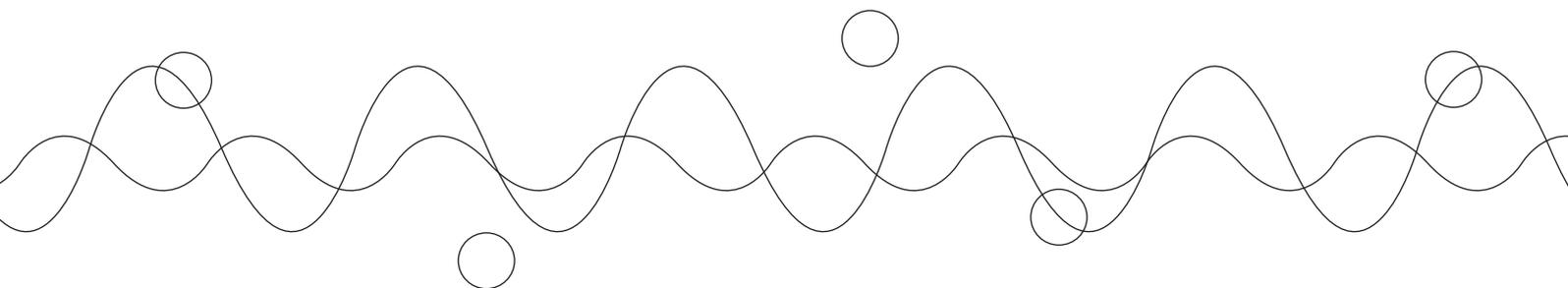


CRDS-FY2017-WR-01

**俯瞰ワークショップ報告書**  
**フューチャーグリーン2050**



国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency



## 1. サマリー

本報告書は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）が、平成 28 年 12 月 12 日に開催した俯瞰ワークショップ「フューチャーグリーン」の結果を記述するものである。

近年日本では、低価格品の輸入増加により農村での仕事が減少して若者の農林業離れが進んできたことに加え、日本全体での少子高齢化のため、農林業従事者の後継者が不足しており、農用地内や林地内の植物資源を維持するための環境条件を満足することが厳しい状況となってきている。その一方、国際的には、2016 年 5 月に発効した地球温暖化対策の国際ルール「パリ協定」を受けて、2025 年または 2030 年までの温室効果ガス排出量削減目標を国ごとに自主的に設定することが求められることとなり、CO<sub>2</sub>を吸収して温室効果ガスの排出削減に貢献するという観点から改めて植物資源に期待がもたれている。

こうした背景から、CRDS では植物資源を取り巻く環境の維持・発展・向上に必要な科学技術的課題を検討することにした。また、この検討の取り組みを「フューチャーグリーン」と呼ぶこととして、様々な分野の有識者を招聘してワークショップを開催した。なお本検討では、農作物だけではなく長い成育期間を必要とする樹木も念頭に置いたため、想定する時点を 2050 年頃とし、その時点に向けて必要な課題を議論することとした。

ワークショップでは、CRDS から次の仮説を提示した。「農林業従事者の減少により植物資源の維持に必要な環境条件を満足することが困難になり、近い将来、植物資源がもたらす様々な持続力（環境保全力、エネルギー供給力、食料・製品の供給力）や価値（地域活性）が減退する。」

これに対して有識者から現状認識、将来のあるべき姿、それを達成するための技術、課題などの話題が提供され、最後に総合討論を行った。

話題提供では、主につぎのような内容の発表があった。

- ・「水田が畑地としても利用できる汎用化、品種の開発、管理技術を組み合わせることによって、複合経営を行い、2、3 年あたりの生産力を大きく増やす『水田の超多収輪作技術』が必要である。その作物栽培には、施肥を行うが、肥料は、窒素循環を前提にした場合、元素によっては循環中に環境へ逸脱してしまうものが多いので、窒素循環は理念としては正しいが、実際にはその実践は容易ではない。元素循環に基づいた正しい（方向性を持つ）農業を考える必要がある。環境保全に先進的な考えを持つ EU では、施肥による窒素環境負荷の問題で、1991 年に『硝酸塩指令』を定め、『ぜい弱地域』を指定し、その地域における家畜排せつ物の施用を制限して、農業由来の窒素環境負荷の軽減・拡大防止を図っている。」
- ・「森林は人が関与しなければ素晴らしくなるという一般社会の認識があまりにも現実の森林とかけ離れており、非常に大きな問題だ。資源は使わないと循環が進まず、森林の再生も進まない。『森の恵みを生かした持続可能な循環型社会』を目指し、森林の伐採・利用・再生まで、生態系サービス機能を向上させた森林管理システムを作る必要がある。」

- ・「農林業は工業と比較すると経済的社会的効率が低いと言われるが、決してそうではない。農林業の生産過程の行為を通して、生産物の価値のみならず、多面的・公益的な価値が産み出されることを考える必要がある。」

総合討論では、主に次のような議論、意見交換がなされた。

- ・「豊かな植物資源がもたらす 2050 年の姿を想像することは、農業では現状の課題が大きく難しかったが、林業では、『森の恵みを生かした持続可能な循環型社会』の考えが示された。そのために開発すべき科学技術として、農林作業を軽労化、効率化するように支援する技術や、環境保全、エネルギー供給、食料・産品供給を満足させ地域活性を向上させる技術などが多く提案された。その際の評価指標として、窒素過剰率、地力、多面的機能、生態系サービスなどが挙げられた。なお、技術導入の際に経済性の確立は重要だが、経済性ばかりにとらわれず、地域環境を維持する住民の共助の価値観も重要である。」

以上を踏まえ、本ワークショップからは、次のような認識を得た。

- ・農林業に於いて、植物資源がもたらす機能（様々な持続力や価値）を表す指標は長年の研究から多数提案されている。この指標の開発や実際の定量化において基礎となる研究は、生態系サービス研究分野と窒素、リン、カリ、水などの物質の動態を追跡したり推定したりする資源循環研究分野である。しかしながら、こうした分野の研究がこれまで行われてきたにもかかわらず、植物資源がもたらす各種機能を定量化することは、依然として容易ではなく、機能の劣化を科学的に把握することが十分にできていない可能性がある。
- ・植物資源がもたらす各種機能を維持・回復・向上させるには、関連する分野の研究の更なる進展が必要である。現場に導入可能な科学的手法や技術の研究開発を促進することも望まれる。また、これらをより効果的に推進する上では、農学、工学、環境学等の従来の学問領域を乗り越えた研究体制を構築することが重要と考えられる。

CRDS では、今回のワークショップで得られた結果を基に、今後国として重点的に推進すべき研究開発領域、具体的な研究課題、その推進方法の検討などを引き続き進める予定である。

## 2. 趣旨説明

研究開発戦略センター（CRDS）は、環境・エネルギー分野、ライフサイエンス・臨床医学分野、ナノテクノロジー・材料分野、システム・情報科学技術分野の各分野において、国内外の科学技術動向を広く俯瞰し、今後国として重要な研究開発領域・課題の特定やその推進方法等について検討を行っている。その結果から種々の報告書や提言書を作成し、関連府省庁へ発信している。そしてそれらは、政府の各種施策の策定や JST 自身の研究プログラムの研究領域設定に活用されている。

環境・エネルギー分野では、現状の主な社会的背景として、次の2点が挙げられる。

- ①パリ協定の発効・地球温暖化対策の国際ルール「パリ協定」が、2016年5月に発効し、地球の気温上昇を産業革命前から2度未満に抑えるため、2025年または2030年までの温室効果ガス排出量削減目標を国ごとに自主的に設定することになっている。気温上昇による気候変動は、熱帯、温帯の主要作物の生産に負の影響を与えている。
- ②持続可能な開発目標（SDGs）・気候変動、自然災害、感染症といった地球規模の課題が連鎖して発生し、経済成長や社会問題にも波及して深刻な影響を及ぼす時代になってきている。そしてこの状況を踏まえ、2015年9月に国連で採択された持続可能な開発のための2030アジェンダが、開発途上国の開発に関する課題にとどまらず、世界全体の経済、社会及び環境の三側面を、不可分のものとして調和させる統合的取組として作成された。そして、先進国と開発途上国が共に取り組むべき国際社会全体の普遍的な目標として17のゴール（目標）で構成する持続可能な開発目標（SDGs）が掲げられた。日本政府もこの目標達成の活動に取り組み、2016年12月、その実施指針が決定された。

CRDSは、パリ協定の発効と持続可能な開発目標（SDGs）に鑑み、気候変動の緩和策・適用策に資するだけでなく、環境保全やエネルギー供給などにも資する豊かな植物資源が持つポテンシャルに着目した。植物資源はCO<sub>2</sub>の吸収に非常に重要な役割を果たし、人間や動物への食料を供給し、水、空気や土壌など環境を浄化することや、治水力を提供するなど環境保全に重要な役割を有する。一方、近年日本では、少子高齢化による農林業の後継者不足・労働力不足や耕作放棄地の増加などの課題があり、植物資源の維持のために必要な環境条件を満足することが厳しい状況となってきている。すなわち、植物資源は様々な持続力と価値を供給するが、その減退が強く危惧されるようになってきた。そこで、CRDSは、植物資源として農作物だけでなく森林の生育期間も考えて、パリ協定が目標時期に設定する2030年より先の2050年における植物資源とその環境状況を想定することにした。そして、2050年までに植物資源環境の維持・発展・向上にはどのような科学技術を開発すべきかを検討することにした。

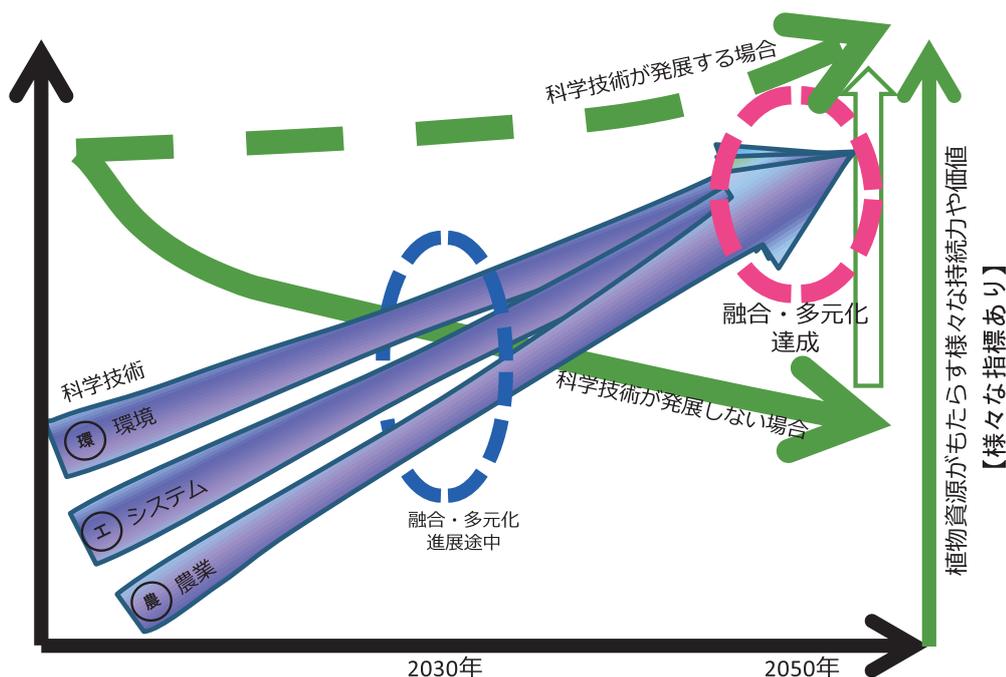


図1 フューチャーグリーン

CRDS の検討の仮説として、概念図（図1）を紹介する。少子高齢化による農林業の後継者不足・労働力不足や耕作放棄地の増加などの課題に対して、科学技術が発展しなければ緑色の実線が示すように、2050年には植物資源がもたらす様々な持続力や価値（図1右縦軸）が減退する。この減退を抑え、逆に向上させるためには、科学技術の発展が要請される。そのためには、何が必要か。それは従来の学問分野（環境学、工学、農学）がより密接に議論し（図1、3本の矢印）、解決する技術を開発することだと考える。

それでは、様々な持続力や価値とは何か。それに対し、CRDSは2つ目の仮説（図2）として、3つの力と1つの価値から成る四本柱を考えた。それは持続的な環境保全力、エネルギー供給力、食料・製品の供給力、そして地域活性である。1) 環境保全力とは、CO<sub>2</sub>の吸収、気温上昇の抑制、土壌の炭素貯留、水田棚田による保水、山崩れ防止などであり、それらを評価し管理する技術が必要である。2) エネルギー供給力は、バイオマスからのガスや間伐材を燃焼させて得るエネルギーや小水力発電からのエネルギーであり、それを実現する技術が必要である。3) 食料・製品は植物資源そのものであるが、その供給には、土壌モニタリング、ファインバブル水などの技術が必要である。4) 地域活性とは、上記1)～3)に関わる技術導入後に持続的にその利用が進むために経済性が成立するような取り組みである。例えば、エコツーリズムやセラピー農場などがある。



図2 3つの力と1つの価値、それを支える科学技術

2050年に向けて、この四本柱を維持・発展・向上させるという目標を達成するためには様々な技術が必要とされる。ここでは、一般解として、8分類の技術考えた。この8つの技術とは、①観察し、②解析し、③将来事象を予測し、④これらの各技術のシナジー効果を高められるよう体系化する概念を創造する。そしてその概念に基づき、⑤現地作業を支援する。⑥そして、複数の指標を定めて、開発される科学技術自身を評価し、⑦気候変動影響を緩和すべく複数の操作変数を制御、⑧管理するものである。

なお、図2において、2050年に向けて開発すべき技術には、1)～3)の個々の柱だけの領域範囲に収まることなく、他の柱の領域も包含し、最終的に4)地域活性に結びつくよう意識して開発されることを期待している。言い換えれば、開発した技術を皆が使うことで、経済的効果が生まれて、さらにその技術利用が進展、拡大することを期待するものである。

本日のワークショップでは、有識者である講演者からご意見を頂き、今後の方針策定を目的として、次の内容を論点とする総合討論を行いたい。

- 論点1 豊かな植物資源がもたらす2050年の社会の姿
- 論点2 科学技術が進展しない場合に低下する指標とそのレベル
- 論点3 低下するレベルを向上させるために開発すべき科学技術
- 論点4 フューチャーグリーン概念「3つの力と1つの価値」と8つの科学技術
- 論点5 持続可能な力や価値は経済性評価が基盤

なお、講演者には、図2の構成項目に基づき作成したマッピングシート（図3）を利用頂き、提案される科学技術が仮説の四本柱と8つの科学技術とどのような関連を持つのか、すなわち関連する箇所を線で結んで示すことにより、技術内容を可視化して、ご説明頂くことをお願いしたい。

## 科学技術のマッピング

提案者:

| 領域<br>技術項目 | A 環境保全 | B エネルギー<br>供給 | C 食料・産品<br>供給 | D 地域活性 |
|------------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1. 観察する    |        |               |               |        |
| 2. 解析する    |        |               |               |        |
| 3. 予測する    |        |               |               |        |
| 4. 創造する    |        |               |               |        |
| 5. 支援する    |        |               |               |        |
| 6. 評価する    |        |               |               |        |
| 7. 制御する    |        |               |               |        |
| 8. 管理する    |        |               |               |        |

図3 マッピングシート

### 3. 講演

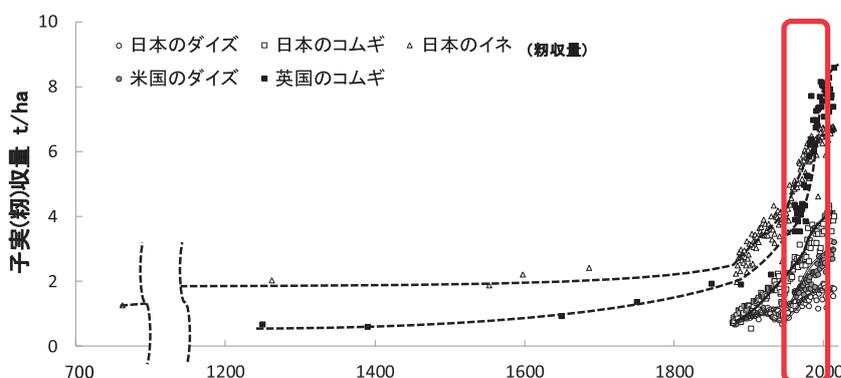
#### 3.1 「食用作物の生産技術とグリーンパワー」

白岩 立彦（京都大学大学院農学研究科 教授）

食用作物の生産技術、栽培技術に関連して、3つの課題をお話します。なお、専門の関係上、1つ目の課題にほとんどの時間を割く。

現状認識として、植物資源の利用において、やはり将来にわたって食用作物の生産はきわめて重要な位置づけであることは議論を待たない。それに対して、農業の縮小と農地・担い手の減少に歯止めがかかっていない状態である。このために、現時点では逼迫してなくても、潜在生産力を維持しなくてはならないので、その低下、あるいは地域の過疎化、多面的機能弱化等が問題となる。加えて気候変化・変動の問題がある。モンスーン変動を受ける日本では特に水環境の変動が大きく農業に影響を与えている。この中で、日本は水稲作、および水田で行う作物生産がやはり引き続き重要である。なお、多面的機能では、環境維持機能、環境保全機能があり、共同体の維持、情緒的機能、教育機能などが山間地農地では特に重要である。それに関して、稲作の現状認識についてお話します。

食用作物の収量の変化を図1に示す。長らく生産性が低い時代が続き、150年ほど前に作物の生産性が急増した。図1では、ダイズ作、小麦作、稲作について示す。



ダイズ(日本、米国)、コムギ(日本、英国)および水稲(日本)の収量変遷  
森本(1999), 稲村(2001), Joan Thirsk(1985), Stanhill(1976), 作物統計, FAO statisticsより

図 1

図2は、栽培品種の平均収量性を示し、増収や収量変動に新種の違いがどれくらい寄与しているかを統計的に求めたものである。稲作の生産性は、現在、6.5トン籾（もみ）／ヘクタール（ha）になるが、過去50年～55年ぐらい期間の前半で急増して、後半で停滞、もしくは漸増という時代を迎えた（図2上）。この急増の要因を調べた。図中に示すRDYAは、収量の変化において栽培品種の変化による部分を統計的に求めたものである。この期間の増収において、当初は品種の寄与が大きかったが後半は栽培技術の寄与が

大きかったことを示している。

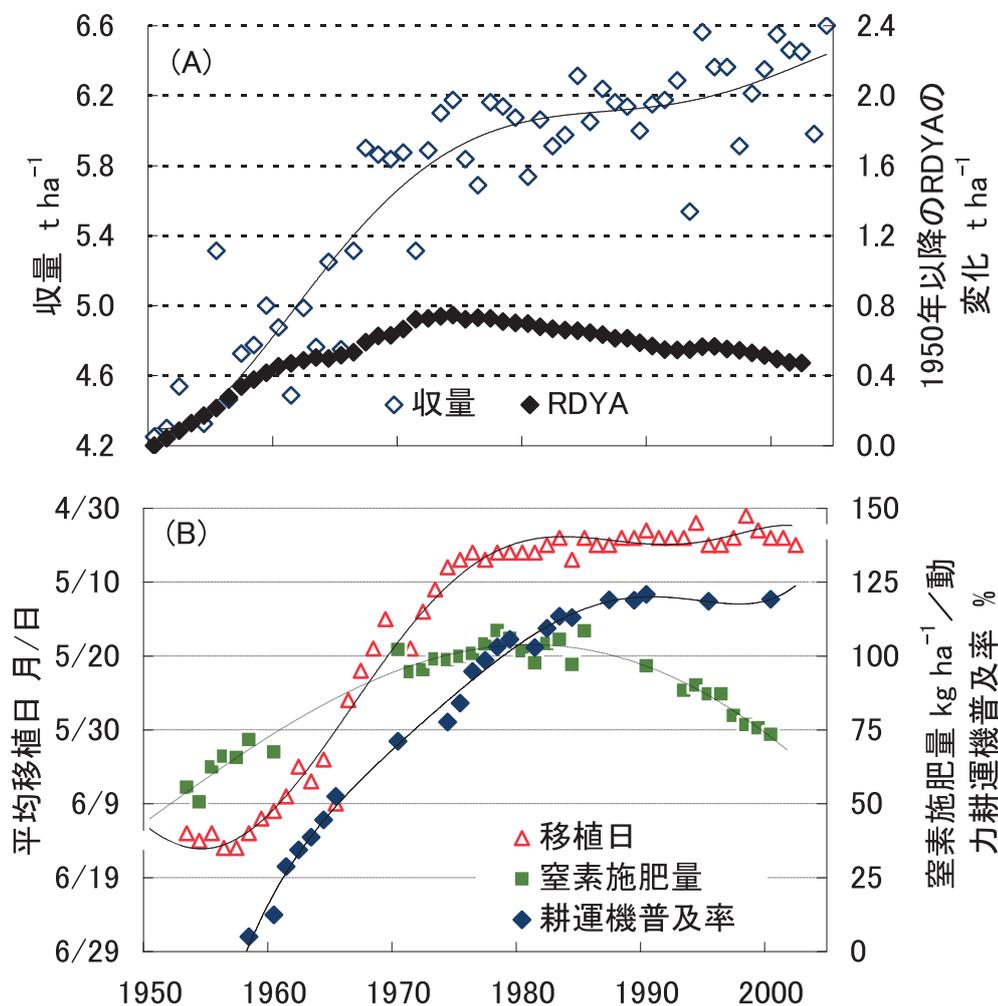


図 2

図 2 下は、滋賀県における施肥量の変化である。窒素肥料が同期間の前半に増大して、後半に漸減している。移植日を見ると、移植時期が早まっていることが判る。これらの技術が増収に寄与してきた。収量急増期は、収量が最も重視された時代であり、その後、品質・環境が重視される時代が来て、収量は伸びなくなった。現在は、よく取れる品種よりも美味しい品種が重視されるようになって来ている。ただ、品質・環境重視の稲作技術はかなり進んできて、現在はかなり水準が高いと感じている。

品種に関しては「コシヒカリ」が基準になるが、品種改良で「コシヒカリ」を超える良質の品種ができるかと問えば、それを越えることなかなか困難であり、ある種の個性を強調する品質の開発が進められている。外国人は、日本の米はものすごく美味しいと言うが、その実現には、集荷後の調整、特に色彩選別など、選別の技術が重要な位置を占めている。環境面では、施肥を効率的に行う種々のオプションが開発され、普及している。図 2 下では、窒素施肥量が漸減しているが収量自体は上がっている。図 1 で言う最近 150 年での増収は、系外からの肥料投入が生産性を上げてきたことを示すが、それと違う局面が現在、進んでいる。それは西欧技術、すなわち、特に効率の良い分施（追肥）、局所施肥、

食用作物の生産技術と  
グリーンパワー

機能性（緩効性）肥料などの開発普及によるものである。

それらに加えて、環境にやさしい農薬の開発が進み、かつ回数を減らす工夫が各所で進み、また農薬を用いない稲作が多方面で実施されている。そして、先述した 6.5 トン粳／ha という収量は、作物モデルから理論的に計算できる気候的可能最大収量と比較すると、現実では、その 7～8 割まで達成している。つまり今の日本の稲作は、高品質、高収の伸び代は既に小さい成熟段階であろう。

日本の稲作を世界の稲作の中で位置づけてみたい。諸外国の稲作は、中国における超多収他用途米の稲作、熱帯アジアの東北タイ天水田、ラオス焼き畑など、多種多様である（図 3）。日本の稲作の現在の特徴は、非常に超多収から、あまり収量にこだわらずに無農薬や施肥をしない稲作まであり、個性的で多様であることだ。これは多様な目的に応じた展開をしている状態も伴っている。すなわち、成熟し、多様な展開をしている。

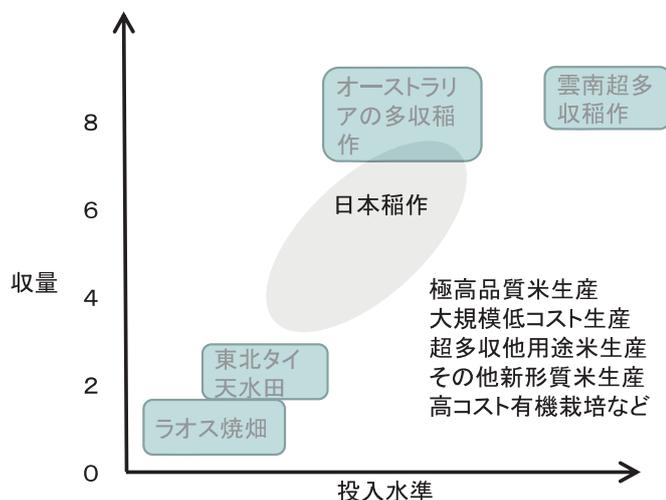


図 3

今後、減衰を避けられない農業・農地の維持・増進、低下を防ぐためには、農地を減らさないことがとても重要である。稲作および水田作に関しては、成熟し、多様化しつつある状態をベースにした技術開発が必要になる。技術の発展がなければ、食料潜在生産力が低下し、食の質が低下し、教育および人心の安定へ影響を与える。

そこで、3つの技術開発を提案する。1つ目は、水田の超多収輪作技術である。その背景として、農業の大規模化、圃場の大区画が進んでいることである。かつては 1ha というのが大規模圃場と言われたが、今は 5ha レベルのものが増えている。その理由は、農業を続けるためには収益性の追求は当然で、かつ、コメだけでは農業が維持できない場面がほとんどであり、複合経営が必要とされるからである。農地は、平坦部と中山間地に分類されるが、特に条件のよい平坦地においては、その農地を保全し、安定した営農を得るために、やはり大規模・大区画化が促進される傾向がある。これを積極的により方向に進めるための技術開発が求められる。そのために水田区画は水田だけでなく、畑地としても利用できる汎用化、品種の開発、管理技術を組み合わせることによって、複合経営を行い、2、3年あたりの生産力を大きく増やすことが必要である。ただし、コスト削減が長らく言われてきたが、それだけでは海外の農業とは太刀打ちできないため、近年ではやは

り増収によって収益性をよくすることも考える必要がある。

写真（図4）はアーカンソー州の田畑輪換である。この水田は生産性が相当高い（大体7～8トン粃／ha）と推定される。当該地は、畑地期間と水田期間とを輪換する。水田を造成するときは大型の機械で、畦を造り、そして畑地化するときにはそれを崩してダイズを栽培する。ダイズ、稲が土地の形状ごと輪換している。水田の区画を丁寧に維持することなく、大規模に輪換して、そして畑地にしてダイズを生産する。その生産性も非常に高く、日本の2倍程度ある。このような作畦と畦の除去を行う大規模・大がかりな輪作によってダイズやコムギの生産性（一年あたりの反収ではなくて、期間あたりの反収）を上げている。



図4

水田の超多収輪作技術は、農水省がすでに進めている技術開発であり、これを支援する技術開発も進む。多圃場を計画管理するソフトウェアは既に市販されている。情報通信技術、ソフトウェア、プログラミング技術が急速に進み、そしてリモートセンシング技術も衛星・飛行体両面で行われている。低コスト化を志向して、自動走行の作業機械もやがて開発されるだろう。もちろん、栽培技術研究も進んでいる。

次に生産性を10%、20%でなくて、2倍のレベルに上げるための技術がやはり求められる。図1に示すとおり、コムギの平均収量については、イギリスのそれは8トンを現在超えている。日本は4トン未満である。ダイズでは日本は1.5トン程度、アメリカは今年3トンを超えている。これら2作物は増収の余地が大きい。ダイズでは、モンソーンアジア地球と南北アメリカでずいぶんと生産性が乖離していることを示しているが、この生産性の違いには品種が絡んでいるので、生産性の向上を図る技術開発が必要である。

イネの多収のための研究開発は種々行われてきた。多収性と高品質を得るには、遺伝子情報を用いて統合することも大事だが、さらなる多収を考えると、光合性能を高めることが不可欠だと考える。ダイズも同様だと考えている。生理的な解析と遺伝的な解析が進められるが、光合成を高める技術は、他の生理的要因に比べて重要性が高いと考える。

なお、作畦と畦の除去を行う大規模・大がかりな輪作を行うと、生態系の改変を伴い、地力の変化が懸念される。従って、環境予測（環境負荷、肥沃度）は、不可欠と考えている。

提案する技術開発の2番目に発電システムを用いた高付加価値園芸（図5）があり、3番目に除草など農地・緑地管理支援ロボットがある（図6）。これらは、平坦地の条件良好地ではなく、山間地の農業、農地が果たしている地域共同体、教育、情緒的な機能とい

うものはやはり維持されるべきだと思ひ、そのために必要な技術として高付加価値生産と、軽労化と、それらを支えるための技術として重要だと考へている。

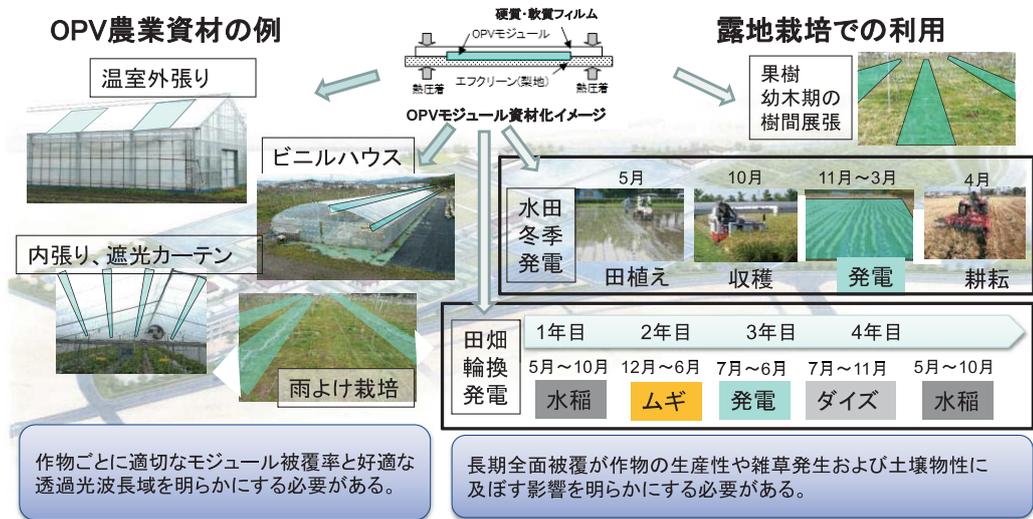


図 5



図 6

提案する3つの技術開発のマッピングは図7の通りである。3つの技術開発に関しては、解析、予測支援、制御の切り口が関わってくると考へている。

# 科学技術のマッピング

提案者: 1 白岩立彦(京都大学)

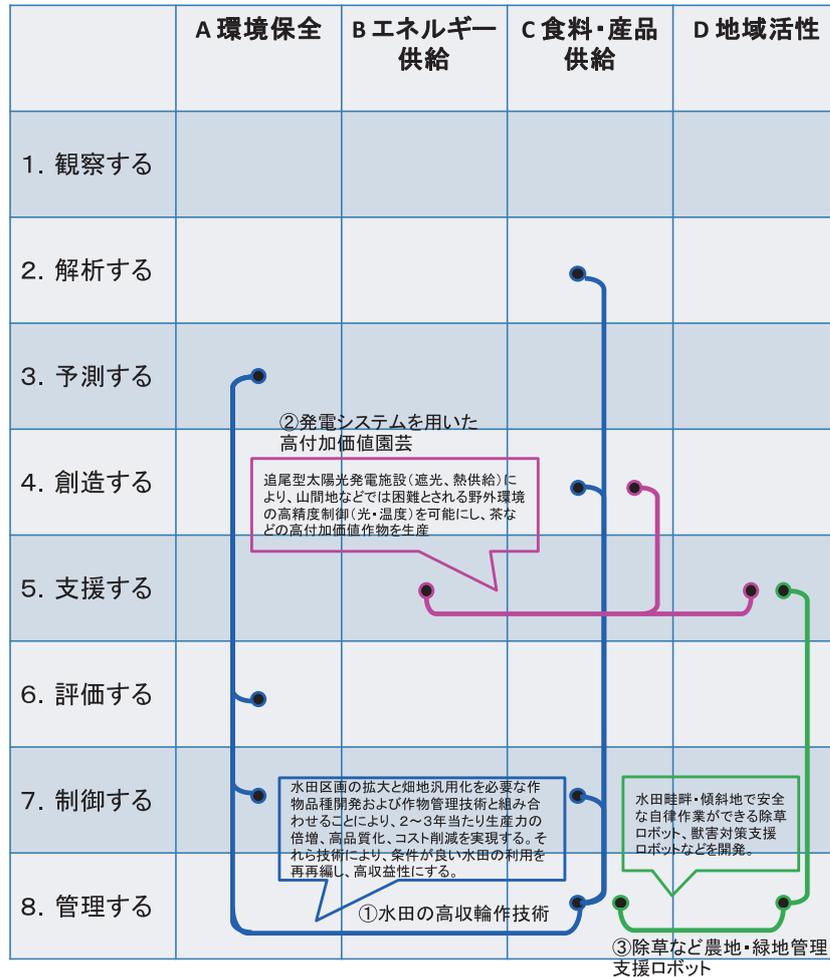


図 7

## 質疑応答・コメント

- ダイズの収量がアメリカに比べて日本ではなぜ低いのかを作物の先生はどのようにお考えなのか、教えていただきたい。
- (回答) 2つ理由がある。1つがモンスーン気候であること、2つ目は品種である。日本では品質重視で育種がずっと進められたので、生産性が選択されてこなかった。
- モンスーン気候が理由というのはどういうことなのか？
- (回答) 夏期に、雨が多いからである。ダイズの栽培はいろいろ変えても、やはり5月から7月、8月ぐらいまでが播種期になるので、その頃に雨が多いと湿害が重要なファクターになる。
- 2050年に向かって生産性を上げる必要があるという主張があった。ダイズはまだ自給率は非常に低い状態なので上げる必要があるが、コメが余っている状態において、生産性を上げて農村社会がどのようにうまく持続できるのか？2050年の農村を考えると、コメの生産性を上げることは、どれだけ農村の豊かさに寄与するのかについて、ご意見を頂きたい。
- (回答) 農家の経営を改善するために、コスト削減や新たな省力技術導入などが努力され

- ている。それらの努力を積み重ねても、稲作の収益性がなかなか上がらない。結局、生産量（収量）を上げることが収益性のプラスになるという考えである。コメの生産性が上がると、よりコメ余剰になるのは、否定しない。そのため、コメを作付けない水田などの土地利用の割合は今後増えるので、イネ、コムギ、ダイズとの複合作付けが進み、徐々にイネの比重は下がってくると考える。それでもなお、収益性を維持するには、限られた土地面積での稲作の収量も上げる必要があると考える。なお、具体的データはない。
- 資料の図8「グリーンがもたらす持続力・価値指標」で、土壤炭素含量とある。これを説明願いたい。

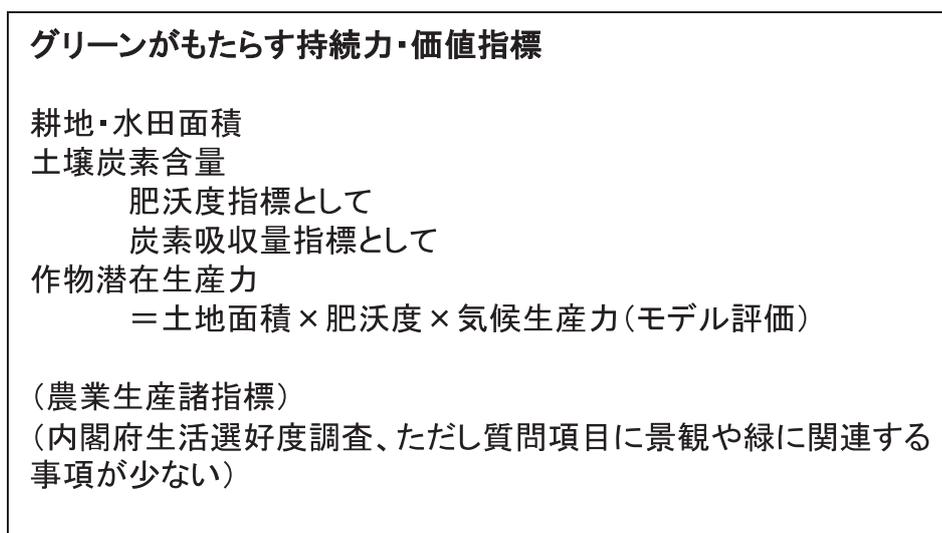


図8

- (回答) 耕地・水田面積と土壤炭素含量を指標とした。さらに、これら2つを掛け合わせて、かつ気候の要素を採り入れ、日本の作物の潜在的な生産力を決める三大要素になると考えた。作物潜在生産力とは、地力である。地力は土壤炭素含有量と関連する。水田の転換利用が始まってから30年ぐらい経過して、地力の消耗が進んでいることがかなり意識され、過去10年ぐらいで地力の低下がかなり話題に上るようになってきた。ダイズが、同様な地域で同様な栽培方法をしていても、大きく育たないことをよく聞く。この問題は、イネの生育ではまだ顕在化していないが、畑作では顕在化してきたことを多くの農業関係者が懸念している。東南アジアの水田でも、地力の低下が問題になってきている。しかし、日本では長期的、基礎的な調査から、土壤炭素含量は低下していないという知見がかつてあったが、近い将来が心配だ。例えば、現在、日本のイネの生産量は、日本で水稻栽培をして、十分な肥料を与えれば、気候が良好な条件では、大体7～8トン/haが可能である。この生産量達成には、土壤肥沃度に制限がないことと、気候（温度と日射）で決まる。これは作物モデルにて計算可能である。
- 図7のマッピングシートで、地域活性の領域につながっている科学技術「③除草など農地・緑地管理支援ロボット」について、ご説明をお願いしたい。
- (回答) ③除草など農地・緑地管理支援ロボットは、②発電を用いた高付加価値園芸とセットで考えており、この2つで条件不利な地域の農地の減少を食い止めたい。農村にとって、今、この2つが必要だと考えたので、地域活性のところにつなげた。

### 3.2 「森林の恵みを活かした持続可能な循環型社会の形成に向けて —2050年の森のための研究・技術開発—」

田中 浩（森林総合研究所 研究統括理事）

林業は農業と比べて時間スケールの長い森林を対象にしているため、研究開発においても、考慮すべき時間軸が長いことをまず確認したい。

森林・林業の過去の110年間（明治32年から平成21年まで110年間）を概観する。第二次世界大戦までの造林面積（人工造林の面積）はずっと年間10万ヘクタール（ha）ぐらいである。明治32年頃から大正8年までの20年間ほどに特別経営造林時代があり、一生懸命植林した。大正初めから昭和14年頃までには天然更新時代があり、技術は確立していなかったが、とにかく自然力を使って天然更新をすることが主張され、試みられた。但し、実情はあまり上手くいかなかった。第2次世界大戦後から昭和40年代にかけて拡大造林時期があり、大変大きな面積が植林された。多くの無立木地への植林を含むのでイコールではないが、同時に大きな面積の森林が伐採されたことになる。現在では、造林面積は年間約2万haに減っている。110年間にこれほどの大変動があり、そういう流れの中で我々は、今後の50年後を考えていかなければいけない。50年前の拡大造林時期に、一生懸命造林した1,000万haの人工林資源が、現在、大体50年経過し、今収穫の時期を迎えている。それをどう持続的に利用管理していくかが、将来に向けての大きな課題である。

現在、攻めの農林水産業という声があり、「林業の成長産業化」がキーワードになっている。近年、年間2万ha弱の植栽面積しかないにもかかわらず、成長産業化するには、1つには10年後に木材生産量を木材自給率50%に相当する年間3,600万m<sup>3</sup>まで上げる場合、9万haのスギを全部伐ってしまうこと（皆伐）になる。もう一つ、バイオマス発電への転換が今進められている中で、2030年に発電量50万KWという数値を達成するには、年間約3万haのスギ林の皆伐に相当する木材量になり、現状から見ると、大変大きな数字を達成しなければならない。従って、皆伐・再造林面積を増加させる必要があるが、実際には少しずつしか進んでいないという印象である。（図1）

森林の恵みを活かした持続可能な循環型社会の形成に向けて



図 1

森林・林業における喫緊の課題は、何がネックになって、皆伐・再造林が今まで進んでこなかったかを考えることから見えてくる。

- ・人工林を全部伐ると（皆伐）、伐った後の再造林のコストが非常に高い。伐っても、植林するだけのお金が得られない状態である。そのためには植林コストをもっと下げて、少しでも森林所有者が儲かるようにしないと、持続性が担保できない。
- ・過去に 1,000 万 ha まで植林した背景には、それまで林業を行ってこなかったような天然林を伐ってきたことがある。今後、大変アクセスも悪い場所でこれからも林業を続けるのかというと、「それは無理」と考えるべきなので、一定の人工林をまた天然林に戻すことを長い目で行う必要がある。
- ・森林の構成や配置を考えなければならない大きな問題がある。
- ・農業でも話題の ICT の問題がある。林業は非常に 3K な労働で、今まで人間の力を使って行ってきたが、なかなか機械化が進まない。農業に比べて、さらに地形が難しいため機械化導入が遅れている。林業労働力が減少する中で ICT を使って、林業の姿自体を変える必要がある。
- ・気候変動下での森林の多面的機能の維持という課題がある。生態学の分野には「生態系サービス」という言葉があるが、農林水産行政では多面的機能という表現になじみがある。この機能をどう維持していくかである。
- ・人工林が増加した中で、増加する生物被害のコントロールが問題である。問題となっている生物は、シカ、イノシシ、サルなどであるが、特にシカによる被害が非常に大きな問題になっている。生物被害をコントロールすると同時に、生物多様性をどう保全していくか。シカによって失われる生物多様性もあり、シカも含んだ、将来あるべき生物多様性をどう保全していくかが、将来の大きい課題である。
- ・林業という産業自体が環境に対して決してネガティブなわけではない。木材は再生可能資源であるので、木材利用を促進することでグリーンな世界を維持できるという意味がある。森林の利用促進をどう進めていくかが、やはり森林・林業、木材産業全体を通しての課題である。

本日のワークショップのテーマ「フューチャーグリーン」と同じく、森林総合研究所でもちょうど“2050年に「森の恵みを活かした持続可能な循環型社会」をつくりあげるための研究開発ロードマップ”（図2）を作成している。これは、かつて作成した2008年版を改定したものである。その内容をこの場で、JSTの考えるフューチャーグリーンと関連させながら紹介する。



図 2

我々は森林・林業、木材産業の 2050 年の将来像（将来 2050 年の森に向けた方向性）を考える上で、大きく 4 つの方向性を考えた（図 3）。1 つ目は「森とくらす」、水資源の涵養など森林の機能を維持する。2 つ目は「森をまもる」、地球温暖化対策や生物被害などからも森林の保全技術をつくる。3 つ目は「森をそだてる」、森林を利用するため、伐って、また育てることで、これは森を使いつつ、それを更新して、どう育てるかという技術の問題がある。4 つ目は「森をつかう」、森林を守るためには森林をどのように賢く使っていかかが非常に大事なことであり、技術開発を進める必要がある。

その中から、本日のワークショップのテーマに関する部分で技術開発の話題を紹介し、説明する。

## 4つの方向性

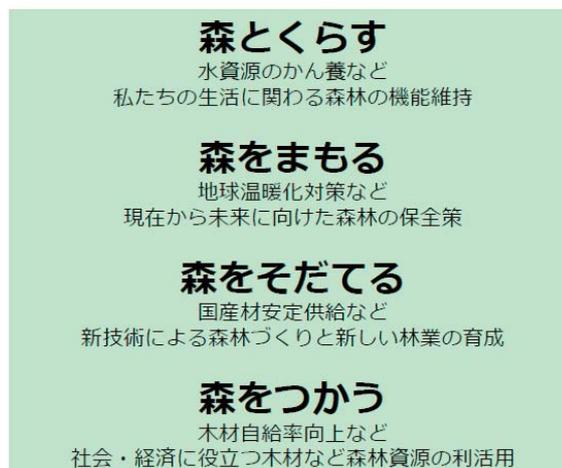


図 3

1 番目は「森とくらす」。これは「森をまもる」とも関わってくるが、生態系機能の定量化と面的分布の評価および長期的な変動予測技術がある。今後、温暖化により、災害の規模が非常に大きくなり、またその頻度が高くなるなど、モンスーン気候の大きな変化が

あるが、従来、森林が担保している表層崩壊防止機能をどう定量的に評価するかが非常に重要な技術開発と思う。そのような定量化評価技術を空間的に拡大する必要がある。ミクロな空間スケールでのメカニズムとして、樹木の根系による土の補強力があるが、これを面的に広げて評価する作業が非常に重要になってくると思う。(図4)

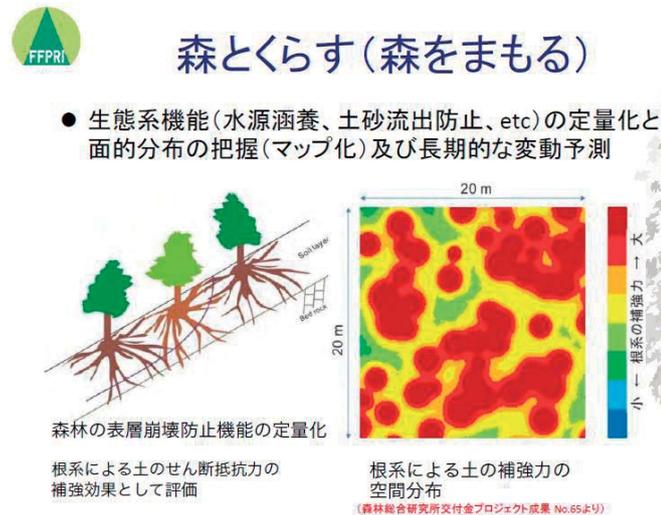


図4

生態系を基盤として災害リスクを下げる考えで、Eco-DRR (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction) という言葉がある。これは、生態系機能を活用して災害を防止する技術を開発することである。その中のキーワードの1つとしてグリーンインフラの効率的な配置や整備がある。従来の工学的につくられたインフラをグレーインフラと呼ぶが、それに比べて、自然のインフラ(グリーンインフラ)をどれだけ活用できるかという技術開発が重要と思う。その中には、監視や避難誘導の体制整備等のソフト対策もあり、崩壊や土石流の発生危険度の予測精度の向上が必要である。そのためには、時系列データが必要で、例えば空中写真を過去から現在まで撮影した年代別データを活用して、将来を予測するような技術開発を行う。また、観測衛星データの活用があり、干渉 SAR が崩壊地の予測に非常に有効とする技術開発などがすでに進められている。今後も新たな観測衛星が打ち上げられる中、衛星 Lidar などの利用も、当然考えられる。

2番目は「森をまもる」。生物多様性に関して特に重要なところは、経済活動との連携の強化である。生物多様性がどのような経済価値を持つかを評価することで、生物多様性保全を主流化する、あるいは産業の中に活かしていく研究がこれからもっと重要になると考えている。現在、人工林であるトドマツ林の中で広葉樹を残す施業の研究プロジェクトを行っているが、生物多様性を人工林経営の中でどれだけ担保できるか、それが経済的にどんな意義があるかという評価研究も進めている。農業との関係では、結実に関わるポリネーター(授粉者)であるハチが森林によって生かされることでソバの実りが向上する相互関係の評価する研究がすでに行われたが、このような研究は農業と森林が共存していく中で非常に重要な視点と思う。このように、評価軸として生態系サービスを重視した持続可能な農林業により「森を守る」ことを達成することが目指すべき方向性と考えられる。(図5)



## 森をまもる

- 生物多様性保全と経済活動との連携強化  
環境税、森林認証、生物多様性バンキング、生物多様性  
オフセット等のための技術開発



生態系サービスを重視した持続可能な  
農林業の発展

図 5

「森をまもる」の中では、生物多様性については保全と修復技術の開発が必要であり、特に ICT の活用がこれから望まれる。従来法ではカメラトラップを使った野生動物の自動観測で野生動物の管理を行っているが、その行動を正確に伝える、個体数を把握することはまだまだ難しい。それに対して、ICT の活用で、安価で精度の高い大量のデータを収集する技術開発がある。そのために新たなセンサーリング技術や、バイオロギング技術をも活用する必要がある。

3 番目は「森をそだてる」。伐った後に木を育てることだが、3K と称するように、非常に技術的には遅れている。高性能機械の導入をずっと進めているが、なかなか本当の意味で根づいて普及・活用する段階には至っていない。高性能機械を「使いこなす」ことが非常に重要と思う。伐採後の植え付け作業や雑草の下刈りや雑草木を刈り取る作業があるが、これらの非常に厳しい労働作業をアシストするロボット技術などがないと、今後若い人が参入する労働環境が作れない。女性が笑顔で働けるような環境をつくる必要がある。例えば、多機能ハーベスタを導入すると、非常に困難な伐採作業、その後の玉切り作業、集材作業などの林業労働が、エアコンの効いた運転席からの操作で全部可能である。さらに、センサーリング技術を応用し、作業中に種々のデータを収集して、クラウド化のかたちで情報を川下とも共有することで需給のマッチングを進める技術が必要である。これはすでにヨーロッパなどではかなり進んできているが、日本は遅れている。そして、資源評価の点で、3D レーザースキャナー、航空機やドローン搭載型から地上運搬型まで、このように機動力のある測量システムを使うことで、非常に精度の高い資源情報、空間情報を得ることができ、精密な測量ができる。これらもクラウド化とつなげることで林業をスマート化していくことが非常に重要になるだろう。(図 6)



図 6

「森をそだてる」では、農業での米の多収化技術のように、樹木の品種の改良として、今まで長年かけて育種していたものを苗から選抜できる「高密度遺伝子マーカーを用いたゲノム育種の高度化技術」を当然進める必要がある。林業では「無花粉のスギ」というものが非常に求められており、また気候変動への対応として耐乾性の樹木の開発なども求められている。このような新しい形質の付与のため、外来遺伝子なしで品種改良する「ゲノム編集」は期待の高い技術である。

4番目は、「森をつかう」。これについては2点を紹介する。1つは「木質バイオマスの安定供給・地域利用システムの開発」である。現在使われずに林地に残されている年間800万トンと言われる未利用の木質バイオマスを利用するシステムを開発する必要がある。まずは、資源解析や利用する機械を開発する必要がある。また賢い使い方という意味で、特に木質バイオマスエネルギー利用のバイオマス発電所の設置を検討する際には、地域における木質バイオマスエネルギーの安定供給から、バイオマス発電所の規模、配置、熱電併給の運転まで、建設・運転コストも含む評価システムをつくり、地域で利用するシステムを開発することが非常に重要と思う。木質バイオマスエネルギーでは、農業の耕作放棄地でヤナギなどの早生樹を生産することで、非常に高い収量が計画的に期待できるので、新たな木質資源作物の技術開発が求められる。(図7)



図 7

もう一つは、木質バイオマスのエネルギーやマテリアル利用の技術開発である。エネルギー利用として、バイオエタノール生産は小規模プラントの運転まで開発が進んだが、現状、なかなかコスト的に見合わず利用されていない。その一方、福島などで放射能に汚染された樹木やガレキから直接メタン発酵にして活用する技術開発、さらにハイパー木質ペレットと言う非常に高機能なペレットへの転換技術も新しい技術開発の方向として期待している。有用なマテリアルとしてこれまで使うことができなかつたリグニンの活用を進める、例えば国産のスギから高品質なりグニンを抽出・生産することで、新たな工業製品開発につなげていけると考える。また、ナノセルロースの活用や枝葉からの精油による新素材の開発も進めていく。このように、単なる木材としてではなく様々なマテリアル利用というものには将来性が非常に大きい。森林・林業の世界だけではなく、工業の世界とどうリンクしていくかが今後非常に重要である。森林が再可能資源として化石資源を代替することが、持続可能な循環型社会につながると考える。(図 8)

森林の恵みを活かした持続可能な循環型社会の形成に向けて

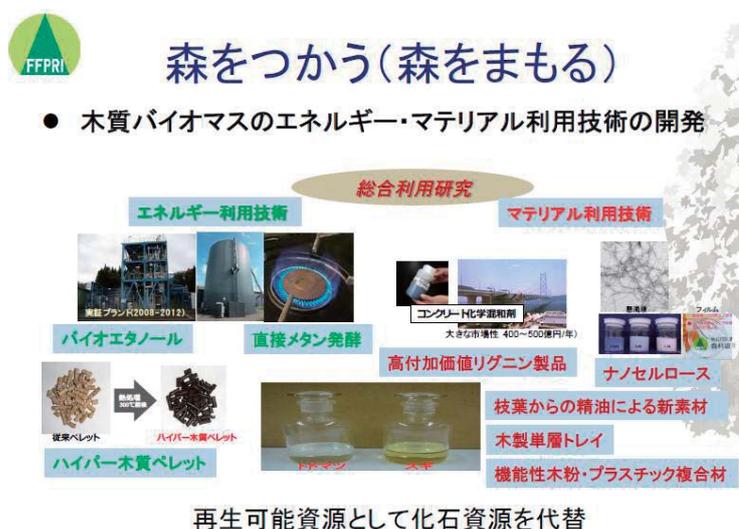


図 8

最後に提案する技術開発のマッピングを示す。ここでは、防災関連や森林を守るというのは「環境保全」に関わると考え、最終的に「地域活性」につながるのが支援するというようにシンプルな発想で作成した。生物多様性も、同様に環境保全と地域活性に関連すると考えた。スマート林業は、環境保全と地域活性だけでなく、もうちょっといろんなアウトプット（エネルギー供給や食料・産品供給）にもつながるというイメージで作成した。ゲノム育種などは、創造するに比重がかかると考えた。木質バイオマスは、地域エネルギー利用なのでエネルギー供給に重心を置いているが、産品の利用で地域活性にもつながると考えた。（図9）

## 科学技術のマッピング

提案者:2 田中 浩(森林総研)

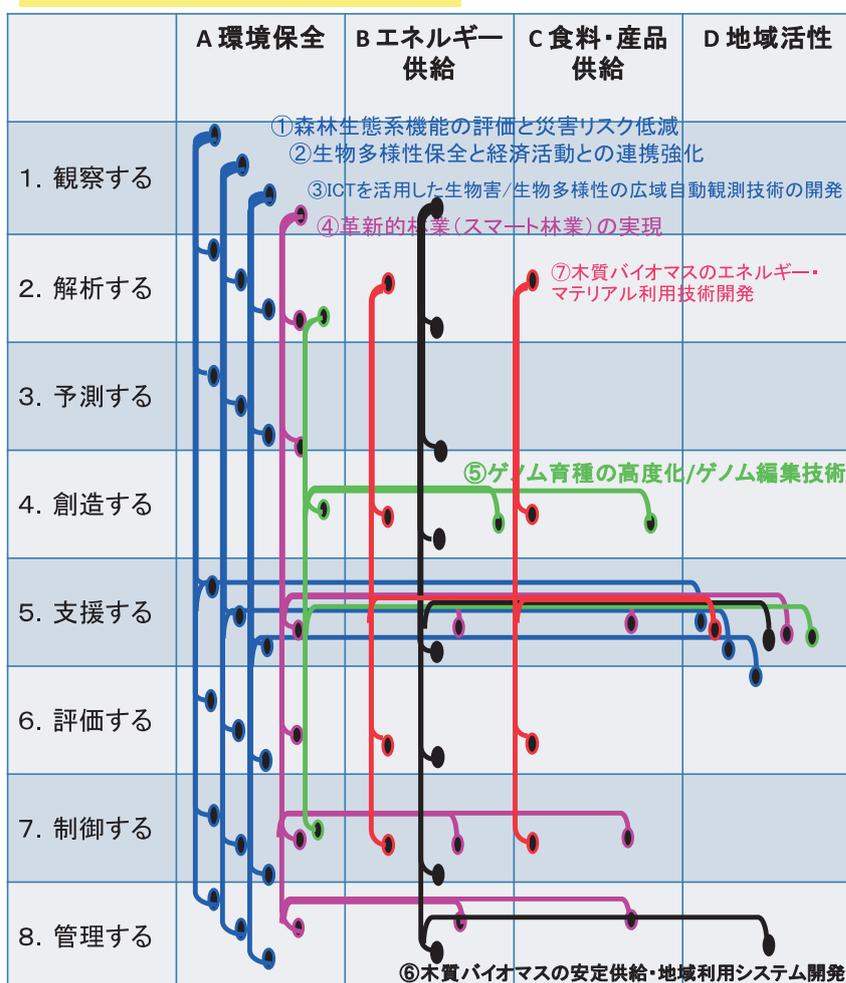


図9

### 質疑応答・コメント

○生態系機能には、洪水防止機能と言うか、水源涵養機能や土砂流出防止機能がある。根が張っていると表層崩壊が起こりにくくなるのでその度合いの推定評価がある。こういうのはすごく大事だと思う。水源涵養機能は水をたくさん含むので、崩れやすくなるように感じられる。つまり、水の涵養と崩壊防止がトレードオフということはあるのか？

(回答) まず基本的な考え方として、そのトレードオフの考え方はやはり重要と思う。多面的機能とか、生態系サービスというものが、多くの場合に相乗効果を生むこともあるが、やはり矛盾することもあり、トレードオフになることもあるので、それは考える必要がある。水の涵養と土砂の崩壊に関してはそれほどシンプルなトレードオフではないだろうが、状況によっては考える必要があると思う。生産と保存の二項対立ではなくて、どんな利用をして、どんな形の林だと、そういう機能が担保されるかを考えることが重要である。単純な人工林から多様な森林へ戻すのは、どんな形にしたら一番矛盾が少なく、あるところでは機能を高く発揮させ、あるところではその機能は若干目をつぶってもいいが、こういう機能を発達させたいというように、空間的に重視する機能のゾーニングを考えることが非常に重要だろう。

○グリーンインフラとして考えた場合、例えば根の張り具合も含めて適切な樹木というのがあると思う。そういう樹木選別はこれまで行われてきたのか？そういう観点で崩壊を防ぐとか、こういう場所にはこういう樹木じゃないと上手くいかないとか、その辺はいかがか。

(回答) まだそのことは定量的にはなかなか判っていない。基本的には根の張りの構造はけっこう分かっているが、この樹種が良く、あの樹種はダメというほど、極端に違うものではない。例えば、人工造林のスギ、ヒノキが駄目だと言われることがあるが、決してそんなことはない。そして、例えばブナが良いと言われるが、ブナは必ずしも深根性の樹種ではないし、環境によっては非常に浅根的な状況になることもある。その場所の環境条件によって、根をどう張るかは同じ樹種の中でも変化する。まず、根が栄養分を摂るのは、ほとんど表層からである。そして、支持根をどう張るかは、水分環境によっても変わってくる。ただ、防災の観点から、上物である樹木の生態とか構造を本当にきっちり押さえられてきたかという点、否である。「いまさら？」と思われるだろうが、我々も過去に蓄積されたデータを防災的視点から見直すとともに、あらためてそういう研究を開始したところである。今後は定量的データや、もっと広域的な評価、あるいは制御をどうしたらいいのかなどに関連させることが重要と考えている。

○図2に2050年の社会像として「森の恵みを生かした持続可能な循環型社会」があり、図3に「森と暮らす、まもる、そだてる、つかう」という、4項目で非常にわかりやすく示されている。全部まとめて実現はなかなか難しいと思うので、実現に向けて4項目の優先順位を教えてください。

(回答) すべての項目が重要で、互いに関連している。本日は、「つかう」に関して、エネルギー利用、マテリアル利用として、いくつか紹介した。発表では、木材としての利用を割愛したので、質問に対して、木材利用も含めて、回答したい。すなわち、基本的には森を育てるために、上手に使う技術とそれを実現するシステムを作ることが重要と考えている。

○科学技術が進展しない場合、「景観、生態サービス等多面的機能の劣化」が見込まれる。これは指標と考えられるが、いかほど劣化が見込まれるか？

(回答) 科学技術が発展しない場合、森林の機能が低下することは非常に大きな問題だ。しかし、指標としてそれをどう定量的に測るかは容易ではないので、研究はあまり進んでいない。農村における多面的機能と同様に、貨幣的価値で評価するのは社会的な認知を一番大きく受け易い。林野庁は、2001年に学術会議に依頼して「地球環境・人間

生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」の答申を得た。これにより、「森林は、多面的な機能があり、森林に関わる農林業には意義がある」と、社会的には認知が得られたと思う。森林が単に所有者が木材生産するだけのものではないことを伝えるのに、多面的機能の評価は重要なツールになっている。今後それを科学的レベルでバージョンアップすることは当然重要だ。森林総研も、北海道で広葉樹を残すことが生物多様性を維持すること、その貨幣的な意義づけを評価した。その答申の検討作業では、農業経済の専門家が種々の方法論を用いて評価し議論を行ったが、逆に評価される側の機能を測定する専門家との交流が弱かった、あるいは積極的には関与しなかった。現在、考えが変わり、それぞれの機能を定量的に測定する専門家こそが、貨幣価値換算での評価をおこなうべきだとする認識も出てきた。2050年では、「森林の多面的機能の評価が向上した」という認識につなげることが重要だ。

- 図9 マッピングシートで、環境保全の領域に該当する科学技術は緑を守るや緑を育てるという考えに由来すると思う。技術項目の5. 支援するに多くの科学技術が該当している。その考えを教授願いたい。

(回答) 提案する全ての科学技術は、最終的には、地域活性につながると思う。提案する科学技術は、むしろ、図の技術項目(縦軸)と比較的強く結びつきながら、その研究開発が進められると思う。ただ、技術項目(縦軸)が領域(横軸)とうまく連携するには、図の作成にあたり、もう少し検討が必要であった。

### 3.3 「農業分野における気候変動と資源循環に関わる課題」

八木 一行（農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター  
 温暖化研究統括監）

本日は、農業環境変動研究センター（農環研）で重点的に研究を進めている気候変動と資源循環の二点に焦点を絞って話題を提供する。私は、農研機構の中で気候変動に関する研究全体のとりまとめ役を担当している。また、間藤先生が会長である土壤肥料学会でも活動をしているので、気候変動と資源循環は、私の専門に近い部分でもある。本日の内容は農環研とその他の農研機構の機関での研究成果を材料に紹介する。

2050年の日本の農業の姿を考えたときに、気候変動の問題は避けて通れない。本日のワークショップの主題の1つにも挙げられており、今後、何年後に気温が何度上がるかがIPCC等で発表されていることは、ご承知の通りである。

気候変動の進展とその対策として、まず、平均気温の上昇とその変動幅が増加し、極端現象が頻発する。その対策として、農業の場では適応策の必要性がある。そして、同時に国連気候変動枠組み条約や2015年のパリ協定（COP21）で温室効果ガスの排出を大幅に削減する国際的な取り決めがなされ、これに対応した緩和策が農業分野でも導入が求められている。

気候変動の影響は、もうすでに顕在化し始めている。特に、今から6年前になるが2010年（平成22年）の夏は、非常に暑かった。その年、日本のお米に大きな被害が出た（図1）。日本地図の各地方の数字は比を示す。収量は大きく変わっていないが、品質に大きな影響が出た。図1の中で、北海道、北陸、東北などと示した各地方の四角の数字は一等米比率と直近5年間の平均値との差である。一等米比率の全国平均値は63%であったが、九州、中国、四国、近畿、北陸地方では50%を下回るような比率になっている。米は一等米、二等米、三等米、規格外とランク付けされて値段が決まるので、日本の米作農家に非常に大きい打撃を与えた。

2010年の気象と玄米品質

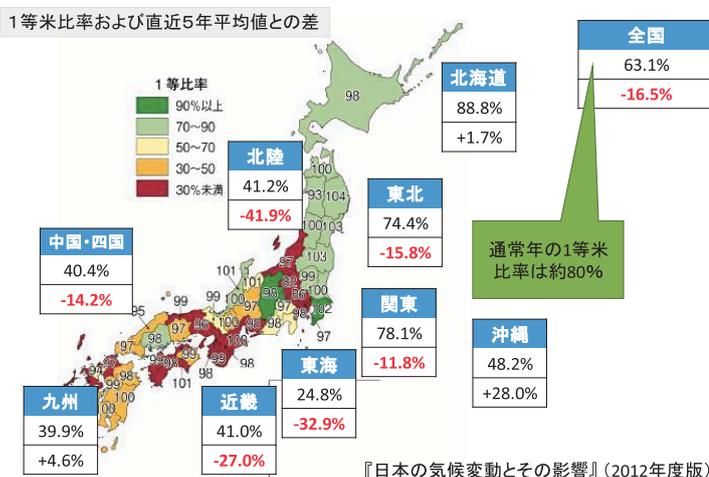


図 1

農業分野における気候変動と資源循環に関わる課題

次に水稻の高温障害を示す（図2）。図中の左側写真のように、高温でお米が白く濁ってしまう白未熟粒が頻発して、これが一等米比率を下げている。出穂期から登熟期の期間内に高温を受けることでこの障害が頻発することが明らかになっている。さらには胴割れを起こしたお米も出ている。現在の影響は品質低下だが、今後さらに気温が上昇すると、高温不稔という問題が懸念される。34～35℃以上の高温で雄しべからの花粉の供給が滞り、阻害されることで受粉しない「不稔」という問題が生じてくる危険性がある。

## 水稻の高温障害

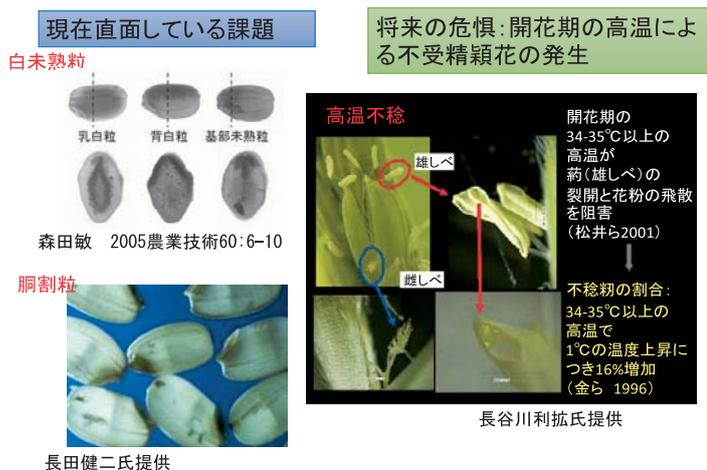


図2

これに対して、我々は予測を行っている。2081年から2100年という、2050年よりだいぶ先だが、今のまま水稻栽培を続けたら、北海道、東北の一部を除く日本の大部分で一等米比率が非常に下がるリスクが示されている。これは移植日（田植え日）を変えること（昨期移動）によって、ある程度軽減が可能であるという研究成果が示されている。同時に、新しい高温耐性品種の育成等が各都道府県で進められている。

米だけでなく、リンゴ、果樹でも大きな影響を受ける。現在と2060年代のリンゴの栽培適地の分布図を示す（図3）。赤色部分が栽培の適地を示す。現在、青森、東北、長野が適地で主要産地になっているが、2060年代は、北海道が適地になり、青森や特に長野で打撃が大きそうである。このような情報を的確に農家に伝えることで、栽培の変換を促していく必要がある。そして、影響予測技術とそれを社会に伝えるシステムが必要となる。

植え替えを検討する場合の目安(リンゴ)

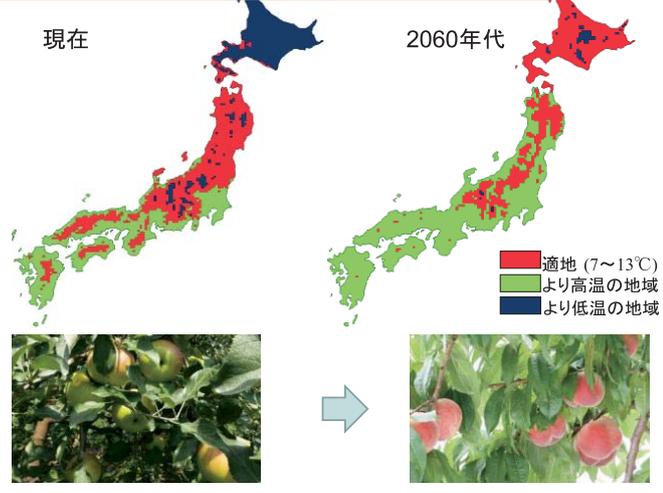


図 3

農研機構の農業工学分野の研究報告に、農業水利用も影響を受ける可能性があることが示唆されており、気候シナリオを用いて 21 世紀の終わり頃の状況を予測すると、日本の一部の地域では高温で農業用水が不足する確率が高まる。特に大きいのは雪が少なくなり、春先の雪解け水の供給が減少し、水田耕作では田植えの時期に農業水不足となる地域であり、非常に大きな問題になると指摘されている (図 4)。

農業水利用への影響の全国評価結果

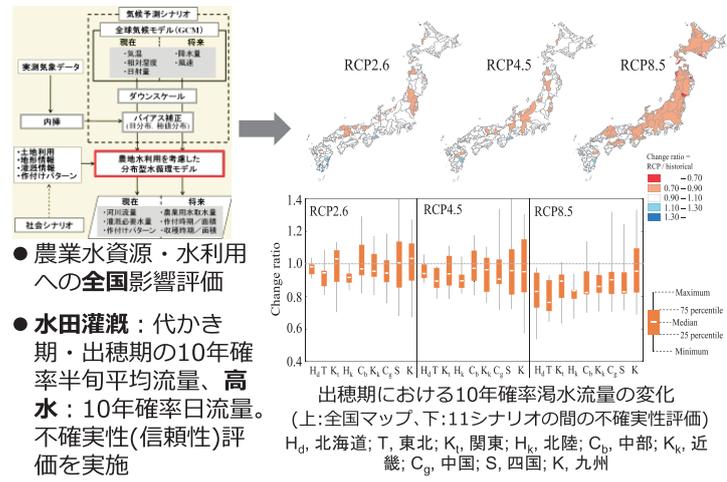


図 4

こういった問題に対して、適応技術や適応策が検討されている。例えば、水稻の白未熟粒を軽減する技術では、実る前の追肥をコントロールする、水管理、中干しの短縮や徹底などにより、ある程度、影響の緩和が可能になる。そして、猛暑の場合と、雲が多くて蒸し暑い場合では対応がまったく違う必要があるなどの研究成果が示されている。

さらに、このような技術情報を Web で農家に発信する「早期警戒・栽培管理支援システム」の開発が進められている (図 5)。これは元来、東北の山背の冷害に対して開発された技術で、山背対策としてはもうすでに利用されているが、それを高温障害に応用する

農業分野における気候変動と  
 資源循環に関わる課題

ものである。

早期警戒・栽培管理支援システム



図 5

2015年のパリ協定の基になった世界各国からの国別目標案「約束草案：INDC」が提出されている。2016年4月現在、189の国と地域がすでに提出済みで、各国がそれぞれ目標を自主的に決めており、日本は2013年比で2030年までに26%削減する目標を提出している。この数値は非常にチャレンジングである。しかし、国際的に今進められている2℃未満に気温上昇を抑えるには、温室効果ガス排出量の推移で、2050年までに図6に示すカーブをとって世界各国の排出量を抑える必要がある。しかし、現在、提出されているINDCを全部足し合わせても、2℃未満のカーブより遙かに上に位置するので、これから多大な削減の努力が各国に求められてくる。その場合、農業分野も例外ではない。日本では農業分野からの温室効果ガス排出は全体の3%に過ぎないが、世界全体では25%程度になる。「日本だけが」ということで済ませないし、少なくとも今後の新たな農業技術を展開し、温室効果ガスの排出を今よりも増やさない技術が必須になるだろう。

各国の約束草案(INDC)が実施された場合  
 の温室効果ガス排出量の予測

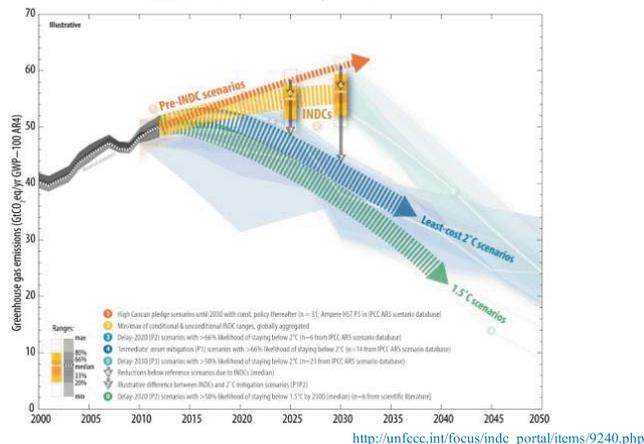


図 6

そのような状況に対して、技術的な対策が進められている。生態系から排出する二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、これら3つの温室効果ガスについて、農業分野での技術開発が進められている。

具体的な一例を示すと、水田はメタンという強力な温室効果ガスの大きな発生源であるが、そこで水管理によって発生量を削減する取り組みが進む。日本の水田は初夏に中干しを1週間から10日程度、どの地域でも行っている。それをさらに1週間程度延ばすと、メタン発生量が約30%削減できることが明らかになっている。1ヘクタール（ha）の水田からメタンを30%減らすと、乗用車1台からの年間CO<sub>2</sub>排出量を削減することに相当する。これはすでに滋賀県ほか、1府5県で環境保全型農業直接支援対策の地域特認取組みとして認定されて普及が始まっている。

気候変動の問題に対して、適応策と緩和策をうまく組み合わせた技術は、最近国際的には気候変動対応型農業（climate-smart agriculture）と言われているが、生産を維持しながら、あるいは生産を高めながら、新しいかたちの農業を作っていくものである。

次に資源循環（NPK：窒素・リン・カリ）の話題を紹介する。これは肥料資源について今後の姿を考える取組みである。肥料資源には過剰と枯渇の両方の問題がある。まず過剰については、窒素とリンが日本の環境中に過剰にあふれていることである。肥料の窒素が作物に吸収される量は実は半分以下で、残りは環境中に排出される。日本は食料自給率が低い、飼料の自給率も低く、飼料を海外から輸入している。そして最終的には家畜排泄物として日本の国土に蓄積されている。すなわち、有機資源物に含まれる窒素の半分近くは未利用で、農地に還元されない。この問題は食品廃棄物にもある。

一方、リンとカリは今後枯渇の懸念がある。この2つは埋蔵資源であり、いくつかの産出国に依存しているので、これらの資源のない日本は、未利用資源の回収、精製、再利用といった技術開発が必要である。

窒素は水系の富栄養化で水質汚濁を引き起こし、大気に排出され温室効果ガスの発生となる。世界各国の窒素肥料の輸入と輸出のバランスを図7に示す。日本は大幅な輸入超過である。余剰窒素が環境に排出される。このように飼料と食品のロスがあり、食品ロス中に含まれる窒素はコメ生産に必要な肥料窒素量に匹敵する。

食飼料を大量輸入する（食飼料の自給率が低い）日本は、  
 環境（他国）への窒素負荷が極めて高い！

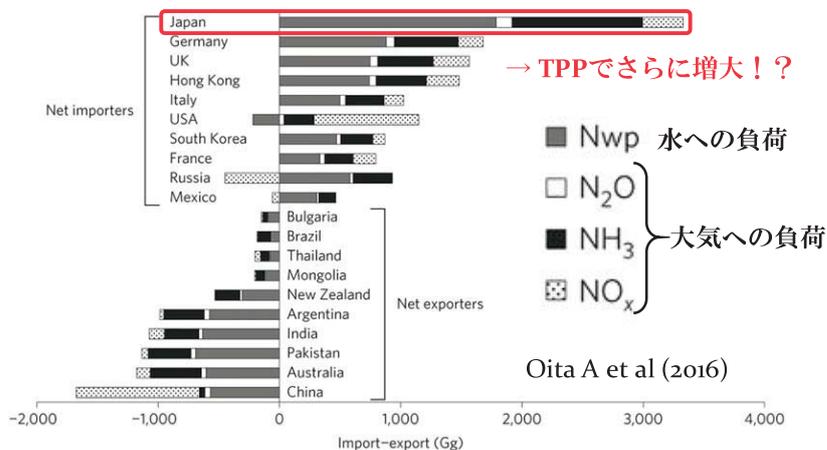


図 7

この状況を明らかにするために Virtual N (Nitrogen) factor が使われている。これは肥料として投入された窒素のうち、人間の口に入る割合を示している。トウモロコシ栽培の場合では、42%である。残りは環境へ排出される。従って、人間の口に入る窒素の1.4倍が環境に排出される。畜産の場合は、Virtual N factor は 8.18 で、8.1 倍の窒素量である。これは、畜産は肥料を与えて、飼料を農地で生産し、農作物を家畜が食べるからである。現在、Virtual N factor を明らかにして、指標にする研究が進められている。そして、肥料のリサイクルや未利用資源からの回収（リファイナリー）を進め化学肥料を節約する持続的農産物生産が必要となる。この考えを肥料資源ガバナンスと称している。

次に、グリーン（植物資源）がもたらす持続力や価値の指標を説明する（図 8）。

気候変動の進展とその対策の面では、次を挙げる。①気候変動に適応した作物の安定生産、②農業分野における温暖化緩和策の導入。③適応策や緩和策の技術や知見、システムを海外への普及展開。ここで、③は可能性が高く、特に米生産を基本とするアジア諸国が一番大きなターゲットになり、実現すると日本の国際貢献になり、ビジネスチャンスにもなる。

肥料資源の過剰と枯渇の面では、次を挙げる。①環境中での窒素とリン循環の適正化、②肥料リファイナリーによるリン、カリの回収、精製、再利用、③これら①②による資源循環社会の構築と持続的農産物生産。

## グリーンがもたらす持続力や価値の指標

### (1) 気候変動の進展とその対策

- 気候変動に適応した作物の安定生産  
→ 新たな生産の可能性など便益も含めて
- 農業分野における温暖化緩和策の導入  
→ 窒素環境負荷の軽減など肥料資源ガバナンスとのシナジー
- 適応策・緩和策の海外への展開

### (2) 肥料資源(NPK)の過剰と枯渇

- 環境中での窒素(N)とリン(P)循環の適正化
- リン(P)とカリ(K)の回収、精製、再利用の促進
- これらによる資源循環社会の構築と持続的農産物生産

図 8

課題解決のために開発すべき科学技術を図 9 に示す。

## 課題解決のために開発すべき科学技術

### (1) 気候変動の進展とその対策

- 気候変動の影響評価技術とその情報提供システム
- 気候変動に適応した作物の安定生産技術
- 農業分野における温暖化緩和技術

### (2) 肥料資源(NPK)の過剰と枯渇

- 農業に起因する窒素(N)とリン(P)環境負荷の軽減技術
- 肥料資源リサイクル技術
- 肥料資源リファイナリー技術

### 技術開発における留意点

- 施策と一体となった技術展開
- 今後の農業構造の変化に即した技術開発

図 9

最後に、提案する技術開発のマッピングシートは作成していないので、口頭で説明する。図 9 の (1) 「気候変動の進展とその対策」が、環境保全欄の「観察する、解析する、予測する」に該当する。(2) 「肥料資源の過剰と枯渇」への対策技術が、気候変動の影響、温室効果ガスの排出、窒素、リンの動態を「観察する、創造する、地域活性を支援する」に該当する。「評価する、制御する、管理する」は、政策と一体となった取組みが必要であるが、環境へのアプローチはなかなか農業従事者独自ではできないから、初期には政策的なサポートが必要な場合が多い。加えて、農業構造の変化として少子高齢化や農地の集約化を予測した技術開発が必要と思う。

### 質疑応答・コメント

- 図 1 「2010 年の気象と玄米品質」で、一等米比率の直近 5 年間の平均値との差の数値が、

他の地域に比べて九州は上がっている。これは何を意味しているのか？温暖化との関連があるのか、あるいは土地の条件とか、何が関係しているのか？

(回答) これは、2010年だけでなく、九州では毎年起こっており、気候変動影響が出ている。沖縄も同じ傾向を示す。

○気候変動の影響は植物に直接出るが、昆虫にかなり影響を及ぼすのではないかと思う。国内では、例えばクマゼミが埼玉あたりまで北上してきているので、クマゼミ受粉やいろんな病害虫を含め、受粉に関係する昆虫の移動だとか、分布が変わることがあるのでは？ そのような研究はかなり進んでいるのか？

(回答) 病害虫はいくつか研究のテーマになっている。例えばミナミアオカメムシという病害虫がいる、これが日本の西南でかなり増えている。おそらく温暖化の影響と言われる。それに即した防除体系が必要で、その防除体系を農家に出来るだけ早く、正確に伝えるシステムが必要だと思う。受粉の問題は、判らない。

○図8の(2)肥料資源(窒素、リン、カリ)の過剰と枯渇で、環境中での窒素とリン循環の適正化が必要との提言があった。これについて説明願いたい。

(回答) 窒素の環境負荷の問題はどんな環境影響があるか、見えにくいことである。日本の場合は水が豊富なので、窒素は水に流れ、地下水汚染や河川・湖沼の富栄養化を引き起こしているが、海洋へ流出したあとの問題はさほど注視されていない。一方、大気へもアンモニアや他の窒素化合物として気散するが、多くは風に乗って太平洋に拡散してしまうので問題はさほど大きくならない。

窒素環境負荷の問題は元来ヨーロッパで非常に重要視されている。ヨーロッパは多くの国が隣合せており、川でつながっている。施肥からの余剰窒素が川へ流れ、さらにはヨーロッパの畜産業で発生するアンモニアが大気に放出されると、それが隣国へすぐ飛散することから、EUでは、1991年に「硝酸塩指令」を定め、「ぜい弱地域」を指定し、その地域における家畜排せつ物の施用を制限することにより、農業由来の窒素環境負荷の軽減・拡大防止を図っている。この考えがヨーロッパのスタンダードになり、それが徐々にグローバルなスタンダードになりつつある。窒素肥料を世界の半分近く消費する中国でもこれに追従する動きが出てきた。

この考えが2050年にどんな規制や影響を及ぼすかを想像する必要がある。例えば、GAP: Good Agricultural Practice という指標(注記)が世界的に導入されようとしている。しかし、日本の食材はグローバルGAPを採用していないから、このままでは2020年の東京オリンピックでは、日本で作った食材が提供できない可能性がある。日本ではGAP対応の取組みがようやく始まっているが、世界的に食品へ環境負荷を表示して販売しようという動きが広まる可能性がある。

窒素環境負荷の問題では、日本は島国で水も豊かなので、国内に問題は多くないとしても、グローバルな動きが出たときに對抗できるかが懸念される。地球温暖化の問題も同様な動きでグローバルスタンダードになった。国連の条約ができ、京都議定書が締結され、パリ協定でグローバルスタンダードに対応することになった。従って、グローバルスタンダードの指標への対応が、2050年の日本の社会で非常に重要になってくると考える。それに対して、研究開発、対応の方策を準備しておくことが必要だ。

注記) GAP : Good Agricultural Practice とは

| 機関・団体  | 「GAP」の定義  |
|--|---|
| 国連食糧農業機関 (FAO)                                     | (仮訳) GAP とは、農業生産の環境的、経済的及び社会的な持続性に向けた取組であり、結果として安全で品質の良い食用及び非食用の農産物をもたらすものである。  |
| 農林水産省：農業生産工程管理 (GAP) の共通基盤に関するガイドライン (平成 29 年 1 月) | 農業生産工程管理 (GAP : Good Agricultural Practice) とは、農業生産活動を行う上で必要な関係法令等の内容に則して定められる点検項目に沿って、農業生産活動の各工程の正確な実施、記録、点検及び評価を行うことによる持続的な改善活動のこと。 |

※ 食料・農業・農村基本計画 (平成 27 年 3 月 31 日閣議決定) : 『農林水産省のガイドラインに則した一定水準以上の GAP の普及、拡大を推進する。』

### 3.4 「生物環境情報工学分野からみたフューチャーグリーン」

大政 謙次（東京大学 名誉教授（日本農業気象学会））

本ワークショップでの講演は日本農業気象学会の代表として依頼を受けたが、依頼を聞いた時期が遅くて準備時間が足りなかったのと、八木先生が所属する研究所では農業気象学会のメンバーも一緒に温暖化関係の研究をしており、この研究内容は、先に登壇する八木先生がご紹介されるだろうと考え、本日の講演は私の専門分野からみた内容を紹介する。

図1は、先ほどから言われている、日本の農業の状況だが、後継者がどんどん減り、高齢化が進むことを示している。この対策として、現在も種々のプロジェクトが進行中である。

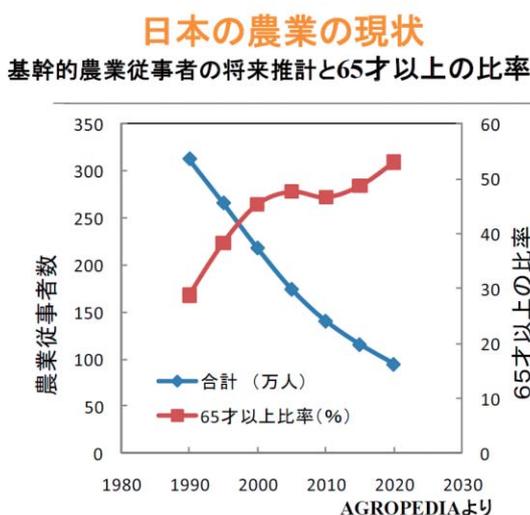


図1

図2の上の図は、北海道と都府県、全国平均における農家一戸あたりの経営耕地面積の推移を示す。北海道は急速に耕地面積を増やしているが、他の都府県は微増である。注意すべきは、図2の左下の表の通り、日本の農家は世界の先進各国に比較して非常に狭い農地を耕していることである。オーストラリアでは一農家が約3000ha、アメリカでも198haを耕している。北海道は独仏英よりも少し狭いぐらいだが、日本の他地域は非常に小さい。この条件で、穀物栽培などの土地利用型の農業で収益を上げろと言うのはかなり無理があり、やはり、この構造は常に考えておく必要がある。もちろん、面積を増やして、一農家あたりの耕地面積を増やすことは必要だが、欧米では、何を栽培するかに応じて、何らかの補助金が政府から出ている。従って、そういう支援なくしては動かないことをよくご理解をいただきたい。但し、農業の形態によっては収益の上がるものもある。収益の上がる農業と、常にある種の補助金（交付金）が必要な、例えば食料安全保障や多面的機能維持のための農業とは分けて考える必要があるという理解で聞いて欲しい。

販売農家1戸当たりの経営耕地面積の推移



日本と先進各国の農家一戸当たりの農地面積比較

| 農家一戸当たりの農地面積 (ha) |     |      |      |        |      |       | 穀物農家一戸当たりの農地面積 (ha) |        |     |      |      |
|-------------------|-----|------|------|--------|------|-------|---------------------|--------|-----|------|------|
| 日本                | ドイツ | フランス | 英国   | EU (7) | 米国   | 豪州    | ドイツ                 | フランス   | 英国  |      |      |
| 2008              | 1.9 | 45.7 | 55.8 | 58.8   | 13.5 | 198.1 | 3023.7              | 1975   | 6.7 | 10.8 | 29.2 |
|                   |     |      |      |        |      |       |                     | 2007   | 29  | 31   | 58   |
|                   |     |      |      |        |      |       |                     | 倍率 (%) | 432 | 287  | 198  |

出典: 農林水産省「耕地及び作付面積統計」, 「農林業センサス」, 「農業構造動態調査」, USDA 2008 Agricultural Statistics, EU Agriculture in the European Union Statistical and Economic Information 2008, 豪州 Australian Commodity Statistics 2009

農水省HP

図 2

図 3 は、第一次産業、第二次産業、第三次産業の就業率と所得の関係を示す。どこの国も一般的農業はどんなに農地面積を増やしても、現状では収入が増えるに従い、就業率は減ってくる。これは工業も同様である。賃金が高くなると、日本で生産できなくなり、海外に工場を移転することになる。従って、収益の上がる農業にするためには、今言われている「農業と製造業とサービス業を全部合わせる 6次産業化」を進めて、マネジメントする必要がある。これは大変重要である。

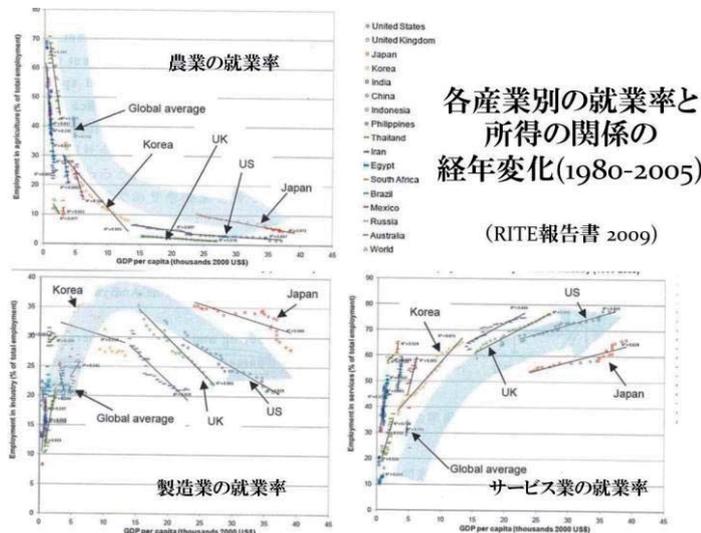


図 3

図 4 に、農業のフード&グリーンサプライチェーンとしての産業の再構築の概念図を示す。この図は、生産、流通、消費のそれぞれにおいてイノベーションが必要であることを示している。環境対策も重要であり、食物残渣の再利用も重要である。

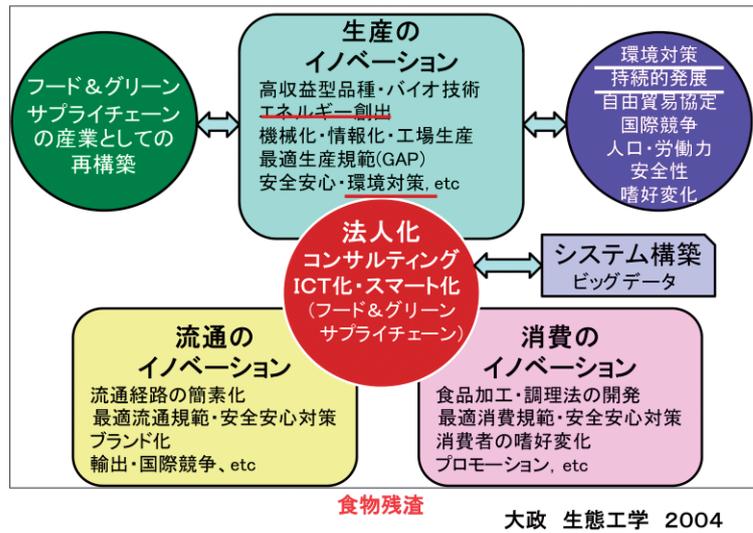


図 4

生産のイノベーションには、スマート農業（図 5）が考えられる。それには多様な技術がある。今、使われている技術もあり、将来的に研究すべき技術も含まれているが、それぞれの要素技術を開発することが重要であるが、生産現場から流通まで一貫してシステムとして捉えることも重要である。これらが可能になると、2050年時点かどうかはわからないが、図 5 の右欄に示すことが実現する。これらは農業生産だけでなく、環境エネルギー分野、エネルギーの創出、農業の多面的機能にも関係する。

## スマート農業における情報利用

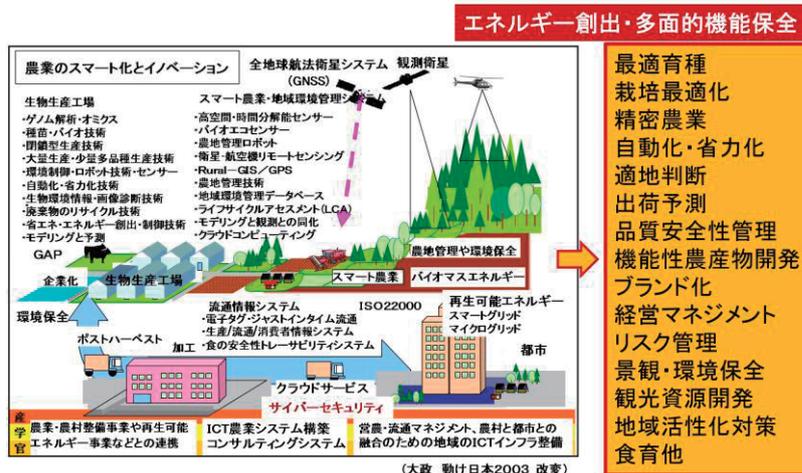
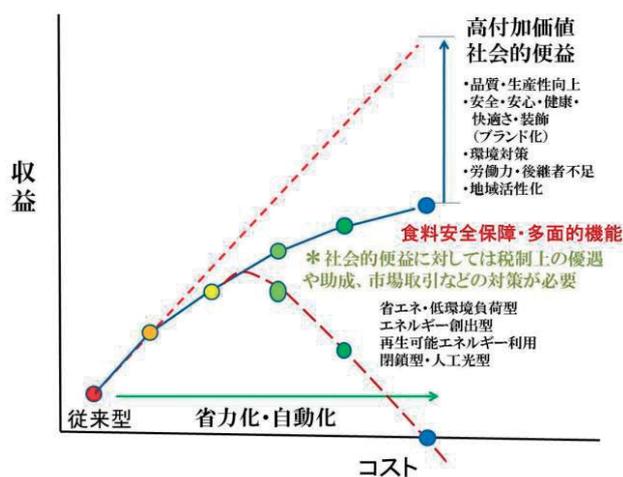


図 5

ここで、収益とコストの関係が重要である（図6）。すなわち、どのくらい設備投資をして良いかだが、ある点に最適値がある。勿論、食料安全保障や多面的機能、労働力・後継者不足対策などの社会的便益のために設備投資を行う必要が生じる場合には、国の支援（補助金、交付金など）の必要性を考えることは重要なポイントである。一方、高収益の農業を追求することは、そのビジネスモデルの発展を促し、うまく発展すれば、補助金不要な農業が存在できることになる。しかし、先に述べたように、土地利用型の農業では、日本の耕地面積を考えると、国の支援は不可欠である。

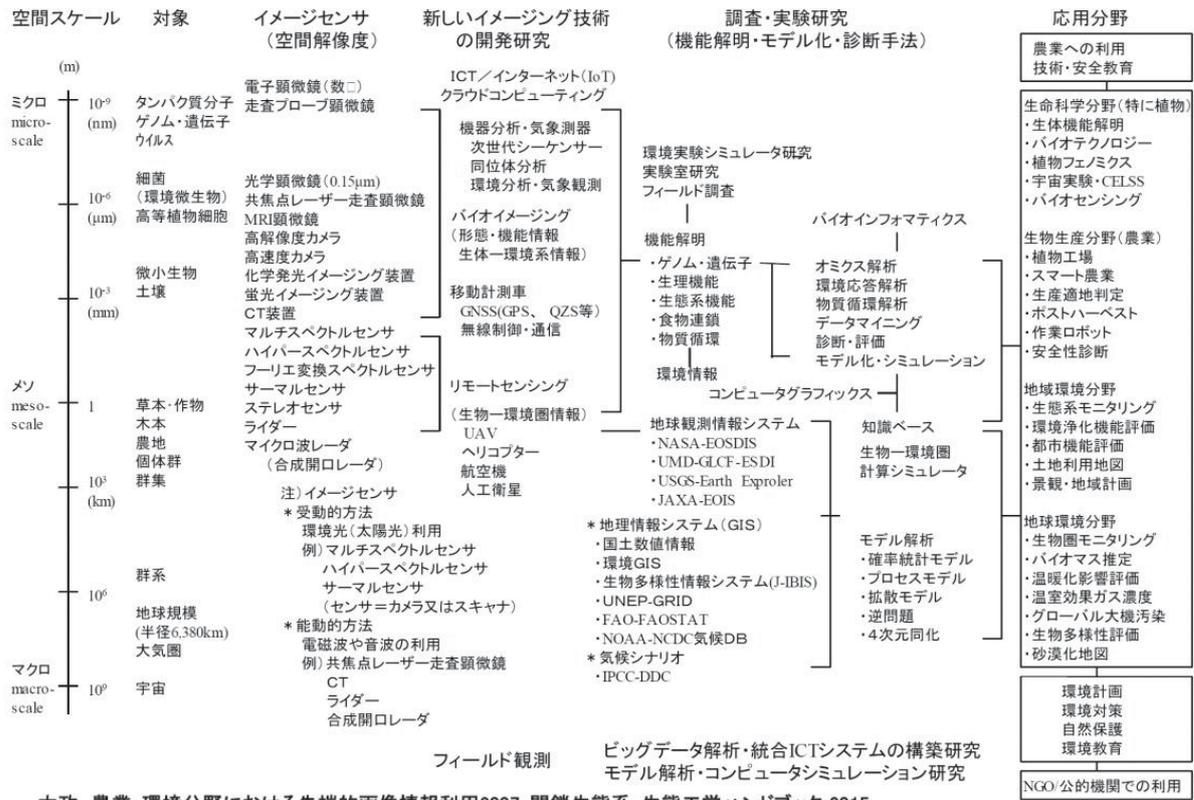


大政 遺伝 2010; 閉鎖生態系・生態工学ハンドブック 201

図6

スマート農業では情報利用が必要だが、情報化社会では生産技術の仕組みが非常に重要で、制御や最適化を目指すときに第一段階として「見える化」が必要である。

「見える化」においては、目的により異なるが、その精度を向上させ、効果を上げるためには、ミクロからマクロまで（例えば、分子レベルから遠隔観測のレベルまで）を、一貫して技術を開発し、それをつなげていくことが重要である。また、計測だけでは不十分で、種々の解析を行う必要がある。他には、検証のための種々の実験・研究、調査研究が必要である。また、データアーカイブ、モデル化、ICT、人工知能などの研究は必須である。それらは、環境問題、生物（農業）生産の分野で非常に有用である（図7）。



大政 農業・環境分野における先端的画像情報利用2007; 閉鎖生態系・生態工学ハンドブック 2015

図 7

例えば、マイクロとマクロを繋ぐ研究として、光合成機能に関係するクロロフィル蛍光の画像化がある。私自身は、クロロフィル蛍光を葉緑体や個体レベルで3次元計測し、光合成機能の時空間情報を得るという研究をしてきた。最近、非常に波長分解能が高いGOSAT衛星で、太陽光下でクロロフィル蛍光の計測ができるようになってきた。GOSAT衛星は、地球規模で計測できるが、葉緑体や個体レベルで計測される情報とは違うことを認識する必要がある。GOSAT衛星で副次的に観測されるクロロフィル蛍光は定常蛍光であり、クロロフィル含有量の影響が大きい。単にクロロフィルの含有量を測るのであれば、何も蛍光データを使う必要はない。蛍光データを使うメリットは光合成の電子伝達反応の情報を得ることで、これがわかれば、農業や環境分野で役に立つので、今後、この関連の研究は重要である。

近々、GOSAT-2が打ち上がるので、CO<sub>2</sub>やメタンなど温室効果ガスの計測が非常に期待されている。しかし、空間解像度や精度の向上には、将来とも継続的に技術開発を行っていくことが必要である。

一方、温暖化の影響への適応策で、品種や栽培技術の改良がある。例えば、施肥管理により、タンパク質含量を減らして、美味しいお米を作る技術が開発され、装置も市販をされている。同時にN<sub>2</sub>Oも削減する栽培法である。しかし、現状では幾つかの問題もあり、この技術の開発を促進する余地はある。

栽培や育種の研究では、ドローン技術が使えるが、市販品では、10分間ぐらいの飛行時間しかないので、バッテリーや安全飛行の問題を含めて、多くの技術開発の余地がある。ドローンを継続的に飛ばして、種々の情報を収集するためのセンサーや重量を軽くすると

いう技術開発もある。

作物の形状や収量、成分量、蒸散、光合成などの形質データの計測は、通常人海戦術で行われることが多い。私自身は、これらを自動的に、かつ遠隔で計測する装置の開発を長年行っている。形質データの自動計測技術の開発は世界各国で今、ブームになっているが、本当に形質データがどこまで計測できるかという問題が残るので、今後とも技術開発と検証が必要である。

現在、コロンビアの国際熱帯農業センターとの共同で、コロンビアでのイネ栽培の計測データをインターネット経由で収集し、東京大学で解析を行っている。これは N<sub>2</sub>O など温室効果ガスを削減する栽培技術や、肥料を少なくする技術、できるだけ水資源を使わないような農業方法を行うための技術開発である。

また、地球規模の問題として、砂漠化の問題がある。砂漠化の問題は、基本的には人間活動に伴う問題が非常に大きくて、砂漠化の原因の 70% ぐらいは人間活動である。もう 1 つの原因は、気候変化である。それらを調査しながら進める必要がある。これには砂漠化の問題に限らず、八木先生の講演にあった早期警戒・栽培管理システムのような技術開発が必要である。

中国では今、砂漠開発を進めている。砂漠に高速道路を通して、その周辺にメガソーラーパネルや風力発電設備を設置している。風力発電設備では、1,000 基単位で設置しているところも多々ある。ただ、それが十分利用されているという状況ではないように思う。これらの有効利用は、将来的に当然期待される。例えば、温室栽培とソーラーパネルをジョイントさせるソーラーシェアリングなどが考えられる。しかし、現状では、ソーラーパネルは高額で、事業採算が合わないので、買取制度や補助金が必要である。将来的には、ソーラーパネルが安くなり、温室の熱需要も太陽光で賄えれば、非常にうまく農業とリンクでき、収益が得られるシステムになるだろうと思う。この考えを図 8 に示す。エネルギーを含めた循環系を確立し、それをライフ・サイクル・アセスメント (LCA) で評価するものである。

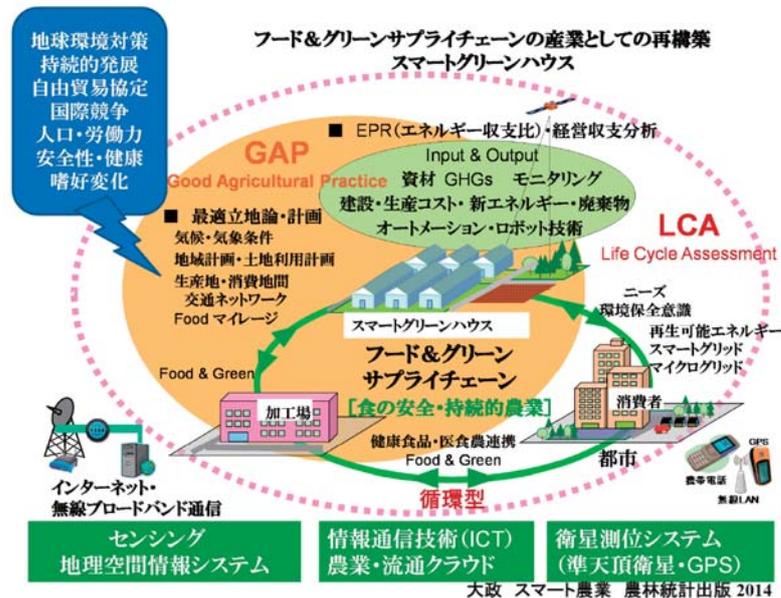


図 8

農業分野での気候変動予測のモデルの一番の問題は地域気象の予測精度だが、例えば、積雪で水資源が変わるので、山岳地での精度が悪いと積雪の適応策とその効果の把握が難しい。これを向上させることが今後必要である。さらに、農作物や陸上生態系の影響評価や対策を考える場合も、これの点を考慮して研究する必要がある。

また、大気汚染物質の一つであるオゾンの濃度をシミュレーションで求め、植物への影響を評価している。最近では中国から越境大気汚染ガスが来る、あるいは中国自身がそういう汚染ガスで植生に影響を受ける問題がある。それらの評価手法として、観測とモデルの2つがある。GOSATのような観測衛星で、大気汚染物質濃度を計測し、発生源を調べる方法と、シミュレーションで調べる方法がある。また、影響評価も衛星観測とモデルの両方がある。観測やシミュレーションの精度は悪いので、これらの精度を向上させる研究は当然必要である。そして、オゾンの濃度変化から、植物影響の状態までを、観測とシミュレーションにより評価し、対策技術開発、発生源対策等に利用していくことは必要である。

日本学術会議の環境学委員会で、2014年前期に、環境学・夢ロードマップ(図9)を作成した。2050年に向けて、種々の科学技術の開発は、一直線上に進むのではなく、螺旋状に進むというのが正しいと思う。そのような視点で、図9を見てほしい。

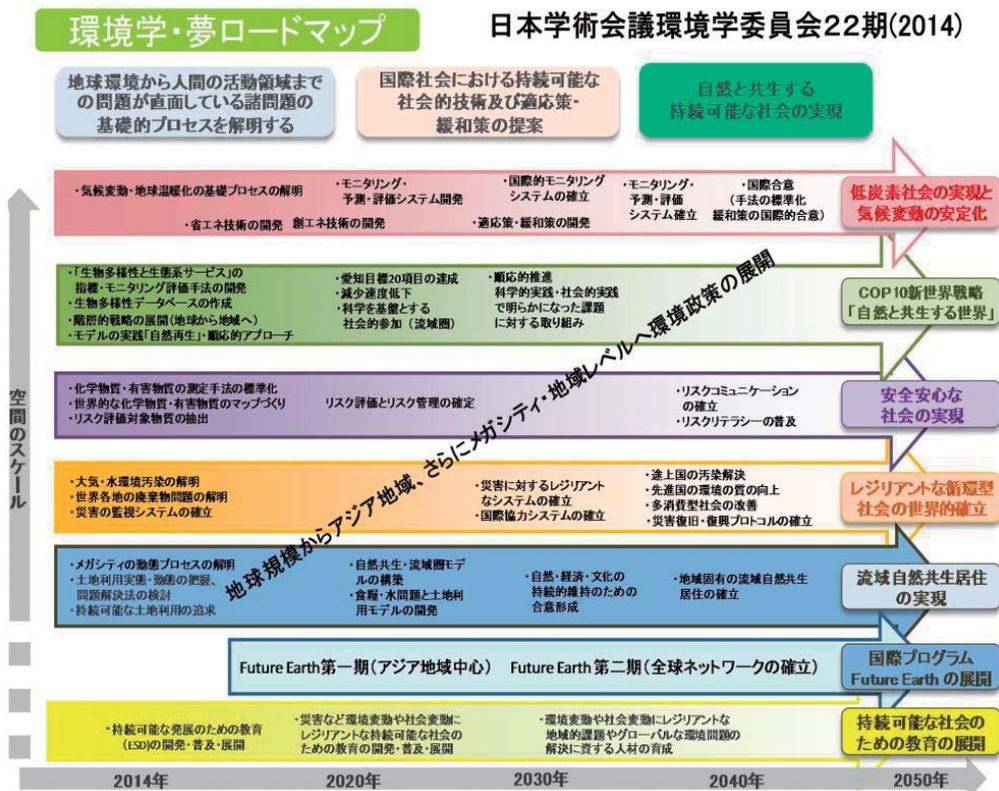
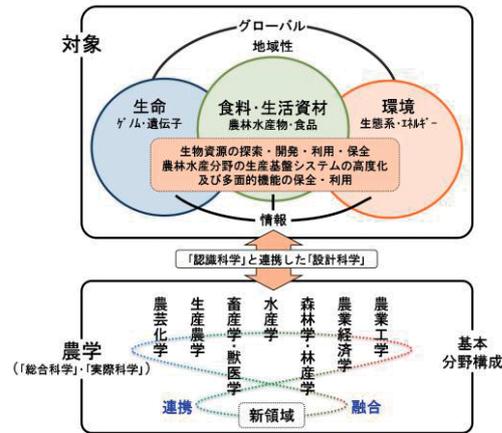


図9

最後に、農学分野の教育編成上の参照基準を学術会議で纏めた(図10)。農学はもともと食料、生活資材を対象としているが、その基礎となる生命科学や環境も研究対象としている農学には種々の学問分野があり、農学は総合科学として発展してきた。このことは、将来の農業研究を考える上でも重要で、参考になる。

### 農学の定義



日本学術会議 2015  
 大学教育の分野別質保証のための教育編成上の参照基準：農学分野

図 10

### 質疑応答・コメント

○ 2050 年に向けて、図 9 「環境学・夢ロードマップ」が示され、いくつかの目標が挙げられたが、大政先生のお考えはどれに該当するか？

(回答) 図 9 の内容は、環境学の分野の有識者がそれぞれ意見を述べてまとめたものであり、2050 年での理想的な社会が書かれている。この通り、例えば気候変動が安定化するかというとなかなか容易ではない。しかし、そういう目標を持ち努力しようというものである。

○ 図 8 「スマートグリーンハウス」は、2050 年の社会の姿の提案と考えて良いか？

(回答) これはエネルギーと廃棄物の循環型システムを考えた図であり、図 5 とペアで見たい。2050 年の社会の姿をきれいにまとめるのは簡単だが、実際はそうはならない。例えば、衛星画像の解像度が上がると、次の技術へ進むように、要素技術が開発され、それが進歩して、またその次の技術が出てくる。螺旋状に技術と社会が進展すると考える。図 8 内に「最適立地論・計画」を示しているが、科学技術を活かして、立地に合わせた最適な計画を立てることが重要である。

○ 指標として、図 1 「日本の農業の現状」で基幹的農業従事者数の 2020 年までの将来推計が示され、右肩下がりである。もう日本では、この数値の回復の可能性はないのか？

(回答) 政府が懸命にその対策を行っている。また、懸命に研究開発をしているので、そのうち回復するかもしれない。収益が上がる農業を行っている部分では回復している。また多面的機能や GAP などの評価方法に基づいて、必要であれば政府などによる補助が必要である。欧州では、2005 年頃、農業への補助金を基本的にそれまで生産支払いだったのを、環境支払いに変えた。補助金を出すときに国民が納得できることが必要だ。そして、これは、ヨーロッパの戦略である。すなわち国民が納得できる環境支払いをグローバルスタンダードにすることにより、逆に輸入規制の理由にできる。このような戦略は、日本一国では作れない。

○ マッピングシート (図 11) の意図を説明願いたい。

(回答) 私はもともと環境省の国立環境研に在籍していたので、環境問題を研究していた。その後、東大農学部へ移り、情報分野を専門とした。ここでは、情報分野系を中心に話

をしたので、それをマッピングした。地球温暖化などの環境関係は、農業気象学会では重要な課題であるが、八木先生が最先端の話がされると思い、私は、関連することは省いた。エネルギー関係は、学術会議でも勉強している。また、欧州や中国の現場に行き、再生可能エネルギーが利用されているのを見ており、ここでは簡単に述べたが、農業分野でも今後重要になると思う。地域の活性化に興味があり、出口戦略が見つからないと言われれば言われるほど興味が出る。結果的に、農村部で水田稲作がうまく継続できたのは、兼業農家として、工場勤務などで、他に収入源があったことによると思う。近年、工場が海外移転して、働くところがなくなり、また、高齢化して、兼業農家が継続できなくなってきた。従って、地域の特質に応じた、社会構造に応じた対策を考える必要がある。その場合、意外と観光事業は可能性があると思う。発想を変えて、日本の農村地域の活性化を見直す必要がある。中国では棚田のある農村地域が観光地になっている現実を踏まえると、海外からの観光客が日本の農村地域の観光に来てくれるだろうという期待がある。日本の自然は、外国人には魅力があるので、ビザの問題はあるが、留学生などが、農村部の振興に貢献できる可能性もある。また、情報分野では距離の概念がなくなるので、豊かな自然が残る農村地域で、農産品の流通情報の発信だけでなく、情報ネットワークを利用した産業育成も考えられる。多様な農業、また、農業の多様な機能の検討は今後重要である。

## 科学技術のマッピング

提案者: 4 大政謙次(農業気象学会)

|         | A 環境保全  | B エネルギー供給 | C 食料・産品供給   | D 地域活性        |
|---------|---|-----------|---|---------------|
| 1. 観察する | <ul style="list-style-type: none"> <li>● バイオエコセンサー</li> <li>● リモートセンシング</li> <li>● 高空間・時間分解能センサー</li> </ul> |           |   | モテリングと観測の同化   |
| 2. 解析する |   |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ゲノム解析</li> <li>● 画像診断</li> </ul>                             |               |
| 3. 予測する |   |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>● モデリングと予測</li> </ul>  |               |
| 4. 創造する |   |           |   |               |
| 5. 支援する |   |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 閉鎖系生産技術</li> <li>● 農地管理ロボット</li> <li>● クラウドモニタリング</li> </ul> |               |
| 6. 評価する | <ul style="list-style-type: none"> <li>● LCA</li> </ul>   |           |   | 食の安全性トレーサビリティ |
| 7. 制御する | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境制御</li> </ul>  |           |   |               |
| 8. 管理する | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄物のリサイクル</li> <li>● 地域環境管理データベース</li> </ul>                       |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 電子タグ・ジャストインタイム流通</li> <li>● 農地管理技術</li> </ul>                |               |

図 11

### 3.5 「100 億人を養う地球に求められる環境技術—フューチャーグリーン—」

間藤 徹（京都大学大学院農学研究科 教授（土壌肥料学会））

土壌肥料学会の立場で本日の発表を行う。当学会は、農業において土壌がどのような役割を果たしているか、肥料がどのような役割を果たしているかを主に研究している。本日ワークショップでは、大学の農学部は 2050 年の社会の姿として、どんな解を出すのかが求められるが、私は、この場では、主に肥料の話をする。

小学校、中学校の出前授業で講演する機会があると、最初に図 1 を紹介し、みんなが食べているものはどこから来ているかと聞いてみる。子どもたちは、食べ物とはファーストフードを思い浮かべたり、お魚は切り身が海の中を泳いでいると想像していたりする。しかし、私たちの食料は全部土に生えて、そこからの養分で大きくなる。畜産物も同様である。図 1 には魚は書いていないが、陸水や海水は、土壌から漏出している無機塩、それが植物プランクトン、動物プランクトンを経て、最終的には魚になる。魚介類も結局、土壌に依存しており、土壌が人間を生かしているところから話をし、人間は、土壌からどのような影響を受けて、どのような養分を吸収して、生態系が成立しているのか、人間に必要な食料が成立しているのか、という話をする。

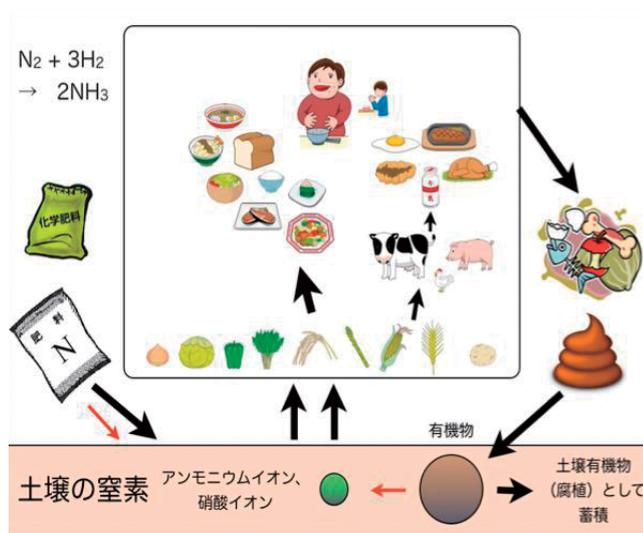


図 1

「農」と言うと、農業側の意見がいつもある。食料の視点で考えると、我々ほ乳類の食料に必要な栄養素は糖質、タンパク質、脂質、ミネラル、ビタミンという五大栄養素である。中でもタンパク質は、その量が人間の健全性を維持する上で非常に重要な養分である。

図 2 に、我々がどのような食品、栄養素を摂っているかという厚生労働省の評価を示す。日本人は、タンパク質のかなりの部分を穀物や肉から摂取している。魚よりやはり穀物からの方が多。食料、食品を経由して摂取するタンパク質は、土壌から作物へまず吸い上げられて、作物の中でタンパク質になり、それをアミノ酸のポリマーへと形を変えながら、我々の食料となっている。

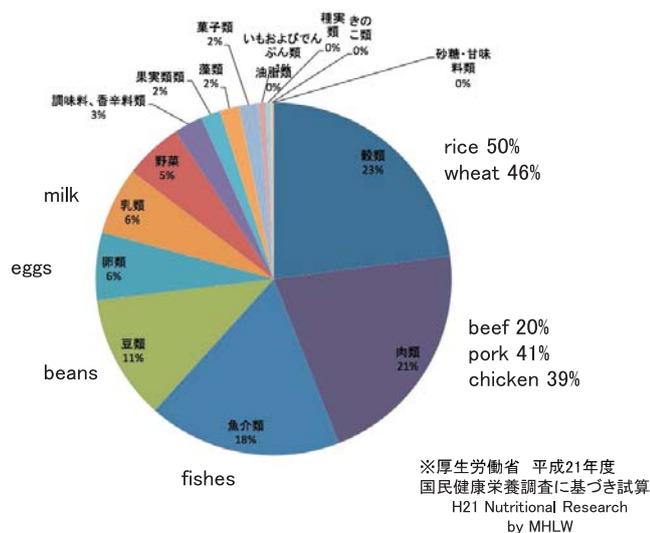


図 2

食料の来る道は、土壌から養分が来て、食料が生産されるが、実は“Hidden Half”、隠れた半分が「かえる」ことで循環していることは申し上げるまでもない（図3）。この循環が「循環型社会の理念」と言われる。この循環の後半部分について、植物に必要な栄養素は17あるが、土壌から得られる元素は14である。14種は、それぞれに化学的性質が違うので、この循環が上手く成立しない場合がある。従って、理念として循環は重要だが、循環できないものもあるので、化学肥料が登場することになる。

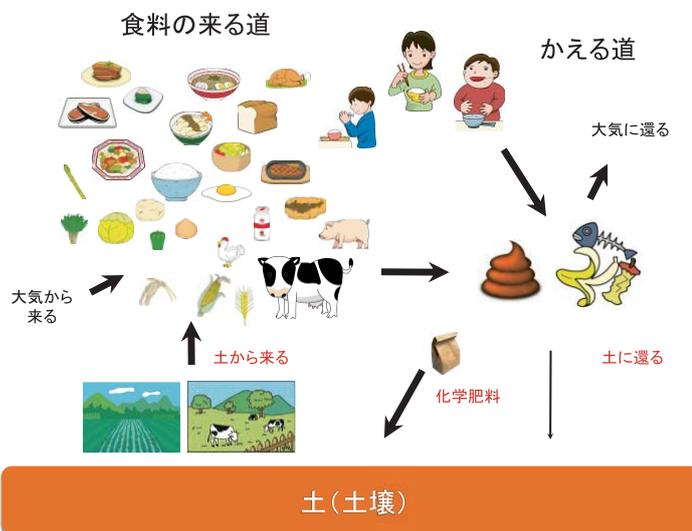


図 3

本日は、窒素の話をする。窒素が存在する場所（プール）の内、地殻を除くと、最大のプールは大気である。大気中の窒素がいったんアンモニアになり、それが酸化されて硝酸イオンとなり、再び還元されて大気中の窒素に戻る。この大きなサイクルの中に我々の食料生産系、あるいは環境での窒素循環系が含まれている。図4に、窒素ガスがアンモニアになり、アンモニアが植物、動物に吸い上げられる経路を示す。これは生物が依存する経路だが、この赤い矢印部分に対して、1913年、ハーバー・ボッシュが窒素肥料を作る方

法を發明した。食料生産には直接、窒素ガスは使えず、アンモニアあるいは硝酸イオンしか使えないので、ハーバー・ボッシュ法により、工業的な手段で窒素固定できるようになり、食料生産に窒素が自由に供給できるようになった。

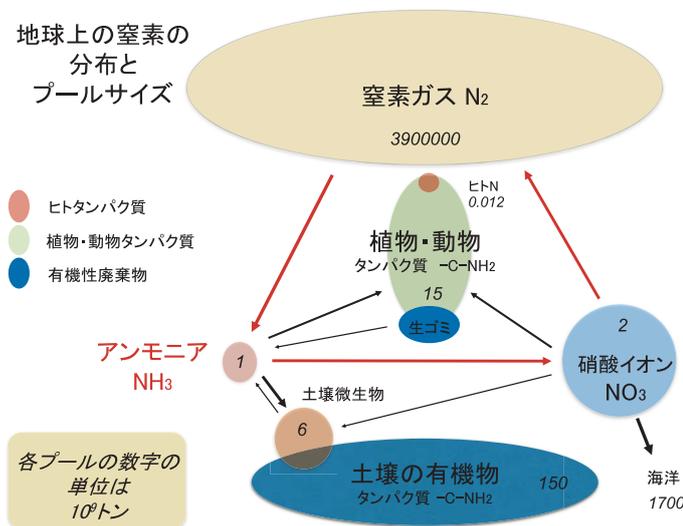


図 4

図 4 の赤い矢印部分に関して、自然からの窒素供給量は、1 年間で大体地球で 1 億トンとされている。一方、工業的なアンモニア製造量は年間 1 億 2000 万トンある (図 5)。つまり、有史以来、窒素供給量は年間 1 億トンでおそらく平衡状態であったものが、人間の食料生産のために、この供給量が、ほぼ 2 倍以上になっている。つまり、地表に付加される化合態窒素 (アンモニア) の量は 2 倍以上になった。その結果、ゴミは増え、人口も増え、硝酸イオンが増えた。この話をすると、「増えたことで、何か悪いことが起こったのか?」と良く質問される。しかし、人口増加による環境への負の影響とは、いったいどんな負の影響があるのか、実はよく判っていない。私見だが、窒素はこれほど大事なものだから生物種に対して、非常に大きな影響を与えているだろうと思う。環境が富栄養化することは水質や土壌の質も悪くなるので、病気、疾病、微生物相など目に見えないところに影響がかなり現れている気がする。但し、窒素量が増えたことがどう悪いのかと、そのネガティブさを評価する基準を今は持っていない。

100 億人を養う地球に求められる環境技術

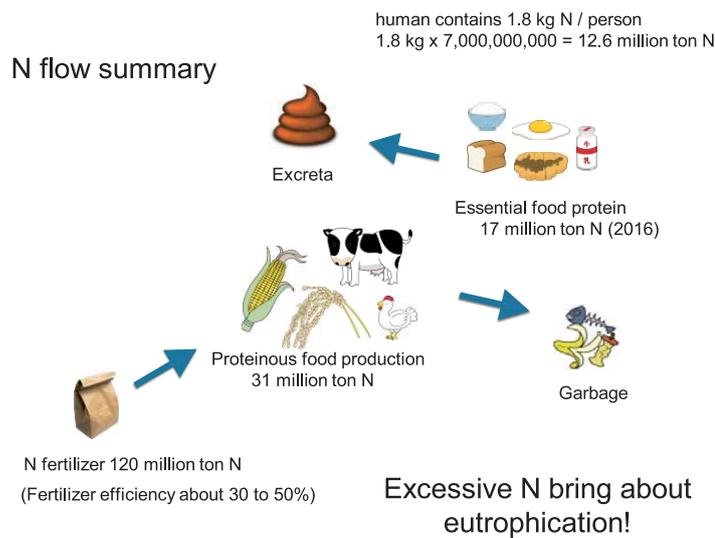


図 5

窒素過剰による環境の富栄養化となった理由を考え、2012年FAO（国際連合食糧農業機関）のデータで世界9大食料（トウモロコシ、小麦、米、大豆、豚、鶏、牛、牛乳、卵）に含まれているタンパク質量を計算し、議論できないかと考えた。

図5に示すが、このタンパク質は、肥料から供給されており、約1億2000万トンの窒素が肥料として施肥されている。これを利用して、3100万トンの窒素を含む食料が生産される。ここから先がよくわからないが、消費している食料から推定した値、あるいは身体を健康に維持するために最小限どれだけのタンパク質が要るのか窒素量を計算した結果、1700万トンぐらいだと判った。つまり、肥料として1億2000万トン撒布し、1700万トンの窒素が摂取されている。この差がどこへ行ったのか？これは、環境中にかなりの部分が漏れ出して生物相にかなり影響を及ぼしているだろうと思う。あるいは環境の質の劣化を引き起こしていると思う。その対応策を考える必要がある。

ここで肥料の窒素とは、アンモニウムイオンと硝酸イオンである。多肥地帯での地中を1メートルまでボーリングしたときの硝酸イオンの分布を見る（図6）。地表に肥料は撒布されるが、深さ1メートルまで窒素は浸透する。浸透した窒素は、水に溶けて容易に動く。次にリンを見る。リンは枯渇が心配されるが、ほとんど地表に残る。肥料の三要素である窒素、リン、カリは、有機物や廃棄物に含まれ、リサイクルするが、このように土壌中での挙動は異なる。従って、自ずと対応策も異なってくる。

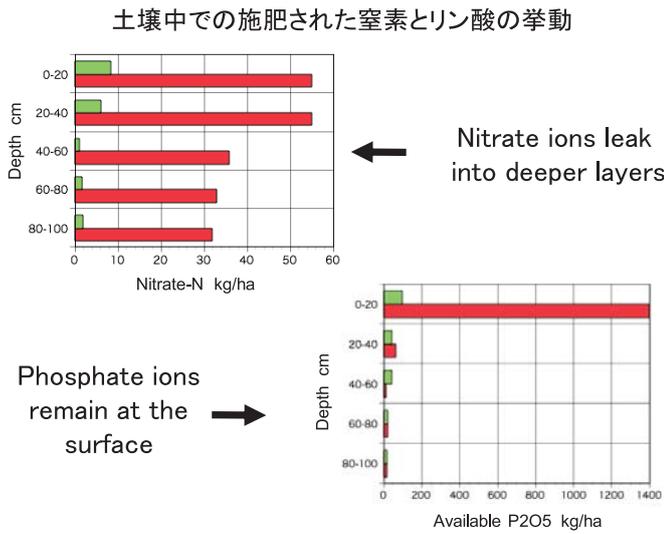


図 6

リサイクルとして、家畜糞堆肥を用いてコマツナを栽培すると、化学肥料を用いた場合に比べて、異常に生育が悪い。従って、リサイクルは理念としては正しいが、実際には効果（窒素利用率）が低く利用できない。図 7 から、化学肥料の窒素吸収量と家畜糞堆肥のそれを比較すると、化学肥料の場合の効果が大きいが判る。すなわち、家畜糞堆肥を用いる窒素のリサイクルは、理念としては正しいが、現実の技術は開発されていない。

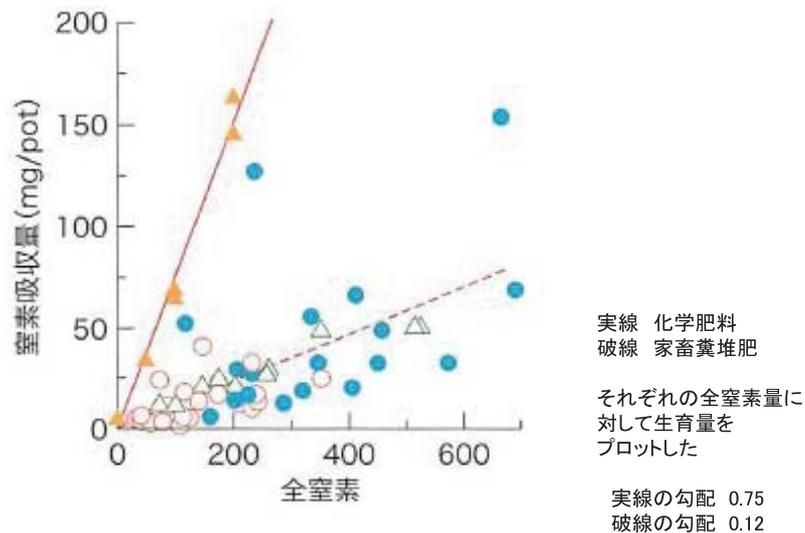


図 7

その対応策を紹介する。1つ目は Bento Goe（弁当肥）、Contact Feeding と言うが、被覆肥料技術である（図 8）。窒素肥料は非常に水に溶けやすいのでポリエチレンで包むことで、田植えされるイネの苗の根のところにイネが秋まで吸収する窒素を予め持たせる。こうして多量に施肥しても、作物には濃度障害は起こらず、かつ吸収されずに漏れ出す量が非常に少ない。利用率を見ると、バラバラと撒布した肥料は 30%～10%しか使われないが、肥料の被覆処理を行うことで、窒素の利用率は 50% 以上に高くなり、環境に漏れ出す窒素を減らすことができる。

100億人を養う地球に求められる環境技術

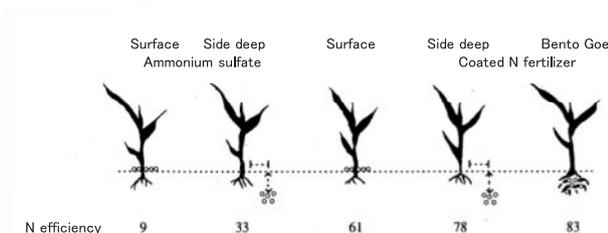
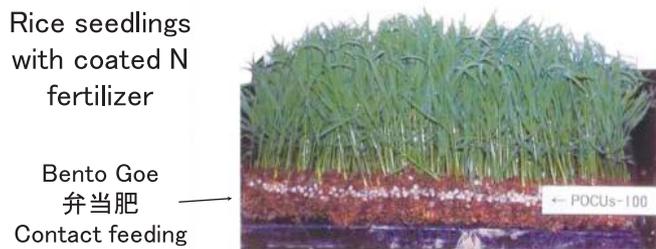


図 8

2つ目は、メタン発酵技術である。堆肥は非常に利用されにくい形態の窒素であるが、メタン発酵により、メタンを分離した後の窒素、リン、カリを含む廃液でコマツナを栽培すると非常に窒素吸収率が上がる。同時にメタンも得られる。京都南丹市のメタン発酵槽の例を図9に示す。この技術により環境への影響はかなり軽減できると思う。

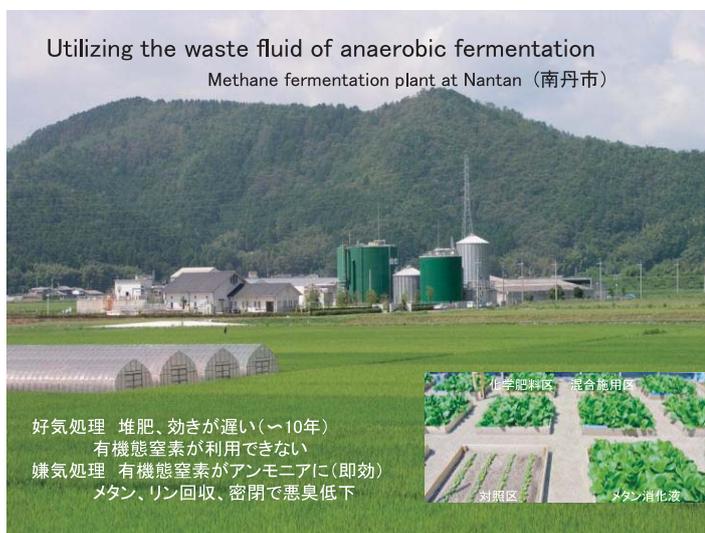


図 9

このように個々の技術を駆使して、窒素の環境負荷を減らそうとしているが、大きな問題がある。例えば硫酸アンモニウムや尿素など、窒素肥料の値段は、1トン当たり約1万円である。それに対して、現行のポリエチレン被覆肥料では1トン当たり3万円である。さらにポリエチレンに代えて生分解性の被覆膜を使うと、1トン当たり10万円となる。つまり従来の化学肥料の値段の10倍を払うと、窒素の土壌への負荷は、かなり改善される。しかし、誰がそれを負担するのか。環境改善にはなかなかお金を払ってもらえない。もしかすると、こういうネガティブな効果が顕在化した場合に窒素税を払えということになるかもしれない。そこが我々研究者のジレンマである。

70 億人、将来の 100 億人の食料は絶対必要であるので、土壌肥料学会として、窒素は必ず要ると考える。従って、環境負荷を減らして、それだけの食料を作り出す技術を開発することが求められる。そのためには、被覆肥料技術、メタン発酵技術により温室効果ガスを出さない施肥技術、廃棄物の処理技術などが必要である。そして、環境負荷を減らす仕組みが必要である（図 10）。

土壌肥料学会からの提言

地球上の窒素のプールサイズを増やさず、  
窒素の代謝回転速度を早めて  
十分な食料を生産する技術を開発する  
→ 窒素過剰は生物相変化を引き起こす

施肥窒素利用率の向上  
施肥窒素の吸収率の高い作物の開発  
緩効性肥料の開発  
廃棄物窒素の高度利用  
堆肥(Cのストック、土壌有機物の重要性)  
好気発酵から嫌気発酵(メタン発酵)へ

有機性廃棄物量の削減  
脱窒の促進  
地域での窒素の循環を完結させる、地産地消  
窒素税

図 10

2050 年に向けて出口戦略を考えると、生産者を考えなければならない。取り組み例を紹介する（図 11）。“Made in Japan”の“in”では、日本の土壌を使うことになるが、“Made by Japan”として、日本人が作ることを強調する考えで、私はフランスに農場を作った。しかも、日本の京野菜の生産者の技量で、どのくらい作れるものか、地域を超えて、かつ、ここで環境保全型の農業ができないだろうかを考えている。もちろん IT 技術や土壌分析、モニターも必要なので、実験圃場を開設した。

土壌肥料学会からの提言

地域農業の振興  
地域ごとに窒素循環を(できるだけ)完結させる  
食料とエネルギーを(できるだけ)植物でまかなう  
生産コストを下げ、付加価値を増やし、農業の地位を向上させる

「有機」農業を改め「正しい」農業に昇格させる  
made in Japan から made by Japan へ  
日本の農業技術を輸出してインバウンド増加につなげる

2050年の目標 「食べる」リテラシーを充実させて  
みんなが幸せを感じることができる生活を創造する

農業と環境を観光資源化する  
そうだ日本、行こう  
世界に、日本があつてよかった と思える国にする

図 11

結局、農業技術は、モニターすることと負荷を与えるものを減らすことである。そして、やはり農業生産者がそれらをハッピーだと思わないと技術は、なかなか受け入れられず、進まない。私が生産者や消費者と話す時、やはり化学肥料に対する不信感が消費者にある。それは水俣病、イタイイタイ病、ヒ素ミルクなど、やはり日本の化学が今まで行ってきたことへの反動がかなり消費者にある。私は化学の専門家だが、そこを踏まえた上でこれからの技術開発と農業開発をする必要があると思う。図 11、土壤肥料学会からの提言「2050年の目標で、『食べる』リテラシー（食料生産に関する情報を正しく読み取る能力）を充実させてみんなが幸せを感じることができる生活を創造する」は、その根底に、利害関係者全員が幸福を感じる社会を要望する考えがある。全員が幸福と思えるためにはどのような技術開発が必要かを考えることだ。理想論ではなく社会実装を実践しないと現実はわからないので、大学が農家と協働しようと思うときに、実践していない人間はなかなか農家から信用してもらえない。社会実装へどのように大学人、学会人として進むのかを常に考える必要がある。

#### 質疑応答・コメント

○家畜糞堆肥を用いると、作物の生育が非常によくはないという話があったが、それは成分に、例えば塩が入っているような問題か？それとも元来、化学的な問題か？

(回答) 化学的な問題である。堆肥は好気発酵するので、酸素が入り、廃棄物の窒素が非常に植物が使いにくい形になってしまう。

○有機肥料に対して大変厳しい見方をしているが、それは、地球上の窒素プールのサイズを増やさずに、適正な循環を行うべきで、そのための技術開発が必要と考えての発言と理解してよろしいか？

(回答) その通り。

○いくつか開発されている技術はあると思う。しかし、化学肥料の代替にはまだまだ完全にならないので、化学肥料をうまく使いながら、一部分有機物質で代替して窒素循環ができるように技術開発が少しずつ進展していると思う。

(回答) 家畜糞は排泄されると、含有窒素の3分の1はすぐにアンモニアとなり、飛んでしまう。残った窒素分が利用されにくい化学物質になるという問題があるが、メタン発酵して炭素成分を分離し、窒素成分の半分はアンモニアになるので、メタン発酵の消化液を施肥に用いることは最初に飛ぶアンモニア、その後、使いにくい有機態の窒素成分を上手にコントロールできたら、非常に良い方法と思う。

○図 11 の土壤肥料学会からの提言で、「有機農業を改め正しい農業に昇格させる」とあるが、その意図を説明願いたい。

(回答) 現在、「有機農業促進法」という法律があり、その定義に、「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換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をいう」とある。しかし、少なくとも肥料は、窒素循環を前提にした場合、元素によっては循環中に環境へ逸脱してしまうものが多いので、理念として循環は正しいが、実際にはなかなか実践は難しい。実際に販売されている有機農業製品の栽培に使われている肥料は、ほとんどが輸入油かすや、輸入された魚かすである。それらにて有機農業が成立している現実がある。

フランスで実践する農園事業では、自分の農園で製造した堆肥しか使用できない規約があり、同国の有機農業の規格を取るのが非常に難しい。一方、日本の有機農業は歪んだ形になっているが、有機農業が消費者にアピールしているのが、元素循環に基づいた正しい（方向性を持つ）農業にしたいと考えている。

○土壤肥料学会の提言（図 10）に、「窒素過剰は生物相変化を引き起こす」とある。この提言に関する改善の指標は、窒素過剰率と考えて良いか？

（回答）土壤肥料学会の優先課題は、2050年に想定される地球人口90億人に必要な食料を作ることだが、問題は食料生産において、窒素の利用率（施肥窒素利用率）が非常に低い環境への集積が進む（有機物の形や硝酸イオンの形で集積する）ことである。従って、地球上のプールサイズ（窒素集積量）を増加さないことが必要だ。一方、化学肥料を使用しない場合、地球人口の最大値はおそらく20億人ぐらいだろうという見解がある。現在の人口72億人の食料供給には、かなりの部分を化学肥料でまかなっているのが、環境中の窒素化合物の濃度を今より低く保つために、窒素過剰率が指標になると思う。図10で示す土壤肥料学会からの提言として、種々の切り口（肥料開発、作物開発、廃棄物処理技術、温暖化ガスのモニター技術など）があり、土壤肥料学会の多数の部門が参画、アプローチしている。

○図12 マッピングシートでは、提案する科学技術は異なる領域（横軸）を横断しているが、異なる技術項目（縦軸）に関連するところがない。この意図を説明願いたい。

（回答）食料生産に必要な肥料と環境負荷の問題を本日、講演した。農業には国民に食料を供給する使命があり、消費者のことも考える必要があるという視点から、マッピングシートでは提案する科学技術について、関連箇所をつないだ。到達目標のフューチャーグリーンに「グリーン」という言葉があるので、エネルギー供給、食料、環境保全も植物の機能を中心にして考えた。次に、環境保全機能と観光による地域活性化だが、何故、観光客が京都へ来るのかと京都にいる人間は考える。2050年に向けて一次産業、二次産業の形が変化する中で、重要なのはやはりサービス業と考える。2050年に、世界の中で日本が占める位置は、今の日本の中で京都が占めているような位置になると思う。観光客の要望から、京野菜の農家やスグキの漬け物の農家に行くツアーが結構ある。日本人は農村からは逃げていくのに、外国人はそこへ入ろうとする。だから、上手く両者の考えを組み合わせ、従来の環境保全、食料供給、エネルギー供給を、上手く組み合わせ、関係者全員が幸福になる方策ができて欲しい。観光業を2050年の1つの収入源として、日本は真面目に考えるべきと思う。従って地域活性化は、逆に言えば、その住民が「こんな村はいやだな」と思うと観光客は来ない。住民自身が「この村は日本で一番良い」と思える必要がある。「一番良い」には、美味しいコメが採れることもあるが、1つの表現形として観光業に少しウエイトを置く考えがあると思う。

# 科学技術のマッピング

提案者: 5 間藤 徹(土壤肥料学会)

|         | A 環境保全 | B エネルギー供給   | C 食料・産品供給   | D 地域活性                     |
|---------|--------|---|---|----------------------------|
| 1. 観察する | ●      | ● 土壌中の硝酸イオン濃度をリアルタイムでモニターする(電極の開発)  | ● 計測器によるリアルタイムモニタリング                                  | ●                          |
| 2. 解析する | ●      | ● 農耕地土壌のリアルタイムモニタリングと情報の提供に基づく農地環境の適正維持   | ●   | ● 農地、住環境の重金属、残留農薬などのモニタリング |
| 3. 予測する | ●      | ● 施肥量、降水量から地下水の硝酸イオン濃度を予測する   | ●   | ● 流域の硝酸イオン汚染を予測する          |
| 4. 創造する | ●      | ● 有機性廃棄物をメタン発酵して、地場エネルギーを、消化液から肥料を得る  | ● 地場産業 地域自給<br>京野菜、加賀野菜、大和野菜などの生産促進                   | ●                          |
| 5. 支援する | ●      | ● 有機性廃棄物のメタン発酵による廃棄物処理とエネルギー供給、適正な処理による堆肥供給   | ● メタン発酵消化液からメタンとアンモニア、リン酸、カリウム回収                      | ● 食料とエネルギーの地域内供給           |
| 6. 評価する | ●      | ● 農業を振興し、バイオマスエネルギー生産を振興して、地域の食料・エネルギー生産を自給し、それによって住民の幸福度を高め、訪問者の増加を促し、生活と観光の一体的振興を計る | ●   | ●                          |
| 7. 制御する |        |   | ● ノルマンジーと雲南の圃場を京都から管理する<br>現地からデータ送付、研究者とプロ農家から現地への指示 | ●                          |
| 8. 管理する |        | ● バイオマスの多目的利用を目標とした管理   | ●   | ●                          |

図 12

### 3.6 「農村超スマート社会をめざして—地域の管理技術学としての農業農村工学—」

溝口 勝（東京大学大学院農学生命科学研究科 教授（農業農村工学会））

「農村超スマート社会をめざして」というタイトルで、発表する。所属する農業農村工学会は、忠犬ハチ公の飼い主、上野英三郎先生が創始した分野である。ちなみに2015年は、ハチ公が死んで80年となったので、東大農学部の横に上野先生とハチ公の銅像が建立された。

農業農村工学会の研究分野を、本ワークショップの「3つの力と1つの価値」という考えに基づき、表（図1）をまとめた。農業農村工学会講演要旨検索システムを用いて、2000年から2015年の間に学会発表された内容を横軸「環境保全」～、縦軸「観察する」～というかたちでクロスして件数検索を行った結果、図1の表内に示す数字のような分布になった。この表で一番注目して頂きたいのは、表内の数値が大きい箇所である。この学会で我々が扱ってきた研究は、地域、水田の水管理、水環境、土壌、評価、農地など多種多様な研究であるが、表内の数値が大きい箇所が示すとおり、学会の使命は、地域を管理する研究、あるいは地域の評価に関する研究を行うことと考える。この考えは、今後も変わらないと思う。

#### 農業農村工学分野における 「3つの力と1つの価値」

農業農村工学講演要旨検索システム <http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jsidre/search/annuals.html>

|         | 環境保全(338) | エネルギー供給 (5) | 食料・産品供給(0) | 地域活性化 (32) |
|---------|-----------|-------------|------------|------------|
|         | 環境保全(338) | エネルギー(167)  | 食料(44)     | 地域(1427)   |
| 1. 観察する | 3         | 2           | 0          | 8          |
| 2. 解析する | 12        | 17          | 1          | 117        |
| 3. 予測する | 9         | 3           | 4          | 55         |
| 4. 創造する | 4         | 0           | 0          | 8          |
| 5. 支援する | 13        | 1           | 1          | 63         |
| 6. 評価する | 52        | 29          | 9          | 233        |
| 7. 制御する | 7         | 5           | 3          | 22         |
| 8. 管理する | 58        | 25          | 13         | 314        |

農業農村工学分野は「地域の管理」、「地域の評価」に関する研究が多い

図1

当学会では、約20年前の1997年に委員会をつくり、2050年にどんなことをやっているだろうか議論して「FORE2050 (Food Rural Earth 2050)」という報告書をまとめた。その構成は、先導的挑戦、何故2050年なのか、5項目の視角（情報・交通、安全、農業生産基盤、物質循環、地域管理）、ビジョンの形成である。上述した通り、当学会の主な使命のひとつは、地域の管理研究であるので、その観点から報告書をまとめている。その報告書に基づき、過去20年間学会を主導してきた。本日のワークショップのテーマも同じ2050年である。当学会が、20年前に作成したFORE2050に記載する2050年像と、今後作成する2050年像にどんな違いがあるのか？このような点も検討する必要があるだろう。

## 1. 豊かなグリーン（植物資源）がもたらす 2050 年の社会

「豊かなグリーン（植物資源）がもたらす 2050 年の社会」は、どんな社会かという問いには、いくつかの観点から答える。まず「産業としての農業」を見る。その社会では、まず、次のような技術導入、設備導入が進んでいる。IoT 技術により無人化・自動化による農業生産、気候変動予測に応じた水・土壌管理、自己治癒機能によるメンテナンスフリーの施設、再生エネルギー、完備された農地、環境負荷が少ない農業などである。次に作物の面を見ると、田んぼで稲作と畑作を交互に可能にする道具や基盤を作ることが考えられる。これは当学会の使命として長らく研究してきた。

そして、農業農村工学会は、農村を相手にしていることも特徴であるので「地域としての農村」を見ると、次のような未来の農村をイメージしている。農村人口の維持・向上のため情報発信や多様な価値観の生まれる地域になっている、1 家族 2 居住（平日は農村に若い世帯が住み、週末に親の介護対応などで便利な都会に住む）のライフスタイルが常態化している、多様なコミュニティ形成機能を維持している、地域エネルギーを自給している。

そして、「安全を保障する防災機能地域」という面で見ると、例えば、大地震の際に、農村は疎開先となる可能性があり、防災機能を地域に求める必要がある。そのためにも都市と農村を複数の道や道路でつないでおく複数のアクセスを設ける。

## 2. 科学技術が発展しない場合の 2050 年の姿

ここで、科学技術が発展しない場合の 2050 年の姿を考えると、農業の観点では、農村社会の社会資本が劣化してしまい、人が住まなくなることで耕作放棄地の増大、鳥獣被害の拡大が心配される。

農村の観点からは、雇用の場が減少、景観、生態系サービスの多面的機能が劣化、都市と農村間のアクセス機能が劣化。農村生活資本そのものが劣化する。更に、意外に重要だが、地域固有の歴史や文化が消失する。

国土の観点からは、激甚化する災害の多発と復旧・復興困難地域の増大が見込まれる。今、農村の社会資本整備を怠ると、災害時にバッファ能力が消失する問題がある。

## 3. 科学技術のマッピング

提案する科学技術のマッピングを説明する。冒頭、図 1 で説明したとおり、当学会は、全てを網羅して研究していると自負しているが、中でも D 欄（地域活性）の 8 項（管理する）に集約される。図 2 に、提案する技術開発を示す。例えば、①「農業水利施設内での生態系サービスを評価して、管理する技術開発」では、4 項（創造する）、5 項（支援する）、6 項（評価する）、7 項（制御する）、8 項（管理する）の要素技術をまとめる必要がある。③「高精度の気象情報を取得し、避難・防災行動の時間スケールに応じた予測に基づく風水害の災害防止技術開発」は、きちんとしたモニタリング、観察する（1 項）、それを予測する（3 項）、あるいはそれを地域のものに生かして、管理する（8 項）ことが考えられる。

# 科学技術のマッピング

提案者: 6 溝口勝(農業農村工学会)

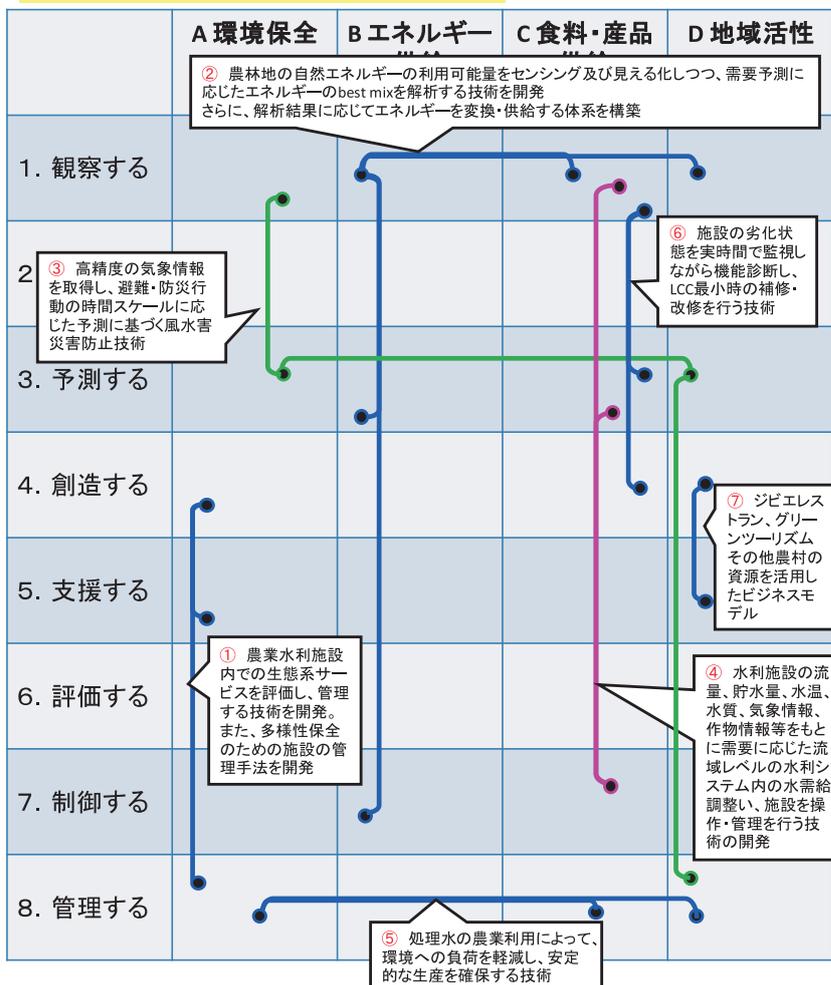


図 2

提案する技術開発を評価する様々な指標を作成したので紹介する。

(1) 農業に関する技術開発の提案から、例えば、④「水利システム内の水需給調整、施設の操作管理技術の開発」に関して、評価指標は、「生産環境制御機器装備率」、「社会資本管理コストの低減率」を設定した。これらはC欄の3項予測する、4項創造する、5項支援するが関係する。そして「農業生産の無人化率」の評価指標を設定し、これは、7項制御する、8項食品関係を管理するが関係する。⑤「処理水の農業利用により環境負荷軽減技術の開発」に関して評価指標は「農業用水再生率」を設定した。これは農業用水を何回再生するかである。再生率のように、比率を考えると、その技術の測定方法や、管理手法の中の環境保全機能、食品、地域活性にどのくらい貢献しているか等を組み合わせると種々の評価指標が設定できる(図3)。

### 様々な指標 (1) 農業

|         | A 環境保全 | B エネルギー供給 | C 食料・産品供給    | D 地域活性 |
|---------|--------|-----------|--------------|--------|
| 1. 観察する |        |           |              |        |
| 2. 解析する |        |           |              |        |
| 3. 予測する |        |           | ④            |        |
| 4. 創造する |        |           | ④ ④          |        |
| 5. 支援する |        |           | ④            |        |
| 6. 評価する |        |           | ④            |        |
| 7. 制御する |        |           | ④ ④          |        |
| 8. 管理する | ⑤      | ②         | ④ ④ ②<br>⑤ ⑤ | ⑤      |

④生産環境制御機器装備率  
 ④社会資本管理コストの低減率  
 ④自動化のための農地基盤整備率  
 ④農業生産の無人化率  
 ②農業生産の再生エネルギー利用率  
 ⑤農業用水再生率

図 3

(2) 農村に関する技術開発の提案を考えると、評価指標として、「地産地消化率」を設定すると、C 欄の食料・産品供給を評価して、7 項制御して、うまく 8 項管理する技術につながる。⑦「農村の資源を活用したビジネスモデル」に対して評価手法「歴史文化の保全活動割合」を設定したが、地域がどのくらい管理されているかを見るときには重要な指標と考える (図 4)。

### 様々な指標 (2) 農村

|         | A 環境保全 | B エネルギー供給 | C 食料・産品供給 | D 地域活性 |
|---------|--------|-----------|-----------|--------|
| 1. 観察する |        |           |           |        |
| 2. 解析する |        |           |           |        |
| 3. 予測する |        |           |           |        |
| 4. 創造する |        |           | ⑦         |        |
| 5. 支援する |        |           | ⑦         |        |
| 6. 評価する | ① ① ②  | ②         | ⑦ ② ⑦     |        |
| 7. 制御する | ①      |           | ⑦         |        |
| 8. 管理する | ① ⑤    |           | ⑦ ⑤       | ⑤ ⑦    |

⑦せせらぎと風の道形成率と住居のオーダーメイド化率  
 ①種の多様性とバランス度合い  
 ①有機性資源炭化物の地中埋設化による炭素固定率  
 ②再生エネルギーの備蓄・自給率  
 ⑦地産地消化率  
 ⑤水循環健全度  
 ⑦歴史文化の保全活動割合

図 4

(3) 国土に関する技術開発の場合、評価指標として「備蓄・エネルギー化率」を設定した。これは B 欄「エネルギー供給」の 8 項「管理する」に該当する。そして「グリーンインフラストラクチャー整備率」を考えたが、これは多くに関連するので、どう定義するかが、難しい (図 5)。

### 様々な指標 (3)国土

|         | A 環境保全 | B エネルギー供給 | C 食料・産品供給 | D 地域活性 |                                      |
|---------|--------|-----------|-----------|--------|--------------------------------------|
| 1. 観察する |        |           |           |        |                                      |
| 2. 解析する |        |           |           |        |                                      |
| 3. 予測する |        |           |           | ③      |                                      |
| 4. 創造する | ①      |           | ①         | ① ③    | ③ 予備機能・リスク回避のための<br>農村容量の可視化率        |
| 5. 支援する | ①      |           | ①         | ① ③ ③  |                                      |
| 6. 評価する | ①      |           | ①         | ① ③ ③  | ① グリーンインフラストラクチャー整備率                 |
| 7. 制御する | ①      |           | ①         | ① ③    | ③ 減災・活動継続計画整備率                       |
| 8. 管理する | ①      | ②         | ①         | ① ③    | ② 備蓄・エネルギー化率<br>③ 都市と農村のアクセス用バイパス整備率 |

図 5

#### 4. 課題解決のために開発すべき科学技術

課題解決のために開発すべき科学技術は、(1) 農業の観点では「自動化のための車庫から収穫・加工施設までの農地等での基盤整備技術」がある。農業農村工学会が重要視する基盤整備とは、作物の収量を上げようとする場合、その土台になる水田や畑に必ず用水が来るか、排水ができるか、それらの能力を引き出すものである。他に「圃場の土壌管理のための情報通信・管理・制御技術」、「水質、コンクリート、金属資材の自己治癒技術」、「バイオマス、地中熱、水熱、水力、風力などを組み合わせた蓄電と安定供給システム」が考えられる(図6)。ところで、農業農村工学会の研究内容について世間から「農業農村工学や、農業土木は何を研究しているのか?」や「それは、全然、農業ではないのでは!」としばしば言われるが、実は整備すべき基盤の見えない部分をかなり研究しているのである。

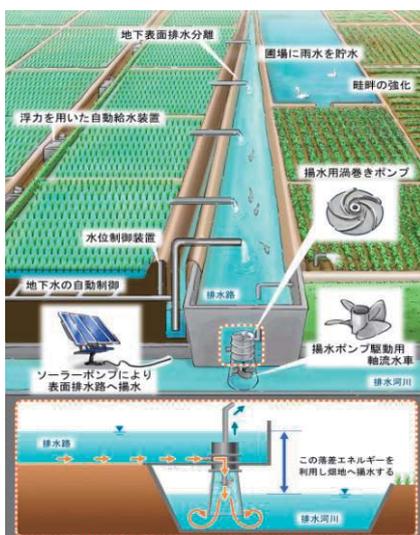


図 6

(2) 農村の観点では、「地域住民から生まれる地域資源を含めた資源化技術」、「炭素貯

留技術」、「鳥獣害の監視システムと土地利用を含めた移動制御技術」がある。図7に、技術イメージを示す。水田は水を張ればできると思われがちだが、水田の地下には、見えないが、木材のチップ、竹のチップなどが埋設され、田んぼの下が工場になっている。この話をすると、外国の人は必ず驚く。このような技術を今後、日本の農村に技術導入する必要がある。他に、「生態サービスの評価と機能増加技術」、「多面的機能農地、水路、農道、住居の整備技術」、「地域内及び都市交流のための多用な合意形成と組織化」、「交流、二居住、地産地消をもたらす新たな土地利用計画技術」がある。



図7

(3) 国土の観点では、災害に強くなる技術をどうつくるかを考えると、例えば「資源流域の循環管理手法の開発」、「水害、地震等の減災のための農村容量の評価と機能増進技術」、「地盤の安定性を可視化する技術」がある。それには、種々のセンシング技術が必要になる。そして、国土保全という観点からも開発すべき技術が、他にも「気候変動予測に基づく水資源容量の拡大のための施設機能管理技術」、「発信機能付き健康度合い、家族・親類、仕事を網羅したタグと避難行動計画策定技術」、「グリーン・インフラストラクチャー整備技術の開発」、「雨滴発電、風力の面的エネルギー化技術」が考えられる（図8）。

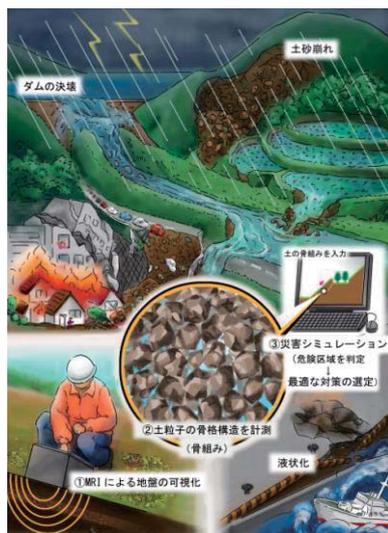


図 8

次に、2050年をイメージしたときの一例を紹介する(図9)。我々がこれまで研究開発してきた種々の技術があるが、例えば、中山間地という、今や鳥獣被害が激しい場所でも、地形の起伏に応じて、山腹を螺旋状に取り巻くような温室を作り、太陽光を十分に生かして多様な作物の栽培生産を行うことや、地下空間で工夫して、地下水利用灌漑システムを構築する。これは、必要なときには水を揚げる、不必要なときは水を抜くことができるので、工場を地域の地下空間に作ってしまう。そして、上から見ると単なる農地だが、コンクリートによる空間(函)の中に、きちんと管理されている温室や圃場を持つ農場を作る考えである。

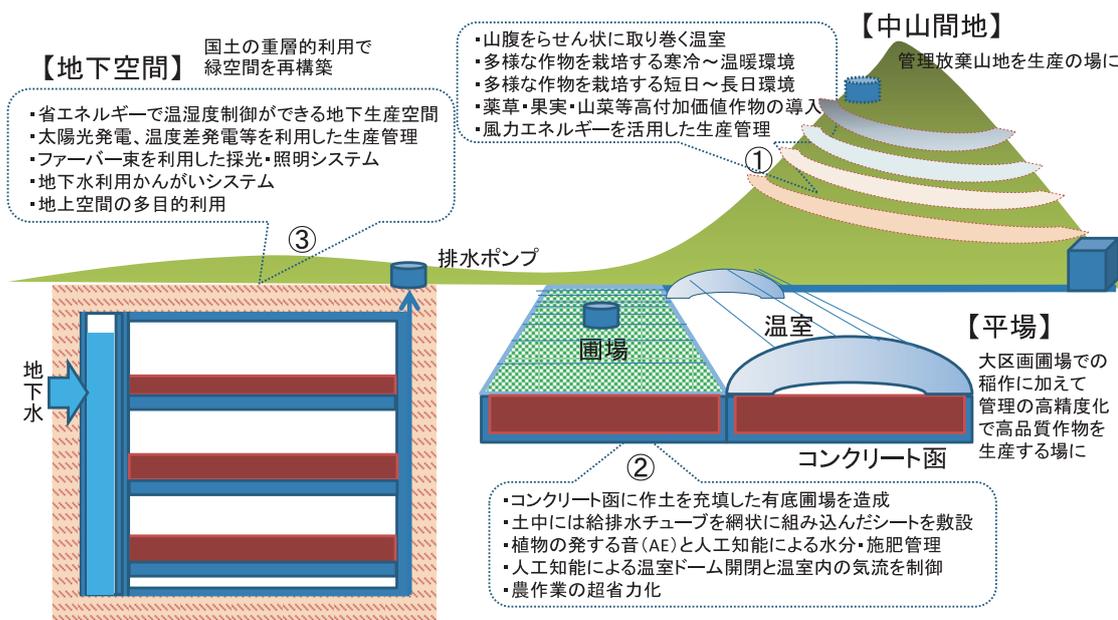


図 9

## 5. 今後に向けて

実は本日のワークショップのテーマを聞いて、「JST が開催するワークショップだから、きっともっと上のレベルの何かに関係しているのだろう」と考え、調べた。すると、第5期科学技術基本計画の中にいくつかキーワードを見つけた。1つは「Society 5.0」。これは「超スマート社会」とされ、IoT や種々の ICT を使う社会を創ることが目玉になっている。さらに細かく調べると、「NESTI2050: National Energy and Environment Strategy Technological Innovation toward 2050」があり、2050年をめざす戦略があった。国のこのような政策、戦略に対して、我々がすべき研究開発分野は何かと考え、国の基本計画の中のキーワードに、rural（農村）を付け、“Rural Society 5.0”を考えた。つまり、農村超スマート社会を創るのが我々の研究開発分野の未来像である。

2050年の農村超スマート社会とは、何か？ 私自身は、海外現地生産方式でトヨタの農業版を創りたい。農業生産は適地適作であり、リンゴやイチゴは、いろんな国を見ても日本産が一番美味しい。それを海外で作り、海外で人を雇い、現地の状況を衛星からモニタリングし、我々は日本の田舎にゆったりと暮らして子育てし、田舎の大きな家に住み、スマホで農作業を指示するスタイルの現地生産方式農業版ができれば良いと考える。

「今後に向けて」を考えると、2050年には私は生きていない。そうすると若い世代から意見を聞くのが重要である。30年前を振り返ると、パソコンでは8インチの大きいフロッピーディスクを使っていた。「天空の城ラピュタ」は、意外にも30年も前の話であった。学生に講義の際に、この話をすると、必ず学生が笑う。ファミコンソフト「ドラゴンクエスト」が出たのが30年前である。現在、しきりにIoTとかインターネット、SNS (Twitter、Facebook、Line、YouTube) と言われるが、30年前、これらの技術は誰も予測していなかった。では、30年後はどうなっているのか？と考えると、たぶん新しい技術が出てきている。但し、そのときでも、人間の生活に水は絶対不可欠で、水は高所から低きに流れている。農業農村工学会の研究開発分野は、間違いなく地域の農地と水の管理を担い続けるだろう。従って、30年後の社会をリードするであろう現在20代の学生たちと議論することが重要だと考えており、当学会としてもその青写真を若い世代と一緒に作っていかうと考えている。

### 質疑応答・コメント

○図7の紹介で、海外の人が驚くという説明があった。驚く理由は何か？

(回答) 田んぼには、実は、地下に暗渠があり、ここに籾殻、木材のチップを入れるだけで排水がすごく改善される。農業農村工学会は、この暗渠の技術として、どのぐらいの間隔で籾殻、木材のチップを入れたら良いか等を昔からいろいろ研究している。この暗渠技術は、意外に水をコントロールできる。水田の出口部分に、お風呂の栓みたいなものがあり、その栓で塞いでいるときには水が溜まる。しかし、その栓を抜くと、暗渠から水が排出され、すぐ水田から水が抜け乾くので、田んぼに大型トラクターを入れたりする作業がしやすくなる。農業農村工学会は、この種の技術をずっと作ってきた。従って、このような話をタイや外国人に説明すると、「日本の田んぼは、工場だ」と、必ず驚かれる。この技術は、日本人も意外と知らない。

○図2 科学技術マッピングの作成意図をもう少し説明願いたい。

(回答) 図1「3つの力と1つの価値」で説明したとおり、農業農村工学会としての研究テ-

マは図1での全ての領域（横軸）と技術項目（縦軸）をカバーしている。最終的に当会の研究分野は図1、図2の第8項の地域を「管理する」に収束する。そのため、どんな地域であるべきかを考え、当該地域の将来計画を十分に検討して作成し、その計画目標に向けて種々の技術を組み合わせることになる。従って、農業農村工学分野では特定の科学技術を開発するのではなくて、最終的に、地域活性向上のため、地域を管理することに向けてあらゆる手段を使うので、テクノロジーよりはエンジニアリングがふさわしい。その考えの下、図2では、7件の科学技術を提案した。これ以外にも多数の提案を持っている。

### 3.7 「森林資源の新たな活用と森林の存続に必要な視点」

黒田 慶子（神戸大学大学院農学研究科 教授（森林学会））

私は、森林学会に所属している。私の専門は、森林病理学、森林保護で、森林全体を眺める立場である。本日は「森林資源の新たな活用と森林の存続に必要な視点」でお話する。

本ワークショップの2番目に登壇された森林総研の田中氏が森林再生を含めた全体的話をされたので、私は森林再生シナリオとは異なるところで、3つのテーマを紹介する。

1つ目のテーマは、「森林の生態系サービス・保全の研究は評価で完了ではない」である。この分野の研究はけっこう活発だが、現実を見ていない不満がある。現状評価はされているが、そのあと何をするのかがない。まず「資源活用を展開してこそ、地域振興につながる」と提案する。このことは、先ほど登壇された溝口先生の講演内容にも通ずる。さらに、「国土保全のためには、里山管理システムの再構築が不可欠」と考える。

2つ目は、「樹木の生理特性の工学的利用、バイオミメティクス」である。バイオミメティクスという言葉は、皆さんもよくお聞きと思う。現在は基礎研究を自分たちの分野だけで抱えてしまっていることがほとんどであるが、実はもっと応用研究の可能性があると考えている。

3つ目は、「都市緑化」である。これはヒートアイランド現象の緩和技術として進めたいが、現在は効果について科学的検証ができていない。「ただやってみた」というだけであり、この技術を正しく発展させれば、グリーンビジネスとしてもっと経済的発展の可能性があると思う。

それでは、科学技術のマッピングシート（図1）を用いて、提案する技術開発のテーマ内容を順次説明する。

(1) 初めに、里山資源の活用である。マッピングを行ってみると、図1の①に示すとおり、このテーマについて、これから研究すべきことは、環境保全、食料産品供給、地域活性に関わり、多数ある。今までの多様性研究では環境保全の部分だけで終わっていた。しかし、現実的に保全を進めるには資源を使って里山を維持させる必要がある。森林保全では単に見守るという自然任せではなくて、管理が必要なことが意外に理解されていない。やはり実践が不可欠で、実践ができていないことが、溝口先生が紹介された農業農村工学会との大きな違いだと思う。「森林は、自然放置が一番良い」という考えが社会的通念になっており、一部の研究者もそう思っている。そこが大きな問題である。

人が関わる森林のタイプには、里山（雑木林）の類と、針葉樹人工林に大別される。森林総研の田中氏が説明された通り、針葉樹人工林では林業が行われ、林業再生の補助金制度もあり、持続性が維持されていると考えるので、私の講演では針葉樹人工林の現状と課題の説明は割愛する。本日は、里山に注目する。なお、人手が加わらない原生林については資源利用に関する本日の議論には含めないこととする。

里山は、実は農用林であり、その面積は非常に広大である。森林は日本国土の3分の2の面積を占め、里山はその3～4割を占める広大な面積で、持ち主は農家である。ところが農家はその管理を放棄してしまい、林業地ではないこともあり、課題が生じている。



### ① 有形・無形の里山資源の活用で里山二次林を持続させる

#### 人が関わる森林の現状と課題

##### ● 里山(雑木林)→旧農用林

森林の3~4割の広大な面積  
持主は農家、管理放棄→荒廃

…林業地ではない

##### ● 針葉樹人工林=林業の場

林業再生は補助金などで淡々と  
森林総研から報告のため割愛

放置里山では多様性低下  
森林病害の多発

##### トトロの世界の誤解

日本人が郷愁を感じるアニメの里山風景は1950年代に設定。しかしその絵は今の荒廃しつつある里山(写真右)

緑は豊かであるが  
\*森林としての持続性が危ない



図 2

このような現状から、もう一度、何をすべきかを順序立てて説明する。里山の中に入ってみると、人がつくった林があるが、だれも利用していない大木の林である(図3)。その林の持ち主は農家で、かつて薪炭や肥料用の落ち葉の採取が行われていた。このような生活のための森林利用は「林業」(建築木材の生産)ではないことに注意が必要である。半世紀前から薪は化石燃料に取って代われ、肥料は化学肥料になったため、里山は無用の長物になった。しかしその山は農家あるいは農村集落の私有地であるために、森林行政から完全に抜け落ちた。現在、緑が豊かだと言いながらも、詳しく見ると巨木化しており、国土保全上、危険な状態になっている。水源かん養の面では、大木であるほど良いと思われがちだが、大木が非常に増加した箇所では水源が涸れることがある。大木が水を吸いすぎるからだ。また、大木が増えると地面に日差しが届かなくなって非常に暗くなり、樹木の新たな芽生えが出ない。近年増加したニホンジカが植物の芽や樹皮を全部食べてしまうことから、多様性の低下が進む。こういう箇所では、同時に病虫害による枯死木が多発しており、木が無くなった後、下から何も生えてこないために持続性の喪失となって非常に危ない状態になる。



図 3

ところが、日本の社会は、この問題の解決をボランティアに頼っている。農家が動かないので、動く主体はどうしても行政のイベントやボランティアになり、計画的ではなく無秩序な実施や、知識がないままの関与となっている。里山は、生物多様性の豊かな場所として礼賛されているが、問題が山積である。そして、里山の木は、天然林と呼ばれるが、決して天然ではなくて、数百年間、人が使い続けてきたものである。里山の森林の歴史的背景を見ると、管理する必要性は自明である。

このような事情で図 1 の環境保全の部分をしかりとやるには、評価で終わるのではなく管理までも視野に入れる必要がある。現代版の里山管理システムと考え、伐採・利用・再生まで、生態系サービスをしっかりと向上させたい。しかし、そのためにはやはり資源を使わないと循環が進まず、森林の再生も進まない。エネルギーの利用では、どうしてもバイオマス発電の方に意識が行きがちだが、バイオマス発電所を設置しても、熱を捨てる部分が多い。それよりは、農家が薪ボイラーを導入するほうが、非常にエネルギー効率が良い。しかし、この案はエネルギー面では効果的だが、なかなか導入が進まない。それで、もっと今日的な利用を考えると、グリーンツーリズム、森林セラピーなどの無形の森林資源利用を発展させることがある。これは非常に良い案であるはずだが、農村でなかなか受け入れられず、スタートしづらいという状況である。

今後開発すべき科学技術としては、実践の部分が不可欠でもあるので、農家所有で放置されている里山を見直し、森林の持続的・効率的管理を実現するとともに、農家の収入になる仕組みを作ることを進めたい。

(2) 次に、樹木の生理的特性の工学的利用、バイオミメティクスというテーマを説明する。バイオミメティクスは、時々話題になる。蓮の葉の上のつるつるした部分に汚れが付きにくいという仕組みを応用して製品になっているが、森林関連分野ではまだ真剣に研究に取り組んではおらず、他の分野との連携が必須と考える。例えば、私の分野では、樹木の水分通導の機能は、非常に巧妙であることがわかっている。この機能を工学的に利用できないかと考えている。

樹木が長寿であるのは、防御システムが非常に巧妙だからである。例えば水栽培でドン

グリを育てると、1年以上経っても水中には微生物が増えないので、容器に水を足すだけで育つ（図4）。抗菌物質をうまく植物は使っていると考えられる。キキョウなどの生薬は根から取る場合が多く、樹皮から取る場合もある。そのような伝統的な知恵は利用してきたが、まだまだ研究の余地がある。

樹木特有の断熱性、外気遮断性、水分通導などの生理特性は、科学技術として工学利用ができると考え、新素材や生薬の開発が期待できる。

## ② 樹木の生理特性の利用とバイオミメティクス

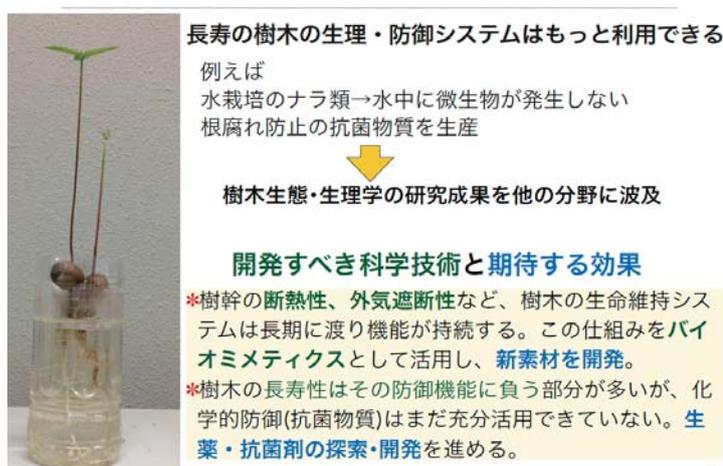


図4

(3) 3つ目は、ヒートアイランド現象の緩和である。現状では、緑の植栽で気温が下がるという知見はあるものの、「木や植物を植えてみたら完了」ということで、結局、基礎的なデータ解析はなされていない。この課題については、どういう樹木が適していることから、地域活性化のところまでをつなげたい。現状では、例えば神戸市ではクスノキばかり植えているが、樹種選定に際して、環境とか、樹木の適性が考慮されていない。ましてや、植栽で気温が何度低下するかなどの効果の検証はなされていない。例えば、ビル風防止目的の植栽が枯れた事例では、遠く離れた地域の苗を植栽しており、その樹木の適地ではなかった可能性がある。従って、研究はこれからであり、測定することから始める必要があると考える。樹木は、地下水を吸い上げているので外気よりも冷たい水が上がるので、周囲の熱を吸収する。樹木にどれぐらい熱の吸収力があるか、どれだけクーラーの効果があるかを調べることはできる。都市計画に対して、冷却効果の高い樹種を配置する積極的な樹木選定ができると思う。

効果のある緑化手法をきちんと科学技術として開発する。それが私たちの生活環境の改善につながり、その先には樹木の苗の生産が地域でもっと必要になる。さらに発展させて、都市緑化の設計を含めたグリーンビジネスにうまくつなげ、地域活性化まで含めた研究の枠組みにしたいと考えている（図5）。

### ③ヒートアイランド現象の緩和とグリーンビジネス

現在の都市緑化は植栽実施で完了という考え方。

#### 課題

- 樹種選定では、樹木の適性が考慮されていない  
ましてや植栽効果の検証は全く無い  
→効果を検証していないので進化しない

#### 開発すべき科学技術と期待する効果

- \*気温上昇を押さえるなど、効果のある緑化手法を森林科学の観点から発展させる
- \*都市計画への組み込みにより、夏季の生活環境を改善
- \*多品目の樹木苗生産を地域で進め、植栽樹種のアドバイスや都市緑化の設計を含めたグリーンビジネスに発展させる



事例：神戸市は市の木クスノキばかり植栽

図 5

研究の進め方と他分野との連携の考えをまとめる。最近森林科学分野は、実学が軽視され、うまく行っていない気がする。1つ目の里山資源利用と持続性のテーマでは、農地の研究分野の方々との連携がとても大事である。そして、観光、旅行関係、行政の方、農業・観光担当部署との連携である。森林の管理、特に林業（針葉樹人工林の管理）は、役所の林務課が担当となるが、里山の広葉樹林管理をボランティアに依頼しているのは生活課や環境課である。地方行政の縦割りのために成果が出にくい点は研究者から指摘する必要がある。一方で、現状を変えたい農家は少なからず居るので、彼らと連携しつつ実践的に解決の方向に進めたいものである。

2つ目のバイオミメティクスは、生理学的な分野、化学・工学・物理学分野の連携、製薬や種々の生産関係の企業とのつながりが必要である。物理が苦手な生物学者には、生理現象が何に应用できるかという発想は難しく、従って他分野との連携が必須となる。

3つ目では、緑化関連企業は、経験だけに頼って作業をしていると言っても過言ではない。地方行政の公園緑化担当者も緑化業者に発注するスタイルだ。そのため、安くて、簡単に作れる樹木ばかり植えている。その考えを変えるためにも連携が重要である。

#### 質疑応答・コメント

○3つの提案をされたが、1つ目が、実践が不可欠ということで実践を目指す話、3つ目は、検証はされていないので止まっている話だ。

(回答) いや、止まっている話を持ってきた。順調に進んでいるところへのサポートは要らない。この研究をぜひ進めたらという提案だ。

○森林関係の従事者の数は、最近、底を打ち少し上向いてきたというが、将来はいかがか？

(回答) 森林従事者数を増やすには戦略が必要だ。現在の農林業収入だけならば、新規参入は現実的には難しい。そこで、観光化、グリーンツーリズム、外国人受け入れを考える必要がある。日本の森林は海外の方にとって非常に魅力があるので、外国人観光客にガイドを付けて森林散策を体験させることを推進しているが、現地の住民はその魅力を理解していない。その理解を得るために、戦略的なプロジェクト作りや、特区にする必要がある。森林を所有し維持する農家の仕事を増やす、収入を増やす計画をもっと積極

的にとるべきだ。

- 森林の荒廃・衰退を食い止めるためには魅力アップが必要だが、魅力アップのための施策は何か？何らかの価値で表す生態系サービスか？

(回答) いくつかの地方自治体が環境税を集めてはいるが、使い方がまずい。計画や戦略なしに、ボランティア費用に使われている場合もある。生態系サービスや生物多様性が指標として重視されているが、現代人が享受している生態系サービスや生物多様性は過去何十年もの蓄積の結果だ。それが今、劣化して最後の段階に居るのに、劣化を示す評価が概算でなされていることを危惧している。特に森林はタイムラグがあり、環境変化が起こり、森林の状態が変わり、生き物が絶滅するまで、かなりの時間がかかる。絶滅危惧種が発見されると、その場所を立ち入り禁止にする対応だけだ。これには危機感を感じる。従って、指標を正しく設定するには、現状の生物多様性評価だけでは不十分だ。森林の将来計画をきちんと策定する必要がある。例えば農村では、あぜ道から森林にかけて、民間薬に必要な生薬類が、管理されず、雑草と一緒に放置され消滅しつつある。環境は生きものだという認識が薄い。

- 図1 科学技術マッピングの内容や意図を説明願いたい。

(回答) 図1で提案する科学技術として、①「有形・無形の里山資源の活用で里山二次林を持続させる」は他の講演者からの発表や提案内容と類似点が多いが、②「樹木の生理特性の利用とバイオミメティクス」、③「ヒートアイランド現象の緩和とグリーンビジネス」は異なっている。①では、農家が山の手入れ（管理する）を再開したくなるような計画作りを強く主張したい。農村の魅力である生物多様性を「解析する」だけで完了とするのではなく、農村の魅力を引き出すには新技術や新ビジネスを創造して実装までを実施する必要がある。社会実装がない場合、現実的に生物多様性の維持や生態系サービスの向上は困難である。農家が社会実装の実現に向けてのモチベーションを上げるため、「創造する」を重要視し、そのための計画作りを進める必要がある。私は、7年前まで森林総研に勤務しており、現場をよく見た。現場では実装ができずプロジェクトが進まないことがあった。例えば役所へ森林への資金投入を相談すると、役所には事前にその費用対効果を示す必要がある。それは研究者が担当する部分なので、実際に里山整備プロジェクトをショーウインドー的に行い、役所に効果を理解してもらった経験がある。高い成果が得られたプロジェクトでは、森林の所有者が、「自分の持ち山がお金として見えるようになった」という方が居た。その他は、ほとんどボランティアなので、意識変革は期待ができなかった。今後を考えると、すごい要素技術の発展は不要だが、全体のシステム化が必要だ。しかし、これは難しい。要素技術をつなぎ、農家で山の管理から実装まで含めたプロジェクトを実現させ、その効果を定量的に示すことが必要だと思う。そして、農村の外から見た視点が絶対必要だ。外国人観光客が日本の森林を来訪するのは何が魅力なのかを知る必要がある。農村の住民にとっては当たり前のことを外国からの観光客は魅力だと思って来る。従って、農業体験、里山散策、伝統料理（田舎料理）などの価値の発掘が必要だと思う。

### 3.8 「多世代および地域の共生農業システムの発掘と分析・モデル構築・普及」

矢口 芳生（福知山公立大学 地域経営学部 教授（農業経済学会））

私の所属する福知山公立大学は、2016年4月、私立大学から公立大学へ設置者変更で開学した。私は地域経営学部で農業経済関係の講義を担当している。以前は、国立国会図書館に17年間おり担当部署は環境と農業を扱っていた。その後、東京農工大学で11年間、農業経済学を講義し、最後に国立国会図書館で専門調査員を4年勤めた。農業経済学会から、私の職歴を鑑み、本日のワークショップへの登壇要請があったと考えている。

今日は、「多世代および地域の共生農業システムの発掘・分析・モデル構築・普及」を紹介するが、非常にざっくりとした話になるので、その観点でお聞き願いたい。

#### (1) 2050年の望ましい社会の姿とは

2050年の望ましい社会の姿を、市場の問題と環境の問題という2つの局面から考えてみたい。これまでの展開は、特に70年代ぐらいまでは環境を犠牲にして、経済効率性をむしろ尊重する形であった。現在も程度の違いはあるが、それに近い考えがあろう。将来には、市場原理促進型の展開、一方では環境を非常に重視する（環境原理促進型）展開があるが、私は併進的な展開、すなわち協働的持続可能な社会（共生社会）を目指す共生型展開が非常に望ましいと考える（図1）。この共生とは、人間と自然・社会・風土との〈コミュニケーション・合意・協働〉の一連の合目的行為・行動、これらを伴う社会である。何か問題があれば、見て見ぬふりするのではなく、自然や社会や風土と十分にコミュニケーションを取り対応するものである。元来、明治時代の農法は、植物や動物に聞けという考えがあったが、その考えをもう一度見直す社会が、協働的持続可能な社会（共生社会）だと考える。

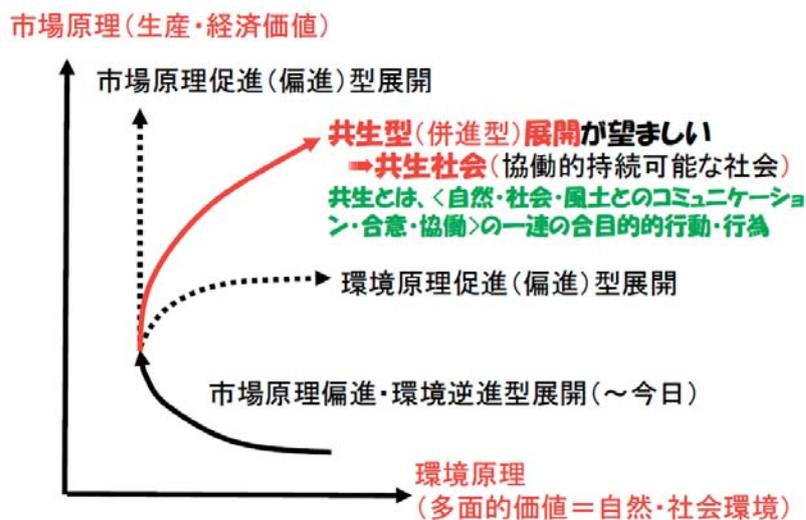


図 1

ところで、地球環境問題と農林水産業は、対策がない場合には、人類生活基礎資源（生物、土地、水、大気等）への悪影響を引き起こし、持続可能性の危機を招く。解決のためには科学技術の役割は非常に重要だが、科学技術だけではやはり解決しない部分がかかり

あると考える。

例えば、CO<sub>2</sub> 排出問題の改善・解決のためには、「実践と教育の推進」、「技術の開発と利用」、「社会制度・システムの新しい構築」という総合的対策が必要である。農林水産業の場合、「技術の開発と利用」においては、再生可能エネルギーの利用促進・技術開発、植林・大規模緑化の促進がある。「社会制度・システムの新しい構築」では、地域循環（環境保全）システムの確立、地産地消システムの構築が非常に大事になってくる。

## (2) 望ましい未来社会への現場の課題

現場の農業の課題は何かという観点から、地域農業に関する多数の先行研究を「地域や農業経営体に関する課題と見通し」として総括的に整理した。(図2)

### 地域(3類型に要約)や農業経営体に共通する課題と見通し

A. 個別経営を中心に展開する地域、主に平地農業地域、地域労働市場に恵まれた地域

B. 大半の農家を集落営農組織にまとめあげた地域、主に中山間地域、地域労働市場が限られ他出の世帯・世帯員もいる地域

C. 地域A・Bの状況が混在の地域、主に中山間地域、通勤兼業可能な地域

#### →3地域の農業に共通する4つの論点・困難=課題

##### ①農地集積と農業管理作業の困難

シルバー世代による管理作業が大経営にも寄与

##### ②多世代が地域で再生産されない困難

青年・壮年・老年世代の再生産システムの必要

##### ③高収益の「儲かる」部門の開発や導入の困難

現実に可能性ある部門・商品の開発の見通しつかず

##### ④鳥獣被害や耕作放棄地の解決の困難

人口減少のもと計画的耕作撤退のあり方の検討と行動が必要に

\* 総じて、高収益部門の導入・開発、地域の資源管理の困難や耕作放棄地の増大に対応した、多様な担い手が役割分担して地域農業を担う共生農業システムの構築及び計画的耕作撤退の検討と行動等が必要に。

→実践的具体的課題→地域の持続可能性の確保へ=地域ミッションに

図2

3つの地域に類型化される。それら3地域の農業には、共通する4つの論点・困難が課題としてある。

- ① 農地集積と農業管理作業の困難。最近ではシルバー世代も再生産されないの、農地が荒れ放題となる。後述する④項にもつながるが、農業管理作業ができるシルバー世代がいなくなり、大規模経営者でも畦の管理や水の管理が非常に難しい。農業技術が発展して、いわゆるスマート農業ですべて解決すれば良いが、少なくとも現時点ではかなり大きな問題が現れている。その一方で、シルバー世代は農地を所有し、流動化（貸借）が進んでいない。
- ② 多世代が地域で再生産されない困難。担い手となる青年世代・壮年世代の再生産システムが構築されておらず、今後、真剣に考える必要がある。青年就農給付金制度が日本でも作られたが、現実の農業はなかなか担いきれない。非常に危機的な状況だが、その危機が認識されない状況が現場で起きている。
- ③ 高収益の「儲かる」部門の開発や導入の困難。今、6次産業と称して、農業が加工まで、あるいは商売までを行った方が良いという話になっているが、現実には高収益の儲かる部分の開発や導入は現実的には非常に難しい。可能な内容は限られている。

- ④ 鳥獣被害や耕作放棄地の解決の困難。この問題が、最も切実である。ロケットが宇宙に飛ぶ時代に鳥獣被害の対策もできていない。福知山周辺の実態を見ると、人間がむしろ檻の中において、野生動物が自然の山林を闊歩する状態が現実の農村では起きている。人口減少は農村地域で、特に著しいので、計画的な耕作撤退の検討も具体的には必要になってくる。

総じて言えば、多様な担い手が役割分担して地域農業を担う共生農業システムの構築を考え、人口減少化の中で計画的、合理的な耕作撤退もそろそろ考える時機だろう。さもなければ、グリーンの維持が本当の意味で不可能になる。このように实际的、具体的な課題を解決して、地域の持続可能性を確保していくことが、地域のミッションとなる。それができなければ、グリーン、農業、農村は維持できないと考える。

### (3) 具体的な取り組み

現場は何もしていないかと問われると、現場の農家の人たち、地域農業の人たちは、いろんな対策を講じている。青年・壮年・老年の世代別と地域のミッション別の取り組みを図3に示す。これは多数の先行研究と、私が実態を眺めてきたものを整理した一覧表である。実に様々な取り組みが行われている。それで十分かと言えば、やはり不十分な部分がむしろ多い。問題は、3つ（環境的、経済的、社会的）の持続可能性である。

本日のテーマであるフューチャーグリーンの課題でもあるが、1つ目は「環境的持続可能性の確保」。これは、健全な自然の地域循環の再編であるが、確保されていない。実際には取り組みは行っているが実態は難しい。2つ目は「経済的持続可能性の確保」。健全な経済の地域循環の再構築。これは本ワークショップの概念で言う「エネルギーおよび食料・製品の供給」につながるものだが、「儲かる」部門の開発・導入に限界がある。3つ目は「社会的持続可能性の確保」。健全な風土・文化の地域循環の回復・再編である。

これら3つの持続可能性の確保が得られることで、地域の活力を維持し、むしろ向上させることにつながる。図3の下部で示すとおり右向きの矢印の流れで、地域の活性、活力は、生み出されてくる。つまり、環境負荷許容量の範囲内の経済活動を行い、その成果をもって社会発展につなげるということである。

| 先行研究や実態から整理した各世代の具体的取り組みメニュー           |  |  |  |   |  |  |  |   |
|--|--|--|--|---|--|--|--|---|
| 地域ミッション<br>世代と位置づけ                     | 1.就農の促進、鳥獣害の解消、等   | 2.景観創造・形成  | 個別経営、集落営農、連携・統合集落営農によるビジネス部門の拡充・充実   |   |  |  | 8.生活の改善や伝統行事等の復活等  |   |
|  |  |  | 3.産業的農業  | 4.農産加工業   | 5.サービス農業   | 6.地産地消   |  | 7.農商工医連携  |
| <b>A.青年:</b><br>都市から農村への交流人口の増大・定着     | ①狩人の資格取得講習の促進<br>②里山形成のための下草刈りの有償ボランティア<br>③グリーンツーリズムで農村探訪<br>④計画的撤退のあり方の検討と実施                     | ①農道・畦畔・水路の管理作業の有償ボランティア<br>②青年による地域資源の開発と活用                                    | ①就農研修生の受け入れ<br>②新規参入の促進<br>③ビジネス農業の推進講座<br>④(本業+農業)で所得増進計画   | ①農産加工の体験<br>②異業種での修行<br>③加工場に学童保育・学習塾の設置  | ①農泊の体験<br>②農業のサービス化の開発<br>③(家事+農泊)で子育てと所得確保の両立<br>④食材活かしたむらなカフェ                                    | ①売りの体験<br>②新たな地産地消の開発<br>③(家事+野菜生産)で子育てと所得確保の両立<br>④子育てに安心な食材の確保                   | ①企業インターンシップ<br>②新たな農業医福連携の開発と可能性を探る<br>③子育てに安心な食材の確保                   | ①農山漁村芸能・伝統料理の伝承行事への参加<br>②伝統行事等の新たな企画と実施<br>③子供の情操教育                              |
| <b>B.壮年:</b><br>都市と農村のデュアル生活・農村帰郷の促進   | ①里山形成への取り組み<br>②桜・モミジの植え込み(人と動物の境界づくり)<br>③狩人養成講座の実施<br>④農業兼業の奨励<br>⑤農家子弟の帰郷運動<br>⑥計画的撤退のあり方の検討と実施 | ①里山立木の燃料としての活用<br>②春秋の花見・紅葉への10か年計画の策定<br>③景観と農家レストラン等を線で結ぶ戦略の策定<br>④耕作放棄地の里山化 | ①農地集積への話合いの徹底と集積、集落営農の広域化と水・畔の管理<br>②農作業の受託<br>③有機の里づくり<br>④特産物の掘り起こしと産地化<br>⑤イメージ作りのための視察<br>⑥少量多品目生産 | ①6次産業化への挑戦<br>②里山の燃料を活用した加工品の開発<br>③伝統食の復活と新規開発・利用<br>④ジビエのブランド化<br>⑤バイオマスエネルギーの開発・利用 | ①グリーンツーリズムの可能性<br>②農生産法人のPRや農産加工等による集客<br>③農泊施設でのイベント・ピアニ・ガーデン<br>④観光農園開設<br>⑤農産加工・農作業体験・森のカフェビジネス | ①施設の見直し・改修<br>②学校給食<br>③各種施設への供給<br>④小規模生産+農家レストラン・喫茶・ピアニ・ガーデン<br>⑤再生可能エネルギーの開発・利用 | ①葉草栽培への挑戦と栽培契約先の開発<br>②地元食材を使った匠食同源・薬膳の料理の開発<br>③園芸・動物療法<br>④企業との連携・協力 | ①祭りの復活<br>②デュアル生活の設計と実証実験場の設定(出身者の協力)<br>③古民家再生と移住促進<br>④青・壮・老年の定期的コミュニケーション機会の設定 |
| <b>C.老年:</b><br>農村帰郷・定年帰農による再生産システムの構築 | ①60歳からの農業講座<br>②60歳からの帰郷準備講座<br>③定年後の帰郷運動、里山の保全管理運動<br>④計画的撤退のあり方の検討と実施                            | ①家庭菜園の開始・所有耕地の管理<br>②失われつつあるかつての遊び場の復活と伝承<br>③耕作放棄地の管理                         | ①農地集積への推進と協力<br>②水・畔の管理(草刈含む)の協力<br>③小規模生産のロット化で大産地化   | ①6次産業化の担い手へ<br>②前職の経験を活かした農村ならではの取り組み   | ①グリーンツーリズムの担い手へ<br>②農山漁村留学に受け入れ<br>③森林浴のコーディネート  | ①(年金+農業)で健康生活<br>②地域資源管理で小遣い稼ぎ<br>③食材活かした「バーババハウス・ジジ工房・ジジババ厨房」                     | ①企業等の前職での経験を還元<br>②前職での経験を活かした「健康生活」のマニュアルづくり                          | ①農山漁村芸能・伝統料理の伝承<br>②老年ならではの知恵の発揮<br>③里山の保全管理で農村探訪者の増加                             |

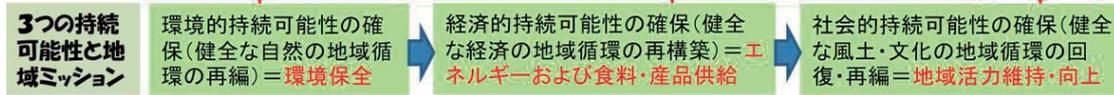


図 3

(4) 農業を見る視点と指標

農業を見る場合、重要な2つの視点がある。1つ目は、農業・環境の指標のあり方である。2つ目は共生農業システムである。

農業・環境の指標には、フードマイレージ、バーチャルウォーター、食料自給率等がある(図4)。環境面では、環境効率性や環境負荷削減効率という非常に注目される指標が開発されている。但し、農業をみる場合に注意しておきたいのは、経済的効率のみならず、社会的効率も鑑みる必要がある。

特に農業は大変非効率とされて農工比較が行われることが多い。工業の効率性は、生産物の価値÷(投入費用+環境修復費用)で表されるべきだが、実際には環境修復費用は考慮されないことが多い。農業の効率性は、(生産物の価値+多面的・公益的価値)÷(投入費用+環境修復費用)で表される。農業では、環境修復費用は仮に発生しても、それほど大きな金額にはならない。正常で健全な農業を営み、その持続性を保てば、環境修復費用はかなり安いと考える。農林業の生産過程の行為を通して、生産物の価値のみならず、多面的・公益的価値が産み出されることを考えると、農業は本当に効率が悪いのかは、再検討する必要がある。

農業保護の国際比較がよく行われる。一般的に経済学で問題になるのは、名目農業保護率(内外価格差÷輸入価格)である。日本の農業保護率は高いとされているが、多面的・公益的な機能の価値も計算に含む農力保護率([内外価格差×国内生産量+農業関係予算]÷[国内農業生産額+多面的・公益的価値])は、必ずしも高いという話にはならない。但し、この多面的・公益的機能の問題は、人間が手を入れないと、その価値は下がってくるので、70年代や80年代の評価結果と比べて、かなりこの貨幣評価結果は低下したであろう。この貨幣評価方法は、代替法、ヘドニック法、あるいは直接法、いろんな方法が開

発されている。20年ぐらい前によく議論された問題だが、もう一度改めて考えてみたい問題である。

もう一つ重要な点は、共生農業システムのとらえ方である。それは、共生農業システムと持続可能な農業との関係であり、図4に示したとおりである。

★共生農業システム

▽「共生農業システム」とは、地域の自然や人々と協働して農業や農村地域社会を維持できる**持続可能な地域農業システム**

→「共生農業システム」には、多世代や多様な担い手が役割分担し、健全な「経済」の地域循環、健全な「自然」及び「風土」の地域循環を確保できる**〈コミュニケーション・合意・協働〉の一連の合目的的行為**がある

▽「**持続可能な農業**」とは、風土及び自然条件を踏まえた投入物や機械の適正な使用(生命・生物機能利用及び環境許容量内適正投入)など、農業技術の適正な活用によって、環境及び資源を保全し、農民に適正な利益を与え、安全な食料と繊維原料、有益なバイオマスを適正な価格で長期的に安定して供給する農業

★農業・環境の指標

**フードマイレージ**: 食料生産地から消費地までの距離に着目(輸入相手別食料輸入量×輸出国から輸入国までの輸送距離)、t・km(トン・キロメートル)で表される。**バーチャル・ウォーター**、**食料自給率**  
**環境効率性**: 産出(生産物・サービスの価値)÷投入(環境への負荷)  
**環境負荷削減効率**: 環境負荷低減量÷環境活動コスト 等

図4

(5) 21世紀の農学・農業経済学の課題

さらに農学・農業経済学の課題を、多面的な価値を含めて整理した(図5)。今まで我々が問題にしてきたのは、いかにして生産を上げるかだけだったが、この生産が正常かつ健全に営まれるほど、農業の持続性は保たれて、それによる多面的・公益的機能も非常に強化されてくる。具体的には、図5内に示すとおり、趣味的農業から福祉的・療養的農業までの様々な形態をもって様々な役割・機能を発揮する。農業はフィーチャーグリーンになくてはならないものである。



図5

多世代および地域の共生農業システムの発掘と分析・モデル構築・普及

2002年の全国農学系学部長会議が新たに定義した「農学」に基づけば、今後想定される新産業分野は以下の4つである。これに関連した科学技術が非常に大事になる。

- ① 生物の有用遺伝子を発見・抽出・大量生産し、広く生活・産業・医療の分野へ供給する遺伝資源開発・応用産業
- ② バイオマスを活用した循環型バイオマスエネルギー産業
- ③ 「農」の営みと「農」の空間を活用したカントリービジネス・エコ快適生活創出産業
- ④ 生命の本質とメカニズムを活用し、健康食・長寿食、酒類等高品質嗜好品、医療用資材などを開発する長寿社会支援産業

農業経済学が取り組むべき大きな研究課題は、上記①～④項に関する社会・経済的意味、性格づけ、産業発展のためのシステム構築である。さらには上述した「4つの論点・困難」に対してしっかりと応えていく必要がある。課題解決には科学技術、人、そして行動がなければ、物事は解決しないことを強調しておきたい。

うまく行っている地域とそうでない地域があるが、農業経済学は、うまく行っている（課題解決した）実態を、すなわち「共生農業システム」がうまく根付いている実態を発掘していく。その実態を正確にある一定の分析指標にもとづいて評価・分析し、普及モデルを構築していく。さらに普及モデルを各地域で検証して、普及のための管理技術・システムを構築することが重要になってくる。

共生農業システムの研究開発を進めるうえで考慮すべきことは、社会技術、レジリエンス（回復力、復元力）としての「共生」ととらえることである。「共生」とは、自然・社会・風土との〈コミュニケーション・合意・協働〉の一連の合目的行動・行為である。こうした行動・行為のある共生農業システムを一定の「基準と指標」をもって明らかにすべきである。この研究には協働研究が非常に大事である。共生農業システムの基準を図6に示す。紙数の関係で、ここでは「指標」については示さない。

| 持続可能性<br>合目的的行為 | 健全な自然の<br>地域循環（環境） | 健全な経済の<br>地域循環（経済）    | 健全な風土・文化の<br>地域循環（社会）  |
|-----------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| コミュニケーション・交流    | 耕作・栽培・飼育・環境保全の過程   | ネットワーク・信頼関係の形成        | コミュニティ・土地柄の形成（地縁・血縁含む） |
| 合意・納得           | 耕作・栽培・飼育・環境保全の指針確立 | 収量・収益増大の方法確立、互酬性の規範作り | コミュニティ・土地柄の維持・保全のルール確立 |
| 協働・協創・協生        | 確立された指針に基づく行動      | 互酬性等の規範に基づく行動         | 合意されたルールに基づく行動         |

図6

#### (6) 研究開発の方法と手順

全体の研究開発の方法と手順で、ビジネスを一定程度展開するためには3つの方法しかない。1) 特産物の地域外出荷で外貨を獲得。2) 地場流通、地産地消。3) 人を呼び込んでお金を落としてもらう。個別経営でも地域農業でも、このような取組で大事なことは、どのような前進的な展開をするかである。すなわち、農業現場において、多世代の多様な

担い手が役割を分担し、地域の環境や経済、そして社会の健全化に取り組むかである。健全化の取り組みを通して、最終的には健全な地域社会のモデルを創り上げ、さらに普及モデルを構築して、各地域でそのモデル検証を繰り返すことが、農業経済学が果たせる社会的な役割と考える。

まとめると、まず現場を評価するための基準づくり、そして観察を行い、その結果から共生農業システムの成功事例を探し、それを解析して、一定程度の普及モデルを構築して、普及のための技術・システムを構築して、最終的には地域活性化につないでいくモデルを構築する。フューチャーグリーンの維持・向上という観点からは、この一連の作業が農業経済学の社会的役割である。

### 質疑応答・コメント

○コメントがある。すごく幅広い視点から、農業そのものよりは、社会、農業、生業を行っている社会や山村、地域にいかに関与するか、そういう視点から言うと、里山やバイオマスエネルギーの利用など、種々の要素が、森林に関わる林業にもけっこうあるので、いろんなところとの連携が必要だと最後で言われたときに、そういう視野をもうちょっと強調していただけると、大変うれしいと思い聞いていた。野生鳥獣の管理に関しても多分、縦割り弊害で解決ができないという要素はすごく大きいのかなと思って聞いた。

○例えば産品がトータルでいくら経済価値があるかは、農業経済学では、統計としては比較的容易にできると思うが、多面的価値を、いわゆる金額に直すという研究はされているのか？

(回答)すでにその研究の蓄積はある。1990年代に特に盛んに行われた領域である。ただ、それ以降は、その研究は、あまり進んでいないと思う。特に環境経済学の分野でかなり研究はされていて、いろんな手法が出されていたが、最近は研究をあまり見かけない。

○欧米では、多面的価値を貨幣価値に換算して、「だからこういうふうにするべきだ」と、「研究もこうすべきだ」という議論があると思うが、日本ではまだそういう議論はなされていないのか？

(回答)いや、むしろ日本の方がその議論は盛んになされたと思う。欧米は、まだ農地が広大にあり、環境負荷のキャパシティがまだあるという認識とやはり大規模農場経営が多いため、多面的・公益的な機能についての関心はないとは言いきれないが、日本ほど研究は進んでいないと思う。但し、改めて1990年代の議論をもう一度、これを機会に是非行って頂くと面白い研究や新たな指標の作成にもつながると思う。

○農村では、若い人、壮年の人、それから老年の人が連続的に再生産されて（存在して）いないので、いかにそれをビジネスモデルにするかという発表があった。森林をまもるために資源として使う、その技術を伝承する必要があるが、これを実現するためにはどうしたら良いか？

(回答)図3に、先行研究や実態から整理した各世代の具体的取組みを示したが、その中で「就農の促進、鳥獣害の解消等」が挙げられる。これは環境保全、環境的持続可能性をいかに確保していくかである。図3の縦軸は各世代、青年、壮年、老年に区分している。今、深刻なのは、青年や壮年がいなくてだけでなく老年世代も今やなかなか再生産されていない。今まで兼業農家だった人たちが、そのまま老年世代になり、かれらが「もう、身体がもたない」状況になってきている。例えば大規模な農業経営が地域

にあっても、管理作業ができない。すなわち大規模な農家が、お金にならない草刈り（管理作業）を怠ると、地域の景観も維持できなくなる。逆に、管理作業を怠る大規模農家には「土地を貸さない」と考える農家が現れる。地域の細かい手作業が要求される管理作業を担う人たちが今や再生産できなくなってきた。2050年に、グリーンの価値（管理作業）を担う人たちが地域にいとなくなると、農村社会自体が維持できなくなり、農地は荒れ放題のままになる。耕作放棄地の次は林地である。林地に人手が入らないと動物は里山に下りてきて、さらに人間が撤退するという悪循環に入る。現在、中山間地域はそのぎりぎりの段階に来ていると思う。私が住む福知山を見ても、町中にまでクマが出没するほどで、人間が檻の中で生活するような状態である。こうなると、その地域に定住する人たちも、住み続けることを断念してしまう。深刻なことは、今まで「なんとかかなるだろう」として、住民側から具体的な行動（手立て）がなかったことだ。鳥獣被害を科学技術で解決するスマートな農業が欲しい。農業も林業もかっこよいと、若い人たちが参加する夢のある話が残念ながら、まだない。住民も「まあ、仕方がない」と考えてしまいがちで、私は危機感を強く感じる。科学技術が一定の夢を与えないので、農業の担い手が残らず、戻ってこない悪循環に陥っていると思う。科学技術と人をどう確保するかが私自身も大変悩ましい。

- 農業の多面的価値をもっと見直して、それをお金に換算すると、もっと価値があることが判るとい話があり、矢口先生は、農業を見るには、経済的効率だけでなく、社会的効率を見るべきと提言されている。これを詳しく説明して欲しい。

(回答) 農業と工業が比較されて、農業は効率が悪いとよく言われるが、けっしてそうではない。国際比較では、一般に名目保護率（内外価格差÷輸入価格）が用いられるが、社会的な意味から言えば、多面的機能はどうしても必要な価値であり、その点をもう少し再評価して見る必要がある。きちんと経済評価を行い、多面的・公益的価値を含めると、農業の経済的社会的効率は、そんなに悪くない。これは1990年代に農業経済学会や環境経済の分野でもかなり議論があった。その際、貨幣換算は行ったが、その後議論は進化していない。そのまま20年経過した。

農業、林業は必要なので、改めて貨幣換算して、もう一度評価しようという動きがあっても良いと思う。90年代の議論に加えて、もっとすばらしい指標が出るかもしれない。生産物は市場があるが、多面的・公益的価値は評価する現実的な市場がないから、仮想市場をつくって、計算するが、その仮定が過大な評価ではないかなどの議論がある。従って、より精緻な議論があって欲しい。

- 図7 科学技術のマッピングを説明願いたい。

(回答) 図7 科学技術マッピングの説明の前に、図3「先行研究や実態から整理した各世代の具体的な取り組むメニュー」を説明したい。これは、各世代と位置づけ（縦軸）と地域ミッション（横軸）により、取り組む事業を分類したものである。今までの現場での先行研究は、種々の取組みを実施してきた。また、いくつかの取組みをうまく組み合わせ、所得向上や地域の環境保全にもつなげ、地域の活性化にもつなげた地域がいくつかある。図7で提案するのは、地域の取り組み成功事例を、ある一定基準で評価し、分析し、それが普及できるよう誰にでもわかるようなモデル化を行い、それをベースに具体化する取組みを行うことだ。その結果、最終的に、図3の下部に示す通り「環境的持続可能性」からの全3つの持続可能性を各地域で確保することにつながる。その確

保には科学技術、地域の住民や関係者が必要だ。人がいるだけでも駄目で、自然や社会と向き合って、そして行動を起こすこと必要だ。行動なしではやはり現場は活性化されない。利益を得ることも重要かもしれないが、現状では、例えば「年金収入+農業収入=健康生活」も、良案と考える。そういう人たちの数が増えると、地域の小規模生産者が集まり、大規模生産地域となる可能性もある。その結果、耕作放棄地が減少して、農村の住民も健康になる。都会では、年金だけでは生活ができず、就業の場も簡単には見つからないだろうが、農村に入り農地を借りれば、就業の場が得られる。野菜が自給でき、健康な生活もおくれる。「年金+農業で健康生活」の考えが定着すれば、小規模生産者が集まり大量生産が可能となる。そして、農村のシビルミニマムとアメニティミニマムを都会の生活に近づけるようレベルアップさせることがまず必要と思う。更に、農業がかっこ良い仕事だと誰の目にも映るような何かが必要と思う。例えば、新幹線の掃除スタッフは、当初はみんなやる気がなかったのが、「社会的な意味があり、これは非常に重要な仕事だ」と認識し、新幹線の掃除を10分ぐらいで完了する。現在、ハーバードの大学院生が見学に来るほどである。そのように農作業も見た目で「かっこいい」と見られるモノが欲しい。最近ではトラクターにも、冷暖房完備でステレオが装備されて、非常に運転も容易だ。「農作業を行っている人はかっこいい」という見栄えも、非常に大事だと、思う。農業経済学会でこういうモデルを作り、そして普及させるところまで関わる必要があると思う。

# 研究分野・手順のマッピング

提案者: 8 矢口芳生 (農業経済学会)

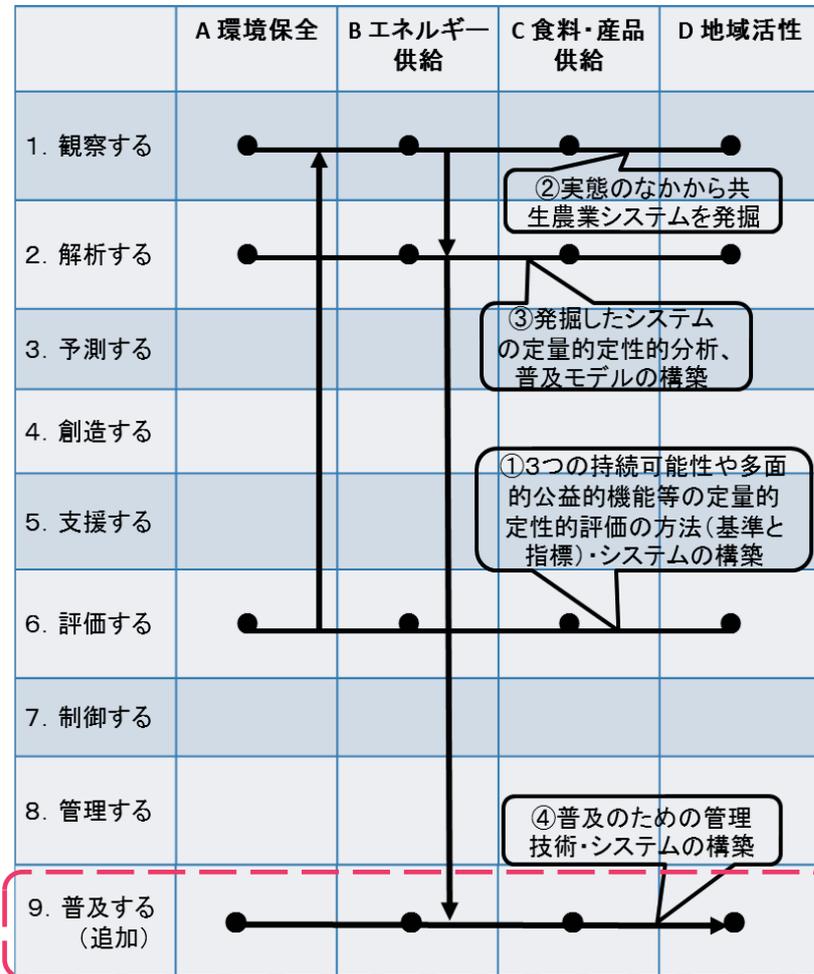


図 7

## 4. 総合討論

司会 松田一夫（科学技術振興機構 研究開発戦略センター）

講演者のプレゼンテーションや質疑応答を踏まえて、CRDS が提示した下記論点について、総合討論を行った。以下に、討論結果の要約と主な意見を紹介する。

- 論点 1 豊かな植物資源がもたらす 2050 年の社会の姿
- 論点 2 科学技術が進展しない場合に低下する指標とそのレベル
- 論点 3 低下するレベルを向上させるために開発すべき科学技術
- 論点 4 フューチャーグリーン の概念「3つの力と1つの価値」と8つの科学技術
- 論点 5 持続可能な力や価値は経済性評価が基盤

---

論点 1 豊かな植物資源がもたらす 2050 年の社会の姿

（要約）農業では現状の課題が大きく、2050 年の姿を想像することは厳しかった。一方、林業は、「森の恵みを生かした持続可能な循環型社会」の考えが示された。農耕地、林地の荒廃を避ける技術開発には環境学、工学、農学の仲介役を務める仕事が必要である。

- ① 人が関与しなければ森林はすばらしくなるという一般社会の認識があまりにも現実の森林とかけ離れているところが非常に大きな問題だ。森を上手に使うことが大事だという社会教育から実施する必要がある。重要な森林の役目は、木材生産（素材生産）と国土保全という2つの柱であり、「森の恵みを生かした持続可能な循環型社会」が達成できるよう森林管理システムを作り、森を理解し上手に使う技術を作ることが重要だ。
- ② 現在、農村では、青年や壮年がいなくだけでなく老年世代も今や存在していない。2050年に、植物資源の価値を担う人たちが地域にいなくなると、結局荒れ放題のままになる。耕作放棄地の次は林地が荒れる。林地に人手が入らないと動物は里山に下りてきて、さらに人間が撤退するという悪循環に入る。鳥獣被害を食い止めることや農林地で人手不足により管理作業が困難となっていることから、農業系の機械の開発には、大きな可能性がある。工学系の人たちは技術シーズを持っているのに、その適用先を知らない。逆に農学系だけでは、どんな技術があるのかが判らない。研究分野はどんどん狭くなりがちなので、その仲介役を務めながら研究開発する仕事が必要であり、今後、環境学、工学、農学が接点を求め交流することは絶対に必要だ。

## 論点 2 科学技術が進展しない場合に低下する指標とそのレベル

(要約) 窒素過剰率、地力、多面的機能、生態系サービスなどが種々の指標として挙げられたが、それらがいかに低下するかの定量化は難しかった。

- ① 「窒素過剰率」 食料生産において、窒素の利用率（施肥窒素利用率）が非常に低いいため環境への集積が進む（有機物の形や硝酸イオンの形で集積する）。環境中の窒素化合物の濃度を今より低く保つために、窒素過剰率は指標として成立する。窒素の環境負荷の問題は元来ヨーロッパで非常に重要視されている。環境保全に先進的な考えを持つ EU では、1991 年に「硝酸塩指令」を定め、「ぜい弱地域」を指定し、その地域における家畜排せつ物の施用を制限することにより、農業由来の窒素環境負荷の軽減・拡大防止を図っている。
- ② 「地力」 地力の低下が過去 10 年ぐらいでずいぶん話題になってきた。地力を示す指標として「作物潜在生産力」を考えた。地力は土壌炭素含有量（肥沃度）、気候と関連する。作物潜在生産力 = 土地面積 × 肥沃度 × 気候生産力（モデル評価）
- ③ 「生態系サービス」、「生物多様性」、「多面的機能」 これらが指標として重視されている。現代人が享受している生態系サービス、生物多様性、多面的機能は過去何十年かの蓄積の結果だが、それらの劣化が進む。その劣化を示す評価が概算でなされている。
- ④ 「森林の機能」 科学技術が発展しない場合、森林の機能が低下することが非常に大きい問題だ。しかし、指標としてそれをどう定量的に測るかは容易ではないので、その研究はあまり進化していない。農村における多面的機能のように、貨幣的価値で評価するのは社会的な認知を一番大きく受け易い。これは、森林が単に所有者が木材生産するだけのものではないことを伝えるには重要なツールになっている。2050 年において「多面的機能の評価がこれだけ向上する」という認識に結びつけることが重要だ。

### 論点3 低下するレベルを向上させるために開発すべき科学技術

(要約) 各講演者から開発すべき科学技術の提案を頂いた。この提案に際しては、2章「趣旨説明」の図2で示す仮説「3つの力と1つの価値【環境保全力、エネルギー供給力、食糧・製品の持続的な供給力や、地域活性によるその地域の価値】およびそれを支える8つの科学技術」に基づき作成したマッピングシートを利用し説明頂いた。総合討論では、CRDSが講演者全員分の提案技術を基にマッピングシート上で重ねた次頁の図1を作成し、紹介した。その結果、a) 講演者から提案された科学技術の内容は、環境保全を対象とすることが最も多いことが判った。そして、b) 農林作業を軽労化、効率化するように支援して、環境保全、エネルギー供給、食料・産品供給を満足させ地域活性を向上させる技術の提案が多くなされたことも判った。

- ① 図1から、技術項目の1. 観察する、2. 解析する、3. 予測する、に該当する科学技術が少ないことが判る。本日の議論では、気候変動が重要なポイントのひとつと思うが、気候変動は、30年後の2050年までの世界は、過去30年間とも異なり、極論すれば過去2000年間とも違う、まったく新しく、異なる環境だろう。その際に、やはり基盤となる技術として1. 観察する、2. 解析する、3. 予測するが、日本の農業を考えたときに重要であり、領域でその考えに該当する欄は、A. 環境保全、C. 食料・産品供給だ。日本は食料の多くを海外に頼っているので、日本だけでなく世界的な農業生産を1. 観察する、2. 解析する、3. 予測する科学技術を提案する必要がある。
- ② 農業農村工学会としての研究テーマはマッピングシートでの全ての領域と技術項目をカバーしているが、最終的に当会の研究分野は第8項の地域を「管理する」に収束する。
- ③ すばらしい要素技術の開発より、全体の技術のシステム化が必要だ。しかし、これは難しい。要素技術をつなぎ、農家で山の管理から実装まで含めたプロジェクトを実現させ、その効果を定量的に示すことが必要だ。

# 科学技術のマッピング

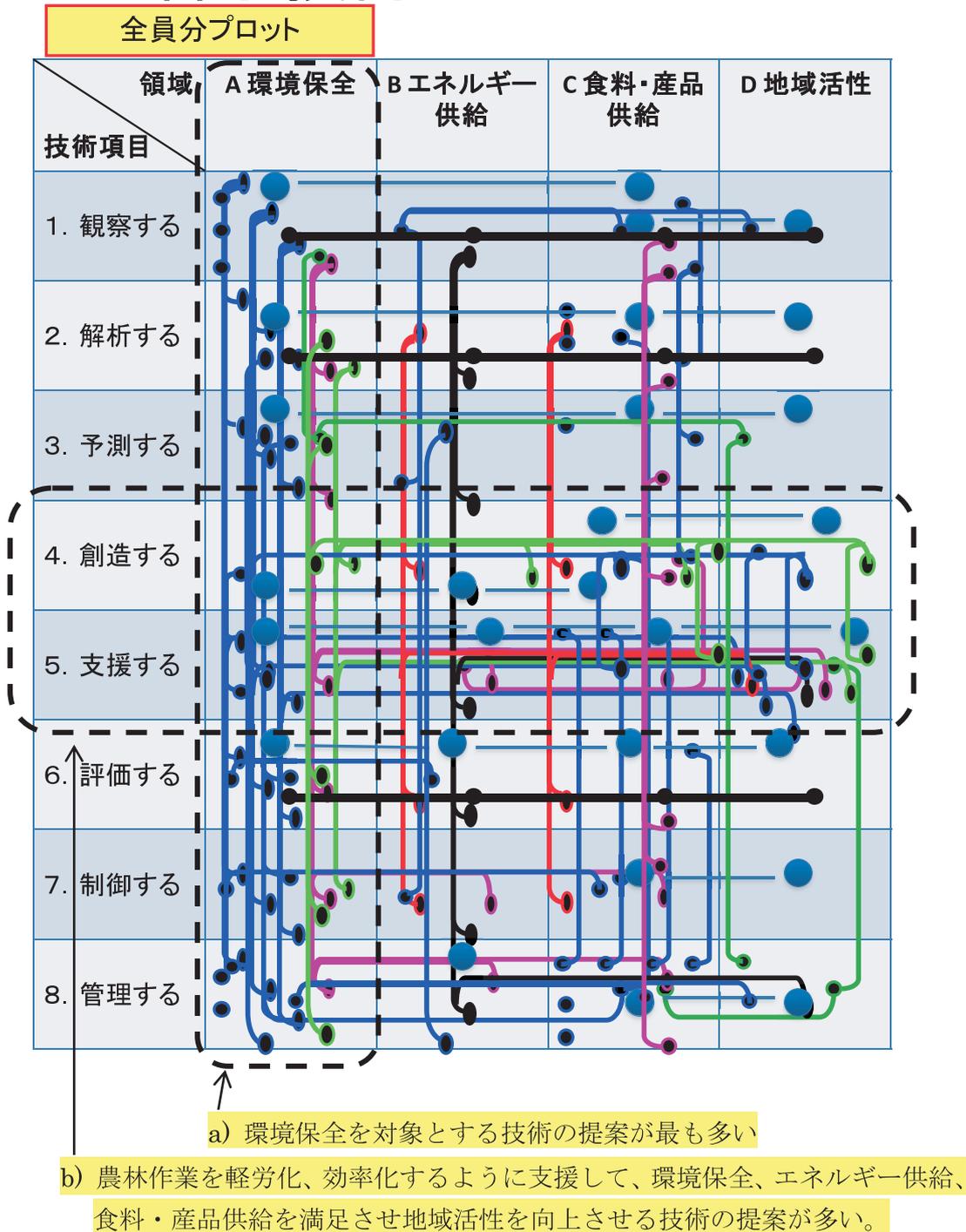


図 1

注記) ●は提案研究 n が該当する領域と技術項目を示す。複数の●とそれらを結ぶ線は研究 n の範囲を示す。複数の色の●と線があるが、他の研究と判別し易くするためである。

論点4 フューチャーグリーン の概念「3つの力と1つの価値」と8つの科学技術

(要約) CRDS の仮説「3つの力と1つの価値【環境保全力、エネルギー供給力、食糧・製品の持続的な供給力や、地域活性による当該地域の価値】およびそれを支える8つの科学技術」に基づき作成したマッピングシートに対して、講演者からは、概ね肯定的な意見は得たが、8つの科学技術の項目分けに違和感があるとの指摘も頂いた。

- ① A. 環境保全、B. エネルギー供給、C. 食料・産品供給に対して、D. 地域活性は、ターゲットであり、それをどう社会で実現するかだ。多くの研究開発がやはり地域の活性につながる方向だと思う。どんなかたちの地域活性かを深く考えると、新たな科学技術提案ができる可能性がある。
- ② 技術項目の1. 観察する、2. 解析する、3. 予測するを重要視するが、技術項目の1. 観察するから8. 管理するまでの流れが、判りにくい。技術項目の流れが見え易くなるよう検討が必要だ。
- ③ 提案する全ての科学技術は、最終的に、地域活性につながる。むしろ技術項目の方が比較的それぞれの分野の個性が強くて、いろんな過程を経て、その研究開発を行うものだ。
- ④ マッピングシートの内容で過不足はない。しかし、技術項目1. 観察する、2. 解析するは、研究では同時に行っているのも、まとめて良い。6. 評価すると7. 制御するは、どう分けるかは判断しにくい。7. 制御すると8. 管理するはまとめて良い。領域に、D. 地域活性が、記載されたことは非常によい。
- ⑤ マッピングシートは、面白い分析手法だ。マッピングシートでの科学技術の整理は、領域や技術項目の関連を知るには便利だ。シート内のマトリックスに含まれる項目に対して、それを実行したらどのくらいの効果があるか及び、技術的難易度、資金の必要性の大小が入ると、優先順位が理解しやすい。
- ⑥ 要素技術が進化すると、それに伴い、次の新技術が出てくるように、技術と社会は螺旋状に進化すると思う。そういうことが表現できる機能を持つマッピングシートの新しい提案がほしい。

#### 論点 5 持続可能な力や価値は経済性評価が基盤

(要約) 技術導入の際に経済性の確立は重要だが、地域環境を維持する共助の価値観も重要である。

- ① 野菜や有機米栽培でうまく経営している農家には必ず後継者がいるので、新規就農者も増える。ただし、新規就農者は玉石混濁で、知識不足の人もいる。大学はそういう人への教育を施す必要がある。後継者が居る場合でも、農家はやはり将来を見通しきれない不安を感じている。成功している大規模農家の人も、あるいは集落ぐるみの農業法人も、例外なく地域に依拠しながら実践している。地域の維持を支える技術も必要だ。
- ② 福島の飯舘村には「までいライフ」という言葉がある。現金収入がなくても、地産地消で、住民で協力し合いながら生きていく考えだ。現金収入が必要と言うが、農村に住んでいると必ずしも利益ばかり言う必要はない。そういう暮らしに対する価値観を維持することが大事だ。例えば、草刈りそのものはお金にならない。環境を維持するために必要な社会的コストと考える必要がある。
- ③ 多面的機能や GAP などの評価方法次第で農家の収益が変わる。欧州では、2005 年頃、農業への補助金を基本的にそれまで生産支払いだったのを、環境支払い（環境保全に貢献した場合のインセンティブ）に変えた。補助金を出すときに国民が納得できることが必要だ。農業という観点で、価値をつくっている海外の制度や動きの事例として、窒素肥料を使わないようにするためにかける窒素税の提案がある。
- ④ 収益が上がる場合に、設備投資をするので、収益性が技術導入の際に重要だ。また、多面的機能維持のために、農作業の軽減や人手不足のための導入もある。農業分野でも、多種多様な農業ロボットが開発されているが、作業の複雑さやコストの面の問題もあり、今後の技術開発が望まれる。
- ⑤ 現在の農林業収入だけならば、新規参入は現実的には難しい。施設園芸や植物工場があるが、黒字経営は、現在 20% 強ぐらいと言われ経営感覚が必要だ。農業は、サービス業を含めないと収益は上がらないので、観光化、グリーンツーリズム、外国人受け入れを考える必要がある。日本の森林や農村地域は海外の方にとって魅力があるが、現地の住民はその魅力を理解していない。その理解を進めるために、戦略的なプロジェクト作りや、特区にする必要がある。

その他 次回以降のフューチャーグリーン のワークショップのテーマ設定として、次の提案があった。

- ① バイオミメティクス関係
- ② グリーンビジネス関係
- ③ 地域をどう活性化するのか、人文社会系的な議論

## 5. まとめ

農林業に於いて、植物資源がもたらす機能（様々な持続力や価値）は、気候変動の緩和策・適用策に資するだけでなく、環境保全やエネルギー供給などにも資するものである。そしてその機能を表す指標は長年の研究から多数提案されている。この指標の基礎となる研究は、大別すると生態系サービス研究分野と窒素、リン、カリ、水などの物質を対象とする資源循環研究分野である。これらの分野は、長年にわたり研究が行われてきているにも関わらず、植物資源がもたらす機能の劣化の定量化は依然として容易ではない。一方、この機能を維持・回復・向上させるには、農村に於ける農林従事者人口の減少と高齢化による人手不足が大きな課題となっている。そのため現場に導入可能な科学的手法や技術の研究開発を促進することも重要となる。また、これらをより効果的に推進する上では、農学、工学、環境学等の従来の学問領域を乗り越えた研究体制を構築することが重要と考えられる。

## 6. 付録

### 付録 1. プログラム

開催名称：俯瞰ワークショップ「フューチャーグリーン」  
 開催日時：2016年12月12日（月）11：00 - 17：30  
 開催場所：TKP 市ヶ谷カンファレンスセンター ホール 3C  
 （東京都新宿区市谷八幡町 8 番地 TKP 市ヶ谷ビル）

| 時間            | 内容   |
|---------------|--|
| 11：00 - 11：05 | 挨拶 佐藤順一（JST/CRDS 上席フェロー）   |
| 11：05 - 11：20 | 趣旨・概念説明・事務連絡 松田一夫（JST/CRDS フェロー）   |
| 11：20 - 11：40 | 講演 1 白岩立彦（京都大学、教授）<br>「食用作物の生産技術とグリーンパワー」  |
| 11：40 - 12：00 | 講演 2 田中 浩（森林総合研究所、研究統括理事）<br>「森林の恵みを活かした持続可能な循環型社会の形成に向けて<br>- 2050 年の森のための研究・技術開発 -」  |
| 12：00 - 13：00 | ランチミーティング  |
| 13：00 - 14：00 | 講演 3 八木一行（農研機構農業環境変動研究センター温暖化研究統括監）<br>「農業分野における気候変動と資源循環に関わる課題」<br>講演 4 大政謙次（東京大学、名誉教授、農業気象学会）<br>「生物環境情報工学分野からみたフューチャーグリーン」<br>講演 5 間藤 徹（京都大学、教授、土壤肥料学会）<br>「100 億人を養う地球に求められる環境技術 - フューチャーグリーン -」 |
| 14：00 - 14：10 | 休憩   |
| 14：10 - 15：10 | 講演 6 溝口勝（東京大学、教授、農業農村工学会）<br>「農村超スマート社会をめざして - 地域の管理技術学としての農業農村工学 -」<br>講演 7 黒田慶子（神戸大学、教授、森林学会）<br>「森林資源の新たな活用と森林の存続に必要な視点」<br>講演 8 矢口芳生（福知山公立大学、教授、農業経済学会）<br>「多世代および地域の共生農業システムの発掘と分析・モデル構築・普及」    |
| 15：10 - 17：20 | 総合討論 司会 松田一夫（JST/CRDS フェロー）  |
| 17：20 - 17：30 | 挨拶 佐藤順一（JST/CRDS 上席フェロー）   |

## 付録 2. 参加者リスト

(敬称略)

### 講演者 (8名)

- ・大政 謙次 東京大学 名誉教授 (農業気象学会)
- ・黒田 慶子 神戸大学 大学院農学研究科 教授 (森林学会)
- ・白岩 立彦 京都大学 大学院農学研究科 教授
- ・田中 浩 森林総合研究所 研究統括理事
- ・間藤 徹 京都大学 大学院農学研究科 教授 (土壌肥料学会)
- ・溝口 勝 東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授 (農業農村工学会)
- ・八木 一行 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター  
温暖化研究統括監
- ・矢口 芳生 福知山公立大学 地域経営学部 教授 (農業経済学会)

### JST-CRDS 環境・エネルギーユニット

- ・佐藤 順一 上席フェロー
- ・松田 一夫 フェロー
- ・松本麻奈美 フェロー
- ・大平 竜也 フェロー
- ・尾山 宏次 フェロー
- ・島津 博基 フェロー
- ・鈴木 康史 フェロー
- ・関根 泰 フェロー
- ・高橋 玲子 フェロー

### 関係府省・機関

- ・安岡 澄人 農林水産省 大臣官房 政策課 技術政策室 研究調整官
- ・柚山 義人 農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究開発官 (基礎・基盤、環境) 室 研究調整官
- ・中谷 誠 農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究統括官 (生産技術) 室 研究統括官
- ・松島 健一 農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究統括官 (生産技術) 室 研究専門官
- ・仲田 積実 環境省 総合環境計画課 企画調査室 主査
- ・白谷 栄作 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 企画管理部長
- ・塩野 隆弘 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 企画管理部 企画連携室長
- ・加藤 知彦 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 環境・化学ユニット 研究員
- ・高橋 正通 森林総合研究所 企画部長
- ・木口 実 森林総合研究所 研究ディレクター

- ・平田 泰雅 森林総合研究所 研究ディレクター
- ・坪山 良夫 森林総合研究所 研究ディレクター
- ・岡 輝樹 森林総合研究所 鳥獣生態研究室長
- ・久保 成隆 農業農村工学会 学会会長
- ・渡邊 紹裕 農業農村工学会 前学会会長
- ・石井 敦 農業農村工学会 理事（研究担当）
- ・小泉 健 農業農村工学会 学会専務理事
- ・犬伏 和之 日本土壌肥料学会 副会長／千葉大学 大学院園芸学研究科 教授
- ・佐藤祐一郎 京都大学 学術研究支援室（北部地区担当チーム）  
リサーチ・アドミニストレーター（URA）

#### JST

- ・浅田 龍造 低炭素社会戦略センター 研究チーム 特任研究員
- ・阿部 宜之 戦略研究推進部 研究評価グループ 主任調査員
- ・今津 杉子 研究プロジェクト推進部 研究プロジェクト推進部  
ICT／ライフイノベーショングループ 主査
- ・川原 隆幸 産学連携展開部 イノベーション推進マネージャー  
／研究支援グループ 技術移転プランナー
- ・齊藤知恵子 CRDS ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー
- ・南 裕一 低炭素社会戦略センター 企画運営室 副調査役

## ■ワークショップ報告書 編纂メンバー■

|        |        |                |
|--------|--------|----------------|
| 佐藤 順一  | 上席フェロー | (環境・エネルギーユニット) |
| 松田 一夫  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 松本 麻奈美 | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 大平 竜也  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 尾山 宏次  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 島津 博基  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 鈴木 康史  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 関根 泰   | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |
| 高橋 玲子  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット) |

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いいたします。

CRDS-FY2017-WR-01

俯瞰ワークショップ報告書

## フューチャーグリーン2050

平成 29 年 5 月 May 2017

ISBN 978-4-88890-558-9

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
環境・エネルギーユニット  
Environment and Energy Unit, Center for Research and Development  
Strategy Japan Science and Technology Agency

---

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

電 話 03-5214-7481 (代表)

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds/>

©2017 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to [crds@jst.go.jp](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

---



