

令和2年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(農学・環境学専門調査班) 研究期間延長(新型コロナ対応)分

農学・環境学分野に関する学術研究動向及び学術振 興方策-水環境・水インフラ研究-

松井 佳彦(北海道大学大学院工学研究院・教授)

COVID-19 関連の下水疫学動向: 2019 年 12 月に中国・武漢に端を発した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、世界各地においてヒトの健康や生命のみならず社会経済活動にも甚大な損害を与えている。COVID-19 の病因である新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) の主な伝播経路はヒト-ヒト間での飛沫感染や接触感染であり、気道や肺などの呼吸器が主な感染部位である。ところが、COVID-19 患者の一部には下痢症を含む胃腸炎症状が認められること、SARS-CoV-2 が腸管で増殖する可能性および不顕性感染者を含む SARS-CoV-2 感染者の糞便中からウイルス RNA が検出されることが感染流行の早い段階から報告されていた。環境ウイルス学分野では下水中に感染者の糞便等に由来する SARS-CoV-2 が存在する可能性が着目され、COVID-19 に対する下水疫学調査の有用性を示す研究が活発に展開されている。同時にメディアを通して取り組みが一挙に注目を集めることになった。

学術研究においても存在感が著しい中国における若手研究者の育成状況を調査した。中国の 2008 年の博士号授与者数は 4 万 4,000 人であり、中国が世界最大の博士号授与国となった。2020 年の中国の博士号取得者は 6 万 6,200 人となる。一方では、限られた正規の研究職ポストと増え続ける博士号取得者に直面し、予備雇用制度を導入している。さらに、1 つ長期雇用任期のポジションに複数の予備雇用のポジションを設定し、予備雇用を複数名採用して予備雇用期間中の最も実績があった人 1 名を長期雇用任期として採用するところもある。長期雇用や終身雇用職になった後も、研究業績が収入や待遇に直結することになっている。中国の大学、在職する研究者、それを目指す若手研究者は、日本と比べて激しい競争環境におかれ、依然として厳しい成果主義で評価されている。

農学・環境学分野に関する学術研究動向及び学術振 興方策 -Society5.0 時代に向けた農学・環境学研 究と新たな潮流-

竹山 春子(早稲田大学理工学術院・教授)

農学分野のトレンドや研究動向を調査するに当たり、科研費データベースのキーワード分析から「ゲノム編集技術」、「機能性(植物分子生産)」、「スマート/精密農業」の 3 つの技術に着目して調査に取り組んでいる。「ゲノム編集技術」: 2020 年のノーベル化学賞はゲノム編集技術「CRISPR-Cas9 システム」の基礎研究を行った 2 人の女性科学者に贈られたが、様々な農業分野にゲノム編集技術を利用することで、高付加価値化された農産物の開発が進められている。日本で最初のゲノム編集食品として、2020 年 12 月に「高 GABA トマト」の流通が可能となった。このほか水産分野、畜産分野にもこの流れは及んでいる。「機能性(植物分子生産)」: 近年、健康機能成分を含有する食品への関心がグローバルに高まっており、薬用栄養学産業 (Nutraceutical Industry) と称する産業分野も生まれている。オランダのフードバレーでは、2020 年、食品が健康に及ぼす影響についての臨床試験を行うための施設が設置された。

農学分野の大型研究プロジェクトが積極的に進められている。内閣府が進める SIP 第 2 期「スマートバイオ産業・農業基盤技術」(2018~2023 年度) では、バイオとデジタルの融合によるイノベーションの基盤構築により①「多様化×持続的」な一次生産、②環境負荷の少ない持続的な製造法による素材や資材のバイオ化、③「医療×ヘルスケア」の融合による末永く社会参加できる社会、④データ基盤整備(活用が進まないバイオ関連既存 DB の有効活用化)の実現に貢献するプロジェクトが進められている。また、2020 年度文科省戦略目標「革新的植物分子デザイン」にもとづき、JST 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」における「植物分子の機能と制御」(2020~2024)が進められている。植物分子(植物由来化合物及びその関連遺伝子)を軸として、生体内及び生態系内の生命現象の解明と、その有効利用に資する基礎的知見の創出と革新技術の構築に向けた研究が推進されている。

令和2年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(農学・環境学専門調査班) 研究期間延長(新型コロナ対応)分

森林科学分野に関する学術研究動向－林木育種の新たな潮流と展開－

戸丸 信弘(名古屋大学大学院生命農学研究科・教授)

森林科学分野における国内外の最新の研究例や注目すべき研究例などの動向調査を行った。今回は、前回取り扱った森林遺伝学の応用分野である林木育種について、関連する学術論文等の文献調査、国内外の学会への参加等を通して、近年の学術研究とそれに基づく育種事業の動向や、今後の展望を明らかにすることを目的とした。特にゲノミック選抜(GS)の研究動向に注目した。

林木育種は、交配、選抜(検定)、増殖の育種サイクルの繰り返しによって遺伝的に改良された植栽材料を作り出してきた。しかし、林木では、世代時間が長いだけでなく、形質の評価に非常に長い時間を要するため、育種サイクルは長くなり(通常30年程度)、遺伝的改良のスピードは著しく遅い。2000年代に入って考案されたゲノミック選抜(GS)は、ゲノムワイドな多数のマーカーの全ての遺伝子型を用いて、育種価や遺伝子型値を予測し、その予測値に基づいて選抜を行う手法である。多数のマーカーを利用するため、当初、GSは現実的ではないと考える向きもあったが、次世代シーケンサー(NGS)の登場により多量の一塩基多型(SNP)の遺伝子型が得られるようになり、実現可能な手法となった。GSは家畜の育種で先行し、現在、乳牛や肉牛では交配する雄牛・雌牛の選択にGSが用いられている。作物育種でもGSは広く使われるようになった。林木育種への適用はまだ限られているが、形質評価を行わずに選抜ができるGSの導入効果は大きく、育種サイクルが著しく短縮し、単位時間あたりの遺伝的獲得量が増大すると期待されている。

林木では、2010年代初頭に最初のGSのシミュレーション研究と実証研究が報告され、それ以降、世界的な造林樹種であるユーカリ属、トウヒ属、マツ属樹種を中心にしてGSに関する研究が進められ、これまでに60報以上の論文が公表されていた。対象とされた表現形質は、成長、材質、樹形、パルプ収量、精油含量や組成、病虫害や乾燥などのストレスに対する抵抗性などであった。また、ゲノミック予測のモデル化手法としては様々な手法が用いられてい

た。しかし、ゲノミック予測の精度が必ずしも高くない報告も多かった。ゲノミック選抜の精度を上げるためには、モデル化手法の改良に加えて、マーカー数を増やすためのジェノタイピングシステムのさらなる進歩と、モデル構築のための表現形質データの拡充などが必要であると考えられていた。また、表現形質データの取得では、UAVや地上LiDAR等を用いた高出力な表現型計測(HTP)の利用が求められていた。実用化にはまだ課題が残るが、長い時間を要する林木育種におけるGSの利点は大きいため、今後、その実用化に向けた研究がさらに活発化すると考えられる。

食品科学分野に関する学術研究動向－機能性表示食品制度の妥当性の検証－

上原 万里子(東京農業大学応用生物科学部・教授)

食品には3つの機能があり、その3次機能の「生体調節作用」により生活習慣病などのリスク低減が期待される「機能性食品 Functional Food」は、日本から発信され、世界に広がっている。

機能性食品として特定保健用食品(トクホ)が制度化されて4半世紀以上が過ぎ、2015年に「機能性表示食品」が誕生した。トクホは、安全性評価に加え関与成分の有効性の科学的根拠が強く求められ、申請後には厳しい審査を経て許可までには数年を要するため、研究開発に多額の経費がかかり、申請企業の規模が限られる現状がある。

一方、機能性表示が不可の「いわゆる健康食品」であるサプリメントの市場規模はトクホの倍以上であるが、食品に医薬品と誤認するような表示は不可、しかし、その判断基準の曖昧さのため、行政と販売企業間で問題を繰り返していた。そこで、FDA(米国食品医薬品局)やEFSA(欧州食品安全機関)のように、その科学根拠の明確さに応じた一定の機能性表示が認められている諸外国の状況も鑑み、日本でもトクホ以外に「有効成分」に対して一定の機能性表示を認める新たな制度設計を検討するため、2011年、消費者庁により「食品の機能性評価モデル事業」が開始された。諸外国で一定の評価を有し日本の健康食品市場での売り上げ規模の大きい11成分の評価が実施されたことが「機

令和2年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(農学・環境学専門調査班) 研究期間延長(新型コロナ対応)分

機能性表示食品」の誕生に繋がり、7年後の現在、その届出数は5,000件を超え、トクホ許可数の5倍以上となっている。これは最終製品の臨床試験を必要とせず、関与成分の研究レビューにより消費者庁への届出が可能となるため、中小企業でも取り組みやすいことが理由であるが、トクホと比べ関与成分の科学的根拠が低い。さらに「生鮮食品」も届出が可能であり(世界初)、145件が受理されているが、生鮮食品では四季変動などによる関与成分量の担保が難しいといった問題も危惧されている。しかし、一方で対象を健康域者だけでなく軽症域者に広げる検討が行われ、「健康寿命の延伸」を進める我が国では「機能性表示食品」に期待も寄せられるが、関与成分に関する研究レビューで機能が評価されて届出が受理されるため、その関与成分に関する研究が最先端の知見や手法により行われているかを、今後も検証していくことが重要である。

環境学関連分野における学術研究動向 -学際融合的研究の最近の潮流-

大手 信人(京都大学大学院情報学研究科・教授)

環境学の学術研究は、問題解決を目的としているものが多く、社会からの要請や実践的な成果の還元を企図している事例が多い。特に近年、気候変動に起因する地球規模、地域規模の環境問題への対処、解決に向けた研究プロジェクトのあり方として、社会実装のアプローチを考える上で自然科学と人文社会科学の研究者が協働する必要がある、加えて問題に関与する市民、行政、メディアなどの研究者以外の人々のプロジェクトへの参加の必要性が指摘されている。これまで、自然科学と人文社会科学を融合する研究は学際的研究と呼ばれてきた。さらに上記のように問題の関与者の参画までを企図する研究のことは超学際的研究(Transdisciplinary research)と呼ばれている。

本調査では、こうした環境学に関わる学際的・超学際的研究の活性度を把握することを目的として、いくつかの理系環境学関連学会に参加し、社会科学の要素を含む研究の件数や課題の種類について、最近の状況に関する情報収集を行った。対象として、国内では水文・水資源学会、

日本地球惑星科学連合(Japan Geoscience Union, JpGU)、海外ではアメリカ地球物理学連合(American Geophysical Union, AGU)を選んだ。学会の規模としては、参加者数が1オーダーずつ異なるサンプルであるが、いずれも地球科学・環境科学の関連分野を含む学会である。

日米で、環境問題に直接関わる地球科学のコミュニティで、社会科学との融合によって行われている研究は、件数で見ると全体の5~7%で、まだまだそのウエイトは低いといわざるをえないが、特に各学会が所掌する分野の教育に関する研究がそれら文理融合的研究を特徴付けていることがわかった。

現状、こうした文理融合的な学際研究へのファンディングは、国内外問わず、比較的トップダウン的に組織化されていることが多い。今後、科学研究費補助金事業のようなボトムアップ的な研究提案を組織化する機会の拡充が課題ではないかと考えられた。

木質科学分野に関する学術研究動向 -バイオマス材料科学の展開-

斎藤 幸恵(東京大学大学院農学生命科学研究科・教授)

日本木材学会大会における研究発表の2017年から2021年の過去5年間の動向について調査した。日本木材学会大会は、学産官の木材産業関係者の研鑽、情報交換、親睦により木材産業の発展に寄与する、この分野において重要な会合といえる。2020年の大会は新型コロナウイルス感染拡大の影響により中止されて講演要旨集の発行のみとなった。ただし、2020年は感染拡大前に参加登録が終了していたので、数値に新型コロナウイルス感染拡大の影響はまだ表れてはおらず、実質的な影響はオンライン開催された2021年のみに現れていると考えられる。

参加登録者数について、新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けた2021年には前年比べて1割程度、増加した。参加登録者数はさまざまな要素が影響して回毎に比較的大きく変動するものの、2021年の増加に関しては遠隔地から参加が容易なオンラインの利便性がメリットと受け止められた可能性がある。

令和2年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(農学・環境学専門調査班) 研究期間延長(新型コロナ対応)分

各細目に関して、5年間通じて殆ど大きな変化は見られなかった。ただし、2018年に木質構造(建築)では、2019年に発表件数が例年の1.5倍に増加しており、これはオリンピック開催に伴い中層・大規模木質構造建築物の新設が進んだことを背景に、部材に関連した研究・技術開発が盛んに実施されたことを反映しているものと思われる。

木質科学では、建築用材研究の流れを汲んで昨今は高層建築にも耐え得る新たな技術による進化した建材が開発される一方、化学処理での含有成分のリファイナリによるセルロースナノファイバーはじめとした新素材の研究・開発が進められ、化石資源由来の製品に代わる次世代の素材として注目されている。従来からの基礎研究についても統計的手法やAIなど新しい手法が導入されて連綿として発展しながらも、最新の動きとしては地球温暖化や海洋プラスチック汚染などの環境問題への意識の高まりの中、環境・経済・社会の諸課題への総合的な取組みを伏線とした研究課題が増えていることを感じた。

昆虫科学関連分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—応用研究から基礎研究まで—

仲井 まどか(東京農工大学大学院農学研究院・教授)

新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、2020年度は研究活動の縮小など研究分野にも直接的あるいは間接的な影響が及んだことは間違いない。昆虫学関係の研究報告は、34000報から23000報に減少していた。比較的インパクトファクターの高い一般誌(Nature, Science, Cellの各グループとPNAS)より今年度出版された研究の動向を調べると、昆虫研究分野としては(1)昆虫そのものを扱った分子生物学、進化生態学、(2)昆虫をめぐる生物間相互作用、(3)農業、衛生、侵入害虫の生態および防除手法に関する研究、(4)昆虫の資源とみなした活用、すなわち医学や工学や食糧資源として活用する取り組みについての研究が見られた。

応用昆虫学以外の植物保護や植物病理学の分野でも、植物(宿主)と病原体との相互作用における責任遺伝子が同定され、病気の機構が分子レベルで解明されている。特に、

インパクトの高い雑誌に掲載された研究は、病原側の因子だけでなく、宿主(植物)側の因子まで明らかにしているものが多かった。

2020年度に開催される予定であった国際昆虫学会 International Congress of Entomology(ICE)は、新型コロナウイルス感染拡大の影響で2022年度に開催が延期された。また、国内外の学会も、対面開催は見送られた。2021年3月にオンライン開催された日本応用動物昆虫学会(島根大学)は、大きな混乱なく開催され、有意義であった。

水圏生命科学分野に関する学術研究動向：水圏生物の幹細胞生物学とその養殖利用の潮流と展開

吉崎 悟朗(東京海洋大学学術研究院 海洋生物資源学部門・教授)

幹細胞関連のオンライン学会に参加することで、水圏生命科学分野への展開が期待されそうな研究課題の調査を進めた。まず、マウスを中心とした基礎幹細胞の研究分野では、シングルセルを用いたトランスクリプトーム解析の普及が目立った。クロミウムを中心としたシングルセル解析用のツールが普及したことが大きな要因であるが、このプラットフォームはモデル動物のみならず、多くの水産上重要種にも応用可能な方法論であり、水圏生命科学分野にもたらす効果も大きいと期待された。一方で本アプローチで明らかになっている生理、発生現象は、現段階では限定的であり、細胞分化経路の推定や個々の細胞群のマーカー単離にとどまっている研究が多い印象であった。また、オンラインセミナーを開催することで食資源動物に応用可能な幹細胞研究の新たな動向を調査した。具体的には鳥類や哺乳類の幹細胞操作研究の最先端情報を収集したが、基礎生物学研究と食資源動物研究の有機的なリンクの重要性を再確認させられた。また、基礎生物学分野においてはiPSやES細胞等の細胞操作により配偶子や個体の作出技術が続々と開発、改良されている。これらの研究で用いられている動物種と水圏生命科学分野での対象種は分類群的にも大きく異なるため、後のまま技術移転は困難であろうが、将来的な可能性は大きいものがあると認識した。い

令和2年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(農学・環境学専門調査班) 研究期間延長(新型コロナ対応)分

ずれにせよ、分野横断型の研究グループの立ち上げや分野間の交流の活性化の重要性がますます増すものと思われる。

バイオマス利用・リサイクル分野に関する学術研究動向—バイオマス利用・リサイクルの新たな潮流—

中村 嘉利(徳島大学大学院社会産業理工学研究部・教授)

近年、二酸化炭素濃度の急激な増加に伴う地球温暖化が懸念されているが、森林は二酸化炭素を吸収し、地球温暖化の防止に大きく貢献している。我国の森林は国土の約60%を占め、その面積は人工林1,000万ha、自然林1,300万haで年間成長量1億m³といわれている。その中でも戦後の植林政策により人工林面積はスギでは45%、ヒノキでは25%に達している。植林されたスギやヒノキは成長に伴い、木々の間隔が狭くなるため、健全な成長のためには定期的な間伐が必要である。また、間伐を行わないと地表の土が露出し、木の根を力強く張らすことや水を蓄える力を無くし、洪水、山崩れや倒木のような大災害を引き起す。しかしながら、現状では林業構造的不況の影響から良質の木材を育てるための枝打ちや、下草刈り、間伐等の手入れも行き届かず荒地化しており、活力ある森林環境保全のためにも林地残材や間伐材等のバイオマスを有効利用する方法の開発とそれに伴う新規産業や雇用の創出が望まれているので、バイオマス利活用に関する国内外の学術研究動向を調査し、今後重要となる研究分野についての情報収集を行った。バイオマス有効利用法の開発にあたっては

(1) 使用原料・供給可能量・価格・成分組成・かさ密度・成長速度(ex. ユーカリ 8.2-45.2 t ha⁻¹ year⁻¹, ネピアグラス 23-93 t ha⁻¹ year⁻¹, タケ 42.98-241.7 t ha⁻¹ year⁻¹)、(2) 製造場所(ex. 日本 or 海外, 小規模分散型 or 大規模集中型)、(3) 目的製造品・製造方法・用途・生産量(ex. 燃料(エタノール, メタン, 直接燃焼) or 化成品(非可食性植物度), エネルギー or マテリアル)、(4) 実用化のポイント(EPR: エネルギー利益比, BCR: 費用対効果, LCA: 環境影響評価, EHS: 労働健康安全評価)などについて十分検討された研究が進められており、今後はこれらの点を考慮した(実用化に耐え得る利益創出型)バイ

オマス有効利用法の開発が重要な研究テーマになると考えられる。

農業環境工学および農業情報工学関連分野, 環境動態解析関連分野に関する学術研究動向—農業環境工学, 環境動態解析の新たな潮流—

平野 高司(北海道大学大学院農学研究院・教授)

農業環境工学および農業情報学関連分野は分野横断型の研究領域であり、主に農業生産を研究対象としているが、生態系の保全や環境負荷の低減なども意識した研究が増加してきている。一方、環境動態解析関連分野は、特定の地域から全球までの様々な空間スケールにおける環境の動態を、主に物理学的、化学的手法を用いて解析し、環境問題の実態を明らかにするといった研究が主流である。両分野(小区分)は、それぞれ別の大区分に配置されているが、「環境」を扱うという点で共通する部分がかかなりある。ここでは、全球的に展開されている生態系スケールでの炭素循環(大気-生態系間におけるCO₂・水・熱の交換速度)観測ネットワークの展開と、ネットワーク研究における新たな潮流について報告する。

渦相関法は、陸域生態系と大気との間のガス状物質(主にCO₂)やエネルギーの交換速度(フラックス)を連続観測する標準的な方法である。1990年代以降、地球規模での炭素循環に及ぼす陸域生態系の役割などの観点から、CO₂フラックスに重点を置いた長期にわたる観測(モニタリング)研究が森林を中心とした様々な生態系において実施されるようになった。観測サイトが増えるにしたがってネットワーク化が進み、1998年に世界規模のフラックス観測研究ネットワーク(FLUXNET; <https://fluxnet.org/>)が設立された。全球をほぼカバーするFLUXNETは、地球規模のCO₂収支を評価する研究に活用されている。例えば、衛星リモートセンシングのデータとグリッド気象データを用いた機械学習を行い、全球規模で総一次生産と純生態系CO₂交換を推定する(FLUXCOM)とともに、大気CO₂濃度データからの逆解析(インバース法)、太陽光誘起クロロフィル蛍光(SIF)および様々な動的全球植生モデル(DGV

令和2年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(農学・環境学専門調査班) 研究期間延長(新型コロナ対応)分

M) による推定結果との比較を行い、FLUXCOMの精度検証が行われている。気候変動や気象の極端現象への生態系の応答に関するフラックスデータの統合解析も多くなってきている。

獣医学関連分野に関する学術研究動向」に関する調査研究 — 臨床獣医学研究の新たな潮流としての獣医再生医学・医療の展開 —

三角 一浩 (鹿児島大学大学院共同獣医学研究科・教授)

獣医学分野では、アカデミアが中心であった再生・細胞療法学会が、獣医臨床医が中心に作られていた日本獣医再生医療学会に合流して、日本獣医再生医療学会が立ち上がった。再生医療を自由診療としての提供を見直し、学会では「犬及び猫における再生医療及び細胞療法諸安全性確保に関する指針」であるガイドラインを設定し普及を進めている。動物再生医療推進協議会では、動物再生医療における臨床応用の適切な推進・普及のために、動物再生医療に関わる全ての関係者が自由に意見交換し、協力して、再生医療の実用化と適切な普及を強く推進していくために、動物再生医療の研究推進及び実用化戦略並びに諸課題に対する提言や解決への行動、動物再生医療に関わる国内外の関係者との交流及び提携を進めている。

犬のiPS細胞の樹立には、複数の研究機関が成功を報告しているが、我が国では、実際の臨床応用を見据えての課題解消に取組み、ウイルスベクターを使用することなく遺伝子導入を行い、フィーダーレスによる細胞培養を世界に先駆けて実現している。動物の体性幹細胞に関する基礎研究では、サイトカインやエクソソーム治療に注視して、獣医療における治療根拠が明らかにされている。日本科学技術振興機構の社会還元加速プログラムに採択され、獣医初の再生ベンチャー立ち上げ計画が進んでいる。イヌiPS細胞の技術を使うことで疾患犬のiPS細胞を作出し、それを利用したドナーレス製薬にも道が拓ける。また国内動薬企業が開発したイヌ間葉系幹細胞製品は大量生産のために大量の脂肪組織が必要になるが、イヌiPS細胞技術を使ってMSCを創るという一つの戦略も出てきた。これはドナー削減という動物愛護上の観点からも望ましい。犬や猫は、人と類似の疾患を自然発症し治療を受ける。これら動物の

細胞治療の知見は、人医学とも共有・活用できるトランスレーショナル研究としての有用性が支持されてきたが、これに止まらず、動物における再生医療の進歩が人の再生医療を超えてくる可能性が出てきた。