

ナイスステップな 研究者 2021

文部科学省科学技術・学術政策研究所(NISTEP、所長 佐伯 浩治)では、科学技術イノベーションの様々な分野において活躍され、日本に元気を与えてくれる10名の方を「ナイスステップな研究者」として選定しました。

科学技術・学術政策研究所(NISTEP)では、科学技術イノベーションの様々な分野において活躍され、日本に元気を与えてくれる方々を「ナイスステップな研究者」として選定しています。平成17年より選定を始め、過去にナイスステップな研究者に選定された方の中には、その後ノーベル賞を受賞された山中 伸弥 教授や天野 浩 教授も含まれています。

令和3年の選定においては、NISTEPの日頃の調査研究活動で得られる情報や、専門家ネットワーク(約2,000人)への調査で得た情報等により、最近の活躍が注目される研究者約390名の候補者を特定しました。選定においては、研究実績に加えて、人文・社会科学との融合等の新興・融合領域を含めた最先端・画期的な研究内容、産学連携・イノベーション、国際的な研究活動の展開等の観点から、所内審査会の議論を経て最終的に10名を選定しました。

今年の「ナイスステップな研究者 2021」には、今後活躍が期待される30代～40代の若手研究者(平均年齢40.0歳)を中心に、生命の進化や物質に関する先進的な基礎研究や、人文学分野に情報学の技術を応用する融合研究、大型計算機を用いた大規模災害シミュレーションといった現代社会の課題に密接に関わる研究など多岐にわたる分野において、研究活動のみならず様々な形で国内外へ広く研究成果を展開されている方を選定しています。

これらの方々の活躍は科学技術に対する夢を国民に与えてくれるとともに、我が国の科学技術イノベーションの向上に貢献するものであることから、ここに広くお知らせいたします。



科学技術・学術政策研究所
National Institute of Science and Technology Policy



■科学技術・学術政策研究所(NISTEP)では、科学技術イノベーションの様々な分野において活躍され、日本に元気を与えてくれる方々を「ナイスステップな研究者」として令和3年(2021年)12月14日に選定しました。平成17年(2005年)から、科学技術イノベーションの様々な分野において活躍され、日本に元気を与えてくれる方々を「ナイスステップな研究者」として過去174名を選定しており、令和3年(2021年)で17回目の選定です。

■AI技術やデータサイエンスを駆使した医療・材料科学・化学などへの応用研究、自然科学と人文社会科学の融合研究、認知症の新たな診断法やSDGsに資する技術開発といった現代社会の課題に密接に関わる研究など多岐にわたる分野において、研究活動のみならず様々な形で国内外へ広く成果を還元されている方を選定しています。

(年齢・所属は令和3年12月14日時点)

複雑な社会・経済現象をシミュレーションで解明
ー異分野融合で拓くよりよい社会ー

いのうえ ひろやす

井上 寛康 (46)

公立大学法人兵庫県立大学大学院 情報科学研究科 教授
国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ研究員
国立研究開発法人理化学研究所 客員主管研究員



人と自然の関わり合いの理解を通して、
持続的な自然共生型社会の構築を目指す

そが まさし

曽我 昌史 (33)

東京大学大学院 農学生命科学研究科 准教授

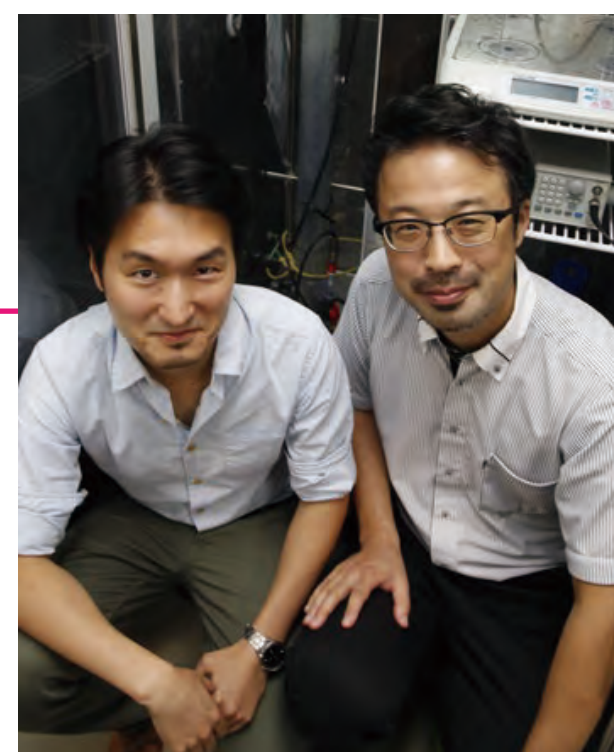


真核生物誕生の謎に挑む
ー新たな進化モデルの提唱ー

いまち ひろゆき

井町 寛之 (46)

国立研究開発法人海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門 上席研究員



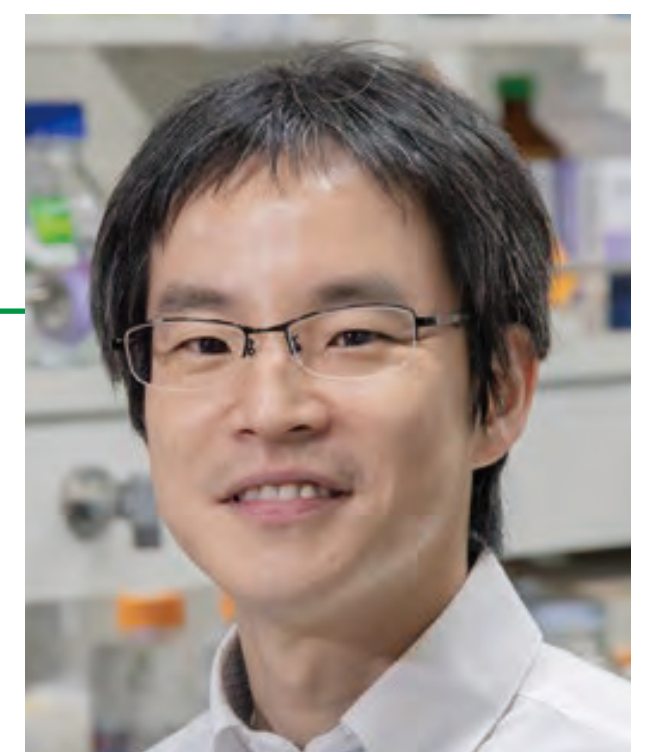
延 優 氏 井町 寛之 氏

「タバコ」で紡ぐ農業の未来

のたぐち みちたか

野田口 理孝 (41)

名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 准教授
グランドグリーン株式会社(名古屋大学発ベンチャー) 取締役



のぶ まさる

延 優 (33)

国立研究開発法人産業技術総合研究所 生命工学領域 生物プロセス研究部門 主任研究員

新たなテレワークシステムの研究から社会実装まで
ー誰でもどこでもつながる世界を目指してー

のほり だいゆう

登 大遊 (37)

独立行政法人情報処理推進機構 産業サイバーセキュリティセンター サイバー技術研究室 室長
ソフトイーサ株式会社 代表取締役
NTT東日本 特殊局員
筑波大学 産官学共創プロデューサー(産学連携教授)



人文科学の研究を可視化し未来につなぐ
デジタル・ヒューマニティーズの開拓

ごとう まこと

後藤 真 (45)

大学共同利用機関法人人間文化研究機構 国立歴史民俗博物館 准教授
総合研究大学院大学 文化科学研究科 准教授



化学的性質を活かした近似計算方法の開発と応用
ー機能性材料の理解の深化と効率的設計を目指してー

はたなか みほ

畑中 美穂 (38)

慶應義塾大学 理工学部 化学科 准教授



ソフトマターの新たな法則の発見
ーゴムやゲルの物理が導く新たな世界ー

さくみち なおゆき

作道 直幸 (38)

東京大学大学院 工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻 特任講師



細胞膜修飾による細胞機能の制御
ー生体内の治療標的となる箇所だけで治療効果などの機能を発揮させるー

ひぐち ゆりこ

樋口 ゆり子 (47)

京都大学大学院 薬学研究科 准教授



ナイスステップな研究者の詳細は、以下のウェブサイトでご覧いただけます

<https://www.nistep.go.jp/activities/nistep-selection>

お問合せ:企画課

Email:kikaku@nistep.go.jp



いのうえ ひろやす

井上 寛康

公立大学法人兵庫県立大学大学院 情報科学研究科 教授
国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ研究員
国立研究開発法人理化学研究所 客員主管研究員

複雑な社会・経済現象をシミュレーションで解明 ー異分野融合で拓くよりよい社会ー

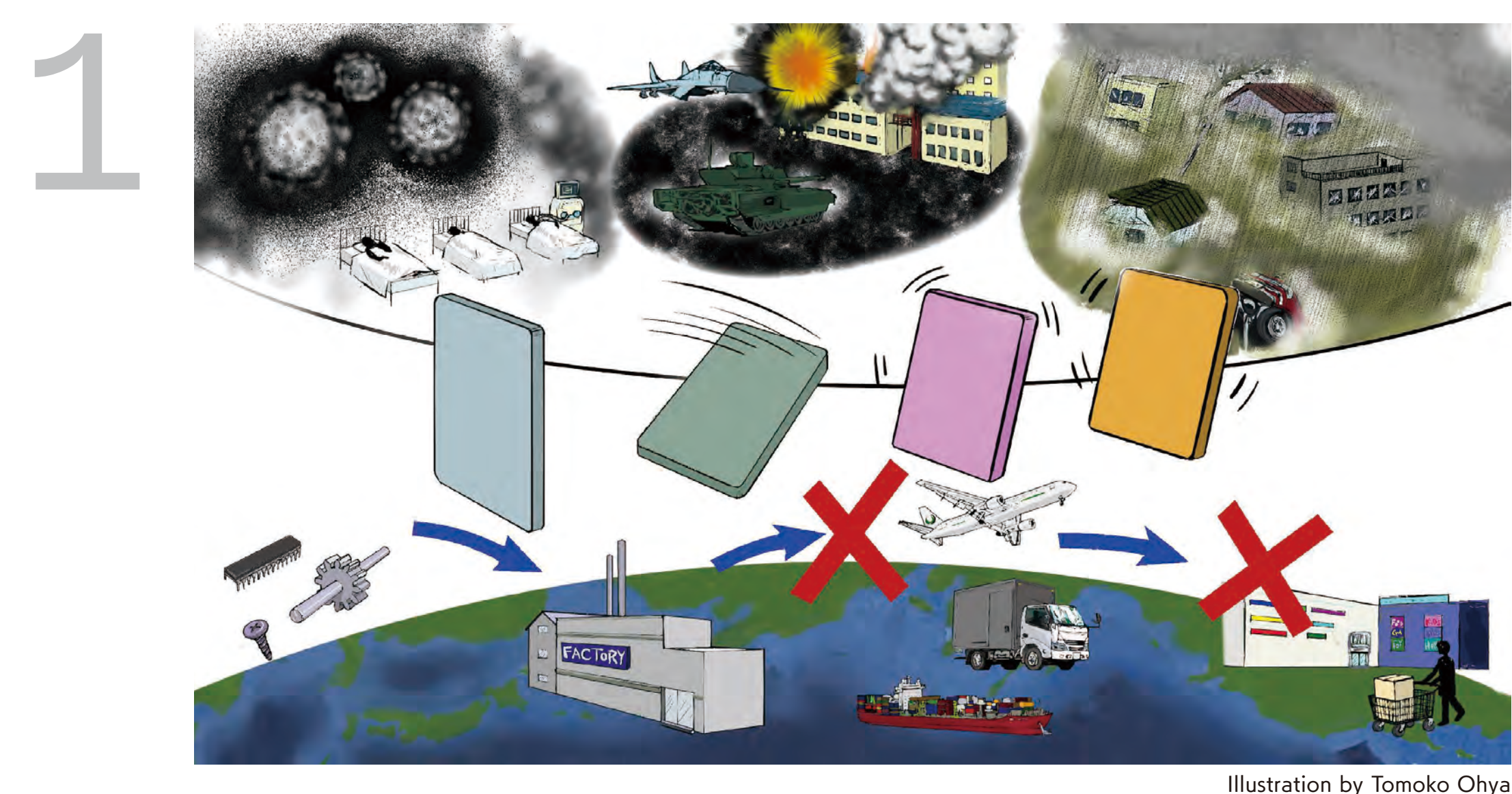
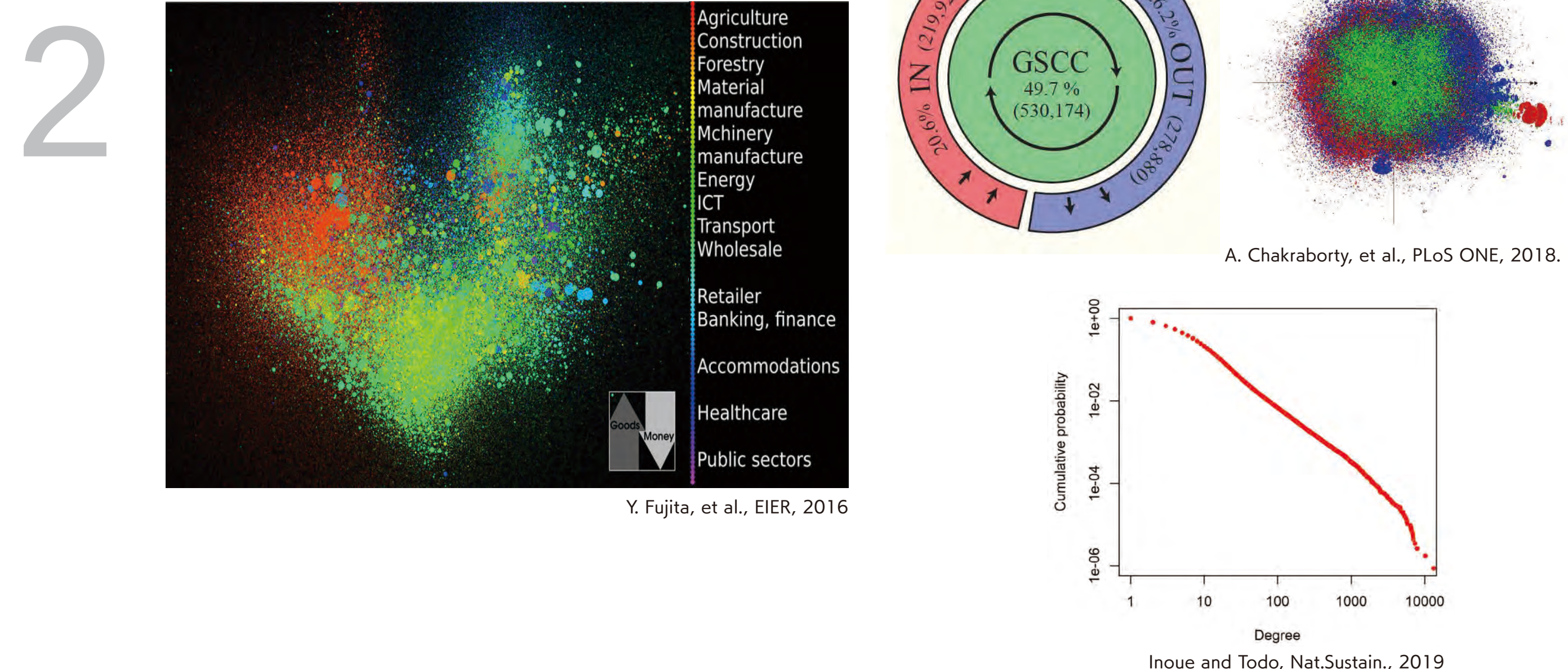


Illustration by Tomoko Ohya

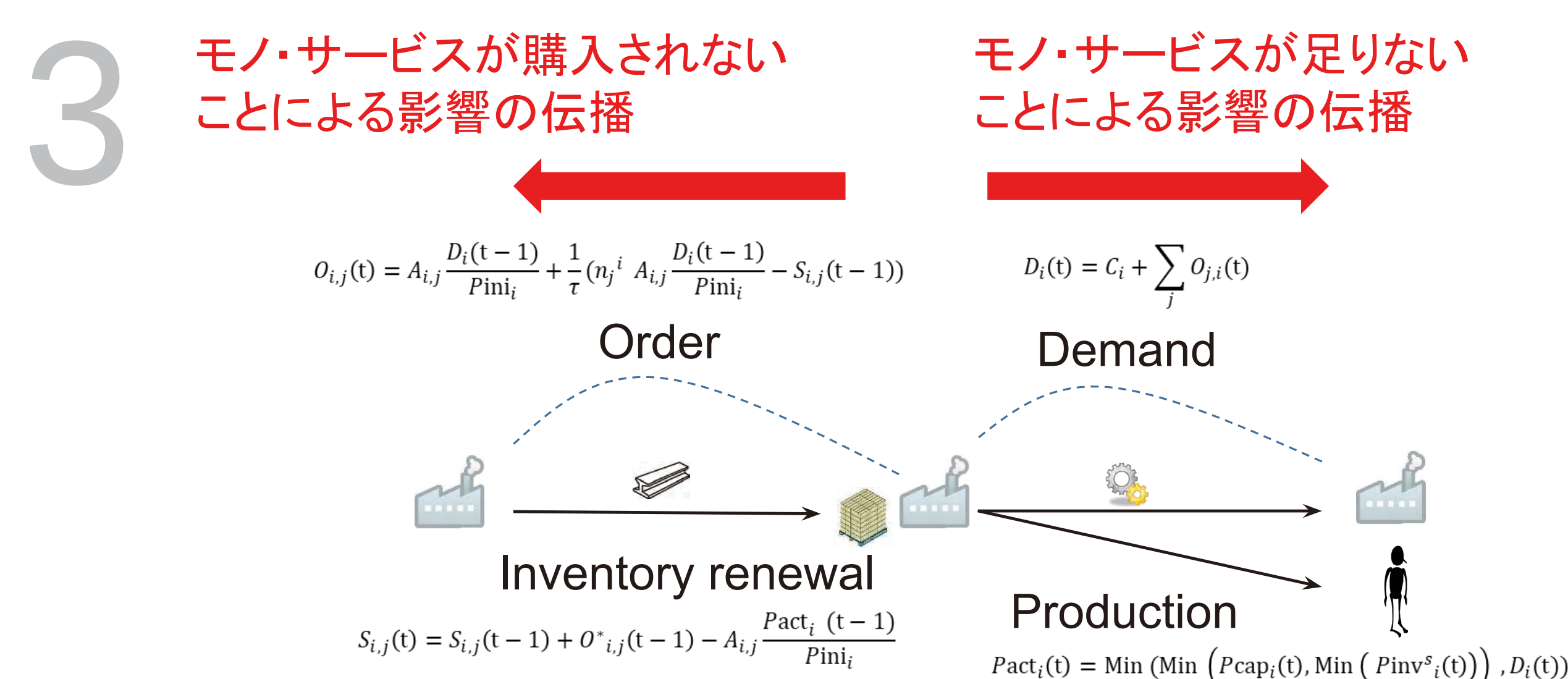
サプライチェーンにおける脆弱性と予測の困難さ

現代において世界は社会的・経済的結びつきを強めています。特に経済においては、モノ・サービスが高度化・複雑化するにつれ、サプライチェーン上で関わる企業が増える一方です。このような状況では災害やパンデミックなどが一部地域で起きたことでも、サプライチェーンを介してドミノ倒しのように非常に大きな影響が起きることがわかっています。すなわち世界経済の脆弱性が高まり続けています。したがって、その影響がどのようなものになるかを予測することは極めて重要でありながら、これまで部分的なサプライチェーンを扱ったものを除いてほとんど行われてきませんでした。その原因は、サプライチェーン上で何が不足し、その先の企業にどのように影響するか、ということはそのサプライチェーン、ネットワークの構造に強く依存するため、そのネットワークを用いなければ予測ができないためでした。



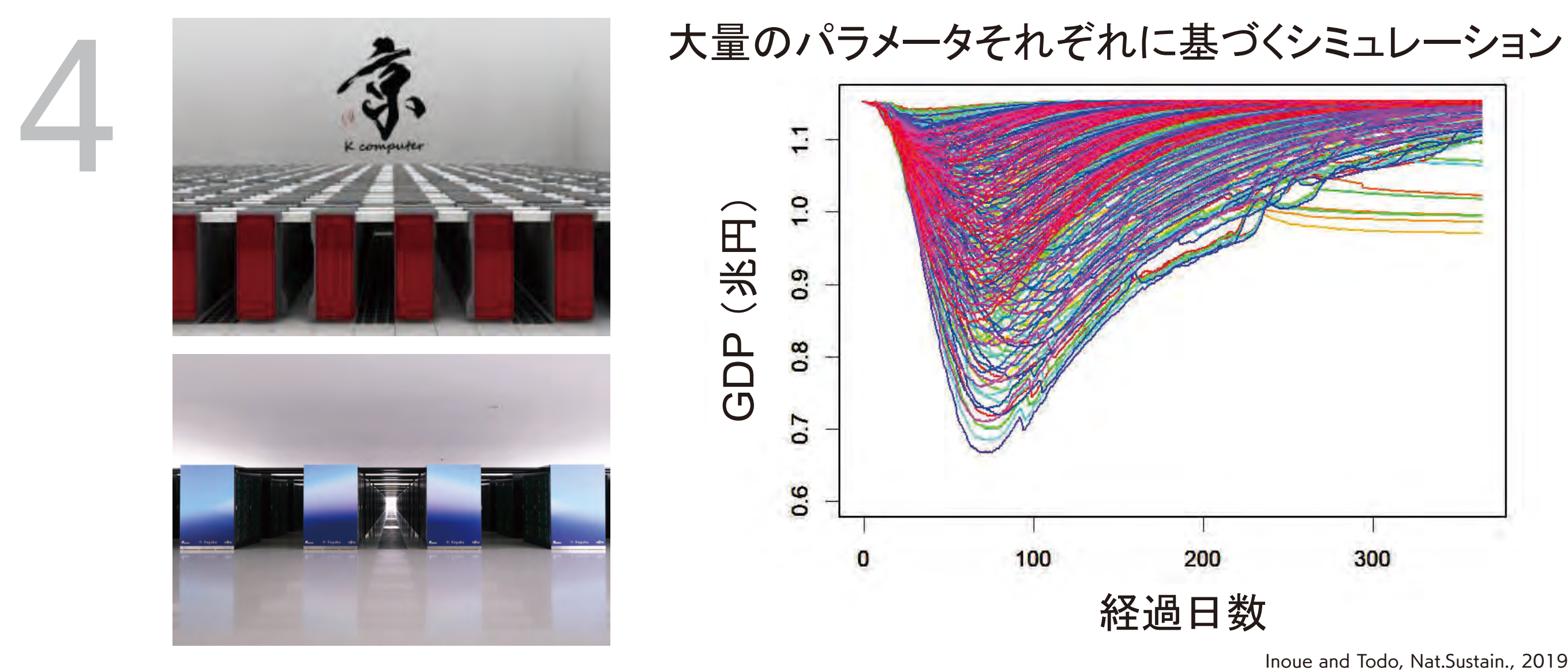
サプライチェーンデータを丸ごと使う

サプライチェーンの一部で起きた負の出来事がいかに伝わるかは、サプライチェーンの構造そのものに依存するため、実際のデータを使うことが信頼できる推計の元になります。左の図は、日本のサプライチェーンを可視化したものであり、企業が産業で色付けされた点で表され、つながりがあれば近くに配置されています。この図では下から上にモノ・サービスが流れる様子が示されています。この図にはおよそ100万の企業・400万の関係が可視化されています。このサプライチェーンは非常に複雑な構造をしています。右上の図は、Giant Strongly Connected Component (GSCC) に約半分の企業が含まれることを示しています。このGSCCは、ある企業からサプライチェーンをたどると自身に戻ってくるループを表しており、これは不安定な挙動を示す原因となります。実際に企業を三次元空間にばねモデルと呼ばれる簡易な方法で配置すると、この左の簡易な図と同じ構造があることが見て取れます。右下は、企業が持つ取引先の数に補累積確率分布で示しており、10,000を超えるような取引先がある企業など、巨大なハブの存在を示しています。この理由で企業間で取引を辿るのに必要なステップ数が極端に小さくなり、一部で起きた負の出来事が即座に伝わることを示しています。



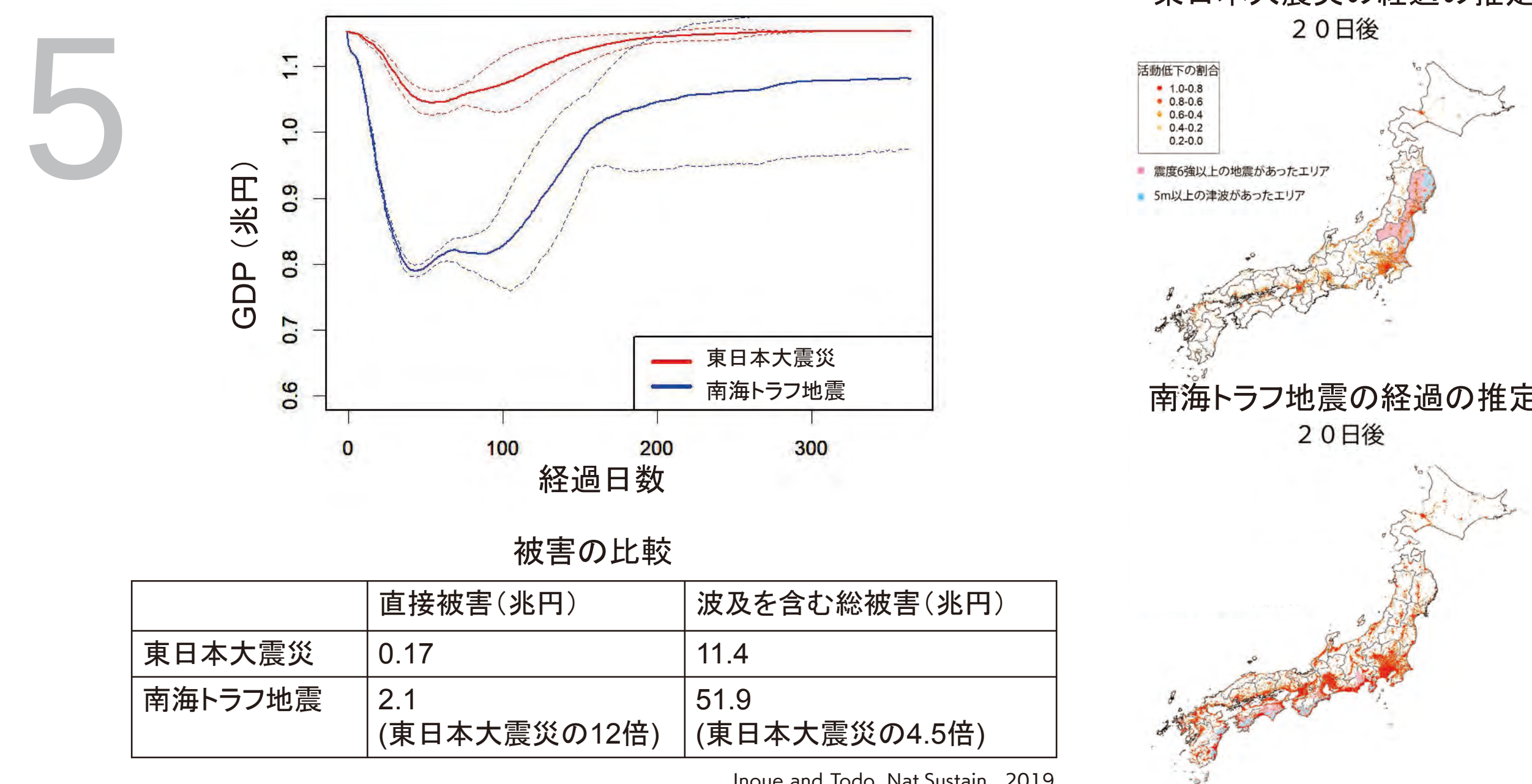
サプライチェーンのシミュレーションモデル

各々の企業は、どのような情報をもとに、何を仕入れ、何を生産するかなどにおいて異なります。シミュレーションモデルはそれらを大胆に捨象しつつ、重要である影響の波及を推計することを目指して作成しました。その際に、パラメーターによってシミュレーションの挙動を変えられるようにしておくことで、モデルの再現可能な経済の振る舞いに幅を持たせ、後でそれを修正できるようにしています。実際のサプライチェーン上で、このモデルを実行することにより、モノ・サービスの供給不足は下流方向に伝わり、需要不足は上流方向に伝わっていきます。



京・富岳を使ってパラメータを探索する

シミュレーターにはパラメータが含まれ、その値によって挙動が変わるため、非常に大きな自由度があります。その中から現実合うパラメータを探すには、それぞれのパラメータでシミュレーションを実行せざるを得ないため、膨大な計算時間が必要になります。本研究では、社会科学ではこれまであまり活用されてこなかった大型並列計算機である京・富岳を利用し、この問題を解決しています。

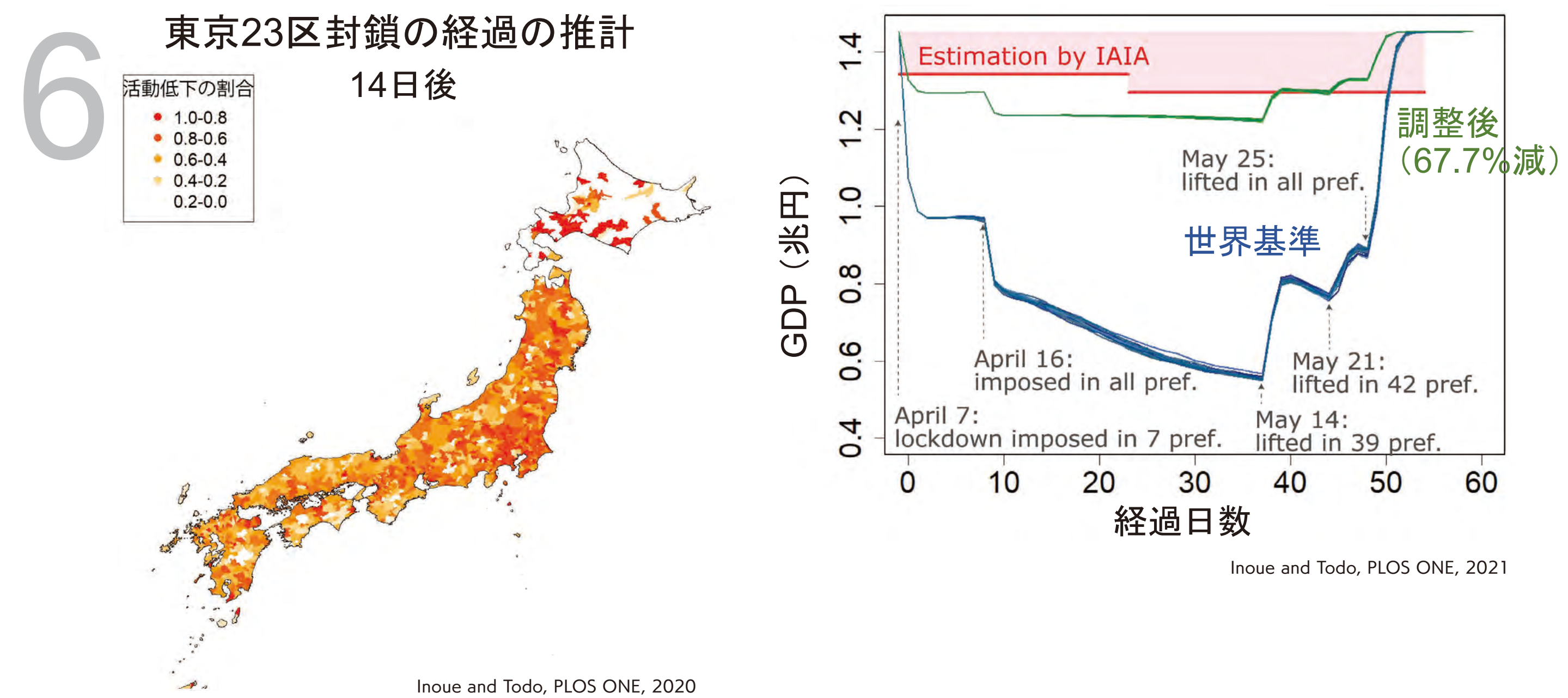


被害の比較		
	直接被害 (兆円)	波及を含む総被害 (兆円)
東日本大震災	0.17	11.4
南海トラフ地震	2.1 (東日本大震災の12倍)	51.9 (東日本大震災の4.5倍)

Inoue and Todo, Nat.Sustain., 2019

東日本大震災に基づく南海トラフ地震の推計

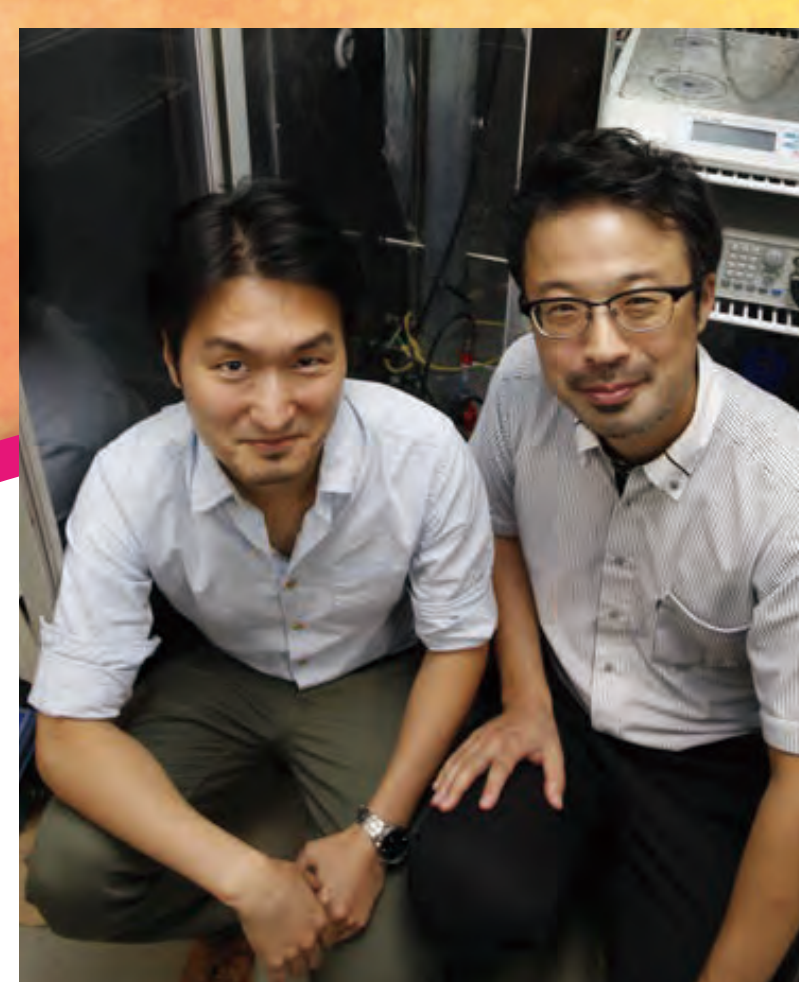
東日本大震災を用いて推計されたパラメータを用いることで、今後起きるものを含んださまざまな地震・津波被害の推計が可能になります。ここでは南海トラフ地震を例に、その被害推計を示しています。左上の図は、東日本大震災と南海トラフ地震の日々の損失推計を比較したのですが、南海トラフ地震はその落ち込みだけではなく、点線で示された標準偏差から、被害の幅もより大きく、また場合によっては元に戻るのに相当の時間がかかる場合も予測されます。被害の総額は4.5倍に上ると推計されます。右の2枚の図は地理的な被害の広がりやの違いを企業を色付けすることで示しています。



Inoue and Todo, PLOS ONE, 2020

COVID-19 パンデミックの影響推計

COVID-19 感染拡大防止策は経済活動に大きな影響を及ぼしましたが、その推計のためのシミュレーションも行っています。左の図は、社会・経済活動の厳しい抑制である都市封鎖 (生活必需産業以外を停止) を、東京23区に行った場合の影響です。市区町村ごとに企業活動の低下の状況を平均化して示しています。この図は2週間後には全国のほとんどの企業活動が抑制されてしまうことを示しています。右の図は、2020年4月から5月にかけて全国で行われた緊急事態宣言に関する推計です。各々の企業が自粛の影響をどの程度受けたかは不明であるため、世界的な基準でまず推計し、それを日本の実態に合うように調整したところ、日本が当該時期に被った経済的影響は、世界的基準で封じ込め策を行った場合と比べると、67.7%影響を抑えることができていたことがわかりました。これは本研究のシミュレーションでなければ明らかにできない内容です。



延 優 氏 井町 寛之 氏

いまち ひろゆき

井町 寛之

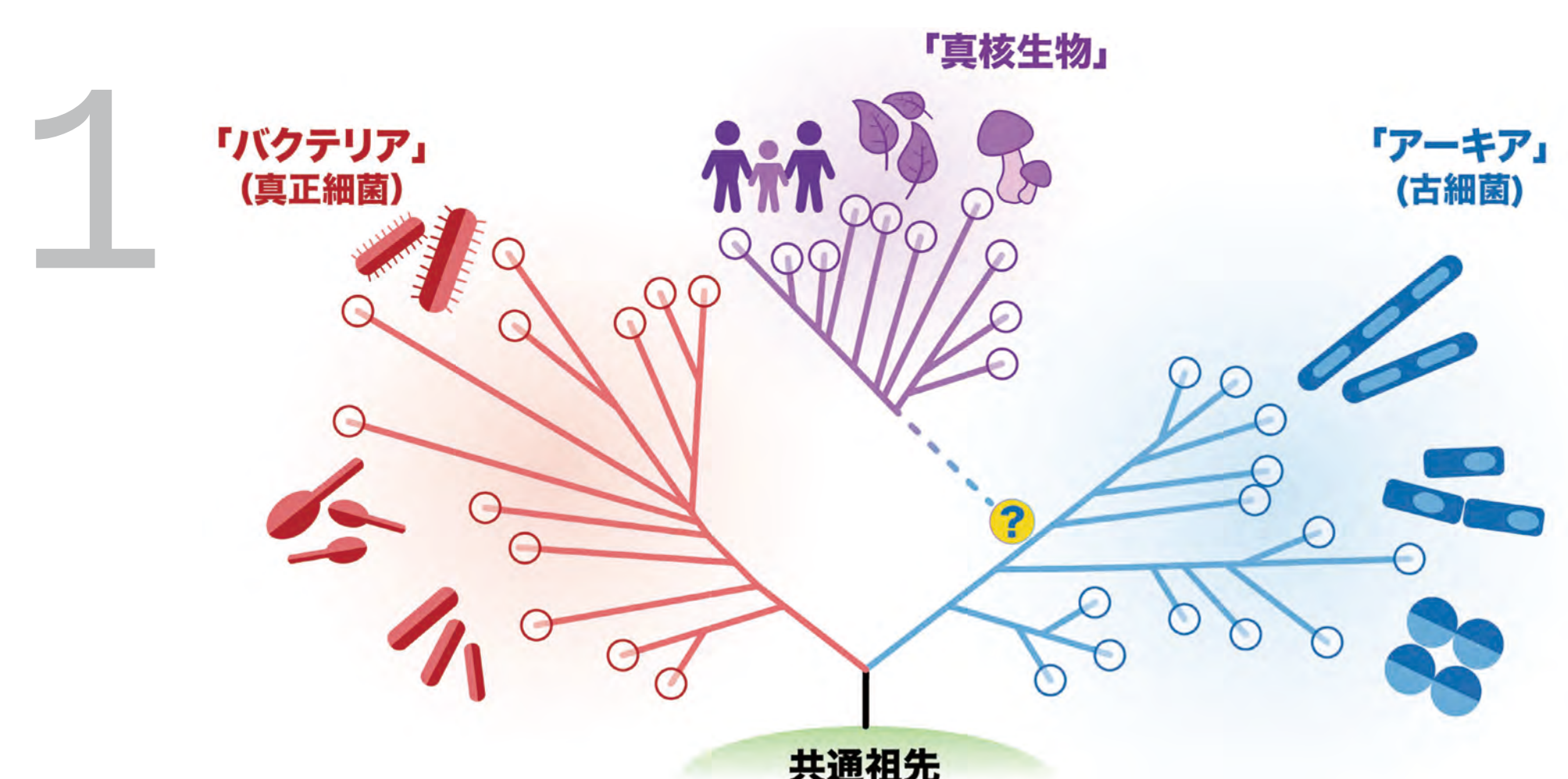
のぶ まさる

延 優

国立研究開発法人海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門 上席研究員

国立研究開発法人産業技術総合研究所 生命工学領域 生物プロセス研究部門 主任研究員

真核生物誕生の謎に挑む — 新たな進化モデルの提唱 —



私たち真核生物の遠い祖先「アーキア」

私たち人間や動植物などの真核生物は、アーキア（古細菌）とバクテリア（真正細菌）の2つの原核生物が融合して誕生したと考えられている。このバクテリアは後にミトコンドリアになったが、祖先アーキアの実体は謎に包まれたままであったため、どのような過程を経て複雑な細胞を持つ真核生物へ進化したのかは大きな謎であった。

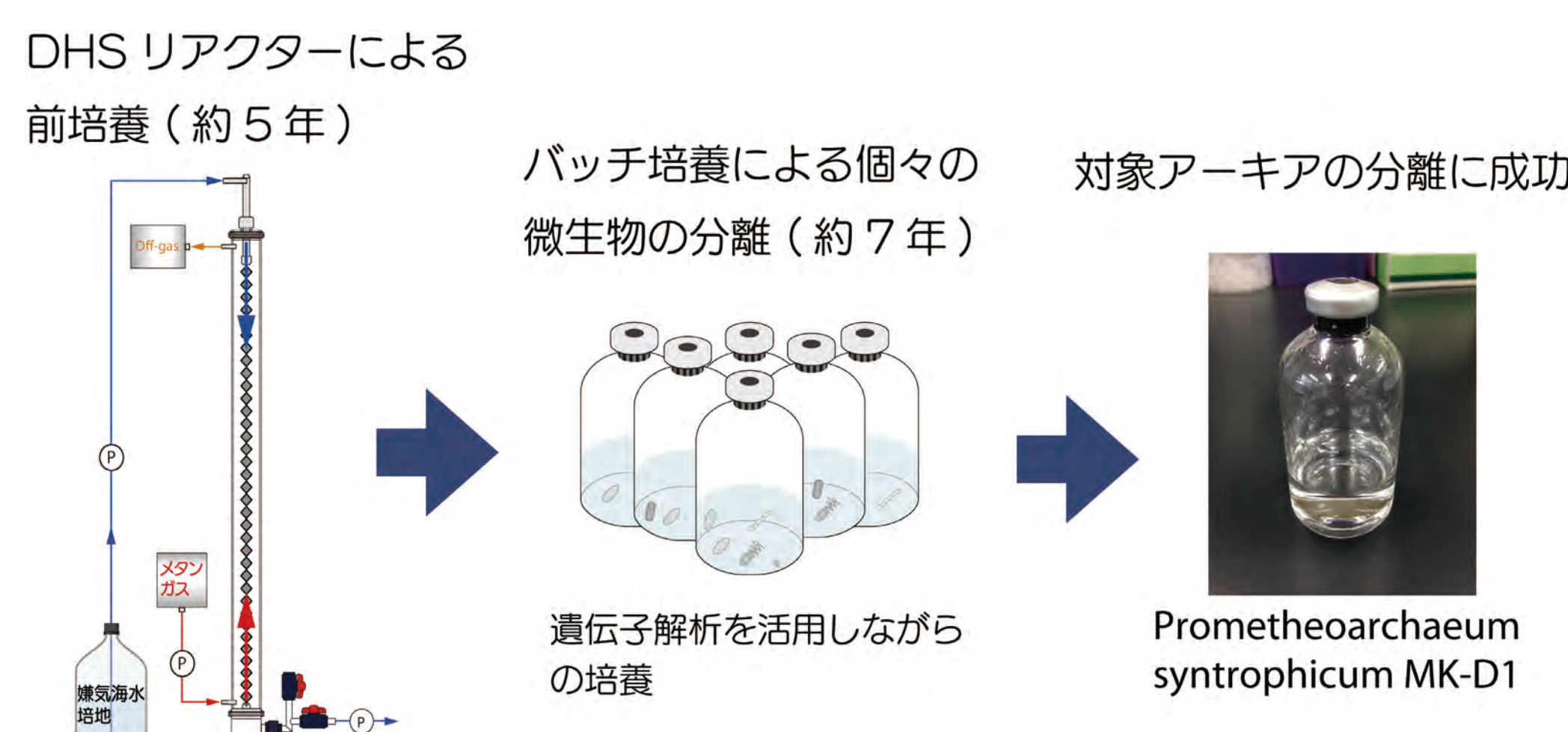
2



祖先アーキアの子孫を探しに海底へ

真核生物は海底の泥の中で誕生したと考えられていたため、祖先アーキアの姿を保つ子孫のアーキアが今も海底に生きている可能性があった。そこで、2006年に和歌山県沖水深約2,500mから海底の泥を採取した。

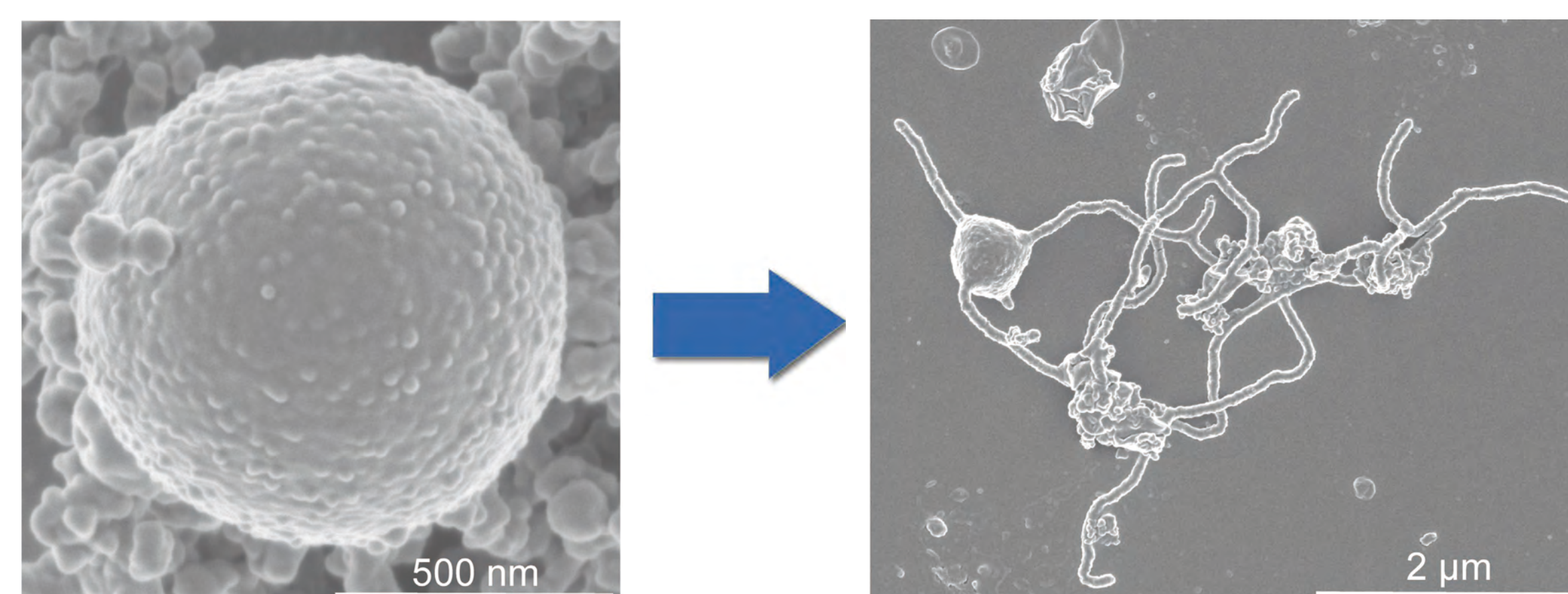
3



海底の泥からアーキアを捉える

アーキアの姿や生き方を解明するために海底の泥からの培養に挑んだ。海底に住む微生物の大多数は実験室で生育させることが実現されておらず非常に難しいとされていたため、DHSリアクターと呼ばれる装置を用いた海底環境を模倣する独自の培養方法を用いた。12年にわたる試行錯誤を経て、目的としていたアーキアの培養に世界で初めて成功し、Prometheoarchaeum syntrophicum MK-D1株と命名した。

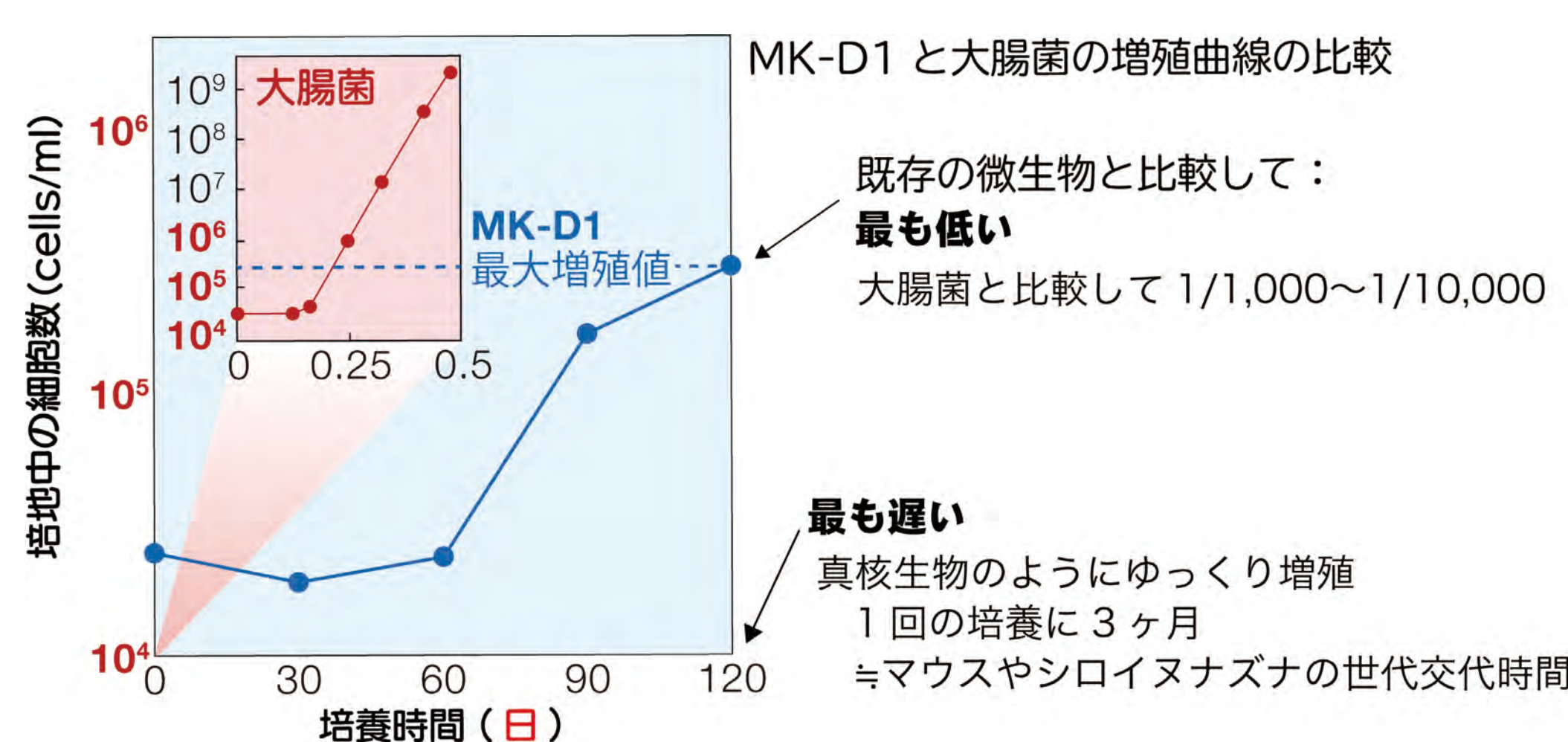
4



ユニークな細胞の形

MK-D1は直径が約550nmの極小の球状細胞であるが、増殖が終わる頃に細胞外部に触手のように長くて分岐する突起を伸ばして細胞形態を大きく変化させるという、他のアーキアやバクテリアには見られない特徴を持つ。人類が捉えることができていたアーキアの中で真核生物に最も近縁だが、MK-D1の細胞内部に核や小器官はない。

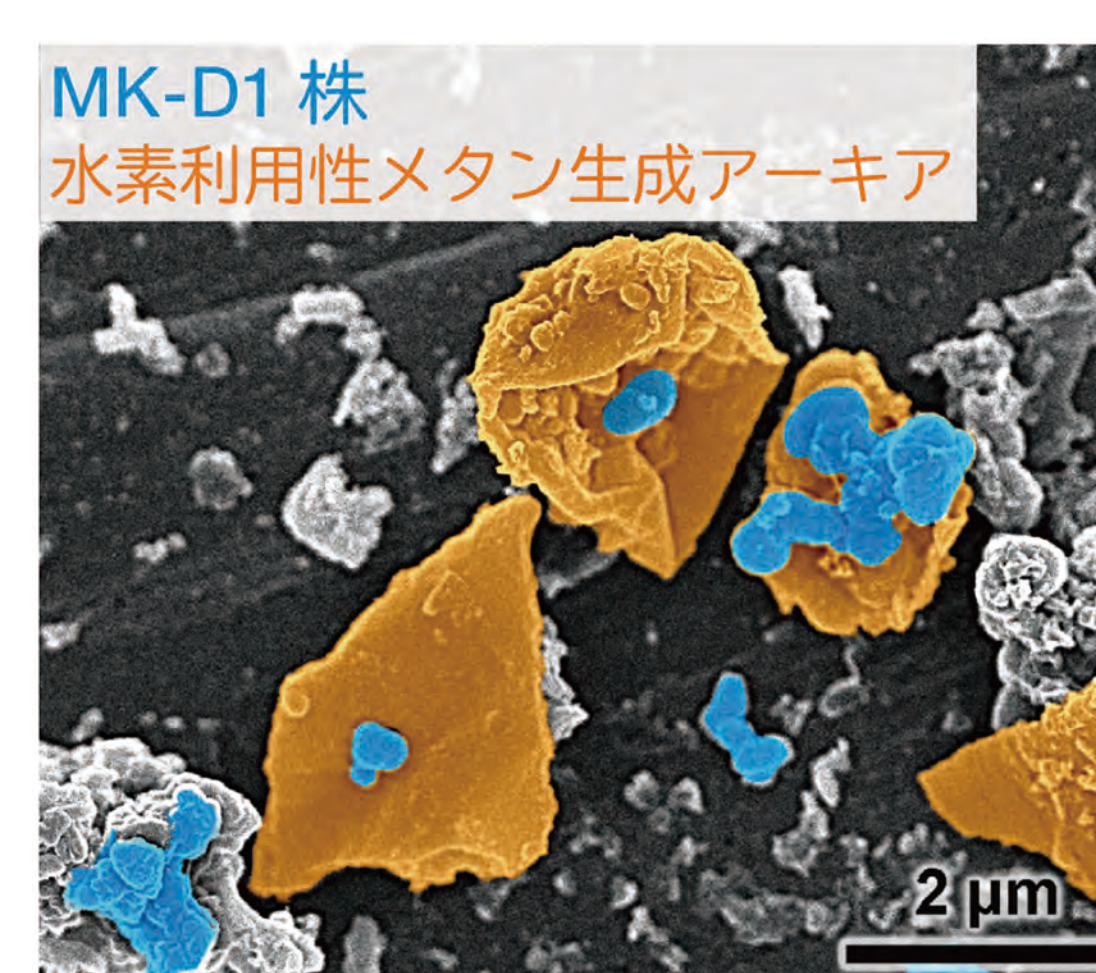
5



とてもゆっくりと増殖する

MK-D1はこれまで知られている原核生物の中では最も遅い増殖速度を持つ。1回の培養に3ヶ月程度必要であり（マウスやシロイヌナズナの世代交代時間）、モデル微生物である大腸菌と比較して1,000～10,000倍も増殖が微弱である。MK-D1のようなゆっくり増殖する微生物がなぜ細胞形態変化にエネルギーを費やす理由は未知である。

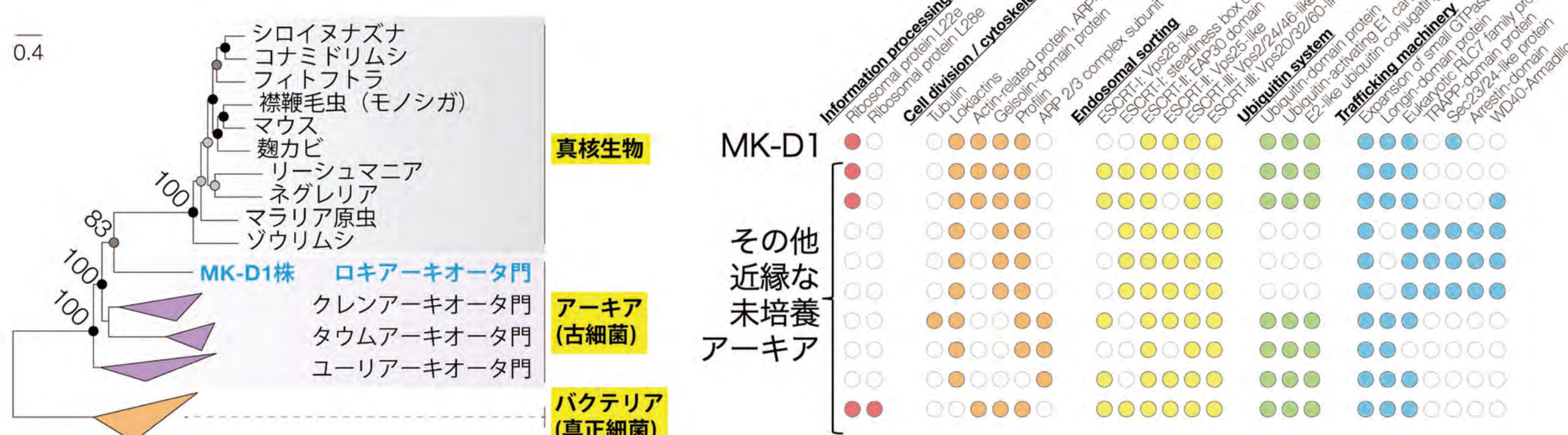
6



共生に依存した生き方

MK-D1は無酸素環境下でアミノ酸を分解することでエネルギーを得て成育する嫌気性アーキアである。しかしながら、細胞の構成成分（ビタミン・アミノ酸等）の多くを自分で作り出すことができないために、他の微生物と共生しなければ生きていけない“不完全な”生物である。

7



“真核的”遺伝子を持つ原核生物

ゲノムを解析した結果、MK-D1は培養されている原核生物で最も真核生物に近縁であることや、これまで真核生物に特異的とされてきたタンパク質（アクチンや膜操作関連）をコードする遺伝子を多数保有することが明らかとなった。さらに比較ゲノム解析・系統解析を行った結果、私たちの祖先となったアーキアもMK-D1と同様に無酸素環境下でアミノ酸を利用し、他の微生物と共生しながら生きていたことが推定された。

8



真核生物誕生の新仮説「E³モデル」

本研究で得られたMK-D1の特徴とこれまでの真核生物の起源研究の結果を統合し、新たな真核生物の誕生仮説「E³モデル」を提案した。今から約27億年前に地球に酸素が増えてくる大酸化イベントが始まった際、真核生物の祖先となるアーキアは毒である酸素を解毒するためにミトコンドリアの祖先となるバクテリアと共生し、その後、祖先アーキアは長い触手のような突起や小胞を使うことでミトコンドリアの祖先を細胞内に取り込み、それらが一体化することで最初の真核生物細胞が生まれたという仮説である。



ごとう まこと

後藤 真

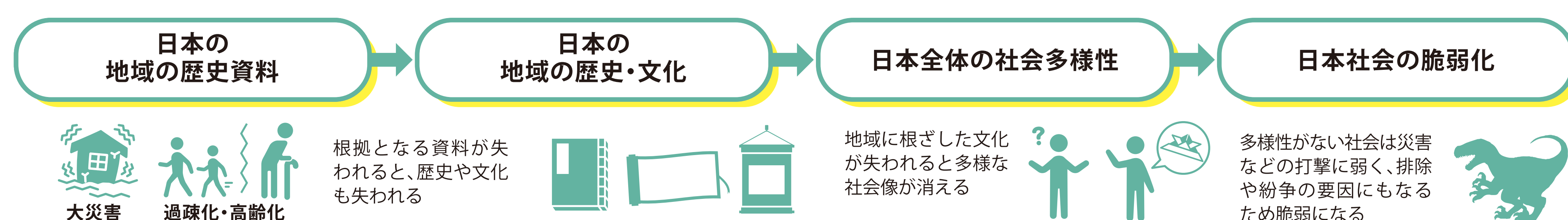
大学共同利用機関法人人間文化研究機構 国立歴史民俗博物館 准教授
総合研究大学院大学 文化科学研究科 准教授

人文学の研究を可視化し未来につなぐデジタル・ヒューマニティーズの開拓

01

社会課題：

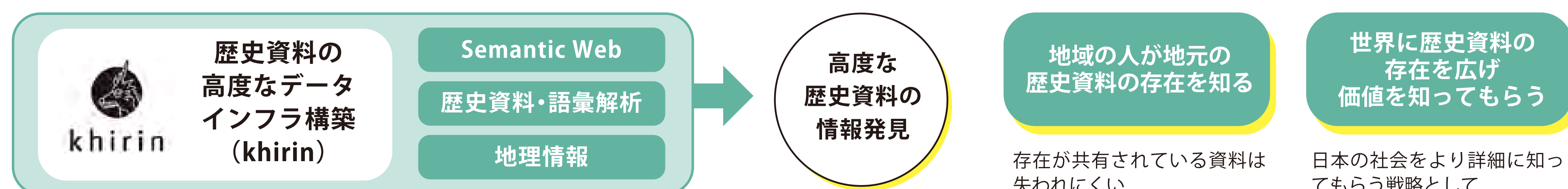
地域歴史資料の消失による
地域社会の多様性の消失



02

社会課題の解決提案

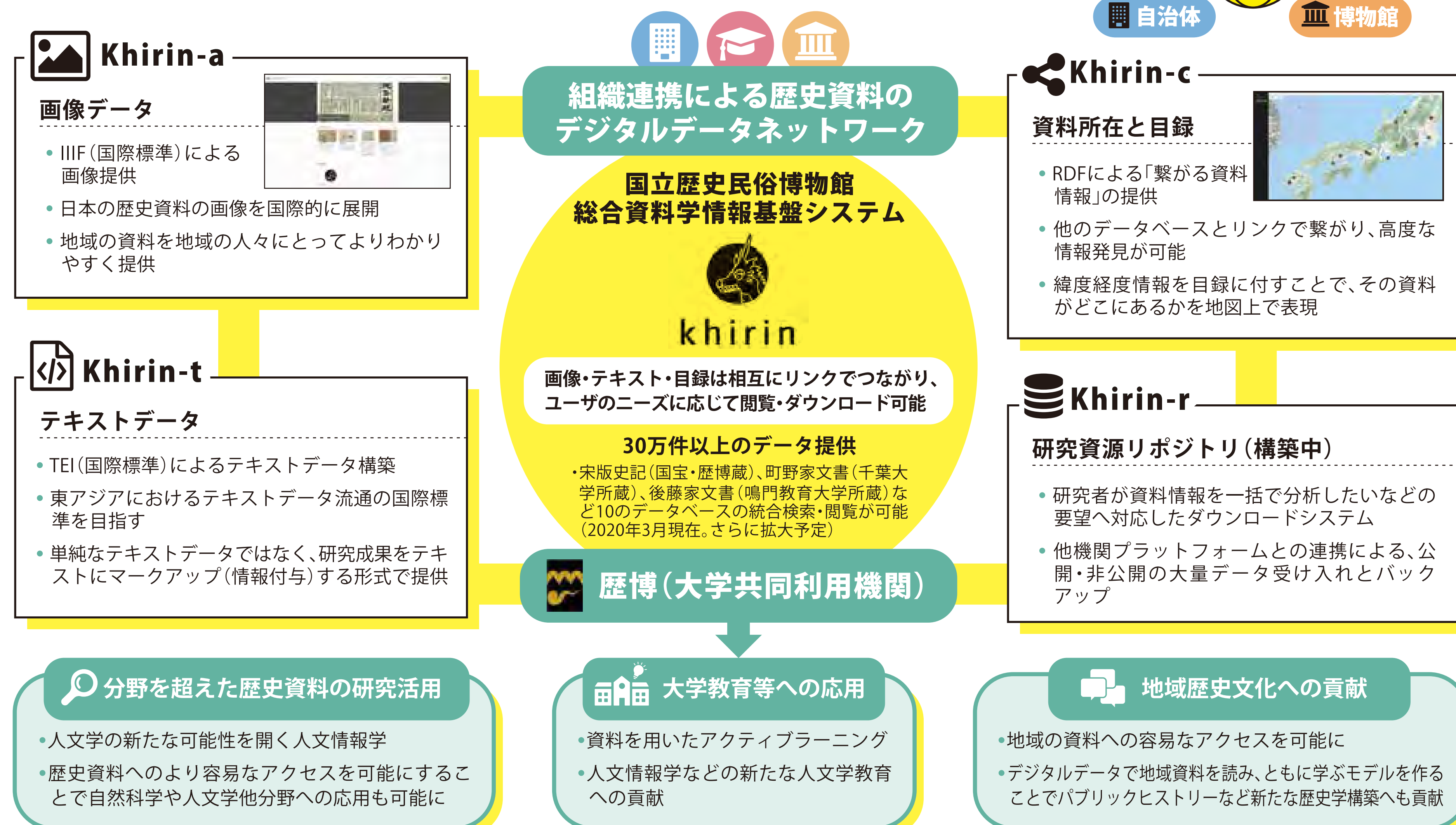
デジタル・ヒューマニティーズ
の活用



03

社会課題の解決手段

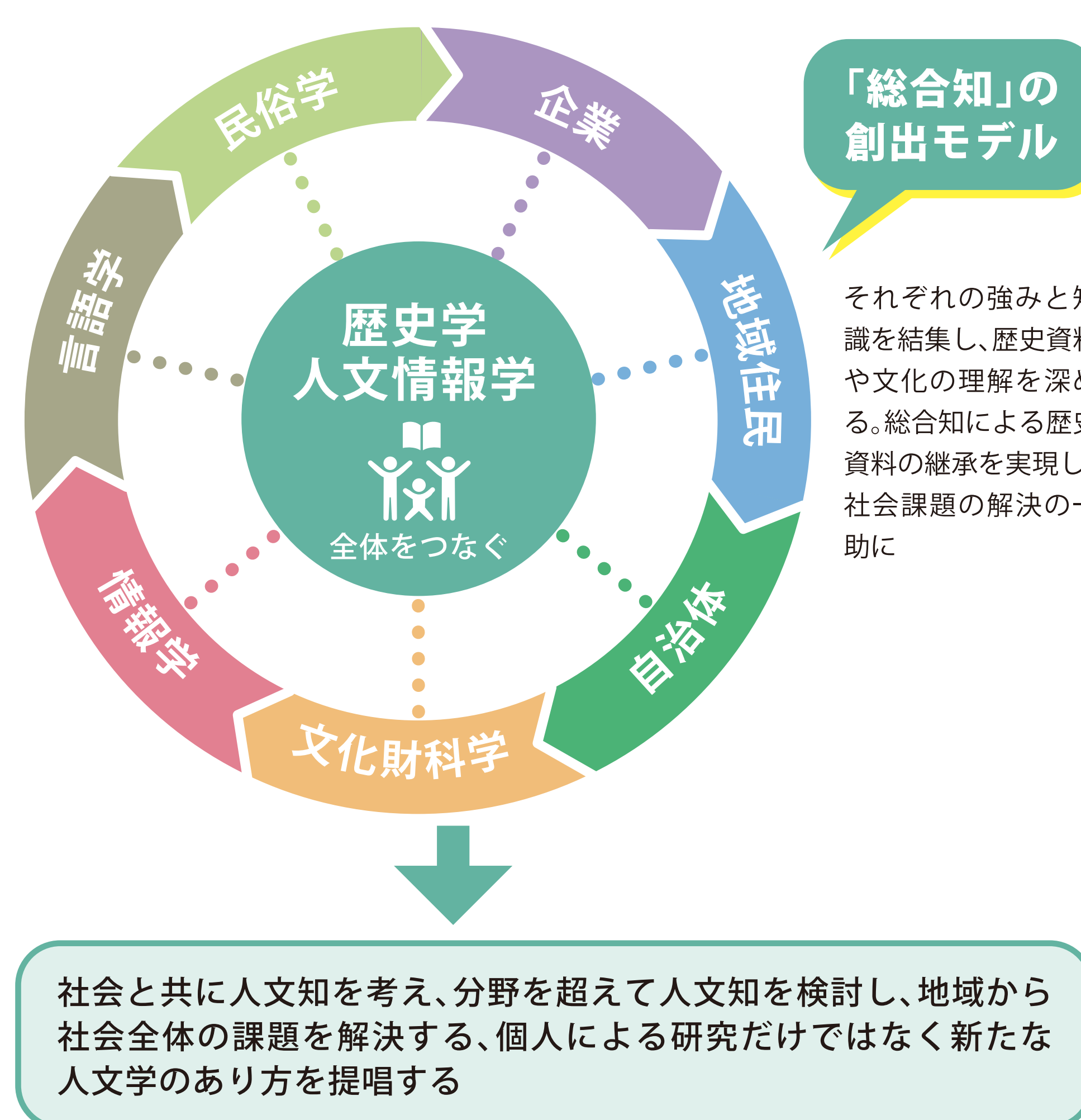
歴史資料のデータネットワーク基盤"khirin"の
構築とデジタル・パブリック・ヒストリーの展開



04

社会課題の解決イメージ

理解を深め、多くのステーク
ホルダーと歴史資料を理解する





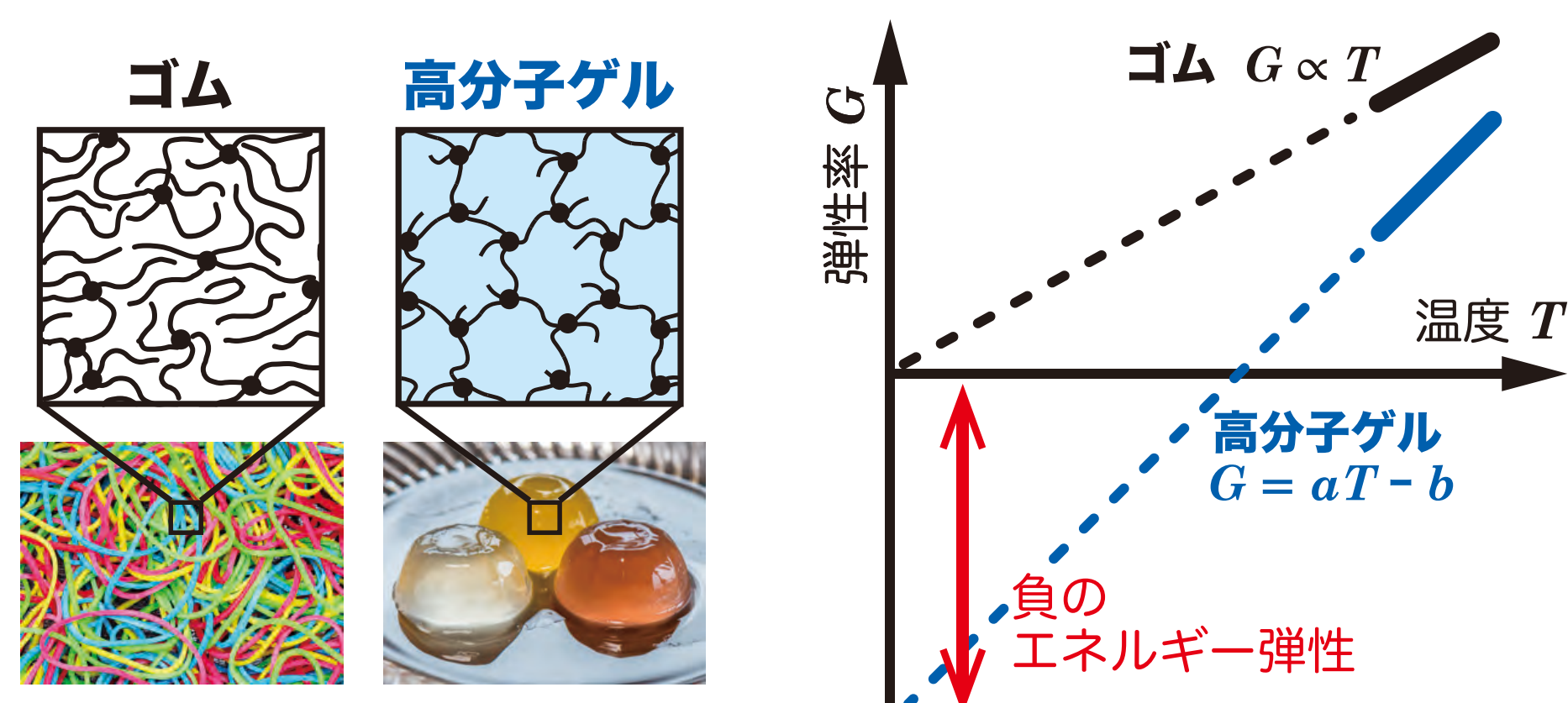
さくみち なおゆき

作道 直幸

東京大学大学院 工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻 特任講師

ソフトマターの新たな法則の発見 ーゴムやゲルの物理が導く新たな世界ー

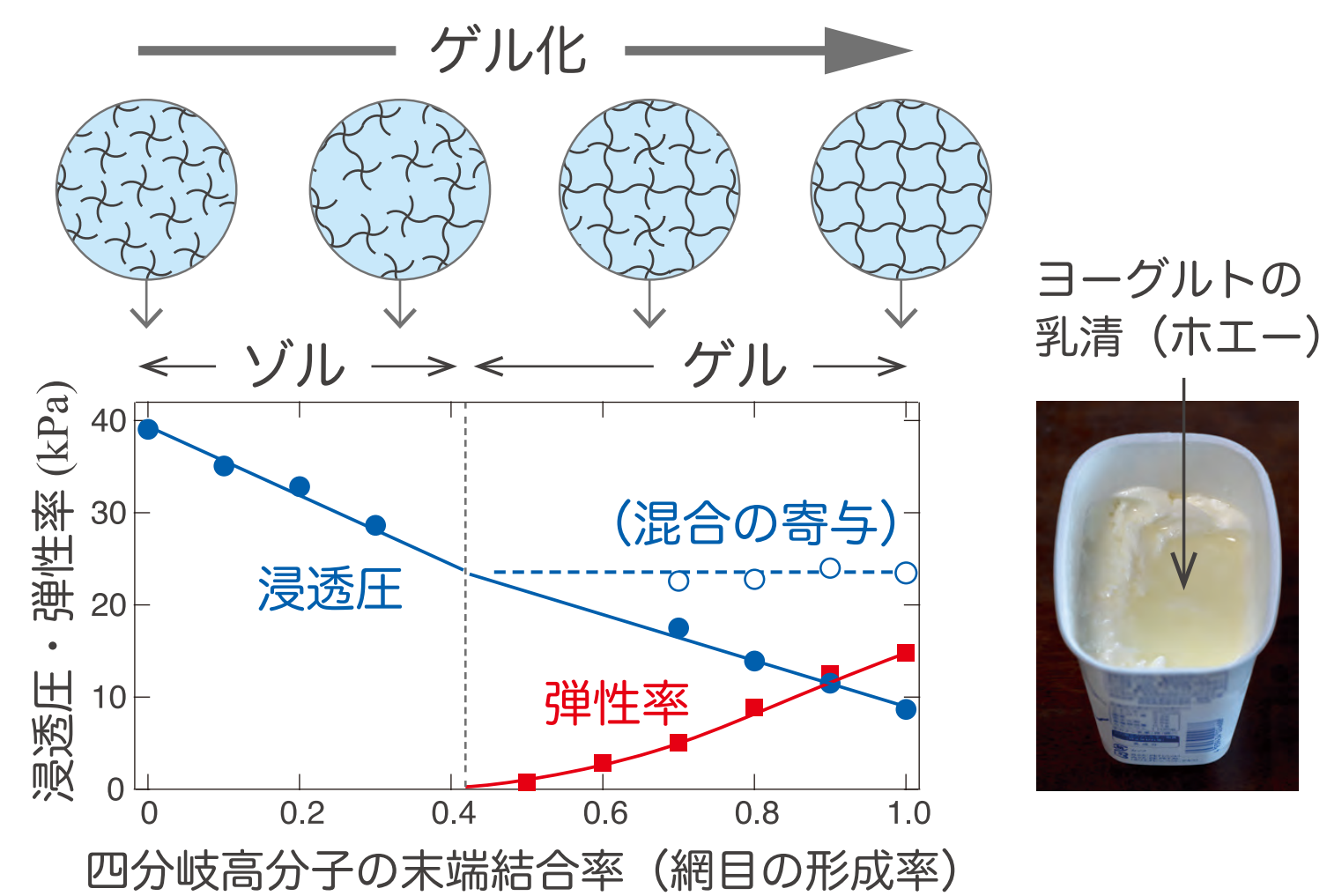
1 高分子ゲルにおける「負のエネルギー弾性」



ゴムやゲル（正確には高分子ゲル）は、ひも状の高分子鎖が化学結合によってつながり、3次元的なネットワーク構造を持った柔らかい固形物です。大量の水（溶媒）を含むウェットなものがゲル、含まないドライなものがゴムです。ゲルはゼリー・豆腐などの食品の他に、生体適合性の高さからソフトコンタクトレンズ・止血剤などの医療材料に活用されます。私たちは「ゴムとゲルの弾性率（硬さ、柔らかさ）は熱力学第二法則に基づくエントロピー弾性でおおむね説明できる」という100年近い長年の定説を覆し、ゲルにおける「負のエネルギー弾性」を世界で初めて発見しました。ゲルやゴムに外力を加えて変形すると高分子鎖が引き延ばされて復元力（エントロピー弾性）が生じますが、ゲルの場合は通常と反対向きの力（負のエネルギー弾性）も生じて大幅に柔らかくなるという発見です。ゲルの弾性率の物理法則が解明されたことで、食用や医療用などの新規ゲル材料の開発や、ゲルが利用される産業全般に広い波及効果が期待されます。

Physical Review X 11, 011045 (2021).

2 ゲル化の進行による浸透圧の低下



ゼラチン液が固まりゼリーになる、豆乳が固まり豆腐になる、牛乳が固まりヨーグルトになる。これらの現象は、ゲル化と呼ばれます。ゲル化は、溶媒中に分散する高分子がつながり、大量の溶媒を保持する巨大な高分子網目構造からなるゲルを形成する現象です。ゲル化が進むと、浸透圧（保水力・吸水力）が低下します。例えばヨーグルトを作ると、乳清（ホエー）と呼ばれる水分が染み出ます。ゲル表面からの水の染み出し（離水）は、食品の食感に大きく影響するだけでなく、摂食・嚥下障害者（口の中のを上手く飲み込めない障害）用の嚥下食において、食べ物の誤嚥により細菌が気管支や肺に入ることによって発症する致命的な誤嚥性肺炎の要因になります。私たちは、ゲル化による保水力の低下について、ゼリー・ヨーグルト・豆腐など物質の種類に依らない共通のユニバーサルな物理法則で説明することに成功しました。

Physical Review Letters 125, 267801 (2020).

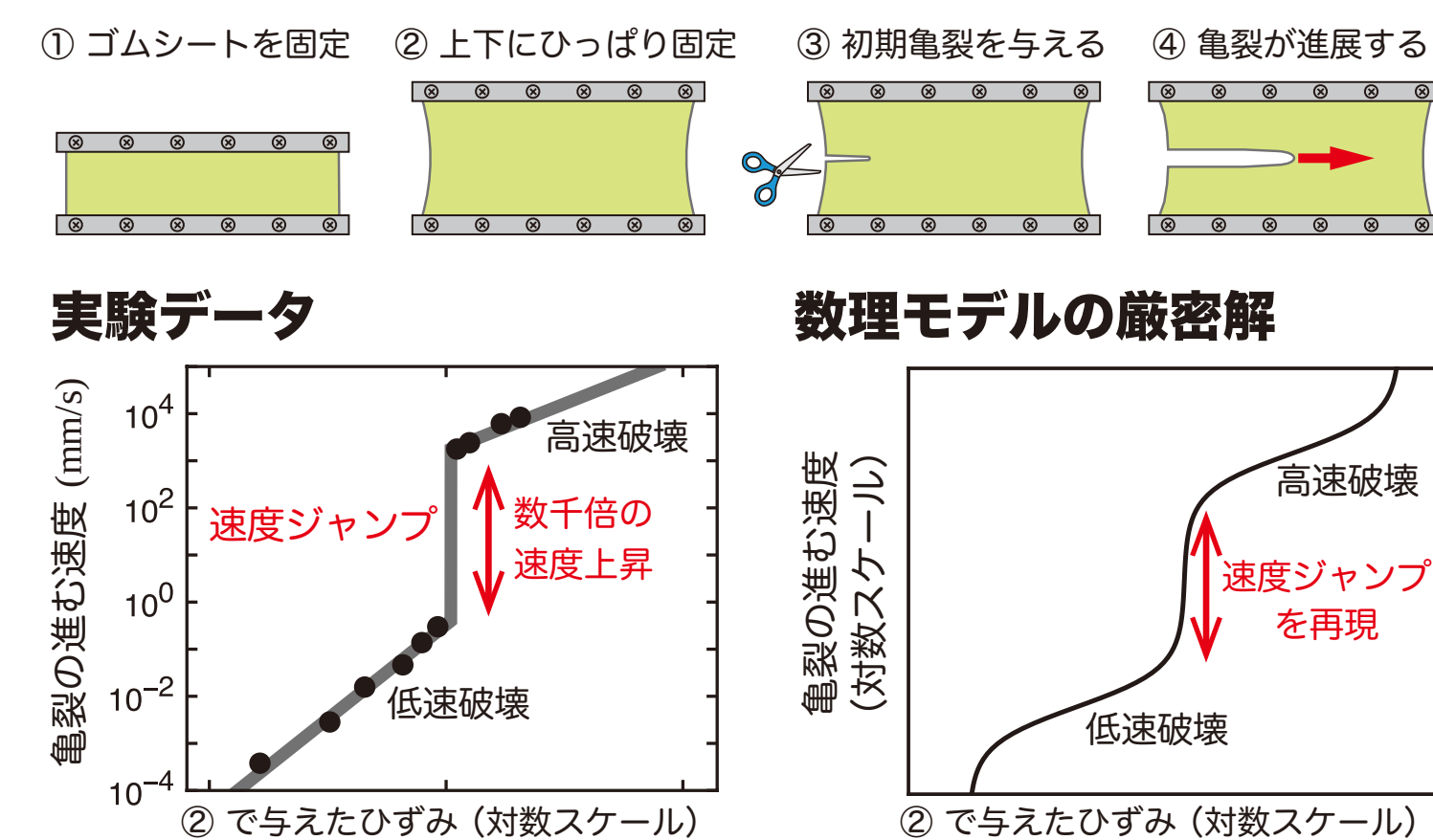
3 ゲルが吸水して膨らむ速度の法則



乾燥ワカメや紙おむつの吸水剤のように、水に浸したゲルは周囲の水を吸収して膨らみます。しかし、膨らむ速度の温度変化を決める物理法則は未解明でした。私たちは、高分子のネットワーク構造が明確なゲルを用いて世界最高精度の測定を行い、ゲルの膨らむ速度の温度変化を説明する法則を発見しました。この新しい法則は、アインシュタインの提唱したブラウン運動（水中の微粒子の不規則な熱運動）の理論と、最近の私たちの発見であるゲルの柔らかさを決める「負のエネルギー弾性」から着想を得て、両者のアイデアを組み合わせることで、明らかになりました。ゲルは、生体軟組織との類似性が高いため、生体と接触して使用される医用材料としてさらなる応用が期待されています。本研究は、バイオセンサーやドラッグデリバリーシステムにおける薬物送達キャリアなど、ゲルの形態変化を伴う製品の開発に役立つと考えられます。

Physical Review Letters 127, 237801 (2021).

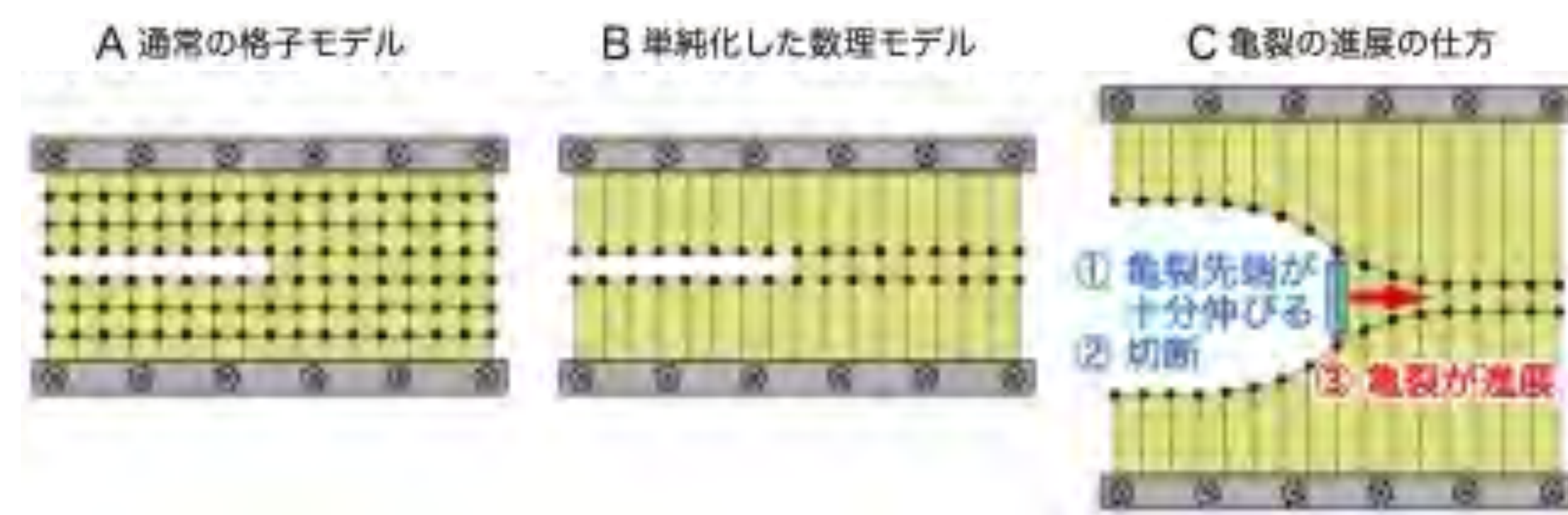
4 ゴムの亀裂進展の「速度ジャンプ」



スーパーのポリ袋を手で破ると、初めはゆっくりと亀裂（破れ）が広がるが、あるところで一気に裂けて全体が破れます。これは、破壊速度が低速から高速へと一気に切り替わる「速度ジャンプ」と呼ばれる現象です。速度ジャンプの理解は、タフなゴム製品を生み出すために重要であり、タイヤゴムの耐久性や耐摩耗性向上の鍵となります。さらにゴム以外の、ゲル、プラスチックなどの様々なポリマー材料のタフ化にもつながる可能性があります。ところが、速度ジャンプは60年以上前から知られている現象でありながら、何故起きるのがわかっていませんでした。私たちは、ゴムシートの破壊現象の本質を抽出した「単純な数理モデル」を構築し、その数学的な解をもとにして、速度ジャンプの発生メカニズムを解明し、タフなゴム材料の開発への指導原理を与えることに成功しました。得られた指導原理に基づいて、従来よりもタフなゴム材料が開発できれば、ゴム材料が利用される産業全般に広い波及効果が期待され、安全、安心、エコな社会の実現に役立ちます。

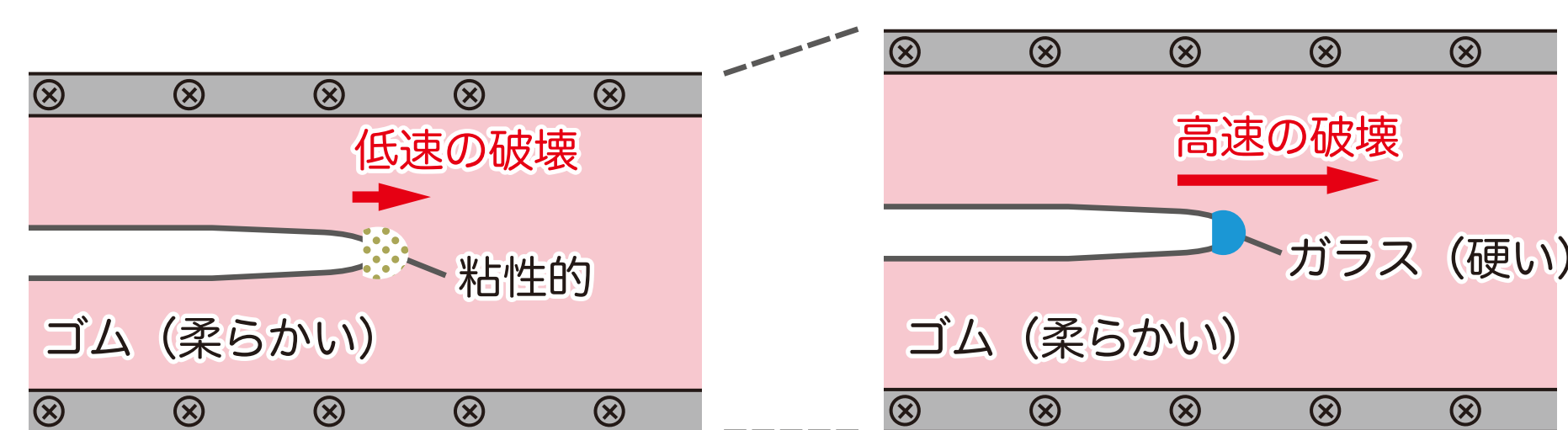
Scientific Reports 7, 8065 (2017).

5 ゴムの亀裂進展の数理モデル



通常よく使われる格子モデル (A) では、ゴムシートを格子状に並んだ質点（図の黒丸）で代表します。各質点は周辺を代表していると考えて、隣り合う4つの質点から力（応力）を受けて運動します。速度ジャンプのメカニズムを解明するために、私たちは亀裂が進展していく先の質点だけを考えることで問題を大幅に単純化しました (B)。このように単純化しても、亀裂は1～3の手順を繰り返して進展します。この単純化により、そのままでは数学的に解けない亀裂進展の問題が解けるようになりました。単純化した数理モデル (B) にゴムの持つ重要な性質である「ガラス化」の効果を取り入れると、数理モデルの数学的な解から速度ジャンプが再現されることがわかりました。逆に、ガラス化の効果を取り入れないと速度ジャンプは生じませんでした。数学的な解析の結果、速度ジャンプは亀裂先端領域のガラス化によって生じることがわかりました。

6 亀裂進展の速度ジャンプのメカニズム



私たちの理論研究により、ゴムの亀裂進展速度ジャンプは、亀裂先端領域の「ガラス化」により発生することがわかりました。低速の破壊では、ゴムシート全体が柔らかいまま、亀裂先端だけは少し早くひっぱられるので粘性的にゆっくりと亀裂が進展していきます。ところが、亀裂の進展速度がある限界値に達すると、亀裂先端でゴムの「ガラス化」が発生し、速度ジャンプが起こって一気に裂けるのです。例えば、柔らかいプラスチックはゆっくりとしか引き裂けませんが、硬いガラスは一瞬で粉々になるのと同じです。私たちが理論を発表した後、他の研究グループによる有限要素法 (Finite Element Method, FEM) を用いた数値シミュレーションや、企業による様々な合成ゴムを用いた実験を行う総合的な共同研究を行うことで、私たちの提唱した速度ジャンプのメカニズムの妥当性が実証されました。

Physical Review Materials 5, 073608 (2021).



そが まさし

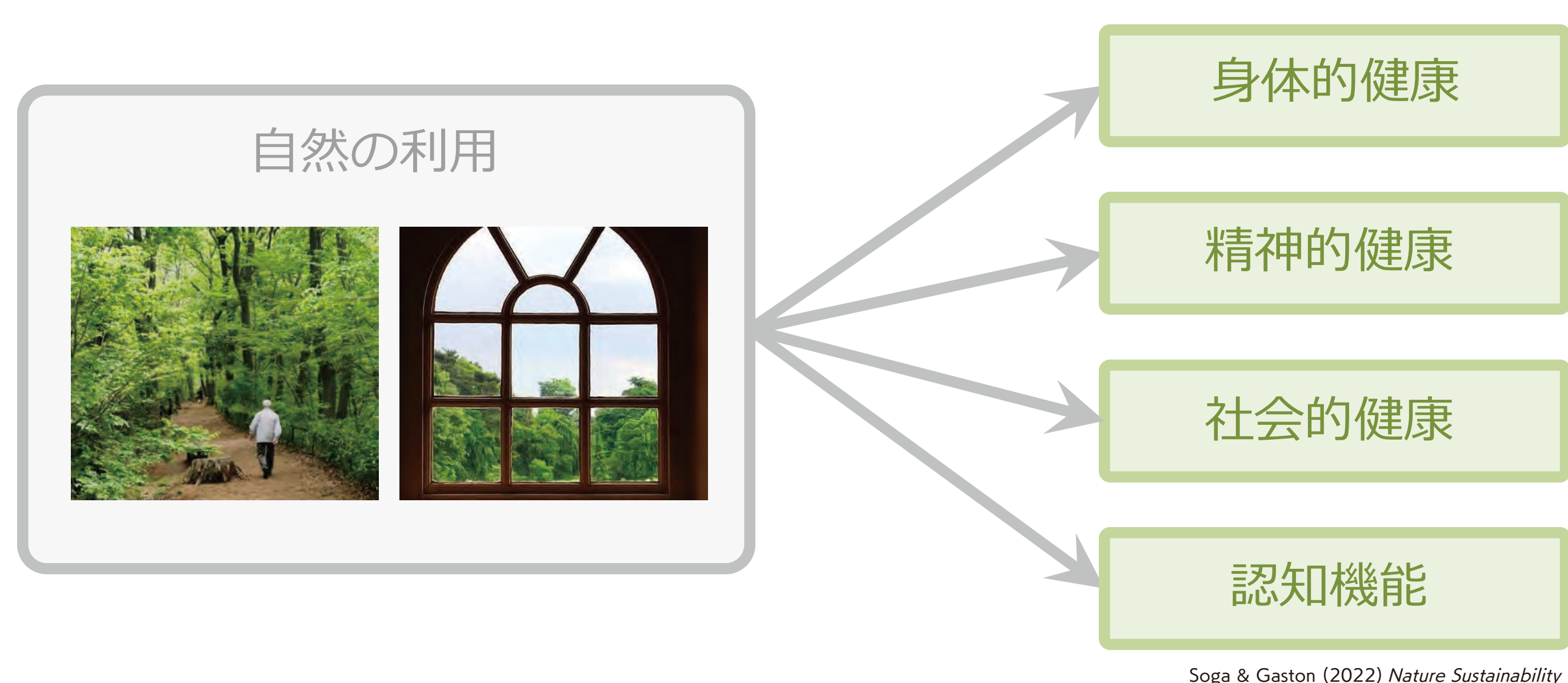
曾我 昌史

東京大学大学院 農学生命科学研究科 准教授

人と自然の関わり合いの理解を通して、持続的な自然共生型社会の構築を目指す

1 自然との関わりと健康

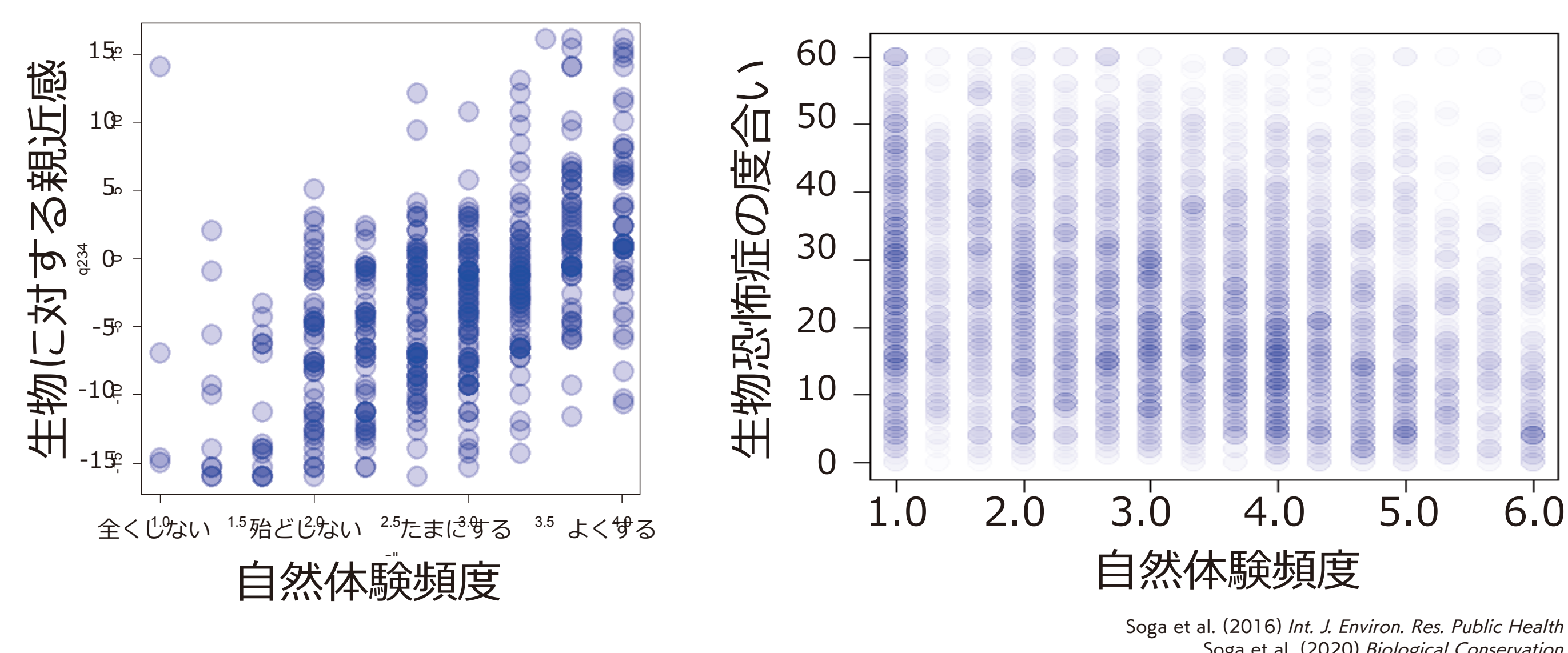
日常的な自然の利用は様々な健康便益をもたらす



これまでの研究から、自然との関わり合いは人の健康促進に寄与し得ることが分かってきた。これらの効果は主に、身体・健康、こころの健康、社会（コミュニティ）の健康、認知機能の4つに分類される。

2 自然との関わりと生態系保全

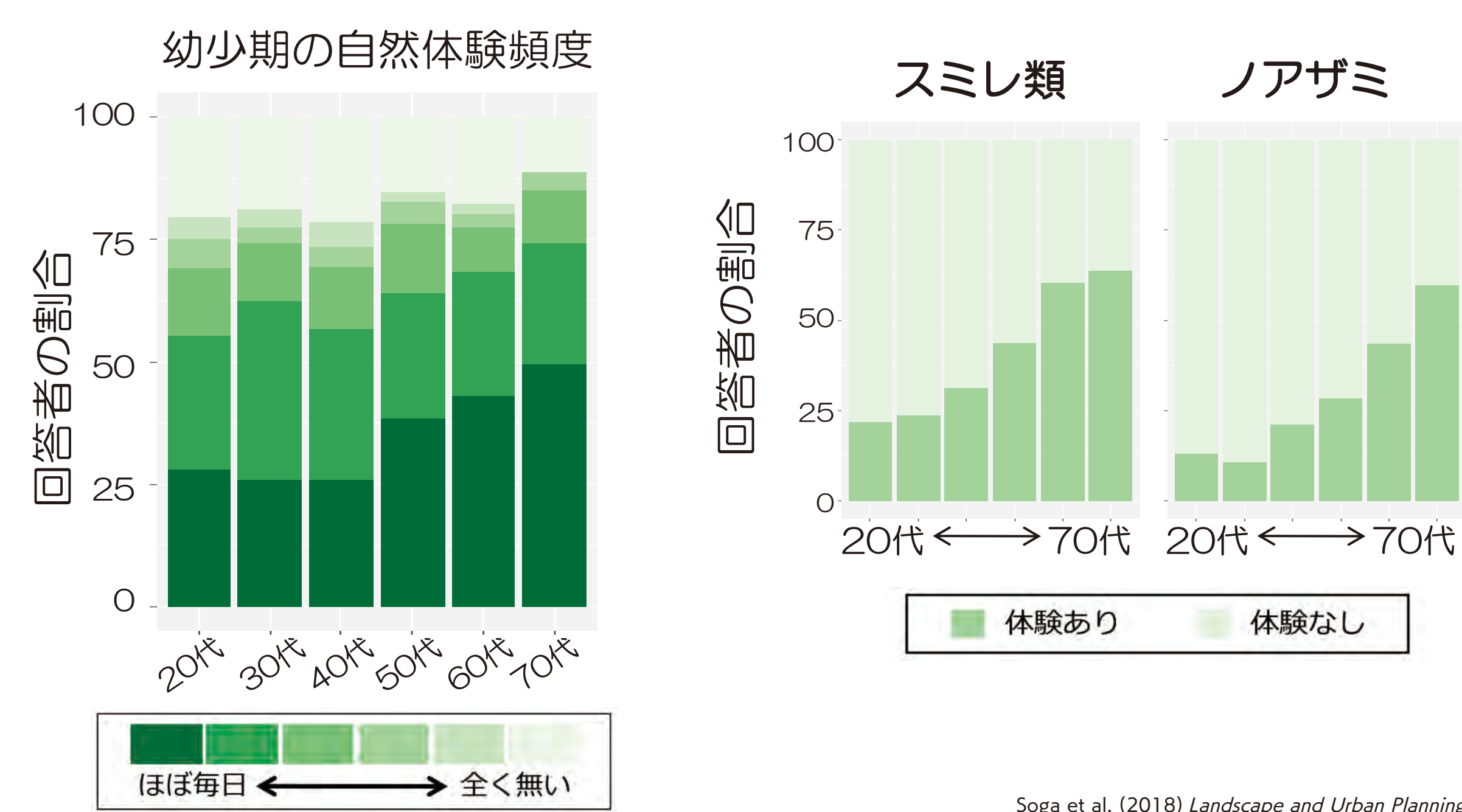
自然との関わり合いは、自然に対するポジティブな感情・態度を増やし、ネガティブな感情・態度が減らし得る



自然との関わり合いは、健康だけではなく、生態系・生物多様性に対する人の心理・態度・行動にも重要な働きを持つ。具体的には、自然との関わり合いは、自然に対するポジティブな感情・態度を増やし、ネガティブな感情・態度が減らすことが分かってきた。

3 自然との関わり合いの衰退

都市化や生態系の劣化に伴い、人と自然の関わり合いは多くの国・地域で減少している



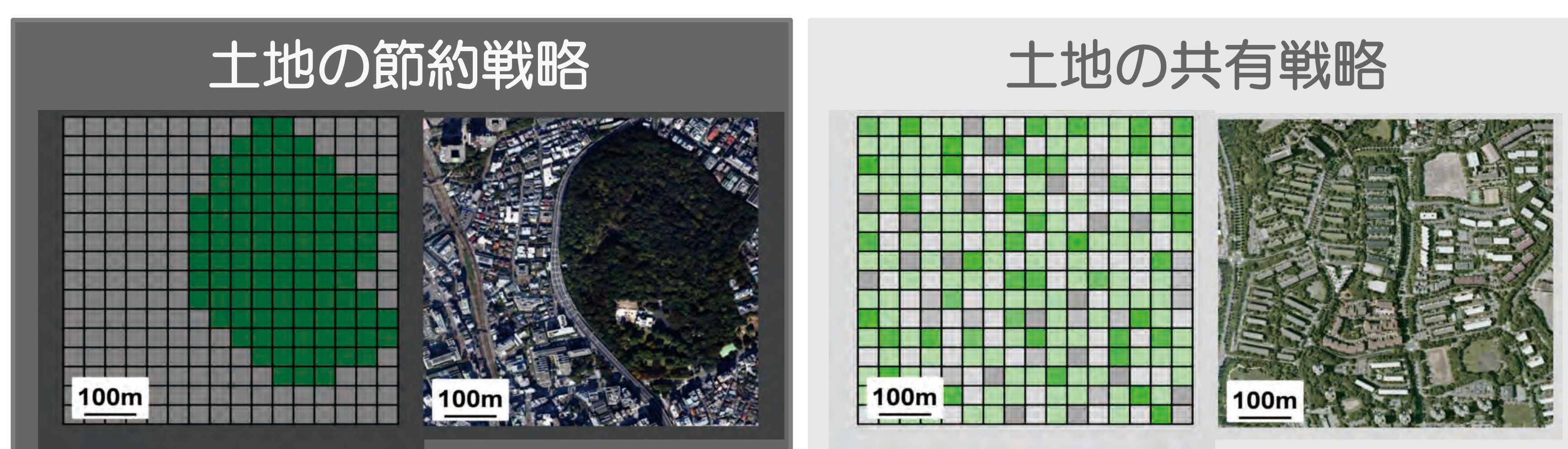
自然との関わり合いは人の健康と生態系保全の両方にとって重要だが、現在、都市化や生態系の劣化に伴い、人々の日常的な自然との関わり合いは多くの国・地域で減少している。

4 経験の消失スパイラル



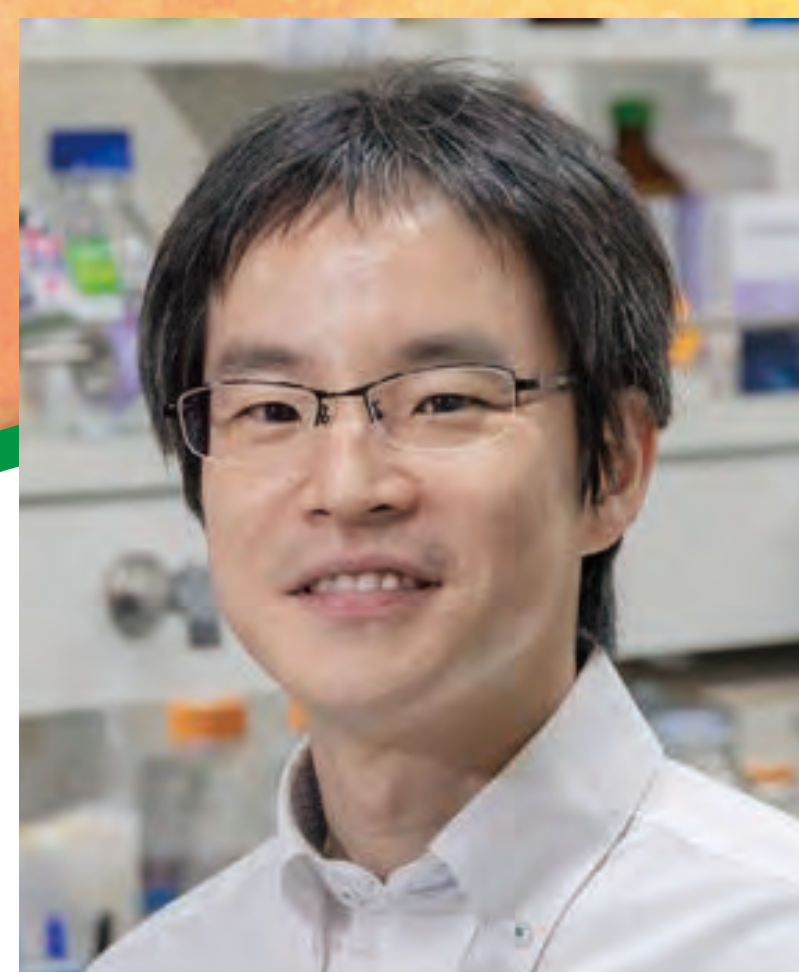
これまでの研究から、人と自然の関わり合いが衰退することで、人の健康状態が劣化するだけでなく、自然に対する興味・関心・保全意欲が低下する恐れがあることが分かった。こうした感情・態度の変化は次世代にも伝搬し、その過程で自然と関わる「機会」と「意欲」の両方が失われ、これにより人と自然の関わり合いの衰退がますます加速する可能性がある。

5 人と自然との関わり合いを管理する



- 都市における人と自然との関わり合いの程度は都市の景観構造に依存する
- 緑が町全体に広がっている景観(土地の共有戦略)の方が自然との関わり合いが増える

人と自然の関わり合いを管理することは、人の健康・福利と生物多様性の長期的な保全に貢献する可能性がある。人と自然の関わり合いは様々な環境・社会的政策によって管理することができる。例えば、都市計画においては、同程度の緑の量を都市に維持する場合、緑をなるべく粗放的に配置する方が自然との関わり合いが増えることが分かっている。

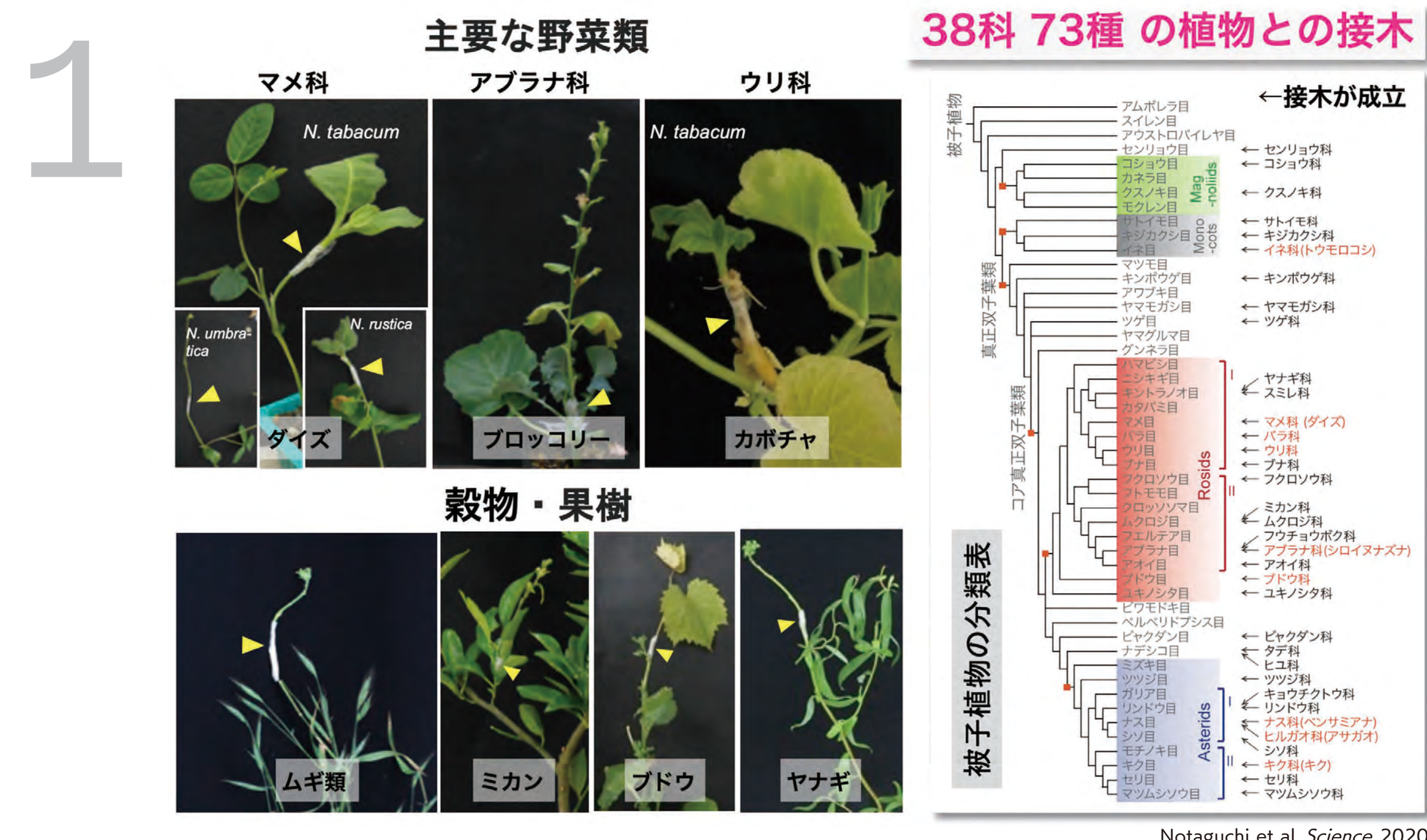


のたぐち みちたか

野田口 理孝

名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 准教授
グランドグリーン株式会社(名古屋大学発ベンチャー) 取締役

「タバコ」で紡ぐ農業の未来



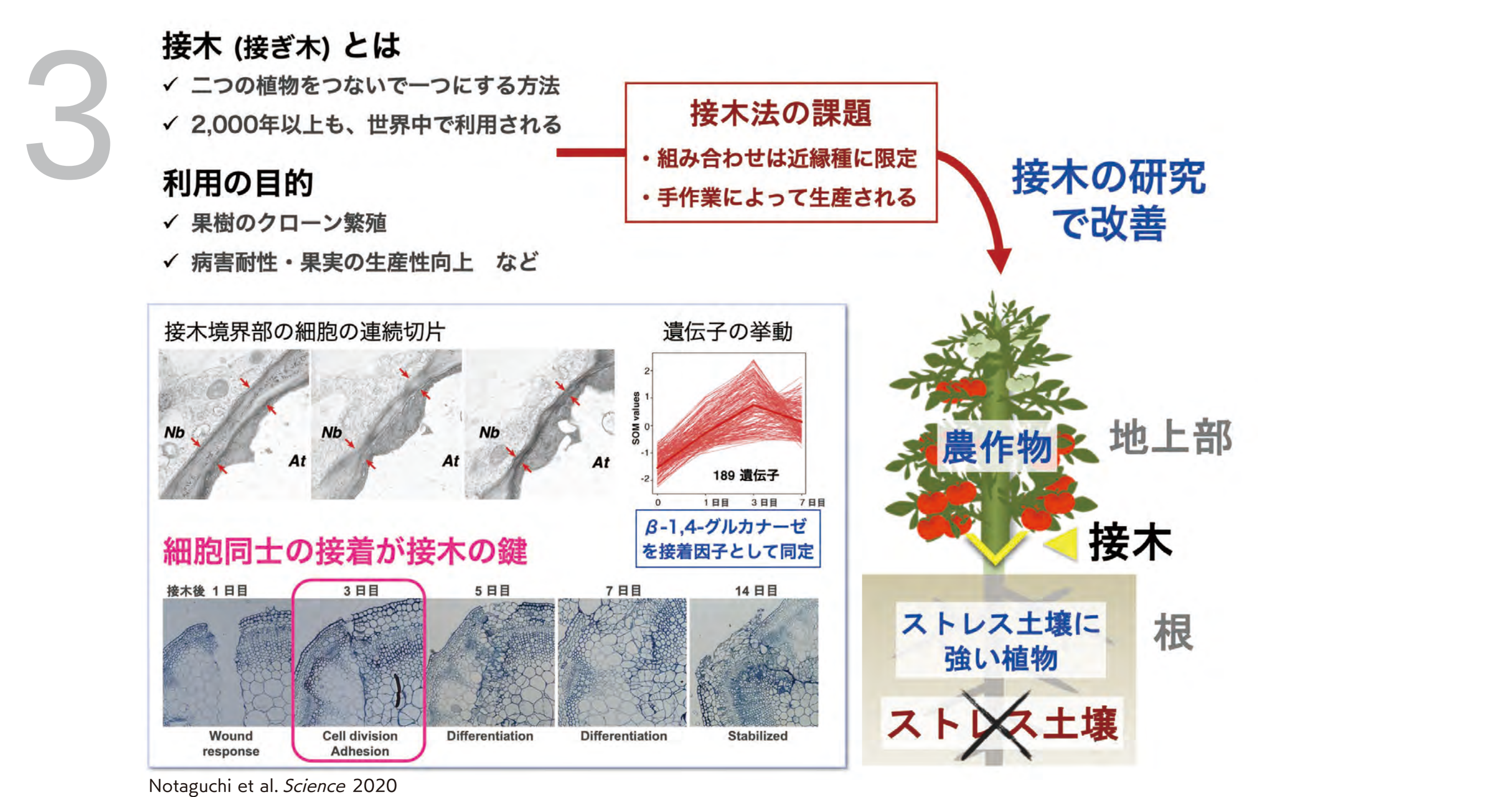
タバコ属植物は様々な植物と接木できることを発見

接木は2000年以上前から行われている農業技術で、強い根に栽培したい植物をつないで育てることができる。ただし、近い系統間でしか接木は成立しない。例えばトマトは別の種類のトマトと接木され、キュウリはカボチャなど同じウリ科植物と接木されて栽培される。しかし、常識を覆す植物としてタバコ属が見つかった。ベンサミアナタバコをはじめとする7種のタバコ属植物を穂木として接木(異科接木)したところ、38科73種と接木が成功した。接木が成功したものには、主要な野菜類、穀物を含む単子葉類、木本植物が含まれており、接木の範囲を格段に広げることができた。



作物生産の直面する課題

植物は私たちの生命の源であり、食糧として、家畜の飼料として、エネルギーとして、二酸化炭素を固定して酸素を生み出す存在だが、地球規模の温暖化をはじめとする環境変化、世界的な人口増加、食糧需要を支えてきた資源投入型の農業スタイル、いずれもが作物生産を困難にしている。気温の上昇で土は乾燥し、それに伴い土壌中の塩分濃度が高まり塩害を起因、風によって生物リッチ、栄養リッチな土壌表面が削られて貧栄養の原因となったりする。他にも、局所的な大雨や洪水は、植物の病気の蔓延など、栽培に大きな被害をもたらす。このような理由で、現代では農作物を育てるために開墾された世界の耕作地のうち約4割がストレス土壌となっている。



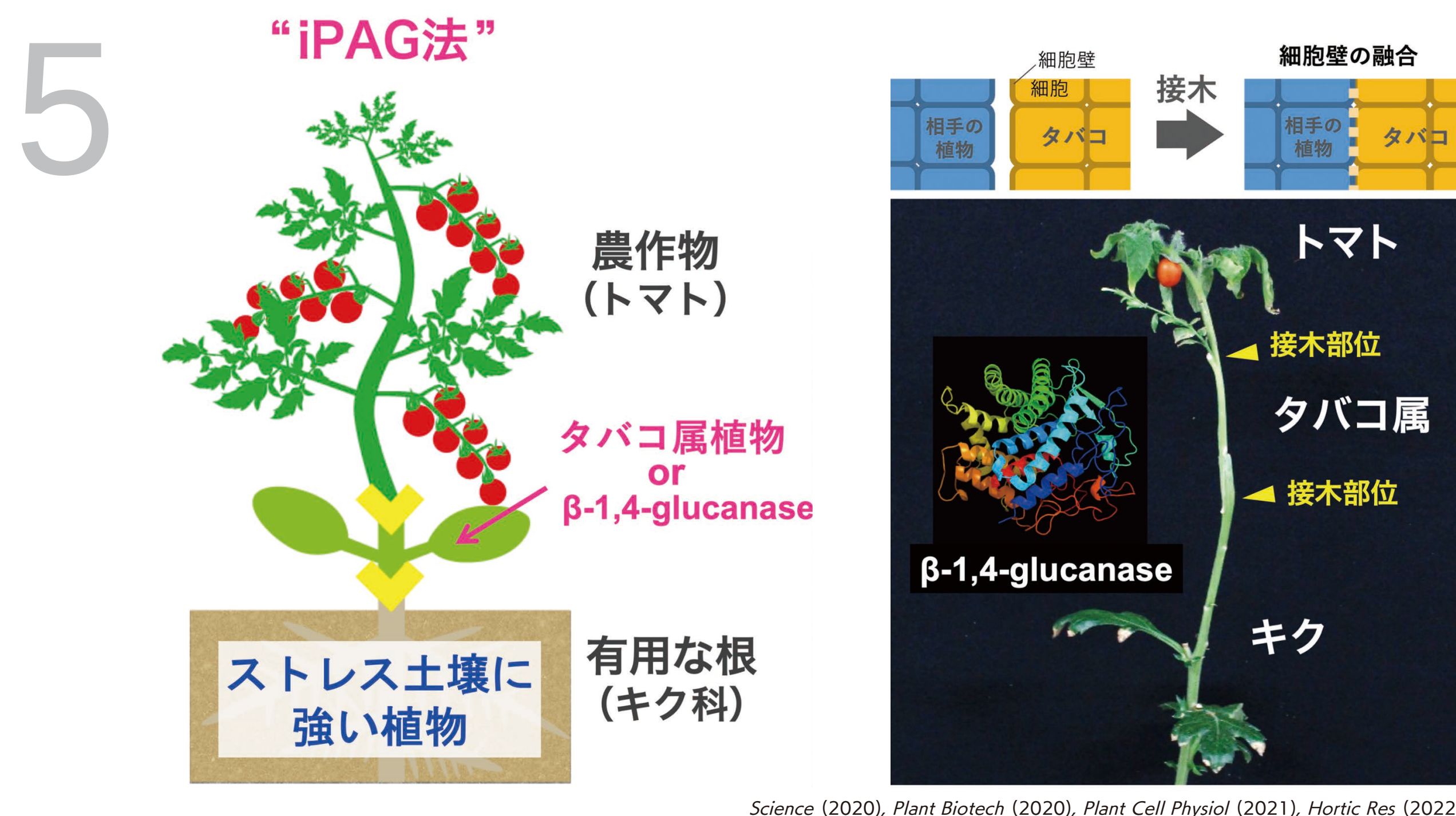
接木による課題へのアプローチ

接木により、作物栽培が難しいストレス土壌を活用できれば、将来の食の安全、農業の持続可能性が高まることが期待される。そこで、接木した組織の細胞レベルでの形態学的解析を行い、さらに遺伝子の働きを調べることで、接木の成功の鍵である細胞同士の接着を助ける分子としてβ-1,4-グルカナーゼを同定した。β-1,4-グルカナーゼは、植物の細胞壁を構成するセルロースを溶かす消化酵素で、この酵素が働くことで接木した部位で2つの植物の互いの細胞・組織がつながることが分かった。



接木苗の新たな生産システム開発

農作物は個体ごとに形や大きさがばらつくため、接木苗の生産はその多くが人の手作業によって行われている。そのため、接木苗のさらなる普及には、生産の効率化が重要な課題である。そこで、これまでに研究用の接木チップと農業用の接木カセットを開発した。接木カセットはトマト用に開発しており、名古屋大学発ベンチャーであるグランドグリーン株式会社から販売されている。



iPAG法によるストレス土壌に強い接木苗の作出

従来は不可能と考えられた異科接木は、タバコ属植物を用いれば可能であることが明らかとなった。その後の研究で、他にも寄生植物やタバコ属植物の近縁種で花として世界中で栽培されるペチュニアでも異科接木能力が発揮されることが明らかとなり、これらの植物を用いた異科接木法を、interfamily Partner Accepting Graft(iPAG)法と命名した(Hortic Res, 2022)。iPAG法により、ストレス土壌に強い植物で広く生態系に繁殖しているキク科の植物の根の上に、タバコ属植物を中間台木として挟み込み、さらにその上にトマトを接木することに成功した。現時点では、収量が低く直ちに利用することは難しいが、基礎研究による新たな知識によって技術を改良していきたい。



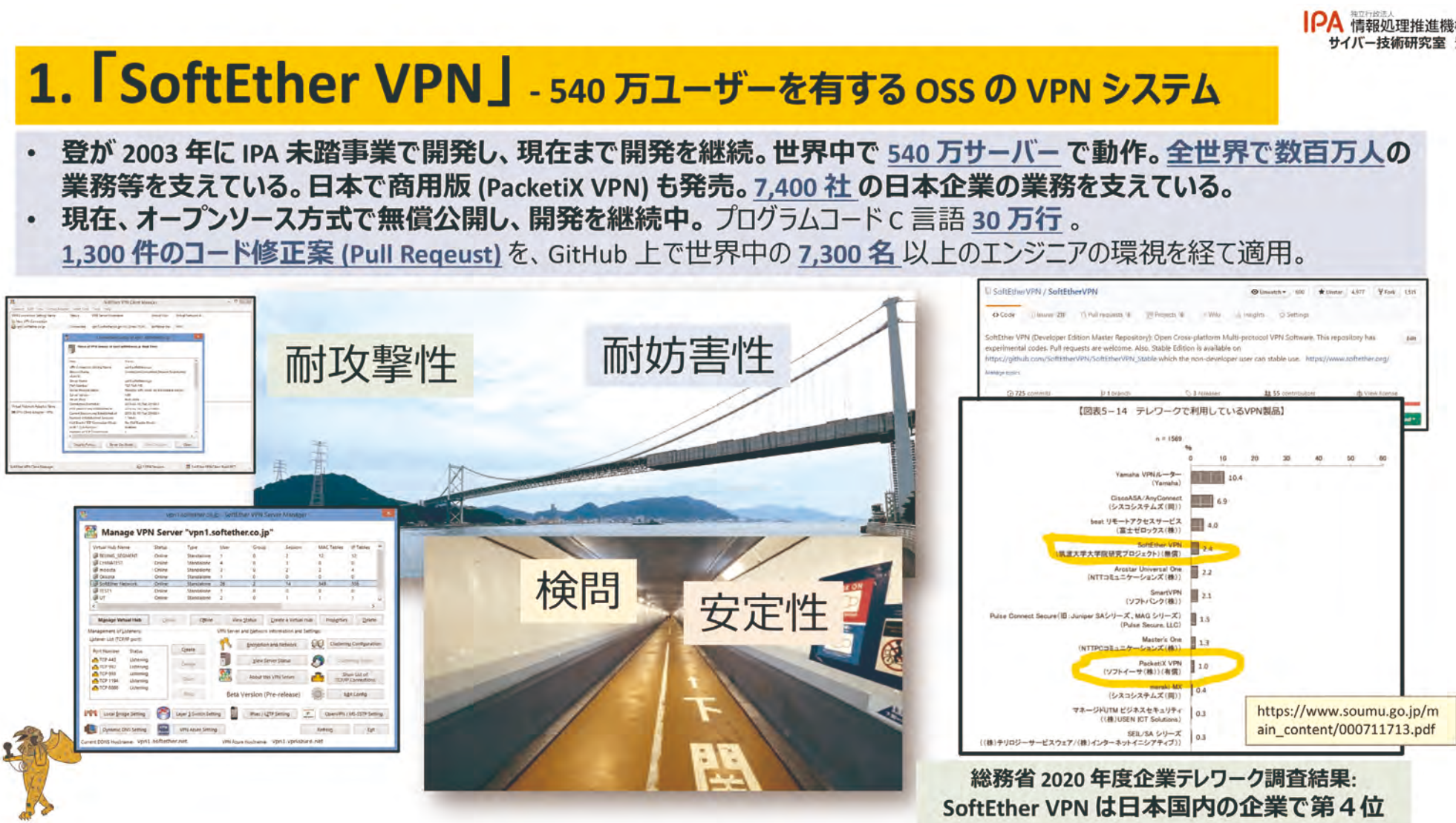
のぼり だいゆう

登大遊

独立行政法人情報処理推進機構 産業サイバーセキュリティセンター サイバー技術研究室 室長
ソフトイーサ株式会社 代表取締役
NTT東日本 特殊局員
筑波大学 産官学共創プロデューサー（産学連携教授）

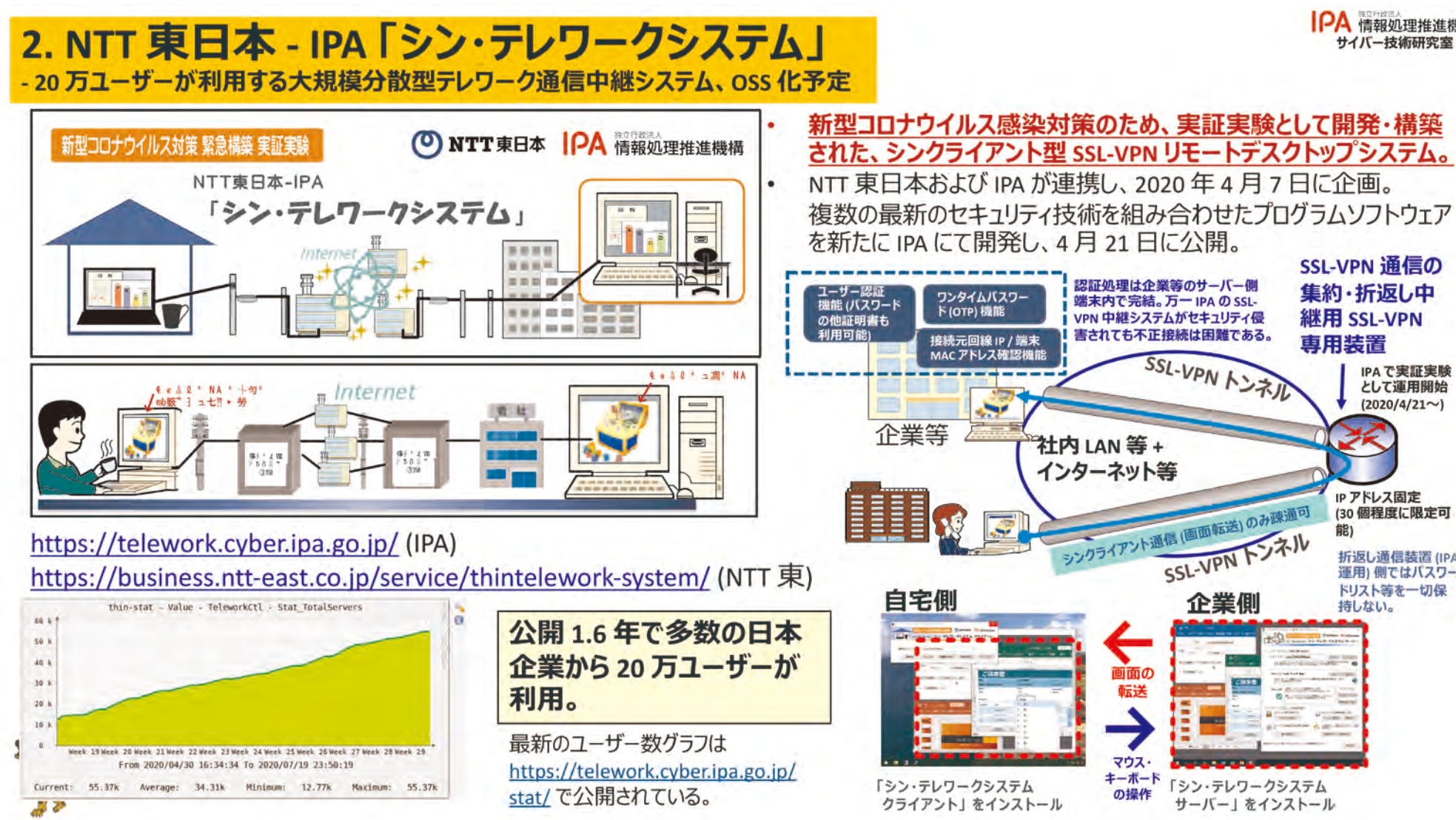
新たなテレワークシステムの研究から社会実装まで －誰でもどこでもつながる世界を目指して－

1



2003 年頃から、筑波大学のコンピュータ環境と SINET、および未踏ソフトウェア創造事業（IPA、経産省）を用いて、「SoftEther VPN」を開発した。これは、世界中で 540 万ユーザーに利用されているオープンソースの VPN ソフトウェアである。企業や個人のリモートアクセスと拠点間通信を支えている。最近では、テレワークでよく利用されている。

2



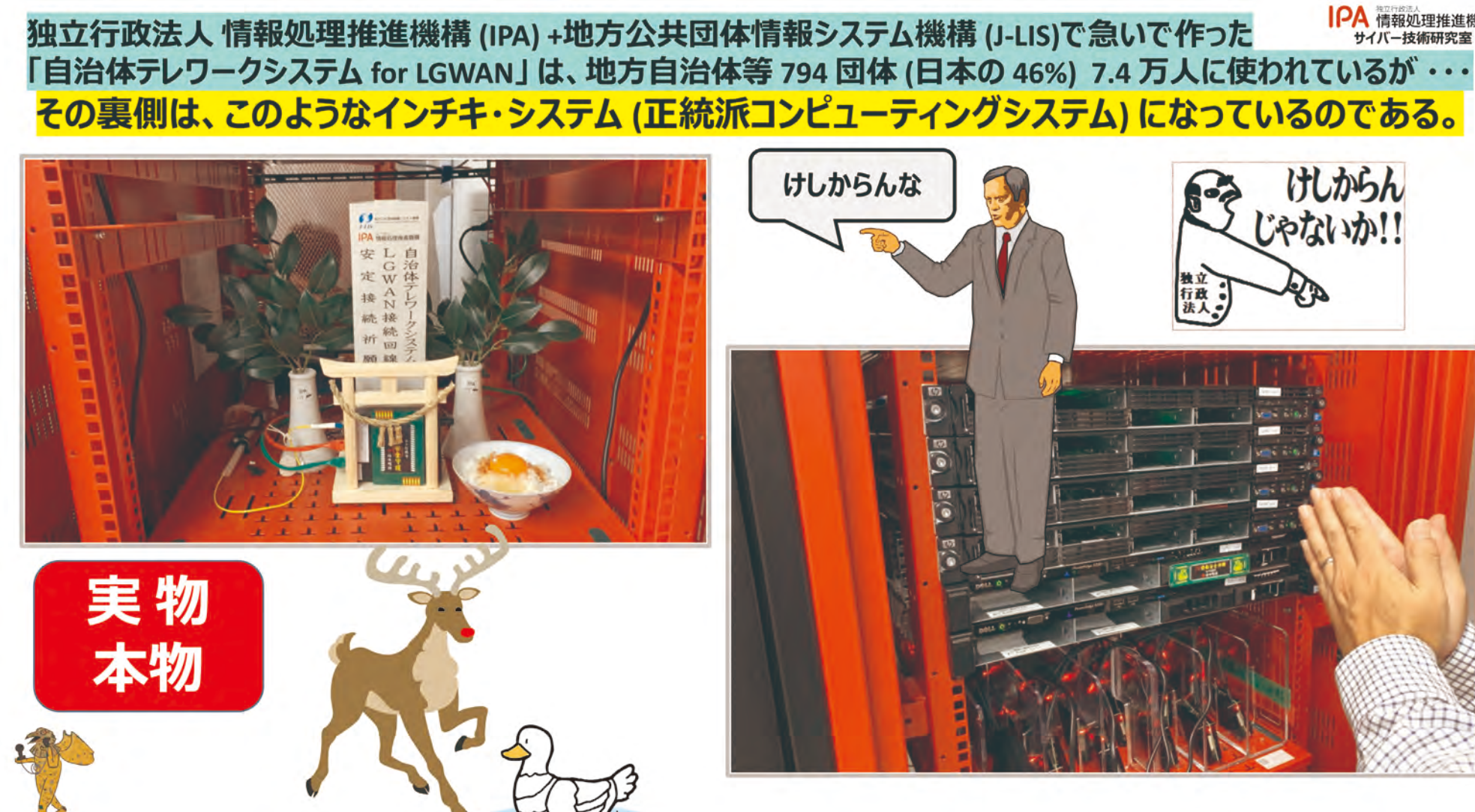
SoftEther VPN を元に色々なものを作ったが、2020 年には、シン・テレワークシステムを開発した。これは IPA と NTT 東日本で連携した事業で、社員が簡単に自宅から会社の端末にリモートアクセスして、安全にテレワークができる。20 万ユーザーに利用されている。

3

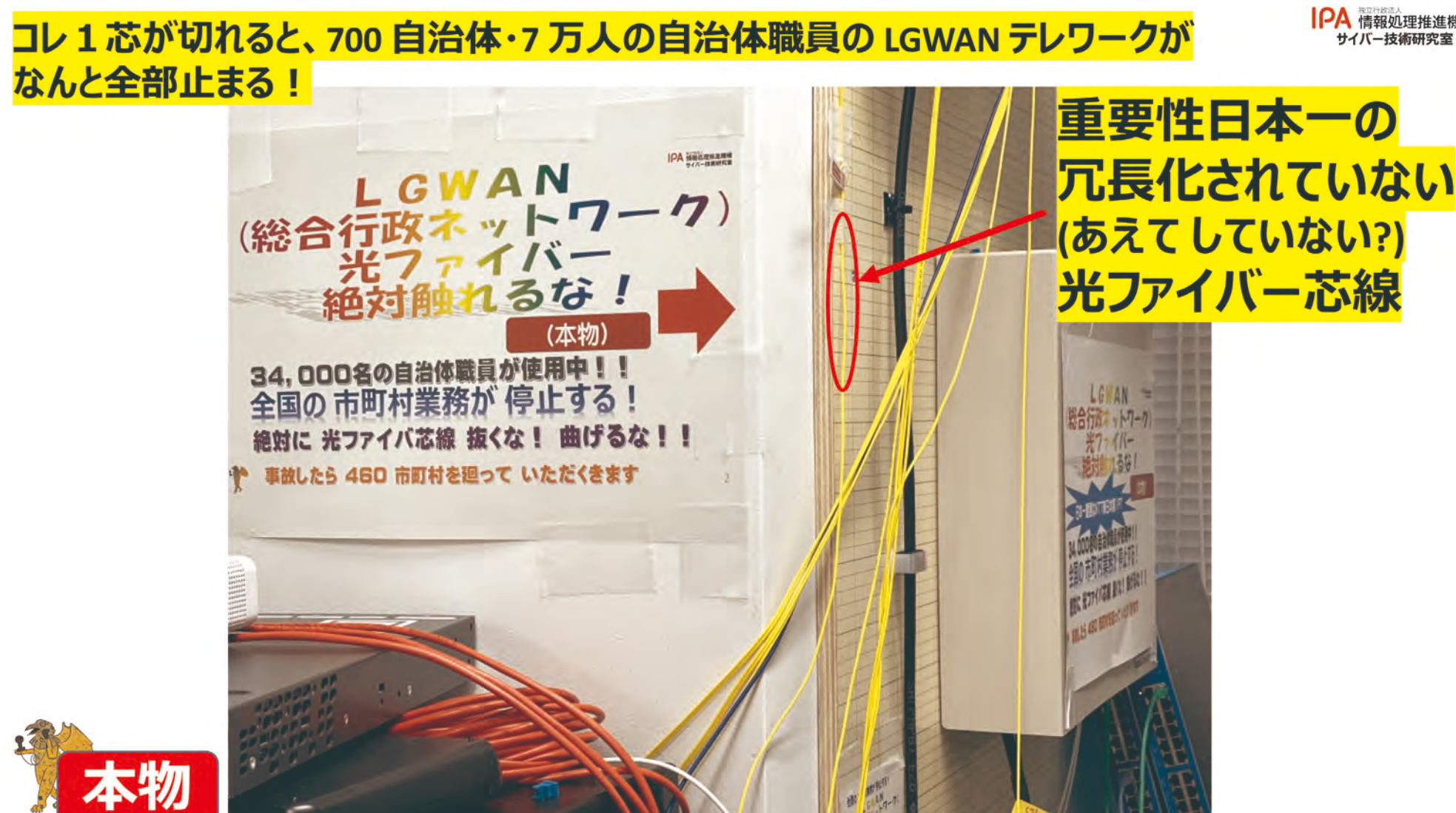


2020 年末には、シン・テレワークシステムを元に、自治体テレワークシステム for LGWAN を作った。これは、地方自治体等 794 団体（日本の 46%）7.4 万人に使われている。市役所職員が庁舎内の LAN にある PC に自宅からリモートアクセスしてテレワークができる。

4



5

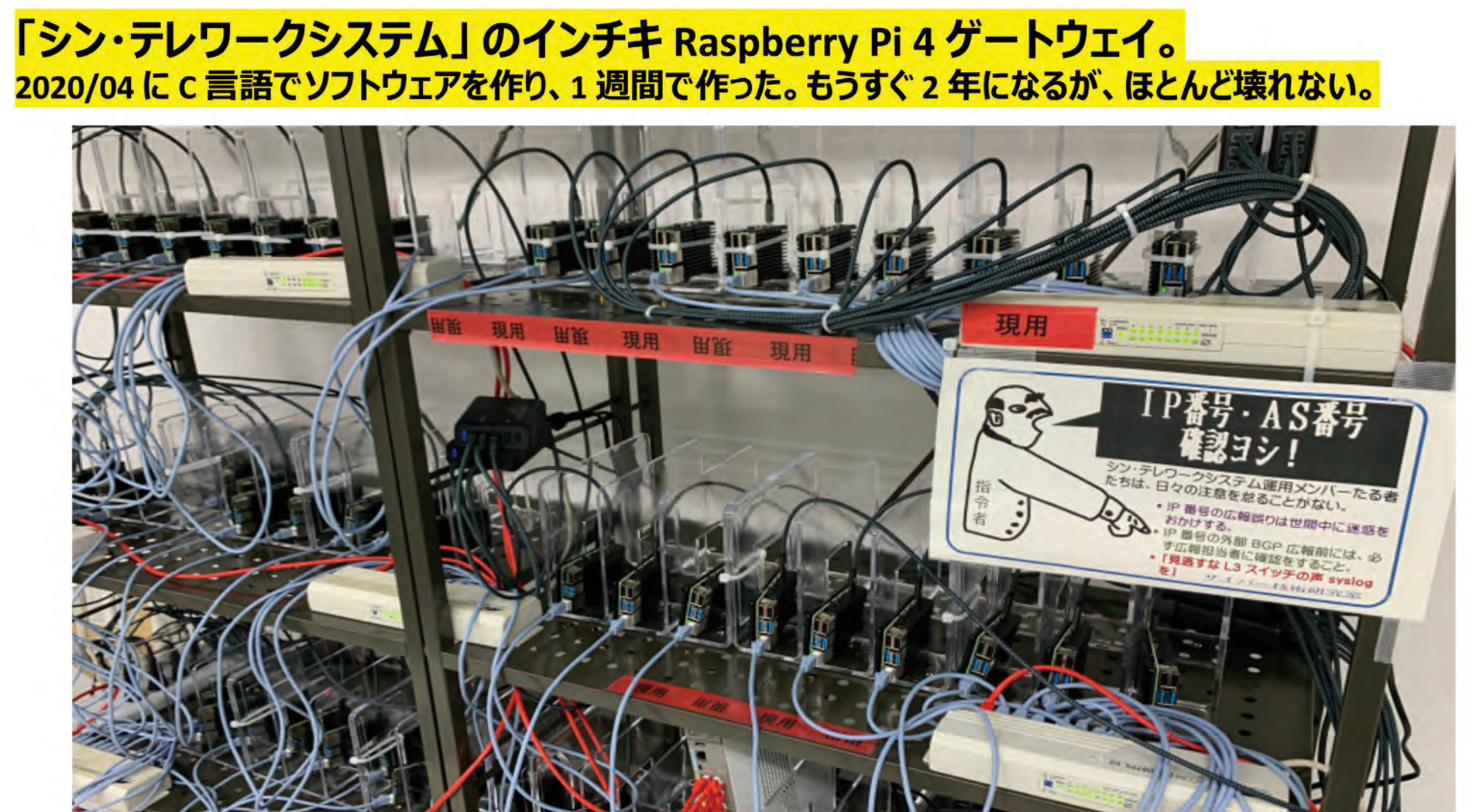


6



シン・テレワークシステム、自治体テレワークシステム for LGWAN に共通するのは、コンピュータ・ネットワーク部分やインターネット接続部分も、通信キャリアに頼ることなく、自分たちで電話局の中にまで入って通信設備を構築設計し、自分たちで運用するという自前主義である。この楽しさは、一般的なソフトウェア開発だけでは得ることができないのである。コストは安価になる分、全部自分たちで行なうので、責任は増す。しかし、その過程で、業者任せと比較して色々な知識技術が身に付き、最適化も実現でき、大きな価値が生じた。

7



シン・テレワークシステムや自治体テレワークシステム for LGWAN の VPN 中継システムのハードウェアも自分たちで用意するのである。従来の通信技術者は、中継ハードウェアを調達していたが、我々は Raspberry Pi 等の安価なマイコンボードに自分たちで C 言語でファームウェアを開発し、これを書き込んで、高価な通信機器よりも良い品質性能のものを、低コストで作った。

8



このような成果物を作ることができたもう 1 つの要因は、高度なソフトウェア開発を可能とする複雑怪奇な高度なコンピュータおよびインターネット業務環境を自分たちで作ってきたことである。写真は、IPA のサーバールームであるが、2017 年より市販のファイアウォール等なしで、グローバル IPv4 アドレス（16,000 個）を BGP でインターネットに接続し、自分たちで管理・監視システム等も自作して運用している。この環境により極めて高いセキュリティが実現され、結果的に 5 年間でセキュリティ事故ゼロ。そして、現に数十万人の一般人、数万人の行政職員のテレワークのセキュアな通信が、全部この部屋を流れているのである。



はたなか みほ

畑中 美穂

慶應義塾大学 理工学部 化学科 准教授

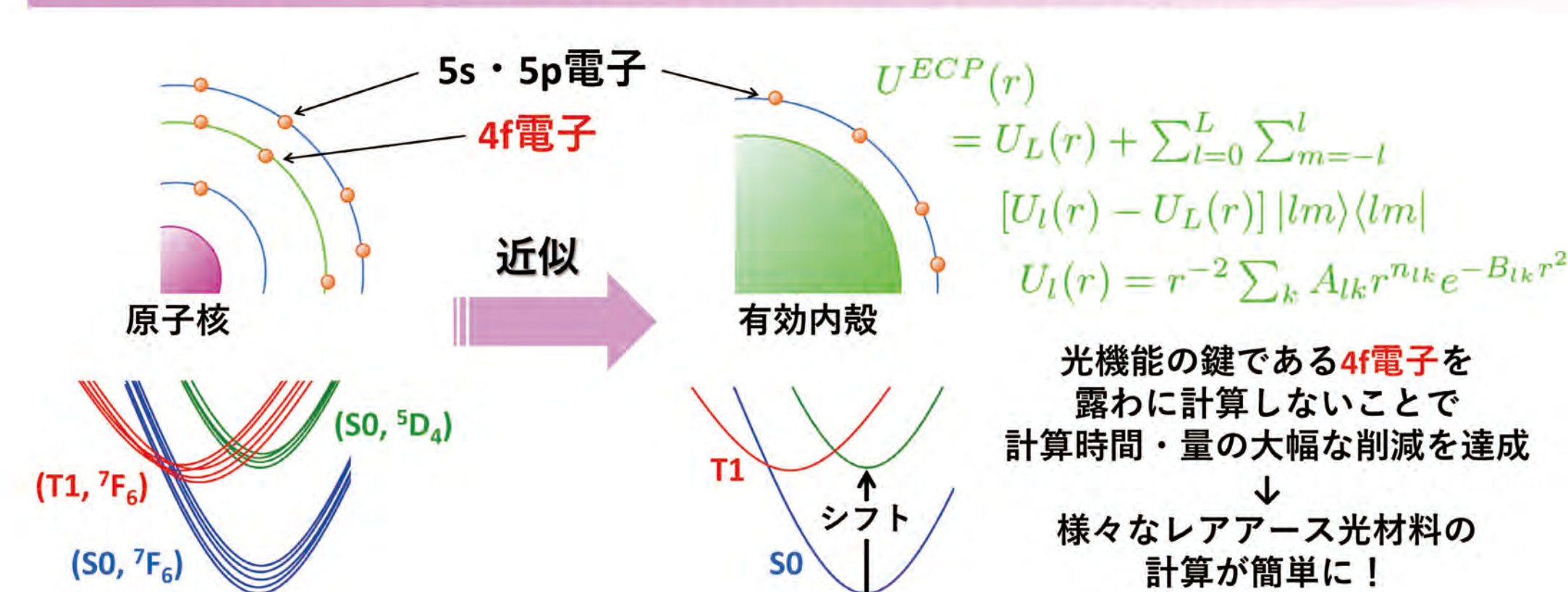
化学的性質を活かした近似計算方法の開発と応用 ー機能性材料の理解の深化と効率的設計を目指してー

1 コンピューターを駆使した 材料の機能発現メカニズムの解明&材料設計



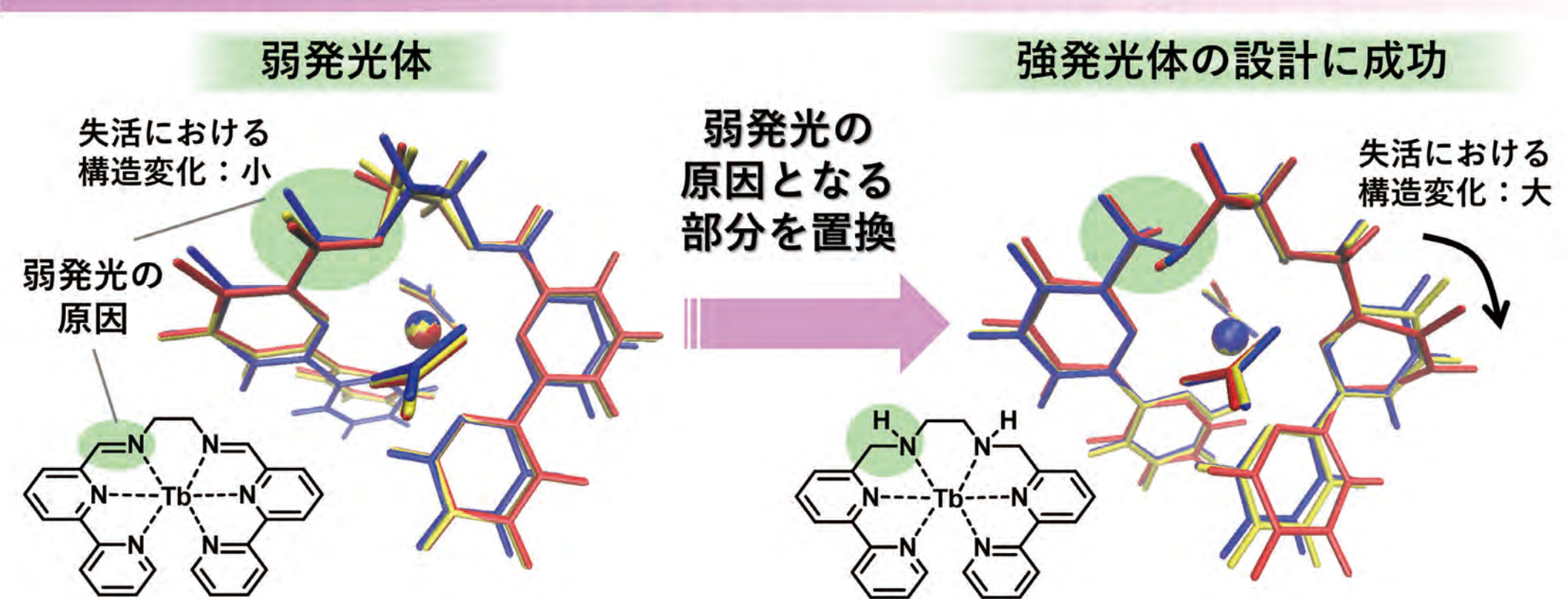
コンピュータシミュレーション等を駆使して、化学現象のメカニズムの解明や新しい材料の設計を行う研究分野を計算化学と言います。この分野の発展により、様々な化学現象の理解が深まりましたが、複雑な系への適用は難しいため、高速かつ高精度な計算を可能にする近似計算方法の開発が求められています。

2 エネルギーシフト法 ～レアアースの性質を活かした近似計算法を開発～



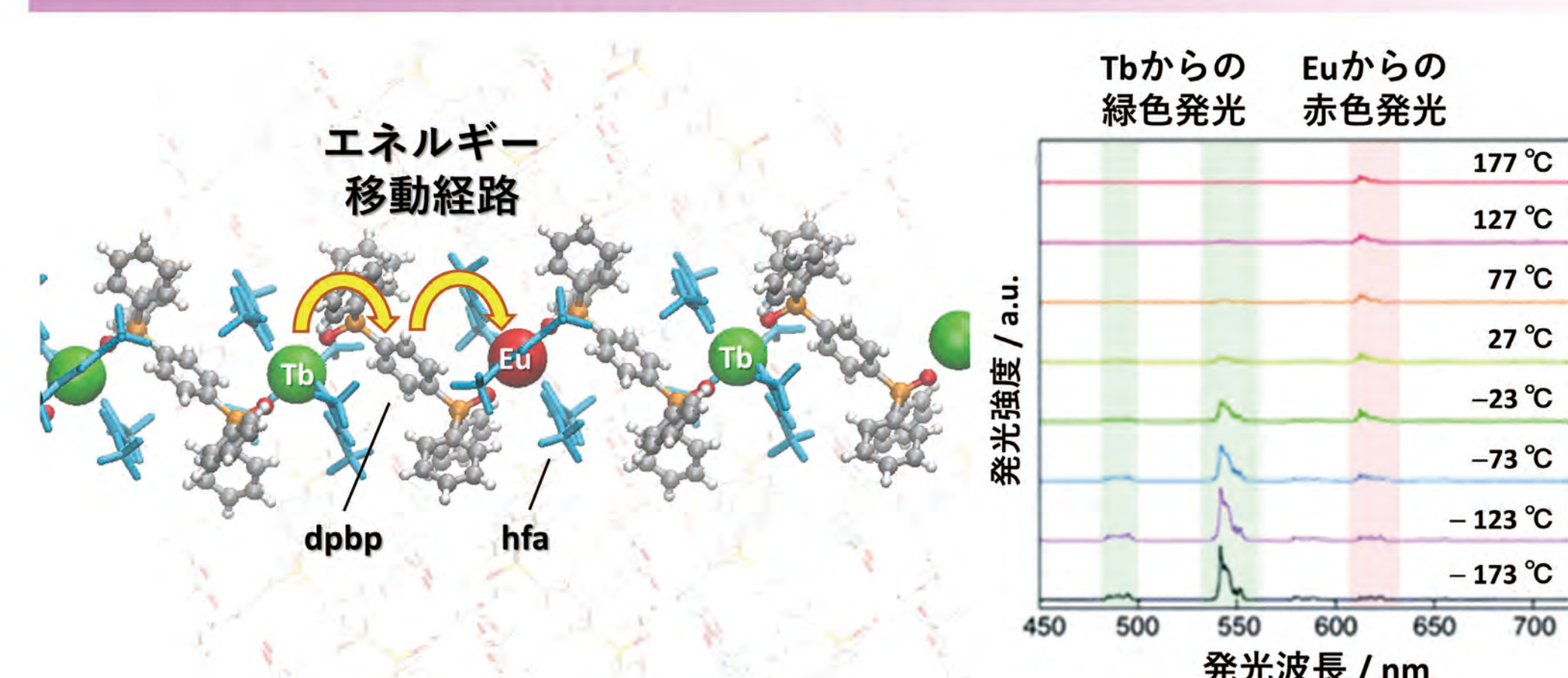
中でも、計算化学の適用が困難とされていたのが、レアアースを含む発光材料です。一般に、光機能材料の特性を理解・予測するためには、光吸収や発光の起こりやすさに加え、光吸収後の失活の起こりやすさの計算が不可欠です。失活過程は材料の構造変化を伴うため、計算化学的に失活の起こりやすさを見積もることは、単純な分子でも難しく、レアアース化合物については成功例がありませんでした。そこで、レアアース化合物の発光特性を決める4f軌道の性質に着目し、この性質を活かした近似計算方法「エネルギーシフト法」を開発し、レアアース化合物の失活過程における構造変化・エネルギーの変化の計算を初めて可能にしました。

3 レアアース材料の機構解明・材料設計 ～レアアース周りの分子によって発光強度を制御する～



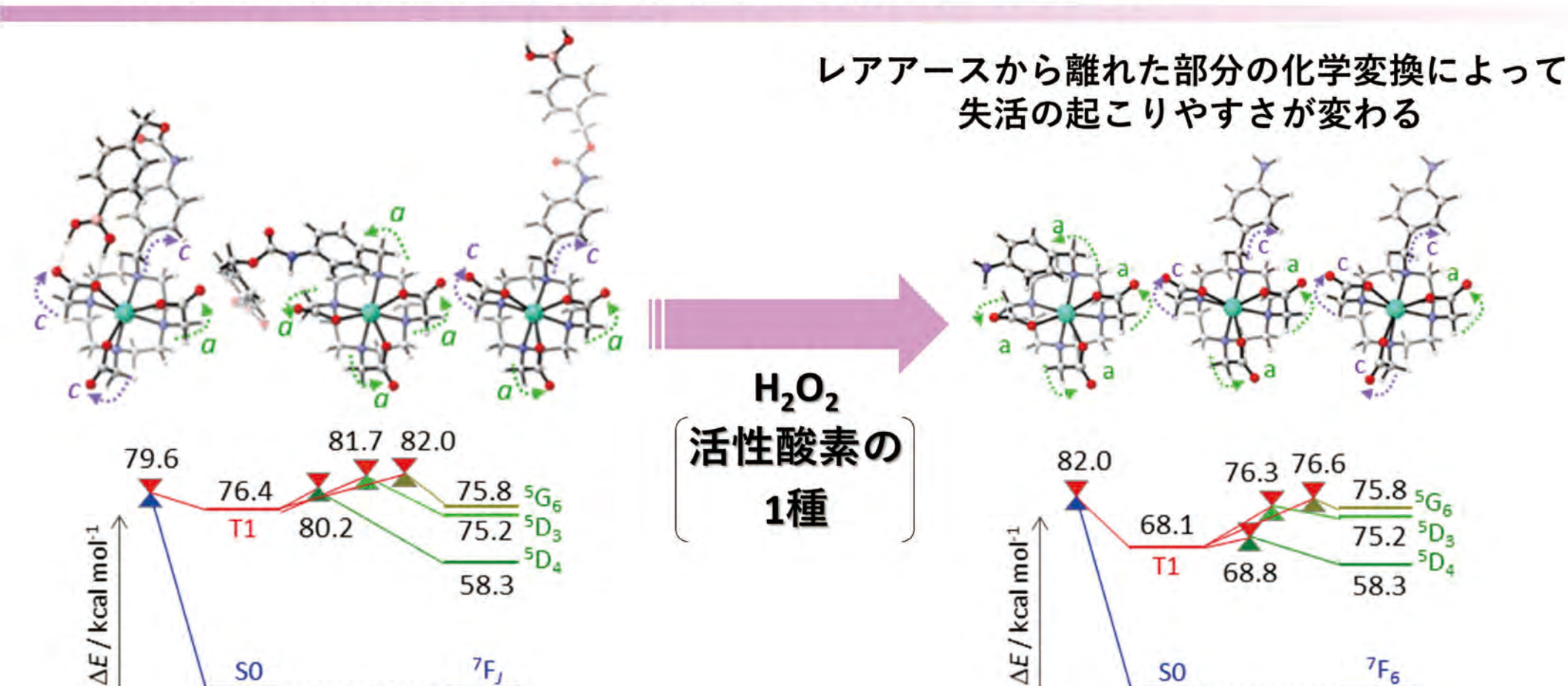
例えば、レアアースの一つであるテルビウム (Tb) は鮮やかな緑色発光を示しますが、発光強度を強くするには、Tbのまわりに適切な有機物(配位子)が必要です。しかし、弱発光体の情報を元に強発光体を設計する汎用的な戦略はありませんでした。そこで、エネルギーシフト法を駆使して弱発光体における失活過程を調べたところ、配位子のごく一部の構造が動くこと、この部分を他の形に置き換えるだけで、強い発光を示すことが分かりました。実際に実験グループとの共同研究を行うことで、右側に示す Tb 化合物が強発光体であることを確認しています。

4 レアアース材料の機構解明・材料設計 ～温度によって発光色が変わる“感温”センサー～



発光色によって温度を測る感温センサーにもレアアースが用いられています。2種類のレアアース (TbとEu) を有機物(リンカー配位子) でつなぐことで、温度上昇に伴い、発光色が緑→黄→橙→赤に徐々に変化するという現象が起こります。この現象のメカニズムを調べたところ、リンカー配位子の三重項状態を介するTbからEuへのエネルギー移動が起きていることが分かりました。この情報を元に、望む温度領域で発光色を変化させるためのリンカー配位子の設計指針を構築することができました。

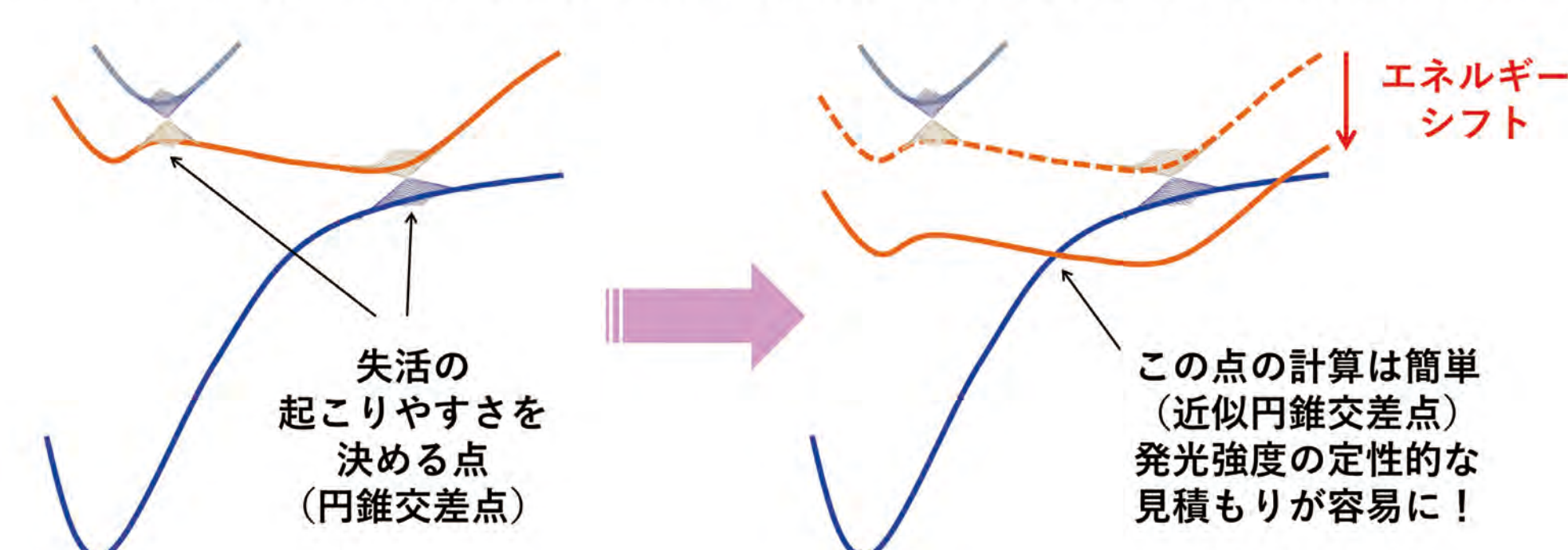
5 レアアース材料の機構解明 ～活性酸素濃度で発光強度が変わるセンサー～



レアアースの発光は、生体内における標的分子の検出にも利用されています。左側に示す Tb 化合物は、活性酸素の一つである過酸化水素H₂O₂と反応することで、右側に示す化合物に変化します。これらの発光強度が異なるため、H₂O₂濃度に応じて発光強度が変化します。反応前後の Tb 化合物に対して、失活過程を網羅的に調べること、反応前後で発光強度が変化する理由を明らかにしました。

6 エネルギーシフト法の発展形 ～レアアースを含まない光材料の計算に拡張～

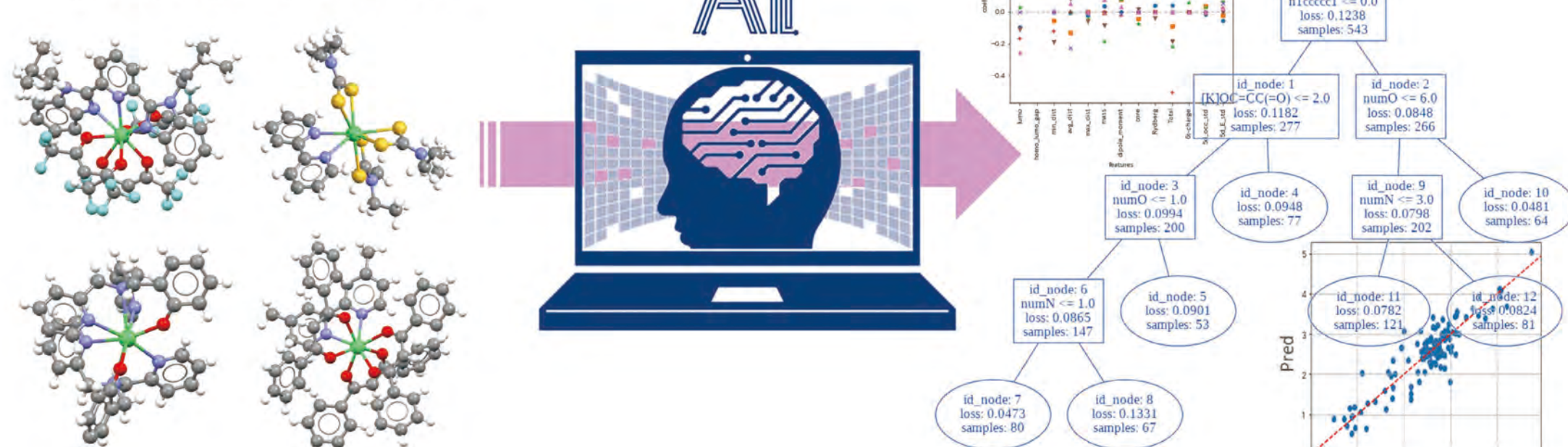
有機光材料の発光強度の予測には円錐交差の計算が不可欠だが、計算が困難
→エネルギーシフト法を用いた近似交差点の計算で代用することで、計算が劇的に簡単に！



エネルギーシフト法は、元々レアアース化合物のために作られた近似法でしたが、有機化合物の失活過程の肝となる円錐交差点の近似的計算にも有用であることが分かり、現在では幅広い光機能性材料の理論研究に利用されています。

7 エネルギーシフト法の前へ ～AI活用による予測と材料探索～

これまでに報告されてきた
レアアース材料のビッグデータ
(X線結晶構造解析データ)



レアアースの中でもセリウム (Ce) の光機能は、4f軌道だけでなく5d軌道の性質に大きく依存するため、エネルギーシフト法を適用することができませんでした。この問題を解決するために、機械学習 (AI) を用いて光機能を予測する先進的な取り組みも行っています。



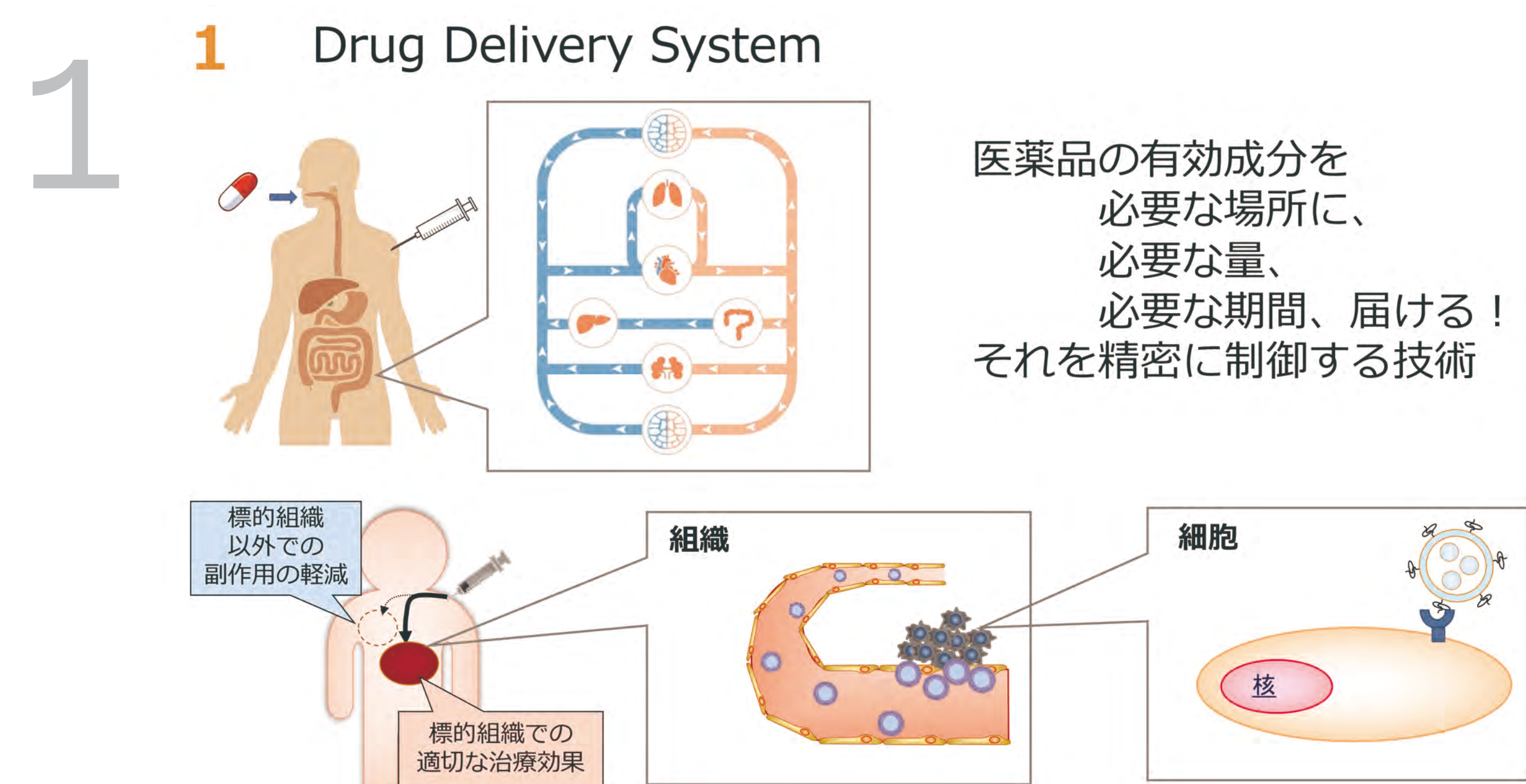
ひぐち ゆりこ

樋口 ゆり子

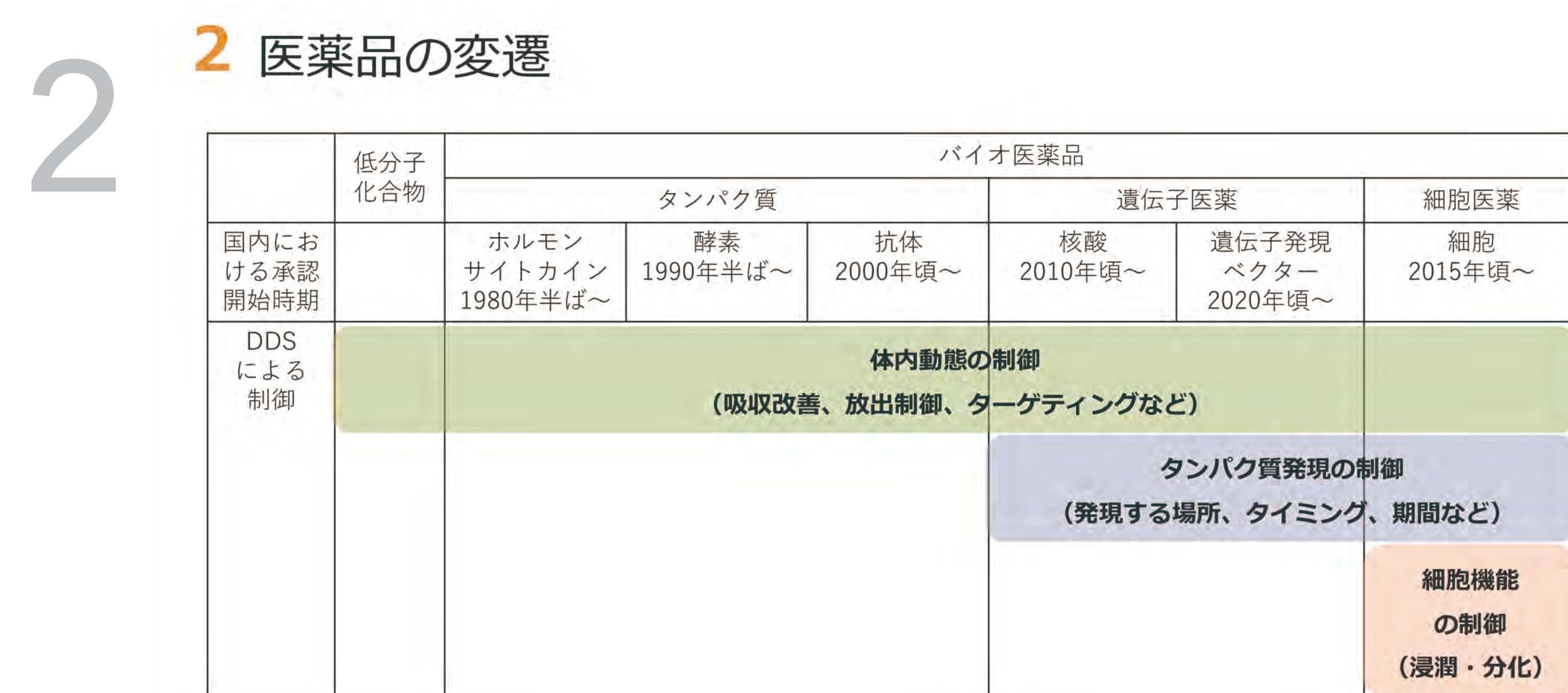
京都大学大学院 薬学研究科 准教授

細胞膜修飾による細胞機能の制御

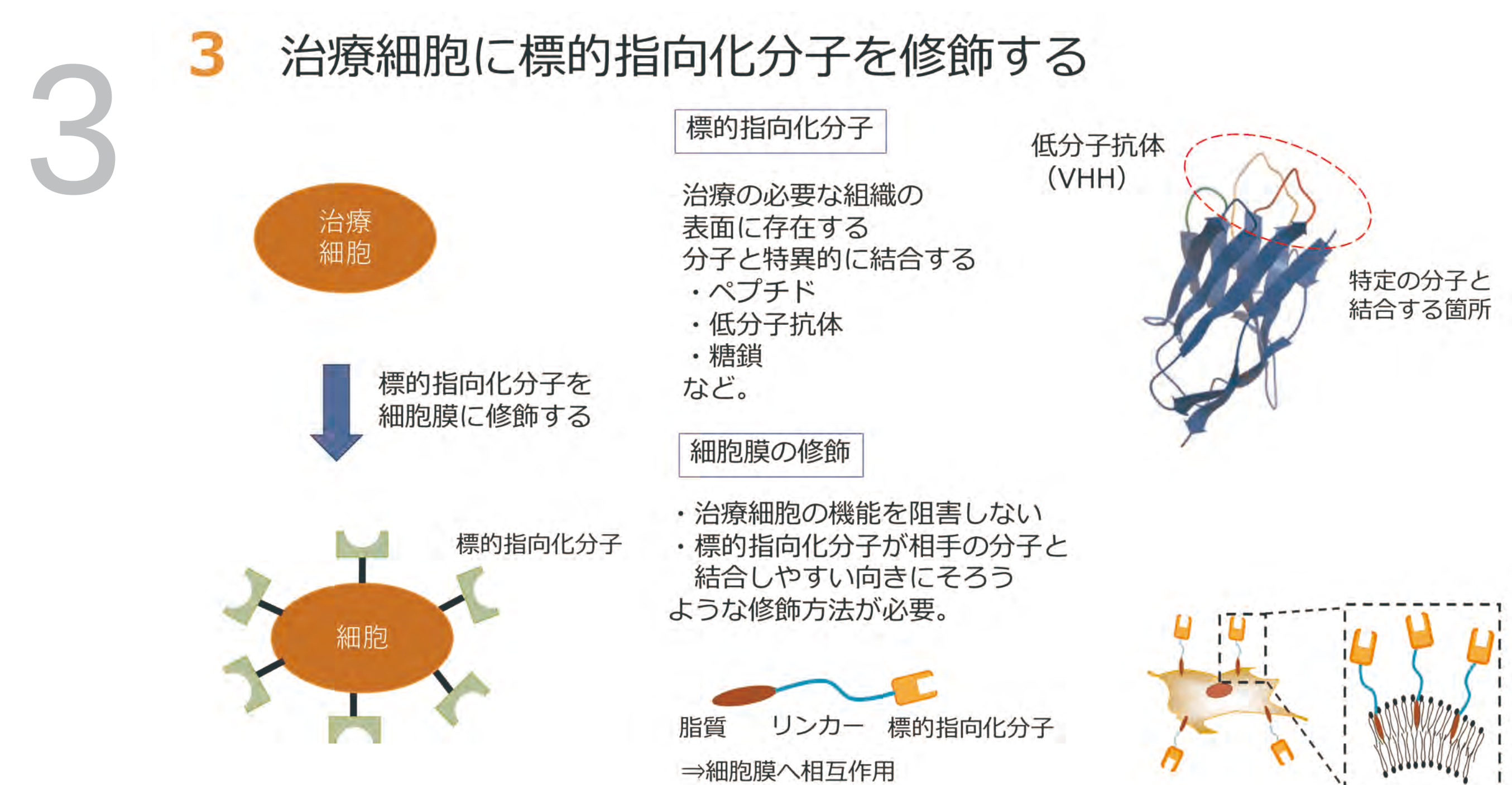
ー生体内の治療標的となる箇所だけで治療効果などの機能を発揮させるー



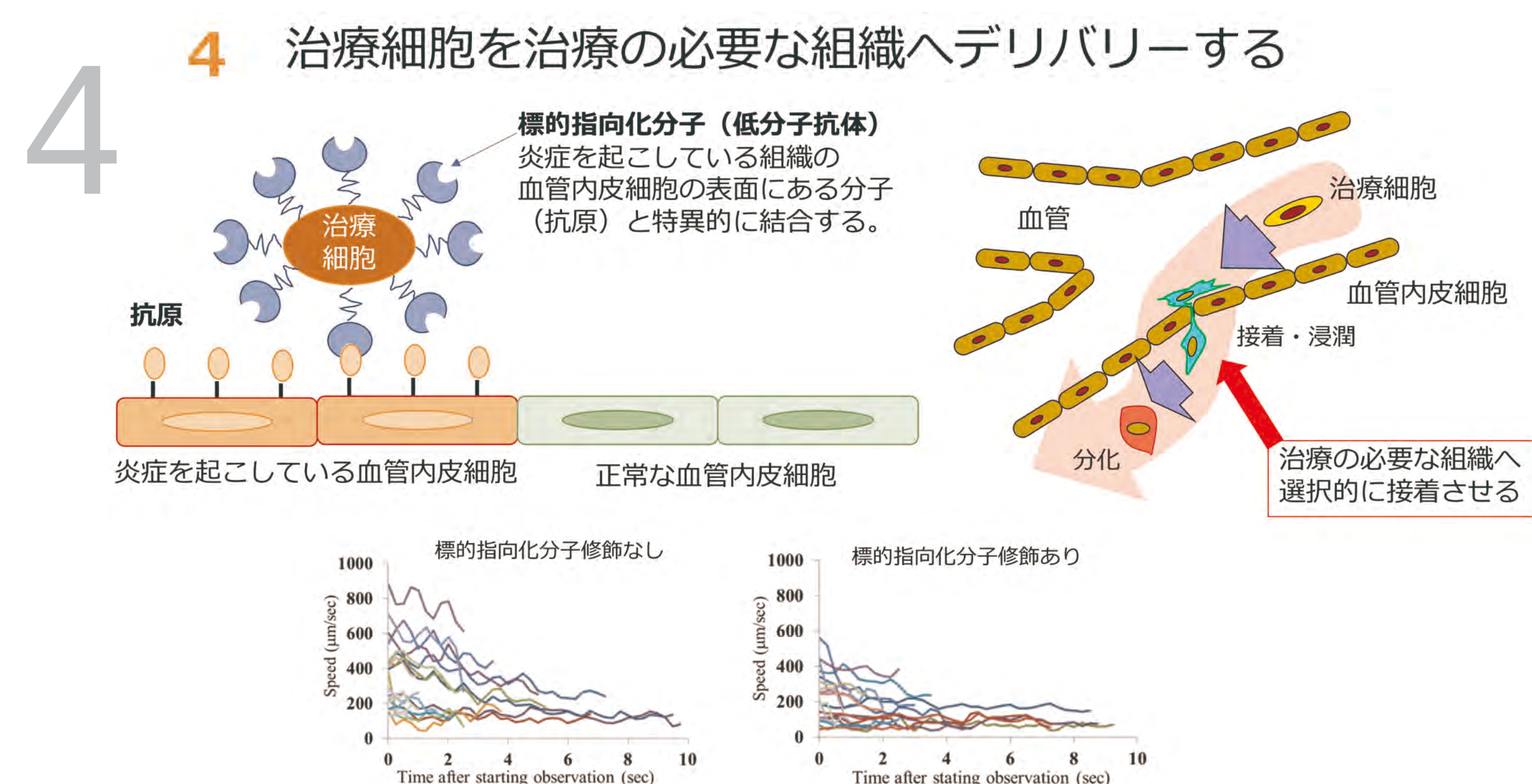
経口投与や静脈内注射など様々な経路で投与された医薬品の有効成分は血管をめぐって体中に広がります。医薬品の有効成分を必要な場所に、必要な量、必要な期間届けること、それを精密に制御する技術を Drug delivery system (DDS) とよびます。DDS により治療効果の増大、副作用の軽減が期待できます。



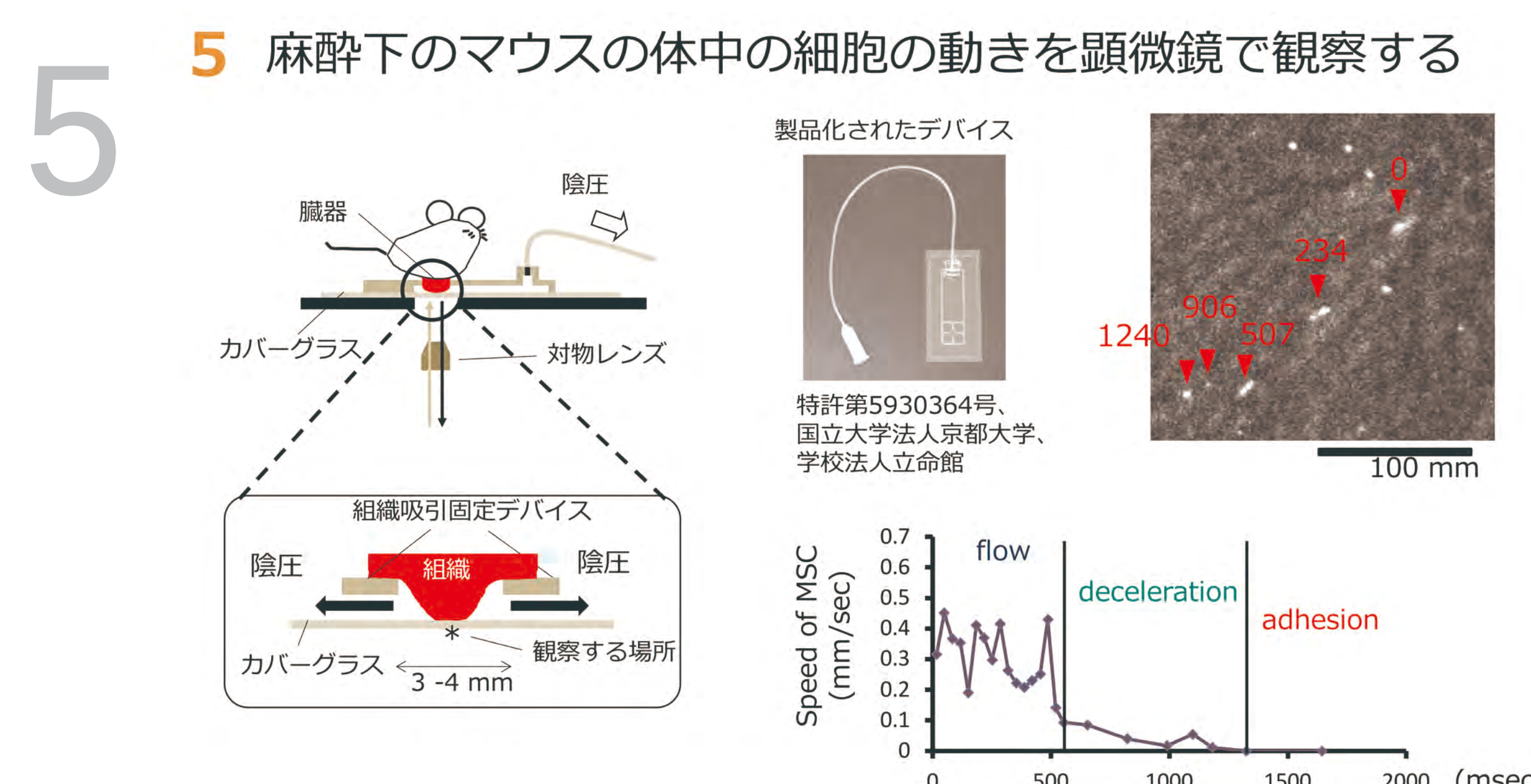
1980年半ばから、タンパク質、核酸、遺伝子発現ベクターや細胞などが医薬品として利用されるようになってきました。これらは、バイオ医薬品とよばれます。このように新しい医薬品が開発されると、医薬品の有効成分の形態や、治療効果を発揮するためのメカニズムに合わせた DDS の開発が必要になります。特に細胞を治療薬として利用する場合は、細胞が生きているという点で従来の医薬品と大きく異なるため、これまでにない新しい手法を開発する必要があります。



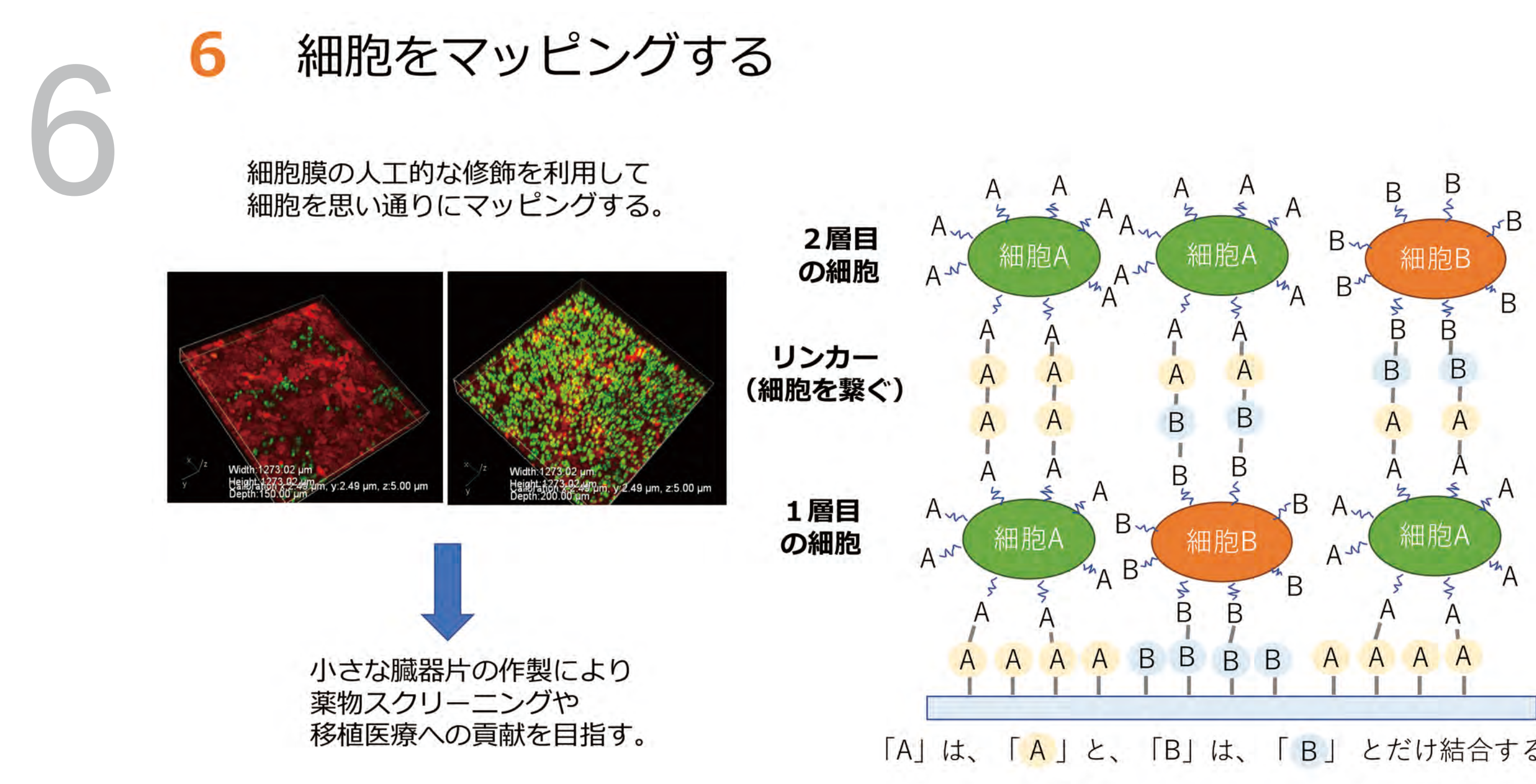
治療に利用する細胞（治療細胞）を治療の必要な組織に届けるために、私たちは、標的組織と結合する分子（標的指向化分子）を細胞膜に人工的に修飾する方法の開発に取り組みました。相手の分子と結合しやすいような標的指向化分子の配置、生体内でもはずれにくいように安定に修飾できる方法、治療細胞へのダメージが少ない方法が望まれます。私たちは、特定の分子（抗原）と特異的に結合する分子サイズの小さな抗体を標的指向化分子に選び、その抗体の特定の箇所にリンカーのついた脂質を結合したものを作製し、それを用いて細胞膜を修飾する方法を開発しました。



炎症組織に選択的に治療細胞を結合させるために、炎症をおこしている組織の血管内皮細胞に存在する分子を抗原とする抗体を治療細胞に修飾しました。炎症組織の血管内皮細胞モデルの上に抗体を修飾した治療細胞または修飾していない治療細胞を一定の流速で流すと、抗体修飾した細胞において移動速度の低下が認められました。



新しい DDS を開発すると、それにあった評価法が必要になります。私たちは、マウスの体内における治療細胞の動きを顕微鏡で観察するためのデバイスを開発し製品化しました。麻酔下であっても、観察対象の臓器が呼吸や拍動の影響を受けて動くと顕微鏡で観察できません。私たちの開発した組織吸引固定デバイスを使うと、肝臓の血管に流入してくる治療細胞や、血管壁に接着して留まる治療細胞をリアルタイム観察でき、得られた画像からその移動速度を算出することができました。



私たちは、細胞膜の人工的な修飾方法を利用して、複数の種類の細胞を思い通りに配置固定する方法の開発も進めています。さらに、細胞と細胞を繋ぐリンカーを設計して、思い通りに細胞を配置した 3D 培養組織の構築を目指しています。この小さな組織片は、薬物のスクリーニングや移植医療に貢献することが期待できます。