

## 推薦の辞

少子化・国際競争が進む中で、大学教育の質の転換が求められています。そのためには、高校教育も変える必要があります。これが「高大接続改革」で、この改革では、厳しい時代を乗り越え、新たな価値を創造し社会で自立していくための「学力の3要素」が求められることとなりました。具体的には、①知識・技能、②思考力・判断力・表現力、③主体性を持って多様な人々と協働して学ぶ態度（主体性・多様性・協働性）を、多面的・総合的に評価すべく、大学入試が変わっています。

本書は、まさに高大接続改革の模索の最中に高校生活を終えて、大学に進学した学生さんをはじめ、植物の生存戦略に関心がある方々を対象としたもので、その記載内容はかつて高校の生物の授業で学んだ“植物の環境応答”（本書では“植物の知恵”と呼称）の章に相当します。これまで“植物の知恵の仕組み”について世界の最前線で研究されてこられた研究者の方々がご自身の研究を通して、それぞれの分野における世界の研究の歴史、高校・生物の教科書に記載されている内容の検証、現在、どのような研究がなされ、どこまで解明されたのかなどをわかりやすく解説されています。高校での生物の履修の有無にかかわらず、“植物の知恵”に興味を持つ多くの皆さんに是非お読みいただきたいと思います。

さらに、本書がそれぞれの研究分野で世界をリードしてこられた研究者の方々が一堂に会して執筆され、現状の研究の動向にも触れられていることから、高校で生物を教えておられる先生方も“授業のたね本”として一読されることをお勧めします。

鹿児島純心女子高等学校・進路指導部主任・博士（生物科学） 東郷重法

## は し が き

数十年前、アマゾン川流域を代表とした大規模な森林の伐採や、石炭や石油といった化石燃料を燃やすことで大気中の二酸化炭素濃度が上昇することによって生じる地球温暖化が大問題となりました。最近では化石燃料にかわる風力発電や太陽光発電などといった環境保全型発電が展開されていますが、すべてを解決できるまでには至っていないのが現実です。化石燃料にかわる電力として人間の英知で開発したはずの原子力発電も一度、事故が発生すれば取り返しがつかないことは東日本大地震で経験済みです。

地球規模から見た場合、植物特有の生物機能である“光合成”によって、地球温暖化の元凶である二酸化炭素を吸収し、逆に生物の生命活動を支える酸素を放出し、地球環境浄化の一翼を担っているのが植物です。

毎年、春になったら梅や桜の花見や、晩秋のモミジの紅葉やイチョウの黄葉といった年中行事として私たちの精神的享受を支えているのも植物です。街路樹や草花、さらにあれほど厄介者とさえいつてきた道端の雑草さえも消えてしまったら、町中、無味乾燥な家々や高層建築物だけの殺風景なモノトーンの世界です。精神的な面でも人間を支えているのが植物です。さらに、AIによって医薬品を人工的に製造する時代に入りましたが、漢方薬をはじめ、まだまだ植物起源の医薬品の開発も依然として行われています。つまり、私たちは植物なしで生きていくことはきわめて困難であるということです。

私たちは夏、猛暑になればクーラーや扇風機で涼み、紫外線が強い季節にはサングラスをかけたり、日傘をさしたり、台風が来襲すれば堅固な建物の中に避難したり、また、冬の極寒には暖房機器で部屋を暖めたりして、外の環境が悪化しても快適に生活することができます。動物や昆虫も自らの意志で自由に生活の場所を移動できることから厳しい環境変化に対応できます。一方、土壌に根を張り、生活の場所を自らの意志で自由に移動することができない植物は大変です。いずれの環境変化にも死を覚悟しなければなりません。しかし、実

際には悪い環境下でも何も言わず、じっと耐えて生きています。どうも、生活の場所を移動することができないというハンディーを背負っている植物には悪い環境下でも生き抜いていくための知恵（戦略）が具備されているようです。

この“植物の知恵”の仕組みを植物生理学、天然物化学、農芸化学、分子生物学や宇宙生物学などの観点から解明することを目的として2011年に設立されたのが、本書を編集する“植物生理化学会”です。植物生理化学会の活動史は本書・巻末をご覧ください。これまでは大学や官民の研究所の研究者を対象として“植物の知恵”に関する学術書を多数上梓してきましたが、2020年が学会創設十年目になることを記念に、ITやAIにも対応でき、瞬時にさまざまな情報を手にすることができる将来を嘱望される大学生の皆さんをはじめ“植物の知恵”に関心のある方々を対象とした『植物の知恵 — その仕組みを探る —』というタイトルの書籍の出版を企画し、それぞれの研究分野で世界をリードしてこられたレジェンドの方々にご執筆いただきました。なお、本書に取り上げられなかった他の“植物の知恵”（“頂芽優勢”や“紫外線、微生物、塩害との戦い”など）については、『植物の知恵とわたしたち』（大学教育出版、2017年）をご参照ください。

本書で扱っている“植物の知恵”は、読者の皆さんが高校時代に学んでいた生物の教科書では“植物の環境応答”の中に記載されています。そこに記載されている研究成果の多くは昭和30年半ばまでに生物学者（植物生理学者）によって生物検定法（当時、植物生理学者は物質量を機器分析で測定できなかったことから、物質を植物に与えて、その反応から物質量を算出するという間接的な方法）など生物学独特の手法を用いて得られたものがほとんどです。

昭和後半から平成にかけて、世界に先駆けて日本を中心に、植物生理学者自身が革新的な研究を展開したことに加え、植物生理学者と天然物化学者との間で有機的な共同研究が展開され、国内にとどまらず外国の著名な研究者との国際共同研究に発展してきました。その後、この潮流に分子遺伝学者が加わることによって、新たな発見が数多く得られるようになりました。時には、従来の仮説を覆す新たな仮説の誕生が散見されるようにもなりました。今回ご執筆いただいた先生方は正にその潮流の先頭に立って活躍してこられた方々です。

先生方には、それぞれご担当の“植物の知恵の仕組み”に関する“世界の研究の歴史”を詳細に解説していただき、読者の皆さんが高校で学習した「生物」と「生物基礎」の教科書に掲載されていた事柄はどの時代までに得られた研究成果に基づくものなのか、さらに生物学者と化学者などとの国際共同研究によってどのような革新的研究成果が得られるようになったのか、「植物の知恵の仕組みはどこまで解明されたのか」について解説していただきました。

なお、読者の皆さんの中には化学物質の構造式が苦手だと思っている人が少なくないと推察されます。そこで文中には化学構造式の記述を抑えていただきました。ただし、逆に構造式に興味を持っている方のために、巻末に“植物の知恵の仕組み”を制御する化学物質の構造式を列記いたしましたのでご覧ください。本文中に[→]で頁を示しています。

また、読者の皆さんの中で、今回ご執筆いただいた先生方に是非お尋ねしたいことがありましたら、大学教育出版あてにメールでご連絡ください。適時、応じていただけます。

本書が、読者の皆さんが“植物の知恵の仕組み”に関心を持ってくださり、将来、さまざまな分野での活躍に少しでも貢献できれば望外の喜びであります。

最後に、本書上梓に際して、丁重な推薦の辞をいただきました鹿児島純心女子高等学校・進路指導部主任の東郷重法先生に心より御礼を申し上げます。

令和4年10月

植物生理化学会会長 長谷川 宏司

植物の知恵 ― その仕組みを探る ―

---

目 次

推薦の辞 .....	東郷 重法 ...	i
------------	-----------	---

はしがき .....	長谷川宏司 ...	ii
------------	-----------	----

第1章 光合成 .....	田幡 憲一 ...	2
---------------	-----------	---

1. はじめに 2
2. 小・中学校での光合成学習を振り返る 3
  - (1) 小学校での学習 3
  - (2) 中学校での学習 5
  - (3) 小・中学校での学習と光合成の科学史 6
3. 葉緑体のつくりと反応 8
  - (1) 葉緑体のつくり 8
  - (2) チラコイドでの反応 9
  - (3) ストロマでの反応 — 二酸化炭素固定 — 12
  - (4)  $C_4$  植物と CAM 植物 15
4. 細菌の光合成と葉緑体の起源 17
5. おわりに 18

第2章 光屈性 .....	長谷川宏司 ...	21
---------------	-----------	----

1. はじめに 21
2. 光屈性に関する研究の歴史 22
3. ダーウィンの実験からコロドニー・ウェント説の誕生まで 24
  - (1) ダーウィンの実験 24
  - (2) ボイセン・イエンセンらの実験 26
  - (3) ウェントの実験 29
  - (4) 植物ホルモン・オーキシンの発見 29
  - (5) コロドニー・ウェント説の提唱 31
4. ブルインスマ・長谷川説 32
  - (1) ブルインスマらの実験 32

- (2) ウェントの古典的な実験の検証 34
- (3) 光屈性を制御する成長抑制物質の探索研究 36
- (4) 国際共同研究プロジェクトによって得られた研究成果 38
- (5) プルインスマ・長谷川説の提唱 42
- (6) コロドニー・ウェント説を支持する近年の分子遺伝学的研究 43
- 5. おわりに 46

### 第3章 重力形態形成：重力を利用した植物のからだづくり

..... 宮本健助・曾我康一 ... 48

- 1. はじめに 48
- 2. 植物の重力屈性 49
- 3. 植物の重力形態形成に関する研究の歴史 50
- 4. 重力感受・細胞内シグナル変換 55
- 5. 細胞間シグナル伝達・応答：屈曲の仕組み 58
  - (1) コロドニー・ウェント説 58
  - (2) 成長調節物質：成長抑制物質 62
- 6. 宇宙無重力環境下および過重力環境下での植物実験 65
  - (1) 自発的形態形成 65
  - (2) 抗重力反応 68
- 7. おわりに — 重力植物科学の将来 — 70

### 第4章 植物の傾性運動 ..... 山村 庄亮 ... 72

- 1. はじめに 72
- 2. 植物の運動 76
- 3. オジギソウの運動と活性物質 77
  - (1) 実験と観察 77
  - (2) 活性物質探索の歴史 79
  - (3) 真の活性物質を求めて 81
- 4. 就眠運動のみを行う植物の活性物質 84

- (1) カワラケツメイとハブソウの就眠物質および覚醒物質 84
- (2) メドハギの就眠物質および覚醒物質 86
- (3) ネムノキの就眠物質および覚醒物質 87
- (4) コミカンソウの就眠物質および覚醒物質 88
- 5. 化学の目で見える就眠運動の仕組み 88
  - (1) 体内時計によって調節される就眠・覚醒両物質の相対的濃度変化 88
  - (2) 就眠・覚醒両物質が作用する標的細胞 89
  - (3) 運動細胞の収縮について 91
- 6. 植物は、なぜ眠るのか 91
- 7. おわりに 93

## 第5章 アレロパシー..... 中野 洋 … 95

- 1. はじめに 95
- 2. アレロパシーとは何か 96
- 3. アレロパシーの研究例 99
  - (1) 阻害的アレロパシー 99
  - (2) 促進的アレロパシー 106
- 4. 農業をはじめとする産業に利用し得る植物由来の物質を求めて 108
- 5. どうして植物は特有の物質を蓄積するのか 111
- 6. おわりに 112

## 第6章 植物の老化現象 ..... 上田 純一 … 114

- 1. はじめに 114
- 2. 葉の黄変や紅葉 114
- 3. 老化を調節する化学物質 120
- 4. 植物の老化現象に関する研究の歴史 122
- 5. 落葉や落果と離層の形成 125
- 6. 葉の黄変や紅葉、落葉や落果のメカニズム 129
- 7. おわりに — 植物の老化に関する応用的側面 — 133



## 第7章 植物の花 ..... 横山 峰幸 … 136

1. はじめに 136
2. そもそも花とは何か 137
3. どんな植物も花をつけるのか 138
4. 花はいつできて咲くのか 140
5. 花を咲かせる物質の研究史 143
6. おわりに — 開花のメカニズムに関する最近の研究成果 — 145

## 第8章 休 眠 ..... 丹野 憲昭 … 148

1. はじめに — 休眠とは — 148
2. 休眠器官 153
3. 休眠を誘導する化学物質（休眠物質） 157
4. 休眠覚醒・発芽誘導物質 — ジベレリン — 160
5. ヤマノイモ属植物のむかごの休眠 — ジベレリン - 誘導休眠 — 162
6. むかごのジベレリンと休眠誘導物質 165
7. おわりに 170

## 第9章 実験モデル植物シロイヌナズナとは? ..... 後藤 伸治 … 172

1. はじめに 172
2. 研究の歴史 175
3. シロイヌナズナとはどんな植物か 177
4. モデル植物としての特徴 178
  - (1) ゲノム量が少ない 178
  - (2) 染色体数が少ない 179
  - (3) 生活環が短い 179
  - (4) 植物体が小さい 180
  - (5) 突然変異体の作製が容易 180
  - (6) 交雑実験が容易にできる 181
  - (7) 種子が多数採れる 181

(8) 多数の生態型（エコタイプ）がある	181
5. シロイヌナズナのゲノム減少の道のり	181
6. シロイヌナズナを用いた研究例	182
(1) フロリゲンの実体解明	182
(2) 花器官形成における ABC モデル	182
(3) サヤがはじけない果実の作成	183
(4) ピン突然変異体とオーキシン移動	183
(5) 花器官の突然変異体	184
(6) 暗所での花芽形成	185
(7) 成長調節物質・レビジモイドの効果	186
(8) シロイヌナズナストックセンター	187
7. おわりに	187
執筆者紹介	189
付録 1 “植物の知恵の仕組み” を制御する化学物質の構造式	193
付録 2 植物生理化学会活動史	198

#### 凡例

[→ p. ○○] は、構造式を掲載している付録 1 の頁を示しています。