 礫の多い礫砂漠, 土地や粘土質で覆われた土砂漠, 土壌がほとんど存在しない岩石砂漠とに区分される。水分量が少ないことから植物が少なく, 場所によっては存在しない。基本的に植物の存在する場所に昆虫類が生息する。動物も植物も乾燥に対する適応様式を持っており, ホ乳類では尿量が少なく, 昆虫類では水分を集める溝を上翅に持つなど効果的に水分を入手する形態を持つものがある。植物では, メキシコ砂漠に多く見られるサボテンのように蒸散を防ぐために葉を退化させ, かつ刺に変化させ, 水分を体内に貯える構造に変わっている。オーストラリアのサンデー砂漠ではサボテンのような多肉植物はほとんど見られないが, 根を地中深く張る深根性の種が多い。

砂漠では CAM 植物と呼ばれる植物が多い。サボテンやベンケイソウの仲間の多くは CAM 植物である。CAM 植物は光合成に C4 回路をそなえ, 光合成効率を高めているいわゆる C4 植物



図 5.5.3. 砂砂漠。砂砂漠から礫砂漠, 土砂漠, 岩石砂漠までが見られるが, 砂漠の 8 割は岩石砂漠である。このような砂砂漠は, 岩石砂漠の周囲に見られる場合が多い。

であるが, 特に昼間は水分の損失を防ぐために気孔を閉じる。ただし昼間に気孔を閉じると二酸化炭素を取り込めないことになり光合成を行うことが出来ない。この矛盾する部分を, CAM 植物は夜に気孔を開き二酸化炭素をリンゴ酸やオキザロ酢酸の形で体内に貯え, 昼間は気孔を閉じるが体内の有機酸からまた二酸化炭素を取り出し, 光合成に使うことで水分の損失と二酸化炭素の取り込みの問題を解決している。砂漠の環境に対する生理的適応様式と言える。

砂漠に棲む動物は, 昼間は砂中や物陰に潜んでいる場合が多い。そして朝, 夕の好適な気温になると活動を始める。夜間に活動を行う種も少なくない。素早く走行するのに適した構造をもち, ジェルボアやサバクカンガルーネズミなどのホ乳類やトカゲなどのハ虫類では脚が長く発達し

ている。サバクギツネでは耳や鼻などの突出部分が発達し、体内に入って来る熱を効果的に体外に放散していると言われている。

昆虫類でも砂漠に見られる種は、脚の長いものが多く、素早く動き回る。アフリカ南西部のナミビア砂漠に見られるゴムシダマシ科のキリアツメ属 *Onymacris* や *Stenocara* 属の種では、砂丘を長い脚を使ってものすごい速さで動き回る。さらに、朝霧が出ると地面の高くなった場所に上り、そこで逆立ち姿勢を取る。すると、霧が体表に付き、体の表面に水滴ができて翅から胸部、頭部に向かって流れ、口元に流れて来た水を飲み込む。種によっては、上翅から前胸、頭部にかけて溝があり、そこを水が流れて行く構造を持つ種もいる。全ての種がこのような行動を取るわけではない。*Stenocara* 属の体表を調べると、小さな隆起が沢山あり、隆起の頂上部は水を引き寄せる親水性で、側方は疎水性となっていることが分かった。これで空気中の水津を取り込み濃縮し、しずくとしていることが判明した。この機構を利用して、大気から水分を取り出し、液化して自動的に水を収集する水筒の開発研究が行われている。

アフリカの半乾燥地帯の水たまりに生息するネムリユスリカでは、水たまりが干上がると体を完全に脱水させて、ミイラのように干乾びる。しかし、水につければ生き返り、動き出す。乾燥状態となった幼虫は 17 年間の休眠の後に元に戻った例がある他、200℃の高温にも、マイナス 270℃の低温にも耐えられるとされる。このレベルの耐性を持つ動物として、クマムシが挙げられる。クマムシは宇宙空間に放り出しても樽型の耐性モードであれば死なずに宇宙空間を漂うことが出来るであろうとさえ言われている。ネムリユスリカの場合、体内のグリコーゲンを使ってトレハロースを大量に合成し、これによって体内にガラス化と呼ばれる安定した固形状体にし、体内のタンパク質や細胞膜等が保護される。水を加えるとトレハロースは急速に分解されてグリコーゲンに戻り、体内が元の状態に戻り、言わば生き返る。



図 5.5.4. アフガニスタンの砂漠地帯(レギスタン砂漠)で得られたサソリ *Buthus eupeus*. 本種は植物がほとんど見られない乾燥地帯に生息し、コオロギ等の小型の昆虫類を捕えて餌としている。

サハラ砂漠に生息する *Cataglyphis* 属のアリは脚が長く、限られた活動時間の中で素早く動き回り、餌を探し巣に持ち帰る。サハラギンアリは昆虫全体でもトップクラスの速さを持つ。1秒間で約 1 m を動き、体長の約 108 倍の距離を移動する。これをヒトに当てはめると、1秒間で 200m 近くを走り、時速 640 km 以上もの速さとなる。サハラサバクアリは、太陽の光の方向と自身の歩数を覚えており、これを頼りに巣から外に出て活動し、確実に巣に戻って来る。通常のアリでは、道しるべフェロモンを使って巣までたどり着くものが多いが、砂漠ではこのような化学物質は使えない。そのため、ミツバチと同様に太陽の光の方向(偏光受容能と呼ぶ)を見極めて巣の方向を読み取る。偏光受容能はヒトにはないもので分かりにくいものであるが、このアリは、線が引かれているように光の進行方向が分かり、それによって巣の方角が分かる。巣までの距離は、巣からの歩数で把握する。巣から 100 歩歩いたのならば、100 歩戻れば巣口があるはずである。驚くべき習性をこのアリは獲得している。また、これらのアリは昆虫の中で最も高温に耐性を持つ種でもあり、外部気温 55°C の状況でも 10 分近く活動することができる。機構はまだ明らかになっていないが、優れた耐熱システムを備えているはずである。

### 5.5.3 洞窟の昆虫

特に石灰岩地帯に見られる鍾乳洞を中心とした洞窟内では、暗黒、多湿で温度変化の少ない環境にある。暗黒環境であることから昼夜の区別はなく、湿度は通常 95-100%、温度は日較差、年較差ともに小さく、年間を通じて 10-14°C で季節性はない。そのために日本では洞窟に入ると夏は涼しく、冬は暖かく感じられる。暗黒の環境にあることから光合成を行う植物は不在であり、よって草食動物も不在である。にもかかわらず、洞窟内には目のないトビムシやゴミムシ、アリヅカムシ、ヤスデなどが生息しており、しばしば洞窟と繋がっている地下水には、目のないゲンゴロウ、ミジンコ、ヨコエビ等が見られる。ゲンゴロウ科のメクラゲンゴロウやコツブゲンゴロウ科のムカシゲンゴロウは、複眼や後翅が退化しており、井戸水の中から稀に採集されていたが、近年井戸の減少によりさらに得られにくくなり、今日ほとんど記録されなくなっている。

洞窟の生態系は単純で、高次消費者の個体数は非常に少なく、大型の動物では体長 30cm のユーゴスラビアのホライモリや、体長 10cm 程の中国の洞窟から得られた目のない魚が最大級のものである。生産者不在のこのような環境で、これらの生物は何を食糧源としているのだろうか。洞窟生物の餌資源を調べてみると、洞窟と外界を行き来するコウモリの糞(グアノと呼ぶ)と、外から地下水を通じて流れ込んで来る有機物が軟泥に含まれ、洞窟の動物はこれらを餌資源として生活している。いずれも外部由来の有機物と言うことになる。よって、それらを餌とする、腐食性、糞食性の動物が多く、さらにそれらを餌としている肉食性のクモやカニムシなどが見られる系となっている。

洞窟動物では眼が退化し、皮膚が薄くなり色彩が淡色化した種が多く、こられは暗黒の環境が作用したものである。その他、触角や脚は長くなり、長い立毛を持つものが多い。洞窟性のカニムシでははさみ(触肢)が非常に長くなる。昆虫では平均産卵数が少なく、幼虫齢期が長く、成虫になるのに数年を要する場合もある。これらは洞窟の栄養源が限られた環境条件に適応した結



図 5.5.5. 洞窟の入り口.



図 5.5.6. 地下水面とさまざまな地形. (佐藤他, 1994).

果であろう。フランスの洞窟性のチビシデムシでは、粘土の中に大きな卵を一つだけ産み、ここから孵化した幼虫は何も食べず、全く動かない。1年近くたって蛹となり、羽化するまで粘土の中から動かない。つまり、幼虫から成虫になるまでの栄養分が全て卵の中に蓄えられているのである。その一方で、捕食性種の中には盛んに動きまわり、得ることが出来る個体は何でも捕えて餌とする種がある。

これらの洞窟性動物の起源は地中を生活の場としている地中性動物で、特に昆虫類ではこれら地中に広く生息している動物の一部の個体が洞窟内に入り込み生息している可能性が高い。

洞窟動物は洞窟への適応度によって次のように区分されている。

#### 真洞窟性動物

一生を洞窟の中で過ごし、形態的、生理的、生態的に高度に洞窟環境に適応しているもの。表皮は薄く、色素がなくなり、眼は退化し、触角や感覚毛が長くなる。物質代謝は緩慢で、そのため寿命も長い。産卵数は少なく、大型の卵を産む。甲虫類では幼虫が脱皮しないものや、摂食せずに蛹となり成虫になるものもある。

#### 好洞窟性動物

洞窟内で得られるが、洞窟外の暗く湿度の高い場所でも正常な生活を行うことの出来るもの。今日、洞窟に生息するものは、土中の深部を生活場所とする種であることが分かって来た。そのため、真洞窟性動物と好洞窟性動物との境界はない。洞窟環境を主体とすれば、これらを合わせて洞窟動物と呼ぶべきであろうし、生息環境から表現すれば、深土中性動物と呼ぶべきであろう。

#### 周期性洞窟動物

カマドウマやホラズミウマ、あるいはコウモリのように、昼間は洞内にいて、夕方や夜間に洞外で活動するものを言う。ただし、洞窟内のコウモリの糞であるグアノは、洞窟動物の栄養源として非常に重要である。

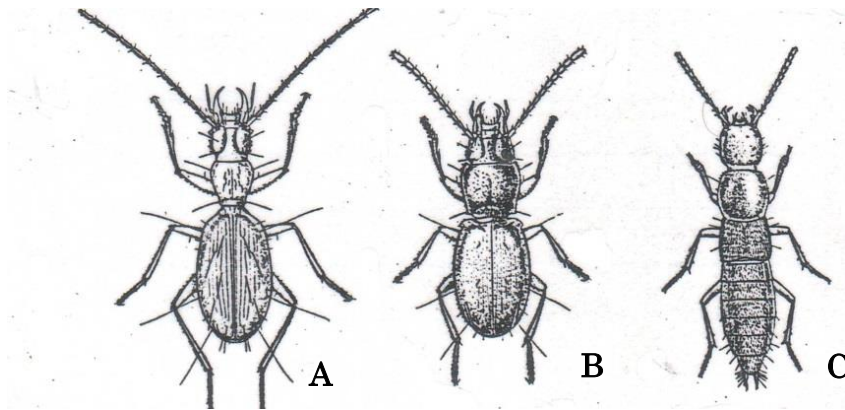


図 5.5.7. 洞窟や地下層に生息する昆虫. A: キバナガメクラチビゴミムシ *Allotrechiana mandibularis*,

B: ミノオメクラチビゴミムシ *Trechiana nagahinis*, C: ウエノツヤムネハネカクシ *Quedius uenoi*.

キバナガメクラチビゴミムシは熊本県の球泉洞で得られたものが記載されたが、採集後約 50 年に渡って追加記録がない。ミノオメクラチビゴミムシは、地下浅層に生息してる種のように、最初は大阪府のマンガン廃坑で得られ、後にダム試掘溝等からも得られている。ウエノツヤムネハネカクシを含むツヤムネハネカクシ属 *Quedius* の種は鍾乳洞から溶岩洞窟、廃坑から多く得られている。(描図は佐藤他, 1994 より略写)。

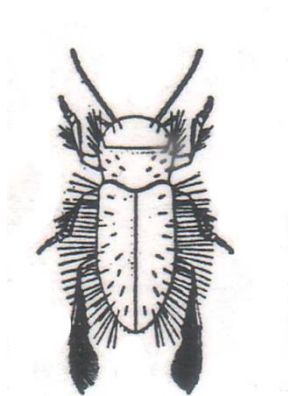


図 5.5.8. 地下水に生息するメクラゲンゴロウ *Morimotoa phreatica*. B, 兵庫県地下水より得られた個体. 体長 3 mm. (描図は佐藤他, 1994 より略写; 原典, Ueno, 1957).

#### 外来性洞窟動物

本来、洞外で生活している動物が、偶然洞窟に迷い込んだもので、洞窟内での生活は出来ない種。薄暗い環境を好む昆虫類は、洞窟の入り口周辺で良く見かける。コケやシダ等の植物も入り口周辺では生育する。

洞窟は一つの島として捉えることが可能である。そのため、動物進化を研究するのに好適である。また、安定した環境に長く生活してきた洞窟生物は、温度要因が大きく変わると、大きな影響を受ける可能性がある。最近の洞窟生物の分子系統解析の結果、気候変動によって多くの洞窟動物が影響を受けたことが推定されている。クモ類の種分化の速度はどのグループでもほぼ一定であることが分かっている。真洞窟性のクモの各グループの系統関係を調べた結果、北方のものほど種分化の時間が新しいものが多いことが判明した。さらにこの現象は、1500-1400 万年前 (mid-miocene) の時間軸に大きなギャップがあり、北方のものではそれよりも前に分化した種が急激に少なくなる。この時期は厳しい氷河期と推定されている。洞窟のような環境でも、気候変動の影響を受け、かつ島である洞窟からは移動の手立てはなく、多くの種が絶滅したものと推定される。

## 5.6 海岸・海の昆虫

昆虫類は陸上のさまざまな環境に進出して繁栄しているが、海に生活するものは非常に少ない。二次的に陸水に進出した種や群は少なくないが、海への進出はわずかである。外洋性の種に至っては水面生活者のウミアメンボ類程度である。昆虫類で完全な海中生活者は存在しない。ただし、ミナミゾウアザラシの後脚の体表に付着し、寄生生活を送るカイジュウジラミ科のシラミの一種は、水深 2000 m 近い深海でも死なずにいることが判明している(5.5.1 高山・極地の昆虫参照)。

海岸は陸地の端であることから、陸と海との影響を受ける。海に近づくほど生息できる昆虫の種類は決まっており、特徴的な海浜昆虫群集が出来上がる。海から若干離れた沿岸帯では比較的多くの昆虫が生息し、イソカネタタキやハマベズ、ハマベハサミムシ等が見られ、ハラナガツチバチも海岸に多い。砂質環境となる海岸を主な生活場所としているものも少なくない。ハマベサビキコリ、スナゴミムシダマシ、イカリモンハンミョウ、ルイスハンミョウやハラビロハンミョウ、オオヒョウタンゴミムシ、オオズウミハネカクシ等が見られる。波打ち際は海藻等が打ち寄せられるが、多くのハマベトビムシに混じってツヤハマベエンマムシ、ハマベゾウムシ、ハマベバエ等が見られる。礫石の多い場所や岩礁にはウミコオロギ(ナギサズ)が見られ、海に近い波しぶきを受ける場所にまで生息する。さらに海との境界に近づく岩礁地帯は汀線となり、干潮と満潮の間に存在する。このような環境にもウミハネカクシやサンゴミズギワカメムシが岩礁の隙間に生息し、キイロウミハネカクシ、ツツイキバナガミズギワゴミムシが汀線の石の下に生息する。これらの種では満潮時には海水面下で過ごすことになる。マングローブ林に巣を造って生活するウミトゲアリや、潮間帯に生息するウミアギトアリも、満潮時に巣は海面下になる。これらのアリは、干潮時に巣口を開き採餌活動を行う。また、海中を泳ぎ巣に戻ることが出来ることされている。

カメムシ目やハエ目では海での生活に適応した種もあり、ウミアメンボ、サンゴアメンボ、オヨギユスリカが知られ、外洋性のウミアメンボ類は陸からはるかに隔たった洋上でも発見されている。オヨギユスリカではメスは有翅であるが、オスの前翅は退化して枝状に短く、海面をアメンボのように滑走して生活する。ハエ目では陸貝や淡水産の貝類を食べるヤチバエ類がおり、フジツボベッコウバエやキタイソアシナガバエの幼虫は潮間帯のフジツボ帯に生息する。フジツボベッコウバエの幼虫はフジツボを食べて成長する。キタイソアシナガバエは、卵を密集するフジツボの間に産み付けられる。孵化した幼虫は、主に同じく岩礁の潮間帯に生息するイソユスリカやウミユスリカを食べて成長する。

脊椎動物の四肢動物類と昆虫類はいずれも陸上で繁栄しているが、一方は二次的に海中にも進出し、さまざまな系統群で海中生活者が出現しているが、昆虫類では海中生活者は皆無である。起源が海中にある脊椎動物と、陸上を起源とする昆虫類との体の基本設計の相違が影響しているのかも知れない。

今日、港湾の整備や護岸堤防の建設により、海浜植物の減少とともに、海岸性昆虫類の減少が



著しく、多くの絶滅危惧種が出ている。イカリモンハンミョウでは分布は九州と本州のなり、かつ本州での分布は能登半島の一カ所のみとなっている。生活を守るための建設は必要であるが、同時に地域環境の保全も視野に入れ、バランスを取れた事業の推進の必要が出ている。

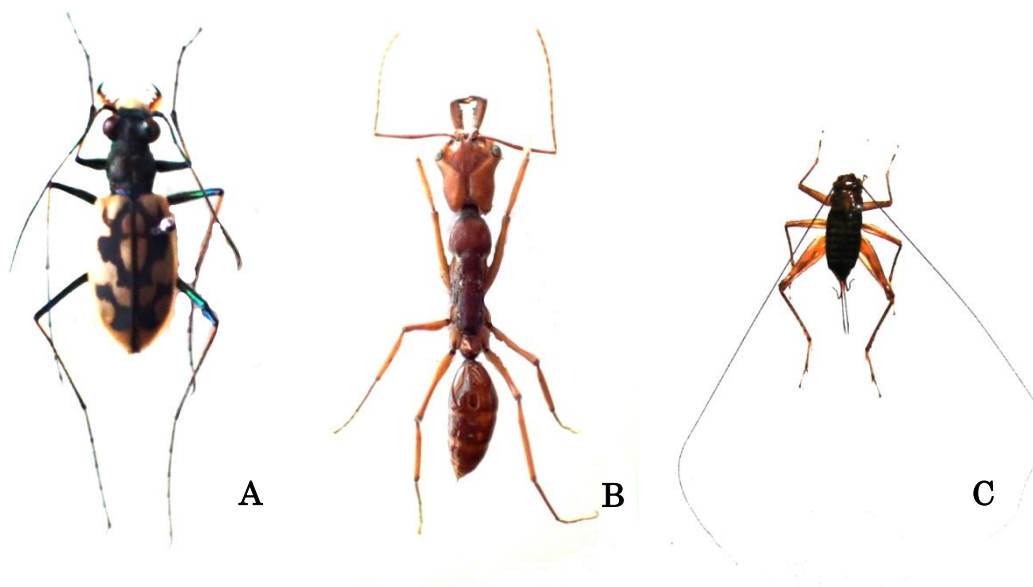


図 5.6.1. 海浜性昆虫類. A, 海岸や河川の砂地に見られるカワラハンミョウ *Chaetodera laetescripta*; B, 潮間帯に生息するウミアギトアリ *Odontomachus malignus*; C, 海岸の石の多い場所や岩場に生息するウミコオロギ(ナギサスズ) *Caconemobius sazanami*.



図 5.6.2. 外洋性昆虫のコガタウミアメンボ *Halobates sericeus*. 沿岸部では見られず、外洋の海面上で生活する。季節風や台風等によって海岸に漂着する場合もある。

## 5.7 島と昆虫

島は周りが海によって隔絶されていることから、独立した生態的単位と見なすことが可能であり、島を単位として生物や生物相を比較することが容易である。また各島での環境条件の違いや生物への自然選択のかかり方の違いに着目して、生物種の生態や生活史がどのような環境要因に影響されて進化して来たのかを探るためにも、好適な研究の場を提供している。島を舞台にさまざまな研究、例えば環境と生物群集、生物の移入、絶滅の問題、生物相の変化や安定性、種分化の問題などの研究が可能であり、島嶼生物地理学として発展して来た。日本は島国であり、南北に細長く、かつ北海道、本州、四国、九州の周辺にも大小さまざまな多くの島があり、大規模なスケールを持つ好適な自然の実験場を提供し、島嶼生物地理学を研究するには好適な環境にある。島の生物の理解は同時に日本の生物の理解へ繋がる。

### 2 タイプの島

島は大陸周辺に存在し、大陸部と連結したことがある大陸島(Land-bridge islands or continental islands)と大陸部と一度もつながった事がなく、洋上に存在する大洋島(海洋島; oceanic islands)に生態学的に区分される。種数・面積関係を求めると、大洋島は面積に比して、所産種数が少ないことが分かる。その一方で、固有種が多いことや、特定の生物群が多く見られると言った特徴も認められる。例えば代表的な大洋島であるハワイ諸島は30程の島々からなるが、それらの多くは第三紀の終わりに生じた火山島である。最も古いカウアイ島でも誕生して600万年しか経っていない。在来のハ虫類は4種のトカゲのみで、ヘビは生息せず、両生類のカエルもない。ホ乳類ではコウモリが1種いるだけである。その一方で、鳥のハワイミツスイの仲間は多く見られ、ショウジョウバエ類ではハワイ特産種が500種以上も存在する。また、船舶等に伴って人為的に移入して来た昆虫類が多く見られる。

### 種数・面積関係

面積の増加に伴い、そこに見られる生物種数が一定の規則性をもって増加する現象を種数・面積関係と呼び、今日では群集生態学における包括的な規則性の一つとなっている。この種数・面積関係をマッカーサーとウィルソン(MacArthur & Wilson, 1967)が島への移入率と絶滅率で説明を試みたことが、島嶼生物地理学の果たした大きい成果の一つとして挙げられる。この移入・絶滅平衡仮説は、移入率が種を供給する大陸部からの距離に関連し、絶滅率は島の大きさに関連すると言う見解に立脚している(種数・面積関係の詳細は「第2章 2.1.4. 種数・面積関係」を参照)。

昆虫類でも、面積が大きい島ほど、小さい島よりも多くの種数が見られ、所産種数と島面積の関係は通常ベキ関数式で表現される(図5.7.1)。移入・絶滅平衡仮説を適用すると、小さい島は種数が少なく、大きい島では種数が少ない事の理由は絶滅確率が小さい島ほど高いことで説

明する。同一面積でも大陸部から近い島ほど種数が多く、遠い島では種数が少ない事を、遠い島ほど島への移入率が低くなることで説明し、島の種数はその移入率と絶滅率の平衡点で示されるとする。

表 5.7.1. 太平洋の大洋島における昆虫類の所産種数. (寺山, 2020).

島嶼名	面積(km <sup>2</sup> )	総種数	アリの種数
小笠原諸島 Ogasawara Isls.	106	1380	49
ハワイ諸島 Hawaii Isls.	16,630	7982	47
ガラパゴス諸島 Galapagos Isls.	7,910	2059	22
サモア島 Samoa is.	2,841	2523	33
グアム島 Guam is.	544	ca.2000	28
コスラエ島 Kosrae is.	109	704	30
パラオ諸島 Palau Isls.	488	1702	62

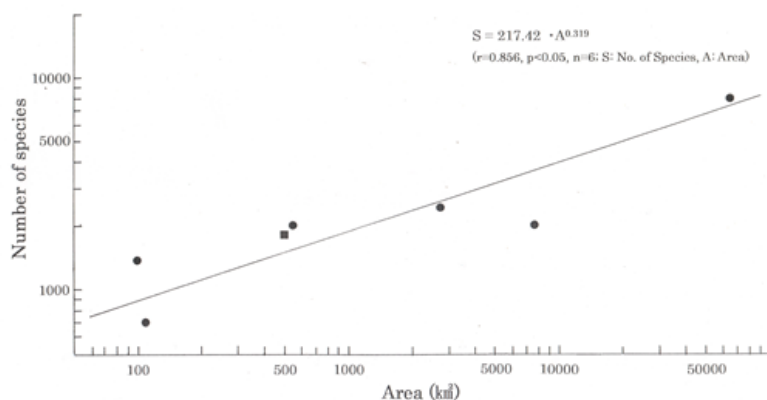


図 5.7.1. 太平洋諸島の大洋島の昆虫類における種数・面積関係.

## 侵入と絶滅

島ではマッカーサーとウィルソンが言うような侵入と絶滅が生じているのであろうか。それを示す好適な研究例がカリフォルニア沖にあるチャネル諸島の鳥相で調べられている (Diamond, 1969)。結果として、1) 50年間で約 1/3 の種は消失した。2) 本土と比較すると島に住む鳥の種数は少なく、いても良さそうな種がないケースが多々ある。3) 島での種数そのものはほぼ一定であった。以上の事から、絶滅した分だけの種が新たに侵入定着しており、絶滅と移入のバランスが取れていることが推定された。実験的に小さな島の動物(主に昆虫)を全て取り除

き、種の侵入を調べたシンバーロフとウィルソン (Simberloff & Wilson, 1969) の実験では、約 5 カ月でもとの生息種数に近付いた。

小型の昆虫類は、多くの個体が風に乗って外洋に飛ばされていることが判明しており、これらの昆虫を空中プランクトンと表現することもある。昆虫類では、脊椎動物と異なり、海峡が地理的障壁にならない場合が多い。そのため、分布を地理的障壁で説明できないケースが少なくない。容易に風に飛ばされて遠方にまでたどり着ける昆虫類の分散能力は高く、そのため生息可能な環境条件にある場所には、一定の確率でたどり着いている可能性がある。

## 島の固有種

島では固有種の割合が高い傾向が見られ、特にこの傾向は大洋島で顕著である。大洋島では所産種数が少ないことから、生態的地位が空きやすい環境にある。逆に一旦このような環境に生物の侵入・定着がなされた場合、そこで適応放散を引き起こし、多くの種に分化し易いであろう。その一方で、これらの島は人為的攪乱を受けやすい脆弱な環境でもある。ハワイ諸島の昆虫で在来種の 91% は固有種である。同時に他地域からの侵入種も多い。ハワイでは、有史以前にアリ類は全く存在しなかったと考えられている。よって、現在ハワイで見られるアリ 40 種は全て人為的移入種である。日本の大洋島である小笠原諸島での固有率も高く、同時に外来種の侵入種も多い。

適応放散の例として、ハワイのショウジョウバエ類の例が有名である。2000 種以上が知られるショウジョウバエ類の約 25%、500 種がハワイ特産種で、ハワイに侵入した祖先種が、ハワイで爆発的にかつ短期間の内に種分化を引き起こした結果と考えられている。他にマドリガタバチ属 (*Sierola*) の種は世界に約 130 種が知られるが、その内の 100 種がハワイに集中して見られる。ハチ目では他に、ナガコバチ科やドロバチ亜科、ギングチバチやハナバチ類の一群にこのような適応放散が見られる。昆虫ではないが、ハワイで谷ごとに種分化した陸産貝類のオアフマイマイ類も有名である。ポリネシアのパラオ諸島では、朽木性の昆虫が多く見られ、コウチュウ類ではゴミムシダマシ科、キクイムシ類等の種数が多く、ゾウムシ類でも朽木性の種が主体である。半翅目では朽木に生息するヒラタカメムシ類が非常に多い。これらの祖先種は、海流によって流木とともにパラオに到着し、さらに種分化を促進させたものと推定される。

一方、大陸島は大洋島に比べると一般的に低い固有率を示すが、それでも大陸部に比べれば高い固有率と言える。南西諸島は大陸島であっても固有率は低くない。それでも、ハ虫類の 50%、ホ乳類、両生類の 40% は固有種・亜種である。昆虫類でも 25% は固有種である。固有種は、島で種形成がなされたばかりの新固有と、古いタイプの種が島で生き残った結果固有種となっている古固有に分けることができる (第 3 章 3.2.4. 種分化参照)。脊椎動物では大きな島ほど固有種率が高い。小さな島は絶滅率が高いことによる。

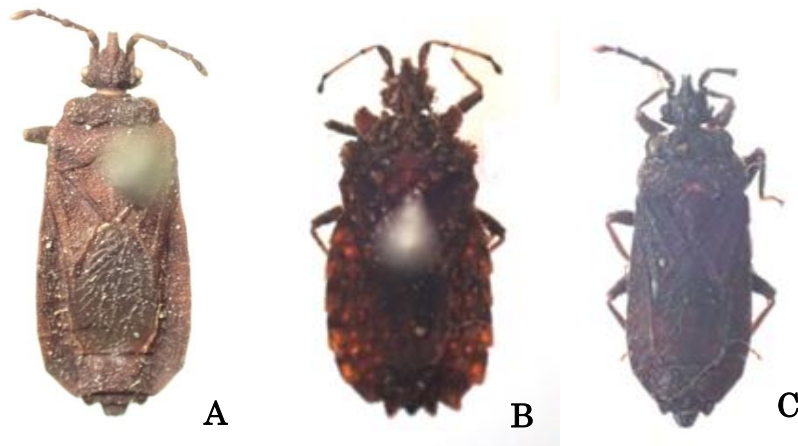


図 5.7.2. ヒラタカメムシ科 Aradidae. A: *Mezira membranacea*; B, *Mezira angularis*; C, *Mezira mumbanacea*. 朽木に生息する。パラオ諸島ではヒラタカメムシ科で 11 属 33 種が記録されており、翅が退化している種も見られる。

#### 非調和なファウナ

昆虫の目レベルで見た場合、太平洋諸島では、幼虫が水生であるカゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目、並びに水生甲虫類が欠落、あるいは非常に少ない点が特徴的である。取り分け、目レベルでのカゲロウ目(Ephemeroptera)、カワゲラ目(Plecoptera)、トビケラ目(Trichoptera)の欠落はファウナの構成要素を考える上で大きな特徴となる(EPT 問題)。大きな島では河川が存在しトンボ目やガガンボ科、ユスリカ科、ヌカカ科等の水生双翅類は、地域によってはむしろ高い種多様性を示すほどである。そのため、水生昆虫類全体が少ないあるいは生息しない訳ではないことに注意したい。なぜ、このような共通の生態を持つ 3 目の昆虫が完全に欠落、あるいはほぼ欠落しているのか、興味深い生態学的課題である。ハワイ諸島でも、外来種を除きこららの 3 目が欠如している。日本の大洋島の小笠原諸島は、約 1400 種の昆虫が記録されているが(固有種率は 28%)、カゲロウ目、カワゲラ目は存在せず、トビケラ目では 2 種のみが記録されているのにすぎない。可能性として、これらの目の分散能力の低さ、水域が関係した新しい環境への適応性の低さ、あるいは攪乱環境への適応性の低さ等が今のところ考えられる。

ミクロネシアに着目した場合、僅かながら記録のあるトビケラ目は、パラオからの記録された *Triaenodes esakii*(コロール島とバベルダオブ島から記録)と、カロリン諸島のポンペイ島(旧ポナペ島)から近年記載された *Oecetis mackenziei* と *O. squamifera* の 2 属 3 種のみである(Oliver, 2012; Tsuda, 1941)。同じカロリン諸島でも、コスラエ島では詳細な水生昆虫相の調査が行われたが、カゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目は完全に欠落していることが判明している(Benstead et al., 2009)。ミクロネシアで最大の島面積を持つグアム島でもトビケラ目の記録はない。ミクロネシア周辺の大洋島では、前述の小笠原諸島でオガサワラニンギョウトビケラ *Goera ogasawarensis* とオガサワラヒメトビケラ *Hydroptila ogasawarensis* の 2 種の固有種が生息している。ハワイ諸島からは 4 種のトビケラ類が知られているが、全て 1965 年以降に発見

された外来種で、以前はトビケラ目は存在しなかったと考えられている。



図 5.7.3. パラオ諸島に生息するトビケラ目. パラオの固有種となる *Triaenodes esakii*.

#### 島と動物の色彩, 形態, 体サイズ

島単位で擬態の見られる例が知られている. 琉球列島におけるキアシナガバチ, ヤマトアシナガバチ, オオフトオビドロバチ, フカイドロバチは南琉球, 中琉球, 北琉球のそれぞれの地域の個体群どうしで互いに類似した色彩となっている. 南琉球に生息する個体群では, それらの種全てで体色の黄色味が強く, 中琉球では赤色味が強い. そして北琉球では, 黄色と黒色の混ざった色彩パターンとなり, それぞれの地域でミュラー型擬態を構成しているものと思われる.

大洋島や山岳地帯の高地, 砂漠等では, 翅を退化させた昆虫類の割合が多いと古くから言われて来た(Bruce, 1903). ハワイでは, ハワイハネナシクワガタやホワイトバズキリギリスのように, 翅を退化させた特徴的な昆虫類が見られる. 近年, 南硫黄島の固有種のアリで, オスが

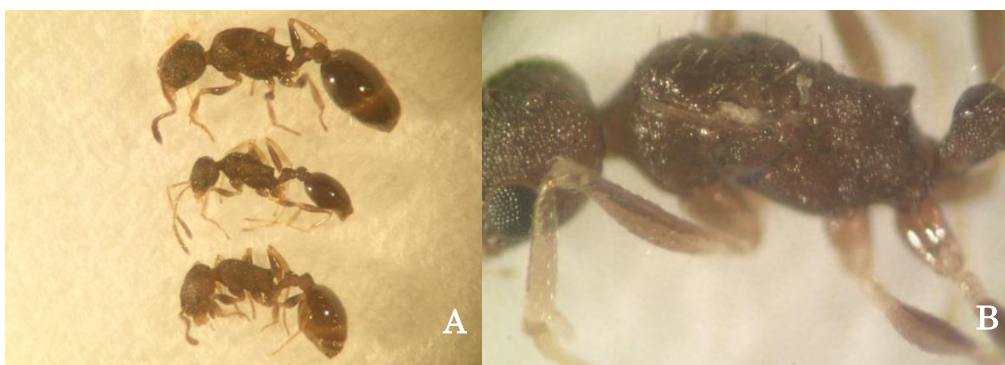


図 5.7.4. 南硫黄島特産種のミナミイオウムネボソアリ *Temnothorax mekira*. オス個体は翅を退化させ, 痕跡的に小さな突起物として残っている. A, 上から, 脱翅女王, オス, 働きアリ; B, オスの胸部, 背側面.

翅を欠くことが判明した(図 5.7.4)。隔絶された孤島では、翅を持ち飛び回することで、風で吹き飛ばされる危険性の方が大きい可能性がある。ただし、統計的な解析では、大洋島で翅を退化させた昆虫が有意に多いとは言えないという結果もある(Roff, 1990)。どのような環境条件に生息するか、あるいは生活様式を獲得すると飛行能力を捨て去るような進化傾向が見られるのか、島嶼を実験場として研究を進めることが出来るであろう。

大型の脊椎動物では、島嶼において体サイズ異なってくる例が多く知られている。一方、もともとサイズの小さい昆虫類では、体サイズの問題はほとんど注目されなかった。一般に島の昆虫類は小型化する印象が持たれている。ただし、研究例はほとんどなく(特に詳細な研究例)、今後の研究課題となる。一方、脊椎動物では注目され、多く論じられて来た研究テーマである。

大きな哺乳類は島では小型化し、小さな哺乳類は大型化すると言われていた。島の哺乳類の体サイズは大きいか小さいか、単純そうな問題であるが厳密には未解決である。幾つかのグループで、大陸のものと島のものとを比較した結果、食肉目は小型化し、グッ菌目は大型化すると言った結果が得られた。大陸に比べて、小さな島だと大型獣は食物量の限定がかかり小型化し、小型獣では捕食者や競争者を欠きやすいので、大型化するという説明が考えられている(島の規則あるいはフォスターの規則と呼ばれている)。また、密度、体重、基礎代謝量との関係からの説明も試みられている。

ハ虫類の研究例を2例挙げておく。カリブ海の小アンチル諸島でトカゲの棲む15の島を調べた結果、トカゲが1種いる島と2種がいる島とに分けられた。3種以上生息するためには島のサイズがより大きくなる必要があった。そして、島に2種以上のトカゲが生息する場合、種間でサイズに規則的な相違が見られた。サイズを変えることによって島の中で共存を可能にしている可能性がある。

日本の伊豆諸島のシマヘビは、島ごとにサイズに違いが見られる。伊豆大島ではオカダトカゲが主な餌となっており、シマヘビの体のサイズは諸島内で最小である。神津島ではアオダイショウと共存しており、オカダトカゲ、ネズミ類、鳥の卵、ヒナ、アオダイショウの幼体を餌としており、サイズはアオダイショウと同程度である。この神津島の東にある祇苗島(きなえじま)は通称ヘビ島と呼ばれ、シマヘビのみが生息する。ここでは、大形で2m以上の大きなシマヘビの集団となっている。餌は本島に多い海鳥の卵やヒナで、競争者不在でかつ、豊富な餌資源により長命となっていることが推定される。

### 島嶼生物学と保全生物学

島嶼生物地理学の理論は陸地の環境においても適用可能である。例えば、高山や公園も孤立した島とみなすことが出来る。特に緑地は都市化が進んだ地域ほど分断化が進んでいる。そして、島の生物地理学の理論や研究成果は、現在の生活環境や自然環境の保全や保護に有効であり、応用生物地理学、あるいは保全生物学と言う形でさらに発展して来た。例えば島の生物地理学が明らかにした種数・面積関係は、自然保護区設定の問題などの重要な礎石となっている。

残された自然環境や野生動物、あるいは緑地を保護するための保護区を設定する際に、まず大

きな問題となるのは、保護区の面積や形状、配置の問題であろう（図 5.7.5）。これらの保護区の最適な形態を明らかにする目的での研究は、種数・面積理論を応用する形で活発になされて来た。

### (1) 保護区の形態の問題

種数・面積関係から、面積が大きいほど所産種数は多くなる事により、生物多様性の最大化を計るとなれば面積を最大にした方が好適と思われる。しかし、複数のサイズの小さい面積に分割した方が伝染病などの蔓延から逃れる可能性が高くなるし、山火事からも一部が逃れられる可能性も考えられる。もし、保護区として複数面積に分割した方が好適であれば、道路を沢山つくる口実にもなり得る。保護区の形状は正円に近いほど好適とされている。細長い形状ほど半島効果 (Peninsula effect) が表れてくる可能性があるし、保護区の周辺は波状に入り組んだ形態ほど境界効果 (Edge effect) が表れる可能性がある。ただし、半島効果、境界効果ともに種数に影響を与えろと言う結果と与えないと言う結果が混在し、結論に至る段階には達していない。孤立性の問題も存在する。回廊 (corridor) の効果や生息地間の連結性についても、環境設計の上での重要な観点である。

この種数・面積関係を利用する事によって、与えられた地域に生息する総種数 (種多様性) を推定することも可能である。そこに実在するであろう総種数のどのくらいをカバーしているであろうかと言う種数の解明率を推定する方法として、代表的な生物群の標準化された種数・面積関

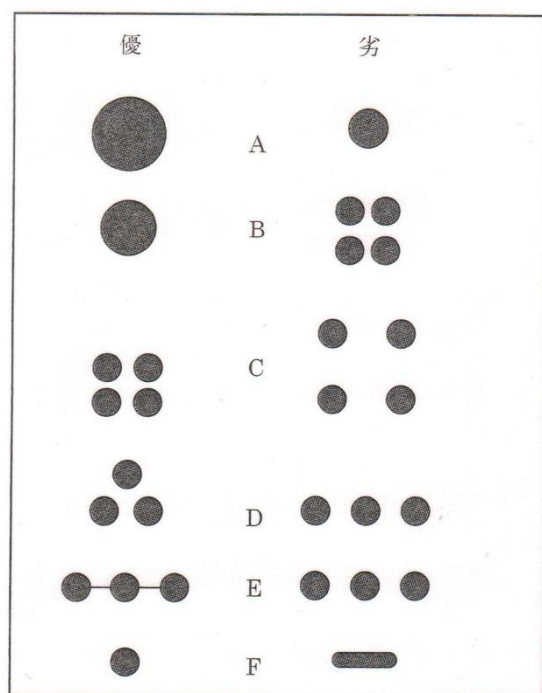


図 5.7.5. 保護区のサイズや形状の関係。島嶼生物地理学の研究成果を保護区設定に応用すると、保護区  
の大きさや位置の関係に多くの示唆が得られる



係（生物群によってパラメーターの値  $C$ ,  $Z$  が少しずつ異なる）の関係式が出来ていれば、それを使って解明率、あるいは報告書などの信頼度を評価することも可能である。調査の結果、得られた値がそのスタンダード化された回帰直線を有意に下回っていた場合、回帰直線からプロットされた値の差が調査の不十分さの程度を表わしているか、あるいは本当にその地域の種の豊富さが低いかのいずれかであろう。

## (2) SLOSS 問題

残された自然環境や野生動物、あるいは緑地を保護するための保護区を設定する際の保護区の最適な形態を明らかにする事を目的とする研究は、種数・面積理論を応用すると言うような島嶼生物地理学的視点から先ずは理論面で活発になされて来た。その中で特に重要な課題の一つに SLOSS 問題があげられる。SLOSS とは「Single Large or Several Small Reserves ?」を意味する。つまり、保護区を設定する際に種の保存の上で、総面積がなどしいならば単一の大保護区が好適か、複数の小保護区に分割した方が好適かと言う問題である。理論的な論議や研究が先行する中で、これらについての実証的な研究はまだ少ない。

シンバーロフとアベレ (Simberloff & Abele, 1976) は面積が同じ場合に単一の大保護区が好適か、複数の小保護区が好適か、という最適保護区の問題に数理的なアプローチをかけた。

単一大面積( $x_1$ )に見られる種数を  $S_1$  と置き、その半分の面積  $x_2 (= x_1/2)$  に出現する種数を  $S_2$  とする。移住源  $T$  からの移住率を  $S_2/T$  と置くと  $1 - S_2/T$  の割合に相当する部分は他方の島に出現した  $S_2$  種と組成が異なる。小面積の 2 つの島の合計種数は

$$ST = S_2 + S_2 (1 - S_2/T) = 2 S_2 - S_2^2/T \dots\dots (1)$$

種数・面積関係をべき関数で表現すれば

$$S_1 = k x_1^z \quad (k, z \text{ は定数}) \dots\dots (2)$$

$$S_2 = k x_2^z \dots\dots (3)$$

(2), (3)式から

$$S_1 = k (2 x_2)^z = 2^z \cdot S_2 \dots\dots (4)$$

プレストン (Preston) の 4 乗根則 (fourth power law) が主張する  $z = 0.262$  を (4) に代入すると

$$S_1 = 1.2 S_2 \dots\dots (5)$$

[プレストンは種数と個体数の関係が対数正規則に従うことを仮定して、 $S = c A^{0.262}$  を導きだした。0.262 はほぼ 1/4 なので、 $S \propto c 4\sqrt{z}$  と近似される.]

(5) を (1) に代入すると

$$\begin{aligned} ST &= 2(S_1 / 1.2) - (S_1 / 1.2)^2 T \\ &= S_1 [(2 / 1.2) - (1 / 1.44) (S_1 / T)] \dots\dots (6) \end{aligned}$$

(6)から  $S_1 < ST$  となる条件を求めると、 $S_1 / T < 0.960$  の場合のみである。

$S_1 / T = 1$  は移住源の種全てが移住する場合であり、 $S_1 / T \geq 0.960$  で  $S_1 > ST$  であり、 $S_1$

$S1/T < 0.960$  の条件下で  $S1 < ST$  となる。 $S1/T < 0.960$  と言った値は実質あり得ないであろう。よって総面積が等しいなら、単一の大きな島よりも複数の小さな島の方が出現種数は多くなるという結論が導き出される。これに対して、小面積にも出現する種は保護を必要としない普通種ばかりであり、保護を必要としている栄養段階の上の動物は大面積を必要としていると言う反論も上がっている。

伊豆諸島式根島の自然植生であるマサキトベラ群集（クロマツ林）でのアリ類の調査では、大面積で残されている林を単一大保護区に、人間活動により分断された小面積の林 10ヶ所を複数小保護区に見立てて実験が行われた（図 5.7.6）。林の面積が減少すると、林床性種が急激に減少するとともに、林の周辺部に生息する草地や裸地性の種の侵入を受ける事が示された。サイズの小さい林ほど環境部分の劣化がおこり、これによって通常ならば林内に生息しない草地や裸地性の種が侵入するようである。

保護すべき生物や地域を考慮すると、裸地に生息するものよりも、残された自然林やそこに生息する種が圧倒的に多い。式根島での実験結果は、面積の減少が林床性種を減少させることから、地域の分割は可能な限り行わない方策を支持している。また、面積の減少は周辺域の種の侵入を容易にしており、これによって林内の生態系が影響を受ける可能性も示唆され、保護区周辺の環境にも十分な配慮が必要であることを警告している。ただし、都市の環境が生物の生存にとって厳しいものである現在、都市域における緑地の存在は、生物、環境保全の拠点として重要なものである。しかし、都市域に広い面積の緑地を確保することは容易ではない。したがって、面積的には狭くとも多様な生物の生存に好適な緑地の確保が都市域では重要であろう。

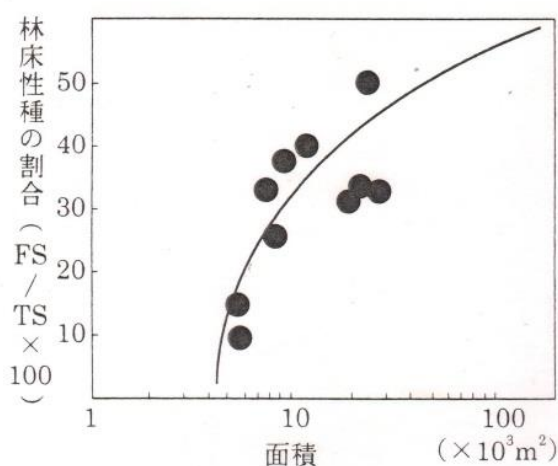


図 5.7.6 伊豆諸島式根島の調査林（クロマツ林）を用いた種数と面積の関係。調査林の面積と調査林の総種数(TS)に対する林床性種(FS)の割合(FS / TS x 100)を示す。林床性種は樹林面積が小さくなると急激に減少する。一方、樹林面積が小さくなると、草地や裸地生息性の種が多く侵入してくる。

### (3) 最少生存可能個体数(MVP)

個体群を維持するのに必要な臨界個体数で, 1000 年間 99%の確率で生存が可能な個体数を最少生存可能個体数(MVP: minimum viable population)と言う。脊椎動物では MVP は 500–1,000 頭と言われており, 一般則として MVP は 5000 個体と言う数字が挙げられて来た。実際は分類群や環境条件, メタ個体群の状態等によって異なって来るであろう(Flather et al., 2011)。哺乳類や鳥類, 爬虫類, 両生類等の脊椎動物では多くの研究例があるが, 昆虫類ではまだ数例の研究例しかないようで, 昆虫類の MVP は 2000 個体程度とされている(Traill et al., 2007)。

最少生存可能個体数を支えることのできる面積を最少必要面積(MDA: minimum dynamic area)と呼ぶ。小型哺乳類で 1 万-10 万 ha が必要とされている。それ故, 例えばハイイログマ 50 頭の個体群が維持されるためには 4 万 9,000km<sup>2</sup>の面積が必要とされ, 1,000 頭の個体群が維持されるためには 242 万 km<sup>2</sup>が必要とされる事になる。最少生存可能個体数や最少必要面積を明らかにすることは生物種の保護のための環境設計を行う際の重要な資料となってくる。

## 5.8 水生昆虫類

幼虫が全て水生生活を送る完全水生昆虫は、カゲロウ目、トンボ目、カワゲラ目、トビケラ目、ヘビトンボ目の5目が挙げられる。また、コウチュウ目、カメムシ目の一部でも水中生活に適応し、成虫でも水中で生活を送るものが見られる。その他、チョウ目やハエ目、ハチ目にも水生生活を送るものが存在する。水中は地上よりも温度変化が小さく、昆虫寄生性の天敵も少ない。陸水においても、雪解け水から、溪流、流れの緩やかな河川、水たまりのような止水や湖沼まで、それぞれの種が環境に応じて生息する。

カメムシ目では、コオイムシ科に含まれるタイコウチやタガメ等が水中生活を送る。タガメやタイコウチ、ミズカマキリ、マツモムシは岸辺に多く見られる。水面のすぐ下を泳ぎながら生活するマツモムシでは、水面に落ちてきた昆虫を食べ、タガメやタイコウチでは、水中の小魚、オタマジャクシ、時にはカエルまでを捕えて体液を吸う。特にタガメ、タイコウチ、ミズカマキリは食べ物をしっかりと捕えて放さないよう、カマ型の前脚を持っている。また、腹部先端に呼吸管というシュノーケルのような器官を持っており、これを水面上に出して呼吸を行なう。アメンボ類は水面で生活し、すばやく水面を滑走しながら生活する。コオイムシやコバンムシは陸から少し離れたところに生息し、水中の小動物をとらえて食べる。コバンムシは特殊な呼吸方法で水中の溶存酸素を取り込むことができ、ほとんど水面で空気を補充することなく水中に潜ることができる。

コウチュウ目では、水生のものがゲンゴロウ科、ミズスマシ科、ガムシ科、ヒラタドロムシ科等約8科に見られる。前3者は一生水中生活を行ない、ゲンゴロウではオール状の後脚を持ち、上翅の下に空気を蓄える。概してガムシよりも水中生活により適応的な形態を持っている。ヒラタドロムシでは幼虫のみが水生で、岩に付着している藻類を食べて成長する。系統的にこれらの科は単系統の可能性があり、水中生活の中で分化して行った可能性がある。一方、日本ではヘイケボタル、ゲンジボタルの幼虫が水生で、かつ淡水産の巻き貝を餌とする肉食性であることが良く知られているが、ホタル科の種は陸上生活者が圧倒的に多い。ヘイケボタルやゲンジボタルは、ゲンゴロウ類とは祖先を異にしており、ゲンゴロウ類とは別に二次的に水生生活を行なうようになったものである。

チョウ目ではツトガ科(以前のメイガ科)のミズメイガ亜科の一群は、スイレンやコウホネ、ジューンサイ等の水生植物を食草とする。幼虫は筒巢を作りその中で生活する。

水生昆虫への寄生者として、ニンギョウトビケラの前蛹や蛹に寄生するヒメバチ科のミズバチが知られている。本種は、寄主にたどり着くために水中に潜る。また、アメンボの卵に寄生するタマゴクロバチ科のアメンボヤドリバチも水中を泳ぐことが観察されている。

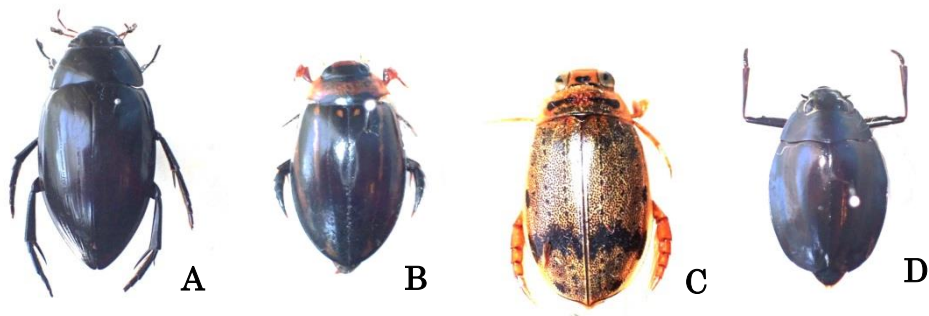


図 5.8.1. 水生甲虫類. A, ガムシ *Hydrophilus acuminatus*; B, シマゲンゴロウ *Hydaticus bowringii*; C, ハイイロゲンゴロウ *Eretes sticticus*; D, タイワンオオミズスマシ *Dineutus mellyi*.

水生昆虫類は全て二次的な生活様式の獲得と考えられている。目レベルでの系統と関連させると、有翅昆虫類で最も起源の古い、カゲロウ目とトンボ目の幼虫が全て水生である点は興味深い。さらに挙げるのならばそれに次ぐ起源の古さをもつ可能性のあるカワゲラ目も同様である。これらの目で、幼虫が水生生活を送るようになった生活様式の獲得は、ペルム紀末期の大量絶滅に関連するかも知れない。これらの幼虫の生活様式に進化については2つの仮説が提出されており、幼虫は陸棲で二次的に水中に戻った可能性と、水生の生物から昆虫あるいは六脚虫類が進化した、幼虫は水から大きく離れられないでいる、との仮説である。ペルム紀末期の天変地異の際に、移動能力に乏しい幼虫は、より安全な水中生活に戻り厳しい時代を乗り越えたのかも知れない。

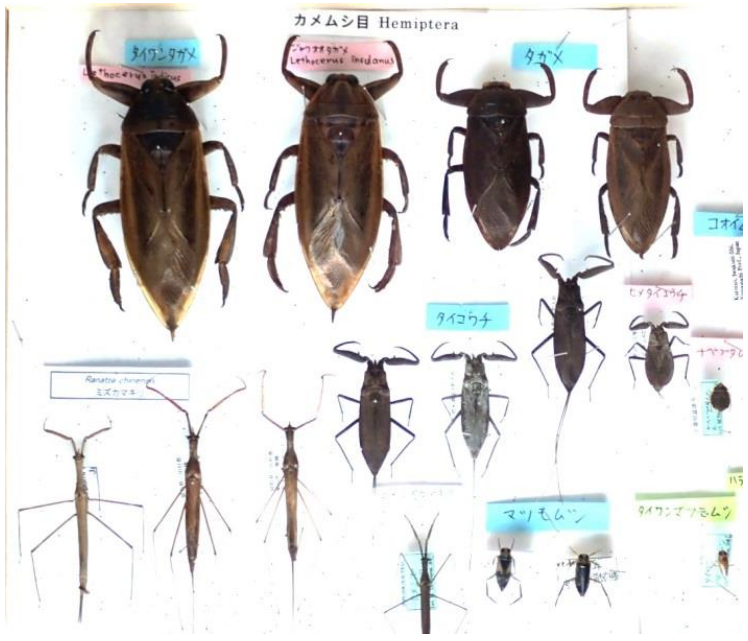


図 5.8.2. 水生半翅類の標本. タガメ, タイコウチ, ミズカマキリ, マツモムシ等.

## 5.9 土壌性六脚類

土壌の中に生息する六脚類は非常に多い。取り分け森林内の落葉土層には多くの種と個体数が生息する。このような森林内で、毎年地上に落下する枝や葉、あるいは動物の死骸や排泄物は大変な量になる。これらを分解する重要な役割を持つものが菌類や細菌類と並んで土壌動物になる。土壌動物の定義は、土壌環境に永続的にあるいは一時的に生息し、そこで何らかの活動を行っている動物群を指す(青木, 1973)。そのため、腐食者でなくとも土壌動物に含まれ、むしろ土壌を中心とした動物群集を構成するものとした方が分かりやすいだろう。

土壌中の滞在期間と活動タイプにより、土壌動物は大きく真正土壌動物と土壌から得られるが、土壌生態系の中での役割を持たず、土壌動物とは見なされない仮土壌動物の2タイプに区分することができる。

**真正土壌動物**：土壌環境への滞在期間により永住土壌動物と幼期土壌動物に大別される。

### 永住土壌動物

生活史の全てを土壌中で過ごすもの。トビムシ、カマアシムシ、アリ、シロアリ等。

### 幼期土壌動物

生活史の一時期を土壌中で過ごすもの。セミ、ウスバカゲロウ、コガネムシ、ハンミョウ等。

**仮土壌動物**：蛹等の休止期を土壌中で過ごすものや、寒期、暑期、乾期等に土壌中に避難して来るものが含まれる。

その他、偶発的に土壌に迷入する種が存在するであろう。また、土壌外に生息しつつ土壌に影響を与える種、例えばマツカレハの幼虫集団が樹上から大量に糞を落とす等の事例もあろう。

個体数から見ると、森林内の落葉土層に、通常トビムシ目で1 m<sup>2</sup>当たり数万から十数万個体が生息し、カマアシムシ目で1000個体から数千個体程度は生息する(図 5.9.1)。これらは、土壌性ダニ類と並んで体長0.2-2 mm程度で中型土壌動物に分類される。多くの昆虫類は体長2-20 mmの大型土壌動物に位置付けられる。巣を造って集団で生活するアリ類は現存量の大きなグループで、個体数は暖帯や亜熱帯林で1 m<sup>2</sup>当たり数百個体から数千個体で、多い場合1万個体近くが得られる場合もある。

土壌中に出現する昆虫類は極めて多岐に渡り、少なくとも15目で土壌生活者が見られる。表 5.9.1は熱帯多雨林(シンガポール)の1 m<sup>2</sup>当たりの土壌六脚類を調べた結果を一例として示した。ここでは、わずか1 m<sup>2</sup>の落葉土層で13目の六脚類が得られ、昆虫類でも10目が得られている。

表 5.9.1. シンガポールの熱帯多雨林土壌(地表下 10cm まで)の土壌六脚類の個体数. (青木(1973)を改変).

分類群	個体数	分類群	個体数
<b>側昆虫綱</b>			
トビムシ目	12,073	アザミウマ目	94
カマアシムシ目	770	バッタ目	13
<b>コムシ綱</b>			
コムシ目	201	ハサミムシ目	5
<b>昆虫綱</b>			
		ハチ目 (アリ科)	2,030
		(その他)	18
		甲虫目	460
シミ目	3	チョウ目	2
シロアリ目	585	昆虫幼虫	309
カメムシ目	172	昆虫蛹	5
チャタテムシ目	108		

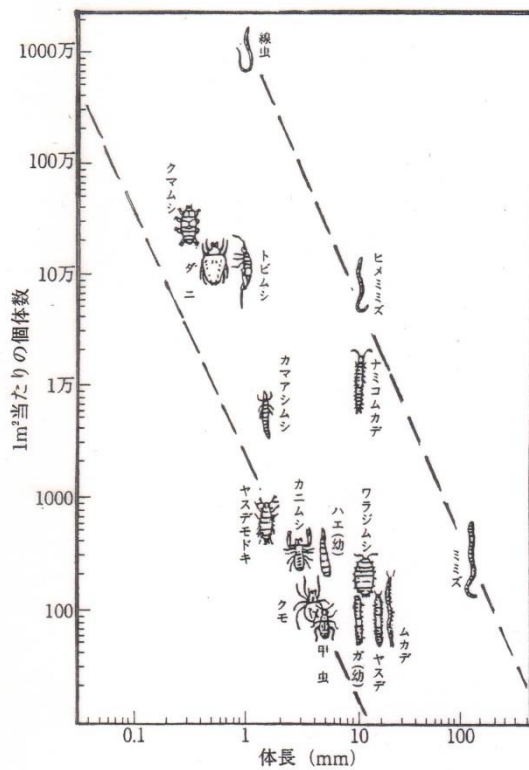


図 5.9.1. 節足動物を中心とした土壌動物の 1 m<sup>2</sup>あたりの個体数. (和田(2006)を改変).

熱帯圏では、シロアリ類の種数と現存量が大きい。その一方で、温帯域ではミミズ類が多い事が19世紀より知られており、気候区分によって土壤生成作用に大きな影響を与える動物群が異なることが指摘されている。熱帯多雨林では物質生産が盛んであるが、分解も盛んなため、地表に落ちた枝や葉はすぐ分解されてしまう。その結果、土壤中に含まれる有機物の割合は少なくなる。針葉樹林では土壤に葉や枝を中心とした有機物が地表表面を被うが、熱帯多雨林では落葉土層は以外と薄い。実験的に落葉を置いておくと1週間で約2%が土壤動物に食べられてしまう。特にシロアリの影響が大きく、全体の99%はシロアリによる摂食であった例が報じられている。

昆虫類の中でも種数の多い甲虫類は、土壤動物としても多くの種が見られる。ハネカクシやアリヅカムシのように、生涯を通じて土壤中に生息するものから、コガネムシやコメツキムシのように幼虫が土壤中で植物の根食者となるもの、シデムシ類のような動物の死体に集まる屍食者、食糞性コガネムシ類のような排泄物に集まる糞食者等さまざまなものが見られる。ハエ目では、幼虫が落葉や落枝等を食べる枯食者が多く見られ、屍食者や糞食者も多い。キノコバエ類の幼虫は菌食者でキノコを摂食する。チョウ目では、ヨトウガ類の幼虫等が土壤中を生活場所としている。



## 5.10 都市の昆虫

都市はあくまでも人間中心に作り上げた人工環境あるが、その中には緑地も造る。19世紀に出現した大型都市は、巨大化するほど多くの動植物を排除して行ったが、一部の生物は生息可能であり、さらに一部の生物はより積極的に個体数を増している。これによって、都市における独自の生態系が出来ている。ただし、都市は一般自然よりもはるかに変化の速度が大きく、かつ不規則で、政治や経済の動向で幾らでも変わり得る性格を持つ。そのため、変化の度合いは自然生態系に比べて圧倒的に早いであろう。都市の生物を要約すると、ヒトが積極的に持ち込んだ導入生物群、非意図的に都市に侵入し、生息する侵入生物群、古くから生息していた残存生物群に大別されよう。

大都市では高速に進む都市化の進展に対応して、多くの昆虫類が姿を消しており、所産種数は減少して行く。これには、緑地面積の減少と、乾燥化、不透水地域の増加、土壌音構造的諸性質の変化等の無機的环境条件の質的な劣悪化が大きく影響していよう。同じ面積の公園であっても、頻繁に掃除が行われ、落葉土層のない整備された公園ほど、アリや甲虫などの土壌性の昆虫の種数が少ないことが知られている。都市化の進行によって、クロマルエンマコガネやセンチョコガネ等の食糞性コガネムシ類が減少することが報じられている。餌の獲得が困難になることによるとされている。一方、ニクバエ類が増えて来ている。放置された犬や猫の糞が発生源である。都市化の進行は、昆虫類の多様性を現象させるのが一般的である。

一方、特定の種にとって都市は生存に不利な環境とはならない。関東地方の都市域では、アオスジアゲハが多く見られる。幼虫の食物であるクスノキが公園に多く植栽されていることによる。ドクガやチャドクガも多く見られる。スジグロシロチョウが多く見られることも、都市域で食草が多く生育していることによる。外来種が多く見られることも特徴の一つである。これらの種はもともと、乾燥した環境に好んで生息するものが多く、むしろ自然林では生息できないものが一般的である。恐らく苗木とともに中国から持ち込まれたアオマツムシが街路樹に多く見られ、中国由来のアカボシゴマダラも良く目にする。

分布を北進させているナガサキアゲハやツマグロヒョウモンも都市域で良く見かけられる。昆虫の中には、交通網に便乗し、分布を拡大させる種も良く見られ、物資の流入量の大きい都市ほどこれらの種の侵入確率は高まる。

人の生活環境に適応した昆虫は、都市域でも多く見られる。家屋の中にも少なからずの昆虫が見られる。もともと自然の中で生活していた昆虫の中で、人類の出現に伴って人間生活の中へ入り込んだ種である。イエバエ、ヒロズキンバエ、オオイエバエは人家周辺に多く見られる。人社会の中での生ごみを中心とした廃棄物に依存しており、時として大発生も見られる。一方、キンバエは、人為的環境には少なく自然環境に生息する。台所の穀類にはノシマダラメイガ、コクゾウムシ、アズキゾウムシ等、現在貯穀食品害虫と呼ばれる種が見られる。野生から転化して、家屋の害虫となった種である。トコジラミは、おそらくコウモリ等の哺乳類から吸血して生活して

いたものが、寄主転換をし、人の家屋に生息するようになった。ゴキブリも多く見かけるが、家屋内中心に生活する種はゴキブリ全体の種数から見ると非常に少なく、クロゴキブリやチャバネゴキブリ、ワモンゴキブリ等各地域で数種にすぎない。ヒトスジシマカ、アカイエカ等も都市域での生息が可能な生態を持つ種である。これらの昆虫は目にする機会が多く、生き物を知る良いきっかけにもなる。家屋害虫であっても、家屋内を主体に生息する昆虫の種は少なく、屋内と屋外との両方で見られる種が多い。その他、アリ類やカメムシ、あるいは灯りに集まる昆虫のような周辺に生息しているものが屋内に入り込む事が多い。これらの昆虫は人の居住空間に生息するか家屋周辺に生息する種で、人との関り(親人間性)が特に強い種と言える。

都市域では緑地は島状に点在するが、中心地から離れば農村地帯、田園地帯となる。雑木林が多く残っていれば昆虫も多く種が見られる。さらに山地に面した里山地帯になれば自然環境が多くなり、森林開拓地も見られ、森林性の種が多く生息しているはずである。もちろん、都市を含めてそれぞれの環境によってそれぞれの多様性がある。動植物の繋がりが、本来そこにあるべき状態で存続していることが、自然の豊かさである。



図 5.10.1. 大学構内で見られた外来種アカボシゴマダラ *Hestina assimilis*. 中国原産で日本に定着し、都市域を中心に個体群密度を増している。特定外来生物に指定されており、飼育や生体の移動が禁止されている。奄美大島に生息する日本の個体群とは、色彩が異なる。

## 第6章 昆虫の行動・生態

### 6.1 生活史

昆虫類は固い外骨格を持つこともあり、脱皮して成長する。また成長に伴って大きく形態を変える変態が見られる。シミとイシノミでは幼虫と成虫の形にほとんど違いが見られないが、翅を持つトンボ、カゲロウ類からは変態が見られ、卵から孵った幼虫と成虫とで形が大きく異なる(第2章参照)。

昆虫類はさまざまな食性を持ち、植食性、肉食性、雑食性、あるいは腐食性と種によってまちまちである。寿命は1年以内のものが多いが、中にはある種のアリの女王のように20年以上を生きるものもある。種間の関わりも、相利共生から寄生、競争までさまざまなものがある。住みわけや食いわけと言った行動様式が見られ、さらには擬態や保護色、警戒色と言ったものも進化させている。

#### 食性

昆虫類はさまざまな食性を進化させて来た。幼虫と成虫とで食性が異なる種は多く、さらに草食性でも色々な植物を幅広く食べるものがある一方で、特定の植物しか食べないものもある。

昆虫の食性の区分は色々な観点からの区分が出来るが、一般的にカゲロウのように成虫が全く摂取しないものを無食性と呼び、特定のもののみを餌とするものは単食性、アゲハがミカン科植物のみを餌とするように限定されたものを餌とするものを狭食性、幅広く餌と出来るものを多食性あるいは広食性と呼ぶ。さらに、ゴキブリのように有機物であれば何でも摂取する場合、雑食性と呼ぶ。

餌のタイプで食性を分けた場合、大きく動物食性、植物食性、腐食性とに分けることが出来る。植物食性(植食性)では、食蜜性、食花粉性、食実性、食根性、食材性、食枯木性、食菌性、食藻性、食葉性、食朽木性が含まれ、動物食性(肉食性)では捕食性、吸血性、食腐性(腐敗した動物質の摂取)、食糞性、寄生性が含まれる。

植物体の葉や芽などを食べる性質を、草食性と呼ぶ。さらに朽ち木や落葉を食べるものが見られる。またカビやキノコは菌類に位置づけられ、厳密には植物ではないが(菌食性と特に呼ぶ)、菌食性も含めて、植物質を食べる性質を植物食性と総称し、多くの昆虫がこれに該当する。

動物質を食物としている場合を動物食性と呼ぶ。生きている動物を捕らえて餌とする捕食性のものや、死がい集まる腐食性のもがある。他の生物の体内の成分を少しずつ利用する様子を寄生と呼ぶ。ノミやカが動物の血を吸って栄養分とすることも寄生で、動物食性になる。さらに多くの寄生蜂や寄生バエでは、幼虫は最終的に寄主を食べつくしてしまう。この場合を特に捕食寄生と呼ぶ。

そのほか、動物のフンを餌とする場合を、特に糞食性と呼ぶ。ダイコクコガネやセンチコガネ、

ハエの幼虫などが該当する。昆虫では、動物質も植物質も餌とするような雑食性のものも多く見られる。

表 6.1.1. 目単位で見た昆虫の口器の基本構造と食性. (松村, 1997).

口器(成虫) : A: 咀嚼型, B: 吸収型, C: 咀嚼・吸収型, D: 退化.

目	口器	動物食	植物食	菌食	腐食	花粉蜜食	糞食	寄生性
イシノミ目	A		○		○			
シミ目	A	○	◎		○			
カゲロウ目	D		◎(幼虫)					
トンボ目	A	◎						
カワゲラ目	A		◎					
シロアリモドキ目	A		◎	○				
バッタ目	A	○	○					
ナナフシ目	A		◎					
ガロアムシ目	A	◎			○			
ハサミムシ目	A	◎	○		○			○
カマキリ目	A	◎						
ゴキブリ目	A	○	○	○	○			
カジリムシ目	A, B	○	○	○				○
カメムシ目	B	◎	◎			○		○
アザミウマ目	B	○	◎	○	○	○		
アミメカゲロウ目	A	◎	○					○
コウチュウ目	A	○	○	○	○	○	○	○
ネジレバネ目	D	◎(幼虫)						◎
シリアゲムシ目	A	◎	○					
ノミ目	B	◎						◎
ハエ目	B	○	○	○	○	○	○	○
チョウ目	B	○	◎	○	○	○		○
トビケラ目	A	○	○					
ハチ目	A, C	◎	◎				○	○

## 食性と栄養段階

生態系システムの中で昆虫類を見て行くと、昆虫類は、種数も個体数も多く、生物群集の中で大きな役割を果たし、食物連鎖のさまざまな場所に関わっている。消費者は、生産者を食物としている第一次消費者と、他の動物を食物としている第二消費者以上の高次消費者（肉食動物）とに分けることができる。前者は一般に草食動物と呼ばれ、ここにハムシやコガネムシ、ゾウムシ、チョウ・ガの幼虫など多くの昆虫が見られる。また、後者は肉食動物とも呼ばれ、オサムシ、ハンミョウ、トンボなどやはり多くの種が見られる。植物が食物連鎖の出発点となる、一般的な食物連鎖のことを特に生食連鎖と呼んでいる。一方、森林の土壌では、落葉から食物連鎖がスタートし、多くの土壌動物が関係して来る。落葉はトビムシやササラダニに食べられ、トビムシやササラダニがハネカクシに食べられ、ハネカクシがゴミムシに食べられると言った食物連鎖が見られ、特に腐食連鎖と呼ぶ。

分解者は一般的には、生物遺体や排泄物中の栄養分を完全に消費してしまうカビ・キノコ類や細菌類を指すが、実際には消費者と分解者を明瞭に区別することはできない。動物の死がいや食物とするシデムシやエンマムシ、動物の排泄物を食物としている食糞性コガネムシやハエの幼虫などは、消費者と分解者の中間に位置する生物で、デトリタス食者（死骸・腐食者）と呼んでいる。デトリタス食者を含めた分解者や落葉食の動物達は、目立たないが、生態系を維持する上で、なくてはならない重要な役割を担っている。これらの生物がたくさん存在して、初めて落葉や動物の死骸が土に帰って行く。

## 配偶者の選択

チョウ類は鮮やかな斑紋を持っているものが多いが、それらの中には配偶者選択に用いられているものもある。シロチョウ科のある種のメスでは、前翅の斑紋がより明瞭なオス個体を好んで選択することが知られている。モンシロチョウやオオアメリカモンキチョウでは、オスとメスの翅の紫外線の反射が異なっており、雌雄の認知に役立っている。この紫外線反射は、時間が経つにつれて、鱗粉の喪失により減少し、メスへの誘引性も減少する。マダラチョウ科では、オスが腹端にヘアペンシルと呼ばれるブラシ状の器官を持っている。ここからフェロモン物質が放出され、同種のメスがこれに反応する。

動物の雌雄の関係で最も注目すべき点は、配偶者となる異性をどのように選んでいるかであろう。自然界の雌雄を観察して行くと、一般にオスは派手な色彩が多いが、メスは地味な色彩が多いことが分かる。また、オス同士はしばしば争うが、メス同士は争わないことも一般的な傾向として言えよう。また、雌雄で形態差の大きい種も少なくない。クワガタムシのオスの大あごやクジャクのオスの羽は、オス間競争やメスによる選り好みで進化して来た性選択形質であると言われる。性的な武器や装飾は“誇張形質 *exaggerated trait*”と呼ばれ、とにかくその大きさや美麗さに目が奪われる。このような形質にはサイズや形状に種内で著しい多型性が見られる場合が多い。オス間競争が関与する場合、オスは大型になり、角や牙、トゲなどが発達するものが

多い。このような武器となる形態の多くは、基本的にメスを確保するためのオス間の闘争のために発達して来たものである。クワガタのようにオスの大あごが大きく発達したり、カブトムシのように角が発達する種も多い(図 6.1.1)。これらのオスの持つ武器は、他種にも向けられるが、同種のオスどうしの闘争にも頻繁に用いられる。しかし、メスは受動的なもので、闘争で勝ち残ったオスと結ばれ、子孫を残すと言う理解は誤りである。今日、メスはさまざまな指標を用いてオスを選択していることが分かりつつある。

シリアゲムシ科のツマグロガガンボモドキは婚姻贈呈と呼ばれる面白い行動を示す。つまり、オスはメスに餌であるハエ等の昆虫を差し出すのである。贈呈物が小さいとオスは見向きもされないが、大きいとそのサイズに比例して交尾できる時間が長くなり、受精確率が高まるのである(図 6.1.2)。

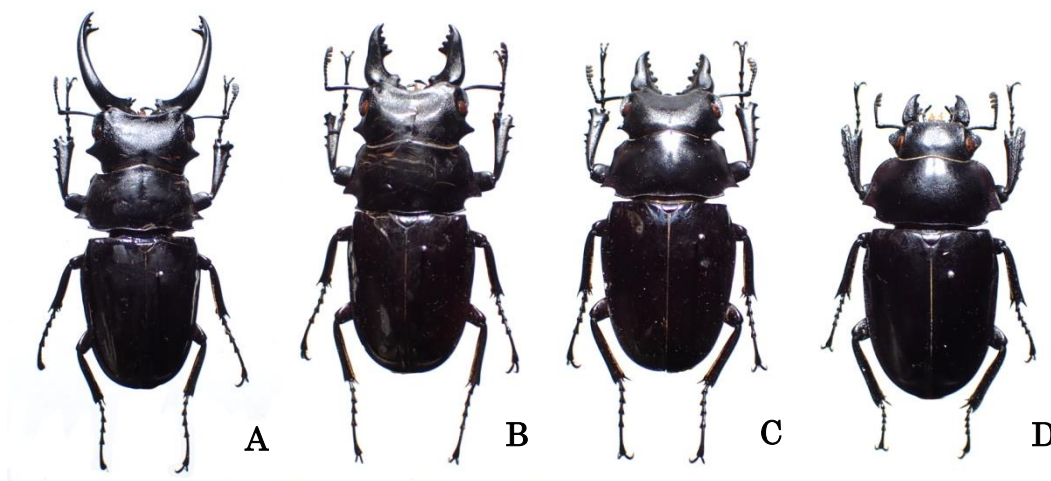


図 6.1.1. オニツヤクワガタ *Odontolabis siva* のオス (A-C) とメス (D)。オスの大あごに 3 型がある。

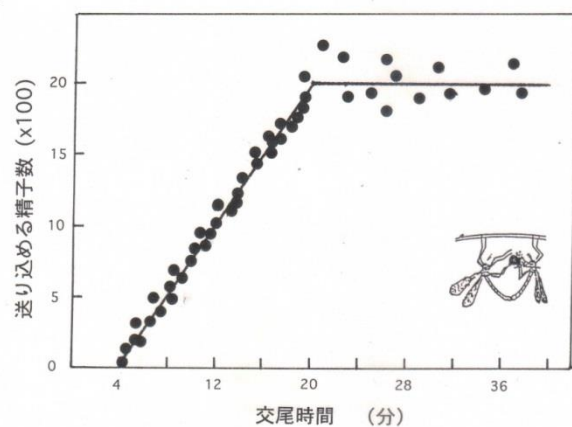


図 6.1.2. ツマグロガガンボモドキの交尾時間と送り込める精子数。メスに贈呈する餌のサイズが長いほど交尾時間は長くなる。(Thornhill, 1976 より作成)。

オスによるオスの他個体に対抗する戦術として、ウスバシロチョウやギフチョウでは交尾終了後にメスの腹端に交尾栓を作り、他のオスの交尾を妨げるものがある。カワトンボでは、交尾後メス個体を警護し、自己の精子と卵との受精確率を高めようとする行動が見られる。また、トンボの中には交尾器にへら状の特別な構造物が形成され、前のオスの精子をこれで一旦掻き出し、自己の精子をメスの貯精のうに残すものなどが見られ、精子レベルでのオス間のさまざまな競争が見られる。

昆虫でもオスの色彩が派手で、メスは地味で目立たない種が多く見られる。ミドリシジミ(図 3.2.2)やトリバネアゲハ(図 3.2.5)はその典型であろう。昆虫類にどこまで適用されるか不明であるが、哺乳類や鳥類、魚類のオスの派手な色彩や一見無駄に見える極端な形質進化について、メスによるオスの選択と言う観点から、幾つかの仮説が提唱されている。ここでは長い尾をもつ鳥を例に代表的なものを3つ紹介しておく。

#### **ランナウェイ仮説 (Fisher, 1930)**

長い尾を持つオスほど、個体の生存力において優れており有利な遺伝子を持っている。これに長い尾を好む遺伝子がメスに生じると集団中にこの遺伝子が広まり、生存上の不利益とつり合うところまで長くなる。

#### **ハンディキャップ仮説 (Zahavi, 1975, 1977)**

長い尾は生存上不利で、言わばハンディキャップである。しかしそのような個体が生存していることは、その個体はその長い尾を補うだけの生存上有利な遺伝子を持っていて、メスは長い尾を指標にして強いオスを選択している。

#### **寄生虫説 (Hamilton & Zuk, 1982)**

長く立派な尾や派手な色彩は寄生虫への抵抗性の強さの程度を示し、メスは寄生虫に抵抗力のある強いオスを選んでいる。

ランナウェイ仮説はメスの指標となる長い尾は有利と言う視点にあり、ハンディキャップ仮説では長い尾は生存上不利でハンディキャップ形質となるが真に選ばれる有利な形質と関連していると言う視点にある。寄生虫に抵抗性の高いオスを選んでいると言う寄生虫説は、有性生殖を行うための性の進化は、次々とやって来る寄生虫に対抗するためのものであるという考えにも関連している。その他、優良遺伝子仮説、感覚便乗仮説、つり合い仮説などがある。

いずれの仮説にせよ。オスの持つ遺伝子の質が形態に反映し、その形態を見て選り好みをしていると考えるのである。生存、繁殖上有利な遺伝子を持つオスを選び、その遺伝子を自分の子に伝えるようにメスはしていると予測される。現在のところ、何が有利であるかはまだはっきりしないが、可能性として免疫力の強さ、病原菌や寄生虫に対する抵抗性の強さ等は考えられ得ることである。

## 個体群動態

生物群集における個体数の変動に着目してみる。生物のメス一個体は多くの産卵を行う。もしこれらの個体のほとんどが成長し成熟すると、個体数は指数関数的に増殖し、膨大な個体数となる。しかし、自然界では個体数の増加を抑制する要因が存在し、これを環境抵抗と呼んでいる。例えば食物や生息場所の制限、伝染病や捕食者の増加、内在的な出生率の低下や死亡率の減少等である。そのために、もしある環境に少数個体を放した際の個体数の増加は、個体数が増加するほど、環境抵抗が大きくなっていくため、ロジスティック曲線と呼ばれる増加曲線を示す場合が多い。一般には

$$dN/dt = rN(1 - N/K) = rN(K - N)/K$$

で表される。この式によると個体群の振る舞いは、個体群密度が高まるほど増加率が下がり、一定密度に達すると、ほとんど増減を示さない安定状態に達することになる。

表 6.1.1 は生命表と呼ばれ、各成長段階の生存率を示したものである。チョウ目では、一般的に成体になれるのは産卵された個体のごく一部のみである。アメリカシロヒトリの場合、卵塊から孵化した幼虫は糸を吐いて巣網を張り、その中で 5 齢まで集団生活を行う。巣網に守られているためこの間の死亡率は比較的低い。捕食者は主にクモ類で、大型になると鳥に頻繁に襲われる。終齢幼虫の死亡率は高く、鳥やアシナガバチ類に捕食される。蛹の段階では寄生バエの寄生を受ける。卵から成虫になれる個体はわずかに 0.2%となる。さらに、9,528 卵から本種の生命表が作成されているが、結果はやはり卵から成虫への生存率は 0.1%であった(伊藤・桐谷, 1971)。イワサキクサゼミでは卵から羽化した直後の死亡率が著しく高く、幼虫が土中生活に入

表 6.1.1. アメリカシロヒトリ *Hyphantria cunea* の生命表。(伊藤, 1972 を改変)。

発育段階	始めの生存数	期間内の死亡数	生存率
卵	4287	134	1,000
1 齢幼虫	4153	1943	0,969
2 齢幼虫	2210	333	0,516
3 齢幼虫	1877	463	0,438
4-6 齢幼虫	1414	1373	0,330
7 齢(終齢)幼虫	41	29	0,010
蛹	12	5	0,003
成虫	7		0,002



表 6.1.2. 昆虫類の発育に伴う生存率の例. 表中の 0.0%は, 実験では羽化個体がなかった状況を示す. (伊藤, 1972; 山中他, 1972; 佐藤・牧野, 1996 を改変).

種名・学名	卵から成虫までの生存率
ヨトウガ <i>Mamestra brassicae</i>	2%
マツカレハ <i>Dendrolimus spectabilis</i>	0.6-0.9%
オビカレハ <i>Malacosoma neustria</i>	2.5%
マイマイガ <i>Lymantria dispar</i>	0.3-0.0%
ハスモンヨトウ <i>Spodoptera litura</i>	0.2-0.0%*
ヒノキカワモグリガ <i>Epinotia granitalis</i>	4.5%

\* : 1 齢幼虫から成虫の生存率.

ってしまうと, 死亡率は低くなる. 同様に幼虫が樹木を食草とする穿孔性の昆虫類では, 捕食者から発見されにくく, 死亡率は低くなると推定される.

昆虫の産卵数は種によってまちまちであるが, 概して多くの卵が産み出される. 一般に一個体のメスが生涯に数百から数千の卵を産む. 仔に食物と外敵から身を守るための巣を準備するドロバチや管住性のギングチバチ類では数十卵程度である一方, ネジレバネで最大 75 万個もの卵を産むことが知られている. 寄生性のネジレバネは, 1 齢幼虫が三爪型幼虫と呼ばれる脚の発達した幼虫で, 盛んに動き回り植物体に登り, 寄主を待つ. ただし, 幼虫は飛来するものに機械的にしがみつく. ハナバチに寄生する種では寄主となるハチに乗り移らない限り, 次の段階へは進めない. 成功する確率は非常に低く, そのために多くの卵を産みだしているものと考えられる. 餌となる寄主の幼虫にたどり着いた個体は, 無肢型の 2 齢幼虫となり, そこで移動せずに育って行く. 三爪型幼虫を持つ昆虫として, 他にツチハンミョウとカマキリモドキが挙げられる(図 6.1.3). ヒメツチハンミョウは 4000-5000 卵を産むとされている. 卵から孵った三爪型の幼虫は, まず土中のコハナバチの巣に入り, 羽化したコハナバチの体にしがみつき花に運んでもらう. 花に移った幼虫はそこで本来の寄主であるウツギヒメハナバチの飛来を待つ. ネジレバネ同様に運よく寄手のヒメハナバチが飛来し, その体に移れた個体のみが, 生き残る可能性を持つ(館野, 2016). カマキリモドキでは, 羽化した三爪型の 1 齢幼虫がクモの体に取り付き, その後にクモの卵のうに入り込み, 卵を摂取して育つ. カマキリモドキの産卵数は 100 程度から数千個とされている.

昆虫の産卵はバッタのように一度限りのものがある一方, ゴキブリのように幾度も産卵するものもある. 社会性昆虫のハチやシロアリのメス(女王)では, 寿命が長く 10 年以上に渡って産卵し続けることも稀ではない. そのため一生に産卵する数は, 種によっては 1000 万個を超える.

体サイズの小さな昆虫類の各種の個体群密度は、脊椎動物と比べれば圧倒的に高く示される。サバクトビバッタのように、爆発的に異常発生を引き起こすものもいるが、種の個体群密度がロジスチック曲線に従うのならば、捕食圧等の環境抵抗が働き、密度の増加を抑え一定状態に調節されるはずである。また、温度や湿度等の無機的環境要因も個体群密度の調節に関わっていると思われる。

昆虫類は大量に産卵するが、死亡率は高く、多くは捕食者や寄生者等の天敵によって摂取されて行く。一方、体サイズが小さいこともあり、個体群密度は高い。そのため、ほ乳類や鳥等の脊椎動物とは異なり、ヒトが採集する程度では、ごく限られた場所に生息する特別なものを除いて、個体群密度が減じることはない。

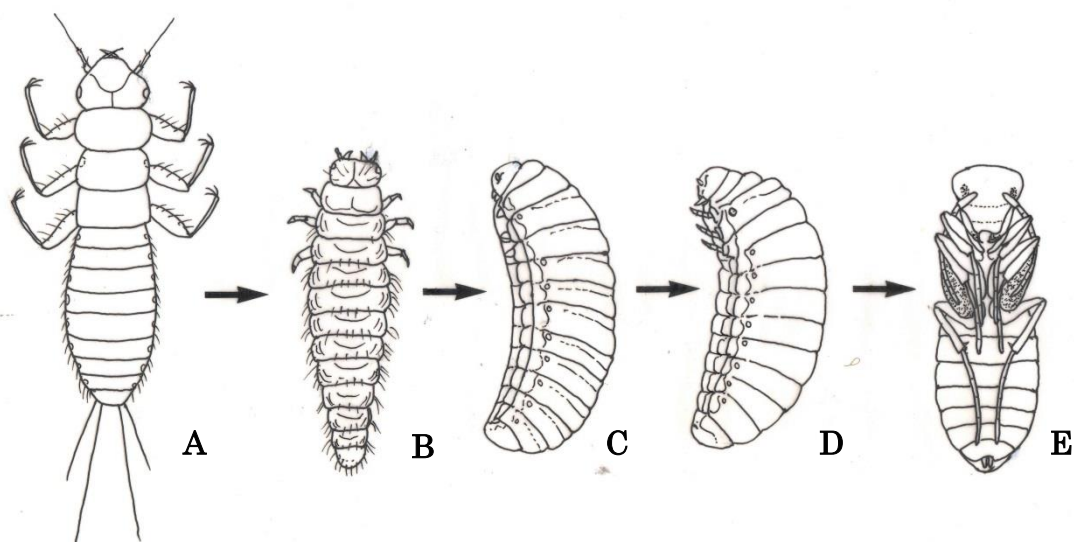


図 6.1.3. ツチハンミョウの変態様式. 1 齢幼虫は移動性の高い三爪型幼虫で、さらに前蛹から幼虫に一旦戻る過変態と呼ばれる変態様式を採る. A: 1 齢幼虫, 脚の発達した三爪型幼虫, 体は固い; B, 2 齢幼虫, 脚の短いコガネムシ型の幼虫. 2 齢から 5 齢までがこの形態で, 体は柔らかい. ハナバチの巣の花粉団子を食べ続ける; C, 6 齢は「擬蛹」となり, 体は固くなる; D, 「擬蛹」が脱皮すると 7 齢幼虫となる; E, 7 齢幼虫が脱皮して蛹となる.

## 6.2 共進化

種間の関係を生態的、形態的、生理的な適応の面からとらえると、実に巧みにできた相互依存的な適応関係が見られる。生物がその環境へ長い時間をかけて適応し生息して来たことを示すものとして、これらを共進化(coevolution)とか相互適応とか呼んでいる。例えば、ある生物群集の中で種間関係が生じる。競争関係が生じ、進化的時間が二者間で生じると互いに競争を回避するように、住みわけ、食いわけと言った様式を進化させ、共存関係となる。共生関係や寄生関係にあるものは、やがて相手がいなければ生きていけない必須の依存関係に至る場合がある。このように十分長い時間をかけて生物が変化しうる状況から、生物の適応の様式が分かり得る。

### 種間関係

生物群集内で特に密接な関係を持つ2種以上の個体群どうしの関係を表現する場合、その関係を利害関係の形で表現すると理解しやすい。表 6.2.1 では他種と関係することによって利益を受ける場合を+、被害をこうむる場合を-、特に利害に関係しない場合を0で表記したものである。表から生物世界には+、-、0を使った全ての組み合わせの種間関係が存在することが分かる。ただし、それらの関係は、自然界において頻繁に見られる関係から稀にしか見られないものまであり、その頻度やその関係が生物群集に及ぼす影響の強さはさまざまである。

表 6.2.1. 2 種間の相互作用の分類。(Odum, 1979 より)。

相互作用のタイプ	種		相互作用の特徴
	A	B	
競争	-	-	両者が害を与え合う
捕食	+	-	捕食者が餌種の個体を殺す
寄生 ベーツ型擬態	+	-	寄生者が寄主個体を利用し、 寄主は害を受ける
中立	0	0	互いに影響を及ぼさない
相利共生 ミュラー型擬態	+	+	両者共に利益を受ける
片利共生	+	0	一方だけ利益を受けるが、他 方は影響を受けない
片害作用	-	0	一方だけ害を被るが、他方は 影響を受けない

## 捕食-被食関係

食物連鎖の関係は生態系の構造を決定する重要な要素であるように、捕食-被食関係は生態系において最も普遍的に見られる関係である。2者間の関係で見ると食うか食われるであるが、3者以上の関係で考えると2者間では見えなかった関係が見えてくる。図 6.2.1 の a ではA種とB種の間には捕食-被食関係があり、B種とC種の間には競争関係がある場合である。A種がB種を多く捕食してくれるほどC種はB種との競争に有利に立てると言う間接効果が現われてくる。図 6.2.1 の b はA種とB種とC種との間に直線的な捕食-被食関係が成り立つ場合である。

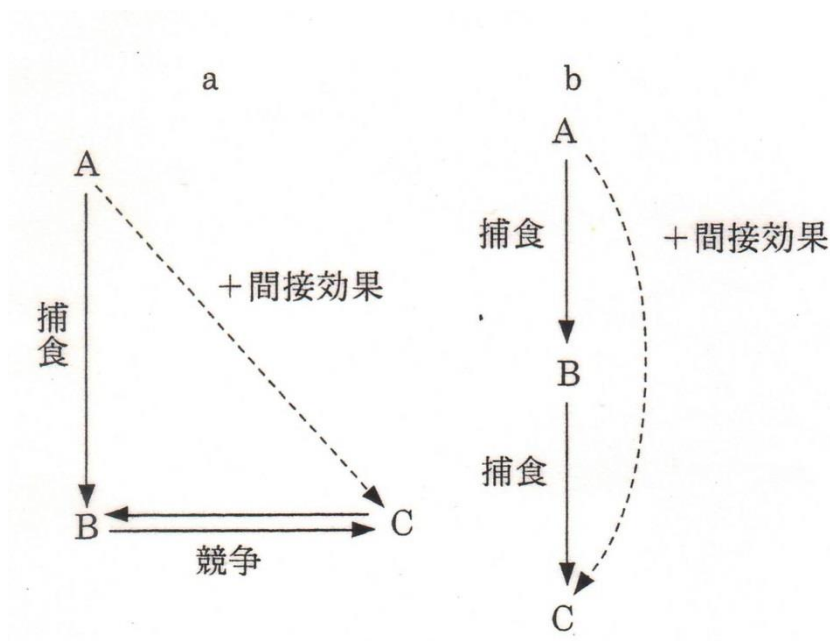


図 6.2.1. 間接効果. a: 捕食-被食関係, 競争関係にある3種間に見られる間接効果. b: 捕食-被食関係における間接効果. 3種間で種間関係を見ると, 2種間の関係のみでは見えて来なかった間接効果の存在が分かるようになる.

栄養段階が上位にあるA種が盛んにB種を捕食してくれるほどC種はB種からの捕食を免れやすくなる。要するに敵の敵は味方だと言う図式が示されている。最近植物において、積極的に敵の敵を引き寄せて捕食者を撃退してもらうと言う振る舞いをするものが知られるようになって来た。例えば、トウモロコシはヨトウガやアワヨトウの幼虫に摂食され始めると、かじられた部分からある種の化学物質を出し、それがヨトウガやアワヨトウの寄生蜂であるカリヤコマユバチを誘因している (図 6.2.2, a)。リママメにおいてもナミハダニに対して同様に、ナミハダニの捕食者であるチリカブリダニを呼び寄せている (図 6.2.2, b)。これらの捕食者や寄生者を呼び寄せる物質は SOS 物質と名付けられている。植物が食植性動物から身を守るための防衛メカニズムは、毒物質を体内に蓄えるとか刺で武装すると言ったものが多いが、それらの防衛はいずれは食植性動物に破られてしまい、さらに強力なものにしないと防衛できなくなる。

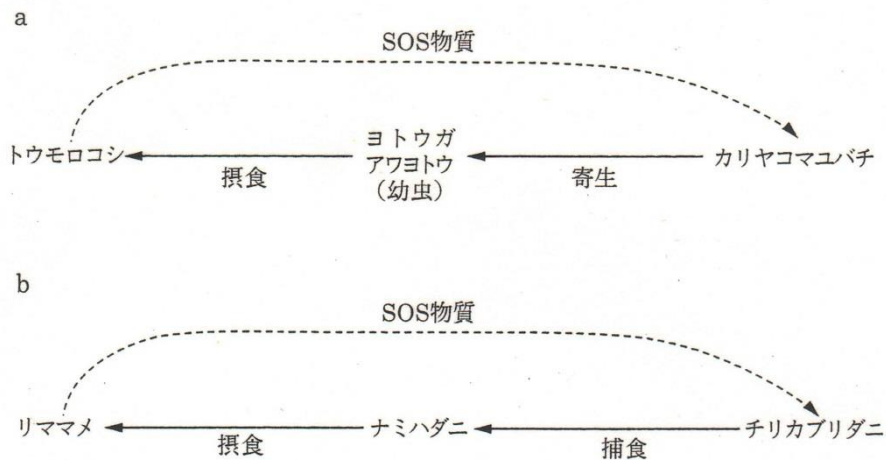


図 6.2.2. 植物の SOS 物質による間接的防衛の例.

これが軍拡競争のようにエスカレートして行くと、これに莫大なコストがかかって来てしまう。もし国家であれば、二大軍事強国が軍拡競争を引き起こし、際限なく軍拡競争がエスカレートして行き、最後には両国ともに疲弊、没落の途をたどることにも似ていよう。言わばボディガードを雇い SOS 物質でボディガードと連絡を取りつつ身を守る術を見ると、植物もなかなかしたたかなものだと思う。

従来、高次捕食者が餌となる下次の動物の個体数に影響を及ぼすのか、あるいはそのような効果はなく、餌の個体数によって個体数が影響を受けているのかが問題となっていた。言わば、トップダウン効果とボトムアップ効果の有無、あるいは効果の大きさが問題となっていた。岩礁の動物群集やクモ類に着目した研究例では、トップダウン効果は顕著であった。さらに、生物群集の構成に大きく影響を与える種を、キーストン種 (key stone species) と呼んでいる。

## 寄生と共生

寄生関係は、取り付く側が取り付かれる側からエネルギーを奪い取る形をとる。かつて北米大陸に大量にいたリョコウバトは乱獲が原因で絶滅したが、このリョコウバトのみに寄生するダニが少なくとも2種は知られていた。これらのダニはリョコウバトのみに見られる事から、これらの間には必須の依存関係成立していたことが分かる。そして、リョコウバトが絶滅した事によって、これらのダニも同時に絶滅したであろう。地球上で1種が減れば、単純に1種のみが生態系で減ることはない。必須の関係を持つ複数の種が減っているはずである。

昆虫類では寄生生活を行う種が多い。特にハエ目とハチ目に多く見られる。また、ノミ目、ネジレバネ目、さらにはカジリムシ目のケジラミ類やハジラミ類は全ての種で寄生生活を送る。昆虫類で寄主に致命的な打撃を与えないタイプの寄生例はそれほど多くない。ただし、カヤナンキンムシはこれに当たり、身近な印象を受ける。寄生者の割合として、圧倒的に多くは取り付いた

寄種を死に至らしめる捕食寄生である。寄生の様式は、寄主の体外に産卵され、孵化した幼虫が体外から食いついて行く**外部寄生**と、幼虫が寄主の内部に入り込み、体内で栄養分を摂取する**内部寄生**とに分けられる。この場合、寄主が昆虫であれば、生体防御機構が存在することから、食細胞等を回避する手立てが必要となって来る。さらに寄主と寄生者との数的関係から次のような区分もある。

**単寄生:** 寄主 1 頭に寄生者 1 頭が取り付き、成虫となる。

**多寄生:** 寄主 1 頭に複数個体の寄生者が取り付き、複数個体が成虫となる。

**過寄生:** 寄主 1 頭に同種の複数個体の寄生者が取り付くが、1 頭のみが成虫となる。

**共寄生:** 寄主 1 頭に種の異なる複数個体の寄生者が取り付く様式。通常、寄主体内で寄生者間の種間競争が生じ、1 頭のみが成虫となる。

その他、寄生者に寄生する高次寄生(重寄生)と呼ばれる現象も知られている。寄生者に取り付く寄生者を 2 次寄生者、2 次寄生者に寄生する寄生者を 3 次寄生者と呼ぶ。例えばモンシロチョウの幼虫に寄生するアオムシサムライコマユバチに、アオムシコバチが 2 次寄生蜂として寄生する。高次寄生では、4 次寄生者まで知られている例がある。寄生バチは取り分け種数が多く、多くの昆虫のグループに寄生する。イギリスの集計では、イギリス国内の全昆虫の内、70%の種が捕食寄生性か寄生性で、多くは寄生バチとなる。典型的な捕食者は 4%の種のみであった。

典型的な寄生に対して、捕食寄生が捕食-被食関係の間に位置付けられるが、捕食寄生は、さらに寄主を直ぐには殺さず、寄生者が十分に成長した段階で死に至らしめるもの(飼い殺し寄生, *koinobiont*)と、寄生者の摂食により直ぐに死に至らしめるもの(殺傷寄生, *idiobiont*)があり、これらを並べれば寄生と捕食-被食関係は連続した概念であると判断することも可能である。エネルギーの奪取の観点から、労働力を搾取する労働寄生を寄生の一様式と見なすのであれば、片利共生との境界も、片利と言いつつも実質的に被害の程度の測定が甚だ困難であることから、不明瞭である。

トガリハナバチやハラアカハキリバチヤドリでは、ハキリバチの巣にうまく侵入、産卵し、孵った幼虫は、ハキリバチの親が本来自分の子に食べさせるために集めてきた花粉団子を食べ育て育つ。ツチハンミョウでは幼虫もハナバチの巣に侵入し、花粉団子を食べ育て育つ。これらの種は、生物の体に取り付くわけではないが、相手の労働力をうまく奪い取ることで育ち、一種の寄生と判断され、特に労働寄生と呼んでいる。

相利関係は互いが利益を得る関係で、アリとアブラムシ、アリとクシケアリやゴマシジミの関係などが知られている。アリはアブラムシが出す甘露(植物体由来の栄養分を多く含む液体)をもらい受ける。かわりに外敵からアブラムシを守る。アブラムシから見ると、外敵から身を守ってもらっているかわりに甘露をアリに与えている、ということになる。アリではアブラムシのほかに、カイガラムシやツノゼミ、シジミチョウの幼虫と相利共生の関係を結んでいる。さらに、植物の中にアリと関わりをもつものもある。スマレヤカンアオイでは、アリが餌とし

て食べられる部分を種子の表面の一部につけ，これによってアリに種子を運ばせる．アリにとっては食べ物が手に入り，植物にとってはアリに種子を散布してもらうことになる．海外では，アリ植物と特に呼び，植物が茎や葉に中空の部分を作り，そこにわざとアリをすまわせ，アリに葉を食い荒らす外敵を防除してもらうものまである．

ミツバアリとアリノタカラカイガラムシの関係は相利共生の関係の中でも，相手がいなくてはもはや生きて行けない必須の依存関係の段階にまで達している．アリノタカラカイガラムシはミツバアリの巣の中に限って生息する．ミツバアリは，巣の中に植物の根をわざと出すように巣を作り，その植物の根にアリノカイガラムシが付き植物体液を吸収する．アリノタカラカイガラムシは，頭部と胸部が融合して一つになって球状となり，2節のみからなる短い触角を持ち，脚も短く，先端の爪は鋭く尖っている（図 6.2.3）．脚は短い先端は鋭く，食物の根にしがみついたため機能を有している．アリは始終このカイガラムシの面倒を見ており，しばしばアリがカイガラムシを運んで元気な根の方に移動させている．ミツバアリの方も巣から外に出て餌を探すことはなく，もっぱらカイガラムシの出す甘露を餌に生活している．そして，新女王アリが春に母巣から旅立つ際には，先祖代々伝わる宝物であるかのようにこのカイガラムシ一個体をあごでくわえて新しい世界へと飛び立って行く．このカイガラムシは単為生殖で増殖する事から，一個体を連れて行けば，そこからカイガラムシを増殖させる事ができる．これらのあたかもミツバアリとカイガラムシが一つの個体であるかのような振舞いは，相利共生の究極の姿の一例を示していると言えよう．

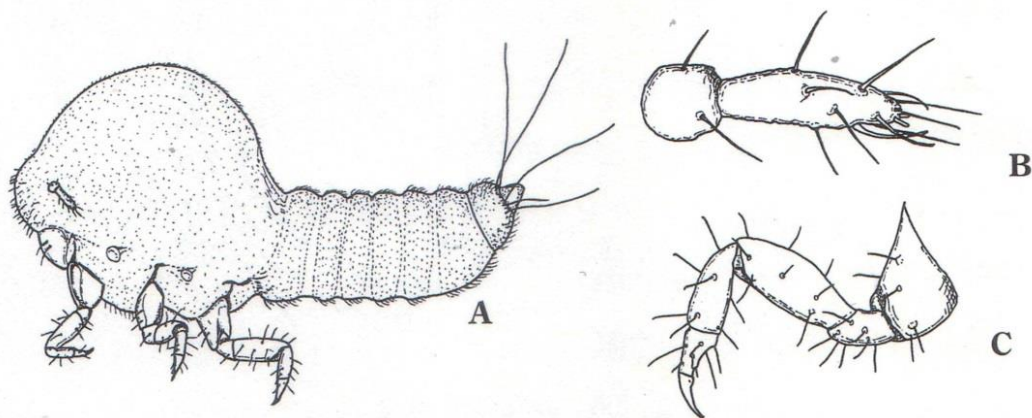


図 6.2.3. 外部形態の特殊化が著しい例．カメムシ目のアリノタカラカイガラムシ *Eumyrmococcus smithi* (A, 体側面；B, 触角；C, 中脚)．頭部と胸部は例外的に融合して，1つの球状の構造となっている．触角は2節のみからなり，複眼も単眼も完全に消失している．脚は短く，付節は1節のみからなるが，その先端に発達した爪をそなえている．ミツバアリの巣内に限って発見され，それ以外の場所では得られない．



図 6.2.4. トビイロシワアリ *Tetramorium stsushimae* の巣内に生息するサトアリヅカコオロギ *Myrmecophilus tetramorii*. 成虫でも無翅で、体長 2.5 mm ほどの微小なコオロギ。自身の体表にアリのもつ体表成分を付け(化学擬態)、同時に素早い動きでアリからの攻撃をかわして生息する。

### 擬態と警戒色

生物の環境適応の例として擬態がしばしば登場する。擬態とは生物が他の生物を含めてあるものに似せて他者の目を欺くものを呼ぶ。他の動物に似せるもの、植物に似せるもの、石や糞のような非生物に似せるものがある。擬態と類似の概念としてカモフラージュや保護色が挙げられる。これらは色彩を環境に合わせて似せる場合に良く用いる。擬態の概念は基本的に、攻撃性を持つ種類の派手な警戒色に似せて身を守る「標識的擬態(ミミクリー)」と色彩、形、動きなどを背景に似せて外敵に見つからないようにする「隠蔽的擬態(ミメシス)」に区別して理解される。

隠蔽的擬態の例として良く知られているものとして、葉に擬態するコノハムシやコノハチョウ、木の枝に似せるナナフシ、花に似せるハナカマキリ(餌を採るための擬態であることから、特に攻撃擬態と呼ぶことがある)などがある。隠蔽的擬態は、植物に似せたものを特に隠蔽的植物擬態と呼び、他種の動物に似せた場合を隠蔽的動物擬態と呼ぶ。例えば、アリやシロアリの巣に入り込み生活するハネカクシ等が寄主のアリやハネカクシに似せて(好蟻性、好白蟻性虫の場合、特にワスマン型擬態と言う呼称がある)生活することが該当する。その他鳥の糞や石等に似せた場合を、隠蔽的異物擬態と呼ぶ場合がある。いずれにせよ、これらの擬態の例は、生物がその環境の中で、進化的時間スケールで長い間生息して来たことを意味している。

他者にわざと目立たせる警告色あるいは警戒色は、単独で効果を見せる場合も多い。通常、派手な色彩の生物には、それなりの理由がある。刺される、触ると腫れる、毒を持っているなどで、名前が分からない目立つ生物は、触らない方が無難と言えよう。昼行性の派手な色彩を持つガでは体内に有毒物質を持つものが多い。ニシキオオツバメガ(図 4.2.53, D)では有毒のユーフォルビアが食草で、食草の毒を体内に溜めこむ。ベニモンマダラでは体内で青酸を作ることが知られている。多くは捕食者の鳥に対する防御と考えられている。

生態様式から、「標識的擬態」はベーツ型擬態とミュラー型擬態に区分される。例えば、攻撃力のないハナアブやトラカミキリが毒針を持ち高い攻撃力をもつミツバチや、アシナガバチ、スズメバチに似せている例がベーツ型擬態であり、攻撃力をもつミツバチ、アシナガバチ、スズメ



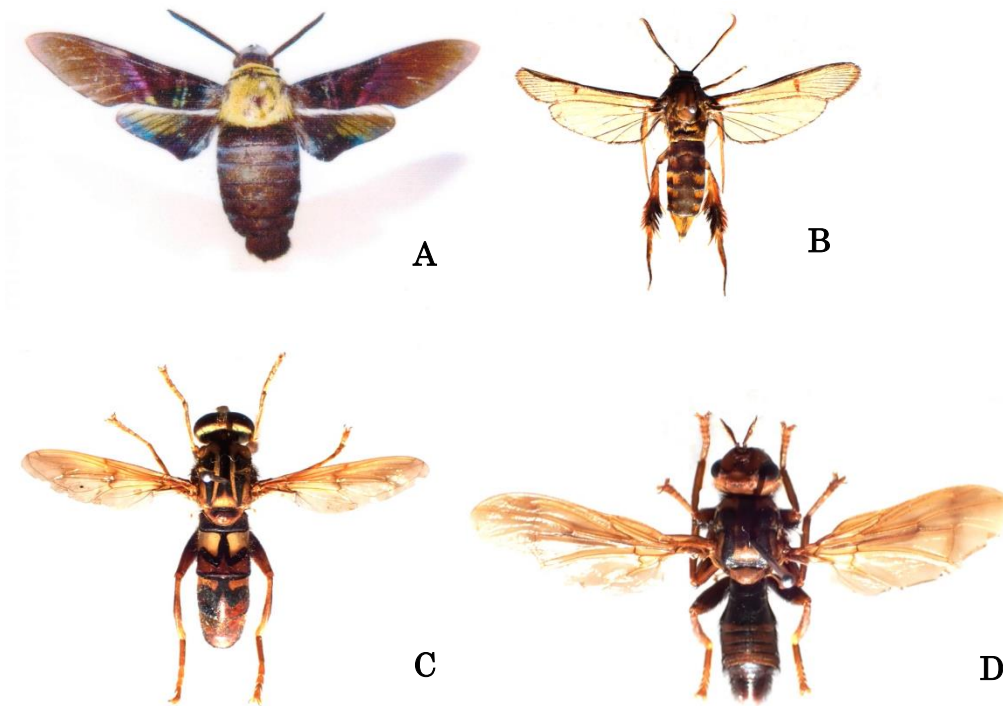


図 6.2.5. ベーツ型擬態の例. ハチに擬態するガ(A, B), アブ(C, D). A, クマバチに擬態するクマバチモドキ *Sataspes infernalis* (スズメガ科). B, コシアカスカシバ *Scasiba scribai*, 飛翔時はスズメバチそっくりに見える. C, シロスジナガハナアブ *Milesia undulata*; D, オオハチモドキバエ *Eupyrgota fusca*.

バチが互いに色彩を似せ合せて、さらにその効果を高めていることをミュラー型擬態と呼ぶ。これらのハチはいずれも黄色と黒のまだらで模様で、最も目立つ色彩パターンである。線路の踏切など特に注意を要するところに使われているのでその効果はよくお判りであろう。これらは、自分の存在を他者にアピールするような色彩で、警戒色である。ベーツ型擬態を利害関係で考えると、まねるものはプラス、まねされるものはマイナスとなりこれは一種の寄生と言える。一方、ミュラー型擬態はプラス、プラスの関係で相利共生の一形態として位置づけられよう。このような例は、社会性ハチ類の他にマダラチョウ類や南米のドクチョウ類の例が特に有名である。これらは、植物の有毒物質であるアルカロイド、タンニン等を体に貯えたまま成虫になってしまう。それを鳥が食べると鳥は中毒症状を引き起こし、このことを学習するので、以後類似の色彩のものを食べなくなる。いずれも、ミュラー型擬態の関係を持つ種が見られると同時に、他の科に属する毒を持たないチョウが擬態し、類似した色彩を見せている。

擬態の効果を考えると、数的に模倣する方の個体数が多くなりすぎると、効果が薄れてしまうことから、似せる方の個体数はモデル(model)の個体数よりも少ないことが予想される。似る側(mimic)が多くなるほど擬態の効果は弱まる。逆に似る側の個体数が少なければモデルの中に紛れ込み、擬態の効果が高まる。例えば、擬態のモデルとなるミツバチがいなくなると、ミミツ

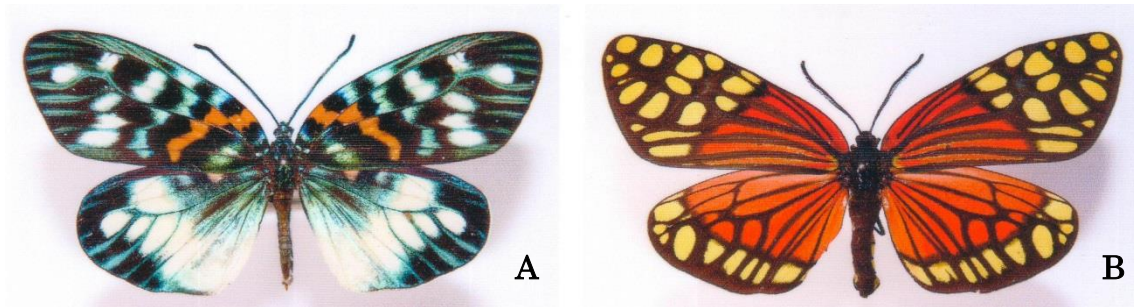


図 6.2.6. 色彩豊かな昼行性ガ類. A, サツマニシキ *Erasmia pulchella*; B, *Campylotes burmanus*. このような派手な色彩は警告色である場合が多い. サツマニシキは, 捕まえると胸部から黄色の泡を吹き出す. 毒性もかなり強い.

クであるハナアブはただ目立っているだけである事から, まっ先に捕食者に狙われて, 生きて行けない. 理屈の上では, モデルが生態系内にいなければ, ミミックは存在しないことになる. また, 警告色, 警戒色の段階的進化は考えにくく, 中間的段階を飛ばして急速に警告色を持つに至る, という結果も出ている.

擬態の様式も色々なものがある. ある種のカマキリが餌を捉えるために花に似せたり, 魚のオコゼが餌を捉えるために周りのサンゴに似せる擬態があり, このようなものを特に攻撃擬態(ペッカム型擬態)と呼んでいる. 社会性昆虫のアリやシロアリの巣中には好蟻性動物や好白蟻性動物が見られるが, ホストと形態的に類似するものも少なくない. これを特にワスマン型擬態と呼んでおり, 巣の個体を欺こうとする目的であるとの仮説と巣外の捕食者に対する擬態であるとの仮説がある.

昆虫では, 幼虫や成虫に眼球紋を持つものが多い. 眼球紋があると目立つことから, 単純には淘汰されてしまいそうである. この眼球紋は, 節足動物の眼に似せて進化させたとされている. チョウの翅に眼球紋が多いが, 最大の捕食者である鳥が, 眼球紋を目指してつついて来るため, 捕食から逃れる効果があるとされている. また, 種によっては, 驚かすと急に眼球紋を見せるものがある. 鳥や哺乳類では, 眼の大きさと体全体の大きさをイメージすることができる. 大型の眼球紋は大型の動物がそこにいることをイメージさせ, たじろがせることができ, おどし戦術(scare tactics)と呼ばれている. チョウやガの幼虫に大きな眼球紋を持つものが多く, ユカタンピワハゴロモの後翅にも眼球紋がある他(図 6.2.8), 中にはカエルの一種で, 背中に1対の眼球紋を持つものもいる.

その他の擬態として, 行動の擬態を示すものがある. 昆虫ではないが, シロチドリ(河原に巣を作る)は, 巣のある近くに捕食者が来ると母親がその前に行き, 羽をばたばたさせ, 飛べないふりをして注意をそっちに向ける. 巣に注意が背けた段階で, 母鳥は飛び上がる. 化学物質による擬態も存在する. ナゲナワグモは, 先端に球をもつ糸を飛んでいる餌であるガを目がけて投げつけて捕らえる. 捕らえられるガのほとんどがオスである状況から, ナゲナワグモがガの性フェ

ロモン類似の物質を放出し、これに引き寄せされてくるオス個体が狩られていることが判明した。チョウチンアンコウやイザリウオの頭の先端にある突起は疑似餌の役割を示し、これに引き付けられた小魚が食べられる。一種の擬態と見なせよう。



図 6.2.7. 眼球紋を持つクロウチョウ *Caligo placidiana*. A, 表面; B, 裏面. 裏面の下半分(前翅)を覆い隠すと、眼球紋を眼とした大型の動物のように見える。



図 6.2.8. ユカタンビワハゴロモ *Fulgora ternaria*. 体長 8-9 cm. 攻撃を受けると翅を広げ、後翅の眼球模様を見せつける。頭部(写真では下方)は前方へ大きく伸張する。トカゲやヘビの頭部に擬態していると言う見解もあるが、真偽は不明。中は中空である。

### 被子植物と昆虫の共進化

裸子植物が繁栄していた中生代から新生代になると、花を咲かせ実を实らせる被子植物が陸上を席卷し、そして今日に至っている。被子植物が裸子植物との競争に圧倒的に勝り、今日の繁栄を得る事ができた主な理由は、被子植物が飛翔能力を持ち、移動性に長けた昆虫類および鳥類とギブ・アンド・テイクの関係を結び相互適応してきたからだと言われている。被子植物は、蜜腺と花蜜を準備し、かつその位置が容易にわかるための信号の役割を果たす花弁を、コストをかけて作った。これによって昆虫類を呼び寄せ、効率良く受粉が行なえるようにした。また、同様

に少なからずの樹木では多大なコストをかけて果実を作り、これを鳥に食べさせて遠方まで種子を運搬させる関係を結んだ。このようにして、移動能力のない植物の大きな弱点であった受粉効率と種子運搬能力を著しく高め、これによって裸子植物との競争に優位に立ち、その結果、植物にとって好適な熱帯や亜熱帯の環境はことごとく被子植物が占拠してしまった。一方、裸子植物は光合成効率の悪い亜寒帯にまで追いやられ、シベリアのタイガのように亜寒帯針葉樹林として残り現在に至っている。逆に、種子植物と共進化してきた昆虫類と鳥類は被子植物とともにやはり陸上生態系で特に栄えていると言えよう。特に被子植物と強く関係を結んだ、チョウ類では、ストロー状の口器になっており、ハナアブやハナバチ類でも液体のみを吸い込める口器に特殊化している。これらの種では花蜜がなければ生存不可能であろうから、やはり被子植物とは一蓮托生の関係にあり、被子植物が絶滅すれば、これらも生きては行けないことになる。

植物による擬態の見事な例として、昆虫のメスに似せる性的擬態が挙げられる。地中海沿岸に見られるフタバラン属 *Ophrys* のランは、花の姿がスズメバチやハナバチ、ツチバチのメスに似せており(どの昆虫に似せるかはランの種によって異なる)、オスが飛来し、交尾しようとする、オスの頭部等の体に花粉塊が付く、これによって花粉を運ばせる。これらの植物は花蜜を分泌しない。そのため、花蜜と受粉効率をそれぞれ提供しあう植物と昆虫との双利共生の関係が崩れている。オーストラリアのハンマーオーキッドと呼ばれるランは、コツチバチのメスに擬態してオスをおびき寄せる。オスが偽のメスに触れると花粉塊が回転し、丁度オスの背中にぶつかり花粉を付着させる。スズメガ類は長いストロー状の口吻を持つものが多く、口吻の長さによって、吸蜜が可能な特定の植物の花を訪れる。口吻の長いものではマダガスカルのカサントパンズズメのように口吻が 30cm 近くある種も見られる。ガが特定の植物を訪れば、植物にとっては効率良く受粉できるようになる。

### 6.3 孤独性昆虫と家族性昆虫

生物の親は、子(仔)作りを行い、種によっては子育てをする。子を育てる場合、餌を確保し子に与え、外敵からの防衛を行うことが親の主な仕事となる。生物学的には生殖とは自己の遺伝子の伝達・拡大を行うためと説明される。ただし、親による子の保護の程度は、種によってまちまちであり、また子に保護を加えない生物も多い。このような孤独性であるものから長く子の保護を行うもの、さらには兄弟姉妹に育てられる家族制のものまである。これらの相違は何によるものであろうか。自己の遺伝子を残そうとする試みは、子作りのための配偶者選択の段階からすでに始まっている。

#### 子作り

昆虫の親は産卵のみで、親子の関係は成立しないものが圧倒的に多い。しかし、それでも親は、子供のことを思っているごとく振る舞う様式を示す、例えば、卵を物陰や窪み等の安全度の高い所の産む、多くのチョウ類が行うように卵を仔の食物の中に産む。卵から孵った幼虫はその場で食草にあれつける。卵を保護物質で包み込むものも見られ、甲虫類のムシクソハムシでは、糞で自分の卵を包み込み外敵に見つからないようカモフラージュを行う。

アブラムシ(アリマキ)ではマムシと同様に、卵胎生と呼び、卵を体内にとどめ、体内で孵化させる。そのために、これらの動物では一見、子が直接母体から生まれてくるように見える。これによって、動けない卵と異なり捕食者から免れることが可能となる。

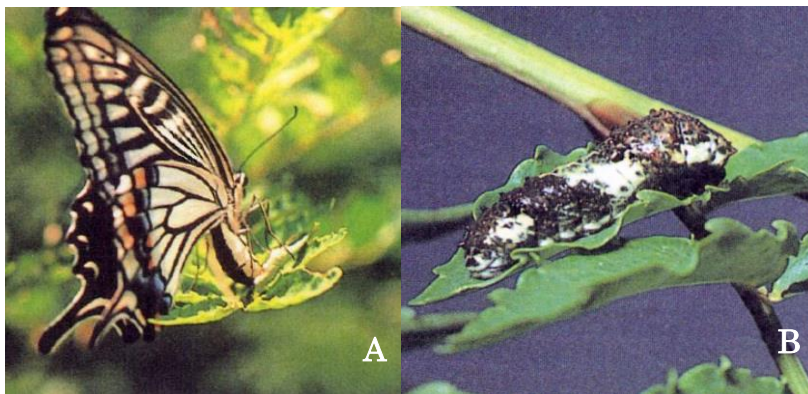


図 6.3.1. ナミアゲハ *Papilio xuthus* の産卵(A)と単独で育って行く幼虫(B).

#### 子の養育

動物の中で親と子が同居する様式を家族性と呼び、親子の関係が成立する。子育てには母親のみが行うもの、父親が行うもの、両親によって行われるものがあり、社会性昆虫では兄弟姉妹が子を育てる。

母親による仔の保護は、ツノカメムシ(卵)、ハサミムシ(卵)等で見られる。卵から幼虫の段階までコブハサミムシやキバネハサミムシは春先に産卵し、卵が孵るまで母親は全く何も食わずに卵を守る。幼虫は肉食性で、卵から孵ると母親を食べて最初の栄養源とする。一方、ヒゲジロハサミムシでは、産卵後母親は外敵から卵を守ると同時に卵を順番になめてカビから守る。さらに母親は、孵化した仔に口移しで10日間ほど餌を与え続ける。ツノカメムシ類では、母親が卵塊の上に体を載せ、卵から仔が孵化するまで卵から離れず守り続ける。クロシデムシやモンシデムシ類では、卵から幼虫の段階まで仔の保護を行う。鳥やホ乳類の死骸から肉を削ぎ、土中に運び肉団子を作る。その肉団子で仔を育てる。仔が成長するまで母親が肉団子の周りにいて、仔の保護を行う。

その一方で、父親による保護の例は非常に少ない。水生昆虫のコオイムシはオスの背中に卵が産み落とされ、オス個体と卵が行動を共にすることになる。また、タガメのオスは卵塊から離れずに卵保護を行う。魚類では、オスによる口腔養育の例が良く知られており、イトヨやテラピアなどがこれを行う。またタツノオトシゴではオスの腹部に育児のうと呼ばれる袋があり、この中で卵が孵る。よって、タツノオトシゴでは、一見オスから子が生まれてくるように見える。

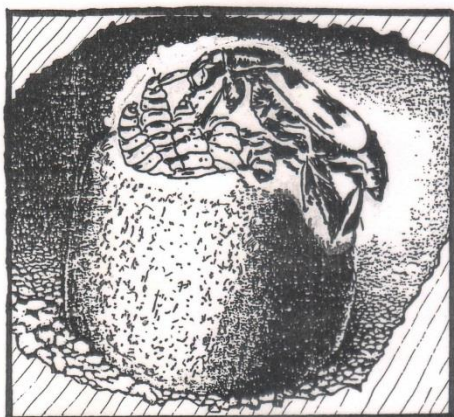


図 6.3.2. 肉団子で仔を育てるモンシデムシの一種 *Necrophorus vespillo*. (Wilson (1971)を略写).

両親による仔の保護が見られる例は、ヨロイモグラゴキブリやクチキゴキブリ、甲虫のクロツヤムシ等で見られる。これは、親子の関係の強い動物と一般的に言えよう。脊椎動物の鳥類は通常一夫一妻制をとり、雌雄共同で巣を作り、卵を抱卵、ヒナに給餌する。ホ乳類は胎盤を持ち、生まれた後には子に乳を与え、外敵からの保護を加える。しかし、両親で子育てを行う種は少なく、わずかに5%程度である。また両親が子育てを行う種の中では一夫多妻制のものが多い。夫婦で子育てをす一夫一妻制のタヌキはホ乳類では少数派に属する。

ミツバチやアリ、シロアリなどの社会性昆虫では、女王と呼ばれるメス個体は産卵のみに従事し、それ以外の仕事は働きバチ、働きアリが行っている。卵から孵った子の面倒をみる働きバチ、働きアリは子から見ると姉、兄にあたる。真社会性の進化については後述するが(6.4 社会性昆虫)、いずれにせよこれらは家族制の形成後に派生した様式と推定される。



図 6.3.3. 家族性の台湾クチキゴキブリ *Salganea taiwanensis*. 夫婦で朽ち木中に棲み、仔も大きくなるまで同居する。

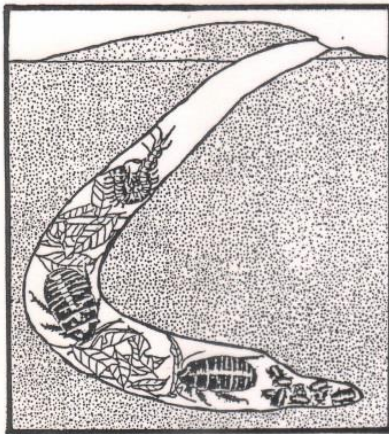


図 6.3.4. ヨロイモグラゴキブリ *Macropanesthia rhinoceros*. ヨロイモグラゴキブリは夫婦で土中に棲み、落葉を餌とする。ゴキブリ類で最大の種の一つで、体重が 33 g ほどにもなる。体長は 10 cm 程度。(描図は Matsumoto (1992)より略写)。

#### 多産・無保護と少産・有保護

以上のような子作りと子育ての様々な様式の間にはどのような関係が存在するのだろうか。ラック(Lack)の理論(1954)によると、産卵(仔)数と親による子(仔)の保護の程度の大きさは、総エネルギー量をどのように利用するかの問題として捉えることができるとする。子作りに費やすエネルギーと子育てに費やすエネルギーの和を考えた際に、各々の生物は総和の最大限まで利用しているが、エネルギーの投資の仕方が種によって異なる説明される。つまり、親が子を養育しない動物では、卵はその生体重において親が生理的に作り出さう限界近くまで産まれる。しかし、親が子を養育する動物では、産卵(仔)数は、養育の度合いと反比例し、養育期間、つまり

親の子に対するエネルギー投資量の短い種では比較的多くの子を一回で産み、養育期間の長い種ほど一回で産卵される子の数は少なくなる。卵においても、産卵個数の多いものほど、一つの卵は小さく、栄養分に欠き、栄養分の多い卵を産むものは、産卵個数は少ない。一般則として、多産のものは無保護であり親による子の保護が強く加わるものほど、少産ということになる。



## 6.4 社会性昆虫

「真社会性 (Eusociality)」というヒトの社会のさらに上に行くような言葉が存在する。アリ、シロアリ、アシナガバチやスズメバチ、そしてミツバチやマルハナバチを社会性昆虫とか真社会性昆虫と呼んでいる。これらの昆虫は強大な巣を作って生活し、巣の中には女王がおり、多数の働きアリ（バチ）や兵アリ（バチ）と言った労働階級が存在し、あたかも一つの巣が一つの国家のように見受けられる生態様式を持つ。また、馴染み薄であろうが兵隊を持つ社会性アブラムシの他に、社会性アザミウマや社会性ナガキクイムシ等も発見されている。一般に、真社会性とは、親と子が共存し、複数個体が共同して子を育て、生殖を行なう個体と（メス、この個体をしばしば女王と呼ぶ）行なわない個体（労働個体）とに分かれている生態様式を言う。

まずはアリの社会を覗いてみる。女王は働きアリから餌をもらい受け、もっぱら産卵のみを行っている。女王は1頭しかいないように思われがちだが、近年アリの世界では一つの巣中に複数の女王がいる種類が結構多いことが分かって来た。そして働きアリは探餌、幼虫の世話、巣の掃除や防衛と言った産卵以外の一切の仕事を行っている。働きア리를詳しく見ると、種によっては頭部が発達してがっしりした個体が混ざっている。これを特に兵アリと呼んでいる。これらの働きアリや兵アリは全て女王が産んだ卵から育ったものである。しかも兵アリも含めてこれらは全てメスである。女王アリは雄雌を産み分ける能力を持っており、通常はメスのみを産んでいる。大量に産み出される産卵能力のないメス個体を働きアリと呼んでいる。さらに、

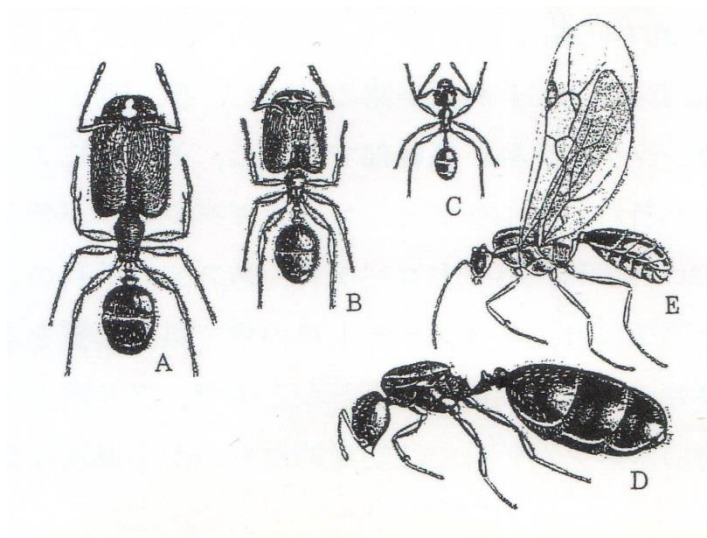


図 6.4.1. 社会性昆虫であるアリ（オオズアリ属 *Pheidole* の一種）のカースト(階級)。A, 大型働きアリ（兵アリ）；B, 中型働きアリ；C, 小型働きアリ；D, メス（女王）；E, オス。労働階級となる働きアリは、ここではさらに大型働きアリ、中型働きアリ、小型働きアリとサブカーストに分かれている。（Wheeler, 1910 より）。



図 6.4.2. 社会生活を営むハチとアリ. A, ナンヨウチビアシナガバチ *Rhopalidia marginata*, カートン製の巣を造り集団で生活する. B, テラニシケアリ *Lasius orientalis* とキイロケアリ *Lasius flavus*, テラニシケアリの女王はキイロケアリの巣に入り込み, キイロケアリの女王を殺し, 巣を乗っ取る一時的な社会寄生を行う. 乗っ取られた巣のキイロケアリの働きアリはテラニシケアリの労働力となるが, 寿命によりどんどん減って行き, やがてはテラニシケアリのみの巣となる.

女王は長命である. 室内飼育の記録では, 女王アリの寿命の現在の世界記録はヨーロッパトビイロケアリ (*Lasius niger*) の 29 年, これに次ぐものがキイロケアリ (*Lasius flavus*) の 22.5 年である. 働きアリの寿命は通常半年程度で長くて 1-2 年である. 以上のことから女王と働きアリの関係は母親とその娘の関係にある.

これがシロアリになると, 一つの巣中に数百万個体が生息していることさえあるが, それでもこれらは全て女王の子供で, しかもシロアリの方は働きシロアリ, 兵シロアリにオスもメスも存在する. つまり女王と労働階級の関係は母親と息子, 娘の関係になる.

働きアリや働きバチには生殖能力がない一方で, 女王はこれらの労働階級なしでは生きていけない. それ故, 働きアリや働きバチは, 個体として独立した形態をしてはいるが, 言わば女王の細胞や組織に該当するもので, いかに巨大なものであっても一つの巣がわれわれ一個体に相当する言う見方も成り立とう. そのような事から, 真社会性昆虫のことを超有機体とか超個体的個体 (Superorganism) ともしばしば呼ばれている. かつて「青い鳥」の作者メーテルリンク (M. Maeterlinck) は, これらのアリやハチの社会に人間の理想の社会を投影させたが, 実際はヒトやホ乳類の社会とは大きく次元の異なるもので, これらの昆虫の社会はどれほど個体数が多くてもせいぜいヒトの 1 家族, 見方によっては一個体に該当するものである. 子供を産まない働きアリ (バチ) がいかに進化して来たかは社会生物学上の大きな研究課題の一つである. 古くは「進化論」のダーウィン (C. R. Dawin) をも悩ませた問題でもある. 社会性昆虫がこの世に存在することによって, 彼の打ち立てた進化論は誤りであるかも知れないと言うほどに影響を与え, 逆に言えば進化論の正当性を証明するためには是非とも解決せねばならない最大の難問の一つであった. ダーウィンの進化論では生存上有利な形質がより多く子孫に伝わって行かねばならない. しかし, 働きアリは通常, 子を産まないのだから, 働きアリの真面目に働く遺伝子

は子孫に伝わらないのである。にもかかわらず働かない女王アリは過去も、そして今もひたすら働く働きアリを大量に生み出している。

ホ乳類の社会と社会性昆虫の社会を比較すると、ホ乳類の社会では、集団を構成する個体の形態は基本的に同じで、かつ、生殖能力を持つ。また、個体の果たす役割は年齢とともに変化する。一方、社会性昆虫の社会では、集団を形成する個体間に極端な形態文化や役割の分業化が見られ、基本的に女王個体のみが生殖能力を持つ。ただし、女王単独での生活は出来ない。同じ「社会」という言葉が用いられていても両者は著しく異なったものである。

## 社会性昆虫の進化

社会性昆虫は、一般的には高度に組織化された集団（コロニー）を構成する、構成個体にカースト（階級）がある、と言った特徴で示される。社会性への進化は系統樹と対応させると、シロアリでは1回進化であろうが、膜翅目では少なくとも12-13系統で独自に社会性を進化させている。

キクイムシやアザミウマでは、これまでのところ社会性の種は1種から数種のみしか知られていないが、アブラムシではヒラタアブラムシ亜科とタマアブラムシ亜科に30種以上で兵隊アブラムシを持つものが知られており、少なくとも複数カ所で社会性の進化が生じたと考えられている。ウィルソン（E. O. Wilson, 1971）は社会性に次の定義を与えた。

- 1) 世代の共存： 親世代の成体と子世代の成体の共存
- 2) 共同育児： 複数の成体が共同してその集団の子を育てる
- 3) 生殖分業： 生殖階級と非生殖階級が見られる

この条件に照合させると、社会性キクイムシのミナミナガキクイムシや兵隊アザミウマは1)から3)の全てを満たし、兵隊アブラムシは1)と3)の条件を満たしていることになる。よって、社会性昆虫を厳しく定義づけている人は兵隊アブラムシには2)が見られない事からこれらを社会性昆虫に含めない。

コバチ科トビコバチ亜科に含まれる *Copidosomopsis tanytmenus* では条件3)を満たしている。この寄生性の種は多胚生殖を行い、幼虫の体内に著しい数の胚ができ、それらの胚が幼虫となって、幼虫の体内から出現する。これらはクローンの関係にあり、これらの幼虫の中に成虫にならず防衛、攻撃に専念する兵隊カーストに相当する個体が見られる。

社会性への進化には以下の進化の道筋が示されている。一つは孤独性から前社会性、そして亜社会性を経た後に真社会性に達したもの。前社会性、亜社会性の用語は、ともにいわゆる家族制である。前社会性は親子の単純な共存段階を持つもので、亜社会性は親子間に造巣や給餌を通じた親密な関係を持つ段階である。もう一つは亜社会性（家族性）から共同巣性、疑似社会性、半社会性を経て真社会性への進化の道である。

## 社会性進化の仮説

真社会性への進化を説明するものとして幾つかの仮説が提唱されている。

### 血縁選択説 (Hamilton, 1964)

遺伝子共有確率で進化を説明しようとする説。血縁関係のAとBがある時、AがBを助けることでBが沢山子孫を残せるなら、A自身は子供を作らなくとも共有する遺伝子を次世代に残せるような行動が進化する、としている。特に「3/4 仮説」と呼ばれ、オスは染色体が半数しかない単数体で、メスは $2n$ の倍数体、つまり単数・倍数性の膜翅目ではメスが非生殖階級として進化しやすいと説明される。アザミウマ目も単数・倍数性であり、兵隊アブラムシでは最初は1個体から集団がスタートすることから血縁度1のクローンである。

### 近親交配説 (Hamilton, 1964)

シロアリ目では雌雄ともに倍数性であることから3/4 仮説は適用されない。シロアリでは王、女王が死ぬと巣内で補充生殖虫が育つ。この補充生殖虫は生き残っている方の親と交配する。このようなことが起こると、血縁度が高まり、血縁選択説と同様の効果が期待できるとされる。

### 親による子の操作説 (Alexander, 1974)

親が自分自身の利益に基づいて、子供の成長を操作して労働個体を作ったとする説。

### 双利的共同説 (Lin & Michener, 1972)

環境が非常に厳しく創巣雌が1頭では子育てを行なえない状況ならば、血縁度が低くても生殖雌が集まった方が有利なら共同する、という説。社会性昆虫全てには適用され得ないが、アシナガバチの多雌性(多女王制)などの説明には重要であると思われる。

真社会性の進化で最も興味深いことは、働き手や兵隊と言った非生殖階級が生まれることだろう。本来生物は自分の子孫を、いかに多く残すかと言う究極の目的を持ちつつ生きている。にもかかわらず、非生殖階級の個体は自分の属する集団(巣や家族)のためにせっせと働き、自分の直接の子孫は全く残さない。もっともこれらの個体にとってみれば女王は自分の母親であり、集団は他人の寄せ集めではなく血縁関係の強い集団である。よって、この血縁集団であるということが重要な生物学的意味を持つことが考えられよう。ヒトを除く動物の世界で、血縁関係のない全くの他者のために労働奉仕をすることはありえないようだが、血縁者である自分の家族のためならば苦勞をいとわないように見受けるケースがしばしば存在する。真社会性を獲得するに至った進化の道筋には色々な可能性が考えられるが、いずれにせよ、家族生活をしてきたアリやシロアリの祖先に何らかの特殊な生態的圧力が加わり、例えば天敵の蔓延とか食糧事情など、その圧力から脱却する術として、家族集団中に非生殖階級を作り出して切り抜けたことが真社会性進化の一つの仮説として考えられ得るだろう。

### 兵隊アブラムシの系統進化

アブラムシ類の中には、自らは生殖に関わらず、捕食者からの血縁者の防衛を専ら行なう兵隊カーストを持つ種が存在する。これらの兵隊カーストは、ヒラタアブラムシ亜科で少なくとも10回、タマワタムシ亜科で少なくとも7回独立に進化したと考えられている。他に、繁殖を終えたメス個体が虫こぶの巣口に集まり、兵隊として巣を守るものも発見されている。

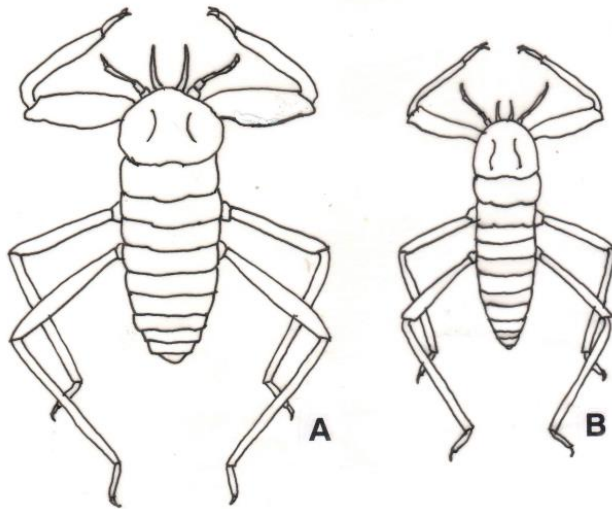


図 6. 4. 3. 社会性アブラムシ(アレキサンダーツノアブラムシ *Pseudoregma alexanderi*). A: 兵隊型幼虫, B: 普通幼虫.

## 第7章 人と昆虫

### 7.1 家屋・衛生害虫

医学，衛生学面で人との関わりが強い昆虫類が存在する．これらを特に衛生動物，あるいは医動物と呼び，一般に病原微生物を媒介するもの，吸血動物，外部寄生動物，有毒動物，アレルギーとなる動物に整理することができる．ただし衛生動物には，疫病と直接関わらないものも含め，心理的不快感・嫌悪感を与え，心理的に悪影響をもたらす不快動物(nuisance and disgusting pest)や，衣類，家具，住居の害虫(household pest; 家屋害虫) と貯蔵食品害虫(stored-product pests)も含めて取り扱う場合もある．これらの他に，アメリカシロヒトリのような，景観を損なう緑地害虫や，ユスリカ，ハエ，アリなどの工業製品への異物混入となり経済的被害を与える産業害虫も存在する．

#### 病原体媒介昆虫

カ，ハエ，ゴキブリ等は，病原微生物を運搬し，伝染病を広げる重要な衛生害虫として位置付けられている．

日本では戦後しばらくの間，カによる日本脳炎が流行したため，カの駆除が政府挙げての課題であったが，ごみ処理施設や下水道の整備によりハエやカは以前に比べれば随分と減り，ゴキブリに関心が移った感がある．それでも，吸血昆虫として羽音がするアカイエカ，冬でも刺されるチカイエカ，コガタアカイエカ等が見られ，家屋の蓄熱効果により，最近では冬でもヒトスジシマカが発生するようになった．また，ハエも一定頻度で家屋に侵入してくる．

以前は汲み取り式便所であった日本では，そこを歩くゴキブリの病原微生物の媒介が問題となっていたが，今日の下水道事情の変化により，ゴキブリの体表の方が，ヒトの体表よりも細菌数が少ないと言う結果まで出ている．しかし，病原性大腸菌やサルモネラ菌等による集団食中毒の原因として，ゴキブリの可能性が指摘される場合もある．これらの食中毒は7月をピークに，6-9月が多い．本州で家屋性のゴキブリは，クロゴキブリ，チャバネゴキブリが中心で，他に在来種のヤマトゴキブリが見られる程度である．沖縄ではワモンゴキブリやコワモンゴキブリ等が見られる．

チャバネゴキブリでは一年中活動し，成虫の寿命は130日前後．20-40日間隔で3-10回の産卵を行い，一生の内に1,000個以上の卵を産む．卵は3-4週間で孵化し，2ヶ月前後の間に5回の脱皮を行って羽化し，成虫となる．クロゴキブリでは，成虫の寿命は4-5ヶ月．メスは2-7日おきに平均17回程産卵し，1回の産卵で300個程の卵を産むことから，一生の内に5,000個もの卵を産む．

イエバエ，ヒロズキンバエ，オオイエバエ等が人家周辺に多く見られる．人社会の中での生ごみを中心とした廃棄物に依存しており，時として大発生も見られる．ゴキブリやハエは，細菌類

を運ぶことで古くから衛生害虫として身近な存在だが、駆除は難しい。今日のゴキブリもハエも、殺虫剤に強い抵抗性を持つ薬剤耐性を身につけているからである。

世界に目を向けると、今日地球温暖化によって、マラリア感染地域が拡大することが危惧されている。マラリアはハマダラカ属 *Anopheles* のカによって媒介される。ハマダラカ属は、世界におよそ 460 種が知られている。そのうちおよそ 100 種がヒトにマラリアを媒介できるが、一般にマラリア原虫をヒトに媒介しているのは、その内の 30-40 種である。大気の CO<sub>2</sub> 濃度が 2 倍になり温暖化が促進された場合、マラリアが流行可能な地域は地球全体の 10-30% 増加し、流行危険地域の居住人口は約 5 億人増加し、5000 万~8000 万人も感染者が増加すると予測されている。日本でもマラリア流行の危険が生じる。ツェツェバエが媒介する睡眠病やデング熱ウイルスを運ぶネッタイシマカにおいても同様である。近年、地球温暖化でツェツェバエがアフリカ南部にも生息域を広げるため、睡眠病患者が新たに数千万人増える恐れがあるとする研究効果が報じられている。デング熱では、海外で感染して帰国後に発症する例が、年々増えて来ており、2010 年には 200 件余りが報告された。予防ワクチンや治療薬は今のところない。また、ウイルスの運搬者（キャリアあるいはベクター）であるネッタイシマカを駆逐する試みも行われているが有効な手だてはない。

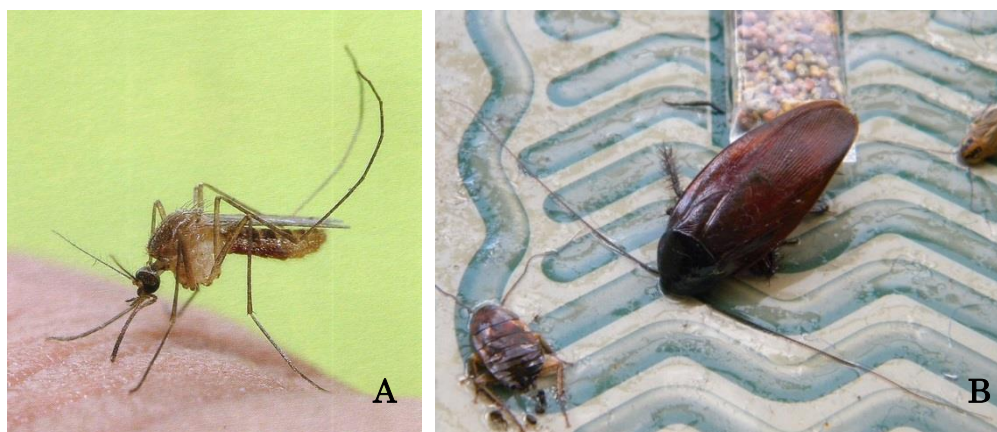


図 7.1.1. A, マラリアを媒介するハマダラカ *Anopheles* の一種; B, 家屋に生息するクロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa*. 右隅には世界共通種のチャバネゴキブリ *Blattella germanica* が見られる。

### 吸血昆虫

カによる被害が多く、近年では、都市域の蓄熱効果のためヒトスジシマカやチカイエカのように冬でも成虫の活動が見られ刺される被害が出るようになった。

ノミでは、昔はヒトノミやイヌノミが多く見られた。しかし、衛生環境の著しい改善により日本ではヒトノミは全く見られなくなり、また、野良犬の淘汰によりイヌノミもほとんど見られなくなっている。現在のノミの被害のほとんどがネコノミによるノミ刺症となっている。スナノミは年米起源のノミで、例外的にヒト及びブタやイヌ等の皮下に潜り込んで生活する。通常時の体長は 1mm ほどで、オスは吸血するとヒトの体から離れるが、メスは交尾後、足の裏や爪の下等に

潜り込む。吸血したメスの腹部は膨大化し、直径 6 mm ほどの豆粒状となり、その後産卵を行う。現在、アフリカからインドにかけて分布を広げ、さらに海外旅行先で本種の寄生を受けるヒトも出ている。

アタマジラミの被害は、戦後の衛生環境の向上によって、減って行ったが、1980 年代を最小値として、その後増えて行き、現在に至っている。海外への旅行者の増加と対応しており、海外で感染を受け、国内に持ち込むことが頻発していることによる可能性が高い。「ナンキンムシ」の名で知られたトコジラミも近年被害が増えつつある。日本では 1964 年頃を境に被害が減少をたどり、1970 年代以降はほとんど見かけなくなっていた。ところが、近年になり発生例が相次いでいる。ホテルや旅館で宿泊客が刺される被害があり、保健所への相談も急増している。昼間は室内の物陰に潜み、夜になると活動し人の体液を吸い取る。刺された後は非常に痒い。

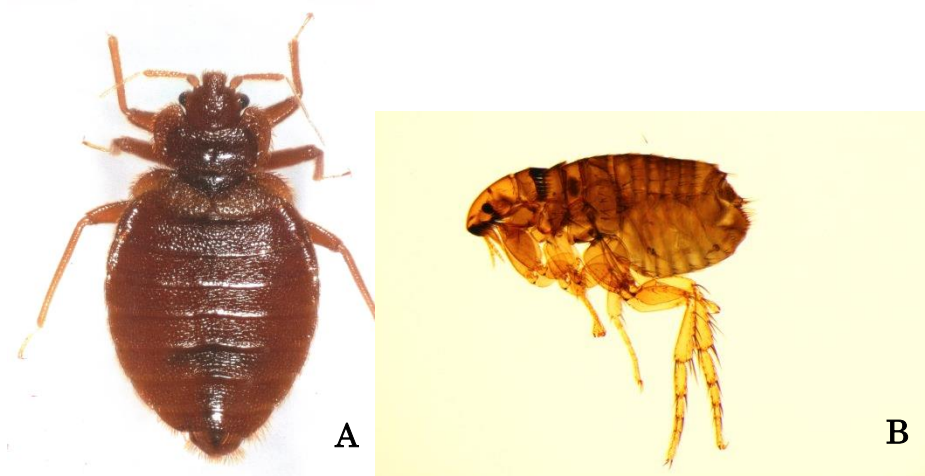


図 7.1.3. A, トコジラミ *Cimex lectularius*. B, ヒトノミ *Pulex irritans*; 日本では絶滅危惧種となっている。ヒト以外の哺乳類や鳥類からも吸血する。

### アレルギー動物

家屋のアレルゲンとして最も問題となるのが、ダニである。アレルギー疾患との関連では、ハウスダストのダニがアレルゲンとなることが多い。ダニは家屋のどこにでもおり、特に絨毯や布団等に多い。平均的な家庭で 1g 中のチリの中に 1000 匹ほどのダニが見られ、布団の中に 8,000 - 1 万匹もいると言われている。これが、ダニの被害のある家では、1g のチリ中に 3000 - 1 万匹のダニが検出される。気管支ぜんそくやアレルギー性鼻炎患者の 3/4 はハウスダストによるものとされ、アトピー性皮膚炎との関連も高い。その他、家屋のダニでは、イエダニやツメダニによる刺症が見られる。畳が発生源である場合が多く、かつ築後 2 - 3 年目の新しい住宅に多い。畳に含水量が多く、ダニが増えるからである。

昆虫類でアレルゲンとなりやすいものとして、ユスリカとゴキブリが挙げられる。小児喘息の 1/3 はゴキブリがアレルゲンとなっているとする報告がある。



## 有毒昆虫

有毒動物として、毒針を持つアシナガバチやスズメバチの他、体に有毒物質を持つアオバアリガタハネカクシ、イラガ、ドクガ、カミキリモドキやツチハンミョウ等が挙げられる。

アオバアリガタハネカクシはペーデリンと言う有毒成分を体内に持ち、つぶすとペーデリンにより「線状皮膚炎」が生じる。ツチハンミョウやマメハンミョウ、アオカミキリモドキ類ではカンタリジンと言う有毒成分（マメハンミョウは漢方では薬として用いられ、微量であればイボ取り、膿出しなどの外用薬や、利尿剤などの内服薬として用いる）を持ち、体液が皮膚に付くとやけどのような「水疱性皮膚炎」を起こし、ひりひりと痛む。

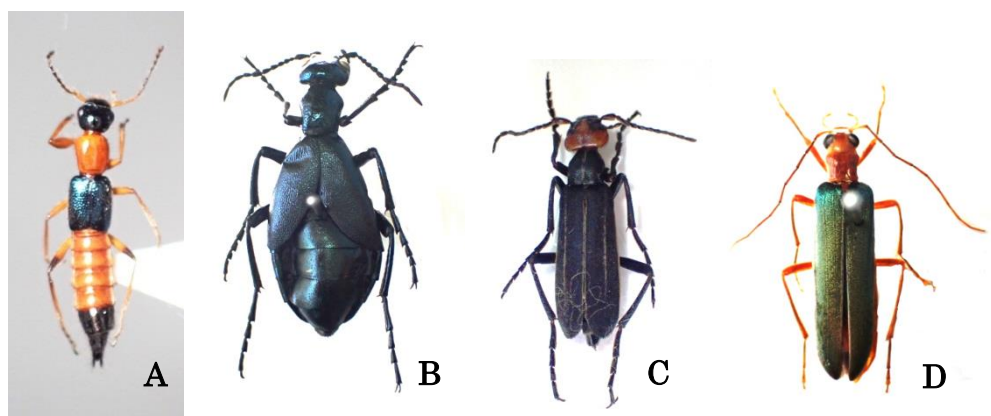


図 7.1.4. 有毒昆虫の例. A, アオバアリガタハネカクシ *Paederus fuscipes*; B, ヒメツチハンミョウ *Meloe coarctatus*; C, マメハンミョウ *Epicauta gorhami*; D, アオカミキリモドキ *Xanthochroa waterhousei*.

ハチ刺症により毎年、30–50名の死者が日本に出ている。毒へびのママシに咬まれて命を落とす人は年間10名程度(4-18人/年, 平均12人/年)であるから、スズメバチやアシナガバチによる被害は侮れない。亡くなった方はほとんどの場合、ハチ毒に対するアレルギー体質であり、アレルギー反応によりアナフィラキシーショックを引き起こしたことが原因である。特にスズメバチは毒量が多く、アレルギー体質でなくとも刺されると数日は刺された場所周辺が腫れる。巣が近くにある場合は、巣の防護のため、攻撃性が高く危険である。特に黒色部分に反応することが知られており、頭部周辺の頸動脈を刺されないためにも、低い姿勢を保ち、早く巣から離れた安全な場所へ避難するべきである。ハチ毒に対するアレルギー体質のヒトの頻度はおよそ5%である。自身の体質を把握したい場合、医院に申し出てハチ毒に対する抗体検査（ハチ毒アレルギー検査）が可能で、アシナガバチ、スズメバチ、ミツバチの3群の検査が可能である（RAST法：放射性アレルギー吸着試験による特異的IgE検査）。さらに、これらのハチ毒に対するアレルギー体質のヒトは、ハチのいる可能性のある野外に出かける時には、アナフィラキシー症状に対する第一選択薬であるアドレナリン（エピネフリン）筋肉注射が自身で可能なエピペン（エピネフリン（アドレナリン）自己注射剤）を携帯すると良い。

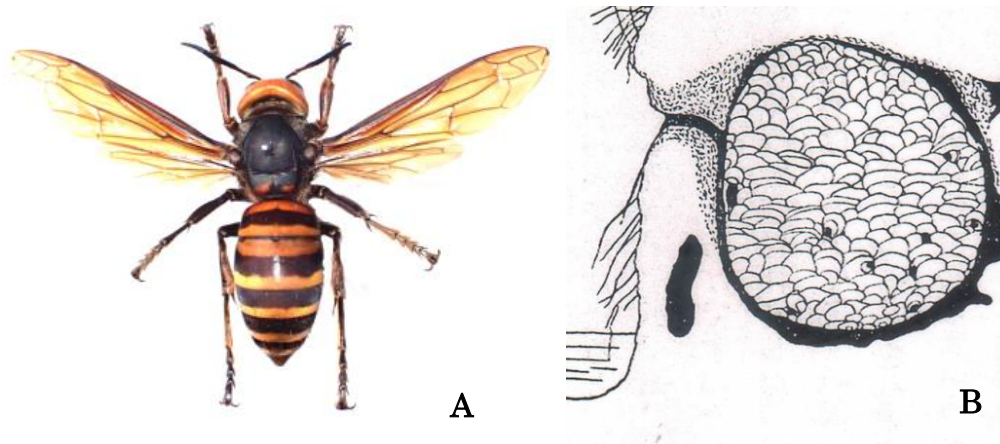


図 7.1.5. スズメバチ. A, オオスズメバチ *Vespa mandarinia*, (女王); スズメバチ類の中で世界最大種; B, クロスズメバチ *Vaspula lewisi* の巣; 土中に巣を造る.

### 家屋害虫

家屋や家財に被害を与えるシロアリや衣類に被害を与えるイガ等が存在する. シロアリは熱帯地域種数が多く, 熱帯での被害は特に甚大である. シロアリの食害により木造建築物の柱脚, 小屋裏, 基礎などに被害を与える. 日本では畳にも被害が及ぶ. また, 文化財建造物の柱や壁, 調度品などに対しても蟻道を作ったり, 木材の隙間などにシロアリが土を詰めたり, 盛り上げたりして汚染する. 日本に棲む 18 種のシロアリの内, 建築物の建材を加害するのはヤマトシロアリ, イエシロアリ, アメリカカンザイシロアリ, ダイコクシロアリ, タイワンシロアリの 5 種で, 特にヤマトシロアリとイエシロアリが大きな被害を与える.

食品工場や倉庫, 一般家庭にも発生し, 食品害虫・貯穀害虫として被害が多く問題になる種として, タバコシバンムシやジンサンシバンムシが挙げられる. シバンムシ類では, 食品以外に発生するタイプも存在し, フルホンシバンムシやザウテルシバンムシは書物を穿通し, 孔だらけ

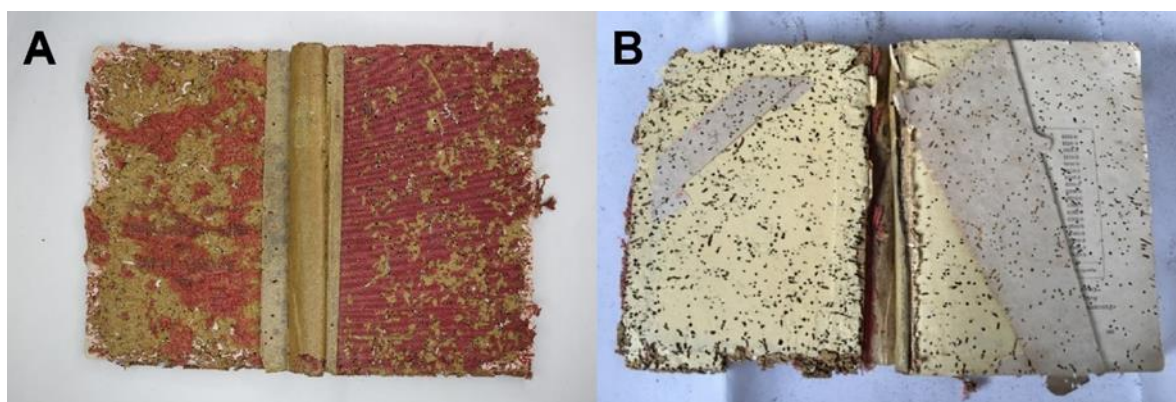


図 7.1.6. ザウテルシバンムシ *Falsogastr allus* によって孔だらけにされた書籍. (Ho et al., 2020 より).

にする。ケブカシバンムシでは、絵画や屏風等を加害する。書籍害虫としてシミ、シバンムシ、ゴキブリ等が挙げられる。ヤマトシミは古い書籍の表面を地図状にかじり取る被害を与える。小麦類やパンにも集まる。

#### **貯蔵食品害虫**

以前は貯蔵動植物に集まる昆虫類は多く見られたが、梱包の厳密化によって近年少なくなった。米に集まるコクゾウムシ、豆に集まるアズキゾウムシ、乾麺に集まるヒョウホンムシ類やシバンムシ類が見られる。ヒョウホンムシは雑食性であるが、シバンムシ類は基本的に植食性である。ヒョウホンムシは名の示す通り、昆虫や動植物標本を食い荒らす害虫でもあり、博物館や大学、その他の標本所蔵施設で特に留意すべき害虫である。食品工場でのこれらの昆虫の混入は、製品の回収が生じる場合があり、混入物防止のために厳重な体制が採られている。

## 7.2 外来種問題

生物種絶滅の最大の要因は、何と言っても生息地の破壊にある。熱帯林の破壊や海洋汚染、さまざまな開発行為等により環境が攪乱され生物多様性が危機に陥っている。私達の身近な環境も大きく変わり、単純な生物相へと変化して行った。今日、保護地域の面積は増加しつつあるが、それでも世界の陸地面積の6%強と言うところである。

さらに、外来種問題がここ十数年来クローズアップされて来た。これまで動物の分布を規定していた地理的障壁が、現在の高速かつ大量輸送と言う人間活動の前では障壁ではなくなり、世界規模で多くの生物の人為的移入が見られるようになってきている。貿易の自由化、輸送手段の規模拡大と高速化、さらに人口増加による攪乱環境の増大により、外来動物がますます増大して行く事が危惧されている。そして、生物多様性を損なう最大の要因は、今世紀では外来生物の侵入が環境破壊に代わって重要化するであろうとまで言われるようになって来た。これらの生物の侵入は世界的な生物相の均質化と多くの土着種の絶滅による多様性の貧困化を引き起こすことが予測されている。従来、侵入害虫による農作物や森林資源に対する経済的被害のみが注目されていたが、侵入害虫の生物多様性への負の影響も甚大であり、憂慮すべき問題である。

日本においても、北海道から鹿児島、そして小笠原諸島にまで分布を広げて被害を与えているアメリカシロヒトリや、マツ枯れの原因でマツノマダラカミキリが媒介するマツノザイセンチュウ等、日本への侵入種の著しい被害例も少なくない。明治(1868)以降、日本に入った外来昆虫は420種以上も挙げられている。外来の脊椎動物では、ホ乳類で28種、鳥類39種、ハ虫類13種、両生類3種と言った数字が掲げられている。

近年になっても、外来種の侵入、定着が止まらない。タイワンタケクマバチは2006年に愛知県で発見され、その後急速に各地に分布を拡大し、現在(2021年)兵庫県や京都府、石川県、長野県等から報告されており、2020年には埼玉県からも報告され、各地で急速に分布を拡大している。本種は、枯竹に営巣する黒色のクマバチで、竹材か竹製品に付帯して日本に侵入したと推定されている。インドから中国南部、台湾にかけて広く分布する種であるが、分子系統解析の結果、日本に侵入したものは中国個体群であることが判明している。2012年に対馬で発見されたツマアカスズメバチは、壱岐、九州本土、本州と次々と発見されている。巨大な巣を高木の10m以上の場所に造り、秋には一つの巣から1000個体以上の新女王が生産される。クビアカツヤカミキリは、2012年に愛知県で最初の被害が確認された外来のカミキリである。ただし、成虫は2011年に埼玉県で得られている。高い繁殖力を持ち、サクラやウメ、モモなどに寄生し、幼虫が木の中を食い荒らし、樹木を弱らせ枯死させる。現在、特定外来生物に指定されているが、現在、北関東や近畿地方等で分布を急速に拡大させており、11都府県に分布を拡大させている。ムネアカハラビロカマキリも、2010年に国内で初めて確認されたカマキリで、中国原産の外来種と考えられる。当初は岐阜県、愛知県、兵庫県と言った関西から報告されていたが、国内では最初に2010年に福井県で確認され、2016年に東京都と神奈川県で記録され、2017年には埼玉

県でも報告された。本種は、種の学名が決定されていない。在来の同属種に対して強い侵略性を有することが明らかになっている。また、中国やベトナム原産の外来種のセミが、2016年頃から埼玉県川口市で見られるようになった。幼虫は竹から栄養分を摂取して育ち、成虫も竹林に多いことからタケオオツクツクの和名が与えられている。埼玉県の他、神奈川県や愛知県でも得られている。日の暮れる30分ほど前になると竹林から一斉に鳴き出す。

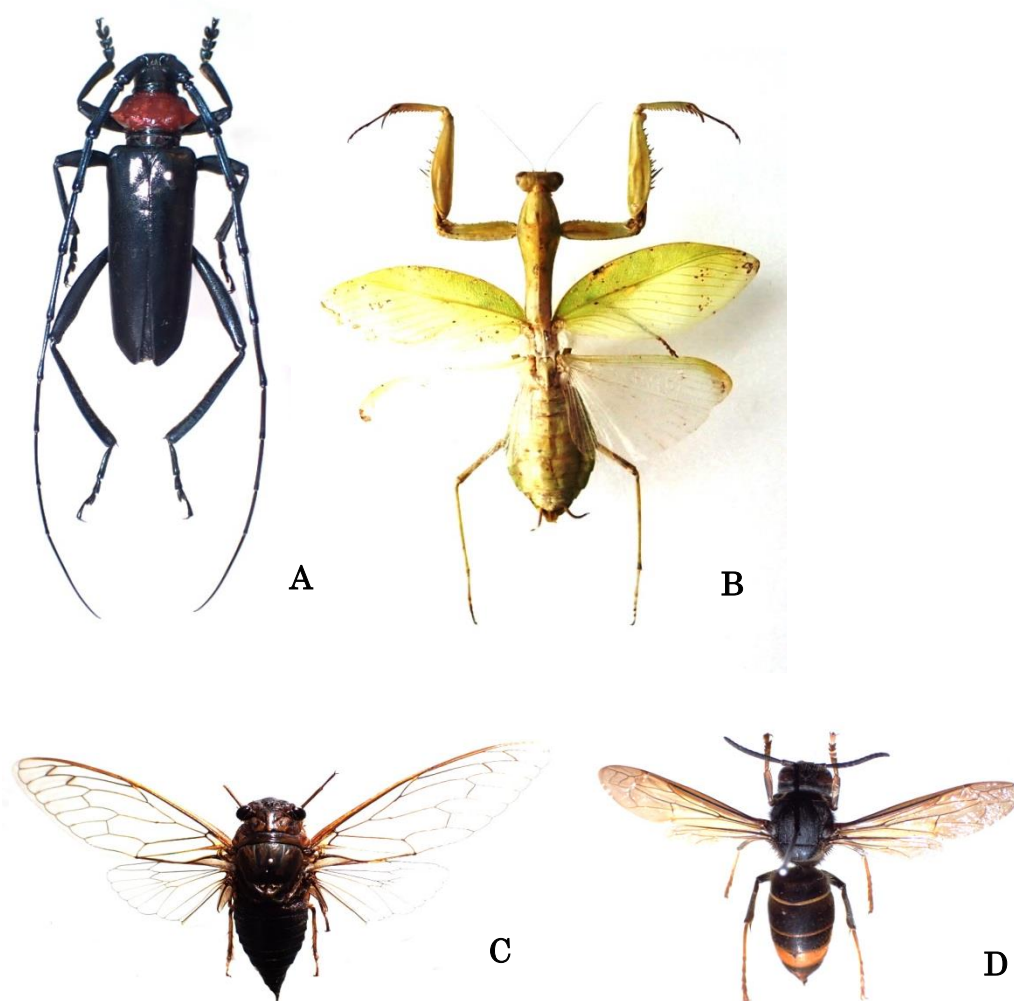


図 7.2.1. 近年日本に侵入した外来昆虫. A, クビアカツヤカミキリ *Aromia bungii*; B, ムネアカハラビロカマキリ *Hierodula* sp.; C, タケオオツクツク *Platydomia pieli*. D, ツマアカスズメバチ *Vespa velutina*.

#### 侵入する医動物

医動物では、人類の交易の発達に伴って世界中に分布を拡げたチャバネゴキブリやワモンゴキブリは著名である。地球規模での物質の移動は、その国には生息しない多くの生物の存在をゆるすことになり、ワニやカミツキガメ、大型のサソリ、毒ヘビ等が次々と野外で発見され、医療従事者を困惑させる事にもなっている。

ヒトに直接被害を与える猛毒のセアカゴケグモやハイイロゴケグモが国内に定着し、セアカゴケグモに至ってはほとんどの県から報告されている。台湾や中国南部に侵入し、被害を与えているアカヒアリは、もともと南米の熱帯・亜熱帯に生息する種である。北米ではファイアーアント（火アリ）と呼ばれ恐れられている。1920年代に船により北米に侵入し、以降ヒトや家畜を攻撃し、重度のアナフィラキシーショックを起こさせる。北米では、本種の刺咬被害により年間8万人が病院で手当を受けている。日本への侵入が激しく、定着も時間の問題となっている。アカヒアリの近似種であるアカカミアリは、すでに硫黄島に侵入、増殖し、被害を与えている。

### 侵略的外来アリ

アリ類は、物資に付帯した移動が頻繁になされる動物群の一つである。日本国内でも40種以上もの外来アリが生息している。毎年、日本初記録となる種が港湾部を中心に発見されており、今後も海外からの侵入種が得られて行くものと思われる。

外来種の中で、我々の生活に直接被害をもたらす、生態系を大きく破壊する種を特に「侵略的外来種」と呼んでいる。国際自然保護連合（IUCN）による「世界の侵略的外来種ワースト100」にはアリ類が5種も入っており、アカヒアリ（ヒアリ）の他にコカミアリ、アルゼンチンアリ、ツヤオオズアリ、アシナガキアリが掲載されている。Holway et al.(2002)による「世界の侵略的外来アリワースト6」では、前5種にアカカミアリ（ネッタヒアリ）を加えた6種がとりわけ侵略性が高いとされている。これら6種の内、アカヒアリとコカミアリを除いた4種は日本にすでに定着しており、アカヒアリも定着の危機的状況にある。

2005年6月に施行された「特定外来生物による生態系に係る被害の防止に関する法律（通称：特定外来生物防止法あるいは外来生物法）」では、アカヒアリ、アカカミアリ、コカミアリ、アルゼンチンアリの4種が特定外来生物に指定されており、さらに国内に定着しているアカカミアリとアルゼンチンアリの2種は、2015年に「緊急対策外来種」に指定されている。2020年には、アカヒアリとアカカミアリを含むヒアリ類23種の全てと、生態系攪乱を引き起こし、家屋害虫ともなりうるハヤトゲフシアリが特定外来生物に加わった。世界的に見た場合、これらの侵略的外来アリの中でも、アカヒアリの被害は格別に大きく取り分け注意すべき種であろう。

### アルゼンチンアリ

「世界の侵略的外来種ワースト100」の他、「世界の侵略的外来アリワースト6」、日本生態学会による「日本の侵略的外来種ワースト100」にも掲載されている世界的害虫である。多女王制で高い増殖力を持ち、盛んに行列を作って地表活動を行う。また、数多くの分巢を作って巣を広げ、巨大なコロニーとなる。

アルゼンチンアリはその名の示すとおり、南米原産のアリであるが、ここ100年の間に人類の交易に付帯して分布を拡大し、すでに北米、ハワイ、南アフリカ、オーストラリア、ヨーロッパの地中海地方に侵入、定着を果たしている。各国で侵入害虫として様々な問題を引き起こしている。本種は農業害虫、家屋侵入・衛生害虫であるとともに環境攪乱を引き起こし、侵入地域の

生物相を大きく変えてしまうことが報告されている。農業害虫としては農作物の害虫であるアブラムシやカイガラムシを保護することや、果実を含む植物体を傷つける、果実に来襲する、さらには種子を盗み取ることが知られている。また、頻繁に家屋へ侵入し食品に群がる等の不快昆虫となっていると同時に、病原微生物（特に細菌類）の人への媒介者ともなり、特に病院内への本種の侵入は院内感染を引き起こす危険性を持ち問題とされる。さらに、本種が侵入すると、そこに生息していた昆虫やクモ等の無脊椎動物の種数が著しく減少すると言った生態系の攪乱が引き起こされる。

日本では1993年に広島県廿日市市で最初に発見され、近年、広島県の他地域や、山口県、兵庫県、さらには愛知県での生息が認められている。確実に本土での分布が広がりつつある。本種による侵入地域の生態系への影響は重大で、在来の動物相は甚大な影響を受けると同時に、捕食者や送粉者、種子運搬者の減少により植物への影響も危惧される。

国内においても、本種による生態系攪乱の実態の一部が幾つかの調査で示されている。本種が優占する場所では、ほとんどの在来のアリの種が駆逐され消失していた。本種の侵入により、土着生物に著しい被害が及ぶ事は海外でも多く報告されており、その影響は植物から鳥や小形哺乳類にまで及んでいる。



図 7.2.3. アブラムシに集まるアルゼンチンアリ *Linepithema humeli*.

#### アカヒアリ

最悪の侵略的外来種である。そのため、水際で侵入、定着を食い止めるための動植物検疫の強化や港湾でのモニタリングシステムの設置が必要である。また、法制上の整備も重要課題である。

本種は、ピペリデン・アルカロイド系の猛毒を持ち、人や家畜への刺咬被害が著しい南米原産の侵略的外来種である。本種の被害は衛生害虫、畜産害虫に留まらず、農業害虫、生態系攪乱者、そして機械故障を引き起こす有害生物としてさまざまな被害を北米各地で与えて来た。アカヒアリの最大の被害国のアメリカ合衆国では現在、年間 6000-7000 億円の被害が生じている。オー

ストラリアのアカヒアリによる被害額は年間 1400 億円とされ、近年の対策費は年間約 25 億円で、15 年間で約 270 億円の国費が投入されている。中国では広東省のみでも年間 150 億円以上の対策費用が捻出されていると聞いている。台湾でも十数年間で約 36 億 5000 万円の防除費用をかけたが、根絶はおろか封じ込めにさえ成功していない。そのために、“白花(無駄な出費)”という行政判断が下り、2004年の防除対策費が5.8億円であったものが、2017年は7700万円(1922万台湾元)で、わずかに約 1/10 の予算にまで減じられてしまった。

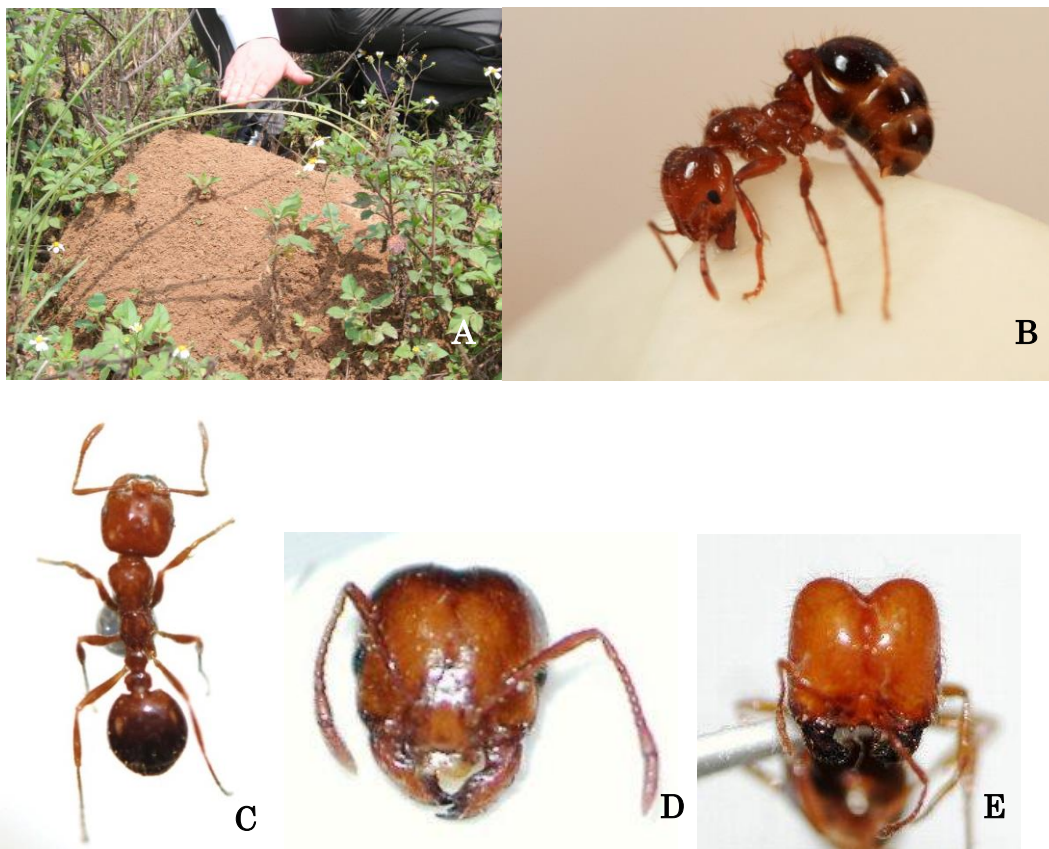


図 7.2.4. アカヒアリ *Solenopsis invicta* とアカカミアリ *S. geminata*. A, アカヒアリの巣; B, アカヒアリ; ホ乳類を刺す場合、まず大あご噛みつき体を固定させ、その後刺針を突き刺す; C, アカヒアリ, 大型職蟻, 背面; D, アカヒアリ, 大型職蟻, 頭部; E, アカカミアリ, 大型職蟻, 頭部

本種の世界各地への分布拡大は、主に船舶貨物に附随してのものである。木材や植物、食料品コンテナ、建築材、家内製品などに紛れ込んでの侵入である。それらに加えて、航空貨物が運搬媒体として重要視されている。実際に、台湾への侵入やニュージーランドへの侵入は航空貨物経由である。そして、侵入・定着先を起点にして、さらに地域内の交通網に付帯することで、二次的、三次的に分布を拡大し、著しく生息域を広めて行く。この分散様式を人為的長距離移動(Long-distance jump dispersal)、あるいは跳躍的分散(Jump dispersal)と特に呼んでいる。

合衆国ではとりわけ南部を中心とした各地で刺咬被害が多く出ており、毎年8万人以上もの人



が病院で手当を受けている。そのため日本では現在、アカヒアリに刺された際の人体への直接的な被害に焦点が行きがちである。しかし、人への直接的な被害に加えて、その危険性により、多くの施設や敷地が使えなくなることによる被害も甚大である。さらに、農畜産業への被害や、電化機器への被害等の経済的被害や生態系攪乱者としての問題も大きい。観光地でアカヒアリが蔓延した場合の被害総額の試算がある。ハワイでは、年間 253 億円(2007 年資料)の被害が予想され、沖縄では年間 438 億円(2019 年資料)もの被害が予想されている。

アカヒアリの侵入・定着は、我々の日常生活を著しく不便にさせ、アカヒアリに対応した生活様式を採らざるを得なくなる。アカヒアリは、我々の社会の様々な部分に入り込んで広範に被害を与える生活破壊者、社会破壊者である。

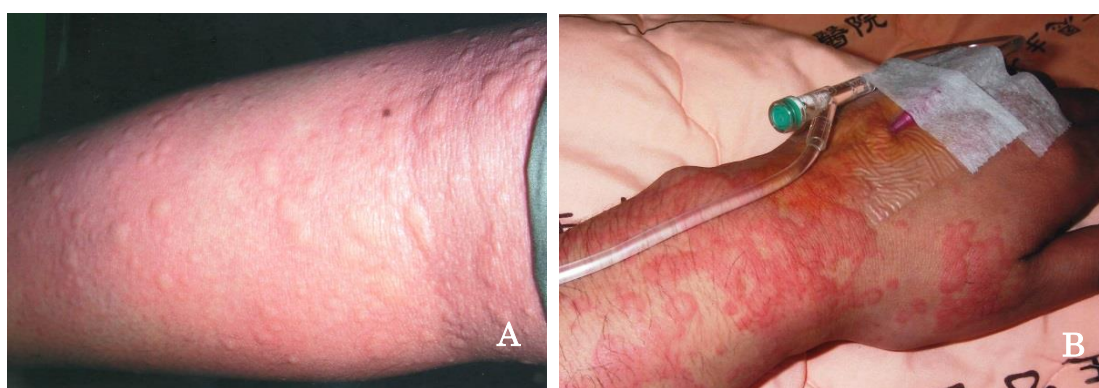


図 7.2.5. アカヒアリによる刺咬被害. A, アカヒアリによる刺咬後に生じた全身症状(30 分後); B, 24-72 時間後に見られる大紅斑(個人差あり).

### アカカミアリ

北米南部から中米、南米北部が原産地であるアカカミアリの分布拡大は古く、16 世紀から、船舶の物資の輸送に便乗し広く世界の熱帯・亜熱帯に分布を広げて来た。現在、北米から南米、オセアニア、東南アジア、南アジア、西アジア、ヨーロッパ南部、フリカ、マダガスカル、オーストラリアと広く生息し、農畜産害虫、衛生害虫、そして生態系攪乱者としてさまざまな被害を各地で与えている。

日本では、火山列島の硫黄島(中硫黄島)、南鳥島、そして琉球列島の沖縄島と伊江島(現在は確認できず)に侵入している。いずれも、米軍の輸送物資に紛れての日本への侵入と思われる。特に硫黄島では現在、本種がアリ類の最普通種となっており、硫黄島基地の多くの自衛隊員が刺咬被害を被っている。沖縄島では個体群密度の増加は見られないが、1996 年に本種に刺された米兵が致命的に近い強度のアナフィラキシーショックを引き起こし、合衆国のアレルギー疾患に対応できる陸軍医療センターに緊急輸送されると言う事件が発生している。

刺咬による症状は、アレルギー体質でなければ本種よりも後述のアカヒアリの方がより強く出る。一方、生態系攪乱の強さは Holway et al. (2002)の指摘のとおり、世界に分布を広げたアカカミアリの方が大きいであろう。



図 7.2.6. アカカミアリ *Solenopsis geminata* (大型働きアリ).

#### ハヤトゲフシアリ

本種は“Browsing ant”と呼ばれ、小型であるが攻撃性が高く、在来アリを集団で次々と襲う“アリ食いアリ”である。アリのみならず、他の昆虫類や節足動物も襲い、重大な生態系攪乱者とみなされることから、オーストラリアでは侵略的外来アリとして厳重な注意がなされている。日本では 2017 年 7 月に名古屋港から最初に発見された。その後、東京港、大阪港、博多港、鹿児島県志布志港と次々に侵入が確認され、2019 年には横浜港から発見され、2020 年には沖縄の那覇港でも巣が発見された。2020 年に特定外来生物の対象種に指定された。

本種は、ヒアリ類のようなヒトへの直接的な被害はないが、日本に定着し、分布を拡大させた場合、アルゼンチンアリのような強力な生態系攪乱者となる可能性がある。同時に、農作物への影響も考えられ、農業害虫としても位置づけられ得る。とりわけ本種は、アブラムシやカイガラムシを強く保護し、そのために増殖したアブラムシ等により農作物や園芸植物、さらに自然植生に影響が出て来る。生態的にアルゼンチンアリに類似していることから、本種が住宅地で発生した場合、頻繁に家屋への侵入を受けることも考えられ、家屋害虫としても注意すべきであろう。



図 7.2.7. ハヤトゲフシアリ。働きアリ。

### ツヤオオズアリ

学名が *Pheidole megacephala* で、種限定語は兵アリの大きな頭部に由来する。英名を **big-headed ant** と呼び、アフリカ原産(特にマダガスカル)と言われている放浪種で、人類の交流に伴って分布を拡大し、現在では世界中の熱帯、亜熱帯に分布している。18世紀から19世紀中に船荷に付帯して世界に分布を広げた模様で、ハワイへは19世紀中には侵入している。働きアリに大小二型があり、兵アリ(大形働きアリ)の頭部はつやつやと黒光りをしている。多女王制で分巢で増える。19世紀中に船荷に付帯して世界に分布を広げた模様で、ハワイへは19世紀中には侵入している。

日本では1973年の沖縄瀬底島からの記録が初出となる。1970年代では分布は沖縄本島までで、奄美諸島には見られなかった。奄美諸島への侵入は本種の分布状況から近年と推定され、奄美大島、徳之島、沖永良部島ともに局所的分布している。ただし与論島では海岸で優占種となっている。本種は、乾燥した場所に多く見られ、海岸付近や都市域の公園等で他のアリの撃退し、生態攪乱が危惧されている。多くの昆虫やクモ類等の無脊椎動物を襲い、生態系に深刻な影響をもたらす。本種の侵入によって、絶滅したあるいは個体群密度を著しく低めた動物の例は多い。在来他種アリとも競合し、排除、駆逐する。また、本種は雑食性で、種子を餌として運ぶ直接的効果や、アブラムシやカイガラムシ類を保護することによる間接的な効果により、農作物へ被害をもたらす。2000年に小笠原群島の父島(清瀬)から初めて報告されたが、その後著しく分布を拡大させ、さらに母島にも侵入した。母島の自然林では、小型の陸産貝類が本種の捕食により甚大な被害を受けていることが判明している。さらに、南大東島にも侵入し、増殖している。これらの地域には、島固有種も見られ、かつぜい弱な大洋島である事からも、生態系への影響が心配される。

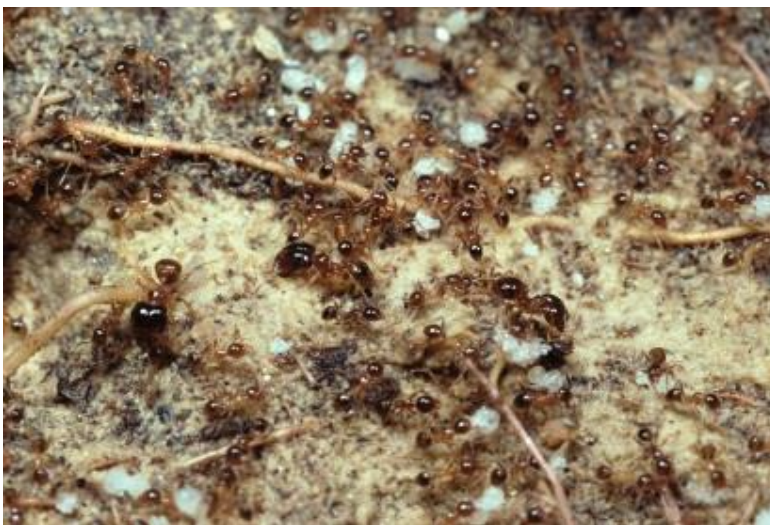


図 7.2.8. ツヤオオズアリ *Pheidole megacephala*.

### アシナガキアリ

英名を *crazy ant* と呼び、頻繁に家屋に侵入し、長い脚で素早く動き回る。 *Anoplolepis* 属はアフリカの属であることから、本種は熱帯アフリカ起源が主張されていた。近年の分子系統解析の結果では、熱帯アジア起源の可能性が高い。ハワイへの侵入は太平洋戦争後で、戦前は生息していなかった事が判明している。現在、太平洋の島々に広く生息しており、農業害虫、家屋害虫となっている。本種は侵入地で多くの無脊椎動物を襲う他、鳥、ハ虫類、トガリネズミのような小型哺乳類をも攻撃し、個体群密度を減じさせている。1972年頃に本種が侵入したアフリカのセーシェル諸島では、鳥類やハ虫類の生息が本種によって大きく妨害されている。ハワイの本種の侵入地域では、クモ類が捕食等により駆逐され全く見られなくなっている。本種はアシダカグモのような大型のクモでも平気で襲う。インドネシアのスマトラ島の南方にあるクリスマス島(オーストラリア領)では、本種がカニに群がり、カニの個体群を激しく減少させてしまった。さらに、カニが少なくなった事で、植生が大きく変化してしまった。日本での初出は1929年で沖縄島からの記録である。沖縄では現在、道路脇の草むら等にごく普通に見られる。近年、四国からも発見され、名古屋の動物園内にも生息が確認されている。さらに、港湾部では鹿児島港と東京港で発見されている。

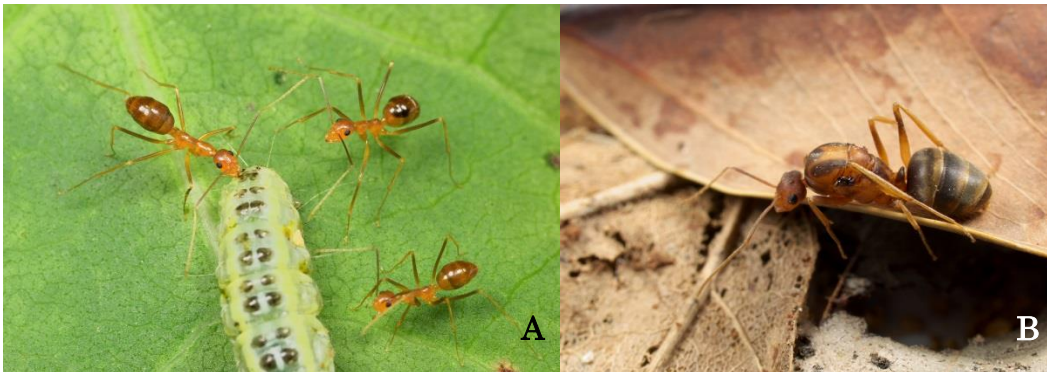


図 7.2.9. アシナガキアリ *Anoplolepis gracilipes*, (1, 働きアリ; 2, 女王).

## 7.3 暮らしの中の昆虫

### 7.3.1 昆虫のいる風景

市街地はあくまでも人間中心に造り上げた人工環境であるが、人と自然との調和の中での生活が望まれ、自然の残された市街地に、色々な昆虫類が生息している。このような環境でも、セミ、コオロギ、アリ、チョウ、バッタ、ハムシやテントウムシ等色々な昆虫を目にすることが出来る。これらの人の生活環境でも生息する昆虫類の中で、人に被害を与えるものは害虫として特に注目される。スズメバチやアシナガバチ類は人を刺す衛生害虫として登場し、アブラムシやチョウ、ガの幼虫は街路樹や家屋の植栽、家庭菜園を食い荒らす樹木害虫、農業害虫となる。昆虫類の多くは植物を餌とする第一次消費者であることから、食害の程度で害虫と目されるか、さほど気に留められないかであろう。概して、都市域ほど、感覚的に人と他の生物との共存を拒否する空間を形成し、野生の生物の存在を許さない感覚を湧き立たせる地域性があるようだ。人への直接的な被害が生じなくとも、存在そのものが迷惑であるとする不快害虫 *nuisance pest* という呼び名まで存在する。もちろん不快害虫であっても、ホテルや飲食店では経済的被害が生じる可能性はある。アフリカや東南アジアの農村地を訪れば、ハエがたかる中で食事をし、アリやゴキブリが室内を動き回っていても一向に気にしない。国家や地域によって、人の生活と関わる昆虫への意識の度合いは異なって来る。とにかく、注目度に差こそあれ、人と関わる昆虫はほとんどが

表 7.3.1. 都心に生息するハエ類の例。東京都内の2カ所で、1日のみベイトトラップを仕掛けて採集した結果。(篠永(1999)より)。

---

#### ハナバエ科 Anthomyiidae

クロオビハナバエ *Anthomyia illocata*

#### イエバエ科 Muscidae

オオイエバエ *Muscina stabulans*, ヒメクロバエ *Hydrotaea ignava*, チャバネヒメク

ロバエ *H. chalcogaster*

#### クロバエ科

ホホグロオビキンバエ *Chrysomya pinguis*, ホホアクロバエ *Calliphora vicina*,

トウキョウキンバエ *Hemipyrellia ligurriens*, ヒロズキンバエ *Lucilia sericata*,

ミドリキンバエ *L. illustris*, スネアカキンバエ *L. porphyrina*

#### ニクバエ科 Sarcophagidae

センチニクバエ *Sarcophaga peregrina*, ナミニクバエ *S. similis*, ゲンロクニクバエ

*S. albiceps*, ミセラニクバエ *S. misera*, シリグロニクバエ *S. melanura*

---

表 7.3.2. 東京都内の緑地に生息するアリの種数. 都市域でも多くのアリの種が生息していることが分かる.

---

皇居 (千代田区, 23 属 49 種)  
明治神宮 (渋谷区, 26 属 50 種)  
東京大学本郷・弥生構内 (文京区, 16 属 27 種)  
上野動物園 (台東区, 11 属 15 種)  
国立科学博物館附属自然教育園 (港区, 20 属 36 種)  
赤坂御用地 (港区, 22 属 35 種)  
旧芝離宮御暢庭園 (港区, 11 属 15 種)  
哲学堂公園 (中野区, 16 属 21 種)  
東京大学駒場構内 (目黒区, 18 属 25 種)  
常磐松御用邸 (渋谷区, 16 属 20 種)  
新宿御苑 (新宿区・渋谷区, 12 属 20 種)  
おとめ山公園 (新宿区, 18 属 23 種)  
東京湾野鳥公園 (大田区, 17 属 31 種)

---



図 7.3.1. 庭先を飛び回るベニモンアゲハ *Pachliopta aristolochiae*. (台湾).

害虫と呼ばれている. それは私達が狩猟・採取の生活から, 集落を形成し農耕生活へ移行するところからすでに存在したのも達である. それらの昆虫でも少し調べてみると, いろいろな種が人の生活圏内で生息していることが分かる(表 7.3.1, 7.3.2). 都市域でも, 近くに河川敷や公園, 社寺林等の比較的緑地の多い場所では, 500 種以上の昆虫類が生息しているはずである. 昆虫類は

真冬でも、石下や土中、朽ち木等を探せば越冬中の多くの種を見つけることが出来る。さらに、公園の植樹には、真冬に活動するガのフユシヤクやフユハマキを見つけることも出来る。

家屋害虫に対して、家屋へほとんど侵入しない昆虫では、むしろ好意を持って迎えられよう。花壇を訪れるさまざまなチョウは目を楽しませてくれる。炎天下に季節を感じるクマゼミやアブラゼミの合唱を聞き、夏の長い一日の終わりを告げるヒグラシやケラの鳴き声に耳をそば立て、秋には庭の片隅からエンマコオロギやオカメコオロギの美しい鳴き声を聞くことができる。それらは私達の生活をより充実させてくれよう。

表 7.3.3 のアンケート結果では、好まれる昆虫は、身近に見られ、かつ家屋・衛生害虫とされない“ただのムシ”が選ばれている。第1位となったトンボは、日本での文化的背景が強く表れている可能性がある。日本は古くから、国土を秋津洲(トンボの国を意味する)と呼称するくらいトンボへの注目度が高い。欧米においてトンボ(dragonfly)は、それほど好まれる昆虫ではない。2位のカブトムシは、都市部の野外では見つけることは困難であろう。ただし今日、デパートやペットショップで普通にお目にかかることが出来る。家庭では子供の注目度も大きいであろう。嫌いなムシの中に、ハエとカが入って来なかったのは意外である。これらは、概して体の大きい目立つ昆虫類(クモは昆虫ではないが)である。視覚的印象の強さが大きく関係しているのかも知れない。嫌いなムシの第3位に大型昆虫のカマキリが入っているが、捕食者であり独特の動作の見られるこの昆虫は、好感や興味よりもむしろ心理的に注意を喚起するようである。

表 7.3.3. 昆虫への注目度. 大人(ビジネスパーソン)1000人へのアンケート結果(日本経済新聞).

	好きなムシ	嫌いなムシ
第1位	トンボ(31.0%)	ゴキブリ(28.0%)
第2位	カブトムシ(21.0%)	ガ(13.9%)
第3位	チョウ(20.2%)	カマキリ(8.3%)
第4位	テントウムシ(5.4%)	毛虫一般(7.0%)
第5位	セミ(3.8%)	クモ(5.7%)

### 7.3.2 文化と昆虫

人の生活を取り巻く環境にはさまざまな昆虫が生息し、歴史的に見ても人はさまざまな形で昆虫と関わって来た。人の食糧や薬用に関連する昆虫類への注目は当然の事と思われるが、それ以外でも美術、文学、民俗、宗教、遊戯と言った人の知的営みの中にも昆虫は非常に多く登場し、私達の創造活動のモチーフともなって来た。さらには、装飾品や日用品、娯楽として日常生活の中にも多くの昆虫類を見出すことが出来る。このような分野を体系的に扱う分野として Hogue (1987)は「文化昆虫学 Cultural entomology」を提唱している。

文化昆虫学は、私達の文化的側面から昆虫との関りを見て行こうとするものである。ここには、ヒト対昆虫と言う応用昆虫学的な、あるいは二項対立的な見方ではなく、関わり合いを生み出す自然環境と社会環境、さらには民族性や伝統と結びついた地域性との関り合いの中で昆虫を見て行こうとする。私達の昆虫類との関りは、科学としての昆虫学だけではない。しかし、文化と関連づけると、その枠組みは勢い大きく広がり、かつ不鮮明となる。そのため、文化昆虫学と銘打つのならば、仮説検証型の科学であり、文化への社会的な洞察を必要とすると考えがある。その一方で、趣味の昆虫切手や昆虫グッズ収集等も含めた精神的側面に及ぶ人々の営みも、立派な文化の一環であるとする人もいる。

地球上に多くの民族が生活しており、それぞれの地域において独自の文化を形成して来たこと

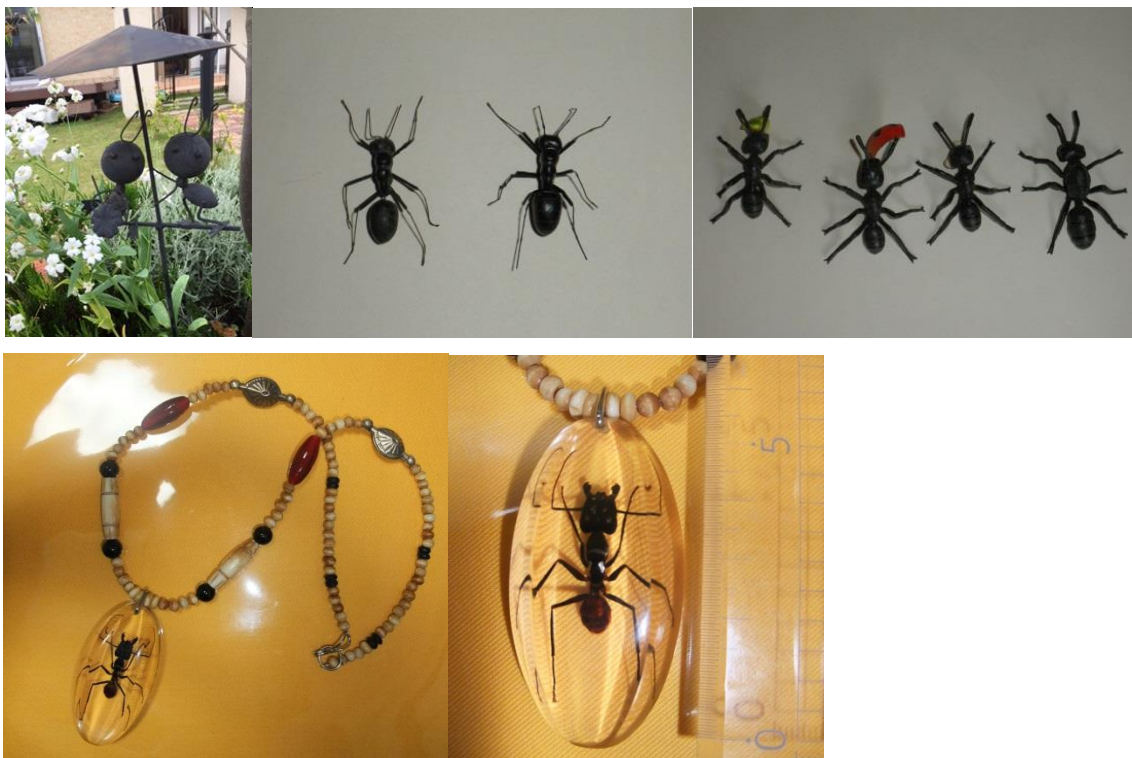


図 7.3.2. さまざまなアリコレクション.



に着目すれば、個々の民族における昆虫に対する民族意識を引き出すことができるかも知れない。通常昆虫学と言えば、自然科学の土俵に乗った基礎昆虫学か応用昆虫学である。これらは、昆虫が主体であるが、文化昆虫学の主体はヒトである。

#### ペットと放虫問題

侵略的外来種により世界各地で地域固有の生物相が脅威に見舞われ、経済的打撃を受けている。外来種は非意図的に運ばれたものが多いが、中には意図的に導入されたものもある。

日本では、1990年代にクワガタムシやカブトムシの飼育ブームが起り、さらに1999年以降、法規制が緩和され、世界の外国産昆虫類がペットとして大量に輸入され、販売されるようになった。しかしその結果、不要になった飼育個体が生きのまま野外に放逐される例が頻発し、「放虫問題」と言われる社会問題にまで発展した。外国産のクワガタやカブトムシが野外で得られることが頻発している。ペットとして飼うのは構わない。ただし、イヌやネコと同様に最後まで責任をもって飼うべきである。

オオクワガタ *Dorcus hopei* は大型で、取り分け人気の高いクワガタである。本種は日本、韓半島、中国に分布し、日本と韓国の個体群は *D. h. binodulosus*、中国の個体群は *D. h. hopei* (名義タイプ亜種) とされている。ところが、中国の個体が大量に日本に輸入され、飼育・養殖されたものが野外に放たれ、それらの個体が日本の在来個体群と交配し、広範に遺伝子汚染を引き起こしたとされている。愛好家があえて交配を行う場合もあったと言われている。このため、現在の日本の個体群は、本来の日本個体群(1992年以前のもの)とは形態が変わってしまっていると言われている。

チョウでは、中国大陸原産のアカボシゴマダラ(要注意外来生物)や韓国原産のホソオチョウ(要注意外来生物)は、意図的に放たれたものが定着したものとされている。これらの種は、現在も分布を拡大させており、勢いが止まらない状況にある。国外種のみならず、国内種であって



図 7.3.3. 飼育中のクロオオアリ *Camponotus japonicus*. 大型の個体がメス(女王)で、乳白色の幼虫も見られる。左上の房室では、口移しで栄養分を他個体に渡す栄養交換が行われている。左個体の腹部が大きく膨れ上がっていることから、栄養分を運んできた個体であることが分かる。

も、野外の捕獲した場所へ再度放つのであれば基本的に問題ないと考えるが、違う場所に放す場合は問題が発生する。同一種であっても、地域個体群の長い進化的歴史があり、地域ごとに特徴的な遺伝子組成が形作られている。それらを混入させることは、立派な生態系攪乱である。例えば、同じゲンジボタルであっても、関東の個体群と関西の個体群とでは発光パターンが異なっており、地域の固有性を示している。本来生息していない場所に放つと、時としては爆発的に増殖してその地域の生態系を攪乱させることもある。現代社会の中で、国内外来種と呼ばれている問題も見逃すことは出来ない。

### 7.3.3. 有益昆虫

害虫と益虫は、ヒトとの関りを端的に表現したものである。害虫については、ヒトに直接的な被害を与える衛生害虫から、精神的不快感を与えるもので、ヒトによってその感じ方は個人差大となる不快害虫まで多くの例を挙げることが出来た。ここで、有益な昆虫の例を幾つか挙げておく。

#### 養蜂

紀元前 7000 年頃のものとして推定されるスペインのアラーニャ洞窟壁画には、ヒトがハチミツを採集している図が示されている。しかし、雑食性である人類は、アフリカの地に登場した時から昆虫も捕えて食していたに違いないのである。かつては野外で巣を見つけ、そこからハチミツを採取していたであろうが、ミツバチも家畜化がなされ、少なくとも紀元前 3000 年頃には巣箱を用いる養蜂が始められていた。動物学の父と呼ばれる古代ギリシャのアリストテレスも、ミツバチの生態を詳しく描写している。ハチミツ採取のみならず、蜜蝋も利用されている。日本では日本書紀に 643 年にミツバチの飼育の記載がある。10 世紀には近畿、中国、中部地方と養蜂が広く行われていたようである。これは在来のニホンミツバチである。江戸時代には各地で、ニホンミツバチによる養蜂が盛んに行われていた。飼いややすく、蜜の収集能力を高めるよう品種改良されたセイヨウミツバチは、1876 年(明治 9 年)に米国から導入され、その後はもっぱら本種により養蜂が行われるようになった。

今日、蜂蜜の採取の他、農作物の花粉媒介用に用いられ、女王となる幼虫の食物であるローヤルゼリーが医療・健康食品として用いられている。その他、巣作りに用いる蜂蝋は、古くは寺院や教会等のロウソクに使われていたが、今日、プラスチックの型抜き剤や食品・薬品の添加剤、精密機器の絶縁剤等、近代産業に貢献している。

#### 養蚕

カイコから絹糸を取る養蚕は中国が起源で、紀元前 4000 年頃に始められたとされ、後に日本にもこの技術がもたらされた。紀元 195 年に中国の功満王が、日本に帰化した時に蚕種を持参し、養蚕技術を伝えたとされている。カイコの祖先種はクワコと呼ぶ茶褐色の種であることが推定されている(図 7.3.4, B)。カイコとクワコの類縁性は、19 世紀末に形態、生態的特徴の比

較から推定された。今日、rDNA や転移因子様配列 (MLE) による比較解析が行われている。長い期間の品種改良の結果、カイコは飛ぶことが出来なくなっている。明治維新後の日本では、富岡製糸工場に代表されるヨーロッパからの技術移転により、生糸の大量生産が可能となり、1910年から1970年代までの60年以上に渡って生糸生産量が世界第一位を占めた。しかし、製糸業はその後急速に衰退し、至る所にあった桑畑は姿を消した。同様に、大学の養蚕学研究室も消失した。科学技術の進歩によって家畜の位置づけが大きく変わったのである。ウマやロバのような輸送や軍事力の担い手であった家畜は不要になってしまった。電子技術の発達も、伝書バトを不要にした。カイコでは化学繊維の発達により需要は激減し、現在は高級繊維として細々と寿命を保っている。

カイコ以外で繊維材料として利用されて来た昆虫として、ヤマムユガ、サクサン、エリサン、タサールサン、ムガサンと言ったヤマムユガ科の昆虫がある。



図 7.3.4. A: カイコの飼育の様子. B: カイコの祖先種と考えられるクワコ *Bombyx mandarina*. 幼虫はクワを食べて育つ.

### 食糧昆虫

昆虫は古代からヒトに食糧として用いられて来た。先史時代の物的証拠は少ないが、昆虫の混じった人糞の化石が得られており、ミツバチの巣を採る様子が描かれた洞窟壁画(前出)等がある。有史時代になると昆虫食についての記述が見られるようになり、アリストテレスやヘロドトスの著書から紀元前 4 世紀のギリシアでは好んで昆虫が食べられていたことが分かる。古代ローマ人や古代西アジアのパルティア人、東方民族も昆虫を食べていた。さらに「コーラン」や「聖書」の中にも昆虫食が紹介されている。

日本での昆虫食として、養蜂による蜂蜜の他、佃煮にするイナゴ、ザザムシ(水生昆虫の幼虫)、カイコの蛹、蜂の子(クロスズメバチの幼虫)が有名である。昆虫類は高タンパク質の副食としては好適な食材である。にもかかわらず昆虫食が今日一般化しない理由の一つとして、見た目が昆虫であると言う心理的効果があるとされている。そのため、上手に加工して食品とする工夫も研究が進められている。さらには、今日の発展途上国を中心に人口が爆発的に増加し、食糧の慢性的な不足が現実起こっている。そのため今日、昆虫類の増殖率の高さを利用して昆虫食の開発

研究が盛んである。特に大発生して、農作物の食害を繰り返すサバクトビバッタのような昆虫の食品化が期待されている。その一方、法的整備がなされていない今日、昆虫の大量採取のために樹木や植物、他の動物をも採取し、生態系を攪乱することが生じ得ないか危うい部分も存在する。



図 7.3.5. 市場で売られるゲンゴロウ(中国, 広東省). 油で丸ごと揚げて食べる.

### インセクトセラピーと昆虫兵器

昆虫類は有望な食材となり得るが、医療面でも役に立つ。ハエの幼虫を用いて膿を綺麗に取り除く手法があり、漢方薬として、クマバチ、ゴキブリ、マゴタロウムシ(ヘビトンボの幼虫)等が用いられている。他に医療面への利用法として、アフリカでは、グンタイアリの発達した大あごを使い、ホッチキスの針のようにして端から傷口を止めて行く縫合方法がある。

足や手などの壊死した部分を放っておくと、命の危険に関わることもある。処置が遅れて症状が重くなった場合、外科的に切断することになるが、マゴットセラピー(ウジ虫療法)と呼ぶ壊死した組織をハエの幼虫に食べさせる治療法が開発されている。一般的には無菌状態で育てたヒロズキンバエの幼虫を用いる。この治療法により、身体への負荷や失う部分を最小に留めることが可能となる。

近年、昆虫のペット化が進んでいる。以前ではあり得なかった南米の巨大なカブトムシや熱帯アジアのクワガタムシの実物が、デパートやペットショップで販売されている。イヌやネコ等の愛玩動物のヒトの精神面への効果は無視できないものがあり、状況によっては大きな効果が期待できるとされている。今後、昆虫であってもヒトを元気づけることもあるだろう。

昆虫の機能的特徴を応用し、安定した6脚で歩行する小型ロボットや小型の飛行ロボット、昆虫の感覚システムを応用した匂い源探索ロボット等の昆虫ロボットの開発が盛んに行われている。カの口器の構造をヒントに、痛みの少ない注射針が開発される等、昆虫を使つての私達の生活に直接貢献する研究は多い。医療面では、カブトムシの幼虫が持つ優れた抗菌システムから、従来の抗生物質とは異なるこれまでにない抗菌開発や、吸血性オオサシガメの唾液から発見された、血液凝固阻害成分の血液疾患への応用研究等が進められている。工学分野では、小型ロボットの他に、昆虫の複眼の機能を応用した極薄センサーやディスプレイの開発、カイコの絹タンパ

ク質を使った化粧品、ノミの並外れた跳躍力を作り出す「レシリン」を使った、弾性に富んだスーパーゴムの開発、モルフォチョウ等の光の干渉により発色する構造色(図 7.3.6)を再現した糸の開発等がある。新幹線や航空機にすでに用いられている、ミツバチの巣を応用したハニカム構造は良く知られている。

しかしその一方で、昆虫の特徴を応用して、小型の偵察兵器や無人の破壊用兵器の開発が進められているとも聞く。使い方次第で、平和利用が出来るとともに殺戮兵器にもなり得ることは原子力利用と変わらない。科学そのものに善も悪もない。我々がどう使うかで、善にも悪にもなるのだ。

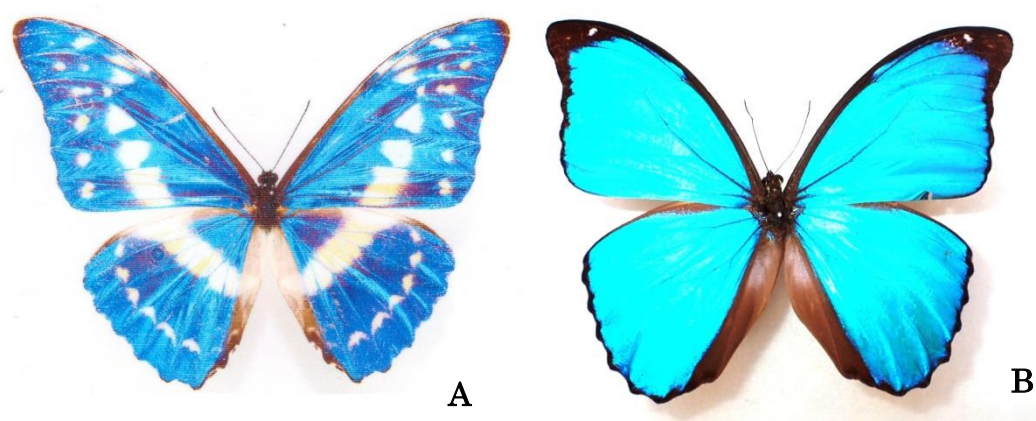


図 7.3.6. キプロスモルフォ *Moprpho cypris*(A)とメネラウスモルフォ *Morpho menelaus*(B). 金属光沢の青色は光の干渉による構造色であることから、色素によって発色する通常のチョウの翅の色彩と異なり、経年劣化が起こらない。

#### 7.3.4. 生物多様性と環境教育

今日の社会の中で「生物多様性(biodiversity)」あるいは「生物学的多様性(biological diversity)」という言葉に触れる機会が多くなった。環境破壊が加速度的に進む中で、貴重な自然環境を保護して行くべきだと言う機運が世界的に高まっているからである。この生物の多様性が注目され始めたのは「生態学の基礎」の著者で有名な Odum の論文(1969)以降であろう。そして野生生物保護の国際的な動きの中で用語として定着したのは新しく、1980年代に入ってからである。「Biodiversity」という言葉そのものは米国の W. G. Rosen の造語で、1986年にワシントンで行われたフォーラム”National forum on BioDiversity”において初めて使われたものである(Hywood et al., 1995; Sarkar, 2002)。そして、Wilson & Peter 編集による著書「Biodiversity(1988)」が本用語の地位を確定的なものにした。

日本においても、「生物多様性」という言葉に触れる機会が多くなったことは、環境破壊が加速度的に進む中で、貴重な自然環境を保護して行くべきだと言う気運の高まりを示すものと判断され、やはり、非常に最近の動向と言えよう。

今日、地球環境問題の一つに位置付けられる生物多様性減少の問題は、熱帯林の減少、地域の

自然保護や環境保全の問題を包含し、かつ他の環境問題と同様に関連分野の実に多い複合研究領域に該当する。ヒトが住みよい環境を模索し実現するために、自然科学の分野のみならず、政治や法律、経済、社会、教育と言ったさまざまな分野からの総合的な解決を図って行かなければならない高難度の問題である。その中で、自然科学の役割は、基本的に正確なデータの提出であろう。もちろん、現状が正確に把握されたことが単純に問題の解決には繋がらない。しかも、社会の中に多様な価値観や倫理観の相違、生活様式の相違が見られ、最大公約数を見つけ出す事は難しい。都市域と都市近郊、そして農村部であっても各地域の住み良い生活環境の設計は異なって来よう。しかし、先ず生態系の機能や動態を把握することは、具体的な環境保全の方策が計られるための必須の基礎資料である。にもかかわらず、現状はこのような生物学が率先して取り扱うべき領域の知見や情報は決して多くない。例えば、ヒトの活動と生物的環境との関連やある環境の中での生物の挙動、生態系のシステムそのものの動態等未解明な部分は実に多い。さらに現在、「生物多様性の保全」と言う言葉が新聞や雑誌紙上を賑わせている中で、生物学分野ではさまざまな制約もあり生物多様性そのものを十分に把握できずにいる状況にある。

現在、環境問題は南北問題であり、貧困から来る食糧問題と関連し、実質人口問題であると考えている人は少なくない。環境問題が、南北問題であれば政治的解決が必須であると言った論調も紙上で多く見かける。その一方で、生態系の基礎データの集積と言ったような基本的部分が、あまりにもなおざりにされている不安感を同時に抱く。前述したが、地球規模で進行する生物多様性の減少は現実であり、重要な地球環境問題の一つである。もちろん、政治的・社会的分野の参入なしには具体的解決はありえないのが、しかし、多くの基礎科学分野が強く関与して正確な資料を提出すべき問題であり、それと同時に、私達のあるべき生活を問う問題でもある。多くの解決すべき重要な課題を抱えている。

生態系の中で生物群集を構成する種間には、さまざまな様式の相互作用が存在し、そのような複雑な関連の中で、ヒトによっては共生系と呼ぶような有機的、立体的な関係が群集の中に組み立てられ、維持されている。それゆえ、生物多様性を維持することは健全な環境保全のために欠くことのできない重要な視点の一つであろう。そして、このような生態系機能を支える生物多様性の研究からのアプローチは、純然たる自然環境のみならず、里山や農村、そして人為の影響の高い都市的環境においても適用される。近年、特に地域生態系を保護の単位として考え、その評価基準として生物多様性を重視する発想が少しずつ社会に浸透しつつあるように思われる。

### 生物多様性への理解

生物の多様性とは、地球上に生息する全ての生物種の多様な存在様式を指し、動・植物から細菌類に至るまで全ての生命現象を言う。生物多様性そのものは、遺伝的多様性から個体群あるいは種、群集、生態系、そして生息地全般の景観（ランドスケープ）レベルの多様性まで、幾層もの階層構造を持つ。例えば、以下に示すように遺伝子レベルでの多様性から始まり、群集や生態系と言った段階の多様性まで示すことが可能である。

種内の多様性：遺伝子多様性，表現型多様性，品種や地域個体群多様性

群集の多様性：種の多様性，生活形多様性，生育形多様性，ギルド多様性，群落構造の多様性

生態系の多様性：群集の多様性，生態系の多様性

これらの中で特に群集レベルでの多様性に着目した場合，多彩な生物が織りなす複雑で均衡のとれた生態系を単位に保全しようと言うことである．これまでの特定の生物種や生物群のみに着目してきた野性生物保護の考え方は，少しずつ，生態系を単位とした生物多様性の保護と言った視点でのアプローチに変わりつつあると思われる．生態系を構成する種の間にはさまざまな様式の生物間相互作用が存在し，そのような複雑な関連の中で，生物群集には共生系とでも呼ぶべき有機的関係が長い進化的時間の中で組み立てられ維持されて来たことから，多様性を維持することは健全な環境保全のために欠くことができない重要な視点であろう．

このような生態系機能を支える生物多様性研究の重要性は，今日，世界の共通見解になりつつあると思われる．近年，特に熱帯多雨林の多様性の高さと重要性が注目され，研究が進められるようになって来た．それと平行して，純然たる自然林ではなくとも，人と共生的な様式が採られて来た里山や緑地と言った身近な環境の理解と，人と日常的な生活面のみならず，精神面をも強調した保護の動きも高まっている．つまり，自然保護の観点として，人類の共有財産かつ遺伝子資源と言った物質的価値のみを主張することから，美的価値，倫理的価値，教育的価値と言った資源としての価値を超える価値の認識がなされるようになりつつあるようだ

もちろん，リオデジャネイロでの「地球環境サミット(1992)」以降良く言われるように，生物多様性の減少は将来利用可能性を持つ生物を絶やしてしまい，将来，恩恵をもたらす得る遺伝子資源を絶やしてしまう可能性がある．しかし同時に，「持続可能な開発」をスローガンにした「地球環境サミット」には，経済的側面のみが強調され，自然を資源としてのみ見立てた政治的駆け引き，基本的には南北問題の調整と言った意味合いを強く感じざるを得ないのも事実である．近年，前述のような価値観が芽生えるに至った理由は，まず素直に身近な周りの自然の多さを考えるだけでも，それが人間性の豊かさを支えてくれようと思われるからだろう．土や緑，そして生物のにぎわいは私達の充実した精神生活に欠かすことのできないものと考えられよう．その一方で，都市部での自然の失われた環境は，人間性そのものが危険なものになりはしないかと危惧感を抱く人も少なくない．さらには，歴史的な事実存在そのものに価値を見いだす考えも存在する．言わば歴史的・自然史的価値を強調しているものである．ヒトが関与することによって維持されてきた日本の里山のような環境においても，ヒト-自然共生系としての長い歴史的価値を見出せよう．さらには，身の回りの多くの生物種の存在は，35億年以上もの長い時間をかけてなされてきた唯一無二の生物進化の歴史であり，今日の生態系を再現させることは全く不可能である．当然，今日の私達人間の存在も多種多様な野生の生物種によって，つまり生物多様性によって人類が発生し，進化して来た結果である．二度と起こり得えないものである．このような長い歴史の中で築かれ維持されてきた生物間の共生関係の上に成り立つ生物多様性から導きだされるものは，やはり，自然を資源としてのみ捉えるのではなく，長い歴史を持つ自然の多様性そのもの

に対する価値を理解することであると思う。

## 環境教育

「昆虫採集禁止論」と言うのがある。背景として、生物愛護精神の養成と自然保護の視点から昆虫採集禁止が問われている。道徳的観点から、生命を奪う行為は悪であり、昆虫を含めて生き物を殺すことを行うべきではない。必要であれば、殺さずに観察すれば十分に事足りるというのが骨子である。また、今日の環境論では、生態系保全の観点から環境を破壊する行為となる昆虫採集の禁止が問われると主張する。

## 教育論への応答

家でも、学校でも虫を採ってはいけないと教える。「観察」だけにしなさいと言う。そしてさらに生き物の命を大切にしなさいと言う。ただし、害虫であるゴキブリやカはいくら殺しても良いらしい。今日、野外に出て虫を追う子供達の姿は以前に増して少なくなった。昆虫少年は今や絶滅危惧種らしい。

昆虫採集には、自ら探し、虫に触れると言う自発性がある。そして、そのような実体験の有無が生命に対する理解に決定的な差を生むと考えている。生き物に触れることなく、せいぜい遠くから観察しているのみでは、そもそも生き物に興味を持つようにはならない。それゆえ、生命に対して掘り下げて行くこともないであろう。

生命尊重を理解させるために、昆虫採集の禁止を解く教育論は、むしろ人格形成に逆の結果をもたらすことを危惧する。社会の中で立ち振る舞う健全な精神の発達にも関わって来よう。生き物に触れて、初めて生き物の感覚が分かるのだ。もし生き物に触れず、興味の対象外として子供が育てば、その欠落分はやがて虫から人に向けられるようになる。他者の痛みを感じ取れることもなく、加減の仕方すら分からなくなる。虫を採り、虫に親しむからこそ、やがて生命へ共感が生まれて来るだろう。

昆虫類は、飼育を行いやすく、生態観察や行動研究も大変面白い。これらの知識は貴重であるし、学校教育の場においても有効なものであろう。しかし、昆虫を探し、捕え、持ち帰り、標本にすることによって得られるものは、昆虫標本だけではないし、観察のみによって得られる知識とは別の実体験であることに留意すべきである。「生きているもの」、裏返せば「死ぬもの」をリアルに感じ取ることで、多くの価値ある物を得ることになる。もちろん、単純に生き物を殺すことを目的とすることを勧めるべきではない。私達が通常、生き物を殺す時は、自らが生きるためである。ヒトは生態学的な消費者であり、生物界最強かつ屈指の雑食生物である。ヒトは植物であれ動物であれ、他の生物を捕えて食わなければ生命を維持できない宿命を背負っている。その宿命故、なおさら無益な殺生を禁じようとする。昆虫採集は無益な殺生では無く、生命を理解し、私達がより良く生きて行くために必要な行為であることを主張する。人は生きるために生命を消費せねばならないことを理解すべきである。そのためにも、生命を実体験してほしい。命は単純ものではない。我々の世界には、同じ魚であっても食糧としての魚もあれば、大切なペット



としての魚もあって良いのだ。

その他、昆虫採集は科学への理解を促すであろう。科学的な側面から見ると、昆虫類の研究や調査を行う際に、採集した個体を標本にして保存する必要性が生じて来る。標本は、存在の証拠である。同時に研究によって、標本からさまざまな情報を引き出すことが出来る。さらに、標本を蓄積して行くことは、分類研究のみならず、さまざまな生物研究を進め、地域の生物相を理解して行くためにも重要である。科学研究でなくても良い。自然物の見事な形態や色彩は驚きである。このようなさまざまなものが身の回りに、大きく言えば地球上に存在することの驚きや感情は、数値で表すことのできない貴重な体験である。

### 環境保護論への応答

悪化した環境の中で、貴重な自然に目を向け保護して行く機運が続いている。そのような中で、自然を保護するために虫を採るなどと言われる。ここにおいても実体験の重要性を主張する。繰り返すが、直接的に昆虫を探し、捕え、さらに標本し、いろいろと調べる体験こそが生物そのものや生物が生活している環境を理解する最短距離である。子供の場合、もし採集により、直接に生物に触れることがなければ、そもそも生物に対する興味は沸かず、周りの環境がさまざまな関わりを持って存在することも分らずに育って行くだろう。そのため、生態系保全の重要性を理解することは出来ないであろう。生命の尊さ、自然の巧みさを体で感じる事が自然保護の思想の土台となるはずである。人は知ることによって初めて愛護の気持ちが芽生える。深く知れば知るほど、その対象に対する愛護の心も深まる。これはかけがえのなさを、実感として理解できて来るということである。

野外で虫を探すには、いろいろと工夫を凝らさねばならない。目的の虫のいる環境を知り、虫の習性を理解して行く。同時に周りに潜むさまざまな危険を回避する知識や経験も備わって来る。昆虫採集はただ虫を採るのではない。知識や経験、時にはカンをも総動員して虫を探し、採る。標本にすれば、その後、自分の目で幾度も良く見るし、図鑑や文献でその虫を調べる。科学的思考を持つ第一歩になる。いずれにせよ、昆虫を採集して標本にして良いし、採集して飼育に取り組んでも良い。

ちなみに人が虫を採る程度で、昆虫は減らない。哺乳類や鳥類はそうでもないが、昆虫は圧倒的に高い増殖率を持つ。昆虫側から見れば、捕虫網を持つ人間は、発見能力、捕獲能力の最低に位置する最も無能な天敵である。一羽のシジユカラが1日に捕る昆虫の数は、私が1年をかけて採集する昆虫数を軽く越える。生息環境を著しく減らす開発行為こそが、昆虫類を含め多くの動物を絶滅の危機に追いやっている主要因である。

昆虫の世界に入り込んだ人物は、やがて自然保護や動物愛護に心を向けるはずだ。しかも、これらは上から押し付けられたものではない。自ら理解し、納得し、自発的に形成されるものであり、これこそが精神であるはずだ。

## 昆虫から世界へ

子供の好奇心は、その対象が人工物であれ自然であれ眺めるだけでは飽き足りない。追いつめ、手で触れ、そして自分のものにしようとする。このような自然への接し方を‘人間本位’だとする批判もある。しかし子供の反応は大人の理性を越え、野生的で正直である。子供は本能的に生きようとしている。もし、好奇心を抑えると、対象から興味を失い自然への親しみや大切にしたいと感じる心も失われる。やがて、自然というものが存在することにすら無関心になってしまう。子供は遊びの中で昆虫を中心に多くの生命を犠牲にする。しかし、そのような遊びの中で、本やテレビ、パソコン画像を通して接する自然とは全く異なる感性で生物と接していたに違いない。昆虫達は子供のまわりに棲み、生と死と驚きと悲しみを感じさせる。驚きも悲しみも身近にある。このような風景と自然がヒトを作っていく。自然が最後まで生き抜こうとすることを望むように、生きようとする子供に、大人こそが少しでも手助けするべきであろう。

さまざまな研究分野の少なからずの研究者が、幼少時に昆虫採集を体験している。その時の体験がその後の人間形成の核の一つとなっていよう。科学者にならなくとも、昆虫採集の原体験が有ることで有意義な人生を楽しんでいる人は多い。昆虫を介して自然に直接触れ、親しむことにより、さらに周りに興味が広がって行き、さまざまな世界を知る喜びが得られる。

採集と言う行為は、まずは博物学の入り口の扉を開くことである。その意味で子供達の採集に対する興味を押しえつづけるべきではない。入口の博物学から入った視野はさらに広がり、やがて地域の社会、伝統、文化と言った我々の社会が、各自の視野で見えてくるはずである。地域の社会、文化、伝統、歴史を尊重し、我々の多様な文化そのものに理解や価値を見出すようになって行くことが期待できよう。さらには世界への興味も広がり、ひいては自身の生き方を外から見ることにつながり、一層豊かな人生が送れるものと期待する。

私が昆虫採集を勧める一番の理由は、そこを入り口として、やがては私達が世界のいたるところで脈々と生を営んで来た、地域の文化や歴史を反映する、ヒトと自然をも含めた地域の固有性の貴重さに気付いてもらえるからである。



付 1. 昆虫類の目(Order)の検索表

以下に昆虫綱の 28 目の検索表を示す。多様な形態を示す昆虫類では、特殊化した形態を持つものも多く、例外が至るところで現れる。そのため、本検索表から外れるものも存在する前提で用いて頂きたい。成虫を対象としている。

1a. 発達した翅を持つ。

..... 2

1aa. 翅を持たない、あるいは退化的な翅を持つ。さらには、翅を持つが交尾後すぐに翅を脱落させる。

..... 23

<<成虫で翅を持つ種>>

2a. 膜状の広がりのある前翅を持つ。

..... 3

2aa. 変形した前翅を持つ、あるいは前翅は硬くなり(セミやコオロギ等のやや硬い翅はこちらに入れる)、後翅を覆う。

..... 16

3a. 前翅と後翅の 4 枚の翅を持つ。後翅が小さいものがある。

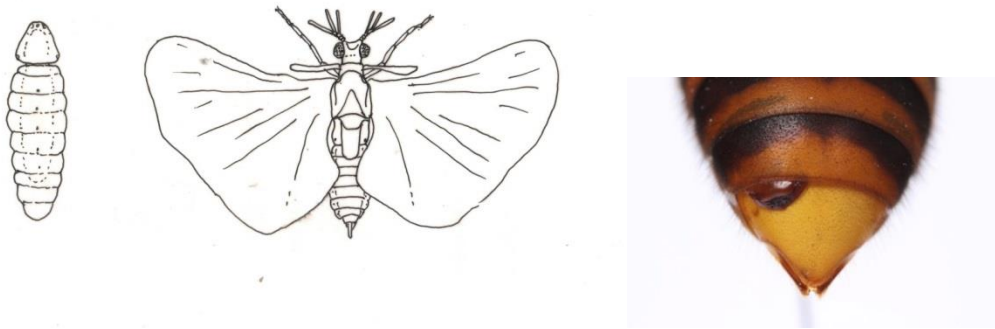
..... 4

3aa. 2 枚の翅を持つ。後翅は退化して小さな平均棍となる。

..... 15

3aaa. 2 枚の翅を持つ。前翅は小さく縮小し、偽平均棍として存在する(翅を持つのはオスのみで、メスは成熟してもウジムシ型：体長 5mm 以下の小型の寄生性昆虫)。

..... ネジレバネ目 Strepsiptera



左：メス成虫。中：オス成虫。右：寄主から頭部を覗かせるメス。

4a. 翅は鱗粉で覆われている.

4b. 口器は細長い管状.

..... チョウ目 *Lepidoptera*



4aa. 翅は短毛で覆われている

4bb. 口器は管状とはならない.

..... トビケラ目 *Trichoptera*



4aaa. 翅は鱗粉あるいは短毛で覆われない.

4bbb. 口器は管状とはならない.

..... 5

5a. 腹部末端に 2 本か 3 本の細い長毛(中央の尾糸と 1 対の尾毛)を持つ.

5b. 後翅は非常に小さい(欠く種もある).

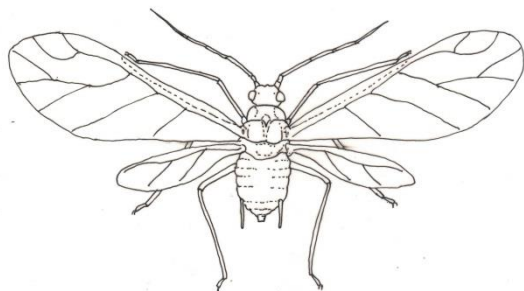
..... カゲロウ目 *Ephemeroptera*



5aa. 腹部後方の背面に短い管状の構造物を持つ.

5bb. 後翅は極端に小さくはない.

..... カメムシ目(アブラムシ類) Hemiptera (Aphids)



5aaa. 腹部に長毛や管状構造物を持たない(やや長い尾毛をもつものがある).

5bbb. 後翅は極端に小さくはない.

..... 6

6a. 触角は非常に短く剛毛状.

6b. 複眼は非常に大きく発達する.

6c. 腹部は棒状に細長い.

..... トンボ目 Odonata



6aa. 触角はより長く, 短い剛毛状とはならない.

6bb. 複眼は極端に大きくなる.

6cc. 腹部は極端な棒状とはならない.

..... 7

7a. 後翅は前翅よりも幅が広い.

7b. 腹端に顕著な尾毛(Cerci)を持つ.

..... カワゲラ目 Plecoptera



7aa. 後翅は前翅よりも小さい.

7bb. 尾毛は短いか, あるいはない.

..... 8

7aaa. 後翅と前翅はほぼ同様の大きさ.

7bbb. 尾毛は短いか, あるいはない.

..... 10

8a. 脚の付節は 5 節からなる.

8b. メスでは腹端に産卵鞘, 産卵管, 刺針を持つ.

..... ハチ目 Hymenoptera



8aa. 脚の付節は 2 節か 3 節からなる.

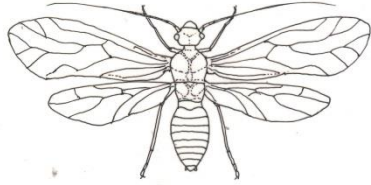
8bb. メスの腹端に産卵管のような特殊化した構造物はない.

..... 9

9a. 腹端に尾毛(Cerci)はない.

9b. 触角は細く糸状で, 13 節以上からなる.

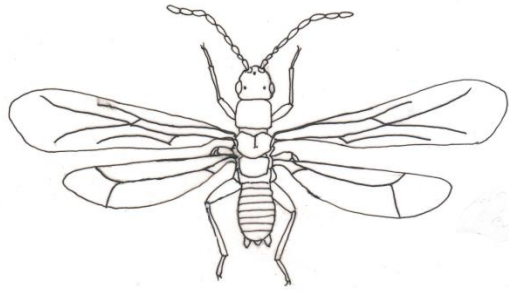
..... カジリムシ目 Psocodea



9aa. 腹端に尾毛を持つ.

9bb. 触角はじゅず状で, 9 節からなる.

..... ジュズヒゲムシ目 Zoraptera



10a. 頭部の複眼よりも下の部分が腹面側へ顕著に長く伸び, 側方から見てくちばし状となる.

10b. オスの腹端はサソリのように背方から前方へ向き, 先端節は膨らむ種が多い.

..... シリアゲムシ目 Mecoptera



10aa. 頭部が腹面側へ顕著に長く伸びることはない.

10bb. オスの腹端は変形しない.

..... 11

11a. 翅には横脈がほとんどない.

11b. 付節は 4 節からなる.

..... 12

11aa. 翅には多数の横脈があり, 網目状となる.

11bb. 付節は 5 節からなる.

..... 13

12a. 前脚付節は変形しない.

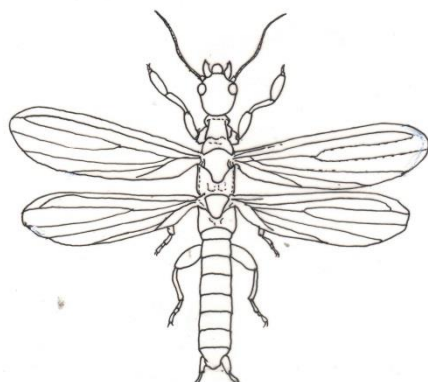
..... ゴキブリ目(シロアリ類) Blattodea (Termites)



左：有翅新女王，中：腹部を膨大させた巢中の女王．右：働きシロアリ．

12aa. 前脚付節は大きく膨らみ, 紡績器となる.

..... シロアリモドキ目 Embioptea



13a. 前胸の長さはほぼ幅と同じ長さ.

13b. 前胸は長いが前脚がカマキリのようにカマ状となる.

..... アミメカゲロウ目 Neuroptera







13aa. 前胸は明らかに幅よりも長さが長い.

13bb. 前脚はカマ状になることはない.

..... 14

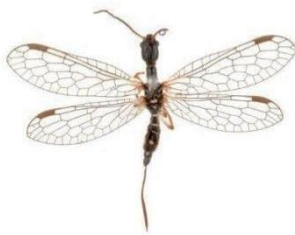
14a. 頭部は卵形で、触角は長い(大型種が多い. センブリ科 Sialidae は小型).

..... ヘビトンボ目 Megaloptera



14aa. 頭部は前方に突き出した長卵形、触角は短い(体長 10mm 程度).

..... ラクダムシ目 Raphidioptera



15a. 前翅には複数の翅脈を持つ.

15b. 触角は小さく、先端節は針状のことが多い.

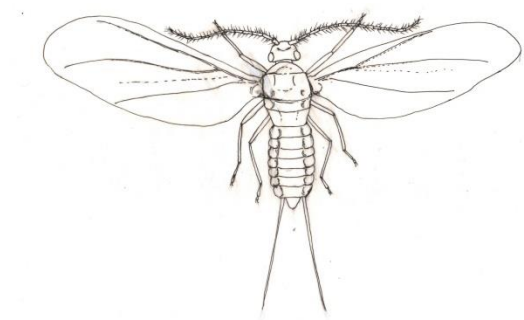
.....ハエ目 Diptera



15aa. 前翅の翅脈は大きく退化し、Y字型をした翅脈のみが見られる。

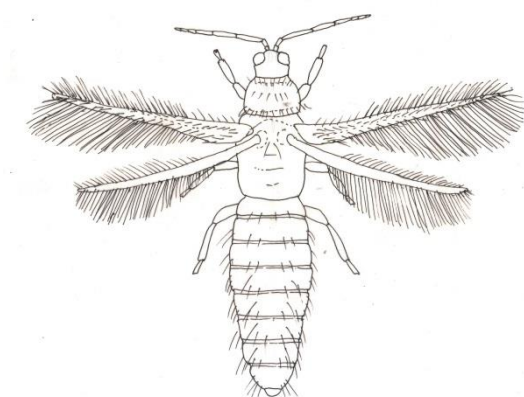
15bb. 触角の各節は管状。

..... カメムシ目(カイガラムシ類のオス) Hemiptera (male scale insects)



16a. 翅は棒状で細く、翅の周囲にフリンジ(fling)と呼ぶ長い毛が多く生える(チョウ目の小型種で、翅の後縁に長毛を生やす種が見られる)。

..... アザミウマ目 Thysanoptera



16aa. 翅は上記とは異なる.

..... 17

17a. 腹部末端に、はさみ状に発達した硬い尾毛を持つ.

17b. 翅は短く、腹部の多くの節が背面から見える.

17c. 後翅は3つ折りに折り畳まれて、前翅の下に収納される.

..... ハサミムシ目 Dermaptera



17aa. 腹部末端にはさみ状の硬い尾毛はない.

17bb. 翅は短く、腹部の多くの節が背面から見える(コウチュウのハネカクシ等例外が多い).

17cc. 後翅は折り畳まれないか、2つ折りに折り畳まれて、前翅の下に収納される.

..... 18

18a. 口器は針状で、吸汁型.

18b. 前翅は基半部が固くなり、前半部は膜状のタイプのもので、全体的に均質でやや硬いタイプのものが見られる.

..... カメムシ目 Hemiptera



18aa. 口器は左右に大あごが発達し、咀嚼型.

18bb. 前翅は全体的に鞘状に硬いか、やや硬い.

..... 19

19a. 前翅は全体的に鞘状に硬く、翅脈はなく、静止時に左右の翅が上下に重ならない.

..... コウチュウ目 Coleoptera



19aa. 前翅は全体的にやや硬く、翅脈があり、静止時に左右の翅が上下に重なる.

..... 20

20a. 前翅は餌を捕獲するため、カマ状に変形している.

..... カマキリ目 Mantodea



20aa. 前翅はカマ状に変形しない.

..... 21

21a. 前胸は横に幅広く発達し、頭部は背方から見て前胸の下に隠れる.

..... ゴキブリ目 Blattodea



21aa. 前胸は横に広がらない. 頭部は背方から見て前胸の前に位置する.

..... 22

22a. 後脚が前脚, 中脚よりも長く, 大きく発達し, 後脚を使って飛び跳ねることができる.

22b. 胸部, 腹部は棒状に細長くはならない.

..... バッタ目 Orthoptera



22aa. 後脚は通常大きく発達しない. 後脚を使って飛び跳ねることはしない.

22bb. 胸部, 腹部は棒状に細長くなる種が多い(コノハムシやサカダチナナフシ等では腹部が幅広く横に広がる).

..... ナナフシ目 Phasmida



<<成虫で翅を持たない種>>

23a. 胸部と腹部の間が著しくくびれる. 前方の腹節が小さく結節状となる場合もある(アリ科).

..... ハチ目 Hymenoptera

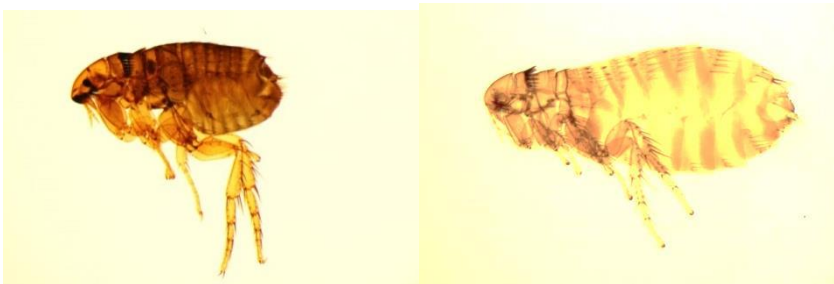


23aa. 胸部と腹部の間に著しくくびれはない.

..... 24

24a. 体が左右に著しくへん平となり, 発達した後脚を持ち, よく跳ねる.

..... ノミ目 Siphonaptera



24aa. 体が左右に著しくへん平とはならない.

..... 25

25a. 体は背腹面に著しくへん平となる. 恒温動物(鳥, ホ乳類)の体表に寄生する.

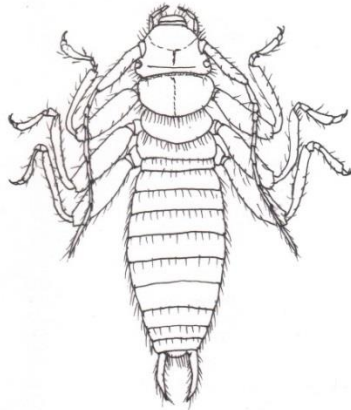
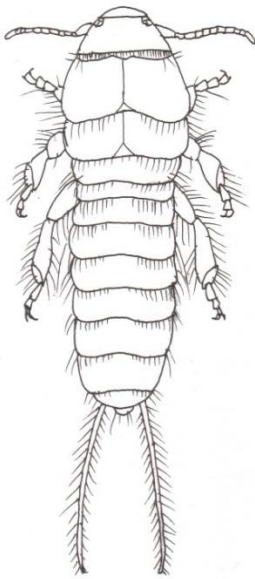
..... 26

25aa. 体は背腹面に著しくへん平とはならない.

..... 28

26a. 腹端に顕著な尾毛を持つ.

..... ハサミムシ目 Dermaptera (ネズミハサミムシ及  
びコウモリヤドリハサミムシ)



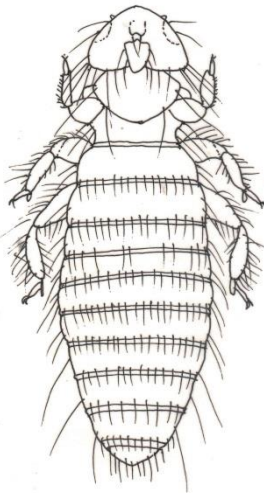
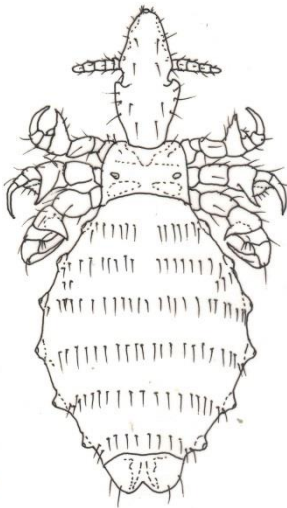
26a. 腹端に尾毛はない.

..... 27

27a. 触角は短いが裸出し，触角を収める小孔はない.

27b. 脚の付節は 2 節か 3 節からなる.

..... カジリムシ目(シラミ類, ハジラミ類) Psocodea(lice and sucking lice)

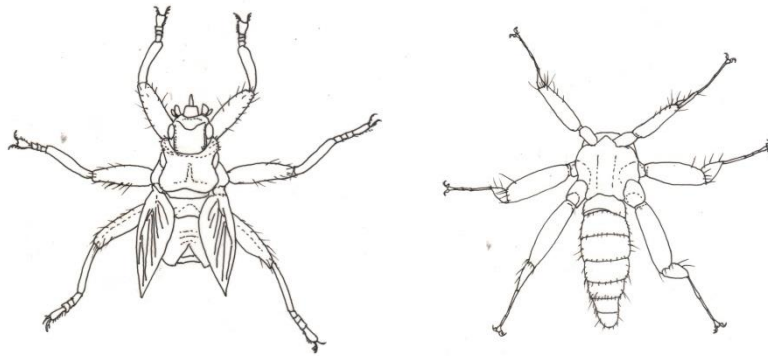


27aa. 触角は小孔の中に納まり，背面からは見えない.

27bb. 脚の付節は 5 節からなる.

..... ハエ目(シラミバエ類, クモバエ類) Diptera

(Hippoboscidae, Nycteribiidae (Bat fly))



28a. 腹端に糸状の長い尾(中央の尾糸と2対の尾毛)が3本ある.

..... 29

28aa. 腹端に3本の糸状の長い尾はない.

..... 30

29a. 複眼は小さく, 互いに離れる.

29b. 小あごひげは5節からなる.

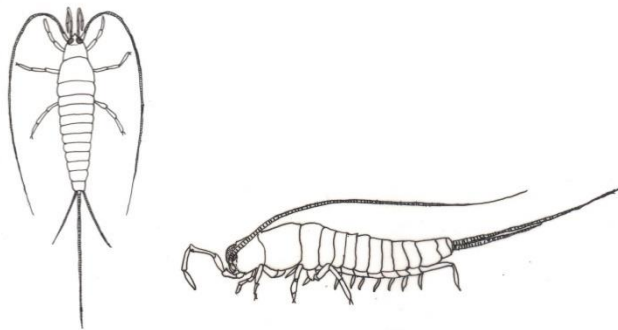
..... シミ目 Thysanura



29aa. 複眼は大きく, 頭部背面で互いに近づく.

29bb. 小あごひげは7節からなる.

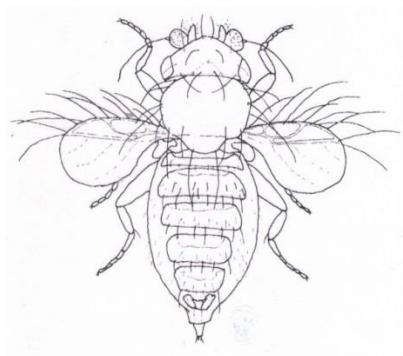
..... イシノミ目 Archeognatha





30a. 前胸は小さく、背面からは隠れて見えない。一方、後胸は大きく発達する。

..... ハエ目 Diptera



30aa. 上記とは異なる。

..... 31

31a. 口器は針状で、吸汁型(カイガラムシ類では体全体が蠟状物質で覆われている)。

..... カメムシ目 Hemiptera



31aa. 口器は左右に大あごが発達し、咀嚼型。

..... 32

32a. 前翅は餌を捕獲するため、カマ状に変形している。

..... カマキリ目 Mantodea



32aa. 前翅はカマ状に変形しない.

..... 33

33a. 前胸は横に幅広く発達し, 頭部は背方から見て前胸の下に隠れる.

..... ゴキブリ目 Blattodea



33aa. 前胸は横に広がらない. 頭部は背方から見て前胸の前に位置する.

..... 34

34a. 後脚が前脚, 中脚よりも長く, 大きく発達し, 後脚を使って飛び跳ねることができる.

..... バッタ目 Orthoptera



34aa. 後脚は通常大きく発達しない. 後脚を使って飛び跳ねることはしない.

..... 35

35a. 胸部，腹部は棒状に細長くなる種が多い.

..... ナナフシ目 Phasmida



35aa. 胸部，腹部は棒状に細長くはならない.

..... 36

36a. 脚付節は 5 節からなる.

..... 37

36aa. 脚付節は 4 節以下からなる.

..... 38

37a. 眼は小さく，退化的.

37b. 尾毛は長く糸状.

..... ガロアムシ目 Grylloblattodea



37aa. 眼は大きく発達する.

37bb. 尾毛は短い(アフリカの砂漠地帯のみに生息する).

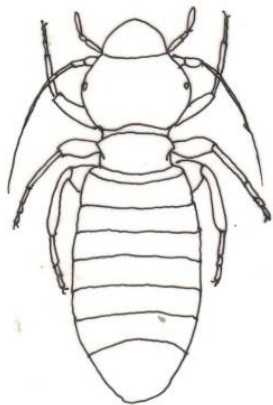
..... カトアルキ目 Mantophasmatodea



38a. 触角は細く糸状で，13 節以上からなる．

38b. 腹端に尾毛(Cerci)はない．

..... カジリムシ目 Psocodea



38aa. 触角は細く糸状で，13 節以上からなる．

38bb. 腹端に長い尾毛を持つ．

..... 9

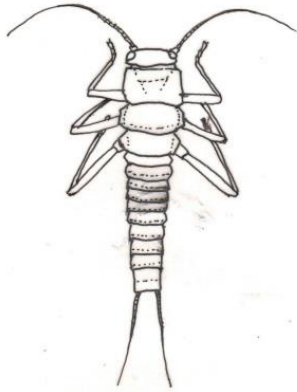
38aaa. 触角はじゅず状．

38bbb. 腹端に尾毛を持つ．

..... 40

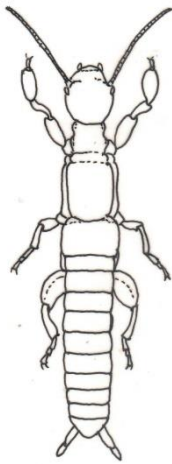
39a. 脚付節は 3 節からなる．

..... カワゲラ目 Plecoptera



39aa. 脚付節は4節からなる.

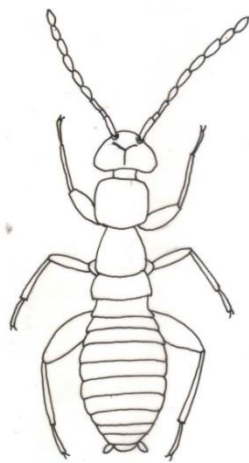
..... シロアリモドキ目 Embioptera



40a. 触角は9節からなる.

40b. 脚の付節は2節か3節からなる.

..... ジュズヒゲムシ目 Zoraptera



40aa. 触角は 10 節以上からなる.

40bb. 脚の付節は 4 節からなる.

..... ゴキブリ目(シロアリ類) Blattodea (Termeites)



# 昆虫の採集法と標本作製法

## 採集法

### 採集法の概略

野外に出るとさまざまな昆虫に出くわす。素手で捕まえるのが最も初歩的な採集方法であろうが、少し用具を使うだけで採集効率は格段に上がる。まずは、誰でもすぐに始めることができる必要最低限の基礎的な採集方法を説明したい。続いて、より工夫を加えた採集方法を紹介する。上級編とした特殊環境に生息する昆虫類の探索は、ごく参考程度のものである。

### 基礎編

#### 服装

昆虫を探する場合、道路から外れて草原や樹林に入ったり、水辺で採集したりすることが多くなる。そのため、昆虫採集に行く時には、けがをしないように相応の準備をして出かけるのが良い。

服は皮膚をかくす長そでのシャツ、長ズボンが良いだろう。虫刺されや植物かぶれ、けがを防ぎ、強い日差しから皮膚を守るためである。熱中症を防ぐために帽子をかぶろう。長く歩く場合が多いので、靴ずれをしない履きなれたくつを履こう。また、石や草等で手を切らないように軍手を付けるのも良い。これに捕虫網や虫かご、採集等の採集用具を持つ。その他、タオル、水筒、筆記具、防虫スプレー、虫刺され薬等をリュックサックに入れて携帯すると良い。

#### 採集用具

昆虫採集の初歩的な用具を紹介する。捕虫網と生かして持ち帰るための虫かごが最も基本となる。虫かごの中に昆虫をどんどん入れると、中の昆虫類は翅が破れたり、脚が取れたりして原型を維持しない。採集後に、標本作製の実施を考えた場合、以下の用具が基本となる。

##### ・ 捕虫網

一般的な採集に是非必要なもので、網の部分と、柄の部分から出来ている。網の部分は直径40-50 cm、深さは直径の2倍強のものが使いやすい(図3)。柄は普通1-2 mの長さだが、高い樹上に生活する昆虫を採集する場合はつなぎざおを用いる。

一般に、チョウやトンボは捕虫網に三角紙、甲虫やカメムシ類は捕虫網に毒ビンの組み合わせによる採集となる。

##### ・ 毒ビン(毒管・毒つぼ)

甲虫やカメムシ等を採集し、持ち帰るためのもので、ふたを持つ管に、底に殺虫剤をしみ込ませ

せた脱脂綿を入れたものである(図 5-b). 複数持ち歩くのが良い. 大型の昆虫用には直径 8-10 cm ほどの大型の毒つぼを用いる. 殺虫薬は安全で使いやすい酢酸エチルが最も良いが, ない場合はアルコールかアンモニアで代用すると良い. 薬の容器やインスタントコーヒーの瓶等で代用できるが, ガラス製の容器は落とすと割れてしまうのであまり勧めない.

#### ・三角缶および三角紙

チョウやガ, トンボ, カゲロウ, カワゲラ等の翅の発達した昆虫類は, 採集した後, 三角紙にくるんで持ち帰る. 三角紙は三角缶に入れる. 三角紙へ入れるのは, これらの昆虫の翅の表面を傷つけず, 特にチョウやガでは鱗粉が取れないようにして持ち帰る必要があるからである. そのため, 表面が平滑な紙質のもので作る必要がある. パラフィン紙が最適である. 三角缶は三角である必要はなく, 簡単なものを自作したい場合, 四角いボール紙製容器の一方を上になるようにし, ひもをつければ出来上がる.



図 1. 三角缶(右)と三角紙(左). 三角紙はここでは小, 中, 大の 3 種類があり, 昆虫のサイズに合わせて使い分ける.

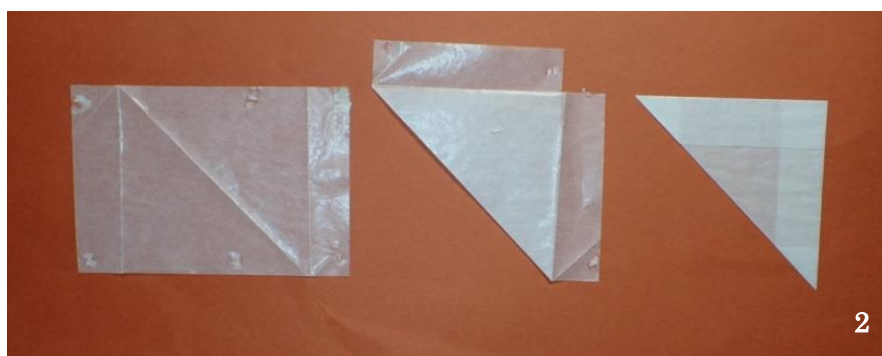


図 2. 三角紙の作り方. 1) パラフィン紙を長方形に切る(左). 2) 斜めに折り, 三角形にする(中). 3) へりのはみ出しを折りたたむ(右).



### ・ピンセット

直接手ではつまみにくい昆虫を採集する時に用いる。ただし、ほとんどの昆虫は指でつまめるので、刺し針を持つハチやアオカミキリモドキ等の有毒昆虫の採集時や指の入らない樹皮の間にいる昆虫、指ではつまみにくい小型の昆虫を採集する時等に使う。先の尖ったもの、平らなもの等色々ある。ピンセットは採集中に忘失しやすく、それ故、赤いリボン等を付けておくとともに、常時2、3本を用意しておく安全である。

### 基礎的な採集法

昆虫の採集には、出現時期、場所、昆虫の習性を知るなど、昆虫に出会うための知識や経験が必要である。昆虫類は直接目で確認できなくとも、多くの種が身近に生息している。スウィーピング(すくい採り採集)やビーティング(たたき網採集)を積極的に行ってみると良い。

### ・ルッキング(見つけ採り)

最も一般的な採集方法で、昆虫を目で探しながら道を歩き、発見した昆虫を採集する。カブトムシやクワガタムシは素手で採れるが、チョウやトンボは捕虫網を用いて採集する。地上に止まっているチョウは網を素早く上からかぶせて採る。花や葉に止まっているものは、それごとすくい取るようにして採集する。木の幹に止まっているものは下から上に向かって網を動かし採集する。チョウの場合は網の上から5秒ほど胸部を押し、呼吸を止め、その後網から取り出し三角紙に包み込む。チョウやガは翅の鱗粉が剥げやすいので、取り出す際には胸部を掴み、決して翅を掴まない。トンボの場合、そのまま網から取り出し、生きていた状態で三角紙に包み込む。体の柔らかなアブやハエは、採集後他の昆虫が入っていない毒管の中に入れ、動かなくなってから取り出して三角紙に包み込む。



図3. 捕虫網を用いての見つけ採り採集。腰に三角缶を装着している。

特にガガンボは脚が取れやすしので、極力虫体に触れないようにして、毒ツボに入れ動かなくなったら三角紙に包み、三角缶に入れて持ち帰る。

目視での採集は、各種植物に着目するほか、枯れ木、倒木、石下等を探す。薪が積み上げられている場所は、甲虫類等の好採集地である。キノコを探せばそれのみに着くキノコムシ等の昆虫が得られ、糞中、あるいはその下の土中では、珍しい食糞性コガネムシやハネカクシ等が採集できる。

#### ・スウィーピング(すくい採り採集)

草原等で捕虫網で植物をさらい、採集する方法である。10回程度左右にさらった後に、網の中を確認すると良い。甲虫やカメムシ、バッタ等多くの昆虫類が採集される。小さい花が密集して咲く樹木には多くの昆虫が集まる。これらの花を網ですくい取ると成果が上がる。

#### ・ビーティング(たたき網採集)

樹上性種や木に登って来た種を対象とする。木の枝や灌木を叩いて揺らし、下に落ちる昆虫を道具で受けて採集する方法である。捕虫網を使って昆虫類を受けても良いが、ビーティングネット(たたき網)に吸虫管(後述)を組み合わせると、小型の昆虫を容易に捕らえることができ、採集効率が上がる。

ビーティングネットは、四角い布を十文字に組んだ棒で広げたもので、一片の長さが 70-100 cm 程度のものが使いやすい。持ち運びに便利な、折り畳み式の簡易ビーティングネットも作成可能である(図 8)。さらには、折り畳み式の傘でも十分に機能する。

#### ・石起こし、朽ち木崩し、がけ崩し

土中や朽ち木中に生息する昆虫類を採集する方法である。採集道具として、根ほりやシャベルが必要となる。根掘りは頑丈なものを選ばないとすぐに使えなくなる。スコップは、2つ折り式や3つ折り式の携帯用のものがザックにコンパクトに収まり便利である。

冬季にゴミムシやオサムシ類は、道の切り通し等に集まって越冬する。そのため、冬季に崖状となっている場所を崩して採集を行う。良い場所に出会うと、多くの種や個体を得ることが出来る。昆虫類の採集は年間を通して可能である。起こした石や崩した場所は、元に戻しておこう。

### 中級編

採集目的や昆虫が棲んでいる場所によって、採集する方法や用具が異なって来る。これらの採集用具を全て準備すると、どこかに探検に出かけるような重装備となる。それぞれの目的に沿って、自分で工夫し、改良して行くと良い。

調査や採集目的によって持参する道具は異なって来ようが、一般的な採集では、登山用のアタック・ザック等に、必要な採集用具を入れて持ち歩くと良いであろう。採集時には、ポケットの

多い上着や作業用ズボンを用いると便利である。上着は長袖のものを着用し、靴は底の厚いものを履く方が安全であるし、作業もしやすい。人によっては腕カバーやスパッツを着け袖口や足元からのムシやダニの侵入を防ぐ。それでも長時間の採集を行えば、カや他の吸血性昆虫の餌食になるので、多少の事には動じない鍛錬のつもりでしよう。湿地の調査では長靴の使用が無難である。薄暗い森林の中で採集する時には、ヘッドライトか携帯用の蛍光灯のような光源を使用した方がよい。昼間でも森林の中はかなり暗く、微小種は、補助光源なしでは見落としやすい。一方、炎天下での採集や調査では熱射病に十分留意すべく、調査地域の状況によって帽子やヘルメットを携帯したい。

#### ・ サンプル管 (ビン)

採集した小型の昆虫を投入するもので、これらにはあらかじめ 70~80%のエチルアルコールを瓶の半分ほど入れておく(図 5-a)。サイズの異なる 2~3 種類を用意しておく方がよい。サンプル管はズボンのポケットや小物入れに入れ、未使用と使用済みの瓶の入れ場所を決めておくとうまい。土壌動物の採集では、基本的にアルコール入りのサンプル管を使う。また、小型の珍しい昆虫を採集した場合、毒管に入れずに、別に用意したサンプル管に入れて持ち帰った方がよい。

#### ・ 吸虫管

動きの速い昆虫や小さな昆虫を吸い込んで採集するための道具である。片口式と両口式の二種類がある(図 5-B, C)。ゴム管(ビニール管)を口にくわえ、ガラス管の先を昆虫に近づけ、息を吸い込むとそれによって昆虫が管の中に入り込む。簡便なものとして、適当な長さのガラス管の一端に、ナイロンストッキングや昆虫採集用の網の小片をあてがい、これをビニール管に押し込むと簡易吸虫管ができて上がる(図 5-A)。この吸虫管はアルコールの入ったサンプル管と一緒に使う。まず、これで昆虫を吸入し、サンプル管の中へ直接吹き出す。ボールペンのしんを取り除き、ガラス管がわりにボールペンの本体を使って簡単に作成することも可能である。

携帯用の電気掃除器を改良した吸虫管(吸虫機?)もある(図 6)。生かしたまま昆虫を持ち帰る目的の場合、片口式吸虫管に大型の試験管(径 3cm、長さ 20cm 程の大型肉厚の試験管)で自作することもできる(図 5-D)。昆虫を採り終えたら口栓をはずし、試験管の口を脱脂綿等で栓をする。

#### ・ ビニールシート

落葉土層や土塊をこの上でほぐし、土壌中の昆虫を採集したり、枯れ枝中の昆虫をここへ叩き落とすために用いる。2 枚を携帯し、内 1 枚は腰を下ろす時の敷布として使っても良いだろう。白色でも問題ないが、薄い灰色のものが小昆虫を識別しやすく最も機能的に思える。

#### ・ 吸血昆虫忌避剤・虫さされ薬

特に夏場、樹林内で採集をする時には極力持参することを勧める。長時間の探索、採集には、



ルテープは、アリやハチの営巣場所等をマークしておく時や、トラップ(わな)を仕掛けた際にトラップの位置を示すために用いる。箸にあらかじめ赤色ビニールテープを旗状に添付したものを準備しておいても良い。特にベイトトラップやピットホールトラップを設置した場所に、同時にこれを立て、設置場所が分るようにしておくためにも便利に使える。

## 各種採集方法

### 1) 灯火採集(ライトトラップ)

灯火に飛来するさまざまな昆虫類の採集を目的とする。居住区域では、灯火のある場所を回るだけでも多くの昆虫を採集することが出来るが、光源のない場所では、携帯用の蛍光灯と白色シートを持参して採集することができる。ガを採集する場合、毒ツボを用い、毒ツボ内で死んだ個体を次々と三角紙に移しつつ採集を行う。毒管は体の固い甲虫用と、柔らかいカゲロウ、カワゲラ等用とに使い分ける。温度や湿度、天候等の気象条件によって異なるが、通常 21 時から 22 時頃に昆虫の飛来数がピークとなる。

### 2) 水生昆虫類の採集

捕虫網の代わりに水網を準備する。外枠や網の部分が丈夫に作られており、水生昆虫を採集するのに都合がよい。水草ごとすくい取ると、目視できなかった水生昆虫が多く入る。魚用のたも網は網目が荒すぎて昆虫の採集には不適である。流れのある川では、水網を下流側に置き、そのすぐ上流れ、川底の石を起こすと、カゲロウ、カワゲラ、トビケラ、トンボの幼虫等さまざまな昆虫が網に入る。

### 3) 土壌中の昆虫類の採集

土壌中に生息し活動する昆虫類を効率良く採集できる最も簡便な採集方法は、ふるいとトレイを用いて落葉土層をふるう「土壌ふるい法」であろう。また、ツルグレン装置やウインクラーサックを用いると、なかなか採集できない微少な珍しい種類を抽出することができる。

#### ・土壌ふるい法（ざるふるい法）

ざるのようなふるいと白色あるいは淡色のトレイを用いて落葉土層をふるい、林床に棲んでいる昆虫を採集する。道具としては簡単なものであるが、非常に採集効率が良い。

#### ・ツルグレン装置・ウインクラーサック

林床性及び土中性の種の採集に有効で、希少種の採集効率も良い。特にウインクラーサックは大きな荷物とならず、現地の調査中に実施できる機動性を持っている。落葉層を中に入れ、壁にかけておき、昆虫が下に落ちるのを待つ。

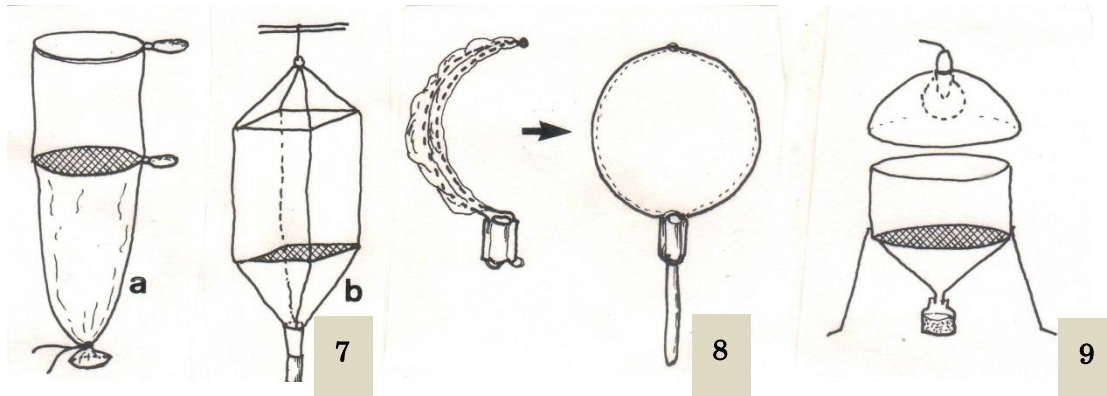


図 7. ウィンクラーサック. リターシフト(a)を用いて, 葉や枝を取り除いた落葉土成分をウィンクラーサック(b)に入れる. ウィンクラーサックは壁等に吊るしておき, 土壌動物の落下を待つ. 図 8. 簡易ビーティングネット. 二折式捕虫網の枠を利用して作成する. 図 9. ツルグレン装置. 上から光を当て, その光と熱で土壌動物を抽出する. 温水に装置を入れて土壌動物を抽出する方式のものはベルレーゼ装置と呼ぶ.

## トラップ(わな)による採集法

### ・ベイトトラップ

餌を置き, それに昆虫を誘き寄せて採集する方法. 地上のトラップを置く場合, 餌としては, 液体食を主要な餌源としている種を引き寄せるためのハチミツや, 肉食性種を引き寄せることを狙ったソーセージやツナが良く用いられる. スイカの皮やモモ, リンゴの皮を草むらや林内に設置する方法もある. 樹林で良く用いられるものとして, ペット容器を木の幹に巻き付け, 中に餌を入れて昆虫を集めると効率が良い. 特に容器を用いない簡便な方法として, 樹幹に蜂蜜を塗る糖蜜採集法がある. ハチ類の採集のために, 砂糖水を灌木に吹き付けて飛来を待つ方法や, 灼熱の熱帯域では, 水を撒いてチョウの飛来を待つ採集方法等もあり, いろいろと工夫が出来る採集法である.

### ・バタフライトラップ

チョウ採集を目的としたベイトトラップである. 薄い布で外面を覆い, 下端にチョウの入り口を作っておく. 容器の中にバナナやパイナップルを置き, これにつられて飛来したチョウを採集する方法である. チョウは容易にトラップの中に入るが, 外へはなかなか出られない.

### ・落とし穴トラップ (ピットホールトラップ)

コップ等の容器を, 地表面すれすれまで埋め込み, そこに落ち込んだ昆虫を採集する方法. 地表面で活動する昆虫の採集を目的とする. 落とし穴に落ち込んだ昆虫は, 容器の壁が滑るため上

へ這い上がれないことを利用している。通常はベイトトラップとの組み合わせで、容器の中に肉(腐肉採集法)を入れたり、酢やアルコール、カルピス等の液体誘因物質を入れたりして効率的に昆虫類を集める。大型の洗面器を埋め込み、中にベイトの入った容器を置いてみるのも良い。容器は通常翌日に回収に回るが、野犬や野ネズミに荒らされるものが少なくないのが弱点である。また、夜に雨が降る可能性がある場合、紙皿等に串を刺し、雨除けとして容器の上に設置することもある。

### ・歩行トラップ

地表活動個体を採集するトラップである。例えば四方に登り口を作り、地表活動個体がここから中に入るようにしてある。トラップの中には捕虫器があり、ここで捕獲される。

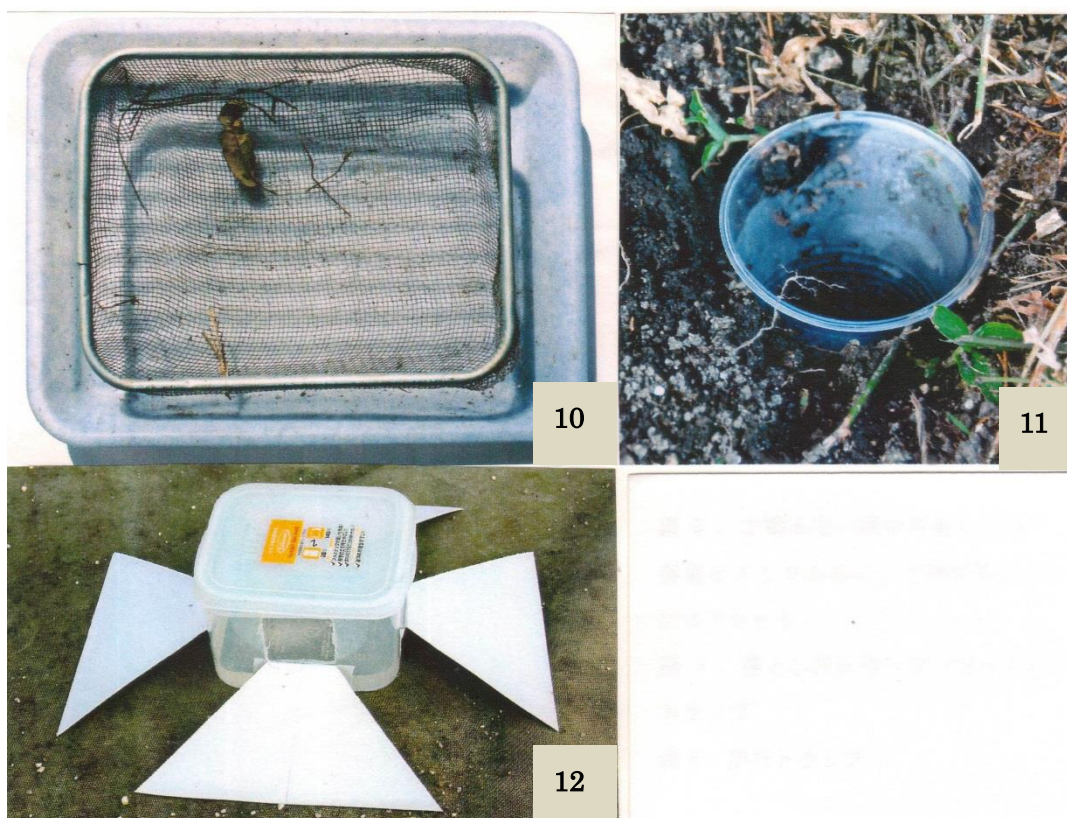


図 10. 土壤ふるい用のざるとトレイ。落葉層をざるでふるい、昆虫他の土壤動物をトレイに落下させる。

図 11. 落とし穴トラップ(ピットホールトラップ)。図 12. 歩行トラップ。

### ・倒木トラップ

薪置き場は多くの昆虫類が集まる、好最終地点である。樹林内で、あらかじめ倒木を一カ所に集め、そこに集まる昆虫を採集する方法である。倒木を自宅に持ち帰り、そこから羽化する昆虫を採集する方法もある。

好蟻性昆虫を効率よく採集するためのものとして、植木鉢トラップがある。アリの巣口に素焼

きの植木鉢をひっくり返しにして置くだけのものであるが、これによって巣中の好蟻性昆虫が植木鉢の中に上がり、通常の方法ではなかなか採れない珍しい種が容易に採集できる。

#### ・マレーズトラップ

飛翔中の昆虫が、壁等の障害物に当たると上方へ上がる性質を利用したテント型の捕虫トラップである。長期間設置したままにでき、大量の昆虫類の採集が可能。

#### ・衝突板トラップ (FIT)

プラスチック板(透明ビニールシートでも可)を立てておき、それに当たった昆虫が下に落ち、捕獲されるトラップ。板の下には防腐剤(ホルマリンかエチレングリコールが簡便)を加えたパットを置いておく。マレーズトラップも衝突板トラップも、昆虫の飛翔を利用した広義のインターセプトトラップである。

#### ・羽化トラップ (エマーゼンストラップ)

布やブリキ板等でピラミッド型の本体を作り、これを地表に設置し、土中から羽化して出て来た個体を捕獲する。本体に頂上に捕虫器をつける。



図 13. マレーズトラップ。障害物に当たった飛翔昆虫は、写真では左方に上がって行く。左端の上部に捕虫器が設置されている。図 14. 黄色水盤トラップ(イエローパントラップ)。膜翅目、双翅目、半翅目等の飛翔昆虫が水盤に落ち込む。

#### ・黄色水盤トラップ (イエローパントラップ)

黄色の平たい容器に水を張っただけの単純なものであるが、様々な昆虫がその中に落ち込む。容器に張った水には中性洗剤を僅かに入れる。数日間放置する場合は、さらに防腐剤(ホルマリンかエチレングリコールが良い)を加えておく。母巢を飛び立ったアリの有翅メスやオス個体も採集できる。



## 上級編(特殊環境に棲む昆虫類の採集)

昆虫は地球のさまざまな環境に見られる。極端な環境を挙げれば、油田の中や、ヒマラヤの標高 5000m を超える山岳氷河、年間を雪と氷で覆われた南極にも昆虫が生息している。このような過酷な環境に棲む昆虫類の姿は鮮烈である。生物学的には、昆虫が環境に良く適応して生活していることを理解するのに、これらは最適な例となる。これらの昆虫に出会うためには、その環境へ行かなければならない。もちろん、特殊な環境へ向かうことから、高い技術と知識、強靱な体力を身に着けるための修練が必要にもなってくる。

### ・洞窟の昆虫

特に石灰岩地帯に見られる鍾乳洞を中心とした洞窟内では、暗黒、多湿で温度変化の少ない環境にある。湿度はほぼ 100%、温度は日較差、年較差ともに小さい。暗黒の環境にあることから光合成を行う植物は不在であり、よって草食性動物も不在である。にもかかわらず、洞窟内には目のないトビムシやゴミムシ、ヤスデなどが生息しており、しばしば洞窟とつながっている地下水には、目のないゲンゴロウ等が見られる。このような洞窟の中へ向かうためには、岩壁登攀の技術が必要である。

近年、これらの洞窟性昆虫は洞窟の中のみで暮らしているのではなく、本来土中の深い場所を生活の場としている生物であることが判明している。そのために、洞窟に行かなくとも、高い切り通しの一番下の部分を掘り取ることで、運が良ければこれらの昆虫類を採集できることが分かって来た。

### ・高山の昆虫

温度要因の制約が強くなる厳しい環境にある。ヒマラヤの 5000m 地点の氷河上にも翅を欠くヒョウガユスリカ等が生息している。これらの昆虫では 0℃ 付近でも体内の酵素が最も良く働くようになっている。一般に高山性の昆虫類は年間で特定の時期に限って活動し、成長が可能な状況にある。調査のためには積雪期を含む登山技術の他、岩壁登攀技術が必要である。

### ・極地の昆虫

南極と北極では地理的な相違が見られる。南極は大陸で、かつ他の陸地とは隔絶されているが、北極では生態系が連続的で、シベリアのタイガ林から寒さに強いコケや地衣植物が見られるツンドラ、そして雪と氷の極地となる。

南極では高等植物は 2 種のみが知られ、大陸の周辺部分に地衣、コケ類がパッチ状に見られるのみである。そのような植生下に 40 種ほどのトビムシ類やダニ類が見られる。南極のトビムシは -70℃ でも生き残ることが知られている。昆虫類では、翅を完全に退化させたナンキョクユスリカ一種のみが知られている。これはブリザードが吹き荒れる厳しい環境下で、生活圏から吹

き飛ばされないためのものであろう。他に、ペンギンやアザラシに寄生するシラミ類が数十種類知られている。南極にせよ北極にせよ、知識と耐寒訓練、サバイバル技術の修得が必須の環境である。

#### ・ 砂漠の昆虫

年間降水量が少なく、非常に乾燥した環境にある。また、日較差が大きく昼間は暑く、夜は冷え込む生物にとって過酷な環境にある。砂漠は大陸内部に発達し、土壤環境から砂質砂漠や岩石砂漠等に区分される。動物も植物も乾燥に対する適応様式を持っており、昆虫類では水分を集める溝を上翅に持つなど効果的に水分を入手する形態を持つものがある。温度条件から、砂漠の昆虫の活動時間は早朝と夕方、あるいは夜に限られる。砂漠への探査で、単独行はあり得ない。1台がタイヤを溝には取られた場合、単独での脱出は不可能で、調査用車両は2台以上でチームを組んで行われる。



図 15, 16. 砂漠地帯での調査.

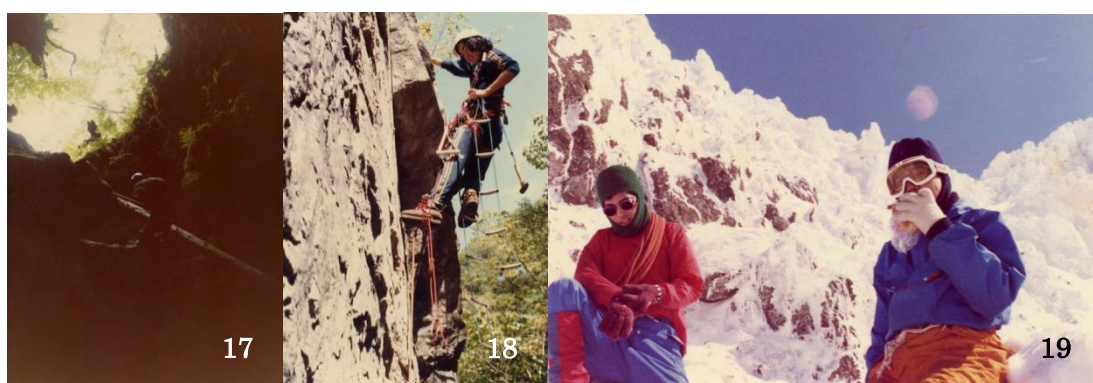


図 17. 洞窟での調査. 入り口では、ザイルや簡易はしごを使って洞窟内へ降下する. 図 18. 岩壁登攀の訓練. 岩壁登攀技術は山岳での調査の他に、洞窟での調査や無人島等の困難な島嶼での調査の際に必要となる. 図 19. 積雪期の高山帯での調査.

### ・熱帯雨林の昆虫

熱帯や亜熱帯では樹上性の昆虫を採集するために、岩壁登攀用具を用いて木に登り、採集を試みる方法がある。樹上には多くの昆虫が棲んでおり、地上部と樹上部での種の割合はおよそ1:2であると言われる。しかし、これまでの多くの調査は、熱帯多雨林の地上部で行われており、樹冠を含む樹上部の昆虫相はあまり調べられずに残された状態にある。熱帯・亜熱帯に多く見られるオオタニワタリ等の、樹木の高い場所に付着して生育する着生植物の根元にも独特の動物群集が形成され、そのみで得られる昆虫類も少なくない。地上部から馬力のある機械を使い燻蒸剤を噴き上げて、樹冠の昆虫を地上に落として採集する(フォギング法)研究者もいる。

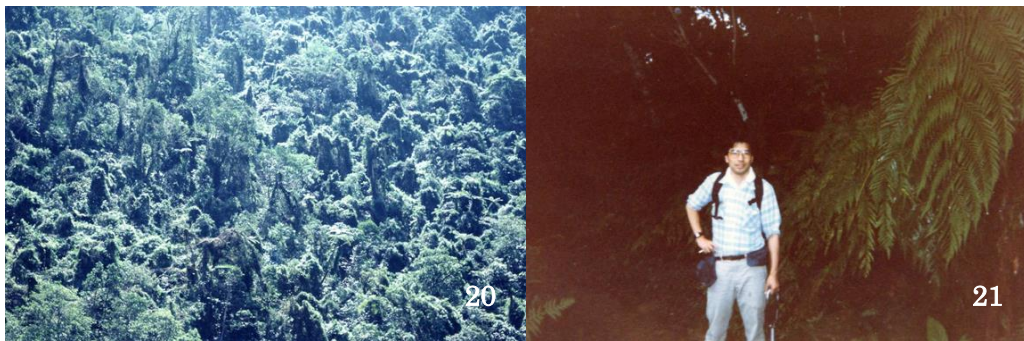


図 20, 21. 熱帯多雨林での調査. 熱帯多雨林は、高木が数十mの高さとなり、樹木部分の階層構造が発達する。樹木に取り着くつる植物や着生植物が非常に多い。

## 標本作製法

持ち帰った採集品は基本的に乾燥標本とする。ただし、研究によっては大量の個体で保管する必要が生じ、証拠標本や後の研究に役立てるためにも、液浸標本で保管する必要もある。基本的には大型の個体は、採集個体を一本の昆虫針に留め、採集データラベルを添付する。小型個体の場合、台紙に採集個体を貼り、その台紙を昆虫針に留め、採集データラベルを添付する。採集データラベルは小さいほど、後の作業の際に扱いやすくて良い。

### 標本作製用具

#### ・展翅板

チョウ、ガ、ハチ、トンボ、バッタ、クサカゲロウ等の翅を広げた状態の標本を作製するための板である。腹部が入る中央の溝は大きさが異なる何タイプかがあり、体の大きさに合ったものを使う。発泡スチロール板を使って自作もできる。広げた翅を押さえるために展翅テープ、留め針とともに使う。

### ・展足板(乾燥板)

甲虫、カメムシ、開翅をしないセミ、トンボ、バッタ等の脚や触角をそろえ、乾燥させる時に使う。市販のものは、長方形の箱型の台の上にコルク板が貼ってあるが、発泡スチロールで自作しても良い。

### ・昆虫針

長さ 40 mm のさびにくいステンレス製の針で、太さに数種類がある(図 22, 左)。頭部のある有頭針とない無頭針があるが、無頭針はけがをしやすく、有頭針の使用を勧める。昆虫の大きさに合わせて針の太さを選んで使う。100 本で 300 円程度。

### ・三角台紙・四角台紙

厚手の紙を小さく切ったもの。体の小さな昆虫をのりで台紙に貼りつけ、台紙に昆虫針を刺して使う(図 22, 中)。名刺やはがき程度の厚紙で、自作することができる。標本の貼付に使うのりは、一般には水溶性の木工用ボンドが良い(長期の標本保存を考えた場合、にかわで接着することが最良ではある)。

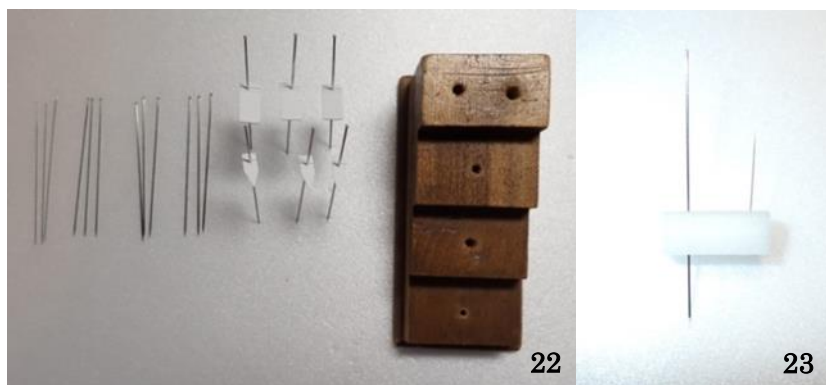


図 22. 左から昆虫針、昆虫針に取りつけた台紙、平均台。昆虫針は左から 00 号、2 号、4 号、5 号と呼ばれ、針の太さを表す。台紙に用いる昆虫針は太い 4 号か 5 号針が良い。

図 23. ダブルピン。昆虫針を 2 本使って作成する二重式標本用のもの。細い方の針を微針と呼ぶ。微針の上に昆虫の体を刺し込んで標本とする。

### ・平均台

虫体や台紙、データラベルを針に刺す時に高さをそろえるために使う(図 22, 右)。通常 3 段と 4 段のものがあ、それぞれ 3 段階、4 段階の所で標本個体や標本台紙の高さを揃えることができる。

### その他の道具

まち針(留め針)、ピンセット、柄つき針、脱脂綿、解剖ばさみ等。

## 乾燥標本の作成

以下に、一般的な標本作製の要領を示す。標本は、後に写真撮影がなされたり、必要によっては走査電子顕微鏡が使用される場合もあるので、標本に付着するごみやよごれは事前に取り除いておく。大型甲虫等で汚れがひどい場合、熱湯に浸して汚れを取り除いた方が良い。

### 1. 大型個体

#### 1-1. 展翅板を使い開翅標本にする場合

以下にチョウやガの開翅標本の作製手順を示す。

- 1) 翅や体の大きさに応じた太さの昆虫針を背面の中央から垂直に刺す。
- 2) 昆虫針の1/3の長さが、体の上に残るように虫体の位置を調整する。
- 3) 体に合ったサイズの展翅板を選び、昆虫針が前後左右から見て展翅板の板と直角となるようにする。
- 4) 展翅板よりやや長めの細いテープを溝に沿って両側に置き、左右の翅をそろえて留め針で留める。
- 5) 先に右か左の一方の翅を整える。テープの下方を手で押さえ、もう一方の手に留め針を持ち、その留め針で前翅の太い翅脈をひっかけて、前翅の後縁が溝と直角以上になるように引き上げて行く(鱗粉が取れ、傷とならないように慎重に作業する)。
- 6) もう一方の翅も同様に引き上げて行き、左右の翅が対象となるように整える。
- 7) 後ろ翅を整え、テープでしっかりと留める。
- 8) 外側に出ている翅の部分を幅の広いテープで覆い、留め針で留める。
- 9) 留め針を使って触角や腹部の形を整える。触角は先端までが直線状となるように留め針で留めるとより美しい標本となる。腹部が下がらないように、腹部の下には脱脂綿を丸めて置く。
- 10) 標本データを記入したラベルを標本のそばに留めておく。
- 11) 一週間以上置き、完全に乾燥したら留め針と展翅テープを外し、標本を取り外す。触角を留めている留め針を外す際には、触角を折らないように特に注意して取り外す。

ハチ、トンボ、バッタ、セミ、ナナフシ、カマキリ、カゲロウ、シリアゲムシ、クサカゲロウ、ヘビトンボ、トビケラ等の翅を広げた状態の標本作製する場合、鱗粉で覆われているチョウやガと異なり、翅を展翅板に広げる際に、翅に留め針による傷が付きにくく、作業がやり易いが、触角の長いものは触角を整え、さらに脚を左右対称となるように整える必要がある。

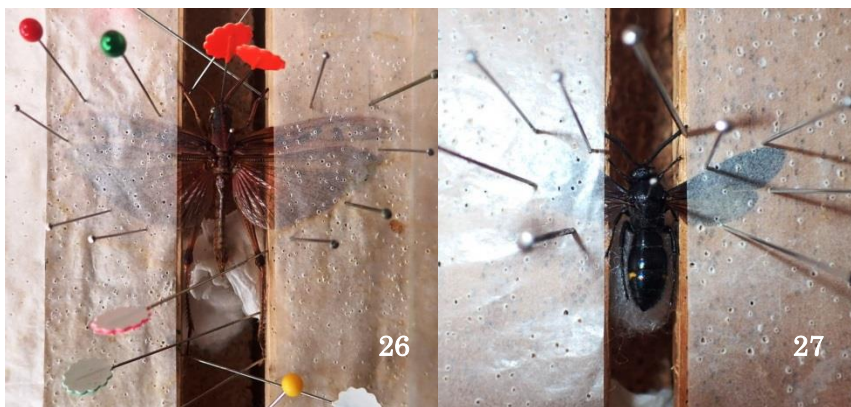
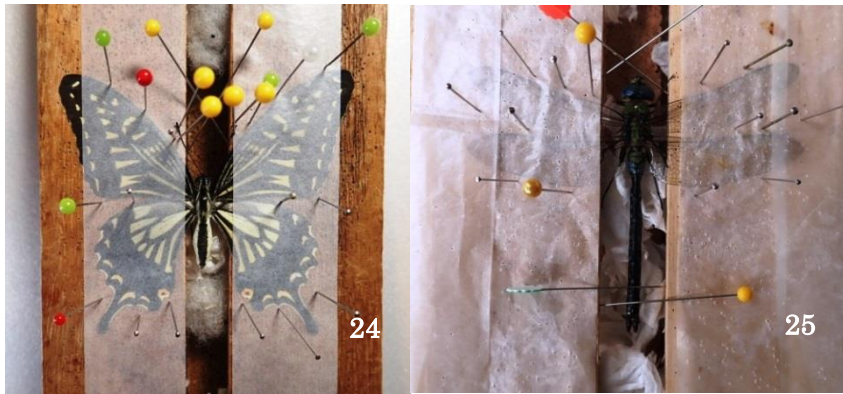


図 24-27. 展翅板での展翅状況. 24: チョウ. 25: トンボ. 26: バッタ. 27: ハチ.

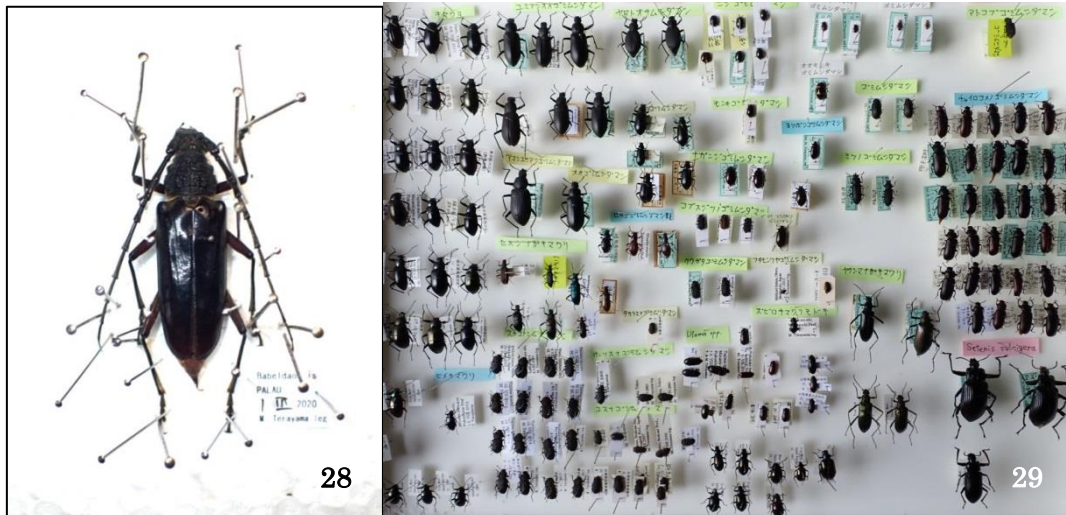


図 28. 展足の様子. 展足板として発泡スチロールを用いている. 図 29. 展足されたゴミムシダマシ類の標本.

## 1-2. 展足板(乾燥板)を使う場合

大型甲虫類, 半翅類, 開翅しないハチ, トンボ, バッタ, ナナフシ, カマキリ等の標本.

- 1) 昆虫針を体に刺し，虫体がコルク板に着くまで展足板に深く刺しこむ。
- 2) 留め針で触角や脚を整えて乾燥させる．脚の付節がまっすぐに伸び，先端の爪が上方を向くように留め針で整えると美しい標本となる．触角も直線状となるように留め針で整える．トンボの横刺し標本の場合，翅が開かないように，テープで留める。
- 3) 標本データを記入したラベルを標本のそばに留めておく。
- 4) 十分に乾燥したら，留め針を外し，標本を取り出す。

## 2. 小型個体

虫体に針を刺せない小型の昆虫は，三角台紙あるいは四角台紙に貼りつけ，その台紙に昆虫針を通して標本とする．同一場所で同一種が多く採集された場合，1本の昆虫針に2-4枚の台紙を刺す場合もある．ハチやアリ等の研究目的の標本では，胸部側面の状態を調べやすくするために，あえて脚を下方に伸ばす標本を作製する場合が多い．目的によって適切な標本を作製する必要がある。

- 1) 採集品を，腹面を上にして台の上に乗せ，留め針や柄つき針，ピンセットを使い触角や脚を伸ばす．採集してすぐに作業を行うよりも，多少時間が経ち，死後硬直が解けたタイミングの時に最も作業しやすい。
- 2) 針を刺した台紙の先端にノリを着け，これを上下に反転させ，虫体の胸部に貼りつける．ノリは多く着け過ぎないように注意する。
- 3) 標本によっては，触角や脚を台紙に着いた状態で再度整形する。
- 4) 標本データラベルを付ける。

その他，小型の昆虫用として，長短2本の昆虫針を用いて作成する二重式標本もある．使用する短い針は，微針と呼ばれる取り分け細い針である(図 23)．二重式標本とすると，標本の腹側の観察も容易となる。



図 30, 31. 台紙を用いて作成されたハムシ類の標本.

### 3. 特別な処置が必要な昆虫

甲虫類では、大型のものでもそのまま乾燥させることができる。しかし、トンボ、バッタ、コオロギ、キリギリス、カマキリ類では、内臓が腐敗しやすく、そのため標本作成時に内臓の取り出しが必要となって来る。さらに、トンボ類では、腹部が折れやすいため、標本作成時に体の支えとなる植物の茎を体内に挿入することが必要である。

#### ・トンボ類

イトトンボを除くトンボ類では、採集してすぐに殺すと色がひどく変わってしまうため、一晚三角紙に入れたままにして、脱糞させる。その後、胸部腹面から腹部をハサミで切り開いて内臓を取り出す。トンボの内臓は死後、直ちに腐敗が始まるため、その前に取り出す。取り出した後、腹部が折れないようにイネ科植物の乾燥させた茎を体内に挿入する。この茎は頭部から腹部末端まで支えるようにする。茎の一方を斜めに切り、そこを頭部に刺しこむと良い。その後に開翅標本、あるいは横刺し標本として整える。イネ科植物の茎は、イトトンボ用からヤンマ用まで太さの異なるものをあらかじめ乾燥させて用意しておく。

#### ・バッタ・コオロギ・キリギリス、カマキリ

これらの昆虫では、死後内臓の腐敗が始まるため、その前に内臓(消化管)を取り出しておく必要がある。バッタ・コオロギでは、頭部と胸部の境目の背面を切り開き、そこからピンセットを挿入して消化器官を取り出すことができる。カマキリの場合、腹部を腹面からハサミで切り開き消化管を取り出す。バッタ・コオロギでもこの方法で消化管を取り出しても良い。内臓を取り出した後、腹部に脱脂綿を入れて腹部の形を整える。他に、腹部にホルマリンを注射して腐敗を抑える方法もある。



図 32. トンボ類の標本。開翅標本と横刺し標本が含まれている。図 33. バッタ類の標本。



#### 4. 標本データラベル

標本に添付するデータラベルは、無くてはならない重要なものである。これのない標本は学術標本とはみなせない。せっかく採集し、標本としたものであるから、将来に渡って参照可能な科学的価値のあるものにしておきたい。最低限の必須となる情報は、採集場所と採集年月日である。

データラベルは、三角台紙と同様になるべく小さく作成する。そのため普通に市販されているラベルの2/3から1/2程度の幅ものが良い。海外の研究者へ標本が渡る事も多いので、**国内で採集したものであっても**、採集地に国名までを記しておく方が良いであろう。また、標本には生態情報、標高、位置情報(GPS データ)等を盛り込んだ補助ラベルを添えることも多い。データラベルを針に刺す時には、書いた文字が針でつぶれないように注意したい。しばしば訪れる採集地や、大規模な調査を行なう時の分や補助ラベル等は予め印刷しておく方が良い。種名が分かった場合、同定ラベルも添付しておくが良い。また、標本台帳を準備している場合、標本番号も添付する。



図 34. データラベルの例. 図 35. 三角台紙を用いた乾燥標本. 2 枚の標本データラベルの他、水色の同定ラベルが貼付されている. 図 36. 大型個体の乾燥標本.

#### 5. 乾燥標本以外の標本作製

##### 液浸標本の作成

乾燥標本になりにくい、シロアリ、アブラムシ(アリマキ)やカイガラムシ、体の柔らかい幼虫等は液浸標本として保管する。また、多くの個体が得られた場合も液浸標本とする時がある。液浸標本保存用のふたがしっかりと閉まる管に、通常 80%程度のエチルアルコールを入れ保管する。イソプロピルアルコールあるいはプロピレングリコールでも構わない。脊椎動物の液浸標本に使われるホルマリンは虫体を固くさせ、色を脱色させるので好ましくない。採集データ(鉛筆書き不可、時間が経つと読めなくなる;製図用インクで記入)をサンプルごとに忘れずに入れる。

持ち帰った標本を、液浸で保存用の小さいクダ管に入れ、それをさらに大きな瓶に入れる二重瓶式標本にして保存しても良く、この方がむしろ余計なスペースを取らなくて良い。99%アルコ

ールで保存した方が後に取り出して乾燥標本にする際に、脚や体が良く動かせ、後に標本からDNAを取り出すことも可能なので、より好ましいと言う見解もある。液浸標本は退色し易いので、必ず暗所に保存し、必要な時以外には光にさらさないようにする。

### プレパラート標本の作成

研究目的によっては、プレパラート標本を作製する。体長1 mmもないようなとり分け小型の昆虫や、体の柔らかいアブラムシ等はこの方式で保管される。さらに、触角や脚等の微細な構造を調べる場合も、プレパラート標本にする。組織標本を作成する場合は固定、脱水、染色等の処理が必要となるが、交尾器や口器、脚等を標本とする時は、通常、軟化、脱色を行い封入する。圧平されると具合の悪いものには、浅いホールスライドグラスを用いると良い。プレパラートには、どの標本個体のものであるのか対応できるようにデータラベルを貼付しておく。簡便な方法として、封入剤のユーパラルとマウント用小型カバーグラスを使い、針刺しプレパラート標本とする手法がある。

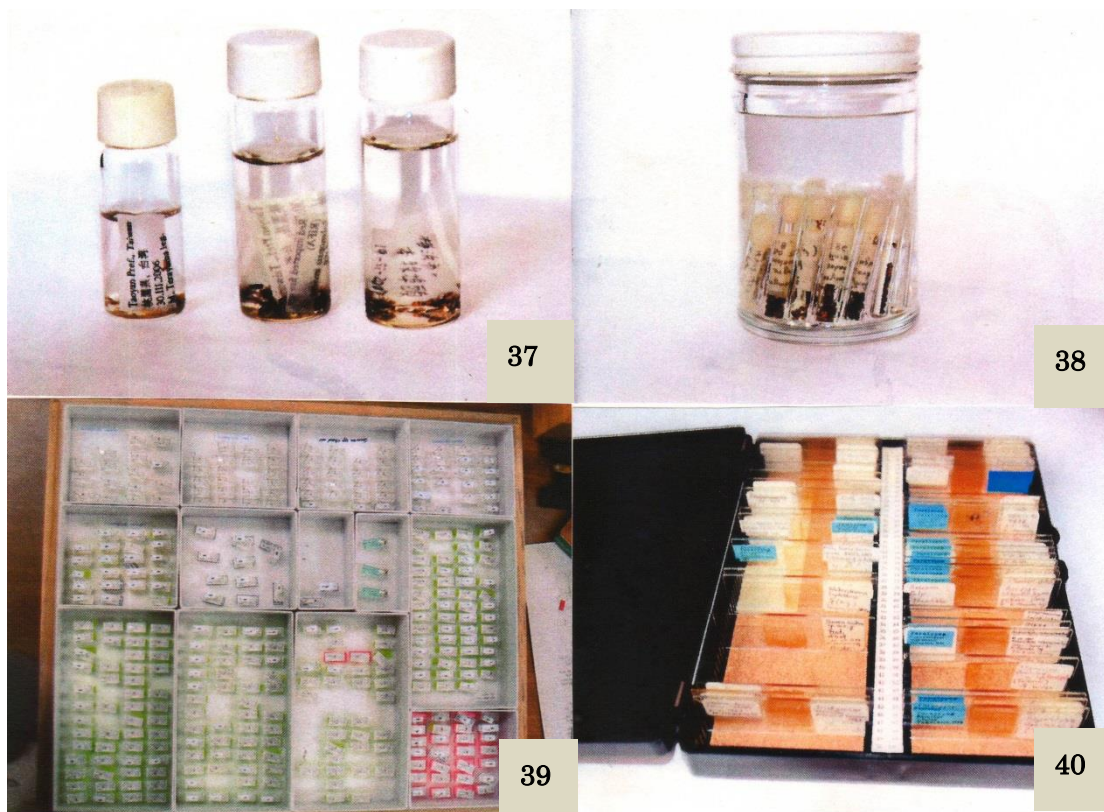


図 37. 液浸標本. 図 38. 二重瓶式標本. 図 39. ユニットボックスを用いて整理された標本箱. 図 40. プレパラート標本.

### 標本の保管

昆虫標本は、そのままにしておいてはカビが生え、虫に食われてしまう。必ず標本箱の中にいれて保管する。標本箱の中には防虫剤としてパラゾールを入れておき、一年に一回新しいものと入れ替えるようにする(以前はナフタリンが良く用いられたが、発癌性があることが分かり、勧められない)。標本箱は日の当たらない湿度の低い場所に保管する。標本が多くなって来た場合、小型の標本小箱(ユニットボックス)に種、あるいは属や科単位で並べ、その標本小箱を大型標本箱の中に配置して保管する方が、移動や整理の際に圧倒的に便利である。博物館での研究用昆虫標本は、およそこの方式で保管されている。

人によっては、標本台帳を作製している。所蔵している種や標本情報がすぐに分かるようにするためである。その場合は標本に標本番号(ID-code ; 例えば MT-HY-0001)を添付し、標本台帳の項目は標本番号で対応するようしておく。乾燥標本と液浸標本の2系列、さらにはプレパラート標本の3系列の標本がある場合、標本番号により対応関係が分かるようにすることができる。以前は台帳、またはカードを用いて登録・整理していたが、今日ではデータベースソフトを用いてパソコンで管理するのが一般的であろう。



図 41. 標本箱に収められたトリバネアゲハ類の標本。(ワシントン条約に抵触しない標本である)。

## 検鏡

乾燥標本の小型の種は、ルーペか双眼実体顕微鏡で観察する。多くの個体は 10 倍から 40 倍程度で観察することができる。双眼実体顕微鏡で観察する際は、小型標本支持台(Insect holder)を用いると便利である。この支持台は直交する二つの回転軸をもつが、支持台そのものを回転することと併せ、双眼実体顕微鏡下で短時間に虫体を必要な方向に固定できる。このため乾燥標本は、支持台で検鏡し易いように三角台紙や標本ラベル等のサイズを考えて作製する必要がある。また、そのことが標本収納のスペースを節約し、標本取り扱い中の破損の防止にもなる。プレパレート標本は通常の光学顕微鏡を用いて観察を行う。

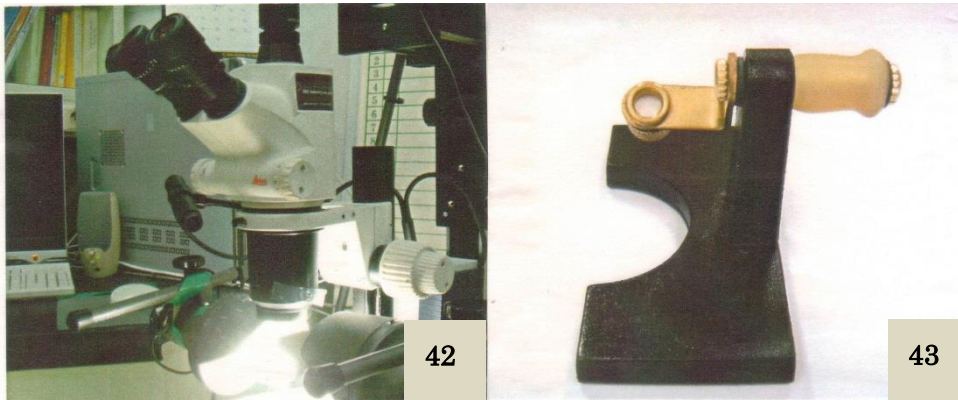


図 42. 双眼実体顕微鏡. 図 43. 小型標本支持台.

## 同定依頼

研究成果を発表する等の正確な名前を知る必要がある時に、専門家に標本を送って調べてもらうことができる。ただし、研究者は、本来の業務や研究により、多忙を極めている場合が普通である。そのような中で、研究者に同定作業に時間を裂いてもらう訳であるから、標本の点検や発送時の手間を極力かけさせないことが最低限のマナーと判断している(青木, 2005, 2011; 寺山他, 2014)。

### 1) 同定依頼文の発信

研究目的や標本の量、標本の状態、同定期限、さらにどのような方法で調査を行ったか、どのような発表を考えているかも含めて、書面で依頼を行なう(最初のコンタクトが電子メールであっても構わないが、正式な依頼文として書面を出すべきである)。特に研究者にとっては、研究目的は重要であり、その目的によって同定時間を裂く、裂かないを決める人も多い。博物館等の公共機関が教育目的により、標本の種の確定を求めるケースも少なくない。

同定者の同意が得られれば、標本を発送する。標本は返送を求めないことが基本であるが、事情があり、標本の返却を希望する場合は、事前に申し述べ、了承を得ておく必要がある。

## 2) 標本送付の留意点

1. 標本は、あらかじめ同一種、あるいは近似種と思われるものをまとめる程度の整理を事前に行い、それを送る事.
2. データラベルのついた完全な標本を送る事. 脱脂綿の上に採集個体を並べ、それを簡易的に紙で包んだもの(‘たとう紙’の中に押し込んだままの標本)や、仮に標本となっても事前の整理が全くなされておらず、名前の分からない個体を標本箱の中に詰め込んだものは拒絶される可能性が高い. ただし、事前の説明を受け、同定者が同意した場合は、正式な標本の状態になっていなくとも同定を引き受ける場合も少なくない.
3. 標本送付の際に、同定者が同定結果を書き込めば良いように、あらかじめ記入用の用紙を準備、同封すること. たとえば、標本や分類された種ごとに番号や記号をつけ、その番号や記号を記入用の用紙に書き込んでおくこと.
4. 標本の返却を求めない事. 分類研究者は、時間は何よりも貴重で、標本返却の手間さえ惜しい人が多い. 基本的に標本は譲渡し、切手と宛名を書いた返信用の封筒と同定結果を記入する用紙を同封すべきである. 事前の了解が得られていれば、電子メールのやり取りで同定結果を受け取ることも可能である.

ただし、何らかの事情により、標本の返送を希望する場合は、前述のとおり同定依頼文の中で理由を述べて頼んで見ると良い.

通常は同一種と思われる個体を手元に置き、さらに一部を同定用に送付するが、一個体のみが送付されて来た場合、同定に困難が伴う場合がある. 生物には必ず変異があり、一個体だけの標本を点検しなければならない場合、それが、ある種の個体変異や地理的変異の範疇なのか、あるいは別種なのか判定不能となる場合がある. 貴重な標本に、正しい分類学的位置づけがなされるためにも、可能な範囲で複数個体を送付されることを勧める.

## おわりに

昆虫は、陸上でもっとも繁栄している動物である。そのため、同じ陸上で生活する私達にとって、最も身近に見られる生き物である。日常の生活の中にも多くの昆虫が、さまざまな形で関わって来る。

日本は、小さい国であるが、南北に細長く、平野部は沖縄の亜熱帯から北海道東部の寒温带までの気候が見られる。海に囲まれており、多くの島々を持つと同時に山国でもあり、丘陵帯から高山帯までである。さらに、北方系の生物と南方系の生物の両方が見られる絶妙な位置にあり、多様な生態系が存在する。そのため、国土は世界の陸地面積のわずかに 0.25% であるにもかかわらず、昆虫を含めて実に多くの動植物が見られる。豊かな生物相を持ち、かつ固有な生物の多い地域を指定し、かつ多様性保全の必要性を主張する「生物多様性ホットスポット」に日本列島が選ばれてもいる。いわゆる先進国で、これだけ生物多様性が豊かな国があることは驚くべきことと思う。

現在、日本では約 3 万 5,000 種類もの昆虫が記録されている。しかし、実際にはその 2 倍以上の昆虫が生活していると推定されている。実際に毎年多くの種が新種として発表されている。

私達が日常的に目にする昆虫は、ごく一部の種である。けれども、少し注意を払って目を凝らせば、身の周りでも、多様に富んだ昆虫の世界が大きく広がって行く。土や緑、そして生物の賑わいは、私達の充実した生活に欠かすことの出来ないものと思う。さらに、願わくば、昆虫の世界を入り口として、自然を含めた私達の生活する文化や歴史を反映する、豊かな地域性の理解へと視界が広がって行くことを願っている。

## 参考文献

### 昆虫とは

- Augros, R. & G. Stanciu 1987. *The New Biology: discovering the wisdom in nature*. Shambhala Publication Inc. 274 pp.
- Costello, M. J., P. M. May & N. E. Stork, 2013. Can we name Earth's species before they go extinct? *Science*, 339: 413-416.
- Hennemann, F. & O. V. Conle, 2008. Revision of Oriental Phasmatodea: The tribe Pharnaciini Günther, 1953, including the description of the world's longest insect, and a survey of the family Phasmatidae Gray, 1835 with keys to the subfamilies and tribes (Phasmatodea: "Anareolatae": Phasmatidae). *Zootaxa*, 1906: 1-316.
- Misof, B., S. Liu, K. Meusemann, R. S. Peters, A. Donath, C. Mayer, P. B. Frandsen, J. Ware, T. Flouri, R. G. Beutel, O. Niehuis, M. Petersen, F. Izquierdo-Carrasco, T. Wappler, J. Rust, A. J. Aberer, U. Aspöck, H. Aspöck, D. Bartel, A. Blanke, S. Berger, A. Böhm, T. R. Buckley, B. Calcott, J. Chen, F. Friedrich, M. Fukui, M. Fujita, C. Greve, P. Grobe, S. Gu, Y. Huang, L. S. Jermin, A. Y. Kawahara, L. Krogmann, M. Kubiak, R. Lanfear, H. Letsch, Y. Li, Z. Li, J. Li, H. Lu, R. Machida, Y. Mashimo, P. Kapli, D. D. McKenna, G. Meng, Y. Nakagaki, J. L. Navarrete-Heredia, M. Ott, Y. Ou, G. Pass, L. Podsiadlowski, H. Pohl, B. M. Reumont von, K. Schütte, K. Sekiya, S. Shimizu, A. Slipinski, A. Stamatakis, W. Song, X. Su, N. U. Szucsich, M. Tan, X. Tan, M. Tang, J. Tang, G. Timelthaler, S. Tomizuka, M. Trautwein, X. Tong, T. Uchifune, M. G. Walz, B. M. Wiegmann, J. Wilbrandt, B. Wipar, T. K. F. Wong, Q. Wu, G. Wu, Y. Xie, S. Yang, Q. Yang, D. K. Yeates, K. Yoshizawa, Q. Zhang, R. Zhang, W. Zhang, Y. Zhang, J. Zhao, C. Zhou, L. Zhou, T. Ziesmann, S. Zou, Y. Li, X. Xu, Y. Zhang, H. Yang, J. Wang, J. Wang, K. M. Kjer, X. Zhou, 2014. Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science*, 346: 763-767.
- Mockford, F. L., 1997. A new of *Dicopomorpha* (Hymenoptera: Mymaridae) with diminutive apterous males. *Ann. Ent. Soc. Am.*, 90: 115-120.
- 梅谷献二, 1999. 世界でいちばん小さい虫. *インセクトarium*, 36(7): 17.
- 梅谷献二, 1999. 世界でいちばん大きい虫. *インセクトarium*, 36(8): 19.
- Wells, H. G., J. Huxley & G. P. Wells, 1929-1930. *The science of life*, (1-9). Waverley Publishing Company, 1515 pp.

### 第1章

- Adoutte, A., G. Balavoine, N. Lartillot & R. de Rosa, 1999. The end of the intermediate taxa. *Animal Evolution*, 15: 104-108.
- Carapelli A, P. Liò, F. Nardi, E. van der Wath & F. Frati, 2007. Phylogenetic analysis of mitochondrial

- protein coding genes confirms the reciprocal paraphyly of Hexapoda and Crustacea. *BMC Evol. Biol.*, 7 (Suppl 2): S8.
- Comstock, J. H., 1888. *An introduction to Entomology*. Ithaca. 234 pp.
- Comstock, J. H., 1924. *An introduction to Entomology*. Ithaca. 1044 pp.
- D'Haese, C. A., 2002. Were the first springtails semi-aquatic? A phylogenetic approach by means of 28S rDNA and optimization alignment. *Proc. R. Soc. B*, 269: 1143–1151.
- Eggleton, P., 2001. Termites and trees: a review of recent advances in termite phylogenetics. *Ins. Soc.*, 48: 187-193.
- Essig, E. O., 1942. *College Entomology*, Macmillan Company. 900 pp.
- Folsom, J. W., 1906. *Entomology, with special reference to its biological and economic aspects*. P. Blackiston's Son, 502 pp. (Reprint: 2010, Kessinger Publication.)
- Gai, Y.-H., D.-X. Song, H.-Y. Sun & K.-Y. Zhou, 2006. Myriapod morphology and relationships among Myriapod classes based on nearly complete 28S and 18S rDNA sequences. *Zool. Sci.*, 23: 1101-1108.
- Gao, Y., Y. Bu & Y.-X. Luan, 2008. Phylogenetic relationships of basal Hexapods reconstructed from nearly complete 18s and 28S rRNA gene sequences. *Zool. Sci.*, 25: 1139-1145.
- Giribet, G., S. Carranza, J. Baguná, M. Riutort & C. Ribera, 1996. First molecular evidence for the existence of a Tardigrada + Arthropoda clade. *Mol. Biol. Evol.*, 13: 76-84.
- Giribet G., G. D. Edgecombe & W. C. Wheeler, 2001. Arthropod phylogeny based on eight molecular loci. *Nature*, 413: 157-161.
- Giribet, G. & G. D. Edgecombe, 2019. The phylogeny and evolutionary history of Arthropods. *Curr. Biol.*, 29: R592-R602.
- Giribet, G. & C. Ribera, 1998. The position of Arthropods in the animal kingdom: A search for a reliable outgroup for internal Arthropod phylogeny. *Molec. Phyl. & Evol.*, 9: 481-488.
- Haeckel, E., 1866. *Generelle Morphologie der Organismen: allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*. G. Reimer.
- Haeckel, E., 1894. *Die Systematische Phylogenie*. G. Reimer.
- Haeckel, E., 1895-1896. *Die Welträthsel*. G. Reimer.
- Handirsch, A., 1930. *Allgemeine Einleitung in die Maturgeschichte der Insecta*. W. Kükenthal und T. Krumbach's Handbuch der Zoologie, 4, I: 403-584.
- Hwang, U. W., M. Friedrich, D. Tautz, C. J. Park & W. Kim, 2001. Mitochondrial protein phylogeny joins myriapods with chelicerates. *Nature*, 413: 154-160.
- Imms, A. D., 1925. *A general textbook of Entomology: Including the anatomy, physiology, development and classification of insects*. Methuen. 575 pp. (1977: A.D. Imms, O. W. Richards & R.G. Davies (Eds.), 10th ed.)



- Immus, A. D., 1931. Recent advances in Entomology. J. and A. Churchill. 374 pp.
- Kjer, K. M., 2004. Aligned 18S and insect phylogeny. *Syst. Biol.*, 53: 506-514.
- Kjer, K. M., F. L. Carle, J. Litman & J. Ware, 2006. A molecular phylogeny of Hexapoda. *Arthropod Syst. & Phyl.*, 64: 35-44.
- Kinzelbach, R., 1990. The systematic position of Strepsiptera (Insecta). *Am. Ent.*, 35: 292-303.
- 小西正泰, 2000. 昆虫学の歩み—西洋編. *インセクタリアム*, 37(10): 10-16.
- Kristensen, N. P., 1981. Phylogeny of insect orders. *Ann. Rev. Ent.*, 26: 135-157.
- Lo, N., G. Tokuda, H. Watanabe, H. Rose, M. Slaytor, K. Maekawa, C. Bandi & H. Noda, 2000. Evidence from multiple gene sequences indicates that termites evolved from wood-feeding cockroaches. *Current Biol.*, 10: 801-804.
- Lozano-Fernandez, J., A. R. Tanner, M. Giacomelli, R. Carton, J. Vinther, G. D. Edgecombe & D. Pisani, 2019. Increasing species sampling in chelicerate genomic-scale datasets provides support for monophyly of Acari and Arachnida. *Nature Communications*, 10: article number 2295.
- Luan, Y.-X., J. M. Mallatt, R.-D. Xie, Y.-M. Yang & W.-Y. Yin, 2005. The Phylogenetic Positions of Three Basal-Hexapod Groups (Protura, Diplura, and Collembola) Based on Ribosomal RNA Gene Sequences. *Molec. Biol. & Evol.*, 22: 1579-1592.
- Mallatt, J. & G. Giribet, 2006. Further use of nearly complete 28S and 18S rRNA genes to classify Ecdysozoa: 37 more arthropods and a kinorhynch. *Mol Phylogenet Evol* 40: 772-794.
- 松村 雄, 1990. 国内における農林昆虫の分類研究と標本保存の現状. *農業技術*, 45: 13-17.
- Min, G.-S., S.-H. Kim & W. Kim, 1998. Molecular phylogeny of Aethropods and their relatives: Polyphyletic origin of Arthropodization. *Molecules & Cells*, 8: 75-83.
- Misof, B., S. Liu, K. Meusemann, R. S. Peters, A. Donath, C. Mayer, P. B. Frandsen, J. Ware, T. Flouri, R. G. Beutel, O. Niehuis, M. Petersen, F. Izquierdo-Carrasco, T. Wappler, J. Rust, A. J. Aberer, U. Aspöck, H. Aspöck, D. Bartel, A. Blanke, S. Berger, A. Böhm, T. R. Buckley, B. Calcott, J. Chen, F. Friedrich, M. Fukui, M. Fujita, C. Greve, P. Grobe, S. Gu, Y. Huang, L. S. Jermini, A. Y. Kawahara, L. Krogmann, M. Kubiak, R. Lanfear, H. Letsch, Y. Li, Z. Li, J. Li, H. Lu, R. Machida, Y. Mashimo, P. Kapli, D. D. McKenna, G. Meng, Y. Nakagaki, J. L. Navarrete-Heredia, M. Ott, Y. Ou, G. Pass, L. Podsiadlowski, H. Pohl, B. M. Reumont von, K. Schütte, K. Sekiya, S. Shimizu, A. Slipinski, A. Stamatakis, W. Song, X. Su, N. U. Szucsich, M. Tan, X. Tan, M. Tang, J. Tang, G. Timelthaler, S. Tomizuka, M. Trautwein, X. Tong, T. Uchifune, M. G. Walz, B. M. Wiegmann, J. Wilbrandt, B. Wipar, T. K. F. Wong, Q. Wu, G. Wu, Y. Xie, S. Yang, Q. Yang, D. K. Yeates, K. Yoshizawa, Q. Zhang, R. Zhang, W. Zhang, Y. Zhang, J. Zhao, C. Zhou, L. Zhou, T. Ziesmann, S. Zou, Y. Li, X. Xu, Y. Zhang, H. Yang, J. Wang, J. Wang, K. M. Kjer, X. Zhou, 2014. Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science*, 346: 763-767.
- Miyazaki, H., C. Ueda, K. Yahata & Z.-H. Su, 2014. Molecular phylogeny of Myriapoda provides insight into evolutionary pattern of the mode in post-embryonic development. *Scientific Report*,

4(4127): doi.10.1038/srep04127

- Nardi, F., G. Spinsanti, J. L. Boore, A. Carapelli, R. Dallai & F. Frati, 2003. Hexapoda origins: monophyletic or paraphyletic? *Science* 299: 1887–1889.
- Oakley, T. H., J. M. Wolfe, A. R. Lindgren & A. K. Zaharoff, 2013. Phylotranscriptomics to bring the understudied into the fold: Monophyletic Ostracoda, fossil placement, and Pancrustacean phylogeny. *Molecl. Biol. & Evol.*, 30: 215-233.
- 岡西政典, 2020. 新種の発見. 中央公論社, 252 pp.
- Packard, A. S., 1898. A text-book of Entomology : Including the Anatomy, Physiology, Embryology and Metamorphoses of Insects. Macmillan, 729 pp.
- Regier, J. C. & J. W. Shultz, 1997. Molecular phylogeny of the major arthropod groups for indicates polyphyly of Curstaceans and a new hypothesis the origin of Hexapods. *Molec. Biol. & Evol.*, 14: 902-913.
- Regier, J. C., J. W. Shultz, A. Zwick, A. Hussey, B. Ball, R. Wetzer, J. W. Martin & C. W. Cunningham, 2010. Arthropod relationships reverled by phylogenomic analysis of nuclear protein-codeing sequences. *Nature*, 463: 1079-1083.
- Ross, H. H., 1948. A textbook of Entomology. Wiley. 532 pp.
- Snodgrass, R. E., 1935. Principles of insect morphology. McGraw-Hill Book Company. 667 pp. (Reprint: 1993. Principles of insect morphology. Cornell University Press, Ithaca and London. 667 pp.).
- 寺山 守, 2009. 分類・系統. 田付貞洋・河野義明(編), 最新応用昆虫学. 朝倉書店, 41-62.
- Zhang, Z.-Q., 2011. Phylum Arthropoda von Siebold, 1848. *In* Zhang Z.-Q. (ed.), *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3148: 99-103.
- Zhang, Z.-Q., 2013. *Animal biodiversity: An update of classification and diversity in 2013.* *In* Zhang Z.-Q. (ed.), *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703: 5-11.
- Zrzavy, J. & P. Stys, 1997. The basic body plan of arthropods: insights from evolutionary morphology and developmental biology. *Jour. Evol. Biol.*, 10: 353-367.

## 第2章

- Baltanás, A., 1992. On the use of some methods for the estimation of species richness. *Oikos*, 65: 484-492.
- Böhning-Gaese, K., 1997. Determinants of avian species richness at different spatial scales. *Jour. Biogeogr.*, 24: 49-60.
- Bicker, G., S. Schäfer & V. Rehder, 1987. Chemical neuroanatomy of the honeybee brain. *In* *Neueobiology and Behavior of Honeybees* (R. Menzel and A. R. Mercer eds.). Springer-Verlag, Berlin. pp. 202-224.

- Brusca, R. C. & G. J. Brusca, 1990. Invertebrates. Sinauer Associates Inc., Massachusetts. 922 pp.
- Buffon, C. de, 1761. Histoire naturelle, générale et particulière. Vol. 9. Paris, Imprimerie Royale.
- Chiara, L., F. Nardi, F. Frati, P. P. Fanciull, C. Cucini, M. Vitale, C. Brunetti & A. Carapelli, 2019. The mitogenome of the jumping bristletail *Trigoniophthalmus alternatus* (Insecta, Microcoryphia) and the phylogeny of insect early-divergent lineages. Mitochondrial DNA Part B, Resources, 4: 2855-2856.
- Chapman, R. F., 1982. The Insects Structure and Function. 3rd ed. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 919 pp.
- Chapman, 2009. Number of living species in Australia and the World (2nd ed.)
- Chen, L., Y. Song & S. Xu, 2008. The boundary of palaeartic and oriental realms in western China. Progress in Natural Science, 18: 833-841.
- Clements, F. E. & V. E. Shelford, 1939. Bio-ecology. John Wiley & Sons. 425 pp.
- Comstock, J. H., 1918. The wing of insects. Comstock Publishing Company, New York, 430 pp.
- Cover, S. P., J. E. Tobin & E. O. Wilson, 1990. The ant community of a tropical lowland rainforest site in Peruvian Amazonia. In Veeresh, G. K.; Mallik, B.; Viraktamath, C. A. (eds.) 1990. Social insects and the environment. Proceedings of the 11th International Congress of IUSI, 1990. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co., 699-700.
- Cox, C. B., 2001. The biogeographic regions reconsidered. Jour. Biogeogr., 28: 511-123.
- Crawley, M. J. & J. E. Herral, 2001. Scale dependence in plant biodiversity. Science, 291: 864-868.
- Daly, H. V., Doyen, J. T. & A. H. Purchell, 1998. Introduction to Insect Biology and Diversity. University of California Press. (2012: Whitfield, J. & A. H. Purcell III, Daly and Doyen's Introduction to Insect Biology and Diversity (3rd ed.). 752 pp.)
- Darlington, P. J., Jr., 1957. Zoogeography: The geographical distribution of animals. John Wiley & Sons, New York, 675 pp.
- Diamond, M., 1975. In M. L. Cody & J. M. diamond (eds.), Ecology and evolution of communities. The Belknap Press of Harvard University Press, 342-444.
- Digby, P. G. N. & R. A. Kempton, 1987. Multivariate Analysis of Ecological communities. Chapman & Hall. 206 pp.
- Daly, H. V., J. T. Doyen & A. H. Purcell, 1998. Introduction to Insect Biology and Diversity. Oxford University Press, New York., 680 pp.
- 江崎悌三, 1933. 昆虫類—系統学—. 岩波書店. 65 pp.
- Erwin, T. L., 1982. Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. Coleopterist's Bull. 36: 74-75.
- Erwin, T. L., 1983. Ecology and management. In Tropical Rain Forest. Blackwell Sci. Publ., 59-75.
- Fisher, A. G., 1960. Latitudinal variations in organic diversity. Evolution 14: 64-81.
- Flather, C. H., 1996, Fitting species-accumulation functions and assessing regional land use impacts

- on avian diversity. *Jour. Biogeogr.*, 23: 155-168.
- 藤田敏彦, 2010, 動物の系統分類と進化. 裳華房. 206 pp.
- Gaston, K. J., 1996. Species richness: measure and measurement. *In* Gaston, K. J. et al. (eds.), *Biodiversity: A Biology of numbers and differences*. Blackwell Science, 77-113.
- Gaston, K. J., 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405: 220-226.
- Gaston, K. J. & T. M. Blackburn, 2000. *Pattern and process in Macroecology*. Blackwell Science.
- Gaston, K. J. & J. H. Lawton, 1998. Patterns in the distribution and abundance of insect populations. *Nature*, 331: 709-712.
- Gaston, K. J., R. M. Quinn, T. M. Blackburn & B. C. Eversham, 1998. Species-range size distribution in Britain. *Ecology*, 21: 361-370.
- Grassle, J. F. & M. J. Maciolek, 1992. Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *Am. Nat.*, 139: 313-341.
- Grimaldi, D. & M. S. Engel, 2005. *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, Cambridge. 755 pp.
- Gullan, P. J. & P. S. Cranston, 2005. *The Insects: An Outline of Entomology*. 3rd ed. Blackwell Science Ltd., London. 505 pp.
- 橋本佳明・上甫木昭春・服部 保, 1994. アリ相を通して見たニュータウン内孤立林の節足動物相の現状と孤立林の保全について. *造園雑誌*, 57: 223-228.
- 速水 格, 1987. ワラス線-その地史的背景. *遺伝*, 41: 23-29.
- Hennemann, F. & O. V. Conle, 2008. Revision of Oriental Phasmatodea: The tribe Pharnaciini Günther, 1953, including the description of the world's longest insect, and a survey of the family Phasmatidae Gray, 1835 with keys to the subfamilies and tribes (Phasmatodea: "Anareolatae": Phasmatidae). *Zootaxa*, 1906: 1-316.
- Herrich-Schaffer, G. A. W., 1843-1856. *Systematische Bearbeitung der Schmetterlinge von Europa, Zugleich als Taxt, Revision und Supplement zu Jacob Hubner's Sammlung europäischer Schmetterlinge*. (6 volumes, 1843-1856).
- Heywood, V. H. (ed.), 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press. 1140 pp.
- 平嶋義宏・森本 桂・多田内修, 1989 *昆虫分類学*. 川島書店, 597 pp.
- Holt, B. G., J.-P. Lessard, M. K. Borregaard, S. A. Fritz, M. B. Araújo, D. Dimitrov, P.-H. Fabre, C. H. Graham, G. R. Graves, K. A. Jønsson, D. Nogués-Bravo, Z. Wang, R. J. Whittaker, J. Fjeldså & C. Rahbek, 2013a. An update of Wallace's zoogeographic regions of the world. *Science*, 339: 74-78.
- Holt, B. G., J.-P. Lessard, M. K. Borregaard, S. A. Fritz, M. B. Araújo, D. Dimitrov, P.-H. Fabre, C. H. Graham, G. R. Graves, K. A. Jønsson, D. Nogués-Bravo, Z. Wang, R. J. Whittaker, J. Fjeldså & C. Rahbek, 2013b. Response to comment on "An update of Wallace's zoogeographic regions of the world". *Science*, 341: 343-c, d.
- Humboldt, A., de, 1816. Sur les lois que l'on observe dans la distribution des formes végétales. *Annals*

- of Chim Physical, Series, 2: 234.
- Humboldt, A., de, 1820. Nouvelles enquêtes sur les lois que l'on observe dans la distribution des formes végétales. Dict. Sci. Nat., 18: 422.
- Huxley, T. H., 1868. On the classification and distribution of the Alectoromorphae and Heteromirpha. Proc. Zool. Soc. London, 1868: 294-315.
- 石原 保, 1957. 系統農業昆虫学. 養賢堂, 480 pp.
- 伊藤秀三, 1990. 多様度指数間の相関関係-各種の指数値は何を表すか-. 日生態会誌 40, 187-196.
- 伊藤嘉昭・佐藤一憲, 2002. 種の多様性比較のための指数の問題点-不適切な指数の使用例も多い-. 生物科学, 53: 204-220.
- Johnston, D. W. & E. P. Odum, 1956. Breeding bird populations in relation to plant succession on the Piedmoun of Georgia. Ecology, 37: 50-62.
- Kjer, K. M., 2004. Aligned 18s and insect phylogeny. Systematic Biology, 53: 506-514,
- Kobayashi, S., 1981. Diversity indices: relations to sample size and spatial distribution. Jpn. Jour. Ecol., 31, 231-236.
- 小林四郎, 1995. 生物群集の多変量解析. 蒼樹書房, 194 pp.
- Koleff, P., J. J. Eennon & K. J. Gaston, 2003. Are there latitudinal gradients in species turnover? Glabal Ecol. & Biogeogr. 12: 483-498.
- Koleff, P. J. & K. J. Gaston, 2001. Latitudinal gradients in diversity: real patterns and random models. Ecography, 24: 341-351.
- Koleff, P. J., K. J. Gaston & J. J. Lennon, 2001. Measuring bata diversity for presence-absence data. Jour. Anim. Ecol., 72: 367-382.
- Kristensen, N. P., 1991. Phylogeny of extant Hexapods. *The Insects of Australia* (CSIRO ed.). Melbourne University Press, pp. 125-140.
- Kukalová-Peck, J., 1987. New carboniferous Diplura, Monura and Thysanura, the hexapod ground plan, and the role of thoracic side lobes in the origin of wings (Insecta). Can. Jour. Zool., 65: 2327-2345.
- Lamshead, P. J. D., 1993. Recent developments in marine benthic biodiversity research. Oceanis, 19: 5-24.
- Lande, R., 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. Oikos, 76: 5-13.
- Linnaeus, C., 1758. Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, synonymis, locis, edition X, Tomus I, 823 pp. (Reprint: 1956. Printed by Unwin Brothers Limited by order of the Trustees British Museum (Natural History)).
- Lomolino, M. V., 2001. The species-area relationship: new challenges for an old pattern. Prog. Phys. Geogr., 25: 1-21.
- MacArthur, R. H., 1965. Patterns of species diversity. Biol. Rev., 40: 510-533.

- MacArthur, R. H. & E. O. Wilson, 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, 215 pp.
- Magurran, A., 1988. Ecological Diversity and its Measurement. Croom. Helm, London. 179 pp.
- Martin, G. 1996. Birds in double trouble. *Nature*, 380: 666-667.
- 松本忠夫, 1993. 生態と環境. 岩波書店, 183 pp.
- May, R. M., 1988. How many species are there on Earth? *Science*, 241: 1441-1449.
- Millien-Parra, V. & J. J. Jaeger, 1999. Island biogeography of the Japanese terrestrial mammal assemblages: an example of a relict faun. *Jour. Biogeogr.*, 26: 959-972.
- 三宅恒方, 1917, 1919. 昆虫学汎論 (上・下巻). 裳華房, 東京. 672 pp.
- 茂木幹義, 1999. ファイトテルマータ 生物多様性を支える小さなすみ場所. 海游舎, 213 pp.
- 森 圭一, 1997. 動物の生態. 京都大学学術出版会, 582 pp.
- 森下正明, 1996. 種多様性指数値に対するサンプルの大きさの影響. *日生態会誌*, 46: 269-289.
- Müller, P., 1986. Die Verbreitung der Tiere: Grzimeks Tierleben. P. Müller (ed.), *Bopgeography*. Harper & Row, New York, 16: 18-20.
- Nee, S. J. & H. Lawton, 1996. Body size and biodiversity. *Nature*, 380: 672-673.
- Odum, E. P., 1971. *Fundamentals Ecology* (3rd ed.). W. S. Saunders Co. 574 pp.
- Olson, D. M. & E. Dinerstein, 1998. The global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Cons. Biol.*, 12: 502-515.
- Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. N. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'Amico, I. Itoua, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Loucks, T. F. Allnutt, T. H. Ricketts, Y. Kura, J. F. Lamoreux, W. W. Wettengel, P. Hedao, & K. R. Kassem, 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience*, 51: 933-938.
- Packard, A. S., 1898. *A Text-book of Entomology*. The MacMillan Co., New York, London. 729 pp.
- Palmer, M. W., 1990. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, 71: 1195-1198.
- Palmer, M. W., 1991. Estimating species richness: The second-order jackknife reconsidered. *Ecology*, 72: 1512-1513.
- Peet, R. K., 1974. The measurements of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 5: 285-307.
- Preston, F. W., 1948. The commonness and rarity of species. *Ecology*, 29: 254-283.
- Preston, F. W., 1962. The canonical distribution of commonness and rarity. *Ecology*, 43: 185-215.
- Richards, O. W. & R. G. Davies, 1959. *Outlines of Entomology*. 5th ed. Methuen, London. 224 pp.
- Ross, H. H., C. A. Ross & J. R. P. Ross, 1982. *A Text book of Entomology*. 4th ed. John Wiley & Sons, Yew York. 666 pp.
- 佐藤宏明・山本智子・安田宏法(編著), 2001. 群集生態学の現在. 京都大学学術出版会, 427 pp.
- Scheiner, S. M., 2003. Six types of species-area curves. *Global Ecol. & Biogeogr.* 12: 444-447.
- Slater, P. L., 1858. On the general geographical distribution of the members of the class Aves. *J. Proc. Linnean Soc. Zool.*, 2: 130-145.

- Schmarda, L. K., 1853. Die geographische Verbreitung der Tiere. Wien. Gerold und Son.
- Shannon, C. E. & W. Weaver, 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press.
- 白水 隆, 1947. 従来の日本蝶相の生物地理学的方法の批判, 及びその構成分子たる西部支那系要素の重要性に就いて. 松虫, 2: 1-8.
- 白水 隆, 1985. 蝶類の分布からみた日本およびその近隣地区の生物地理学的問題の 2~3 について. 白水隆著作集, 1: 10.
- Simpson, G. G., 1943. Mammals and the nature of continents. Am. Jour. Sci., 241: 1-31.
- Simpson, G. G., 1953. Evolution and Geographys. Oregon System of Hyiger Education, Eugene.
- 白山義久, 1996. 未知の動物の宝庫: メイオフアウナ. タクサ(日本動物分類学会) 1: 3-9.
- 白山義久, 2000. 総合的観点からみた無脊椎動物の多様性と系統. 岩槻邦男・馬渡峻輔(監修), 無脊椎動物の多様性と系統, 2-46.
- Siemann, E., D. Tilman & J. Haarstad, 1996. Insect species diversity abundance and body size relationships. Nature 380: 704-706.
- Snodgrass, R. E., 1935. Principles of insect morphology. McGraw-Hill Book Company. 667 pp. (Reprint: 1993. Principles of insect morphology. Cornell University Press, Ithaca and London. 667 pp.).
- Stork, N. E., 2018. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? Amm. Rev. Ent., 63: 31-45.
- Tansley, A. G., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology, 16: 284-307.
- Tjorve, E., 2003. Shape and functions of species-area curves; a review of possible models. Jour. Biogeogr. 30: 827-835.
- 寺山 守, 1992. 東アジアにおけるアリの群集構造. I. 地域性および種多様性. Bull. Biogeogr. Soc. Japan., 47: 1-31.
- 寺山 守, 2004. ハチの検索表. 千葉県立中央博物館(監修), あっ!ハチがいる!世界のハチとハチの巣とハチの生活. 晶文社, 123-135.
- 寺山 守, 2006. 生物多様性の測定. Liberal Arts, Bull. Kanto Gakuen Univ., 14: 29-72.
- 寺山 守, 2009. 分類・系統. 田付貞洋・河野義明(編), 最新応用昆虫学. 朝倉書店, 41-62.
- 寺山 守, 2017. 動物地理区の新体系: アリ相およびギングチバチ相を用いた中国・日本界の検証. つねきばち, 31: 1-14.
- 寺山守・山根正気 1999. 山根正気・幾留修一・寺山守 (共著), 南西諸島産有剣ハチ・アリ類図説. 北海道大学出版会, pp. 41-59.
- Tjorve, E., 2003. Shape and functions of species-area curves; a review of possible models. Jour. Biogeogr., 30: 827-835.
- 戸田正憲, 1990. 温帯性ショウジョウバエの起源をたずねて. 2. 中国大陸へ. 化学と生物, 28(9): 606-613.
- Touyama, Y., 1996. Myrmecofaunal change under fire disturbance. Edaphologia, 56: 25-30.
- Triantis, K. A., M. Mylonas, K. Lika & K. Vardinoyannis, 2003. A model for the species-area-habitat relationship. Jour. Biogeogr., 30: 19-27.

- Udvardy, M. D. F., 1975. A classification of the biogeographical provinces of the world. IUCN Occasional Paper, 18.
- 梅谷献二, 1999. 昆虫は何種いるのだろうか. インセクトリウム, 36: 333.
- Vane-Wright, R. I., 1990. The Philippines-key to the biogeography of Wallacea? In W. J. Knight & J. D. Holloway (eds.), *Insects and the rain forests of South East Asia (Wallacea)*, Royal Ent. Soc. London, 19-34.
- Vermeij, G. J., 1991. When biotas meet: understanding biotic interchange. *Science*, 253: 1099-1104.
- Wallace, A. R., 1876. *The geographical distribution of animals; with a study of the relations of living and extinct faunas as elucidating the past changes of the Earth's surface*. London, Macmillan & Co., Vol. 1, 2.
- Wheeler, W. M., 1910. *Ants: their structure, development and behavior*. Columbia University Press. 663 pp.
- Wheeler, W. C., M. Whiting, Q. D. Wheeler and J. M. Carpenter (2001) The phylogeny of the extant hexapod orders. *Cladistics*, 17: 113-169.
- Whiting, M. F., S. Bradler & T. Maxwell, 2003. Loss and recovery of wings in stick insects. *Nature*, 421: 264-267.
- Whittaker, R. H., 1960. Vegetation of the Sikiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.*, 30: 279-338.
- Whittaker, R. H., 1972. Evolution and measurements of species diversity. *Taxon*, 21: 213-251.
- Whittaker, R. H., 1975. *Communities and ecosystems* (2nd ed.). Macmillan Co. 352 pp.
- Wigglesworth, V. B., 1972. *The principles of insect physiology*. 7th ed. Chapman & Hall, London, 827 pp.
- Wigglesworth, V. B., 1954. *The physiology of insect metamorphosis*. Cambridge University Press, Cambridge. 152 pp.
- Williamson, M., K. J. Gaston & W. M. Lonsdale, 2001. The species-area relationship does not have an asymptote! *Jour. Biogeogr.*, 28: 827-830.
- Wilson, E. O., 1971. *The Insect Societies*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London. 548 pp.
- Wilson, E. O., 1987. The arboreal fauna of Peruvian Amazon forest: a first assessment. *Biotropica*, 19, 245-251.
- Wilson, E. O., 1988. Introduction. In E. O. Wilson & F. M. Peter (eds.), *Biodiversity*. Natural Academy Press, 3-8.
- Wilson, E. O., 1992. Biodiversity: challenge, science, opportunity. *Am. Zool.* 32: 1-7.
- Wilson, E. O. & F. M. Peter (eds.), 1988. *Biodiversity*. Natural Academy Press. 521 pp.
- Woodward, S. P., 1851-1856. *A manual of the Mollusca; or a Rudimentary treatise of recent and fossil shells*. 3 parts. London.



- WWF, 2016. Role of the global ecoregions and how they are selected. [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/ecoregions/about/role/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/ecoregions/about/role/)
- Xin S., D. Yu, Z. Xie, J. Dong, Y. Ding, H. Yao & P. Greenslade, 2020. Phylomitogenomic analyses on collembolan higher taxa with enhanced taxon sampling and discussion on method selection. PLoS ONE, 2020, 15(4): e0230827.
- Yamane, S., 1983. The aculeate fauna of the Krakatau Islands (Insecta, Hymenoptera). Rep. Fac. Sci. Kagoshima Univ. (Earth Sci. & Biol.), 16: 75-107.
- 山根正気, 2002. 東南アジアにおけるアリの分布と多様性. 杉浦直人・伊藤文紀・前田泰生編, ハチとアリの自然史 -本能の進化学-. 北海道大学図書刊行会, 179-193.
- Zhang, Z.-Q., 2011. Phylum Arthropoda von Siebold, 1848. In Zhang Z.-Q. (ed.), Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013). Zootaxa, 3148: 99-103.
- Zhang, Z.-Q., 2013. Animal biodiversity: An update of classification and diversity in 2013. In Zhang Z.-Q. (ed.), Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013). Zootaxa, 3703: 5-11.

### 第3章

- Adoutte, A., G. Balavoine, N. Lartillot & R. de Rosa, 1999. The end of the intermediata taxa? Animal Evolution, 15: 104-108.
- Akino, T., M. Terayama, S. Wakamura & R. Yamaoka, 2002. Intraspecific variation of cuticular hydrocarbon composition in *Formica japonica* Motschoulsky (Hymenoptera: Formicidae). Zool. Sci., 19: 1155-1165.
- Amadon, D., 1949. The seventy-five per cent rule for subspecies. Condor, 51: 250-258.
- Amadon, D., 1950. The species-then and now. Auk, 67: 492-498.
- Ando, T., Matsuda, T., Goto, K., Hara, K., Ito, A., Hirata, J., Yatomi, J., Kajitani, R., Okuno, M., Yamaguchi, K., Kobayashi, M., Takano, T., Minakuchi, Y., Seki, M., Suzuki, Y., Yano, K., Itoh, T., Shigenobu, S., Toyoda, A., Niimi, T., 2018. Repeated inversions within a *pannie* intron drive diversification of intraspecific colour patterns of ladybird beetles. Nat. Commun., 9: 3843.
- 荒谷邦雄, 2004. 遺存固有の系統生物地理学—クワガタムシを題材に—. 昆虫と自然, 39(1): 4-8.
- Avise, J. C., 2000. Phylogeography: The history and formation of species. Harvard Univ. Press, (2008: 西田 睦・武藤文人(監訳), 生物系統地理学 種の進化を探る. 東京大学出版会, 303 pp.)
- Avise, J. C. & K. Wollenberg, 1997. Phylogenetic and the origin of species. Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 94: 7748-7755.
- Bevrille, L., A. Hefetz, X. Espadaler, A. Lenoir, M. Renucci, O. Blight & E. Provost, 2013. Differentiation of the ant genus *Tapinoma* (Hymenoptera: Formicidae) from the Mediterranean Basin by species-specific cuticular hydrocarbon profiles. Myrmecol. News, 18: 77-92.

- Bitsch, C. & J. Bitsch, 2000. The phylogenetic interrelationships of the higher taxa of apterytote hexapods. *Zoologica Scripta*, 29: 131-156.
- Brusca, R. C. and G. J. Brusca, 1990. *Invertebrates*. Sinauer Associates Inc., Massachusetts. 922 pp.
- Giribet, G., G. D. Edgecombe & W. C. Wheeler, 2001. Arthropod phylogeny based on eight molecular loci and morphology. *Nature*, 413: 157-161.
- Guillen, R. M., F. P. Drijfhout & S. J. Martin, 2016. Species-specific cuticular hydrocarbon stability within European *Myrmica* ants. *Jour. Chem. Ecol.*, 42: 1052-1062.
- Gullan, P. J. & P. S. Cranston, 2005. *The Insects: An Outline of Entomology*. 3rd ed. Blackwell Science Ltd., London. 505 pp.
- Grimaldi, D. & M. S. Engel, 2005. *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, Cambridge. 755 pp.
- 石原 保, 1957. 系統農業昆虫学. 養賢堂, 東京. 480 pp.
- 岩槻邦男・馬渡俊輔(監修), 2008. 節足動物の多様性と系統 (石川良輔編集). 裳華房, 東京, 495 pp.
- 長谷川雅実・岸野洋久, 1996. 分子系統学, 岩波書店, 257 pp.
- 城野 晋, 1963. トビイロウンカの翅型決定に関する密度効果の分析. 応動昆, 7: 45-48.
- Kjer, K. M., 2004. Aligned 18s and insect phylogeny. *Systematic Biology*, 53: 506-514,
- Kristensen, N. P., 1991. Phylogeny of extant Hexapods. *The Insects of Australia* (CSIRO ed.). Melbourne University Press, pp. 125-140.
- Liao, H., M. Terayama & K. Eguchi, 2019. Revision of Taiwanese and Ryukyuan species of *Propristocera* (Hymenoptera: Bethyridae), with description of a new species. *Zootaxa*, 4668: 451-474.
- Linnaeus, C., 1758. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, synonymis, locis, edition X, Tomus I*, 823 pp. (Reprint: 1956. Printed by Unwin Brothers Limited by order of the Trustees British Museum (Natural History)).
- Maekawa, K., O. Kitade and T. Matsumoto, 1999. Molecular phylogeny of orthopteroid insects based on the mitochondrial cytochrome oxidase II gene. *Zool. Sci.*, 16: 175-184.
- Martin, S. J., H. Helanterä & F. P. Drijfhout, 2008. Evolution of species-specific cuticular hydrocarbon patterns in *Formica* ants. *Biol. Jour. Linn. Soc.*, 95: 131-140.
- Martin, S. & F. Drijfhout, 2009. A review of ant cuticular hydrocarbons. *Jour. Chem. Ecol.*, 35: 1151-1161.
- 三中信宏, 1997. 生物系統学. 東京大学出版会, 458 pp.
- 直海俊一郎, 2002. 生物体系学. 東京大学出版会, 337 pp.
- 西田 誠, 1983. 系統と進化. 東海大学出版会, 258 pp.
- Okita, I., K. Murase, T. Sato, T. Kato, A. Hosoda, M. Terayama & K. Masuko, 2013. The spatial distribution of mtDNA and phylogeographic analysis of the ant *Cardiocondyla kagutschi* (Hymenoptera: Formicidae) in Japan. *Sociobiology*, 60: 129-134.

- Okita, I., M. Terayama & K. Tsuchida, 2015. Cryptic lineages in the *Cardiocondyla* sl. *kagutschi* Terayama (Hymenoptera: Formicidae) discovered by phylogenetic and morphological approaches. *Sociobiology*, 62: 401-411.
- Schlik-Steiner B. C., F. M. Steiner, K. Moder, B. Seifert, M. Santra, E. Dyreson, C. Stauffer & E. Christian, 2006. A multidisciplinary approach reveals cryptic diversity in Western Palearctic Tetramorium ant (Hymenoptera: Formicidae). *Mol. Phylo. & Evol.*, 40: 259-273.
- Seifert, B., 2003. The ant genus *Cardiocondyla* (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) – a taxonomic revision of the *C. elegans*, *C. bulgarica*, *C. batesii*, *C. nuda*, *C. shuckardi*, *C. stambuloffii*, *C. wroughtonii*, *C. emeryi* and *C. minutior* species groups. *Ann. Nat. Hist. Mus. Wien*, 104(B): 203-338.
- Seifert, B., I. Okita & J. Heinze, 2017. A taxonomic revision of the *Cardiocondyla nuda* group (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 4290: 324-356.
- Terry, M. D. & M. F. Whiting, 2005. Mantophasmatodea and phylogeny of the lower neopterous insects. *Cladistics*, 21: 240-257.
- Terayama, M., 1996. The phylogeny of the bethylid wasp subfamily Pristocerinae (Hymenoptera, Bethyloidea). *Jpn. J. Ent.*, 64: 587-601.
- 寺山 守, 2009. 分類・系統. 田付貞洋・河野義明(編), 最新応用昆虫学. 朝倉書店, pp. 41-62.
- 寺山 守・久保田敏・江口克之, 2014. 日本産アリ類図鑑. 朝倉書店, 278 pp.
- Ueda, S., T. Nozawa, T. Matsuzaki, R. Seki, S. Shimamoto & T. Itino, 2012. Phylogeny and phylogeography of *Myrmica rubra* complex (Myrmicinae) in the Japanese Alps. *Psyche*, 2012: Article ID 319097. Doi:10.1155/2012/319097
- Ueda, S., T. Ando, H. Sakamoto, T. Yamamoto, T. Matsuzaki & T. Itino, 2013. Ecological and morphological differentiation between two cryptic DNA clades in the red ant *Myrmica kotokui* Forel 1911 (Formicidae, Myrmicinae). *New Entomol.*, 62: 1-10.
- Ueda, S., T. Komatsu, T. Itino, R. Arai & H. Sakamoto, 2016. Host-ant specificity of endangered large blue butterflies (*Phengaris* spp., Lepidoptera: Lycaenidae) in Japan. *Scientific Reports*, 6: 36364. Doi:10.1038/srep36364
- Uvarov, B., 1966. Grasshoppers and locusts. Vol. 1. Cambridge Univ. Press. 481 pp.
- Wheeler, W. C., M. Whiting, Q. D. Wheeler and J. M. Carpenter, 2001. The phylogeny of the extant hexapod orders. *Cladistics*, 17: 113-169.
- 山崎柄根, 2000. 六脚類 (=昆虫類). 動物系統分類学追補版. 中山書店, 東京, pp. 244-278.
- Yashiro, T., K. Matsuura, B. Guénard, M. Terayama & R. R. Dunn, 2010. On the evolution of the species complex *Pachycondyla chinensis* (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae), including the origin of its invasive form and description of a new species. *Zootaxa*, 2685: 39-50.

#### 第 4 章

- Alexander, P. A., R. D. Andrew, M. S. Engel, M. Forshage, J. T. Huber, J. T. Jennings, N. Johnson, F. Norman, A. S. Lelej, J. T. Longino, V. Lohrmann, I. Mikó, M. Ohl, C. Rasmussen, A. Y. Taeger & K. D. Sick, 2013. Order Hymenoptera Linnaeus, 1758. *In* Zhang Z.-Q. (ed.), *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703: 51-62.
- Arillo, A. & M. S. Engel, 2006. Rock crawlers in Baltic amber (Notoptera: Mantophasmatodea). *Amer. Mus. Nov.*, 3539: 1-9.
- Beccaloni, G. W. & Eggleton, 2013. Order Blattodea Brunner von Wettewyl, 1882. *In* Zhang (ed.). *Zootaxa*, 3147: 199-200.
- Beutel, R. G., 1997. Phylogenese und evolution der Coleoptera (Insecta), insbeson dere der Adephaga. *Abt. Naturwiss. Ver. Hambueg.*, 31: 1-164.
- Beutel, R. G., F. Friedrich, X.-K. Yang & S.-Q. Ge, 2014. *Insect morphology and phylogeny. A taxt book for students of Entomology*, De Gruyter, 516 pp.
- Bouchard, P., Y. Bousquet, A. Davies, M. Alonso-Zara Zaga, J. Silpinski & A. Smith, 2011. Family group-names in Coleoptera. *Zookeys*, 88: 1-972.
- Bradler, S., 2018. Biodiversity of Phasmatodea. *In* *Insect Biodivrtidity*, 281-313.
- Bradler, S., J. A. Robertson & M. F. Whiting, 2014. A molecular phylogeny of Phasmatodea with emphasis on Necrosiinae, the most species-rich subfamily of stic insects. *Syst. Entomol.*, 39: 205-222.
- Branstetter, M. G., B. N. Danforth, J. P. Pitts, B. C. Faircloth, P. S. Ward, M. L. Buffington, M. W. Gates, R. R. Kula & S. G. Brady, 2017. Phylogenomic insights into the evolution of stinging wasps and the origins of ants and bees. *Curr. Biol.*, 27: 1019-1025.
- Bravo, H. Pohl, Silva-Neto & R. G. Beutel, 2009. “Bahiaxenidae”, “living fossil” and a new family of Strepsiptera (Hexapoda) discovered in Brazil. *Cladistics*, 25: 614-623.
- Buekman, R. S., L. A. Mound & M. F. Whiting, 2012. Phylogeny of thrips (Insecta: Thysanoptera) based on five molecular loci. *Syst. Entomol.*, 38: 123-133.
- Bybee, S. M., T. H. Ogden, M. A. Branham & M. F. Whiting, 2008. Molecules, morphology and fossils: a comprehensive approach to odonate phylogeny and the evolution of the odonate wing. *Cladistics*, 24, 477-514.
- Cameron, S. L., S. C. Barker & M. F. Whiting, 2006. Mitochondria genomics and the new insect order Mantophasmatodea. *Molecul. Phyl. & Evol.*, 38: 274-279.
- Carol D. von Dohlen & N. A. Moran, 1995. Molecular phylogeny of the homoptera: a paraphyletic taxon. *Jour. Molecular Evol.*, 41: 211-223.
- Cracraft, J. & M. J. Donoghue, 2004. *Assembling the tree of life*. Oxford University Press, p. 355.
- Cryan, J. R. & J. M. Urban, 2012. Higher level phylogeny of the insect order Hemiptera: Is

- Auchenorrhyncha really paraphyletic. *Syst. Ent.*, 37: 7-31.
- CSIRO (ed.), 1991. *The insects of Australia* (2nd ed.), Melbourne Univ. Press, 1160 pp.
- Damgaard, J. & K.-D. Klass (東城幸治訳・編集), 2005. カクトアルキ目の分子系統解析. *生物科学*, 57: 40-44.
- Dijkstra, K.-D. B., V. J. Kalokman, R. A. Dow, F. R. Stokvis & J. van Tol, 2013. Redefining the damselfly families: A comprehensive molecular phylogeny of Zygoptera (Odonata). *Syst. Entomol.*, 39: 68-96.
- Dohlen, C. D. & N. A. Moran, 1995. Molecular phylogeny of the Homoptera: a paraphyletic taxon. *Jour. Mol. Evol.*, 41: 211-223.
- Donoghue, M. J. & J. Cracraft (eds.), 2004. *Assembling the tree of life*. Oxford University Press, 576 pp.
- Dowton, M. & A. D. Austin, 1994. Molecular phylogeny of the insect order Hymenoptera: apocritan relationships. *Proc. Nat. Sci.*, 91: 9911-9915.
- Dumont, H.J., A. Vierstraete & J. R. Vanfleteren, 2010. A molecular phylogeny of the Odonata (Insecta). *Syst. Entomol.*, 35, 6-18.
- Engel, M. S., & F. Haas, 2007. Family-group names for earwigs (Dermaptera). *Am. Mus. Nov.*, 3567: 1-20.
- Engel, M. S. & D. A. Grimaldi, 2002. The first mesozoic Zoraptera (Insecta). *American Museum Novitates*. 3362: 1-20.
- Erwin, D. H., 1994. The Permo-Triassic extinction. *Nature*, 367: 231-236.
- Erwin, D. H., J. W. Valentine & J. J. Sepkoski, 1987. A comparative study of diversification events: The early Paleozoic versus the Mesozoic. *Evolution*, 41: 1177-1186.
- Forty, R., 2001. The Cambrian explosion exploded? *Science*, 293: 438-439.
- Friedemann, K. & R. G. Beutel, 2014. Morphology of arolia in Auchenorrhyncha (Insecta Hemiptera). *Jour. Morphology*, 2014: DOI:10.1002/jmor.20290
- Garrison, A. C. Rehn, G. Theischinger, J. W. H. Trueman, J. van Tol, N. von Ellenrieder & J. Ware, 2013. The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). *In* Zhang Z.-Q. (ed.), *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703: 36-45.
- Garrouste, R., G. Clemente, P. Nel, M. S. Engel, P. Grandcolas, C. D'Haese, L. Lagebro, J. Denayer, P. Gueriau, P. Lafaite, S. Olive, C. Prestianni & A. Nel, 2012. A complete insect from the Late Devonian period. *Nature*, 488: 82-85.
- Grimaldi, D. & M. S. Engel, 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge Univ. Press, 755 pp.
- 平嶋義宏・森本 桂・多田内修, 1989. *昆虫分類学*. 川島書店, 597 pp.
- Hansen, M., 1997. Phylogeny and classification of the Staphyliniform beetle families. *Biologiske Skifter*, 48. Kongl. Danske Vidensk. Selskab., Copenhagen, 339 pp.

- Hasegawa, E. & E. Kasuya, 2006. Phylogenetic analysis of the insect order Odonata using 28S and 16S rDNA sequences: a comparison between data sets with different evolutionary rates. *Entomol. Sci.*, 9: 55-66.
- Hennig, W., 1969. *Die Stammesgeschichte der Insecten*. Frankfurt am Main, Kramer, 436 pp.
- Hennig, W., 1981. *Insect phylogeny* (translated and edited by A. C. Pont; revisionary notes by D. Schlee). John Wiley and Sons, 536 pp.
- Inward, D., G. Beccaloni & P. Eggleton, 2007. Death of an order: a comprehensive molecular phylogenetic study confirms that termites are eusocial cockroaches. *Biol. Lett.*, 3: 331-335.
- 石川良輔, 1996. *昆虫の誕生*. 中央公論社, 210 pp.
- Ishiwata, K., G. Sasaki, J. Ogawa, T. Miyata & Z. H. Su, 2011. Phylogenetic relationships among insect orders based on three nuclear protein-coding gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 58 (2): 169-180.
- Jarvis K. J., F. Haas & M. F. Whiting, 2003. Phylogeny of earwigs (Insecta: Dermaptera) based on molecular and morphological evidence: reconsidering the classification of Dermaptera: Phylogeny of Dermaptera. *Systematic Entomology* 30(3): 442-453.
- Jarvis, K. J., & M. F. Whiting, 2006. Phylogeny and biogeography of ice crawlers (Insecta: Grylloblattodea) based on six molecular loci: Designating conservation status for Grylloblattodea species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41: 222-237.
- Johnson, K. P., K. K. O. Walden & H. M. Robertson, 2013. Next generation phylogenomics using a target restricted assembly method. *Molec. Phylo. & Evol.*, 66: 417-422.
- Jones, J. R., 2019. The owlflies (Newroptera, Ascalaphidae) supports a new higher-level classification. *Zool. Scripta*, 48: 761-782.
- Jordan, K., 1909. Description of a new kind of apterous earwig, apparently parasitic on a bat. *Novit. Zool.*, 16: 313-326.
- Kathirithamby, J., 1989. REview of the orded Strepsiptera. *Syst. Ent.*, 14: 41-92.
- Kluge, N., 2004. *The phylogenetic system of Ephemeroptera*. Kluwer, 456 pp.
- Kirby, W., 1815. XXI. Addendum to Strepsiptera. *Trans. Linnean soc. London*, 11: 233-234.
- Kjer, K. M., F. L. Carle, J. Litman & J. Ware, 2006. A molecular phylogeny of Hexapoda. *Arthropod Syst. & Phyl.*, 64: 35-44.
- Klaas-Douwe B. D., G. Bechly, S. M. Bybee, R. A. Dow, H. J. Dumont, G. Fleck, R. W. Garrison, M. Hämäläinen, V. J. Kalkman, H. Karube, M. L. May, A. G. Orr, D. R. Paulson, A. C. Rehn, G. Theischinger, J. W. H. Trueman, J. van Tol, N. von Ellenrieder & J. Ware, 2014. The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). *In* Zhang, Z.-Q. (ed.) *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703: DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.9>
- Klass, K.-D., O. Zompro, N. P. Krittensen & J. Adis, 2002. Mantophasmatodea: A new insect order with

- extant members in the Afrotropics. *Science*, 296: 1356-1459.
- Klopfstein, S., L. Vilhelmsen, J.M. Heraty, M. Sharkey & F. Ronquist, 2013. The hymenopteran tree of life: evidence from protein-coding genes and objectively aligned ribosomal data. *PLoSone*, 8 (2013): p. e69344
- Komoto, N., 2017. Molecular Phylogeny of Polyneoptera Based on the Mitochondrial Genome and Focused on Phasmatodea *Proc. Arthropod. Embryol. Soc. Jpn.* 48: 13–18. Krishna, K., D. A. Grimaldi, V. Krishna & M. S. Engel., 2013. Treatise on the Isoptera of the world. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 377: 1-2704.
- Kristensen, N. P., 1975. The phylogeny of hexapod “orders”. A critical review of recent accounts. *Z. Zool. Syst. Evol.-forsch.*, 13: 1-44.
- Kristensen, N. P., 1991. Phelogeny of extant hexapods. In CSIRI, *The insects of Australia*, vol. 2, Melbourne Univ., Press, 125-140.
- Kristensen, N. P., 1995. Forty years’ insect phylogenetic systematics. *Zool. Beitr.*, (N. F.), 36: 83-124.
- Kukalová-Peck, J. & C. Brauckmann, 1992. Most Paleozoic Protorthoptera are ancestral hemipteroids: major wing braces as clues to a new phylogeny of Neoptera (Insecta). *Can. Jour. Zool.*, 70: 2452-2473.
- Kukalová-Peck, J. & J. F. Lawrence, 1993. Evolution of the hind wing in Coleoptera. *Canad. Entomol.*, 125: 181-258.
- Kukalová-Peck, J. & S. B. Peck, 1993. Zoraptera wing structures: evidence for new genera and relationship with the blattoid orders (Insecta: Blattoneoptera). *Syst. Entomol.*, 18: 333-350.
- Kuznetsova, V. G., S. M. Grozeva, V. Hartung & B. A. Anokhin, 2015. First evidence for (TTAGG)<sub>n</sub> telomere sequence and sex chromosome post-reduction in Coleorrhyncha (Insecta, Hemiptera). *Comp. Cytogenet.*, 9: 523-532.
- Labandeira, C. C., 2005. The fossil record of insect extinction: new approaches and future directions. *American Entomologist* 51: 14–29.
- Labandeira, C. C., 2011. Evidence for an Earliest Late Carboniferous Divergence Time and the Early Larval Ecology and Diversification of Major Holometabola Lineages. *Ent. Amer.*, 117: 9-21.
- Labandera, C. C. & J. J. Sepkoski, Jr., 1993. Insect diversity in the fossil record. *Science*, 261: 310-315.
- Latreille, P. A., 1809. *Genera Crusaceorum et Insectorum secundum ordinem naturalem in familias disposita, iccnibus, exemplisque plurimis explicata*. 4. Parisiis et Argentorati, 399 pp.
- Le, H., J. M. Leavengood, E.G. Chapman, D. Burkhardt, F. Song, P. Jiang, J. Liu, X. Chou & W. Cai, 2017. Mitochondrial phylogenomics of Hemiptera reveals adaptive innovations driving the diversification of true bugs. *Proc. R. Soc.*, B284: 20171223.
- Longhorn, S. J., H. W. Pohl & A. P. Vogler, 2010. Ribosomal protein genes of holometabolan insects reject the Halteria, insetead revealing a close affinity of Strepsiptera with Coleoptera/ *Molec.*

- Phylo. & Evol., 55: 846-859.
- Maekawa, K., O. Kitade & T. Matsumoto, 1999. Molecular phylogeny of orthopteroid insects based on the mitochondrial cytochrome oxidase II gene. *Zool. Sci.*, 16: 175-184.
- Mao, M., T. Gibson & M. Dowton, 2015. Higher-level phylogeny of the Hymenoptera inferred from mitochondrial genomes. *Molecul. Phylogene. & Evol.*, 84: 34-43.
- Matthew, D. T. & M. F. Whiting, 2005. Mantophasmatodea and phylogeny of the lower neopterous insects. *Cladistics*, 21: 247-257.
- 松本忠夫, 2006. 昆虫類の適応放散. 松本忠夫・西田治文・二河成男(共著), 生物界の変遷 新しい進化生物学入門. 放送大学教育振興会, 79-90.
- McKenna, D. D., L. W. Alexander, K. Kanda, C. L. Bellamy, R. G. Beutel, M. S. Caterino, C. W. Farnum, D. C. Hawks, M. A. Ivie, M. L. Jameson, R. A. B. Leschen, A. E. Marvaldi, J. V. Mchugh, A. F. Newton, J. A. Robertson, M. K. Thayer, M. F. Whiting, J. F. Lawrence, A. Ślopinski, D. R. Maddison & B. D. Farrell, 2015. The beetle tree of life reveals that Coleoptera survived end-Permian mass extinction to diversity during the Cretaceous terrestrial revolution. *Syst. Entomol.*, 40: 835-880.
- Miller, J. S., 1987. Phylogenetic studies in the Papilioninae (Lepidoptera: Papilionidae). *Bull. Amer. Mus. Nat. hist.*, 186: 365-512.
- Miller, K. B., C. Hayashi, M. F. Whiting, G. J. Svenson & J. S. Edgely, 2012. The phylogeny and classification of Embioptera (Insecta). *Syst. Entomol.*, 37: 550-570.
- Misof, B., S. Liu, K. Meusemann, R. S. Peters, A. Donath, C. Mayer, P. B. Frandsen, J. Ware, T. Flouri, R. G. Beutel, O. Niehuis, M. Petersen, F. Izquierdo-Carrasco, T. Wappler, J. Rust, A. J. Aberer, U. Aspöck, H. Aspöck, D. Bartel, A. Blanke, S. Berger, A. Böhm, T. R. Buckley, B. Calcott, J. Chen, F. Friedrich, M. Fukui, M. Fujita, C. Greve, P. Grobe, S. Gu, Y. Huang, L. S. Jermiin, A. Y. Kawahara, L. Krogmann, M. Kubiak, R. Lanfear, H. Letsch, Y. Li, Z. Li, J. Li, H. Lu, R. Machida, Y. Mashimo, P. Kapli, D. D. McKenna, G. Meng, Y. Nakagaki, J. L. Navarrete-Heredia, M. Ott, Y. Ou, G. Pass, L. Podsiadlowski, H. Pohl, B. M. Reumont von, K. Schütte, K. Sekiya, S. Shimizu, A. Slipinski, A. Stamatakis, W. Song, X. Su, N. U. Szucsich, M. Tan, X. Tan, M. Tang, J. Tang, G. Timelthaler, S. Tomizuka, M. Trautwein, X. Tong, T. Uchifune, M. G. Walz, B. M. Wiegmann, J. Wilbrandt, B. Wipar, T. K. F. Wong, Q. Wu, G. Wu, Y. Xie, S. Yang, Q. Yang, D. K. Yeates, K. Yoshizawa, Q. Zhang, R. Zhang, W. Zhang, Y. Zhang, J. Zhao, C. Zhou, L. Zhou, T. Ziesmann, S. Zou, Y. Li, X. Xu, Y. Zhang, H. Yang, J. Wang, J. Wang, K. M. Kjer, X. Zhou, 2014. Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science*, 346: 763-767.
- 森本 桂, 2004. 甲虫分類学の方法と分類体系. 昆虫と自然, 39(3): 4-9.
- Mound, L. A., 2011. Order Thysanoptera Haliday 1836. *In* Zhang Z.-Q. (ed.), *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3148: 201-202.



- Mutanen, M., N. Wahlberg & L. Laila, 2010. Comprehensive gene and taxon coverage elucidates radiation patterns in moths and butterflies. *Proc. R. Soc., B*(2010), 277: 2839-2848.
- 長島孝行, 2004. ガロアムシの生物学. *昆虫と自然*, 39(1): 23-27.
- Niehuis, O., G. Hartig, S. Grath, O. Niehuis, G. Hartig, S. Grath, H. Pohl, J. Lehmann, H. Tafer, A. Donath, V. Krauss, C. Eisenhardt, J. Hertel, M. Petersen, C. Mayer, K. Meusemann, R. S. Peters, P. F. Stadler, R. G. Beutel, E. Bornberg-Bauer, D. D. McKenna & B. Misof, 2012. Genomic and morphological evidence converge to resolve the enigma of Strepsiptera. *Current Biol.*, 22: 1309-1313.
- 新村太朗, 1951. ガロアムシについて. *自然科学と博物館*, 18: 25-43.
- Niwa, N., A. Akimoto-Kato, T. Niimi, K. Tojo, R. Machida & S. Hayashi, 2010. Evolutionary origin of the insect wing via integration of two developmental modules. *Evol. Dev.*, 12: 168-176.
- Panizzi, A. R. & J. Grazia (eds.), 2015. True bugs (Heteroptera) of the Neotropics. Springer, 901 pp.
- Pape, T., D. S. John & M. Rudolf, 2009. *Diptera diversity: Status, challenges and tools*. Brill, 459 pp.
- Peters, R. S., L. Krogmann, C. Mayer, A. Donath, S. Gunkel, K. Meusemann, A. Kozlov, L. Podsiadlowski, M. Petersen, R. Lanfear, P. A. Diez, J. Heraty, K. M. Kjer, S. Klopstein, R. Meier, C. Polidori, T. Schmitt, S. Liu & O. Niehuis, 2017. Evolutionary History of the Hymenoptera. *Current Biology*, 27: 1013-1018.
- Pohl, H. & R. G. Beutel, 2005. The phylogeny of Strepsiptera (Hexapoda). *Cladistics*: <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2005.00074>
- Raup, D. M. & J. J. Sepkoski, Jr., 1984. Periodicity of extinctions in the geologic past. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 81: 801-805.
- Rehn, A. C., 2003. Phylogenetic analysis of higher-level relationships of Odonata. *Syst. Entomol.*, 28: 81-240.
- Reiger, J. C., C. Mittler, A. Zwick, A. L. Michael, P. Cummings, A. Y. Kawahara, J.-C. Sohn, D. J. Zwick, S. Cho, D. R. Davis, J. Baxixeras, J. Brown, C. Parr, S. Weller, D. C. Lees & K. T. Miller, 2013. A large-scale, higher-level, molecular phylogenetic study of the insect order Lepidoptera (moths & butterflies). *Plos One*, 8: e58568. (DOI:10.1371/journal.pone.0058568)
- Riek, E. F., 1991. Fossil history. In CSIRO (ed.), *The insects of Australia* (vols. 1 & 2). Melbourne Univ. Press, 168-186.
- Ronquist, F., A. P. Rasnitsyn, A. Roy, K. Eriksson & M. Lindgren, 1999. Phylogeny of the Hymenoptera: A cladistics realysis of Rasnitsyn's (1988) data. *Zool. Scripta*, 28: 13-50.
- Romano, D., R. Machida, Y. Jintsu, F. Francesco & P. Lupetti, 2007. The sperm structure of Embioptera (Insecta) and phylogenetic considerations. *Zoomorphology*, 126: 53-59.
- Rossi, P., 1793. Observation de M. Rossi sur un nouveau genre d'insecte, voisin des Ichneumons. *Bull. Soc. Philomathique de Paris*, 1: 1-49.
- Saux, C., C. M. Simon & G. S. Spicer, 2003. Phylogeny of the dragonfly and damselfly order Odonata at

- inferred by mitochondrial 12S ribosomal RNA sequences. *An. Entomol. Soc. Amer.*, 90: 93-99.
- Schuh, R. T., 1979. Evolutionary trends of Heteroptera. Part II. Mouthpart-structures and feeding strategies. *Syst. Zool.*, 28: 653-656.
- Schulmeister, S., 2003. Simultaneous analysis of basal Hymenoptera (Insecta) introducing robust-choice sensitivity analysis. *Biol. Jour. Linnean Soc.*, 79: 245-275.
- Schulmeister, S., W. C. Wheeler & J. M. Carpenter, 2002. Simultaneous analysis of the basal lineages of Hymenoptera (Insecta) using sensitivity analysis. *Cladistics*, 18: 455-484.
- Scoble, M. J., 1986. The structure and affinities of the Hedyloidea: a new concept of the butterflies. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Entomol.)*, 53: 251-286.
- Sharkey, M. J., 2007. Phylogeny and Classification of Hymenoptera. *Zootaxa*, 1668: 521-548.
- Sharkey, M. J., J. M. Carpenter, L. Vilhelmsen, J. Heraty, J. Liljeblad, A. P. G. Dowling, S. Schulmeister, D. Murray, A. R. Deans, F. Ronquist, L. Krogmann & W. C. Wheeler, 2012. Phylogenetic relationships among superfamilies of Hymenoptera. *Cladistics*. 28: 80-112.
- Sharp, D., 1895. Chapter VIII Orthoptera. *The Cambridge Natural History*, Macmillan and Co., Limited, 202-219.
- Shull, V. L., A. P. Voger, M. D. Baker, D. R. Maddison & P. M. Hammond, 2001. Sequence alignment of 18S ribosomal RNA and the basal relationships of aedeagid beetles: evidence for monophyly of aquatic families and the placement of Trachypachidae. *Syst. Biol.*, 50: 945-969.
- Song, N., S.-H. An, X.-M. Yin, W.-Z. Cai & H. Li, 2016. Application of RNA-seq for mitogenome reconstruction, and reconsideration of long-branch artifacts in Hemiptera phylogeny. *Sci. Rep.*, 6: 33465.
- Song, N., A. P. Liang & C. P. Bu, 2012. A molecular phylogeny of Hemiptera inferred from mitochondrial genome sequences. *PlosOne*, 7: e48778.
- Song, S.-N., P. Tang, S.-J. Wei & X.-X. Chen, 2016. Comparative and phylogenetic analysis of the mitochondrial genomes in basal hymenopterans. *Sci. Rep.*, 6: 20972.
- Sorensen [sic.], J. T., B. C. Campbell, J. G. Raymonda & J. D. Steffen-Campbell, 1995. Non-monophyly of Auchenorrhyncha ("Homoptera") based upon 18s rDNA phylogeny: eco-evolutionary and cladistics implications within pre Heteropteroidea Hemiptera (S. L.) and proposal for new monophyletic suborders. *Pan-Pacif. Entomol.*, 71: 31-60.
- Spargler, P. J. & W. E. Steiner, Jr., 2005. A new aquatic beetle family, Meruidae, from Venezuela (Coleoptera: Aedeoidea). *Syst. Entomol.*, 30: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2005.00288.x>
- Stümpel, H., 2005. Hemiptera (Rhynchota), Schnabelkerfe. *In* Dathe, H. H. (ed.), *Lehrbuch der Speziellen Zoologie, begründet von A. Kaestner, 2. Aufl. Bd. I: Wirbellose Tiere. 5. Teil: Insecta.* Spektrum, Gustav Fischer, Heidelberg, 343-425.
- Terry, M. D. & M. F. Whiting, 2005. Mantophasmatodea and phylogeny of the lower neopterous insects. *Cladistics*, 21: 240-257.

- Thorne, B. L. & J. M. Carpenter, 1992. Phylogeny of the Dictyoptera. *Syst. Ent.*, 17: 253-268.
- 上田恭一郎, 2001. 昆虫の分類表. (世界珍中図鑑付録). 人類文化社, 22 pp.
- Wang, Y.-H., H.-Y. Wu, D. Rédei, Q. Xie, Y. Chen, P.-P. Chen, Z.-E. Dong, K. Dang, J. Damgaard, P. Štys, Y.-Z. Wu, J.-Y. Luo, X.-Y. Sun, V. Hartung, S. M. Kuechler, Y. Liu, H.-X. Liu & W.-J. Bu, 2017. When did the ancestor of true bugs become stinky? Disentangling the phylogenomics of Hemiptera–Heteroptera. *Cladistics* (2017): 1-25. 10.1111/cla.122.32
- Wang, X., M. S. Engel, J. A. Rafael, K. Dang, H. Wu, Y. Wang, Q. Xie & W. Bu, 2013. A unique box in 28S rRNA is shared by the enigmatic insect order Zoraptera and Dictyoptera. *PLoS ONE*. 8 (1): e53679.
- Wei, D.-D., R. Shao, M.-L. Yuan, W. Dou, S. C. Barker & J.-J. Wang, 2012. The multipartite mitochondrial genome of *Liposcelis bostrychophila*: insights into the evolution of mitochondrial genomes in bilateral animals. *PLoS ONE*, 7: e33973.
- Weller, S. J., D. P. Pashley & J. A. Martin. 1996. Reassessment of butterfly family relationships using independent genes and morphology. *Ent. Soc. Amer.*, 89: 184-192.
- Whahlberg, N., M. F. Braby, A. V. Z. Brower, R. de Jong, M.-M. Lee, S. Nylin, N. E. Pierce, F. A.H. Sperling, R. Vila, A. D. Warren and E. Zakharov, 2005. Synergistic effects of combining morphological and molecular data in resolving the phylogeny of butterflies and skippers. *Proc. R. Soc.*, B272: 1577-1586.
- Wheeler, W. C., R. T. Schuh & R. Bang, 1993. Cladistic relationships among higher groups of Heteroptera: Congruence between morphological and molecular data sets. *Ent. Scand.*, 24: 121-137.
- Wheeler, W. C., M. Whiting, Q. D. Wheeler & J. M. Carpenter, 2001. The phylogeny of the extant hexapod orders. *Cladistics*, 17: 113-169.
- Whitfield, J. b., 1998. Phylogeny and evolution of host-parasitoid interactions in Hymenoptera. *Ann. Rev. Ent.*, 43: 129-151.
- Whiting, M. F., 2002. Mecoptera is paraphyletic: multiple genes and phylogeny of Mecoptera and Siphonaptera. *Zool. Scripta*, 31: 93-104.
- Whiting, M. F., 2002. Phylogeny of the holometabolous insect orders: molecular evidence. *Zool. Scripta*, 31: 3-15.
- Whiting, M., J. C. Carpenter, Q. D. Wheeler & W. C. Wheeler, 1997. The Strepsiptera problem: phylogeny of the holometabolous insect orders inferred from 18S and 25S ribosomal DNA sequences and morphology. *Syst. Biol.*, 46: 1-69.
- Whiting, M. F., A. S. Whiting, M. A. Hastriter & K. Dittmar, 2008. A molecular phylogeny of fleas (Insecta: Siphonaptera): origins and host associations. *Cladistics*, 24 (5): 677–707.
- Wiegmann, B. M., M. D. Trautwein, J.-W. Kim, B. C. Cassel, M. A. Bertone, S. L. Winterton & D. K. Yeates, 2009. Single-copy nuclear genes resolve the phylogeny of the holometabolous insects. *BMC*

- biology, 7: 34.
- Wiegmann, B. M., M. D. Trantwein, I. S. Winkler, N. B. Barr, J.-W. Kim, C. Lambkin, M. A. Bertone, B. K. Cassel, K. M. Bayless, A. M. Heimberg, B. M. Wheeler, K. J. Peterson, T. Pape, B. J. Sinclair, J. H. Skevington, V. Blagoderov, J. Caravas, S. N. Kutty, U. Schmidt-Otto, G. E. Kampmeier, F. C. Thompson, D. A. Grimaldi, A. T. Beckenbach, G. W. Courtney, M. Friedrich, R. Meier & D. K. Yeates, 2011. Episodic radiations in the fly tree of life. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108: 5690-5695.
- Vilhelmsen, L., 1997. The phylogeny of lower Hymenoptera (Insecta), with a summary of the early evolutionary history of the order. *Jour. Zool. Syst. Evol., Res.*, 35: 49-70.
- Villmann, R., 1987. The phylogenetic system of the Mecoptera. *Syst. Ent.*, 12: 519-524.
- Xie, Q., Y. Tian, L. Zheng & W. Bu, 2008. 18S rRNA hyper-elongation and the phylogeny of Euhemiptera (Insecta: Hemiptera). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 47(2): 463-471.
- Yan, Y., Y. Wang, X. Liu, S. L. Winterlon & D. Yang, 2014. The first mitochondrial genomes of antlion (Neuroptera: Myrmeleontiforma). *Int. Jour. Biol. Sci.*, 10: 895-908.
- 安松京三, 1954. ナナフシの生活. 日本昆虫記 V. キリギリスの生活. 講談社, 7-49. [日本昆虫記 III. キリギリスの生活(1967), 講談社, 12-57. に再録]
- Yeater, D. K., M. Rudolf & B. Wiegmann, 2019. Phylogeny of tree flies (Diptera): A 250 million year old success story in terrestrial diversification. *In Fly tree*: <http://www.inhs.illinois.edu/research/flytree/flyphylogeny/>
- Yue, B.-S., N. Song, A. Lin, & X. Zhao, 2018. Insight into higher-level phylogeny of Neuropterida: evidence from secondary structures of mitochondrial r RNA genes and mitogenomic data. *PlosOne*, 13: e0191826. doi:10.1371/journal.pone.0191826
- 吉澤和徳, 2008. 六脚亜門. (岩槻邦男・馬渡俊輔(監修), 石川良輔編集) 節足動物の多様性と系統. 裳華房, 297-394.
- 吉澤和徳, 2016. 昆虫学概論各目解説(1). 咀嚼目(カジリムシ目)の系統的位置と高次体系. *昆虫(N. S.)*, 19: 112-120.
- Yoshizawa, K., 2007. The Zoraptera problem: evidence for Zoraptera + Emniodea from the wing base. *Syst. Entomol.*, 32:197-204.
- Yoshizawa, K. & K. P. Johnson, 2005. Aligned 18S for Zoraptera (Insecta): Phylogenetic position and molecular evolution". *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 37: 572-580.
- Yoshizawa, K. & K. P. Johnson, 2006. Morphology of male genitalia in lice and their relatives and phylogenetic implications. *Syst. Entomol.*, 31: 350-361.
- Yoshizawa, K., E. L. Mockford & K. P. Johnson, 2014. Molecular systematics of the bark lice infraorder Caeciliusetae (Insecta: Psocodea). *Syst. Entomol.*, 39: 279-285.
- Zhou, Z., H. Ye, Y. Huang & F. Shi, 2010. The phylogeny of Orthoptera inferred from mt DNA and description of *Elimaia cheni* (Tettigoniidae: Phaneopterinae) mitogenome. *Jour. Genet. Genomics*, 37: 315-324.

Zompro, O., J. Adis & W. Weitschat, 2002. A review of the order Mantophasmatodea (Insecta). *Zool. Anz.*, 241: 255-267.

## 第5章

青木淳一, 1973. 土壤動物学. 北隆館, 814 pp.

青木淳一(編著), 1999. 日本産土壤動物. 東海大学出版会, 159 pp. [2015: 第2版, 1969 pp.]

浅見崇比呂 1995. 島のルール: 大陸島哺乳類の適応進化. *遺伝*, 49(6): 28-33.

Benstead, J. P., J. G. March, C. M. Pringle, K. C. Ewe & J. W. Short, 2009. Biodiversity and ecosystem function in species-poor communities: structure and leaf litter breakdown in a Pacific island stream. *Jour. N. Amer. Benthol. Soc.*, 28: 454-465.

Bergmann, C. 1847. Ueber die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. *Göttinger Studien*, 3: 595-708.

Blackburn, T. M., K. J. Gaston & N. Loder, 2008. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's rule. *Diversity and Distributions*, 5: 165-174.

Brues, C. T., 1903. The structure and significance of vestigial wings among insects. *Biol. Bull.*, 4: 179-190.

Connell, J. H. & R. O. Slater, 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am. Nat.*, 111: 1119-1144.

Diamond, J. M., 1969. Avifaunal equilibria and species turnover rates on the Channel Islands of California. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 64: 57-63.

Esaki, T., E. H. Bryan, Jr. & J. L. Gressitt, 1955. Bibliography. *Insects of Micronesia*, 2: 1-68.

江崎悌三, 1940. 南洋諸島の動物学探検小史. 南洋群島・自然と資源. 太平洋協会, 97-145. [上野益三・長谷川仁・小西正泰(編), 1986. 江崎悌三著作集. 第一巻, 思索社, 71-110 に再録]

江崎悌三, 1943. 内南洋の害虫相 (一) - (十二). *植物及動物*, 11(3): 269-274, 11(4): 357-361; 11(5): 437-440; 11(6): 515-521; 11(7): 587-591; (8): 675-678; 11(9): 753-757; 11(10): 837-843; 11(11): 927-931; 11(12): 1015-1020.

Ehrlich P. R. & J. Roughgarden, 1987. *The science of ecology*. Macmillan Publishing, 710 pp.

江崎悌三, 1944. 太平洋諸島の作物害虫と防除. 南太平洋叢書2, 日本評論社, 100 pp.

Flather C. H., G. D. Hayward, S. R. Beissinger & P. A. Stephens, 2011. Minimum viable populations: is there a 'magic number' for conservation practitioners. *Trends. Ecol. Evol.*, 26: 307-316.

Gaston, K. J., 1998. Biodiversity – The road to an atlas. *Progr. Phys. Geogr.*, 22: 269-281.

Gressitt, J. L. (ed.), 1967. *Entomology of Antarctica*. American Geophysical Union. 395 pp.

平嶋義宏・広渡俊哉(編著), 2017. 教養のための生物学. 東海大学出版部, 227 pp.

Hirashima, Y., M. Inokuchi & K. Yamagishi, 1999. Do you believe a “swimming wasp?”. *Esakia*, 39: 9-11.

James, F. C., 1970. Geographic size variation in birds and its relationship to climate. *Ecology*, 51:

365-390.

- Janzen, D. H., 1970. Herbivores and the number of species in tropical forest. *Am. Nat.*, 104: 940.
- 桐谷圭治・湯川淳一(編), 2010. 地球温暖化と昆虫. 全国農村教育協会, 347 pp.
- Traill, L. W., C. J. A. Bradshaw & B. W. Brook, 2007. Minimum viable population size: A meta-analysis of 30 years of published estimates. *Biol. Cons.*, 139: 159-166.
- Masaki, S., 1967. Geographic variation and climatic adaptation in a field cricket (Orthoptera: Gryllidae). *Evolution*, 21: 725-741.
- 松本忠夫, 2003. 集団と環境の生物学. 放送大学教育振興会, 260 pp.
- MacArthur & E. O. Wilson, 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, 215 pp.
- Mueller, U. R., 1990. Insect sting allergy. Gustav Fisher, 183 pp.
- 小川原辰雄, 1991. 蜂刺症. 桜華書林, 90 pp.
- Oliver, S. F., 2012. Two new *Oecetis* of the *reticulata* group from Micronesia (Trichoptera: Leptoceridae). *Pan-Pacific Ent.*, 88: 299-303.
- Pianka, F., 1978. *Evolutionary Ecology* (2nd ed.). Harper and Row, 397 pp.
- Roff, D.A., 1990. The evolution of flightlessness in insects. *Ecological Monographs*, 60:389-421.
- 佐藤正孝(編著), 1994. 種の生物学. 建帛社, 227 pp.
- 巢瀬 司・佐藤雅彦, 1994. 潮間帯にすむキタイソアシナガバエの生態. *インセクトリウム*, 1994.10: 334-340.
- Simberloff, D. S. & Wilson, E. O. 1969. Experimental zoogeography of islands: The colonization of empty islands. *Ecology*, 50: 278-296.
- Tansley, A. G., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16: 284-307.
- 寺山 守, 2005. イラガセイボウの太平洋における北進現象. *つねきばち*, (6): 43-49.
- 寺山 守, 2020. パラオの昆虫類概説. 165 pp. (<https://terayama.jimdofree.com>)
- 寺山 守, 2020. 地球温暖化に翻弄される昆虫たち (2-6). *地球温暖化*, 65: 56; 66: 56; 67: 56; 68: 56; 69: 56.
- Traill, L. W., C. J. A. Bradshaw & B. W. Brook, 2007. Minimum viable population size: A meta-analysis of 30 years of published estimates. *Biol. Cons.*, 139: 159-166.
- Tsuda, M., 1941. Eine neue Köcherfliege, *Triaenodes esakii* von den Paalau-Inseln. *Annot. Zool. Japan*, 20: 121-122.
- Tsuda, M., 1942. Japanische Trichoptera. I. Systematik. *Mem. Coll. Sci., Kyoto Imp. University, Ser. B17*: 239-339.
- 積木久明(編), 2011. 地球温暖化と南方性害虫. 北隆館, 236 pp.
- Ueno, S., 1957. Blind aquatic beetles of Japan, with some accounts of the fauna of Japanese subterranean waters. *Arch. Fur. Hydrobiol.*, 53: 250-296.
- 和田秀徳, 2006. 土壌資源保全における土壌生物と有機物. *農業*, 1483: 22-41.
- Yoshimoto, C. M. & J. L. Gressitt, 1959-1961. Trapping of air-borne insects on ships on the Pacific. *Proc.*

Hawaiian Entomol. Soc., 17:150-155; Pacific Insects, 2: 239-558; 3: 556-558.

## 第6章

- Alexander, R. D., 1974. The evolution of social behavior. *Ann. Rev. Ecol. & Syst.*, 5: 325-383.
- Fisher, R. A., 1930. *The genetical theory of natural selection*. Clarendon Press. 260 pp.
- Hamilton, W. D., 1964. The genetic evolution of social behavior, II. *Jour. Theor. Biol.*, 7: 17-51.
- Hamilton, W. D. & M. Zuk, 1982. Heritable true fitness and bright bird: A role for parasites? *Science*, 218: 384-387.
- 平田慎一郎, 1999. カマキリモドキの幼虫の生活. *インセクタリアム*, 36: 4-10.
- Hölldobler, B. & E. O. Wilson, 1990. *The ants*. The Belknap Press of Harvard Univ. Press, Cambridge. 732 pp.
- Hölldobler, B. & E. O. Wilson, 1994. *Journey to the ants. A history of scientific exploration*. The Belknap Press of Harvard Univ. Press, Cambridge. 304 pp.
- 伊藤嘉昭(編), 1972. アメリカシロヒトリ. 中央公論社, 184 pp.
- 伊藤嘉昭, 1982. *社会生態学入門*. 東京大学出版, 210 pp.
- 伊藤嘉昭, 1994. *生態学と社会*. 東海大学出版会, 185 pp.
- 伊藤嘉昭・桐谷圭治, 1971. 動物の数は何できまるか. 日本放送出版協会, 260 pp.
- 伊藤嘉昭・山村則男・嶋田正和, 1992. *動物生態学*. 蒼樹書房, 507 pp.
- Lack, D., 1954. The evolution of reproductive rates. *In* Huxley, J., A. C. Hardy & E. Ford (eds.), *Evolution as process*. Allen & Unwin, 143-156.
- Lin, N. & C. D. Michener, 1972. Evolution of sociality in insects. *Quar. Rev. Biol.*, 47: 131-159.
- 榊田 長, 1959. ツチハンミョウ物語. 岩田久二雄・古川晴男・安松京三(編), *日本昆虫記 IV 甲虫の生活*. 講談社, 7-40. (日本昆虫記 I ハチの生活. 講談社, (1969), 207-244. に再録).
- Matsumoto, T. 1992. Familial association, nymphal development and population density in the Australian giant burrowing cockroach, *Macropaneshia rhinoceros* (Blattaria: Blaberidae). *Zoological Science*, 9: 835-842.
- 松村 雄, 1995-2001. 昆虫分類学入門(1-10). *農薬時代*, 171: 1-6; 172: 1-6; 173: 1-4; 174: 1-7; 175: 1-5; 176: 1-5; 178: 1-5.
- Odum, E. P., 1971. *Fundamentals Ecology* (3rd ed.), W. S. Saunders Co. 574 pp.
- 佐藤重徳・牧野俊一, 1996. ヒノキカワモグリガの生命表の作成と密度変動. (<https://www.ffpri.affric.go.jp/labs/kouho/seika/1996/96-99.html>)
- 館野 鴻, 2016. ヒメツチハンミョウの生態(1, 2). *月刊むし*, 540: 10-19; 541: 28-39.
- Thornhill, R., 1976. Sexual selection and paternal investment in insects. *Am. Nat.*, 110: 529-548.
- Trivers, R. L., 1974. Parent-offspring conflict. *Integ. & Comp. Biol.*, 14: 249-264.
- Trivers, R. L., 1985. *Social evolution*. The Benjamin Cumming Publishing Company. 479 pp.
- Wheeler, W. M. 1910. *Ants, their structure, development and behavior*. Columbia University Press.

663 pp.

Wilson, E. O., 1971. *The Insect Societies*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London. 548 pp.

山中久明・中筋房夫・桐谷圭治, 1972. ハスモンヨトウの生命表と生物的死亡要因. 応動昆, 16: 205-214.

Zahavi, A., 1975. Mate selection - a selection for a handicap. *Jour. Theor. Biol.*, 53: 205-214.

Zahavi, A., 1977. The cost of honesty (further remarks on the handicap principle). *Jour. Theor. Biol.*, 67: 603-605.

## 第7章

荒谷邦雄, 2002. クワガタムシ科における侵入種問題. 昆虫と自然, 37: 4-7.

荒谷邦雄, 2017. クワガタムシ愛好が推進したクワガタムシ研究. 生物の科学 遺伝, 72 : 330-336.

五箇公一, 2002. 輸入昆虫が投げかけた問題-農業用マルハナバチとペット用クワガタムシをめぐって. 昆虫と自然, 37: 8-11.

五箇公一, 2010. クワガタムシが語る生物多様性. 集英社, 東京. 208 pp.

Heywood, V. H., I. Baste & K. A. Gardner (lead authors), 1995. Introduction. *In* Heywood, V. H., R. T. Watson & I. Baste (eds), *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, 1-19.

Ho, Y.-H., Hsiao, Y., M. Terayama & M.-L. Chan, 2020. Ultramorphological characteristics of *Falsogastrallus sauteri* Pic (Coleoptera: Ptinidae) and a new species of *Cephalonomia* Westwood (Hymenoptera: Bathylidae): A book-boring beetle and its natural enemy in Taiwan. *Insects*, 2020, 11, 223; doi:10.3390/insects11040223

Holway, D. A., L. Lach, A. V. Suarez, N. D. Tsutsui & F. J. Case, 2002. The causes and consequences of ant invasion. *Ann. Rev. Ecol. & Syst.*, 33: 181-233.

Hosaka T, M. Kurimoto, & S. Numata, 2016. An overview of insect-related events in modern Japan. *Am. Ent.*, 62: 228-234.

保坂哲朗・栗本実咲・沼田真也, 2017. 日本の昆虫文化と昆虫ツーリズム. 観光科学研究, 10 : 57-64.

Houge, C. L., 1980. Commentaries in Cultural Entomology 1. Definition of Cultural Entomology. *Ent. News*, 91: 33-36.

Houge, C. L., 1981. Commentaries in Cultural Entomology 2. The Myth of the louse line. *Ent. News*, 92: 53-55.

Houge, C. L., 1987. Cultural Entomology. *Ann. Rev. Ent.*, 32: 181-199.

伊藤嘉昭, 1994. 生態学と社会. 東海大学出版会, 185 pp.

川上祐司, 2019. アレルゲン害虫のはなし. 朝倉書店, 149 pp.

加納六郎・篠永 哲, 2003. 日本の有害節足動物. 東海大学出版会, 397 pp.

木村欣二, 1998. 身近にいる昆虫を調べてみよう. *インセクタリアム*, 35: 157.

小西正泰, 1992. 虫の分化誌. 朝日新聞社, 286 pp.

前田 琢, 1997. 失われゆく生物多様性と人間の責務. *科学*, 67: 732-739.



- 三橋 淳, 2008. 世界昆虫食大全. 八坂書房, 403 pp.
- 三橋 淳, 2010. 昆虫食古今東西. 工業調査会, 291 pp.
- 三橋 淳, 2012. 昆虫食文化事典. 八坂書房, 395 pp.
- 森 達也, 2010. 首都圏生きもの記. 学習研究社, 237 pp.
- 野中健一, 2006. 民族昆虫学—昆虫食の自然誌. 東京大学出版会, 202 pp.
- Odum, E. P., 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164: 262-270.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals Ecology* (3rd ed.). W. S. Saunders Co. 574 pp.
- Renault D, M. Laparie, S. J. McCauley, & D. Bonte, 2018. Environmental adaptations, ecological filtering, and dispersal central to insect invasions. *Ann. Rev. Ent.*, 63: 345–368.
- 佐藤信治, 1997. 庭にきた虫. 農山漁村文化協会, 189 pp.
- Sarkar, S., 2002. Defining “Biodiversity”; Assessing biodiversity. *The Monist*, 85: 131-155.
- 篠永 哲, 1999. 都市のハエ. *インセクトarium*, 36: 30-32.
- 寺山 守, 2005. 生命の科学—人・自然・進化. 大学教育出版, 221 pp.
- 寺山 守, 2021. 外来アリ同定・解説マニュアル. 154 pp. (<https://terayama.jimdofree.com>.)
- Waldbauer, G. (屋代通子訳), 2012. 虫と文明. 築地書館, 281 pp.
- Waltner-Toews, D. (片岡夏実訳), 2019. 昆虫食と文明. 築地書館, 366 pp.
- Ward, N.L., & G. J. Masters, 2007. Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Glob. Change Biol.*, 13: 1605–1615.
- Wilson E. O. & F. M. Peter (eds.), 1988. *Biodiversity*. Natural Academy Press.

### 昆虫類の目の検索表

- Gibb, T. J. & C. Y. Oseto, 2006. *Arthropod collection and identification*. Academic Press, 311 pp.
- Gullan, P. J. & P. S. Cranston, 2005. *The insects. An outline of Entomology* (3rd ed.). Blackwell Science, 505 pp.
- 大原昌宏・澤田義弘, 2012. パラタクソノミスト養成講座：昆虫(初級) 目までの分類同定編. パラタクソノミスト養成講座・ガイドブックシリーズ 11: 63 pp. (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/5.0/deed.ja>)

### 昆虫の採集法と標本作製法

- 青木淳一, 2011. むし学. 東海大学出版会, 210 pp.
- 青木淳一, 2005. だれでもできるやさしい土壌動物のしらべかた 採集・標本・分類の基礎知識. 合同出版社, 102 pp.
- 青木 良・橋本健一, 1974. 昆虫の採集と標本の作り方. ニュー・サイエンス社, 70 pp.
- 馬場金太郎・平嶋義宏, 2000. 新版昆虫採集学. 九州大学出版会, 812 pp. (馬場金太郎・平嶋義宏, 1991. 昆虫採集学. 九州大学出版会, 666 pp.)
- 福田晴夫・山下秋厚・福田輝彦・江平憲治・二町一成・大坪修一・中峯浩司・塚田 拓, 2009. 昆虫の図鑑 採

- 集と標本の作り方. 南方新社, 262 pp.
- 本田正次・牧野晩成・古川晴男・中山周平, 1959. 採集と標本の図鑑. 小学館, 157 pp.
- 加藤正世, 1930. 趣味の昆虫採集. 三省堂, 201 pp.
- 曲直瀬愛, 1883, 採虫指南. 東京書肆(出版者: 穴山篤太郎), 76 pp.
- 松沢 寛・近木英哉, 1971. 昆虫の採集法と標本の作り方. 東洋館出版社, 177 pp.
- 中武雅周, 1978. 昆虫の採集と観察. さらえ書房, 190 pp.
- 大原昌宏・澤田義弘, 2009. パラタクソノミスト養成講座. 昆虫(初級)採集・標本作製編. 北海道大学総合博物館, 15 pp.
- 大阪市立自然史博物館(編), 2007. 標本の作り方 自然を記録に残そう. 東海大学出版会, 190 pp.
- 寺山 守, 久保田敏, 江口克之, 2014. 日本産アリ類図鑑. 朝倉書店, 東京, 278 pp.
- 全教図(編), 1976. 原色図解 理科実験大事典 [5]生物編. 全教図書, 312 pp.

## 昆虫の系統と分類・生態

---

2021年1月1日発行      オンライン出版物

著者：寺山 守

発行者：ケロ書房

339-0054    さいたま市岩槻区仲町 2-12-29

Access to: <https://terayama.jimdofree.com/>

---