

## 推薦の言葉

熊澤喜久雄

「環境破壊を伴わず地力を維持培養しつつ、健康的で味の良い食物を生産する農法を探求し、その確立に資すること」を目的として「日本有機農業研究会」が設立されたのは1971年であるが、「あるべき姿の農法」を簡潔に表現する呼び名として「有機農業」という言葉が選ばれたという（荷見武敬ら、1977）。

有機農業生産物の流通は、生産者から直接消費者に渡る直販、生産者グループと消費者グループ間の取引など、いわゆる「提携」によって行なわれた。有機農産物の生産と流通が広まるにつれて、その生産方法の特質と生産物の保証をするために、生産者は自己規制的に有機農産物の生産基準を定め、それを表示するようになったが、さらにそれらを公的なものとするために、有機農産物の規格が定められ表示・認証制度が設けられた。

わが国に先んじて有機農業が発展している欧米においても、有機農産物の統一基準・認証に関する規則の制定など、同様な進展がみられ、有機農業の奨励普及のための様々な公的支援がされている。

食料自給率が低いわが国においては、1992年以來「環境保全型農業」の提唱と推進がされるようになり、有機農業はその中に位置づけられた。環境保全型農業とは「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」（農林水産省：新政策、1992年6月）である。

2006年には有機農業推進法が成立し、国及び地方公共団体が、「有機農業の推進に関する施策を総合的に講じ、もって有機農業の発展を図ること」とされた。この法律で、「有機農業とは、化学的に合成された肥料及び農薬を使用しないこと並びに遺伝子組替え技術を利用しないことを基本として、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した農業生産の方法を用いて行われる農業」と定義された。

しかし、日本の有機農産物の総耕地面積に対する栽培面積の比率や市場規模は、欧米に比べて著しく低水準にとどまっている。有機農産物の健康効果についての研究も十分には進んでいない。有機農業に対する国民の理解も進んでいるとはいえ、

いっそうの推進政策が必要とされている。

今回、西尾道德氏による世界の有機農業の研究総覧ともいべき大著が刊行されたことは、有機農業問題に直接関心をもつ生産者、生産団体、研究者、学生のみならず、日本農業の発展と安全・安心な食料供給を望んでいる一般国民に対しても大きな貢献となると信じる。

ここでは世界的視野に立って、「有機農業を必然たらしめる集約農業の環境・健康影響」と「有機農業の歴史と発展」が、ヨーロッパ、米国、日本、あるいは国際的団体などについて、秘話を含めて詳細に紹介されている。「有機農業の定義と生産基準」では国別、あるいは国際団体別に、有機農産物、有機畜産物、圃場管理条件、施設栽培などについて、2021年施行予定の「EUの有機農業規則改正案」の紹介も含めて解説している。「有機農業の環境保全効果」は高く、土壌肥沃度の向上、生物多様性の維持をはじめ多くの改善が認められている。人の健康に影響を与える「有機農産物の品質」に関しては、栄養物、ビタミン類、抗酸化物質、カドミウム、亜硝酸、グルコシノレート、ミルクや赤肉のホルモン混入、その他肉の脂肪酸組成の相違などに至るまで検討され、総じて慣行農産物より有機農産物の方が優れていることが示されている。「有機農業だけで世界の食料需給がまかなえるか」の設問に関しては、賛否両論があるが、その論拠となる統計数字や考え方は興味を引くものがある。最後に「日本の有機農業発展のための課題」では多くの考慮すべき事項を取り上げ批判検討し、改善すべき点を具体的に指摘し、有機農業者への直接支払いを含め、今後の推進政策を提言している。

国家の枠を超えて流通する有機農産物を前に、今まさに、グローバル基準から日本の有機農業の現実を検証しなければならない時代が来ているのではないかという、著者の熱烈たる思いが込められている。

日本の有機農業の着実な発展を真に望んでいる著者、多年にわたり農業と環境との研究に従事してきた著者の有機農業に対する識見が広く斯界に知られ、日本の有機農業が世界の歩みに遅れることなく順調に発展することを祈念して、本書を江湖に広く推薦する次第である。

## はじめに

日本では有機農業に対する評価は二分されている。

日本はエネルギーベースで60%強の食料を外国から輸入している。途上国を中心に人口が増加し続けている世界の近未来を考えると、世界の食料増産を可能にした化学肥料や化学合成農薬を使用しない有機農業では、世界の食料生産量が低下し、世界の増加する人口を養えず、日本も外国からの食料輸入が困難になり、食料自給率の低い日本は深刻な食料難に陥る。こうした考えから、日本が有機農業を本格的に推進することに強い反対が存在する。

その反面、硝酸性窒素などによる水質汚染、残留農薬による食品汚染、農業者の農薬散布時の事故などによる、農村地域の環境汚染、農村や都市住民の健康被害などへの懸念が高まり、過度の化学資材に依存した集約農業への反対が高まると同時に、これらの問題を軽減するのに有機農業への期待が存在している。こうした2つの考えは、ややもすると、科学的論拠なしに、一方が他方を否定し合っている感を与えている。

1997年に『有機栽培の基礎知識』（農文協）を執筆した。この時点は、国際的に有機農業が発展し始めて、国際的に有機農業の定義や有機農産物の生産基準が政府間で検討されていた時期であった。1999年にFAO（国際連合食糧農業機関）とWHO（世界保健機関）の合同機関であるコーデックス委員会（国際食品規格委員会）が、「有機的に生産される食品の生産、加工、表示及び販売に係るガイドライン」を採択した（家畜生産と畜産物の条項は2001年に追加）。この後、主要国で有機農業に関する法律が急速に整備され、研究も急激に発展し始めた。

本書は、前著以降に急速に厚みを増してきた研究を踏まえて、有機農業が誕生し、発展してきた社会的動因を振り返り、そうした動因が主要国の有機農業の法律に如何に盛り込まれているか、そして、有機と慣行の農産物の品質は実際に異なるのかなどをまとめてみた。そして、日本の有機農業の法律が如何に国際的に未熟であり、改善の余地が多数あることを指摘した。

また、日本は先進国のなかで有機農業生産が最も少なく、有機農業の発展が最も遅々としている国である。なぜなのか？ 経営規模が小さいことだけをもって、有機

農業発展の遅れの言い訳にはできまい。それを打破する糸口を考えてみた。

なお、本書の主要部分は、2004年7月から農文協のホームページで連載している「環境保全型農業レポート」<http://lib.ruralnet.or.jp/nisio/>の記事をベースにしたものである。本書の内容を補うために、同レポートの記事も参照されたい。

2018年12月

本書が有機農業のより正しい理解と日本での発展に役立つことを祈念して

西尾道徳

## 第 6 章

有機農業だけで  
世界の食料需要をまかなえるか

## 1. 今後の世界人口推移の予測

国連の経済社会局が世界の人口推移を予測している。1990年代になされた予測では2050年までを見通して、中位予測で2050年に世界人口が100億人を突破するとされた。これを契機に地球100億人時代がやがて到来するとして大きな関心もたれた。しかし、2000年代になされた予測は下方修正されて、中位予測では、2050年には100億人を若干下回り、その後漸減すると予測された。

2017年になされた予測では、予測期間が2100年までに延長された。それによると、2017年に比べて2100年には、アジア、中南米とカリブ海諸国、北アメリカでは2050年まで漸増した後、2100年に向けて漸減する。ヨーロッパでは、2100年に向けて漸減し続け、オセアニアでは穏やかに微増し続ける。それに対して、アフリカの人口が急激に増加し続けて、2017年の12億5600万人が、2100年には44億6800万人へと3.6倍に増加する。世界全体では、2017年の75億5000万人が111億8400万人に増加すると推定されている（表6-1）。

こうした予測は、先進国では人口が今後漸減する国が多いのに対して、開発途上国ではなお増加することを意味している。こうした状況で、化学合成の肥料や農薬を使用しない有機農業に全面的に切り替えたとしたら、農業生産は激減して深刻な食料不足が起きてしまうであろう。第1章の「図1-1 OECD加盟24か国における穀物総収穫量、穀物単収、肉類総生産量と窒素肥料総使用量の1961年を100とする指数の推移」に示したように、先進国では、1961年を100としたときに、2014

表6-1 世界の主要地域の人口動態の中位予測（単位：億人）  
（United Nations, 2017から作表）

	2017	2030	2050	2100
世界	75.50	85.51	97.72	111.84
アフリカ	12.56	17.04	25.28	44.68
アジア	45.04	49.47	52.57	47.80
ヨーロッパ	7.42	7.39	7.16	6.53
中南米とカリブ海諸国	6.46	7.18	7.80	7.12
北アメリカ	3.61	3.95	4.35	4.99
オセアニア	0.41	0.48	0.57	0.72

年には穀物収穫総量が305、肉類総生産量が273に急増した。この顕著な増加は、特に化学肥料と化学合成農薬の普及によっている。それゆえ、有機農業に全面的に切り替えれば、食料生産量の激減が容易に推察できる。

## 2. 有機農業に転換すれば、世界人口を養える ——バッジリーらの主張

有機農業に切り替えれば、収量が減少して、世界人口を養えないという常識に反して、世界が全面的に有機農業に転換しても、食料生産量は減らないというより、むしろ増加し、現在の農地面積を増やさなくても、世界人口を養えるというバッジリーらの試算（Badgley et al., 2007a）が出されて、大いに論議された。この論文の概要とその後の批判の概要を紹介する。

### (1) 試算の手順

バッジリーらは、有機農業に転換した際の食料生産量と供給量を、次の手順で試算した。

#### ①現状における世界の食料生産量と供給量

まず2001年におけるFAOの統計による食料生産量を、現状における各国の食料生産量とした。また、食料供給量は、FAOの統計値に基づいて、食料生産量から輸入量、輸出量およびロス量を除いて、人間食料用に供給された量として計算した。なお、FAOは20のカテゴリーに区分した食料生産量や供給量の数値をまとめているが、これを簡略化して10の食料カテゴリーに統合した（表6-2）。

#### ②有機農業と慣行農業による収量比

作物と一部畜産物について、有機農業と慣行農業による収量を比較した実験データを、既往の文献から収集した。ここでの慣行農業とは、「緑の革命」<sup>注1</sup>によって

注1 第二次世界大戦後の1940年代から60年代にかけて、多収性穀物の品種改良と化学肥料や化学合成農薬などの使用によって、世界の穀物単収が飛躍的に向上した技術革新。

表6-2 バッジリーらによる食料カテゴリー別の慣行に対する有機の平均収量比  
(Badgley et al., 2007aから抜粋して作表)

	先進国		途上国	
	件数	収量比	件数	収量比
穀物	69	92.8	102	157.3
イモ類	14	89.1	11	269.7
砂糖・甘味料	2	100.5		
マメ類	7	81.6	2	399.5
油糧作物・植物性油	13	99.1	2	164.5
野菜	31	87.6	6	203.8
果実（ワインを除く）	2	95.5	5	253.0
肉・内臓	8	98.8		
ミルク（バターを除く）	13	94.9	5	269.4
卵	1	106.0		
動物性食料平均	22	96.8	5	269.4
植物性食料平均	138	91.4	128	173.6
合計	160		133	

開始された集約農業である。なお、途上国の研究で、集約的な慣行農業を比較対照としていない場合には、化学合成資材を使用した低集約方法を比較対照にした文献も対象にした。また、有機農業は認証を受けた事例に限定せず、認証を受けていない事例も含んでいる。

品目別に293のデータを既往の文献から収集し、慣行農業による収量を100としたときの有機農業による収量の比を計算した。293のうち、160が先進国のデータ、133が途上国のものであった（表6-2）。

### ③食料カテゴリー別の平均収量比

品目別の有機農業の収量比を10の食料カテゴリーに配置して、食料カテゴリー別の有機農業の収量比の平均値を計算した（表6-2）。食料カテゴリー別としたのは、実験データのある品目は全体からみればまだ一部で、個々の品目別の計算をできないために、包括的な計算を行なったからである。なお、コムギやトウモロコシなど多数の実験データが存在する品目については、当該品目での個々の収量比データでなく、平均値を使って食料カテゴリーの収量比を計算した。また、有機農業の収量比のデータがない食料カテゴリーの場合には、植物性食料全体または動物性食料全

体での平均収量比の値を使用した。

### ④全面的に有機農業に転換したときの食料生産量と供給量の試算

2001年の食料カテゴリー別の食料生産量に、同じカテゴリーの有機農業収量比の平均値を乗じて、慣行農業を全面的に有機農業に転換したときの食料生産量を試算した。これに現状における生産量に対する供給量の比を乗じて、全面的に有機農業に転換したときの食料供給量を試算した。

このとき、2つの試算を行なった。

モデル1では、先進国の研究で得られた有機の収量比を、世界中の農地に適用した（表6-3）。このモデルでは、有機生産に転換されたなら、途上国での農業生産も、先進国での収量比と同程度に若干低下すると仮定した。

モデル2では、先進国での研究で得られた収量比は先進国の食料生産に適用し、途上国での研究から得られた収量比は途上国での食料生産に適用したものである（表6-3）。両者の合計値を世界での推定値とした。

## (2) 試算結果

### ①試算した有機農業の収量比

慣行農業に対する有機の食料カテゴリー別の収量比は、先進国の研究では、全ての食料カテゴリーで慣行農業と同程度か若干低かった。しかし、途上国の研究では100よりも大きく、食料カテゴリーによっては約4倍に達するものもあった（表6-2）。

先進国における有機農業の収量比の値はイメージ的に納得できても、途上国での100を大きく超える値には納得できない人が多いであろう。この点についてバッジリーらは、次のように説明している。

有機農業による平均収量比は、特定の作物や地域についての収量差の予測を意図したものではなく、慣行農業や他の生産方法に対する有機農業の潜在的収量の一般的指標であるとしている。その上、赤道付近や南半球での研究は、有機農業への転換にともなって収量が増加していることを示しているが、これらの結果は先進国でのものと比較できるわけではない。現時点では、途上国での農業は先進国でよりも一般により低集約であるため、対照区の収量が先進国よりも低い。それにもかかわらず、途上国での研究では、有機区には相対的にしっかりと養分を供給するな

表6-3 食料カテゴリー別の現状での食料生産量と有機農業での食料生産量の試算値  
(Badgley et al., 2007aから抜粋・計算して作表)

	食料生産量, 単位: 1,000t				
	現状 世界計	モデル1による 有機農業 での生産量 世界計	モデル2による有機農業での生産量		
			先進国計	途上国計	世界計
穀物	1,906,393	1,769,133	816,190	1,615,279	2,431,469
イモ類	685,331	610,630	15,254	1,373,342	1,388,596
砂糖・甘味料	1,666,418	1,674,917	334,652	2,314,834	2,649,486
マメ類	52,751	43,044	12,340	150,324	162,663
木の实	7,874	7,213	2,005	9,860	11,866
油糧作物・植物性油	477,333	472,559	174,011	496,364	670,375
野菜	775,502	679,340	143,502	1,246,618	1,390,120
果実 (ワインを除く)	470,095	448,940	117,729	877,450	995,178
肉・内臓	252,620	249,588	110,256	254,125	364,381
動物性脂肪	32,128	31,100	20,735	19,296	40,030
ミルク (バターを除く)	589,523	559,457	330,045	651,253	981,298
卵	56,965	60,383	19,764	69,053	88,816

どの集約的生産を行なったものが多いようである。

バジリナーらは、こうした有機区での高い収量は、作物輪作、カバークロップ栽培、アグロフォレストリー、有機質肥料の施用、より効率的な水管理など、集約的な農業生態学的技術を取り込んだ場合に得られると記している。そして、慣行農業は「緑の革命」による集約化によって収量を増加させたのだから、有機農業でも集約化があつてよいと記している。それゆえ、表6-2の途上国における有機農業の収量比は、現状において行ないうる有機農業での値ではなく、集約的な有機農業を行なった場合の潜在的な値と理解できる。

### ②有機農業に転換したときの食料生産量と供給量

表6-3に示すように、先進国での有機農業での収量比を世界中の農地に適用した場合（モデル1）には、卵を除く食料カテゴリーで食料生産量が若干低下すると試算された。しかし、先進国については先進国で得られた収量比を用い、途上国については途上国で得られた有機農業での収量比を用いると（モデル2）、途上国では収量比が100を超えるケースが多いので、生産量が現状を大きく上回った。そ

して、食用食料の供給量も現状を大きく上回った。

現在、世界の食料供給量は平均すると2,786kcal/人・日になる。成人が健康を維持するのに必要な平均カロリー供給量は、2,200と2,500kcal/日の間とされている。モデル1は2,641kcal/日を提供しており、現在のカロリー供給量より若干低いものの、必要量を超えている。モデル2は4,381kcal/人・日を提供し、現在の利用可能量よりも57%多い。この試算値からバジリナーらは、有機生産が、現在存在するよりもかなり多くの人口を支持する潜在力を有していることを示唆していると記している。

### ③マメ科カバークロップによる窒素供給量増加の可能性

バジリナーらが、特に途上国で集約的な有機農業によって食料生産量を現在よりも飛躍的に向上できると主張するなら、途上国でどの程度の集約的な有機農業を実践できるのかという疑問が生ずる。この方策の1つとしてバジリナーらは、マメ科カバークロップによる窒素固定にとまなう、窒素の供給量の増加の可能性を検討した。このために、食用作物の栽培期間と栽培期間の間に裸地になっていたり、イネ科のカバークロップが栽培されていたりするような場合に、マメ科のカバークロップを栽培して、どれだけ窒素が富化されうるのかを試算した。

そこで、カバークロップの栽培期間中にどれだけ窒素が固定されて、その跡に栽培される食用作物にどれだけ窒素が供給されるかについてのデータを、文献（温帯地域33、熱帯地域43）から収集して検討した。その平均値として、マメ科カバークロップの栽培期間に、世界平均で102.8kg N/ha（温帯地域の平均で95.1、熱帯地域の平均で108.6kg N/ha）の窒素が次の作に供給されるという数値が得られた。なお、窒素固定量しか測定していない場合には、固定窒素量の66%が次作に可給化すると仮定した。

では、マメ科のカバークロップを栽培しうる面積はどれだけあるのか。バジリナーらは全作物地面積を15億1,320万haとしているが、これはFAOの統計での耕地+永年作物地の意味であろう。この作物地のうちにマメ科飼料作物を採草地などとして栽培している面積が1億7,000万haで、残りの13億4,320haにマメ科カバークロップを食用作物栽培期間の合間に栽培できるとしている。

この全てにマメ科カバークロップを栽培すれば、平均102.8kg N/haの窒素が次作に供給され、世界総計で1億4,000万tの窒素が供給されると試算した。現在、



慣行農業で8200万tの肥料窒素が施用されているが、全ての作物栽培地でマメ科カバークロップを栽培すれば、現在の化学肥料窒素を5800万tも上回る窒素を供給できる。だから、集約的な有機農業の可能性はあるというのが、バッジリーらの主張である。

### (3) バッジリーらの論文を掲載した雑誌の編集部による批判

バッジリーらの論文を掲載した雑誌である「Renewable Agriculture and Food Systems」(Cambridge University Press)は、2007年7月に刊行された同誌の22巻2号に彼らの論文を掲載するだけでなく、有機農業だけで世界人口を養えるか否かという関心の高い問題についての誌上フォーラム(討論会)を実施した。

誌上フォーラムと銘打って掲載されたのは、まず、論文審査員が指摘した事項に対するバッジリーらの反論である(Badgley and Perfecto, 2007)。それに加えて、編集部がバッジリーらの論文に強く反対すると予想した2名の者に、論文を掲載前に配送して読んでもらった上での論文に対する2つのコメントである(Cassman, 2007; Hendrix, 2007)。これらはバッジリーらの論文と同時に同じ号に掲載された。このため、バッジリーらは掲載された2つのコメントを事前に承知せず、反論の機会も与えられなかったことになる。

これらが掲載された誌上フォーラムの概要を紹介する。

#### ①論文審査員の意見に対するバッジリーらの反論

##### (a) 輪作サイクルの長期化の考慮

バッジリーら(Badgley and Perfecto, 2007)は、現在の作物栽培スケジュールを前提にして、栽培期間と栽培期間との間にマメ科カバークロップを短期間導入するだけで、有機栽培に必要な窒素肥沃度を確保できるという推定を行なった。しかし、論文審査員は、有機農業では慣行農業でよりも長いサイクルの輪作を行なっているのが通常であり、そこにマメ科のカバークロップや飼料作物を導入すれば、食用作物の栽培できる回数が減少するはずである。それゆえ、単なる面積当たりの単収比較でなく、輪作による食用作物の栽培回数の減少分を考慮する必要があるという趣旨の意見を出した。

これについて、バッジリーらは次の反論を行なった。世界で重要な3大穀物のトウモロコシ、コムギとコメを例にして、有機と慣行での輪作の問題を論じた。コメは水田で、通常の意味の輪作なしに生産されている。アメリカでは、コムギについて有機と慣行で輪作期間の長さの違いがあるか明らかでない。トウモロコシは、確かに典型的には慣行方法よりも有機でより長い輪作で栽培されており、トウモロコシが輪作影響をはっきり受ける主たる作物である。

典型的な事例では、慣行ではトウモロコシはダイズとの2年輪作で栽培され、有機ではトウモロコシ→ダイズ→コムギ+カバークロップの3年輪作で栽培されている。

この2つの輪作を比較すると、3年輪作の有機では、2年輪作の慣行での67%のトウモロコシしか生産しないことになる。文献から構築したデータセットのトウモロコシの個々の収量比に0.67を乗じて穀物全体の平均収量比を計算し直すと、結果は0.93でなく0.84になる。先進国における穀物について、このより低い平均収量比でカロリー供給量を計算すると、モデル1で2,641～2,523kcal/人・日、モデル2で4,381～4,358total kcal/人・日に若干低下するだけである。こうしたトウモロコシについての栽培回数の修正を行なっても、両モデルとも十分なカロリー(>2,500kcal/人・日)をもたらしている。

##### (b) グレーな論文

研究論文を掲載する雑誌には、ピアレビューアー(専門の研究者で構成された論文の審査員が)が内容をチェックしている学術雑誌と、審査員の専門性が必ずしも論文内容にマッチしていない機関誌などがある。後者のなかにも前者に匹敵する内容の論文もあるが、後者は一般にはグレーな論文と称されている。

論文審査員は、バッジリーらの論文には多数のグレーな文献が混ざっており、したがって実験の条件や結果の厳密さに疑わしい論文が多々混在しているおそれがあり、得られた収量比の結果の数値が疑わしいとの問題を提起した。

これに対してバッジリーらは、分析した研究の74%はピアレビューアーのいる学術雑誌のものである。それ以外の文献も採用したのは、グローバルスケールの分析を行なうには、先進国での研究だけでなく、途上国でのものも含め、できるだけ多くの地域からの研究を含めることが大切であり、そのためにグレーな文献のものも混在したが、グレーな文献だからといって内容を否定すべきではないと反論している。

## ②ネブラスカ大学カスマンの反論

ネブラスカ大学カスマン教授は、過去30年間、世界の食料不足は、十分な食料を生産する能力がないというよりも、主に貧困や購買力の不足によって起きているという見方が広くなされたために、先進国と途上国の双方で農業研究に配分される資金が着実に減少してきていることを嘆いている(Cassman, 2007)。こうした風潮の上で、有機農業によって世界人口を養えるとする見解が広まると、ますます農業研究予算が削減されることを懸念した。そして、バッジリーらの研究は次の4つの側面で科学的研究とはいえ、したがって、その結論は信頼できず、有機システムが世界を養いうるかについての疑問は答えられていないままであると反論した。

指摘した4つの側面は下記のとおりである。

### (a) 比較する慣行農業と有機農業との技術レベルをそろえる

これまでの慣行農業と有機農業を比較した研究の多くでは、有機システムについては試験を行なう場所の土壌や気象条件などに合わせた、特注的な技術セットで栽培がなされる一方、慣行システムについては当該地域の標準的ないし平均的な方法が採用されている。しかし、慣行農業者の大部分は、自らの生産環境に合わせて作物と土壌管理方法を特別にあつらえている。研究では有機システムについて特注的な注意を払いながら、慣行システムについてはそうした配慮をしていないことが多い。このため、一般的ガイドラインの範囲内において、慣行と有機の双方のシステムで、作物と土壌の管理方法の最適化を図ることについて、同程度の注意を払うべきである。

### (b) 食料生産量のパラメータを選定し直す

食料安全保障に最も関係の深いパラメータは、単位面積当たりの食料生産量である。しかし、有機システムは、マメ科カバークロップのような非食用作物や収量の低い作物を含めた輪作を必要としていて、総食料生産量は輪作によって異なる。このため、単位面積当たりの収量をパラメータにするのではなく、単位面積・時間当たりの人間の可食できるカロリーないし蛋白質収量が良いだらう。

### (c) 養分投入レベルを測定して必要な場合には同じにする

有機システムでは、通常、養分供給と土壌肥沃度維持を家畜糞尿や堆肥に依存している。しかし、家畜糞尿や堆肥からの養分放出は生物プロセスで、温度、水分や微生物活性でコントロールされている。そして、施用された家畜糞尿や堆肥に含

まれている養分の一部が、施用直後の生育中に放出されるだけである。施用しながら栽培をくり返していると、家畜糞尿や堆肥から慣行システムよりもはるかに多くの養分が放出されるようになる。このため、慣行システムと有機システムの比較では、慣行システムで複数の必須養分の欠乏が生じていないか、有機システムで養分過剰が生じていないかを確認し、調整することが必要である。

### (d) 適切な実験計画と処理の回復

圃場試験で得られた結果から科学的にしっかりした結論を得るためには、統計手法による検証が不可欠である。そのために、統計理論に基づいた実験計画、処理区の配置や反復が必要であり、統計基準を守っていない結果は信頼できない。

このように、カスマンは、バッジリーらが論拠にした、有機と慣行の収量を比較した既往の実験の科学的妥当性を問題にした。そして、バッジリーらの引用した研究の多くはこうした基準を満たしていない。それゆえ、有機と慣行のシステム間で単に収量を比較するだけで、有機システムが世界を養えるという結論を得ることは不可能であるとした。

またカスマンは、人口と所得の増加による需要増加を満たすためには2050年までに食料生産を60%超も増やす必要があり、しかも、より少ない農地と灌漑用の水でそうしなければならないとすれば、作物生産システムの「生態学的集約化」のプロセスに向けて緊急に対応することが必要であると、課題を指摘している。

そのためには、既往の慣行システムと有機システムの二者択一でなく、適切な食料供給、農場家族の所得、環境の質や自然資源の保護を確保できる栽培システムを、明確に定義されたパラメータセットを頼りにして開発することが大切であり、有機システムか慣行システムに限定されるのではなく、インプット（投入物）の化学合成か否かといった起源やタイプよりは、農業システムからのアウトプット（環境インパクトを含む広い意味）に焦点を当てたアプローチが必要であると力説している。

## ③大規模農場主のヘンドリクスの反論

ジム・ヘンドリクスは、アメリカのコロラド、カンザス、ネブラスカとテキサスの高原地帯で、粗粒砂土でセンターピボットを使い、慣行の化学肥料、農薬、総合的病害虫防除、作物輪作、ミニマムティレッジを使って、トウモロコシ、食用ビーンズ、アルファルファを生産する大規模農場をいくつか経営している。それと同時に、有機で穀物とア