

本当の環境保全型・循環型・持続可能型農業とは

— とくに農地土壌の元素の出納について —

Ideas Regarding True Ecological, Recycling, Sustainable Agriculture

—With Special Attention on the Input–Output Balance of Elements in the Farmland Soil—

千秋 達道*

Tatsudo Senshu

北里大学獣医学部

青森県十和田市東 23 番町 35-1 〒 034-8628

2015 年 3 月 31 日受付, 2015 年 4 月 21 日受理

はじめに

大げさなことを言うようだが、われわれ現代の地球上に生きる人間が最も優先的に考えなければならないのは、次世代の人類に先代から受け継いだ健康で安全に生きていける地球環境を引き継ぐことである。長年にわたって人類の営みの中で培われてきた現在の地球環境は、まさに宇沢弘文 (1928–2014) が唱えた「社会的共通資本」(宇沢, 1995) である。その中で、農地の土壌成分は重要な要素であり、我々現代の人類が、受け継いだ農地の土壌環境を、意図せずとも、バランスを崩し、変質劣化させて次世代に引き渡すようなことは、許されることではない。

20 世紀後半の目覚ましい産業技術の発展により、多くの人々が物質的な豊かさを実感・享受できるようになったが、これに伴って、各地で大気汚染、温室効果ガスの増加による温暖化、異常気象などの問題が深刻化している。長期間にわたり化石燃料の燃焼によって生ずる二酸化炭素の増加に有効な対策をとってこなかった近代の産業技術もまた、放射性廃棄物の処理対策が不十分なまま運転を始めた原発と同様に、地球を「トイレなきマンション」とした点では同罪である。

農林水産業でも、地球上の物質循環よりも当面の経済性を優先して、食料やその生産原料である家畜の飼料を、継続的かつ大量に海外から輸入している我国や他の一部の経済大国の行為は、地球上の物質循環を破綻させ、輸入国土壌の富栄養化 (汚染) とともに輸出国農地の養分の収奪により、各種元素の偏在化と全地球的な光合成量の減少などの環境悪化を招いている (三輪と小川, 1988; 千秋, 2001a, 2001b)。Kirchgessner ら (1992) は、旧西ドイツの農産物の輸出入量から、国内全体の農地の窒素の出納を調査集計し、窒素の排出による環境負荷の低減のための飼養技術に関する提言を行っている (千秋, 1999; 2002)。

日本国内に限って見れば、工業製品の輸出拡大による外貨収入によって国民の所得は向上し、海外から農畜産物を容易に輸入出来るようになった。しかし、これは取りも直さず国内の人件費の高騰を伴い、生産費に占めるその割合が高い国内の一次産業は衰退傾向が続いている。国産飼料穀物の生産費は輸入品の 5 ないし 10 倍を超えたことも稀ではなかった。

経済性を重視した多投入型営農のはじまり

この国で農業生産が経済行為として認識されるようになったのは、そんなに古いことではない。1945 年の第二次大戦終了後に民主制国家となってからである。それ以前は、土地は支配者 (明治維新までは各地域の封建領

* 連絡者: 千秋 達道 (せんしゅう たつどう)
(北里大学獣医学部 動物資源科学科)
〒 034-8628 青森県十和田市東 23 番町 35-1
Tel. 0176-23-4371
E-mail: senshu@vmas.kitasato-u.ac.jp

主、藩主、明治以降は君主（天皇）に所属し、農民は支配者や国民（臣民と言った）の為に食料を生産・供給する義務を負わされていた。収穫物（とくに米）を政府に引き渡す（もちろん有償ではあったが）ことを「供出」と言った。ここでは農業生産を経済行為とする認識は許されていなかった。1945年の敗戦後、連合軍占領軍司令部（GHQ）の指示による農地解放（自作農創設特別措置法：昭和21年法律43号）によって、大地主の所有する農地が小作農民に分配され、多数の小規模自作農が生まれた（石井、2013）。自作農家は収入を得るための経済行為として農業を営むようになった。「儲かる農業」という言葉が生まれたのもこの頃である。時を同じくして、国内の工業生産の発展を主軸とした経済成長が始まった。農業が工業と同じ速度で発展するのはかなわなかったが、それでも各地で「多収穫を目的とした多投入」や「経済効率向上のための規模拡大」が行われた。

言うまでも無く、収穫された生産物中のタンパク質・脂肪・炭水化物は、植物が空気と水から取込んだC H Oの各元素を材料として合成したものであるが、他の全ての元素（N（マメ科の場合は除く）、K、Ca、Mg、Cl、P、S、Feなど）は、作物が農地の土壌中から吸収によって取得したものである。それらの元素の種類と量は生産物の種類によって異なるが、いずれも収穫によって農地土壌から持出される（収穫される）。これと逆に、生産物に含まれない元素は土壌中に残留・蓄積する。同一作物を連作すると次第に減収傾向となることは、古くから経験的に知られ、連作障害と呼ばれた。とくに畑作地帯ではそれが顕著であった。土壌分析の技術が未発達であった時代には、毎年養分要求の異なる作物を順繰りに栽培すること（輪作）によって、土壌中の特定の元素が不足（または過剰）となることを回避していた。もっともこのような対策は、人口密度が高く集約的営農が求められていた一部の先進国内農地に限られ、東南アジアやアフリカ、中南米などの植民地や新規開拓地などでは、原住民から奪った農地や伐採した原生林で、ゴム、油ヤシ、コーヒーなどの大規模連作が行われてきた。日本も、木材調達のために大規模な熱帯雨林の伐採を行ってきた。

今日の我国の農業は、とくに1995年に合意されたガットウルガイラウンドや現在進行中のTPP交渉など一連の貿易自由化の対策として、地域特産品の開発が奨励され、各地で特産作物の大規模栽培地帯（キャベツ、大根、トマト、イチゴなど）が生れている。地域の特産品であるから、当然多くは同一作物の連作である。そこには、輪作体系による土壌成分の保全や農業生産の長期的持続性などは二の次にせざるを得なかった事情が察せられる。しかし、最近2015年3月に発表された第44回日

本農業賞受賞者の中に、集落営農のために統合した農地で、集団化前の区画を輪作体系に活用して成果を上げているグループがあった。復活した輪作農業の今後を、期待を持って注目したい。

高度経済成長後に出現した考え方と農法の背景と評価

高度経済成長期に、農業が多収を目指した多投入型となっていた時期には、輸入飼料の利用によって規模拡大した畜産から発生する家畜糞尿の流出による環境（土壌・水圏）の汚染やその処理で生じた堆肥の過剰施肥による農地の富栄養化（過度の肥沃化）のほか、高頻度の農薬散布による農業者の健康被害も多発していた。高度経済成長が落ち着くと共に、これらの反動・反省として、経済性偏重が見直され、環境保全・物質循環・持続性（サステナビリティ）・家畜の快適性を考慮した飼育（動物福祉）などが意識されるようになった。EUのコーデックス委員会のガイドラインなどに示された無化学肥料、無農薬、非遺伝子組み換えなどを骨子とする「有機農業」が注目され、日本でも通称「有機JAS法」といわれる公的な認証制度（有機JAS規格、2000.1.20.農水省告示59号）が作られた（日本有機農業学会、2002；松木と永松、2004）。

これとほぼ時期を同じくして、これまで長年にわたって培われ推奨されてきた技術とは異なる、むしろそれらを否定するような農法が提案されている。具体的には、不耕起・無除草・無農薬・無肥料・無肥料自然栽培などと称されるものである。これらのうち、不耕起栽培（魚住、2011）および無除草：除草剤不使用（魚住ら、2012）については、学会誌に報告がなされている。しかし、多くの有機および循環型と言われる農法や無肥料栽培（無肥料自然栽培ともいわれる）には、今後の環境を保全した農業生産の持続の点から、少なからず懸念を感じざるを得ない。

土壌中元素量の変化のモニタリングと検出感度の問題点

土壌中の元素量は、農地の状態を示す最も基本的なデータの一つであるが、ここで特に注目したいのは、土壌成分の変化の「検出感度」と「その結果の評価」についてである。

以下に二つのモデル（表1、表2）について考える。いずれも成分表等の平均値または推定値で、特定の事例の実測値ではない（農林水産省農林水産技術会議事務局、

1998；財団法人農林統計協会、2000；文部科学省科学技術・学術審議会、2008)。

表1は、イネ科混播草地に、成搾乳牛または肥育後期の肉牛を放牧した場合の例である。1頭当たり1haの草地では、年間乾物として10tの草が生産・採食され、牛乳5000kgまたは赤肉300kg(DG0.82)が生産されると想定した。成牛または肥育後期牛で、成長は終了しているものとした。採食した成分のうち乳(B)または肉(C)に用いられるのは一部で、それ以外((A)―(B)および(A)―(C))は糞尿として排出され草地に還元される。なお、牧草によって光合成された炭水化物やタンパク質は、もっと高い割合で消化・吸収され、生産物の合成に利用されているのは言うまでもない。このような場合、糞尿をすべて還元することで、それ以外に施肥を行わなくても「循環型生産」が行われているように錯覚されることが多いが、牛乳や屠畜体として出荷される元素は、草地土壌から持出され、還元されてはいない。毎年これだけの量の元素が持出されても、後述するように

1haの表土の容積に比べて微量であり、通常の土壌分析(日本草地学会、2004)では検出限界以下であるため「変化無し」と見なされてしまうことが多いが、これは真の持続的生産とは言えない。

また肉生産の場合は、肥育牛のみでなく、中間段階の素牛や、乳用種雄子牛および老廃牛を出荷する場合も同様に牛体成分が持出されるので、元素の移動は複雑である。基礎動物栄養学の分野では、小型実験動物で体成分の蓄積や体組成の変化などの測定に動物の全体(全身)分析(Whole body analysis、Carcass analysis)が行われるが(屠殺試験といわれる)、大家畜では実施がたいへん困難であり、参考となるデータも少ない(森本、1975)。屠体全体の元素量は、通常の屠畜データ(枝肉重量、同歩留り、精肉重量、同歩留り等)から推定することはできない。しかし、屠体全体の元素量を知ることが、農地の元素出納の把握にとって重要であり、近い将来に何らかの測定計画の立案と実施が望まれる。

表2は、主な作物の生産物の収穫により農地土壌から

表1:1haの放牧草地の年間生産物中の主な元素*

		元 素				
		N	Ca	P	Mg	K
		kg				
イネ科混播草	DM10t (A)	216.6	48.2	39.0	25.0	316.2
牛 乳	5000kg (B)	25.6	5.5	4.6	0.5	7.0
牛 赤 肉	300kg (C)	9.93	0.012	0.54	0.066	1.02

*いずれも成乳牛または肥育後期牛で成長を終わり、牛体成分の増加は無かったとして計算。

表2：主な作物の生産物収穫により農地土壌から持ち出される窒素量

作 物	栽培面積 千ha	生産量 千t	収 量 t/ha	収穫物N kg/ha	
粗 飼 料	イネ科牧草類	820	41,984	51.2	216.1
	同サイレージ				
	コーンサイレージ	125	5,212	41.7	206.8
飼料穀物 ¹⁾	トウモロコシ			4.2	59.1
	大麦			2.4	40.7
食用穀物	水稻	1,786	9,180	5.1	60.4
	麦類	221	788	3.6	60.5
	大豆	108	187	1.7	96.0
野 菜 類 ²⁾	だいこん	48.5	1,902	39.2	50.2
	キャベツ	37.5	1,404	37.4	83.8
	かぼちゃ	18.0	258	14.3	29.7
	スイートコーン	31.2	286	9.2	48.6
	すいか	18.2	603	33.1	37.1
	レタス	21.5	506	23.5	56.4
果 実 類 ²⁾	みかん	64.2	1,192	18.6	23.8
	りんご	48.3	870	18.2	5.8
	日本なし	18.2	382	21.0	10.1
	かき	26.7	259	9.7	6.2

¹⁾ 海外主要生産国平均 ²⁾ 国内作付面積の大きいもの

持出される窒素 (N) の量である。作物の種類により、生産物として持出される面積当たりの量は、大きく相違している。

農地の土壤に出入りする元素の組成の相違は、収穫される作物によるだけではない。有機農業における肥料の主体は堆肥であるが、その材料は家畜糞尿、耕種副産物、食品残渣などさまざまである。家畜糞尿の成分も、家畜の種類・用途と給与されていた飼料により相違する。当然、施用される堆肥の成分は、作物の生産に必要な元素が的確に供給されるものであることが望ましいが、必ずしもそうではない。どんな堆肥でも良いということではなく、施用する対象に適した成分の堆肥が望ましい(家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律、平成 11 年法律第 112 号)。生産物の出荷により持出される各元素の量を補填する施肥を単年度ごとに行うことは現実には困難であるが、それでも数年程度の間隔で、顕著な過不足の調整対策を考えるべきではないだろうか。EU の有機基準では、化学肥料は原則禁止ではあるが、画一的な禁止ではなく、土壤成分や作物の養分要求と堆肥の成分を考慮して、必要な場合には施用が認められている。

そこで問題なのは、収穫と施肥によってもたらされた農地土壤中の元素量の変化が土壤分析で検出されず、「土壤成分に変化はなかった」と判定されてしまうケースである。変化が検出されなかったからと言って、それが持続可能ということにはならない。これは以下に述べるように、無肥料栽培を含めて、施肥の過不足いずれの場合も同様である。

表 2 に示した中で、生産物の収穫により持出される元素量が大きい一例として、イネ科牧草や飼料用トウモロコシの N について考えて見る。1 ha 当たりの N の施肥必要量および収穫物中含量は、いずれも約 200kg / ha またはそれ以上で、この元素量が収穫によって土壤から持ち出される。作物が根を張り、養分吸収活動を行っている深さ(表土、耕土、根圏などの語がある)は、土壤の養分や水分により相違するが、ここでは 10cm から 50cm くらいの範囲と仮定し、団粒構造等による密度の相違は考慮せずに話を進める。1 ha の土壤の容積は、深さ 10cm では 1000 m³ (水ならば 1,000t)、50cm では 5000 m³ (水ならば 5,000t) である。これを土壤中の濃度として見ると、上記の N 200kg の元素量は土壤 1000ml 当たり 0.2 および 0.04mg である。飼料用トウモロコシは極端に養分要求量が多い例だが、表 2 に示すように、他の多くの作物の場合は、これよりかなり少ない。他の元素でも傾向は同様である。生産物の収穫により単年度に土壤から持出される元素の量は意外に僅かなのであ

る。当然ながら土壤環境の変化も同様に僅少と思われる。また、農地の土壤は実験用ポットの土壤や水溶液のように均質ではない。従って、施肥や収穫の前後の土壤分析の結果に有意差が見られない場合は少なくない。これでは無肥料栽培を数年程度続けても土壤成分の変化が検出されることは稀であろう。さらに、土壤中の養分が不足する場合は、作物が根を伸長して養分吸収力を高めるため、生育不良や減収が顕在化するのにはさらに遅れると思われる。近年、木村 (2012) による無肥料自然栽培農地に関する記述が注目されている。この中で杉山 (2012) はこの農法に関する科学的説明と問題点の指摘を試みているが、明確な結論を得るには至っていないようである。

「自然栽培」の定義が明確でないので、ここでは専ら「無肥料栽培」に限って考える。このような、土壤の変化が検出されない状態を、持続性が維持されている (sustainable) と誤認して長期間継続し、何年後かに、何時の間にか養分のバランスを失った荒廃農地に気付くようなことは避けなければならない。18 世紀半ばに始まった産業革命で、化石燃料の消費と、それに伴う二酸化炭素の排出が急増したが、大気中の濃度増加やそれによってもたらされた温暖化に人類が気付いたのは、200 年以上経過した 20 世紀後半になってからであったことを想起すべきである。

おわりに

筆者は土壤分析が無意味だと主張しているのではない。土壤分析は農地土壤の基本的性質を知る上で、先ず行うべき検査であるが、生産物の収穫や施肥による土壤中元素の増減のモニタリング手段として頼ることは適切ではない。持続性ある農業生産にとって本質的に重要な農地土壤の正確なモニタリングは、土壤の分析によるよりも、収穫される生産物 (Output) と、施用される肥料 (Input) の元素量に基くべきである。そうすれば、無肥料栽培の長期持続の可能性の有無は自明である。環境の受容力や、地力すなわち土壤中の埋蔵養分量 (資源量) は有限であることを忘れてはならない。

引用文献

- 石井啓雄. 日本農業の再生と家族経営・農地制度、242pp. 新日本出版社. 東京. 2013.
- 木村秋則編. 木村秋則と自然栽培の世界. 日本経済新聞出版社. 東京. 2012.
- Kirchgeßner, M., Roth, F. X. und Windisch, W. Beitrag der Tierernährung zur Entlastung der Umwelt (環境負荷低減

- に対する家畜栄養学の寄与). Vortrag anlässlich des 4. Forums Tierernährung der BASF AG, 4. und 5. Nov. 1992.
- 森本 宏. 改著家畜栄養学. 第6版. 434. 養賢堂. 東京. 1975.
- 三輪睿太郎, 小川吉雄. 集中する窒素をわが国の土は消化できるか. 科学 58, 631-638. 1988
- 文部科学省科学技術・学術審議会 資源調査分科会報告「五訂増補食品成分表」2008.
- 日本草地学会. 草地科学実験・調査法. 378-394. (社)畜産技術協会. 2004.
- 日本有機農業学会編. 有機農業 政策形成と教育の課題. 有機農業研究年報 Vol.2. コモンズ. 東京. 2002.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編. 日本標準飼料成分表(1995年版第3版). 中央畜産会. 1998.
- 財団法人農林統計協会編. 平成11年度食料・農業・農村白書附属統計表. 2000.
- 千秋達道. 21世紀に生き残れる条件. 第56回東北畜産学会大会シンポジウム「東北地方における環境保全型畜産構築に向けての展望」講演要旨. 東北畜産学会報 49(2):35-44. 1999.
- 千秋達道. 環境保全型畜産の意義－発想転換のすすめ－東北畜産学会報 50(3):53-60. 2001a.
- 千秋達道. 環境保全と自給率－草地農業による物質循環－. 第56回日本草地学会大会公開シンポジウム講演要旨. 21-32. 2001b.
- 千秋達道. 研究紹介(Kirchgeßnerら(1992)の全文和訳). 北里大学獣医畜産学部循環型畜産研究会・合同委員会. 平成13年度北里大学獣医畜産学部プロジェクト研究循環型畜産研究会報告書:167-189. 2002^{註)}.
- 杉山修一. 自然栽培の化学に向けて. 木村秋則と自然栽培の世界(木村秋則編):56-63. 日本経済新聞出版社. 東京. 2012.
- 魚住 順. 特集トウモロコシの不耕起栽培、不耕起栽培の概略と東北地域への導入適性. 日本草地学会誌 57:155-161. 2011
- 魚住 順, 出口 新, 嶺野英子, 金子 真. ヘアリーベッチ(*Vicia villosa* Roth)を用いたリビングマルチによる飼料用トウモロコシ(*Zea mays* L.)の雑草防除. 日本草地学会誌 58:1-8. 2012.
- 宇沢弘文. 地球温暖化を考える. 岩波新書 403. 136pp. 岩波書店. 東京. 1995.

註) ご希望の本学会員には、独語原文または和訳文をPDFで送れます。引用の際は出典を明記して下さい。