

## 植物栄養学の先達たち — 2 —

テオドール・ド・ソシュール  
—植物生理学の基礎を築いたスイスの化学者—

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

### ジュネーヴの名家ソシュール家

ニコラス-テオドール・ド・ソシュール

(Nicolas-Theodore de Saussure 1767-1845) は1767年10月14日、スイス、ジュネーヴのソシュール家に生まれました。ソシュール家は代々学者を輩出した名家です。

テオドールの祖父ニコラス・ド・ソシュール (Nicolas de Saussure 1709-1790) は農学者で、農学を人間にとってもっとも必要な科学と考えていました。父のオラス-ベネディクト・ド・ソシュール (Horace-Benedict de Saussure 1740-1799) は数学者、物理学者、地質鉱物学者、植物学者で、アルプス探検の草分けとして有名な人でした。彼は30年以上にわたるアルプスの地質学的研究の成果をまとめた大著「アルプス旅行記 (Voyages dans Alpes)」で、地質学 (geology) という言葉を科学用語に導入した人であり、毛髪湿度計や電位計の発明者でもあります。またその曾孫のフエ

ルデイナンド・ド・ソシュール (Ferdinand de Saussure 1857-1913) は言語学者で、構造主義の先駆者としてその名前は現在でも良く知られています。

### 18世紀後半に勃興した気体の生理化学

テオドール・ド・ソシュールの業績の一つは、植物の生長 (体重の増加) は葉が行う炭酸ガスの同化によることを明らかにしたことですが、それは何人かの先人による気体の生理化学の仕事の上に築かれたものです。

気体の概念は前回紹介したように、17世紀の中ごろヴァン・ヘルモントが導入したものです。彼は62ポンドの木を燃やして僅か1ポンドの灰しか得られなかったことから、残りの61ポンドは目に見えない「木の精 (spiritus silvester)」に変えられたと考え、これに "chaos=gas" という名前を与えたのでした。

大昔から知られていた気体として大気がありま

## 本 号 の 内 容

§ 植物栄養学の先達たち — 2 —	1
テオドール・ド・ソシュール	
—植物生理学の基礎を築いたスイスの化学者—	
京都大学名誉教授	
高 橋 英 一	
§ レタスにおけるマルチ2作穫施肥技術について	5
JAあわじ島 <sup>エナミ</sup> 複列支所	
営 農 主 任 三 木 浩 介	
§ 肥料の常識・非常識 (7)	10
越 野 正 義	

すが、その正体は中々分かりませんでした。ところが18世紀後半になって表2-1に示したように、炭酸ガス、水素ガス、酸素ガス、窒素ガスが相次いで発見されました。そしてそれらのガスの性質とくに生物に対する影響—生理作用に大きな関心が集まりました。

表2-1 18世紀後半に発見された四つの気体\*

1754 ブラック炭酸ガスを発見。

マグネシウム・アルバ(炭酸マグネシウム)を焼くと重量が減少し、かなりの量のガスが発生した( $\text{MgCO}_3 \xrightarrow{\text{焼く}} \text{MgO} + \text{CO}_2$ )。このガスは空気と異なり苛性アルカリに吸収され( $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ )、また燃焼も呼吸も支えないことを発見し、「固定空気」と命名した。

1766 キャヴェンディッシュ水素ガスを発見。

金属にうすい酸を作用させて発生するガスを捕集し( $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$ )、これが空気にくらべて著しく軽く、また燃えやすいことを明らかにし、「可燃空気」と命名した。

1767 キャヴェンディッシュ窒素ガスを発見。

赤熱した炭の上に空気をくり返し通し、生じた「固定空気」を苛性アルカリで除くと( $\text{N}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{C}} \text{N}_2 + \text{CO}_2 \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{N}_2$ )、燃焼も呼吸も支えないガスが得られ、これを「毒性空気」と名付けた。

1772年、同様な実験をブラックの弟子のラザフォードが行ない、「腐敗空気」と命名し論文として発表した。キャヴェンディッシュは私信であったため、公的には窒素の発見者はラザフォードとされている。

1774 プリーストリー酸素ガスを発見。

水銀を空气中で熱すると得られる赤色の粉末(酸化水銀)を、ガラス容器に入れて空気を抜き、これにレンズで日光を当てると分解して金属水銀とガスを生じた( $2\text{Hg} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{加熱}} 2\text{HgO} \xrightarrow{\text{光}} 2\text{Hg} + \text{O}_2$ )。このガスは呼吸に適し、ロウソクはこの中で空気中よりはるかに明るくもえた。この新種のガスを彼は「脱フロギストン化空気」と命名した。

1771年、スウェーデンのシェーレは軟マンガン鉱(二酸化マンガン)を濃硫酸と反応させるとガスが発生することを発見し( $\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{MnSO}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ )、これを捕集して「火の空気」と名付けたが、公表が遅かった(1777年)ため、酸素の最初の発見者は公的にはプリーストリーとされている。

\*文献2), 3)による。

炭素(炭酸ガス)、水素(ガス)、窒素(ガス)、酸素(ガス)という命名はラボアジエによる。

イギリスの非国教教会の牧師であったプリーストリー(Joseph Priestley 1733-1804)は、1767年頃から気体の研究にとりかかりましたが、1771年になって燃焼や呼吸によって汚された空気を植物が浄化することを発見しました。

ガラス鐘の中にネズミを閉じ込めておくとネズミは間もなく死んでしまうが、この中に鉢植えのハッカを入れておくと、ネズミは何時までも生きていました。

さらに1774年、彼は燃焼と呼吸を助ける新しい気体(酸素)を発見しましたが、この気体が植物の浄化作用に関係していることには思い至りませんでした。

スエーデンの薬剤師シェーレ(Carl Wilhelm Scheele 1742-1786)はプリーストリーのハッカの実験を知り追試をしましたが、植物は空気を浄化せず呼吸に役立たないものにするという全く反対の結果を得ました。

シェーレもプリーストリーと同じ気体(酸素)を発見しますが、二人とも植物はどんな条件で空気を浄化し、どんな条件で悪くするかということを明らかにしませんでした。

これを明らかにしたのはオランダの医師インゲンハウス(Jan Ingenhousz 1730-1799)でした。彼もプリーストリーの植物による空気の浄化についての実験に興味を持ち、1779年直接プリーストリーに会って実験の内容を詳しく聞きました。そして直ちに植物実験にとりかかりました。

彼は多年生の水草(タチジャコウソウの類)の緑の葉のついた小枝を、水の入ったガラス容器に入れ、逆さにした漏斗で蓋をし、漏斗の首に試験管を差し入れました。

このような装置に太陽の光りを当てると、葉から気泡が出始めました。気泡が試験管にたまるのを待って試験管を抜き、その中にかすかに燃えている木片を入れるとそれは明るい炎をみせて燃え上がりました。つまり緑の葉は光りを受けるとプリーストリーとシェーレが発見した気体(酸素)を放出していたわけです。しかし緑でない部分、枝や切り取った根の部分を使った場合は気泡は発生しませんでした。さらに暗闇では緑の葉のついた小枝からも気泡は発生しませんでした。

結局酸素を出しながら空気を改善するのは植物の緑の部分だけであって、しかも光りの下に限られていました。暗闇や薄暗い中では植物のすべての部分は空気を悪くするだけでした。

この実験結果からプリーストリーとシェーレの実験の矛盾の理由も明らかになりました。プリーストリーは明るい昼間に実験を行ないましたが、シェーレは薬局の部屋で夜間にローソクの明かりで実験を行なったのでした。

インヘンハウスは、植物は暗闇の中で呼吸し、炭酸ガスを出して空気を悪くするが、光りのもとでは呼吸作用は酸素の放出作用に変わると考えていました。

同じ頃ジュネーヴのプロテスタント教会の牧師であったセネビエ (Jean Senebier 1742-1808) も、植物に対する光りの作用について研究していました。

彼は水草の葉からの光の下での気泡(酸素)の発生は、あらかじめ水を沸騰させて(炭酸ガスを除いて)おくと起こらないことを発見し、緑の葉は光の下で炭酸ガスを吸収して酸素を発生すること、空気の浄化は植物の栄養作用(今でいう炭酸同化、光合成)と結びついていることを1782年に発表しました。それはこの研究をひきついで更に発展させることになるテオドール・ド・ソシュールが15才の時でした。

### 「植物の生長の化学的研究」

テオドールは父オラスのアルプスの調査研究の手助けをする傍ら、物理学、化学、鉱物学の勉強をしていましたが、二十歳過ぎの頃プリーストリーやセネビエやインヘンハウスの仕事を知って非常に興味を覚えました。その結果彼は生涯を植物研究に捧げることになります。

1797年、植物組織における炭酸の生成について三つの論文を学会誌 (Annales de Chemie) に発表し、これによってフランス科学アカデミーの通信会員に選ばれました。

彼は先人の研究を新しい化学分析の手法によって確かめようと考え、父の考案したユーディオメーターを用いて実験をしました。これは目盛り付きのガラス管の封じた一端に白金電極を挿入し、他端を水銀圧力計につないだもので、電極に電流

を通じ管内で起こる気体の化合による体積の変化測定し、気体の分析を行なうものです。

彼は空気に一定量の炭酸ガスを加えた混合気体を封入したガラス容器の中で、いろいろな植物を一定期間育てた後、ユージオメーターで気体の分析を行なってその変化を測定しました。また植物体を焼いて、発生する炭酸ガスの量を測定しました。

その結果彼は、光の下では炭酸ガスの吸収と酸素の放出が1対1(容積比)で起こること、炭酸ガスの吸収によって植物体の重量が増加することを明らかにしました。

さらに彼は正確な秤量の結果、根から吸収された水もその一部は分解されて体内で炭酸ガスと結合すると結論しました。

また彼はいろいろなところからいろいろな植物を集めてきて、その無機成分の分析を行ない、次のようなことを明らかにしました。

植物の無機組成は1. 植物の種類によって、2. 土壌の種類によって、3. 植物の部位によって、4. 生育時期によって著しく異なる。

植物の無機成分は根が土壤溶液から吸収したものであるが、植物体の無機組成と土壤溶液のそれとは異なっており、植物は非常な選択性をもっている。

草本植物は木本植物よりも無機物の吸収量が多く、地力を消耗し易い。

テオドールはこれら一連の研究結果をまとめ、1804年に著書「植物の生長の化学的研究 (Recherches chimiques sur la vegetation, Paris)」として発表しました。

### テオドール・ド・ソシュールの功績

彼は1802年から1835年までジュネーヴ大学の鉱物学および地質学の教授の職にありましたが、終生植物生理学の研究を続けました。彼の功績は実験に基づいて、植物の栄養についての正しい見解をはじめて明らかにしたところにありますが、それは彼の行なった正確な定量的実験によって成し遂げられたものです。ここに先人たちとの違いがあります。

テオドールの師のセネビエは、かつてマムシグサの花のそばでは空気の温度が上昇することを発見し、これはマムシグサが酸素を吸収しているた

めであると考えましたが、テオドールは後に酸素の吸収と空気温度の上昇の間には一定の関係があることを確かめました\*。

1808年以降は植物細胞中の生化学反応（発酵やデンプンの糖化など）についての論文も発表しています。彼は生涯を植物研究に捧げましたが、祖父のように農学者にはなりません。彼は植物生理学の草分けとして数多くの栄誉を受け、1825年までにヨーロッパの殆どすべてのアカデミーの準会員になっていました。

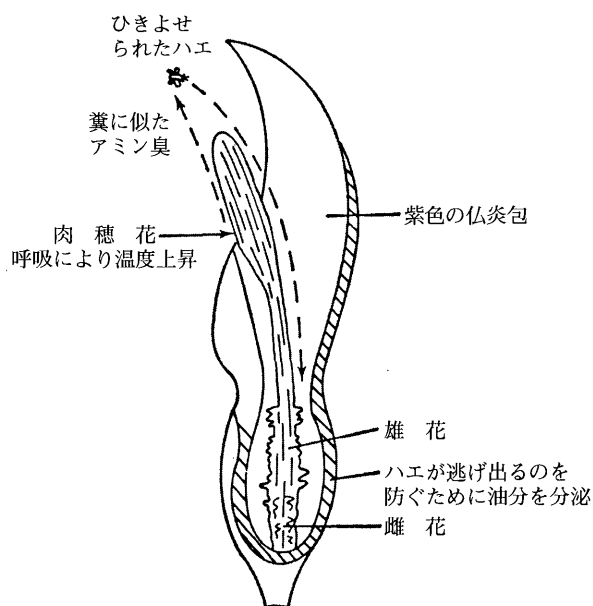
前回に紹介したパリシーが波乱万丈の苦難に満ちた生涯を送ったのに比べると、テオドールの78年の生涯はまことに平穏で恵まれたものでした。彼の生れた18世紀の末期にはアメリカ合衆国の独立（1783）とフランス革命（1789）が相次いで起こり、パリシーの生きた時代にくらべて精神的自由の気風に満ちていました。

また彼が一生を過ごしたジュネーヴは、かつてカルヴィンが宗教改革の拠点にしたところであり、啓蒙思想家ルソー（1712-1778）を生んだ地でもあります。彼の師セネビエや「栽培植物の起源」の著者として有名なド・カンドル（1778-1841）、セネビエらに影響を与えた博物学者のチャールス・ボネ（1720-1793）もジュネーヴの人です。

テオドールの功績はもちろん彼の資質によるものですが、彼の家系や生きた時代や土地柄も幸いするところがあったと思います。

\* マムシグサの花は仏炎包という大型の包に包まれているが、夜になると開いてその中の肉穂花をあらわす（図2-1参照）。この肉穂花の呼吸は異常に高く、温度は30℃に達することが知られている。この熱は肉穂花の不快感をなしているアミンの揮散を助ける。糞にたかるコガネムシの類やハエはこのアミン臭にひきつけられ、肉穂花の上に舞い下り、花の底に落ち込みそこに閉じ込められる。仏炎包の内面はすべすべし

図2-1. マムシグサの受粉



ているので昆虫は逃げ出すことができず、24時間そこに閉じ込められ、その間に花粉を花柱に運ぶ役目を果たす。それから迅速な構造変化がおこり（仏炎包表面にしわができるなど）、昆虫は結局解放される。肉穂花が熱を発生するのはこの植物の著しい特徴であり、糞臭を強めるのに役立っている（高橋英一、深海浩訳：ハルボーン化学生態学 文永堂 1981 57-58頁による）。

#### 参 考 図 書

- 1 ミ・エ・イヴィン著 藤川健治訳編  
光合成の謎 社会思想社（現代教養文庫）1973
- 2 メイスン著 矢島祐利訳  
科学の歴史 上 岩波書店 1957
- 3 D.N.トリフオノフ・V.D.トリフオノフ著  
阪上正信・日吉芳朗訳  
化学元素発見の道 内田老鶴圃 1996
- 4 The New Encyclopedia Britanica vol 10 p478