

(第 169 回) 神奈川研究会議事メモ			
開催日	2025 年 9 月 9 日 (火)	出席者 敬称略	西村二郎・大谷宏・山崎博・持田典秋・ 神田稔久・宮本公明・飯塚弘
時間	15 時 00 分～17 時		
場所	リモート方式		
技術課題	“今、生物学が面白い・・・と思う③” 昆虫の変態に関する研究の歴史 (大谷)		
内容	昆虫の変態に関する研究の歴史 ・はじめに ・完全変態昆虫に関する基本的疑問 ・不完全変態昆虫と完全変態昆虫の違い ・完全変態昆虫の蛹 ・昆虫の完全変態機能獲得の歴史 ・昆虫の分子進化系統樹 ・昆虫変態は何時頃から関心を持たれていたか？ 昆虫変態研究の歴史 ・日本における最近の昆虫の変態に関わる研究 産総研における研究 遺伝子研究 東北大学における研究 細胞組織の研究 京都大学における研究 シロアリ王の研究 ・昆虫の変態研究に関する未解決の課題 進化の仕組みに関する考え方 逐次変態説と二重発生説 完全変態に進化した理由 ニッチ分割仮説 ゲノム分割仮説 分業仮説 ・追記：今後取り上げたい話題		
発表者からの コメント	「昆虫の完全変態」問題は、今から 2400 年も前のアリストテレスの時代から一部の 人々の間での関心事項となっており、以降 21 世紀の現在に至る迄西洋の医師、解剖 学者、昆虫学者などの間で色々な仮説が提唱され議論の対象とされて来ている。し かし、2000 年前後にショウジョウバエや蚊、ミツバチのゲノム解読完了以降、特に 2005 年に、ゲノムの塩基配列を比較的簡単に明らかにすることの出来る次世代シー クエンサーの開発・普及により、昆虫の遺伝子レベルでの研究が盛んに行われるよ うになり、不完全変態昆虫と完全変態昆虫の遺伝子比較から進化的基盤を探る研究 なども行われるようになったのである。2022 年の産総研によるトンボの遺伝子研究 などもその様な時流に乗って行われた研究の一つで、アリストテレス時代以降つい 最近まで、推定と仮説によって行われて来た「昆虫の完全変態問題」に関する議論 が、具体的な科学的データに基づいて議論され検証される時代に我々は漸く到達し た事を実証した研究の一例と言えよう。 私のプレゼンの {はじめに} の項で示した様に、生物学上の研究課題には、以前は、 宗教学とか哲学とかの形而上的問題を扱う学問の中で抽象的にしか扱えない課題が 多かったのだが、現代では科学技術の大幅な進展により、具体的なデータを取り科 学技術的処理により議論出来るようになった課題も多いのである。「昆虫の完全変態 問題」は、未だ全てが解明されたわけでは無いが、遺伝子関連の科学技術の長足の 進歩のお陰で、すべての疑問が明らかにされる日も近いと考える。近年の科学技術 の長足の進歩に感謝すべき研究課題の一つだと考える。		

会員からのコメント	昨年の発表の続編とは言え、ほとんどの人の話題にならない、昆虫の発生について深掘りくださりありがとうございました。エビジェネテクス概念を用いると、昆虫だけの話ではなく、いろいろな生物の有利な素質の遺伝が、たまたまではなく潜在していた素質の顕在化である（もちろんいつも有利な素質とはいえませんが）と考えられる点、勉強になりました。また、完全変態をする昆虫はどんな組み合わせで芋虫と蝶の遺伝子を持つに至ったのかが興味のあるところです。大谷さんの説明にあったように、近年、ゲノム解析装置の大幅な進歩により、遺伝子の部分部分がどう継承されたのか研究できるようになったので、今後ますます真実が掘り起こされると期待できます。 （宮本公明） (1) 私は毎朝、家のすぐ近くの交差点で小学生が通学する際の交通安全の見守りをしていますが、虫かごを肩にさげた子供が通ります。虫かごの中には、草木と共に昆虫の幼虫とかが入っています。近くに住んでいる小学3年の私の外孫もみかんとか柿の木などがある小さな畑が家の前にあるためか、小さいときは昆虫が大好きでした。子供が昆虫に興味をもつのはなぜだろうかと考えます。こどもが昆虫に惹かれるのは、身近に別世界を感じるのかも知れません。犬・猫などとは異なり、昆虫には独自の世界があります。身近でありながら、複雑な構造や動きを持ち、独立した「小さな宇宙」なのかもしれません。第1に、羽の模様、足の動き、鳴き声などが、子供の五感を刺激します。第2は自分で発見・飼育できることです。昆虫を見つけ捕まえ、育てるのは子供にとり自分だけの研究で、達成感につながります。第3に、昆虫のために草や土などの環境を用意し整えることに、昆虫の生命を預かる責任感を感じることになります。そのうえで、昆虫の幼虫から成虫への変態、他の昆虫などとの共生、自然界の仕組みへの気づき・驚きが探求心を刺激します。この幼少期の虫好きが、将来の昆虫学者の原点になると期待したいと思います。 (2) 私がこのテーマに対して取っ付き難さを感じたのは、日頃、工学的視点で「何のために知るのか」「それがどう役に立つのか」を考えますが、それがなかなか分らなかったからです。昆虫の変態の普遍的な仕組みの解明の意義が分らなかったのです。単なる生物的好奇心を超える工学的意義は何なのか。昆虫の変態は「一度壊して再構築する」モデルと考えると、自己修復型ロボットやモジュール型構造体の設計思想に通じるかも知れません。また、蛹期に起こる細胞死と再構成（アポトーシスと分化）は、人工臓器や再生医療に応用可能な知見かも知れません。コオロギの足の再生も同様です。数え挙げたらきりがありません。言い過ぎかも知れませんが、昆虫の変態研究は、自然の設計思想を人間の技術に翻訳する試みかも知れませんが、昆虫の変態の場合でもその解明は並大抵のことではありません。工学的に生かせるまでの時間は予想できません。工学者は生物学の発見を日頃気にしている必要があります。 （飯塚弘）
------------------	--

会員からのコメント	・今年の異常な暑さは、狭い我が家の庭の昆虫にも大きな影響を与えているようです。蟬の羽化が激減しています。夏の終わりの庭は蟬の幼虫の通った穴だらけになるはずが、今年は穴の数は数えられるほどしかありません。蝶や蜂、カマキリも、甲虫のカナブン、嫌われ者のカメムシも来訪数は激減しています。蚊や蠅が少ないことは有難いのですが、これだけ少ないと心配です。 ・暑さは昆虫の生存には有利と言われていますが、個々の個体についていえば、それは当てはまらないようです。 ・昆虫の生存戦略は、迅速で多様な進化によって環境の激変に耐え、勝ち残ってきたと考えられます。 ・一方で、昆虫が2.7億年前のベルム期までに完全変態機能を獲得して以降、その前の昆虫の祖先が陸上進出してから多様な進化と比べて進化してないことが理解できません。いずれは、昆虫類が地球の支配者になるという説があったかと思いますが、進化が止まっているとすると、そう簡単ではないように思われます。 ・大谷さんが紹介された中立進化説に関心があり、それが昆虫の変態獲得の歴史をどう説明できるか、特に完全変態の説明を知りたいと思います。 ・エピジェネティック理論は、多くの人に夢を与えてくれると思います。極論すれば、人の運命は自ら変えられるという考えに繋がり、全てがDNAで支配されていると考える諦念に似た考えを転換できると思いました。 (神田稔久) * 大谷さんの「生物学」はとても面白い。生物学の面白さを高校生の頃から知っていたらと、悔やむ気持ちさえある。生物の進化にはダーウインの「適者生存」原理が働いていると認識している。昆虫の変態を進化学はどう説明するのか、ワクワクしながらプレゼンを聴いたが、解明はまだ発展途上だったので、ガッカリした。これは、もちろんプレゼンターの責任ではない。我々は、幼い頃から、昆虫の変態には慣れっこになっているので、ないものネダリをただけのことだった。冷静に考えれば、変態解明に関する現在の到達レベルでも素晴らしい。 生物には、不可思議な行動が沢山ある。例えば、渡り鳥は間違いずに目的地に到達する。蝶の中にも間違えずに海を渡る種類があると聴いている。どのようなレーダーを持っているのだろうか。(西村二郎) 何時も興味を引く虫の世界の話し、ありがとうございます。 私も、家庭菜園を少しやっている手前、虫との付き合いは絶えません。それも害虫と言われる連中です。 モンシロ蝶が飛んでいたら、必ず何日かするとアオムシが見つかります。アゲハチョウの幼虫は食欲旺盛で、たちどころに野菜が丸坊主にされます。キュウリにはウリバエやカメムシが、必ず寄ってきます。 ダンゴムシも馬鹿にはできません。ちゃっかりとナスの実に穴をあけて棲みつき、人間が食べられなくします。 しかし、中でも厄介なのは、こちらが見えない土の中に居て野菜の根をかじる虫。代表的なのがコガネムシの幼虫とヤトウムシ。ヤトウムシとは夜盗虫とも書かれるが、夜中に活動する。暖かい時期を幼虫(ヤトウムシ)で過ごし、寒くなると蛹になって冬を越し、暖かくなると蛾になり、活動して卵を産むというサイクル。この場合、蛹はいわば防寒服を身にまとっている状態なんでしょう。蛹の役割の一つかな？ (持田典秋)
------------------	--

会員からのコメント	➤ 約3億5千万年前の石炭紀の化石試料には、既に飛行能を有する翅を持った多様な昆虫が存在し、約3億年前のペルム紀にかけて、ほとんどの有翅類は孵化後に若虫と成虫の段階に至る不完全変態へと進化していたとされています。 ➤ 約2億8千万年前のペルム紀の地層からは完全変態昆虫と考えらえる最古の化石は見つかっています。これは、2億4330万年前の恐竜や6670万年前の鳥の出現よりはるか以前に昆虫の祖先は完全変態の成長過程を獲得していました。 ➤ 最も大規模なペルム紀末の大量絶滅（約2億5000万年前）や、恐竜が絶滅した白亜紀末の大量絶滅（約6600万年前）を昆虫は生き延びたことになります。我々人類の祖先は、約500万年前のアフリカに現れた初期猿人で、人類は昆虫に比べると地球上での全くの新参者と言えます。 ➤ 昆虫の完全変態に焦点を当てた今回のテーマは、大変興味深く、勉強の良い機会を与えていただきました。最近の研究から、驚くべき生体制御プログラムが、何億年も前から進化の過程で完全変態を可能にするメカニズムとして遺伝子に組み込まれ過酷な環境変化に耐え子孫を繁栄させて来たことになります。 ➤ 徳山大学の研究は、コオロギの脱皮・変態には2種類のホルモン、幼若ホルモンと脱皮ホルモンとが関係し、完全変態昆虫では、脱皮ホルモンの初期誘導遺伝子であるBroad(蛹化誘導因子)とE93(成虫化決定因子)および幼若ホルモンのシグナル伝達の鍵遺伝子であるKr-h1(変態抑制因子)が相互作用することで劇的な変態(蛹化、羽化)が正常に制御されるところを解明しました。 ➤ 産総研と東京大学の共同研究は、チャバネアオカメムシが幼虫から成虫になる際に、体内の共生器官も変態制御遺伝子によって幼虫型から成虫型へ形態と機能が変化すること、さらに腸内共生細菌も幼虫型から成虫型へ機能が変化することを明らかにしました。 ➤ 完全変態を工学的に模倣するバイオミメティクスは、単なる外見の模倣に留まらない、より深い技術的示唆を含んでいます。幼虫という「製造・エネルギー蓄積」に特化したシステムと、成虫という「移動・情報伝達」に特化したシステムを一体の生命体として統合することで、極めて効率的で統合的な設計思想が垣間見えます。 ➤ 完全変態の最も直感的な模倣は、ロボットの形態を変化させることです。この分野では、生物の成長や発達を模倣する「ソフトロボティクス」と、複数のモジュールを組み替える「自己再構成型ロボット」の研究が活発に進められています。 ➤ スタンフォード大学の研究チームが開発した空気圧式のロボットは、軽量で安全、輸送時には小さく圧縮可能であり、宇宙探査や災害救助といった過酷な環境での運用に適しているとしています。 ➤ 材料科学分野では、温度、光、水分などの外部刺激に応じて形状を変化させるスマートマテリアルが研究されています。これらの材料は変態におけるホルモン信号などの化学的・物理的信号に対する生体の応答を模倣するものです。 ➤ 完全変態を工学的に模倣するバイオミメティクスは、緒に着いたところで、「ソフトロボティクス」や「スマートマテリアル」など、これからの発展が期待されます。(山崎 博)
------------------	--

幹事会 報告	8 月は幹事会がなかった。 会員懇親会は 11 月 21 日 12 時から有楽町のレストランで開催予定となった、 後日、出欠案内が送付される。
今後の 予定	10 月 見学会 11 月 飯塚氏 リモート方式 12 月 神田氏 リアル方式 1 月 持田氏 リモート方式 2 月 山崎氏 リモート方式 3 月 猪股氏 リモート方式 4 月 見学会 5 月 西村氏 リモート方式 6 月 宮本氏 リアル方式 7 月 大谷氏 リモート方式
次回日程	1. 日時 2025 年 10 月 23 日（木）午後 2. 見学会 バイオエネルギーセンター（町田市ごみ焼却設備）
次々回 日程	1. 日時 2025 年 11 月 11 日（火）15 時～17 時 2. 課題 飯塚氏提供 3. 方式 リモート方式