

## 歴史の中の肥料 [6]

### 施肥農業からみた「腐植説」と「鉱物説」

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

#### はじめに

定住農耕を始めるようになって以来、人間は土地の生産力を維持向上する努力を重ねてきました。これには田畑輪換や輪作のような「つくりまわし」の工夫とともに、放牧していた家畜に「飼料」を与えるように、作物に「肥料」を与えてより多くの収穫を得ようとする工夫がありました。この施肥農業に大きな影響を及ぼすことになる二つの学説が、19世紀に現れました。いわゆる腐植説と鉱物説です。

近代農学の開祖とされているドイツのテアア (Albrecht Thaer 1752-1828) は、1809年から1812年にかけて「合理的農業の基礎 (Grundsätze der rationellen Landwirtschaft)」全四巻を著し、農学を一つの独立した科学として体系化しました。彼はその中で「土壌の肥沃度のもとは腐植にある。腐植は生命の生産物であると同時に生物に栄養を与える」とし、腐植質の補給をもって地力を高め

るべきであると説きました。これがテアアの腐植説といわれるものです。

一方農芸化学の開祖といわれる同じくドイツのリービヒ (Justus von Liebig 1803-1873) は、1840年に出版された「有機化学、その農業と生理学への応用 (Organische Chemie, ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie)」の中で「腐植説」を否定し、植物の食物は無機物質であるという「鉱物説」を唱えました。

この対立する二つの学説が、その後の施肥農業にどのような影響を与えたかについて、考えてみたいと思います。

#### 「腐植説」と「鉱物説」の時代的背景

「腐植説」と「鉱物説」が現れた19世紀前半の状況は、おおよそつぎのようでした。

18世紀の中頃イギリスで始まった産業革命は、農村社会に大きな影響を及ぼしました。古代はもとより中世から近世の初めまで、人口の大部分は

## 本号の内容

§ 歴史の中の肥料 [6] ..... 1	
施肥農業からみた「腐植説」と「鉱物説」	
京都大学名誉教授	高 橋 英 一
§ JA施肥改善支援システム「施肥名人 Ver2.0」について ..... 7	
JA全農営農総合対策部 営農・技術センター	
肥料研究室	調 査 役 田 中 達 也
§ 施設青シソ (オオバ) の緩効性肥料 (ホワイトエース) による施肥改善技術の実証 ..... 12	
高知県中央農業振興センター 高知農業改良普及所	
主 任 森 田 克 彦	
§ 2005年本誌既刊総目次 ..... 15	

農村に住み農業で暮らしていましたが、18世紀後半からヨーロッパの農業人口は急速に低下しはじめました。たとえばイギリスでは、1760年に約70パーセントあった農業人口は、1800年には36パーセント、1850年には22パーセントへと100年足らずの間に三分の一に低下しました。

しかし穀物生産量は、1760年の380万トンから1820年には630万トンに増加しており、この間に労働生産性が著しく向上したことを示しています。その結果19世紀中頃には、国民の8割近くが食料生産に直接たずさわらなくてすむようになりました。こうして生じた農業労働人口の余剰は、新しい生産活動にふりむけられ、イギリスの産業革命を推進しました。しかしそれは食料の生産地と消費地の解離を引き起こすことにもなりました。

一方大西洋の彼方の新大陸では、1786年に独立したアメリカ合衆国が急速な膨張をはじめました。すなわちそれまでのミシシッピー川以東に限られていた領土に、ルイジアナ(1803年フランスより買収)、テキサス(1845年併合)、オレゴン(1846年併合)、カリフォルニア(1848年メキシコより割譲)を付け加え、19世紀中頃には大西洋から太平洋に及ぶ広大な国を建設するに至りました。

そしてこの獲得した広大な処女地を開拓すべく、「マニフェスト・デステイニイ(神の与え給うた明白な運命という意)」をスローガンに西部開拓が始まり、その結果大量の農産物が生産されました。そして大西洋横断の船賃が船舶技術の進歩によって大幅に低下すると、ヨーロッパに大量に流入するようになります。

また南アメリカのグアノとチリ硝石が、新しい肥料資源としてヨーロッパに入ってきたのもこの時期(1830-40年)でした。このように19世紀前半には、農産物と肥料に伴う養分のグローバルな移動が起ころうとしていました。これによって農産物の生産基盤である「農場」内における養分の循環は、大きな影響を受けるようになります。

さらに植物の栄養観にも転換が起こりつつありました。それまで植物は生き物の体(有機物)を食べている動物と同様、土の中の有機物(腐植)を食べて大きくなると一般に考えられていまし

た。これに対してスイスの化学者ド・ソシュールは、植物は太陽の下で大気から炭酸ガス、土から水と若干の無機塩類を摂取して生長することを1804年に出版した著書「植物の生長の化学的研究」の中で発表しました。これは植物の栄養は有機物に依存しないことを示すものですが、後にリービヒが学説(鉱物説)として強力に唱道するまでは注目されませんでした。

#### 「腐植説」と「鉱物説」の視点の違い

テアはゲッチングゲン大学で医学を修め、ハノーバー王国の宮廷医を務めていましたが、次第に農業に関心をもつようになりました。彼は当時最も進んでいたイギリスの農業を熱心に研究し、「イギリス農業入門」三巻として1798年から1804年にかけて刊行しました。これは後進的であったドイツ農業のイギリス化を意図したものでした。

1804年プロイセン王国に枢密顧問官として招聘されたテアは医業をやめ、ベルリン東北のメークリン(Moegellin)に1044モルゲン(約260ヘクタール)の土地を購入して農場経営を始めました。ここは大部分が痩せた砂質地でしたが、あえて生産力の低い土地を選んで、合理的経営によってどの程度改良ができるかを試そうとしたのでした。当初農場の経営は困難でしたが、次第に成果を上げてゆきました。その経験をもとに執筆されたのが「合理的農業の基礎」でした。

テアの合理的農業の柱の一つのは、「腐植質→家畜の舎飼い→飼料作物の導入輪作」という構想でした。それは”植物の養分の腐植質は植物の吸収と分解によって土から失われてゆく。したがって腐植質の補給が必要であるが、それを可能にするのは厩肥である。この厩肥を継続的に得るには舎飼いによる家畜飼養が必要であり、その飼料を確保するために土地利用方式の中に飼料栽培を入れねばならない。それには冬穀-夏穀-休閑という旧来の三圃式経営をやめ、冬穀の後に飼料用の甜菜、夏穀の後にはクローバーを導入して作物の輪換を行う。これによって舎飼いのための飼料が得られるだけでなく、土の物理的状態もよくなる。”というものです。これはイギリスのノーフォーク地方で行われていた農法に基づいたものですが、テアはこの輪換方式の中に農業生産力の

最高の姿を見ていました。

一方のリービヒは1825年22才の若さでギーセン大学教授になり、有機化学の分野で数々の業績をあげていました。彼は1837年イギリス科学振興会の年会に招かれて尿酸の分解生成物の研究について講演し、有機化学に立ち遅れていたイギリスの化学者に衝撃を与えました。リービヒの研究に感銘を受けた科学振興会は有機化学の現状について執筆を依頼し、これが農業化学の名のもとになる「有機化学、その農業と生理学への応用」を1840年に世に出すきっかけになります。そしてその後、彼の関心は、有機化学から農業化学と生理化学の方へ移って行きました。

リービヒは当時新興の化学のまなざしで植物の栄養を眺め、腐植という名で括られていた養分に化学のメスを入れました。そして植物が必要な養分として摂取するのは、炭酸ガス、水、アンモニア(硝酸)、リン酸、硫酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムといった無機質あるいは鉱物質の物質であると強く主張しました。この従来の「生氣論」を否定した学説は多くの若い学徒を惹き付け、経営学的であった農学の研究に自然科学的、化学的方法が導入されるきっかけになりました。

テアの「腐植説」の視点が土壌の肥沃度にあったのに対して、リービヒの「鉱物説」の視点は植物栄養の原理により注がれたという違いが認められますが、この両学説はそれぞれ無機的農業様式と有機的農業様式の二つの流れをつくり、その後の施肥農業に影響を及ぼすこととなります。

#### 鉱物説と無機的農業様式の発展

イギリスで進められた輪作農業の改良は、穀作へ肥料としてより多くの厩肥を供給するためでしたが、鉱物説はこの厩肥に代わって無機塩類が肥料になることを示しました。これは厩肥の供給が穀作の制限因子になることを取り除くとともに、厩肥供給の労力を省き、土地生産性と労働生産性の双方を向上させる契機になりました。

具体的な無機肥料として19世紀にはグアノ、チリ硝石、カリ鉱物、リン鉱石などの鉱物肥料が、また産業革命が生んだ石炭化学の副産物である硫酸アンモニウム(副生硫酸)が登場しました。さらに20世紀初頭には空中窒素固定工業が起こりま

したが、これは自然界で行われている生物的窒素固定を補完する以上のものがありました。

合成アンモニアは硫酸アンモニウムのほかに、硝酸アンモニウム、塩化アンモニウム、尿素などのいろいろな窒素化合物に変えられ、肥料として用いられました。リン鉱石も硫酸処理で過リン酸石灰だけでなく遊離のリン酸をつくり、これをアンモニアや塩化カリと反応させて、複数の肥料成分を含むリン酸アンモニウムやリン酸カリが製造され、施肥農業は化学肥料の時代に入りました。

鉱物説はまた土を離れた農業を出現させました。1860年代にザックス、クノップらによって始められた水耕法は、植物を複雑な土壌条件から切り離し、単純で制御可能な条件下で生育させる便利な研究手段として、大学や試験場で広く用いられ、微量必須元素の発見など、植物の無機栄養の研究に貢献しました。

ところがこの水耕法は20世紀後半になって、「養液栽培」として実際農業の場に登場しました。第二次大戦後、日本に進駐してきた米軍は、東京の調布と滋賀の天津に「ハイドロポニックス」と呼ばれる大規模な養液栽培施設を建設しました。当時日本では人糞尿が多量に使われていたので、野菜を生食する習慣のある彼らは、現地調達をやめて自給にふみきったのでした。これは日本で行われた最初の養液栽培でしたが、本来軍用で経済性を無視したものであったので、やがて消滅しました。しかし清浄野菜への欲求は植え付けられ、化学肥料が人糞尿を駆逐する手助けをしました。

その後経済成長の時代が到来し、収入拡大のために商品価値の高い作物をつくる施設園芸が盛んになりましたが、雨のかからないハウス内での高度の集約栽培は、これまで経験したことのない塩類集積や連作障害などの問題を引き起こしました。これを回避するにはハウス内の土壌を定期的に入れ替えることが必要ですが、省力の時代にあっては労力の負担が大きい上に、土そのものの入手も容易でなくなってきました。また良質の野菜をつくるには、家畜の糞尿を主体にした堆厩肥の投与が必要ですが、住宅近接の環境下では悪臭そのほかのため投入自体が難しくなりました。

このような情勢の変化の下で、栽培培地として

の土の価値に変化が生じました。伝統的農業の母体である土の肥沃度は、自然の制約を免れるために自然環境から切り離された「施設」の中では、その価値を失って行きました。ここに土を離れた養液栽培が、施設園芸の中に組み込まれて行く状況が生じました。工業化社会を到来させた産業革命の特質は、社会が土地によって生産される有機物（農林畜産物）を原料とする経済から、鉱物（無機物）を原料とする経済に移行したことにありとされています。鉱物説が導いた無機的農業様式は善くも悪くも、この工業化社会の発展に沿ったものであったといえるかもしれません。

#### 腐植説と有機的農業様式の評価

テアとリービヒの祖国であるドイツは、北部から東部にかけて氷河が削った砂まじりの土壤が広がっており、これらは保水力が弱い上にカリや窒素分に不足していました。このような肥沃度の低い土壤はドイツ全土の三分の二近くを占めており、かかる条件下で如何に食料増産を行うかはドイツの重要な課題の一つでした。これに対してテアは有機質（腐植）の涵養を説き、リービヒは1860年にシュタッスフルトで発見されたカリ鉱物の施用が有効であることを指摘しました。

20世紀に入って無機化学肥料の施用が進みますが、第一次大戦後のワイマール時代のドイツでは、土壤の酸性化や物理性の悪化、養分の偏りなどによる生産力の低下が顕在化し始めました。そしてこれは無機化学肥料に依存し、土壤腐植の涵養をなおざりにしたためであるといわれました。

ドイツの人智学の創始者シュタイナー（Rudolf Steiner 1861-1925）は、1924年6月ベルリン東南のブレスラウ近郊にあったカイザーリンク伯爵の農場で、自給自足農業の必要性を説く8回にわたる連続講演を行いました。それは後に「農業講座」として出版されますが、彼はその中で”われわれは大地それ自身を直接に活性化しなければならないが、それが可能なのは有機物であって無機物ではない。無機肥料は作物の健康を損なうので、使用をやめるべきである。”と述べ、鉱物肥料中心の無機的農業様式を否定し、「生命力」を持つ堆厩肥を主軸にした有機的農業様式を主張しました。

シュタイナーの弟子にあたるバルチュ（Erhard

Bartsch 1895-1960）は、シュタイナーの亡くなった1925年に、彼の唱えた農法に作物肥培の生物学的側面を強調する意味を込めて「バイオダイナミック農法（BD農法）」という名前を付けました。これは農場をさまざまな生命体が共生する一つの閉じた有機体として捉え、工場で大量生産される化学肥料の使用を「有機体」内の循環を壊すものとして拒み、そのかわりに農場内で生じる家畜の糞尿を加工した有機肥料を用いるものですが、このBD農法は現在の有機農業の源流の一つになりました。このような「腐植説」の流れをくむ有機的農業様式の再評価の背景の一つには、「生態学」と「土壤微生物学」という新しい学問の発展がありました。

#### 施肥農業における有機物の意義

堆肥や厩肥の代わりに鉱物肥料のみを与え続けたら、土地の生産性はどうなるかということは、化学肥料の時代の到来がもたらした重要な問題でした。これを明らかにするには堆厩肥連用と無機肥料連用の長期にわたる圃場試験が必要ですが、その最初のものとしてローズ（John Bennet Lawes 1814-1900）とギルバート（Joseph Henry Gilbert 1817-1901）によって1843年からRothamsted試験場で始められた一連の圃場試験があります。これは作物や厩肥に含まれているN, P, K, Na, Mg, Siなどを無機化合物で与え、その作物収量に及ぼす効果を在来の主要な肥料であった厩肥と比較したものでした。

その一つのBroabalk圃場のコムギ連作試験の結果では、厩肥連用区（ヘクタール当たり厩肥35t、成分としてN 224kg, P 34kg, K 157kgを含む）に対し無機肥料連用区（硫酸、過石、硫酸、硫酸マグ、硫酸で計1.5t, N 145kg, P 34kg, K 90kg, Na 16kg, Mg 11kgを含む）は100年以上にわたってほぼ同等な収量をあげています。しかし無機肥料区に比べ厩肥区の収量の方が安定する傾向があり、その原因は主に厩肥区の土壤の物理性が良いことにあると考えられています。また厩肥には鉄などの微量元素を供給する働きがあり、これは微量元素が不可給態になりやすい土壤では重要であることも指摘されています。

わが国でもかつて無機肥料の連用が土壤肥沃度

に及ぼす影響をみる圃場試験が行われたことがありましたが、滋賀農業試験場で1933年から40年間実施された長期圃場試験（イネとコムギの二毛作）の結果は次のようでした。

これによると表1にみられるように硫安、過石、硫加で年間ヘクタール当たりN 154kg, P 44kg, K 113kgを施用した無機肥料区（NPK）は、堆肥のみ年間ヘクタール当たり22t（N 66kg, P 10kg, K 60kgを含む）施用した堆肥区（C0）に比べて穀実収量はイネで1.26倍、コムギで2.22倍と、とくにコムギに大きかったが（堆肥区のN, P, K

表1. 堆肥連用の有無がイネ、コムギの収量\*に及ぼす影響

	CNPK	NPK	CO	O
イネ				
玄米	449 (0.97)	401 (0.82)	317 (0.96)	187 (0.47)
わら	687 (0.76)	574 (0.60)	418 (0.96)	226 (0.50)
計	1,136 (0.84)	975 (0.68)	735 (0.96)	413 (0.48)
こむぎ				
子実	275 (1.11)	226 (0.87)	102 (0.97)	46 (0.47)
わら	338 (0.92)	266 (0.80)	123 (1.20)	49 (0.50)
計	613 (1.00)	492 (0.83)	225 (1.10)	95 (0.48)

\*10アール当りの年平均キログラム  
（ ）は最後の5年間の平均収量[B]の最初の5年間の平均収量[A]に対する比 [B]/[A] を示す

文献5のデータをもとに筆者が計算

表2. 跡地土壌（作土）の性質

試験区	CNPK	NPK	CO	O	原土*
作土層 cm	19.5	17.0	18.0	17.0	13.0
仮比重	1.16	1.22	1.15	1.26	1.26
全炭素 %	1.433	0.790	1.335	0.947	0.917
全窒素 %	0.128	0.100	0.120	0.084	0.118
C/N比	11.2	7.9	11.1	11.3	7.8
CEC me	5.7	4.4	5.3	4.7	

\*花崗岩系の沖積の土壌

文献5のデータによる

供給量が少なかったのが原因と思われる）、40年間の収量の推移をみると、無機肥料区（イネ0.82, コムギ0.87）では低下の傾向が明らかであったのに対して、堆肥区（イネ0.96, コムギ0.97）ではほとんど認められませんでした。

また土壌に及ぼす影響としては、堆肥区は無機肥料区にくらべて作土層の厚みが増し、仮比重の低下（土壌孔隙の増加）、塩基置換容量の増加、全窒素と全炭素とくに全炭素の著しい増加がみとめられます（表2）。そしてこれらの作物の生育や土壌の性質に及ぼす堆肥の効果は、無機肥料との併用によって更に大きくなることが、CNPK区とNPK区の比較からよみとれます。

土の生産力（地力）を支配する要因としては、養分供給力の他に、通気性、保水性、易耕性、養分保持能、緩衝能、微生物活性等がありますが、堆肥はこれらのすべてに関わっているのに対して、化学肥料が代替できるのは養分の供給だけです。ここに施肥農業における有機物の意義があり、それは特に砂質土壌や重粘質土壌のような物理性などに問題がある土に大きいと思われます。

#### おわりに「腐植説」と「鉱物説」の融合

20世紀に入って「鉱物説」から導かれた無機農業様式への批判と、有機農業様式への回帰の動きが起きました。これは現在の有機農業運動に続いています。つまり「腐植説」は消えることなく「鉱物説」とともに存在しているわけですが、現在の両者の関係はいささか対立的にみえます。しかし今後は両者の提携、融合を進めるべきと思われます。何故なら堆肥のみの場合より適量の化学肥料を補うことによって高収量が得られること、一方化学肥料による高収量を続けるためには有機物が十分に施されていることが必要であることが、試験の結果明らかにされているからです。

この場合注意すべきは有機物の施用法です。昔の農民は労力を厭わず自分で堆肥を作って、長年の経験に基づいて施用していました。これに対して現在は、大量に排出される食品廃棄物、下水汚泥、家畜糞尿などによる環境負荷を軽減するために、これらのコンポスト化が進められ農家側に供給されています。これには農耕地による廃物処理という面もないとはいえません。

こうして供給されるコンポストの含む養分や分解速度は千差万別であるので、使用するコンポストの特徴をよく知った上で、施用土壌と作物に応じて、化学肥料との適切な組み合わせを工夫する必要があります。コンポストの意義は土の物理性や生物活性の向上にあるので大量に施用されますが、それに伴う養分負荷に注意することも現在は特に必要です。

2000年に「循環型社会形成推進基本法」が制定されましたが、循環型社会というのは「循環」それ自体が目的なく、それを通じて資源の消費が抑制されて、環境への負荷ができる限り低減されることにあるとされています。環境全体が富栄養化している現在、農場内で家畜の飼養と飼料作物の栽培を行って、地力維持のために養分循環を図ったテーアやシュタイナーの時代とは、循環の意義が異なっていることが窺われます。

#### 参 考 文 献

- 1) 柏裕賢著作集 第12巻 農学の定礎者テーアの生涯 京都産業大学出版会 1987
- 2) ルドルフ・シュタイナー 農業講座 新田義之ら訳 イザラ書房 2000
- 3) 藤原辰史 ナチス・ドイツの有機農業 柏書房 2005
- 4) The Broadbalk Wheat Experiment. Rothamsted Experiment Station Report for 1968 Part 2
- 5) 中田均 肥料三要素および堆肥の長期連用が土壤生産力に及ぼす影響の数理統計的解析 滋賀県農業試験場特別研究報告13号 1980
- 6) 吉田文和 循環型社会—持続可能な未来への経済学 中公新書 2004