

2009年11月30日

## 環境依存を克服し、農業を産業へ(植物工場活用策)

小池 政就\*

### 概要

近年の国内外における食料市場の変動は大きく、国際的な価格の急変や貿易自由化に各国は対応を迫られている。また中長期的にも需要構造や資源制約の変化に伴う外部環境の動きから、既存の供給体制の見直しが必要となる事が想定される。日本においても減反政策の見直しや生産者への戸別所得補償といった政策が検討されてきた。しかし政治問題化しており、解決への道筋は見えない。その一方で、技術革新により、人工的に生育環境を制御した工場で農産物が生産できる植物工場が出現してきた。このことは農業を大きく転換させる可能性を表している。本稿では環境制御型の工場生産(植物工場)の持つ潜在力に注目し、産業として拡大するための推進策とその効果を探った。

食料をめぐるのは、国際的には既に顕在化しているように今後も地域的な需給逼迫や価格高騰が想定される。特に気候条件が厳しい新興国で、人口増や経済成長が予想されている。植物工場での人工的な環境制御やモニタリング等の技術に加え、同工場が砂漠などで動力源がなくとも自律的に生産することを可能とするための再生可能エネルギー技術では、日本は世界のトップランナーである。中東地域など成長と人口増が予想されながら従来方式では国内生産に限られる地域に対しては、省資源型の植物工場が輸出産業になる可能性は高い。また食の安全性が注目される中で、植物工場は安全な農作物生産も可能にし、国内でも一定の普及拡大が見込まれる。

提言では、植物工場を中心とし農業生産技術の競争力に着目し、同工場を支えるシステムの海外展開の推進策のほか、植物工場の天候の変化に対して価格を安定させる可能性について試算したうえで国内での普及拡大策にも言及した。植物工場にかかる規制を既存の農業並にするよう求めている。

これらによって、国内における社会的厚生の上昇と産業としての基盤を確立し、国外における可能性を拡大していく事を期待する。

\* 東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻 特任助教

## 植物工場 - 農業の産業化の可能性

今、農業が空前の注目を集めている。

新聞、テレビ等のマスコミでは連日特集が組まれ、毎週のように開催される農業関連のセミナーはどれも盛況である。中には高額に参加料がかかるセミナーもあるが、講演に真剣に耳を傾ける参加者の熱気で溢れている。背景としては、安全・安心を重視する消費者側の関心の高まりに加え、農地法の改正により新規参入の規制が緩和された事が大きい。更には、工場生産という新たな生産体系が確立しつつある事が、異業種企業までをも含めた相次ぐ新規参入を促進している。

農産物の生産工場とは、植物の生育に最適な環境を人工的に制御する事により年間を通して計画生産を行う施設である。光合成に必要な光の光量や光質、水と養分、施設内の気温、湿度、CO<sub>2</sub>濃度などをモニタリングしながら制御するのである。また施設内では通常栽培棚を多段式とし、栽培から収穫までの作業を一部機械化する事により、土地効率や作業効率を高めている。そのため環境制御型食料生産はいわゆる四定(定量、定時、定質、定価格)での生産に加え、肥料・水使用の減少、食品の安全性向上、土地の有効活用、また関連産業の発展や雇用機会の拡大など波及効果は高い。更に特殊な環境創造や遺伝子組み換え技術を併せる事により新たな機能性植物の生産も可能になる。一方で現状の段階においては莫大な初期投資や運営費がかかり、市場浸透の課題となっている。09年4月時点で、国内に植物工場と見なせるものは約50カ所あり、経産省と農水省は前述の多様な効果を臨み3年間で3倍の150カ所に増やす計画を進めている。

以下、農工連携の象徴としての植物工場の推進を通じた日本の取り組みにつき、内外の食料市場における構造的課題を踏まえながら更なる潜在力とその促進策を探る。

### 植物工場実施例紹介: A社

生産形態: 照度、日長、温度、湿度、養液、液温、CO<sub>2</sub>等の生育環境を人工的に完全制御

栽培品種: レタス類数種(将来的には果実、根菜、苗も検討)

生産量: 日量約2万株が可能(現状は稼働率が半分ほど)

強み: 生産性の高さ(多段式、年間約20回収穫)

歩留まりが80~90%(露地物は通常約50%)

雑菌が少ない=一株当たり10<sup>2</sup>以下~10<sup>4</sup>個(露地は通常10<sup>7</sup>~10<sup>9</sup>個)

労働環境、負担が少ない。多段式で効率高い。

循環利用により必要水量を削減。

課題: コスト高(「消費者に対して品質・安全性の高い野菜を供給するためには必要」)

(一方、「露地物のコスト低減幅は限られているのでは?」とし工場生産物の競争力に期待)

苦労: 農地法や建築基準法の適用クリアに半年ほどかかってしまった。

(2009年5月のインタビューより)

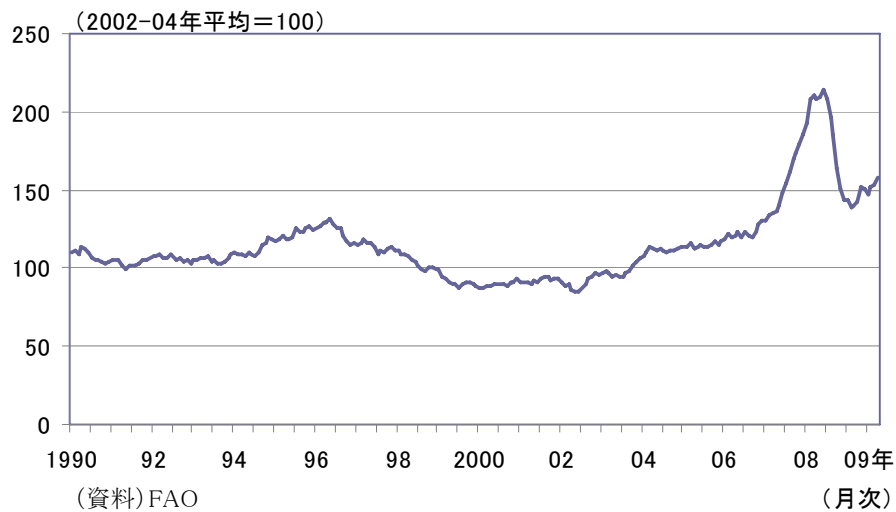
### 食料をめぐる国内外における課題

食料需給を巡る市場の不安定性が増大している。その不安定性は近年の価格高騰をはじめとする一時的な現象ではなく、中長期かつ深刻さを増す構造的課題として我々の将来に立ちまはだかろうとしている。課題の構造は、以下で述べるように、国際的な課題、国内固有の課題、また内外共通の課題に分類される。

#### 国際的な課題

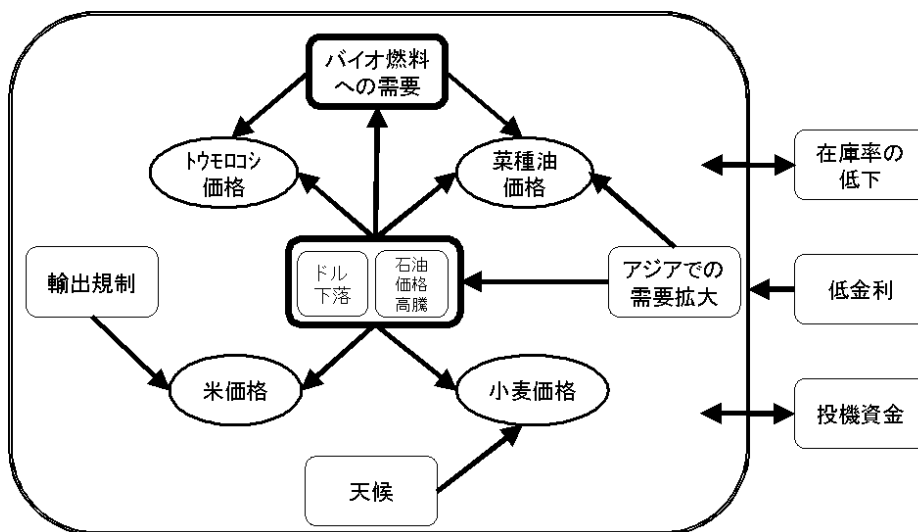
国際的には、特に穀物市場において金融・資源問題とも絡んだ価格高騰が顕著となった(図表 1)。

図表 1 食料価格指数の推移



背景としては、従来の天候不順に加え、アジアでの資源需要拡大が資源価格を高騰させ、生産コストの上昇およびバイオ燃料需要増を通して、穀物の価格を引き上げたとされる。ここに更に投機資金が入りこみ、かつ生産国での輸出規制がもう一段の高騰を引き起こした(図表 2)。

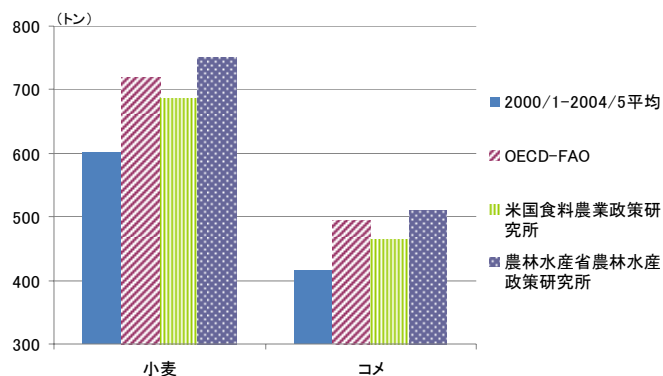
図表 2 2005-2008 年の食糧価格高騰の要因の相関図



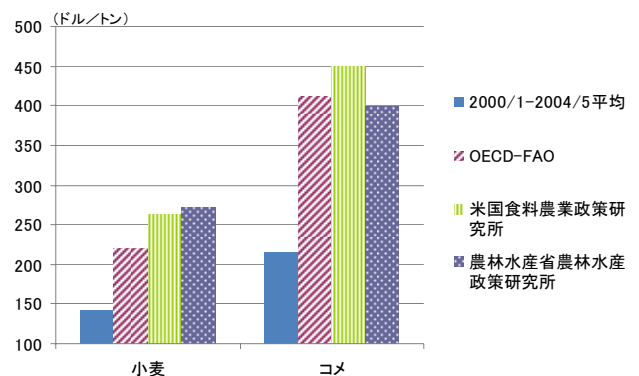
(資料) Headey and Fan (2008)

一方、中長期な要因として、将来の需給関係の逼迫も想定される。需要面では新興国の人口増および所得向上に伴い消費が増大し、供給面では耕作放棄地等やアフリカや中南米の未耕作地を考慮するとその余力はあるものの生産開始までには時間と投資が必要であり、フローとしての生産量の拡大に結びつくかは疑問である。更に油価の上昇によりバイオ燃料への転用が進むと、食料市場への供給不足から一層の価格高騰を引き起こす可能性を備えている(図表 3、図表 4)。

図表 3 世界の小麦・米の消費予測(2018年)



図表 4 世界の小麦・米の価格予測(2018年)



世界規模で見れば地域的な需給の逼迫や価格高騰が想定されるのである。国際的には人口増大が地域的に偏在していることが地域の需給逼迫を進め、比較的需要が安定している先進国でも近年見られる輸出国における輸出制限の強化により、輸入量の確保が困難になるリスクが存在する。

## 国内固有の問題

また日本国内固有の問題も山積している。

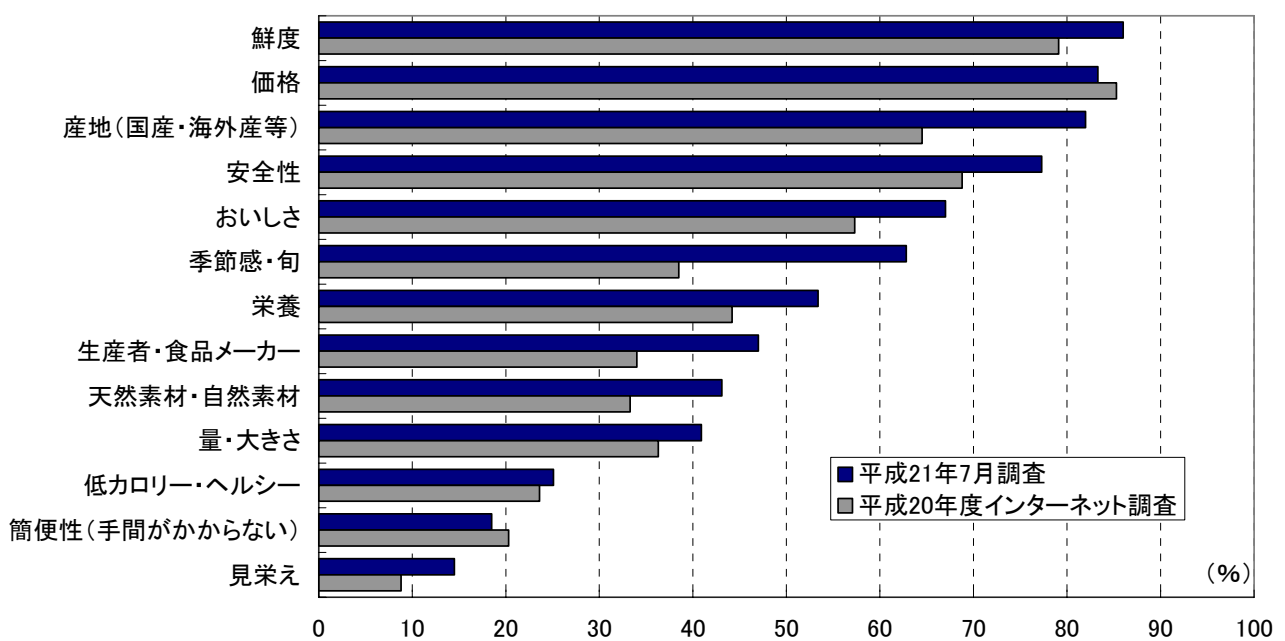
国内農家の多くは零細かつ兼業ということもあり利益率が低く、農薬や化学肥料を多用して手間を省いているが、生産品目や収穫リスクおよび生産性は、地域によって異なる、農地に依存する従来型の生産方式に制約されている。また農業就業人口の減少・高齢化が進み、6割は65歳以上の高齢者が担っている。その為耕作が行われずに放棄される農地も増えている。その一方で農地流動性は低く、意欲ある新規参入者を阻止している。農地の保有および利用対象が限定されていることに加え、そもそも農地を保有していることにコストはほとんど掛からず、また転用期待も保持していれば手放すインセンティブが低いのは当然である。今回の農地法改正においても新規参入者にとって農地の確保が容易に進むとは想像し難い。またリースした農地に借り手が投下した土地改良投資の便益が契約終了後まで続く有益費の償還についてもルールを明確にする必要がある。

また新政権が予定している農家への戸別所得補償についても対象農家が品目程度でしか限定されておらず、大規模化や個別努力を促す仕組みにはなっていない。確かに米国の一戸当たり農家が大規模化する過程と補助金の配布方法の関係性を分析した研究(Roberts and Key: 2008)では、補助金の配分は規模に関わらずに行っても農地の大規模化に繋がると推測されている。但し、これは米国の農家が元来利潤向上を目指す存在であるこ

と、また小規模農家から農地取得が可能であるという前提があり、また規模の大きい農家ほど追加借入に制限があり補助金によってその制限が低減するために更に規模を拡大するという傾向に繋がるとされている。他方、農地の転用期待がある日本では補助金の拠出に関わらず集約化が進まないのは、米国の農家に比べて大規模化を通して所得を増やすインセンティブが小さく、農地拡張に制約があるという点が背景にある。更に WTO や FTA の自由化交渉において現在の高関税による価格支持政策の見直しが迫られており、戸別所得補償政策は本来この価格支持に代わるものであるはずなのだが残念ながら明確な意思が示されていない。

加えて国内の消費者にとっても、農産物および食品の輸入依存が高まるにつれて食品安全面でのリスクが拡大している。食品安全委員会の「食品安全モニター課題報告」(09年7月実施分)によれば、食品購入時に重視されているのは、鮮度、価格、産地(国産・海外産等)、安全性などである(図表5)。安全性の観点から、農薬や汚染物質に不安を持っている消費者は多く、輸入食品の検査体制への不安もある。また、中国産冷凍ギョウザが原因と疑われる健康被害事例後に行われた農林水産省「平成19年度安全・安心モニター回答結果」(08年3月実施)も、残留農薬による食品リスクへの関心が高まっていることを示している。

図表5 食品購入時に最近重視したこと



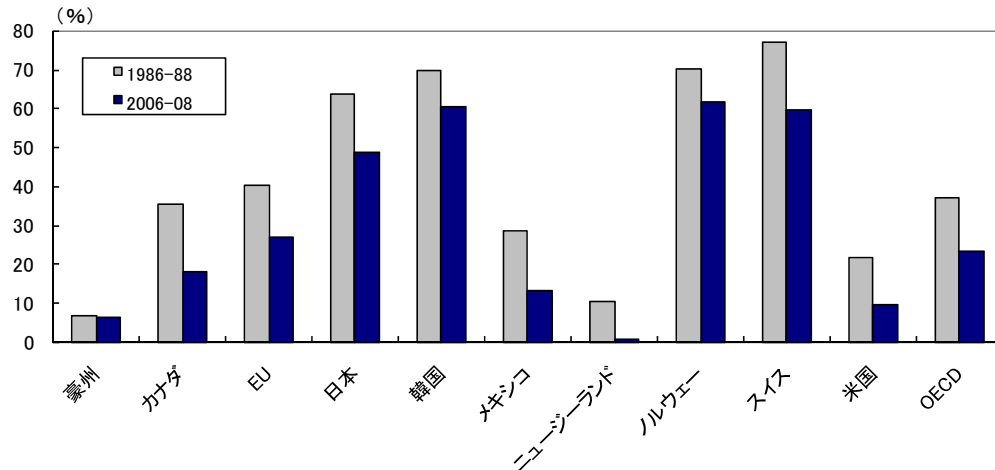
(資料)食品安全委員会「食品安全モニター課題報告」

## 内外共通の課題

以上が国内外で現状浮かび上がる、かつ将来に影を落とす課題とすると、他方で農産物市場固有の課題も引き続き存続している。ほとんどの農産物生産は基本的に農地の置かれた環境に依存しており、結果として天候等の外部的要因が収量に大きな変動を及ぼす。そのため他の産業と比較した場合にも、そもそもの利益率の低さに加え、計画通りの生産が困難な事から価格変動リスクおよび経営リスクが非常に不透明という特徴がある。このため、農家が収益を定常的に確保することが困難となり、政府介入が必至になったり、銀行等の金融機関がリスク

を取ることを躊躇したりという事態に繋がる。実際に日本を含めた多くの国では農家に対しての政府補助金が投入され、農家総収入の大きな割合を構成している(図表 6 参照)。

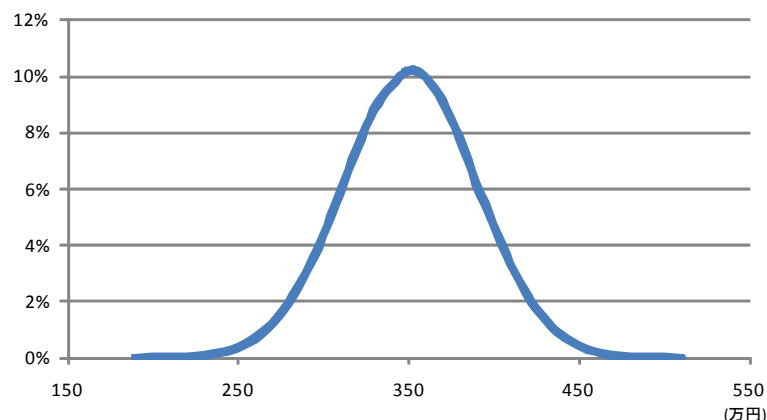
図表 6 OECD 各国政府における生産者助成推計額が農家総収入に占める割合



(資料) Producer and Consumer Support Estimates, OECD Database 1986-2008

この経営リスクを分析すると、所得に変動を与える要素としては大きく分けて生産物価格と生産量およびコストがある。例えば国内で特に価格と生産量の変動が大きいレタスでは、生産コストは安定しているが、価格、収量は主に平均気温、降水量、日照時間の3要素、つまり天候変化が市場価格や収量に影響をもたらしている事が定量的にも検証できる。そこで得られた平均価格および平均収量のボラティリティを基に産出額の分布を試算した結果、分散が非常に大きい事が確認できる(図表 7)。尚、価格変動による需要への影響については、レタスなどの日常消費される作物は、価格および所得に関する消費者の弾力性は低いため、大きな影響は無かった。

図表 7 夏秋レタス農家一戸当たりの産出額(6-9月計)の確率分布(試算)



このように農業経営に与える変動リスクを鑑みて、日本政府は国内で要件を満たした野菜農家に対しては、対象野菜について平均価格(過去9カ年の市場価格平均を基に算出)の90%を基準とした保証を行っている。生産者の所得の減少に対して政府が補償しており、生産意欲を維持し供給の安定を図る策ではあるが、同時に土地・

天候依存型生産に基づく農家が、零細で低い収益性でも維持される結果になっている。一方で価格や販売量の変動リスクの大半は消費者または国民に転嫁され、特に食品業にとっては材料費の変動が利益変動に繋がってしまう。特に収量減少による価格高騰や供給不足の影響も直接受ける。家庭だけでなく、食品加工や中外食の経営にも不安定性をもたらし、生産者との連携を困難にしている。また対応策として輸入を増やした場合、輸入国における生産・流通過程を管理して安全性を確保することが難しくなることもある。

また生産過程で見れば食料生産は直接的にも資源問題と直結している。食料のバリューチェーン全体で評価した場合、国内への食料供給には国内の最終エネルギー消費に対して約1/4に相当するエネルギーを消費しているという研究もある(Boys: 2004)。特にエネルギーを消費する化成肥料や農薬に用いられるリン鉱石やカリウムの枯渇の問題もある。資源制約が今後食料生産へのリスクおよび供給ポテンシャルの制約を高めることも予測される。

政策提言:

以上のような国際、国内、内外共通の課題およびそれらの改善に求められる対応をまとめると以下の通りである(図表 8)。

図表 8 食料を巡る課題と求められる対応

食料を巡る課題		求められる対応	
国際	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地域的な需給の逼迫</li> <li>■ 輸入依存への制約上昇</li> <li>■ 価格高騰</li> <li>■ 資源の減少</li> </ul>	国際	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 供給力向上</li> <li>■ 価格安定化</li> <li>■ 省エネの推進</li> <li>■ 余剰地域から欠乏地への分配</li> </ul>
国内	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 農家が零細かつ深刻な高齢化</li> <li>■ 農地流動性低く新規参入困難</li> <li>■ 輸入依存上昇の一方で安全リスク拡大</li> </ul>	国内	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 労働力向上</li> <li>■ 土地集約</li> <li>■ 生産検査体制の確立</li> </ul>
内外共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 農業の収益性低い</li> <li>■ 天候や価格変動による経営リスク大きい</li> <li>■ 生産者にとっての価格および収量リスクは政府によって保護</li> <li>■ 価格および収量リスクの大半は利用者に転嫁</li> </ul>	内外共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 生産性向上</li> <li>■ 価格・収量リスクの低減</li> <li>■ 政府負担低減</li> <li>■ 利用者への影響低減</li> </ul>

ここに挙げられた各対応は、従来型の地域固有の農地や天候に依存した生産形態では取り組みが困難なものが多い。土地の供給力向上には肥料や農薬といった資源を必要とするため省エネと相反し、一方で天候や病気による収穫リスク(価格変動リスク)を低減する事も難しい。国内の労働力向上についても、人口減少の中で他産業と比べて魅力的な労働環境・給与水準を提供できずには就農者が増加する見通しは低い。

しかしながら、農工連携の要として注目を高めている植物工場は、生産性の向上に加えて生産に伴うボラティリティを低減し多様な技術を融合した新しい農業として、上記に挙げた課題改善のポテンシャルを大いに備えている。今後の展開により以上のような構造的な食料問題の緩和の一途となり得るのである。そのため、植物工場生産に伴う多くの利点が食料問題の課題の改善に繋がることが期待されるが、一方で莫大な初期投資や運営費がかかるという点も課題として残っている事を留意しなければならない(図表 9)。

図表 9 食料を巡る課題と環境制御型食料生産(植物工場)が持つ潜在力

食料を巡る課題		環境制御型食料生産が持つ潜在力	
国際	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地域的な需給の逼迫</li> <li>■ 輸入依存への制約上昇</li> <li>■ 価格高騰</li> <li>■ 資源の減少</li> </ul>	国際	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 需給逼迫の緩和</li> <li>□ フードマイレージ改善</li> <li>□ (省エネの推進)</li> </ul>
国内	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 農家が零細かつ深刻な高齢化</li> <li>■ 農地流動性低く新規参入困難</li> <li>■ 輸入依存上昇の一方で安全リスク拡大</li> </ul>	国内	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 就業機会の拡大</li> <li>□ 新規参入の障壁低下</li> <li>□ 食品の安全性向上</li> <li>□ 土地の有効活用</li> <li>□ 関連産業の発展</li> </ul>
内外共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 農業の収益性低い</li> <li>■ 天候や価格変動による経営リスク大きい</li> <li>■ 生産者にとっての価格および収量リスクは政府によって保護</li> <li>■ 価格および収量リスクの大半は利用者に転嫁</li> </ul>	内外共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 生産性向上</li> <li>□ 価格・収量リスクの低減</li> <li>□ 政府負担低減</li> <li>□ 利用者への影響低減</li> <li>□ 植物の機能性向上</li> </ul>



本提言では植物工場が持つ潜在力の一層の拡大を目指し、その積極的な海外展開推進、導入障壁となっている国内制度の改善、省エネシステム促進策の導入、の3点を挙げる。

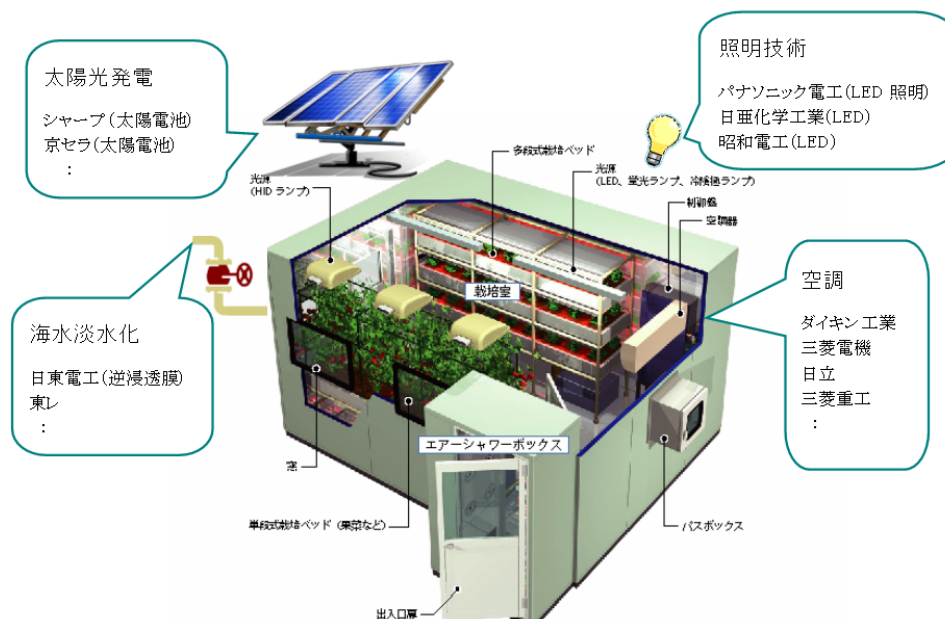
### 提言1：植物工場の海外展開を促進

これまでに述べてきた植物工場の潜在力(環境変化への対応力、価格の安定性、安全性など)は、海外でより発揮できる可能性が高い。前述した海外における地域的な需給逼迫への対処としては、人口増大かつ耕作地の少ない地域へのシステムごとの輸出が想定される。例えば2050年には人口が倍近くに増大すると見込まれる中東諸国を初めとする各国は、将来的に国際市場からの食料確保が困難になるという想定から積極的に国外の農地取得を進めている。7月にイタリアで開かれた主要8カ国首脳会議でも議題に挙がったように世界的な農地争奪に今後制約が高まっていくと思われる。その為に、各国は食料供給力を構成する3要素のうち輸入を除いた国内供給力と備蓄に頼らざるを得ない。しかしながら中東やアフリカ諸国の多くは国内で食料を生産可能な環境にないため現在の土地依存型農業による供給は困難であり、備蓄も国外の余剰食料が減少すれば輸入して備蓄にまわせる量も限られてくる。現在でも中東諸国では野菜などの一部は空輸によって輸入しており、さらにコストがかかるようになる恐れもある。

そこで植物工場の意義が高まる。更に太陽電池などを利用し、工場へのエネルギー供給も独自に確保できれば、立地の可能性も大いに高まる。植物工場の輸出は、単に生産施設を現地に設置だけすればあとは自動的に植物が生産されるのではなく、適した栽培技術と環境制御技術が必要であり、人的交流が前提となる。そのため日本との中長期的な関係構築も可能になる。

現在手探りで取り組みが続く要素技術の複合的な組み合わせの最適化を早急に進める必要がある。またマーケティングの一貫として、現在国内各地の商店街等で展開されようとしているデモンストレーションプラントの設置を、海外の在外日本大使館に展開するのも有益である。電力供給のための再生可能エネルギー技術や、工場内における省エネ照明や温度・空調制御技術、また観測・収穫のためのロボット技術など、オールジャパンとしての強みが大いに発揮できるチャンスとなるのは確実である(図表10)。

図表10 植物工場を支える要素技術



(資料) 経済産業省ホームページに掲載された植物工場のイラストを基に、企業名は日経センターが作成。

また、国内においてもまだマーケティングの余地は残されている。植物工場は病虫害駆除のための農薬を必要としないことから、安全性の上でメリットを持つ。また、露地野菜と比べてロス部分が小さいという利点もある。さらに、露地で生産された野菜と成分比較を行うと、野菜の成分に大きな違いはないという分析結果もある(農林水産省農林水産技術会議(2005))。にもかかわらず、日本政策金融公庫(2009)のインターネット調査結果によれば、植物工場で栽培された野菜は、おいしさや栄養価の面で通常の野菜に劣ると考えられており、約6割の消費者が、植物工場の野菜が通常の野菜よりも安くなければ購入しないとみている。植物工場の野菜に関する情報の普及や、野菜の高付加価値化が、今後求められるだろう。

## 提言2：既存の農業並みに規制緩和を！

国内での植物工場普及策については、植物工場の場合は農地として認められないケースが多く、そのため土地に課される税制や建築基準によってコスト高となる傾向がある。現状の地目の認定によると、地面をコンクリートで固めてプランター等を使用して耕作を行う場合は「雑種地」、つまり非農地という扱いになる。そのために農地を対象とした納税猶予や免税、課税評価額の減額や優遇税率の適用から外れてしまう。実際の導入例としてヒアリングした企業の中には、農地を購入して植物工場を建設したものの農地と認められず、想定外のコストが発生したうえに農地から非農地へ地目転用しようとした際、農業委員会の認可もなかなか下りず事業開始が大幅に遅れてしまったケースもあった。図表11は、新規事業者が土地を取得して農業を開始した場合に地目が農地か非農地かで課税方法が異なる主要な税目(取得時課税:贈与税または相続税、登録免許税、不動産取得税、毎年課税:固定資産税)について、対象区域別に試算したものである。

図表11 土地評価区分による農地と非農地の主要課税額の比較  
(試算例: 土地面積30a、所得4億8千万円、収益3千万円のケース)

(千円)

対象となる土地の区域	農地				非農地			
	毎年課税 固定資産税	取得時課税			毎年課税 固定資産税	取得時課税		
		贈与税	相続税	その他		贈与税	相続税	その他
特定市街化区域(A)*	660	-	-	5,170	1,420	71,790	18,560	8,710
(A)以外の一般市街化区域(B)	290	-	-	2,270	650	32,310	620	3,970
(A)(B)以外の区域	0	-	-	10	40	430	0	270

「-」は納税猶予、「0」は課税対象だが計算上税負担無し。

特定市街化区域: 三大都市圏(首都圏、近畿圏、中部圏)の特定市にある市街化区域(\*ここでは農地課税対象となる生産緑地を対象とする)

各区域の農地の評価額は、財団法人地方財務協会『地方税関係資料ハンドブック(平成21年)』より。

更に、新規参入にあたっては以上の直接的な過重な税コストだけでなく立地や建設に関する諸制度による間接的なコストも課題になる。例えば建築基準法では、耐震等の観点から基礎や骨材、接合部等の強度が必要以上に求められ、設備コスト高に繋がる。また太陽光利用型工場の場合は太い骨材や接合部等がもたらす植物への影も大きくなり採光性も低下してしまう。消防法では防災処置、火災報知、消火施設の設置が必要とされるし、工場立地法では20%の緑地と5%の環境関連施設等といった余剰設備による負担も生じる。また都市計画法によって立地への制約も課されてしまうのが現状である。工場生産の有利性を活かして商店街や住宅地等の消費地近くへの建設、もしくは空き工場や空き倉庫等の有効活用につなげるためにも従来法の緩和が必要である。環境制御型であれば、土地の生産性に制約されることなく、空き工場の有効活用など国土の有効利用に繋がる。国内で保有農地でなくとも工場で食料生産を行っている土地を対象に、事業者への規制を緩和する為に植物工場建設用地への農地並課税などの制度を検討すべきである。

### 提言 3：再生可能エネルギーシステムを利用できるようにせよ

最後に、導入時の課題であるエネルギー消費の増大に対して、エネルギー収支の向上を図り資源価格変動の影響を低減するためにも、再生可能エネルギーや省エネ設備を組み合わせたシステムの導入推進が考慮されるべきである。植物工場型生産では栽培時の電力エネルギー、特に照明や空調にかかるエネルギー消費が大きい事が課題である。このため電力源となる資源価格変動による影響が大きく、枯渇性の化石燃料からの転換を図るためにも再生可能発電システムの設置が望ましい。しかしながら現状では再生可能エネルギー設備コストが高く、経済的に更なる負担となり得る。例えば国内で 1500kw の植物工場に 2000m<sup>2</sup> の産業用太陽光発電システムを導入した場合、現状の試算では発電コストは通常に対して約 2 割増となる。尚、太陽光発電エネルギーの変動および不足分は業務用電力の購入でまかなう。これに現在導入予定の余剰電力買取制度を導入した場合、日中の電力使用が抑えられる太陽光利用型設備のみメリットが期待できるが、完全制御型には太陽光で発電できる日中も人工光利用のための電力消費が下がらずに余剰電力が生まれる可能性は低く、結果として設備コスト回収の期待はほとんどない。しかし仮に新政権が主張するように再生可能エネルギー由来の発電全量を固定価格で買取の制度が導入され、買取価格も想定されている 50 円/kwh 程度の水準となった場合、結果としての電力消費コストは従来の業務用電力購入時の場合とほぼ同等となる。つまり太陽光発電設備の費用が買取電力価格によって賄われるのである(図表 12)。

図表 12 太陽光パネル(PV)導入時および政策支援がある場合の植物工場の年間電力料金

(試算例: 容量 1500kw、稼働時間 8 時間(日)、PV パネル設置面積 2000m<sup>2</sup>、買取料金 50 円/kwh のケース)

	(単位: 100万円)		
	電力会社からの供給	太陽光パネル導入時	
		政策補助無	固定価格買取(全量)
電力料金	74	71	74
PV年間償却費	-	19	19
(固定価格買取額)	-	-	(18)
年間電力料金計	74	90	75

このような制度によって、今後設備コストの低下が進めば植物工場経営にもプラス効果をもたらす更なる導入が進む。ドイツやスペインの例のように固定価格全量買取制度の際に危惧されるのは、導入量の予測がつかず、結果としての国民負担の程度が想定できない事である。これは発電設備導入だけでメリットが享受できるために導入が殺到して生じる現象であるが、植物工場設備と一体した条件での導入支援であれば前述の懸念は回避される。限られた国土の有効活用と太陽光発電の普及を目指すのであれば家庭の屋根への設置だけを優遇する根拠は薄い。まずは植物工場等を含む社会的意義の高い産業施設への設置にも対象拡大を進めていくべきである。その結果として社会に大きな影響を与える両者の普及へのきっかけに繋がれば、支援策の波及効果も高まり、両産業における優遇制度への依存度もやがて低下していくものと想定される。工場生産としても今後生産品目が葉野菜や果実から対象を拡大していくためには、より多くのエネルギーを使用しなければならず、更なるコスト低減の努力が求められる。経済性において不利な状況下で、燃料費の高騰によって更に不利な状況に陥ることを防がなければならない。

既に政府は現在 50 ヶ所ある国内の植物工場を平成 23 年度までに 3 倍にする目標を設定している。補正予算では設備投資に最大 1/2 の補助、また植物工場関連研究や研修拠点に資金を費やすことを決定したが、現在当

初予算の1/4程度が執行停止となっており計画の推進姿勢はやや後退しているように映る。また実際に導入を進めるにあたり、初期投資以外にも規制もしくは基準が明確になっていない為に新規事業者の参入やコスト増となっている点や、工場化に伴うエネルギー収支の悪化に対する点への考慮、官民を挙げた経済外交を通じたマーケット拡大も肝要であり、改めてポテンシャルを確認した上での推進体制の刷新が望まれる。

## 期待される効果

環境制御型の植物工場では最適な環境を創り出す事で更なる生産性向上や新たな機能性植物の生産も可能になる。但し現状においては経済性、エネルギー収支、マーケティング不足の課題が残り、本提言による3点がシステムの普及を促し各課題の克服に繋がる事が大いに期待される。

特に再生可能エネルギー供給による環境制御型生産システムの海外展開には大きな潜在力が存在する。前述の中東地域は需要増と耕作地不足から食料不安を抱える一方で、豊富な化石燃料と太陽エネルギーに恵まれている。工場生産システムの燃料として豊富な化石燃料資源を利用する事も可能であるが、環境面での考慮や化石燃料の国外販売への機会費用も鑑みると利用を低く抑えた方が望ましい。そこで再生可能エネルギーを用いた省エネ、省水使用、高生産の工場生産システムの意義が高まる。試算として、中東地域の砂漠において植物の生育に太陽光を利用しながら空調や養分等の制御は太陽光発電で賄うとし、更に気化熱冷却や植物生育用の水を淡水化によって確保する事を想定しても、高収量性のイネ(年4期作)では1kg当たり300-400円程度のコストとなる(図表13)。

図表 13 中東地域における再生可能エネルギー利用型植物工場システムの例

施設	光源	空調	用水	電力
太陽光利用型	太陽光	■エアコン ■細霧冷房	■淡水化 ■除湿回収による再利用	太陽光発電

これは現地の輸入価格と比べた場合まだ高い価格となるが、食料生産の為に海外の土地取得に伴う現地の政策変更や想定外の環境変動リスクを考慮した時には、安全保障のコストとして捉えられる可能性もある。また一部中東諸国の中には、化石燃料後の自らの経済や国内エネルギー需要を太陽光または太陽熱発電で賄うことを計画しており、現在進む発電面での取り組みに加え用途での活用に本提案が一途となる。日本としても産油国向け支援の一貫として、また自国の製品や技術の普及に大いに役に立とう。

例えば現在国内で消費しているコメの100%を輸入しているサウジアラビアは、国連の中位予測によれば2050年までに人口が2005年の1.85倍となり、一人当たりコメ消費量が変わらないとすれば2050年の国内コメ消費量も同様に1.85倍となる。一方でサウジがコメの8割強を輸入しているインド、パキスタンの人口増加率も同様に高く(各年間1%超)、国内消費の増加も当然想定される。そこで、仮に前述の試算に用いた植物工場システムで国内消費をまかなうとすると、必要工場数、敷地面積、輸入価格との差額は図表14の通りとなる。

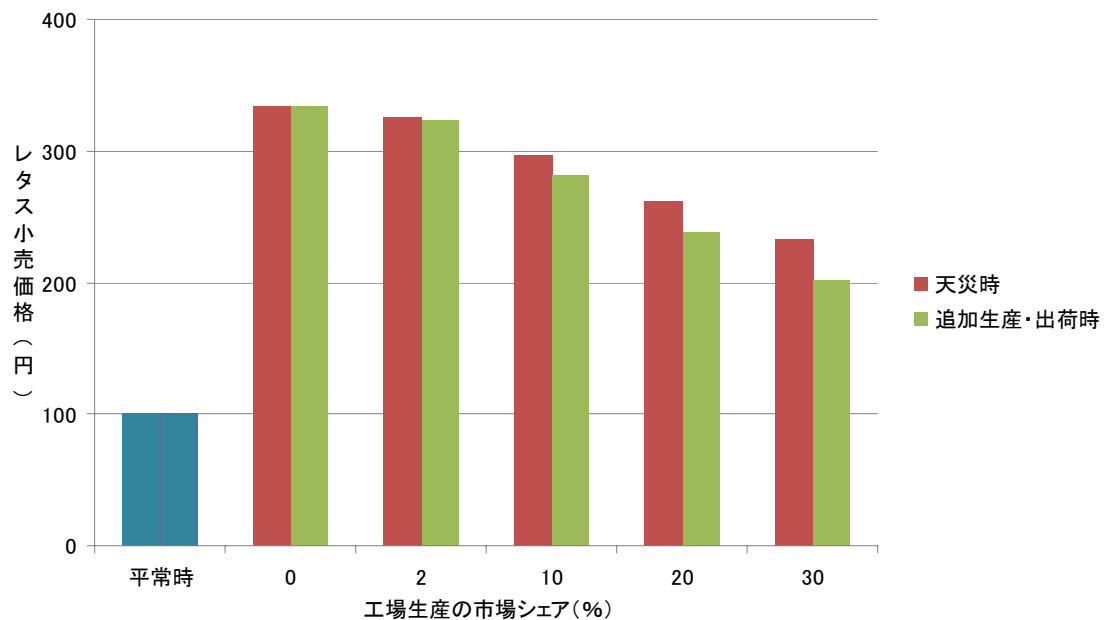
図表 14 サウジアラビアにおける植物工場でのコメ生産時の試算

	単位/年	2010	2020	2030	2040	2050
人口	百万人	26	32	37	40	44
コメ消費量	トン	758,358	913,304	1,055,969	1,169,433	1,261,473
植物工場数	個	2,039	2,456	2,840	3,145	3,392
敷地面積	ha	48,745	58,705	67,875	75,168	81,084
(砂漠における割合)	%	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
全量輸入と国内生産額との差	億円	2,543	2,784	3,219	3,565	3,845

(注) 人口予測は国連の中位推計を使用。コメ消費量は現在の一人当たり消費量が一定として計算。  
輸入額との差は現在の生産費から2018年の各種価格予測(図表4)に基づいた価格を減算。

更に環境制御型生産の導入が進むことによって市場においても農業の生産リスクの低減が期待できる。この効果を計測するため、野菜の卸売および小売市場の需給モデルを構築し、過去の生産変動を参考とした価格高騰に対して植物工場導入時にどう影響があるかを試算した。結果として、現状では前述した生産リスクの中でも特に大きかった天候変動によって生産量が5割減った場合に価格は小売市場で3倍超となるが、市場における植物工場のシェアが高まるほど小売価格の高騰は抑えられる。これは露地生産分は同様に天候影響で生産減となるが環境制御生産分には影響が無いためである。かつ、短期間で生産できる植物工場の特性を活かし、天候悪化を直前に予測して稼働率を高めることにより更なる緩和が期待できる。特に野菜類は長期の保存が困難なため、植物工場において従来需要の何割かを余分に生産することによって、供給減少が起こった場合に一般市場に出荷する事が可能になる。この点において、植物工場の特徴である「短い栽培期間」、「追加生産に費やす変動費の割合の少なさ」、「作物の日持ちが良い」等が優位性を発揮し、現在比較的大規模な工場でも稼働率が3~5割程度と低い状態であることを考慮すると十分可能と言える(図表15)。

図表 15 天候不順による市場価格高騰時の植物工場導入による低減効果(試算)



(注)天災時は露地生産分の収量は半減、植物工場では2割の追加生産が可能として試算。

このように世界の食料問題が拡大していくことが予想される中、本提案が農業に伴うボラティリティを低下させ、しいては複合技術が融合された新産業として日本の国際競争力の向上に繋がることを期待する。

本稿は2009年度政策提言プロジェクトにおける中間報告であり、今後は植物工場等の食料供給体系別のエネルギー・水収支の定量的評価に加え、市場導入時の社会的厚生の変化に対する分析等を踏まえ、最終報告に臨んでいきたい。

## 《参考文献》

- 池田英男「わが国における太陽光植物工場の現状と今後への期待」日本生物環境工学会 2009 年福岡大会講演要旨、2009.
- 技術情報協会『植物工場ビジネス戦略と最新栽培技術』2009.
- 財団法人地方財務協会『地方税関係資料ハンドブック(平成 21 年)』、2009.
- 西菌大実、茂木裕美「野菜の生産・流通における環境負荷の LCA 的考察」
- 高辻正基『完全制御型 植物工場』オーム社、2007.
- 日本政策金融公庫「植物工場で栽培される野菜に関する消費者意識」ニュースリリース、2009.
- 農林水産省、『平成 20 年度 食料・農業・農村の動向 平成 21 年度 食料・農業・農村施策』、2009.
- 農林水産省農林水産技術会議「進化する施設栽培 大規模施設から植物工場まで」農林水産研究開発レポート No.14、2005.
- Anthony F.F. Boys、 “The Current State of Energy Use in Food and Agriculture” *Journal of the Japan Institute of Energy* 2004、 83. 391-402.
- Derek Dewey Headey and Shenggen Fan、 “Anatomy of a crisis: The causes and consequences of surging food prices”、 *Agricultural Economics*、 2008、 Vol. 39、 issue s1、 pages 375-391.
- Michael J. Roberts and Nigel Key、 “Agricultural Payments and Land Concentration: A Semiparametric Spatial Regression Analysis”、 *American Journal of Agricultural Economics*、 2008、 Vol. 90、 No. 3、 pp. 627-643.
- OECD、 *Producer and Consumer Support Estimates*、 *OECD Database 1986-2008*、 2009.