

# トンボの翅脈の形態学的特性とその建築的応用可能性

宇野研究室

4108037

工藤 俊輔

## 1. 1. 研究背景と目的

### 1-1 研究背景

自然界には不均一かつ美しい幾何学形態が多く存在する。それらは生物が長い年月をかけて自然の中で調和のとれたシステムの進化を遂げてきた産物である。しかし近代ではその自然の中に生存しているはずの人間ががむしゃらに利益を追求してきた為、人間の技術が生み出してきたものは自然の中で調和のとれたシステムの進化を生み出してきたような原理に基づいていない。<sup>1)</sup> それは環境問題が盛んに議論される今日に顕著に現れている。

一次資源の限界を認識し始めた 21 世紀では、自然界に存在する合理的形態から学ぶこと（バイオミミクリ<sup>2)</sup>）は重要なデザインプロセスであると考えられる。<sup>3)</sup>

### 1-2 研究目的

以上を鑑みて本論では自然界の幾何学の中でもトンボの翅<sup>4)</sup>に見られる翅脈の幾何学形成に学び建築への応用可能性を考察する。また、その形態だけを追うものではな幾何学形成に関わる要因を考察する。

## 2. 研究対象と方法

### 2-1 対象

モノサシトンボ、ムカシトンボ、サラサヤンマ、ウスバキトンボの標本と参考文献<sup>5)</sup> の図版を対象とし<sup>6)</sup>、その形態と機能を分析する。

### 2-2 研究方法

- 1) トンボに関する先行研究や識者からのヒアリング調査。
- 2) 参考文献に掲載されている各種トンボの翅の形状を参考にした幾何学的分析。
- 3) 翅の機能・システムと幾何学分析を照らし合わせた考察。

### 3. ヒアリング調査・既往研究調査

井上清氏<sup>7)</sup>からのヒアリング調査、先行研究<sup>8)</sup>から以下の知見を得た。

#### 3-1 翅の持つ機能・システム

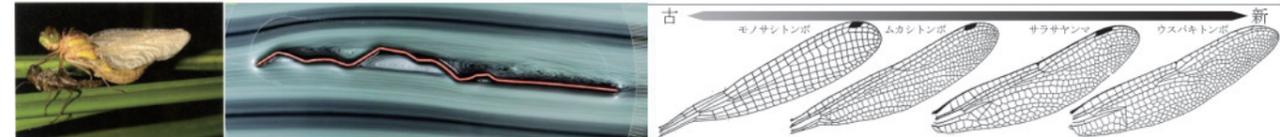
翅には、羽化過程に伴う面の折り畳みシステム（図 1）・液体の循環システム、飛行の際力学的に耐える形態・風を扱うための断面の凹凸形状（コルゲート構造）（図 2）、空気の粘性を打破するためのマイクロ構造が存在する。

#### 3-2 翅に見られる進化

トンボは翅において、比較的古い形質を残した種と様々な意味で進化した形質を持ったグループがある。（図 3）

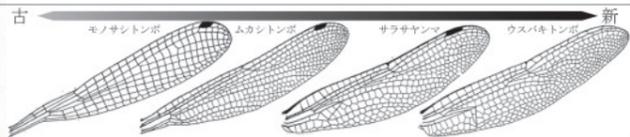
## 4. 翅の形態学的分析（図 4）

トンボの翅は大きく次のものからなる。翅脈：翅に張り巡らされた中空の脈。室：翅脈によって分割された部分。翅の進化を追う事でどのように機能の向上と幾何学形態



▲図 1 羽化過程

▲図 2 空気の流れシミュレーション



▲図 3 翅に見られる進化

の変化が起こったかを考察できる。本章では①分岐点の密度と配置②凹脈と凸脈<sup>9)</sup>③分岐数の違い④室の面積比⑤各種多角形の配置⑥室の連続性について分析する。

#### 4-1 分岐点の密度と配置

翅脈の分岐点をプロットして密度分布とその配置について考察する。原始的な翅は均一に分岐点が配されている。進化した翅は圧倒的に分岐点の数が多。また見えづらくはなっているものの複雑化した秩序は存在している。部分的にはユニットのような単位が存在し、それらが微小変位を起こし連続することと新たな点の出現と消失により不均一性と秩序を獲得していると考えられる。（図 6）

#### 4-2 凹脈と凸脈

原始的な翅では、凹凸脈は直線的に延び、翅の断面形状がどの部位もあまり変わらないことが分かる。進化した翅では曲線的かつ延びる方向も多様化し、翅がより 3 次的に進化していることがわかる。分岐点の配置に見られる方向性にも影響している要因である。

#### 4-3 分岐数の違い

原始的な翅は 4 又、進化した翅は 3 又を基本として形成している。4 又で 5・6 角形を形成した場合、それに続く室が小さく収束していく。多種の多角形による不均一な幾何学操作には 3 又が優れていることがわかった。（図 5）

#### 4-4 室の面積比

進化した翅は全体的に室が小さくなり、更に付け根から先端にかけて徐々に小さな室で構成されるように推移している。このように面積比には明らかな構成変化があり翅後方の面積比を小さくする事で機能を変化させていると考えられる。3 又による幾何学操作で繊細な面積変化を実現している。

#### 4-5 各種多角形の配置

原始的な翅は大部分が 4 角形と 4 角形に近い形で形成されているのに対し、進化した翅では翅の前方と後方で構成の仕方が変わっている。後方では目立った規則的配列は見つからず、4~7 角形をランダムに配置している様子が見られる。しかし同種の多角形の連続を観察できる箇所も存在している。多種の多角形を使用できるのも 3 又による特性であると考えられる。

#### 4-6 室の配置に見られる連続性<sup>10)</sup>

主に凹凸脈に沿うように室の連続が確認できる。進化した翅は連続性が記述しづらい部分や、分岐している部分が見られる。直線的な連続、曲線を描くような連続など多方向への連続性が確認できる。室の連続を分岐させることで室面積の操作を兼ねている。

## 5. 翅の機能と幾何学の関係性

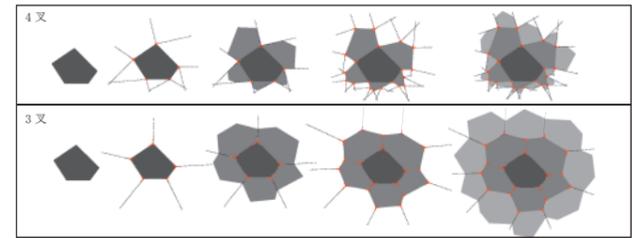
飛行時の力学的解析、折り畳み・循環構造、風を扱う仕組の 3 点について 4 章での分析を基にどのような形態操作が機能に影響しているかを考察する。

### 5-1 力学的機能<sup>11)</sup>と幾何学分析の考察

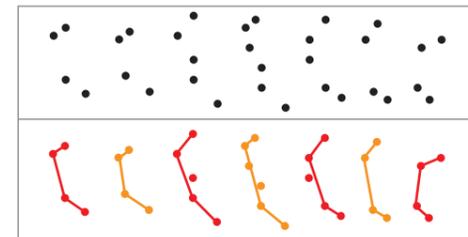
谷折を形成することで強度の発現が見られる。また翅の後方・先端は力をほぼ負担せず、風を受けるための部分である。そのため小さな室を充填し密にすることで面として構成され、更に軽量化も図られている。この部分は飛行時に波打つような挙動が可能であり、力学的に柔軟性も持っている。

### 5-2 折り畳み・循環構造と幾何学分析の考察

凹凸脈の直線的な形状から原始的な翅は扇子状の折り畳まれ方がなされると考えられる。新しい翅ではそれが複雑化し、翅後方に皺が寄るように折り畳まれていることが考察できる。凹凸脈は飛行に際して重要な翅脈となるのでそれ自体が折り目となるように一本の線を描くように通り抜けている。羽化時に翅脈に体液を流しテンションをかけ翅を広げるため、複雑化した翅に多方向から体液が行き渡るのに 3 又が役立っていると考えられる。

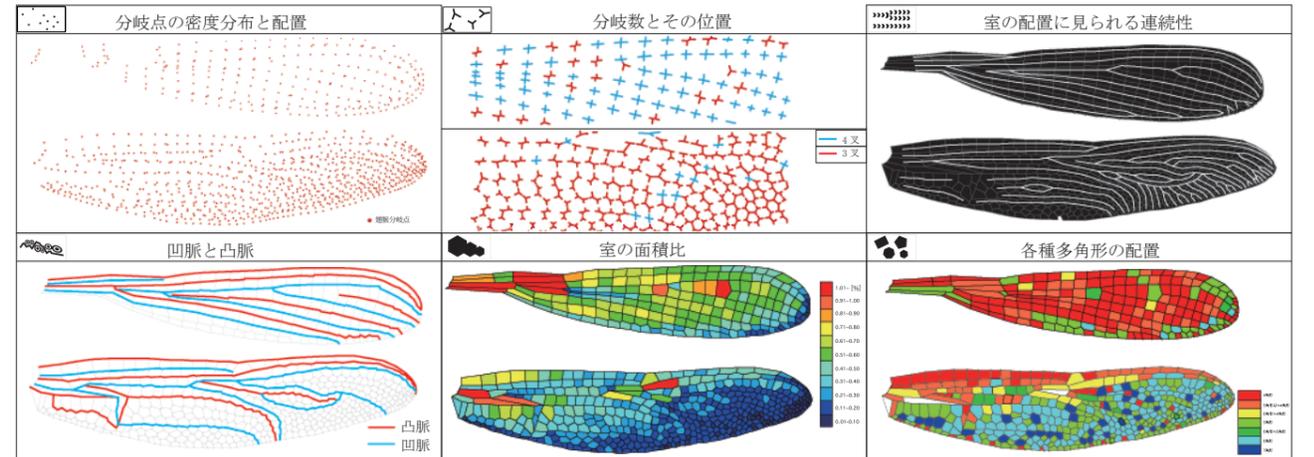


▲図 5 多角形生成に於ける 4 又と 3 又の形成プロセス



▲図 6 分岐点配置のユニット

		▼表 1 翅の持つ幾何学特性と建築に応用可能な概念					
幾何学特性とその機能	力学的機能	ランダム性	機能傾斜	折り畳み	自由な多角形	室の分岐	
		部分のランダム性と全体の秩序	(強部と弱部)	折り畳める形状	自由な多角形構成	室の分岐操作	
軽量化	○	○	○	○	○	○	
力学的機能	○	○	○	○	○	○	
力学的機能	○	○	○	○	○	○	
力学的機能	○	○	○	○	○	○	



▲図 4 翅の形態学的分析

脚注：1) 参考文献 1) より。2) バイオ (=生命) と「ミミック (=真似る)」の造語で、生物の生体機能を活かしたプロダクトおよびサービスのデザイン手法のこと。3) バイオミミクリの第一人者であるジャン・ペニスによる提言 4) 昆虫の羽は翅と呼ばれる。5) 翅の図版は参考文献 (2) より。6) 対象とした 4 種のトンボのうち、概観ではモノサシトンボとウスバキトンボの翅について考察することとする。7) 国際制国際トンボ学会会長、日本蝶翅学会前会長、著書に「フェールド版 トンボのすべて」などがある。8) 東京大学大学院工学系研究科、河内啓二研究室の研究 (http://www.kamochi.rcast.t.u-tokyo.ac.jp/)、日本電産大学イタロ液体研究室、小橋章研究室の研究 (http://www.dtu.ac.jp/~nrl/1/) 9) 同氏は分折面、凸脈と凹脈を区別する。10) 本研究では室がつながって見える構成、室の連続した流れと定義。11) 力学的機能は註 8) 記載の河内研究室、トンボの羽にかかる力の計算結果を参考に考察。12) 空を得るように飛ぶこと。翅を動かさずに飛ぶこと。13) 一部分材の表面と内部、両端など部分によって性質・機能が変化すること。参考文献：(1) フライ・オートー能著 岩村和夫訳「自然な構造体」1986 年鹿島出版会 (2) 杉村光俊・石田昇三・小島圭三・石田勝義・青木典司 1999 年「原色日本産トンボ幼虫・成虫大図鑑」北海道大学図書刊行会 (3) 井上清、谷幸三「トンボのすべて」2000 年 トンボ出版