

シンポジウム

日本学術会議公開シンポジウム「新時代の昆虫科学を拓く 2」

日時：平成 23 年 7 月 16 日

場所：名古屋大学 東山キャンパス 野依記念学術交流館

2 階カンファレンスホール

主催：日本昆虫科学連合，日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会

(2011 年 8 月 19 日受理)

日本昆虫科学連合は、2010 年 7 月 24 日に、日本農薬学会を含むが国の昆虫学関係の 14 学協会の参加により設立された。昆虫科学関係の学会が緩やかな連携を組み、昆虫に関わる多様な社会的な課題をオールジャパンの立場から解決することの必要性から、昆虫科学の新たな研究分野と研究体制、研究論をつねに開拓し続ける学術としての独自性を追求すると同時に、社会のための学術として社会的な多くの課題に対応できる学術力を伸ばすことで、社会から期待され、支援される昆虫科学の構築を目指すものである。

本連合は日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会と密接に連携しながら、活動している。そこで昨年に引き続き、日本学術会議公開シンポジウムとして「新時代の昆虫科学を拓く 2」と題し、2011 年 7 月 16 日に名古屋大学東山キャンパスの野依記念学術交流館でシンポジウムを開催した。シンポジウムでは、連合活動報告、応用昆虫学分科会からの報告に続いて、5 題の講演が行われた。現在加盟学協会は 15 団体で、来年まで毎年、5 団体ずつトピックを紹介している。今年は農薬学会から、日本農薬株式会社の正木隆男氏にご講演いただいた。各講演の概要は以下のとおりである。

「細胞内カルシウム動態のかく乱を特徴とする殺虫作用」

正木 隆男（日本農薬株式会社総合研究所）

細胞内 Ca^{2+} は選択的に透過する Ca^{2+} チャンネルや Ca^{2+} を輸送する Ca^{2+} ポンプなど、多様な制御因子により低濃度に保たれている。この細胞内 Ca^{2+} 動態をかく乱することにより、鱗翅目昆虫に対して高い防除活性を有する新規殺虫化合物として日本農薬（株）により創出されたフルベンジアミドの生物活性と作用機構が紹介された。

フルベンジアミドを処理した昆虫は、虫体の持続的な収縮や嘔吐、脱糞などの特徴的な症状を示す。その作用機構として、 Ca^{2+} 放出チャンネル、リアノジン受容体 (RyR) のコンフォメーションを開口状態へシフトさせることにより、 Ca^{2+} の放出を誘起することが明らかとなった。フルベンジアミ

ドと RyR との特異的な相互作用の詳細を薬理学的に調べたところ、ハスモンヨトウ骨格筋膜画分に対し特異的に結合し、その結合は一種類であり、解離定数 (Kd) は 7 nM であった。これは、 Ca^{2+} ポンプ亢進作用における EC_{50} 値とほぼ一致した。さらにフルベンジアミドの結合は、他の類縁化合物により競合的に阻害を受け、その IC_{50} 値から推定された類縁化合物のフルベンジアミド結合部位への親和性は殺虫活性と高い相関性を示した。これらの結果は、フルベンジアミド結合部位への結合親和性が、本化合物の本質的な生理活性を決定していることを示す証左と考えられる。 3H -フルベンジアミドの結合はリアノジンを始め、cADP-ribose、カフェイン、ATP、ルテニウムレッドといった既知の RyR 機能修飾物質による阻害を受けることはなく、フルベンジアミド特有の結合部位が昆虫 RyR 上に存在するものと考えられた。

リアノジンを哺乳動物に投与することにより、極めて強い急性毒性を示し、拘縮や嘔吐、脱糞など昆虫とよく一致した症状が観察されることから、RyR の開口状態への固定は昆虫と同様に哺乳類においても極めて重篤な影響を示すと考えられる。しかし、フルベンジアミドの場合、哺乳動物への投与による急性毒性はこれまで認められていない。哺乳類には骨格筋型 (Type-1)、心筋型 (Type-2)、脳型 (Type-3) の極めて相同性の高い 3 分子種の RyR の存在が知られており、リアノジンはいずれの分子種に対しても強い作用を示す。一方、フルベンジアミドの結合試験結果からは少なくとも哺乳類 RyR-1 には存在しないことが示唆され、フルベンジアミドに選択的に親和性を示す特有の結合部位の有無が、作用における選択性に関与しているものと考えられる。RyR は 500 kDa を超えるサブユニットが 4 量体をなす巨大分子であり、その分子上には種々の機能修飾部位が存在することから、フルベンジアミドの結合部位を確定することは選択的作用を理解する上で重要と思われる。さらに、フルベンジアミドとは異なる、潜在的な殺虫剤の標的部位が存在する可能性も残されており、今後、これらの解明が期待される。

「アジアにおける昆虫媒介感染症とそのベクター」

沢辺 京子 (国立感染症研究所昆虫医科学部)

節足動物の中には、人に感染症を伝播する種類も多く生息する。その中でも蚊は最も多くの疾病の媒介に関与し、世界で約 3,000 種、日本国内でも約 200 種が知られている。蚊媒介性ウイルス感染症には、ウエストナイル熱や、日本脳炎やデング熱・デング出血熱、チクングニヤ熱などがある。その中から、蚊とハエのそれぞれが関与する感染症の中から日本脳炎と高病原性鳥インフルエンザに関する最近の知見が発表された。

日本脳炎は主にコガタアカイエカによって媒介されるウイルス感染症で、日本を含む極東から東南アジア・南アジアにかけて広く分布し、世界的には年間 3~4 万人の罹患数が報告されている。我が国では 1924 年には 6,000 名以上の大流行と 60% 以上の死亡率を記録したが、徹底したワクチン接種により 1992 年以降の患者数は年間 10 名以下で推移している。しかし、蚊や豚におけるウイルスの活動は依然として活発である。夏季に活発になる日本脳炎ウイルスは、国内越冬か、あるいは海外侵入かは、依然として未解決のままである。コガタアカイエカ体内での日本脳炎ウイルスの越冬については、本種の生殖休眠の特徴や、短日条件下で吸血が阻害されること、冬季の低温条件下では短命であることなどの特徴によって、コガタアカイエカが国内で越冬可能な地域は限局され、ウイルスの越冬に関与する可能性は極めて低いと推察された。一方、九州各地に設置された定点トラップに補修されたコガタアカイエカの飛来は、ウシカ飛来予測日とほぼ同時期であったこと、海外のアジア諸国集団の DNA 塩基配列と一致する個体が見つかったことから、海外より日本に侵入する可能性が強く示唆された。

一方、高病原性鳥インフルエンザの流行は、我が国では 79 年ぶりに 2003 年に発生し、畜産業界ならびに消費社会に大きな波紋を呼んだ。いずれも H5N1 亜型ウイルスの感染による流行である。ほとんどの鳥インフルエンザウイルスは人には感染しないが、例外的に一部の亜型のウイルスは人に直接感染し、致命的な症状を引き起こすことが 1997 年香港で報告され、本ウイルスは鳥から人への感染も危惧される深刻な動物由来ウイルスといえる。本ウイルスは海外から侵入し、感染した野鳥により持ち込まれる可能性が高いとされるが、そこから発生農場へのウイルスの侵入ルートは未だ解明されていない。京都府丹波町での鳥インフルエンザ流行時にハエ類の調査を行い、オオクロバエとケバカクロバエから高率に H5N1 亜型インフルエンザウイルスの遺伝子を検出・分離されたことから、少なくともウイルスが蔓延した状況下では、近隣の鶏舎へのウイルス伝播にクロバエ類が関与した可能性は否定できない。

「食品への昆虫混入とその防止法」

宮ノ下明大 (農研機構食品総合研究所食品安全研究領域)

日本の消費者の食品に対する清潔志向は強く、食品への昆虫混入防止は大きな課題となっている。食品包装や容器の改善は、製品出荷後のすべての過程で昆虫侵入防止に効果が期待できるが、侵入経路や防止対策は明らかにされてこなかった。実際の製品を用いて侵入を再現した報告は少ないので、食品への混入が最も多いノシメマダラメイガ幼虫の侵入経路を明らかにし、その防止法を検討した成果が紹介された。

ポリプロピレンフィルムで紙箱を包み、折りたたんだ面を加熱して溶かして接着密封する包折り込み式オーバーラップ包装では、チョコレート製品に混入事例がある。密封した容器で調べた結果、卵あるいは成虫を投入した場合に侵入が見られ、外装フィルムに幼虫の噛み跡や穴は無かったため、フィルム折りたたみ面の隙間から孵化幼虫の侵入が考えられた。フィルムの隙間の空き具合 (エアリーク値) を変え、侵入を試験したところ、密封性の向上に伴い幼虫の侵入数は低下し、エアリーク値 100 mL/min 以下であれば侵入がまったくなくなった。この結果を受けて、エアリーク値を改善したチョコレート製品について混入防止効果を 1 年間調べたところ、改善前を 1 とした時の混入発生率は 0.14 に激減した。

ポリプロピレンフィルムで容器を包み、加熱することで容器に密着したフィルム包装を行うシュリンク包装は、紙カップ容器やカップ麺製品などに用いられる。ノシメマダラメイガの終齢幼虫は、このシュリンクフィルムと容器の隙間に侵入する事例が報告されている。幼虫は紙カップ容器の蓋面にある空気抜き穴をかじって拡大して侵入し、その頻度は 70% であった。侵入は容器とフィルムの隙間までで、蛹化場所を探してワンダリングする時期であり、フィルムと容器の隙間への侵入は蛹化行動の延長にあると考えられた。容器の蓋面や側面に開口していた空気抜き穴の位置を、底面にした製品からは以後侵入は報告されていない。

食品包装や容器の形態は、操作性やデザインなど多くの要因により決定されるもので、虫害防止のための改善には限界がある。そこで昆虫忌避物質との組み合わせが模索されている。殺虫してしまうと死体が異物として混入するため、忌避効果のある物質の探索が行われている。講演者らは柑橘精油に注目し、貯穀害虫に対する忌避効果を調べたところ、甲虫類成虫 7 種、ヒラタチャタテに対して忌避効果を示した。タバコシバンムシとノシメマダラメイガの成虫には忌避効果は検出できなかった。柑橘精油をフィルムに加工した米袋を試作した試験では、コクゾウムシ成虫に対する忌避効果が確認され、その効果は 10 カ月後も継続した。忌避剤の場合、食品に対する臭い移りの問題を解決できるかが実用化のポイントと考えられた。

「アルカロイド利用昆虫の化学生態学」

本田計一（広島大学大学院生物圏科学研究科）

アルカロイド類は動物に対する化学防御物質として昆虫が利用している場合が多いが、それ以外の役割では詳細が不明である。昆虫が利用するアルカロイドの中で、比較的良好に知られているのはピロリジンアルカロイド（pyrrolizidine alkaloid, PA）である。ヒトリガの多くはPAを含む植物を幼虫時代に摂食してPAを取り込み蓄積する。一方、マダラチョウの多くはPA非含有植物（キョウチクトウ科、クワ科）を寄主とし、成虫になってからPA含有植物の花蜜や枯葉などから吸汁摂取する。しかしPAを積極的に探索するのはオス成虫だけで、摂取したPAから性フェロモンを合成すると考えられている。本講演ではPA利用態様についての新たな知見と、PAの新規機能としての繁殖生理における役割が発表された。

多くのマダラチョウのオス成虫は性フェロモン様物質を放出する。ツマムラサキマダラは9,10-epoxytetrahydroedulanとviridiflorine β -lactoneを主要な特徴成分として分泌し、性フェロモン機能をもつ。一方、リュウキュウアサギマダラではdanaidoneと(R)-hydroxydanaidalを分泌していた。また両種で、PA非摂取オスも程度は低い交尾可能であった。ほかの多くのマダラチョウ類にも共通していることから、これらのPAは狭義の性フェロモン（配偶者の認識と種の識別）には該当しないと考えられた。

ジョロウグモとオオジョロウグモを用いた実験で、ほとんどのPA投与個体に対して強い拒否反応を示し、阻害活性はネシン塩基によるものと考えられた。他方、リュウキュウアサギマダラはPAとは別に、*Tylophola* 属寄主植物に含まれるphenanthroindolizidine alkaloid (PIA)類を体内に蓄積する。オオジョロウグモはこれを投与された個体に対して1度目は中～弱程度の拒否、2度目には顕著な忌避行動を示した。*Tylophola* 属植物を寄主とするマダラチョウの種類は多く、彼らはPAとPIAの2種類のタイプの毒物によって防衛されている可能性が高い。

アサギマダラのオスはPA未摂取では交尾できないが、単に性フェロモン生産ができないだけでなく、PA未摂取オスは求愛活力に乏しく、PAによるオスの配偶行動の活性化が必須であることが判明した。一方、リュウキュウアサギマダラをPA摂取群と非摂取群に分けて累代飼育を行うと、未接種群では世代を重ねるごとに卵の受精率と孵化率が減少し、羽化オスの割合が減少した。両群間でオス生殖組織内の有核・無核精子数の日齢変化に大差は見られなかったが、射精後に短期有核精子を準備できる量に差が認められた。

「トンボにおける色彩多型の発生・進化機構」

二橋 亮（産業技術総合研究所）

トンボは、昆虫の中でもチョウと並んで、体色や翅色に

著しい多様性が見られるグループである。トンボは基本的に視覚によって相手の認識を行うため、体色は性選択や種間競争にとって欠かせない形質として機能しており、成虫の色彩多型や体色変化が見られる種も多い。野外での観察が容易であるため、トンボは、生態学、行動学的な側面から多くの研究が行われており、最近では進化生態学のモデル生物として着目されている。しかしながら、体色多型の進機構や、具体的な色素や体色に関わる分子機構については、ほとんど不明であった。本講演では、トンボの体色がどうして（why）、どのように（how）多様化したのかについて調べた研究が紹介された。

トンボの中には、アカトンボやカワトンボ属など同属内でも色彩・斑紋が大きく異なる種が見られる例が存在する。また特定の組み合わせで種間雑種が生じることも知られている。これらの種間の系統関係を解析したところ、体色や斑紋よりも産卵行動や卵・幼虫の形態が系統関係を反映していることが示唆された。また、国内の分布パターンを比較したところ、雑種が生じるほど近縁な種が同所的に生息する場合に、体色や翅色が大きく変化する傾向が認められた。この結果から、近縁種間で見られる体色や翅色の多様化は、雑種形成を避けるために形質置換が生じたために生み出された可能性が考えられた。

次にトンボの体色、翅色に関わる色素の同定を解析した結果、黄色や緑色の体色をもつ種はプテリジン色素、赤い体色をもつ種はオモクローム系色素をもつ種が多いことが示唆された。興味深いことに、赤くなる体色の種は成熟に伴い体色変化を示す種が多いが、この際に色素の状態が変化している可能性が示唆された。一方で翅色に関しては、黒・褐色だけではなく、カワトンボ属の翅などに見られる橙色はメラニン系色素も使われていた。メラニン系色素に関しては、複数の昆虫で模様に関わる遺伝子や、その発現制御が明らかになりつつある。トンボの翅の橙色模様で強く発現する遺伝子を探索したところ、メラニン合成に間接的に関わるblack遺伝子が得られた。black遺伝子は、これまで他の昆虫では模様との関連が報告されておらず、模様の制御に関わる分子機構が昆虫のグループごとに異なる可能性が示唆された。昆虫の色や模様に関する研究は、現在チョウ目研究とハエ目研究を中心に進められている。しかし、どちらも発生後期でのRNA干渉法が効きにくいという欠点が指摘されており、紋様形成に関わる新規遺伝子の発見は極めて困難な状態である。トンボでRNA干渉法を試みたところ、メラニン合成に関わるtyrosine hydroxylase遺伝子に対するRNA干渉法によって顕著な着色阻害が確認された。以上のように、トンボを用いた研究から、生物の色や模様の形成や進化に関して多くの新知見が得られることが期待される。

（農業生物資源研究所 塩月孝博）