

AIが実現する 持続可能な未来



序文

今日の情報化時代には、信じられないような進歩がとてつもないスピードで起きています。AIによって人間は莫大な量のデータを利用できるようになり、医療、農業、教育、輸送などの分野で目を見張る進歩が起きるでしょう。AIでコンピューターの能力が高まった結果、既に医師が医療ミスを減らし、農家が収穫量を増やし、教師が個別対応の指導を行い、研究者が地球を守るための方法を解明することが可能になっています。

しかし、この20年間見てきたように、デジタル化の進歩は私たちの日々の暮らしに役立つ一方で、テクノロジーが社会にどんな影響を及ぼすのかという複雑な問題や幅広い懸念を数多く投げかけます。インターネットが発達し、私たちの仕事や日常生活に欠かせないものになったことが背景にあります。AIが進化し、社会で果たす役割に注目が集まるなか、この傾向は間違いなく続くでしょう。未来に目を向ける時、先入観なく問題意識を持ち続けるとともに、AIをはじめとする新しいテクノロジーがもたらすチャンスを活かし、そこから生じる課題に対応しようとするのが大切です。

このようなテクノロジーの進歩が地球にどんな影響を与えるか——それは先ほどの問題の一つであり、気候変動や生物多様性の喪失といった課題の緊急性を考えると、答えを見いだすための時間は限られています。過去200年を振り返ると、一連の産業革命が人類の生活水準を飛躍的に向上させました。しかし、そのたびに地球環境を損なうことで経済成長が達成され、いわば未来を犠牲にして今日の発展が築かれました。現在の技術革命はこのパターンから脱し、持続可能な経済成長を初めて実現させなければなりません。

マイクロソフトとPwCは、地球環境の悪化に早急に対応しなければならないと考えています。また、AIのような新しいテクノロジーがその点で「ゲームチェンジャー」、つまり今までにない大きな変革要因になるとも考えています。ただし、必要とされる対

策をグローバルに講じるためには、ただ考えているだけでは駄目で、データやソリューション、新しいパートナーシップによる裏づけが必要です。

ですから私たちは共同でこの調査を実施しました。AI、データサイエンス、経済学、サステナビリティ（持続可能性）に関する専門知識を活かして、AIによるディスラプション（創造的破壊）の対象となりそうな——あるいは多くの場合、既にその対象となっている——四つの経済セクターを調べ、経済・環境面で考えられるメリットをもっと深く理解しようと思いました。その四つとは、農業、エネルギー、輸送、水です。

そこから、鍵となる結論がいくつか明らかになりました。

第一に、経済成長と炭素排出量増加を切り離す「デカップリング」の取り組みにおいて、AIは重要なツールとなる可能性が大いにあります。言い換えれば、高度なテクノロジーによって、豊かで公正な、より持続可能性の高い未来へ向かう道筋があるということです。

第二に、この結果はいくつかの要因を取りまとめることができるかどうかにかかっています。私たちが求めるソリューションは、AIが単独で実行するものではありません。ほとんどの場合、ロボティクス、モノのインターネット（IoT）、分散型エネルギー資源、電気自動車など、いくつもの補完的テクノロジーが組み合わせられます。AIはまた大量のコンピューターパワーを必要とし、それはエネルギー消費につながります。再生可能エネルギーから電気自動車まで、クリーンエネルギーへの市場変革を加速させる新たなインセンティブがなければ、AIによる効率アップが、世界の排出量削減ポテンシャルを完全に引き出すことはありません。その一方、国内総生産（GDP）や環境面の利益に関する私たち自身の予測は、現実と考えられる最低水準にとどまっているのかもしれませんが。実際にはこの先、低炭素代替物のコスト競争力の増加

や環境政策の継続的強化に後押しされて、現状のままのシナリオに比べてもっと急速で世界規模の低炭素移行が待ち受けているものと思われます。

第三に、正義という重要な問題を考える必要があります。あらゆる人が等しく恩恵を受けるようにしなければなりません。最大の利益は今、既にAI導入の最前線にいる国々にもたらされ、平等に配分されてはいません。全ての地域がしっかり恩恵を受けられるようにするための動機付けや政策変更がなければ、経済や気候に関わる不平等はさらに悪化するでしょう。雇用問題だけを見ても、高度なスキルを要する仕事が増えるという良い面がある一方で、解雇という現実があり、人々を置き去りにしないためのスキルアップやスキル再習得の差し迫った必要性も生じます。

つまり、私たちはAIというテクノロジーだけを考えるのではなく、社会や環境に対するもっと幅広い影響に対処する必要があります。この新しいテクノロジーを最大限活用しようとするなら、強力な倫理的枠組みの必要性から、法規制の進化、新しいスキルを身につけるための教育・訓練の重要性、さらには労働市場改革に至るまでの、あらゆる要素をまとめて検討しなければなりません。

最後に、私たちは責任感を共有しながら、これらの問題に協力して取り組む必要があります。AIテクノロジーは技術セクターだけが生み出すものではない、というのがその理由の一つです。未来をもっとよくするには、政府、学界、実業界、市民社会などの関係者がこぞって、この未来づくりをサポートしなければなりません。また、これは一つの国や地域だけでなく、世界規模で行う必要性が高まっています。私たち一人ひとりが参加する責任を負い、重要な役割を担っているのです。

このレポートは、どうすればAIがもっと持続可能な未来を創造できるかという探究を深めていくための第一歩にすぎません。ま

だまだ調査すべきセクター、検討すべき分野はありますから、この調査がきっかけとなって他にも同様の仕事をする人々が現れてくれたらと思います。しかし私たちには、学問的な調査・研究を推進したいという以上の願いがあります。調査・研究は目的のための手段でなければならず、ここではその目的は気候変動や自然に関する地球規模の進捗でなければなりません。地球上の70億の人々が生き、働き、成長し、繁栄するために必要な変化を起こすには、限られた時間しかありません。そのことを今、私たちは科学的によく知っています。

第四次産業革命を、社会と環境の両方にもっと良い未来を提供する初めてのものにする——そのための取り組みが、以下のページをきっかけにもっと盛んになることを願っています。

Lucas Joppa
マイクロソフト
最高環境責任者

Celine Herweijer
PwC英国パートナー
グローバルイノベーション&
サステナビリティリーダー



目次

エグゼクティブサマリー

1. 環境のためのAI——その必要性	12
2. 環境のためのAI——その実現	16
3. 環境のためのAI——その普及	36
付録：モデル化手法	42



激変の時代

来る数十年は人間にとって未曾有の変化が起きる時代になりそうだ。一方では、人類の独創性は情報・知性の時代をもたらした。AIなどの新しいテクノロジーが広まることで、産業や科学的発見、人間の関与・努力、さらには経済力もが再形成される時代である。他方、これまでの世代の並外れた進歩——この100年で莫大な経済成長や福祉の増進が実現した——により、地球は未曾有の環境負荷にもさらされていると科学者は警鐘を鳴らす。これはいわゆる「人新世」につながった。人間の活動が環境に顕著な影響を及ぼし、気候変動から生物多様性の喪失、海洋の温暖化・酸性化、森林破壊、水質・大気汚染まで、自然システムがこれまでにないスピードで変化しているのだ¹。

人工知能（AI）時代と人新世が交わろうとする現代だが、この二つの世界を統合する取り組みはまだ十分ではない。また、今は気候変動の影響を初めて受けるだけでなく、急速なデジタルトランスフォーメーションやオートメーション、人間の創造力の拡張を初めて経験しようとする時代でもあることを忘れてはならない。したがって私たちは、産業や市場、行動を変革して気候変動の動向を転換し、前向きかつ安全で責任ある「デジタルフューチャー」へ向けた基盤を整備しなければならない。これらの優先事項は個々に隔絶されたものではない。環境保全のためのデジタル監視・執行から、エネルギーや輸送の脱炭素化まで、最も差し迫った社会課題の解決策を支えるうえで、AIをはじめとする強力な新しいテクノロジーが重要な役割を果たすことができる。

AIの社会、経済、雇用への影響についてはとりわけ多くの考察がなされてきた。例えばPwC自身のレポート「[Sizing the Prize](#)」によれば、AIの世界経済への貢献は2030年には金額にして15兆7,000億米ドルに上り、何百万もの雇用が影響を受ける。変化の激しい今日の経済にあって、AIは商業的に最大のチャンスを提供する。気候変動の経済・環境への影響に関してはさらに広範な調査・研究が行われており、それが世界の平均気温の上昇を「2℃を優に下回る」水準にとどめることを目指す[国連パリ協定](#)に197カ国が署名するという政治的コミットメントを下支えした。気候変動の経済的コストについては、古くは[Stern Review](#)から、最新の米国[National Climate Assessment](#)（何もしなければ2090年に米国経済のコスト負担が年間5,000億米ドル以上になると予測）まで数多くの評価がなされ、何も行動を起こさなかった時の経済的コストが多額に上り、しかも増大し続けることが実証されている。

こうした相次ぐエビデンスにもかかわらず、同時並行的な二つの未来を評価しようとする動き、すなわちAI時代がもたらす経済的・環境的な利益を評価し、人新世という時代背景のなか、この新しい強力なツールがどのように経済・環境の形成に寄与するかをもっとよく理解しようとする動きはむしろ少ない。

AIは私たちの経済・環境に何ができるか？

これら二つのディスラプティブ（破壊的）で強力なメガトレンド——デジタル化と脱炭素化——が世界的に根づくなか、私たちはこれから2030年までの間にAIが提供できそうな経済成長や排出量削減の機会について、予備的な評価を実施した。対象としたのは、経済や環境、自然システムにとって極めて重要な一部のセクター、すなわち農業、水、エネルギー、輸送の四つである。それぞれのセクターで可能性のあるAI用途のごく一部について、現状の延長線上の成長軌道を検討している。いずれの場合も、PwC独自の雇用自動化モデル²、AI for Earthのユース・ケース・データベース³、各種の独自経済モデルをもとに、影響のスピードや潜在的規模を評価した。分析項目は、GDP⁴予測、温室効果ガス（GHG）⁵排出量、雇用への影響である。これらを世界規模および七つの地域⁶について分析した。

私たちの調査に限界⁷があることは分かっているし、リバウンド効果やセクター間の相互作用の正確な予測など、影響度を完全に把握するのが難しいことも承知している。私たちはできる限り透明性を保つようにし、国際組織や各国政府がこの種の評価に広く用いている「計算可能一般均衡（CGE）モデル」⁸を利用した。

この狭い範囲内であっても、楽観的になれる理由はある。現状のままでも、これらのセクターにおけるAIの導入は経済・環境上の大きなベネフィットを提供すると予測されるのだ。

人工知能（AI）時代と人新世が交わろうとする現代だが、この二つの世界を統合する取り組みはまだ十分ではない。





GDP +4.4%
(5兆2,000億米ドル)



**GHG排出量
-4.0%**
(-2.4ギガトン)



純雇用 +1.0%
(+3,820万)

出所:PwC分析

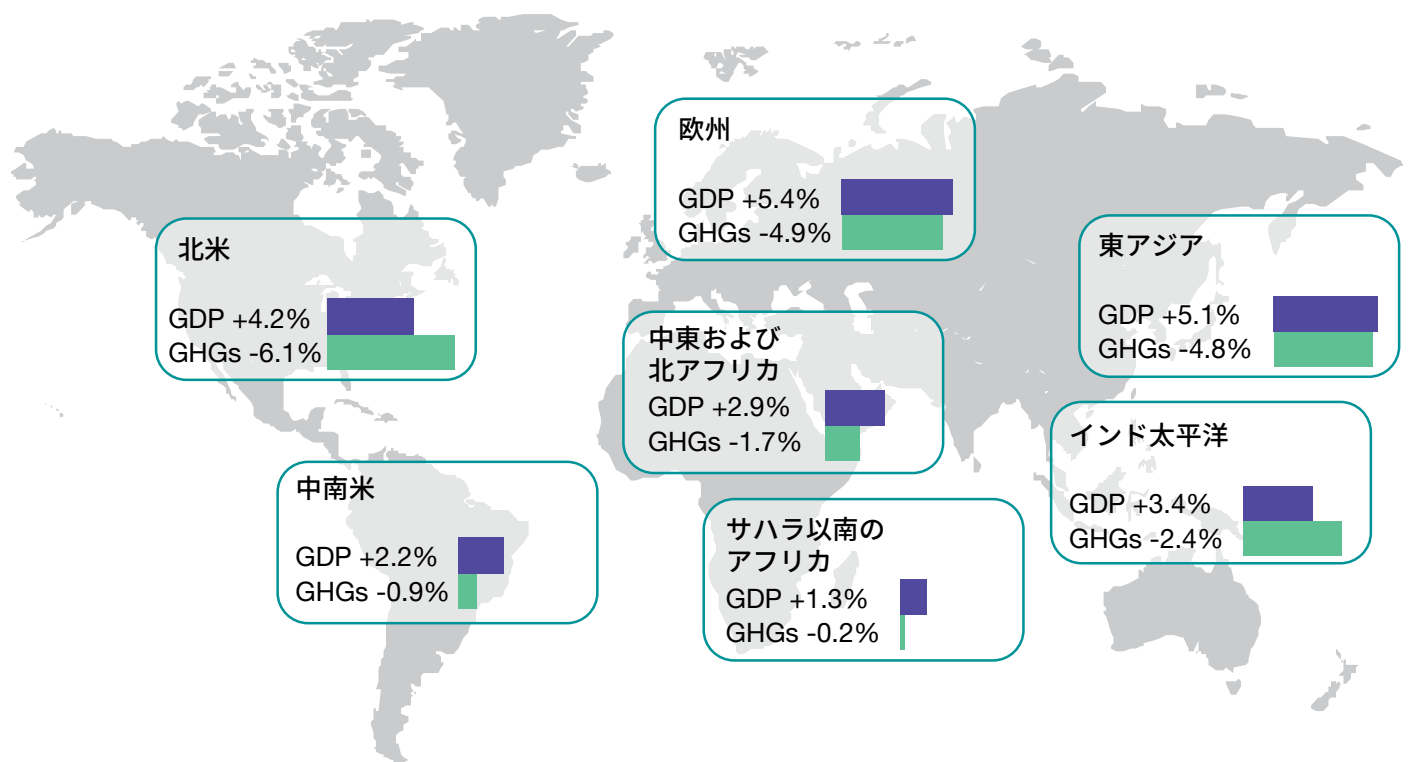
主な調査結果

- 環境問題にAIを用いると、現状のまま（BAU）に比べて2030年までに全世界のGDPを3.1～4.4%押し上げ¹⁰、全世界のGHG排出量を1.5～4.0%削減する可能性がある¹¹。4主要セクターでAIを導入した際の生産性効果は、世界経済全体を押し上げる可能性がある。インプットの最適化、アウトプット生産性の向上、手動・定型タスクの自動化による潜在的利益は3兆6,000億～5兆2,000億米ドルに上る¹²。同時に、こうしたAIの活用は低炭素社会への移行を加速させる可能性がある。全世界のGHG排出量はCO₂換算で0.9～2.4ギガトン減少し（2030年のオーストラリア、カナダ、日本を合わせた排出量に相当¹³）、炭素集約度は全体でBAU比4.4～8.0%減少する。また、全世界で1,840万～3,820万の純雇用が創出され（英国で現在雇用されている人数にほぼ相当）、その過程で高いスキルを要する仕事が増加する。
- 経済的ベネフィットの大部分は欧州、東アジア、北米が享受する可能性が高い。各国のGDP増加は1兆米ドルを超える¹⁴。現状では、中南米とサハラ以南のアフリカの獲得利益が最も少ないことになる。こうした配分の違いは主に、各地域の現在のデジタルレディネス（デジタル対応への準備状況）、テクノロジー導入レベル¹⁵、そして現在の政策動向によるものだ。もっと急速なデジタルトランスフォーメーションが実現すれば、こうした利益はさらに増加する。とはいえ、このような不均衡が予測されるとすれば、環境問題へのAIの適用による利益をどうすればもっと等しく配分できるかという懸念が出てくる。今挙げたようなあまり豊かでない地域ほど、気候変動の物理的悪影響を受けやすいのだから、なおさらだ。環境重視のAI活用は、ほぼ全ての地域でGHG排出量を大幅に減らす可能性がある。北米と東アジアでは2030年にそれぞれ1.6～6.1%、2.7～4.8%の削減が期待できる。
- 調査対象セクターの中では、エネルギーと輸送におけるAIの適用が、GHG排出量削減に最大の効果を発揮する（エネルギーで最大-2.2%、輸送で最大-1.7%）が、水と農業も環境に対してもっと幅広い重要な役割を担っている。私たちの分析によると、農業でのAIの適用は2030年にCO₂換算で最大160メガトンの排出量削減効果がある一方、資源利用を減らしながら食料供給を増やすことができる。さらに農業セクターと水セクターは、生物多様性の保全、海洋の健全性、淡水の質、生物地球化学的なフロー、森林・土地システムの変化、食料安全保障や水供給への関連する影響など、地球の自然システムの健全性を守るうえで重要な役割を果たす。
- これらの予測はAIだけでなく、もっと幅広い補完的な技術インフラの導入にも左右される。例えばエネルギーセクターの場合、AIによる分散型エネルギーグリッドは、分散型発電、分散型ストレージ、産業IoT¹⁶、電気自動車の充電、ダイナミックプライシング、スマートメーターなど、分散型グリッドインフラの関連イノベーションが導入されて初めて最大限のポテンシャルを発揮できる。同様に輸送セクターの場合、AIによる自動運転車は、スマートナビゲーションやエコドライブを通じたエネルギー効率向上を可能にするだけでなく、最終的には電気自動車化し、ライドシェアを促して、走行距離の増加によるリバウンド効果を抑えなければならない。

これらの予測はAIだけでなく、
もっと幅広い補完的な技術インフラの導入にも左右される



図ES2：環境のためのAI——主な成果¹⁷：全世界のGDPと温室効果ガス排出量（GHGs）



出所：PwC分析

- 私たちはさらに幅広く、こうしたAI活用が、水質や大気汚染、森林破壊、土地劣化、生物多様性への影響など、GHG排出量削減にとどまらない環境ベネフィットをどのように提供することも調べている。例えば、AIは衛星データや地上センサーを分析して、森林の状態をリアルタイムで大規模にモニターし、違法な森林伐採を取り締まる早期警戒システムを提供することができる。2030年までに全世界で3,200万ヘクタールの森林を救う可能性がある。大気汚染は人間の健康に対する最大の環境リスクの一つだが、AIを使ってもっと正確で局地的な警

告を早めに出すことで、この負荷を軽減できる。私たちの分析によると、このようにAIを使えば、医療費や健康への影響が減少し、2030年に全世界で1億5,000万米ドルの経済的ベネフィットがさらに提供される。

このように、AIの活用は環境に幅広い好影響を及ぼす。言い方を変えれば、リーダーや意思決定者が環境のためのAIイノベーションを後押ししなければ、莫大なチャンスが失われることになる。



さらに検討すべき分野

私たちの分析結果からは、もっと広範な数多くのテーマが浮かび上がる。これらは調査結果の背景を説明し、AI、経済、環境がどのように交わるのかという理解を深めるために留意すべきテーマである。

- **対象セクター**：この調査では四つのセクターのAI活用を幅広く検討したが、伝統的に排出削減困難とされるセクター（化学、鋼鉄・セメント、海運・航空など）をはじめとする、他のセクターを広くカバーしてはいない。ただし、そうしたセクターでも大きな利益が得られる可能性がある。また、逆にGHG排出量を増やすAI用途も考えられる（鉱業など）。
- **将来のエネルギー供給**：今回のモデルで用いたBAU基準は、再生可能エネルギーへの移行が限定的で、今後のエネルギーミックスにおいて石炭など化石燃料への依存が続くことなどを前提にしている。だが実際には、先進国でも途上国でも、もっと急速な低炭素移行が進行中のように思われる。これを後押ししているのは、低炭素代替物のコスト競争力の増加や、温暖化を「2℃を優に下回る」水準にとどめるとのパリ協定に各国が合意したことを踏まえた、環境政策やカーボンプライシングの継続的な強化である。私たちが想定するAI活用の多くが電化と結びついていることを考えると、排出量削減を最大化するには送電網の将来的なエネルギーミックスが極めて重要である。AIを使うと電気使用も増えるケースが多いからだ。

- **地域ごとの影響と見通し**：デジタルレディネスが低水準であるため、環境のためのAIから受ける恩恵が最も少ない地域（サハラ以南のアフリカや中南米）は、気候変動から受ける影響も大きくなりやすい。しかし、検討すべき重要な要素が二つある。第一に、AIなどを通じて全世界の排出量が削減されればされるほど、これらの地域の経済も影響を免れて上向きになる。第二に、これらの地域でデジタルスキルの向上やデジタルインフラに重点的に投資することで、先進国を追い越し、予測をはるかに上回る大幅な経済的・環境的利益を得るチャンスが生まれる。

- **豊かさの尺度**：環境のためのAI活用のメリットは、その多くが現在の経済的枠組みでは十分把握できない。GDPは所得の「フロー」を年単位で把握する尺度である。AIのベネフィット（生物多様性や生息地といった「ストック」の保存など）を完全に把握するためには、従来のGDP予測とともに、それ以外の「バランスシート」的な豊かさの指標を開発・使用する必要がある。

AIが私たちの経済や環境に与える機会をもっとよく理解し、ひいてはその機会を十分活かすため、今後、これらの点を一つひとつ検討していくことが重要だ。

私たちにできること——今すぐ行動を

しかし、ここで分析・特定された機会を100%実現するには、もっと幅広い分野を総合的に前へ進める必要がある。未来の明るいシナリオはおのずと実現するわけではない。機会だけでなく、トレードオフ（あちらを立てればこちらが立たないというジレンマ）もあれば、さまざまな課題も生じるだろう。公的セクターも民間セクターも——特に本格的なデジタルトランスフォーメーションの最中にあるテクノロジー企業は——社会的・環境的な影響や長期的な価値創造に配慮した責任ある技術実践を支援しなければならない。私たちはまた、新しいソリューションを現在の慣行やシステムを超えて拡張させるのに必要な政策・市場改革や、政府、規制当局など、さまざまなステークホルダーの役割を考える必要もある。

環境のためのAI、その可能性を開くためには五つの「イネーブラー（実現要因）」が鍵になる、と私たちは考える。

1. **意識を高め、価値観の整合性、協業、学際的パートナーシップを促す**（技術者、産業界、科学者、市民社会、政府などを含めて）。
2. **「責任あるAI」からスタートし、この道義的アプローチを拡張して社会的・環境的影響をも包含するようにする。**
3. **デジタルインフラのニーズ、AIツールおよびデータへのアクセス、補完技術の拡大に対応する。**
4. **スキルアップおよびスキル再習得の機会や訓練の場を提供し、セクターの変革に適応する。**
5. **調査から拡張可能な商業展開まで、研究開発を促進する。**

官・民・非営利セクターの全てのステークホルダーが、AIを最大限活用して環境上の課題に立ち向かえるよう関与しなければならない。経済的・環境的な進歩を加速させることができる「イネープリング環境」をつくるうえで、それぞれに果たすべき役割がある。具体的に、以下のステークホルダーがそうした環境を整備するために起こせる行動を大まかに述べると——

- **政府**：環境政策の拡大に加えて、データアクセス、研究開発、デジタルインフラやスキルへの投資などについて、規制・政策による重点を絞ったサポートを機動的に提供する。
- **技術開発者**：データ資産を創出、提供、改善するための行動を起こし、AIツール、データ、もっと幅広い補完技術へのアクセスを提供する。
- **企業**：AIの戦略・展開において環境への影響を考慮し、ディストラクションや変革のニーズを特定し、従業員のスキルアップやスキル再習得を受け入れる。
- **学界**：学際的な視点を促し、AIと職務領域に関する教育・研究、さらには産業パートナーシップを組み合わせる。
- **非政府組織（NGO）**：技術者とのパートナーシップを築き、デジタルスキルの向上に投資し、AIや幅広い補完技術のイノベーションがどんな分野でメリットを生み出すかを探る。

このレポートでは幅広い提言を試みているが、これまでのところ、仕事や雇用に対するAIの影響——およびスキル上の課題——がメディアや社会全般から最も注目を集めている。全てのステークホルダー集団が影響を受け、変化のスピードも速い。デジタル化、オートメーション（自動化）、オーグメンテーション（拡張）が既にさまざまなセクターや市場、グローバル・バリュー・チェーンを変革しつつある。企業や国家は、未来の市場と労働力の両方について前もって考えておくことが極めて重要だ。

このレポートが最初のきっかけとなって、喫緊の環境課題に対する「テクノロジーファースト」アプローチに着目・投資するための会話がもっと広がれば幸いである。また、他の方々がこのレポートに触発され、その分析をもとに、今回のトピックをめぐるもっと包括的な数字をはじき出してくれたらうれしい。この地球、そして社会が生き残り、繁栄するためには、どちらの取り組みも待たないである。

1 環境のためのAI その必要性



はじめに（概観）

人工知能（AI）の進歩は私たちの経済や社会に絶えざるデジタルトランスフォーメーションを引き起こしている。AI時代はまだ始まったばかりだが、既に私たちの生活の多くの部分に関わりを持つようになった。AIが広まり、その能力を高め、企業やセクターを変革するようになると、AIが私たちの経済や社会、環境にもたらす本当の機会——そして脅威——について前もって考えておくことが極めて重要となる。

環境を感知し、考え、学習し、感知した環境や目的に応じて行動を起こすことができる——そんなテクノロジーを私たちはAIと総称する。応用範囲は定型的タスクの自動化から、人間の意思決定の拡張、さらには自動化と発見——人間の能力を超えたパターンを見だし、それに基づいて行動するための莫大なデータの処理——まで幅広い。

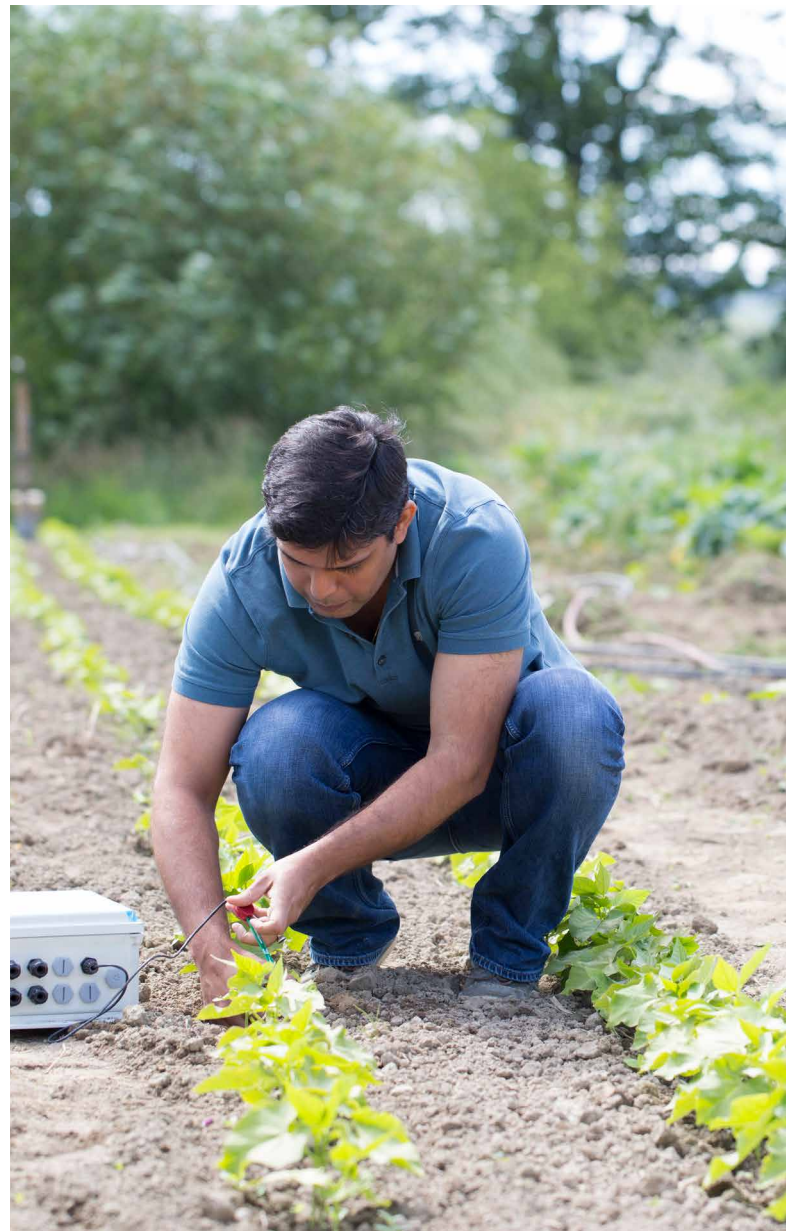
AI時代に具現化するセクターや市場、社会の大きな変化は、気候変動、急速な生物多様性の喪失、資源の枯渇、食料・水の安全保障など、喫緊の社会課題への対応に必要な変革を背景に引き起こされる（Box 1「ストレスにさらされる地球」を参照）。こうした課題に対応するには、地球の自然システムをしっかり監視し、モデル化し、もっとよく管理しなければならない。

ビジネスリーダーが投げかけている重要な問いは次のようなものだ。AIはどの程度私の組織や市場を変革し、そこにディスラプションをもたらすのか？ それはどれくらい早く定着するのか？ 企業は同時に、ビジネスモデルを変革し、低炭素の持続可能な未来へのシフトを受け入れよという（規制当局、世間一般、市場からの）圧力の高まりに直面している。例えば、ネットゼロ排出経済を2050年までに達成するという協定に197カ国が署名したが¹⁸、それにはあらゆる経済セクターで抜本的な変革が必要になる。

そこで、これら二つのディスラプティブ（破壊的）で強力なメガトレンド——デジタル化と脱炭素化——が世界的に根づくなか、私たちはこれから2030年までの間にAIが提供できそうな経済成長や排出量削減の機会について、予備的な評価を実施した。対象としたのは、経済や環境、自然システムにとって極めて重要な

一部のセクター、すなわち農業、水、エネルギー、輸送の四つである。それぞれのセクターで可能性のあるAI用途のごく一部について、現状の延長線上の成長軌道を検討している。いずれの場合も、PwC独自の雇用自動化モデル¹⁹、AI for Earthのユース・ケース・データベース²⁰、各種の独自経済モデルをもとに、影響のスピードや潜在的規模を評価した。分析項目は、GDP予測、GHG排出量、雇用への影響である。これらを世界規模および七つの地域²¹について分析した。

私たちの調査に限界²²があることは分かっているし、リバウンド効果やセクター間の相互作用の正確な予測など、影響度を完全に把握するのが難しいことも承知している。私たちはできる限り透明性を保つようし、国際組織や各国政府がこの種の評価に広く用いている「計算可能一般均衡モデル」²³を利用した。



経済的・環境的価値の実現

図1：環境のためのAI——主な成果

農業、エネルギー、輸送、水の4セクターにおける環境へのAIの適用により、2030年には以下の成果が実現する可能性がある。



GDP +4.4%
(5兆2,000億米ドル)



**GHG排出量
-4.0%**
(-2.4ギガトン)



純雇用 +1.0%
(+3,820万)

出所：PwC分析

予測される基準値との比較

この狭い範囲内であっても、楽観的になれる理由はある。現状のままでも、これらのセクターにおけるAIの導入は経済・環境上の大きなベネフィットを提供すると予測されるのだ。環境のためのAI——ここでは4セクター（農業、水、エネルギー、輸送）の18の用途²⁴——は、2030年に全世界で最大5兆2,000億米ドル、BAU比で4.4%の経済効果を生み出す可能性がある。こうしたAI活用をグローバルに展開すると、2030年に全世界でGHG排出量を最大4.0%削減できる。CO₂換算で2.4ギガトン、2030年のオーストラリア、カナダ、日本を合わせた排出量に相当する量だ²⁵。同時に、これは全世界で3,820万の新しい純雇用を生み出す可能性がある（詳しい結果は次セクションを参照）²⁶。簡単に言えば、AIは未来のシステムを経済にとっても自然にとってもより生産性の高いものにすることができる。AIの利用は経済成長とGHG排出を切り離す「デカップリング」の助けになる、という考え方がこれによって裏づけられる。

さらに、私たちの分析によれば、AIの環境への適用で回避される気候上の影響により、全世界のGDPが2030年には0.01%、2100年には0.2%増加する（Box 4「気候ベースライン」を参照）。ただし、気候影響モデルで考慮に入れようとしたのは、海面上昇、農業生産性の変化、温度上昇による健康への影響だけなので、この予測はあくまでも下限値である。

「極端な現象」の程度・頻度の増加による経済的損失、侵入生物種の広がり、地域間の大きな人口移動のコストなど、その他の主な影響チャネルは盛り込まれていない。

全世界の成果だけでなく、最大の利益を得るであろう地域や、四つの重点セクターのそれぞれにおいて経済的・環境的ポテンシャルが最も高いAI用途についても説明する。また、雇用への影響についても見る。数字だけでなく、将来的な経済セクターが必要とする職種の他、教育、スキルアップ、スキル再習得への影響も検討する。しかし、環境のためのAIで何よりも中心になるのは、人間が創り出す最も強力なツールの一つであるAIを利用して、環境の悪化に立ち向かい、低炭素移行に貢献し、地球の保護に一役買うことである。

AI時代および持続可能経済の到来を受け入れる企業や国は、来るべき変化や機会から最大の恩恵を受けるはずだ。マクロ経済や開発の観点からは、新興市場にこそAIによるイノベーションを利用して先進国を追い越すチャンスがある。そのためにAI対応システムやデジタルインフラにまず投資し、生産性や持続可能性を大きく高めるのだ。

変化を起こす

AIは環境にとって多大なポテンシャルを持つが、その利用や適用は既存の脅威を悪化させたり、新たなリスクを生み出したりする可能性もある。例えば、さまざまなAIリスク——パフォーマンスに関するもの（バイアス、エラーなど）、セキュリティに関するもの（サイバー、プライバシーなど）、コントロールに関するもの（「ならず者」AIなど）——はどれも環境にとっての潜在的リスクである。また、環境に対するAIのポテンシャルを最大限引き出すには、各セクターに関して克服すべき幅広い大きな障害がある。そうした障害について検討するとともに、「イネープリング環境」の構成要素も概説する。

未来の明るいシナリオはおのずと実現するわけではない。機会だけでなく、トレードオフもあれば、さまざまな課題も生じるだろう。例えば、自動化による効率を重視したAIは、注意深く管理・誘導しなければ、自然資源の「乱用」につながりかねない（精密農業、精密酪農、精密鉱業など）。AI、中でもディープラーニングや量子ディープラーニングは、エネルギー需要の増加にもつ

ながる可能性がある。それが再生可能エネルギー（風力、太陽光、水力など）でなければ、またアプリケーション展開と連動して発電を開発しなければ、持続可能性目標の足を引っ張ることになりかねない。

新しいソリューションを現在の慣行やシステムを超えて拡張させるのに必要な政策・市場改革を明確にしなければならない。これはまた、社会や環境への二次的な影響や予期せぬ影響を管理することでもある。技術者、産業界、各国政府は公平性、説明責任、透明性、倫理（FATE）に関する強固な原則を採用しなければならない。それらの原則では環境への影響にも配慮する必要がある。法規制はテクノロジーと足並みをそろえて絶えず進化しなければならない。新しいスキルのトレーニングは必須となるだろう。各セクターの急速な変化に伴って、労働市場改革も不可欠になるだろう。この新しいテクノロジーの経済や環境、社会にとってのポテンシャルを最大限活かそうとするなら、その全てを漏れなく実現しなければならない。

Box1：ストレスにさらされる地球

この数十年で科学的監視、データ収集、モデリングの手法が進歩したため、科学者は人類の発展が地球に及ぼす影響を今までよりの確に評価・予測できるようになった。そこからは憂慮すべき問題が判明した。人間がこれまで資源を消費し続けてきた結果、地球システムが未曾有の環境ストレスにさらされているとの科学的エビデンスが相次いでいるのだ。

- **気候変動**：今日のGHGレベルはこの300万年で最も高いと思われる。パリ協定が守られたとしても、2100年の世界の平均気温は産業革命以前の水準を3°Cも上回る²⁷。これは気候変動の最悪の影響を避けるのに必要な1.5°Cという基準を優に超えている²⁸。
- **生物多様性**：地球の生物多様性は「大量絶滅」のペースで急速に失われている。1970年以降、種の個体群はおよそ60%減少した。
- **森林破壊**：アマゾン盆地の森林破壊が今のペースで続けば、地域の降雨量が2050年には8%減少して「サバンナ状態」への移行が始まり、地球の大気循環システムへの影響が広がる恐れがある。
- **海洋**：海洋の化学的性質はおそらくこの3億年の中で最も速く変化している。その結果、海の酸性化や温度上昇が進み、珊瑚や漁業資源にかつてない影響を及ぼしている。
- **窒素循環**：地球の窒素循環は今、おそらくこの25億年で最大かつ最も急速な影響を受けている。肥料による窒素・リン汚染の広がりが海洋にも及んでいるのだ。これは漁業資源に影響を与え、世界の海の10%でいわゆる「デッドゾーン（酸欠海域）」を生み出している。

- **水**：世界の水循環も過取水や無制限の汚染による重大な影響を受けている。関連の分析によると、2030年には世界経済を支えるのに必要な淡水が40%不足する可能性がある。
- **大気**：世界の人口の約91%が、世界保健機関（WHO）の大気質ガイドラインに適合しない場所に暮らしている。

いずれも人間の活動が原因で、地球のシステムに広範かつ重大で差し迫った影響が及んでいる。従来の政策や市場の対応はこれまでのところ、必要とされるシステムやセクター変革の規模や緊急性を促すには不十分だった。

対策に欠かせないテクノロジー

対策を講じるにはテクノロジーやイノベーションの役割が不可欠だと考えられるようになってきている。脱炭素化のスピードを上げ（例えばEnergy Transitions Commissionの活動を参照）、環境の悪化を防ぐには、各セクターやシステムの抜本的な変革が求められる。同時に、ソリューションを広げ深めるための強力なイノベーションや協業も必要だ。

今日の技術革新は、これまでにないイノベーションやシステム変革の時代を到来させる。AIに代表される新興テクノロジーは、正しく利用すれば、世界の喫緊の環境課題への取り組みに大きな変革をもたらす可能性がある。例えば、AIを利用したクリーンな分散型エネルギーグリッド、都市交通のスマート化、精密農業、持続可能なサプライチェーン、環境監視・執行、気候・災害予測対応の強化などが考えられる。環境のためのAIは、AI活用上の最大の課題といえるだろう。「安全な地球」がなければ、私たちの未来は立ち行かないからだ。

2 環境のためのAI ——その実現





AIは世界経済の幅広いセクターで、環境マネジメント向上のために活用できる。このセクションでは、農業、エネルギー、輸送、水の**4セクター**で、環境へのAIの適用によって**2030年までに経済、排出量、雇用にどんな影響が及ぶ**可能性があるか、そのシミュレーションを提示する。

これらのセクターでAIを環境問題に適用すると、地球が直面する環境課題の緩和に貢献する可能性が高い。四つのセクターを合わせるとGHG排出量の約5分の3を占めるが、それ以外にもこの4セクターは私たちの環境や地球システムにとって非常に重要である。例えば――

- 全世界の人口増と経済成長により、量の面でも資源集約度の面でも、食料需要は高まり続けている。AIは環境条件や農作物収穫量の監視・管理能力を高めることで**農業生産**を変革できる。
- AIはインテリジェント・グリッド・システムを通じて**エネルギー**セクターの効率改善を促す可能性がある。このシステムは優れた予測能力を使って需要と供給を管理し、再生可能エネルギーの最適なソリューションを導き出す。このようにAIは脱炭素化を支援するだけでなく、信頼できるクリーンなエネルギーを手頃な価格で行き渡らせることで、国連の持続可能な開発目標にも寄与することができる。

- **輸送**セクターにAIを用いることで、グローバル化、都市化する世界で人や貨物のもっと安全、効率的、持続可能な移動が可能になる。例えば、より正確な交通予測、リアルタイムの旅路計画、自動運転技術を可能にするうえで、AIは大きな役割を果たす。

- **水資源**の予測、管理、監視にAIを用いれば、無駄を削減または除去し、コストを下げ、環境への影響を減らすことで、世界的な水危機を緩和できる。

これら4セクターに焦点を当てることで、環境へのAIの適用が持ち得る影響をかなり把握できる。しかし私たちが目指すのは、四つの主要セクターで環境問題にAIを適用した時の経済的・環境的ポテンシャルを測定・実証することだけではない。排出削減が困難な産業（鋼鉄やセメント製造などの重工業）を含め、他のセクターでもAIは担うべき役割があり、環境や経済、雇用に影響を及ぼすはずだ。

環境のためのAIをもっと幅広い経済セクターで適用した場合に上乗せされる利益については、「もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野」のセクションで詳しく論じる。

Box 2：分析手法の概要：環境のためのAIの影響をどのように測定したか

私たちの分析は、AIの経済的影響に関する「Sizing the Prize」調査の一環としてPwCが確立した手法に基づいている。まず、環境へのAIの適用例を150以上集めた私たちのデータベースをもとに、農業、エネルギー、輸送、水の4セクターで2030年までに影響力が最も強いと専門家が考えるAI用途を特定し、影響の程度や導入スピードに応じてそれぞれに評点を付けた。

PwCのグローバルCGEモデルを使って、これらAI用途の経済、環境、雇用への直接的・間接的影響を評価した。CGEモデルは、政策・投資介入の経済的影響を予測する際に政府や国際組織が好んで用いるマクロ経済モデリングツールである。同モデルはさ

まざまな地域やセクターにおける間接的な波及効果を把握する。例えば、農業で化石燃料をもっと効率的に利用できれば、農業生産高が拡大する一方、化石燃料の需要は減少するといった具合だ。消費者所得の変化に伴う需要効果も把握できる。

また、気温上昇とGDPのつながりに関する最近の科学モデルも取り入れ、AIの気候ベネフィットが損害の回避を通じて定量化可能な経済的ベネフィットにもつながることを示した。

詳しい手法は「付録」で紹介している。

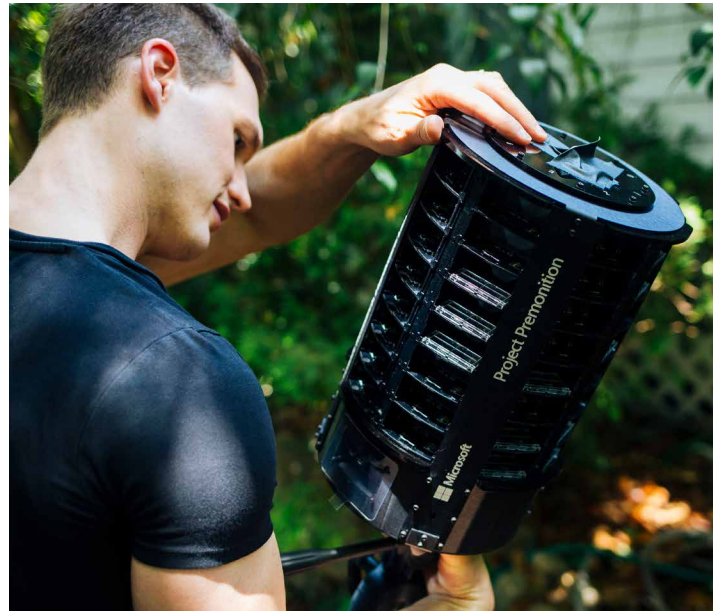
このレポートでは2種類の予測を示す。そのそれぞれが、AIの環境への適用が世界経済の中でどのように具体化するかというシナリオをもとにしている。

- 「漸進」シナリオでは、環境AIの導入・適用が少しずつ進んでいくことを想定している。それぞれの適用例は、PwCのかつての「Sizing the Prize」レポートと同じく、評価範囲の中ほどの影響力を持つものとする。
- 「拡大」シナリオでは、4セクターでのAI活用が大きく変化すると想定し、「漸進」シナリオに比べて該当セクターの効率がアップすると考える。モデル化という点では、それぞれの適用例は評価範囲の上限付近の影響力を持つものとする。

別段の断りがない限り、結果は全て上記二つのシナリオの間の影響範囲として示す。

以下、このセクションでは次のような結果を中心に説明する。

- 環境問題へのAIの適用によるGDP貢献およびGHG排出量削減ポテンシャル
- 地域ごとの影響
- セクターごとの結果
- 雇用への影響の詳細分析
- もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野



GDP貢献および GHG排出量削減ポテンシャル

環境のためのAIは、2030年までに基準値との比較で全世界のGDPを最大4.4%増加させ、GHG排出量を最大4.0%削減する可能性がある。

図2：環境AIが全世界のGDPとGHG排出量に及ぼす影響——「拡大」シナリオの場合

農業、エネルギー、輸送、水の4セクターにおける環境へのAIの適用により、2030年には以下の成果が実現する可能性がある。



GDP +4.4%
(5兆2,000億米ドル)



GHG排出量 -4.0%
(-2.4ギガトン)

出所：PwC分析

予測される基準値との比較

Box 3：結果解釈上の指針

私たちは4セクターにおけるAIの環境への適用の影響を、単独ではなく経済全体の需給の変化を考慮に入れた、動学的グローバル一般均衡モデルでシミュレーションした。分析に際しては、地域やセクターへの直接的ではない波及効果を把握しようとした。例えば、エネルギーセクターの効率が上がり、電気のコストが下がれば、輸送セクターの燃料需要が高まり、環境へのプラスの影響が一部相殺されるかもしれない。

私たちの基準値（ベースライン）として、世界経済はPwCのレポート「2050年の世界（World in 2050）」の分析どおりに成長するものとし、他方、環境上の基準値はIPCC（気候変動に関する政府間パネル）のグローバルGHG濃度に関する中庸シナリオを参照している。つまりGHGレベルは、Climate Action Trackerによる「現行政策」シナリオに従うとの想定である。これらが「基準」となる経済成長およびGHG集約度削減に関する私たちの前提となっている。

こうした背景を踏まえてシミュレーションを行い、農業、水、輸送、エネルギーの4セクターにおける環境問題へのAIの適用が現在から2030年までの間に経済パフォーマンスや世界の排出量に与える影響を予測した。私たちのシミュレーションはこのレポートで評価対象となるAIの適用例だけを分離しようとするものであり、4セクターをはじめとする各セクターの経済パフォーマンスやGHG集約度が先の前提に沿って増加しているとの基準と比べた時の、前記4セクターでのAI活用の影響を示していると解釈してほしい。したがっ

て、今回の結果はこれらのAIの適用の影響だけを示しており、将来の経済成長数値にそのまま反映されるとは限らない。潜在的な効果を増幅させたり打ち消したりするプラスまたはマイナス要因が数多くあるからだ（全世界の貿易政策の変化、金融ブームまたは金融不況、商品価格の大変動、地政学的ショックなど）。他のセクターで可能性があるAI活用の影響についても検討はしなかった。

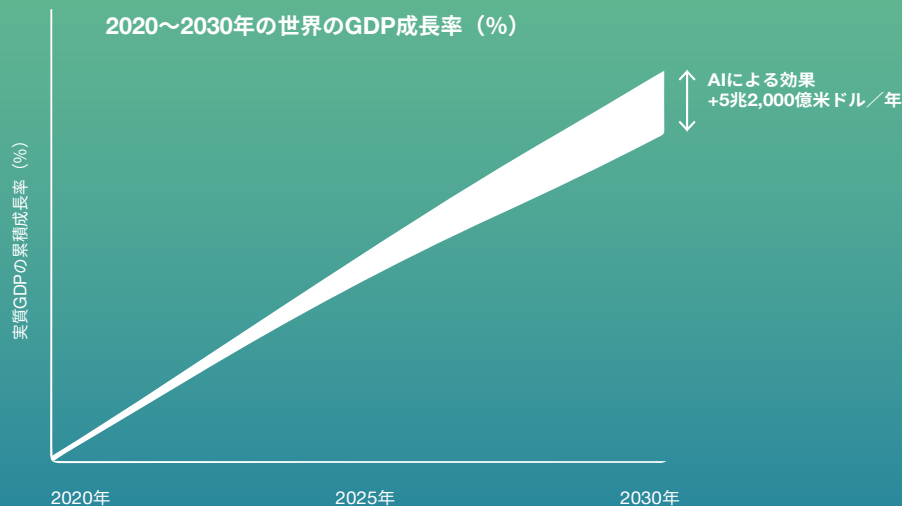
このレポートの範囲外でのAIの適用により、経済全体の利益がさらに高まるとも考えられるが、全世界のGHG排出量に対するその影響は評価しなかった。

また、このレポートで検討した環境へのAIの適用は、その一部または全部が既に基準となる経済成長や炭素集約度の変化に含まれている可能性がある。ただ、評価対象となったAI用途が基準経済成長率の達成にどの程度寄与しているのかを分離測定するのは非常に難しい（既存テクノロジーの貢献度は時間とともに薄まってしまふ）し、それが基準成長率をどの程度上乗せしているのかを分けて把握するのも難しい（過去の主な技術進歩が計算に入れられるため）。つまり私たちの調査結果は、未来の経済成長を直接予測したものではなく、このレポートで評価した環境へのAIの適用の潜在的影響であると解釈しなければならない。ただし、潜在的影響に関するこれら2種類の解釈の間で、絶対値に関しても比率に関しても重大な差があるとは考えていない。

GDPへの影響

私たちの調査結果によると、農業、エネルギー、輸送および水セクター（以下「4セクター」）での環境へのAIの適用により、2030年にはGDPが基準値比で3兆6,000億～5兆2,000億米ドル（3.1～4.4%）増加する可能性がある。これは、全ての経済セクターでAIを用いた結果、2030年に世界のGDPが最大14%（15兆7,000億米ドル）増加するという、私たちの過去の調査とも符合する。

図3：環境へのAIの適用が2030年までにGDPに与える影響（基準値比）——「拡大」シナリオの場合



出所：PwC分析

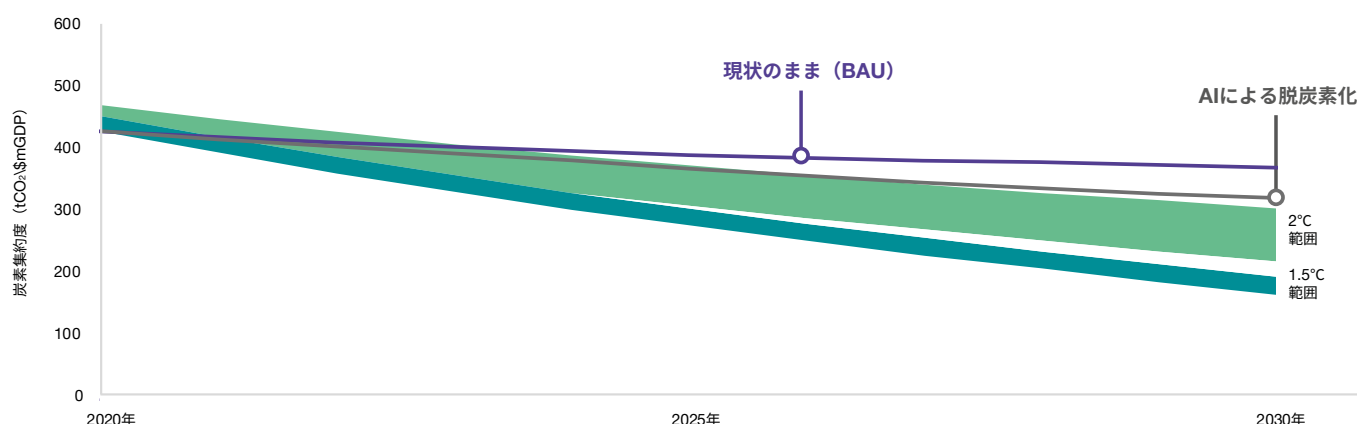
環境へのAIの適用によるこの経済効果は、主に三つのチャネルを通して実現する。

- **インプットの最適化**：新しいAIツールは生産工程の監視・管理の精度アップを可能にするため、アウトプットを高め、コスト削減の機会を生み出す。例えば農業での精密モニタリングは、肥料や灌漑用水などのインプットの節減を可能にする。
- **アウトプット生産性の向上**：革新的テクノロジーはもっと効率の高い新しいプロセスを可能にし、一定のインプットに対するアウトプットを増やすことができる。例えば、地域グリッド上の多数のエネルギー源への分散をAIで管理するスマートグリッドは、オペレーション効率を最大化できる。
- **手動・定型タスクの自動化**：セクター内で自動化を進めることで、エラーを減らし、労働効率を高め、人件費を下げながらアウトプットを増やすことができる。例えば自動配送や農業ロボットを使えば、労働生産性を高め、付加価値の高い作業に労働者を専念させることができる。

このような生産性への直接の影響は、セクターや国同士の相互関係を通じて、他の場所でも二次的な間接効果をもたらす。ビジネスの成長は新たな雇用を生み出し、魅力的で値段の安い商品・サービスは消費者需要や取引を喚起し、知識のスピルオーバーは経済全体の生産性や効率に波及効果を及ぼす。その結果、（利益や賃金の増加によって）家計所得が増え、（需要の高まりによって）全世界のアウトプットが増加する。

こうしたGDP増加分がセクターや地域でどのように配分されるかについては、以降のセクションで検討する。

炭素集約度（2020～2030年）



GHG排出緩和ポテンシャル

私たちの調査結果によると、4セクターでのAIの適用は、2030年に全世界のGHG排出量を予測される基準値に比べて1.5～4.0%減少させる可能性がある²⁹。これにより、GHG排出量の予測基準値と、2100年までに2°Cという国連の目標を達成するのに必要な推移の間のギャップを7.9～15.7%埋めることができる。

生産性やGDPの増加というメリットだけではない。AIツールの本物の力は、低炭素への移行を加速させることで、地球が受ける重圧の増加に立ち向かえるかもしれないという点にある。AIの環境への適用は以下のチャンネルを通じてGHG排出量を削減できる。

- **GHG集約度の削減³⁰**：特定の化石燃料の利用または生産工程全体のGHG集約度を減らす。例えば、非炭素GHGの排出量を減らすクリーンエンジンにより、自動車のGHG集約度を減らすことができる。
- **エネルギー利用の効率アップ**：家庭や産業セクターのエネルギー利用効率を高める。例えば、化石燃料効率の高い発電所は少ない化石燃料で同じ量の電気をつくり、化石燃料の需要全体を低下させる。
- **セクターでのエネルギーミックスの変更**：特に現在のところ化石燃料集約度が高い輸送セクターやエネルギーセクターで、エネルギーミックスを変更する。AIツールは再生可能エネルギーの対費用効果を高め、一定レベルのアウトプットを生むための化石燃料からクリーンエネルギーへの移行を促進する。

しかし、以下のチャンネルを通じてGHG排出量を間接的に増やすAI使用例もある。

- **リバウンド効果**：インプットの利用効率が高まる産業は、コストベースが下がるため、生産を拡大しやすい。私たちはAIによって経済全体のアウトプットが増えると予測する。具体的には、調査対象の4セクターで、2030年のアウトプットは「漸進」シナリオで2.6～4.7%、「拡大」シナリオで3.2～7.4%増加する。

その結果、GHG排出量の減少比率はGHG集約度の減少比率より低くなる可能性が高い。

- **所得効果**：生産性が高まると、企業や家庭は利益や所得が増え、少なくともその一部をさらなる投資や消費に回す。商品・サービスの需要が高まり、経済活動が増加するため、結果的にGHG排出量も増加する。

しかし最終的には、こうしたAI活用によって低炭素移行が加速され、2030年に全世界のGHG排出量が**CO₂換算で0.9～2.4ギガトン (Gt CO₂e)** 減少する可能性がある。これは予測される排出量基準値の1.5～4.0%に相当する。つまり、基準値に比べて炭素集約度が全体で4.4～8.0%減少する可能性がある。

このようなGHG排出量減少予測は、現状の排出量変動カーブを押し下げ、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の目標に近づく助けになる。パリ協定では192の国が全世界の今世紀の気温上昇を2°C未満、できれば1.5°Cに抑えることに合意した。しかしそれでも、基準値となるGHG排出量の絶対値は現在から2030年にかけて増加すると予測されている。2°C以内に抑えようという意欲的な目標が消え去ってしまう恐れもある³¹。気候変動の緩和、気候変動への適応をサポートするには、AIなど新しい大胆なアプローチが必要だ。

私たちの分析によると、今回調査したようなAIの活用例は全世界の気温低下に貢献し、「1.5～2°C目標」に関するギャップを何らかの形で埋める可能性がある。そうしたテクノロジーによるCO₂排出量ストックの減少を考えると、全世界の気温は2030年までに0.005～0.01°C下がる可能性がある。これは約0.5%の減少に相当する。さらに今世紀の終わりまで見通すと、全世界の気温は0.08～0.12°C、率にして2.5～4.1%下がることも考えられる。

さらに、4セクターでのAIの適用は今世紀末までに「2℃目標」に7.9～15.7%、「1.5℃目標」に6.8～13.4%貢献する可能性がある。図4は、「1.5℃目標」と「2℃目標」に対するGHG排出

量の変動推移と、これら必要な変動推移へのAI環境への適用の貢献度（「拡大」シナリオの場合）をBAU比で示したものである。

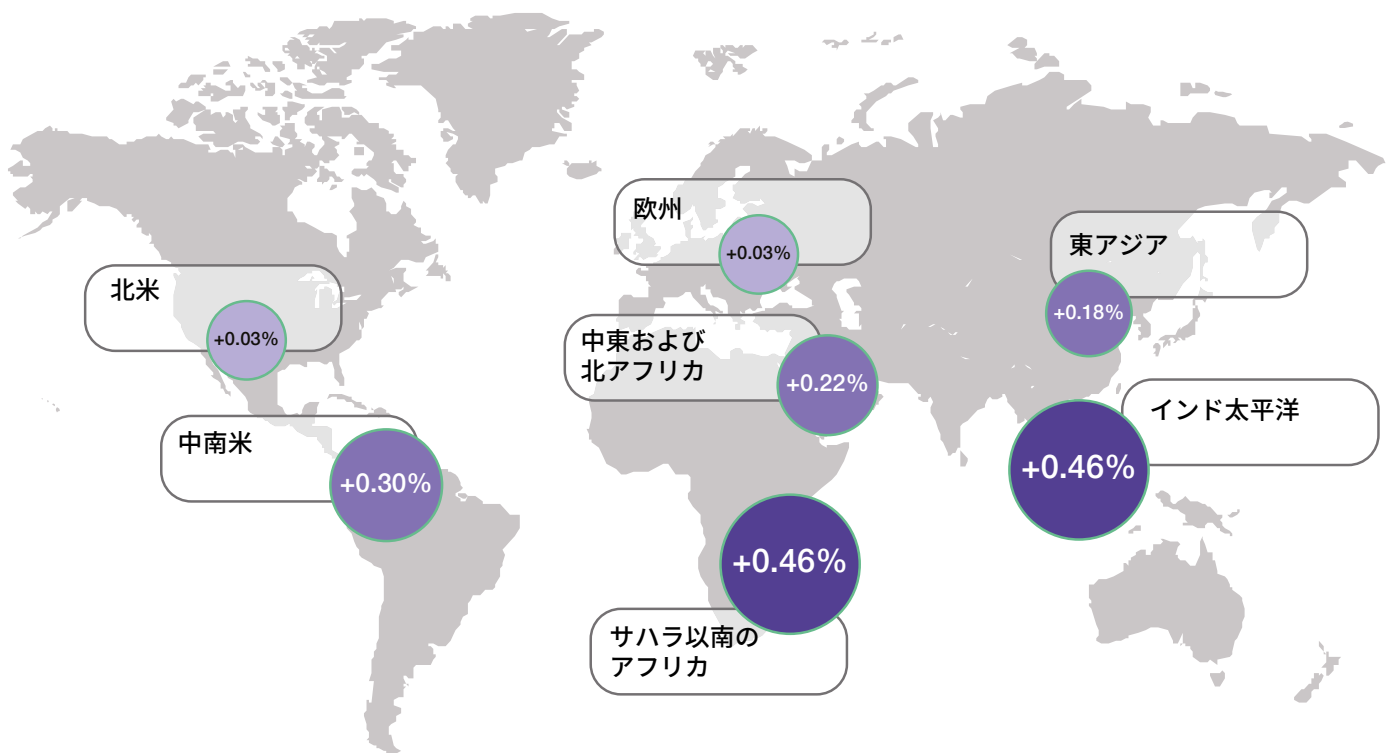
Box 4：気候ベースライン：「回避された気候影響」のコストの算入

回避されたGHG排出量、地球温暖化の低減、回避された（異常気象による）経済的損失の間の実際のフィードバックループは重要だが、私たちの経済分析ではこれを完全には考慮に入っていない。簡単に言うと、モデル化対象のAIの適用による全世界のGHG排出量削減は、地球平均温暖化の低減につながり、これは温暖化による物理的な気候影響の増加に起因する経済的損失の回避につながる。

私たちは評価の高い気候影響モデル（Kompas et al. 2018 から統合された評価モデル）³²を使ってこのフィードバックを推測した。すると、環境問題へのAIの適用によって気候影響が回避

されることで、2030年までに全世界のGDPが最大150億米ドル（0.01%）増加することが分かった。2100年には、これはさらに最大0.16%へと上昇する。別の言い方をすると、AIの環境への適用が実行・拡大されなければ、世界のGDPは2100年までに最大0.16%低くなる。地域的には、削減対策なしの気候損害を回避することによる追加ベネフィットは、サハラ以南のアフリカやインド太平洋などの熱帯地域の方が大きい。これは危険度の増加とレジリエンスの減少によるものだ。この「回避された気候影響」のベネフィットについては、以下に地域ごとの予測を示す。

図5：回避された気候影響による2100年の各地域のGDP増加率（基準値比）——「拡大」シナリオの場合



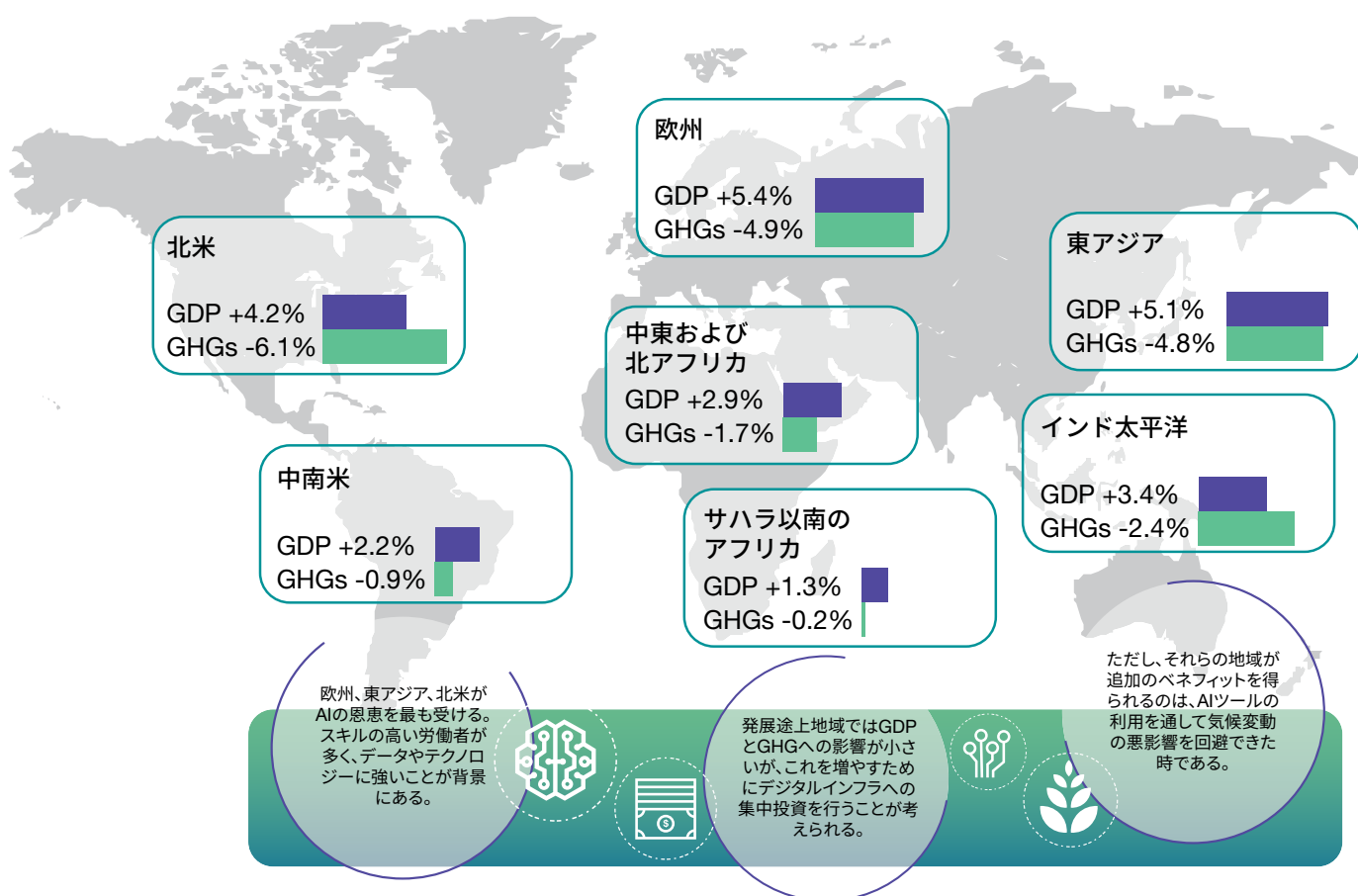
出所：PwC分析

気候影響モデルで考慮に入れようとしたのは、海面上昇、農業生産性の変化、気温上昇などによる健康への影響だけなので、この予測はあくまでも下限値である。「極端な現象」（洪水、暴風など）の程度・頻度の増加による経済的損失、侵入生物種の広がり、地域間の大きな人口移動のコストなど、その他の主な影響チャネルは盛り込まれていない。

地域ごとの影響

経済的ベネフィットは欧州、東アジア、北米で実現しやすい。「漸進」「拡大」のどちらのシナリオでも、それぞれの地域は2030年までにGDPが約1兆米ドル増加する可能性がある。環境重視のAI活用は、ほぼ全ての地域でGHGを大きく緩和する可能性もある。「拡大」シナリオの場合、欧州、東アジア、北米は2030年にGHG排出量を5%以上削減できる。

図6：2030年までに各地域のGDPとGHGにもたらされる影響（基準値比）——「拡大」シナリオの場合



出所：PwC分析

経済的影響

私たちは環境のためのAIがGDPとGHGに与える影響を、北米、中南米、欧州、中東・北アフリカ、サハラ以南のアフリカ、東アジア、インド太平洋の7地域について分析した³⁴。どの地域もGDPが増加すると予測されるが、増加率が最大なのは、AIの導入・活用が最も進みそうで、イノベーションのポテンシャルも高い先進地域、すなわち欧州、東アジア、北米である。GDP増加率はそれぞれ最大5.4%、5.1%、4.2%になる。

これらの地域はAIの恩恵を最も受けやすい。AIテクノロジーを使いこなせる人材が豊富で、テクノロジーなどの補完的セクターにも強みがあるからだ。莫大な量のデータ生成が可能で、AIもそのポテンシャルを最大限発揮できる。これらの地域にはまた、プライバシー、差別、安全といった関連課題を扱うのに必要な法規制および倫理上の枠組みを策定できる機関が整備されている。

中国などの国も、たゆまぬ資本投資のおかげでAIの恩恵を受けやすい。近年、中国で申請されるAI特許の数が急増していることから³⁵、中国企業がAIを受け入れ、能力開発に利益を投じていることが分かる。

発展途上地域は現在のところ、短中期的に得る利益は比較的小さいと思われる。インド太平洋と中東・北アフリカのGDP増は3~3.5%（2,000億~3,000億米ドル）、中南米とサハラ以南のアフリカは1~2%と見込まれる。

今後、これらの地域の労働者やインフラが先進技術をもっと導入できるようになれば、予測される利益をもっと増やすチャンスができる。この時に必要なのは、政府のサポートや重点投資により、各国が予測レベルを上回れるようにすることだ。例えば、教育・訓練への投資により労働者のAI業務拡大を支援し、AI投資のメリットを企業が理解できるようにすることが鍵になる。



この点ではAIに高い意欲を見せる中国が牽引役となる。同国政府は教育・訓練の他、成長やAI投資を支える法規制の整備を通じて、1兆元（約1,500億米ドル）規模のAI産業を築く計画だ。東アジアや米国など、この分野をリードする国・地域が投資を継続してAI能力を高めるなか、国際的な知識のスピルオーバーを促し、新しいテクノロジーの活用で途上国を支援することが必要不可欠である。

しかし熱帯地域の途上国は（Box 4「気候ベースライン」で述べたように）GHG排出量の削減や気候変動による悪影響の緩和により、さらなる経済的利益を得ることができる。環境へのAIの適用はこれに貢献することが期待される。全世界の気温上昇は、赤道近くの貧困国にとりわけ影響を与えらると思われる。気温変動の増加、自然災害の可能性の高まりなどが原因だ。2030年には、農業生産性の低下、健康への影響、海面上昇を通じた気候変動の影響が、熱帯地域（インド太平洋、サハラ以南のアフリカ、中南米）にとってGDPの1%に相当するコスト負担となる³⁶。AIなどによって全世界の排出量が削減されればされるほど、気候変動のマイナスの影響が回避され、これらの地域の経済は上向きになることが予想される。

排出量への影響

気候への影響に関しては、環境へのAIの適用により、「拡大」シナリオの場合、2030年にGHG排出量が基準値比でCO₂換算2.4ギガトン減少すると予測される。これは主に北米、欧州、東アジアで5%前後の削減が見込まれることによる成果だ（「拡大」シナリオの場合）。基準値比のGHG排出量削減率予測は地域によって異なり、中東・北アフリカ、中南米では削減率が0.5~1.5%と比較的低い（同じく「拡大」シナリオの場合）。

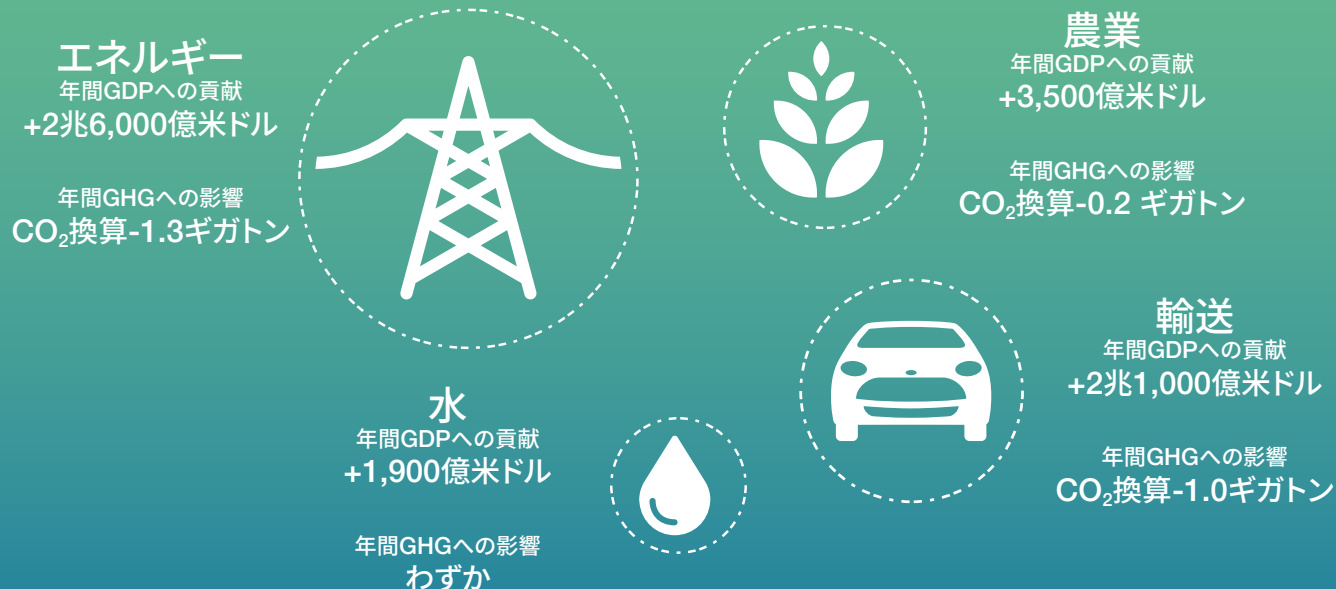
GHGへの影響がこのように違うのは、地域によるセクター構成や重点産業の違いが主な原因だ。例えば次のようなことが分かった。

- 欧州と北米では、エネルギーおよび輸送セクターにおいて化石燃料の利用効率を高めるAI活用例が、GHG排出量の実質的減少を主にもたらしている。ちなみに米国のエネルギーの約80%が化石燃料を使って生み出される³⁷。
- 東アジアでは、GHG排出量削減の大部分はエネルギーセクターでのAIの適用によって達成される。それだけで3.0~4.0%の削減可能性がある。このテクノロジーは発電、配電、電気使用の炭素集約度を低減させる効果がある。東アジアでは製造業やその関連産業が盛んであるため——例えば「工業」³⁸のGDP貢献率は中国で40%、日本で30%³⁹——、エネルギーセクターでの改善効果は排出量削減に大きな影響を及ぼしやすい。
- 中南米とサハラ以南のアフリカでは、絶対値に関しても比率に関しても、GHG削減規模が比較的小さい。考えられる理由は二つある。第一に、この地域は工業化がさほど進んでおらず、輸送とエネルギーセクターにおける化石燃料効率の影響が小さい。第二に、AIの導入スピードも遅いと思われるため、他の地域での効率アップがこの地域発の製品に対する需要効果を生む。
- しかし先述のように、中南米とサハラ以南のアフリカの環境的利益はこうした控えめな排出量削減にとどまるものではない。この地域は気候変動の物理的影響を最も受けやすいので、AIの環境への適用によるメリットはもっと大きくなるはずだ。

セクターごとの結果

4セクターでのAIの環境への適用は、大きな経済的・環境的ベネフィットを生む可能性がある。エネルギーと輸送セクターのGDP貢献度が最も高いと予測され、「拡大」シナリオの場合、全世界のGDPを2030年までに基準値比でそれぞれ2.2%、1.8%増加させる。加えて、エネルギーセクターでのAI活用は全世界のGHG排出量を最も減らす効果があり、「拡大」シナリオの場合、2030年の削減率は2.2%に上ると考えられる。

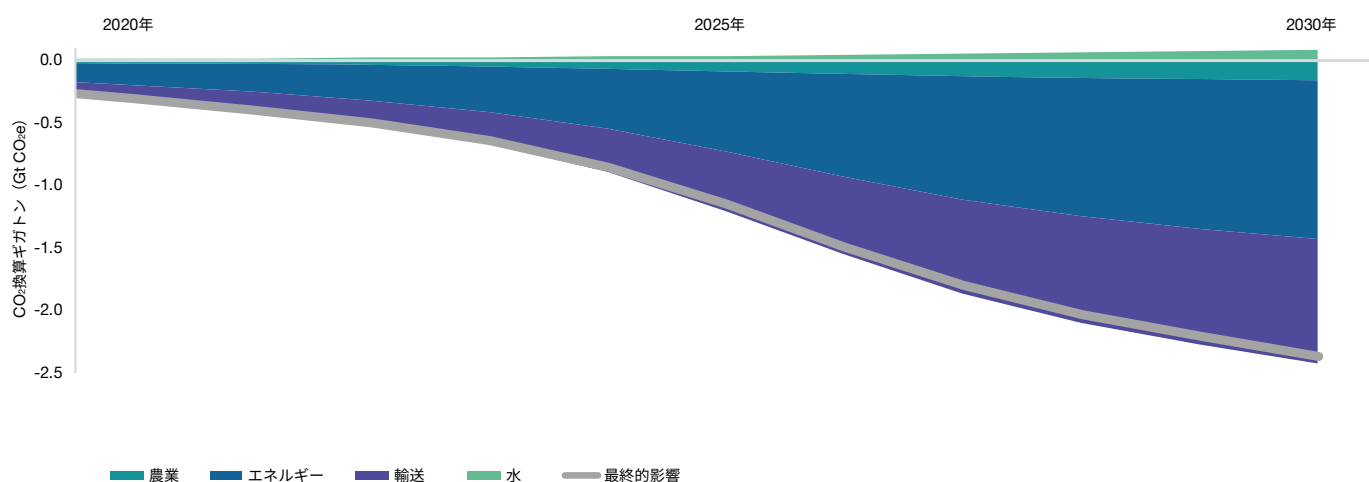
図7：2030年までに各セクターのGDPとGHG排出量にもたらされる影響——「拡大」シナリオの場合



出所：PwC分析

図8：セクターごとの年間GHGへの影響（2020～2030年）

セクターごとの年間GHGへの影響（2020～2030年、ギガトン）



出所：PwC分析

注：CGEモデル外で評価した環境AIの影響は除く。この影響に関する詳細は「もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野」を参照。

AI活用による経済的・環境的影響は4セクターでかなり異なる（表1を参照）。エネルギーと輸送が最大の影響を誇るが、これは主にAIを使うことで効率が大幅に改善し、人件費や資本コスト、エネルギー利用コストが下がるからだ。農業と水は影響が小さめだが、以降のセクションで示すように、自然資源や生物多様性に対する影響は大きい。それぞれのセクターについて順番に検討し、各セクターで最も影響力がある用途を詳しく紹介していく。

表1: 各セクターにおけるAIの環境への適用の影響

	全世界のGDPへの影響 (2030年) (GDP基準値に対する比率%)	全世界のGHGへの影響 (2030年) (排出量基準値に対する比率%)
農業	0.2%～0.3%	- 0.1%～- 0.3%
エネルギー	1.6%～2.2%	- 1.6%～- 2.2%
輸送	1.2%～1.8%	0.3 %～- 1.7%
水	0.04%～0.2%	0.0%～0.2%
本レポートで調査した全てのAIの適用	3.1%～4.4%	- 1.5%～- 4.0%

出所:PwC分析

注:四捨五入しているため、このレポートで示す数字を足しても正確な合計数値にならないことがある。「漸進」シナリオと「拡大」シナリオの結果を下限・上限として使っている。

農業セクターでのAI用途が 経済・環境に及ぼす影響

国連食糧農業機関（FAO）の予測によると、大規模な食料不足を防ぐには、2050年までに全世界の農業生産を2倍以上にしなければならない⁴⁰。社会的・生態学的トレードオフを最小限にしながら需要の高まりに応えることで農業生産を変革する——そんな技術イノベーションの中心的役割をAIは担っている。

農業セクターで私たちが調査した主なAI用途は——

- **農業ロボット**：最適なタイミングで農作業を自動的に行うようプログラムされたAIロボットなど。例えば、実が熟したら摘み取る自動トラクター。
- **農業・林業用の環境条件の精密監視**：フィールドセンサーを使って、環境要因の影響や農林業活動のインプットを正確に測定し、農業助言サービスを提供することが考えられる。例えば、局地的な天候条件をモニターして収穫量への影響を予測し、必要なインプットを調整する。
- **土地利用の計画・管理**：例えば、AIを使って農林業活動の推移をマッピングし、農業経営や規制執行の改善につなげる。
- **農作物や土壌、家畜の健康状態のモニタリング**：農業条件（農作物の健康状態、病害虫の広がり、家畜の病気など）を監視して、農地や家畜の管理の改善に役立てることが考えられる。例えば、病害虫をリアルタイムで監視・特定し、殺虫剤の使用（必要な量、必要とする場所など）に役立てる。

こうしたAI用途を合わせると、2030年に全世界のGDPを基準値比で0.2～0.3%増やし、GHG排出量を最大0.1～0.3%減らす可能性がある。GDPへの影響を主に後押しするのは、環境条件の正確なモニタリングを可能にするAI活用例や、農林業の手動タスクを自動化するAIツールだ。精密監視は、一定レベルのアウトプットを生み出すのに必要な肥料や水などのインプットの節減を可能にし、農業セクターのコスト削減に寄与する。同様に、自動化は人件費を削減し、補完技術の利用を通じて労働効率を高める。

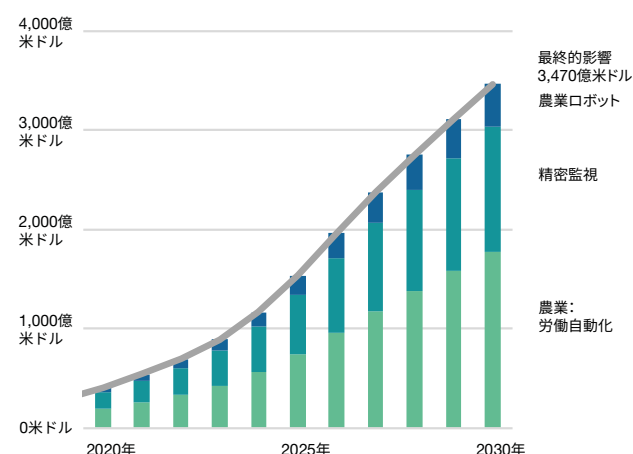
コストベースの低下と生産性の向上は、農業生産を増やし、食料不足の解決に寄与することが期待される。これは急激な人口増により資源が逼迫する途上国で特に重要性を持つ。

農業ロボットなどの用途は、農業活動における化石燃料の使用量を減らすので、予測されるGHG排出量削減を達成するための鍵となる。土地利用計画のためのAIツールも、森林などの自然資源の利用を最適化し、その保護に役立つので、排出量を減らすうえでやはり重要だ。この点については次のセクションで詳しく説明する。排出量以外にも、こうした用途は水や化学薬品などのインプットの過剰使用に伴う環境への悪影響を最小限に抑える効果がある。

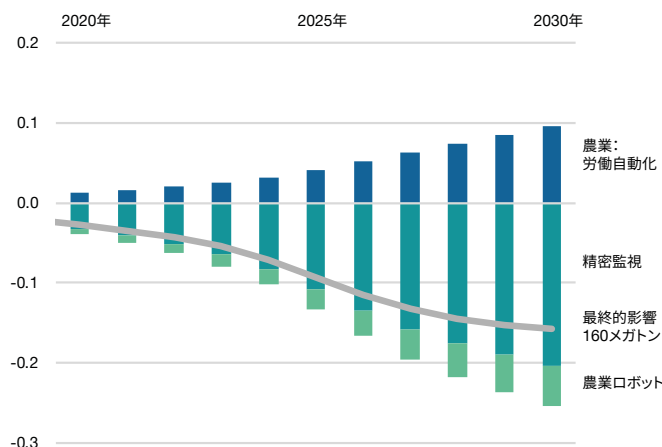
しかし、これらのベネフィットを実現するには、AIの成功を支える正しいインフラや補完技術が必要だ。データへのアクセスが鍵となるが、それにはIoTに接続したセンサーにより、温度、湿度、土壌状態などに関する大量の情報を収集しなければならない。地方の農業地域ではいまだにデジタル接続が限られているところが多いため、データの送信・処理用のインフラも並行して開発する必要がある。

図9：農業セクターでの環境AIが全世界のGDPとGHG排出量に及ぼす影響——「拡大」シナリオの場合

GDPへの影響



GHGへの影響（Gt CO₂e）



出所：PwC分析

注：土地利用の計画・監視のGHG排出量への影響は除く。モデル外で評価したそれらの影響については「もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野」を参照。

エネルギーセクターでのAI用途が

経済・環境に及ぼす影響

現代世界の最大の課題の一つは、信頼できる安価なエネルギーを全ての人に提供しながら、GHG排出や大気汚染など、地球へのマイナスの影響を最小限に抑えることだ。エネルギーセクターでAIを活用し、あらゆる燃料や地域の効率を改善できれば、化石燃料への依存を減らしもっとクリーンな社会を築き、世界経済の繁栄と気候変動の抑制につなげることができる。

エネルギーセクターで私たちが調査した主なAI用途は――

- **エネルギー消費のスマート監視・管理**：AIおよびIoTを使って市場シグナルに対する価格反応を自動化し、エネルギー使用の監視、積極的管理、最適化を図る。
- **エネルギー需給予測**：AIを使って地域の短期的・長期的なエネルギーニーズの予測を向上させる。例えば、気候条件を予測してさまざまな変動に備える。
- **分散型エネルギーネットワークの調整**：局地化が進むエネルギーグリッドにAIを取り入れると、そのシステムの管理に必要なオペレーションを自動化でき、オペレーション効率全般の向上、エネルギー浪費の削減につながる。
- **予知保全**：AIとIoTを使った早期の故障予測、外的混乱――太陽フレア、ハリケーン、地震――の予測を通じて、エネルギーインフラの保全の必要性をモニターし、準備態勢を整える。
- **再生可能エネルギー資産のオペレーション効率アップ**：AIを使って再生可能エネルギー資産の効率を高め、エネルギー生産を増やす。例えば、ハイパーローカルな気候モデルを用いてソーラーパネルや風力タービンの位置を監視・調整し、発電量を最大化する。
- **化石燃料資産のオペレーション効率アップ**：AIを使って現行の石油・ガス生産の効率を高める。的を絞った探鉱、石油パイプラインのインテリジェントマネジメント、燃焼効率の改善などが考えられる。

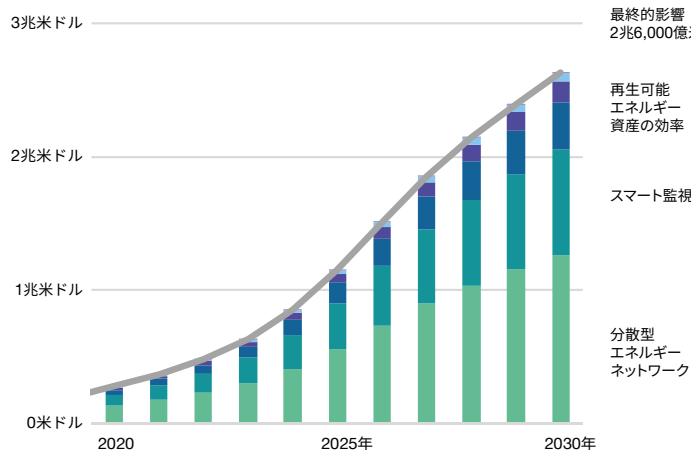
エネルギーセクターでのAI活用は最大の経済効果をもたらすと考えられる。2030年までに全世界のGDPは基準値比で1.6～2.2%増加する。これに最も貢献するのは、エネルギー使用のスマート監視、局地エネルギーグリッドの調整を可能にする用途だ。スマート監視によってエネルギー価格が市場シグナルにリアルタイムで反応できるようになれば、主要セクターだけでなく家庭や政府の電気消費の最適化が可能になる。エネルギーコストの低下は企業の生産高拡大や消費者需要の増大につながり、経済活動を活性化する。同様に、分散型エネルギーネットワークは送電・配電プロセスを大幅に改善してエネルギーセクターの生産性を高めるとともに、再生可能エネルギーの活用スピードを高めて発電量全体を増加させる。

こうした用途は、エネルギーセクターで予測される大幅なGHG削減を支える原動力であり、2030年の削減率は基準値比1.6～2.2%に上る。電気の自動価格設定は経済全般の電気浪費を減らし、排出量を削減する。さらに、局地グリッドや、再生可能エネルギー資産の効果を高めるAIテクノロジーによって再生可能エネルギーの利用が増加すると、エネルギー生産における化石燃料のシェアが減り、エネルギーミックスが炭素集約度の低いエネルギー源へとシフトする。

ただし、これらの予測はAIだけに依存するのではなく、幅広い補完技術があつてこそ可能になる。例えば、AIによる分散型エネルギーグリッドは、分散型発電、分散型ストレージ、産業IoT、電気自動車の充電、ダイナミックプライシング、スマートメーターなどの関連テクノロジーが送電・配電に導入されて初めて最大のポテンシャルを発揮できる。

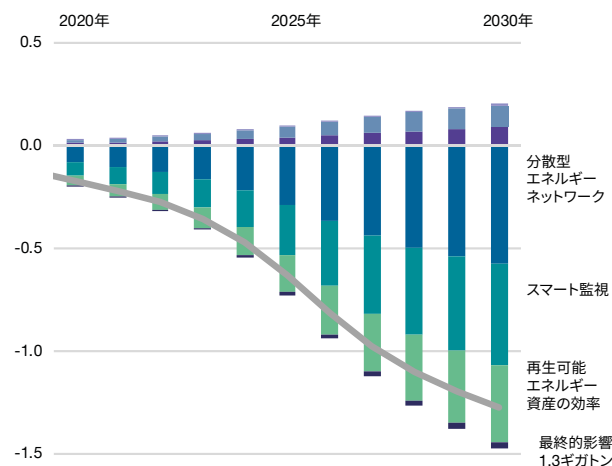
図10：エネルギーセクターでの環境AIが全世界のGDPとGHG排出量に及ぼす影響――「拡大」シナリオの場合

GDPへの影響



出所：PwC分析

GHGへの影響 (Gt CO₂e)



輸送セクターでのAI用途が 経済・環境に及ぼす影響

貨物や人の安全で効率的、持続可能な移動は、グローバル化や都市化が進む社会にあって今なお大きな課題である。全世界のエネルギー消費とCO₂排出の20～30%を輸送が占める⁴¹。AIを使えば持続可能な輸送システムの展開を促進・加速できる。

輸送セクターで私たちが調査した主なAI用途は――

- **自動運転車**：AIツールを使った自動輸送や半自動輸送により、エコドライブ、プラトウニング（追従車群走行）、カーシェアリングを可能にする。
- **自動配送**：無人の長距離配送やラストマイル配送にはAIが必要だ。例として、自動トラック輸送、自動配送ロボットなど。
- **コネクティッドビークルの交通最適化**：AIにより交通フローをリアルタイムで監視・最適化して渋滞を減らす他、通行料のリアルタイムのスマートプライシングを可能にする。例として、時間帯や混雑度、搭乗者数、車両効率に応じて変動するコンジェスジョンチャージ（渋滞税）。
- **需要予測および物流計画**：AIによる予測を用いて需要を見通し、最適な物流戦略を策定する。
- **自動車の予知保全**：AIおよびIoTを使って自動車部品のメンテナンスの必要性を監視・予測する。これによって自動車のダウンタイム（故障時間）を回避し、自動車の経済性と物流上の有益性を高める。

輸送セクターでのAIの適用の影響（2030年）は、GDPに関しては基準値比で+1.2～1.8%、GHG排出量に関しては+0.3～-1.7%。GDPへの影響を主に後押しするのは、自動運転車、自動配送、交通最適化を可能にするテクノロジーだ。自動運転車を利用すれば輸送セクターの人件費や資本コストを大きく削減できる。また一方、交通最適化によるトラフィックコントロールの改善で渋滞が減れば、自動車のエネルギーコストを削減できる。こうした効率化は他のセクターのアウトプット拡大や、消費者の消費拡大につながり、結果的にGDPを押し上げる。

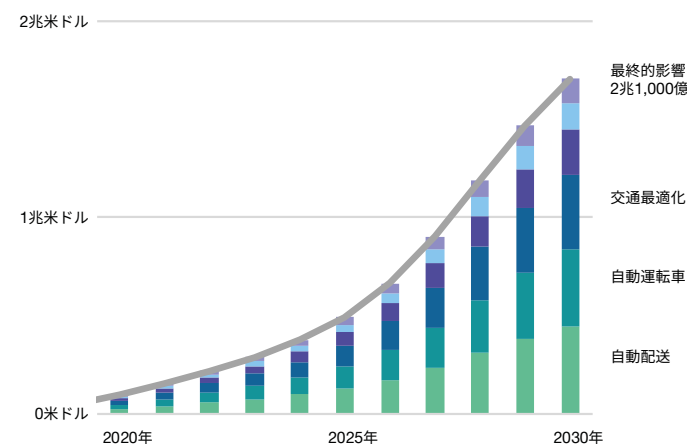
「拡大」シナリオにおけるGHG削減効果の大部分は自動運転車によるものだ。そのベネフィットを100%実現するには、大半を電気自動車にすること、ライドシェアへの動機が高まる社会的背景をつくる必要がある。言い換えれば、スマートナビゲーションやエコドライブを通じたエネルギー効率向上にとどまらないメリットを提供して、走行距離の増加によるリバウンド効果を抑え、環境にプラスの影響を及ぼす必要がある（Box 5「自動運転車とリバウンド効果」を参照）。

私たちが行った文献レビューによると、自動運転車に対する利用者の行動反応は極めて不透明だ。エネルギー需要は、(i) 車を運転しなくて済むことによる利便性の価値、(ii) 電気自動車の市場シェアなど、いくつかの要因次第で増減する。「漸進」シナリオの場合、電気自動車の最終的影響はゼロになると考えられる。これは文献から得られた結果のいわば「中間点」である。「拡大」シナリオの場合は、もっとプラス方向の影響が出そうだ。

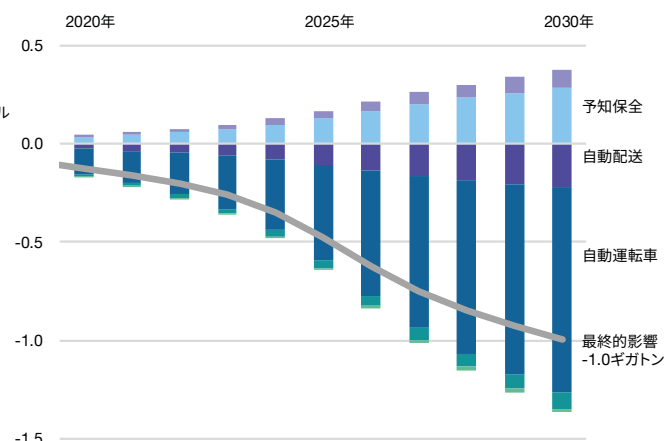
「漸進」シナリオでは自動運転車の排出量への影響はゼロだが、輸送セクターにおける他の環境的なAI用途を総合すると、実質的にGHG排出量がわずかに増加する。自動車の予知保全など、私たちが検討したAI用途の中には輸送セクターの効率や生産性を高めるものもある。それらは輸送サービスへの需要と経済所得の両方を増大させる。その結果、経済のアウトプットが拡大し、正味の排出量が増加する。

図11：輸送セクターでの環境AIが全世界のGDPとGHG排出量に及ぼす影響——「拡大」シナリオの場合

GDPへの影響



GHGへの影響 (Gt CO₂e)



出所:PwC分析

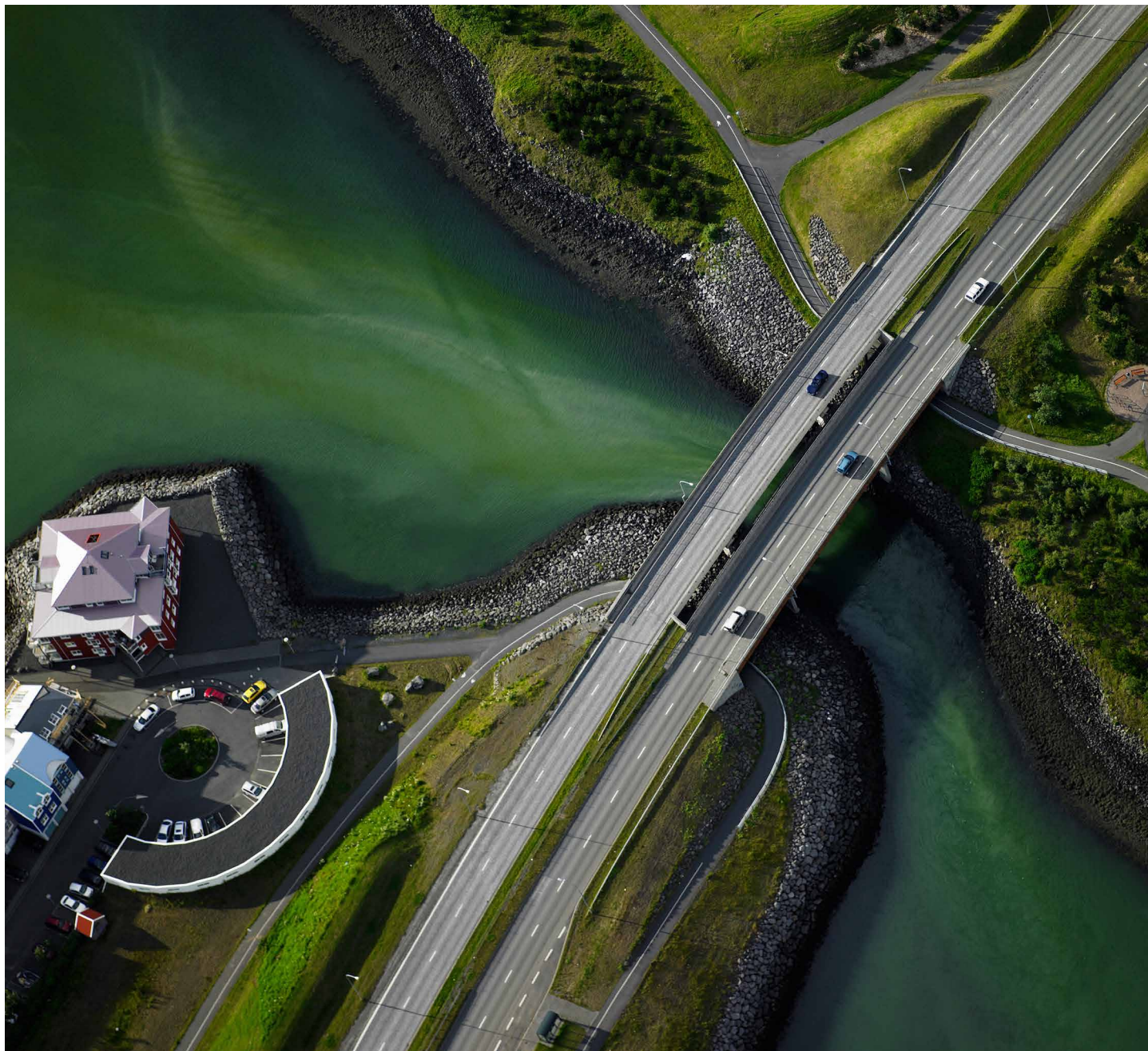
Box 5：自動運転車とリバウンド効果

自動運転車（Autonomous Vehicle：AV）は他のAI用途に比べて将来的な影響が不透明で、利用者の行動や政策立案者の施策によって影響度も変化する。

「拡大」シナリオでは変化の加速を想定している。つまりAVの大半が電気自動車で、普通の車よりもよく利用され、移動による排出量の削減に大きく貢献する（路上の車に占めるAVの割合が比較的小さくても）という想定だ。また、AVは主にライドシェアやオンデマンドモビリティに用いられ、走行距離を全体として減らす可能性がある。その他、エコドライブやスマートナビゲーション、渋滞緩和による直近の効果も得られる。これらを合わせると化石燃料使用の減少効果が見込まれる。

しかし、こうしたベネフィットは不確かだ。AVによって運転の不自由さがなくなり、利用者や利用頻度が増え、結果的に排出量も増えるというケースも考えられる。「漸進」シナリオの場合、この「リバウンド効果」によってAVのプラス効果が相殺されると私たちは見ている。つまり実質的な影響はゼロということだ。

2030年以降は、AVの影響はプラスにもマイナスにもなり得る。シェアード・オンデマンド・モビリティという電動革命が起きる可能性もあるが、規制・管理が不十分だと路上の車や利用頻度が増え、1台当たりの搭乗者数が減るかもしれない。



水セクターでのAI用途が経済・環境に及ぼす影響

汚染や急速な都市化、気候変動がグローバルな水循環に影響を与えるなか、全世界の淡水需要が供給を上回ることが予想される。2030年には世界経済を支えるのに必要な量の40%が不足するともいう⁴²。水資源の予測、管理および監視にAIを用いることで無駄をなくせば、この世界的な水危機を緩和できる。

水セクターで私たちが調査した主なAI用途は——

- **水インフラの予知保全**：インフラのリアルタイム監視、故障の予測、水システム最適化のための管理活動の特定。
- **水需要の監視・予測**：産業界や家庭の実際の水使用状況を追跡し、供給者が水需要を先取りするための新しい監視ツールにより、無駄と不足を減らす。
- **廃水源の監視**：AIを使ってオペレーションの最適化を図り、水処理・脱塩をモデル化してグレーウォーター（中水）の再利用を可能にする。

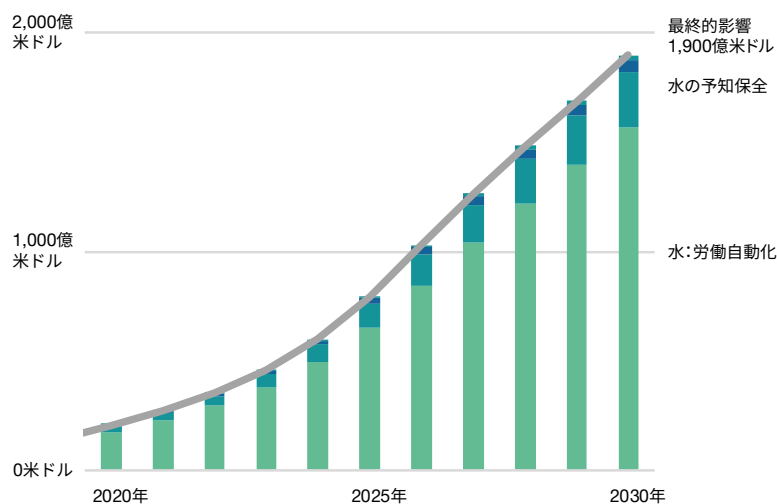
AIテクノロジーは定型的な工程を自動化するとともに、水インフラのリアルタイム監視を可能にするツールを通じてパイプなど特定インプットの利用を最適化できる。そのため、水セクターは労働生産性の点で利益を得る可能性がある。さらに、水需要を予測・監視するAI用途は水セクターの電力消費を減らし、排出量の削減を可能にする。水セクターでのAI活用が全世界のGDPに与える影響は小さく（2030年までに0.04～0.2%）、全世界の

GHG排出量に与える影響もごくわずかだが、淡水資源、森林、海洋といった地球の自然システムの健全性を守るうえでは重要な役割を果たすと考えられる。この点は「もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野」のセクションで説明する。

こうした節水効果はAIだけを通じて実現するものではなく、幅広い補完技術を導入する必要がある。例えば、予知保全は漏水による損失を減らすことができるが、動的なデータを送るため、センサーを水インフラに組み込み、IoTにつなげる必要がある。これは発展途上地域にとって先進地域を追い越すチャンスである。インフラの多くが今後10年間に築かれるため、センサーを最初の計画段階から組み込むことができ、既存のネットワークを改良するより限界費用が少なくて済むのだ。

図12：水セクターでの環境AIが全世界のGDPとGHG排出量に及ぼす影響——「拡大」シナリオの場合

GDPへの影響



出所:PwC分析

注:CGEモデルで評価した水用途のGHG排出量への影響はごくわずか。水用途のモデル外での影響や非金銭的ベネフィットについては「もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野」を参照。

雇用への影響の詳細分析

調査結果によると、環境のためのAIは2030年までに1,840万～3,820万の雇用純増につながる。これは全世界の雇用に占める割合としては小さい（0.5～1.0%）が、AIが解雇を生むというネガティブな報道が多い昨今、朗報ではある。実際、「拡大」シナリオの場合、全世界の雇用増は英国で現在雇われている人数に相当する。全体としてはこのような影響があるものの、雇用形態はさまざまに変化し、セクターや地域による違いも生じると思われる。

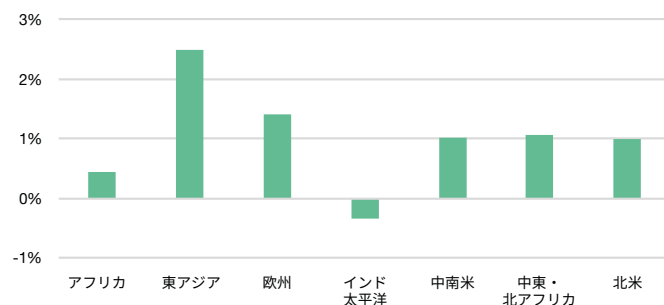
環境のためのAIの地域への影響

環境へのAIの適用は全世界の雇用純増につながり、雇用状況をわずかながら改善するが、そこには地域差がある。純雇用増加のほとんどは東アジアが舞台で、2030年には雇用が正味1,600万～2,510万（同地域の雇用の1.6～2.5%）増加すると予測される。しかし、これは何よりも生産性や所得の増大によって商品・サービス需要が高まった結果であり、今回の調査対象ではないセクターの間接的な雇用拡大によって主に説明できる。PwCのかつての調査で私たちは、経済が拡大して豊かになる結果、雇用への影響は世界的に、また全セクターでほぼ等しいだろうと述べ⁴³、また、今後はセクター⁴⁴および国⁴⁵によって差が出るだろうと述べた。

ほとんどの地域で雇用への最終的な影響はわずかにプラス、平均で全雇用の0.5～1.0%程度。サハラ以南のアフリカでは増加率がやや少なく0.3～0.4%。農業の増加幅が大きいものの（全地域の農業の平均が2.6～1.7%の純減であるのに対して0.3～

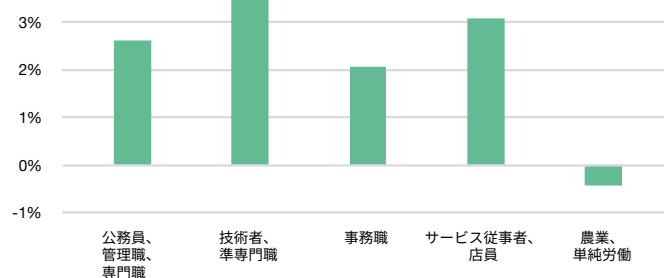
0.8%の純増）、他のセクターでは所得効果が少ない。ただしインド太平洋地域は例外で、環境のためのAIは雇用の純減（0.7～0.3%）をもたらすと予想される。サハラ以南のアフリカと同様、インド太平洋は高いスキルを必要としない農作業従事者の比率が高い（24%）。しかし農業セクターは全世界で雇用が2.6～1.7%減少すると見込まれる。仕事の性質上、そして他の経済的要因も加わって、雇用は強化されるよりもむしろ直接置き換わってしまう。ただ、雇用数や労働時間はセクターや職業によってさまざまに変化するとしても、繰り返し作業の自動化は生活の質にプラス効果を及ぼす可能性もある。

図13：2030年までに各地域の純雇用に及ぼされる影響（基準値比）
——「拡大」シナリオの場合



出所：PwC分析

図14：2030年までに各スキルレベルの純雇用に及ぼされる影響（基準値比）
——「拡大」シナリオの場合



出所：PwC分析

環境のためのAIのセクターへの影響

AIの直接的な影響としては4セクターのそれぞれで雇用の純減が見られるが、これは他の経済セクターの雇用増によって補われる。特に輸送セクターは全世界の減少幅が15.2~21.3%と大きい。他のセクターは減少幅がもっと小さい。すなわち、エネルギーは4.6~6.2%、水は8.0~5.0%、農業は2.6~1.7%（それぞれ「漸進」シナリオと「拡大」シナリオの数値）。しかし、GDPの成長による効果で世界経済全体で雇用需要が生まれ、少なくともこれらのセクターでの雇用喪失が相殺される。

場合によってAIは仕事の性質を大きく変えるが、人間に完全に置き換わることはない。他の産業では、人間の労働に対する

需要が高まる職業もあれば、低下する職業もある。例えば、農業、林業、漁業では雇用の純減が予想されるが、セクターの雇用に占める割合が現在は少ない管理職・専門職（全世界で1.6%）では雇用が創出される。とはいえ全体としては、これらのセクターで仕事を失う多くの人は、雇用の純増が見られるセクターへ移行するものと思われる。そのためには企業と政府の両方が、テクノロジーの進歩の影響で仕事を失った人を支援し、新しいキャリアをスタートできるよう再教育しなければならない。環境のためのAIを実現させるための課題や、ステークホルダー集団ごとの提言の詳細は、「環境のためのAI——その普及」セクションを参照されたい。



もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野

環境のためのAI用途は、今回の主要経済・GHGモデルで検討した対象以外にも大きなベネフィットをもたらすと予想される（「もっと幅広い社会的・環境的影響」を参照）。また、他のセクター、政策の進化などを含め、この分析の範囲を超えた影響を及ぼすとも考えられる（「さらに検討すべき分野」を参照）。

もっと幅広い社会的・環境的影響

このセクションでは、従来の経済モデルでは把握されない影響——例えば人間の健康や生態系の保存への影響——について見る。以下に、より特別なアプローチで別途分析した、これらの影響の評価を示す。これは先の主な結果を補完し、環境へのAI活用による幅広いベネフィットをもっと全体的に捉えるためのものだ。また、「拡大」シナリオで達成可能なベネフィットを表すものでもある。そこではAIのポテンシャルが完全に発揮される。

大気汚染の監視・予測

大気汚染は人間の健康にとって最大の環境リスクの一つだ。環境（屋外）大気汚染は年間420万の死亡原因になると推測される（WHO）⁴⁶。この健康負荷を削減するには、大気の大気の質の悪さに関する正確で局地的な早期警戒システムが不可欠だ。政府の政策・規制を支援し、弱者がさらされるリスクを低減するうえでも、それは欠かせない。地上センサーが不足しがちな新興国を中心に、質の高い局地データが不足している⁴⁷。AIは低コストかつハイパーローカルな汚染監視・予測のチャンスを実世界で提供する。機械学習モデルは、既存センサーからのデータと衛星によるスペクトロスコピーを組み合わせて、地上センサーのギャップを埋めることができる。私たちの分析によれば、このようなAI活用は医療費や健康影響の削減を通じて、**2030年に全世界で1億5,000万米ドルの経済的利益を追加提供**できる。

違法な森林破壊や森林被害の防止

人間の活動のせいで、全世界で毎年8万～15万km²の森林が失われていると推測される。熱帯林伐採の最大90%は違法だという⁴⁸。NGOやテクノロジー企業はこの問題への対応にAIを使い始め、森林の破壊をかつてないほど迅速かつ効率的に監視・管理できるようになっている。AIは衛星データや地上センサーを分析して、森林の状態をリアルタイムで大規模に監視し、優先度調査やパターン分析のための早期警戒システムを提供することができる。私たちの推計では、各国政府が法執行のサポートにAIを最大限利用すれば、**2030年までに全世界で3,200万ヘクタールの森林が救われ、CO₂換算で²⁹ギガトンの排出量が削減**される。また、先住権を守り、水供給をもたらす、生物多様性を促進し、生物種を保護し、価値ある生態系サービスを提供するという森林の幅広いメリット強化にもつながる。

洪水や暴風雨などの自然災害からのレジリエンス

気候変動が原因で異常気象の頻度・強度が増しているが、AIはその影響を大きく低減させる可能性がある。推計で毎年2億5,000万の人々が既に洪水の影響を受けている⁴⁹。私たちの分析によると、AIによって予測精度が高まれば洪水の早期警戒システムが実現し、これによって現在から2030年までの間に3,000人以上の命が救われ、家を失う人が120万人減り、経済損失が1,400万米ドル減少する⁵⁰。同様に、機械学習によって森林の風水害の予測精度が上がれば、そうした被害からの回復力が高まり、森林風害——欧州の森林被害の約半分を占める⁵¹——を200万m³減らすことができる（その結果、**80万トンの炭素取り込みが失われるのを防ぐ**ことができる）。干ばつや地震からの回復に関しても、同じような活用例が（まだほんのスタートだが）出始めている。

さらに検討すべき分野

私たちの分析結果からは、もっと広範な数多くのテーマが浮かび上がる。これらは調査結果の背景を説明し、AI、経済、環境がどのように交わるのかという理解を深めるために留意すべきテーマである。

対象セクターの拡大

このレポートの主な対象となった4セクターに限らず、AIには経済全般を通じて果たすべき役割があると考えられる。特に気候課題にとって重要な分野が他に二つある。それは構築環境と工業だ。この二つは残るGHG排出量の大半を占める。「住宅・商業」セクターと「工業」セクターは全世界のGHGの約3分の1を占める存在である⁵²。結局のところ、今世紀半ばまでに正味ゼロ排出を達成するには、全てのセクターの脱炭素化が必須である。

工業、中でも重工業は、重量物輸送と並んで「排出削減困難」とされることが多い。これらのセクター（セメント、鋼鉄、化学、航空、海運など）はたいてい低炭素代替手段が少なかったり高価だったりする。工業と航空・海運（私たちが今回分析したのは陸上輸送のみ）の脱炭素化は特に難しい。というのも低炭素の代替手段が、例えばエネルギー（太陽光や風力などの再生可能エネルギー）や陸上輸送（電気自動車）に比べて少ないからだ。Energy Transitions Commissionの最近のレポート⁵³では、排出削減困難セクターで開発中の技術イノベーションが紹介されている。そんな選択肢の中でAIの存在感が増している。新しい事例を四つ挙げると――

- **セメント**：AIを使った資産の予知管理――先進センサーと組み合わせることも多い――により、生産資産の効率、オペレーション、管理を最大化している。
- **鋼鉄**：工程管理やオペレーション管理におけるAIシステムのテスト導入を増やして、従来の管理方式を補完し、効率アップ、システム稼働の最適化を図っている。
- **化学**：化学品製造の予知保全にAIを用いて――伝統的な管理方法や新しいセンサーと組み合わせることも多い――、効率の最大化、工程中の資源使用の最小化を図っている。
- **海運**：船舶の予知管理・保全、リアルタイムの運航最適化、燃料の監視・管理など、海運セクターでのAI利用法は幅広い。

いずれの事例もまだ歴史が浅い。排出削減困難セクターでAIなどの新しいテクノロジーをもっと十分活用し、革新的な低炭素AIソリューションを加速・拡張する必要がある。それが経済全体の脱炭素化のスピードアップにつながる。

その他、AIは構築環境においても重要な役割を担う。構築環境だけで全世界のGHG排出量の約10分の1を占め、都会でのエネルギー利用や輸送利用を通じて幅広い影響力を持つ。AIは既に、都会での土地利用検出の自動化から、建物設計の最適化、聴覚キューを利用した照明・暖房による効率の最大化まで、さまざまな方法で利用されている。都市環境では資源利用の改善のため、インテリジェントエネルギーや廃棄物予測・管理にもAIが利用されている。さらに幅を広げると、AIは「スマートシティ」の中心的存在として大量のデータの管理・処理をサポートし、都市の意思決定やマネジメントの向上に一役買っている。

したがって、環境のためのAIによる経済的・環境的影響は、トータルではこの調査レポートよりもっと大きくなる可能性がある。他方、反対にGHG排出量を増やすAI用途もある（鉱業など）。

今後の政策とエネルギーミックス

今回のモデルで用いたBAU基準は、再生可能エネルギーへの移行が限定的で、今後のエネルギーミックスにおいて石炭など化石燃料への依存が続くことなどを前提にしている。だが実際には、先進国でも途上国でも、もっと急速な低炭素移行が進行中のように思われる。これを後押ししているのは、低炭素代替物のコスト競争力の増加や、温暖化を「2℃を優に下回る」水準にとどめるとのパリ協定に各国が合意したことを踏まえた、環境政策やカーボンプライシングの継続的な強化である。私たちが想定するAI活用の多くが電化と結びついていることを考えると、排出量削減を最大化するには送電網の将来的なエネルギーミックスが極めて重要である。AIを使うと電気使用も増えるケースが多いからだ。さらに、多くの国が新興テクノロジーを利用するための大がかりなイノベーション政策を積極的に展開しつつある。こうした政策はAIの導入をさらに加速させ、このレポートで分析した影響を増大させる可能性がある。今後の政策シナリオには、環境のためのAIの適用の上限ポテンシャルを評価するため、再生可能エネルギーの迅速な取り込みとイノベーションの加速、この双方が盛り込まれることになるかもしれない。

地域ごとの影響と見通し

デジタルレディネスが低水準であるため、環境のためのAIから受ける恩恵が最も少ない地域（サハラ以南のアフリカや中南米）は、気候変動から受ける影響も大きくなりやすい。しかし、検討すべき重要な要素が二つある。第一に、AIなどを通じて全世界の排出量が削減されればされるほど、これらの地域の経済も影響を免れて上向きになる。第二に、これらの地域でデジタルスキルの向上やデジタルインフラに重点的に投資することで、先進国を追い越し、予測をはるかに上回る大幅な経済的・環境的利益を得るチャンスが生まれる。

豊かさの尺度

環境のためのAI活用のメリットは、その多くが現在の経済的枠組みでは十分把握できない。GDPは所得の「フロー」を年単位で把握する尺度である。AIのベネフィット（生物多様性や生息地といった「ストック」の保存など）を完全に把握するためには、従来のGDP予測とともに、それ以外の「バランスシート」的な豊かさの指標を開発・使用する必要がある。

AIが私たちの経済や環境に及ぼす機会をもっとよく理解し、ひいてははその機会を十分活かすため、今後、これらの点を一つひとつ検討していくことが重要だ。

3 環境のためのAI ——その普及



はじめに（概観）

AIの力を利用して世界が抱える課題（健康、教育など）の多くに立ち向かう——「AI for Good（AIの社会貢献）」とも言うべき、そんな大きな考え方が登場し始めている。「持続可能な開発」という大方針が掲げられることも多く、さまざまなテクノロジー企業が、環境問題への取り組みに関するコミットメント支援など、この分野での活動を発表している（例えば、マイクロソフトの「AI for Earth（地球のためのAI）」プログラム、Step Up Coalition）⁵⁴。

テクノロジーの新しい波はどれもそうだが、環境のためのAIのポテンシャルを100%引き出そうとするなら、たくさんの機会とともに課題を明らかにし、これに対応することが必要である。気候変動の増大から生物多様性の喪失、海洋の汚染・酸性化まで、課題は多岐にわたる。その中心になるのは、ソリューションを大規模に開発・商業化できる状況をつくること、そして必ずリスクを軽減し、不測の事態に備えること、つまりは「イネープリング環境」をつくることだ。

AIそのものを展開・拡張し、プラスの影響を得ようとする時には、対応すべき数多くのリスクが伴う（セキュリティ、パフォーマンス、制御、倫理など）が、ここでは環境用途のAIを推進するうえで具体的に考慮すべき点を明らかにしている。このセクションでは特に目立つ課題を提示し、その克服の鍵となる要素も検討する。次いでチャンスをものにするために欠かせないステークホルダーに焦点を当て、主要なステークホルダー集団について大まかな提言を行う。

環境のためのAIの課題

明らかになった多くの課題は、ガバナンス、研究開発や展開のためのリソース、協業、データやインフラの成熟度に関するものだ。以下の表2に課題の詳細をまとめた。

表2: 環境のためのAIの課題一覧

ヒト	認識不足、関与不足、低い優先度：政府、企業、学界、投資家が現在のところ、環境へのAIの適用を重視・優先していない。 労働需要の変化：職務領域や技術に関する専門知識の蓄積不足、職務要件の変化や解職に関わるリスク、構造変革にさらされる労働者のスキル向上や再習得の必要性の高まり。
プロセス	学際的で複雑な職務：技術者、環境保護活動家、企業、政府の協業が不十分で、学際的なソリューションが阻まれる。 革新能力：データ、資金、技術ノウハウ、人材の不足に代表されるリソースの制約により、研究開発やイノベーションが阻まれる。新しい手法や応用例を探究するなかで失敗が認められる、そんな文化がイノベーションには必要である。 相対的な投資不足：医療や教育などの幅広い構造的課題に比して、投資アピールが不足。現行の財務モデルも、ブレンドファイナンスやAIを支えるタイプのインパクト投資を促す構造には必ずしもなっていない。 不十分なガバナンスや政策：AI監視のあり方は変化のスピードや大きさについていけない。多くの地域の規制当局が、何らかの損害が予測された時に個別に対応するので（EUやGDPRなど）、地域差が出てしまう。本来は、ガバナンス体制を全世界で調整した方が効果的である。 AIソリューションの「価値費用」：意思決定者が影響評価に際して、AIソリューションを使用しないことの「機会費用」を考慮せず、たとえ高コストで効率が悪く、環境への効果が遅いソリューションであっても「現状維持」を選択する。 「責任あるAI」への不十分な取り組み：倫理原則に対する合意や理解がなければ、価値観が共有されない。「責任あるAI」をめぐるのは現在、バイアスなど人間関連の領域が優先され、環境をはじめとする、もっと幅広い社会的な領域が脇に置かれている。 説明責任、透明性、バイアス：不透明な手法、アウトプットの精度、知覚されるバイアス、不完全なデータのせいで信頼が欠如し、AIの導入や拡張が制限を受ける。
テクノロジー	市民開発者のAIツールへのアクセス：AI開発は伝統的にAIに関する多大な専門知識を必要とする。AIを「民主化」し、専門家でない人にも独自のAIソリューション開発の道を開く簡易AIツールは、多くのスタートアップ、学界、市民社会、技術関係でない人々全般が広く利用することができない。 インフラの不平等な拡張：クラウドインフラの構築は、AIの研究開発や展開をリードしている先進国で行われる傾向がある。途上国では、広範なインターネットアクセス、高価なオンプレミスコンピューティングなどの必要なインフラがあまり整備されず、その結果、利益の配分が不平等になり、デジタルデバイド、都会と地方の格差が広がりがねない。
データ	目的にかなったデータの生成：AIアプリケーションのトレーニングには大量のデータが必要。多くの場合、ラベル付きデータが少なく、データのアクセシビリティが限られ、収集データは雑多または少量である。データの所有権およびライセンスにより、目的にかなったデータの共有が限定される可能性がある。 データの質の確保：組織ごとに異なる一貫性のないデータガバナンスは、データの質の問題につながる。標準的なガバナンスがないと、データは選択バイアスや報告バイアスの影響を受けやすくなり、それがデータの質や、多様なユースケースへの適用性にさらに影響を与える。

イネーブラー（実現要因）と提言

明らかになった幅広い課題に対応し、リスクを克服するには、環境のためのAIの可能性を開く五つの「イネーブラー（実現要因）」が鍵になる、と私たちは考える。

- **意識を高め、価値観の整合性、協業、学際的パートナーシップを促す**（技術者、産業界、科学者、市民社会、政府などを含めて）：業界を越えた国際的な基準、地域ごとの優先目標の設定、協業の枠組み、官民のプロジェクトを通じて、環境ソリューションのためのAIを開発し、（安全に）展開する。
- **「責任あるAI」からスタートし、この道義的アプローチを拡張して社会的・環境的影響をも考慮するようにする**：AIの安全性、倫理、価値観、ガバナンスを幅広く考慮すると同時に、持続可能性の原則を必ず組み込むようにする。
- **デジタルインフラ、データやテクノロジーへのアクセス、補完技術の拡大に対応する**：適切なクラウドインフラ（衛星を含む）やデータインフラの構築、責任あるデータ管理と目的にかなったデータアクセスやアノテーションの促進、他の新しいテクノロジーの普及支援を通じて、AIの可能性を最大化する。
- **スキルアップおよびスキル再習得の機会や訓練の場を提供し、セクターの変革に適応する**：新たなイノベーションを起こし、適用例を拡大するだけでなく、AIシステムを管理・統治して、人々や地球の市場、未来の労働者に貢献する。
- **調査から拡張可能な商業展開まで、研究開発を促進する**：ステークホルダー（産業界、学界、政府の研究機関）の連携、拡張可能な商業展開につながる学際的研究開発の促進を重視する。

官・民・非営利セクターの全てのステークホルダーが、AIを最大限活用して環境上の課題に立ち向かえるよう関与しなければならない。経済的・環境的な進歩を加速させることができる「イネープリング環境」をつくるうえで、それぞれに果たすべき役割がある。具体的に、以下のステークホルダーがそうした環境を整備するために起こせる行動を大まかに述べると――
- **政府**：環境政策の拡大に加えて、データアクセス、研究開発、デジタルインフラやスキルへの投資などについて、規制・政策による重点を絞ったサポートを機動的に提供する。例えば、国家の開発計画やAI戦略の中で持続可能性のためのAIを検討する。イノベーションや研究開発の資金を提供する。スキルアップやスキル再習得を支援する。環境に関連したAI-readyな（AIへの備えができた）データのガバナンス、アクセスおよび規制を確保する。

- **技術開発者**：データ資産を創出、提供、改善するための行動を起こし、AIツール、データ、もっと幅広い補完技術へのアクセスを提供する。例えば、幅広いAIリスクとともに環境の視点を設計原則に組み込む。より質の高いデータ資産の照合（アクセス、処理、アノテーション、ラベリングなど）に投資する。起業家との共同イノベーションを促進し、関係者がAIの構成要素を利用できるようにする。
- **企業**：AIの戦略・展開において環境への影響を考慮し、ディスラプションや変革のニーズを特定し、従業員のスキルアップやスキル再習得を受け入れる。例えば、持続可能性のためのAIを盛り込み、最適化した企業戦略やAI戦略を策定する。「責任あるAI」のベストプラクティス開発でリーダー的役割を果たす。データサイエンスやデジタルスキル、機械学習の基本について（企業のサプライチェーンに沿うなどして）従業員のスキルアップやスキル再習得を進める。
- **学界**：学際的な視点を促し、AIと職務領域に関する教育・研究、さらには産業パートナーシップを組み合わせる。例えば、技術や職務領域に関する専門知識の学際的な研究・学習を促進する。研究機関の間のオープンアクセスデータ共有を促す。環境のためのAIの優先事項を伝達し、スキル研修やデータ・知識共有のための業界パートナーシップを促す。
- **非政府組織（NGO）**：技術者とのパートナーシップを築き、デジタルスキルの向上に投資し、AIや幅広い技術イノベーションがどんな分野でメリットを生み出すかを探る。例えば、資金提供者や研究者、民間セクターがどの問題を優先すべきかを特定する。AIや幅広いテクノロジーがどんな分野でメリットを生み出すかを探る。多目的の共通インフラを築くためのコンソーシアムを形成・展開し、企業が自身の適用策を生み出せるようにする。

まとめ

- このレポートでは幅広い提言を試みているが、これまでのところ、仕事や雇用に対するAIの影響——およびスキル上の課題——がメディアや社会全般から最も注目を集めている。全てのステークホルダー集団がAIの影響を受け、変化のスピードも速い。デジタル化、オートメーション(自動化)、オーグメンテーション(拡張)が既にさまざまなセクターや市場、グローバル・バリュー・チェーンを変革しつつある。企業や国家は、未来の市場と労働力の両方について前もって考えておくことが極めて重要だ。
- 環境のためのAIを実現するには、AIについて誰よりも詳しいAIツールの作り手と、対応が必要な問題や現実世界のシステムを理解しているユーザー(産業界、学界、政府)の間の協業を強化する必要もある。
- 結局のところ、AIが社会やこの地球のためにそのポテンシャルを100%発揮するためには、それぞれのステークホルダー集団が責任を共有しながら参加し、AIの未来、そしてAIが支えるシステムやビジネスモデルの未来を形にしなければならない。
- このレポートが最初のきっかけとなって、喫緊の環境課題に対する「テクノロジーファースト」アプローチに着目・投資するための会話がもっと広がれば幸いである。また、他の方々がこのレポートに触発され、その分析をもとに、今回のトピックをめぐるもっと包括的な数字をはじき出してくれたらうれしい。この地球、そして社会が生き残り、繁栄するためには、どちらの取り組みも待ったなしである。







付録：モデル化手法

この付録では、GDP、雇用、GHG排出量、そしてAIの環境への適用がもたらすもっと幅広い影響を評価するためのシミュレーションに用いた手法について、その主な特徴を説明する。私たちの分析はトップダウンとボトムアップの分析を組み合わせ、農業、エネルギー、輸送、水の4セクターに焦点を当てている。

今回採用した手法は大きく五つのステップから成る。

ステップ1：AI用途を定義する そのために農業、水、輸送、エネルギーにおけるAIのユースケースをグループ分類し、これを評価の基本単位とした。次いで各用途のAIの適用例について、第一段階の間接的な影響を評価した。

ステップ2：主要業績評価指標（KPI）に照らして各AI用途の直接的な影響をスコア化する 環境への影響、生産性への影響、労働への影響に関するKPIを策定して、直接の影響を評価した。それぞれの影響について、主な視点——環境への影響であれば排出原単位や土地などの自然資源の利用、経済的影響であれば資本利用効率など——に沿って各AI用途の効果を解きほぐした。これによって全AI用途の第一段階の影響を総合的に把握することができた（例：農業セクターが農業ロボットの導入によって2030年に削減できる、生産単位当たりの化石燃料比率）。私たちが検討したKPIは以下のとおり。

1. 生産単位当たりの**燃料効率またはGHG集約度の改善**
2. 生産単位当たりの**自然資源**（土地、水など）の**利用効率**
3. 生産単位当たりの**他のインプット**（資本、他の商品・サービスなど）の**利用効率**
4. **それ以外の効率改善**（同じインプットの組み合わせからのアウトプット増など）
5. **労働自動化による生産性向上**

私たちは、導入率が最も高い地域で2030年に各用途の影響がどの程度になるかを評価した。先のKPI 1～4については、まず、各セクターで選んだ用途をさらに詳しく分析して、考え得る幅広い影響を明らかにした。これをもとに私たちのAI専門家がその経験・知識を用いて、KPIに対する各用途のスコアを算出した。その際、2030年に予測される影響をベースにし、テクノロジーとその取り込みが2030年までにどの程度成熟しそうかを考慮した。KPI 5については、PwCの既存フレームワークを使って、仕事の自動化が及ぼすであろう影響を評価した。これは過去の学術研究に基づくものだが、環境のためのAIに特にフォーカスした。

ステップ3：AIの環境への適用の間接的影響を評価する ステップ2では「第一段階」の影響だけを評価し、経済全体への波及効果は考慮しなかった。例えば、農業の燃料効率が高まれば、農業セクターは生産を拡大し、価格を下げるかもしれない。消費者や関連産業はこれに反応し、経済に波及効果をもたらす可能性がある。

AI用途とKPIのそれぞれの組み合わせに対する全スコアを、以下に変換した。

- インプット固有の効率の変化（当該セクターで生産単位を生産するのに必要な労働、資本、土地、エネルギーなどのインプットの低減）
- 全体的効率の変化（一定のインプットの組み合わせに対するアウトプットの増大）または
- 企業、家庭、政府が化石燃料を使う際の、または当該産業の生産工程全体におけるGHG集約度の変化（次ページの表A1による）

表A1：モデルにおけるKPIスコアと「第一段階」の影響の換算表

スコア	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
評価（影響範囲）	-100%～ -75%	-75%～ -50%	-50%～ -25%	-25%～ -10%	-10%～ +10%	+10%～ +25%	+25%～ +50%	+50%～ +75%	+75%～ +100%
「漸進」シナリオ での導入価値	-87.5%	-62.5%	-37.5%	-17.5%	0%	+17.5%	+37.5%	+62.5%	+87.5%
「拡大」シナリオ での導入価値	-100%	-75%	-50%	-25%	0%	+25%	+50%	+75%	+100%

出所：PwC分析

比率（%）は次のように算出される。

- **分子**は、導入率が最も高い地域で2030年に予測される影響。GHG集約度の減少または金銭的価値。
- **分母**は、当該経済活動の金銭的価値またはGHG排出量の総計。例えば、産業（電気など）による製品（石炭など）の購入。この影響は、KPI 1に関してはGHG集約度の減少、他の全てのKPIに関しては金銭的価値

次に、これらの変化数値を、カバー率をかけて下方修正した。例えば、スコア1のある用途が農業セクター内の耕作しかカバーしていない場合、17.5%（漸進シナリオ）／25%（拡大シナリオ）相当分をしかるべく減じて、農業セクター全体に適用できるようにする。スコアは導入率が最も高い地域に関して定義されたため、残りの地域に対しては、それぞれの地域のAI導入率の代わりにGlobal Innovation Index⁵⁵を使って影響度を当てはめた。

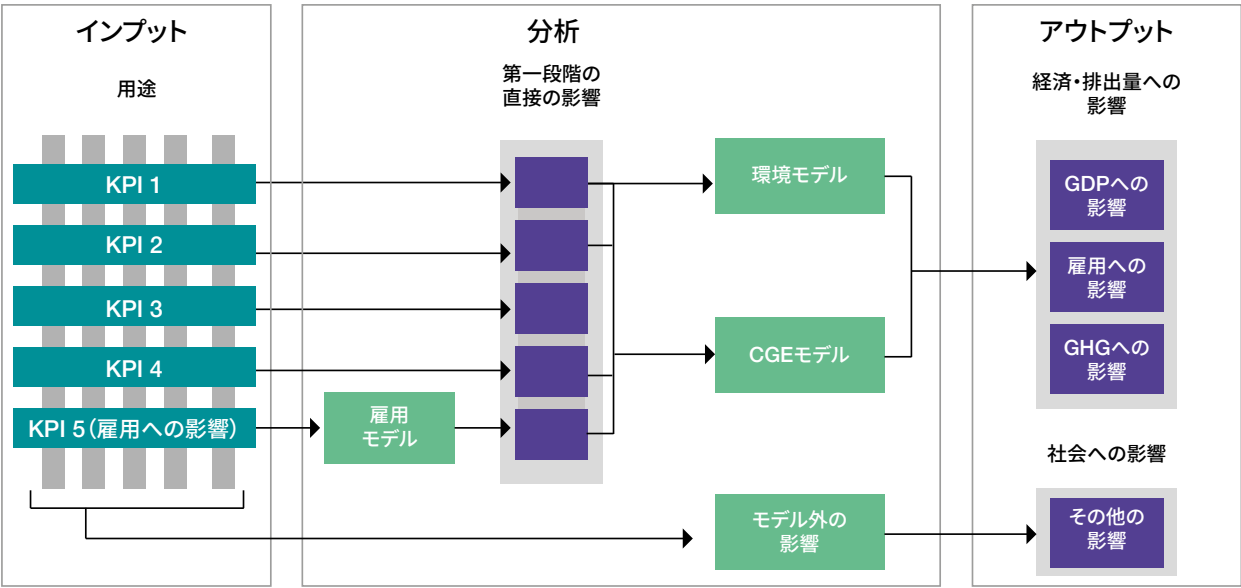
AIの各環境用途の直接的影響に由来する、セクターや地域での間接的影響や「リバウンド」効果を把握するため、私たちはCGEモデルを利用している。CGE手法は、各国政府をはじめ、IPCC、世界銀行、OECD（経済協力開発機構）、WTO（世界保健機関）、IMF（国際通貨基金）など、さまざまな機関がよく利用している。

ステップ4：「減災」効果を推定する ほとんどの学術文献が、排出量が増えると将来的に気候への影響に関連した損害が増え、世界的な経済コストが増加すると述べている。したがって排出量が減ると、気候関連リスクによって失われるGDPも少なくなる。別の言い方をすると、気候へのマイナスの物理的影響が減れば、経済的なベネフィットが生じる。そこには極端な現象（洪水、暴風など）の増加による損害は含まれていないため、排出量削減によるGDP増は控えめな推定値となる。

ステップ5：AIの環境への適用によるもっと幅広い影響を推定する 私たちの「モデル外」の影響測定法では、幅広い社会的、環境的、経済的な影響の測定を可能にする多様な手法を包含した、柔軟なフレームワークを用いている。影響へ至るバリューチェーン全体をモデル化するため、ユースケースに対する影響経路を明らかにする（インプット、アウトプット、結果、影響の特定）。特別の専用調査を行ってバリューチェーンに沿った個々の影響を評価し、適宜、当該のユースケースからの拡張を行う。可能な場合は、影響を全世界に拡大する。

調査手法全体を図示すると以下になる。

図A1：モデル化手法



出所:PwC分析

各地域の内訳

それぞれの地域で対象となった国を表A2に示す。

表A2：7地域のそれぞれの対象国

地域	国・地域
北米	バミューダ、カナダ、グリーンランド、メキシコ、米国
中南米	アンギラ、アンティグア・バーブーダ、アルゼンチン、アルバ、バハマ、バルバドス、ベリーズ、ボリビア、ブラジル、英領バージン諸島、カリブ、ケイマン諸島、チリ、コロンビア、コスタリカ、キューバ、ドミニカ国、ドミニカ共和国、エクアドル、エルサルバドル、グレナダ、グアテマラ、ガイアナ、ハイチ、ホンジュラス、ジャマイカ、モンセラト、オランダ領アンティル、ニカラグア、パナマ、パラグアイ、ペルー、プエルトリコ、セントクリストファー・ネイビス、セントルシア、セントビンセントおよびグレナディーン諸島、スリナム、トリニダード・トバゴ、タークス・カイコス諸島、ウルグアイ、米領バージン諸島、ベネズエラ
欧州	アルバニア、アンドラ、オーストリア、ベラルーシ、ベルギー、ボスニア・ヘルツェゴビナ、ブルガリア、クロアチア、キプロス、チェコ共和国、デンマーク、エストニア、フェロー諸島、フィンランド、フランス、ドイツ、ジブラルタル、ギリシャ、カーンジー、バチカン、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、マン島、イタリヤ、ジャージー、ラトビア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルク、北マケドニア、マルタ、モルドバ、モナコ、モンテネグロ、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、ロシア、サンマリノ、セルビア、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、スイス、ウクライナ、英国
中東および北アフリカ	アフガニスタン、アルジェリア、アルメニア、アゼルバイジャン、バーレーン、エジプト、ジョージア、イラン、イラク、イスラエル、ヨルダン、カザフスタン、クウェート、キルギスタン、レバノン、リビア、モロッコ、オマーン、パキスタン、パレスチナ自治区、カタール、サウジアラビア、シリア、タジキスタン、チュニジア、トルコ、トルクメニスタン、アラブ首長国連邦、ウズベキスタン、イエメン
サハラ以南のアフリカ	アンゴラ、ベナン、ボツワナ、ブルキナファソ、ブルンジ、カメルーン、カーボベルデ、中央アフリカ、チャド、コモロ、コンゴ民主共和国、コンゴ共和国、コートジボワール、ジブチ、赤道ギニア、エリトリア、エチオピア、ガボン、ガンビア、ガーナ、ギニア、ギニアビサウ、ケニア、レソト、リベリア、マダガスカル、マラウイ、マリ、モーリタニア、モーリシャス、マヨット、モザンビーク、ナミビア、ニジェール、ナイジェリア、ルワンダ、セントヘレナ、サントメ・プリンシペ、セネガル、セーシェル、シオラレオネ、ソマリア、南アフリカ、スーダン、スワジランド、タンザニア、トーゴ、ウガンダ、ザンビア、ジンバブエ
東アジア	中国、香港特別行政区、日本、韓国、北朝鮮、マカオ特別行政区、モンゴル、台湾
インド太平洋	米領サモア、オーストラリア、バングラデシュ、ブータン、ブルネイ、カンボジア、クック諸島、フィジー、仏領ポリネシア、グアム、インド、インドネシア、キリバス、ラオス、マレーシア、モルディブ、マーシャル諸島、ミクロネシア、ミャンマー、ナウル、ネパール、ニューカレドニア、ニュージーランド、ニウエ、北マリアナ諸島、パラオ、パプアニューギニア、フィリピン、ビトケアン、サモア、シンガポール、ソロモン諸島、スリランカ、タイ、東ティモール、トケラウ、トンガ、ツバル、バヌアツ、ベトナム、ワリー・エフトゥーナ諸島

産業セクターの定義

今回の分析で定義した各セクターの構成を表A3に示す。これはパデュー大学を中心とする国際的学術協業プロジェクトGlobal Trade Analysis Project (GTAP) が開発したGTAP 9データベースで定める製品グループに準じている。

表A3: 本レポートでのセクターの定義

大枠セクター	モデルのセクター	GTAP 9対象製品
農業	農業	米、小麦、その他の穀物、野菜・果物・ナッツ、油糧種子、サトウキビ・テンサイ、植物性繊維、その他の農作物、牛・羊・山羊・馬、その他の動物製品、生乳、毛糸・生糸
	林業・漁業	林業、漁業
エネルギー	石炭鉱業	石炭
	石油、ガス、精製品	石油、ガス、石油・石炭製品
	電気	電気
水	水	水
輸送	輸送	水上輸送、航空輸送、その他の輸送
その他	エネルギー集約型工業	その他の鉱物、化学・ゴム・プラスチック製品、その他の鉱物製品、鉄系金属、その他の金属
	その他の産業	牛肉製品、その他の肉製品、植物油脂、乳製品、米加工品、砂糖、その他の食品、飲料・たばこ製品、繊維、衣料、革製品、木製品、紙製品、出版、金属製品、自動車・部品、その他の輸送設備、電子機器、その他の機械設備、その他の製造品、ガス製造・供給、建設、貿易、通信、その他の金融サービス、保険、その他のビジネスサービス

出所: PwC分析

注: GTAP 9の57項目の製品リストは以下を参照。

<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/contribute/detailedsector.asp>

謝辞

PwCとマイクロソフトは、本レポートの作成にあたり、以下の方々の貴重なご協力に感謝いたします。

Lead authors

Celine Herweijer (PwC UK), Benjamin Combes (PwC UK), Jonathan Gillham (PwC UK)

PwC project team

Denise Chan (PwC UK), Tarik Moussa (PwC UK), Edmond Lee (PwC UK), Saloni Goel (PwC UK), Anand Rao (PwC US), Ilana Golbin (PwC US), Robert Moline (PwC US), Richard Berriman (PwC UK), Alastair Macpherson (PwC UK), Hannah Audino (PwC UK), Duncan Mckellar (PwC UK), Sophie Davie (PwC UK), Mary Davies (PwC UK), Max Dillon (PwC UK), Laura Gatz (PwC UK).

Microsoft project team

Lucas Joppa, Josh Henretig, Jacob LaRiviere, Rahul Dodhia.

Other contributors

Alma Cardenas (Microsoft), Allen Kim (Microsoft), Anne Ewing (Microsoft), Dean Kain (Microsoft), Matthew Smith (Microsoft), Michelle Lancaster (Microsoft), Michelle Patron (Microsoft), Thomas Roca (Microsoft), Sam Fankhauser (LSE, Grantham Research Institute), Dimitri Zenghelis (LSE, Grantham Research Institute and Cambridge University, Bennett Institute), Juan Miguel de Joya (REDD Capital)

Main contacts



Celine Herweijer

Global Innovation & Sustainability Leader, Partner, PwC UK

E: celine.herweijer@pwc.com
Twitter: @CHerweijer



Lucas Joppa

Chief Environmental Officer, Microsoft

E: lujoppa@microsoft.com
Twitter: @lucasjoppa

巻末注

- 1 国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) パリ協定、2015年。 https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.
- 2 OECD国際成人力調査 (PIAAC) データベースをもとに開発。
- 3 各地域・セクターで環境に適用されているAIの事例150以上を収めたPwC開発のデータベース。
- 4 北米、中南米、欧州、中東・北アフリカ、サハラ以南のアフリカ、東アジア、インド太平洋。
- 5 分析対象の4セクター以外でのAIの適用は経済全体にさらなる効果をもたらす可能性があるが、それが全世界のGHG排出量に及ぼす影響は（プラス、マイナスにかかわらず）評価しなかった。このレポートで検討している環境のためのAI用途は、基準となる経済成長や炭素集約度の変化に既に反映されている可能性があるが、たとえそうだとしても、私たちの調査結果に（絶対値の面でも比率の面でも）重大な影響を与えるとは思われない。
- 6 私たちは一般均衡モデルを用いて分析を行った。つまり、4セクターにおけるAIの環境への適用の影響を、単独ではなく経済全体の需給変化を考慮して分析した。私たちのモデルでは、直接影響を受けないであろう地域やセクターの経済成長を考慮に入れている。例えば、電力セクターの効率向上により電気のコストが下がれば、エネルギー需要が増加し、プラスの環境効果を一部相殺するかもしれない。
- 7 私たちはAI用途を「さまざまなAIユースケースを組み合わせ、統合して特定の影響を及ぼそうとする適用方法」と定義した。例えば「需要予測および物流計画」という用途は、コンピュータービジョンとモノのインターネット (IoT) (輸送品や在庫スペースを分析)、機械学習 (購買のパターンを特定)、処方的アナリティクスを組み合わせ、廃棄物を減らし、売り上げを最大化する。
- 8 これらの国の2030年の排出量予測は、Climate Action Trackerの2018年国別評価に基づいている。これは現状の政策予測をもとにしたもので、土地利用、土地利用変化および林業 (LULUCF) は除く。 <http://climateactiontracker.org>.
- 9 これらの成果は「環境のためのAI——その実現」で定める「拡大」シナリオに関連づけられる。
- 10 世界気象機関によると、完新世の基準値が280ppmだったのに対し、現在のCO₂濃度は403ppmを超えている。 <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhousegas-concentrations-surge-new-record>
- 11 IPCC, Special Report on Global Warming of 1.5 Degrees, 2018, <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- 12 WWF, Living Planet Report 2018, 2018, https://www.panda.org/knowledge_hub/all_publications/living_planet_report_2018/.
- 13 Zemp, D. C., et al., 'Deforestation effects on Amazon forest resilience', Geophysical Research Letters, June 2017, available at <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017GL072955/abstract>
- 14 International Institute for Applied Systems Analysis, Stockholm Resilience Centre and Stockholm University, Global Commons in the Anthropocene: World Development on a Stable and Resilient Planet, October 2016, <https://www.iucn.org/sites/dev/files/globalcommonsanthropocene2016.pdf>
- 15 Arc Centre of Excellence for Coral Reef Studies, James Cook University, Scientists assess bleaching damage on Great Barrier Reef [Media Release], 26 October 2016, <https://www.coralcoe.org.au/mediareleases/scientists-assess-bleaching-damage-on-great-barrier-reef>.
- 16 Zielinski, Sarah, "Ocean Dead Zones Are Getting Worse Globally Due to Climate Change", Smithsonian.com, 10 November 2014, available at <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/ocean-deadzones-are-getting-worse-globally-due-climate-change-180953282>
- 17 UNEP (2016) Options for decoupling economic growth from water use and water pollution, <https://www.unenvironment.org/resources/report/options-decoupling-economic-growth-water-use-and-water-pollution-report-water>
- 18 Energy Transitions Commission, Mission Possible, 2018, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf
- 19 World Economic Forum, PwC, and Stanford Woods Institute for the Environment, Harnessing the Fourth Industrial Revolution for the Earth, 2017, http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_the_4IR_for_the_Earth.pdf
- 20 IPCC, AR5 WG3 2014, 2014, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- 21 Sizing the prize, PwC <https://www.pwc.com/gx/en/issues/data-and-analytics/publications/artificial-intelligence-study.html>
- 22 別段に明記しない限り、このレポートのグラフや図は「拡大」シナリオにおける結果を反映している。「漸進」「拡大」シナリオの詳細な結果は、Power BIツールで検討できる。 <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2019/04/15/were-increasing-our-carbon-fee-as-we-double-down-on-sustainability/>
- 23 現状のまま (BAU) シナリオは、既に実施されている、法制化されている、または導入予定である緩和策以上の対策・政策が講じられないとの前提に立っている。詳しくは、Box 3「結果解釈上の指針」を参照。
- 24 <https://www.pwc.com/gx/en/issues/economy/the-world-in-2050.html> (2019年4月11日アクセス)
- 25 IPCCのRCP6.0シナリオを参考にしている。以下を参照。 http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html (最新ダウンロードは2019年8月4日)
- 26 <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/> (accessed 11 Apr 2019)
- 27 このレポートの経済的な数字は全て2017年の価格や市場為替レートで表示している。

巻末注

- 28 Sizing the Prize – What’s the real value of AI to your business and how can you capitalise? – Rao and Verweij – PwC, 2017 <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
- 29 予測される基準値は、Climate Action Tracker: Global emissions time series ‘Current Policy Projections’ (全世界排出量の時系列データ「現行政策予測」)に基づいている。以下を参照。 <https://climateactiontracker.org/>
- 30 GHG集約度とは、生産単位当たりのGHG排出量または化石燃料の単位当たりのGHG排出量をいう。
- 31 The Low Carbon Economy Index 2018 – Tracking the progress G20 countries have made to decarbonize their economies (PwC, 2018) <https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/low-carbon-economy-index-2018-final.pdf>
- 32 Kompas, T., Pham, V. H., & Che, T. N. (2018). The effects of climate change on GDP by country and the global economic gains from complying with the Paris Climate Accord. *Earth’s Future*, 6(8), 1153-1173.
- 33 AIによる脱炭素化は、森林破壊に対するAIの影響を含む(「もっと幅広い影響、さらに検討すべき分野」の項目を参照)。1.5°C範囲と2°C範囲は、BAUシナリオのGDPに基づいている。
- 34 各地域に属する国・地域の詳細は「付録」を参照。
- 35 テクノロジーの長期トレンドを示す重要指標であるAI特許申請に関して、中国は現在、米国に次ぐ第2位。出典: ‘The Global Race for Artificial Intelligence – Comparison of Patenting Trends’, Wilson Center, 1 March 2017 (<https://www.wilsoncenter.org/blog-post/theglobal-race-for-artificial-intelligence-comparison-patenting-trends>)
- 36 Kompas et al. (2018) The Effects of Climate Change on GDP by Country and the Global Economic Gains From Complying With the Paris Climate Accordが発表したモデリング結果に基づくPwCの計算。
- 37 US Energy Information Administration, “US Energy Facts Explained” – https://www.eia.gov/energyexplained/?page=us_energy_home
- 38 「工業」を構成するのは、製造、鉱業、建設、エネルギー、水などのセクター。
- 39 World Development Indicators: Structure of Output 2017 – Table 4.2 (World Bank)
- 40 http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- 41 P Agarwal and M A Alam 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 150 012032
- 42 <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/ai-for-the-earth-jan-2018.pdf>
- 43 Will robots really steal our jobs? An international analysis – Berriman and Hawksworth – PwC, 2018 <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/international-impact-of-automation-feb-2018.pdf>
- 44 What will be the net impact of AI and related technologies on jobs in the UK? – Hawksworth and Fertig – PwC, 2018 <https://www.pwc.co.uk/economic-services/ukeo/ukeo-july18-net-impact-ai-uk-jobs.pdf>
- 45 What will be the net impact of AI and related technologies on jobs in China? – Hawksworth and Fertig – PwC, 2018 <https://www.pwc.com/gx/en/issues/artificial-intelligence/impact-of-ai-on-jobs-in-china.pdf>
- 46 World Health Organization, available at <https://www.who.int/airpollution/en/>
- 47 Group on Earth Observations, Earth Observation Priorities: Air Quality and Health Final Report, 2010, available at https://sbageotask.larc.nasa.gov/AirQuality_US0901a-FINAL.pdf
- 48 Nellemann, C., INTERPOL Environmental Crime Programme (eds). 2012. Green Carbon, Black Trade: Illegal Logging, Tax Fraud and Laundering in the World’s Tropical Forests. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRIDArendal. www.grida.no. Available at <https://twosidesna.org/wp-content/uploads/sites/16/2018/05/The-vast-majority-of-deforestation-and-illegal-logging-takes-place-in-the-tropical-forests-of-the-Amazon-basin-Central-Africa-and-Southeast-Asia.pdf>
- 49 United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR)
- 50 Based on historical baseline data from EM-DAT: The Emergency Events Database – Université catholique de Louvain (UCL) – CRED, D. Guha-Sapir – www.emdat.be, Brussels, Belgium
- 51 Gardiner B. et al. (eds). Living With Storm Damage to Forests. What Science Can Tell Us. 3. European Forest Institute, ISBN: 978-952-5980-09-7 (2013).
- 52 IPCC, AR5 WG3 2014, 2014, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- 53 Energy Transitions Commission, Mission Possible, 2018, http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf
- 54 <https://stepupdeclaration.org/thecoalition>
- 55 The Global Innovation Index is annually co-published by Cornell University’s SC Johnson School of Business, INSEAD and World Intellectual Property Organization (WIPO). Strategy&, part of the PwC network, is a knowledge partner. It can be accessed via this link: <https://www.globalinnovationindex.org/>.

Notes

Notes

日本のお問い合わせ先

PwC Japanグループ
www.pwc.com/jp/ja/contact.html



坂野 俊哉

PwC Japanグループ
サステナビリティ・センター・オブ・エクセレンス
エグゼクティブ・リード
PwCコンサルティング合同会社
Strategy&
シニア・エグゼクティブ・アドバイザー

三治 信一郎

PwCコンサルティング合同会社
パートナー
Technology Laboratory (テクノロジーラボラトリー)
所長

磯貝 友紀

PwC Japanグループ
サステナビリティ・センター・オブ・エクセレンス
テクニカル・リード
PwCあらた有限責任監査法人
サステナビリティサービス
パートナー

PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwCあらた有限責任監査法人、PwC京都監査法人、PwCコンサルティング合同会社、PwCアドバイザリー合同会社、PwC税理士法人、PwC弁護士法人を含む）の総称です。各法人は独立した別法人として事業を行っています。

複雑化・多様化する企業の経営課題に対し、PwC Japanグループでは、監査およびアシュアランス、コンサルティング、ディールアドバイザリー、税務、そして法務における卓越した専門性を結集し、それらを有機的に協働させる体制を整えています。また、公認会計士、税理士、弁護士、その他専門スタッフ約9,000人を擁するプロフェッショナル・サービス・ネットワークとして、クライアントニーズにより的確に対応したサービスの提供に努めています。

PwCは、社会における信頼を構築し、重要な課題を解決することをPurpose（存在意義）としています。私たちは、世界155カ国に及ぶグローバルネットワークに284,000人以上のスタッフを擁し、高品質な監査、税務、アドバイザリーサービスを提供しています。詳細は www.pwc.com をご覧ください。

This report has been prepared for Microsoft Corporation (“Microsoft”) by PricewaterhouseCoopers LLP (“PwC”), and solely for the purpose and on the terms agreed between Microsoft and PwC. Microsoft and PwC accept no duty of care to any person for the preparation of the report. Accordingly, regardless of the form of action, whether in contract, tort or otherwise, and to the extent permitted by applicable law, Microsoft and PwC accept no liability of any kind and disclaim all responsibility for the consequences of any person acting or refraining to act in reliance on the report or for any decisions made or not made which are based upon such report. This report is not intended to form the basis of any investment decisions.

In this document, “PwC” refers to the UK member firm, and may sometimes refer to the PwC network. Each member firm is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

© Microsoft Corporation

本報告書は、『How AI can enable a Sustainable Future』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

電子版はこちらからダウンロードできます。 www.pwc.com/jp/ja/knowledge/thoughtleadership.html

日本語版発刊年月：2021年7月 管理番号：I202009-01

©2021 PwC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.