

(公財) 農学会・日本農学アカデミー共同主催
公開シンポジウム

講演要旨

「食料は足りるのか」

平成 28 年 3 月 12 日(土) 13 時～

東京大学弥生講堂

目 次

開催趣旨	1
(公財) 農学会会長	長澤 寛道
世界の食料問題と日本のポジション	3
名古屋大学大学院生命農学研究科	生源寺 眞一
水と気候変動と食料生産	5
東京大学生産技術研究所	沖 大幹
人間と土壌	7
東京大学名誉教授	宮崎 毅
魚が取れなくなることは、「大問題」か?	9
東京大学大学院農学生命科学研究科	黒倉 壽
100 億人を扶養するための食料生産： 挑戦と課題	11
国際農林水産業研究センター	岩永 勝
講演者プロフィール	13

開催趣旨

今回のシンポジウムは「食料は足りるのか」というやや直截的なタイトルにしました。世界の人口が途上国を中心に急激に増加しているのに対して、多くの人々が果たして食料生産がそれに追いつかないのではないかと不安を抱いているのは確かで、専門家が現状をどう分析し、かなり遠い将来までをどのように予測されているのか知りたいところです。

昨年 11 月に日本農学アカデミーとの共催で開催したシンポジウム「転換期の日本社会と農業・食料・農村基本計画 2015」では、この基本計画の策定に主導的な役割を果たしてきた先生方および農林水産省、農家、消費者の立場からの講演を基にして、日本の今後の農業・食料・農村をどのようにしていくのかが議論されました。これはあくまで、国内の話が中心でした。

今回のシンポジウムは、前回のシンポジウムの延長のような企画になりましたが、では世界的に見たとき食料は人口の増加に対して持続的に供給され得るであろうかという観点から、現状分析と将来予測を基にして議論がなされます。世界に目を向けると、日本ではほとんど見られない飢餓の問題、国によって大きく異なる経済状態や農業環境、食料生産には向かない乾燥地や不良土壌など様々な深刻な問題が横たわっています。本シンポジウムでは、世界の食料事情と日本の立ち位置について名大の生源寺眞一先生に、水資源の問題を東大の沖大幹先生に、土壌の問題を東大名誉教授の宮崎毅先生に、水産資源の問題を東大の黒倉寿先生に、100 億人を養うための食料生産を可能ならしめるための技術的な問題点を国際農林水産業研究センターの岩永勝先生にそれぞれご講演いただき、最後に総合討論を行います。

「食料は足りるのか」といっても、ただ量的に足りればよいというものではなく、安全なそして栄養学的に満たされ、それによって健康な毎日が保証されるものでなければなりません。また、将来にわたってその状態が持続できるものでなくてはなりません。地球上の限られた面積の農耕地あるいは海で、しかも温暖化等による環境変動による不安定な気象条件のもとで安定した生物生産を維持・増加させるのは容易ではないでしょう。そのためには、受け身ではなく、日本がどのような貢献ができるか、また個人レベルでやれることは何かを考えていく必要があります。これまでに蓄積されてきた日本の農業技術あるいは農学が食料生産に貢献することを期待しています。

平成 28 年 3 月 12 日

(公財) 農学会会長 長澤寛道

世界の食料問題と日本のポジション

生源寺眞一

名古屋大学大学院生命農学研究科

2007年・08年の国際価格の急騰を境に、世界の食料市場の潮目が大きく変わった。穀物価格の推移に典型的だが、1990年代から2000年代半ばまでの国際市場が低位の価格帯で安定していたのに対して、近年の市場は需給がバランスする価格水準が高位にシフトするとともに、短期的に上下動を繰り返す不安定な状態が続いている。直近に限れば、世界的に順調な作柄と中国の成長の鈍化など、需給両面の要素から市場は沈静化しているが、中長期のトレンドとしては、人口増加と所得上昇による需要拡大が優越することで、食料需給ひっ迫の可能性が指摘されている。異常気象現象の頻発など、短期的な変動要因にも引き続き注意が必要である。

世界の食料市場の潮目が変わったことで、フード・セキュリティの重要性が再認識されている。日本では食料安全保障と訳されることも多いフード・セキュリティは、国際的には主として発展途上国の貧困層の問題であり、毎日の食料の確保の問題にほかならない。FAOの推計によれば、長期的には漸減傾向を辿っているものの、いまなお8億人が慢性的な栄養不足状態のもとにある。上昇した食料価格は購買力に乏しい人々を直撃する。食料の不足と高騰が深刻な場合には、政情不安や局地的な紛争といった事態に立ち至ることすらある。

他方で日本のような先進国にとっても、不安定な食料市場への適切な対応は国としての重要な責務である。このところTPP問題で海外からの安価な農産物の輸入による国内農業への影響が議論の焦点となった感があるが、国際価格や買い手としてのライバル国の動向次第では、国内の食料供給にも強い影響をもたらされる可能性もある。加えて為替相場の推移にも留意が必要である。ドル建ての食料価格の高騰は、円安によって増幅されることになる。金融政策に誘導された面もある現在の円相場は、高騰した食料価格の国内市場への影響が大きかった2007年・08年の水準に近い。

世界の食料問題、とりわけ途上国の食料問題の改善・克服について、すでに取り組んでいることも含めて、日本ならではの観点からの貢献について考えてみたい。食料・農業をめぐる貢献を考えると、国際社会における日本のポジションを再認識することが大切である。すなわち、多くの先進国が基礎的な食料の輸出陣営にあり、途上国がむしろ輸入依存側に位置する大局的な構図のもとで、先進国でありながら大量に食料を輸入する社会という意味で、日本はいわば第3極の先頭ランナーの役割を果たしてきた。食料輸入大国の先進国となった流れは、経済発展の途上にある今日のモンスーンアジアの国々で再現されつつある。

大きく変わった戦後日本の食料消費と農業生産には、稲作中心の小規模農業という共通

の初期条件を有する国々の近未来を考えるうえで、参考になる要素が少なくないと思われる。激変した食生活ではあるが、動物性たんぱくや油脂の消費量が欧米に比べてはるかに低い水準で天井に達したことや、農業では畜産や果樹の生産拡大が当初の見通し以上に進展したことなど、現在そして近未来のアジアの国々の食料と農業のあり方を考えるうえでは見逃せない特徴である。さらに戦前にまで視野を広げるならば、マンパワーの供給を含めて、農業・農村が日本社会の発展を支える原資を供給し続けてきた点も重要である。むしろ途上国時代の日本の農業は、現在の多くの途上国の農業がそうであるように、過酷な条件のもとにおかれていた。けれども、そんな中でも農業インフラへの投資など、農業を支える取り組みが持続していたことも知られている。

言うまでもなく、日本の食料・農業にも問題は多い。大量の食品ロスの発生があり、水田農業の持続可能性に危険信号が点滅し始めていることなど、このまま推移するならば、むしろアジアの国々に対して反面教師としての教訓を残すことになるかもしれない。そもそも食料・農業の領域で国際的な貢献をはかるとすれば、この国自身の食料・農業のあり方について、中長期的に揺るぎのないビジョンを共有し、これを着実に実践に移すことが前提になる。そんな観点から、近年の食料・農業政策について虚心坦懐に振り返ることも大切であろう。

水資源と世界の食料需給

沖 大幹
東京大学生産技術研究所

1. はじめに

全世界で現在約 73 億人のところ、2050 年までには 90 億人を突破し、今世紀末までには 100 億人を超えると想定される人口をまかなうだけの食料を世界は供給できるのであるか。

国際連合農業食糧機関 (FAO) のデータベースに基づき、図 1 は 1961 年の値を 1.0 として、近年までの世界の穀物生産量などの推移を示したものである。この間に人口は 2.4 倍近くになったものの、農地面積は 1990 年代までに約 10% 増えただけで、その後は横ばいどころかむしろ減少傾向にある。しかし、単位面積あたり収穫量 (単収) が人口の伸びを超えて 2.9 倍近くとなり、主要穀物の生産量は 3 倍以上に増え、結果として肉類や油脂なども含めた 1 人当たりのカロリーベースの食料供給量も世界平均では 1.3 倍程度に増大している。これは、緑の革命に象徴される多収量品種の開発と普及、施肥量の増大、そして灌漑施設を備えた農地面積の増加などのおかげである。FAO によると、2014~2016 年に約 8 億人が慢性的な栄養不足に苦しんでいるとされるが、それは食料が不足しているからではなく、貧困や社会構造のせいでは食料を入手できない人々がいるからである。

2. 気候変動と食料生産

世界の食料安全保障に対しては、人為的な気候変動による悪影響も懸念される。

しかし、気温や降水量の平均的な状態が変化するならば、より高温や乾燥に強い品種に変更したり、作付け時期を前後させて開花時期にちょうど良い気温になるようにしたり、熱帯低気圧が来る時期よりも前に収穫できるように作付け時期を早めたり、そもそもコムギではなく乾燥に強いオーリーブを栽培するようにしたり、といった風に、農業従事者は新たな気候に適應して、気候変動の悪影響を最小限にしようと努力するだろう。人為的な気候変動を特に認知・意識せずとも、変動する気候に対して行われるこうした対策を自律的な適應 (autonomous adaptation) と呼ぶ。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 5 次評価報告書 (AR5) によると、そうした適應策をした場合でも、気温が 2 度以上高くなると、熱帯域でコムギの単収が激減する。熱帯ではトウモロコシについても、適應のあるなしに関わらず 4~5 度の気温上昇で 20% 程度の単収減少が見込まれる。コムギに関しては、適應なしでもあまり気温上昇の影響を受けず、適應すればむしろ気温上昇に伴っ



図 1 1961 年を 1 とした人口、農地面積、穀物収穫量などの全世界の推移。国連農業食糧機関のデータに基づいて作成。

て単収の増加が見込める結果となっている。

これに対し温帯では、コムギ、トウモロコシ、コメのいずれについても、適應策をしない場合には 4~5 度の気温上昇で 10% 程度の単収減少が見込まれる。適應策を施した場合には、気温が上昇しても単収がほとんど変化しない (トウモロコシ) か、むしろ 10% 程度増えるという。コメについては研究例が少ないものの、4 度程度の気温上昇では単収がやはり 10% 程度上昇する。

以上のように、品種の選択や作付け時期の変更、さらには気候条件的にコムギやトウモロコシの栽培に適さなくなった地域における他の作物への転換などの適應策がもし広く普及すれば、長期的には世界の農業生産はあまり深刻な影響を受けずに済むと期待できる。Hanasaki et al. (2013) でも、気候変動の影響よりは社会経済シナリオの方が将来の食料需要の増大に伴う水需給の逼迫を左右する結果が示されている。

一方で、図 1 の穀物生産量が右肩上がりながら年によって上下しているのは、主に旱魃や洪水、あるいは冷害など気候の年々変動による影響である。長期の傾向としては上昇しているため、ある年下がっても前年よりも大きく総生産量が割り込むことはないが、それでも数% 少なくなっている年もあり、在庫や投機資金状況次第では価格が高騰するおそれがある。すなわち、食料安全保障にとっては、気候の長期的な変化よりも、そうした年々の変動の方が一時的な不作と価格高騰を招く可能性があり、むしろ注視して事前の対策をとっておくべき対象である。特に、フランスを中心とする EU とアメリカなど、世界中にコムギを輸出している複数の地域で同時多発的に不作

になるような気象条件の発現が最も懸念される。

一部の地域で不作となっても、消費者は多少割高であっても他の地域から必要な食料を購入すれば良いのに対し、生産者側は農業保険などでしか損失は補填されない。食料安全保障に係わるリスクマネジメントはいまやどちらかという生産者側の問題であり、社会全体の共感を呼びにくい構造になっている。

3. 水不足は飢饉をもたらすのか

20世紀初頭から2012年までの間に1万人以上の死者をもたらした55の飢饉について、その要因を分析した研究(岡根谷、2014)によると、1961年以降飢饉を経験したのべ33ヶ国のうち25カ国は、穀物生産量がその年の利用可能な水資源量と相関を持ち、かつ国内総生産(GDP)が世界平均よりも低い国、すなわち収穫量がお天気任せでしかも貧しい国であった。残りの8カ国は、お天気任せではないものの、やはり世界平均よりも経済的に貧しい国々であった。すなわち、21世紀になっても餓死者が1万人以上出るような飢饉の被害を受けるのは、天候に左右されて自国の食料生産が少ない年に、外部から補給できないほど貧しい国である。

さらに、そうした国で飢饉が生じるのは、外国からの食料援助物資も含め分配が適正に行われないため、食料を入手できない人々がいるのが根本的な問題である。しかし調べてみると、国の経済格差を示すジニ係数や世銀による民主化指標やガバナンス指標では有意に説明できず、都市人口の割合が低いほど飢饉が生じやすいという結果が得られている。

4. 水と食料の自給率

素朴に考えると、食料を自給自足していれば食べるものには困らないような気がするかもしれない。しかし、市場経済から切り離されている自給自足の場合、不作の年には食べるものが足りなくなり、他所から買うお金もなく、絶体絶命の危機を迎えざるを得なくなる。平均的には世界の全人口が十分に食べるだけの食料を生産できるようになった現在、食料不足で死ぬおそれがあるのは、そういう地域に暮らす人々である。そしてそういう人々の割合が高いのは、市場を利用できる都市人口の割合が低い国なのである。

また、自然条件として最大限利用可能な1人当たりの水資源賦存量が年間500立方メートルに満たないほど水に恵まれず、かつ1人当たりGDPが一日2ドルに満たないような国は、2010年時点で存在しない。貧乏でも水があれば、飢饉に襲われる危険性はあっても食料が生産できてなんとか

生存できるし、水資源に恵まれずとも経済的に多少余裕があれば、食料は自国で生産せずとも輸入(仮想水貿易)すれば良い。しかし、水もお金もない場所には人は住めないのも、極端に水に乏しく経済的にも貧しい国は存在しないのである。

そういう意味では、飢えないという目的のためだけを考えて、日本の様に世界市場から食料を購入する経済力があれば、食料自給率が高くなくとも構わない。戦争その他の国際情勢により輸送網が封鎖されて食料の輸入ができなくなる事態を懸念して自給を目指すのであれば、エネルギーの完全な自給も達成する必要がある。エネルギーがなければ肥料も合成できず、農機具も動かさず、収穫された食料を生産地から消費地へ運ぶこともままならない。経済力が落ちればエネルギー輸入にも困難をきたすと想定されるので、食料自給率だけ高めておいてもあまり意味はない。

5. おわりに

人類の総取水量は地球全体で利用可能な水資源量の約1割程度である上に、海水淡水化技術や再生利用技術も進展している。水が足りなくなるのは、乾燥した気候のせいや誰かが使いすぎているからというよりは、水利用を可能とする社会基盤施設や政府、社会の適切なガバナンスが不足しているからである。

21世紀の終わりに食料供給を支える水資源が十分であるかどうかは、我々がどのような世界に住みたいか、の問題であり、適度な危機感と冷静な楽観に基づいて、貧困撲滅と持続可能な発展に取り組むのが得策であろう。

参考文献

- Hanasaki N, et al., 2013: A global water scarcity assessment under shared socio-economic Pathways-part 2: water availability and scarcity. *Hydrol Earth Syst Sci* **17**:2393-2413
- 岡根谷実里、2014: Study on the development of a method assessing the vulnerability to famine in each country, 東京大学修士論文.
- 沖 大幹: 水危機ほんとうの話、新潮選書、新潮社、336頁、2012.
- 沖 大幹: 水の未来、岩波新書、岩波書店、2016.
- Oki, T. and S. Kanae, 2006: Global Hydrological Cycles and World Water Resources, *Science*, **313**(5790), 1068-1072.
- Oki, T., 2016: Integrated Water Resources Management and Adaptation to Climate Change, *Int. J. Water Resour. Development*, **31**, accepted.

人間と土壌

宮 崎 毅
東京大学名誉教授

1. 土地は足りているか？

国連広報センターによると、世界人口は2010年の69億人から2050年までに90億人に増加すると予測されている。急激な人口増加は地球上の資源と環境に大きな負担をかけ、しばしば開発努力を追い越してしまう。さらに、人口増加は主に開発途上国で著しいこと、世界の60歳以上の人の数が7億3,700万人から20億人強に増加すること、世界人口の半数は現在都市に住んでいること、などの特徴を備えているという。

2013年12月20日、第68回国連総会は2015年を国際土壌年とすることを決議した。この決議文において、「土壌は農業開発、生態系の基本的機能および食糧安全保障の基盤である」、「土壌は地球上の生命を維持する要である」、「土壌の持続性は人口増加圧力に対処するための要である」、「持続可能な土壌管理が、食糧の安全が保障された世界と安定的でかつ持続可能な生態系利用の実現に寄与する」などと指摘している。

さて、それでは、国連決議で謳うところの土壌管理を含めた土地管理の観点に立って、世界の土地は足りるのか？日本の土地は足りるのか？実は、巨視的な概算に基づく数値からは、「土地は足りている」という結論が導かれる。では、世界ではなぜこのように多くの飢餓が発生しているのであろうか？「土地不足」以外の答えを見出さねばならない。

2. 地球の土壌診断結果

土地の広さは足りていても、そこに存在する土壌が健全でなければ、想定した食料生産は達成できない。2011年11月28日、国連食糧農業機関（FAO）は、世界の土壌の4分の1が著しく劣化している、とする調査報告書を発表した。土壌劣化とは、風食、水食、圧縮、塩類化、アルカリ化、酸性化、汚染などによる土壌の物理性、化学性、生物相の劣化をいう。世界全体で劣化の程度が大きかった土壌は全体の25%で、劣化の程度が中程度だったのは44%、改善されている土壌は10%に過ぎなかった。FAOのジャック・ディウフ（J. Diouf）事務局長は、「人類はもうこれ以上、必要不可欠な資源をあたかも無尽蔵であるかのように扱うことはできない」と述べた。土壌の劣化がもっとも激しかった地域は、南北アメリカ大陸の西岸地域、欧州と北アフリカの地中海沿岸部、サハラ砂漠南縁に位置する西アフリカのサヘル地域、アフリカ北東部の「アフリカの角」地域、そしてアジア全域だった。また、劣化している土壌の約40%が、最貧地域に位置していた。

他方、先進国である日本では、温帯モンスーンという比較的恵まれた自然環境のなかで、著しい土壌劣化を指摘される場面は少なかった。ただし、日本国内においても、人為的な原因で発生している（放射能汚染を含む）土壌汚染問題、大型機械導入による過剰な硬盤形成問題、耕耘機の高速ロータリーによる過剰な表土破碎問題、などについては、土壌劣化を検証すべきである。

3. 土壌はなぜ大切なのか？

V. G. カーターと T. デールは、名著『土と文明(Topsoil and Civilization)』（初版 1955 年、改訂版 1974 年）において、「文明は、それらが培われたと同じ地理的環境で衰微した。というのは、主として文明人自身とその文明の発達に寄与した環境を収奪し、荒廃させたからである。」と述べた。

以後、多くの土壌科学者たちは、土壌の大切さを、文明の根底を支えるものとして訴えてきた。しかし、その訴えは必ずしも人類の共通理解に達したとは言えない。「水と空気は大切」という理解と感覚は人類全体の共通理解に達しているが、「土壌は大切だ」という理解と感覚が、胸にストンと落ちるには、まだ努力が足りない。

土壌が大切な理由は、①食料生産にとって不可欠であること、および、②水、空気、生物や化学物質などの循環の場として不可欠であること、にある。食料生産は人間の命に直結し、循環の場としての土壌は人間と生態系の環境を守る役割が大きい。

人間の食料生産のなくてはならない場としての土、大切に扱わなければいつかは破損してしまうものとしての土、科学の宝庫としての土を、「地球の宝物」と表現した岩田進午（『土のはなし』1985 年）、「土は、生命の源であり、農業にとって欠かすことのできない重要な要素である」と指摘した小山雄生（『土の危機』1990 年）、「水と土が空気や生物に広く解放された状態（開水面や開土面）で存在していることは、循環を維持していくために重要であり、生物圏や人類圏にとって大きな意義を有している」と記述した農業土木学会（現農業農村工学会）ビジョン：新たなく水土の知の定礎に向けて（2001 年）、「土壌は地球にしかない、生物自身がつくってきたかけがえのない生命維持システム」と断言した粕淵辰昭（『土と地球』2010 年）、「食糧の 95%以上を供給する土壌が現在失われつつあることは、はるかに重大である」と警告した D. モントゴメリー（『土の文明史』2010 年）、「人の生存に直接関わる穀物は、広い大地（土）を抜きにしては成り立たない」と述べた大橋欣治（『水と土の文化論』2015 年）は、土壌の大切さを十分伝えている。

4. これからどうすれば良いのか？

国連における国際土壌年の決定に呼応して、日本学術会議農学委員会土壌科学分科会では、2016 年 1 月 28 日「緩・急環境変動下における土壌科学の基盤整備と研究強化の必要性」という提言を公表した。この提言では、土壌が持つ多面的機能を再評価しつつも、世界でも国内でも土壌劣化の進行が深刻であることを指摘し、土壌観測ネットワークの形成、そこから得られる土壌情報の整備、土壌科学と土壌教育の充実、土壌保全基本法の必要性などを、強く主張した。

土壌劣化の現地報告は、継続的に発信されているが、土壌修復の成果や土壌劣化を食い止めた成功例を目にすることは多くない。病気の症例が多く報告されるのに、治療と快癒の報告は当事者以外には通知されないのに類似している。人間は、土壌の健康回復への責任がある。そのためには、人間と土壌との間に、持続的なパートナーシップを築くことが、いま、求められていると思う。

魚が獲れなくなることは『大問題』か？

黒倉 寿

東京大学大学院農学生命科学研究科

『大問題』と『小問題』

食料がなくなることは『大問題』に決まっている。では、特定の食べ物が食べられなくなることは、『大問題』だろうか。たとえば、反捕鯨論者は、「クジラを食べなくたって、牛肉を食べれば何の問題もないのだから、クジラを食べられなくなることは『大問題』ではない。」と言う。ここでは、特定の食べ物が食べられなくなることは『大問題』ではないと主張されている。「魚が獲れない。」ならばどうだろう。この場合にも、「ほかの物を食べれば良い。」という人はいくらもいる。それに加えて、「魚を養殖すれば良い。」と答える人が出てくる。『大問題』か『小問題』か、はたまた、『どうでもよいこと』かは、人による。

魚が獲れなくなるか？

植物プランクトン→動物プランクトン→小型の魚→大型の魚のような捕食関係全体を食物網(food web)という。Paulyら(1998)は、“fishing down marine food web”という論文で、食物網を食物段階的に捉えて、漁獲された魚の平均的な食物段階を生態系の健全性の指標として使うことを提案し、漁業は高次の食物段階の種を選択的に漁獲するから、漁業によって海の平均的な食物段階が下がり、生態系の機能が失われて、やがて魚類生産の機能もなくなると主張した。生態系は複雑で、ある種が絶滅したとしても、その機能を別の種が代替することはあり得る。漁獲された魚の平均的な食物段階は、単に漁獲対象魚が変化したことを表しているだけなのかもしれない。実証的な研究が必要である。2006年、Wormらは、生物の多様性の喪失によって、魚類生産を含めて、水質の保全、攪乱からの回復などの生態系の機能が低下すると主張した。問題になったのは、魚の多様性低下の可能性の例示として、FAO漁業統計をそのまま用いて、2048年前後で全ての漁業が崩壊するとしたことである。共著論文を書くなどの実績から、WormはPaulyとともに現在の漁業管理に否定的な立場の研究者と考えられている。この部分に関して、専門家から多くの批判を浴びた。しかし、現行の管理システムが完璧なものでないことは確かだろう。彼の警告には社会的な意味がある。その一方で、分析手法をめぐって、彼らの主張に対して否定的な立場をとる研究者がいても、科学的な論議としては当然のことである。

魚が取れなくなることへの対応

Costelloら(2008)は、Wormらの予測を所与のこととして、漁獲量をあらかじめ個々の漁業者・漁業集団に割り振り、その権利を売買・譲渡可能とする、いわゆるITQ(individual transferable quota)制度が早く実施されていれば、このような状態にはならなかったと主張した。この主張は、Hardin(1968)の“The tragedy of the commons”(共有地の悲劇)を根拠としている。牧草地を共有している羊飼いが、競争的

に牧草地で羊に草を食べさせる結果、牧草がなくなり、すべての羊飼いが羊を飼えなくなる。牧草をあらかじめ売買可能な個人の所有権として割り振ってしまうと、羊飼いはそれぞれの状況に応じて合理的に牧草地を利用できるというのが「共有地の悲劇」という考え方である。この論理では、政府による統制（国家による解決）か私有化（市場による解決）の二者択一しかありえない。Worm らは、現状の漁業を、「共有地の悲劇」と見て、私有化の方法として ITQ の導入の必要を唱えたのである。一方、Ostrom は、実証的な研究にもとづいてゲーム理論を展開して、共有地は、必ずしも、「悲劇」を招かないことを示した。いくつかの条件のもとでは、利害関係者による合理的な共有地の自主管理が可能である。一定の公的な規制のもと（top down approach）、共有地の利用者が参加してルールを作り（bottom up approach）、自ら資源の管理を実施していくシステム（co-management）は有効である。Gutierrez ら（2011）は、co-management の成功要因を分析・整理した。その結果、成功要因として重要なのは、その共同体におけるリーダーシップの存在、社会的な一体性、定住性の魚であることなどが挙げられた。この論文の第二著者である Hilborn は Paluly らの主張に批判的な研究者だと一般に認識されている。しかし、この論文では、日本の漁業権漁業のような地域的な漁業管理システム、保護区の設定などとともに、ITQ 的な私的所有も時には有効な方法と位置付けている。また、Worm らの論文も、沿岸漁業についても、ITQ が常に有効な絶対的な資源管理方法だと主張しているようには読み取れない。両者の距離がきわめて遠いわけではない。どんな条件のもとで co-management が成功するのか、そのような条件をどのように作り出せばよいのかが、次の課題であり、水産学の分野でも、行動経済学や実験経済学の分野の研究者の協力を得て研究が行われている。

『大問題』の解決法

ネガティブな予測は、そうならないことを願って警告している。「このままの状態が続けば、困ったことが起こる。」という「警告」は社会的に必要である。大切なのは「このままの状態」とは何かを考えることだろう。『大問題』が個々に違おうとすれば、全体的な『大問題』が顕在化する以前に、部分的な『大問題』が起こる。全体から見れば『小問題』なのだが、その部分にいる人にとっては『大問題』である。『大問題』を事前に解決しようとするあまり、問題が顕在化する以前に、部分的な『大問題』を作ってしまうこともある。たとえば、食糧問題を地球規模で解決しようとするならば、より効率的に食糧を生産できる人たちが効率的に生産できる場所で食料生産を行い、それを世界に流通させるほうが良いだろう。しかし、世界各地に、食糧生産を業とする人がいる。非効率的な生産ではあっても、それを収入源として生きている。世界規模での効率主義は、彼らにとって『大問題』をつくるだろう。全体的な『大問題』の解決のために、部分的に生ずる大問題を『小問題』として切り捨てれば、本当に『大問題』が顕在化したときに、解決のための協力は得られない。つまり、全体的な『大問題』だけでなく、部分的に生じる『小問題』の解決に、具体的に対応していかなければならず、『小問題』の解決の積み重ねが、『大問題』の解決につながる構造をどのように作るか。そちらが本当の『大問題』なのである。

100億人を扶養するための食料生産：挑戦と課題

岩永 勝

国際農林水産業研究センター理事長

世界人口は2015年に74億人に達したが、今後も人口増加は続き50年後には100億人近くに達すると予測されている。この人口増加に対応した食料増産が必須であるが、その増産にも限界があり将来的な食料危機が懸念されている。過去を振り返ってみると、1960年代に大規模な飢餓が懸念される時代があった。これに対応し、コムギ、コメ等の圧倒的な生産性向上がなされ、その時の食料危機は回避された。これは「緑の革命」といわれ、その中心的な役割を果たしたボーローグ博士には1970年にノーベル平和賞が授与された。この画期的な生産性向上により、食料問題は解決されたようにも思われたが、「緑の革命」後に食料と農業の状況はどのように推移したのだろうか？

世界の人口数は1970年の37億人から現在の74億人へと2倍に膨れ上がり、また所得の向上に伴い肉類、食用油の消費が急増した。現在の食料問題は1970年とは大きく変わった。食の量（カロリー）の不足に苦しむ飢餓人口は8億人弱へと減少したが、一方では皮肉にも過体重や肥満に苦しむ人口が21億人以上と飢餓人口の3倍に膨れ上がり、また食の栄養バランスが悪く、ビタミン、ミネラル等の不足による健康障害に苦しむ人口も20億人とされ、カロリー不足の直接的な飢餓人口より多い。更にはせっかく生産された食料の約3割以上が廃棄等でムダになってしまっている。

飢餓の社会的側面も大きく変わった。以前、飢餓は開発途上地域の治安が不安定な農村部で不作、凶作にみまわれた際に多く見られたが、現在は都市部を中心に食料価格の高騰により、食料を手に入れる事が難しくなった貧困層に多くみられる。世界の開発目標も「飢餓撲滅」から「貧困削減」へとシフトした。

世界経済のグローバル化も1990年代から大きく進行し、農畜産物の国際貿易額（実質）も2000年から10年の間に倍増し、他国で生産された食物、食品がグローバルフードチェーンにより世界各地の食生活にも取り込まれている。世界の平均的な家庭の台所にある食材には、以前無かった多様な食材が加わり世界的な均一化が進行している。

耕作面積は世界全体で見ると過去40年間に増加していない。アフリカのサバンナ地域等で今後耕作面積の増加が期待できそうな地域がある一方で、現在の農地が宅地や他の産業への転用のために農地が減少していく地域も多くあり、世界的に見ると今後の耕作面積の増加は難しい。そうすると作物の生産性の圧倒的な向上が食料増産の最大の解決策である。実際、1970年以来の40年間の人口当たりのカロリー、タンパク、食用油供給量はそれぞれ、19%、45%と53%の増加を記録している。単位耕作面積当たりのカロリー生産性も2.3倍に増加しているので、これまでは確実に人口と需要増に追いつくだけの生産性向上を成し遂げてきたと言える。今後世界の

一人あたりの食料消費が今後変化しない、さらにこれまでどおり生産性向上が進むと単純に仮定すると、50年後に100億人を養うことは可能だと思われる。

しかしながら、この生産性増加は持続可能かどうかが最大の問題である。「緑の革命」に代表される近代的な耕作技術は、持続的な資源管理に十分に配慮されたものではなく、増産が最大の目的で進められて来たものであるため、その結果これまでの作物増産の過程で、土壌や水資源が劣化した地域が多いのではないだろうか？更にこれからは、これら限られた資源（特に水資源）を他の産業・活動と競合しなければならない。気候変動は、極端気象等として農業の安定的な生産に大きな負荷を与える。やはり「農業は天候次第」であり、天候不順を伴う気候変動は多くの農業地域で大きなマイナス要因である。また海面上昇は世界で一番重要な作物であるコメの主要な生産地帯であるデルタ流域での生産を難しくしていく。

食料問題は需要と供給のバランスで決まるので、今後の需要増加そのものについても議論する必要がある。今後の需要動向で最大の問題は食の肉食化であろう。一般的に所得向上は肉類の需要増加に繋がる。大規模畜産業は安価な飼料によって成り立っているが、この貴重な飼料源であるトウモロコシ、大豆、雑穀類は本来人間の食料として使われて来たものである。これらの飼料を基にした家畜の生産性は低く、例えば牛肉1kgを生産するためには10～30kgのトウモロコシが必要とされている。今後の人口増加の直接的な需要増加よりも食生活の変化による作物（飼料）の需要増加が多くなる。さらに畜産業は現在既に世界のCO2排出の14%も占め、環境への負荷が非常に大きい。

肉消費と並び今後の需要増で大きな課題は食用油の消費増である。食用油の消費の増加率は肉類増加率よりも高く、1970年からの40年間で植物油の生産量は6倍に膨れ上がった。南米における大豆生産増に加え、マレーシア、インドネシア等の熱帯雨林地域でのパーム油生産がこの消費増を支えてきた。食用油の25%はパーム油由来であるが、その生産は生物多様性消失やCO2排出等の環境負荷が非常に高く、環境への配慮が足りないパームヤシの栽培面積増加には大きな懸念がある。

今後の持続可能性を確保しながらの食料増産のためには多くの技術革新が必須である。例えば作物育種では単に収量増加のための品種改良ではなく、資源管理、資源利用効率の観点の中核とした育種目標を立てるべきである。資源そのものを研究対象とする分野（例えば土壌学）はその研究成果が短期的には見えにくい難点があるが、人類生存のための基盤研究として十分な研究投資を行っていかなければならない。

そして、今後の人類の存続と発展のためには技術的開発だけでは不十分である。増産技術開発と同時に健康的な食生活、ライフスタイルが食料需要の重要な決定要因であることをふまえ、個人レベルでの自制だけでなく、人類生存のための持続可能な社会のあり方をグローバルに議論していく必要がある。ローマクラブから「成長の限界」が出版されてから45年が経ついま、限りある資源の中での持続可能な世界の食料生産と消費をもう一度真剣に検討すべきである。

講演者プロフィール

敬称略・講演順

【生源寺 眞一（しょうげんじ しんいち）】

1951年愛知県生まれ。東京大学農学部卒。農学博士。農林水産省農事試験場研究員、北海道農業試験場研究員を経て、1987年東京大学農学部助教授。1996年同教授。2011年4月から名古屋大学大学院生命農学研究科教授。これまでに東京大学大学院農学生命科学研究科長・農学部長、日本フードシステム学会会長、農村計画学会会長、日本農業経営学会会長、日本学術会議会員、国土審議会委員などを務める。現在、東京大学名誉教授、日本農業経済学会会長、食料・農業・農村政策審議会会長、生協総合研究所理事長、認定NPO法人樹恩ネットワーク会長。近年の著書に『日本農業の真実』ちくま新書、『農業と人間』岩波現代全書などがある。

【沖 大幹（おき たいかん）】

1964年東京生まれ、西宮育ち、1989年東京大学大学院工学系研究科修了、1993年博士（工学、東京大学）、1994年気象予報士。1989年東京大学助手、1995年同講師等を経て2006年より東京大学生産技術研究所 教授。専門は水文学（すいもんがく）で、地球規模の水循環と世界の水資源に関する研究。気候変動に関わる政府間パネル(IPCC)第5次報告書統括執筆責任者、国土審議会委員ほかを務める。書籍に『水の未来』（岩波新書、2016年）、『水危機ほんとうの話』（新潮選書、2012年）、『水の世界地図第2版』（監訳、丸善出版、2011年）など。生態学琵琶湖賞、日経地球環境技術賞、日本学士院学術奨励賞など表彰多数。水文学部門で日本人初のアメリカ地球物理学連合(AGU)フェロー(2014年)。

【宮崎 毅（みやざき つよし）】

1971年 東京大学農学部卒業。1976 東京大学大学院博士課程修了、農学博士。四国農業試験場 研究員、米国カリフォルニア大学デイビス校 客員研究員、農業土木試験場 室長を経て東京大学農学部 助教授、1998年東京大学農学部 教授、2012年 東京大学 名誉教授。現在、もりや市民大学 学長、2015年より NTC コンサルタンツ株式会社 顧問。受賞歴：日本農学賞(2015年)、読売農学賞(2015年)、農業土木学会学術賞(2000年)他7件。近年の著書に「環境地水読本 土壌への雨水浸透」東銀座出版社、「除染に関する問題の所在と土壌科学の課題」学術会議叢書、「土壌物理実験法」東京大学出版会などがある。

【黒倉 壽（くろくら ひさし）】

1974年 東京大学農学部水産学科卒業。1979年東京大学大学院農学系研究科水産学専門課程博士課程修了。農学博士。農学部附属水産実験所、広島大学生物生産学部を経て東京大学農学部附属水産実験所助教授、1997年より東京大学教授大学院農学生命科学研究科教授。近年の著書に「我が国の漁業の歴史と国際状況. 資源経済学への招待—ケースス

タディとしての水産業」ミネルバ書房、『「社会科学」の基礎としての海洋教育—水産学からの提案— 海洋教育のカリキュラム開発—研究と実践』日本教育新聞社、
「水産学の立場からナマズを考える. ナマズの博覧誌」誠文堂新光社、2016. 5 月刊行予定。

【岩永 勝（いわなが まさる）】

1951 年長崎県生まれ。1977 年京都大学農学研究科修士課程卒。1980 年米国ウィスコンシン州立大学博士課程修了。植物遺伝育種学にて Ph. D. 取得。1979 年国際馬鈴薯センター（ペルー）、1989 年国際熱帯農業センター（コロンビア）遺伝資源部長、1992 年国際植物遺伝資源研究所（イタリア）副所長、2000 年国際農林水産業研究センター（JIRCAS）生物資源部長、2002 年国際とうもろこし・小麦改良センター（メキシコ）所長、2008 年独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所所長、2011 年～JIRCAS 理事長。国連「世界食料安全保障委員会（CFS）」高級専門識者運営委員会メンバー、アフリカ稲作研究センター理事会・研究委員会議長、G20 首席農業研究者メンバー、地球規模問題に関する SATREPS (JICA-JST) 運営委員会委員、外務省「科学技術外交推進会議」メンバーなどを務める。