

優れた科学を 支援するために

世界トップレベル
研究拠点プログラムの
調査分析報告
2007～2021年

nature research
custom media

 **DIGITAL**
science

 **Research
Consulting**



目次

- 01 はじめに
- 02 数字で見るWPI
- 04 科学的インパクト
- 10 融合
- 14 国際化
- 18 システム改革
- 20 社会的インパクト
- 24 おわりに
- 25 付録

出版者情報

Copyright © 2022 日本学術振興会 (JSPS)

本報告書は日本学術振興会が発行するもので、Springer Natureの一部であるNature Research Custom Mediaに制作を委託しています。本報告書に引用されているデータは、日本学術振興会が発行した「世界トップレベル研究拠点プログラムのインパクトと影響：グローバルレピュテーション調査報告書」(Research Consultingに制作を委託) および「世界トップレベル研究拠点プログラムが与えた科学的・社会的インパクト」(Digital Science系列のDimensionsおよびAltmetricに制作を委託)に掲載されたものです。

Cover image: Yuichiro Chino / Getty Images

WPIの概要

Nature Indexの創設者であるデイビッド・スウィンバンク스가、WPIの15年の歴史とその明るい未来について語ります。

世 界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) は、文部科学省が2007年に設立したもので、科学的・社会的に大きなインパクトのある研究成果を生み出して世界的な影響力を持つ日本の研究拠点を創出することを目的としています。

最初のWPI拠点が設立された当時、東京を本拠としていたデイビッド・スウィンバンクスは、前職のNPGネイチャー・アジア・パシフィックのCEOとして、またその後もNature Index創設者、Digital Scienceのシニア・アドバイザーといった役割を通じて、このプログラムを非常に興味深く見守ってきました。

「長期的な視点から見て社会に大きな利益をもたらす基礎研究の重要性を、私は確信しています。各WPI拠点は、比較的短期間で質の高い学際的な基礎研究を創出して目覚ましい成果を上げ、世界中の一流の研究者と緊密な国際協力関係を築いてきました」とスウィンバンクスは述べています。

WPIの当初の4つの柱は、「先端研究」「融合研究」「国際化」「システム改革」でした。

WPIの最先端研究は、その学術的な成果に表れています。「WPI拠点は質の高い研究論文を一流のジャーナルに数多く発表していて、これは、Nature Indexに収録されている82のトップジャーナルに掲載された1人当たりの論文数が多いことからわかります」と

スウィンバンクスは述べています。「しかし、WPIの成功を評価するためには、さまざまな指標を考慮しなければなりません。また、真に重要なのは、どのWPI拠点が融合研究や国際化、システム改革をどの程度実現したかを見定めるためには、それぞれの分野の主要なオピニオンリーダーの意見を参考にする必要がありますということです。」



**各WPI拠点は、
質の高い学際的な
基礎研究を創出して
目覚ましい成果を
上げています。**

このため日本学術振興会 (JSPS) は、WPIの成功を評価するに当たって、Digital Scienceによる科学計量学手法を用いたインパクト分析と、Research Consultingによるレピュテーション調査をそれぞれ委託しました。

本冊子では、2つの報告書から得られた知見を概観しています。科学的インパクト、融合、国際化、システム改革、社会的インパクトの5つのセクションに分けて解説し、最後に、WPIの改善可能な点を特定するとともに、その対策を提案しています。■



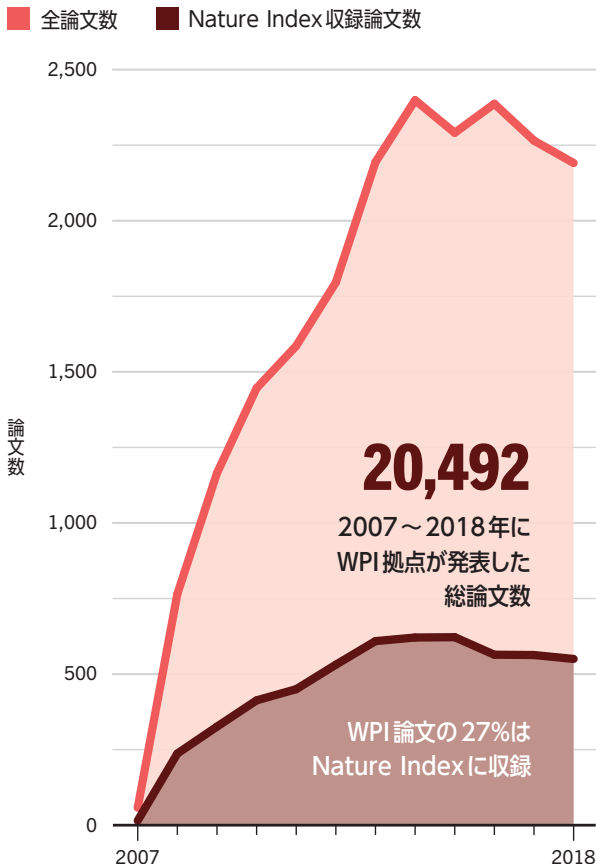
デイビッド・スウィンバンクス
(David Swinbanks)

1986年にNatureに入社し、キャリアの大半を日本で過ごす。5年間のロンドン勤務では、Natureブランドの物理科学系のジャーナル刊行を担当した。2013年にはオーストラリアに渡り、既存のメルボルンの拠点を拡大し、Natureポートフォリオを扱うシドニーオフィスを設置した。現職は、Springer Nature in Australia and New Zealandの会長、Nature Indexの創設者、Digital Scienceのシニア・アドバイザー。

数字で見る WPI

世界トップレベル研究拠点プログラムの研究パフォーマンス

論文数



ハイライト



7億円

文部科学省が10年にわたり
各拠点到に拠出した年度毎の予算



9,357

WPIの研究を取り上げた
ニュース記事の合計



54%

WPI 出版物がオンラインで
言及された平均的な割合

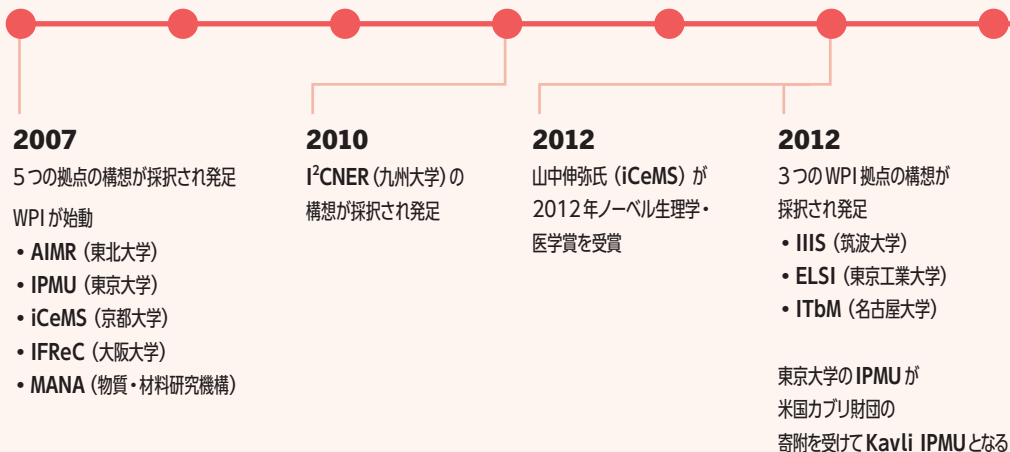


4,631

WPIの論文を引用した特許の出願数

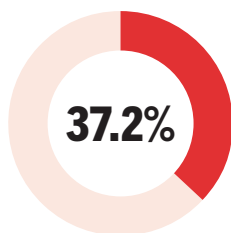
Sources: Digital Science, The scientific and societal impact of the World Premier International Research Center Initiative (2021); WPI Secretariat, 10 Year Commemoration of the WPI Program: Circulating World's Best Brains, 2nd printing (2018); Digital Science, (2018) Dimensions (Software) available from <https://app.dimensions.ai>. Accessed on (25 January 2021), under licence agreement.

プログラムの あゆみ

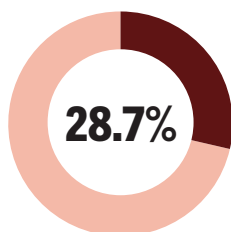


外国人研究者

ほとんどのWPI拠点で、
外国人研究者30%および
外国人主任研究者(PI)
20%の目標を
2021年までに達成。



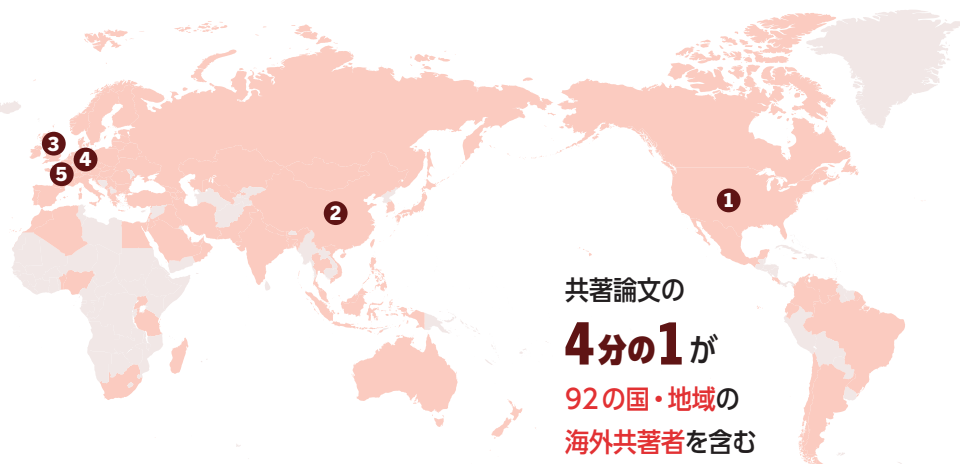
2019年の
13拠点における
外国人研究者の割合
(平均)



2019年の
13拠点における
外国人PIの割合
(平均)

国際共同研究

■ 全共同研究者 ① トップ共同研究(国)



1. 米国
3536名



2. 中国
2128名



3. 英国
1205名

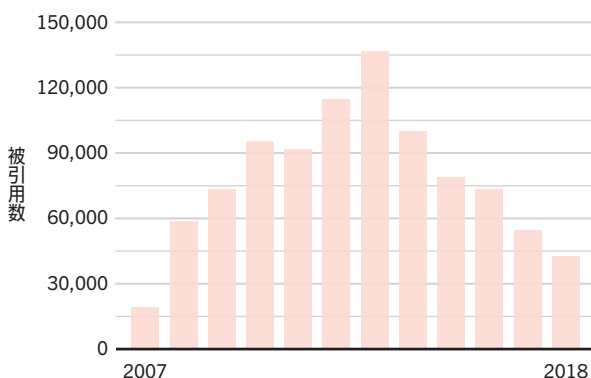


4. ドイツ
1196名



5. フランス
815名

被引用数



WPIの
分野被引用度(FCR)
は世界平均の
3.2倍



2015

梶田隆章氏(Kavli IPMU)が2015年ノーベル物理学賞を受賞

米国ジョン・テンブルトン財団の寄附を受けて、EON(ELSI Origins Network)プロジェクトが発足

2016

大阪大学と中外製薬株式会社による包括的な共同研究契約の締結により、IFReCに対する10年間の資金提供を実現

2017

2つのWPI拠点の構想が採択され発足
・IRCIN(東京大学)
・NanoLSI(金沢大学)

WPIアカデミーの発足
AIMR、Kavli IPMU、iCeMS、IFReC、MANAの5拠点を認定

2018

2つのWPI拠点の構想が採択され発足
・ICReDD(北海道大学)
・ASHBi(京都大学)

2020

I²CNERをWPIアカデミー拠点として認定

新たなWPIのミッション「次世代を先導する価値創造」の発表

2021

ベンジャミン・リスト氏(ICReDD)が2021年ノーベル化学賞を受賞



Milosz_G / Getty Images

基礎科学の重視

WPIがもたらした科学的インパクト

経 済協力開発機構(OECD)によれば、基礎研究とは「特定の用途や実用化を目的とせず、ある事象や観察された事実に関する根本原理について新たな知識を得ることを主な目的として行われる実験的あるいは理論的な研究」を指します。

基礎研究は研究者の自由な発想に基づくもので、すぐに実用化されることはないものの、将来の進歩と革新の種を蒔くものです。有名な例では、1960年に発明されたレーザーは、1917年にアインシュタインが発表した理論が基礎となっています。また、1960年代の数学理論におけるパケット交換の構想は、インターネットの発明につながっています。

WPIでは、基礎研究の社会における長期的な重要性について認識し、これをプログラムの土台としています。2007年に行われた最初の公募では、プログラムの主旨として、「我が国の科学技術水準を向上させ、将来の発展の原動力であるイノベーションを連続的に起こしていくためには、その出発点である我が国の基礎研究機能を格段に高め、国際競争力を強化していく必要がある」と述べられています。

WPIの最初の10年間における注目すべき基礎研究の事例は以下のとおりです。

- 2013年:iCeMSチームが光を用いた技術によって神経幹細胞の運命を制御することに成功。成果は*Science*に掲載された。
- 2013年:*Science*に掲載されたAIMR

の論文は、金属ガラスの構造に関する50年来の謎を解明した。

- 2014年:ITbMの研究者を含むチームが、気孔の開閉制御が植物の成長に不可欠であることを実証した。
- 2014年:IFReCを中心とするチームが、トキソプラズマが生物の免疫反応を利用して全身に感染を広げる仕組みを明らかにした。
- 2015年:Kavli IPMUの研究者を含む国際チームが、暗黒物質が湯川粒子のように振る舞うことを示唆する論文を*Physical Review Letters*に発表した。
- 2016年:IIISを中心とするチームが、睡眠・覚醒ネットワークを制御する遺伝子を発見し、その成果を*Nature*に発表した。
- 2016年:ELSIが主導するチームが、月の形成を説明するジャイアント・インパクト説を精密化した。

WPIにおける基礎研究の重視は、2021年のプログラム冊子の中でもWPIプログラム委員長の濱口道成氏によって次のように強調されています。

「(日本にとって)人類が共有すべき新たな現象の発見・解明や革新的な技術創出に貢献する基礎研究を通じて、先導的な研究成果を生み出していくことが重要です」

基礎研究の支援は、当初よりWPIの4つのミッションである「先端研究」「融合研究」「国際化」「システム改革」の中核を成すものです。

以下にJSPSが委託した2つの報告書について紹介し、科学的インパクトに

RESEARCH HIGHLIGHT

ヒトの脊椎発生を制御する時計

ヒト胚で脊椎がいつ形成されるべきかを決める「遺伝子時計」が培養系で再現され、遺伝性の脊椎疾患に関する新たな知見が得られた。

脊椎動物の胚発生において、体節(後に椎骨や肋骨などに分化する細胞群)の形成は、一連の「分節時計」遺伝子によって制御されている。この呼び名は、これらの遺伝子では活性が周期的に変化し、発現量が振動することに由来する。こうした振動1回につき、新たな体節が1つ作り出される。分節時計のエラーは骨格異常につながる場合があるが、その機構をヒト胚を用いて直接研究することは、倫理的な理由からこれまで不可能だった。

京都大学高等研究院 ヒト生物学高等研究拠点(ASHBI)の研究者らは、ヒト人工多能性幹細胞(iPS細胞)を用いて、それを、未分節中胚葉(PSM)という体節を形成する前の組織へと誘導する手法を開発した。時計遺伝子の活性を可視化するため、目的の遺伝子の発現と同時に蛍光分子が活性化されるようiPS細胞を操作したところ、ヒトの分節時計が5時間周期であることが明らかになった。

研究チームは次に、まれな骨格形成異常である脊椎肋骨異常症の患者から樹立したiPS細胞を用いてPSMを作り出した。その結果、この疾患に特異的な2つの時計遺伝子の変異によって細胞間での振動の同調が乱れ、これが形成異常につながることを示された。ゲノム編集技術CRISPR-Cas9を用いてこれらの変異を修正したところ、振動の同調は回復した。

こうしたモデル系を用いた分節時計の詳細な研究は、脊椎疾患の原因となる他の遺伝子変異を明らかにするのに役立つ可能性がある。

REFERENCE:

Nature 580, 124-129 (2020).
doi: 10.1038/s41586-020-2144-9

RESEARCH HIGHLIGHT

後生動物の起源を 指し示す葉状化石

約5億年前の海洋環境から見いだされた、ヤシやシダの葉に似た生活形は、最初期の後生動物のものであった可能性がある。

エディアカラ紀(6億3500万~5億4100万年前)の生物については、それらの存在を示す化石証拠が、軟組織が残った印象化石にほぼ限られているため、長く分類が困難だった。

東京工業大学 地球生命研究所(ELSI)の研究者らは、1枚の大きな「葉」とそれを海底に固定していた1本の「茎」からなる、カンブリア紀前期(約5億1800万年前)の葉状生物ストロマトヴェリス(*Stromatoveris psymoglena*)に関して、新たに発見された保存状態の極めて良好な化石206点を詳細に調べた。

ストロマトヴェリスの、花弁状構造(葉)に見られる複雑な分岐や分化した付着部(茎)といった形態的特徴は、既知の初期の動物類に見られる特徴と多くの点で似ていることから、研究チームは、ストロマトヴェリスも動物として分類されるべきと結論付けた。

さらに、形態学的な系統発生的解析の結果、ストロマトヴェリスは、エディアカラ紀の象徴的な7属と共に単系統群 Petalonamae 門に属することが示された。研究チームは、この分類群は真正後生動物の姉妹群に位置付けられるとしている。

これによって、後生動物の起源は約5億7100万年前までさかのぼることになる。

REFERENCE:

Palaeontology 61,
813-823 (2018).
doi: 10.1111/pala.12393



焦点を当てながら、これらのミッションに取り組むWPIの成功を評価します。

科学計量学によるインパクト・レポートの概要

Digital Scienceの子会社であるDimensionsとAltmetricは、2007年から2018年にかけて9つのWPI拠点を発表した2万件以上の出版物を対象として、科学計量学的分析を行いました。

- 材料科学高等研究所 (AIMR)
- 地球生命研究所 (ELSI)
- 免疫学フロンティア研究センター (IFReC)
- 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)
- カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)
- 国際統合睡眠医科学研究機構 (IIMS)
- 物質-細胞統合システム拠点 (iCeMS)
- トランスフォーマティブ生命分子研究所 (ITbM)
- カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU)

2021年のDigital Scienceによる研究生産性に関するレポート(「世界トップレベル研究拠点プログラムが与えた科学的・社会的インパクト」)によれば、WPI拠点の引用インパクトは類似分野の研究の3倍にも上ります。2007年以来、9つのWPI拠点が発表した研究論文は合計で100万回近く引用されています。

レピュテーション調査の概要

2つ目のインパクト評価として、Research ConsultingによってWPIの全13拠点を対象とするレピュテーション調査(「世界トップレベル研究拠点プログラムのインパクトと影響:グローバルレピュテーション調査報告書」)が実施されました。調査を依頼した683

名(全員が外国人)のうち、Research Consultingチームとの半構造化された定性的インタビューへの参加に同意したのは66名でした。その内訳は55名の研究者、3名の編集者、8名の政策立案者もしくは資金提供者で、国や機関も多岐にわたっていました。

インタビューの性質上、全ての回答者は過去にWPI拠点との接点があり、プログラムの到達範囲をより正確に評価するためには、この報告書の調査結果はインパクト・レポートと併せて検討する必要があると考えられます。

レピュテーション調査では、前述の9つの拠に加えて、以下の4つのWPI拠点も対象としています。

- ヒト生物学高等研究拠点 (ASHBi)
- ニューロインテリジェンス国際研究機構 (IRCNI)
- ナノ生命科学研究所 (NanoLSI)
- 化学反応創成研究拠点 (ICReDD)

今回のレピュテーション調査では、世界中の研究者が、個々のWPI拠点における研究を優れたものと考えている一方で、WPIブランドよりも調査対象者の専門分野に最も近い拠点を評価している傾向があることがわかりました。

拠点の評判は、個人的な関係、会議やイベント、WPI拠点が発表した学術文献の3つが主な情報源となっています。

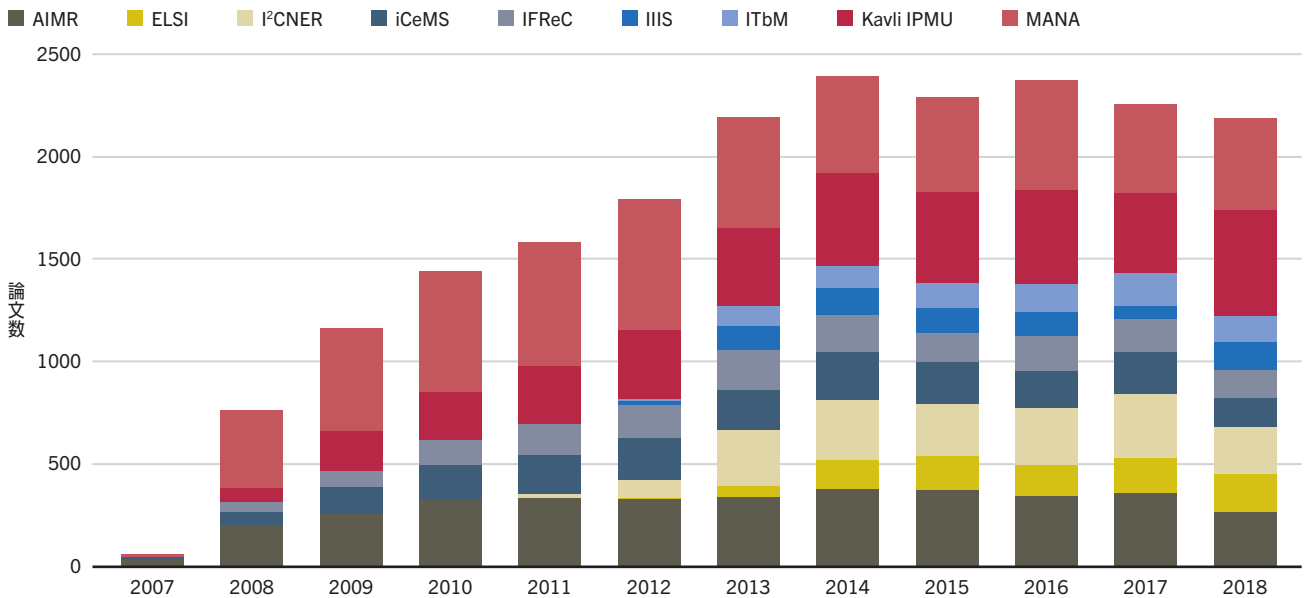
資金提供者、政策立案者、編集者は、各WPI拠点が創出する科学的成果の質を肯定的に捉えていて、WPI拠点が強力なスタッフを擁し、科学の主要分野で活動していることも認識していますが、WPI全体としての認知度は低いことがわかりました。

WPIの科学的成果の相対評価

レピュテーション調査によれば、WPI拠点が創出する科学的成果の質の高さは誰もが認めるものであり、8名の回答者は、WPI拠点は最高レベルの機関

2007～2018年のWPI拠点による出版論文数

2021年3月8日までにDimensionsデータベースに収録されたWPI拠点による発表論文のうち、DOIが付与された2万492件の論文をDigital Scienceが分析。



に匹敵するとコメントしています。

ある回答者は、「(WPI) 研究拠点が創出する成果は、間違いなく世界に比肩するものです。WPIの科学研究は世界的レベルで、PIの知名度も非常に高いです」と述べています。

WPI拠点は、主に以下の2つの方法によって科学の発展にインパクトを与えていると評価されました：

- 影響力のあるジャーナルでの発表や、最先端のツールと技術の開発、共同研究による知見や専門知識の共有などを通じて、科学的発見をリードしている。
- 会議やイベントを開催し、世界中から訪れる若手研究者を支援して、日本の学术界と世界的なコミュニティの連携を深めることで、国際的な繋がりを構築している。

WPIの科学研究の独自性

レピュテーション調査の回答者は、WPI拠点到共通するのは、多額の助成金と

基礎研究への注力の稀有な組み合わせという評判だと述べています。結果として、各WPI拠点の世界的な評判は急速に高まってきています。

6人の回答者は、WPI拠点の重点が「自由な発想に基づく研究」にあると述べていて、さらに18人がその背景にある多額かつ長期的な助成金の重要性を指摘しています。

ある回答者は次のように述べています。「I²CNERでは思うままに、本当に自由な発想に基づいた研究を進めることができました。私にとってはとても充実した期間でしたし、当時注目していたいくつかの材料について理解する上で、重要なステップとなりました。」

また、別の回答者はASHBiについて、「(WPIは) 基礎研究に取り組んでいます。驚くほど明確で長期的な橋渡し研究目標を掲げています。応用研究に移行する前に基礎科学的な理解の必要がありますから、これは非常に健全な考え方です」と語っています。

オープンで基礎的な研究に重点を置くことは、WPI拠点を科学の最先端に位置付け、一流の研究機関と競争するための鍵であると、調査回答者は認識しています。

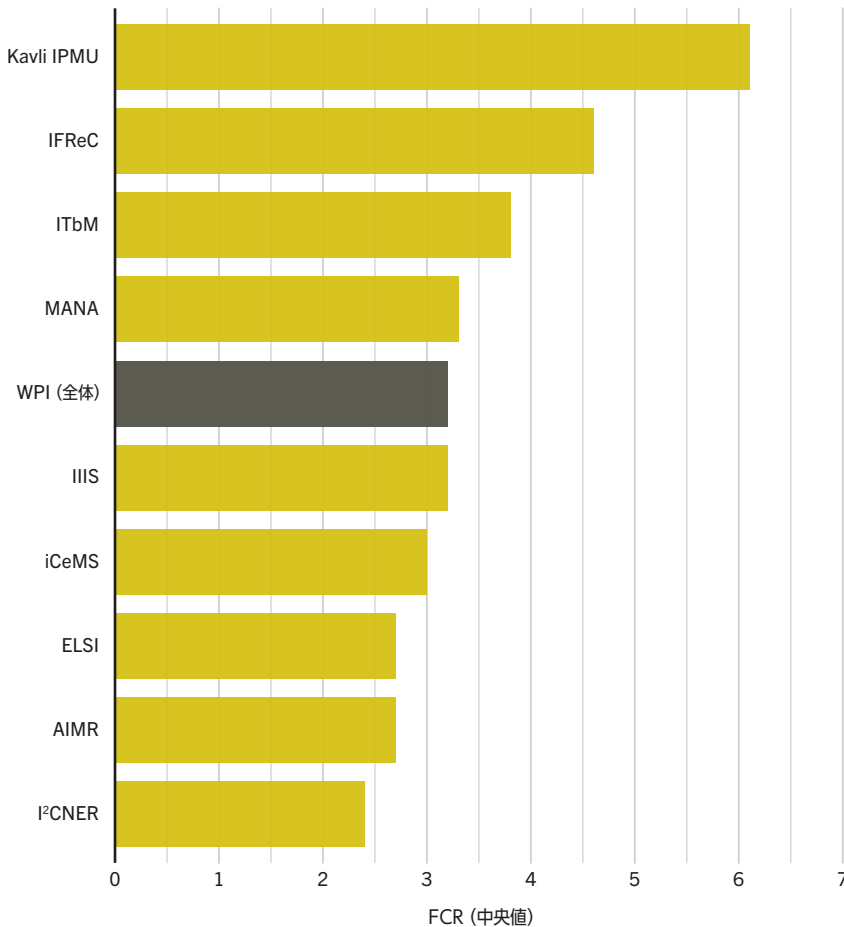
いくつかのWPI拠点では最先端のツールや技術を開発しており、中にはその分野での標準となっているものもあります。インタビューでは、NanoLSIで新規に開発された原子間力顕微鏡技術や、MANAで開発されたナノシート製造技術が、その例として挙げられました。

ある回答者は次のように述べています。「(WPIは) もちろんインパクトを与えています。例えば、ナノシートに関する研究は、学术界のみならず産業界にも大きなインパクトのある基礎研究です。この研究は本当に先駆的で、世界的にもよく知られています」

もう1つポジティブな影響として回答者が挙げたのは、日本の学术界が産業界と密接に連携する傾向があるとい

相対的な分野別引用インパクト

分野別引用度 (FCR) を用いることで、異なる分野における被引用数の相対的な比較が可能。



う点です。そのようなコラボレーションは、基礎研究を実際の社会経済的なインパクトに結びつけるための手段と考えられています。

12名の回答者が、WPI拠点と日本の産業界の相互作用の重要性を指摘し、そうした関係が拠点の影響力とその範囲を拡大するのに役立つと述べています。

ある回答者はI²CNERの研究を挙げ、気候変動とカーボンニュートラルという同拠点の明確な重点領域は、現実世界に直接応用が可能なものであり、このため他のWPI拠点以上に産業界との関係やコラボレーションが重要なものになっていると述べています。

インパクト・レポート:

分野別被引用度を用いた科学計量学的分析

世界の研究生産性(論文や会議録、プレプリントの毎年の出版件数による)は、2010年の280万件から2020年には600万件弱へと、この10年間で倍増しています。

科学計量学を用いたインパクト・レポートによれば、各WPI拠点は設立直後から研究を発表し、その後も着実に発表を続けています。総論文数で見ると、生産性の最も高いWPI拠点はMANAでした。

分野別被引用度(FCR: Field Citation Ratio)は、類似分野で発表された他の研究と比較して、文献の科学的な影響

力を測定する指標です。FCRは少なくとも出版後2年以上が経過している文献を対象として算出されます。

FCRを用いたWPI拠点のベンチマークでは、各拠点が発表した出版物が実際に引用された回数を、世界の研究機関が同じ年に同じ分野で出版した文献の平均被引用数との比率に換算しています。同じ研究分野で発表された論文の平均被引用数は1.0となり、FCRが1.0より高ければ平均以上のインパクトがあることを意味します。

科学計量学を用いたインパクト・レポートによると、WPIを通じて発表された論文は全て、類似分野で出版された他の論文と比較して多く引用されていて、WPIを通じて発表された論文のFCRの中央値は2.4から6.1です。

2007年以降、日本から発表された研究論文は医学分野が最も多く、工学分野は常に2位でした。物理学や化学、材料科学の分野でも日本の研究は非常に強く、日本から発表された研究論文のFCRは世界平均を大幅に上回っています。

Kavli IPMUは全拠点の中で相対的な引用インパクトが最も高く、FCRの値が高いということは、各拠点がその活動期間中に発表した論文が、同じ分野の典型的な論文よりも多く引用されたことを示しています。

インパクト・レポートによれば、WPI拠点が発表した論文は調査対象の期間中に合計で93万7955回引用されました。

また、同レポートは、注目度を表すAltmetricスコアを用いて、調査対象の期間中に各拠点から発表された論文の上位5論文を詳細に分析し、Kavli IPMUの論文が非常に高い関心を呼んでいることを明らかにしました。Altmetricスコアは、従来の引用ベースの指標を補完する指標として、ウェブ上の学術的な交流を表すものです。■

RESEARCH HIGHLIGHT

沖縄トラフの熱水循環域にガス層を発見

沖縄トラフの海底下で巨大なガス貯留層が発見された。このガス層は、近くの熱水噴出孔から放出されている二酸化炭素やメタンの供給源である可能性がある。

沖縄トラフは、環太平洋火山帯上の琉球列島に沿って延びる細長い海盆である。この場所では、フィリピン海プレートの沈み込みに伴い、上層のユーラシアプレートの地殻が薄化して海洋底が拡大したことで、メタンと二酸化炭素を吐き出す熱水噴出孔が多数形成された。しかし、こうしたガスの供給源についてはこれまで不明だった。

九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER) の研究者らは、沖縄トラフ中部の伊平屋北海丘周辺で以前行われたエアガン地震探査のデータを用いて、P波速度の解析を行い、海底下の構造をモデル化した。そして、得られた高解像度の構造図から、海底下約250m以深にP波速度が非常に遅くなる場所が複数存在し、これらが大きなガス貯留層であることを明らかにした。



海底下のガス貯留層は、温室効果ガスの重要な供給源である可能性がある。

研究チームは、こうしたガス層の上に、高圧下で形成されたメタンハイドレート層が存在する可能性を示している。海水が断層を通過して深部に流れ込むと、マグマや高温の貫入岩によって熱せられ、そうしてできた熱水は、有機物の熱分解で生じたメタンやマグマの

脱ガスで生じた二酸化炭素を含んで上昇し、浅部で微生物活動により生じたメタンと共に、メタンハイドレート層の下に閉じ込められると考えられる。ここで蓄積されたガスが、最終的に熱水噴出孔から放出されるのだ。

このようなガス層は、天然ガス

と温室効果ガスの両方の重要な供給源となる可能性があり、海中の炭素フラックスを計算する際には考慮に含める必要がある。

REFERENCE:
Geophysical Research Letters **46**, 9583-9590 (2019).
doi: 10.1029/2019GL083065

3層グラフェンの作り分けをマスターする

積層パターンの異なる2種類の3層グラフェンが初めて作り分けられた。この成果は、光センサーなどの新たなナノデバイスの開発につながる可能性がある。

炭素原子がハチの巣状に結合した原子シートであるグラフェンは、数々の優れた特性を持つことから、2004年に初めて単離されて以来、大きな注目を集めている。中でも材料科学者たちは、グラフェン層を複数積み重ねると特性がどのよ

うに変化するかを解明することに関心を寄せてきた。

3層グラフェンは、全ての層が互いに少しずつずれたABC構造と、真ん中の層のみが他の2層に対してずれたサンドイッチ型のABA構造のいずれかをとる。これら2つの積層構造は電子的性質が異なると予測されていたが、これまではこの2種類を作り分けることができなかったため、それらの電子的性質は未解明のままだった。

東北大学 材料科学高等研究所 (AIMR) の研究者らは、グラフェン成長時の温度と圧力を精密に制御することで、2種類の3層グラフェンを選択的に作製できることを実証した。研究チームはまた、得られた積層グラフェンの電子状態を調べ、予測通りそれらが異なる電子的特性を持ち、ABA構造のグラフェンは優れた電気伝導体であるのに対し、ABC構造のグラフェンは半導体的な性質を示すこ

とを確認した。

これはつまり、グラフェン層の数と積層順序を変化させることで、グラフェン系ナノエレクトロニクスデバイスの特性を調整できる可能性を浮き彫りにするものだと、研究者らは指摘する。

REFERENCE:
NPG Asia Materials **10**, e466 (2018).
10.1038/am.2017.238



協働による強化

WPIはどのようにして研究融合戦略をゼロから構築したのか

WPI 拠点は、グローバルに相互連携する社会が直面する複雑で多面的な研究課題に取り組むために、ゼロから構築されています。そうした研究課題は一般的に、縦割りの学術分野に収まるものではありません。

これに応えるため、WPIは「融合」を戦略の中核として位置付け、各WPI拠点は、4つの重要なミッションの1つとして学際的な領域を創出することが求められています。

融合の目的は、異なる専門分野やグループ、プロジェクトなどを横断するコラボレーションを促進する基盤やイベント、プロセスを構築することです。様々な分野やバックグラウンドをもつ研究者が集まることで、アイデアや技術、情報の共有が促され、自由な発想に基づく画期的な研究が生まれます。

このように研究者が互いに学び合うことで、知識の醸成において急速で転換的な発展が促され、科学的な発見が加速されるのです。

Research Consultingによる2021年のWPIレピュテーション調査では、WPI拠点が、所属する特定の個人やグループを介して融合に取り組んでいることが広く認知されているとわかりました。

「WPIが2007年から実践してきた融合は、現在はあらゆるところで取られるようになりました。WPIには先見の明があり、それを達成したのです」と、ある回答者は述べています。

その一例が、筑波大学の国際統合腫

眠医科学研究機構 (IIS) です。IISでは、長瀬研究室の化学研究と、柳沢・船戸研究室のような生物学プログラムの専門性が融合し、これがさらにIISでの臨床研究やデバイスの開発につながっています。

また、金沢大学のナノ生命科学研究所 (NanoLSI) では、計算科学、ナノ計測学、生命科学、超分子化学の4分野の研究者が協力して、ナノプローブ生命科学という新たな領域の基礎を築いています。

大規模な融合の実現

WPI拠点の建物は融合を念頭において設計されていて、学際的なコラボレーションのためのオープンスペースや、複数のグループが利用できる研究室が設けられています。

WPIレピュテーション調査報告書では、「そうした融合へのアプローチは、一般的なものとは大きく異なります。融合は物理的ではなくバーチャルな空間で実現されることが多いからです。空間的な違いは、セレンディピティを生む対話や発見に同じように寄与するわけではなく、また国境やタイムゾーンを超えたコミュニケーションも困難だからです」と述べられています。

レピュテーション調査の25名の回答者によれば、融合は今や世界中の主要な研究機関で採用されている戦略的優先事項で、多くの最先端研究分野で重要な役割を果たすと期待されています。

しかし、WPIにおける際立った特徴

RESEARCH HIGHLIGHT

一日中センサーに電力を供給する

昼夜を問わず電流が一定方向に流れる熱電デバイスは、バッテリーを用いないセンサーへの給電に理想的である。

センサーはさまざまな場面で使われている。その一部は送電網から給電されるシステムに組み込まれているが、交通量の調査や外気温の計測などのモニタリングではオフグリッドのセンサーが必要となる。環境からエネルギーを取り出すことのできるセンサーは、バッテリーを必要とせず、どこにでも設置できることから、そうした用途に適している。

特に熱電デバイスは、温度差があればいつでも発電できるため、センサーへの電力供給に有望だ。太陽電池とは違い夜間も動作可能で、バッテリーで電気を蓄える必要もない。しかし、環境温度の変化に伴い、昼と夜でデバイス中の温度勾配が逆転し、発生する電流の向きが切り替わるため、電流が一時的にゼロになるという問題があった。

物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA) の3人の研究者は、熱電デバイスの上に波長選択エミッターを設置することによって、この問題を回避した。

広帯域エミッターとは異なり、波長選択エミッターは、太陽光の吸収を低減しつつ環境への熱放射が最大になるような構造をしている。そのため、日中の暑い時間帯でも、放射冷却を通して、デバイス表面の温度をデバイス基部の温度より常に低く保つことができる。

研究チームは、ガラス基板とアルミニウム薄膜からなる波長選択エミッターを用いて実際に屋外で実験を行い、熱電デバイスの電流が決してゼロにならず、24時間継続して発電が可能であることを示した。

REFERENCE:

Applied Physics Letters **117**, 013901 (2020). doi: 10.1063/5.0010190

RESEARCH HIGHLIGHT

報酬学習に関わる
2つの受容体

ドーパミン濃度の低下が、条件付け学習において、汎化した予測を精緻化する手掛かりとして機能することが示された。弁別学習機構の理解によって、そうした学習の障害を伴う、統合失調症などの神経精神症状について洞察が得られると期待される。

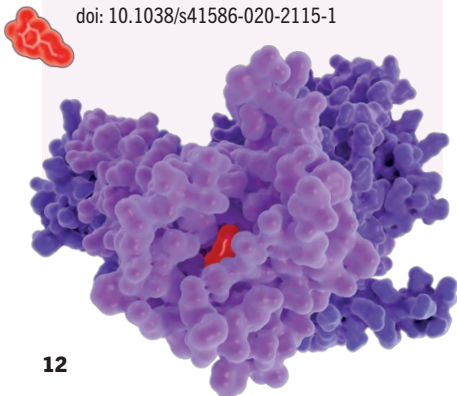
神経伝達物質のドーパミンは学習に関与することが知られており、報酬の正確な予測によるドーパミンの一過性上昇は、ドーパミンD1受容体(D1R)によって検出される。新たな研究で、もう1つのドーパミン受容体であるD2Rを介して、D1Rによる汎化学習を訂正する弁別学習が起こることがわかった。

東京大学国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)の研究者らは、マウスを用いて、特定の音と報酬(砂糖水)を連合させる条件付け学習を調べた。すると、マウスはこのパターンを汎化して、報酬を提示していない別の周波数の音にも反応して給水器を舐めるようになった。こうした汎化学習にはD1Rが必要だった。

次に、報酬ありの音と報酬なしの音で訓練を続けたところ、マウスはこれら2つの刺激を弁別するようになり、予想した報酬が実際に得られなかった際にドーパミン濃度が短時間低下することがわかった。さらに、ニューロンの光遺伝学的操作とD2R阻害剤を用いた実験から、こうしたドーパミンの一過性低下がD2Rによって検出される仕組みが明らかになった。

REFERENCE:

Nature 579, 555-560 (2020).
doi: 10.1038/s41586-020-2115-1



はその規模の大きさです。15名の回答者が、WPIが取り組む融合の規模はユニークだと回答しており、「研究機関全体が融合研究に特化するというのは非常にユニークで、融合は通常もっと小さなチームで行われます」という声もありました。

調査報告書では、「WPI拠点の建物が融合を念頭において設計されているという事実は重要で、共同スペースやデスクの配置、実験台のレイアウトなど、物理的な空間がアイデアの循環を可能にし、促進する」と述べられています。

例えば、東京大学のニューロインテリジェンス国際研究機構(IRCN)では、人間と人工知能の接点において、臨床科学、計算科学、人間科学、生命科学、社会科学を横断する学際的な科学研究を行っています。

IRCNは研究室やオフィスを改装して、チームサイエンスを促進するためのラウンジや科学的な交流のためのスペースを設けました。そして、5つのコアファシリティ(イメージングコア、ESマウス/ウイルス開発コア、データサイエンスコア、ヒューマンfMRIコア、サイエンスライティングコア)を設置することで、学際的なコラボレーションを可能にしています。

海外から国内へ:

イベントが発明のひらめきを促進する

WPI拠点は融合研究を支える物理的なインフラを提供すると同時に、アイデアや文化の継続的な交流を支援しています。レピュテーション調査の23名の回答者が、こうした要素の組み合わせがWPI拠点を魅力的なものにしていると述べています。

資金提供者や政策立案者、編集者は、WPI拠点が他の日本の機関と比べて多くの外国人スタッフを雇用していて、国際的にオープンであると指摘しており、

WPI拠点での英語の使用は「非常に価値がある」と認識しています。これは研究者へのインタビューで得られた見解と一致しています。

WPI拠点のイベントでの発表に訪れた研究者は、他の発表者だけではなく、そのWPI拠点で働く研究者にも会うことができます。

レピュテーション調査報告書では、「WPI拠点とそこで開催されるイベントは、国籍に関係なく新たな国際的コラボレーションを形成し、アイデアを交換するためのつばとして機能しています」と述べられています。

さらに「WPI拠点は知的交流を可能とするように設計・構築されています。これが融合を強力にサポートし、拠点の魅力を高める重要な要素ともなっています。世界中の研究者がWPI拠点を訪れる機会を大切にしているのは、他の一流の研究者と貴重な交流ができるからです」という回答もありました。

東京工業大学の地球生命科学研究所(ELSI)は、生命の起源という難しい課題に取り組んでいます。ELSIは、宇宙物理学、宇宙科学、生物学、地質学などのさまざまな分野の理論家や実験者が集まって複数領域のアイデアを融合させることで、新たな進化のイノベーションを起こすための組織として設立されました。

ELSIでは、実践的なチュートリアルや戦略ミーティング、学際的なコースに加えて、研究者が分野の垣根を超えて交流し協働するための最善策を学ぶための学際的な研究グループを通じて、融合研究を後押ししています。また、ELSIは、EON(ELSI Origins Network)や水惑星学プロジェクトといった国際的学際研究にも資金を提供しています。

融合に重点を置くことで促進される活発な知的交流は、WPI拠点が日本の学术界に変革をもたらす可能性があることを示唆しています。■

RESEARCH HIGHLIGHT

冬眠状態を誘導する視床下部のスイッチ

齧歯類の脳で発見された、冬眠に似た状態を誘導する神経細胞集団は、人工冬眠の実現とその医療応用へのカギとなる可能性がある。

クマなど一部の哺乳類は、低温や飢餓などの状況に直面すると、体温と酸素需要を低下させて「冬眠」と呼ばれる長期間の低代謝状態に入る。マウスは冬眠をしないが、はるかに短い（24時間以内の）類似した低代謝状態である「日内休眠」は行うことが知られている。

筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構 (IIS) の研究者らは、マウスの視床下部において、代謝調節への関与が示されている神経ペプチド QRFP を発現する神経細胞集団を特定した。

この神経細胞集団を化学的に刺激すると、冬眠によく似た、長時間持続する安全な低代謝状態が誘導されることがわかった。この状態のマウスは、体温が低下し、心拍数と呼吸数が減少しているが、やがて自発的に元の状態に戻り、



冬眠するヨーロッパヤマメ (Muscardinus avellanarius)。一部の哺乳類は、低温や飢餓などの状況では自ら代謝を下げて休眠に入る。

回復後の組織や臓器に損傷は見られなかった。

こうした冬眠様状態を誘導する神経回路の活動パターンは、以前リスで確認されたものと似ており、

哺乳類全体に共通の特徴である可能性がある。これはすなわち、ヒトでもこの回路を活性化して人工的に冬眠を誘導し、心臓発作や脳卒中後の患者において組織障害の

リスクを減らせる可能性があることを示唆している。

REFERENCE:
Nature **583**, 109–114 (2020).
doi: 10.1038/s41586-020-2163-6

腸のセロトニン産生を調節する機械刺激受容体

マウスの腸細胞において、細菌由来の細胞外 RNA の検出が、セロトニン産生の促進を介して骨形成や腸の蠕動運動に影響を及ぼすことが示された。

体内内のセロトニンは、その大部分が腸のクロム親和性細胞によって産生されている。しかし、この過程が腸でどのように制御されているかはこれまで不明だった。近年発見され、注目を集めている機械刺激受容体 Piezo1 の腸での役割を調べた研究で、Piezo1 が

セロトニンの生合成を介して骨や腸の恒常性を調節していることが明らかになった。

大阪大学 免疫学フロンティア研究センター (iFReC) の研究者らが、腸上皮細胞特異的に *Piezo1* 遺伝子を欠損したマウスを作製したところ、このマウスでは、骨量の増加と蠕動運動の著しい減弱に加えて、血中セロトニン濃度の低下が見られた。

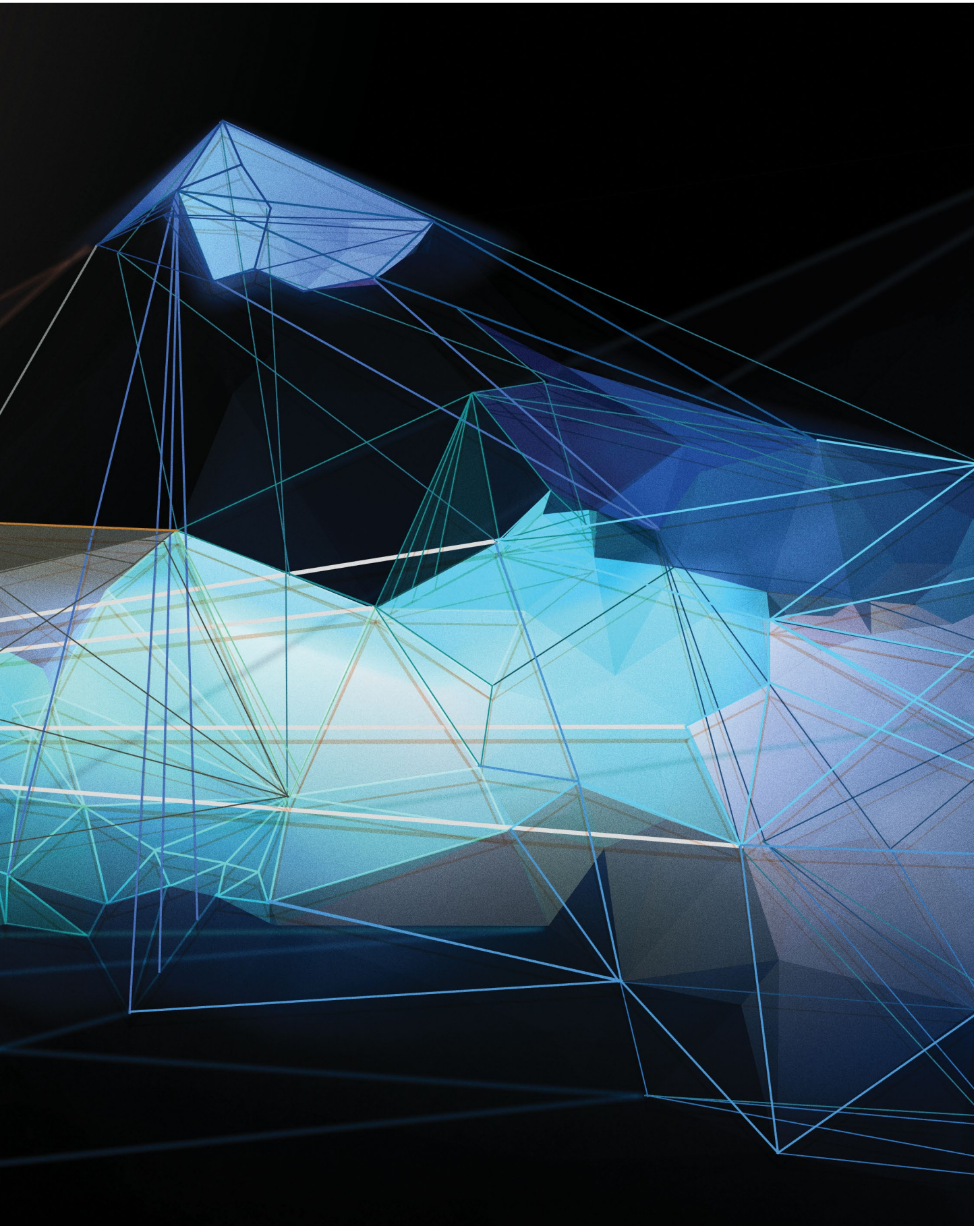
腸の *Piezo1* を介したセロトニン産生は、機械刺激ではなく、腸

内細菌由来の RNA の存在によって誘導されることがわかった。マウスに抗生物質を投与して、腸内マイクロバイームを枯渇させると、*Piezo1* 欠損と同様の変化が引き起こされた。また、糞便試料から抽出した細菌 RNA は、培養腸上皮細胞において *Piezo1* を活性化したが、糞便由来の DNA やタンパク質ではそうした活性化は見られなかった。さらに、マウスの腸を糞便由来の細菌 RNA で刺激するとセロトニン産生が促進され

たが、*Piezo1* 欠損マウスではこうした影響は見られなかった。

こうした腸の RNA-Piezo1-セロトニン軸は、骨や腸の恒常性に関わりを持つことから、この過程のさらなる理解は、骨粗鬆症や大腸炎などの疾患の新たな治療法開発につながる可能性がある。

REFERENCE:
Cell **182**, 609–624 (2020).
doi: 10.1016/j.cell.2020.06.022



Mina De La O / Getty Images

グローバルな展望

WPI拠点における国際化の実現



国際的なレピュテーションと影響力の向上はWPIの重要な目標であり、世界中から最高水準の研究者を惹きつけるような活気ある環境の構築を目指しています。2017年の日本の国立大学での外国人研究者の割合は7.8パーセントでしたが、2018年のWPI拠点でのこの割合は41パーセントです。

レピュテーション調査によれば、WPI拠点は、比較的最近設立されたにもかかわらず、世界的に高い評判を得ていることがわかりました。

複数の調査回答者が、研究機関が設立されてから定評を得るようになるまでには、通常は数十年かかると指摘しています。WPI拠点はこれを覆し、限られた時間の中で急速に成長して国際的なプロファイルを築き上げました。とはいえ、WPI拠点は現時点ではまだ比較的新しく、世界的な存在感を確立するには、まだ時間が必要だという意見の一致がみられました。

ある回答者は、「IRCNの一番の魅力は、当たり前なことと新しいことが一緒にになっているという点です。もちろん、とても新しい研究拠点ですから、国際的な評価はこれからですが」と述べています。

WPI拠点をホストする大学・研究機関には、国際共同研究によって引用のインパクトが高まるというさらなる利益がもたらされます。そうした共同研究はまた、研究インフラのコストとメリットを大学・研究機関間、場合によっては国家間で共有することができます。

また、WPI拠点は共同ポストや学生の受け入れ、訪問や交流プログラムなどのイニシアチブを通じて、他の国際的なセンターや組織が協力するための道筋をつけることもできます。

国際共同研究

35名の調査回答者によれば、WPIの研究者は魅力的な共同研究相手として評価され、WPI拠点は日本以外の国との連携を積極的に模索していると認知されています。しかし、前述のとおり、この調査の限界として、全回答者にWPIと関わった何らかの経験があり、それが回答に影響を与えている可能性があります。

共同研究は、WPIのスタッフと海外の研究者との間にある既存のつながりや過去の関係から発展することが多く、16名の回答者がこれを強調しています。

つまりWPI拠点には、新しいパートナーに働きかけて新たなネットワークを構築することで、さらなる機会が生まれるということが示唆されます。

「インパクトのある革新的なブレイクスルーの多くには、セレンディピティの要素があることを認識する必要があります」とレピュテーション調査では報告されています。

科学計量学によるインパクト・レポートでは、出版物の共著パターンを用いて国際的な共同研究を測定しています。

インパクト・レポートによれば、調査期間中、WPI拠点の研究者は6つの大陸に及ぶ92の国や地域とのグローバルな共同研究に従事しています。

RESEARCH HIGHLIGHT

トレーニングで自己成長する ハイドロゲル

筋力トレーニングに着想を得て開発された、筋肉のように自ら修復・成長できる人工材料は、時間とともに性能が向上する人工装具の実現につながる可能性がある。

例えば、重量挙げで選手が自らの身体を限界に追い込むと、筋線維が破壊された後に、より強い、新たな筋線維が形成される。この間、筋肉は必要な構成要素（アミノ酸）を絶えず血流から受け取っている。一方、一般的な人工材料は壊れても再生せず、性能を向上させることもできない。これが、耐久性のある人工装具の設計を極めて困難なものとしてきた。

北海道大学 化学反応創成研究拠点 (ICReDD) の研究者らは、硬くて脆いポリマー網目と軟らかくて伸縮するポリマー網目からなる、特殊なハイドロゲルを開発した。そして、このハイドロゲルをポリマーの構成要素であるモノマーを含んだ溶液中に浸漬して引き伸ばし、その応答を調べた。

延伸時のハイドロゲルでは、伸縮性のポリマー網目が保持されているのに対し、脆いポリマー網目は一部が切断され、その端部に「メカノラジカル」と呼ばれる反応性分子が生成する。こうしたラジカルは、筋肉が血液からアミノ酸を吸収するように、ハイドロゲルが溶液から吸収した浮遊モノマーを引き寄せてそれらと結合し、より強い、新たなポリマー網目を形成する。延伸と除荷を繰り返したハイドロゲルは、定期的な運動後の筋肉のように強度とサイズを増し、強化されて、次第により重い重りを持ち上げられるようになった。

こうした自己成長ゲルを用いれば、人工筋肉を備えたソフトロボットの開発や、人工装具の性能向上が可能になるかもしれない。

REFERENCE:

Science **363**, 504–508 (2019).
doi: 10.1126/science.aau9533

特に米国（共著者数3536名）と中国（2128名）の研究者との共同研究が盛んです。ヨーロッパでは、英国（1205名）、ドイツ（1196名）、フランス（815名）の研究者との共著が多く見られます。

天文学と物理学は国際的な共同研究が盛んな分野として知られており、Kavli IPMUがWPI拠点の中で最も多くの国際共著を生み出しているのも当然と言えます。

インパクト・レポートの調査対象となった全てのWPI拠点が、世界および国内の平均値を上回る数の国際共同研究を行っています。平均して、WPIを通じて出版される論文の4分の1が、海外の共同研究者との共著となっています。

オープン性と交流の機会

レピュテーション調査によれば、WPI拠点は他の日本の研究機関よりも国際的によりオープンであると見られています。21名の回答者が、WPI拠点は外国人研究者を非常に歓迎していると述べています。

“
外国人を温かく歓迎してくれる文化です。
国際的なチームやグループにとっては
ありがたいことです。”

また、15名の回答者がWPI拠点の外国人スタッフの比率が高いことに触れており、11名が英語による業務運営の重要性を指摘しています。

また、滞在者の日常生活へのWPI拠点のスタッフからの支援について賞賛が寄せられています。英語があまり浸透していない日本の社会では、生活に困難を感じる研究者もいるのです。ある回答者は「足場を固めて落ち着けるようさまざまな形で助けてくれて、外国人を温かく歓迎してくれる文化です。国際的なチームやグループにとっては重要でありありがたいことです」と述べています。

WPI拠点は知的交流を促進するように設計・構築されているため、外国人研究者にとって魅力的なものとなっています。彼らは会議やイベントに参加したり、短期に、あるいは長期的に滞在する際に、WPI拠点が他の一流の研究者との貴重な交流の機会を提供してくれると考えています。

レピュテーション調査の分析から、WPI拠点とそこで開催されるイベントが、国籍に関係なく、新たな国際的コラボレーションを形成し、アイデアを交換するための触媒として機能していることがわかります。■

RESEARCH HIGHLIGHT

ヒト幹細胞の培養に適した人工の細胞外マトリックス

細胞接着性の繊細なゼラチンナノファイバーを、丈夫で柔軟なマイクロファイバーシートの上に重ねて作製された「布」は、ヒト幹細胞培養のための三次元の足場となる。

ヒト多能性幹細胞は、再生医療から薬剤設計まで、医学研究開発の幅広い分野で応用が期待されている。こうした幹細胞の実用化における主な課題の1つは、多能性幹細胞の特徴である未分化状態を維持しながら、それらを大量に培

養することである。

京都大学 物質-細胞統合システム拠点 (iCeMS) の研究者らは、生体内で細胞の支持と増殖制御を担う細胞外マトリックスの構造を模倣して、人工材料「ファイ

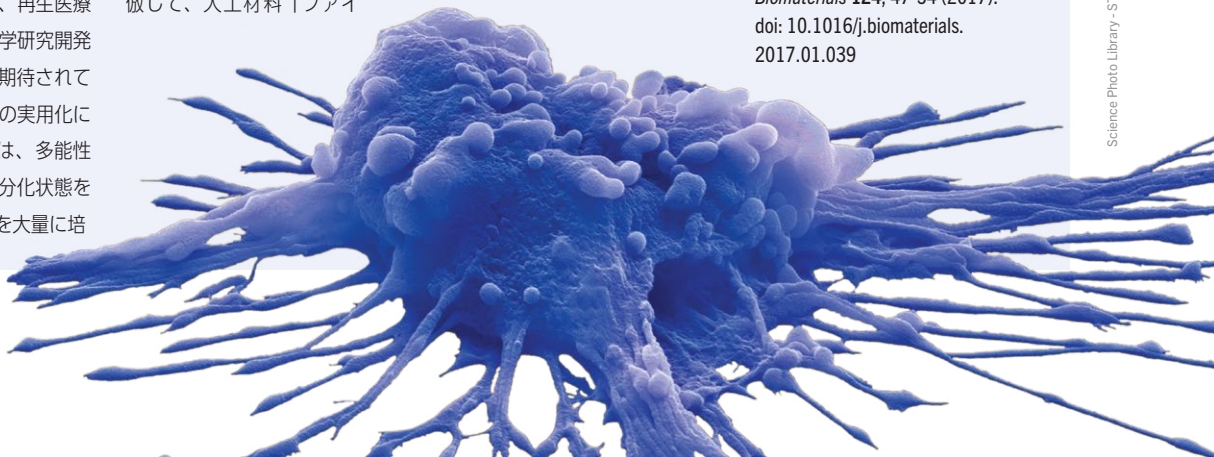
バー・オン・ファイバー」を設計・開発した。

この人工材料は、植物細胞壁の主成分であるセルロースと生分解性のポリマーから作られた丈夫なマイクロファイバーシートの上に、幹細胞が接着・増殖する足場となったゼラチンナノファイバーが重なった層状構造をしている。この構造が、増殖中の培養幹細胞に安定性

をもたらし、それらが受ける機械的ストレスを軽減するとともに、幹細胞の周囲に栄養素が十分に行き渡るようにしている。実験では実際に、多能性幹細胞の性質が変化することなく、2か月にわたって正常な増殖が優れた効率で維持された。

REFERENCE:

Biomaterials **124**, 47-54 (2017).
doi: 10.1016/j.biomaterials.
2017.01.039



RESEARCH HIGHLIGHT

原始ブラックホールが暗黒物質の候補から外れる可能性

宇宙誕生直後に形成されたとされる原始ブラックホールが、宇宙の全質量の約85%を占める謎の物質「暗黒物質」に対して、質量的にはほんのわずかしき寄与していないことが示された。

暗黒物質の存在は、それが銀河に及ぼしているさまざまな影響から明らかだが、宇宙論研究者たちは、いまだに暗黒物質の正体を特定できずにいる。最有力候補は未知の素粒子だが、物理学者のスティーブン・ホーキング博士は1974年に、宇宙が誕生して最初の1秒程度の間形成された微小なブラックホールが暗黒物質を構成している可能性、という全く異なる説を提案した。

東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) の研究者らは、ハワイのすばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラで得られた観測データを解析し、暗黒物質の正体が原始ブラックホールである可能性は非常に低いことを明らかにした。

一般的なブラックホールとは異なり、原始ブラックホールは降着円盤からの光の放射を伴わないと



原始ブラックホールは、一般的なブラックホールに見られる降着円盤からの光の放射（画像）を伴わないと予想されている。

予想されている。しかし、そうしたブラックホールの存在も、それが星の手前を横切るときに重力によって星からの光を曲げ、星の像をゆがめる「重力レンズ効果」を通して知ることができる。

研究チームは、地球と近傍のア

ンドロメダ銀河の間でこのような重力レンズ効果を探したが、予測されていた質量範囲のブラックホールによる重力レンズ効果の候補は1個しか見つからなかった。そして、この結果に基づく計算からは、この質量範囲の原始ブラッ

クホールの総量は、最大でも暗黒物質の質量の約0.1%にしか相当しないことが明らかになった。

REFERENCE:

Nature Astronomy 3, 524–534 (2019).
doi: 10.1038/s41550-019-0723-1

天然変性タンパク質の姿を詳細に捉える

高速原子間力顕微鏡によって、他の手段では困難だった、複雑で動的な構造を持つタンパク質の特性解析が可能になることが示された。

多くのタンパク質には、決まった構造を持たない天然変性領域があり、こうした動的な構造が、それらの結晶構造解析や電子顕微鏡法による解析を困難にしている。一方で、こうした天然変性タンパク

質は多くの生物過程において重要な役割を果たしており、その構造の解明は重要な目標の1つである。

金沢大学 ナノ生命科学研究所 (NanoLSI) の研究者らは、高速原子間力顕微鏡を用い、複数の天然変性タンパク質についてその構造とダイナミクスを解析した。撮像は、雲母基板上にタンパク質を置いて、毎秒約13~24フレーム

の速度で行われた。

その結果、この手法では、タンパク質内の完全に無秩序な領域と部分的に無秩序な領域と完全に秩序立った領域を互いに区別できるだけでなく、無秩序状態から秩序状態への遷移を捉えられることもわかった。また、この手法では、無秩序領域のサイズも明らかになり、一時的に折りたたまれた構造の形

状や遷移のダイナミクスなどに関する情報も得られた。こうした情報を他の手法で得られた情報と組み合わせることで、より現実的で動的な描像を得ることができる。

REFERENCE:

Nature Nanotechnology 16, 181–189 (2021).
doi: 10.1038/s41565-020-00798-9



文化的な変革

WPIは、日本のシステム改革につながるか？

レピュテーション調査に回答した資金提供者や政策立案者、編集者は、WPI自体についての認知度は低いものの、そこで生み出される科学の質や主要スタッフの実力、対象となっている研究分野の重要性についてポジティブな見解を示しました。調査回答者は、プログラムに参加する個々の拠点についての知識に大きく影響されていました。

また調査回答者は、WPIでは日本国内の他の機関と比べて外国人スタッフの割合が高いことを評価しており、他機関と比較して国際的にオープンであることが、日本の学術界に長期的な変化を及ぼす可能性がある、としています。これに関連して、ある政策立案者は、WPI拠点の研究と運営のアプローチが「日本の研究システムを揺るがしています」と表現しています。

道筋の開拓

資金提供者や政策立案者は、現状ではWPIに関与する道筋がイベントや交流、訪問に限定されており、国際的なコラボレーションの機会をもっと有効に活用すべきだと考えています。

WPIは、充実した共同資金調達の仕事みや、海外の政策立案者や資金提供者とのより幅広い交流など、戦略的に重要な展開を可能にするかもしれないと考えられています。

しかし、WPI拠点の現在の資金提供については懸念が示され、23名の調査回答者は長期的な資金提供が成功の鍵であると述べています。

研究機関への長期的な資金提供は高

い知名度を得るためには重要であり、一部の回答者は、世界をリードする研究所を設立して定着させるには10年という期間は短すぎる、と述べています。政策立案者や資金提供者は、野心的な研究プログラムにはリスクを許容できるだけの安定した継続的な資金が必要で、WPIに匹敵するような他のプログラムでは恒久的な資金提供ラインを有する場合もある、と指摘しています。

ある回答者は、「新しい研究所を立ち上げて、これまで一緒に仕事をしたことがない人たちを集めるには時間がかかります。物事が動き出すのは、こうした『起動期間』の後のことです。だからこそ、助成金が10年で打ち切られるのは非常に残念です」と述べています。

また、複数の調査回答者が、WPIのウェブサイトがわかりにくく、共同研究や交換プログラムに参加するためのプロセスが明確でないと指摘し、より明確なコミュニケーションがあるとコラボレーションの機会が将来的に増大する可能性がある、と述べています。

回答者の1人は、「WPIのウェブサイトは誰をターゲットにしているのかわからないままごちゃ混ぜになっているというのが私の印象です。ずさんではありませんが、研究者にとっては魅力に欠けますし、第三者にとっては煩雑すぎるのです」と述べています。

レピュテーション調査で指摘されたWPIのもう1つの限界として、スタートアップやスピニアウトの機会の欠如が挙げられます。ある研究者は、そうした機会は基礎研究から生まれる可能性のある実用化を社会に示す良い手段

であると回答しています。

文化的障壁

レピュテーション調査の複数の回答者は、国際共同研究への一定の文化的障壁についても指摘しています。

WPI拠点は、日本の平均的な研究機関と比べて、ジェンダーや国籍の多様性があるものの、回答者の一部は、これがまだ限定的であり、特にPIレベルでは顕著だと指摘しています。ある回答者は、「こうした技術の先駆者たちと同じ場にいられると想像するのはとても魅力的でした。ただ個人的には、ジェンダーバランスの不均等のため、WPI拠点に行くかどうかはわかりません」と述べています。

多くの外国人スタッフはWPI拠点を足がかりと見ていて、日本での長期的な将来を検討しているのは少数派です。また、言語の壁や日本文化に溶け込むことの難しさから、滞在研究員が日本でキャリア形成に苦勞することも指摘されています。

こうした文化的障壁の存在は、日本人研究者に対しても、同様のキャリア上のリスクを懸念して、海外での研究という選択に際して消極的にさせる可能性があるのではないかとみる向きもありました。

日本の学術界の気風も来訪者にとって障壁となっているようであり、19名の回答者は、日本の階層的な社会構造と労働文化の中では、スタッフ（特に若手）は日常的に遅くまで働くことを求められ、上司が帰るまでオフィスにいなければならない、と述べています。

ある回答者は「私の日本での若手研究者としての経験は本当に苛烈でした。日本の労働倫理は正に評判通りです」と述べています。その一方で、日本の多くの大学と比べればWPI拠点は階層的ではない、との回答が5名から得られました。■



SEAN GLADWELL / Getty Images

WPI 拠点の 社会的インパクト

基礎研究の支援は、社会的な利益を増大させるのか？

2020年、日本の文部科学省は、新たなWPIのミッションである「次代を先導する価値創造」において、WPI拠点を社会科学・自然科学における基礎研究の社会的意義・価値に基づいて評価すると発表しました。

レピュテーション調査から得られた知見

Research Consultingによるレピュテーション調査の回答者は、WPI拠点の重要性とインパクトや、長期的に基礎研究を支援することの幅広い意義に着目しています。

その中でも重要な点として、16名の回答者は、基礎研究が大きなブレークスルーや重要な産業応用につながる可能性があることを指摘しています。また13名が、継続的なイノベーションには基礎研究への資金提供が不可欠であり、WPI拠点は自由な発想に基づく科学的な試みを可能にする、と回答しています。さらに、23名の回答者は、基礎研究の社会的なインパクトは長期的な観点からしかうかがえない、と警鐘を鳴らしています。

レピュテーション調査の回答者は、WPI拠点が学術界の内外で社会にインパクトを与えるさまざまな方法を挙げています。例えば、シンポジウムや公開講座を通じた地域社会との関わりは、日本の科学への熱意を広く伝え、若い世代が基礎研究の道に進むきっかけとなるかもしれません。

WPI拠点は世界の舞台で日本の科学者の知名度を上げることに貢献している、という指摘もありました。これは時に産業界との共同研究に密接に関連しています。ある回答者は、「WPI拠点の人々は、グローバルな舞台で積極的に自分の研究について語り、国際社会と上手にコミュニケーションをとっています。彼らが見据えているのは、世界的な展望そのものです」と述べています。

WPI拠点は、世界中の人々とのコラボレーションや知的交流を促進することで、ホスト機関のみならず日本の学術界の国際化を積極的に支援しています。しかし、レピュテーション調査では、そのためには文化的な変革が必要だという指摘が複数の回答者からありました。

科学計量学的インパクト・レポートから得られた知見

Digital Scienceによる科学計量学を用いたインパクトレポートでは、WPI拠点の社会的影響力が、以下の3つの方法で評価されています。

- 世界的なソーシャルメディアにおけるエンゲージメントとWPI研究の報道を通じた科学リテラシーの促進の評価
- 産業界とのコラボレーションや研究の実用化を通じた、経済や公共政策へのWPI研究のインパクトの測定
- WPI発表論文と国連の「持続可能な開発目標」との関連性の分析

RESEARCH HIGHLIGHT

単一遺伝子の 発現量変化で イネの収量が増加

イネ (*Oryza sativa*) の1つの遺伝子の発現量を増加させるだけで、根でのアンモニウム吸収と葉での光合成効率が向上し、穀粒収量が増加することが明らかになった。

モデル植物シロイヌナズナ (*Arabidopsis*) を用いたこれまでの研究から、細胞膜プロトンポンプをコードする遺伝子の過剰発現が、光合成のガス交換に不可欠な葉の「気孔」の開口を促進して、光合成活性を向上させることが示されていた。しかし、この手法がイネのような作物でも有効かどうかは不明だった。

名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所 (ITbM) の研究者らは、イネで類似の細胞膜プロトンポンプ遺伝子 *OSA1* を過剰発現させ、その影響を調べた。すると、*OSA1* を過剰発現するイネでは、野生株よりも乾燥重量が増加しており、この遺伝子をノックアウトすると逆の影響が見られることがわかった。

測定の結果から、*OSA1* 過剰発現イネでは、アンモニウム取り込み量の増加、気孔開口の促進、光合成活性の増加が見られることが明らかになった。また、*OSA1* の過剰発現株とノックアウト株についてRNA塩基配列解読を行ったところ、過剰発現株では、光合成に関与する一連の遺伝子の発現量が増加していることがわかった。さらに、*OSA1* 過剰発現イネの野外圃場実験では、さまざまな条件にわたって収量の増加と窒素利用効率の上昇が示された。

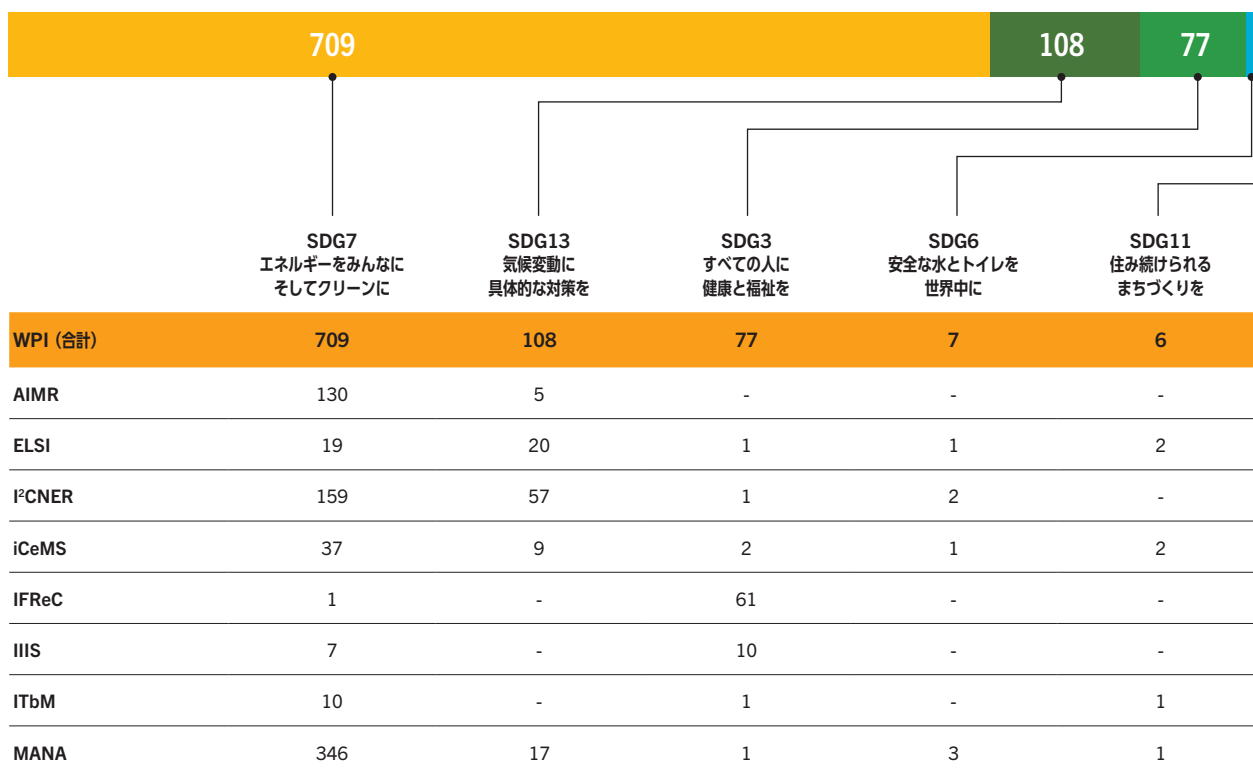
REFERENCE:

Nature Communications 12, 735 (2021).
doi: 10.1038/s41467-021-20964-4

国連の持続可能な開発目標に関連する論文

国連SDGsに関連するWPI拠点が発表した論文の大部分は、エネルギー、気候変動対策、健康に関連している。

2007～2018年に、少なくとも1つのSDG目標と関連する **894** の論文が、WPI拠点から発表されている。



グローバルなパブリック・エンゲージメント

オルトメトリクスは、研究へのグローバルなパブリック・エンゲージメントの度合いを評価するために使われるもので、論文がオンライン上でどのように共有されたり、推奨されたり議論されたりしたかを測定するものです。

オルトメトリクスのデータはその性質上、正確さに欠ける場合もありますが、インパクトの傾向を示す指標となります。

分析の結果、WPIを通じて発表される論文の2本に1本はオンラインで共有されており、平均して54%がオンライン上で言及されていることがわかりました。調査対象となった全てのWPIの論文が、類似分野で同時期に出版さ

れた論文の期待値をはるかに上回るエンゲージメント率を示している、中には類似研究の2倍、3倍を示すものもありました。このことから、WPI論文は、同分野の類似した研究と比べて、一般からの関心を集める割合が高いことがわかります。このエンゲージメントの高さには、WPIの要件である科学コミュニケーションへの取り組みが寄与している可能性もあります。

グローバルなメディア・エンゲージメント

主流メディアによる報道は社会的なインパクトを直接測るものではありませんが、科学者たちは、研究に関するメディア報道を一般市民の科学リテラシーや公共政策への影響と関連付けて

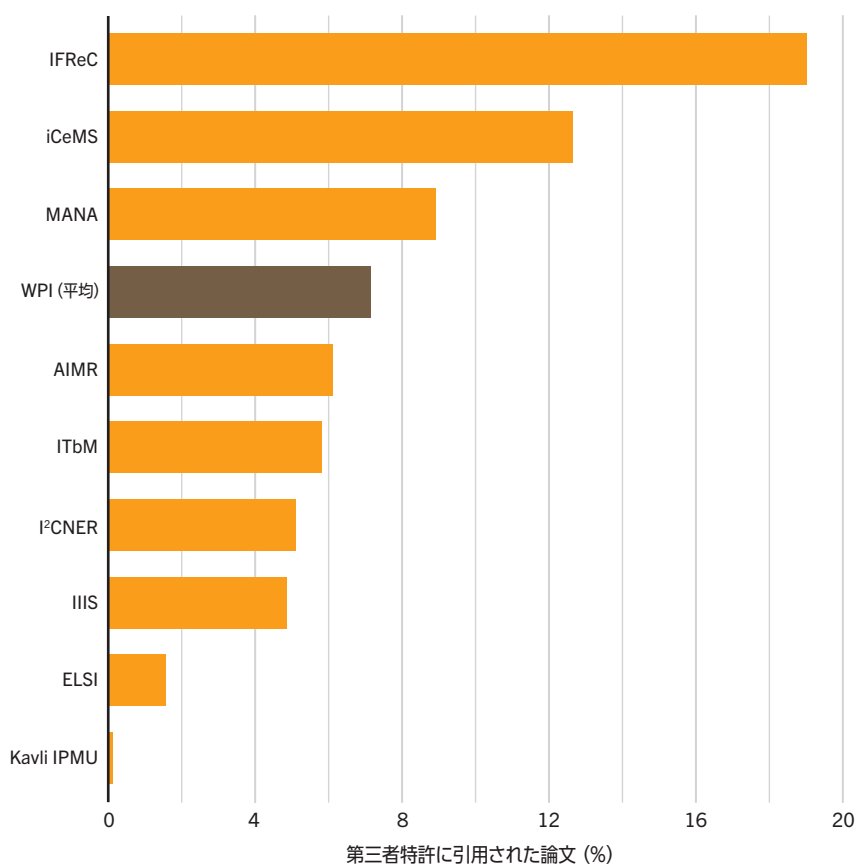
います。

全体的に見て、WPIを通じて発表される研究論文が主流メディアに取り上げられる頻度は期待値を上回っており、調査対象期間中に61カ国の1020の報道機関によって、9357ものニュース記事の中で言及されています。このことは、主流メディアにおけるWPI研究への一般社会および国際的なエンゲージメントを通じて、WPIの目標である社会的インパクトの達成につながっています。

WPIを通じて発表される論文の約半分は、少なくとも1つの著名ニュースサイトで取り上げられています。WPIのパブリック・エンゲージメントは国際的であり、特に南北アメリカ、ヨー

第三者による実用化

各WPI拠点の発表論文の特許引用率。WPI全体の平均は茶色で表示。



ロッパ、アジア太平洋地域、そして科学報道機関からの注目を集めています。

科学計量学的インパクト・レポートでは、WPIの強力な国際的協力関係を活用することにより、例えば非英語話者である研究者のためのプレスリリースや要約の翻訳支援など、より幅広いメディアカバレッジが生まれる可能性についても触れられています。

企業との研究連携

インパクトレポートの執筆陣によれば、学術界と民間企業の研究者との共同研究は、地域のイノベーションや技術の進歩、経済成長の促進につながります。

2007～2019年に、WPIを通じて230の企業との共同研究が生まれ、そ

の結果として世界をリードする民間企業との共著論文が645件発表されました。WPIの出版物についての企業との共著の割合は、平均して約3.3%でした。

発表論文数の多かった国内企業とのパートナーシップは、日立(共著36件)、NEC(32件)、日本電子(21件)、デンソー(20件)、トヨタ自動車(18件)でした。海外企業との連携で最も論文数が多かったのは、韓国のSamsung(共著14件)、続いて米国のRoche(6件)、米国のVeeco(4件)、フランスのAir Liquide(3件)、スイスのNestlé(3件)などでした。

研究の実用化

学術論文を引用する特許を調べること

は、研究が技術の実用化に与える影響を理解する一助となります。基礎研究はしばしば、技術革新や地域の経済成長におけるブレイクスルーを引き起こすからです。

分析では、WPI拠点が発表する研究論文は、特許による引用数を関連分野の平均と比較した場合、知的財産の創出に大きな影響を与えていることがわかりました。WPIの総論文2万464件のうち1473件(7.2%)が、4631件の世界特許に6346回引用されています。

特許引用の分析により研究の実用化で特に優れていたと見られるのは、次の分野です。

- 材料工学
- 物理化学
- 生化学および細胞生物学
- 免疫学
- 高分子および材料化学

また、分析の結果、AIMR、ELSI、iCeMS、IFReC、ITbM、MANAについては、研究の実用化への影響力が極めて高いことがわかりました。

国連の持続可能な開発目標に関連する研究

国連が定める17の持続可能な開発目標(SDGs)は、気候危機や環境悪化の問題に加えて、経済やジェンダーにおける不平等、その他の主要な社会的課題について取り組むものです。

WPIを通じて発表された論文のうち894件が、少なくとも1つのSDG目標と関連しています。最も多く貢献しているのは「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」という目標で(709件)、「気候変動に具体的な対策を」(108件)、「すべての人に健康と福祉を」(77件)がこれに続きます。

WPI拠点による国連SDGsに関連する論文の3分の1以上は、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)によるものでした。■

成果に報いるために：WPIのさらなる発展を目指して

WPIの弱点を克服するための助言

各 WPI拠点における研究成果は世界中の研究者に優れたものと認められているにもかかわらず、Research Consultingによるレピュテーション調査では30名の回答者がWPI拠点をより大きなネットワークの一部として認識しておらず、WPIのブランドが広く認知されていないことがわかりました。

これには様々な理由が考えられますが、特に顕著なのは、研究者がその所属先を示す際、WPIについて言及する(例：WPI-AIMR)よりも個々の研究所や大学名を使う(例：AIMR、東北大学)ことが多いことです。

Nature Indexの創設者であり、Digital Scienceのシニア・アドバイザーであるスウィンバンクスは、「つまり日本以外では、WPIが優れた研究機関の集合体でありネットワークであることがほとんど知られていない、ということです」と述べています。「むしろ、日本のトップ大学の、優秀だが小規模で独立した専門機関だと見なされる傾向にあります」

これに対処するためには、WPIはブランディングに注力し、個々の拠点だけでなくWPIブランド全体としての評判と認知度を高める必要があります。このことはいくつかのレベルで実践可能です。

1. 科学コミュニティを対象とした、世界的な認知度・知名度向上のためのプロモーションを実施する。
2. WPIのウェブサイトを更新する。現在は単にJSPSのウェブサイトの一部であり、インターフェースはかな

り旧式でブランドの独自性も弱い。WPIの後に適切な単語を加えなければ、検索エンジンで見つけることも難しい。WPI独自のドメイン名と、検索エンジン最適化を施した最新のウェブサイトが必要である。

3. 研究論文の所属先、プロモーション資料、電子メールの署名、名刺などのすべての拠点名に、WPIを目立つように加えることを定める。



日本以外では、WPIが優れた研究機関の集合体であるということがほとんど知られていません。

スウィンバンクスは、多くの調査回答者と同様に、10年という期間限定の資金提供を問題視しています。「WPI拠点がようやく確立した矢先に資金の後ろ盾を失い、継続的な支援をホスト大学に頼らなければならないというのは、致命的な欠陥です」とスウィンバンクスは言います。

拠点の中には、10年間の支援期間を経た後にWPIアカデミーとなり、東北大学のAIMRのようにホスト先の大学から、あるいはICNERのように大学と産業界から合わせて、継続的な資金を得ているケースもありますが、これには難点もあります。外国人研究者の数を削減したり、従来式の日本のアカデミック体制に戻ったり、WPIのミッ

ションの中核をなす基礎研究の代わりに産業プロジェクトに重点を置くようになったりする場合があるのです。

資金提供期間を10年以上に延長することは、WPI拠点がそのユニークな特性と優先事項を堅持するために役立つだけでなく、もう1つの弱点として指摘される、外国人スタッフの長期に職維持への対処法にもなり得ます。WPIは、経験の浅い外国人研究者にとってキャリアの一過程としては認められていても、長期的な就業の機会に乏しいために、多くの場合単なる足がかりとみなされています。

STEM分野には「見たことがないものにはなれない」という警句があります。ロールモデルの不在を克服するために、WPIにおける外国人PIの割合を一定以上にすることを要件としたり、WPIの責任者に外国人を起用したりすることをスウィンバンクスは提案しています。拠点への資金提供期間を長くし、定員割り当てを奨励し、明確なキャリアの方向性を示すことにより、WPI拠点はそのユニークな特徴と外国人スタッフの両方を維持することが可能となります。

同様の課題として、主任研究者やディレクターなどのトップ職に女性が少ないことも調査回答者によって指摘されています。これもまた、日本人女性と外国人女性の両方に対してWPIが取り組むべき課題です。

WPIにおける科学が卓越的であるように、いくつかの改革を実施することで、その文化やスタッフの長期的なキャリア機会も優れたものとなるでしょう。■

付録：方法論

科学的・社会的インパクト報告書

科学計量学的分析は、Digital ScienceのDimensionsおよびAltmetricデータベースを用いて行われました。

日本学術振興会 (JSPS) によって2万928件の論文が分析対象として提供され、そのうち2万550件には、分析にあたってDimensionsやAltmetricを検索する際に必要な識別子となるDOIが付与されていました。重複排除の結果、2万464件のDOIが分析対象となりました。個別のWPI拠点に関する動向を報告する際には、各拠点に割り当てられたDOIをもつ全ての関連出版物 (N = 2万550) を考慮していますが、同じ論文を複数のWPI拠点の著者が共著している場合もあります (N = 86)。

Dimensionsは高度なテキストマイニング技術を用いて、ドキュメントとその他の属性の相互のつながりを見いだします。これには、助成機関と出版物とのリンクや、研究者と助成金とのリンク、臨床試験から出版物への引用、政策文書から出版物への引用、さらに研究出版物の14億件にもものぼる相互引用情報などが含まれます。Dimensionsには合計で2億6000万件以上のレコードが収録されており、それらの間に40億以上の相互リンクが含まれています。

WPI拠点により発表された出版物でDOIが付与されている2万550件のうち、2万492件の出版物がDimensionsの出版物IDにリンクされました。このDimensionsの出版物IDをもつ出版物が、各分析の一部、あるいは全てのベースとして使用されました。Dimensionsより算出した全ての計量書誌学的データは、2021年3月8日までの書誌事項および相互リンクを反映しています。

Altmetricは学術文献に関連するオンライン活動を追跡・分析します。Altmetricは主要なメディアや政策文書、ソーシャルネットワーク、ブログ

などの学術的および非学術的な場で、出版された研究成果について人々がどのように言及しているかを収集し、研究の影響力とリーチに関するより確かな情報を提供します。Altmetricはこれまでに1700万件の研究成果について、さまざまなオンライン情報源から1億6400万件以上の言及を追跡しています。

WPIを通じて発表され、今回の分析対象となった2万464件のDOIのうち、1万1740件がAltmetric Explorerデータベースに含まれています。Altmetric Explorerデータベースは、Altmetricが追跡する情報源の中でオンラインで言及された出版物のみを収録しています。Altmetricのデータは、各分析の一部、あるいは全てのベースとして使用されました。科学的・社会的インパクト報告書は、2021年3月30日までに記録されたAltmetricでの言及を反映しており、Altmetricスコアについては2021年5月17日に算出されています。

レピュテーション調査

レピュテーション調査はResearch Consultingによって実施されました。JSPSとSpringer Natureの協力のもとに作成されたインタビュー質問票に基づき、半構造化された定性的インタビューの手法を用いています。調査対象者は、Springer Natureとの緊密な連携により特定・採用され、インタビューから得られた知見はNVivoソフトウェアを用いてテーマ別に分類の上、分析されました。

レピュテーション調査の対象となったのは、55名の研究者、3名の編集者、8名の政策立案者もしくは資金提供者からなる計66名の関係者で、国や所属機関は多岐にわたっていました。なお、研究者については、全員が過去にWPI拠点との接点があり、日本以外の国の出身者もしくは日本国籍をもたない者でした。■

