

植物栄養学の先達たち — 4 —

ユストウス・フォン・リービヒ

—自然界における物質循環の思想の種を播いたドイツの有機化学者—

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

このシリーズで取り上げる6人の中でリービヒは格段に有名で、日本語で書かれた書物も数多く出版されています。リービヒから連想されるものとしては、「農芸化学」、「無機栄養説」、「化学肥料」などがありますが、ここではそれらが生まれた時代的背景や、リービヒの今日的意義について少し考えてみたいと思います。

薬局の中で育まれた化学

化学の起源はエジプトにあるといわれています。これには金属の加工やガラス、陶器の製造、革なめし、染色などにかかわる職人の実際の経験に由来するものと、物質の本質について考察する思弁的なものとの二つの流れがありました。この二つは紀元2世紀頃エジプトのアレキサンドリアで一つになります。

7世紀にエジプトがアラブに支配されると、物質を価値あるもの（例えば金）に変える技術、いわゆる錬金術（Alchemy）がおこります。これは

12世紀頃ヨーロッパに伝わりますが、15-16世紀頃になると錬金術を医療に応用する医療化学（Iatrochemistry, iatro- はギリシャ語で医療を意味する）が登場します。こうして錬金術師の延長に、薬剤師という職業が生まれました。そして18世紀には薬剤師の中から化学者が現れるようになります。

たとえばスエーデンのシェーレ（Carl Wilhelm Scheele 1742-1786）は1756年に14歳で薬局の徒弟になり、薬局の主人となってからは実験室をつくって、酸素ガス、塩素ガスを始め沢山の物質を発見しました。ウランを発見したドイツのクラブロート（Martin Heinrich Klaproth 1743-1817）は、1759年に16歳で薬局の徒弟となり、67歳のときベルリン大学の初代化学教授に任ぜられるまで、薬局の外に出なかったそうです。クロムを発見し、有機化学の草創期に多くの仕事をしたフランスのヴォークラン（Louis Nicolas Vauquelin 1763-

本 号 の 内 容

§ 植物栄養学の先達たち — 4 — 1

ユストウス・フォン・リービヒ

—自然界における物質循環の思想の種を播いたドイツの有機化学者—

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

§ 有機質肥料で生産された野菜と化学肥料で生産された野菜の判別技術 6

有機農産物を見分ける指標としての窒素安定同位体比の利用

農林水産省 農林水産技術会議事務局

研究調査官 中 野 明 正

(元) (独) 農研機構 野菜茶業研究所 環境制御研究室

(独) 農研機構 野菜茶業研究所

果菜研究部 環境制御研究室

上 原 洋 一

1829) は、1777年に14歳で薬局の皿洗いかから化学の道に入りました。イギリスの王立研究所で、熔融電解という新しい方法によってカリウム、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムなどの金属の単離に成功したデーヴィー (Sir Humphry Davy 1778-1829) は、1795年に17歳で薬剤師の徒弟から出発しました。

ところでリービヒ (Justus von Liebig) は1803年、ヘッセン-ダルムシュタット公国の首都ダルムシュタットに生まれました。父は薬種商を兼ねた材料屋で、薬品類のほかに顔料やラックやニスなどを自家製造して売っていました。技術に熱心で庭先に実験用の小屋をつくり、薬品の製造試験に凝っていました。またガス灯をつくって自分の家を照明し、町の評判になったということです。

リービヒは8歳でギムナジウムに入りますが、当時のギリシャ、ラテン語偏重の古典教育に馴染めませんでした。一方彼は父親の仕事場での実験に強い興味を持つようになります。そして父親がダルムシュタットの宮廷図書館から借りてきた化学書を次から次へと読み漁り、本の中で読んだ実験をできるだけ自分で試みようとしてしました。

リービヒは自伝の中で次のように述べています。「私の利用できる手段はごく限られていたので、一度やった実験を何度も繰り返して、あらゆる面から正確に知り尽くすまで試みた。その結果、一つの物質または一つの現象の類似と相違を鋭敏に把握できるようになった。これは後年になってどれだけ私を利したか分からない。」

結局リービヒは15歳でギムナジウムを退学し、ダルムシュタット郊外の薬局の徒弟にやられます。父は彼のために薬種商より一段上層に位する薬剤師になる道を考えてのでした。しかし薬局徒弟の住み込み生活は、彼が夜屋根裏部屋でやっていた実験の爆発事故などのため、10ヶ月で終わりました。「私は化学者にはなりたいが、薬屋になりたいとは思わなかった。しかしこの10ヶ月の間に薬局の中にある幾百幾千の薬品の作り方や、取り扱い方、応用の仕方の知識を与えられたことは、望外の幸せであった。」と彼は薬局での体験を振り返っています。

家に戻ってからも化学に対する熱望が消えな

ったリービヒは、父に懇願して大学で学ぶ許しを得ます。父は懇意だったボン大学の化学の教授のカストナー (Carl Wilhelm Gottlob Kastner 1783-1857) に頼み、1820年リービヒはボン大学に入ります。

18世紀は化学の講座を持った大学はまだ僅かでしたが、市井の薬局の中にはいろいろな物質の性質や変化、つまり化学についての素朴な知識はかなり蓄積されていたと思われます。そしてやがて薬局で徒弟修業した人の中から、すぐれた化学者が現れるようになりました。

有機物の化学から生物の化学へ

化学の歴史は元素発見の歴史でもありました。炭素、硫黄、鉄、錫、鉛、銅、水銀、金、銀は古代から知られていましたが、自然界に存在する88の元素のうち、最後のレニウムが発見されたのは1925年、20世紀になってからです。因みにリービヒが生まれた1803年に知られていた元素は35種でした。

18世紀の末スウェーデンの化学者ベリマン (1735-1784) は、生物体を構成する物質を有機物質、それ以外のものを無機物質とよび、その後ベルセリウス (1779-1848) は有機物質を研究する化学を「有機化学」と名付け、「無機化学」と区別しました。そして1827年には大部の「有機化学教科書」を著しました。有機化学の始まりです。

有機化合物の種類は極めて多いにもかかわらず、無機化合物と異なり限られた少数の元素(C, H, OとNなど) から成り立っており、それらの割合と配列が有機化合物の性質を決めています。したがって有機化学の研究には、まずC, H, OとNの組成を分析によって知ることが必要です。

リービヒは19歳のときパリのソルボンヌ大学に留学しますが (表参照)、ゲイ・リュサックの研究室で元素分析の方法を学びます。そして前から興味をもっていた雷銀の分析を行い、それが雷酸(HCNO) という酸の銀塩であることを明らかにし、パリの学界で名を知られるようになります。そして知遇を得たフンボルト (Alexander von Humboldt) の推薦で、1824年に母国のギーセン大学に助教授の職を得ます。

翌1825年幸運にも教授に昇進した (前任教授の

事故死による) リービヒは後年「ギーセンの化学教室」として有名になる化学実験室の整備にとりかかります。リービヒはギーセン大学で28年間過ごしますが、実験研究に最も打ち込んだのはその前半でした。

1824年ストックホルムのベルセリウスのもとに留学していたヴェーラー (Friedrich Wöhler 1800–1882) が発表したシアン酸の組成が、リービヒの明らかにしたシアン酸と性質の異なる雷酸の組成と一致していたことから、どちらかが間違っているとして両者の間に論争が起きました。結局1826年二人は会い互いに相手も正しいことを認めましたが、これは性質は全く異なるのに組成は同じ化合物が存在する例の最初の発見になりました。これは原子の配列様式の違い (シアン酸は $\text{H-O-C}\equiv\text{N}$, 雷酸は $\text{H-C}\equiv\text{N=O}$) によっておこることが明らかになり、1831年にベルセリウスはこの現象を異性 (isomerism) と命名しました。そしてこの発見は半世紀近くにおよぶリービヒとヴェーラーの友情の始まりになりました。

1828年ヴェーラーは尿の成分である尿素を、動物の関与なしにシアン酸アンモニウムからつくることに成功し、有機物と無機物との間の壁を除きました。リービヒはこれに刺激されて動物の尿の化学成分の研究にとりかかり、馬の尿から馬尿酸を発見しました。さらに馬尿酸を熱すると安息香酸 (薬物として珍重されていた安息香の分解産物) になることを知り、安息香酸が生体内で馬尿酸に変化するのではないかと考えます。これは生体内の化学過程の問題に彼の関心を向けさせるきっかけの一つになりました。さらに1832年にはヴェーラーと共同で行った安息香酸 (benzoic acid, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) の研究から、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}$ -の組成をもった原子団が存在することを発見しベンゾイル (benzoyl) 基と名付けましたが、これは有機化学の中に「基 (radical)」の概念を導入しました。

一方彼は有機分析化学という新分野に着目し、簡単に迅速な有機分析装置を開発しました (1831年)。それは「リービヒの燃焼装置 (カリ球)」や「リービヒの冷却管」の名前などに残っています。これは彼の創設した化学実験室で多くの学生が分析を行うのを可能にし、有能な化学者を育てるの

に貢献しました。

1837年、リービヒはイギリス科学振興協会の年會に招かれて講演しましたが、その際有機化学の現状について執筆を依頼されました。これが契機になって1840年に、有名な「有機化学、その農業と生理学への応用 (Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculture und Physiologie)」いわゆる農芸化学の初版が出版されました。ついで1842年には「動物化学あるいは生理学及び病理学に適用した有機化学 (Die Tier Chemie oder Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie)」を著します。以後リービヒの関心は純粋な有機化学から、農業化学と生理学の方に移ります。

この変化の原因について、島尾永康氏は次のように述べています (人物化学史65頁, 朝倉書店2002年)。

「彼は少年時代に1816–1817年のヨーロッパの大飢饉とそれに伴う物価騰貴を経験している。ドイツの国土は秋から冬にかけて霧や雪で覆われ、耕地は砂地が多くて収穫が少なく、厳しい自然環境にある。農業技術に進歩なく、食料や飼料は常に不足していた。ヨーロッパの1840年代は“空腹の40年代”といわれた。リービヒが住んでいたヘッセン・ダルムシュタットはドイツの中でもとくに貧しい地区で、多くのドイツ人が国外 (主にアメリカ) へ移住していった。このような背景のもとで化学者としての打開策を示したのが、リービヒの「農業化学」だった。」

リービヒはまた排泄物である尿の成分の研究を通して、有機化合物である食料が動物体内でどのような変化を受けるかに興味をもつようになり、それが「動物化学」を書かせました。これには「ギーセンの化学実験室」で行われた動植物成分の分析のデータが、多数援用されています。

リービヒの今日的意義

リービヒは当時勃興しつつあった有機化学の中で、異性現象 (isomerism) や基 (radical) などの発見者として名を残していますが、彼の最も大きな功績は有機化学を農学と医学の分野に応用しようとしたこと、あるいは化学と生物の間に橋を架けたところにあると思います。

農学の分野では、その生産母体である植物は動物と異なり、有機物を必要とせず無機物のみを栄養源としているという、いわゆる無機栄養説を打ち立てたところにあります。また後者においては、経験的および解剖学的知識に依存していた医学に栄養化学という新しい分野を拓きました。

さらにリービヒは、自分の理論に基づいた発明もいろいろしています。たとえば作物には必要な無機養分を肥料として与えるべきであるが、一般に不足しているのはリン酸、カリ、カルシウム、マグネシウムであるから、これらの無機塩を容易に雨に流されないような形で与えるのが良いとして、「リービヒの特許肥料」なるものを1845年に販売します。しかし事前の圃場試験が不十分だったこともあって、農家が使ってみると全く効かず（成分を不溶性にしたため）失敗に終わります。これは理論を重視して経験（試験）を軽んじがちな彼の欠点を露呈したものでした。

しかしいまひとつの栄養化学における発明である「リービヒの肉エキス」は大成功で、その企業化(1848年)によって経済的に大いに潤いました。そのきっかけはリービヒが「動物化学」の研究から、タンパク質を含む食料が健康に必要なことを知ったことにあります。当時南米やオーストラリアでは、皮や脂肪をとる目的だけで牛を屠殺していたので肉は極めて安価でしたが、冷凍保存技術が未発達であったため肉を遠くへ輸送できませんでした。そこでリービヒは肉から栄養分を抽出して蒸発濃縮し、ヨーロッパへ運ぶことを考え出したのでした。

ところでリービヒを「化学肥料万能論者のように思い込んで物質循環型農業を破壊した元凶のように扱う見解があるが、これは誤解であって彼こそ地球規模での物質循環と土壌環境の保全をなによりも重視した人である」という評価があります(文献2, 4, 5)。残された紙面では、これについて少し考えてみたいと思います。

工業化社会が始まる前の18世紀までのヨーロッパの農業は、輪作の工夫と厩肥の施用によって地方の消耗を防いでいました。しかしリービヒはこれを略奪農業であると批判し、土から吸い上げられるばかりで土に返されることのない植物灰分を

人為的に戻してやらなければ、土地は次第にやせてしまうと主張しました(償還の法則)。また作物の収量は、土の中でもっとも不足している養分に支配されるとも指摘しました(最小養分律)。

このためには特定の無機栄養塩を選択的に施用することが必要になります。ここに現在の無機化学肥料の道が開かれたといえます。何故なら、これによってそれぞれの作物や土に必要な割合の栄養元素を肥料として与えることができるからです。リービヒは従来の厩肥農業はこの点に欠けるところがあると指摘しました。そして、「人々が植物の要求を満たすため、耕地や植物に化学工場で生産されたものだけを施肥する時代がやってくるだろう」と述べています。この予言は現実のものになりましたが、このようなところから彼を化学肥料万能論者とする見方が生まれたのでしょうか。

しかしリービヒはその「農芸化学」と略称される著作において、根強かった腐植説に終止符を打つただけでなく、無機的自然(鉱物界)と有機的自然(生物界)の連関を指摘しました。すなわち植物は大気と土から無機物のかたちで必要な栄養元素を摂取し、それは植物を食べる動物の体に移り、排泄や死によって再び大気と土に戻る大循環が自然界で行われているという思想を、リービヒはその中で表明しています。

そしてこの循環は、自給自足の農業が行われている時代は一応保たれているが、商業的農業が発達すると農産物の持ち出しによって妨げられるようになる。収穫によって取り去られた植物栄養素の完全な補充は農業の原則であるが、都市と農村の分離とくに大都市化はこれを困難にすると指摘しました。リービヒはロンドンの水洗便所による下水化が、耕地から貴重な植物養分を大量に海へ捨てているとして非難し、下水をリサイクルして農業利用すべきであるとロンドン市長に手紙を書いています。また人糞尿肥料を主体にした日本の農業を、世界で最も完全な農業であると称賛しています。

このような面に光をあてれば、リービヒを自然界における物質循環の思想の種を播き、持続可能な農業のありかたを説いた人と評価することができます。この評価は、グローバル化によって莫大

な量の植物養分が食料の貿易にともなって移動している今日、高まりつつあるように思われます。

リービヒはすぐれた組織者であり熱烈な宣伝者でした。それは化学実験室の創設や元素分析法の考案に、「農芸化学」や「化学通信」をはじめとする一連の啓蒙的著作にみることができます。またリービヒの科学的活動はようしゃのない批判と論争で貫かれていました。ここに彼の科学者としてのユニークさ、偉大さがあると思います。

参 考 図 書

1. 田中実著 化学者リービヒ 岩波新書 1951
2. 島尾永康著 人物化学史6リービヒ 朝倉書店 2002
3. 山岡望著 化学史談II ギーセンの化学教室 内田老鶴圃 1952
4. 吉田武彦著 リービヒ「化学の農業及び生理学への応用」再読 肥料科学25号 2003
5. 椎名重明著 農学の思想 マルクスとリービヒ 東京大学出版会 1978

リービヒの略歴

- 1803 ヘッセン-ダルムシュタット公国のダルムシュタットの薬種商の家に生れる。
- 1811 ダルムシュタットのギムナジウムに入学。
- 1817 ギムナジウム退学。薬局の徒弟に。
- 1818 薬局をやめて家に戻る。
- 1820 ボン大学に入学。カストナーの指導を受ける。
- 1821 カストナーに従いエルランゲン大学に移る。
- 1822 学生騒動にまきこまれ、ダルムシュタットに逃れる。カストナーの周旋でパリに留学。
- 1823 雷酸塩の実験結果をアカデミーの例会に発表、アレキサンダーフンボルトの知遇を受ける。
- 1824 フンボルトの推薦でギーセン大学の助教授の職を得る。
- 1825 教授に昇進、化学実験室の整備をはじめ。
- 1826 雷酸銀とシアン酸銀の異同をめぐりヴェーラーと論争。異性現象を発見。
- 1831 有機物の元素分析装置を考案。
- 1832 ヴェーラーと共同の安息香酸の研究から有機化合物におけるラジカル(基)の存在を発見。
- 1840 「有機化学の農業及び生理学への応用」初版刊行。
- 1842 「動物化学」を著わす。
- 1844 「化学通信」初版発行。
- 1845 「リービヒの特許肥料」発売。男爵になる。
- 1848 「リービヒの肉エキス」企業化
- 1852 ギーセンを去りミュンヘン大学に移る。
- 1865 ロンドン市長に都市下水の有効利用を提言。
- 1873 ミュンヘンで死去。