

参加者 安藤昭久・池田博明・加藤輝代子・加藤むつみ・輿石紗代子・須黒達巳・谷川明男
+++++

Burmester, T., 2013. Evolution and Adaptation of Hemocyanin Within Spiders. IN Spider Ecophysiology, 3-14. 池田報告。節足動物のヘモシアニンはフェノール酸化酵素起源である。この銅イオンを含む酵素は、免疫反応とクチクラ硬化に関係する。節足動物の分類群のあるものはヘモシアニンを失って、酸素供給をヘモグロビンに依存するものもある。呼吸タンパク質を欠くものもある。ある種の十脚類と六脚類には、酸素を結合しないヘモシアニン近縁のタンパク質が見られる。これらはシュードヘモシアニン(クリプトシアニン)とかヘキサメリンと言われているが、呼吸機能ではなく、主に貯蔵タンパク質と考えられている。

ヘモシアニンは六量体で、2個の銅原子が1分子の酸素と結合する。サブユニットは620-630個のアミノ酸が結合したもの。組み合わせにより8種類の型に分けられる(クモは4×6が多い。カブトガニは8×6)。ザトウムシ・カニムシ・ヒヨケムシ・ダニにはヘモシアニンが無い。

カブトガニがクモと分岐したのはオルドビス紀で、サソリが分岐したのはシルル紀末。クモへの分岐は古生代ペルム紀、完性域への分岐は中生代三畳紀。

オオツチグモのような原始的なクモは4×6/サブユニット(a~g)7個の構成であり、同じ構造はAtrax, Atypus, Nemesiaにもあり。普通クモの円網蜘蛛類にも4×6ヘモシアニンがある。ジョロウ・ユウレイ・チリ・サラ・ヒメ・アシナガの各クモ。完性域類のクモはかなり複雑である。

ブラジルドクシボグモには2×6と1×6が約2:1で見られる。同様の構造はタナ・フクロ・シボ・ワシ・コモリ・ササ・エビ・キシダ・ハエトリ・アシダカ・カニの各クモに見られる。これらはRTAクレードに含まれるクモである。

ブラジルドクシボグモのヘモシアニン分子分析から分かってきたことがある。このタンパク質はg型サブユニットのみで出来ている。他のクモで見られるaからfまでの6個の型は無い。それでも6個のg型があり、2×6構造を保っているのである。この6個のサブユニットは2億3千万年前から独立に進化してきたのである。RTAクレードの祖先はおそらくg型のみから成る単純な六量体ヘモシアニンを持っていた。続いて遺伝子重複が起こり、1億3千万年前にそれが終わって、6個の異なるサブユニットが生じたのだ。複雑なヘモシアニンの型の進化はこの分類群に起こった形態的・行動的变化によって説明できる。

ヘモシアニンには酸素を結合するという特性は維持された。現在は複雑な気管系を持ち、活発なハンターであるRTAクレードのクモは矮小化の時期や低活動の時代を経過してきた。洗練された酸素の運搬者というよりも酸素に高い親和性をもつ貯蔵タンパク質の、g型サブユニットだけで単純な1×6のヘモシアニンだった。クモの4×6ヘモシアニンを失うことと気管の進化はあいまって起こったことである。しかし、サイズの増大は後の話で、活動的なハンターに必要な代謝を支えるには非効率的な単純な気管系が克服されてからである。より複雑な2×6が進化した。おかげでアロステリックな相互作用とより効率的な酸素輸送が可能になった。

ヘモシアニン重合体再構成の原因となったのはペルム紀の大気中の酸素レベルの減少だっただろう。

異なる分岐をした例がカヤシマグモの一種に見られる。この場合にはbとcのないたった5種のサブユニットからなる六量体を持っている。ユニットbとcは六量体間をつなぐのに必要なので、4×6構造は出来ない。驚いたことに単純な六量体をもつと報告されていたイノシグモの一種は実際にはヘモシアニンは無かった。

鋏角類で酸素運搬タンパク質といえばヘモシアニンであり、他の呼吸タンパク質は知られていない。ヘモシアニンを失った鋏角類(ザトウムシやダニなど)にはよく発達した気管系があるという特徴がある。大気中の酸素

を効率よく取り込めるのである。書肺はあまり効率がよくない。そういった状況ではヘモシアニンは取り込みにも分布にも有効である。単性域類で酸素運搬タンパク質を失ったイノシグモの一種（クモ類で唯一ヘモシアニンを失った例である）には、非常に高度に発達した気管系があった。

ヘモシアニンは（哺乳類の赤血球のように血球中にあるのではなく）体液中に蓄積する（その量は 120mg/ml 以上である）。ヘモシアニンは血球から放出される。驚愕すべきことに、鋏角類のヘモシアニンの配列には N 末端信号ペプチドが含まれていない。これは分泌経路の標的タンパク質なのだが、むしろ鋏角類のヘモシアニンはフリーのリボソームで合成され、細胞破裂によって放出される。クモのヘモシアニンはゴルジ体を通らず、炭水化物をまったく運搬しない。こういった特徴はヘモシアニンの起源が原フェノール酸化酵素であることを示している。大顎類では小胞体で信号ペプチド獲得。進化の間、環境条件はヘモシアニン重合体の構造に影響しただけでなく、その酸素結合速度をも形づくった。大きなヘモシアニン重合体はたぶん酸素運搬機能も高く、進化的利益があったに違いない。重合体の特性として酸素結合の協同やアロステリック調節が可能になる。その結果酸素解離曲線はシグモイド曲線になる。クモのヘモシアニンは典型的なアロステリックなふるまいを示した。結合特性は温度や pH やアロステリック効果に影響される。例えば *Aphonopelma hentzi* は 50% 飽和度は 4 mmHg から 54mmHg まで変異する。重要なのは酸素親和性が pH 依存なことである。

ヘモシアニンの断片は *Aphonopelma hentzi* のクチクラ成分となる。ヘキサメリンやシュードヘモシアニン、ヘモシアニン近縁のタンパク質がクチクラに統合される。*A. hentzi* のヘモシアニンはエクジソンとの結合には親和性が低いが、この点では、昆虫のヘキサメリンと同様である。ヘモシアニンはエクジソンのような疎水性のステロイド・ホルモンを体液中で輸送して、脊椎動物の血液中のアルブミンと同じ働きをしているようだ。試験管内ではフェノール酸化酵素活性を示す。カブトガニで、抗生ペプチド同様の血液凝固酵素がヘモシアニンをフェノール酸化酵素に変換する発見があった。この発見は鋏角類の免疫反応をヘモシアニンと関連づけることとなった。他の節足動物門と比べると、鋏角類は真のフェノール酸化酵素を持たない。病原体防御におけるこの酵素の役割が、ヘモシアニンによって仮定されたように思われるが、カブトガニと同じ仕組みがクモにもあるかどうかは未解決。

[コメント] フェノール酸化酵素は分子状酸素の存在下で、フェノール類をキノン類に変える酵素である。アスコルビン酸酸化酵素とともに銅タンパク酵素に数えられる。キノンによってタンパク質が架橋され硬化する現象はキノン硬化として知られている（池田）

+++++

宮竹貴久『「先送り」は生物学的に正しい』2014年3月発刊、新書。池田報告。食物連鎖の重要性はエルトンが『動物生態学』で最初に指摘した。捕食-被食の関係はピラミッド型ではなかった。むしろ「食物網」と呼ばれる関係である。また、食物網も静的な関係でなく、立体的・動的である。捕食者が被食者を選んで食べる事のできる構造が進化的な時間のスケールではより長く持続可能であることが分かってきた（近藤倫生，2003）最適採餌戦略をとる捕食者のもとでは被食者は食いつくされず、生き残った被食者が繁殖できる。持続できる資源供給が可能になるのだ。では、「死んだふり」戦略は生存に有効なのだろうか。それには3条件を証明する必要がある。その形質には【1】個体変異がある。その形質は【2】遺伝する。その形質は【3】自然選択される（適応的である）。

「死んだふり」時間の長い個体<ロング>系統と、短い個体<ショート>系統を人為選択。15世代（2年間）後では擬死時間は<ショート>系統が0、<ロング>系統が10分。擬死する形質の「変異」と、「遺伝」を証明した。また、主たる天敵はアダソンハエトリだった。ハエトリの捕食戦術はジャンプして、虫にかみつく。いったん離す（甲虫は体が硬いため）。そこで甲虫は擬死する。

捕食率は<ロング>虫は1/14 = 7%（擬死個体の生存率93%）、<ショート>虫は9/14 = 64%（生存率は36%）。

Nature, 2004 年 10 月に掲載された。ルクストン教授(グラスゴー大学)の対立仮説の提言「甲虫は味のま
ずい虫で擬死行動は化学的な警告ではないのか。ロング系統がショート系統よりも嫌な臭いをたくさん放出して
いるのかもしれない」。つぶすと放出される刺激臭はメチルベンゾキノン。擬死した虫はこの物質を放出しな
かった。クモに咬まれて殺されたときだけベンゾキノンを放出していた。ロング系統だけを入れたシャーレ、ロン
グとショートを入れたシャーレで比較すると、ロングだけ 4 割生存。ショートと対では 95%以上のロングが生
存。擬死個体は動く他の個体に捕食者の注意を向けていた。

すべての個体が擬死してしまつては、擬死する個体のメリットがない。通常、野外の甲虫は擬死しないか、数
秒で覚醒する。数分以上擬死する個体を数%含む集団もある。コクヌストモドキの場合には天敵が多いほど擬死
個体の割合が多くなるロング系統よりショート系統の脳ではドーパミンが多量。ドーパミンがうまく作用しない
のがロング系。カフェインを飲ませたロングは擬死できなくなった。ロングのほうが早く成虫になり長寿だっ
たが・・・。なにかと擬死するロングより、ショートは異性と出会う率が高い宮竹貴久の他の著作『恋するオスが
進化する』(メディアファクトリー新書)は雌雄の性的対立を紹介。与太話にズレルと批判されている。

帯に「頑張るだけでは報われません」とある。生き物が進化の結果獲得した捕食者に対する戦略、つまり食べ
られないようにするための戦略に「先送り」や「死んだふり」「擬態」「寄生」といった知恵がある。そこから現
代社会を生き抜く知恵を学ぼうというスタンスである。竹内久美子に似ている。虫と人間つまりヒトには大きな
違いがあることを無視しないと、虫とヒトの比較は出来ないのである。その違いとは、虫の行動は生まれつき決
まっている遺伝的な形質なのだが、ヒトの行動は学習によって形成される後天的なもの、つまり文化的なものだ
ということである。性でいえば、ヒトではセックスよりもジェンダーが大事だということだ。虫にはジェンダー
はない。したがって、虫から得られた教訓というものはすべて眉唾である。

+++++

谷川明男, 2014. 種子島のキムラグモ。谷川報告。形態差の小さい種子島北部系統と南部系統の間にはミト
コンドリアの CO₂ では大きな違いがある。生殖隔離があればこの二つは別種と判断できる。混在地域を捜し、
その地点で両者を採集、28S 核 DNA を分析した結果、生殖隔離が証明された。南部系統はヤクシマキムラグモ
と判断でき、北部系統はヒゴキムラグモかキムラグモのどちらかである。

+++++

谷川明男, 2014. キムラグモ類全体の系統関係。谷川報告。Haupt はキムラグモとオキナワキムラグモの起
源についてオキナワキムラはフィリピン南方から来たという仮説を立てている。しかし、DNA を解析したとこ
ろ、オキナワキムラグモは中国大陸経由で日本に渡来したと考察できた。

+++++

須黒達巳, 2014. 奄美大島で採集したクモ。須黒報告。2014 年 3 月 9 日から 14 日にかけて奄美大島でクモ
を採った。エラブウラシマグモ、アマミヨリメケムリグモ、アマミキムラグモ、アマミジョウゴグモ、ガケジ
グモの一種、ハタケグモの一種、エビグモの一種、ヒガシコモリグモ、リュウキュウコモリグモ、ヤンバルコモ
リグモ(河原の石の下に住む)、ネツタイコモリグモ(林道のリターに住む)、ケアシハエトリ、アマミクチバハ
エトリ(第 1 脚の下面が青黒く輝く。ボックス・カルバートの天井に多数生息している。ウデボソハエトリ、コ
ミナミツヤハエトリなどを発見。

+++++

池田博明・西湘高等学校生物部, 2005~2006, アマガエルの繁殖期は短い。池田報告。浅間茂ほか『水辺の生
きもの』(全国農村教育協会, 2013 年)は千葉県のカエルの生態情報が書かれた良書だが、ニホンアマガエルの
繁殖期を 4 月中旬から 6 月中旬としているのは、神奈川県西部域の結果と合わない。オスは 4 月から鳴き始める
もののメスの卵巣はまだ成熟していない。メスの成熟はゴールデンウィークが過ぎてからである。実際の成熟の

判断はメスを解剖することでしか分からない。飼育による幼生の成長の記録から野外の幼生のサイズを手がかりに産卵日を推定すると、早くても5月8日だった。また、7月4日には水田は中干しされてしまうため、足の出ていない幼生は全滅する。産卵から足が出るまでに34日間かかることを考慮すると、5月末日までに生まれた幼生は生残できるが、6月以降に生まれた幼生は中干しで全滅してしまうと予想できた。

[コメント] 千葉県の子田植えは4月中旬と早い(加藤輝)

+++++

池田博明, 2014。高校生物の高度化。池田報告。高校生物の内容が最新の内容を盛り込んで難化している。それも教員がおそらく戸惑うだろうほどの難しさ。これを教わる生徒は気の毒である。