E-PAPER

人工知能と気候変動

AIを気候変動対策目標に適合させるための機会、検討事項、そして政策手段

Lynn H. Kaack, Priya L. Donti,
Emma Strubell, David Rolnick

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
HONG KONG
Asia | Global Dialogue

著者紹介

Lynn H. Kaack　スイス連邦工科大学チューリッヒ校エネルギー政治学グループの博士研究員兼講師、Climate Change AI理事、Austrian Council on Robotics and Artificial Intelligenceメンバー。統計学や機械学習の手法を用いて、エネルギー産業全般における気候変動緩和政策を研究している。カーネギーメロン大学博士課程修了（工学・公共政策）、同修士課程修了（機械学習）。

Priya L. Donti　カーネギーメロン大学院博士課程学生（コンピュータ科学・公共政策）、Climate Change AI理事、米国エネルギー省コンピュータ科学大学院フェロー（Graduate Fellow）。機械学習、電力システム、そして気候変動緩和をまたぐ領域横断型の研究を行っている。特に機械学習モデルにおける領域固有の知識（domain knowledge、電力システム物理学など）の組み込み方を主な研究課題としている。

Emma Strubell　カーネギーメロン大学言語技術研究所助教授。自然言語理解と機械学習をまたぐ領域横断型の「グリーンAI」研究は、主要学会で最優秀論文賞を受賞し、ニューヨーク・タイムズやウォール・ストリート・ジャーナルなどのニュースメディアにおいても引用されている。

David Rolnick　マギル大学コンピュータ科学部助教授、Mila Quebec AI研究所助教授、Climate Change AI理事、Sustainability in the Digital Age共同科学ディレクター。過去にはNSF数理科学博士研究フェロー、NSF大学院研究フェロー（Graduate Research Fellow）、フルブライト奨学生など。マサチューセッツ工科大学（MIT）博士課程修了（応用数学）。

目次

序文 **4**
概要 **5**
1. AIとは何か **5**
2. 人工知能と気候変動 **6**
気候変動に対する緩和と適応に役立つAI利用方法 6
GHG排出量の増加や不確実な影響をもたらし得るAI利用方法 10
AIによるエネルギー使用量 11
3. 政策手段 **11**
4. 政策に関連する検討事項 **12**
5. 結論 **13**
推奨文献 **14**
参考文献 **15**

序文

持続可能な経済変革のためのデジタル技術の活用は、ヨーロッパやドイツの政策立案の場において重要なテーマとなってきている。

近年における機械学習の飛躍的な進歩によって、人工知能（artificial intelligence、AI）は国連の持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals、SDGs）の達成に寄与できるものとして期待が高まっている。他方で、用途や実装方法によっては、AIそのものやAI主導の関連技術は世界の資源消費量や温室効果ガス（greenhouse gas、GHG）排出量を増加させるのではないかという懸念も存在する。

実際の成果の決定には様々な要素が絡んでくるだろう。例えば、人工衛星画像解析のための遠隔測定（リモートセンシング）アルゴリズムは、農業の生産性に関する情報の収集や建物のエネルギー消費量の予測に使えるが、石油や天然ガスの探査の拡大にも使われ得る。あるいは、自動運転車は運転の効率向上を可能にする一方で、車両運転の量を増やしてしまう可能性もある。

本報告書の著者たちは機械学習や関連政策の専門家であり、北米や欧州のトップ研究機関に在籍している。そして気候を改善するような機械学習技術の用途の特定と推進に尽力する一方で、地球にとって有害になり得る用途に対しては警鐘を鳴らしてもいる。本報告書は、気候モデリング、電池開発、電力ネットワーク、そして食料安全保障を始めとする様々な分野においてAIの実装から期待できる有益な効果を概観しつつ、同時に気候変動問題の解決に向けての努力を阻んでしまうようなAIの使われ方についても論じている。

著者たちは、地球にふりかかる様々な問題に対する万能薬として科学技術を奨励しようという論調を明確に避けており、人工知能がより持続可能な未来の実現に向けて担う役割は結局のところ人間による判断が決めるのだという点を強調している。AIが資源消費量とGHG排出量を（増加ではなく）削減できるかどうかは、効果的な政策、規制の枠組み、そして動機構造（インセンティブ）にかかっている。

著者たち（Priya Donti、Lynn Kaack、David Rolnick、そしてEmma Strubell）は各々の分野の動向に関する最新情報を共有し、かかる諸技術が地球環境や人間社会に対して持ち得る様々な影響を評価するための方法を提案してくれた。ここに深く感謝したい。本報告書が既存の諸政策を評価するためのベースラインの共有につながり、将来的な政策をめぐる議論をより豊かにするための出発点として役立てば幸いである。

Vérane Meyer
ベル財団ベルリン支局
デジタル政策部長

Zora Siebert
ベル財団ブリュッセルEU支局、
EU政策プログラム部長

Sabine Muscat
ベル財団ワシントンDC支局、
科学技術・デジタル政策プログラムディレクター

概要

人工知能（AI）技術は社会全体で近年広く実装されてきている。AIは気候変動対策を推進するものなのか、はたまた妨害してしまうものなのか。また諸々のステークホルダーたちはこうした発展の方向性をどう形作ってゆけばよいのか。このような問題を考察する重要性も高まってきている。一方では、AIは気候変動に対する緩和・適応戦略を、エネルギー産業、製造業、農業、林業、そして防災部門などの各部門において後押しすることができる。他方でAIは、GHGを大量に排出する諸部門を潤し、消費者需要を高めるだけでなく、AIそのものに伴うエネルギー消費によってもGHG排出量の増加に貢献してしまう可能性がある。本論ではAIと気候変動の間の多面的な関係を概観し、AIを気候変動に対する緩和と適応にそぐう形で活用していくための政策手段をいくつか提案する。

1 . AIとは何か

人工知能（AI）とは、コンピュータが複雑な作業を実行できるようにするためのアルゴリズム一般のことである。近年、AIの一分野である機械学習（Machine Learning、ML）の開発が進んでいる。MLとは、データから自動的にパターンを抽出する技術一般のことである。AIにおいて特に大きな成功をおさめている分野としては、コンピュータビジョン（画像の内容の解釈）、自然言語処理（単語やテクストの構文解析＜パーシング＞）、時系列分析（予測など）、そして制御（複雑なシステムの操作）などが挙げられる。現在、このような機能に対応した数多くのAIツールが市販されている。AI研究における最先端の分野には、解釈可能性（予測の正しさの説明）、不確実性の定量化（予測の信頼レベルの調整）、そして少数ショット学習（少量のデータからの洞察の抽出）などが含まれる。

現代においてAIに基づく手法は、医師向けの医療画像のラベル付けサポート、自動運転車による障害物の検知、そして広告業における消費パターンの予測などを含む様々な用途に応用されている。工学や科学における他の基礎ツールと同じように、AIもまた様々な分野における進歩の加速と可能性の開拓に応用され得る。

2. 人工知能と気候変動

AIとMLの応用範囲は広く、その影響力は利用方法の社会的決定によって大きく左右される。このため、気候変動の重要性も相まって、AIが気候変動対策の進歩に及ぼし得る影響を評価する必要性がここに生じる。

気候変動に対する緩和と適応に役立つAI利用方法

AIは、気候変動に対する緩和と適応に関する研究、工学（エンジニアリング）、そして政策の各文脈で役立つ手法を提供することで、気候変動対策として応用され得る。本節ではAIの包括的な利用方法をいくつか紹介し、各分野につき一つの具体例を深く掘り下げて考察する。

- **情報収集**　政策に関する情報が入手できない場面では、AIが大量の未処理データ（地理空間画像、テクスト文書、またはセンサーデータなど）を分析することで一部の情報の推定の一助となり得る。例えば、AIを衛星画像に応用することで、GHGの排出源の特定、建物の効率性に関する情報の収集、そして森林破壊の記録と追跡がより優れた仕方で行われ得る。

具体例：食料安全保障の向上のためのAIの活用

気候変動はより頻繁かつ極端な暴風雨、干ばつ、そして洪水の発生、また病気や害虫の蔓延といった影響をとおして、農業へも大きな打撃を与えている。高解像度の衛星画像や航空画像の普及のおかげで、農作物の状態や収穫量の大規模なモニタリングや、危機を未然に防ぐための早期警報システムの実装が可能になった。AIを活用しこのようなプロセスを自動化することで、解析対象となる画像数を大幅に増やし、人間が見落とすような細かい特徴の検知もできるようになった。例えば、AIのおかげで専門家は、数枚の画像で作物の被覆にラベル付けをした後、その結果を広範囲な面積へと自動的に一般化するようにアルゴリズムを訓練することができる。この分野への主な参入者には各種政府プログラム（NASA Harvest[1]やCopernicus Land Monitoring[2] Service など）、NGO（GEOGLAM[3]など）、そして多くの民間企業（Indigo Atlas Insights[4] など）が含まれる。

1. NASA Harvest: https://nasaharvest.org/
2. Copernicus Land Monitoring Service: https://www.copernicus.eu/en/services/land
3. GEOGLAM: http://earthobservations.org/geoglam.php
4. Indigo Atlas Insights: https://www.indigoag.com/atlas-insight

- **予測**　過去データを対象にパターン分析を行うことで、AIは風力発電量、交通需要、そして極端気候現象などの量の予測にも役立つ。こうした予測からは、電力システムの最適化、インフラ計画、そして災害管理などの文脈で必要とされる将来展望が得られる。

具体例：太陽光発電のナウキャスティング

電力システム技師たちは、多量の太陽光電力や風力を扱う送電網を管理する上で、発電量の短期予測（あるいは「ナウキャスト」）に頼る場面が増えてきている。過去データを用いることで、AIは発電量と局所的な天候などの諸要因との相関関係を明らかにし、ここから得られた知見をベースに将来発電量を予測するための一助になる。例えば、数時間先の太陽光発電量をより正確に予測するために、非営利団体Open Climate Fix[5]は衛星画像から雲量を特定し、それを他の気象データや地域データと組み合わせるナウキャスティング・モデルをオープンソースで開発している。もう一つの例として、米国エネルギー省と国立大気研究センターは、最大72時間先までの確率的かつマルチタイムスケールな太陽光予測システムの共同開発を指揮した（Haupt et al., 2016）。

- **運転効率の向上**　既存のシステムの最適化方法を改善することによって、AIは実装済みの各種システムの効率向上にも役立つ。具体例として、工業用冷暖房システムの管理、貨物輸送の集約化、そして食品産業における廃棄物の削減などが挙げられる。

具体例：暖房・換気・冷房（Heating, Ventilation, and Cooling、HVAC）システムの制御

暖房・換気・冷房（HVAC）システムは、建物のエネルギー消費総量の半分以上を占めている。既存のHVACシステムには、実際の建物の熱力学、使用パターン、そして機器の制約などの文脈において大きな改善の余地がある。AIに基づく制御戦略は、HVACシステムの効率向上を目的とした運転方法の改善に役立つ。例えば、強化学習[6]（Wand & Hong, 2020）やAIとモデル予測的制御の組み合わせ[7]（Drgoňa et al., 2020; Drgoňa et al., 2018）などの技術は、商業ビルや住宅において最適なHVAC制御戦略を特定するために活用されている。また、AI主導の制御戦略は産業活動の文脈においても実装され得る。例えば、イギリスのAI企業DeepMindは、GoogleのデータセンターのHVACのためにこうしたアプローチを開発し、効率を大幅に向上させた（Gamble & Gao, 2018）。

5.　Open Climate Fix: https://openclimatefix.org/

6.　強化学習とは、機械学習の一分野であり、周辺環境と関わりあうことによって、アルゴリズムが望ましい結果の実現確率を最大化するための戦略を学ぶ手法を指す。

7.　モデル予測的制御とは、あるプロセスの将来的な状態を考慮に入れつつ、かかるプロセスを制御するための方法であり、各種産業で広く応用されている。

- **予知保全（予測的メンテナンス）**　故障の早期発見によって、AIはインフラの安全性向上、コスト削減、そしてシステムのエネルギー効率の向上に役立つ。例えば、天然ガスパイプラインの漏れや太陽光パネルの出力の異常の検知、そしてインフラや産業機器の故障の予測にもAIが活用されている。

具体例：鉄道システムのメンテナンス

鉄道システムは旅客輸送や貨物輸送の脱炭素化に重要な役割を果たしている。高炭素輸送手段に対する鉄道システムの競争力を高めるためには多様なアプローチが必要とされるが、予知保全技術は効率向上や高額修理の必要性の引き下げなどによってこれに貢献できる。大規模センサーデータの分析によって、AIは現在や将来の異常を検出し、予知保全システムに情報を提供することができる。例えば、ドイツ鉄道（Deutsche Bahn）[8]は、音響センサーや映像機器からのデータをAIで解析して機械の故障の予測や鉄道機器の状態の把握をするための技術を開発している。他にも、振動データやビデオ映像の大規模な分析を線路の特徴に関する事前情報と組み合わせることで、鉄道のメンテナンスに関する決定の補助を目指した事業も存在する（Jamshidi et al., 2018）。

- **科学実験の加速**　過去の実験に基づく学習から将来的に成功する可能性が高い実験を提案するといった形で、AIは科学における新発見までのプロセスの加速にも役立つ。このため、AIは各種電池や次世代太陽電池などのクリーン技術の開発の加速にも役立ち得る。

8. Deutsche Bahn: https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization/technology/New-Technology/artificial _ intelligence-3520346

具体例：蓄電技術の研究開発

蓄電池は運送業や電力産業における脱炭素戦略の要として認知されているが、現段階ではまだ技術面で大幅な性能向上やコスト削減が求められている（Beuse et al., 2020）。電池産業における研究開発ではAIがうまく活用され始めている。例えば、電池の容量劣化の評価という、現段階では理解が進んでいない問題に対して、AIを使ったデータ分析は研究に役立ち得る（Severson et al., 2019）。電池の新しい材料の発見を加速させる上でも、例えば次に試すべき材料候補を挙げるために大規模な材料データベースを分析するといった形で、AIが役に立つ可能性もある（Jain et al., 2013）。電池産業では、このようなAI主導のアプローチが実装され始めている[9]。

- **時間のかかるシミュレーションの近似**　AIは、気候物理学や工学システムで用いられるような計算量の多いシミュレーションの速度を上げるためにも活用できる。例えば、気候モデルや電力システム最適化モデルの一部を近似する上でもAIが役立ち得る。また既存のAIの使用例としては、リアルタイム意思決定を補助するための都市計画ツールの動作の加速が挙げられる。

具体例：局地的な気候モデル

気候科学では、気候の変化に関わる諸要因（大気や海洋の物理など）がとても正確に把握されているが、物理学ベースの気候モデルの実行にはかなりの時間と計算量がかかり、シミュレーションによっては巨大なスーパーコンピュータが必要となる場合もある。物理学ベースのモデルがAIによって置き換えられることはないものの、モデル内でも特に時間のかかる部分に関してはAIがより高速な近似を提供してくれる場合もある。例えば、より正確なモデルの予測を観察することによって、AIは（気候シミュレーションにおいて重要な役割を担う）雲の物理の大まかなモデルを学習することができ、気候モデル全体の実行効率の向上に貢献できる。ここからさらに、例えばある特定の地域における気候の変化の詳細な予測という、完全な物理シミュレーションでは膨大な時間を要するような予測も可能になる。おかげで（極端気候現象に耐性のあるインフラ計画などの）地域レベルでの意思決定がより優れた情報に基づいて行われる可能性もあり、また精密な気候モデルに必要なスーパーコンピュータの稼動にかかるエネルギーの節約も可能になる。気候科学では、計算処理パイプラインにAIが組み込まれる場面が増えてきている（一例としてReichstein et al., 2019やAI2ESイニシアチブ[10]などを参照されたい）。

9.　例えばAionics、Accure、そしてTwaiceなどの参入者がいる。

10.　NSF AI Institute for Research on Trustworthy AI in Weather, Climate, and Coastal Oceanography (AI2ES): https://www.ai2es.org/

GHG排出量の増加や不確実な影響をもたらし得るAI利用方法

AIは幅広い応用可能性をもっており、そのため気候変動に対する緩和・適応戦略にマイナスの影響を与えるような使われ方が推進されてしまう恐れもある。例えば、AIは石油や天然ガスの探査と採取を促進するために広く応用されている。また、自動運転車はAIに深く依拠しているが、ここでも導入時の条件によっては運送業におけるGHG排出量を増加させてしまう可能性がある。さらに、マーケティング業や製造業におけるAI主導の革新も、物品やサービスの消費量を増大させ、これに伴うGHG排出量を増加させてしまう恐れがある。このようなAI利用方法が気候に与える影響に関してはまだ研究が進んでいないが、潜在的な影響はとても大きいと予想される。

具体例：石油や天然ガスの探査と採取

AIは化石燃料産業において広く活用されている。例えば、最近のある報告書では、石油・天然ガス会社による採取地の特定とモデル化、化石燃料の運搬・貯蔵能力を拡大するためのパイプラインの最適化、精製プロセスの改善、そして化石燃料由来製品の販売促進などを後押しする目的での、大手ハイテク企業による様々なAI利用方法が詳述されている（Greenpeace, 2020）。また、AIやその他のデジタル技術は石油・天然ガス産業において2025年までに4250億ドルもの価値を生み出す可能性があると試算した報告書も存在する（Spelman et al., 2017）。これはGHG排出量の増加に対して直接的な影響を与えるだけでなく、化石燃料技術の競争力を強化することによって低炭素技術への移行を遅らせてしまう恐れもある（Victor, 2019）。

具体例：自動運転車

AIは自動運転車（AV）技術の重要な要素であり、自動運転の乗用車、トラック、配送用ロボット、そしてドローンなどの開発を可能にしている。自動運転車は旅客輸送や貨物輸送を根本的に変え、車両設計、交通の流れ、そして輸送需要に影響を与える可能性がある。また、自動運転車には（隊列走行＜プラトーニング＞[11]、エコ運転、そして自動運転車と低炭素輸送の統合などによって）運転時に消費されるエネルギーを削減する可能性がある一方で、個人単位の交通手段の利用障壁を下げ、走行距離を増やし、鉄道などの低炭素な選択肢から旅客や貨物を離してしまうことによって、エネルギー消費量の増加につながってしまう恐れもある（Wadud et al., 2016）。

11. 隊列走行（プラトーニング）とは、トラックが互いに接近して走行することを指す。AI技術によって促進される走行方法であり、空気抵抗の削減によって燃費向上につながる。

AIによるエネルギー使用量

AIアルゴリズムの実行にはエネルギーが直接的に使用される。使用量はアルゴリズムごとに大きく異なる。広く普及しているAIシステムのほとんどは電力消費量がとても少なく、標準的なノートパソコンやスマートフォンで動作可能である。主に研究という限定的な目的で使用される一部のシステムは大量のエネルギーを使用し、最大規模のモデルの推定炭素排出量にいたっては、自動車のライフサイクル全体のGHG排出量に比肩する（Strubell et al., 2019）。AIの総電力消費量に関する数値は存在しないが、国際エネルギー機関（IEA）の報告によると、既存のデータセンターは世界の総電力量の約1%を消費しており（IEA, 2019）、このうちAIは限られた一部分を占めているにすぎない。また、電力使用量に加え、実用されているハードウェアの内包GHG排出量（embedded emissions）を考慮に入れることも重要だろう。単一のAIモデルのエネルギー消費量の測定は、AI主導の応用技術の気候への影響の推定に比べれば比較的容易だが、後者の方がGHG排出量への影響が（プラスとマイナスの両面において）前者よりもはるかに大きくなることが予想される。引き続きこの分野の動向を注視していく必要がある。

3. 政策手段

AIの利用方法を気候変動に対する緩和と適応の進行にそぐうものにしていくために、政策立案者は主に次の3つの分野において行動を起こす必要がある。第一に、気候変動対策を明確な主目的とするAI応用方法の研究、開発、そして実装。第二に、経済の各部門における既存または新規のAI主導の技術がもつ影響に対する規制。そして第三に、AIと気候変動の共通分野における規制や革新をするための公共部門の能力の強化である。以下では、上記の3つの分野における政策手段をいくつか提案する。総じて、気候変動とAIにおける政策立案は適切な動機構造（インセンティブ）や進歩を実現していく上で欠かせないものであるという点を強調していく。

気候変動対策として有効なAIの研究と実装

- コンピュータ科学と気候関連諸分野（工学、経済学、都市計画など）の境界線をまたぐ学際的研究や応用研究を促進する。

- 研究開発実証（RD&D）プログラムを通じて、気候変動に対する緩和と適応のためのAI応用方法の技術的な準備を進めるための方策をつくる。

- 気候変動に対する緩和と適応に関する各部門や産業（電力産業など）におけるAI技術の導入を阻むような規制障壁を下げていく。

気候変動対策として有効なAIの研究と実装

- AI主導の新規技術（自動運転車や共有経済＜シェアリング・エコノミー＞への応用など）に対する規制において、気候への影響を考慮に入れ、かかる技術を気候変動に対する緩和と適応の進行にそぐうようにする。

- 各産業における効率向上を目的にAIが応用されるとき、GHG排出量の削減やリバウンド効果の防止を実現できるような経済的インセンティブや規制要件（炭素税や炭素排出上限取引＜キャップ・アンド・トレード＞制度など）を設ける。

- 必要に応じて、AIによるGHG排出量やエネルギー消費量への影響を、ライフサイクルを通しての影響や外部性なども含め、透明化して報告するよう義務付ける。

公共部門におけるAIとデータ共有の促進

- 有効な場面において、公共機関の内部における専用のAI実装能力の開発や強化を進める。

- AI技術に携わっている、あるいはAI技術から影響を受ける各ステークホルダー（市民社会、産業界など）からの意見を、関連事業のスコーピング、設計、そして展開の各段階において取り入れるためのプロセスを開発する。

4. 政策に関連する検討事項

AIシステムにはリスクや予期せぬ結果が伴うこともある。例えば、欧州委員会のAIハイレベル専門家グループ（High-Level Expert Group on AI、AIHLEG）は、「信頼に値するAI」が満たすべき要件を7つ定義している（AIHLEG, 2019）。これらの検討事項は、他のAI分野と同様に、気候変動関連のAI応用にも当てはまる。気候変動対策戦略に関しては、特に以下の問題が重要となる。

- **影響評価の基準**　AIの気候への影響に関する入手可能なデータには、根本的な非対称性が含まれている。特に、AIモデルのエネルギー消費量は、推計が比較的容易であるにも関わらず、実際の使用時の影響に関するデータはほとんど存在しない。とはいえ、特にAI産業の急速な発展を考慮に入れると、この分野における政策は、エネルギー使用量と各応用事例における個別の影響の両方の課題に積極的に取り組むべきである。

- **公正性**　公正性は、ガバナンスのレベルを問わず、気候変動に対する緩和・適応戦略において中心的な検討事項である。AI主導のアプローチは、情報格差（デジタルデバイド）の拡大やアルゴリズムのバイアスなどの諸問題を通じて、不公正性の悪化につながる恐れがある。

- **権力構造の変化**　AIの活用は、重要データの管理者が誰になるか、AI主導のデータ分析のための能力や知的資本（intellectual capital）の（不均等な）配分、そしてかかる分析へのアクセスや分析の維持の条件によって、公共機関や民間団体における権力構造を変化させる可能性がある。気候変動対策戦略は多くが公共部門において、また公共機関によって実施されるため、AIの実装を検討している公共機関は、専用のキャパシティ構築のための意思決定を行うにあたって、上記の検討事項を考慮に入れる必要がある。

- **重要インフラ**　エネルギー産業は気候変動緩和において中心的な役割を担っており、同産業の大部分が重要なインフラとして認知されている。重要インフラにおけるAIの応用においては、安全性や安全保障（セキュリティ）に関する検討事項が盛り込まれる必要がある。

5. 結論

今後の数年間におけるAIの活用方法の決定は、気候変動対策目標の達成に向けての社会的進歩に大きな影響を与えるだろう。AIは広範かつ強力な工学ツールであり、気候変動に対する緩和と適応を後押しする用法も妨げる用法も含め、実に多様な応用方法が推進され得る。AIが気候変動対策戦略や社会の現在および将来における健全性（ウェルビーイング）にそぐう仕方で応用されるためには、政策が重要な役割を果たし得る。

推奨文献

気候変動に対する緩和と適応に役立つAI利用方法

- Rolnick, D., Donti, P.L., Kaack, L.H., Kochanski, K. et al., 2019. Tackling climate change with machine learning. arXiv preprint arXiv:1906.05433

- IEA (2017), Digitalisation and Energy, IEA, Paris

- Deutsche Energie-Agentur, 2020. Artificial Intelligence – from Hype to Reality for the Energy Industry

GHG排出量の増加をもたらすAI利用方法

- Costas Samaras, various articles on the climate and energy impacts of autonomous vehicles

- Donaghy, T., Henderson, C., and Jardim, E., 2020, Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction, Greenpeace Reports

AIによるエネルギー使用量

- IEA (2019), Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris

- Strubell, E., Ganesh, A. and McCallum, A., 2019. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243

- Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N.A. and Etzioni, O., 2019. Green AI. arXiv preprint arXiv:1907.10597

政策に関連する検討事項

- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), EU Guidelines for Trustworthy AI (2019)

参考文献

Beuse, M., Steffen, B. and Schmidt, T.S., 2020. Projecting the Competition between Energy-Storage Technologies in the Electricity Sector. Joule, 4(10), pp.2162-2184.

Drgoňa, J., Arroyo, J., Figueroa, I.C., Blum, D., Arendt, K., Kim, D., Ollé, E.P., Oravec, J., Wetter, M., Vrabie, D.L. and Helsen, L., 2020. All you need to know about model predictive control for buildings. Annual Reviews in Control.

Drgoňa, J., Picard, D., Kvasnica, M. and Helsen, L., 2018. Approximate model predictive building control via machine learning. Applied Energy, 218, pp.199-216.

Gamble, C. and Gao, J., 2018. Safety-first AI for autonomous data centre cooling and industrial control. Available at: https://deepmind.com/blog/article/safety-first-ai-autonomous-data-centre-cooling-and-industrial-control

Greenpeace, 2020. Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction. Available at: https://www.greenpeace.org/usa/reports/oil-in-the-cloud

Haupt, S.E., Kosovic, B., Jensen, T., Lee, J., Jimenez, P., Lazo, J., Cowie, J., McCandless, T., Pearson, J., Weiner, G. and Alessandrini, S., 2016. The SunCast solar-power forecasting system: the results of the public-private-academic partnership to advance solar power forecasting. National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder (CO): Research Applications Laboratory, Weather Systems and Assessment Program (US).

High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), EU Guidelines for Trustworthy AI (2019). Available at: https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation/guidelines

IEA (2019), Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris. Available at: https://www.iea.org/commentaries/data-centres-and-energy-from-global-headlines-to-local-headaches

Jamshidi, A., Hajizadeh, S., Su, Z., Naeimi, M., Núnez, A., Dollevoet, R., De Schutter, B. and Li, Z., 2018. A decision support approach for condition-based maintenance of rails based on big data analysis. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 95, pp.185-206.

A. Jain, S.P. Ong, G. Hautier, W. Chen, W.D. Richards, S. Dacek, S. Cholia, D. Gunter, D. Skinner, G. Ceder, K.A. Persson. The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. APL Materials, 2013, 1(1), 011002.

Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J. and Carvalhais, N., 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. Nature, 566(7743), pp.195-204.

Severson, K.A., Attia, P.M., Jin, N. et al. Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. Nat Energy 4, 383–391 (2019).

Spelman, M., Ashraf, M. and Weinelt, B., 2017. Digital Transformation Initiative–Oil and Gas Industry. In World Economic Forum: Geneva.

Strubell, E., Ganesh, A. and McCallum, A., 2019. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243.

Victor, D.G., 2019. How artificial intelligence will affect the future of energy and climate. Available at: https://www.brookings.edu/research/how-artificial-intelligence-will-affect-the-future-of-energy-and-climate

Wadud, Z., MacKenzie, D. and Leiby, P., 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 86, pp.1-18.

Wang, Z. and Hong, T., 2020. Reinforcement learning for building controls: The opportunities and challenges. Applied Energy, 269, p.115036.

発行者情報
人工知能と気候変動
AIを気候変動対策目標に適合させるための機会、検討事項、そして政策手段

出版元　Heinrich-Böll-Stiftung Asia Ltd
Unit E, 22/F, Derrick Industrial Building, 49 Wong Chuk Hang Road, Hong Kong, China.
info@hk.boell.org

編集者　Lucia Siu
訳者　早川健治
レイアウト担当者　橋垣エイブリー

発行元　https://hk.boell.org/
発行月　2021年12月

権利　Creative Commons（CC BY-NC-SA 4.0）
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

本報告書において述べられている意見は著者たちのものであり、Heinrich-Böll-Stiftungの見解またはClimate Change AIの見解を必ずしも反映するものではない。