

6月号のニュースレターで取り上げた記事のうちの二つの項目に関して、具体例を入れた付加的な説明をまとめました。参考にしていただければ幸いです。

ラクトースオペロンの応用例

今月号のDNA物語（15）に、大腸菌のラクトースオペロンがどのようにして発見されたかということについての概略を説明しました。その際、ラクトースオペロンの研究からいろいろな応用例が生まれたことに触れましたが、ここで、実際にどのように応用されたのかについて例を挙げて説明します。

まず、図1をご覧ください。図1はDNA物語の本文に掲載

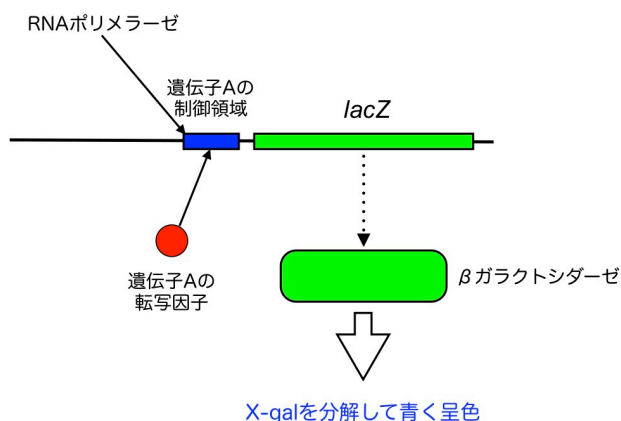


図1：lacZを他の遺伝子の制御領域と結合する

遺伝子操作（DNAの繋ぎ換え）によって、遺伝子Aの「制御領域」（遺伝子Aの発現のタイミングや発現量を制御する領域であり、遺伝子によっては、この領域に正や負の働きをするさまざまな転写因子の結合する部位があります）とlacZ遺伝子を結合させ、いわばハイブリッドの遺伝子を作ります。こうして作ったハイブリッド遺伝子をプラスミドに結合して保存し、今後のDNA物語で説明する予定の方法で研究対象とする生物の組織や細胞に導入するのです。

した図の一部を改変したもので、図中の青い部分が特定の遺伝子の「制御領域」を模式的に表したものです。制御領域とはその遺伝子（この場合は「遺伝子A」）がどのような条件下でどれだけ働くのかを「制御」する働きをもった領域のことであり、実際の転写を行なうRNAポリメラーゼが結合する部位（プロモーターと呼ばれます）を含みます。DNA物語で説明したラクトースオペロンの例では、リプレッサーの結合するオペレーターと呼ばれる塩基配列も制御領域に含まれます。図1に示すような遺伝子操作を行なうことによって作られたハイブリッドlacZ遺伝子は、遺伝子Aが発現する条件下で発現してβガラクトシダーゼを作るようになります。した

がって、ある条件下で遺伝子Aが量的にどれくらい発現するかを、βガラクトシダーゼの活性を測定して定量することが可能になるのです。

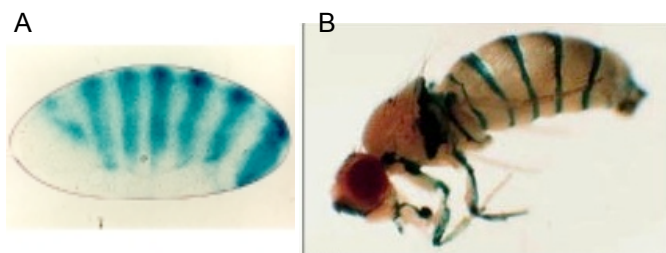


図2：キイロショウジョウバエの遺伝子の制御領域に結合したlacZ遺伝子の発現

幼虫（A）で発現するftz遺伝子と、観察のために翅を除去した成虫で発現するengrailed遺伝子（B）の発現パターンをX-galの染色で見たもの。両遺伝子とも、特定の体節で発現する結果、体の軸にほぼ垂直な青色のパターンが見られます。

【出典：Aは <http://www.stolaf.edu/people/colee/sections/teaching/classes/bio372platforms/drosophila/main.htm> から、Bは Molecular Biology of the Cell, 3rd edition から】

さらにX-galを使いますと、ハイブリッドlacZ遺伝子が発現すれば、βガラクトシダーゼの働きによって「水に不溶な青い色素」が生じます。したがって、例えば動物の体の組織の中のどこで特定の遺伝子が発現しているかということ、青い色素を目印にして調べることができるのです。図2Aに示したのはそのような例であり、ショウジョウバエのftzという遺伝子が、幼虫の特定の体節*註で発現している様子を示したものです。同様に、図2Bには別のengrailedと名付けられた遺伝子の成虫における発現のパターンを示してあります。このようにすることで、特定の遺伝子の発現の様子やその条件を追求することができるようになったのです。

*註 昆虫はムカデやエビなどとともに「節足動物」に分類されています。昆虫の体をよく見ますと、多数の節で分けられた「単位」となる構造が連結されて全体を構成しているのですが、それぞれの単位を体節とよぶのです。昆虫の翅は、胸部を構成する前・中・後の三個の体節のそれぞれに一對ずつあり、さらに翅はそのうちの中・後の体節のそれぞれに一對ずつあります。

ホメオティック遺伝子と変異

6月号のトピックス「翅などの器官の形成を促す仕組み」の欄で、キイロショウジョウバエで4枚の翅をもつ突然変異が発見されたことに触れ、そこから高等生物を含むすべての生物にホメオティック遺伝子と名付けられた「体のつくり」に影響を与える遺伝子のあることが見いだされた経緯を説明しました。そのことからさらに、烏骨鶏の足の指についてのホメオティック変異や、ツノ

ゼミと呼ばれるセミに近縁の昆虫の持つ英語で「ヘルメット」と呼ばれるマントのような構造のできるホメオティック変異の例も紹介しました。ホメオティック遺伝子（英語でhomeotic genes; あるいはhomeobox genes、略してhox genes）の名前の由来は、生物の器

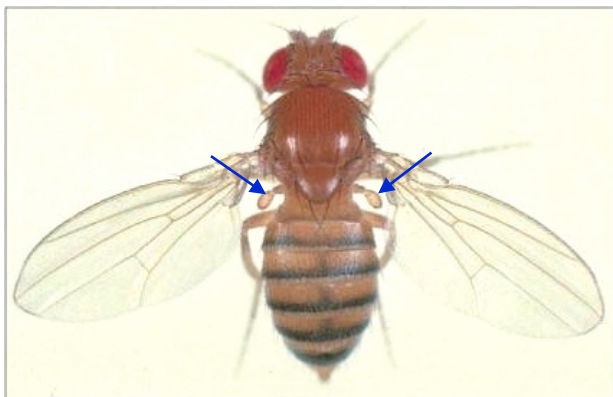


図3：野生型のキイロショウジョウバエ

キイロショウジョウバエは分類的に双翅目（ハエ目）ショウジョウバエ科に属する昆虫で、目（もく）の名前が示しますように、セミやトンボなどの他の昆虫と異なり、四枚ではなく、二枚の翅をもつ昆虫です。昨年5月に発行したニュースレターに第29号のDNA物語（3）にキイロショウジョウバエに関する詳細な説明を掲載しましたのでご参照下さい。図中の青い矢印については図4の説明をご覧ください。【出典：Molecular Biology of the Cell, 3rd edition】



図4：4枚翅の突然変異株

ニュースレターの本文に書きましたように、4枚翅になる突然変異はbithoraxという遺伝子（‘bi’は「二個」、‘thorax’は「胸部」という意味）に生じたものであり、胸部の第3体節が第2体節と同じになり、その結果、「翅の生えた胸部の体節が二個になる」ということから名付けられたものです。図3と比べるとおわかりになりますように、野生型では「平均棍」と呼ばれる棒状の構造（青い矢印）が見られる部位に、突然変異により翅が生じているのです。なお、平均棍の働きについては諸説ありますが、名付けられた当時考えられていたような体のバランスをとるためではなく、飛翔に必要な働きをしていると考えられています。【出典：JAMA, March 18, 1992 vol.267: 1524-1531】

官の再生に関する相同異質形成（homeosis）という現象にあります。この現象は、例えばザリガニの眼柄（先端に眼球をもつ棒状の器官）を実験的に取り除くと、眼

柄の代わりに触覚の再生が見られるようになることもあるという現象のことを言い、眼柄と触覚は「相同な器官」であるためにこのような「相同で異質の器官」の再生が起こるのだと説明されている現象です。上のキイロショウジョウバエの例に則して言えば、平均棍と翅の間で相同異質形成が起こったということになります。

前ページの節足動物の説明に、昆虫の翅は通常胸部の第二および第三の体節に一对ずつ生ずると書きましたが、今は絶滅した昆虫の中には、図5に示しますように胸部の第一体節にも一对の翅をもった種類があったことが指摘されています。しかしこの翅は進化の過程で失われ、その後出現してきた現存の昆虫の多くは、胸部の第二および第三の体節に一对ずつの翅をもつ種類であることは皆さんもよくご存知の通りです。

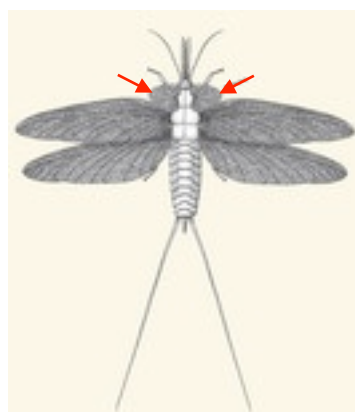


図5：絶滅した昆虫で胸部の第一体節に一对の翅をもつもの

この絶滅種では、頭部のすぐ下の胸部第一体節に一对の翅（赤い矢印）があるのがわかります。

【出典：Armin P. Moczek; Nature 473, 34-35 (05 May 2011)】

ところで、ツノゼミは、胸部の第一体節に、進化の過程で一見翅のような膜状の構造をもつようになったという特徴があることに触れました。ですからツノゼミ（英語でtreehopperと総称されます）では、他の昆虫で発現が抑えられた胸部の第一体節の翅と相同な膜状の構造を、進化の過程で新たに「復活させた」こととなります。最近のNature誌の論文“Body plan innovation in treehoppers through the evolution of an extra wing-like appendage”（Nature 473, 83-86, 05 May 2011）では、そのようなツノゼミで見られるホメオティックな変異が詳述されています（<http://www.nature.com/nature/journal/v473/n7345/extref/nature09977-s1.pdf>）。

なお、ツノゼミをご存知ない方は、NHKの「ダーウィンが来た」（<http://www.nhk.or.jp/darwin/program/program168.html>）や、「ツノゼミ画像」（<http://www.ne.jp/asahi/rhyncha/index/sam/memsam.html>）をご覧くださいと、この不思議な昆虫の写真を見ることができますので、ご参考にどうぞ。

なお、今回は触れませんでした。同様なホメオティック遺伝子や突然変異は、植物界でも広く知られていることを付け加えさせていただきます。