

発行日2009.4.24

BSリーグ通信 第7号



BSリーグ第二期生決定！

BSリーグ第二期生21名が3月に決定しました。第二期生の皆さんのうち20名が筑波大学下田臨海実験センターで4月1日から4日までの三泊四日のフィールド実習に参加し、ウニの受精や夜の海岸での灯火採集などを楽しみました。ティーチングアシスタントとして東京駅から同行した伊藤敦さんに実習の様子をレポートしてもらいました！

第二回つくば生物研究コンテスト開催！



2009年3月27日（金）に筑波大学総合研究棟Aにおいて、第二回つくば生物研究コンテストが開催されました。BSリーグ生16名、一般参加者17組の合計33テーマがポスター発表され、150名ほどの方にご来場いただきました。入賞された方は下記のとおりです。

部	賞	名前	テーマ
小中学生の部	金賞	槇野 衛	渓流の両生類～現地での観察～
小中学生の部	銀賞	小沼 萌	ヤマアカガエルとニホンアカガエルが産卵できる環境とは
小中学生の部	銅賞	村田 篤志	ナミテントウの研究 パート5
高校生の部	金賞	日立第一高等学校	アサガオ葉柄の光屈性について
高校生の部	銀賞	東葛飾高等学校	繊毛虫 <i>Spirostomum</i> の生態
高校生の部	銅賞	國學院大學栃木高等学校	栃木市巴波川の水質とプランクトン
BSリー生の部	金賞	矢野 更紗	ワラ卷きから見た小動物の越冬
BSリー生の部	金賞	湊 廣輝	上田市のクマムシ相と垂直分布
BSリー生の部	銀賞	相澤 良太	コオロギの体内時計は光によって左右されるのか？
BSリー生の部	銀賞	ジボーリン 周樞	赤い沼と森
BSリー生の部	特別賞	住谷 伊織	発生に関する研究
BSリー生の部	特別賞	小林 太樹	虫はどのようにして春を知るのだろう

目次

サイエンスツアー	p2
第一期生BS3での最後の実習。	
下田臨海実習	p3
第二期生の初めての实習です。ウニの受精卵の観察や船でのプラン	
町田先生講演要旨	p4
第二回つくば生物研究コンテストでの町田先生の講演要旨です。	
虫博士に質問	p10
昆虫の翅（ハネ）の起源って？	
今月の一枚	p12
砂の中に隠れています。	

第20回国際生物学オリンピックまであと80日！

いよいよ国際生物学オリンピックまであと80日！参加する国・地域はインドネシア、キルギス、タイ、メキシコ、モルドバ、タジキスタン、ドイツ、スリランカなどなど、57に及びます。会場となる筑波大学では、選手の食事についてや実験機材についてなど、様々な準備が進んでいます。



国際生物学オリンピックでは、成績上位10%の人に金メダル、10%-30%の人に銀メダル、30%-60%の人に銅メダルが授与されます。日本チームの選手4人は、金メダル目指して強化訓練を受けています。ガンバレ！



メダルの獲得はもちろん大切なのですが、国際生物学オリンピック参加者が楽しみにしているのは、世界各国から集まった「生物大好き！」な仲間との交流です。

BSリーグ生のみなさんはよくわかると思いますが、生物好きな同年代の友達と生物の話ができるって、楽しいですよ。この間の臨海実習でも夜中の3時まで昆虫の話で盛り上がっていたし^^）国際生物学オリンピックに出るということは、日本だけではなく世界中の生物好きな人たちと交流ができるということなのです。BSリーグ生の皆さんも是非、オリンピックへの参加を目指してください！

第一回サイエンスツアー実施

2009年3月26日（木）にBSリーグ第一期生を対象にしたサイエンスツアーが開催されました。



まず最初はDNAの分析実験。DNAとは何かという講義を受けた後、マイクロピペットなどを使って、電気泳動を行いました。



初めて使う道具にドキドキ！

実験が終わった後は、和田研究室の見学に行きました。ヤツメウナギなど、珍しい生き物がたくさん！



次に行ったのは植物を研究している古川先生の研究室。ラジオアイソトープ実験室ではマジックハンドのような装置で試薬の操作もしました。



参加した皆さんの感想は以下の通りです。

■実験はいかがでしたか？どんなことがわかって、どんなことが面白かったかを書いてください。

「アミノ酸がタンパク質を作っていて、アミノ酸の並び方をDNAがつくっていたということ」

「DNAはペアでできている事がわかった」

「DNAのしくみやDNA鑑定のやり方が分かって面白かった」

「DNAのことはもとより、機器の使用方法、試薬の説明等で詳しく教えていただいたので知識も手に入り、とても有意義だった」

「電流を流すとDNAが移動するところがとても面白かった」

「マイクロピペットの存在も知らなかったので一つ一つの作業がとても面白く感じました。寒天に溶液を入れるのも楽しかったです」

■感想

「こんな本格的な実験をしたのは初めてだったので、少し緊張したけれど楽しかった。」

「DNAについてよくわかってよかった。」

「いろんな面白い器具やmethodsなどに触れられて楽しかったです。」

「なんで実験でこんなに長い時間がかかるのか最初は不思議だったけど、DNA鑑定の反応が出るのに待つ時間だと知ってDNA鑑定も楽ではないと思った。」

「久しぶりに菅平で友達になった人と会えてうれしかった。DNAで犯人を当てるのは、ニュースなどで見たことがあって、それはプロの人じゃないとできないと思っていたのに、自分でできて感激した。自分の研究にDNAを使いたい。」

「大学は筑波に行きたいという気持ちが強くなった。」

「今日は本当に興味があることばかりで時間がたつのがすごく早く感じられました。普段学校では使わせてもらえない、あるいは学校にはない道具を使えたうえ新しい実験方法や知識を身につけることができたと思います。本当に貴重な体験ができてうれしく思っています。」

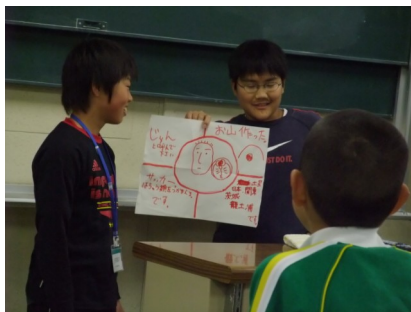


第二期生第一回ジェネラルフィールド実習@下田臨海実験センター

■一日目

朝起きると、窓の外は雨模様。天気のことを心配しながら、つくばから東京へ向かいました。待ち合せ場所に行くと、もう数人のBSリーグ生が待っていてくれました。みんな時間通りに集まり、12時ちょうど発の特急踊り子号に乗って下田へ出発。BSリーグ生のみんなはこの日初めて顔を合わせたのですが、下田に着くまでの電車の中で段々と打ち解け合っているようでした。

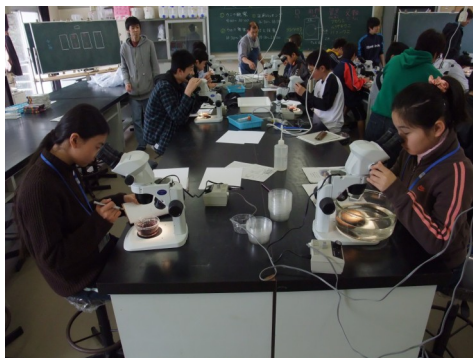
伊豆急下田駅で、青木先生と地元下田から参加のAさんのご両親に荷物を預け、駅から臨海実験センターまで歩いて移動しました。雨の心配は全く無用で、歩いていると汗ばむくらいの天気でした。磯に沿った道を歩いていると、電線の上で赤と青の鮮やかな鳥がきれいな声で鳴いていました。すると「イソヒヨドリだ！」との声。みんなの生き物の知識に早くも驚かされました。



センターに着いて食事と風呂を済ませ、夜は青木先生の教えてくれたユニークな方法で自己紹介をしました。紙の真ん中に自分の似顔絵を描き、その周りにニックネーム、趣味、海の思い出などを書いてもらい、二人一組になって相手のプロフィールを紹介するのです。大学生と大学院生もやりましたが、リーグ生のみんなのほうがうまく相手をアピールできていたようでした。

■二日目

午前中は「ウニの発生」実験をしました。はじめにムラサキウニやアカウニ、タコノマクラなどの様々なウニを観察し、次にハフンウニから卵と精子を取り出し、受精させました。



逆さにしたウニの中から卵や精子が落ちてくると、みんな驚きの声をあげていました。顕微鏡のレンズの下で卵と精子を受精させ、受精膜ができることも観察しました。

午後には磯に行き、磯の生き物の採集と観察をしました。季節柄、生き物の姿は少なかったのですが、それでもカニやヤドカリ、巻貝の仲間やアメフラシなどを直接手に取り、じっくり観察することができました。

夜には、センター近くの堤防で「灯火採集」をしました。海面に懐中電灯の光を当てると、光にひきつけられてヨコエビの仲間や稚魚などが沢山集まってきました。堤防の上に仰向けになると、星がきれいでしたね。また、午前中に受精させたウニの胚の発生が進み、卵の膜を破って胚が泳ぎだす段階になりました。胚が泳ぎだす瞬間を観察したくて、夜の11時過ぎまで観察を続けた人もいました。明日は船に乗るから早く寝かせたいと思う一方で、みんなが生き物へ強い好

奇心を持っていることを改めて知り、うれしくも感じました。

■三日目

三日目の朝は、センターの船に乗ってのプランクトン採集でした。私は船には乗らなかったのですが、帰ってきたみんなの顔を見ると、ひどい船酔いもなく元気そうだったので安心しました。採ってきたプランクトンは、早速顕微鏡で観察しました。レンズの下で素早く動くプランクトンをスケッチするのにみんな苦労していましたが、普段は見ることのない様々な形・種類のプランクトンが見られました。



午後からは、BSリーグでみんなが行う研究の内容や計画について、一人ずつ発表しました。みんなの真剣な表情と、きちんと自分の考えを話していた姿がとても印象的です。質問も沢山でした。みんなの研究が一年後にどうなっているか、とても楽しみです。



夜はお菓子とジュースを飲みながらの交流会でした。3日間の実習でみんな疲れているかと思いきや、大騒ぎでしたね。私はこの日たまたま誕生日だったので、なんとケーキを頂いてお祝いまでしてもらいました…ありがとうございました。



■最終日

実験室と部屋の掃除・片付けをして、来たときと同じようにAさんのご両親に荷物を駅まで運んでもらい、みんなで駅まで歩きました。帰りの電車の中では会話も弾み、別れてしまうのが名残惜しかったようです。

今回の実習は高校生や大学生の実習にも負けないくらい内容が盛りだくさんで、みんなよくついて来たなと感心しています。実習で体験したことが、これからの研究に少しでも役に立てばうれしいです。また、今回出会った友達とは、是非これからも交流を続けてください。研究や勉強を続けていると困難なこともあります。そんな時に心の支えになるのが今回出会った仲間であれと思います。

(筑波大学 生命環境科学研究科
構造生物科学専攻 和田洋研究室
博士課程3年 伊藤敦)

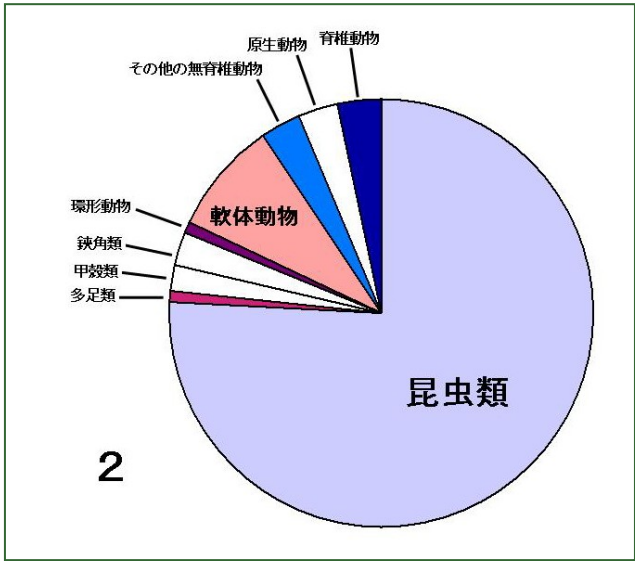
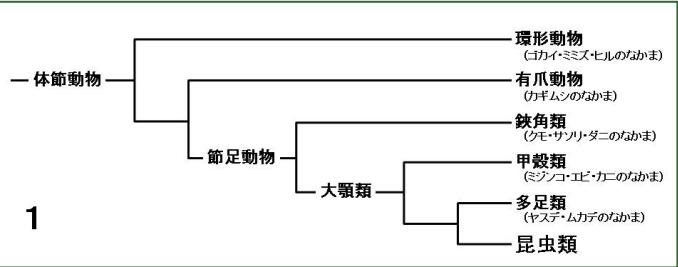
なんと素晴らしい昆虫たち！

第二回つくば生物研究コンテストでの町田龍一郎先生の講演内容です

私は子供の頃から昆虫が好きで、現在は昆虫の起源・進化を研究しています。「昆虫って、なんて素晴らしいのだろう！」と、研究を続けています。ここでは、皆さんに私の感じている「昆虫の素晴らしさ」、「昆虫の秘密」をお話したいと思います。

昆虫は種数で動物の75%ほどを占める、地球上で最も繁栄している動物です。地球とは「昆虫の惑星」であり、彼らは、私たちにとって最も身近な動物なのです。彼らの「素晴らしさ」を知り、彼かに「親近感」を覚えることは、私たちの「考え方」、人生をきっと豊かにしてくれるでしょう。

昆虫類、ムカデやヤスデなどの多足類、エビやカニなどの甲殻類、クモやサソリのなかまである鋏角類などからなる節足動物（図1）は、今まで名前がつけられた全動物種の約75%を占める、たいへん大きなグループです。そしてこの節足動物の90%以上は昆虫類なのです（図2）。いままでに100万種以上の昆虫が発見されています（表1）。昆虫類は私たちに最も身近な「動物」であり、そして、地球上で最も繁栄している動物群です。地球は「昆虫の惑星」というべきなのかもしれません。昆虫類はどのように「進化」してきたのでしょうか。



筑波大学大学院生命環境科学研究
科/菅平高原実験センター
町田 龍一郎准教授



専門分野：動物系統分類学
研究内容「原始的昆虫の分類と進化の研究」

machida@sugadaira.tsukuba.ac.jp
<http://www.sugadaira.tsukuba.ac.jp/>

彼らのこのような大繁栄はどのようにもたらされたのでしょうか。「大成功をおさめた動物群」との視点で、昆虫類の進化をみていきましょう。

内類類 (約1千種)		
カマアシムシ目	700種	
トビムシ目	5,000種	
コムシ目	800種	
外類類 (約106万種)		
単関節丘類 (約500種)		
イシノミ目	500種	
双関節丘類 (約106万種)		
無翅類 (約500種)		
シムシ目	500種	
有翅昆虫類 (約106万種)		
旧翅類 (約9千種)		
カゲロウ目	2,500種	
トンボ目	6,000種	
新翅類 (約105万種)		
多新翅類 (約4万種)		
カワゲラ目	2,500種	
バッタ目	20,000種	
ナナフシ目	3,000種	
シロアリモドキ目	2,000種	
カカトアルキ目	13種	
ガロアムシ目	26種	
カマキリ目	2,000種	
ゴキブリ目	4,000種	
シロアリ目	3,000種	
ジュズヒゲムシ目	22種	
ハサミムシ目	2,000種	
準新翅類 (約10万種)		
チャタテムシ目	3,000種	
ハジラミ目	3,000種	
シラミ目	700種	
アザミウマ目	7,000種	
カメムシ目	90,000種	
完全変態類 (貧新翅類) (約90万種)		
アミメカゲロウ目	7,000種	
シリアゲムシ目	600種	
トビケラ目	12,000種	
チョウ目	150,000種	
コウチュウ目	400,000種	
ネジレバネ目	700種	
ノミ目	2,000種	
ハエ目	170,000種	
ハチ目	150,000種	
合計	約110万種	

1. 外骨格

私たちなどの脊椎動物は内骨格をもっています。体のなかにある背骨などが、体を支えたり体の形を保ったりします。しかし、昆虫類を含む節足動物の骨格系はまったくこれとは異なります。例えば、カブトムシ（図3C）などを想像してください。背骨などの内骨格がない代わりに、体の表面を被うクチュラという硬い物質からなる厚い殻「外骨格」があり、それが体を支えているのです。

外骨格は体を支えるだけでなく、外敵からの防御にも、そして乾燥などの外界からの影響から体を護るのにも役立ちます。そして丈夫な外骨格は強力な筋肉の付着点としても威力を発揮します。これにより走ったり飛んだり、活発で力強い運動ができるのです。

外骨格は体を支えるだけでなく、外敵からの防御にも、そして乾燥などの外界からの影響から体を護るのにも役立ちます。そして丈夫な外骨格は強力な筋肉の付着点としても威力を発揮します。これにより走ったり飛んだり、活発で力強い運動ができるのです。このように外骨格は昆虫などの節足動物の繁栄に大きな力となりましたが、いくつかの問題が生じました。まず、硬い殻に覆われた体や肢（あし）を動かすには、そこに関節を作らなければなりません。ですから肢が関節になっている「節足」動物となったのです。そして、そのままでは成長できませんから、古い殻を脱ぎ捨てもう少し大きめの新しい殻に変える、「脱皮」が必要となったのです。脱皮中の昆虫は体が柔らかくよく動けないので、彼らにとってはたいへん危険なことです。このようなリスクを背負うことになります。

もう一つは、体をそれほど大きくすることはできません。外骨格の動物は大きくなれないのです。大きな体を支える外骨格は途方もなく厚く重いものになるだろうからです。ましてや、後で述べるように、昆虫の大繁栄に大いに貢献した「翅（はね）」の獲得などは思いもよらないものになります。

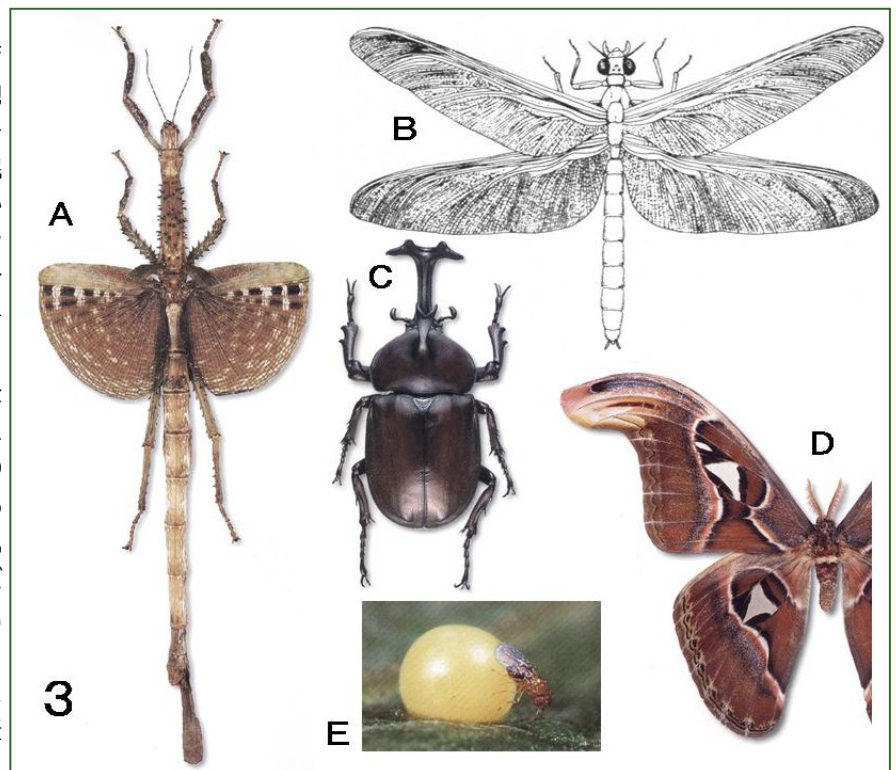
れでもあるのですが、しかし、その大きさは「たかだかこのくらいの大きさ」なのです。1mに満たない大きさなのです。昆虫があまり大きくならなかった要因には呼吸系や循環系の問題もありますが、外骨格という「骨格」のもつ制約もあったのです。いや、むしろ、昆虫はこの「小さいサイズ」を彼らの繁栄の戦略にと用いたのです。生物は生態系のなかの一員として、それにきっちり組み入れられてこそ存在します。そして地球上に生きるすべての種が、種ごとに一つずつ、生態系における位置をもっているのです。これをニッチ（生態的地位）といって、一つの種は一つのニッチをもっている、これが生態学的な生物の見方です。このことについて、例で考えてみましょう。

ゾウは基本的に世界にたった2種、アフリカゾウとインドゾウです（アフリカゾウの亜種とされるマルミミゾウを別種とすることがあります。また、最近、もう1種のゾウがボルネオ島にいるという情報もあります）。ゾウが2種しか存在できないというのは、きっと彼らが「大きい」からです。まず、彼らが種を維持するのに必要とする個体数は、空間的に、現在の地球上には2種程度分しかないのでしょう。そして、ニッチとは空間的な要素だけでなく、食性（食べ物）とか生活型（生き方）など、あらゆる要素を含みます。これにより生態系を分け合い、それにみあった種数が存在しえるのです。ところが、食性や生活型に関してはゾウのなかまはほとんど同じ、草原に生き草木を食べているのです。もし、この点でもう少しバリエーションがあったら、もう少し多い種類の「ゾウ」がいたかもしれません（ゾウと祖先を共有しているといわれている、アフリカ周辺の岩場に生息するイワダヌキ（ハイラックス）や人魚のモデルとなったといわれる海に住むジュゴンやマナティーを「ゾウ」のなかまとすれば、地域、食性、生活型、大きさを違えた種への分化があったと理解できますから、実際、2種以上なのです）。

2. 小さなサイズ

昆虫にはたいへん小さなものから大きなものまでいます。それを評して、「最大の原生動物（単細胞動物）よりは十分に小さく、最小の哺乳類よりは十分に大きい」といわれます。0.1mmくらいの昆虫、例えば昆虫の卵に寄生するタマゴコバチのなかま（図3E）から、大きなものは熱帯産のナナフシのなかま（図3A）は30cm程、日本にもすむヨナグニサン（図3D）などのガのなかまも大きく、そして二億年前の古生代石炭紀に栄えた原トンボ目のメガニューラ（メガネウラ）*Meganeura*というなかま（図3B）は翅をひろげると80cmもあったそうです。ですから、昆虫類のサイズは最小のものから最大のものまでの間には、約1万倍の違いがあるのです。これは四足動物（両生類、爬虫類、哺乳類などのなかま）の1千倍（数センチのトガリネズミ：50mくらいの恐竜）に比べてたいへん大きいことが分ります。

このようにサイズがバラエティーに富んでいるということも、昆虫類の繁栄の要因であり、また、表



では、昆虫をみてみましょう。私たちがよく目にするアゲハチョウ、これは昆虫綱・チョウ目・アゲハチョウ科に属す昆虫です。関東甲信越地方にみられるのは、アゲハ、キアゲハ、クロアゲハ、オナガアゲハ、カラスアゲハ、ミヤマカラスアゲハ、モンキアゲハ、アオスジアゲハ、ジャコウアゲハ、ギフチョウ、ヒメギフチョウ、ウスバシロチョウなどです。そして地域を広げてみれば、日本にはナガサキアゲハ、シロオビアゲハ、ベニモンアゲハ、ミカドアゲハ、ヒメウスバシロチョウ、ウスバキチョウなどまだまだたくさんのアゲハチョウがいます。小さい分、アゲハチョウ科というグループだけでも、これだけの種が分化できる空間的余裕ができるのです。そして、食性をみると、食草がまったく異なったり、微妙に違ったり、そして好む環境が異なったり、また、ものによっては越冬などの生活型も異なるなど、いろいろです。この点で、各地域ごと細かく生態系を分け合っていて、そのようなことが可能となるのです。



ですから、昆虫は、地域、空間、食性、生活型などのあらゆる面で、生態系におけるニッチを細分化し住み分けることにより、多くの種を分化させることができます。コウチュウ目・ハムシ科の昆虫は食草となる植物ごとに種に分化しています。鳥の体に寄生するハジラミ目の昆虫は寄主となる鳥ごとに種が違います。はてや、昆虫の卵や幼虫に寄生する寄生性のハチなどは寄主となる卵や幼虫に対応するように種に分化しています。哺乳類に寄生するシラミ目も寄主に対応して種分化していますが、人につくヒトジラミの場合、さらに人の頭部とそれ以外の部分で「アタマジラミ」と「コロモジラミ」に亜種レベルで分化しています。

哺乳類がやったような自らの「大きさ」にたよって生態系にその地位を見出そうとする方法ではなく、昆虫は、一見短所ともとれる自らの「小さなサイズ」を積極的に活用して膨大な種を分化させ、繁栄してきたのです。

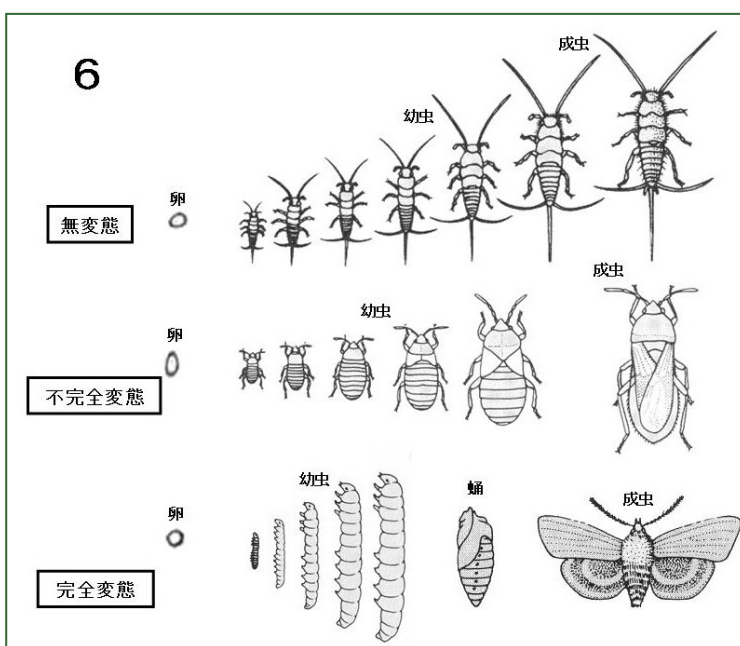
昆虫類はそのニッチをさらに細分化させるために、さらなる方策を採用してきました。表1をもう一度見てください。これは昆虫類のグループごとの今まで記載されてきたおよその種数です。まず気づくのは、ほとんどの昆虫類は「有翅昆虫類」であるということです。これは昆虫類の99.9%以上にあたります。つまり、「翅」の獲得は昆虫類に、ニッチを広げ爆発的な繁栄をもたらした、大きな要因です。この、活動・生息空間を空にも広げる「翅」に関しては後で触れましょう。もう一つ気づくのは、「完全変態類」が膨大であるということです。この「変態」による成長も昆虫類の発展に欠くことができないものでした。

3. 変態

変態とはどのようなものなのでしょうか。まず、まだ翅を獲得していない原始的な体制（体の基本的なつくり）をもつ、イシノミ類（図4、11）やシミ類などの「無翅昆虫類」は、ほとんど体つきを変えないで成長するので、「無変態類」といいます（図6）。一方、翅を獲得した昆虫類「有翅昆虫

類」の成長は変態をともしません。このなかで劇的な変態をするグループを「完全変態類」といい、卵→幼虫→蛹→成虫と成長します（図6）。これに対して、完全変態類に比べあまり進化していないグループ、「不完全変態類」は完全変態類ほどの大々的な「変態」は行わず、幼虫段階で徐々に翅を発達させ成虫の形態に近づき、卵→幼虫→成虫と成長します（図6）。（狭義には、変態は「完全変態」のことです。）

「不完全変態」をみてみましょう。例えばバッタ目。バッタやコオロギ、スズムシを思い浮かべてください。孵化した小さな幼虫は基本的には成虫と同じような形をしていて、脱皮をしながらだんだんと大きくなります。この成長段階で、徐々に胸部に翅の原基ができ、それが大きくなり、やがて最後の脱皮のとき、立派な翅をもった成虫となります。幼虫と成虫は形が似ていて、生活型や食性などもほとんど同じです。



これに対して「完全変態」は大きく異なります。例えば、チョウをみてみましょう。モンシロチョウの孵化した幼虫はイモムシで、キャベツを食べ脱皮を重ねて大きなイモムシとなります。やがて幼虫は不活発になり、形も随分違った蛹となります。そして、その後の脱皮で劇的な変化、真っ白な翅をもったチョウになるのです。チョウは、キャベツを食べそこをすみかとする幼虫とはまったく異なって、空を飛び蜜を吸って生きるのです。

このように完全変態類の幼虫と成虫はまったく形が違い、そしてふつう生活型も食性も随分異なります。では、どうやって幼虫がまったく違う成虫になれるのでしょうか。そのためには、形だけでなく、内臓などの内部器官や代謝系も、およそ考えられるすべてのものを変えなければならないのです。このためにあるのが「蛹」なのです。蛹のなかでは大変なことが起こっているのです。それは、まず、それまでの幼虫期間の体の器官をドロドロに溶かしてしまいます。でも、成虫の体の各部を作る小さな「元」、成虫原基（成虫芽）といいますが、は溶けずに残り、幼虫の体の「ドロドロ」を原料に、蛹のなかでだんだんと大きくなり、ついには成虫の体ができあがるのです。私は子供の頃、アゲハチョウの蛹のなかで「ドロドロ」であるのをみて、とてもビックリしたことがあります。完全変態類の特徴である「蛹」とは、まったく違う幼虫と成虫をつなぐ調整期間なのです。

では、どうしてこのような複雑な変態が、完全変態類で獲得されたのでしょうか。どのような有利な点があるのでしょうか。まず、幼虫と成虫が生活型、食性を異にすることにより、幼虫と成虫という同じ種の世代間での競争がなくなり、それはよいことです。種にとってあまりよい争いではありませんから。そして、生活史の分業ができます。つまり、幼虫期間は体を大きくする成長の期間、栄養活動の期間です。それに対し、成虫は子孫を作る生殖活動の期間です。生活史を明確に分業することはきっと効率的なのです。

そして、最も大きな変態の利点が他にあります。例えば食性を例にすると分かりやすいでしょう。もし、幼虫と成虫ともに同じ餌を食べていたとすると、餌として利用できるものは世代の全期間を通して「ある」ものでなければなりません。例えば、咲いている期間のたいへん短い花などは、とても餌にはできないのです。したがって、幼虫と成虫がまったく異なった形、生活型、食性などをもつことにより、幼虫と成虫が同じような昆虫、例えば「不完全変態類」などでは利用できなかった餌や環境も利用できるようになるのです。このことはとても重要です。仮に完全変態類の幼虫が不完全変態類に比べ十倍以上の生活型や食性を、そして成虫も同様に十倍以上の生活型や食性のバリエーションをもったとします。すると、完全変態類は、食性や生活型などにおいて、 $10 \times 10 = 100$ 倍の多様性をもつことになるのです。言い換えると、これにより完全変

態類は100倍の生態系での「あり方」、すなわちニッチェを得るのです。ニッチェの数は種分化しうる種の数です。だから、変態を獲得した有翅昆虫類のなかの完全変態類は、莫大な数にその種を分化させることができたのです。昆虫類の大繁栄を支えている完全変態類、彼らの秘密はこれだったのです。

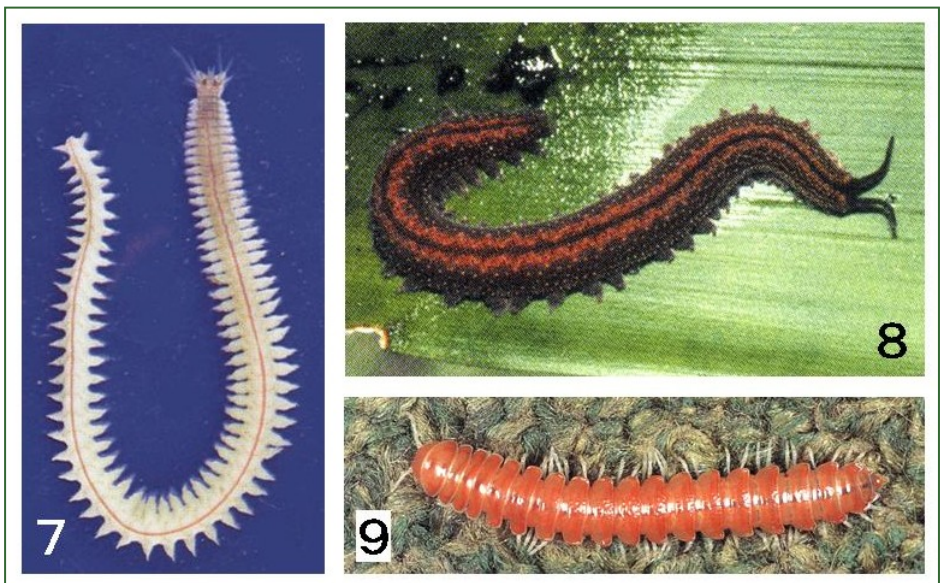
昆虫の特徴として、「外骨格」、「小さなサイズ」、「変態」について考えてきましたが、他にもたくさんの重要なものがあります。おそらく、それらはもっと目立つ体つきについての特徴です。1) 節からできている体は頭部・胸部・腹部の三部分に分かれる。2) 頭部には触角や複眼や顎などの複雑な器官がある。3) 胸部は3節で、それぞれに一对ずつの肢があり、歩脚は3対である。4) 胸部には2対の翅がある、などです。これらの特徴、どれをとっても素晴らしく、それは昆虫の大繁栄に大いに貢献してきたのです。ここではそれぞれについて考えるのではなく、大づかみに昆虫類の「高機能な体」が進化の過程でどのように獲得されてきたか、みることにしましょう。

4. 高機能な体

昆虫の体は節、体節からできています。体が体節からできている動物を体節動物といい、昆虫類を含む節足動物はこの1グループです。この体節動物のなかで、高機能な体をもつ昆虫類がどのように現れてきたのでしょうか。進化の道筋を辿ってみましょう。

1) 「環形動物」段階

体節動物の祖先型は、海に住むゴカイ（図7）や土中のミズなどからなる環形動物のようなものであったと考えられています（図10A）。彼らは頭（口前節）と尾節が体の前端と後端にあり、その間の体の部分は同じような体節がずっと続いています。その各体節には一对の肢があり、また、神経の塊である神経節があります。肢のある各体節は移動の役割を果たすとともに、生殖活動や消化などの栄養活動も行います。このような、「同じような体節」からなる体のつくりを「同質体節制」といいます。



2) 「有爪(ゆうそう)動物」段階

有爪動物(カギムシ)は熱帯の土壌や朽木に住む、体長数センチの生き物です(図8)。各体節には先端に爪のある疣状の肢があり、体表はベルベット状でとてもかわいらしい動物です。有爪動物は節足動物の起源と目されています。この体つきはやはり環形動物のように同質体節制的ですが、大きな違いが生じています。それは今までは同質体節制的であった前方の三つの体節が口前節に融合し、頭部が大きくなっています(図10B)。

そして、今まで、例えば環形動物では歩く肢であったものが、これらの三つの体節では触角、大顎や口側突起(粘液を発射し防御や獲物を捕らえるのに用いる)になっているのです。同時にこれらの三つの体節にあった神経節は口前節の神経節と融合して大きな脳を形成するのです。このように前方の三つの体節に起こったように、機能分化が起こって違った性格をもった体節制を「異質体節制」といいます。この前方の三つの体節より後方の体節は「胴部」として、環形動物におけるのと同様に同質体節制的です。

3) 「多足類」段階

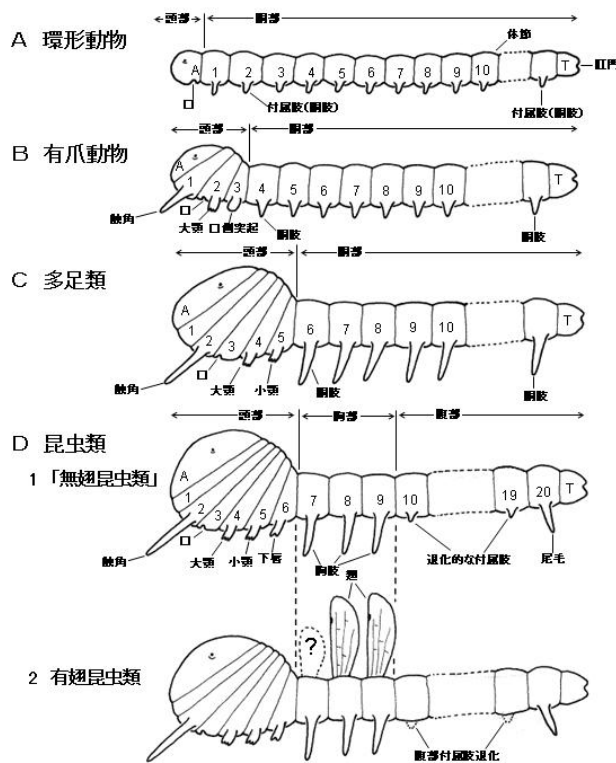
いよいよ節足動物です。多足類のなかまの倍脚綱(ヤステ綱)(図9)や少脚綱(ヤステモドキ綱)を例にみましょう。体の多くの体節は「胴部」として同質体節制的ですが、前方の体節ではさらに異質体節制化が進むのです。つまり、前方の5体節が頭部の体節として機能分化し口前節に融合し、より大きな頭部となり、また、各付属肢は(一部は退化するものの)触角、大顎、小顎と変化します(図10C)。神経節もより大型化し頭部に組み入れられ、高機能な脳や大きな神経節となります。このように、頭部はさらに、複雑な口器を獲得し摂食機能を高め、また、脳が大型化するとともに眼も発達し統合機能も格段に向上するのです。

4) 「昆虫類」段階

さらに前方の体節に異質体節制化がおこり、第6体節まで頭部に組み入れられ、付属肢としては第二小顎(下唇)が新たに分化します。そして、脳も大きくなり、また、食道下神経節という神経節も大きく発達します。これにともない眼も立派な複眼となります。トンボなどをみると、その「頭」はどうみても一節にみえますが、昆虫の頭部はもともとの口前節に6体節が融合した、7つ「節」から構成されるとても複雑で、統合・摂食に高度に「進化」した高機能なものなのです(図10D)。

昆虫の体制ではさらに重要なことが起こっています。多足類までは、頭部に統合されない体節は同質体節制的で、「胴部」として栄養活動(消化・吸収)と生殖活動(卵形成ある

10



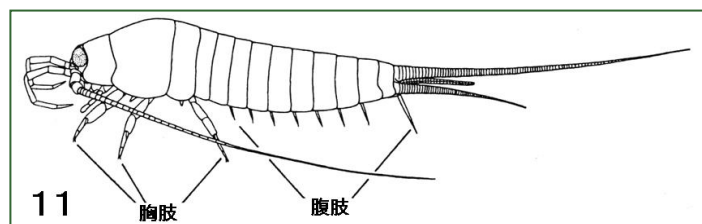
いは精子形成)を行っていました。しかし、昆虫類ではこの機能が体節間で分業されるのです(図10D)。まず、第7~9体節は「胸部」と分化し、肢は歩くための肢としてさらに発達します。つまり今までの胴部の前方の3体節は移動という機能に専念するのです。そしてそれ以降の第10~20体節+尾節は、もっぱら栄養活動と生殖活動の機能を果たす「腹部」となるのです。腹部の11体節は移動という機能

を放棄して、そのもともとあった肢は退化しますが、ただし、最後の第11腹節の肢はしばしば尾毛という突起として残り、「後方の触角」として機能します。

このように昆虫の体は異質体節制化を極限まで進めたものなのです。摂食・統合を専業とする「頭部」、移動のための「胸部」、もっぱら栄養・生殖活動を行う「腹部」の三部分に体が分かれたのです。このように体の部分が「専門化」することにより、体自体の機能が非常に高まったのでしょう。

このような観点からたいへん興味深いのが、最も原始的な外顎類(真正昆虫類)であるイシノミ目です(図4.11)。イシノミ目は湿った岩に生える緑藻を餌としている、まだ翅を獲得していない「無翅昆虫類」の一員です(表1)。彼らをよく観察してみると腹部の体節の肢が完全には退化せずに残っているのが分ります(図10D1、11)。まさに異質体節制化進行の途中段階をみるようです。

そして、昆虫類は「有翅昆虫類」の段階に入り、さらなる発展を遂げるのです。胸部の「移動」という機能にさらに磨きをかけました。「翅」の獲得です(図10D2)。第二・第三胸部体節に一对ずつ翅を発達させ、昆虫の体制はさらに高機能となり「大空」を手に入れたのです(大昔の有翅昆虫類の祖先は、第一胸部体節にも、もう一对小さいながらも、翅をもっていたらしいのです。それが進化の過程で退化してきました)。



昆虫類はこのような「高機能の体」を手に入れ、これを武器に新たなニッチェを開拓し、その大繁栄に突き進みました。最後に、この昆虫の大成功のストーリーのなかで特筆すべき「翅」の獲得についてみてみましょう。この翅は文字通り、新たな生息地、ニッチェを求める冒険の素晴らしい道具となっただけでなく、「空」という生息環境、いろいろな生活型も可能にしたのですから、その意味でも昆虫類が占めるニッチェの爆発的な拡大を意味しているのです。

5. 翅の獲得

動物の進化のなかで、昆虫の翅の獲得は一大イベントです。どのように翅が現れてきたかについては、いろいろな考えがありますが、いま一番受け入れられているのが「鰓起源説」です。

翅を獲得した有翅昆虫類の祖先は水生であったと考えられています。彼らは胸部から腹部の各体節の両側に一対ずつの鰓をもっていました。この鰓を活発に動かして水中の酸素を体内に取り込んでいたのでしょう。そして幼虫の時代を終えて羽化して成虫になるときに、陸上に上がります。その時、水生生活のための鰓は不要になりますが、胸部のものは残ってそれが翅となったと考えられるのです。

このような有翅昆虫類の祖先とたいへん似ている昆虫が今も生きています。それは最も原始的な有翅昆虫類であるカゲロウ目です(図12A)。カゲロウ目は、比較的長い幼虫期間を水のなかで暮らし、陸上に上がって羽化した後、「儚さの」たとえにされるような短い成虫期間をおえる昆虫です。カゲロウ類の幼虫は腹部の両側に鰓をもち、それとたいへん似た形をした「翅原基」を胸部にもっています(図)。その幼虫は有翅昆虫類の祖先とされる昆虫の幼虫の化石によく似ています(図12B)。そして、鰓と翅の基本的構造がたいへん似ていることに驚かされます。鰓は魚などのそれと違って、「気管鰓」と呼ばれるものです。葉状の「鰓」のなかには細かく分枝した気管が走っています(図12A)。そして

カゲロウ類に限らず昆虫類の翅には細かな脈(翅脈)がありますが、これはほぼ気管に由来する構造なのです(図12A)。

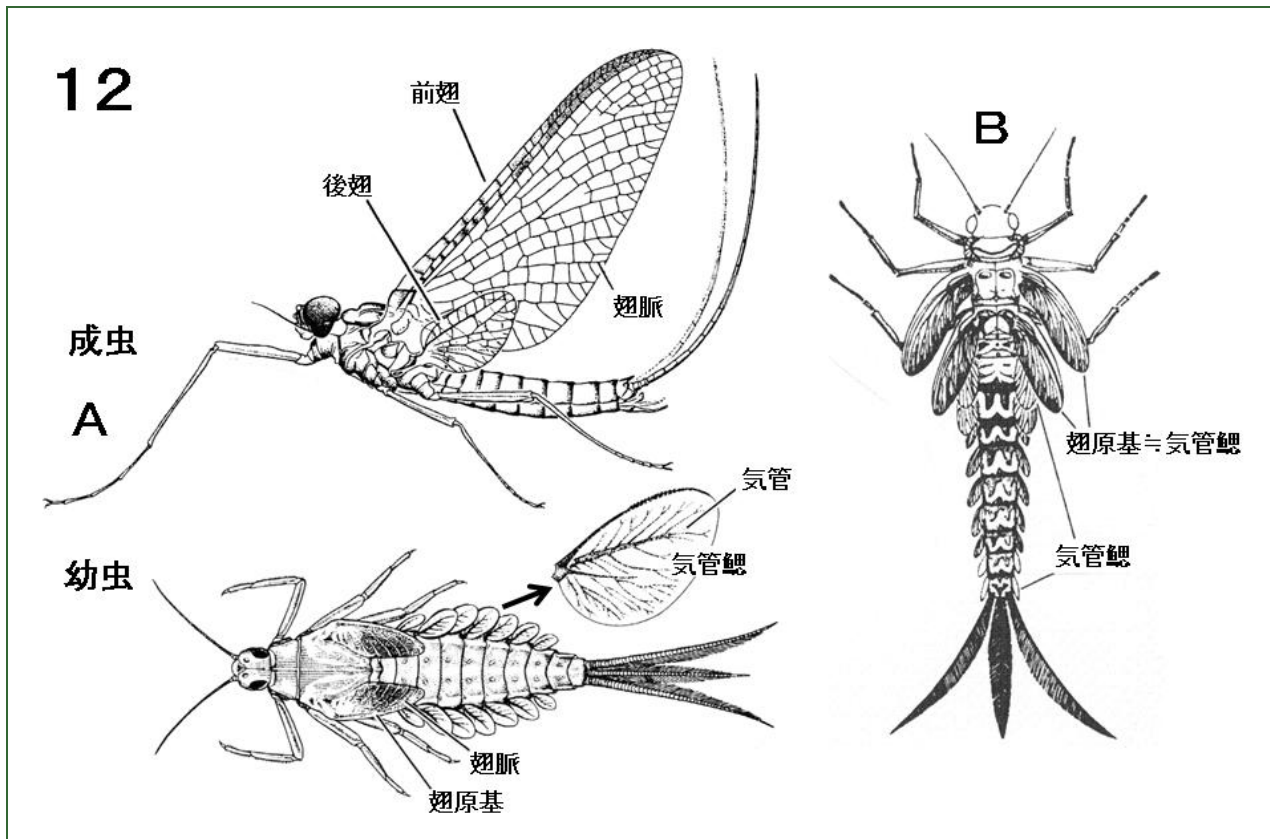
このように鰓を起源としてカゲロウ類に似た有翅昆虫類は翅を獲得したのです。その後、カゲロウ類のような昆虫を祖先として、たくさんの有翅昆虫類が、翅を継承しながら、多くのものは水を離れ進化してきたのです。そしてバッタやチョウ、カブトムシなどの翅をもった多くの昆虫が現れてきたのです。

これが、全動物種の75%をも占めるまで繁栄した昆虫類です。昆虫は自らの体をより高機能なものに磨き上げたと同時に、ニッチェの飽くなき開拓を行ってきたのです。しかし、そこには厳しい淘汰や生存競争がありました。その下での「闘争」です。「順風満帆」の進化を遂げたグループがあったと同時に、自らが生き残るために、まだあまり利用されていないニッチェを探してそこに活路を見出しつづけていたりしての大繁栄だったのです。昆虫の大繁栄は、生存競争の結果、新たなニッチェを求めたり、ニッチェを細分化するなどの、昆虫自身の途方もない「努力」でもたらされたのです。

昆虫の進化にロマンを感じられたでしょうか。そして彼らの「生き様」に感嘆されたでしょうか。私たちに最も身近な昆虫たちに、さらに興味をもっていただけたのなら幸いです。「なんと素晴らしい昆虫たち！」

【図表引用元】

図3A, C, D, E: 図8: 小学館の図鑑NEO「昆虫」、小学館(2002)
図3B: 動物たちの地球第73号、週刊朝日百科、朝日新聞社(1992)
図6: 動物大百科第15巻昆虫、平凡社(改変)(1987)
図7: 動物たちの地球第63号、週刊朝日百科、朝日新聞社(1992)
図9: 多足類読本、東海大学出版会(2001)
図12A, B: The Insects of Australia. 2nd Edition, Vol. 1. Melbourne University Press (1991)



虫博士に質問！

昆虫の翅（ハネ）の起源って？ BSリーグに寄せられた質問について、町田先生に聞いてみました。

『昆虫の翅について、疑問に思いました。鳥は、手が進化して翼になったと聞きます。では昆虫は？と疑問に思い私は、昆虫も始めは蜘蛛のように4本足があって、一番頭に近い足が翅に進化したのではないかと考えながら調べていました。

ネットで調べて、昆虫は、手（足）ではなく皮膚が進化して翅が生えたという説が出てきました。しかし、なんとなく「きっかけ」がなければ羽のようなものにならない気がして・・・進化の過程の絵などがあれば、詳しく教えて頂きたいと思います。』

筑波大学菅平高原実験センターの町田龍一郎といいます。私の専門は昆虫比較発生学という分野で、昆虫の体ができてくる過程を比較して、昆虫類の体制や進化を考えています。ですから、昆虫類の最も大きな特徴である「翅（ハネ）」についても色々研究をし、考察しています。

仰るとおり、鳥やコウモリの翼は、私たちの手、というより、「前脚」に由来しています。これはたいへん分りやすいですね。両生類、爬虫類、哺乳類、そして鳥類は四足動物といいますが、その祖先は魚類です。トビウオも飛びますが、これも私たちの前脚と相同の胸鰭（ムナビシ）で飛ぶのです。ですから、四足動物に魚類を加えた脊椎動物の系列において飛ぶ場合は、「前脚」を使うのです。

では、昆虫類の翅はどうか、どこから来たのか？これは、非常に難しいテーマで、ネーチャーとかサイエンスという有名な科学雑誌でも、「昆虫の翅の起源」に関する論文が最近でもいっぱい出ています。

昆虫の翅の起源には、大きく分けて二つの説があります。一つは「側背板起源説」、もう一つは「鰓（エラ）起源説」です。

まず、「側背板起源説」をみてみましょう。昆虫類の体は外骨格で覆われていて、背中を覆っている板を「背板」といいます。「側背板」とは、その「背板」の両側の部分をいいます。図1は「側背板起源説」を示した絵です。胸部の側背板がだんだんと伸びてくる、そして、進化の過程で十分な大きさになったとき、それによって飛べるようになった、そのような考え方です。たいへん分りやすいですね。あなたがネットでご覧になったのはこの説です。

でも、どうですか、すこし変なところはありませんか？ いま、「進化の過程でだんだんと大きくなって、十

分な大きさに達したとき」と書きました。これが問題です。翅が十分な大きさになったとき、それは「飛翔器」として初めて意味があるのであって、それ以前の中途半端なものは飛翔の役に立たない、そのような「適応的でないもの」は発展するはずがないのです！いや、それどころか、発展途上の「翅」は、例えば、ジャングルなどを歩いているとき、それがどこかに引っかかってしまう、その昆虫は身動きが不自由になるばかりか、捕食者に襲われてしまうかもしれない、そのような「役に立たないものや生存に不利なもの」は進化するわけがありません。ですから、「側背板起源説」は受け入れることはできないのです。新しい構造が進化してくるとき、発展途上の段階であっても、「適応的（生存に有利）」でなければならない、進化を考えるとときは常に、「それが適応的であるか」を考慮しなければならないのです。あなたが『しかし、なんとなく「きっかけ」がなければ羽のようなものにならない気がして・・・』と思った、まさにそこです！よく気付きましたね！

では、もう一つの「鰓起源説」をみてみましょう。まだまだ分からないことがいっぱいありますが、現在はこの考え方が最も信頼できるもののようです。では、どのような考え方が、説明しましょう。

翅をもつ昆虫類（有翅昆虫類）の祖先に最も近いのはカゲロウ目です（図2）。鍵はこのカゲロウ類にあります。カゲロウ類の幼虫は水生で、水中で呼吸するために、各体節の両側には葉状の鰓があります。その鰓は基部に筋肉があり動かすことができます。鰓を動かすことで新鮮な水から酸素をいっぱい取れるのです。そして、活発な運動をするためには、多くの酸素が取れるように鰓が大型になったほうがいいのです。また、筋肉も立派になってさらに鰓を強く動かすものが現れてきたでしょう。そうなるとうどうなりますか？ 鰓は水を掻いて、カゲロウの幼虫は水中を泳げるようになったのです。ペンギンが翼で水中を泳ぎまわるように。このと

図1 「側背板起源説」

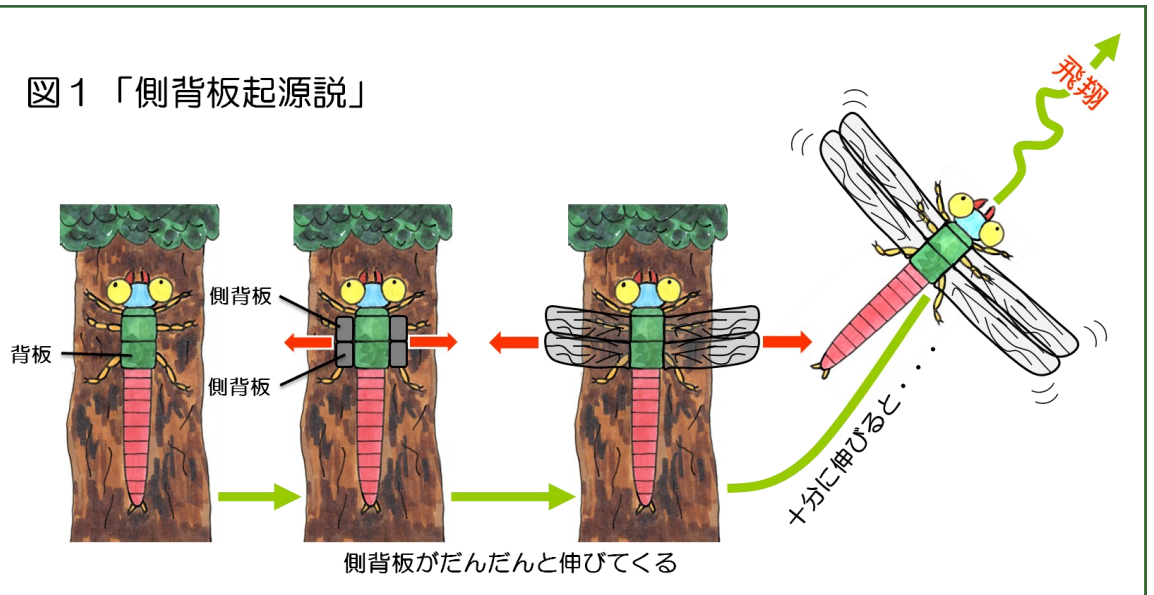
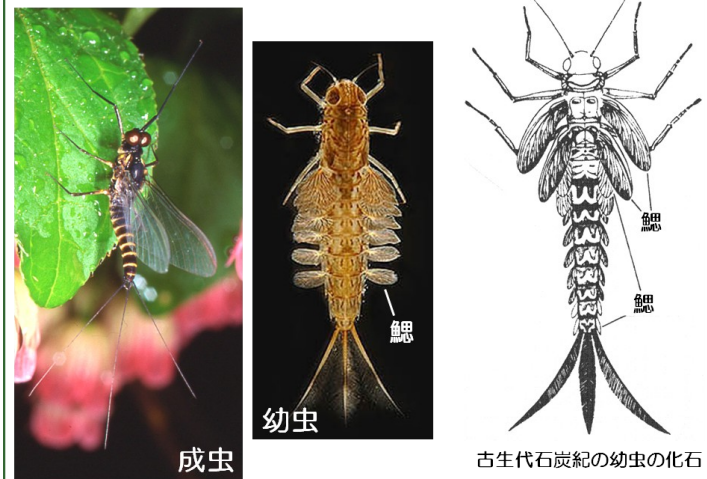


図2 カゲロウ目

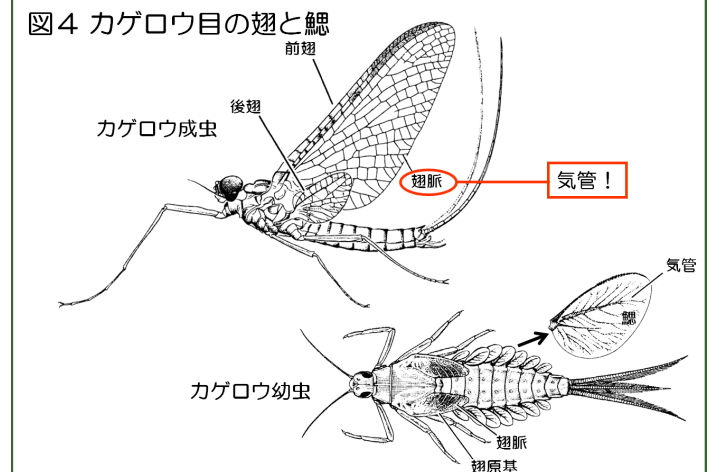


き、胸部の鰓は特に大きくなっていました。化石から分ります（図2）。きっと、前方の鰓が大きくなったほうが泳ぐのに都合が良かったのでしょうね。

このように、カゲロウの幼虫は大きくなった鰓で水中を羽ばたき遊泳していたのです。そして羽化、陸上に上がります。そうすると鰓は不要になる、だから腹部の鰓は捨てたのです。でも、「遊泳」を楽しんでいた胸部の鰓を捨てたのでしょうか？ きっと、それは陸に上がっても跳躍を助けるくらいの役には十分に立ったはず。ですから「発展途上の翅」は十分に適応的ですから、さらに淘汰されることもなく発展していくのです。そして彼らはついに大空を手に入れるのです。

これが翅の「鰓起源説」です。図3は今述べたことを絵にしたものです。先ほどの「側背板説」と比べてどうでしょうか。ずっと説得力があると思いませんか：翅を獲得するまでのすべての過程が「適応的」に説明できているのです。そして、「鰓起源説」を支持する分りやすい証拠もあります。そ

図4 カゲロウ目の翅と鰓



れは、昆虫類の鰓は、中に気管が走っていて、これを通してガス交換を行う、「気管鰓（キカンサイ）」というものです（図4）。

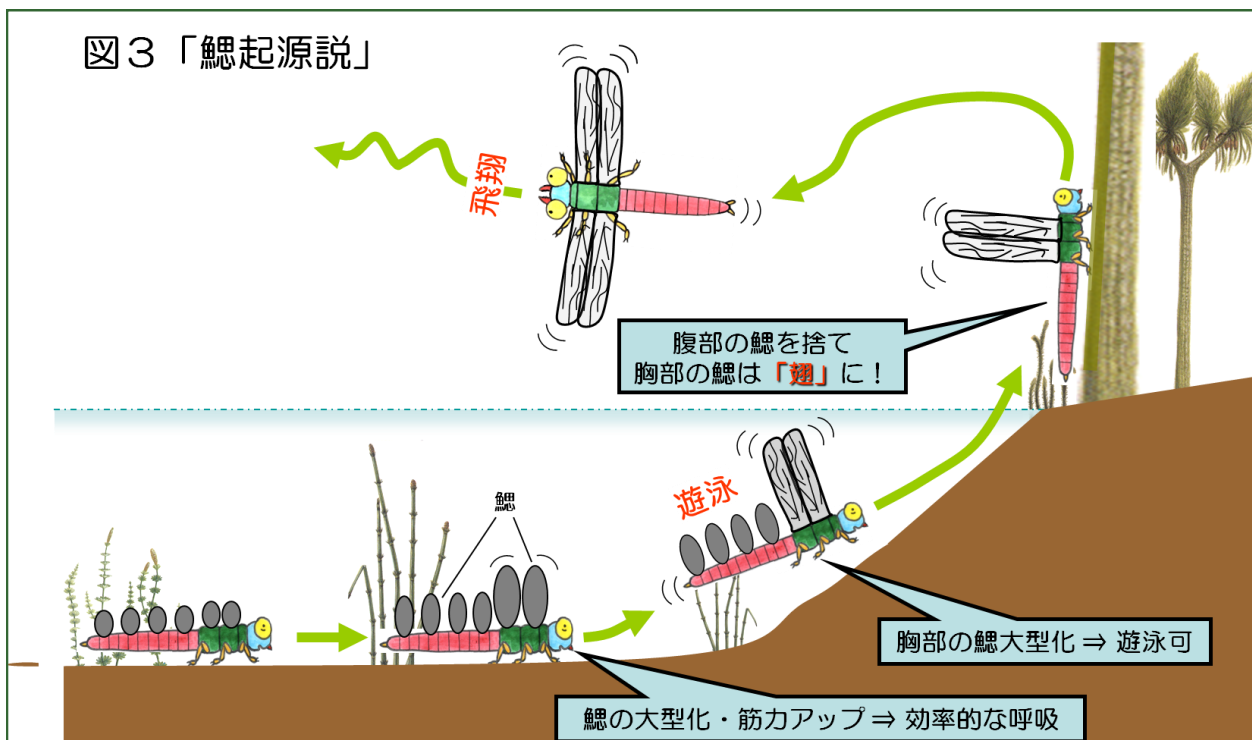
そして、昆虫の翅には翅脈という筋が走っていますが、この翅脈は解剖学的に、そして発生学的にも、気管であるということが分っているのです（図4）。私も比較発生学そして分子生物学の立場から翅の起源について研究しますが、やはり「鰓起源説」が正しいようです。今、論文を投稿中です。P 4-9に「なんと素晴らしい昆虫たち！」という文章を書きましたが、そこにも翅のことについて触れていますので、あわせてお読みください。またの質問をお待ちしています。

【図表引用元】

図2最右; 図4: The Insects of Australia. 2nd Edition, Vol. 1. Melbourne University Press (1991)

図2中央: Electronic Field Guide to Aquatic Macroinvertebrates of Small Streams in Eastern Massachusetts

図3 「鰓起源説」



筑波大学生物学類 未来の科学者養成講座

〒305-8572
つくば市天王台1-1-1
筑波大学生物学類長室内
BSリーグ事務局

電話029(853)4553
FAX029(853)6300
Email: bsl@biol.tsukuba.ac.jp
http://mirai.biol.tsukuba.ac.jp/

生物に関する質問があったら、
大学の先生に聞いてみましょう！
昆虫のこと、植物のこと、
知りたいことはありませんか？
ご質問は
bsl@biol.tsukuba.ac.jp
まで！

BSリーグ通信 編集
尾嶋 好美 (BSリーグ支援員)

教員・スタッフ紹介

実習であいさつはすんでいます。改めてBSリーグに関わっている教員・スタッフを紹介します。

BSリーグ責任者・筑波大学生物学類長・教授

佐藤 忍 先生

専門分野：植物生理学

研究内容「高等植物の根や細胞壁の働きの解明」

佐藤先生について、詳しくはBSリーグ通信第1号「科学者の道」をご覧くださいね。



BSリーグ専任教員・筑波大学助教

土岐田 昌和 先生

専門分野：動物形態学

研究内容「脊椎動物の形態多様化機構の解析」

土岐田先生について、詳しくはBSリーグ通信第2号「専任教員紹介」をご覧くださいね。



BSリーグ支援員・筑波大学サイエンスコミュニケーター

尾嶋 好美

大学・大学院での研究は食品科学でした。現在はBSリーグに関わると同時に、本などの執筆を行っています。著書「家族で楽しむ おもしろ科学実験」(ソフトバンククリエイティブ社サイエンスアイ新書)等



今月の一枚

手の中の小さなナメクジのような生き物。これは、下田臨海実験センターでの実習の時に、TAの阪本さんが砂の中から探してくれたギボシムシです。

ギボシムシとはなんでしょう？和田研究室のHPから引用しますね。

「ギボシムシとは海底の砂の中に棲んでいるミミズのような生き物で、半索動物門、腸鳃綱に属する動物の総称です。半索動物は、脊索動物や棘皮動物、珍渦虫とともに新口動物群を構成しています。分子系統解析の結果から棘皮動物と近縁であることが分かっています。幼生の形態も棘皮動物と似ており(左図)、両者の近縁性を支持しています。一方でギボシムシは、変態して成体になると、左右相称の体制や鰓裂を持つなど、棘皮動物よりも脊索動物に近い体制をしています。つまり、ギボシムシは変態というイベントを介して、棘皮動物に似た体制から、脊索動物に似た体制になるのです。以上のように



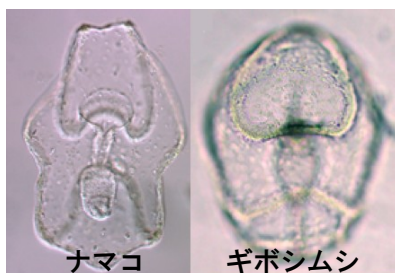
にギボシムシは新口動物の進化を考える上で非常に重要な生物ですが、非常にマイナーな生物で、採集することさえ難しいので、世界的にも研究例が非常に乏しいのが現状です。しかし、我々は日本で研究するのに非常に適した種を発見し、この種を用いて様々な実験系を確立してきました。

このようにギボシムシという非常にユニークな生物を用いて、新口動物の進化史を明らかにしていきたいと考えています。」

ギボシムシのギボシは漢字で書くと「擬宝珠」。擬宝珠とは橋の欄干などにあるタマネギ状の飾りのことで、ギボシムシの前端がそのような形をしていることから「ギボシムシ」と名付けられたんだそうです。



ギボシムシ
筑波大学大学院
生命環境科学研究科
構造生物科学専攻
博士課程 2年
宮本 教生さん
撮影



ギボシムシは変態というイベントを介して、棘皮動物に似た体制から、脊索動物に似た体制になるのです。以上のように