

1章 5.1 生産基盤としての土壌

「神は土の塵で人を形づくり、その鼻に命の息を吹き入れられた。人はこうして生きる者となった。」旧約聖書・創世記の筆者は土壌が人間を形づくる根源であることにすでに気づいていた。また、別の古人曰く「ヒューマンライフの文(あや)は土の織機で織り上げられている。われわれが地球上の何処に行こうとも土の香りのしない文明はない」と。現在、私達はアスファルトの道を歩き、地面から数十メートルも浮き上がった高層建築に住み、綺麗に洗浄されパック詰めされた野菜や肉魚を料理する生活をしているが、それらはすべて土壌の基盤の上に存在するものであることを忘れてはいけない。本章ではまず私達の生存、ひいては文明の基礎となる食糧生産の場としての土壌の役割について考えてみよう。

1.1 植物生育を規定する要因

土壌は無機物や有機物からなる粒子とそれらの間にある孔隙からなっている。いろいろな大きさや形の孔隙は水や空気の通路となり、また、植物が根を伸長させる場(土壌環境)となる。植物は根を張ることにより、自分自身を支え、必要な物質を吸収する。そのような土壌環境の特性により植物の生育が大きく規定される。植物が土壌から、あるいは土壌を通して吸収する主なものは、1)水、2)養分、3)酸素である。

1) 植物体の支持

植物が水、養分、酸素を吸収し、光合成をして成長するためには、その体は直立して支えられていなければならない。水耕栽培などの植物工場の場合はワイヤなどにより支えられていることが多い。また、支えられていないように思われる水草なども、実は浮力で自分自身を支えている。一般の林木、作物、野菜などは上記の3要素の吸収を安定して確保するため土壌中に支持根を伸長させている。しかしながら、支持根を伸長させるに十分なスペース(土壌深)がない場合は大きな成長阻害を引き起こす。

2) 必須元素の供給

植物の成長には養分(いくつかの栄養元素)が必ず必要であり、それらは他の元素によって置き替えることは不可能である。そのような栄養元素を必須元素といい、現在16元素が認められている。すなわち、空気や水から得られ光合成により固定される炭素、水素、酸素の3元素と、主に土壌から供給される窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム、硫黄などの多量元素、さらに比較的少量が必要とされるマンガン、ホウ素、銅、鉄、亜鉛、モリブデン、塩素の微量元素である。(表5.1.1)

土壌中ではこれらの必須元素は土壌有機物や無機物(鉱物など)の中に存在している。有機物は植物、微生物、動物の遺体やそれらが分解・変成した腐植からなっているが、さらに微生物により分解され植物の養分となる元素を土壌中に放出する。一方、無機物は風化により鉱物の結晶格子内にある元素を土壌中に放出する。それらの放出された元素は土壌溶液と植物根を介して植物体へと吸収され、成長のための利用される。元素は土壌溶液中では陽あるいは陰イオンとして存在しているが、それぞれの含量は等しく、それゆえ溶液の電荷はゼロである(電気的中性則)。この原則は植物根による養分吸収の際にも適用され、陽イオン(例えば Ca^{2+})の

表 1.1 必須元素と土壤溶液中での形態

元素	形態
多量元素	
窒素	NO_3^- 、 NH_4^+
リン	H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-}
カリウム	K^+
カルシウム	Ca^{2+}
マグネシウム	Mg^{2+}
硫黄	SO_4^{2-}
微量元素	
マンガン	Mn^{2+}
鉄	Fe^{2+}
ホウ素	H_2BO_3
亜鉛	Zn^{2+}
銅	Cu^{2+}
モリブデン	MoO_4^{2-}
塩素	Cl^-

吸収時には植物体から水素イオン (H^+) が放出され、また、陰イオン (例えば NO_3^-) の吸収時には水酸イオン (OH^-) や重炭酸イオン (HCO_3^-) が放出され電的中性が保たれる。

安定した自然生態系においては、植物は自ら必要とする養分を植物体と土壤との間で循環させている。従って、未耕地 (自然生態系) を耕地へと転換し生物生産を行った場合 (農生態系)、養分は収奪されつづけるため、外からの投入なしに長期間にわたって高い作物収量を維持することは困難である。それゆえ、古代より堆肥やその他の物質を投入する営農管理による土壤肥沃度の向上 (養分の補給) が図られてきたのである。

3) 養分の保持

土壤有機物や鉱物から放出された養分は植物により吸収され成長に利用させるが、吸収されなかった部分はどのようなのだろうか。土壤の構成物である土壤有機物

や鉱物は一般に正あるいは負に帯電している。帯電の様式は有機物や鉱物の成分や構造により異なり、また、土壤がおかれている環境 (例えば pH) によりその量に変化したりする場合もある。それゆえに正荷電を持っている部分は土壤溶液中の陰イオン (例えば NO_3^-) を、負荷電を持っている部分は陽イオン (例えば Ca^{2+}) を電気的に吸着できる。土壤はこのようにして土壤溶液中にイオンとして存在する養分を一時的に保持し、降水とともに溪流水や湖沼、海洋への流亡するのを阻止することができる。保持された養分は植物根が近傍に伸長してきた際には、イオン交換反応により放出され植物へと吸収されていく。このような個々の土壤の陽イオン保持能は陽イオン交換容量 (Cation Exchange Capacity: CEC)、また、陰イオン保持能は陰イオン交換容量 (Anion Exchange Capacity: AEC) として測定され、土壤肥沃度を表現する重要なパラメータとして広く用いられている。一般的には CEC に比べて AEC は少ないので、陰イオンで存在する養分は土壤中から失われやすい。

4) 水の供給

一定量の植物体 (乾燥重) を生産するためには、一般的にその数百~数千倍の水が必要とされる。吸収される水の約 1% が植物体の構造へと取りこまれるが、99% は養分元素の移動媒体に使われた後、葉から蒸散される。土壤中から吸収すべき水が不足した場合には植物の成長は大きく阻害される。従って、土壤の水を保持する能力 (保水性) は極めて重要であるが、逆に土壤中の水が多量に存在し、孔隙中のほとんどを占めるような場合 (飽和状態) には土壤中の酸素含量が低下し、植物の成長を阻害するので、過剰な水を排除すること (排水性) も必要である。

5) 酸素の供給

根も植物の他の部分と同様に呼吸している。植物は呼吸することにより得たエネルギーを使って光合成やその産物の体内での移動を行う。また、土壤溶液中の養分元素の濃度は、しばしば植物体内より低いことが多いにもかかわらず、濃度勾配に逆らって、植物はそれらの元素を能動的に吸収する必要があり、そのときに植物は多くのエネルギーを消費する。このように植

物にとって呼吸は不可欠であり、そのために十分な酸素が供給される必要がある。酸素は大気から土壌中へと拡散し、根から植物体へ取り込まれ呼吸に利用されるため、土壌は大気を通過させる性質（通気性）を持っていることが望まれる。

酸素は上述のように植物の成長に直接的に必要であるばかりでなく、微生物を通して間接的にも影響を与える。土壌中の好気性微生物は土壌中の酸素を利用して生きているが、その際に土壌有機物を餌として生長し、その結果、土壌有機物は炭酸ガスと水に分解され、その中に固定されていた無機栄養元素は土壌中に放出される。植物は放出された無機元素を栄養として取り込み成長することができ、元素は植物体と土壌有機物の間を微生物と酸素の働きにより循環する。

6) 土壌団粒の意義

3)と4)に述べたように、植物は土壌に対して保水性と排水性（通気性）という相反する性質を持つことを要求している。それでは土壌はどのようにしてそれらの性質を持つことができるのだろうか。普通の土壌を手にとってみると、それは砂丘の砂のようではなく、いろいろな大きさ（粒径）の粒子が多数集まって塊をなしていることに気づくであろう。この塊は団粒と呼ばれ、その中にいろいろな大きさの孔隙を有している。小さな孔隙は毛管現象により水を強く保持することが可能である一方、空気を通過させにくい。反対に大きな孔隙は水を失いやすいかわりに空気を通過させやすい。注意したいのは、もし団粒が一定の粒径の粒子のみからなっていたならば、そこにある孔隙の大きさも一定であるが、植物の培地となるような一般の土壌はそうではないことである。土壌は団粒を形成することによりいろいろな大きさの孔隙を創り出し、保水性と通気性の相反する性質を併せ持つことが可能である。

1.2 土壌肥沃度と土壌生産力

土壌肥沃度は「温度や他の植物成長規定因子が適正な場合、いかなる必須元素についても過剰障害を引き起こすことなく植物へ供給することができる土壌の質」と定義されている。従って、土壌肥沃度は植物成長を制御する一つの側面、すなわち、バランスの取れた養分供給能力、にのみ言及するものである。一方、土壌生産力は「最適管理の下で、ある種の植物をある収量だけ生産することができる能力」である。例えば、「水稻生産に関するある土壌の生産力は、最適管理の下では $x \text{ kg/ha}$ である」というように表現する。ここでの最適管理とは播種時期、施肥管理、灌漑管理、耕起法、輪作体系、病虫害管理が適切であることをいう。一般的には、土壌生産力はそれぞれの種類の土壌について、作物ごとに、何年かにわたって収量を調査することにより判定される。従って、土壌生産力の判定には、気象の影響はもちろん、その種の土壌が置かれている斜面の傾斜や方向といった環境特性についても考慮することが必要である。このように土壌生産力は植物成長に及ぼす土壌およびそれを取り巻く全ての因子を表現するものである。

「高い土壌生産力を持つ土壌、すなわち高い作物収量をあげる土壌の土壌肥沃度は高くないなければならない」が、「土壌肥沃度の高い土壌はすべて土壌生産力が高い、すなわち高い作物収量をあげることができる」とはいえない。上に述べたように、高い土壌生産力は最適管理の下で得られるものであり、管理が適切でない場合は高い土壌生産力を期待することはできない。一般的に砂漠のような乾燥地の土壌は降水により土壌養分が流し去られることがないため、養分に富み、土壌肥沃度が非常に高いが、極めて限られた降水しか得られないという気候環境下

にあるため、灌漑することなしには水稻をはじめとする作物に関して高い土壌生産力を期待することは不可能である。

土壌生産力は基本的に土壌学的概念というよりは経済学的概念である。この概念の中には、1)投入（具体的な土壌管理システム）、2)産出（ある作物の収量）、3)土壌の種類が含まれる。投入と産出の関係から正味の利益を評価して管理計画を立てる場合、土壌生産力の二つの側面が重要である。第一は、同様の投入を与えても、それを吸収して、ある作物の収量を向上させる能力は土壌の種類により異なること、第二は、同様の投入を与えても、それを吸収して収量を向上させる能力は栽培する作物により異なることである。土壌生産力を議論する際には、これら二つの側面をはっきり分けて行う必要がある。

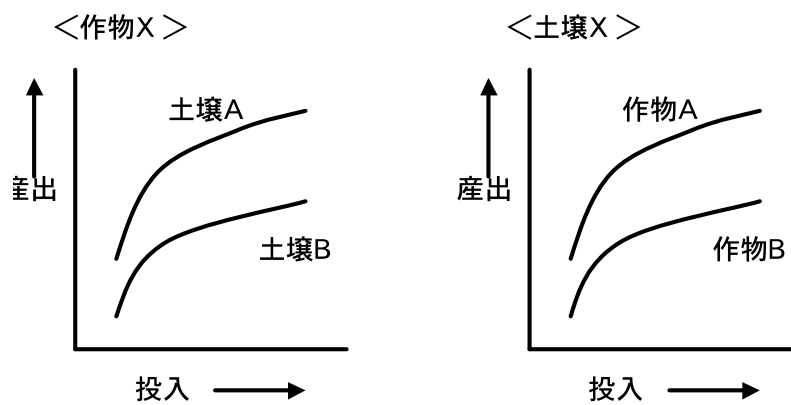


図 1.1 土壌生産力と土壌肥沃度

(小崎 隆)

引用文献

- H. D. Foth: Fundamentals of Soil Science, John Wiley & Sons., New York, 1990
久馬一剛編: 最新土壌学、朝倉書店、東京、1997