

気候変動に対応するゲノム基盤技術に基づく次世代ゲノム育種展開

① 計画の概要

温暖化に伴う種々の環境ストレス下で安定した食料生産と環境保全を行うため、近年進歩が著しいゲノム情報解析技術を駆使し、同時にゲノム改変技術の利用により、環境ストレス耐性の食用作物、飼料作物、林木を育種する「次世代ゲノム育種研究拠点」の形成を行う。ゲノム情報統合、ゲノムデザイン等の立案、実行のために「次世代ゲノム育種企画・デザイン拠点」を設け、その下に、大型計算機と次世代シーケンサーを整備して、得られた大量のゲノム情報を集中的に管理する「次世代ゲノム育種配列解析情報センター」、ゲノム塩基配列の解読および系統間変異の比較を行って高温耐性、耐乾性、耐塩性などに関わる遺伝子を同定する「資源生物ゲノム情報研究推進拠点」、逆遺伝学的突然変異育種技術や新育種技術(NBT)により次世代育種技術の開発と利用を行う「次世代ゲノム育種技術研究推進拠点」を設け、それらの協力の下に次世代ゲノム育種展開を図る。CGIAR 研究機関に「次世代ゲノム育種国際サブ拠点」を設けて人員を配置し、国際機関と連携して研究を進め、得られたゲノムや遺伝子情報、ゲノム育種技術を育種の現場に提供し、育種現場で得られた成果や問題点を「次世代ゲノム育種企画・デザイン拠点」にフィードバックして、更なるゲノム情報の集積とゲノム育種技術の開発につなげる。「次世代ゲノム育種配列解析情報センター」では、バイオインフォーマティックスの専門家養成も行い、次世代における学術の発展にも貢献することを目指すとともに、「次世代ゲノム育種国際サブ拠点」におけるオンサイト研究に大学院生や若手研究者を参画させることにより、国際性に富むエキスパート研究者の養成をめざす。

② 目的と実施内容

近年の温暖化に伴う作物の高温障害、干害、塩害等による生産性や品質の低下は世界的に大きな問題となっており、局地的には冷害や水害、海水面の上昇による塩害も問題となっている。本研究は、近年進歩が著しいゲノム情報解析技術を駆使し、同時にゲノム改変技術の利用により、環境ストレス耐性の食用作物、飼料作物、林木を育種する「次世代ゲノム育種研究拠点」の形成を行うものである。公開ゲノム情報が少ない植物では、ゲノム塩基配列の解読および系統間変異の比較を行う。特に、温暖化に伴う環境ストレスに対する耐性、荒地適性などの資源をターゲットとする。ゲノム塩基配列が公開されているイネ等の作物では、次世代シーケンサーにより在来品種、野生系統、突然変異体などの一塩基多型(SNP)情報を蓄積する。突然変異遺伝子的高速同定法や、QTL解析、アソシエーション解析などにより、環境ストレス耐性に関わるDNA変異を見出し、高温耐性、耐乾性、耐塩性などに関わる遺伝子を同定する。この研究のため、大型計算機と次世代シーケンサーを整備して、得られた大量のゲノム情報を集中的に管理する。ゲノム情報の育種への有効利用のため、SNP分析装置等を配備し、基盤設備の利用体制を整える。本研究で解明される遺伝子は、逆遺伝学的突然変異育種技術やCRISPR/Cas9などの新育種技術(NBT)を用いたゲノム編集により育種利用できるが、その改良型や独自作製法の開発などを中心に独自の次世代育種技術の開発と利用を行う。開発した技術を用いて、環境ストレス耐性系統の作成を進める。また、このような実践的研究開発を、国際機関との連携により進める。

③ 学術的な意義

主要な作物のゲノム塩基配列情報が得られ、高温耐性、耐乾性、耐塩性など種々の環境ストレス耐性に関わる遺伝子が解明される。多数の作物のゲノム塩基配列解読は、植物のゲノム進化過程の解明にもつながる。一方で、機能が分かった多数の遺伝子の変異解明や独自の次世代育種技術の開発は、各作物の育種の発展に大きく貢献するだけでなく、解明された遺伝子を利用した他植物の育種にも展開できる。生物進化や環境適応性に関わる遺伝子の解明という基礎研究から、有用品種の開発という実用研究まで、この研究の波及効果は大きく、国内農林水産業だけでなく、世界の食料生産やバイオマス生産、環境保全に寄与するものである。

次世代シーケンサーやゲノム編集技術など、急速に発展する技術や機械を利用して研究を行うことは、先端的な研究レベルを維持する上で不可欠である。日本の学術の発展のためには、国内で塩基配列決定とデータ解析を完結できるようにする必要がある。その意味で「次世代ゲノム育種配列解析情報センター」の稼働は、日本のゲノム研究全体の発展に大きく寄与できるものである。バイオインフォーマティックスの専門家養成も行い、次世代における学術の発展にも貢献することを目指す。

本研究は、国内での研究に止まらず、国際機関との連携により進める。国内の研究強化を基盤として、世界における研究展開や食料・バイオマス生産での貢献を視野に入れている。また、国際性に富むエキスパート研究者の養成をめざす。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

種々の生物のゲノム塩基配列の解読が世界中でなされている。次世代シーケンサーによるゲノム塩基配列の解読は、多数の短い塩基配列を繋ぎ合わせて長い塩基配列を推定するものであるため、ゲノムの重複が多い生物では誤った推定となる危険性が高い。塩基配列の統合に用いる解析ソフトによっても推定結果が異なり、塩基配列が公表されてもその信頼性は様々である。一方、生物によっては、民間企業等での研究が進み、ゲノム情報が公開されないものも増加している。

ゲノム情報が既に公開されている生物では、突然変異遺伝子の分析等により、多くの特性の遺伝子が解明され、公表されている。品種・系統間のSNP情報が蓄積しているが、データが膨大であり、情報は一部しか公表されていない。CRISPR/Cas9や部位特異的組換え、人工染色体など、種々のNBTが海外で開発されているが、日本独自に開発された技術は極めて少ない。

⑤ 実施機関と実施体制

[次世代ゲノム育種企画・デザイン拠点]

国立遺伝学研究所に設置。各拠点と分野のコアメンバーで企画・推進拠点を形成する。

作物ゲノム情報研究や次世代ゲノム育種技術研究の細部課題の選定、予算配分、研究推進会議や国際会議の企画、研究評価等、全体の研究推進のための研究企画・連絡調整を実施する。

[次世代ゲノム育種配列解析情報センター]

国立遺伝学研究所内に設置、サブセンターをかずさDNA研究所、東京農業大学内に設置。

作物のゲノム塩基配列決定や系統間SNPの解析のための次世代シーケンサーによる塩基配列分析を実施し、データ処理、他植物種との比較、データの整理と蓄積、公開等を実施する。

[資源生物ゲノム情報研究推進拠点]

東京大学に設置、サブ拠点を名古屋大学、岡山大学、鳥取大学、九州大学に設置。

作物のゲノム塩基配列決定、塩基配列変異の解析を実施し、種々の環境ストレス耐性の評価技術の開発を行い、環境ストレス耐性遺伝子とその変異を同定する。

[次世代ゲノム育種技術研究推進拠点]

京都大学に設置、サブ拠点を東北大学、筑波大学、広島大学、次世代作物開発研究センターに設置。

SNP分析の高度化による目的遺伝子型や突然変異体の効率的選抜技術、NBTの改良型や独自作製法の開発、細胞内小器官への遺伝子導入技術など、独自の次世代育種技術の開発と複数種作物へのNBT試験運用、系統の開発、形質評価研究等を推進する。

[次世代ゲノム育種国際サブ拠点]

IRRI, CIMMYT, ICRISAT等の国際農業研究協議グループの研究機関

各機関に人員を配置し、日本でのゲノム情報や次世代育種技術の情報を利用して、実践の開発研究を推進する。

⑥ 所要経費

総予算 90億円 (6年計画、年間平均15億円規模)

大型設備・機器費 30億円 (初期2年間集中配備) 大型計算機、次世代シーケンサー、SNP分析装置、人工気象機

研究開発費 60億円 (10億円/年)

⑦ 年次計画

平成28年度～33年度 (6年間)

平成28年度：次世代ゲノム育種企画・デザイン拠点機能設置。解説、開発企画設定。ゲノム未解説作物のcDNA塩基配列決定。ゲノム解説済み作物の全ゲノム塩基配列変異の解析・SNP同定。ゲノム選抜技術や逆遺伝学的突然変異育種技術を含む次世代育種技術の開発と複数種の作物へのNBT試験運用。次世代ゲノム育種国際サブ拠点の設置。

平成29年度：ゲノム未解説作物の次世代シーケンサーによるSNP同定とSNP連鎖地図作製。ゲノム解説済み作物の環境ストレス耐性遺伝子の推定。次世代育種技術の改良とNBT利用系統の育成。次世代ゲノム育種国際サブ拠点の運用開始。

平成30年度：ゲノム未解説作物の次世代シーケンサーによる全ゲノムシーケンシングによるゲノム塩基配列構築。ゲノム解説済み作物の突然変異体全ゲノムの塩基配列変異解析と一部情報公開開始。次世代育種技術の効率化とNBT利用育成系統の評価。

平成31年度：ゲノム未解説作物のドラフトゲノム塩基配列公開と高密度連鎖地図情報。ゲノム解説済み作物の突然変異体の全ゲノム塩基配列変異遺伝子の同定。次世代育種技術の評価およびNBT利用育成系統の圃場評価。

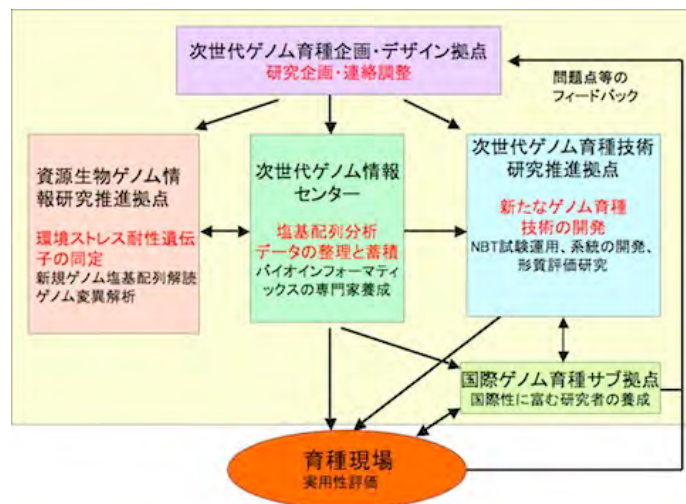
平成32年度：各種農産物の育種目標に基づいた新規改良系統の多種環境下での評価。次世代育種技術の実用化。

平成33年度：各種農産物のゲノム配列、系統多様性情報の情報センターからの公開。新規育種改良農産物の利用促進と更なる改良目標の展望。次世代育種技術の実用化の達成。

⑧ 社会的価値

世界の平均気温は21世紀末までに2.4～6.4℃上昇し、平均海面水位が26～59cm上昇し、大雨、干ばつが増大すると予測されている。温暖化に対する対策を行わなければ、予測される被害額はGDPの20%以上になると試算されている。異常気象の頻発や海水面の上昇は、農作物生産に大きな影響を及ぼす。また、2050年には90億を上回るとされる人口を支えるため、食糧増産は喫緊の課題であり、すぐにも科学の粋を結集させて、対応にあたる必要がある。我が国は先進国の一員として、このグローバルな問題に積極的に取り組み、具体的な解決策を提示していく必要がある。我が国では、イネのゲノム解析を世界に先駆けて行い、ゲノム情報を利用した育種展開を図っている。本提案は、近年その進歩が著しいゲノム情報解析とその利用技術、およびゲノム改変技術の独自開発により、種々の環境ストレスに耐性の作物の育種と、「次世代ゲノム育種研究拠点」の形成を行うものである。また、国際農業研究協議グループ研究機関内に「サブ拠点」を設け、共同して生物資源基盤を確立し、多様な視点での育種開発および人材養成を行うことにより、国際貢献を果たすものである。

⑨ 本計画に関する連絡先 西尾 剛 (東北大学大学院農学研究科)



大気・水・土環境のグリーンイノベーション改善・回復研究拠点の形成

① 計画の概要

21 世紀は、世界人口の増加圧力を受ける中で、環境・水の時代と言われている。地球温暖化は異常気象、極端気象の多発現象を一層加速する状況にあり、人為・自然起源の黄砂と越境大気汚染（PM_{2.5}、SPM、SO_x、NO_x 等）も拡大しつつある。また、黄砂による病原微生物の輸送が懸念されている。これらは脆弱な農業および人間・家畜の健康に多大な影響を及ぼすため、喫緊の対策が必要である。しかし、それらの影響や発生メカニズムには未解明な部分も多く、適切な対策には確実な科学的根拠が不可欠である。そこで、大気・水・土環境のグリーンイノベーション改善・回復研究拠点を形成し、個別的、かつ総合的に強力に研究を推進する必要がある。

主要課題には、大気・水・土環境のイノベーション的改善・修復、革新的人工降雨法による水資源確保と水質保全及び砂漠化・黄砂防止と植生回復（砂漠緑化）・気象改善、黄砂輸送病原微生物・越境大気汚染物質の軽減、地球温暖化下の異常気象多発化機構や猛暑・冷夏・早魃・豪雨の極端気象多発機構の農業気象的対応技術開発、極端高低温・乾湿害対策用遺伝子組換え作物育成環境施設適用対策、農林水畜産環境負荷軽減と環境修復による高収・高品質食料生産等がある。

ハード面では、大気・水・土環境観測調節施設、高精密万能マルチ極端環境解明施設、人工降雨実験用雲水量密度観測レーダー（固定・車載型）、航空機、黄砂・大気汚染物質由来病原微生物遺伝子解明施設、黄砂・越境大気汚染物質観測ライダー等による多容量データ収集解析装置等がある。

それらの構築・運営には、大気・水・土環境のグリーンイノベーション改善・回復研究拠点が担い、主要大学を核に拠点構成の各研究機関が現地調査、基礎・応用実験、装置の試作・検証、シミュレーションを展開し、最終的に有機的統合化によりシステム化を推進し、多くの成果を得て社会還元に資する。

② 目的と実施内容

具体的目的・課題として、(1)大気・水・土環境のイノベーション的改善・修復、(2)革新的人工降雨法による水資源確保と水質保全及び砂漠化・黄砂防止と植生回復（砂漠緑化）・気象改善、(3)黄砂輸送病原微生物・越境大気汚染物質の軽減、(4)地球温暖化下の異常気象多発化機構や猛暑・冷夏・早魃・豪雨の極端気象多発機構の農業気象的対応技術開発、(5)極端高低温・乾湿害対策用遺伝子組換え作物育成環境施設適用対策、(6)農林水畜産環境負荷軽減と環境修復による高収・高品質食料生産、等々における中課題を実施・推進するため、観測・計測施設として、大気・水・土環境観測調節施設、高精密万能マルチ極端環境解明施設、人工降雨実験用雲水量密度観測レーダー（固定・車載型）、航空機、黄砂・大気汚染物質由来病原微生物遺伝子解明施設、黄砂・越境大気汚染物質観測ライダー、等々による多容量データ収集解析装置等を利用する。

具体的には、九州大学、福岡大学および北海道大学中心に施設利用関連組織を構築し、主共同研究者に加えて、その他の大学、研究所等の協力者を得ながら、観測・計測施設を構築するとともに、有機的なネットワークを構築して、機能的に施設を有効利用し、組織的に運営する計画である。

③ 学術的な意義

科学研究では多様な発想は歓迎すべきであるが、本研究領域にも科学的論争があり、誤謬に基づく論理に対しては、人類の英知を結集した真理の探求が不可欠である。真の学術的解決は最重要課題であり、本計画による長期・短期的因果関係のシステムの解明の意義は大きい。本研究対象の人工降雨研究では、種々の降雨核種や方法論（技術の科学的根拠）の相違点における学術的確定が不可欠であり、黄砂付着病原微生物（口蹄疫、麦さび病等）飛来研究では従来型論理を積極的に打破し、正しい科学的論拠の構築が急務である。本研究計画は社会科学的難題解決の糸口を与える重要な位置付けとして学術的意義は高い。

主要な具体的目的としては、人工降雨で砂漠を緑化し植生を回復させ、黄砂発生源の黄砂を軽減し、都市域での光学的大気汚染の軽減により黄砂との化学反応を抑え、SO_x、NO_x、PM_{2.5}、SPM、酸性雨等の乾性・湿性越境大気汚染物質や黄砂付着による口蹄疫、麦さび病等の輸送伝搬を軽減し、都市域では人工降雨による洗浄によって PM_{2.5}・光化学オキシダントを削減する。また地球温暖化と異常気象・極端気象、利用可能水資源減少と水質悪化、森林破壊等の環境破壊が進む中で、農業の環境劣化対策と環境修復が最重要課題であり、重点的な対策を実施する。これらの解決によって砂漠化防止・緑化、異常気象・極端気象の改善等の技術革新的開発が可能となり、人間の生存に不可欠な食料生産（作物の生育・収穫・調整）に密接に関与する農業環境のイノベーション的技術開発による総合的農業発展が可能となる。そして、CO₂の固定、バイオエネルギーの有効利用等の革新的技術開発、環境修復やバイオテクノロジー等の農業の工学的視点による効率的食料生産におけるイノベーション的農工連携推進の意義および農学・食料科学部門による革新的農業技術の農業環境工学的推進の意義は大きい。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本学術会議の日本の展望「農学分野の展望、2010」で取り上げられ、対外報告「屋上緑化、2007」、対外報告「人工降雨、2008」、提言「変貌する農業と水問題、2008」、報告「黄砂・越境大気汚染、2010」、報告「遺伝子組換え施設、2011」、報告「農業環境教育、2011」で提示されている。

文科省科振調「風送ダスト」や科研費「DNA 黄砂」、「人工降雨」により、砂漠化・黄砂の研究が日本・中国はもとより地球規模の問題として国際的に急激に進み、黄砂・越境大気汚染・砂漠化防止と口蹄疫・麦さび病等の研究が書籍『黄砂と口蹄疫』

で論じられ、また砂漠の人工降雨による緑化・黄砂防止が持ち上がる中で、革新的技としての液体炭酸人工降雨法が書籍『人工降雨』で論じられ、その可能性が有望視されている。

一方、黄砂の気候への影響を放射強制力で評価する必要がある中で、特に最近問題になっている人間・家畜の大気汚染(PM_{2.5})・黄砂・アレルギー・花粉症防止の重大性が浮かび上がっている。このうち幾つかは、確実性を持って実施できる状況にあると判断され、本課題の推進によって、大がかりな研究の発展が期待される。

⑤ 実施機関と実施体制

九州大学、筑波大学、東京大学、東京農工大学、北海道大学、京都大学、千葉大学、愛媛大学、琉球大学、福岡大学、日本大学、東京農業大学、防衛大学校および農業環境技術研究所(農環研)、国際農林水産業研究センター(国際農研)等の農林系研究機関等々で、課題の一部は実施されている。小グループの共同研究、あるいは個別研究を多く実施されているが、大型研究としての総合的研究ではないので、今後、勢力的に推進・実施する必要がある。例えば、人工降雨では、九州大学、筑波大学、福岡大学、防衛大学校、気象研究所で実施されてきている。黄砂・大気汚染関係では名古屋大学、福岡大学、愛媛大学、九州大学、琉球大学、農環研、国際農研、国立環境研究所、気象研究所等で実施されている。

実行組織と関連項目については、筑波大学の北アフリカ研究センター・農林技術センターでは砂漠緑化と人工降雨、九州大学・筑波大学・福岡大学・防衛大学校・国際農研では液体炭酸人工降雨と対流雲の雲物理反応、農環研では黄砂の舞い上がり気象特性・乾燥植生、国際農研では黄砂の気象気候的・植生(防風施設)的防止対策、最表面物理化学反応、モンゴルの家畜放牧・社会的評価を実施されており、多くの拠点で継続中である。

人工降雨研究会、黄砂研究会、DNA 黄砂・口蹄疫研究会および日本農業気象学会、日本沙漠学会、日本農業工学会、日本生物環境工学会等と協調しながら解明・開発研究および具体化・応用研究を推進されている。

⑥ 所要経費

- ・研究拠点整備費(初期投資):平成29~30年度:75億円
- ・内訳:(1)大気・水・土環境観測調節施設(室内および広域・野外観測施設、遺伝子組換え作物実験施設の環境構築を含む):15億円(2)高精密万能マルチ極端環境解明施設(極乾燥・高低温精密風洞施設を含む):10億円(3)雲水量密度観測施設・ドップラーレーダー:15億円(4)航空機・ヘリコプター等:10億円(5)黄砂・大気汚染物質病原微生物解明施設:15億円(6)黄砂・大気汚染観測ライダー:10億円
- ・総額:平成29~36年度:155億円(初期投資:75億円、運営費等:10億円/年、研究期間としての運営費は8年間)
- ・最先端の研究技術が含まれるので、主要部については3年程度で早急に推進する必要がある。実施・推進状況を見ながら、最新情報に基づいた改良も可能となる。

⑦ 年次計画

全実施期間:平成29~36年度

(具体的な年次計画)

平成29~30年度:気象・水・土環境観測・調節施設、雲水量密度観測ドップラーレーダー、高精密万能マルチ極端環境解明装置、航空機・ヘリコプター等を整備・構築し運用を開始する。国内での人工降雨実験、砂漠地域での砂漠緑化のための人工降雨実験、大気汚染地域での人工降雨による汚染物質の洗浄実験、黄砂付着病原菌の評価解明農業環境等を実施し、黄砂付着病原菌の評価解明の観測準備を推進する。

平成31~33年度:上記施設・装置をフル稼働して、国内人工降雨実験、砂漠地域での砂漠緑化・砂漠防止人工降雨実験、大気汚染地域での人工降雨汚染物質洗浄実験、都市・工場地域の大気汚染物質発生源の工学的軽減技術導入等を実施し、観測とデータ解析によって複合的な情報を整理し有機的な統合化によって環境システムイノベーションの開発を行い、個別事項の推進とともに第一段階としての総合的な技術を構築する。

平成34~36年度:上記の種々の実験・観測結果を収集・蓄積し、それら得られた成果を最大限に有効利用することによって、農業環境システムイノベーションの構築による開発・技術化を行い、さらなる改良を繰り返して、具体的に実用化を行い、社会貢献として社会還元に資する。

⑧ 社会的価値

微粒子のPM_{2.5}、SO_x、NO_x、光化学オキシダント等の大気汚染物質の軽減防止、口蹄疫・麦さび病の進入・蔓延防止、黄砂の軽減、砂漠化防止・緑化の推進、呼吸器・循環器系疾病の人間健康対策等々への社会的価値が大きい。具体的には、人間・家畜の健康、呼吸器・循環器・眼科等(アレルギー、花粉症、口蹄疫)の医学・獣医学・作物病理学の発展性、渇水対策と水資源確保、乾燥地域での水飢饉に起因する社会・政治問題の解決、地球規模大循環・越境大気汚染予測の高精度化の推進に価値がある。

宮崎県延岡市、北海道佐呂間町、茨城県つくば市での竜巻発生機構の解明と制御、人工降雨の定常的な成功、黄砂と大気汚染物質の問題等はフジテレビ、テレビアサヒ、TBS ラジオ、文化放送、朝日・読売・日経等の新聞紙上で評価され有効性が紹介されている。従って、黄砂・大気汚染防止機器・装置の高精度化推進や黄砂発生域での放牧の制御、乾燥地の環境保全等への社会経済的支援に有効である。また知的価値としては人工降雨での特許保持、経済産業的価値としては口蹄疫、PM_{2.5}、水資源等があり、黄砂防止・緑化では国際貢献としての価値が高く評価できる。

⑨ 本計画に関する連絡先

真木 太一(九州大学・名誉教授)

エネルギー・情報オープンイノベーションによる自律農業共創学の拠点形成

① 計画の概要

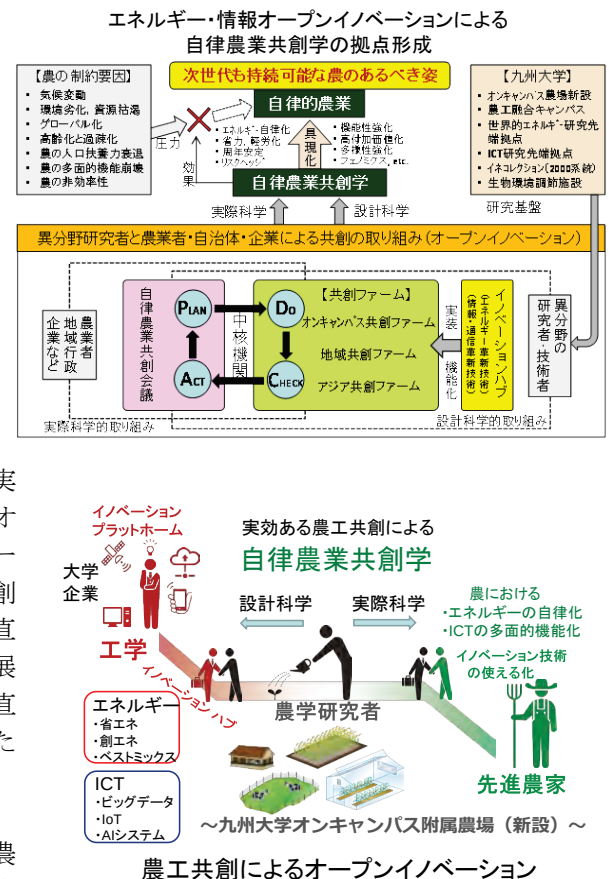
偏った人口動態、気候変動、環境劣化、資源枯渇、グローバル化等がもたらす農（農業、農業者、農山村）に対する自然的、社会的、経済的な多様な圧力によって、「次世代も持続可能な農」の存続が危ぶまれている。世界に先駆けて人口減・高齢化が進行している我が国においては、農山村で深刻な過疎化と高齢化が顕在化し、農の人口扶養力の衰退と多面的機能の崩壊による国土・国勢の急激な荒廃という国家的な問題に直面している。従って、多様な圧力による厳しい制約を受けない「自律的農業」を実現するための取組みが喫緊の課題となっている。そこでは、農業が内包する宿命的な非効率性とそれに向き合う農業者の営みに直接的にコミットする問題解決型の「実科学」、および目指すべき姿の探究と実現を目的とする「設計科学」、さらに俯瞰的視野に立った「異分野融合による統合知」が、「社会のための学術」の体系を構築することが期待されている。本計画では、エネルギーと ICT の革新技術群を、農において実装・機能化するための共創の取り組みによって、農におけるエネルギーの自律化、農業技術の高位平準化、低コスト・省力・軽労化、環境リスクヘッジ等を基軸とした「自律的農業」の具現化を目指す実科学および設計科学としての「自律農業共創学」を確立し、農学、工学、社会科学等の多様な異分野の研究者が、農業者、地域行政、企業等との実効ある共創の取組み（オープンイノベーション）を展開できる研究拠点の形成を目指す。

② 目的と実施内容

「自律農業共創学」では、多様な異分野研究者と農業者・地域行政・企業との共創によって、自律的農業の基盤となるエネルギーと ICT の革新技術群に関するシーズとニーズを共有し、農への実装を企画する場として「エネルギー・ICT イノベーションハブ」を形成する。そこでは、多様な再生可能エネルギー（気象エネルギー、農業バイオマス）とバイオマス循環型水素エネルギーの利活用等によるエネルギーの自律化（創エネ、省エネ、ベストミックス、地産地消）、および農における環境とエネルギーの監視と制御、フェノミクスによる作物創成（育種と機能性強化）の効率化、低コスト・省力・自動化、環境リスクヘッジ等に資する革新技術群の農への実装を、農業環境工学、エネルギー工学、情報工学、農学、農業経済学等の共創によって企画する。さらに、自律的農業にむけて実装・機能化するための実科学としての取り組みを、多様な農業者、地域行政、企業等とのオープンイノベーションによって展開する。その際、共通の実証フィールド（オンキャンパス共創ファーム、地域共創ファーム、アジア共創ファーム）を構築し、多様な研究者と農業者・地域行政・企業との直接的な協働を、「自律農業共創会議」と PDCA サイクルを機軸として展開する。このことによって、多様な革新技術群の成果を、実効ある直接的な共創の仕組みによって進化させながら、地域の特性に適合した次世代も持続可能な「自律的農業」の具現化が初めて可能となる。

③ 学術的な意義

- ・気候変動、過疎化・高齢化、グローバル化等よってもたらされる農に対する厳しい制約に支配されない「自律的農業」に依拠した「次世代も持続可能な農のあるべき姿」を国民に提示できる。
- ・自律的農業の具現化に必要なエネルギーの自律化、ICT の多面的機能化等の基盤技術群が農の現場で実装され、機能化される。
- ・PDCA サイクルを機軸とする実科学的な取り組みによって、多様な異分野研究者と農業者・地域行政・企業との実効あるオープンイノベーションの場と仕組みを確立できる。
- ・共通の実証フィールドでの共創によって、実科学および設計科学としての自律農業共創学の研究拠点が初めて形成される。
- ・気象エネルギーと農業バイオマス由来の水素エネルギーのベストミックスによるエネルギーの自律化により、農山村地域に低炭素化産業が創出される。この技術は、未利用バイオマス賦存量の多い途上国にも波及することが期待される。
- ・農の非効率性を解決するための ICT の多面的機能化が、地域特性に適合した農の新興のための技術基盤となる。
- ・先端的 ICT を技術基盤とする実践的フェノミクスに関する我が国初の研究拠点が形成され、気候や消費者ニーズ等の変化に柔軟に適応できる効率的な作物創成（育種と機能性強化）が可能となる。
- ・頻発化・過激化する自然災害のリスクと多様な環境負荷物質の流出による汚染リスクを低減するための環境保全管理システムが、陸海域を対象にした先端的 ICT の利活用によって構築され、持続可能な農業農村環境の創生が達成できる。



④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

我が国の農においては、少子高齢・過疎化、輸入に依存したエネルギー、気候変動、グローバル化等がもたらす課題群を解決するための取り組みが喫緊の課題であり、多様な地域特性に適応した高品質安定省力生産に寄与するエネルギー・ICTの革新技術群の実装と多面的機能化を可能にする設計科学および実科学として、自律農業共創学の展開が極めて重要である。自律農業共創学の取り組みにおいては、我が国が有する有利な自然条件（気候・地形・生物の多様性、豊富な水資源・温度資源）と人的条件（先端科学技術、優秀な人的資源）に依拠した我が国固有の基盤技術群を開発・実装して、多様な立地条件に適応した地域共創スマートファームを具現化し、他国が追従できない高付加価値農産物の低コスト周年安定生産を実現することを目指すものである。国内外に例を見ない取り組みであり、我が国において進展に特段の配慮を必要とするものと判断される。

⑤ 実施機関と実施体制

中心的実施機関：九州大学

その他の実施機関：東京大学、弘前大学、高知大学、宮崎大学、農研機構、九州先端科学技術研究所

実行組織（現存組織）：九州大学（農学研究院、農学部附属農場、エネルギー研究教育機構、水素エネルギー国際研究センター、工学研究院、システム情報科学研究院、薬学研究院、応用力学研究所、生物環境利用推進センター、熱帯農研センター、糸島農業産学官連携推進協議会）、東京大学（生態調和農学機構）、弘前大学（農学生命科学部）、高知大学（農学部）、宮崎大学（農学部）、農研機構（北海道農研センター、九州沖縄農研センター）、九州先端科学技術研究所

実行組織の役割：

研究総括：九州大学（農学研究院）

（1）エネルギーイノベーションハブ（農におけるエネルギーの自律化）：九州大学（農学研究院、農学部附属農場、エネルギー研究教育機構、水素エネルギー国際研究センター、工学研究院、応用力学研究所）

（2）情報イノベーションハブ（農におけるICTの多面的機能化）：九州大学（農学研究院、農学部附属農場、システム情報科学研究院、生物環境利用推進センター）、九州先端科学技術研究所

（3）各種共創スマートファーム（自律農業の具現化）：九州大学（農学研究院、農学部附属農場、生物環境利用推進センター、薬学研究院、熱帯農研センター、糸島農業産学官連携推進協議会）、東京大学（生態調和農学機構）、弘前大学（農学生命科学部）、高知大学（農学部）、宮崎大学（農学部）、農研機構（北海道農研センター、九州沖縄農研センター）

⑥ 所要経費

総予算：47億円（10年間：平成29年度～平成38年度）

施設整備費：14億円

（内訳）：自律農業共創センター（九州大学、全国共同利用）2億円；異分野融合オンキャンパス共創スマートファーム（九州大学、全国共同利用）4億円；フェノミクスアプリケーションセンター（九州大学：全国共同利用）2億円；共創スマートファーム4種（東京・高知・弘前・宮崎大学、北海道農研センター、九州沖縄農研センター：産学共同利用）6億円

管理運営・研究費等：33億円

（内訳）：人件費13億円（特任教員：1千万円×5人×10年；ポストドク5百万円×8人×10年；技術員5百万円×8人×10年）；管理運営費10億円（1億円／年×10年）；研究開発費10億円（1億円／年×10年）

⑦ 年次計画（研究期間：平成29年度～平成38年度（10年間））

第I期（平成29年度～平成32年度、所要経費27.2億円）：エネルギーとICTのイノベーションハブを異分野融合で編成する。自律農業共創センター、異分野融合オンキャンパス共創スマートファーム、フェノミクスアプリケーションセンター（九州大学新キャンパス）、都市近郊型（東京都）、中山間地型（高知県）、寒冷地型（北海道、青森県）、暖地型（宮崎県、熊本県）の地域共創スマートファームを建設する。農におけるエネルギーの自律化とICTの多面的機能化の取り組みを、異分野融合と産官学連携によって開始し、PDCAサイクルを機軸とする実際科学的な取り組みによって、異分野研究者と農業者・地域行政・企業との実効ある直接的共創（オープンイノベーション）の場（自律農業共創会議）と仕組みを確立する。

第II期（平成33年度～平成36年度、所要経費13.2億円）：オープンイノベーションの取り組みによる基礎から応用実践への橋渡し研究に基づいて、自律農業の目指すべき姿の例として共創スマートファームの多様なモデルを大学および地域社会において具現化し、PDCAサイクルにより検証・進化させる。

第III期：平成37、38年度（2年間：所要経費：6.6億円）：自律農業共創センター等の施設群で確立された方法論等を次世代への進化の観点から検証する。さらに、各種の地域共創スマートファームの普及に向けた検証を行う。

⑧ 社会的価値

次世代も持続可能な農のあるべき姿の具現化をめざす設計科学および実科学としての自律農業共創学の創生が、我が国の農山村地域のみならず国土・国勢の未来可能性を保証するために不可欠である。自律農業共創学で開発実証された多様な基盤技術群と方法論を実装・機能化して、多様な立地条件に適応した地域共創スマートファームによって、高付加価値農産物の低コスト周年安定生産等が実現され、自然的、社会経済的情勢の変動に柔軟に適応できる自律的農業の未来可能性を国民に提示できる。さらに、地域共創スマートファームの技術基盤群の普及によって、農山村地域において生産年齢人口再配置と老年人口等の就業化が促進され、農山村地域の健全な活性化および多面的機能の維持が可能になり、国土・国勢の衰退を回避できる。

⑨ 本計画に関する連絡先

北野 雅治（九州大学大学院農学研究院）

高付加価値植物の作出および生産システムの開発

① 計画の概要

本計画は、ヒトの生活習慣病予防に有効な機能性成分を高含有する食用作物、漢方薬および化粧品等の原料になる薬用植物、ヒトおよび家畜に有効な医療用原材料を生産する遺伝子組換え植物などの高付加価値植物を作出し、その成分を効率的に生産するシステムを開発することを目的とする。

近年の育種学、分子工学の進展により、ポリフェノールなどの特定成分を高含有する作物、外来の有用タンパク質を発現蓄積する遺伝子組換え植物などが作出されつつある。また植物生理学、分析技術、医学の進展により、植物の遺伝子発現の環境応答や生合成経路が解明され、付加価値物質の有効性に関する医学的エビデンスも増えつつある。生薬に使われる薬用植物の有する多様な成分は、化粧品等への応用も進んでいる。遺伝子組換え技術で生産されるワクチンタンパク等はヒトに加えて家畜の感染症予防にも有用とされ、研究開発が進んでいる。このような背景から、植物の持つ高次機能を、農業だけでなく、積極的に工業や製薬業に展開することが期待されている。

植物の遺伝子発現や生合成は、植物をとりまく生育環境の影響を強く受けることが知られている。しかし露地農業などの開放系システムは、気象条件の影響を受けるために好適な生育条件を維持することが難しく、必ずしも植物の能力を活かすことはできない。他方、野菜や花を周年生産する施設園芸・植物工場は温度、光、ガス、風などの気象要因を制御できる閉鎖系システムであり、環境ストレス付与による栽培技術も開発されつつある。高付加価値植物の潜在能力を最大限に活かすためには、この閉鎖系システムをベースに新たな生産システムを構築する必要がある。

そこで本計画では、高機能性植物を作出する「生物学的アプローチ」とその植物を効率的に生産する「工学的アプローチ」を融合する研究プラットフォームを提案する。

② 目的と実施内容

ヒトの生活習慣病予防に有効な機能性成分を高含有する食用作物、漢方薬および化粧品等の原料になる薬用植物、ヒトおよび家畜に有効な医療用原材料を生産する遺伝子組換え植物などの高付加価値植物を作出し、その成分を効率的に生産するシステムを開発することを目的とする。

実施に当たっては、千葉大学の1) 大学院園芸学研究科・植物工場研究センター・園芸ゲノム科学研究センター、2) 環境健康フィールド科学センターが中心となり、参加研究機関で構成する研究プラットフォームを構築する。つぎに、食用作物研究拠点、薬用植物研究拠点、医療植物研究拠点の3つにグループを作り、中心的な役割を果たす機関に設備を配置する。具体的には、半閉鎖型植物生産システム、完全閉鎖型植物生産システム、遺伝子組換え植物実験施設などである。また、研究データ蓄積のために、各研究機関の役割に応じて植物の計測装置、分析装置、機能解析装置を整備する。その上で、年次計画に沿って研究を推進する。

③ 学術的な意義

本計画では、用途が異なる作物、薬用植物、遺伝子組換え植物について、高付加価値物質の効率的生産を目指すという共通目標の下、共通性のある生産システムを活用しながら植物種間比較を含めた研究を行う点に特徴がある。植物の遺伝子発現、形態形成、光合成、成長などの機能は共通性がある。生産の場においては、気象環境への応答、人工環境下の植物生理学、養液栽培の養分吸収などにも共通性がある。

本計画では2種類の生産システム（植物環境ジェネレータ）を活用する。国内の気象環境の異なる地域に半閉鎖系の太陽光型の育成施設を設置し、ダイナミックに環境を変化させて、ワイドレンジな植物データベースを作る。たとえば、気象の異なる複数の地域施設で特定の植物を育成すれば、 -30°C から $+40^{\circ}\text{C}$ までの温度環境で網羅的な環境応答のデータを蓄積できる。複数の研究拠点に人工光を用いる完全閉鎖系の育成施設を設置し、気象要因を人為的にコントロールして高速成長と有用成分増加を同時に達成する条件を探索する。たとえば、日射が多くて気温が低い、気温は高いが根圏温度は低いなどの自然界にはない環境ストレスを付与すれば、ユニークな高付加価値植物の生育データベースを構築できる。

本計画では、高機能な育成システムを用いて多種類の植物を集中的に研究することにより、次世代の植物開発とその実用化に役立つ多次元の知見を集積する。我が国の気候の特徴を生かした植物環境ジェネレータの運用は、植物工場のような高度な環境制御技術を有する国で初めて実現できるもので、そこで得られる植物データベースは国際的に高い評価を受ける。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

農作物の機能性に関する研究は、先進国を中心に2000年以降かなり活発になっている。機能性食品の場合、有用成分ごとに医学的なエビデンスと関係づける取り組みが進みつつある。しかし作物の能力を最大限に引き出してその成分を高含有させる手法については、植物育成に関するデータが少ないため、その蓄積と現場への展開が必要である。薬用植物は、生薬の場合、大部分を海外からの輸入に頼っている。しかし諸外国では薬用植物の消費の増大や生産圃場の環境劣化による資源の枯渇が懸念されており、国内で生産する動きが活発化している。しかし食用作物に比べると栽培技術が確立されていないため、薬草ごとに栽培生理と育成に関するデータベースの構築が急務である。高付加価値物質を作る遺伝子組換え植物は、商業化を視野に入れた次世代の遺伝子組換え植物として先進各国で注目を集めている。この植物は形質を変えるため、非組換え品種とは異なる

る生理反応や環境応答を示すことがある。そのため、食用作物の膨大な生育データを参考にしつつ、遺伝子組換え植物の優位性を引き出す育成方法の確立が求められている。

⑤ 実施機関と実施体制

千葉大学では次の組織構成で研究を展開する。

- 1) 大学院園芸学研究科・植物工場研究センター・園芸ゲノム科学研究センター
高付加価値作物の作出、生理・成長データの取得、植物生産システムの設計と構築
- 2) 環境健康フィールド科学センター
高付加価値植物のストレス付与試験、効率的生産システムの確立
- 3) 薬学研究院・融合科学研究科
薬用植物の作出、高付加価値遺伝子組換え植物の作出、植物の各種解析と機能性評価
- 4) 医学研究院
高付加価値物質の有効性評価

本計画で想定する植物種は多岐にわたるため、作出実績のある植物種、その解析・評価手法および生産技術を有する研究機関が多数参加することが期待される（たとえば 12 大学、国研 8 機関、公設試験場 10 県、民間 2 機関を想定）。千葉大学を含む、数カ所の研究機関に研究拠点を形成し、データベースの構築や研究推進の中心的な役割を担う。

⑥ 所要経費

総額 190 億円

半閉鎖型植物生産システム 基本型（全国に 7 拠点） 20 億円、実証型（全国に 3 拠点） 10 億円

完全閉鎖型植物生産システム 基本型・実証型（全国に 4 拠点） 40 億円

植物の生理反応の非破壊・破壊・非接触型の計測装置 10 億円

遺伝子、タンパク質、代謝物の分析装置 60 億円、高付加価値物質の機能解析装置 30 億円

半閉鎖型/閉鎖型の PIP 実験室（遺伝子組換え植物実験施設） 20 億円

⑦ 年次計画

平成 28 年度～32 年度

既存の高付加価値植物の生理特性データの取得

新規の高付加価値植物の作出

植物生産システム（基本型・実証型）の設計と構築、および生育基礎データの収集

植物の有用物質に関わるプロテオーム解析・メタボローム解析・オミックス解析

植物生産システム（基本型）を用いる高付加価値植物の環境応答・成長の解析

平成 33 年度～37 年度

既存および新規に作出した高付加価値植物の有用物質含有量をも高める条件探索

高付加価値物質の機能解析と有効性評価

植物生産システム（実証型）を用いる生育試験

効率的な生産システムおよび育成法の確立

⑧ 社会的価値

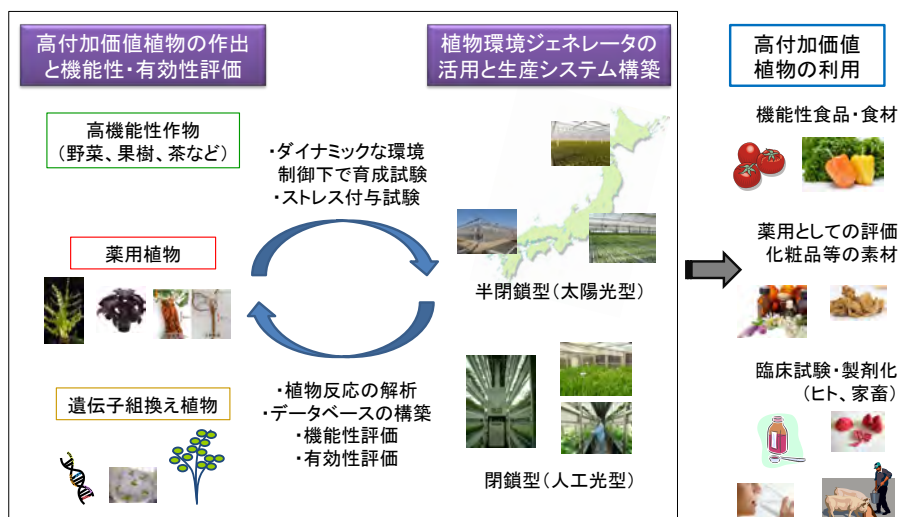
高齢化が進む現在、「食べて・運動して健康を維持し、病気を予防して医療費削減」というテーマの重要性は国民の多くが理解している。気候変動下の作物生産や世界規模の感染症増加等に対応するためにも植物の力をさらに必要としている。利用目的に合わせて植物を高機能化したり、能力を最大限発揮させる研究は産業化のシナリオを描きやすいこともあり、産業界からは 21 世紀型の領域横断型の植物研究として大きな期待が寄せられている。

健康産業や医薬産業に関わる植物利用は、それらの産業の発展に合わせて、今後ますます重要性が高まることは言うまでもない。高付加価値植物の作出とその植物の効率的な生産技術の開発はいずれも知財化できるトピックであり、研究成果の海外展開の枠組みを作りやすい研究シーズでもある。

⑨ 本計画に関する連絡先

後藤 英司（千葉大学・大学院園芸学研究科）

（研究内容のイメージ）



次世代を担う革新的なバイオマス生産・利活用技術の（農学学際）研究開発

① 計画の概要

温室効果ガスの削減は世界規模の課題であり、石油資源依存のエネルギー・化成品からの脱却は課題解決策のひとつといえる。二酸化炭素は代表的な温室効果ガスであり、植物は光合成によりそれらを炭酸固定によりバイオマス資源を生み出す。食糧として利用されるバイオマス以外に非可食性のバイオマスも世界の地域によっては余剰存在する。これらバイオマス資源をバイオテクノロジー技術、特に微生物や酵素を利用してこれまでの化成品の代替材料あるいは新規機能性有機体へと変換できれば、環境・食糧・エネルギー分野におけるインパクトのある基盤技術に成り得る。このための大きな柱として、1) バイオマス資源の増産・開発、2) バイオリファイナリー技術およびターゲットの革新が挙げられる特に、これまで着目されている研究にとらわれず、15～30年後を見据えた萌芽的なアイデアに基づく研究や、既存の研究ではカバーしきれないニッチ分野や革新的な発想に基づく新シーズを生む可能性を秘めたチャレンジングな研究が重要である。「バイオマス増産・開発」研究拠点では、日本の気候に適したバイオマスの増産と世界的に活用が望まれる未利用バイオマスの活用について基盤研究を行う。「革新的なバイオオリファイナリー技術開発」研究拠点では、新規バイオ燃料の開発とバイオマスを活用した新規機能性素材の開発研究を行う。二酸化炭素の削減と資源化に関わる研究は学際分野であり、環境負荷の低減に資するバイオオリファイナリー技術を開発するには、農学、工学、理学分野の研究者や社会性評価（LCAなど）によるさまざまな分野からの取り組みが不可欠である。本計画では、上記の2拠点を連動させることによって、これらを分野横断的に連携させ融合を推進する。

② 目的と実施内容

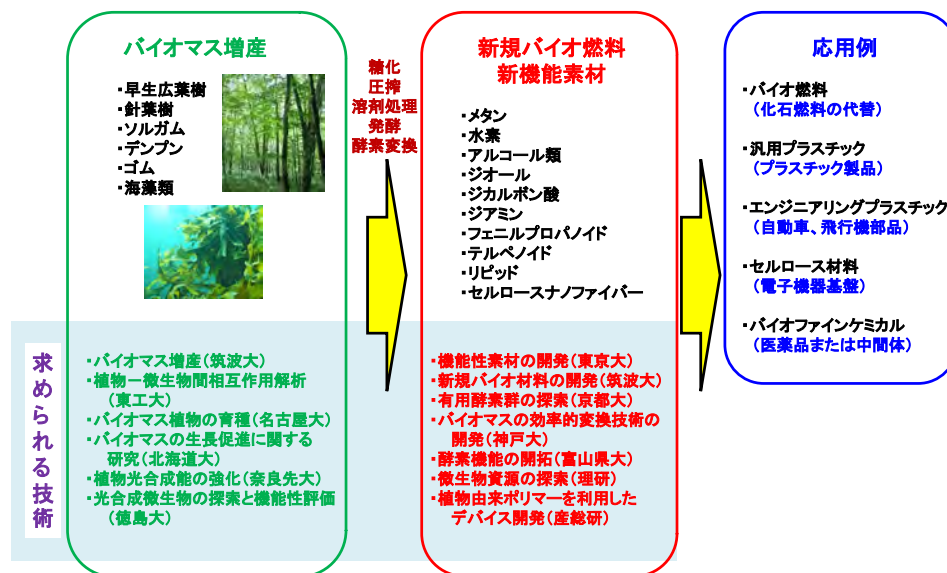
【目的】地球のエネルギーは太陽の光エネルギーに依存している。生物界においては藻類を含む植物が光合成により二酸化炭素を固定して有機物を生合成する。バイオマスには、廃棄物系バイオマス、未利用バイオマス、資源作物が挙げられ、それらのほとんどは植物バイオマスにあてはまる。本事業計画では、未利用バイオマスの活用と新規バイオマスの開拓により、新規バイオ燃料の開発と新規機能性素材の創出研究を目指す。二酸化炭素の削減と資源化に関わる研究は学際分野であり、農学、工学、理学分野の融合による環境保全と社会貢献に果たす役割を担う。

【実施内容】本事業計画は中心となる2拠点（東京大学に設置予定の革新的バイオマス利活用研究開発センターと筑波大学に設置予定のバイオマス増産開発センター）において、バイオマスの増産・開発と革新的なバイオオリファイナリー技術の開発研究が推進される。主要設備（植物培養システム、機能解析装置、バイオテクノロジー関連機器など）は事業開始2年目までに導入し、計画の早期達成を目指す。

ネットワーク形成に関しては、すべての研究者が2拠点での研究成果や進捗状況を詳細に把握できるようにシステムの開発を行う。また、材料として利用できるバイオマス、酵素、育種株などが迅速に調達できるよう研究員を配備し、データの集積・活用を実施する。拠点運営に関しては、各大学の学長、研究科長にも参画していただき全学をあげて運営に携わる。大学の各研究部門がもつ技術や素材を集約し事業計画の達成を目指す。

③ 学術的な意義

バイオマス増産に関わる研究は植物の生命原理を分子レベルで解明されなければ達成できない課題である。バイオマス増産に関わる植物の生長、光合成、環境ストレス、貯蔵などの分子機構の解明は、極めて高い学術的な意義をもつと考えられる。一部の植物群で根圏における微生物との共生は知られているが、実際には根圏や葉面などにおいてすべての植物が微生物と相互作用をなしていると考えられる。植物と微生物間の情報伝達機構が解明されれば、バイオマス増産につながるものが期待される。一方、バイオマスの材料化においては、従来型のバイオオリファイナリー手法をさらに拡充することも重要であるが、学術的には酵素の高機能化や代謝工学分野の高い壁の乗り越えなくてはならないと予想される。酵素の高機能化には、従来のスクリーニングや変異導入だけでなく、メタゲノム解析やプロテオーム解析、休眠遺伝子活用などさまざまなアプローチが必要となる。代謝工学分野においては、近年注目されている人工ヌクレアーゼを活用した精密な代謝制御による組換え株による高効率変換を積極的に取り入れることも重要となる。農学、工学、理学分野独自の発想を融合し、世界的に進められているバイオマス利用によるバイオオリファイナリーを支える基礎基盤研究の成果は学術的には極めて高いといえる。



④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

アメリカの EBI やベルギーの VIB などの研究機関では環境問題やエネルギー問題に多額の研究費を投じて問題解決に取り組んでいるのに対して、日本では個々の研究組織が独自性を有し連携が不十分であった。国内では、農学部（発酵・食・バイオ）、理学部（植物、基礎研究）、工学部（プロセス工学）が個々に当該分野の研究を行い、分野間の情報は寸断されている。国内学会では、日本農芸化学会や生物工学会にバイオマス増産やバイオリファイナリーに関わる研究者が延べ 1,000 人以上所属し、当該研究分野のイノベーション上の重要な役割を担う。個別研究による我が国のバイオリファイナリー分野の体制は世界に大きく遅れをとっており、日本の資源を活用したバイオリファイナリーによる新規バイオ素材（バイオ芳香族化合物、ナノセルロース、バイオコンポジット材料など）を国内で一貫して行うことは国策として重要であると考えられる。

⑤ 実施機関と実施体制

中心実施機関：東京大学、筑波大学、京都大学、東京工業大学、名古屋大学、北海道大学、神戸大学、奈良先端科学技術大学院大学、富山県立大学、理化学研究所、産業総合技術研究所、徳島大学。拠点となる革新的バイオマス利活用研究開発センターは東京大学大学院農学生命科学研究科に設置し、バイオマス増産開発センターは筑波大学生命環境科学研究科に設置する。各研究機関の部局名は以下の通りである。

東京大学：大学院農学生命科学研究科、生物生産工学研究センター、筑波大学：生命環境科学研究科、京都大学：工学及び農学研究科、東京工業大学：資源化学研究所、名古屋大学：生命農学研究科、北海道大学：農学研究科、神戸大学：科学技術イノベーション、農学及び工学研究科、奈良先端科学技術大学院大学：バイオサイエンス研究科、富山県立大学：工学部、理化学研究所 BRC：バイオリソースセンター、産業総合技術研究所、徳島大学：生物資源産業学部

⑥ 所要経費

総経費 159 億円（以下(1)～(5)の総計）

(1)2 拠点 建設費 60 億円・革新的バイオマス利活用研究開発センターの建設 35 億円（内訳）6 階建て実験棟（鉄骨、延床面積 5,000 m²）（東京大学）・バイオマス増産開発センターの建設 25 億円（内訳）6 階建て実験棟（鉄骨、延床面積 5,000 m²）植物培養施設（ハウス、10,000 m²）（筑波大学）(2)開発設備・備品 35 億円（内訳）植物培養システム（照明機器他）5 億円；機能解析装置（精密分析装置他）20 億円；バイオテクノロジー関連機器（ゲノム解析機器他）10 億円(3)人件費 27 億円（内訳）特任教員（研究推進、拠点運営、若手育成）（30 名 x10 年）18 億円；研究員（研究推進）（20 名 x10 年）8 億円；技術職員（機器の管理）（3 名 x10 年）1 億円(4)消耗品費 36 億円（内訳）拠点研究推進費（2 億円 x10 年）20 億円；ネットワーク研究推進費（1.6 億円 x10 年）16 億円(5)その他 1 億円（内訳）拠点運営経費など（0.1 億円 x10 年）

⑦ 年次計画

1. 研究推進

各拠点をコアとして、バイオマス増産、新規バイオマス利用性の開拓、新規バイオ燃料の開発、機能性素材の開発と評価に関わる研究を以下の計画で行う。

平成 29 年度-36 年度：「バイオマス増産・開発」拠点では、(1)植物光合成能の強化；(2)植物・微生物複合系の解明；(3)大型藻類の生長促進（非可食大型藻類含む）；(4)光合成微生物機能の解明（微細藻類を含む）；(5)新たなバイオマスの開拓；(6)植物構成ポリマーの活用（リグニン含む）、に関する研究開発を行う。「革新的バイオリファイナリー技術開発」研究拠点では、(1)新規バイオ燃料の開発（メタン、水素、燃料電池等）；(2)機能性素材の開発（エンブレ化成品、機能性材料など）；(3)バイオマスの効率的変換技術の開発；(4)機能性素材の物性評価；(5)バイオペロセスに関わる酵素群の諸性質解明、に関する研究開発を行う。

平成 35 年度-38 年度：両拠点の成果を融合し得られた新規素材を実験的にさまざまな研究機関や企業に提供し、用途開発を共同で推進する。上記の研究によって、バイオマス増産、温室効果ガス削減、新規素材開発が達成され、環境保全と経済の活性化に大きく貢献する。

2. ネットワーク構築推進

すべての研究者が 2 拠点での研究成果や進捗状況を詳細に把握できるようなシステムの開発を行う。

平成 29 年度-30 年度：(1)革新的バイオマス利活用研究開発センターとバイオマス増産開発センターの設置準備・建設；(2)ネットワーク事務局の設置；(3)研究設備の導入；(4)共同研究体制の構築・教員研究員の配置支援；平成 31 年度-38 年度：(5)国際協力体制の構築；(6)共同研究推進；(7)評価体制の構築

⑧ 社会的価値

世界規模で温室効果ガスの排出削減に向けた動きが求められている。石油に依存したエネルギー供給・化成品合成分野において、一部でも環境負荷の小さいシステムが利用されれば温室効果ガスの排出削減に貢献できることが期待される。植物は光合成により炭酸固定するだけでなく、エネルギー・食糧としてこれまで利用されている。当該研究で取り組むバイオマス増産とそれを利用したバイオリファイナリーによる食糧・エネルギー・化成品・医薬品の生産に向けた研究は人類の生活を大いに支える重要な基盤研究といえる。革新的な素材開発や新規バイオ燃料の活用や生産を達成することは、得られる成果が工業や医療の分野に応用されることから知的価値が高く、経済的・産業的波及効果も極めて大きいといえる。環境負荷の小さい資源の活用と産業の活性化という点で国民の理解を得ることができると予想される。

⑨ 本計画に関する連絡先

櫻谷 英治（徳島大学 大学院生物資源産業学研究部）

変動環境下での持続的スマート森林管理

① 計画の概要

本研究では、気候変動環境下での森林生態系の持続性を高め、森林の有する多面的機能の享受を将来にわたって確実にするための順応的森林管理技術の開発を目標として、全国の大学演習林や国有林等で蓄積された長期データや国際的な研究ネットワークを活用し、(1)森林生態系の環境応答特性解明、(2)環境変動のリスク評価・影響予測、(3)変動環境下でのリスク管理技術開発、(4)ITを活用したスマート森林経営技術開発、に関する研究を総合的に推進していく。そのために日本学術会議林学分科会委員と中心的実施機関の代表を中心に構成される運営委員会を研究拠点として機能させる。

(1)森林生態系の環境応答特性解明では、主要樹種成木を材料とし、大気CO₂濃度と土壌・大気を主な環境要因として、気候変動の物質生産への影響を評価する。1)気候帯の異なる4箇所でのFACE実験、2)主要樹種成木の光合成規定要因解明。

(2)環境変動のリスク評価・影響予測では、気候変動シナリオに基づいて、1)植物や哺乳類、昆虫、微生物等の生育適地の変化、2)気象被害発生リスクの空間的評価、3)甚大な森林被害や森林衰退の発生リスクを予測するモデル開発、を行う。

(3)変動環境下でのリスク管理技術開発では、森林生態系の健全性を損なう可能性のある要因や環境の変動や森林生態系の変化をモニタリングしながら影響を緩和する対策を先んじて講じるために、1)温暖化環境下での森林の成長予測・造林適地判定技術開発、2)病虫害抵抗性や乾燥耐性を高めた造林用種苗開発、3)野生動物の密度管理技術開発、を行う。

(4)ITを活用したスマート森林経営技術開発で、上記(1)～(3)の研究成果を踏まえて、森林生態系高精度モニタリング技術開発ならびにスマート森林経営技術開発を行う。

② 目的と実施内容

近年、世界各地で森林の衰退現象が確認され、温暖化に伴う乾燥化等との関連が指摘されている。日本でも、積雪依存の更新を行う樹種では、現在の分布域の個体群維持の困難が予想される。温暖化原因の化石燃料大量消費に伴うSO_xやNO_xの大量排出、大気オゾン濃度の上昇などの環境劣化の影響も考慮する必要がある。人工林施業の長伐期化は、異常気象の頻発と相俟って自然災害を受ける可能性を高め、造林適地の判定が重要になってくる。本研究では、予測される気候変動環境下での森林生態系の持続性を高め、森林の有する多面的機能の享受を将来にわたって確実にするための順応的森林管理技術の開発を目標として、全国の大学演習林や国有林等で蓄積された長期データや国際研究ネットワークを活用し、(1)森林生態系を構成する主要樹種を対象に、実験的な手法で環境応答特性を解明し、(2)環境変動に伴う自然災害や病虫害、獣害などのリスクを評価し、森林生態系への影響を予測し、(3)変動環境下でのリスクを最小化するための管理技術を開発し、(4)ITを活用することによってより効率的に順応的管理を行うための情報を収集し、スマート森林経営のための技術開発を総合的に推進していく。

③ 学術的な意義

(1)森林生態系の環境応答特性解明：温暖化に伴い、季節外れの高温や低温などの温度環境のぶれの大きさに加え、降水量や降雨パターン、大気水蒸気圧飽差など、樹木の水分生理状態に影響を与える生育環境の変化も予測されている。森林内に高CO₂濃度空間を作るFACEなどの大規模野外操作実験などを通して、成木の物質生産にかかわる環境応答特性を、特に水分環境の変化に対する光合成の応答を明らかにすることは、森林生態系への気候変動影響を予測する上で重要な知見となる。

(2)環境変動のリスク評価・影響予測：気温や降雪量に基づくブナ等の更新適地の変化予測は、樹木の環境応答や病虫害の影響は考慮されていない。針葉樹人工林の物質生産への影響も十分検討されていない。SO_xやNO_xも森林生態系の養分バランスに影響を与える。森林生態系の健全性を損なう要因を明らかにし、気候変動影響の予測精度を高めるための知見は重要である。

(3)変動環境下でのリスク管理技術開発：環境変動・森林生態系変化をモニタリングしながら影響を緩和する対策を講じることが必要となる。温暖化環境下での成長予測や集中豪雨による斜面崩壊などの環境変動リスクに基づく造林適地判定、病虫害抵抗性や乾燥耐性を高めた造林用種苗の開発、野生動物の密度管理など、順応的森林管理のための技術開発が必要である。

(4)ITを活用したスマート森林経営技術開発：変動環境下で持続的に森林を管理していくためには、様々なモニタリングデータを関係者と共有するとともに、具体的な土地利用計画を策定する必要がある。そのため、衛星データ、レーザーデータ等を解析して得られた知見を共有するためのクラウド型GISシステムの構築と運用に係わる技術開発が必要である。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

気温上昇と降水量の減少の影響が疑われる森林衰退が世界各地で報告され、北米大陸太平洋側でも樹木の枯死率が高まっているなど、気候変動の森林生態系への影響の顕在化が示唆されている。森林の物質生産に与える温暖化影響は、森林内に局所的に高CO₂環境を作り、樹木の成長応答を長期観測するFACE実験が有効である。欧米では政府の支援を受けて大規模に行われ、窒素酸化物の影響等を評価するための林地肥培を組み合わせた大規模野外操作実験も行われている。しかしわが国では予算的な制約から圃場で苗木を用いた小規模なものに限られている。苗木と成木では、光合成の制限要因が異なっており、樹高の高い成木を用いた研究が必須である。気候変動の森林生態系への影響は物質生産や繁殖などの樹木側だけではなく、病虫害や気象害など多様である。全国各地の様々な自然条件で行われている個別の研究の情報を集約するとともに補完する研究を実行し、順応的な森林管理技術開発に繋げることが、森林生態系の持続性を維持していくためには必要である。

⑤ 実施機関と実施体制

日本学術会議林学分科会委員を中心とした運営委員会に研究拠点機能を持たせ本研究を統括する。北海道大学と東京大学、京都大学、九州大学が、中課題の中心的実施機関の役割を担う予定である。中心的実施機関が、その他の国・公・私立大学や森林総合研究所、国立環境研究所等の研究者の参画を得て、日本列島の北から南までを網羅する研究実施体制を構築する。特に、人工林成長量や天然林種個体群動態、気象観測等の長期データの蓄積のある試験地の活用を図るため、大学演習林や国有林、都道府県研究機関等との連携を進める役割を担う。(1)森林生態系の環境応答特性解明の中心課題である全国に分散して実施するFACE実験を北海道大学が担当する。(2)環境変動のリスク評価・影響予測の中心課題である病害虫獣の発生リスク評価を京都大学が担当する。(3)変動環境下でのリスク管理技術開発の中心課題である病害虫獣等抵抗性種苗開発を九州大学と東京大学が担当する。(4)ITを活用したスマート森林経営技術開発におけるクラウド型GISシステム開発を東京大学が担当する。

⑥ 所要経費

10年間の総予算55億円の各中課題の所要経費の見込額は以下の通りである。

(1) 森林生態系の環境応答特性解明(25億円)

1)FACE実験(20億円)(CO₂付加装置等)、2)主要樹種成木の光合成規定要因(5億円)(携帯式測定装置、野外調査等)

(2) 環境変動のリスク評価・影響予測(10億円)

1)植物や哺乳類、昆虫、微生物等の生育適地変化予測(5億円)(衛星データ、野外調査等)、2)気象被害発生リスクの空間的評価(3億円)(レーザー測量、野外調査等)、3)森林被害発生リスク予測モデル開発(2億円)(モデル開発等)

(3) 変動影響下でのリスク管理技術開発(11億円)

1)成長予測・造林適地判定技術開発(3億円)(野外調査、モデル開発等)、2)野生動物の密度管理技術開発(3億円)(行動調査、有害獣密度管理試行等)、3)病虫害獣等抵抗性種苗開発(5億円)(種苗収集管理、抵抗性検定、DNA分析等)

(4) ITを活用したスマート森林経営技術開発(9億円)

1)森林生態系高精度モニタリング技術開発(4億円)、2)クラウド型GISシステム開発(5億円)(データベース共通化等)

⑦ 年次計画

研究開始の前年に研究組織と研究計画の具体化を議論し態勢を整える。

(1) 森林生態系の環境応答特性解明

1年目：気候帯の異なる4林分でFACE実験設備を試運転。自然状態の成木で光合成特性を測定。

2～5年目：通年でFACE実験を行い、現在の土壌条件での成木の物質生産へのCO₂濃度上昇の影響を解明。5年目に研究の進捗状況を評価し、後半5年間の研究計画を再検討。

6～10年目：FACE実験を継続し、一部について施肥処理を行い供試木の物質生産への影響を解明。

(2) 環境変動のリスク評価・影響予測

1年目：森林病虫害獣の被害地域の推移情報を集約し、被害原因の特定。森林斜面崩壊に関する情報を集約。

2～5年目：主要な森林害虫や病原菌等について、生息域の北上時の加害可能な樹種を実験的手法で網羅的に解明。集中豪雨による大規模土砂崩壊の発生箇所の立地特性を解明。

6～10年目：気候変動シナリオに基づく生物種の天然分布域の変化ならびに森林被害発生リスクを予測するモデルの開発。

(3) 変動環境下でのリスク管理技術開発

1年目：病虫害抵抗性品種等に関する情報を集約し、森林生態系のモニタリング試行方法を確定。

2～5年目：モニタリングを試行するとともに気候変動下での樹木の成長予測と野生動物の個体群変動予測を実施。森林病虫害激害地の生存木についての抵抗性遺伝資源として評価。

6～10年目：他の中課題の成果を集約し、実行可能なモニタリング・管理技術を提案。

(4) ITを活用したスマート森林経営技術開発

1年目：共有すべきデータについて検討し、モニタリング体制とクラウド型GISシステムの基本設計を実施。

2～5年目：モニタリング体制を確立するとともに、クラウド型GISシステムの運用試験。

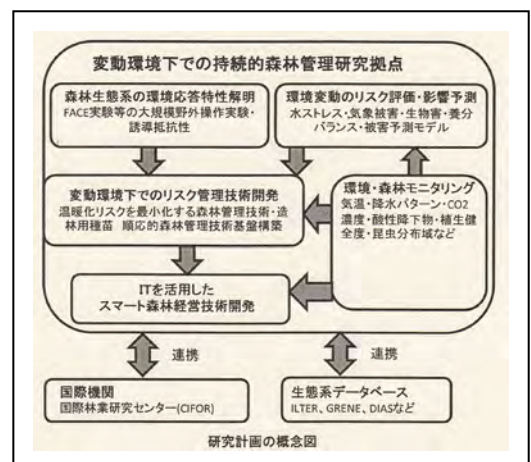
6～10年目：モニタリング体制ならびにクラウド型GISシステムの見直し、改良。スマート森林経営体制を確立し提案。

⑧ 社会的価値

森林の多面的機能の発揮が、森林の健全性に依存していることの理解は不足している。近年、集中豪雨や季節外れの高温や低温などの異常気象が多発し、気候変動が起こっていることの認識は進んでいる。森林生態系の健全性の維持は、単に木材生産の持続性だけではなく、我々の生活環境や産業の立地環境の持続性を高めることも目的となっている。森林生態系は多様な生物の相互関係によって維持されており、物理的環境の変化に対するそれぞれの生物種の応答も様々である。森林生態系の管理技術は確立したものがない。本申請研究計画で目指している順応的管理技術は、モニタリングと管理作業を同時並行的に行うものであり、実用性の高い生態系の管理技術が構築されることが期待される。

⑨ 本計画に関する連絡先

丹下 健(東京大学大学院農学生命科学研究科)



カイコをモデルとした統合昆虫学拠点と新産業創生ネットワーク形成

① 計画の概要

地球上のあらゆる環境に適応進化してきた昆虫は、小さな体の中に驚異的な物質生産、環境適応、情報処理、そして繁殖能力を備えている。しかし、昆虫の持つ特異機能は、養蚕や養蜂など以外では未開拓であり、今後の産業利用を待つフロンティア分野である。本計画では、わが国が研究をリードしているカイコをモデルとして、先端研究アプローチや技術を取り入れて新規活用法を創造し（インセクトイノベーション）、新たな成長産業の創出を目的とした研究拠点を形成する。カイコは優れた家畜昆虫であり、研究・養蚕技術・遺伝子組換え技術では日本が圧倒的に優位にある。近年では、遺伝子組換えカイコが作る組換えタンパク質を用いた検査薬の販売も実現しており、産業利用の拡大が期待されている。しかし、新規成長産業の創生には、先端科学技術と本格的な産学官連携によってカイコの有用能力・潜在能力を多様な産業・製品へ実用化する必要がある。

具体的には、(1) DNA 情報の改変による生物機能の変化を予測し、論理的・合理的に昆虫の有用能力を改変する「ラショナルデザイン」の実現に向けたカイコ・昆虫情報（インセクトインフォメーション）の解析、(2) その情報を元にゲノム編集・染色体編集などの技術によって生物機能を改変したカイコを創る「インセクトデザイン」を可能とするカイコ先端技術（インセクトテクノロジー）の開発、(3) それら情報と技術を元に生物工場としてカイコを利用したバイオ医薬品などの生産、新素材・再生医療材料となるスーパーシルクの開発、ヒト病態モデルとしての利用、有用・有害昆虫の行動制御などの新たな活用法の創造をオールジャパン体制で進め、カイコ新産業（インセクトインダストリー）の創出を早期に成し遂げ社会還元する。

② 目的と実施内容

先端技術によって我が国の昆虫研究とカイコ研究を整備、発展させ、昆虫科学についての学術研究及び新規産業創出の基盤形成・展開を目的とし、(1) カイコの機能改変を論理的・合理的に行う「ラショナルデザイン」の実現、(2) ゲノム編集・染色体編集などによる機能改変カイコの作成および高度な機能・表現型解析プラットフォームの構築、(3) 産業的運用と学術への情報フィードバックを並行した昆虫工場等の開発、の3点を実施内容とする。

ラショナルデザイン、成長産業創出を実現するためには、これまで培ってきた技術、情報に加え、細胞や個体表現型を操作・改変できるレベルまで昆虫ゲノム情報・分子メカニズムについて理解を深めること、研究におけるイノベーションを産学官連携によって新産業創出につなげられる体制構築が必要である。農研機構を情報の集約、解析、発信を担うデータセンター、技術提供・産業化の場として機能する中心拠点としてオールジャパン体制で進め、コミュニティのデータを十分に活用できる体制およびカイコ・昆虫についての基礎・応用生物学的情報収集から社会還元への道筋の最適化、多様化を両立できるネットワークを構築して研究を進める。また、計画的な情報収集・活用体制が必要であり、コミュニティの中で統一したデータ収集フォーマットを策定して情報を収集する。昆虫研究者によるデータの探索・精査だけでなく、計算機科学、工学、数理学を適用した横断的研究、学術的・産業的発展が可能な次世代型カイコ研究を展開する。

③ 学術的な意義

本計画の学術的な意義は、カイコをモデルに日本が中心となり、遺伝子ネットワーク情報に基づいたゲノム設計と最先端のゲノム改変技術を用い、新しい機能を持ったカイコを創生する「インセクトデザイン」を実現することである。ゲノム改変後の表現型を定量的、定性的に予測可能なモデルを構築し、カイコの持つ有用な潜在能力、もしくは他生物から導入可能な能力を合理的かつ効率的に設計・導入するラショナルデザインを推進する。また、基礎研究において先行しているキイロショウジョウバエで得られた知見を補完するモデル昆虫としても、カイコについての情報をアップグレードすることによって、昆虫の生命現象、多様性や進化の理解に貢献するという学術的な意義もある。

カイコの蚕糸学、遺伝学、生理学、神経学、昆虫ウイルス利用技術、遺伝子組換え技術などは日本が研究と開発をリードしてきた。近年、カイコによる有用タンパク質生産、シルクの再生医療への利用、代替モデル動物としてのカイコの利用などが盛んに進められつつあるが、実用化のために必要な基礎研究を進め、堅実なものにしなければならない。本計画による長期的戦略に基づいた包括的な研究は、昆虫新産業創出に向けて大きな意義がある。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ



国内外の研究動向は、(1) 情報解析では、日中共同でカイコゲノムが解読され、アノテーションや突然変異体解析などが進んでいる。また、国外を中心に多種の昆虫ゲノムが解読され、ポストゲノム研究が今後の課題となっている。(2) 技術開発では、日本が中心となって遺伝子組換え技術が確立され、有用物質生産技術の開発が進んだ。遺伝子ノックアウト技術やジーンドライブ技術なども確立されたが、中国や米国との競争が激化している。(3) 産業化では、日本で既にバキュロウイルスとカイコで生産されたペット用医薬品が販売され、遺伝子組換えカイコを用いて作られた検査薬や化粧品の実用化も達成している。昆虫培養細胞で生産されたワクチンも米国などで認可されつつある。シルクは再生医療用材料としての有効性が示されている。当該計画は、国内のカイコを利用した研究を基礎から産業化まで包括的に行うものであり、世界の最先端を行くものとなる。

⑤ 実施機関と実施体制

農研機構を中心機関とし、日本蚕糸学会の学術ネットワークを駆使して、カイコ関連の大学や研究機関、企業がオールジャパン体制で研究を実施する。また、日本昆虫科学連合加盟の関連学会や日本シルク学会、日本薬学会等の昆虫研究者との連携により研究を推進し、カイコの新規ユーザーの積極的な開拓と実行組織への取込みを進める。

研究を統括する農研機構には、(1) 遺伝子組換えカイコセンターが既設であり、インセクトテクノロジーの基礎が確立されている。また、カイコ、培養細胞リソースおよびバキュロウイルスについても九州大学、山口大学、東京大学、京都大学、京都工芸繊維大学等の実行組織が中心機関をサポートし、研究計画を立案・遂行する体制が整っている。(2) 東京大学や基礎生物学研究所等と協力して情報基盤の再整備を行うとともに、「インセクトデザイン」に関する円滑な情報共有に対応可能な双方向性学術情報ネットワークの確立を進める。(3) 実用化研究においては、中心機関に加えて、各大学、県の研究機関等が企業と連携しながら進めていく。また、特許・開発戦略、技術移転、広報・教育活動等を円滑に実施するための体制を構築し、研究成果の効率的な社会還元をめざすとともに、医薬品や医療機器の許認可に関わる公的機関などとの連携を強化する。

⑥ 所要経費

総経費 100 億円：【初期投資】20 億（拠点の最先端共用飼育施設、各機関の設備拡充等）、【運用費】8 億×10 年

- ・初期投資：クリーン飼育・実験施設等（10 億）、各機関の機械（次世代型シーケンサー、次世代型質量分析機、高性能イメージングシステム等）・施設（飼育室、実験室、サーバー室等）・コンピューター整備（10 億）
- ・運用費：ゲノム解読・データベース構築（20 億）、各機関（約 20 機関×3 億：人件費（1.5 億）、消耗品・機械整備費・旅費・施設管理費等（1.3 億）、社会還元活動費（0.2 億））

⑦ 年次計画

【平成 28～29 年度】

各拠点整備：医薬品生産用の飼育施設、各機関の機械等整備、事務局設置（研究管理、組換え実験・特許・技術移転・広報等）
昆虫情報データベース構築：カイコゲノム・遺伝子モデル精緻化、突然変異系統の遺伝子型・表現型カタログ、トランスクリプトームデータ（昆虫、昆虫培養細胞、バキュロウイルス）

ゲノム改変技術開発：遺伝子ノックイン法の確立、コンディショナル制御法や人工染色体導入法の開発

産業化基盤研究：市場調査、特許調査、シーズ開発研究（検査薬・医薬品原材料、再生医療用素材、電子材料、毒性試験モデル、ヒト病態モデル、家畜化モデル、害虫モデル、バイオセンサー、宇宙食等）

【平成 30～33 年度】

カイコシステムモデル構築：有用形質のラショナルデザインのための表現型予測モデル構築（培養細胞表現形予測・個体形質予測遺伝子ネットワークモデル等）

昆虫情報データベース高機能化：モデリングシステムとの有機的リンク構築、各種昆虫ゲノム情報の生産とデータベース化

ゲノム改変カイコ開発：各種遺伝子ノックアウト・ノックインカイコの開発、コンディショナルゲノム編集法や人工染色体導入法の確立、組換えタンパク質発現量の飛躍的向上

産業化研究開始：シーズ実用化研究（家畜化遺伝子探索、検査薬等試作、モデルを用いた医薬品シーズ探索、軟骨再生材料・創傷被覆材の臨床研究と治験開始等）

【平成 33～37 年度】

昆虫情報高度化：情報技術の進歩や大量ゲノム情報に対応したシステムの最適化、産業化に利便性の高いツールの公開

産業化研究本格化：実用化のためのカイコ大量飼育と製品化、害虫・天敵昆虫の行動制御、検査薬・化粧品や創傷被覆材の上市、軟骨再生材料の製品化等、数件以上の実用化を達成

⑧ 社会的価値

高機能シルクの生産などの新しい技術を用いた養蚕によってカイコを用いた地域の新しい産業を形成しようとする計画が全国各地で進められている。これまでに蓄積された技術や文化は、新しいカイコ産業の基盤として重要な役割を担うことが期待される。また、遺伝子組換えカイコによる有用物質生産は、民間企業による検査薬原料製造などの事業がすでに始まっている。ワクチンや抗体医薬などを低コストで生産することや、優れた再生医療材料を開発することにより、日本経済の活性化と健康長寿社会の実現に貢献することができる。遺伝子組換え農作物・食品については社会的な受容が大きな課題となっているが、各地の科学イベントや市民講座などでは、遺伝子組換えカイコに対しては期待を寄せる意見の方が多く、新しい技術の社会的受容を高めるための入り口としての役割も大きい。

⑨ 本計画に関する連絡先

池田 素子（名古屋大学大学院生命農学研究科）