

File No. 34 養分償還（施肥）の法則と収量漸減の法則

養分償還（施肥）の法則（theory of nutrients returns）とは、農業生産に於いて、農作物が土壌から吸収し、収穫物により持ち出された養分元素を土壌に償還し、土壌養分を一定レベルに維持しなければならないということである。養分の償還をしない又は不十分の場合は、土壌が次第にやせていき、収量が減り、最終的に不毛の地となる。

表1は本邦の主な作物が土壌から持ち出された養分元素の量を示すデータである。

表1. 農作物が土壌から持ち出された養分元素の量

作物名	1作当たりの現物収量 (kg/10a)	現物1トンの持ち出された養分元素量 (kg/t)			10a当たりの地上部養分吸収量 (kg/t)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稲	596	18.70	9.25	26.36	11.14	5.51	15.70
小麦	477	25.18	9.50	31.08	12.02	4.54	14.84
大豆	296	69.17	16.32	32.10	20.49	4.83	9.51
小豆	279	40.68	15.31	35.44	11.36	4.27	9.90
落花生	200	63.00	7.40	26.80	12.60	1.48	5.36
サツマイモ	2,664	4.21	1.27	5.93	11.21	3.40	15.81
ジャガイモ	3,550	2.65	1.08	7.15	9.41	3.83	25.39
スイートコーン	1,360	10.72	4.43	17.30	14.57	6.02	23.52
キュウリ	11,811	1.78	1.11	3.99	21.17	13.19	47.41
トマト	15,468	1.52	0.64	3.57	23.58	9.95	55.26
キャベツ	5,645	4.83	1.25	5.16	27.24	7.03	29.11
ハクサイ	11,244	2.07	0.82	4.43	23.26	9.17	49.84
レタス	1,543	3.62	1.24	4.28	5.58	1.91	6.60
ホウレンソウ	1,604	4.63	1.29	8.51	7.43	2.07	13.65
ダイコン	5,527	2.15	0.93	4.28	11.90	5.16	23.64
ニンジン	6,281	2.03	0.63	4.99	12.73	3.98	31.37
ネギ	3,869	4.47	1.15	4.37	17.31	4.45	16.90
お茶	398	131.66	26.23	67.29	52.40	10.44	26.78
ミカン	5,180	5.62	0.69	3.64	29.10	3.58	18.83
リンゴ	2,810	3.10	0.82	3.20	8.70	2.30	9.00
ブドウ	1,500	5.87	2.80	6.80	8.80	4.20	10.20

註：上記のデータは農業環境技術研究所の「わが国の農作物の養分収支」から引用したものである。

表 1 に示すように、10a あたりの耕地は 1 年間に収穫物により窒素、りん酸、加里の三大養分元素がそれぞれ数 10kg 持ち出されている。もし、養分の補充をしない場合は、数年後、長くて 10 数年後、土壌中の養分元素が農作物の基本的な生長さえ満足できなくなるまで消耗される。収量の減少を防ぐために、持ち出された養分を土壌に返さなければならない。これは養分償還の法則である。

養分償還の法則は 19 世紀のドイツ有機化学者リービッヒ (Justus Freiherr von Liebig) 氏が提出した概念である。リービッヒは、1840 年に出版した著書の中に「植物が生育のために土壌から養分を吸収する。毎回の収穫は必ず土壌からいくつかの養分を略奪し、土壌を貧弱化させる。収量を維持するために植物が略奪した養分を土壌に帰還しなければならない」と述べた。

農業生産は収穫するたびに土壌から養分を持ち出している。土壌は巨大な養分貯蔵タンクのようなものではあるが、無尽蔵ではない。何らかの形で持ち出された養分元素を土壌に返さなければ、長年にわたって収量を維持することが無理な話である。養分償還の方法は大体以下の三つである。

1. 収穫した農作物の茎葉残渣などと人間や家畜の排泄物を土壌に返す。即ち、土壌から持ち出された養分を再び土壌に返却する。
2. 自然界の再生機能を利用する。即ち、耕地を休耕して、土壌微生物の窒素固定機能や大気放電 (稲妻) による窒素養分の合成、岩石や粘土鉱物の風化により含まれているりん酸、加里養分の放出、微生物と植物によるりん酸、加里養分の活性化などを通じて、失った土壌養分を補う。また、河川の氾濫により上流森林の肥沃な堆積物を下流にもたらし、土壌肥力を回復させることも自然界の再生機能に属する。
3. 化学肥料を施用する。即ち、養分元素を豊富に含有する化学肥料を施用することにより、失った土壌養分を補充する。

化学肥料が発明される前の 19 世紀までは、温帯地域に位置するヨーロッパでは、輪作と休耕を繰り返す三圃式農法を行ってきた。即ち、農地の地力低下を防ぐことを目的として、農地を冬穀 (秋蒔きの小麦・ライ麦など)・夏穀 (春蒔きの大麦・燕麦・豆など)・休耕地 (放牧地) に区分しローテーションを組んで耕作し、休耕地では家畜が放牧され、その排泄物が肥料になり、土壌を回復させる手助けとなる農法である。現在の混合農業に発展してきた。

エジプトでは、ナイル川の毎年 7 月モンスーンシーズンに発生した洪水は上流の肥沃な表土を下流に流して農地に沈積させる。洪水がもたらした養分が農地の地力低下を防ぎ、エジプトの古代文明を維持してきた。

一方、東南アジアやアフリカの熱帯地域では、数千年の間に土壌の貧土化を對抗するために焼畑農業を行ってきた。即ち、熱帯雨林の区画を決めて焼畑を行い、1~2 年の栽培が終わると放棄し、他の区画へと移動する。農作物の栽培により貧弱となった土壌が自然に生やした雑草や小木が地力を回復させる点が特徴である。元の区画には条件にもよるが、

10年以上の休耕期間を置けば、地力を元に回復させることができる。

本邦では、鎌倉時代になって幕府が二毛作を奨励すると、人の糞尿を下肥（肥料）として使用するようになった。江戸時代に入ると、糞尿のほとんどすべてが下肥として使用される。江戸では、近郷の農家が野菜と交換に争って糞尿を汲み取らせてもらうようになったり、専門の汲み取り業者によって、糞尿は商品として流通するようになったりして、江戸の糞尿は河川を利用して、関東各地へ肥船で運びだされた。当時の江戸が、人口 100 万人を超える世界最大の都市に成長し、かつ極めて清潔に保たれた背景には、始末に困る糞尿を下肥として使用し、農業の生産性を高める循環システムが確立されたためであるといわれている。リービッヒは「肥料の輸入なしに食料を完全に生産している日本の農業は、土壌から収穫物として持ち出した養分を完全に償還する。収穫物は地力の利子であり、これを引き出す資本には決して手を付けていない」と江戸時代の都市と農村の間での人糞尿やかまどの灰を介した養分の循環を絶賛していた。

20 世紀に入って、アンモニアの人工合成技術が開発され、化学肥料工業が発達し、尿素、りん安などの化学肥料を安く製造するようになった。現在、土壌への養分帰還はほとんど化学肥料の施用により行われている。農作物の収量が増加し、世界人口の爆発な増加に伴う食糧需要の増大にも対応できるようになったのは、化学肥料の功績が非常に大きい。

一方、肥料の施用が収量に与えるプラス的な影響が一定の範囲に限られ、その影響力が収量漸減の法則（law of diminishing returns）に支配される。収量漸減の法則とは、投入される養分の単位量当たりの増加に伴う収量の増加分が次第に減少し、ある時点で養分をいくら投入しても収量が増えない現象を指す。即ち、肥料の施用量を増やすと収量が多くなるが、施用量の増加と収量の増加とは平行しない。施肥量の増加に伴い、次第に収量の増加が少なくなり、ついに収量が増えない所、すなわち最高収量に達する。この時点の施肥量が最大限界量と呼ばれる。それ以上に施肥すると、逆に収量が減少する。このように収量の増加が施肥量の増加に伴わないで次第に少なくなることを収量漸減の法則という。収穫逓減の法則という別名でも知られている。

収量漸減の法則は、リービッヒの最小養分率を補うためにドイツの化学者ミッチェルリッヒ（E. A. Mitscherlich）氏がエンバク（燕麦）のりん酸肥料の養液栽培試験データを元に 1909 年に発表したものである。ミッチェルリッヒ氏は、他の養分が十分に存在しているときに、ある養分の増加で収量は増えるが、養分増加量に対する収量の増加量割合は次第に減少し、最高収量に達すると増加はゼロとなると指摘する。収量漸減の法則は下記の計算式で表示する。

$$\frac{dy}{dx} = \alpha (A - y) \quad y = A\{1 - \exp(-\alpha x)\}$$

y : 収量、x : 養分量、A : 最高収量、 α : 効果率（係数）

実際に養分量が最適量を超すと、収量はかえって減少するので、その後、上記の式が次のように訂正された。

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dx} = \alpha \frac{A-y}{y} - 2kx \quad k : \text{被害率}$$

収量漸減の法則は図 1 の曲線で表示できる。

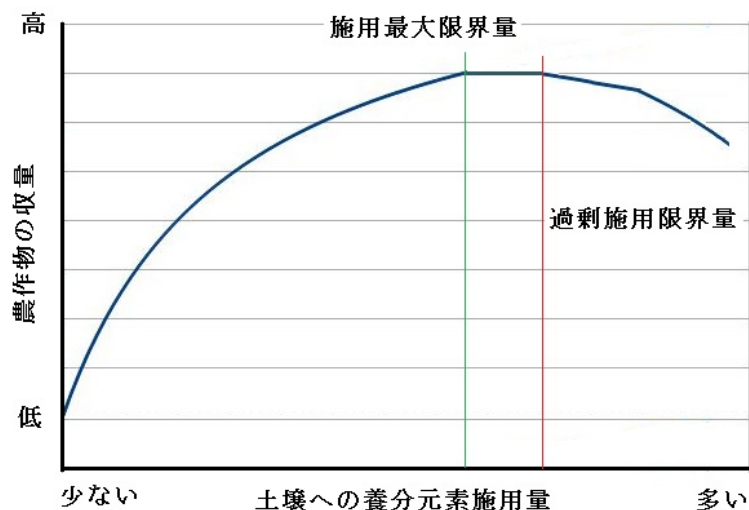


図 1. 肥料養分施用量と収量との関係

養分償還の法則と収量漸減の法則は適正施肥の理論根拠である。収穫物により持ち出された養分元素を土壌に補充しなければ、土壌が次第にやせて、収量を維持することができないが、逆に過剰施肥の場合は作物の生理障害を引き起こし、収量が増えるどころか、減少することさえある。農作物に利用されなかった余剰の肥料成分は表土に蓄積して塩類集積障害を起こす。また、肥料成分が流亡して環境を汚染する恐れもある。従って、投入量（施肥量）と報酬（収量）の関係を深く注意し、土壌診断、農作物の種類に合う作付方式等を通じて、適正な施肥量と施肥方式を決め、コストパフォーマンスの高い農業生産を行うことは非常に重要である。