



Evolutionary Theory for

CONSTRAINED & DIRECTIONAL DIVERSITIES

Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 3 No. 11 (2019)

新学術領域研究

進化の制約と方向性

～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～



小集会「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」報告

表紙:オオツノコクヌストモドキの頭部の形態バリエーション。
左上から時計回りに、中オス、メス、大オス、小オス(栄養条件による変異)。
(写真:首都大学東京 岡田泰和)

目次

小集会「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」報告号発行の経緯について	深津 武馬	1
小集会「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」開催報告	岡田 泰和	2
甲虫の武器の発生可塑性と性限定的発現のしくみ	岡田 泰和	3
<i>doublesex</i> が生殖器の性分化において果たす役割の多様性 峰 翔太郎、笠原 良太、湯澤 知久、松岡 美里、鈴木 雅京		4
カイコ <i>Sex-lethal</i> 遺伝子による「核を持たない精子」の形成	新美輝幸、酒井弘貴	5
連載エッセイ(21) 銀河の果てに至る夢:オリオンによせて	倉谷 滋	6

小集会「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」報告号発行の経緯について

本新学術領域研究「進化制約方向性」には、昆虫を研究対象として研究に取り組んでいるメンバーがいます。昆虫類の多様性は、モデル生物として確立されたショウジョウバエのみならず、生物進化を解明していくうえで興味深くかつ有用な系を数多く擁します。2020年3月15～17日に名城大学天白キャンパスで開催予定であった第64回日本応用動物昆虫学会大会において、昆虫類の形態や発生における多様性、拘束、ゆらぎといった側面の理解の可能性をさぐることを企図し、公募班の岡田泰和と計画班の深津武馬がオーガナイザーとして、小集会「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」を企画いたしました。

ところが皆様ご存知の通り、新型コロナウイルス(COVID-19)の流行に伴い、2月27日には政府より全国の小学校・中学校・高等学校・特別支援学校に対する休校要請が出され、ほぼ完全実施されたという強力な措置に象徴されますが、流行抑制の観点から多くの人々が集まる会合、イベント、施設運営などが次々と休止・自粛・延期となり、このような日本社会全体における流れの中で、第64回日本応用動物昆虫学会大会の開催中止が発表されました。

日本応用動物昆虫学会からの発表(2月22日付)によれば

- ・大会の開催中止を決定
- ・講演要旨集は予定通り送付
- ・大会は「みなし開催」とし、要旨が掲載済みの一般講演、ポスター発表、小集会、セミナー等の発表は「発表されたもの」として扱われる
- ・みなし開催にともない、参加費は返金なし
- ・懇親会費等の返金については後日周知する

http://odokon.org/archives/2020/0222_145415.php

とのことです。2011年3月に起こった東日本大震災の際にも多くの学会大会で同様の措置がとられました。今般の状況が非常事態であることを思い知らされます。

このように「みなし開催」として、中止ではありながら公式には大会が開催されたものとして要旨集も発行されるという状況、そして本小集会が果たすべきであった役割と価値を鑑みて、ニューズレター「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」報告号を発行し、本小集会の趣旨および内容を記録に残すことにいたしました。

このような事態がなるべく早期に収束し、日本社会が平常に復し、自由かつ闊達な学術交流に支障のない状況となることを願っております。

深津武馬(産業技術総合研究所)

小集会「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」開催報告

名城大学天白キャンパス開催の第 64 回日本応用動物昆虫学会大会において、本新学術領域研究の共催で「昆虫の形態・発生の多様性と保守性」と題して、主に性的な形質の多様性に着目した講演を集めた小集会を 2020 年 3 月 16 日に企画した。公募班の岡田泰和(首都大・理学部)は、甲虫の武器サイズにおけるオス内の多型および性的二型をもたらす仕組みについて話題提供する予定であった。領域外からの招待講演者として、鈴木雅京さん(東京大・新領域)に、昆虫の性分化の主要な制御因子となる転写因子である *dsx* の機能的多様性について講演をお願いした。*dsx* の性分化への機能は、昆虫の分類群を超えて広く保存されていることがおおむね支持されている。しかし、種や形質ごとに *dsx* が及ぼす影響が異なっており、昆虫の形態や発生の多様性に寄与する場合もあるようだ。公募班の新美輝幸さん(基生研・進化発生)には、鱗翅目昆虫に特徴的な無核精子(受精にはかかわらないが、受精を助けると考えられている)と有核精子という、精子の多型・多様性を生み出す機構について講演を準備していただいた。ショウジョウバエの性決定・性分化カスケードの 1 因子である *Sxl* が、カイコでは無核精子の形成に関わっているというのである。

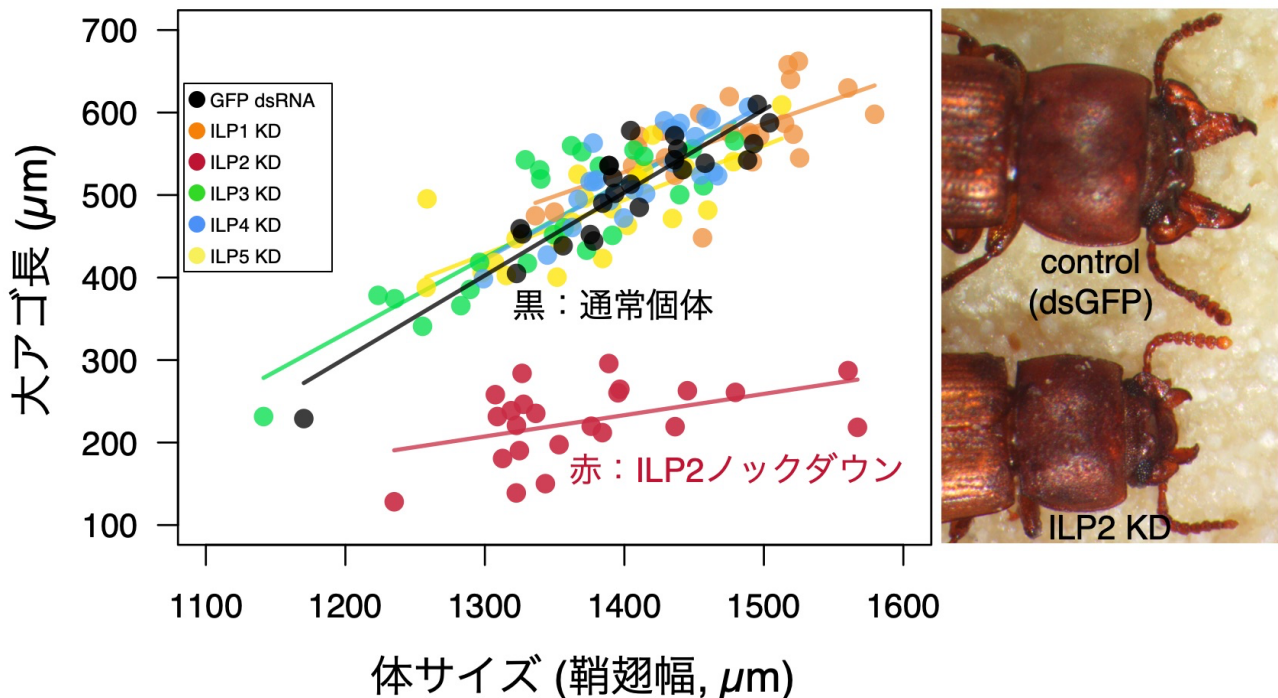
昆虫の性決定・性分化や性的形質の発現を司る遺伝子については、ショウジョウバエで蓄積された知見を他の分類群に拡張し、共通性に焦点をあてて議論されることが多かった。しかし最近、研究対象種が広がったこともあり、機能的に保存されているといわれてきた遺伝子でもメジャー/マイナーな機能的多様性が次々と明らかになっており、保存性のなかにも多様性を生み出す仕組みが見えてきたように思われる。本小集会では、“機能的に保存されている”という、進化を論ずるうえでお決まりの文言があるが、性形質を司る(とされている)主要な遺伝子について“機能的保存性”をどの程度信じてよいのかといった突っ込んだ話を、ぜひ企画者、講演者、参加者の間で行いたかった。しかし残念ながら新型コロナウイルスの拡大期と重なってしまい、学会講演が中止(みなし開催)となってしまった。ウイルスにおいてもきっと、基本構造は保存されていても、“絶妙な”場所が変わってしまうことにより、ホストの幅や感染力が跳躍的に変化してしまうことがあるのかもしれない。いまは事態の収束を切に願いつつ、またの機会に本小集会のリベンジを行いたいと思う。

小集会オーガナイザー 岡田泰和(首都大学東京)

甲虫の武器の発生可塑性と性限定的発現のしくみ

岡田泰和(首都大・理学部)

カブトムシの角やクジャクの羽は、オス間競争やメスによる選り好みで進化してきた性選択形質である。性的な武器や装飾は巨大で美しい“誇張された表現型”であり、すさまじい種内・種間の多様性をみせてくれる。我々は、武器を形作る遺伝子や発生の仕組みを明らかにすることで、武器の進化メカニズムを解明し、性的誇張形質がいかにして独立に幾度も進化し、多様化できたのかを解明することを大きな目標としている。我々は、オスが縄張りをめぐる闘争を行い、武器としての大顎を発達させた甲虫、オオツノコクヌストモドキ(*Gnatocerus cornutus*)を主な材料として、1) 武器モジュールの成長が高い栄養応答性を示す発生可塑性のしくみ、2) オス特異的に武器が発現するしくみ、について遺伝学と発生操作を駆使した生態発生学的研究を進めてきた。講演では、1) 武器モジュール特異的な栄養応答を担うインスリン様ペプチドの働き(GcorILP2, Okada et al. 2019, *PLOS Biol*), 2) 各組織の発生の安定性と可塑性の”幅“を司る可能性があるエピゲノム機構(HDAC, Ozawa et al. 2016, *PNAS*), 3) オス特異的な武器発現を司る性分化機構と遺伝子発現制御の相互作用、について研究を紹介する。



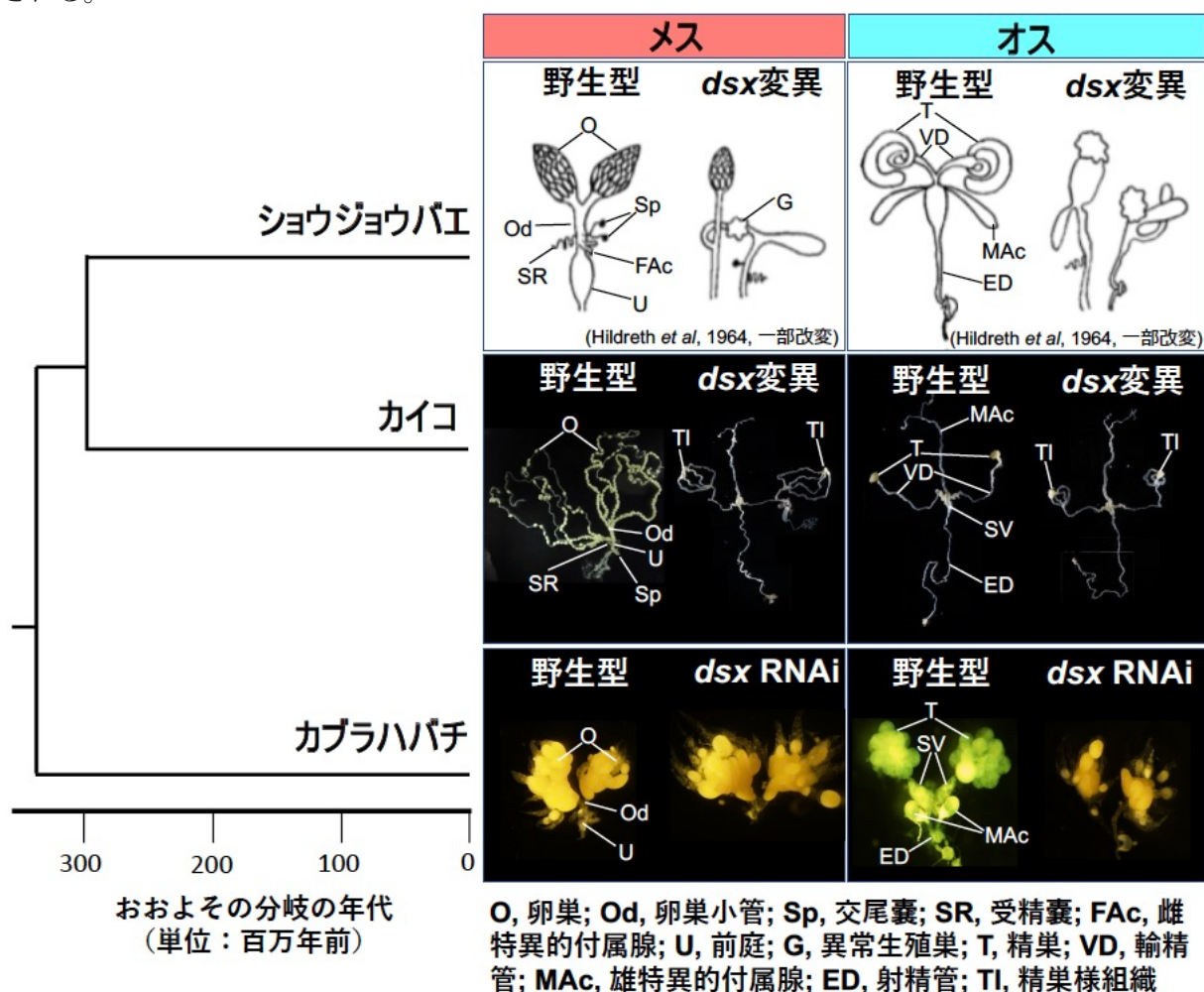
インスリン様ペプチド2(ILP2)の遺伝子ノックダウン(KD)

ILP2 が抑制されると武器の体サイズ依存的成長が消失した。点は各個体、色は KD した遺伝子 (ILP1-5) を示す。ILP2 以外のペプチドの KD は武器サイズに影響を与えなかった。対照区(通常個体)は影響のない二本鎖 RNA を注射したもの。

doublesex が生殖器の性分化において果たす役割の多様性

峰 翔太郎・笠原良太・湯澤知久・松岡美里・○鈴木雅京(東大院・新領域)

ショウジョウバエで最初に同定された *doublesex* (*dsx*) は、雌及び雄特異的なアイソフォームを生じ、各々が生殖器の雌分化、雄分化を制御する。*dsx* は今までに 20 種以上の昆虫から同定され、いずれの種においても性特異的なアイソフォームを生じることから、*dsx* が生殖器の性分化において果たす役割は概ね一致するとみなす向きがある。一方、我々はこれまでにカブラハバチとカイコの *dsx* の機能解析を行い、生殖器の性分化において *dsx* が果たす役割に多様性が見られることを発見した。カブラハバチの雄における *dsx* の発現をノックダウンすると、雄は妊性をもつ雌へと性転換したが、雌の性分化は RNAi の影響を受けなかった。このことから、カブラハバチの生殖器の雌分化にとって *dsx* が不要であることがわかる。一方カイコの *dsx* をノックアウトすると、雌において内部生殖器の雄化がみられたが、雄の内部生殖器の性分化はその影響を受けなかった。以上の結果から、カイコの内部生殖器の雄化にとって *dsx* は不要であるといえる。カイコの内部生殖器の雄化には *dsx* のパラログ *dmrt93b* が重要な役割をもつことがわかっている。このことから、*dsx* が生殖器の性分化に果たす役割は、そのパラログの機能との関連において決まると予想される。



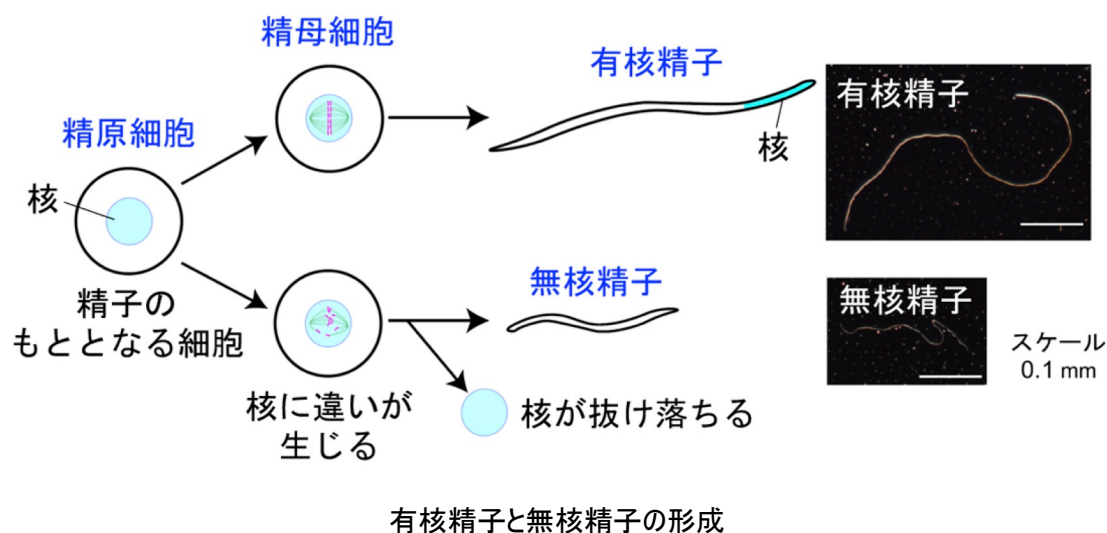
doublesex (*dsx*) の機能阻害が内部生殖器の性分化に及ぼす影響

ショウジョウバエの場合、部分的に性分化した雌雄の組織がモザイク状に形成されるが、カイコでは雌の内部生殖器の一部が完全に雄化した。一方、カブラハバチでは雌分化は影響を受けず、雄の内部生殖器は雌化し、妊性のある卵の賛成が見られた。

カイコ *Sex-lethal* 遺伝子による「核を持たない精子」の形成

新美輝幸^{1,2}・酒井弘貴¹(¹基礎生物学研究所 進化発生研究部門、
²総合研究大学院大学 生命科学研究所)

昆虫の性決定カスケードの最上流遺伝子においてもっとも研究されている遺伝子は、ショウジョウバエの *Sex-lethal* (*Sxl*) 遺伝子である。*Sxl* 遺伝子は、キイロショウジョウバエの性決定遺伝子として働くが、他の昆虫での機能は全く明らかにされていなかった。そこで、鱗翅目昆虫のモデル生物であるカイコにおける *Sxl* 遺伝子の機能を明らかにすることを試みた。ゲノム編集技術を用いて *Sxl* 変異体を作出したところ、雄特異的に不妊になることが判明した。カイコの精巣では、受精する精子の有核精子と、自身は受精しないが有核精子の受精に必要な無核精子の二種類の精子が形成される(図)。*Sxl* 変異体の精子を観察したところ、有核精子には異常が観察されなかったのに対して、無核精子に異常が観察された。さらに、カイコの利点を利用した交配実験により *Sxl* 変異体の有核精子は、受精能力を有することが明らかとなった。このことから、*Sxl* 変異体の雄の不妊の原因は、無核精子にあることが明確となった。以上より、ショウジョウバエにおいて性決定マスター遺伝子である *Sxl* 遺伝子がカイコでは無核精子形成に関わっていることが明らかとなった。



銀河の果てに至る夢：オリオンによせて

倉谷 滋

「オリオン座を中心とする諸星座、それに火星と木星を加へた初冬の東天を中幕とすれば、秋のこの部分はまだ幕間である。が、銀河を刺繍した緞帳が音もなく巻き上がるのも、もう遠くはないことである」

野尻抱影「秋の天上風景」より

2019年師走、私の住むこの神戸が「ルミナリエ」なる電飾系催し物を皮切りに何とはなしに盛り上がりはじめる季節。クリスマスも近いとあって街の至る所が光り出し、夜空の星々もまたいや増しに街ゆく人々の心を高揚させる。こんな季節には、特定の映画やBGMを求める向きも多かろうが、私の場合はというと寝室の出窓から夜空を見上げつつ、ベッドで稲垣足穂の短編や香山滋のSF冒険譚、あるいは野尻抱影（大佛次郎の兄）のエッセイなど読み返す。それが、宇宙SFならなお素晴らしい。あるいは、宇宙論の科学ドキュメンタリーなども良い。想像が夜空に広がって行く。

で、年も明けて、気が付けばはや二月。そろそろケムール人が地球に押し寄せてくる頃だろうかなどと思っていたある日のこと、オリオン座のアルファ星、ベテルギウス（オリオンの右肩に相当）に異変が生じているというニュースが目飛び込んできた。最近になって明るさが以前の30%に減じたとのこと。アメリカ、ピラノバ大の天体物理学者、エドワード・ガイナン教授からの報告である。

ベテルギウス。アラビア語で「巨人の腋の下」を意味する。我が国では、その赤い色にちなんで「平家星」とも呼ばれ、現在観測可能な宇宙では三番目に大きなM型赤色超巨星（ちなみに、最大の恒星は11天文単位の半径を持つケフェウス座のミュー星。具体的には、太陽系の土星軌道を包み込むほど大きい）。太陽のような長寿の恒星とは違い、ベテルギウスのような巨星は寿命が短い。いま、まさに命が付きようとしており、大きさが太陽から木星の軌道に至るほ

どになっている。このままいけばいずれ超新星爆発を起こし、昼間でも肉眼で見えるようになる。場合によってはブラックホールがひとつ目の前で出来上がってしまうのではなかろうかと期待したのだが、実際は中性子星になることがすでに分かっている。残念……。

オリオン座といえば、昭和29年、俳人の山口誓子が台風13号の被害に遭い、家を失った直後、心穏やかに夜空に眺めたという星座でもある。あるいは、野尻抱影が中学生の頃、入院中に病室の窓からセンチメントの想いで眺め、天文学少年となる切掛けとなり、のちに白馬の尾根の雄大な暁の雲間から抜き出てきたそれに再会したのもまた、この星座の中核をなす三つの二等星、「三つ星」であった（地方により、「ミツガミサマ」、「ミツボッサン」などの異名あり）。そう、オリオン座と言えば、三つ星とベテルギウス。三つ星は「親かつぎ星」とも言い、ビルマやインドの神話では「矢」にもたとえられる。

SF世界に目を転ずれば、いまから数年前、レプリカントのロイ・バティが、攻撃された地球の戦艦が火を吹くのを見たのが、やはりこのベテルギウスの位置に相当していたと覚しい（映画『ブレードランナー』より）。あの世界でもまだ超新星爆発は起こっていなかったわけだ。一応辻褄は合う。抱影も言っていることだが、どうやら人の戦いとオリオン座には、切っても切れない縁がある。そのときロイは、太陽系から700光年離れたそれを星座の一部としてみていたに過ぎないのだが、さりとてそのエピソードもまた宇宙史の一部。そう考えると感慨一入である。

＊

もう少しベテルギウス話を続けよう。SF漫画で有名な星野之宣の代表作のひとつ、『2001夜物語』は、80年代半ばに発表された、いまとなつては古典に属するにもかかわらず、相変わらずSF魂を刺激し続けて止まない良作である。その中の一エピソード、「緑の星のオデッセイ」に描写されたベテルギウス第2惑星の世界には、自らの種子を宇宙に向かって打ち上げるといふ、壮大な播種計画を行う一種の巨大な植物が登場する。その花状構造の中心には、さまざまな生物の種子や胚子を載せた「船型構造」が発生し、燃料の金属ナトリウムを水と反応させ、そのエネルギーを利用してそれを成層圏に打ち上げるわけだ（平成の怪獣映画『ガメラ2』にも似たような設定の宇宙生物が登場した）。さらに、その周囲に植わっている集光植物の照射するレーザーでもってその船は加速し、外宇宙に向けて生命を繋いでゆくのである。いわば、一種の播種行動である。

以前、こんな繁殖様式がはたして進化というプロセスによって成立するものなのかどうか考察したことがある。少なくとも、この不安定な巨星、いまこの段階で高々800万歳程度なのであるから、その惑星上ではいくら頑張っても、単細胞生物すら生まれなかった公算が大きい。ということは、どこか別の星系で進化したこの生物が、どういうわけか寿命を終えそうな巨星ばかりを選んで宇宙を放浪し、そのひとつがたまたまベテルギウス第2惑星だったということなのであろうか。さすがにそれは、ちょっと不自然な気がする。

＊

先日、原子核物理学者と飲み屋で話をしていたとき恥ずかしながら初めて知ったのだが、そもそも宇宙旅行において一番問題となるのは、ワープ航法とか距離とか冷凍睡眠とかより以前に、高エネルギー宇宙線による被曝なのだそう。地球にいる我々は、厚い大気層に守られているが、宇宙空間ではとんでもなく強力な放射線にさらされ、それは磁力線や鉄板を使っても全く防げない。ようするに、「宇宙線の外装に磁石を付け、それを回転させて強力磁気シールドと人工重力を一挙に作

り出そう」等という甘っちょろいデザインでは何ともならないらしい。アポロ11号の月着陸を目の当たりにした私は「この調子でいったらあと少しで火星に行けるだろう」とか、「もう少し無理すれば、木星も夢じゃないかもしれない」などと脳天気な考えがちだったが、実はまだかなり根本的な問題が未解決のまま目の前に残っていたわけなのである。

SFにはさまざまな先端技術が登場する。例えば映画版『2001年宇宙の旅』や『ブレードランナー（1982年）』では、ボタンひとつで色調整できる遮光硝子が使われていて（もちろん特撮）、我々を仰天させたものだった。が、よく調べてみたら、ああいったものは電圧次第で色が調節できる酸化タングステン（ WO_3 ）を使えば比較的簡単に製造できるらしい。そんな贅沢品が実用化されている一方で、肝心の基礎的問題がまだ未解決だというのがもどかしい。むろんだからといって、宇宙を飛翔する夢が潰えてしまうわけではない。いや、それはますます大きくなってゆく。だからこそ、放射線耐性を持つクマムシDNAが最近盛んに研究されているのである。なるほど『スタートレック・ディスカバリー』に、恒星間を瞬時に移動する巨大クマムシが登場するわけだ。「緩歩動物」と呼ばれるこの不思議な連中は、いつか人類の文明を押し上げてくれるのかも知れない。

かくして困難さの上昇は、夢や憧れの上昇に直結し、遠い宇宙の果てに向かう我々の夢は全く廃れない。また同時に、これまで「ハードSF」とされていたいくつかの作品が、私の中で「SF度」をあげてしまうことになった。いうまでもなく、科学的不可能性が上がってしまったからである。

＊

先日、星野作品をいくつかあらためて読み返してみた。どれも、宇宙を舞台とした壮大な叙事詩であり、アーサー・C・クラークの『2001年宇宙の旅』へのオマージュという感が強いが、むしろクラークのアイデアをストレートに膨らませた外伝バージョンと見た方がいい。ハードSFだけになかなか一筋縄ではいかないエピソードが多く、伏線とストーリーの絡み合いも複雑で、印象深いと同

時に手応えのある話が多い。クラークと星野の間にひとつ明瞭な違いがあるとすれば、それは宗教に対するスタンスの取り方だろうか。

クラークはあの有名な「三法則」において、「十分に発達した科学技術は魔法と区別がつかない」と述べ、それによって科学技術がある一定の高みに達することによって科学と宗教が合一する可能性を示唆し、それがまるで『宇宙の旅』四部作の結論のようでもあった。いわば、「人間の手でここまでできれば、すでに事実上、神とあまり違いがない」と言われている気がする。一方で『2001夜物語』では、科学技術の発達が遙か無限遠方にむかって開かれている。

その切掛けとなるエピソードが「第8夜：悪魔の星」であり、太陽系の外縁に反物質で出来た惑星が発見されることにより、人類の文明が飛躍的に向上するという経緯がドラマチックに描かれる。いわばそこには「人類が手を出してはならない禁断の領域」が明確に設定されており、宗教と科学の確執もここに顕在化するのである。その宗教的ジレンマを乗り越えることによって、ようやく人類の科学文明が一步高みに至ることになる。反物質を手にした人類は、小型ブラックホール(!)を内蔵したエンジンを開発、ついに恒星間航行を可能にする。こういった経緯を見ると、『2001物語』は意外にも、『2001宇宙の旅』よりも、ワープ航法開発物語とその後の宇宙開拓史を描いた『スタートレック』シリーズと親和性があると言えるのかもしれない。

*

さまざまな星を訪ねれば、さまざまな生物と遭遇することになるだろう。それは昨今の宇宙論の通説となりつつある。いうまでもなく宇宙SFでもさまざまな地球外生物が描かれている。そういった宇宙生物についての仮説をまとめて考察した読み物として、カリーリの編による『エイリアン：科学者たちが語る地球外生命』や、拙著『地球外生物学』はオススメだ。地球外生物であっても、一定のルールに従って進化し、発生するという、いわば生物学的必然としての「制約」は常にまわりついているはず。いや、地球だろうがよ

その星だろうが、「生物」と呼べる存在はそうでなくては困る。すなわち、ちゃんとしたデザインで地球外生物を描こうとすれば、多かれ少なかれ、それはどこか地球の生物と似たものになってしまいがちなのである。

生物であればこそ決して逃れることのできない一定のパターン、進化生物学では通常それを、「発生拘束のなせる技」として説明することが多い。背理的に考えるならば、「生物としてこれはアリだろうか」と思う背景にはいくつかの根本的不可能性が関係していることが分かる。そして、それはもっぱら「その不思議な形態や行動パターンが何らかの適応であることは認めざるを得ないが、それが果たして進化という方法によって成立することは可能か」という問題に帰着できる。

端的な例としては、地球の動物に「車輪」のような構造ができたためしがないという事実がある。細胞組織構築をベースにした構造は必然的に連続していなければならないという制約が生じ、結果、車輪は作ることができなくなる。というわけで、物理的に身体の一部が回転したり（『ウルトラマン』における怪獣グビラの鼻先に付いたドリルのように）、遊離したり（天使の頭の「輪」のように）することはもとより（たとえそれが炭素をベースにしておらずとも）生物として不可能なのだ。いや、『竜の卵』に出てきた白色矮星の表面に棲むという、核子間相互作用で生きる連中ならそれも可能か……。

思えば、地球に多細胞動物が生まれて六億年このかた、人類文明史においては何をおいても真っ先に発明される傾向が明らかだった「車輪」に相当するからくりが、動物進化の歴史を通じて一度も現れたことがないというこの、当たり前だが興味深い事実は、進化における制約、つまりここで言う「発生拘束」のいくつか、多様化の方向性に対してきわめて強力なバイアス（積極的に鰭や足を作りたいがる傾向）をかけてきたことを教えている。SFにおける架空の生物が「生物として自然かどうか」という問題は従って、「我々にとって馴染みがあるかどうか」に拘わらず、「進化することが果たして可能か」という、生物学者でさえしばしば悩む問題をクリアしなければならない。このような諸条件の総体が即

ち、ある意味「それが生物かどうか」という問題と同義なのである。

拘束に関するもうひとつの事例を挙げよう。先日、怪獣映画監督の樋口真嗣氏と対談する機会があり、そのなかで司会者から「奇天烈だけでも生物学的にはアリという怪獣にはどんなものがあるだろうか」と質問を受けた。すでに述べたように、生物SFのリアリティは、合目的性と進化可能性、そして制約に縛られた保守性に宿っている。SFのアイテムである怪獣にもその原則は当てはまる（と期待される）。そこで、私は「（『ウルトラセブン』に登場した）ビラ星人はどうだろう」と答えたのだが、その理由は、「地球上にはいそうもないが、よく見ると節足動物型のボディプランを固持している」ということなのである。実は、ビラ星人は樋口監督に聞いたところによると、実際「ウチワエビ」という甲殻類の一種をヒントにして造形されたいのだが、まあ、見てくれが奇妙奇天烈であることは間違いない。そして確かに、「身体全体にわたって分節構造が保たれている」という形態形成上のルールは、外宇宙におけるボディプラン進化においても、いかにも生じがちな傾向であるように思えたのである。

これと比べると、たとえばバルタン星人もまた節足動物型の宇宙人なのだが、下半身がヌメっとしたヒト型で、そこに理解しがたいキメラ性、一貫していないボディプランのハイブリッドを見ないわけにはゆかない。が、こういう調子で宇宙生物のデザインにケチを付けても仕方がない。宇宙生物は、本質的に地球人の常識で推し量ってはいけないのだ。それだけ考え出すのが難しいのが、宇宙生物の姿なのだ。とりわけ、ボディプランは何かと常識に左右されやすい概念だ。その点、『2001夜物語』をはじめとする多くのSF作品に登場する地球外動物は概して保守的で、我々の感性でもって問題なく「動物だ」と言える形態を持っている。さりとて、本物の地球動物ともやはり明らかに違う。では、その進化可能性はどうか。生物のリアリティはある意味、それが実際に進化の帰結として成立したという、「歴史を背負った」と言わんばかりの風情に宿っているのだ。ここから先は、各自お好みのSF作品を手に取り、心ゆくままにお考え頂きたい。

（初回執筆：2020年2月）

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 3 No. 11

発 行 : 2020 年 3 月 10 日

発行者 : 新学術領域研究「進化の制約と方向性～微生物から多細胞生物までを貫く表現型
進化原理の解明～」(領域代表者 倉谷 滋)

編 集 : Constrained & Directional Evolution Newsletter 編集委員会(編集責任者 深津 武馬)

領域 URL : <http://constrained-evo.org/>