



要旨

G20各国の科学アカデミー代表が集まる2020サイエンス20 (S20) の最も重要な結論は、地球と人間の問題は、その複雑さと相互関係性を十分に認識した上で包括的に捉えなければならないということである。これは、健康、環境、テクノロジー分野で起こっている地球規模の重大な転換を体系的に検証することで得られた教訓であり、世界に混乱をもたらしている新型コロナウイルス (COVID-19) のパンデミックという現在進行中の実例によって強調された。パンデミックは各国社会の健康、経済、社会、教育に関する脆弱性をあらわにし、フォーサイト (foresight) が欠けていたために様々な分野で十分な対応ができないことが露呈した。

G20各国に代表される世界の主要経済国は、次のパンデミックや将来起こりうるその他の重大な転換をもたらすシステムレベルの経済的、社会的混乱を軽減するため、フォーサイトを持たなければならない。したがって、G20科学アカデミーは以下の行動を提言する。

1. 既存のパンデミック対策を国際協調の枠組みへと発展させ、新興感染症の監視と迅速な対応により、将来のパンデミックに対処する。
2. 先進医療と精密医療の研究を促進することで個別化医療を強化すると同時に、技術、コスト、アクセス性の改善を目指す。
3. 人口構成の変化から生じる課題に対処するために政策と介入を展開する。
4. 天然資源の採取、流通、消費、廃棄、リサイクルのために統合的かつ効率的なクローズドループシステムアプローチを開発する。
5. 二酸化炭素排出量実質ゼロを目指した3R (リデュース、リユース、リサイクル) と再生可能資源の推進により、原料とエネルギーシステムの循環型デザインを促進する。
6. 地球上のすべての人がデジタル技術とインターネットを利用できるようにするために、新たに生じたデジタル・ディバイドを埋めるとともに、デジタルネットワークとデバイスのプライバシー、レジリエンス、セキュリティを確保する。
7. エンドユーザー向けデバイスを含めたデジタルインフラの持続可能性の向上、スマートシティ技術の機会向上を通じて、よりクリーンな環境に貢献する。
8. デジタルインフラが社会、教育、政治、ビジネス、文化の環境全体に十分に組み込まれた未来の人間中心のデジタル対応社会を計画するために、学際的なアプローチを採用する。
9. 厳格な科学、再現可能な手法、オープンな共有に基づき、近年の複雑系システム解析 (complex systems analysis) における進歩を組み込んだフォーサイト研究を支援する。
10. 国際的な連携を実行・促進し、フォーサイト研究と活動への信頼を高めるためのプラットフォームを確立する。

重大な転換：生態系の急激な変化

2008年に世界金融危機が起こり、この重大な転換を契機にG20の討議は、G20首脳会合に高められた¹。さらに12年後、私たちははるかに広い影響をもたらす、COVID-19という重大な転換に再び直面している。こうした転換は、生態系を一変させる急激な変化²であり、その影響が世界規模または広範囲に及んだ場合に重大なものとなる。これらの重大な転換の世界的影響には、ネガティブで避けられるもの、ネガティブで避けられないもの、ポジティブで望ましいものがある。健康、環境、デジタルの分野では複数の重大な転換が特定されており、現在はそれらがかつてない速さと規模で発生している。G20各国に代表される世界の主要経済国は、このような重大な転換の過程または結果として起こりうる体制レベルの経済的、社会的混乱を軽減する能力を持たなければならない。科学・工学コミュニティは、政府が差し迫ったリスクと機会を認識できるようにするだけでなく、これらのリスクに対処し、あるいは機会を最適化するための「解決策が存在する領域」を模索できるよう、政策立案者に対してエビデンスに基づく助言を行わなければならない。

COVID-19は、古くから続いてきた感染症のアウトブレイクの中で最新のものである。こうしたアウトブレイクは、人口倍増、都市化、グローバル化、気候変動が同時進行したここ数十年で多発化、多様化している³。将来はおそらく、繰り返されるアウトブレイクや長引くパンデミックが今よりも当たり前になり、データに基づいた継続的なフォーサイト研究が必要となるだろう。「ワンヘルス」などの包括的アプローチは、基本的な保健医療へのアクセスの提供や、国連の持続可能な開発目標（SDGs）への幅広い支持を補完するものとして理解する必要がある。健康と社会経済に関連するもう一つの重大な転換は、出生率の変化、高齢化、人口移動、都市化により多くの国が直面している人口構成の大きな変化によるものである。高齢化は多くの先進国に影響を及ぼしている重要な人口構成の変化である。その潜在的な影響として、感染症に対する脆弱化、医療費の増大、精神保健を含む高齢者向け医療サービスへの需要の拡大などが挙げられる。さらに、医療の実践方法にも変化が起きている。従来の治療法は、主に特異性の不足とそれに伴う毒性に関連して、いくつもの課題に直面している。これらの限界を克服するため、マルチオミクス技術（multi-omics technology）、個別化細胞療法、特異的免疫療法、遺伝子治療、ナノ医療など複数のアプローチが近年登場している。しかし、人材、施設、規制、資金の不足がこれらの分野の進歩を妨げている。COVID-19のパンデミックによって遠隔医療などのデジタル医療アプリケーションの利用が加速した一方、社会的弱者を中心として、デジタルインフラやデジタルリテラシーの深刻な格差も明らかになっている。これは、統一的な規制・法制度と、データのプライバシーやセキュリティを保護するリアルタイムデータ共有機構の欠如によって一層悪化している。

COVID-19のパンデミックがもたらした混乱は、人の活動によって生じる様々な環境への影響を一時的に鈍化させたかに見える。しかし、私たちは「調達－生産－消費－廃棄」という従来の線形経済モデルに従うことで、環境にダメージを与え続けている。これによって、天然資源を持続不可能な形で使用し、大量の廃棄物が出る状況が生まれている。従来の線形経済モデルとそれに伴うマイナス面は、「発生抑制（リデュース）、再利用（リユース）、修理（リペア）、再整備（リファーマビリティ）、再生利用（リサイクル）」をベースとしつつ、グリーン・ジョブなどによる経済開発に注力する循環経済によって軽減できる。しかし、循環経済モデルに迅速に移行するにあたって、技術的課題と、拡大や新規導入へのインセンティブが不十分であることが障壁となっている。循環経済への移行を進めることで、既存のグローバルな気候と環境のための取り組みをシームレスに補完し、環境への負担軽減、原材料供給の安定化、雇用の創出など様々な機会の提供につながると考えられる。さらに、複数のSDGsの目標達成にも貢献できる。温室効果ガス排出量の増加は、気候変動における重大な転換をもたらし、そ

の結果として陸地・海洋の生態系にダメージを与え、ひいては人間の健康と生命を脅かすことになる。排出量削減と炭素循環実現に向けた活動は、責任ある開発に向けたグローバルな取り組みを支えるとともに、急速な成長や都市化による環境への負担を軽減する。変化を促進する経済面や規制面のインセンティブ不足に加え、排出量を削減し、炭素循環を導入するために利用できるアプローチやその機会に対する認識は依然として低い。レジリエントで持続可能な都市づくり、気候変動やその影響への対策、海と海洋資源の保護に関連するSDGsの目標を達成するには、こうした現状の変化を求めることが最も重要である。

COVID-19によるパンデミックは、私たちの社会において、デジタル技術、特にインターネットとそれにより実現するサービスを利用できる人と、限られた範囲でしか利用できない人、またはまったく利用できない人の格差を浮き彫りにした。また、このパンデミックによって、インターネットが利用できることを全市民の基本的な権利と見なすべきだとの考えが強まった。さらに、既存の通信インフラは気象災害、サイバー攻撃、パンデミックなどの重大な転換により途絶しやすい。レジリエンスが強く求められているものの、それを確保するネットワークの冗長性に投資することが経済的にも政治的にも難しい国がほとんどであり、こうした接続性やデータに関わる脆弱性がデジタル技術への信頼を揺るがしている。最近、この不信に拍車をかけているのが、ディープフェイク、誤報、フェイクニュースの出現である。私たちは、いくつもの領域にわたる社会情勢の変化を目の当たりにしている。デジタル技術は古くからの業界を混乱に陥れ、新しい業界を台頭させている。さらに、この混乱は、雇用の喪失とアウトソーシングによって職業事情を変化させており、とりわけ女性を含む社会的弱者に影響を及ぼしている。地政学的要因、非自発的な人口移動、気候変動が都市化の拡大につながっている。2050年には、世界の人口の3分の2が都市部に居住し、都市の機能や資源に大きな負担を生じると予想される。スマートシティ技術がこれを相殺する可能性もあるが、競合する独自技術の間に相互運用性がないため、その可能性をすべて活かすことができていない。さらに、世界のデジタルインフラとそれにつながる何十億ものエンドユーザーのデバイスは、大量のエネルギーを消費し、世界の温室効果ガス排出量を大きく押し上げる。エネルギー消費と電気電子機器廃棄物（電子ごみ）を削減するには、さらに対策を講じる必要がある。

フォーサイト：点と点をつなぐ

現在のパンデミックによる危機では、重大な転換が世界中に大規模な影響を及ぼす可能性があり、そのようなグローバルな課題は社会、経済、政治、技術の域を超えることが明確になった。システムの複雑さと相互接続性が高まったことで、政策立案者に対し、今後直面するであろう重大な転換を乗り切る際に、自分たちの決定が与える影響を理解することを更に難しくさせている。より良い政府、政策、行動への道程は、システム全体のアプローチに基づき構築すべきである。

「フォーサイトは、関係者の特定のユニットまたはシステムの将来に関する知識を発展させる目的をもったプロセスであり、公共または民間の政策決定、戦略策定、計画という形でのアクションを目標とする⁴⁾」。しかし、現在進行中のCOVID-19のパンデミックは、パンデミックのフォーサイトは医学、公衆衛生学、社会経済学、さらにそれらを補足する学術分野を融合させる必要があり、依然として難題であることを明確に示している。歴史上現在に至るまで、未来の針路決定を実践してきたのは、ほとんどシンクタンク、企業、多国間組織、政府の政策アナリストである。ほとんどのフォーサイト研究にとって、科学は臨時の資源として扱われてきた。しかし、深刻なグローバルな課題や重大な転換に対応するには、洞察力のあるリーダーシップと、エビデンスに基づくフォーサイト研究によって従来のフォーサイト実践のあり方を変革するビジョンが必要である。

フォーサイト研究は、科学と工学コミュニティを、より深く、より正確で、より包括的なフォーサイト手法を開発し、有効な政策決定に結びつけるために必要な中心的役割へと押し進めることになる。点と点を結んで線を描き、意思決定の選択によってどのような影響や意図しない結果が生じるかを評価し、国際レベルで先見の明のある行動に結びつけることができるフォーサイト研究が求められる。

フォーサイト研究の向上には、国際的な協力と連携が必要である。パンデミックは、世界中の医療専門家、エンジニア、科学者、政策・意思決定者、指導者にとって、分野の垣根を取り払う重要なインセンティブとなった。実際、先進国と開発途上国の間には研究能力や資金の面で大きな格差があることを考えると、フォーサイト科学研究、イノベーション、資金調達の国際連携が必要である。フォーサイト研究に関する国際連携は、世界の相互関連性の拡大による自然な流れであり、SDGsの目標17「持続可能な開発に向けてグローバル・パートナーシップを活性化する」とも共鳴する。フォーサイト研究を進め、フォーサイト活動の国際連携を進めることは、将来の苦難を回避・軽減し、そして、より良い健康、安定、繁栄を実現するために我々の最善の良心の潜在性を十分に活かすことを約束する。

G20各国の科学アカデミーは、以下のことを追求する：

1. 既存のパンデミック対策を国際協調の枠組みへと発展させ、新興感染症の監視と迅速な対応により、将来のパンデミックに対処する。



最新の研究手法を用い、気候変動などの環境の変化や社会的相互作用が現在の健康状態、ライフスタイル、健康に及ぼす影響についてパンデミックのシナリオを重ね合わせて研究するための国際研究項目を設定する。このような研究は、パンデミックなどの健康上の非常事態への対応を強化するための既存のグローバルな取り組みの上に構築され、それらと連携していくことになる。社会・行動研究や精神保健からの影響やフィードバック、そして最前線のコミュニティとの対話が検討されなければならない。フォーサイトの応用を可能にするには、ピアレビュー、継続的な知識共有、データ同化、継続的な質向上などを担保する方法により透明性をもって伝えられる結果と併せ、データの収集、共有、そして分析が行われなければならない。

2. 先進医療と精密医療の研究を促進することで個別化医療を強化すると同時に、技術、コスト、アクセス性の改善を目指す。



従来の医療業界を補完するマルチオミクス技術、個別化細胞療法、特異的免疫療法、遺伝子治療、ナノ医療などの技法の開発を強化する。学際的基礎研究、橋渡し研究、臨床研究、倫理的アウトカム研究 (ethical outcomes research) の垂直統合を促進する。縦割りの活動の枠を越え、優れた人材交流ポリシーによって科学者や臨床医の国境を越えた移動やアクセスを促進する必要性を考慮する。患者には保健研究プログラムに積極的に参加し協力する権限が与えられなければならない。このアジェンダには、予測モデルを活用して病因を深く理解し、創薬標的を特定し、より個別化された診断法と治療法を開発する低コストで高精度のデジタルヘルスソリューションの開発も組み込む必要がある。ワクチンを含め、革新的な診断・治療法の開発と利用を支える人材を強化するために、研究・研修プログラムへの投資が必要である。

3. 人口構成の変化から生じる課題に対処するために政策と介入を展開する。



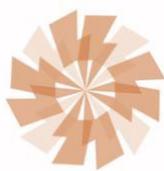
健康関連のデータ分析で世界の人口構成、人種、社会経済の違いを説明し、とりわけ格差が広がっている社会的弱者やシステムについて、より正確なデータ解釈と意思決定を可能にする。同様に、付加価値を高めるために、人口調査において合意を得た枠組みと適切なサンプルを使って各国から収集した感染症データの比較分析を行う。高齢者については、社会的孤立による精神保健の問題や、罹患リスクの高さ、デジタルリテラシーの制約、検査や治療への不十分なアクセスに関連するその他の課題にも対処する必要がある。

4. 天然資源の採取、流通、消費、廃棄、リサイクルのために統合的かつ効率的なクローズドループシステムアプローチを開発する。



クローズドループシステムの大規模な導入と活用、企業と消費者によるリサイクル製品や回収製品の利用を促進するために必要な法律的・経済的構造を確立する。特に鉱業、製造業、建設業、サービス業、農業、都市住宅などの主要セクターにおいて、クローズドループシステムの開発と導入を奨励する措置を講じるべきである。ひいてはこれが革新的な廃棄物削減技術の研究、開発、利用を促進することになる。循環経済システムのデザインは新しい雇用を生み出し、地域レベルのコミュニティ参加を促してバージン原料の使用を削減し、責任ある消費を促進するはずである。あらゆる教育レベルに含めるべき循環経済に関する教育資料と教育プログラムを開発し、意識を高めるとともに、イノベーション、スタートアップ、循環経済のあらゆる面に関連する職業へのキャリアパスを開く。IoT、AI、ビッグデータ、ブロックチェーンなどの先進デジタル技術の活用を梃として天然資源利用の効率、レジリエンス、循環性を向上させ、エネルギー、水、原材料、食品の循環性の相乗効果を高める。循環化と廃棄物の最小化に向けた進捗の測定には、循環経済への移行目標を設定できるよう標準化された循環経済指標を使用しなければならない。

5. 二酸化炭素排出量実質ゼロを目指した3R（リデュース、リユース、リサイクル）と再生可能資源の推進により、原料とエネルギーシステムの循環型デザインを促進する。



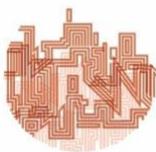
市場ベースのアプローチと啓発プログラムにより、再生可能エネルギーと、貯蔵を含めた手頃で持続可能なエネルギーシステムを促進し、それにより社会の化石燃料への依存度を下げる。カーボンニュートラルの目標に最も適合する、統合的社会的システムにおける代替エネルギー技術の最適な構成と3R関連技術を決定するために、技術経済的フィージビリティスタディとライフサイクルアセスメントを実施する。テストベッド施設における試験も含め、バイオマス二酸化炭素回収貯留（BECCS）や二酸化炭素の製品への転換など、二酸化炭素回収・有効利用・貯留（CCUS）技術のアセスメントと促進が、それらのグレードアップと新規導入の機会を明確にするために必要である。炭素隔離の方法として森林と海洋の生態系回復を奨励することは、同時に生物多様性の回復を助けることにもなる。

- 地球上のすべての人がデジタル技術とインターネットを利用できるようにするために、新たに生じたデジタル・ディバイドを埋めるとともに、デジタルネットワークとデバイスのプライバシー、レジリエンス、セキュリティを確保する。



デジタルインフラへの出資、インフラの限られた貧困地域や遠隔地における展開と利用に適した通信技術とデバイスの開発を奨励するための戦略を開発する。すべての人、特に女性、マイノリティ、不利な境遇にある人々のためにデジタル教育の機会を確保するには、インクルーシブな教育とリテラシーのプログラムが必要である。デジタルインフラの設計に科学コミュニティを活用することで、レジリエンスの向上および増大するネットワークトラフィック需要に対応するよう現在のシステムを改善する。公共の利益のためのデータ科学、堅牢かつレジリエントなAIアルゴリズムのための研究開発、より強力な暗号化プロトコル、予測不能な障害や悪質なサイバー攻撃による脅威を防ぐための規制拡大を促進するため、より多くの資源を割り当てる。

- エンドユーザー向けデバイスを含めたデジタルインフラの持続可能性の向上、スマートシティ技術の機会向上を通じて、よりクリーンな環境に貢献する。



デジタル技術の環境への影響を軽減するための取り組みを加速させる。これには、エネルギー効率を考えたデザイン、集中度の低い計算方法の開発、非再生可能エネルギーに代わる再生可能エネルギー源の利用などが含まれる。標準化されたツールとフレームワークを開発してデジタル技術の利用効率を最大化し、その耐用年数を最大化して電子ごみを削減する。インクルーシブで資源共有を最適化し、相互運用性を推進し、温室効果ガスなどの汚染物質の排出量を削減するようなスマートシティとスマートコミュニティをデザインする。政策立案者、業界、コミュニティの利害関係者、科学コミュニティの間で連携とベストプラクティスや経験の知識共有を促進する。デジタル技術の利用に伴う環境への影響について社会全般の意識を高める。

- デジタルインフラが社会、教育、政治、ビジネス、文化の環境全体に完全に組み込まれた未来の人間中心のデジタル対応社会を計画するために、学際的なアプローチを採用する。



理工学、社会科学、人文科学、倫理学を相互に結びつけ、万人のためのデジタル教育の質を高めるために、学際的な教育や研究を強化する。デジタル技術が社会と健康に与える影響に関する幅広い科学的かつ公開の対話を開始し、科学的証拠に基づく公的な教育・啓もうに取り組む。ディープフェイク、フェイクニュース、誤報を素早く見抜いて阻止できるようにするために、必要な技術および人間が管理できるプロセスの開発を支援し、偽の情報や誤解を招く情報を特定し対処できる力をユーザーに与える。金融や医療など価値もリスクも大きい分野で、信頼される説明可能なAIの研究開発への投資を拡大し、ロボットや関連する自律型テクノロジーに倫理的行動を組み込むための手法とプロトコルを開発する。

9. 厳格な科学、再現可能な手法、オープンな共有に基づき、近年の複雑系システム解析における進歩を組み込んだフォーサイト研究を支援する。



最近のネットワークおよび複雑系科学、AI、機械学習、ビッグデータ・アナリティクス、先進コンピューティング（量子コンピューティングなど）の大きな進歩を踏まえてフォーサイト研究を改革する。フォーサイト研究を、厳格な科学と、オープンに共有される再現可能な手法に基づいたものとする。このような研究には、科学・工学的手法、技術、トレンド、推進要因とそれらが組み込まれた文脈の交差、相互作用、組み合わせが伴う。このような強化により、フォーサイト研究の信頼性が高まり、これらのアプリケーションの利用と結果に対する信頼性が高まる。

10. 国際的な連携を実行・促進し、フォーサイト研究と活動への信頼を高めるためのプラットフォームを確立する。



国際的な連携と、フォーサイトのレポート、データ、ベストプラクティス、世界中で行われているフォーサイト活動に関する情報の共同的な交換を促進するため、国際機関（国連など）に対し、グローバルな情報交換・知識共有プラットフォームおよび科学的フォーサイト研究を強化するための国際科学諮問機関の設立を促す。これは、フォーサイト研究の必要性と、グローバルシステムの複雑性と相互接続性を理解する能力の必要性について、国際的な対話を促すことにより、既存の（ほとんどが）地域的なフォーサイトへの取り組みを補完し、活かすことになる。グローバルな性質の課題は、地域、国、地方の事情が異なれば異なる道筋をたどることも多く、どのような介入方法が有効かも状況によって異なることが多い。国を超えた協力は、多様な文化や社会規範に対する受容と許容を育てる。世界規模での協力は、フォーサイト研究の促進を目標として、ネットワークおよび複雑系科学、AI、ビッグデータの最先端の開発成果を利用する適切な方法を開発するための豊かなコラボレーション空間を生み出す。このような努力は、地域の内外でデータを共有しやすくし、関係者の間でデータに自由にアクセスできるようにするためのプロトコル、技術、規制の開発・策定も後押しするはずである。これらの努力は、広く社会や政策立案者に対してフォーサイトに対する認識を高めるプログラムを優先すること、また、多様なオーディエンスに対し様々な未来を伝える戦略を確立することにも役立つはずである。

References

¹ <https://g20.org/en/about/Pages/whatis.aspx>

² Scheffer, M. (2009). Critical transitions in nature and society (Vol. 16). Princeton University Press.

³ <http://www3.weforum.org/docs/WEF%20HGIH%20Outbreak%20Readiness%20Business%20Impact.pdf>

⁴ <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/fta2014-posters-innovation-theory-development-foresight.pdf>