

植物に学ぶ機械工学 —速く大きくなるには—

Mechanical Engineering Studied from Plants
—For Growth in a Short Time—



田中 基八郎
Kihachiro TANAKA

1945年7月生まれ

1968年早稲田大学理工学部機械工学科卒業
1970年早稲田大学大学院理工学研究科修了

■主として行っている業務・研究

- ・機械力学
- ・振動工学

■所属学会および主な活動

日本機械学会, 音響学会, VR学会, HI学会,
顎学会, AEM学会, 感性工学会, サウンドス
ケープ協会, 地震工学会

■勤務先

埼玉大学教授 工学部 機械工学科
(〒338-8570 さいたま市下大久保255/
E-mail : tanaka@mech.saitama-u.ac.jp)

ある。それは最後に真理の発見につながる。

さて、自然から学ぼうと思ったとき、まずは昔から気になっていることから入ることになる。私の場合、四角形の茎の存在が不思議だった。とくに植物の場合は、環境状況から逃げられないために種々なる工夫がある。機械工学から見ると、形態とその変化は材料学・材料強度学・材料力学、風・雨・水分・養分の流れとそれによる形態は流体力学、生命全体でのエネルギーバランスは熱力学、ゆっくりとした生長はダイナミクス、神経系の代わりとしてのホルモン分泌は制御学となる。90%以上の修復再生に使われる遺伝子情報によることも加えて、生命がなす変化には驚くことがいっぱいある。

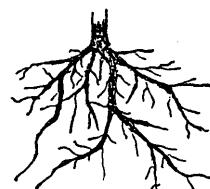
形態要素の力学

基礎（根の形）

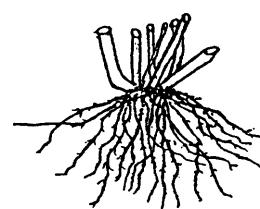
背の高い構造物が倒れないためには、しっかりした基礎が必要である。植物には2種類の根がある。すなわち、双子葉植物（マメ）や裸子植物（イチヨウ）の主根枝根〔図1(a)〕と、単子葉植物（ムギ）のひげ根〔図1(b)〕である。背が高くなるためには、大きく長い中心の杭が必要であり、後者のひげ根はそのままでは十分ではないので工夫が必要である。例えば、①球根や②塊根、③地下茎、④気根など〔図2〕がそれにあたり、それらが特殊な形態になった理由が理解できる。

根には引張の力と土圧が作用するので、次節の角柱状より表面積の小さい

図1 根の種類

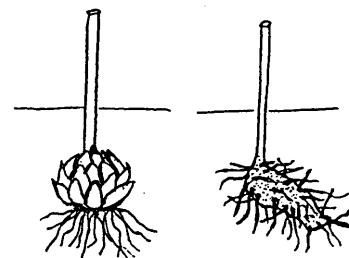


(a) 主根枝根

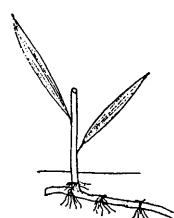


(b) ひげ根

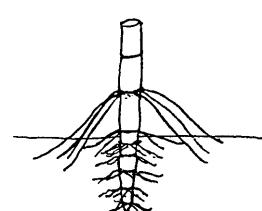
図2 高さを支える根



(a) 球根と塊根



(b) 地下茎



(c) トウモロコシの根（気根）

円柱状の構造になっている。

柱（幹の剛性）

背が高くなるためには、大きな曲げ剛性を持った軽い柱が必要である。そして、自重以外に風や雨雪、動物の接触など、どのような力が作用するのかわからない。そこで、あらゆる方向に同じ剛性を持った構造がいい。一般には、幹や茎は円形のものが多く、円形の断面形の剛性には方向性がなく、表面積が最も少ないので理想的な断面形状と思われるが、曲げ変形や座屈に対する剛性（断面二次モーメント）の特性において、断面形が正多角形の場合でも方向性は存在しないし、角の数が少ないほど、断面積が同じ場合を考え

ると、剛性が大きくなり有利である（図3）。三角形の茎はカヤツリグサ科がそうであり、エジプトの紙になったパピルスも同じ仲間である。四角形の茎はシソ科がそうであり、結構多くの種の草木が持っている。そして、自然界では、不確定の環境条件となることが多いので、できるだけシンプルな形態で修正もしやすくなっていることが望ましい。

バランスと強い形（葉の配置と形）

植物は生きていくために太陽光を受けて光合成を行っている。背が高く多くの光を得るために、また葉への養分配分をよくするために、葉の空間配置をうまくしなければならない。茎

（幹）のまわりの葉の配置には、力のバランスから植物は図4のようなルールに従っている。互生の場合、バランスをとるために一つの葉が付いて次の葉が付くまで、3分の一から2分の一回転になっていて、そこには数理的にフィボナッチ数列が関与し、自然の成長の変化を含んだ特性が表れている。

葉は一端を固定した片持ち構造になっている。葉を大きく広げると葉の付け根に作用するモーメントが大きくなり、葉の断面が開くようになって屈服座屈が生ずる。そこで、先端から付け根に向かってV形の断面形（図5）をして、さらに、V形の開き角を小さくしていく耐座屈設計になっている。

図3 同じ断面積の円形断面、正方形断面、正三角形断面の断面二次モーメントの比較

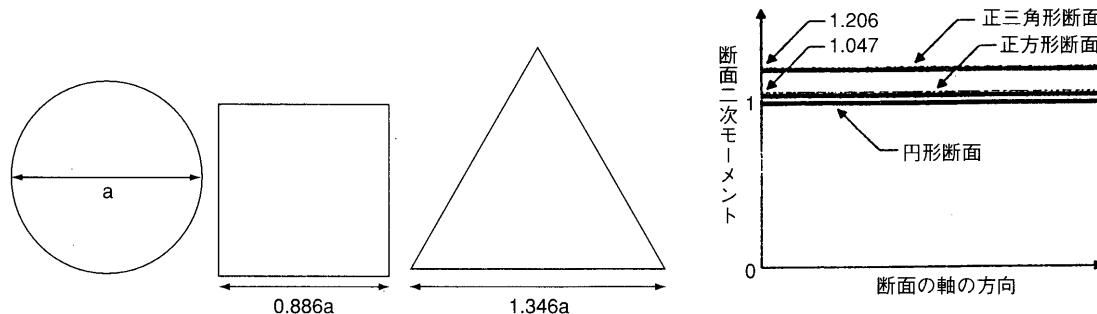
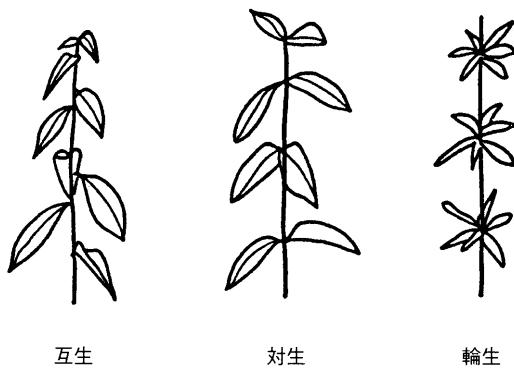
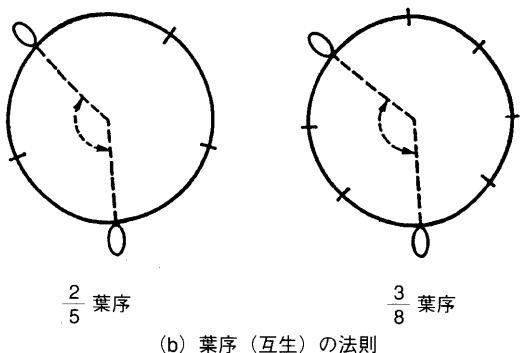


図4 葉の配置

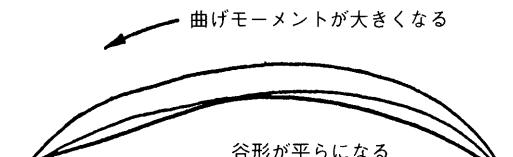


(a) 葉序の種類

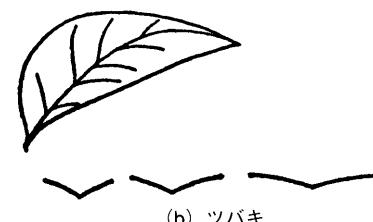


(b) 葉序（互生）の法則

図5 実際の葉の断面形



(a) ヤマユリ



(b) ツバキ

図6 ねじれて伸びる幹

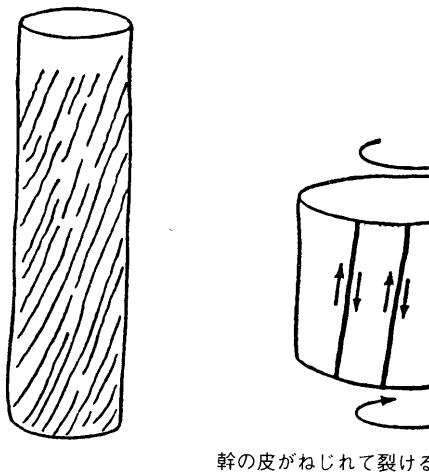
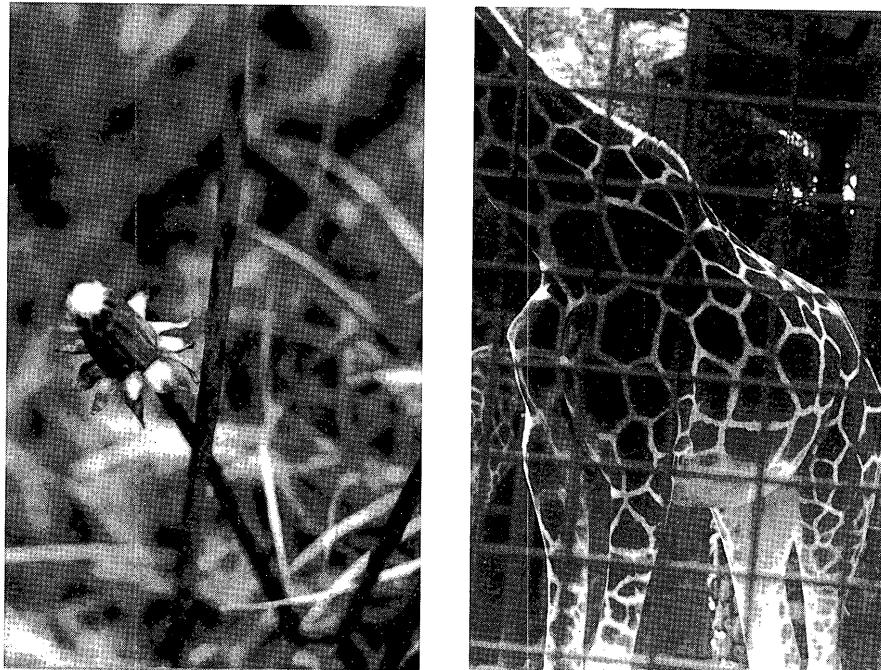


図7 タンポポの茎のまだらとキリンのまだら



速い生長（破壊と再生）

速い生長を考えるには、数年で5m以上になるユーカリを観察してみるとよい。早く生長するためには、幹が太くならなければならず、従前の表面を破壊しなければならない。ユーカリの幹の表皮を見てみると、図6のように表皮が斜めに裂けている。ユーカリの木は速く高く生長するために、ねじれながらねじりのせん断応力により表

皮、そして表皮と内側の木部との境を破壊し中の木部を太らせていることが想像できる。

他の例として、タンポポの花軸の生長を見てみると、地上近く10cm程の高さで開いた花は、閉じてから約2週間で種子の塊を30cm程の高さに伸ばして、速い風に冠毛をのせ、遠くへ種子を飛ばしている⁽⁴⁾。この生長は一様に2週間かけて伸びるのではなく、最後の2日間で20~30cm伸びる。花軸にマークをつけて観察してわかるこ

とは、急激の生長のほとんどは上部のほうであり、花軸は2回転もねじれて生長する。上述のユーカリと同様にねじれ、せん断応力でせん断破壊して花軸の表皮を裂いて急激な生長を行っていることが想像される。生長の速い花軸の表皮を見てみると、まるでキリンのまだら模様（図7）のように古い組織が破られて島状に存在し、裂けたすき間に新しい組織ができるようになっている。剛性と強度のある古い組織の塊を残して、それらのすき間を新しい組織で固めて花軸を太いものにしていくように思われる。

この生物の中の植物の生長に関して発生するパターンについては、材料力学的に考えられることで、平田森三のキリンのまだら⁽⁵⁾の説に近く、チューリングの化学反応波⁽⁶⁾⁽⁷⁾によるパターンの形成とは異なるものと思われる。

この植物の剛性強度を維持しながらの速い生長は、機械や構造物を構成していく方法に参考になるものと思う。新しい生長する材料の開発研究も含めて。

おわりに

速く大きくなるためにというテーマで、植物の形態について考えてみた。植物は生命と種の保存という目的の下でいろいろな部分ややり方でその生長を行っていることがわかり、私たちの形の決定に参考になる。

文 献

- (1) 田中基八郎、植物のデザイン、(1983)、共立出版。
- (2) 田中基八郎、植物と力学、日本機械学会メカラライフ、No.9、(1987)、6-9。
- (3) 田中基八郎・ほか共著、振動の考え方・とらえ方、(1998)、165-174、オーム社。
- (4) 山本 正、タンポポの研究、(1994)、67-95、国土社。
- (5) 平田森三、キリンのまだら、(1979)、中央公論社。
- (6) 森下 信・築山 洋、複雑系の基礎と応用—チューリングの業績を中心として—、日本機械学会講習会教材、No.96-41 (1996-6)、1-20。
- (7) 近藤 滋、キリンの斑論争と現代の分子発生学、科学、67-11、(1997) 821-825。