

連載

21世紀にふさわしい経済学を求めて

第26回

桑垣 豊

(NPO 法人市民学研究室・特任研究員)

【これまでの連載（掲載ページへのリンク）】

第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回
第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	第16回	第17回	第18回
第19回	第20回	第21回	第22回	第23回	第24回	第25回		
第1章	経済学はどのような学問であるべきか（第1回）							
第2章	需給ギャップの経済学 保存則と因果律（第2回と第3回）							
第3章	需要不足の原因とその対策（第4回と第5回）							
第4章	供給不足の原因と対策（第6回） 番外編 経済問答その1（第6回と第7回）							
第5章	金融と外国為替市場（第8回と第9回）							
第6章	物価変動と需給ギャップ（第10回）							
第7章	市場メカニズム 基礎編（第11回と第12回）							
第8章	市場メカニズム 応用編（第13回） 番外編 経済問答その2（第13回と第14回）							
第9章	労働と賃金（第15回）							
第10章	経済政策と制御理論（第16回）							
第11章	経済活動の起原（第17回と第19回） 番外編 経済問答その3（第18回）							
第12章	需要不足の日本経済史（第20回と第21回） 番外編 経済問題その4（第22回）							
第13章	産業関連分析（第23回）							
第14章	武器取引とマクロ経済（第24回） 番外編 経済問答その5（第25回）							

第15章 植物進化に学ぶ

意外なテーマだと思いいになるかも知れませんが、経済現象解明のために植物進化に学ぶことにします。このテーマで進化経済学会で発表したところ、意外なことに具体的な植物進化を学会で紹介した発表は、初めてだということでした。

学校で習う生物進化は、わかりやすくするために、結果として獲得した能力や形をめざして進化したよう（合目的的）に説明します。しかし、実際の進化は紆余曲折しています。例えば、昼間は日光が多くても水が足りないので、光合成がからまわりします。アイドリング運転みたいに、むだなエネルギーをあえて消費をします。これを「光呼吸」と言います。経済に例えると、需給バランスを取るのに、政策に苦勞している政府のようです。今の政府は、需給バランスに鈍感ですが。

近年、植物進化全体を説明したわかりやすい教科書が出たり、ポケット判牧野植物図鑑が新しい分類体系で編集し直して出るなど、勉強するのにいい時代がやってきました。経済学に関心のない方にも、読んでいただけるように書きました。使った写真は、わが家の庭の植物です。

15－Ⅰ 陸上植物の進化

α) 具体的な植物進化に学ぶ

進化経済学は、生物進化に学んで経済学の進化を研究するのが一つの柱であると思える。進化経済学会での生物進化から学ぶ研究は、遺伝学に学び「一般的な進化の法則」から経済学への適用を考えるものが主流であった。本発表では、それとは対照的に「具体的な陸上植物の進化」に経済学を考える手掛かりを探る。まず、はじめに説明の前提となる植物進化の概要を簡単に説明する。

b) 陸上植物とは

陸上植物は、水中（海中）の緑藻類から進化した。光合成は、単細胞の細菌（バクテリア）段階で生物が獲得したはたらきである。系統関係は不明であるが、緑色植物・灰色植物・紅色植物の3つの共通祖先で光合成を獲得したようである。この中の緑色植物から陸上植物が生まれた。光合成を始めた原核生物（細菌）のシアノバクテリア（藍藻）が、別の細菌の細胞に共生し、葉緑体として上述の共通祖先の光合成真核生物になった、という説が定説になっている。

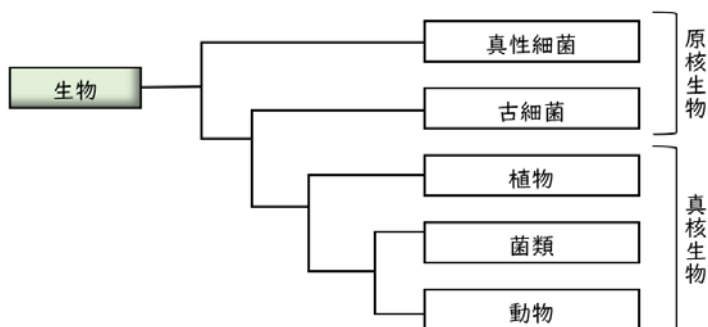


図15－Ⅰ 生物進化と植物の位置づけ

陸上植物の進化段階は、「コケ」「小葉（しょうよう）植物」「シダ」「種子植物」の大きく4段階に分かれている。小葉植物がシダから分かれて4段階になったのは、近年のことである。種子植物は裸子植物として始まり、その中から被子植物が生まれた。進化は競争よりも多様化による共存、生存領域の拡大の側面が強い。競争は結果であって、今までの既存生物が絶滅しないで共存することも多い。

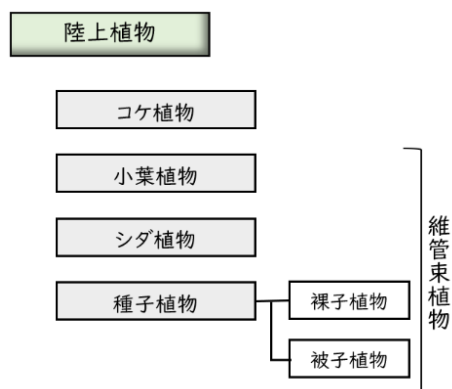


図15－Ⅱ 陸上植物の系統樹

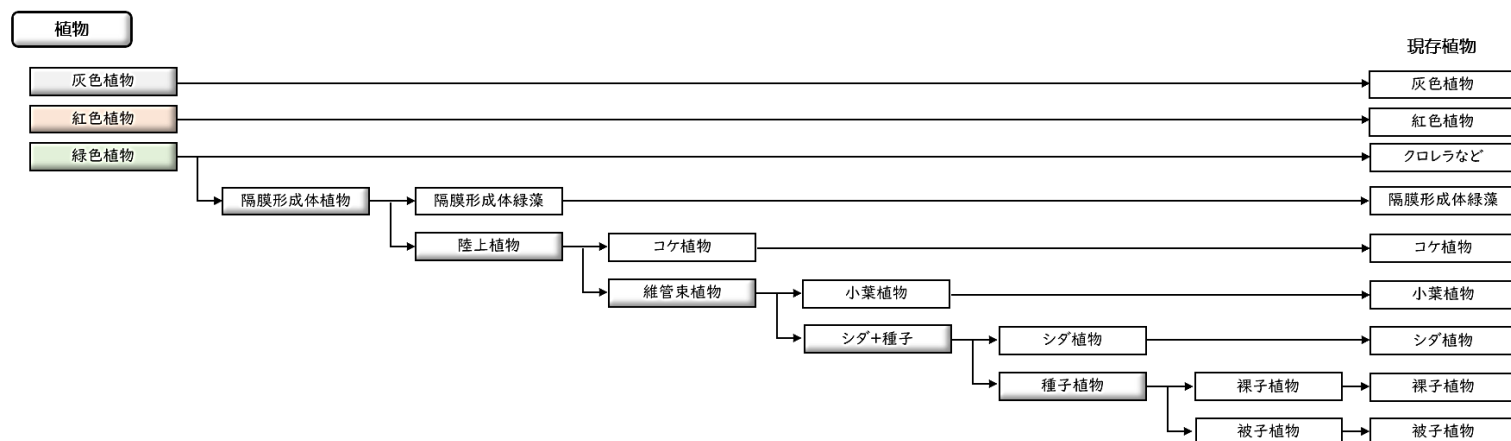
写真「コケ」「シダ」「種子植物（被子植物）」

4つの植物の進化の特徴を簡単に説明する。

- コケ植物 はじめて陸上に進出。
- 小葉植物 維管束（導管・師管）を形成して大型化。気孔もできて葉を多層化。
- シダ植物 主軸形成で幹と枝に分化。リンボクなど高木（こうぼく）が発達。
- 種子植物 種子による繁殖で至るところに進出。

図15-3は、図15-1と図15-2を結び付ける図で字が細かいが、全体像を見渡していただきたい。光合成真核生物である緑色植物・灰色植物・紅色植物の3つの共通祖先で、光合成を獲得した。緑色植物（緑藻類）から隔膜形成体植物が生まれ、そこからまた陸上植物が分化した。

この図からわかるのは、大きな系統が分かれるとき、常に上流で分かれていることである。例えば、陸上植物から、「コケ植物」と「小葉植物」に分かれるのではなく、「コケ植物」と「維管束植物」に分かれている。維管束植物は、「小葉植物」「シダ植物」「種子植物」の共通の祖



先で、その共通の祖先から「コケ植物」と「シダと種子の共通の祖先」に分かれている。

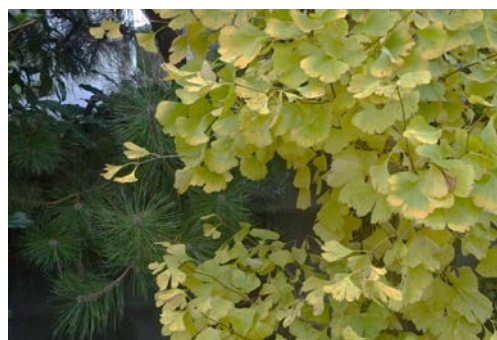
図15-3 陸上植物の位置付け

c) 進化の研究手法

植物進化の研究手法は、「形態」「化石」「遺伝」の3つに分けることができる。一番古いのは、現存植物の「形態」の類似性から、系統関係を調べる方法である。次に発展したのは「植物化石」によって、過去の植物の実態を調べる方法である。近年、発達が著しいのが主に現存植物の「DNA」の分析から類似性を見だし、系統関係を類推する方法である。この方法が登場する以前に確実だと思えた系統関係が、いくつもくつがえる例が見られた。ただし、3つの方法は互いに補い合う関係にある。これらの方法は、植物以外の生物全般でも共通で、生物と物質の境界線上にあるウィルスにも適用できる。

DNAで分析するのは、細胞の核のDNAだけでなく、ミトコンドリアDNA、葉緑体DNAも分析対象にする。

形態で見分けるのがむずかしい例をあげる。裸子植物のイチョウの葉が、被子植物と同じ広葉（こうよう）に見えるが、独立に進化した。イチョウには、葉脈がないので見分けがつく。イチョウは、針葉樹のマツと同じ裸子植物であるが、針葉樹ではない。ちょうど庭にイチョウとマツが



並んではえているので、写真を載せた。

図15-4 イチョウとマツ

d) 植物を選んだ理由

生物の中で経済現象と対比するのに植物を選んだ理由は、定住（環境適応）、生産活動（光合成）、細胞の分化全能性をそなえていたことである。定住することで周囲の環境への適用が必要になるが、自らの形態を短い時間で変えることで対処する。植物は、遺伝子を変えることなく、形態を変えることができる。動物は移動することで適応するので、自らの形態はあまり変化しない。形態変化は、経済社会のしくみの柔軟な変更や変化に対応している。

定住を支えているのは光合成である。植物は、光合成のおかげで、太陽光と、水、二酸化炭素、ミネラルなどの無機成分だけで生きていける。植物の生産活動は、人間社会の生産活動とのアナロジーが考えられる。光合成に必要な太陽光が得られる時間と、二酸化炭素が得られる時間が一致しているとは限らない。それを調整するために、何も生産しないアイドリング運転のような「光呼吸」や、効率を犠牲にする「CAM光合成」などのしくみを発達させた。経済社会の需要不足や失業対策のために、生産力を増やすだけの対策では対応できないことと類似性がある。

植物は、光合成を維持するなどの目的のために、形態を柔軟に変化させる。それを支えるのが、どの細胞も環境次第で様々な役割の細胞に変化する能力「細胞の分化全能性」である。動物は、すでに機能分化した細胞は、別の機能の細胞に分化する能力をそなえていない。その機能を動物で人工的に発現させる技術が、iPS細胞などの研究で進んでいる。

【本のご紹介】

『陸上植物の形態と進化』長谷部光泰 裳華房 2020年

遺伝と化石、両方の研究の成果をまとめた最新テキスト。桑垣が植物進化を勉強するきっかけになった。くわしい植物系統図が載っていて、この章でつくった図はそれを簡略化したもの。

『シリーズ・遺伝子から探る生物進化 各巻』慶応義塾大学出版会 2016～2018年

遺伝による生物進化研究を具体的に紹介。植物をあつかった巻が多く、一般向けで分厚い本ではないので気軽に読めます。一人の著者が一冊を書いているので、くわしい研究内容がわかる。

『植物の化石 時空を旅する自然史』西田治文 東京大学出版会 2017年

化石による進化解明を網羅。化石から生きていたときの植物の様子を再現した図を、たくさん載せている。重要な研究分野であるにもかかわらず、予算縮小で研究者も減っていることを著者は嘆いている。動物では、恐竜人気で化石研究を希望する人は多いのに。

『特別展 植物 地球を支える仲間たち 公式ハンドブック』

国府方吾郎、三村徹郎監 大阪自然史博物館 2022年

上記、長谷部氏や西山氏の本に載っているようなことを、立体模型などを使ってわかりやすく展示した展覧会が大阪でありました。そのときの図録です。展示には大勢の人が訪れていて、多くの人が知れば、植物進化も恐竜に劣らず関心を集めることがわかりました。

15－2 光合成

光合成とは、太陽光線のエネルギーをATPなどの物質の化学エネルギーに変換する「光化学反応」と、そのエネルギーで「糖」「タンパク質」「酸素」をつくる「カルビン回路」のところまでが光合成である。酵素とは、化学反応を手助けする物質で、自身は変化しない生物がそなえている物質のこと。光合成ということばで、光化学反応の部分だけを指すことがあるので注意が必要である。

- エネルギー源 太陽光線から主に「葉」で化学エネルギーに変換
- 材料 「葉」から二酸化炭素、「根」から水とミネラル
- 廃棄物 「葉」から酸素

葉では、気孔の開閉で、二酸化炭素の取り入れと、酸素と水蒸気の放散を調節する。根も水やミネラルの吸収を調節できる。しかし、葉や茎での光合成は日光の当たり具合で決まり、調節できない。このアンバランスを調整するのに、植物は苦勞することになる。普通の解説では、「植物は巧みなしくみで調整しています」と予定調和的な説明をする。このほうが説明としてはわかりやすいが、経済システムとの対比が目的なので、進化が試行錯誤であることを強調したい。

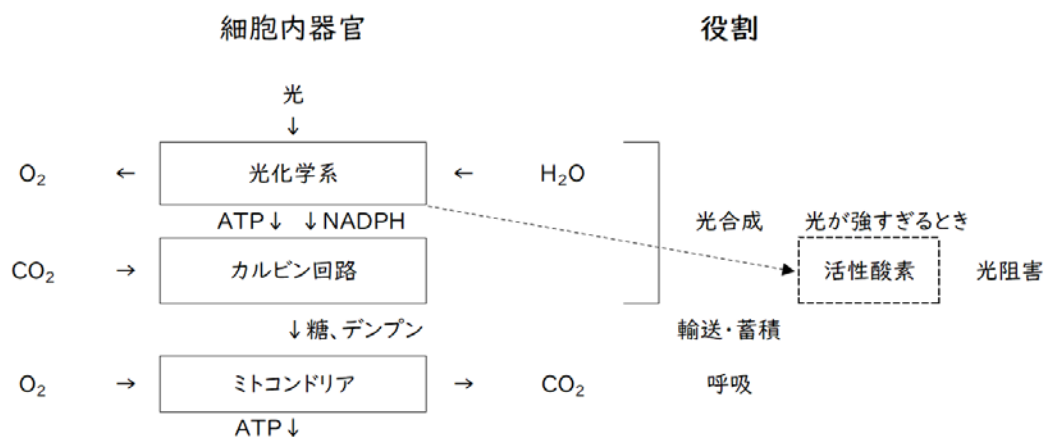
図15－5 C₃光合成と呼吸

図15－5に、光合成のおおよそのしくみを示した。この基本形を「C₃光合成」という。初めの生成物が、炭素が3つの「3-ホスホグリセリン酸」であるので、C₃光合成という。

「呼吸」は光合成の範囲外で、光合成でつくった糖やデンプンを酸素と結合させることで分解する逆の反応である。これは動物と同じく、酸素を吸収して、二酸化炭素を排出する。図には、光が過剰で意図せず有害な活性酸素が発生する「光阻害」も書き加えた。これが植物の苦勞する点である。図のATPはエネルギーを蓄え運ぶことができる物質、NADPHは電子を与える力「還元力」をそなえた物質である。

ところで、原核生物である細菌「シアノバクテリア」で、1回限りの進化でそなわった機能が二酸化炭素を利用する酸素発生型光合成である。このような複雑なしくみは、何度も独立にそなわるものではないようである。得られる光、水分、二酸化炭素の供給の量や割合によって、必ずしも効率的に光合成が行なえるわけではないので、それを調整する複雑なしくみが発達した。二酸化炭素以外に、硫黄化合物や窒素化合物を使う光合成も存在するが、植物の系統にはつながらない。

a) 光阻害

光の量に対して、 CO_2 が不足して合成反応が制約を受ける現象のことである。

●光が強く温度が高く乾燥しているとき

「光化学系」が光の量に応じてATPをつくるが、それを使う「カルビン回路」が追いつかないほど光が強いときにおきる現象。光が強いと温度も高くなり過剰な水分蒸発で植物が枯れてしまうので、気孔を閉じてそれを防ぐ。すると、光化学系で発生する酸素が捨てられなくなる。ルビスコという酵素が、一定割合その酸素と結合することで有害な物質をつくり出してしまう。

また、気孔から取り入れられなくなって二酸化炭素が足りなくなるので「カルビン回路」で必要なATP、NADPHが余るので、活性酸素など余計な物質ができてしまい光化学系やカルビン回路を傷つけてしまう。

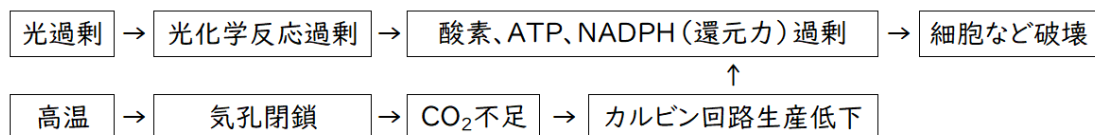


図15-6 高温による光阻害

●光は普通だが温度が低いとき

低温でカルビン回路での糖の合成反応速度が遅くなる一方、光で進む光化学系は温度に影響されず普通に合成するのでATPなどが過剰になる。結果は高温と同じであるが、原因が低温であるところが違う。

●対策

対策として植物が進化によって身につけた方法が、「光呼吸」「熱放散」「CAM光合成」「 C_4 光合成」である。ひとつひとつ説明する。

b) 光呼吸 対策Ⅰ

多くの植物が光呼吸というしくみを備えている。日中の太陽光線の強い時間帯に光合成を行なってATPや還元性物質を生産しても、水分の蒸発を抑えるために気孔を閉じるので、取り入れられなくなった二酸化炭素が不足する。それで、何も新しい物質を合成するわけでもなく、いくつもの物質の合成と分解にATPを消費して、元の状態に戻るだけの回路がある。それが光呼吸である。第Ⅰ段階の光合成産物が生み出す活性酸素発生による光阻害を、防ぐ役割を果たしている。図15-7で、気孔が閉じると細胞の中にあるペルオキシソームとミトコンドリアで余計な生産と分解をくりかえして、有害な物質の生産を抑えている。

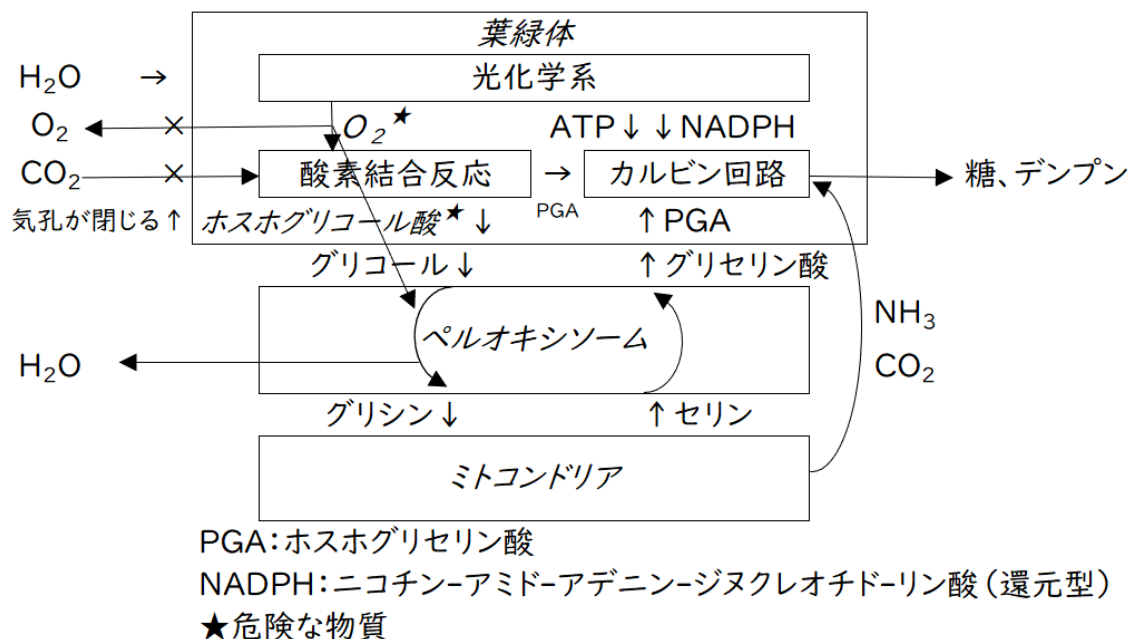


図15-7 光呼吸

c) 熱放散 対策2

このしくみを、キサントフィルサイクルという。過剰な光を、通常の光化学系以外で利用して消耗する。反応にともなって熱が出るので、熱放散システムでもある。3つの物質を行き来して、余ったエネルギーを消耗し、有害物質発生を抑える。

まず、光エネルギーをビオラキサニンという物質が吸収して、アンテラキサニンという物質に変化させる。それがまた、ゼアキサニンに変化する。ゼアキサニンがクロロフィルからエネルギーを受け取って、熱を発生する。それがアンテラキサニンに戻り、さらにビオラキサニンに戻りクロロフィルにエネルギーを渡す。私もよく知らない物質がたくさん登場する。余ったエネルギーを受け取って、少しずつ物質の構造を変えて熱を出し、もとの物質になる不思議な反応のサイクル。

光阻害と熱放散は、多くの植物が身につけた「生産力過剰＝需要不足」対策とも言えるが、むだであるのも確かである。経済政策で言えば、必要もない公共事業に似ている。それでも、大量失業や会社倒産よりもましかも知れないところも似ている。そこで、むだを少なくするこれ以外の方法を編み出した植物がある。

d) CAM光合成 サボテンの需給調整 対策3

砂漠の植物は、高温での水分保持のために昼間ほとんど気孔を閉じているので、そのままでは二酸化炭素不足による光阻害がはげしい。サボテンやベンケイソウは、光のいらない反応で夜間貯めてあるデンプンと、気孔からとりこむ二酸化炭素を使って、リンゴ酸を合成しておく。昼間、気孔をひらくことなくリンゴ酸を分解して二酸化炭素を得て、光化学反応から有機物合成反応に進むことができる。効率は落ちるが水分は節約できる。シダ植物のミズニラ属には、水中でくらし、二酸化炭素不足対策でCAM光合成をするものもある。CAM光合成とは、ベンケイソウ型光合成のことである。

サボテンは、根からだけでなく葉からも水分を吸収することでも、水不足にそなえている。サボテン以外でも、非常に背の高くなるセコイアメスギは、水を吸い上げるのに限界があるので、葉から水も吸収する。普通の植物は、根が乾いているのに葉にたくさん水がかかると、気孔からの蒸散作用がじゃまされて根から水を吸い上げられず枯れることがある。気孔は葉の裏に多くて、水がかかりにくくなっているのは、それを防ぐためでもある。

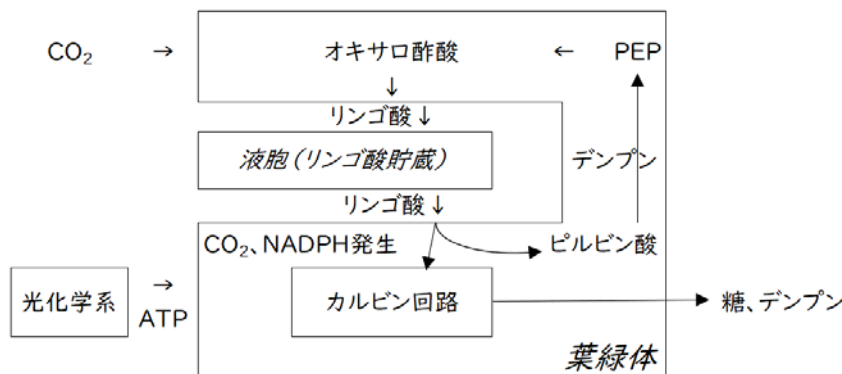


図15－8 CAM光合成（全体が葉肉細胞）

e) C_4 光合成 稼働率向上 対策4

初めの生成物が、炭素が4つの「オキサロ酢酸、リンゴ酸」であるので、 C_4 光合成という。 C_4 植物は、光合成初期段階でルビスコ酵素が酸素をとりこむ反応を回避するために、ジカルボン酸回路を使うので光呼吸はほとんど起きない。「葉肉細胞」のこの回路でできたリンゴ酸を別の器官「維管束鞘細胞」に送り込み、そこでリンゴ酸から二酸化炭素を発生させる。大気中の二酸化炭素が少なくても高濃度の二酸化炭素状態が実現できて、効率のよい光合成ができる。ただし、ATP消費という面では、 C_3 植物よりも浪費的なので、光がそれほど強くない環境や高温でない環境では C_3 植物のほうが有利である。

C_4 光合成は、CAM光合成と大変よく似ていて、いずれも C_3 植物から進化した。CAM光合成では、夜と昼に時間でわけてやっていることを、 C_4 光合成では別々の器官で同時に行なっている。水不足の環境では、CAM光合成が有利。

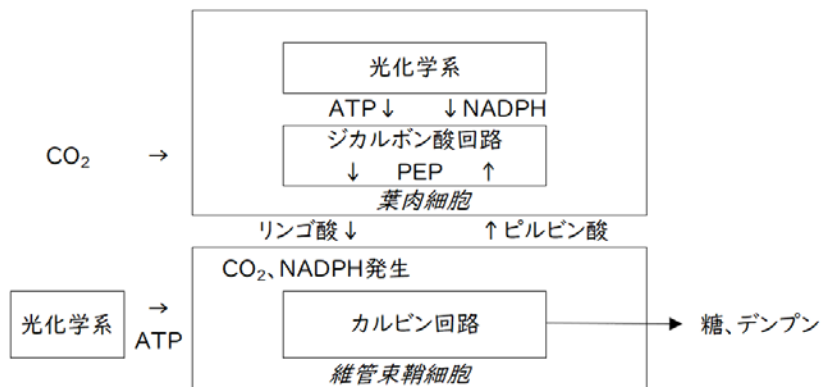


図15－9 C_4 光合成

f) 光合成使い分け

C₃、C₄、CAM光合成の3つの光合成システムを使い分けている植物もある。

キリンウチワ

ウチワサボテン亜科のキリンウチワは、CAM光合成が基本だが、水分が豊富なときは効率のいいC₃光合成も行なう。写真はキリンウチワではないが、ウチワサボテンの一種で「姫ウチワ」という品種。ウチワサボテンがどんな形が見てもらおうと、学会の会場に持って行った。



図15-10 ウチワサボテンとカランコエ

カランコエ

ベンケイソウ科のカランコエは、若いときはC₃光合成で、成長するとCAM光合成に切りかわる。

アイスプラント

野菜として売っていることもあるザクロソウ科のアイスプラントは、食塩水があるとC₃光合成からCAM光合成に切りかわるという。食塩だと植物には利用しにくいので、水を節約するCAM光合成に変える。当初は、成長すると切りかわると思っていたが、塩水や水不足、高温にならないと切り替わらないことがわかった。

カヤツリグサ

カヤツリグサ科の1種は、陸上ではC₄光合成で、水中にいれるとC₃光合成に変わる。

経済政策としての不況対策では、いつも同じ政策メニューが出てくるが、状況によってエネルギー獲得手段を使い分ける植物に見習うべき。

【本のご紹介】

『光合成生物の進化と生命科学』三村徹郎、川井浩史編著 培風館 2014年

光合成進化を全般にわたって解説しています。

『光合成の科学』東京大学光合成教育研究会 東京大学出版会 2012年

光合成のくわしい説明がありますが、ややむずかしい本です。

『光合成事典』日本光合成学会 <https://photosyn.jp/pwiki/index.php>

分厚い紙の事典が絶版になって、ネットにその内容を公開しています。情報の更新もあります。

15－3 その他の進化

α) 並行進化

●広葉の並行進化

平たく薄い葉のある広葉樹のある植物は被子植物であるが、系統の異なる植物の間で同じような形態の葉のある植物は何度も独立に進化によって生まれている。現生の植物では、小葉植物、シダ植物、イチョウ（裸子植物の一つ）、被子植物の大部分に同じような形の葉がある。別系統の広葉（こうよう）である。

経済現象でも、貨幣、市、為替、複式簿記など、並行進化の可能性のある現象は多い。しかし、経済史では、かつて様々な現象の単独発生＋伝搬説が有力であった。



図15－11 ハナミズキ（被子植物）とイチョウ（裸子植物）

●多細胞化

多細胞生物は、真核生物が生まれて様々に分化してから、別々に多細胞化した。

●2次植物

シアノバクテリアが共生して生まれた1次植物に対して、その植物が他の植物に共生したものを2次植物というが、それもいろいろな系統で別々に進化した。

●C₄光合成、CAM光合成

これらもC₃植物から別々に進化した。C₄植物は60回も個別に進化したという。

β) 機能変化

●維管束

栄養を送る師管、水を送る導管（木部）のこと。通常の細胞が、細胞壁を残して中身がなくなり筒状になった。それが縦に連結して維管束を形成した。細胞は枯死しているので、それ自体は代謝を行っていない。木質化した木は、中心部がリグニンでさらに硬化して機能停止、周囲に維管束を配置。そうやって木は、中心部を次々とリグニン化して幹を太くして成長する。

●花器官の分化 ABCDE説

花の各器官のガク、花びら、雄しべ、雌しべは、DNAの5つの促進因子と抑制因子の組合せで4種類に分化することが分かっている。葉からこれらが進化したという説があるが、被子植物

で葉（広葉）と同時に花器官も進化したというのが定説になっている。

	B遺伝子			D遺伝子
A遺伝子		C遺伝子		
E遺伝子				
がく片	花弁	おしべ	めしべ	胚珠
AE	ABE	BCE	CE	CDE

図15－12 花器官分化のABCDE説

●食虫植物 機能喪失と復活

被子植物のイソマツ科、タデ科から食虫植物は進化したが、ハブロベタルム属で食虫機能を失った。ところが、その後その系統のトリフィオフィルム属で食虫機能が復活した。

c) 共進化

まったく別々の生物が、相手の進化と同步調で進化して、その機能の組み合わせではじめて役割を果たすことがあります。ご存じの例が多いので説明は省略します。

- 花と昆虫
- 根粒細菌とマメ科植物
- 腸内細菌

15－4 経済と植物進化

最後に少し無理があるかも知れないが、植物進化と経済現象を対比する。

	植物	経済
生産力過剰 需要不足	高温下の光過剰	生産力に対する需要不足 稼働率の低下
同対策	葉緑体の向きの変更	生産設備償却・財政出動
資源不足	高温下の二酸化炭素不足	石油・資源危機
同対策	光呼吸・熱放散	総需要抑制
景気過熱	ルビスコの酸素結合作用	株価高騰・バブル経済
同対策	CAM光合成 C ₄ 光合成	反循環政策・金利操作 民間支出と財政の合計維持
並行進化	広葉、C ₄ 光合成	貨幣、為替、市など
機能変化	維管束	株式市場、外国為替

図15－13 経済現象・政策と植物進化

a) 生産力過剰・需要不足

光阻害の高温下の光過剰を、光化学系でのATP生産力が、次のカルビン回路のATP需要が不足していると見立てる。経済システムでは、生産力に対する需要不足で稼働率を低下せざるを得な

いが、生産設備の廃棄や財政出動による需要増大が対策となる。植物では、生産力の削減策として、太陽光に対する葉緑体の向きを変えて生産力を減らす植物があるが、葉を閉じることができない植物には光化学系を止めるのはむずかしい。

b) 資源不足

同じ光阻害をカルビン回路に注目して、二酸化炭素不足を資源不足と見なす。経済システムでは、石油・資源危機などのエネルギー源・資源不足にあたる。1970年代の日本は、石油ショックに対して総需要抑制政策で乗り切ったが、長期的には省エネに取り組み、同じ原材料・エネルギー資源でもたくさんのものが作れるようになった。植物では、光呼吸・熱放散によって供給できる二酸化炭素にみあったATPしかつくらないようにしている。

a) の生産設備の稼働率低下に対するアナロジー、と見たほうがいいかも知れない。光呼吸や熱放散は、有害物質を生まないためとは言え、むだな作用であるので、必要のない公共事業に見立てることもできる。

c) 景気過熱

ルビスコという酵素による酸素結合作用というのがある。捨てるべき酸素をつかって植物に有害な物質をつくる作用で、やっかいである。高温で気孔を閉じて酸素が捨てられないときには、この作用が活発になり、葉緑体などを傷つけてしまう。これを余計な資金が、株価や地価を高騰させるバブル経済に見立てたが、いかがであろうか。対策として、CAM光合成やC₄光合成という新しいしくみで、むだな光呼吸・熱放散をしないですませることができる。しかし、光がそれほど強くないときは、かえってATPを余計に消費してしまう。

経済システムでCAM光合成に対応するのは、時間差で景気変動を打ち消す方向に財政を増減する反循環政策、金利操作による金融政策がそれに対応するか。C₄光合成は同時バランスなので、民間支出と財政支出の合計を維持する政策に対応してそうだが、財政支出だけに注目すると時間差とみることもできる。

d) 並行進化

広葉の形成やC₄光合成など、植物進化には別系統で独立に似た形や作用が現れることが多々ある。経済史では、単一発生と伝搬モデルが一般的であるが、貨幣、為替、市などの成立については、各地で別々に発生して進化した可能性も追究すべきではないか。そして、発生や導入理由も様々である可能性がある。日本ではじめての金属貨幣「富本銭」は、藤原京造営の労働力確保が目的だった可能性がある。初期の目的が達成したので、都の経済全体に広げようとしたり、全国流通を目指して、限界に直面したかもしれない。

e) 機能変化

普通の細胞が変化して連なり、導管や師管などの維管束に進化して、維管束植物が誕生して、巨大な植物が生まれた。花のオシベやメシベ、花びらなども普通の細胞から分化した。

経済システムでは、貨幣が、売買の手段から富の蓄積、設備投資資金の調達方法に進化した。一方、悪い方の例では、公開株式市場が資金集めの方法から、多額の余剰資金をかかえた投資家が市場利率よりも高配当を受け取る格差拡大装置になってしまった。そして、今は投機マネーを

あつかう公営ギャンブルに化した。増資による資金集めが下火の先進国では、会社にとって株価が低下すると買収される恐れにおびえる存在になっている。外国為替市場も、貿易決算の場から公営ギャンブル化が著しい。

用語解説

【植物】広い意味では、水中生物の灰色植物、紅色植物、緑色植物のこと。3つの共通祖先の生物はまだ見つかっていないが、いずれも独立栄養。狭い意味では、葉緑体をそなえた緑色植物が細胞に核膜をそなえて陸上に進出した陸上植物のこと。

【細菌】バクテリアと同じ意味。単細胞生物で原核生物。真正細菌と古細菌に分かれる。真正細菌のほうが、古細菌より古いことが最近わかった。古細菌からいろいろな生物が進化した。

【原核生物】DNAをつつむ核膜のない生物。細菌と一致する。

【真核生物】細胞に、DNAを包む核膜や様々な器官が発達した生物。単細胞生物と多細胞生物の両方がある。植物、動物、真菌なども真核生物。

参考文献

【本のご紹介】に載せた書籍も再録しています

●植物進化全般

『陸上植物の形態と進化』長谷部光泰 裳華房 2020年

『植物の系統と進化』伊藤元己 裳華房 2012年

『植物地理学の自然史 進化のダイナミズムにアプローチする』

植田邦彦編著 北海道大学出版 2012年

『特別展 植物 地球を支える仲間たち 公式ハンドブック』

国府方吾郎、三村徹郎監 大阪市立自然史博物館 2022年

『進化し続ける植物たち 植物まるかじり叢書4』

葛西奈津子著、日本植物生理学会監修 化学同人 2008年

●光合成

『光合成生物の進化と生命科学』三村徹郎、川井浩史編著 培風館 2014年

『光合成の科学』東京大学光合成教育研究会 東京大学出版会 2012年

『光合成事典』日本光合成学会 <https://photosyn.jp/pwiki/index.php>

●植物生理学

『植物の生存戦略 「じっとしている」という知恵に学ぶ』

「植物の軸と情報」特定領域研究班編 朝日新聞社 2007年

『[絵とき]植物生理学入門 改訂3版』

山本良一編著、曾我康一、宮本健助、井上雅裕著 オーム社 2016年

●遺伝分析

『植物の世代交代制御因子の発見 シリーズ・遺伝子から探る生物進化3』

榊原恵子 慶応義塾大学出版会 2016年

『植物はなぜ自家受精をするのか シリーズ・遺伝子から探る生物進化5』

土松隆志 慶応義塾大学出版会 2017年

『多様な花が生まれる瞬間 シリーズ・遺伝子から探る生物進化6』

奥山雄大 慶応義塾大学出版会 2018年

●植物化石

『植物のたどってきた道 NHKブックス』西田治文 NHK出版 1998年

『植物の化石 時空を旅する自然史』西田治文 東京大学出版会 2017年

●個別植物進化

『コケのふしぎ』樋口正信 ソフトバンク クリエイティブ 2013年

『イチョウの自然誌と文化史』長田敏行 裳華房 2014年

『花のルーツを探る 被子植物の化石』高橋正道 裳華房 2017年

『サボテンはすごい！ 苛酷な環境を生き抜く驚きのしくみ』堀部貴紀 ペレ出版 2022年

●微生物

『われら古細菌の末裔 微生物から見た生物の進化 共立スマートセレクション38』

二井一禎 共立出版 2023年

『基礎と応用 現代微生物学』杉山政則 共立出版 2010年

●動物進化

『動物の系統分類と進化 第2版』藤田敏彦 裳華房 2016年

●図鑑・図説・事典

『生物の進化大図鑑 コンパクト版』

ベントン, マイケル・J 著、小島郁生監 河出書房新社 2020年

『新学生版 牧野日本植物図鑑』北隆館図鑑編集部 北隆館 2020年

『絵でわかる植物の世界』大場秀章監修、清水晶子著 講談社 2004年

『図説 植物用語事典』清水建美著、梅林正芳画、亘理俊次写真 八坂書房 2001年

『三省堂 新生物小事典』猪川倫好監、三省堂編修所編 三省堂 2012年

市民科学研究室の活動は皆様からのご支援で成り立っています。『市民研通信』の記事論文の執筆や発行も同様です。もしこの記事や論文に興味深いと感じていただけるのであれば、ぜひ以下のサイトからワンコイン（100円）でのカンパをお願いします。小さな力が集まって世の中を変えていく確かな力となる—そんな営みの一歩だと思っていただければありがたいです。

[ワンコインカンパ](#)

←ここをクリック（市民研の支払いサイトに繋がります）