

理化学研究所 環境資源科学研究センター

2023 年アドバイザー・カウンスル 報告書

(仮訳)

環境資源科学研究センター アドバイザリー・カウンスル (CSRSAC)

理化学研究所、横浜、2023 年 8 月 8 日～10 日

理化学研究所 環境資源科学研究センター アドバイザリー・カウンシル (CSRSAC) の会議が 2023 年 8 月 8 日～10 日に理化学研究所 横浜キャンパスにおいて開催された。本書は、CSRS の現時点の活動と今後の目標に関する包括的な報告と議論 (ホワイトペーパー)、6 つのフラッグシッププロジェクトのプレゼンテーション、研究室主宰者 (PI) による研究プレゼンテーションをもとに CSRSAC が行った評価と提言をまとめたものである。

CSRS2023 委員一覧

Wilhelm Gruissem 博士 (議長、植物生物学、バイオテクノロジー)
スイス連邦工科大学チューリッヒ校教授、国立中興大学 (台湾) Yushan Scholar (玉山學者)

有本博一博士 (有機化学)
東北大学大学院生命科学研究科教授

Cathleen Crudden 博士 (触媒・材料化学)
カナダ・クィーンズ大学化学部教授

Dirk Inzé 博士 (植物発生・システムバイオロジー)
ゲント大学植物システムバイオロジーセンター (ベルギー) 教授、センター長

金井求博士 (有機合成化学)
東京大学大学院薬学系研究科教授

経塚淳子博士 (植物生理学、発生生物学)
東北大学大学院生命科学研究科教授

James C. Liao 博士 (合成生物学、代謝工学)
台湾中央研究院院長

及川英秋博士 (生物有機化学)
五邑大学バイオテクノロジー・ヘルスサイエンス部 (中国) 教授

Kirsi-Marja Oksman-Caldentey 博士 (合成生物学、工業バイオテクノロジー)
VTT 技術研究センター (フィンランド) シニアアドバイザー

Anne Osbourn 博士 (合成生物学)
ジョン・イネス研究所 (英国) グループリーダー

澤本光男博士 (高分子化学・合成)
中部大学先端研究センター特任教授

杉野目道紀博士 (有機金属・合成・高分子化学)
京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻教授

概要

2019年に行われた前回の CSRSAC による評価以降も、理化学研究所の環境資源科学研究センター（CSRS）は、植物科学、化学、ケミカルバイオロジーにおける卓越した業績の積み重ねにより、これらの分野を牽引する国際的リーダーとしての地位を確固たるものとしてきた。5つのフラッグシッププロジェクトと先端技術プラットフォームは着実に成果を生み出しており、基礎研究および応用研究から得られた先駆的な研究結果が一流の国際論文誌に絶え間なく掲載されている。CSRS は、透明性の高い運営・管理プロセスを築き上げ、戦略的プランの策定に若手研究員を参加させることに大きな前進を成し遂げた。今後は、「環境資源科学」という命題のもとでフラッグシッププロジェクトの統合をはかり、クリーンな再生可能エネルギーとフードセキュリティを中心に、「持続的生物生産」、「物質循環と触媒」、「共生・環境」に焦点を当てていく予定である。これらのプロジェクトを、理研が進める最先端研究プラットフォーム連携（TRIP）構想に沿って推進することで、社会のために国内外にインパクトを与える研究を加速させていく。このような流れに加えて、当面の間新規雇用を行うことによって、CSRS の戦略的方向性の拡大や各研究グループのクリティカルマスの強化を行いながら CSRS の研究ポートフォリオの評価・見直しを行ったり、研究リーダーやスタッフのジェンダーバランスと国際的多様性を図ったりする貴重な機会も得られる。それに伴い CSRS と理研は、これまでの常識を覆すような画期的な研究・開発を国内外で推進する、欠くことのできない科学技術ハブとして存続し続けることだろう。

総評ならびに提言

CSRS は、2013年に理研の植物科学、ケミカルバイオロジー、化学触媒、ポリマー研究プログラムを統合して発足した。それ以来、植物・微生物研究とケミカルバイオロジー、化学触媒、高分子科学を融合した世界をリードする独自性の高い研究センターとしての地位を築き上げ、異分野間の革新的な相互作用と分野の垣根を超えた卓越した最先端研究を推進してきた。2019年の前回の CSRSAC 評価から4年間、斉藤和季センター長は苦難であった COVID-19 パンデミック期間中や、難しい人事上の決断を余儀なくされた新雇用制度の導入時もほぼ横ばいのセンター予算をやりくりしながら、CSRS の研究業績とイノベーションを最高レベルに保つために惜しまぬ努力を尽くしてきた。アドバイザー・カウンシルは、このような困難に直面しながらも、CSRS の研究者らが一流誌に掲載されるような最先端の新しい研究成果を挙げ続けてきたことに感銘を受けている。現在も優れた論文が数多く発表されており、化学と生物学の境界で躍進する研究機関として CSRS の国際的知名度を揺るぎないものとしている。また、「環境資源科学」に焦点をあてたセンターの今後の方向性を明確にしていくという点でも、五神真理事長のもとで展開されている理研の TRIP 事業と CSRS の研究活動を戦略的に統合していくという点でも、斉藤センター長は堂々たる進展を成し遂げてきた。

2019年にアドバイザー・カウンシルが行った提言に対する CSRS の対応は、包括的で素晴らしく、かつ非常に有用であったといえる。CSRS と産業界間の交流や橋渡しの研究は確実に増えている。また、起業家精神旺盛な若手研究者によって CSRS の研究から派生したスタートアップ事業が3件立ち上げられたことも称賛に値する。斉藤センター長は意思決定プロセスに若手 PI の声を積極的に取り入れており、若手 PI に自らの研究だけでなく CSRS の新規研究の方向性に関する戦略的プランの立案や実現にも責任をもって関わる機会を提供するという意味で、これは大いに歓迎すべきカルチャー変革といえよう。このような変化によって、センター内の同僚意識や社会交流が目に見えて向上したことも指摘したい。さらに、フラッグシッププロジェクト間の相乗効果や連携の構築に向けた取り組みも研究者の間で活発化しており、今後さらに積極的に推し進めていきたい前向きな展開であ

る。CSRS は社会との対話実績を確実に積み上げてきた。このような対話は、持続可能な社会の実現を目指した研究について一般社会に情報を発信して支持を得るうえで重要な鍵を握るだろう。また、リーダーシップ職に女性研究員を起用して彼女らのキャリア形成を促す努力を続けていることも評価できる。ただし、これまでの報告書でも提言しているように、中期的に妥当といえるジェンダーバランスを達成するには、これまで以上の革新的アプローチと組織的・社会的な支援体制の整備が必要であろう。CSRS は、アドバイザー・カウンシルが提案した慈善的活動のための資金集めを開始して一定の成果をあげている。研究プロジェクトやキャリア育成を支援するための寄付はまだ件数も少なく少額であるが、特に社会に貢献する「環境資源科学」という観点から、CSRS（および理研全体）が慈善事業への取り組みと寄付・支援者の開拓を継続していくことをアドバイザー・カウンシルは奨励したい。

斉藤センター長からは、CSRS のフラッグシッププロジェクトについて評価し、これらの研究が「環境資源科学」の確立に寄与できているかどうか、さらには最終的に持続可能な社会の実現につながり得るかどうかを評価するよう依頼されている（諮問事項 4）。以下に、各フラッグシッププロジェクトに対するアドバイザー・カウンシルの所感をまとめ、適宜、提言を示していきたい。

革新的植物バイオ

革新的植物バイオ・フラッグシッププロジェクトにおける優れた基礎研究のほとんどが、モデル植物としてシロイヌナズナに焦点を当てている。これは、旧植物科学研究センターからの研究者が多いことを考えると想定内ともいえるが、世界の食料生産の要といえる作物植物に重きを置いた視点が、ごく少数の例外を除き、まだ十分とはいえない。革新的植物バイオ・フラッグシッププロジェクトは創造的な将来性と科学的精密性を兼ね備えたプロジェクトであり、基礎研究の成果をより迅速かつ効率的に作物植物に発展させることによって国内外に経済的・社会的価値を創出できると確信している。理研は国内最高峰の基礎研究に関わる機関であり、CSRS の植物科学者には政策的な指示による制限もあるかもしれない（すなわち、国内の応用作物研究は農林水産省や国立機関の範疇にある）。そのため CSRS の植物科学者は、国内そして国際的な農業機関や科学者らとの戦略的アライアンスを構築する努力を継続・拡大して、作物植物に関する研究と応用を加速させていかなければならない。また、他の CSRS フラッグシッププロジェクトとの交流や連携を強化して、作物植物に恩恵をもたらす橋渡しの研究をどのように加速させることができるのかについて、その好機を探索することもアドバイザー・カウンシルは奨励したい。

共生・環境ソリューションズ

この重要な新規フラッグシッププロジェクトは、ほぼ未開拓の研究領域ともいえる、植物（主に根圏の根）に共生する真菌や細菌に焦点を当てている。ストレプトスポランジウム（*Streptosporangium* sp.）に属する AEG048 が複数の被験植物のなかでアブラナ科植物（キャベツなど）の根との共生相互作用によってのみスポロブロンを産生するという発見は、その好例である。スポロブロンは、多剤耐性病原菌に抗菌活性を示す新しいタイプの抗生物質であり、多剤耐性グラム陽性菌や多剤耐性グラム陰性菌による感染患者の治療薬として早急な必要性に迫られている。現在スポロブロンは開発・治験のための創薬・医療技術基盤連携部門に移せる状態にあり、これは CSRS のフラッグシッププロジェクト間における素晴らしい相乗効果の一例といえる。また最近では、PacBio 社のロングリード DNA シークエンシング技術を用いたイネ葉圏マイクロバイオームのメタゲノム解析によって、イネ葉に関連した細菌種の 80%が新規種であることが判明している。本フラッグシッププロジェクトに携

わっている研究者には、他の CSRS フラッグシッププロジェクトとの戦略的な連携や相乗的な交流をこれまで以上に拡大して、植物マイクロバイオームに関する発見の計り知れない可能性を余すことなく引き出し、臨床研究や農業研究への応用を加速させていって欲しい。

代謝ゲノムエンジニアリング

理研は微生物のゲノムエンジニアリングに対する強力なプラットフォームと分析能力を備えているが、植物については、より複雑な代謝ゆえの大きな壁が依然として立ちはだかつており、同レベルのバイオエンジニアリングの取り組みができていない。アドバイザー・カウンシルは、人工知能（AI）を活用した細菌の新規合成代謝経路の構築に感銘を受けている。新しい酵素の設計によって生産量を何倍にも増やすことができると考えられるマレイン酸の生産プロセスは、代謝ゲノムエンジニアリングの将来的な有望性を示す好例だろう。また、数十億ドルの国際市場を誇るブタジエンの生産についても、同じようにAIを活用した合成代謝経路の構築に大きな期待が寄せられる。しかし現段階では、これらの技術が「環境資源科学」に不可欠な要素となるには、細菌による付加価値の高いファインケミカルの生産が十分な規模にスケールアップ可能であり、従来の工程よりも費用対効果の高い生産プロセスとなり得ることを実証することが重要である。植物由来のカンプトテシンや微生物由来のパーティシラクタムのような既知または新規の特異的代謝産物のバイオ生産も同じく期待がもてるが、場合によっては特異的代謝産物の合成に必要な中間代謝物を得るために一次代謝の最適化が必要となることもある。アドバイザー・カウンシルは、付加価値の高い化合物の大規模生産を推進させるために、細菌代謝エンジニアリングに既に携わっている企業と手を組むことを CSRS に奨励したい。また、既存ならびに新興のゲノム編集技術を活用することでも、特異的代謝産物や脂質を合成する既存の植物代謝経路のエンジニアリングに飛躍的な進歩をもたらすことができるだろう。将来的に、代謝ゲノムエンジニアリングが持続可能な資源の活用に大きく貢献することを我々は確信している。

先進触媒機能エンジニアリング

化石燃料に依存した化学物質の製造から脱却するには、再生可能な天然資源からこれらを合成できる効率的で安定かつ費用対効果の高い触媒が大きな鍵を握る。アドバイザー・カウンシルは、先進触媒機能エンジニアリング・フラッグシッププロジェクトが成し遂げてきた、温和な温度条件下で窒素や二酸化炭素の化学反応を促す画期的な触媒開発における数々の功績に感銘を受けている。その一方で、これらの新規触媒を生産工程上で利用することに商業価値が見込める注目度の高い化合物が業界に既に存在する可能性はあるものの、一見しただけでは触媒反応で得られる最終生成物の有用性が見出せなかった。同様に、現在 CSRS はグリーン水素の製造を効率的に促す触媒反応の研究におけるグローバルリーダーの立場にあり、当該分野の一流専門誌に論文も掲載されているが、この画期的な触媒が代替燃料としての水素の大規模工業製造に直ちに活かせるかどうかははっきりしない。本フラッグシッププロジェクトは、新規試薬や、ファインケミカル、機能性材料の合成に役立つ触媒を他にもいくつか開発しており、一部はすでに商品化にこぎつけている。総合的に判断して、CSRS は、カーボンニュートラルな社会実現の鍵を握る新規触媒の開発分野において間違いなくリーダー的存在といえる。

新機能性ポリマー

現在、前例のない大規模生産スケール（年間3億トン）で製造され、化石石油資源を原料とするポリマーは、陸地や海洋を汚染し、我々人間や動物の生活に多大な影響を及ぼしている。すなわち、高強度でありながら生分解性ポリマーの合成は「環境資源科学」にとって鍵ともいえるだろう。CSRSの研究者らは、産業界に革命をもたらし得るような、自己修復性を有する超高強度機能性ポリオレフィンの合成に成功している。他にも、商業的な期待がもてる新規ポリマーの例として、バイオマス由来のアクリル樹脂や、フェノール化合物レゾルシノールからの半芳香族ポリエステル合成が挙げられる。産業界はこれらの新規ポリマーに関心を示しているものの、商用を目指した開発や生産への投資を決める前には、事前評価や試験のためにキログラム単位のポリマーを必要とすることが多い。理研には新規ポリマーを大規模スケールで合成できる設備がなく、これが、ポリマー合成の商用開発や再生不能資源の削減に向けた業界への技術移転の妨げとなっている。アドバイザー・カウンシルは、研究チームと業界間の技術移転のギャップを埋めることができるようなパイロット的なプラント施設の建設を検討することを理研上層部に奨励したい。あるいは、新規ポリマー合成のスケールアップに協力して取り組むなど、パイロットスケールでの生産設備を有する企業と研究者らがタッグを組むことも検討してみるとよい。CSRSが他を牽引する立場にあるもうひとつの重要な先端研究として、絹のような素材の創製に必要なシルク様タンパクポリマーの合成原料であるペプチドポリマーの細菌バイオ生産がある。アドバイザー・カウンシルは、この研究を加速させるとともに、再生可能資源から合成する新規ポリマーがいかんして持続可能な社会に貢献できるかを一般社会にしっかりと説明することを奨励する。また、前回のAC会議で提言したように、海洋分解性ポリマーの開発も等しく重要であり、その開発を奨励する。ただし、新しい生分解性ポリマーが将来的に利用可能になったからといって、環境に長期間の影響を及ぼす現代のプラスチック問題が解決されるわけではないので、一般の人々との対話には十分な注意が必要である。

先端技術プラットフォーム

CSRSは、横浜キャンパスと和光キャンパスの素晴らしい設備基盤と技術基盤に加えて、横断的な情報基盤を構築してきた。これらの先端技術プラットフォームは、フラッグシッププロジェクトの研究者はもちろんのこと他の理研研究者や国内研究機関の研究も支えており、メタボロミクス研究、植物ホルモン解析、植物表現型解析、顕微鏡イメージングに必要な各種装置や最先端技術を提供している。CSRSの設備基盤が生み出す影響は産業界との数々の連携・コラボレーションにも発展しており、産業界はプラットフォーム研究者の技術的専門知識を高く評価している。設備基盤や技術基盤は「環境資源科学」に直接貢献するものではないが、持続可能な社会の達成に不可欠な研究を推進していることをアドバイザー・カウンシルは高く評価する。

創薬・医療技術基盤連携部門

創薬・医療技術基盤連携部門はフラッグシッププロジェクトには属していないCSRS関連組織であり、理研本体から直接予算が当てられている。創薬・医療技術基盤連携部門に関する研究では、既存の医薬品や治療法では対処できないメディカルニーズに応えることを目的とした、創薬ターゲットと各種モダリティを掛け合わせた創薬技術に焦点が当てられている。ただし、創薬ターゲットの優先順位を誰が決めているのかはアドバイザー・カウンシル側で把握できなかった。創薬・医療技術基盤連携部門のために理研の研究者から複数のターゲット候補が提示されているが、十分なバリデーションが行われていないものが多々あることから、ヒット化合物のスクリーニングやその後のバリデー

ションが資源集約的でリスクの高い作業になってしまっている。創薬・医療技術基盤連携部門の研究者らは現在、データサイエンティストと協力してAIを活用したターゲット候補の選定に取り組んでいる。これは、理研上層部が主導している最先端研究プラットフォーム連携（TRIP）構想の開発や取り組みと密接に連携している。このような研究者の努力は、人における抗がん剤や、鎌状赤血球症、ミトコンドリア病の治療薬につながるかもしれない候補化合物の特定という形で実を結んでいる。結果として、研究者らは創薬初期段階から製薬業界との協力関係を築くことができたが、同時に理研の既存特許のライセンス（実施権の許諾）交渉が難しくなっていることが確認された。創薬・医療技術基盤連携部門が理研の基礎研究・開発にとって重要な資産であることは明らかであるが、CSRSが掲げる「環境資源科学」というテーマにどのように寄与できるのかについては疑問が残る。また、創薬・医療技術基盤連携部門の研究者には、製薬業界が開発にこの足を踏んでいる希少疾患に焦点をあてることも奨励したい。この領域は他ほど競争が激しくなく、おそらく上市までの道のりも短いだろう。

アドバイザー・カウンシルは、創薬・医療技術基盤連携部門のケミカルバイオロジー分野に対して、CSRS・理研の研究者が化合物ライブラリーのスクリーニングを行えるよう支援することに加えて、独自の研究活動を増やすことを提案する。近々予定されている定年退職を考慮すると、ケミカルバイオロジー分野の将来はやや不透明といえる。近年の若手研究員の雇用によって、化合物スクリーニングプラットフォームがこれまでに築き上げてきた遺産をある程度継続・維持できることにアドバイザー・カウンシルも異論はないが、ケミカルバイオロジーの研究を加速させ、この重要なプラットフォームから最大の利益を引き出すためにも、「環境資源科学」の概念にケミカルバイオロジー分野をどのように統合させていくのが最善であるかをCSRSは見定める必要がある。

CSRS フラッグシッププロジェクトと環境資源科学および TRIP との融合

共生・環境ソリューションズを除いたフラッグシッププロジェクトは、理研上層部が開発した TRIP 構想を将来計画、マイルストーン、目標に組み入れたり、言及していない。また、CSRS 上層部が打ち出した「環境資源科学」のコンセプトについても同様のことがいえる。CSRS にとっては、TRIP 構想の枠内から見た「環境資源科学」の中核ミッションを明確に掲げて、これまでの CSRS のミッションと新しいミッションがどのように異なるかをはっきりと示すべき時がきたと考える。アドバイザー・カウンシルは、植物ホルモンやストレスバイオロジー、触媒化学といった CSRS が既に世界を牽引している研究分野や、適切な経済的支援とインフラ支援が整えば CSRS がグローバルプレイヤーとなり得る研究分野を明確に位置付けることを提言する。また、持続可能性に貢献していくうえで、TRIP 構想がいかに CSRS の研究を世界でも類をみない独自の研究たらしめることができるかを説明することも重要だろう。齊藤センター長が示した次期中長期計画のための戦略的プログラムは、「グローバルコモンズーひとつの地球」への貢献を目指して「環境資源科学」と TRIP を融合させるものである。この新しい戦略的プログラムは、現行のフラッグシッププロジェクトを統合して、クリーンな再生可能エネルギーとフードセキュリティを中心に、「持続的生物生産」、「物質循環と触媒」、「共生・環境」に焦点を当てている。創薬・医療技術基盤連携部門がこの新しい CSRS 戦略的プログラムにどのように適合するかはやや不明瞭であるが、本部門が理研にとって価値ある研究プラットフォームであることに疑いの余地はない。TRIP 構想と先端技術プラットフォームは「環境資源科学」にとって不可欠な要素である。アドバイザー・カウンシルは、この新しい戦略的プログラムが、国連の「持続可能な開発目標（SDGs）」を指標としながら、持続可能な社会のために十分かつ有用な生産性の確保と産業や農業による環境負荷の低減を同時に達成していくことを目指し、それに求められる科学原則や科学技術の開発をしっかりと正面に見据えたプログラムであることに異論はな

い。なお、最近国連は、CSRS がターゲットとしている SDGs を含め SDGs 全体が危機的な状態にあり、目標達成に向けて早急に対策を講じなければ、どの SDGs についても世界は取り返しのつかない大きな失態を犯すリスクがあると警笛を鳴らしている (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2023/07/press-release-world-risks-big-misses-across-the-sustainable-development-goals-unless-measures-to-accelerate-implementation-are-taken-un-warns/>)。焦点を練り直した CSRS の新しい戦略的プログラムは時宜を得たものといえるが、なぜ SDGs が当初予定していた 2030 年までに達成できそうにないのか、その理由をいま一度振り返ってみる必要があるだろう。歴史的に理研の研究はボトムアップ方式であったが、現在は、国際的なインパクトを与えるような先駆的な環境資源科学研究を推進していくために、TRIP 構想とともに異分野を統合していく方向に舵を切っている。アドバイザー・カウンシルは、社会の利益を念頭においた異分野統合が実現できるとしたら、日本でしか成功はありえないと確信している。CSRS は、異分野統合によって相乗効果を発揮できる先端研究を推進し、SDGs の達成に貢献できるインパクトの大きな研究成果を創出できる絶好の位置にいる。

CSRS 研究者との議論のなかで、アドバイザー・カウンシルは TRIP がまだ新しい概念であることを認識した。TRIP が成功するか否かは、部分的に文部科学省 (MEXT) からの予算に左右されるだろう。TRIP のように細部まで練られた革新的な戦略的プログラムは、異なる科学分野から大量のデータを統合することが最終的に地球規模の課題に対する科学的解決策の予測にどのようにつながるのかを説明できる。地球規模の課題に対する科学的解決策を見出すことこそが政策決定の中心であることを考えると、TRIP 概念が理研や「環境資源科学」に対する財政的拠出を増やすよう政府関係者や各種省庁を説得できるとアドバイザー・カウンシルは確信している。TRIP 構想の背景にある理論的根拠は、大量の情報を基盤にしている人工知能 (AI) アルゴリズムを用いた ChatGPT と同じように考えることができる。AI は予測はできても説明はできない。AI は研究 (特に、環境の複雑性を理解し管理するための研究) を加速させる新しい理論を打ち立てるには、大量のデータセットに加えてシミュレーションとモデリングがどうしても必要になる。CSRS の研究者は、自らの研究プロジェクトにおけるデータ統合の価値と生態学の役割、すなわち、微生物、化学物質、代謝経路、環境要因等に関してより多くの情報を取得して、これらの情報を自身の基礎研究や応用研究に融合させていく必要があることを理解している。

今後の CSRS 研究計画およびセンターの運営

斉藤センター長からは、今後の研究計画とセンター運営に関する総評と提言も求められている (諮問事項 6)。前述のように、斉藤センター長から示された CSRS の次期中長期計画用の戦略的プログラムでは、既存のフラッグシッププロジェクトを TRIP 構想に沿って「環境資源科学」に統合させていく。アドバイザー・カウンシルはこの新しい戦略的プログラムを強く支持し、理研上層部も CSRS の全研究者も本プログラムをサポートし、実現に向けて積極的に尽力することを奨励する。

CSRS の科学業績は素晴らしく、それは何年にもわたる高頻度被引用 CSRS 研究者の印象的な数に反映されている。それでも、個々の研究グループのクリティカルマスを高めるために一体何ができるかを検討してみることを提言したい。研究グループの多くは規模が小さく、かつ理研からの横ばいの予算や国内で調達可能な限られた外部資金源により活動に制約がある。アドバイザー・カウンシルは、長期的には、研究内容につながりがある小規模グループをより大きな研究グループに統合していくことを提言する。今後予定されている定年退職と指導的研究ポジションの公募を通して、「環境資源科学」の概念と TRIP 構想に沿った「持続的生物生産」「共生・環境」「物質循環と触媒」プログ

ラムの方向性を形成・強化していく好機が生まれるだろう。CSRS の科学研究が大きく左右されると思われることから、今後 2~3 年間の採用計画は戦略的によく練られなければならない。CSRS の研究はおおむねボトムアップ方式をとっているが、ミッションに基づいた共同研究プロジェクトや応用研究プロジェクトにも戦略的に予算配分できるようにしておくべきである。例えば、現在進行中の窒素触媒と固定化に関する複数の CSRS 研究プロジェクトは、環境問題の解決に向けてインパクトの大きな先駆的研究を推進させるために、分野の異なる個々のグループ間で新しい戦略的協力関係をどのように構築していけばかよいかを示す好例といえる。

CSRS が築き上げてきた先端技術プラットフォームは素晴らしいものであり、理研内はもちろん全国の研究機関でインパクトの大きな基礎研究の支持基盤となっている。アドバイザー・カウンシルは、最先端設備と専門的な技術支援要員を擁するこの先端技術プラットフォームの強みを今後も維持していくよう提言する。一方で、横浜キャンパスの温室スペースの不足や、新規バイオポリマーの生産量を工業試験用にスケールアップできないなど、インフラ面でのいくつかの弱点が、「環境資源科学」と TRIP 構想をベースとして CSRS の基礎研究成果を有望な用途に速やかに応用・橋渡しするのを阻み続けている。アドバイザー・カウンシルは、理研上層部や政府関係者との議論のためにも最適な研究支援提供に向けた包括的なインフラ計画の策定を CSRS に提言する。

先端技術プラットフォームによって生み出される大量のデータを考えると、計算生物学に関する専門性が CSRS にはまだ十分に揃っていないように思える。理研には素晴らしい計算インフラが整っており、CSRS の研究者と理研の計算科学専門家の間にさらに綿密なネットワークを作ることで CSRS のデータ分析能力を強化できるだろう。もちろん将来的には、TRIP 構想が思い描いているように、AI を活用した研究分野や学術領域の枠を超えたデータ統合が「環境資源科学」に関する研究推進の鍵となるだろうと思われ、上記のようなネットワーク作りだけでは十分にこれに対応できない。アドバイザー・カウンシルは、例えば、生物学的研究と AI を駆使した研究の間の架け橋となれるような専門家を雇用するなど、CSRS の研究をどのようにして理研の計算インフラと連携させていくのが良いかを明確に示した戦略的プランを立てることを CSRS に提言する。

CRISPR-Cas や他の部位特異的ヌクレアーゼを用いたゲノム編集技術の急速な台頭によって、持続可能な社会にとって乗り越えなければならない重要な課題である人間の健康とフードセキュリティを確保できるような、環境ストレスに対する耐性が強く、収穫量が高く、かつ栄養価の高い新しい作物品種を開発できる未曾有のチャンスが生まれている。アドバイザー・カウンシルは、CSRS の植物研究ポートフォリオには、他の植物・作物研究機関と比較して、ゲノム編集アプローチがまだ十分に活用されていないと考える。CSRS の研究者らには、シロイヌナズナを対象とした自らの卓越した研究を、日本や他の多くの国で既に規制緩和されている（つまり、遺伝子組換え GMO とはみなされない）部位特異的ヌクレアーゼ 1 (SDN1) 型の編集や、近い将来に規制緩和されると考えられている SDN2 型の編集を巧みに活用した作物の改良により速やかに橋渡しできる方法を検討してもらいたい。

既に述べたように、アドバイザー・カウンシルは、斉藤センター長が CSRS の研究者、とりわけ若手研究員を意思決定プロセスに参加させていることを高く評価している。今後も、あらゆる運営管理・財務プロセスの透明性を確保し、研究者間の協力体制や社会的相互作用の強化を続けていくことを提案する。斉藤センター長が導入した新しいカルチャーが、優れた科学業績と国際的なリーダーシップを生み出す最良のレシピであることに疑いの余地はない。これまでの AC 報告書でも提言してきたように、CSRS は国際的な活動と日欧米間の研究者の交流を促す取り組みを増やすべきであり、

さらに、現在は一部に過ぎない CSRS と理研の研究者の国際的な多様性を外国人研究員の雇用によって広げていくことも必要である。アドバイザー・カウンシルは、国際的な活動を促すことは、横ばい状態が続く CSRS と理研の予算を補う、国際的な資金調達にも役立つと確信している。

諮問事項 1：2019 年 AC 提言への対応についての評価

2019 年 AC 提言に対する CSRS の回答は、物理的な距離の問題が続いているにもかかわらず、異分野にまたがる研究開発の統合を更に強化する上で、包括的で素晴らしく、非常に有用であった。CSRS は橋渡しの研究を拡大し、産業界との共同研究や交流を深め、先駆的な研究努力から生まれたスタートアップ企業を立ち上げた。これは非常に良いスタートであり、環境資源科学を加速させるために重要である。戦略的計画と意思決定プロセスに若手 PI が効果的かつ生産的に関与することは、透明性を確立し、コミュニティ形成を促進する非常に建設的なカルチャー変革である。フラッグシッププロジェクト内およびフラッグシッププロジェクト間の相乗効果を生み出す取り組みの増加は、前向きで歓迎すべき進展である。CSRS は、地球資源の持続可能な利用のための研究活動の進展と利益について、社会との対話をしっかりと確立しており、これは研究開発努力に対するパブリック・アクセプタンス（社会的受容性）を維持するのに役立っている。指導的地位に女性科学者を採用し、ジェンダーバランスを達成することは依然として課題であり、この目標を達成するためにはさらなる努力が必要である。CSRS は、特に次世代の科学者の育成のために、減少しつつある資金の補完に切実に必要とされる寄付金の調達に成功した。

諮問事項 2：センターの SWOT 分析に基づく第 4 期中長期計画期間中（2018 年度～2024 年度）の運営と研究開発についての評価

【強み (S)】

CSRS はユニークかつ十分に機能しているセンターで、目覚ましい科学的成果を上げ、世界的に認識されている持続可能な世界のための解決策に関する先駆的な研究成果を生み出している。しかし、賞賛に値する運営上の功績に主眼を置いた強みに関する自己認識はあまりにも控えめで、現在進行中の優れた研究を十分に反映していない。CSRS のリーダーシップは、より包括的で統合された研究コミュニティを構築し、有能な PI を採用し、橋渡しの活動を加速させることで、大きな前進を成し遂げた。

【弱み (W)】

CSRS の研究室が 2 つのキャンパスに物理的に分かれていることや、その他の運営上の問題に焦点を当てることは、重要かつ継続的な課題に対処するものであるが、CSRS における研究を戦略的に更に強化する方策を理解する助けにはならない。今後、優秀な若手研究者の戦略的な採用を通じて、環境資源科学の目標達成に不可欠な CSRS における科学研究活動の足りない部分を特定しなければならない。

【機会 (O)】

持続可能な開発目標の対外的な評価に焦点を当てることは重要である。しかし、CSRS の科学、技術、多分野にまたがる強みも、特に理研の他の学問分野や技術力と組み合わせることで、非常に大きなチャンスを生むであろう。このことはもっと肯定的かつ明確に述べられるべきである。

【脅威 (T)】

世界を持続可能なものにするために解決すべき世界的な課題を、科学が認識しそれに取り組むようになるにつれ、CSRS は国際的な競争の激化に直面している。研究資金の安定性は、環境資源科学の目標を達成する上での懸念事項である。しかし、社会や政府にとって重大な関心事である野心的で優先順位の高い研究の方向性を打ち出すこともまた必要である。

諮問事項 3：第 5 期中長期計画期間（2025 年度～2031 年度）の方針の評価と実施・推進すべき運営と研究開発の新たな方向性の提言

【評価・提言】

CSRS は、TRIP コンセプトを、研究や異分野の交流を促進させるタイムリーで重要かつ有用なフレームワークとして認識している。CSRS のフラッグシッププロジェクトは目覚ましい進歩を遂げ、CSRS の異分野にまたがる研究を、先端技術に支えられた 3 つの重要なプログラム分野：「持続的生物生産」、「共生・環境」、「物質循環と触媒」に更に統合するための基盤を整える上で非常に有効である。これらの新たなプログラム分野は、環境資源科学の加速にむけ、TRIP の枠組みの中で実施、推進されるべきである。理研は環境資源科学分野で世界をリードする研究機関の一つであり、それは CSRS の優れた科学的成果、影響力、可能性によって実証されている。これは、環境資源科学と TRIP がもたらす機会とを連携させ、社会と地球規模の持続可能性のための先駆的研究を理研で育成することによって更に強化されるだろう。日本は、この重要な努力的取り組みにおいて世界のハブとなる可能性を秘めている。

諮問事項 4：センターの 6 つのフラッグシッププロジェクトの評価と、それらの研究は「環境資源科学」の確立に貢献し、結果的に持続的社会的実現を導くかの評価

5 つのフラッグシッププロジェクトと先端技術プラットフォームは着実に成果を生み出しており、基礎研究および応用研究から得られた先駆的な研究結果が一流の国際論文誌に絶え間なく掲載されている。今後、CSRS は、「環境資源科学」という命題のもとでフラッグシッププロジェクトの統合をはかり、クリーンな再生可能エネルギーとフードセキュリティを中心として、「持続的生物生産」、「物質循環と触媒」、「共生・環境」に焦点を当てていく予定である。これらのプロジェクトを、理研が進める最先端研究プラットフォーム（TRIP）構想に沿って推進することで、社会のために国内外にインパクトを与える研究を加速させていく。この新しい戦略的プログラムは、国連の「持続可能な開発目標（SDGs）」を指標としながら、持続可能な社会のために十分かつ有用な生産性の確保と産業や農業による環境負荷の低減を同時に達成していくことを目指し、それに求められる科学原則や科学技術の開発をしっかりと正面に見据えたプログラムである。

諮問事項 5：各 PI の研究活動は高い国際基準を満たしているかの評価

詳細は個別に配布。すべての CSRS グループリーダーは、高い国際水準を満たす優れた生産性と国際的な知名度を発揮している。

諮問事項 6：研究計画やセンターの運営に関するコメントや助言

CSRS の科学業績は素晴らしく、それは何年にもわたる高被引用 CSRS 研究者の印象的な数に反映されている。今後予定されている定年退職と指導的研究ポジションの公募を通して、「環境資源科学」の概念と TRIP 構想に沿った「持続的生物生産」「共生・環境」「物質循環と触媒」プログラムの方向性を形成・強化していく好機が生まれるだろう。CSRS の科学研究が大きく左右されると思われることから、今後 2～3 年間の採用計画は戦略的によく練られなければならない。CSRS が築き上げてきた先

端技術プラットフォームは素晴らしいものであり、理研内はもちろん全国の研究機関でインパクトの大きな基礎研究の支持基盤となっている。CSRS の研究者と理研の計算科学専門家の間に更に綿密なネットワークを作ることによってCSRS のデータ分析能力を強化できるだろう。また、CSRSの研究者たちは、その優れた基礎研究を社会の利益のために作物の改良にどのようにより迅速に反映させることができるかを考えるべきである。