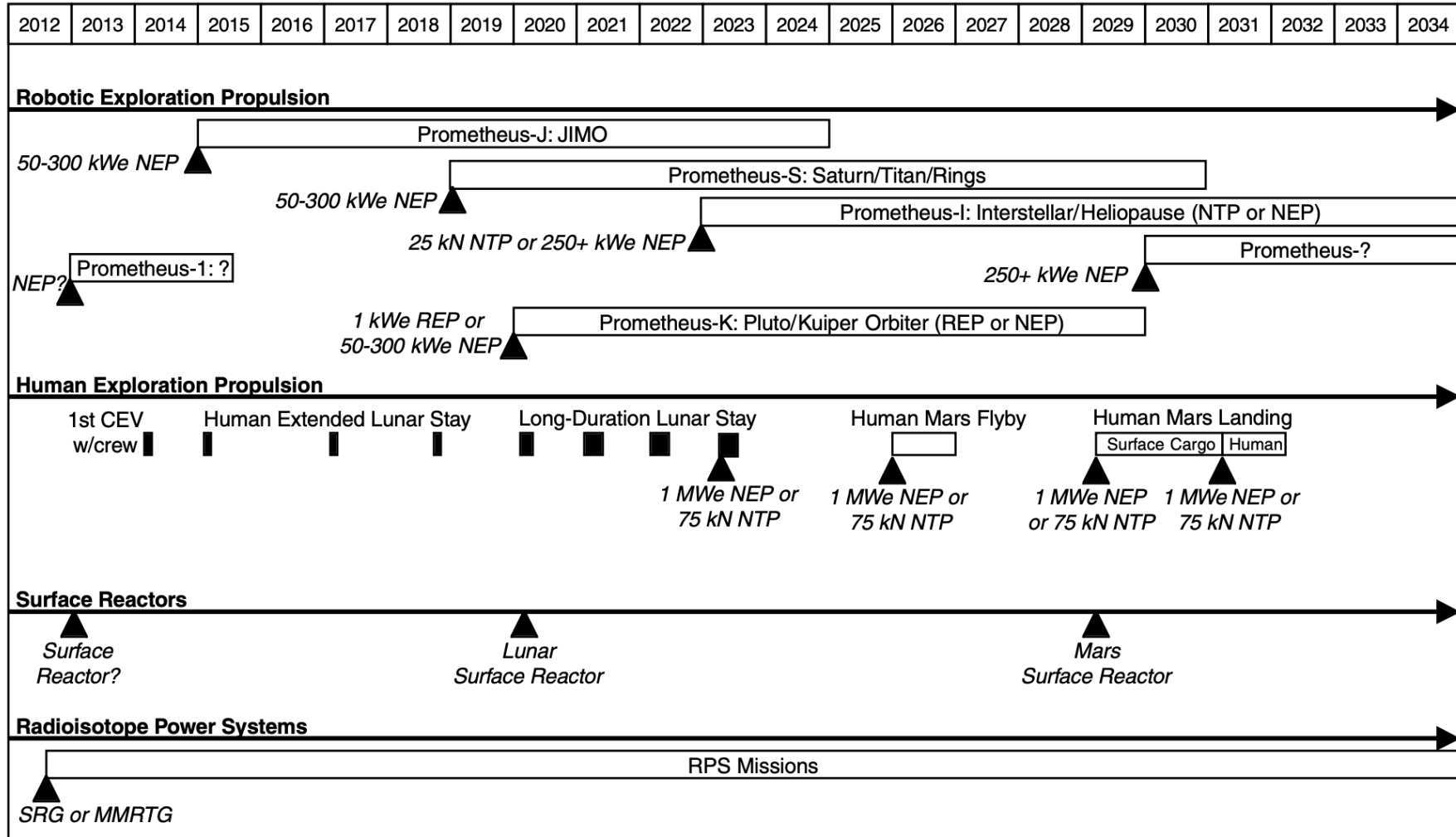


Appendix x: 宇宙探索における推進エンジンの開発展望(2012~2034年)



第7節 AI 技術 (Artificial Intelligence)

AI (人工知能) という言葉は、1956 年にダートマス大学の教授であったジョン・マッカーシーが「人間のように考える機械」を「Artificial Intelligence」と名付けたのが始まりだとされる。以来、AI は 1950 年代後半～1960 年代の第一次ブーム (パズルや簡単なゲームを解く能力)、1980 年代の第二次ブーム (知識をインプットすることで問題解決を図る能力: エキスパートシステム)、そして 2010 年代以降の第三次ブーム (機械学習をする能力: ディープ・ラーニング) と進化を遂げてきた。特に近年のディープ・ラーニングは、コンピューターの性能向上とビッグデータ利用によって、様々なサービス・技術への応用が期待され、実用化を大きく促進させている。

AI 技術はただ高性能な知能を開発するだけでなく、衛星センシングの画像処理やハザードマップに利用される災害予想、医療や介護、あるいは金融など、多方面への応用が可能な技術でもある。そういう意味では軍事だけでなく民生においても活用が期待される分野である。本節では、AI の基本技術に重きを置きつつ、そのような応用技術も念頭に入れてインプリケーションを示したい。

1. Machine Learning

(1) 技術の概要 (分野、注目された経緯、研究開発状況等)

人工知能の歴史は古く、1950 年代には機械を一定の計算式に従って動かす方式が想定されている。計算式はアルゴリズムと呼ばれ、機械を法則性に従って自律的に動かすことを可能にした。機械学習 (machine learning) は 1980 年代に登場した人工知能の一部であり、データの供給を受けて機械自体が学習しながら、事前にプログラムされた作動内容以上の機能を発揮するものをいう。アルゴリズムと統計モデルを活用し、データのパターンを分析し、未確認のデータパターンを予想する機能となる。

機械学習には、管理学習、非管理学習、強化学習の三種類があり、その活用範囲は、将来予測を活用する分野全てに及び、特に健康や医療分野における疾病予想、金融取引における顧客の行動予想など幅広い。今日では IBM のワトソンや OpenAI の ChatGPT などのように、既に一般的に利用されるようになったものも存在する。

(2) 公的・安全保障における利用

機械学習の活用分野として、公共政策分野が知られる。機械学習の特徴として、供給されるデータの量が多ければそれだけ予測能力が上昇するため、Big Data を提供することが可能な政府機関などが機械学習の機能を向上させることが可能になる。機械学習の活用分野は、複雑な相互関係のデザインや、将来予測に基づく政策形成など、広範に及ぶことが知られ、難民予測、災害予測と対応、再犯リスク

予測（仮釈放の決定に影響）などが活用分野として知られるが、将来予測が必要な政策分野において活用が展望される。

機械学習の軍事や国防上の活用可能領域は広い。「戦場の霧」と呼ばれる不確定要素は多いが、敵対勢力の行動予測において機械学習の効用は高い。防衛分野では、兵器システムやサイバーセキュリティなど、将来の活用可能性が指摘されている領域があるが、既の実現しているのは、米陸軍がIBMのワトソンを利用して、ストライカー旅団の兵站の事前予測と集積に利用しているものが知られる。それ以外にも、標的認識（選別）と追跡、あるいは戦場医療など、軍の作戦の多くの分野での活用が想定される。

(3) 民生利用

機械学習の民生上の活用領域は大きい。民生分野で活用が進む領域で代表的なものは、自然言語認識と処理、そして自動運転分野での機械学習の利用である。OpenAI の ChatGPT や Google の Bard などは、会話型 AI として利用機会を拡大してデータを収集している段階であり、欧米では爆発的に利用者の拡大が知られる（日本でも ChatGPT は無料使用期間が設けられた）。このように知られる機械学習の利用に加え、テキスト認識、画像認識、ロボティクスと自律化、交通予測、提案型広告など、日常生活のさまざまな局面で利用が拡大している。

機械学習の実用化は、社会を大きく変革する。ChatGPT の導入にしても、「インターネットに続く」と評されるように、社会に大きな影響を与えている。OSINT（公開情報によるインテリジェンス）は軍事面で使用される用語ではあるが、公開情報の検索については、画像や IP アドレスの検索なども含めたサービスが提供されており、Maltego など複数のプラットフォームが存在する。

(4) 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスクシナリオ

機械学習の発展では、アルゴリズムと共に、Big Data の利用が密接に連動する。アルゴリズムや統計モデルについて、国内で開発者を育成することは可能であると予想されるが、そのような STEMA 人材の発掘と確保は長期的な取り組みを必要とする。ただし、機械学習のプログラムを組む人材が国内で不足する場合は、海外に依存する必要があるが、機械学習の普及に伴う世界的な人材獲得競争の中では、日本の所得水準で確保しうる人材は限定的なる。さらに、確保した人材の安全保障上のリスク管理の問題は深刻である。

民生分野を中心として、機械学習に関する日本の技術水準は低くないと評される。しかし、その軍事適用においては、防衛省自衛隊が独自に機械学習を活用したプログラムを採用しているとの情報はなく、実際に防衛装備庁を含めたアルゴリズムや統計モデルを組むスキルがある内部人材の数は少ない

と推察される。そのような状況で、国際社会で機械学習の活用が進む場合、国外よりプログラムを導入することを余儀なくされることになる。

(5) 日本の文脈におけるリスク分析

機械学習では、隠された因果関係を予想して結論を出すという特性から、予想外の損失を出す可能性がある。また、過去のデータの学習から、人種や民族などに関する、データやアルゴリズム内に潜むバイアスを永続化する可能性が指摘されると共に、過去の行動パターンの延長上に将来を予想するため、新たな現実や変化のプログラムへの反映が遅れるという点も指摘される。もし反映が遅れた場合、間違った判断が固定化されるリスクがある。

COVID-19 の際にも見られたように、日本社会では一種の「科学的」なものに対する信仰があり、データ科学においても、さまざまな要素の変動可能性を社会的に受容することが困難である。そのような社会において、機械学習に対する過剰な信頼が、問題を引き起こすことが予想されている。

2. Deep Learning

(1) 技術の概要（分野、注目された経緯、研究開発状況等）

深層学習は 2010 年代より開発が進んだ、人間の神経系を模した多層（狭義には 4 層以上）の人工ニューラルネットワークによる機械学習手法である。深層学習は機械学習の「サブフィールド」と表記されるが、一つの階層での判断を次の階層での処理に進めるなど、より人間の思考や認識に近い状態での判断を可能にしようとするものである。米国やロシアはその軍事適用の可能性に注目し、米国は 2018 年に統合人工知能センター（JAIC）を設立し、研究を進めている。ただし、深層学習の研究開発は民間企業を中心に進んでいる。

深層学習による情報の処理では、画像認識、顔認証、不正検知、自然言語処理などで人間を上回る結果を出しているとされる。深層学習では、オートエンコーダーなどの研究開発、計算機能力、学習データなどの活用により学習が可能になったものとされる。

(2) 公的利用・安全保障における利用

深層学習の軍事面への適用は、合成開口レーダーによる二次元もしくは三次元のイメージ形成や軍事通信インテリジェンス（SIGINT）などが想定され、それら機器等への高性能計算機との接合により、大量のデータを利用しながら、より正確な分析結果が得られると考えられている。

深層学習のもう一つの適用分野は、意思決定システムの適用とされる。既存の情報収集手段によるデータを、サイバー空間で交信される SNS などに含まれるデータと組み合わせ、テロリストや敵対勢力

の行動予測をより正確にし、意思決定の迅速化が図れるとされる。これは、領域横断作戦を円滑に実施するために必要な技術と考えられている。意思決定の迅速化と情報収集の多元化、さらには相手の行動予測の高速化により、自律兵器がより人道的な決定を下せるものになると考えられており、この兵器の開発にとっては必要不可欠な技術と考えられている。

深層学習の軍事適用では、戦闘管制システムに加え、戦闘シミュレーション、訓練など、戦場の複雑な環境での意思決定に最適な機能を発揮するとされている。しかし、深層学習自体には、人工知能が特定の判断を行った理由の解析が困難であるとの指摘もあり、それが「説明可能な AI」研究が進む契機となった。

(3) 民生利用

深層学習を利用し、分類（管理された学習による、ラベル化されたデータとの近似性の解析）と情報のクラスター化（管理されていない学習による、一致、不一致の判断）などを行い、顧客の関心に焦点を当てた広告や商品提示が可能になる。2010年代の中盤には、バーバリ社が深層学習を利用した販売を行い、売上が50%上昇したことが知られる。また、ディズニー社が、Magi cbandにより顧客の動向を把握し、園内のスタッフの配置などのサービス向上に繋げたことも有名な活用例である。

深層学習に提供するデータの特徴により、民生上はさまざまな可能性が指摘されている。そこには、工場の操業管理（ラインロボットと人間の共同作業の最適化）、品質管理、予防的メンテナンス（部品等の消耗状況の把握と整備時期の判断）など、既に実用化が進んでいるものも多い。今後発展が見込まれる領域として、バーチャル・アシスタント（Amazon Alexa, Siri, Google Assistant など）の能力向上、チャットボット、健康分野、画像の色彩化、イメージ・キャプションなどが指摘されることが多い。

(4) 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスクシナリオ

深層学習の軍事適用は、その初期段階にあるため、将来的には民生分野で発展した商品が軍事分野へと活用される可能性が高い。したがって、民間分野での技術開発の遅れと、その適用の遅れは、軍事面での劣位につながることは間違いない。

深層学習は機械学習と同様に、アルゴリズムと高性能計算機、そしてデータの存在が重要になる。その際、高性能計算機の開発とポータビリティ、その電源の確実性など、ハードウェアの重要性には留意すべきである。それに加え、データの分析による学習能力の向上が重要な意味を持つため、データへのアクセスとその利用の幅を拡大する必要がある。

ただし、各国ごとに利用可能なデータの質と量には大きな差が存在する。このため、深層学習の発展と共に、データガバナンスが重要になると共に、自国が管理する以外のデータ（第三国データと言われる）へのアクセス問題が発生するだろう。

(5) 日本の文脈におけるリスク分析

日本にとって、データガバナンス問題は最重要な課題として取り組む必要がある。日本社会は DX 化が遅れていると指摘されるように、企業や政府が効率的に使用できるデータが少ない。Yahoo や Rakuten など、データ収集を進める企業は多いが、GAFA 等と匹敵するデータ企業は少ない。同時に、日本では政府がマイナンバーの普及に苦勞しているように、国内でデータ化に対する抵抗感が強い。この抵抗感を払拭することが、優先度が高い取り組みになるだろう。

3. Reinforcement Learning

(1) 技術の概要（分野、注目された経緯、研究開発状況等）

強化学習は機械学習の種類の一つで、環境とエージェントの関係において、エージェントが特定の環境（マルコフ決定過程）のもとで行動をとり、それによって得られる報酬を最大化する方策を学習してゆくものである。強化学習は、管理された学習と、管理されていない学習と共に機械学習の一つの形になるが、アルゴリズムとしては Q 学習、Sarsa、モンテカルロ法などを用いる。

強化学習と深層学習は、学習対象のデータのインプットの方法に差がある。近年では、両者を組み合わせた深層強化学習も導入されている。さらに、強化学習においてはマルチエージェントシステムの開発が進んでいる。

(2) 公的利用・安全保障における利用

強化学習は軍事的シミュレーションや、それに関連する兵器選択の分野での活用が検討されていた。そこでは、意思決定者のもとに集まる多数の情報を、どのように処理し、最適な結果に繋げるかが重要なテーマであった。

マルチエージェントな強化学習の必要性は、スウォーム兵器の開発や、ロボットと人間の協働作業において特に認識されている。DEVCOM のシャーマ氏によると、マルチエージェントシステムにおける集中学習においては、情報共有方式が中核的な役割を果たすと主張している。ただし、現状ではマルチエージェントが集中学習の過程で、どのように報酬に関わる情報交換を行い、最適化された方策を選択するのかに関するメカニズムは解明されていない。DEVCOM の論文では、どのように情報交換を行うのかではなく、どのような情報交換を行うかに注目することにより、強化学習のメカニズムの解明に至るのではないかとするものである。

(3) 民生利用

強化学習は、試行錯誤 (Try and Error) の繰り返しで最適解を発見する学習方法なので、民生分野への適用事例は多い。もっとも典型的とされるのが、自律走行の自動車の実験では、強化学習が使用されている例である。それ以外でも、産業用途として、データセンターの冷却 (Google のデータセンターの冷却事例が知られる) によるエネルギー利用の抑制、在庫管理 (最適化された貨物の収納)、自動診療 (患者個人に最適化された薬物選択と投薬方法の解析)、信号管理などがあげられる。

- ① 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスクシナリオ
- ② 日本の文脈におけるリスク分析
- ③ その他 (上記のフォーマットにのらないが特筆すべき点など)

4. Sensory Perception and Recognition

(1) 技術の概要 (分野、注目された経緯、研究開発状況等)

人工知能の応用として、感覚増強装置 (Sensory Augmentation Devices) の開発が注目されている。この装置は機器 (レーザー感覚杖、光学インプラント、磁気ベルト等) を利用して、人間の視覚や感覚では感知・理解し得ない状況を「画像化」するものである。増強装置自体は、単体の機能の向上に使用されている。それらは、嗅覚解析装置、暗視装置、音波画像変換装置などが知られる。

これら単体の感覚増強は、人間の感覚の補強と位置付けられる。たとえば、身体障害者などが喪失した身体機能を、神経信号を利用して感覚補強 (Sensory Substitution Device: SSD) する装置などは、保険医療分野でも活用されている。これら装置は入力認識とそれに合わせた出力を基本とするもので、複数の感覚信号の入力に対する出力には、十分に対応できていない。

当該技術の可能性は、複数の感覚信号の順序に関する定義と、その分析過程における取捨選択のあり方が、重要な意味を持つ。これはインテリジェント感覚増強 (Intelligent Sensory Augmentation: ISA) と呼ばれる。伝統的な感覚増強が、目的を明確にすることでこれらプロセスが機能するのに対し、ISA では音声を含めた感覚信号 (画像や遺伝情報等の相互作用も含む) が入力され結果が出る前に予想し、その機能向上を図るものとされる。

(2) 公的利用・安全保障における利用

インテリジェントな SSD は、非線形な関係の分析も可能なため、軍事的には敵対勢力の軍事行動開始前に、相手側の行動を把握することが可能になる。これは市街地作戦などで、周辺の状況把握や、暴動鎮圧作戦などにおいて効果を持つ。これまでの陸軍の個人装備にも単独の感覚補強や向上した情報

通信装置などは備え付けられてきたが、インテリジェントな SSD では複数の感覚信号の総合的な分析が可能になる。従来の特に情報のオーバーロードと分析機器の活用方法には課題があったが、インテリジェントな SSD ではその課題を克服することが可能になる。

この人工知能の活用により、兵士の訓練期間の大幅な短縮が可能になる。兵士の訓練では、特定の環境における条件（物価的行動など）や、そこで果たすべき作戦活動の特徴などを、事前に教育教育し、動きや判断などを訓練することで、実際の作戦活動において問題が生じないようにしていた。しかし、インテリジェントな SSD では、兵士個人の資質や訓練状況に依存しない要員配置が可能になる。

(3) 民生利用

単体の感覚増強装置は、スマートウォッチを含め、すでに実用化されているものが多い。複数の感覚信号を人工知能で処理することで、身体障害者の社会参加に大きな可能性が出てくるであろう。さらに、コンピューターが人間の感覚や感情を再現することが可能になれば、事前にセットされた目標を忠実に実行するという人工知能の欠点と指摘される部分が補正され、人工知能の民生利用にも大きな利益が生まれる。

5. Next-generation AI

(1) 技術の概要（分野、注目された経緯、研究開発状況等）

次世代の人工知能は、その定義者によって内容が異なる。AI 自体が発展過程にあるため、それぞれの発展の先に次世代の AI が展望される。しかし、2022 年には深層学習のような認識系／識別系 AI に代わり、生成系（Generative）AI が一つの可能性として注目されている。生成系 AI は、GAN、VAE、GPT-3 などが知られ、ここれらを利用したシステムとして、画像生成の Stable Diffusion や Midjourney、テキスト生成の ChatGPT などが知られる。これら AI 技術は 2020 年頃には技術的可能性が指摘されていた。これは 2018 年に DARPA が「AI Next」で指摘したように、ルールに基づく統計モデルから派生コンテキストの説明モデルへの転換の方向性が、次世代の AI の開発のトレンドになっていることを意味する。

次世代の AI への転換を可能にするものとして、計算の高速化の必要性が指摘される。その際、想定されうる計算方法として、クラウド、フォグ、エッジ、サーバーレス、量子などが紹介される。同時に、ルールや統計などを集中的に計算する方式ではなく、データは分散化したシステムのもとで解釈されるため、コミュニケーションの方式が重要な意味を持つようになる。

(2) 公的利用・安全保障における利用

DARPA は 2018 年 9 月に複数年プロジェクトで約 20 億ドルに及ぶ「AI Next」を開始している。これは約 50 のプロジェクトの総称であり、セキュリティ・クリアランスのベッティングなどの自動化、説明可能な AI の構築（アルゴリズムとアプリケーション）、AI をめぐる効率化などが含まれる。この AI Next は、機械学習や深層学習の欠点を補完することを目的としている。深層学習は理解性（interpretability）に欠け、その判断の基準が不明である。医療などでも同じ課題を抱えるが、軍事において判断の根拠が不明な決定は、大きな国際法上の問題を引き起こす可能性がある。このため、深層学習を用いた軍事作戦には、法的な安定性が欠ける面がある。

DARPA が説明可能な AI の開発を進める政策的な背景として、米国の国防総省指令 3000.09 が存在する。この指令はオバマ政権期に発表されたが、トランプ政権とバイデン政権も引き継いでいる。この指令は、信頼性に欠ける自動兵器システムの採用を禁じており、米国としては国際社会で進む AI の軍事適用のトレンドにおいて優越性を維持するためには、既存の AI ではなく、次世代の AI への投資を進める必要があった。

今後 AI Next の研究成果が軍事適用されることは予想できるが、現時点では、不正検知や敵対的 AI の開発によるシステムの強靱性の向上などに使用されることが予想される。

(3) 民生利用

生成系 AI は、既に商業化されている。前述したシステムに加え、姿勢推定を 3D で行う VisionPose など知られる。これらに共通するのは、言語認識やコンピュータビジョンに加え、音楽や絵画など、創造的な分野での活用が図られていることである。さらに、単純に繰り返されるタスクや、効率性や生産性の向上など、問題解決に使用される例が知られる。

このため、次世代の AI の中でも生成系 AI では、画像情報の活用が必要な分野での適用が知られる。たとえば、旅行業界（空港での顔認証技術の高度化）、健康医療（X-RAY や CT スキャン画像のイメージ化）、マーケティングの効率化などが考えられる。さらに、姿勢推定などでは、スポーツ科学などへの適用が考えられる。

6. Planning, Reasoning, and Decision making

(1) 技術の概要（分野、注目された経緯、研究開発状況等）

人工知能を利用した計画・推論・意思決定は、民間分野で最も活発に利用されている。1980 年代より活用されている方法は、予想モデル化（predictive modeling）であり、データと統計を組み合わせる結果を推論するものである。人工知能の機械学習を活用することでリプロセス・マイニング

(process mining) が可能になり、目標に対して最適なプロセスを変化する状況の中で特定することが可能になる。

その意味で、人工知能を意思決定に活用する場合、その条件の設定が重要になる。たとえば、人的資源の生産性は業務や作業の効率性に影響するが、個人の CV などをデータ化して分析することで、予め生産性の向上の度合いを測定することが可能になる。これは、人事や採用計画などに活用される。さらに、複雑な問題解決、顧客の行動予想、戦略の変更などにおいて、人工知能技術の活用は軍民に限らず多くの場面で見ることができる。

この領域における新技術の動向は、収集するデータの質と量に左右される。Project Maven は国防総省が収集した各種データを、人工知能に活用することを目的として民間技術を利用しようとしたものであるが、このプロジェクトおよびその後継プログラムの進展によっては、訓練や演習、兵器開発の最適化が図られることになると期待されている。

(2) 公的利用・安全保障における利用

当該技術の軍事面での適用は、軍事的意思決定に影響する条件の一つである、戦闘空間の可視化 (visualization) がある。古典的な意思決定では、戦闘空間は二次元で再現され、その条件のもとで実施されていたが、人工知能を活用し実際の戦闘空間に近い三次元での可視化が可能になる。日米などが、多領域作戦の実施を想定し、将来的には自動化部隊（あるいは半自律化部隊）の導入が検討される中で、人間が時間的制約の中で情報処理を行うことが困難になっており、米陸軍などは戦場での意思決定を人工知能に依存した計画立案などを進めている。

複雑な環境での意思決定については、陸軍に限らず、海軍でも必要とされている。これは仮想現実 (augmented reality) と呼ばれ、戦闘空間の三次元での再現により、軍の作戦計画の策定と意思決定を大きく変化させている。このように、意思決定の迅速化と最適化、コンピューターを利用した意思決定、意思決定空間の再現（戦争シミュレーションにおいて）が、この領域で注目される変化である。

ただし、人工知能が作り出した擬似空間は、人間が与えた条件によって左右される。このため、戦争計画策定のための情報処理過程に多様な情報を付与すること、システム自体が機能不全に陥る可能性がある。さらには、予想ができない状況の勃発等にデータと統計をベースにした予想モデルは活用できない。必然的に機械学習の導入が必要になるが、その際に既存のインターネット空間のデータと軍が保有する分析および解析手法を組み合わせ、パフォーマンス・サービス・フレームワーク (PSF) や、三次元の仮想映像を組み合わせ、意思決定を支援する人間と機械のチームングなどが重要になる。

これら技術はすでに存在する技術の活用が中心であり、人工知能の技術そのものではなく、活用に合わせて軍側の対応の変化と理解することが可能かもしれない。

日本の自衛隊においても、意思決定支援のための人工知能利用が求められており、その方式についての検討を進めるべきであろう。

第8節 自律型システムとロボット (Autonomous Systems and Robotics)

自律型システムならびに自律型ロボットとは、人間の操作に頼らずに行動するシステムないしはロボットのことである。最初の自律型ロボット環境は、1940年代後半に W.Gray Walter によって作られた Elmer と Elsie として知られている。エルマーとエルシーは、その形状や動きから、しばしばカメラと呼ばれることもあった²⁶⁸。歴史的な例としては、宇宙探査機などがある。現代では、自動運転する掃除機や自動車などがある。工場内の組み立てラインで働く産業用ロボットアームも自律型ロボットと言えるが、高度に構造化された環境と移動ができないため、自律性は制限されている。そのため Automated (自動化) と Autonomous (自律型) の差異が技術特異点 (シンギュラリティ) の重要なポイントであると言える。

自律システム及びロボット技術に関する概要としては、スマートフォンの延長としての民生技術が、第二次大戦以降に生まれたラジコンとして軍用技術を飲み込む形で発展している。航空宇宙、防衛、セキュリティにおけるロボティクスについての Global Data のレポートによれば、過去3年間だけで、航空宇宙および防衛産業で174,000件を超える特許が申請・承認されているが、その多くがドローンに代表される自律システム及びロボット技術であり、ほとんどが民生技術である²⁶⁹。史上初の航空無人兵器は、米西戦争における気球にカメラを取り付けたものとされ、これは自律でもロボットでもない。いわゆるドローンもしくは UAV(Unmanned Air Vehicle) とされるものは、第二次大戦以降に登場してくことになるが、これはいわゆるラジコンの延長であり、人間の操作が必要な機体となる。

航空における自律システム及びロボット技術としての本格的な登場は、2010年代における中国・DJI社をはじめとする企業群による小型ドローンの発売を待たねばならなかった。これがいわゆるドローンと現在表現されるものだ。この2010年以降に急成長したドローン技術とは、基本的にクリス・アンダーソンが「空飛ぶスマホ」と評したように、スマートフォンの大量生産によるセンサー・プロセッサ・それらを統合するシステムの技術の発展と低廉化によるものである。

すなわち数十個ものセンサー、数十ものプロセッサ、長距離ワイヤレスブロードバンドで構成される自動車以外のコンシューマーデバイスのなかで、最も複雑なつくりと評されるシステムであるが

²⁶⁸ Ingalls-Arkell, Esther "The Very First Robot Brains Were Made of Old Alarm Clocks", 7 March 2012.

²⁶⁹ <https://www.globaldata.com/store/report/uav-swarm-control-robotics-in-aerospace-defence-and-security-innovation-and-trend-analysis/>

ゆえにドローンは必要最小限の操作で飛行し、ミッションを完遂するものとなっている。その為、ドローンを扱う人間は、“操縦者”というよりも“運航者”という表現が適切となっている。

注目された経緯としては、民生用としては2点ある。まず慶應義塾大学総合政策学部教授の古谷知之が指摘するように、これまで鳥や虫や電波しか利用してこなかった、低位空域をドローンが利用することで新たな社会を描けるのではないかという展望である。古谷らはこれを“ドローン前提社会”とし「ドローン前提社会とは、誰もが空中・地上・水中を自律制御された無操縦の車両・航空機・船舶を使いこなすということではない。あくまでも社会課題の解決手段として、これらの技術を選択できる社会」と説明している。

つまり低空域を様々なセンサーを積載し、運搬なども可能なきわめて汎用性の高いアセットであるドローンを活用して、これまで解決できなかった、もしくは解決コストの高い課題を解決できるようになるということだ。具体的には、測量・インフラ点検・警備・航空機整備・物流・観光・農業・災害時の捜索救難などに既に使用され、解決コストの大幅な引き下げや解決に役立っている。

注目された経緯の第二は、これが優れてサイバーフィジカルシステム（CPS）を代表するものとなっていることだ。CPSとは、センサーが収集した現実世界の情報をサイバー空間に取り込み、それをAIなどが分析し現実に反映していくシステムだ。

例えば自動運転では、自動車に積載されたセンサーが現実空間の様々な情報を収集し、AIが分析したうえで、現実の駆動系を動かすとされる。自動運転車のみならずドローンなども同様とされる。農業であればドローンが収集した生育状況をサイバー空間に集約・分析し、今度はサイバー空間がドローンで農薬・肥料散布を行ったり、UGVが収穫を行ったりする営為があてはまる。

つまり現実のフィジカルな空間の情報がサイバー空間に集約され、それがサイバー空間からの指令によって現実空間で作動するシステムがCPSなのだ。クリス・アンダーソンが「（ドローンは）インターネットを応用し、インターネットの力を物質的な領域にまで拡張する」と評するように、この一翼を担っているのがドローンとして注目しているわけだ。ドローンは、インターネットというサイバー空間が初めて現実の物理空間に直接影響を及ぼせるアセットとして注目されている。

軍事面においては、これらがそのまま反映される結果となっている。すなわち軍事的にも活用されてこなかった1000m以下の低位空域がドローンを中心とするアセットの独壇場となり、有効活用されている。また軍事におけるサイバーフィジカルシステムとして、戦術レベル・作戦レベル・戦略レベルで活用もされ、2020年のナゴルノ・カラバフ紛争、そして2022年に開始されたウクライナ戦争で有効性を発揮している。

本稿では、航空、海洋、宇宙における状況の外観と評価を行っていく。

1. 技術の概要（分野、注目された経緯、研究開発状況等）

（1）ロボット

安全保障用の自律型ロボット

自律型致死性兵器システム（LAWS）は、プログラムされた制約と記述に基づいてターゲットを独立して探索し、従事(Engage)することができる軍事用の自律ロボットシステムの一つである²⁷⁰。LAWS は、自律型致死性兵器システム（LAWS）、自律兵器システム（AWS）、ロボット兵器、キラーロボットとしても知られている²⁷¹。LAWS は空、陸、水上、水中または宇宙で使用されるのを想定されている。2022年時点の現行システムの自律性は、人間が最終的な攻撃命令を出すという意味で制限されている。しかし、特定の「防御的」システムで例外はある。

・UGV Interoperability Profile (UGV IOP) : Robotics and Autonomous Systems - Ground IOP (RAS-G IOP) は、もともとアメリカ国防総省 (DoD) が無人地上車両 (UGV) のオープンアーキテクチャ相互運用基準を整理・維持するために始めた研究プログラムである²⁷²。

IOP は当初アメリカ軍ロボットシステム共同プロジェクト局 (RS JPO) で作成されていたものであったが、2019年10月、Textron と Howe & Howe は Ripsaw M5 車両を発表し²⁷⁶、2020年1月9日に米陸軍は Robotic Combat Vehicle-Medium (RCV-M) プログラムを発注した。4台の Ripsaw M5 プロトタイプが納入され、2021年後半に無人車両の地上戦闘作戦への統合の実現性を判断するための中隊レベルで使

²⁷⁰ Crotoft, Rebecca (2015). "The Killer Robots Are Here: Legal and Policy Implications". 36 Cardozo L. Rev: 1837. heinonline.org.

²⁷¹ ohnson, Khari (31 January 2020). "Andrew Yang warns against 'slaughterbots' and urges global ban on autonomous weaponry". venturebeat.com

²⁷² Robotics and Autonomous Systems - Ground (RAS-G) Interoperability Profile (IOP) (Version 2.0 ed.). Warren, MI, USA: US Army Project Manager, Force Projection (PM FP). 2016.

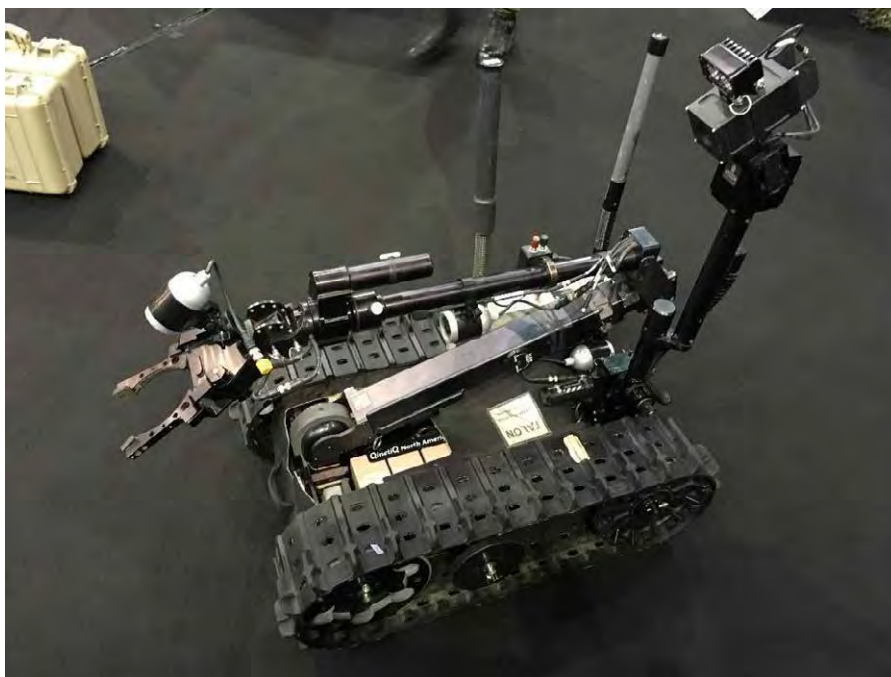
²⁷³ "U.S. Army Unveils Common UGV Standards". Aviation Week Network. Penton. 10 January 2012. Retrieved 25 April 2017.

²⁷⁴ Serbu, Jared (14 August 2014). "Army turns to open architecture to plot its future in robotics". Federal News Radio. Retrieved 28 April 2017.

²⁷⁵ Demaitre, Eugene. "Military Robots Use Interoperability Profile for Mobile Arms". Robolliance News. Robotics Business Review. Retrieved 28 April 2017.

²⁷⁶ Textron Rolls Out Ripsaw Robot For RCV-Light ... And RCV-Medium. Breaking Defense. 14 October 2019.

用されはじめた^{277,278,279}。40mph (64 km/h) 以上の速度に達し、戦闘重量 10.5 トン、積載量 8000lb (3,600 kg) である²⁸⁰。RCV-M には 30mm 自動砲と 2 基の対戦車ミサイルが装備される。標準の装甲パッケージは 12.7×108mm 弾に耐えることができ、オプションの追加装甲で重量を最大 20 トンまで増加させることができる。ジャミングや信号を無効化されても射撃能力は維持され、センサーと無線アップリンクは主要機能として送信を続けるよう優先される作りとなっている²⁸¹。



(図 8-1 UGV Interoperability Profile (UGV IOP)²⁸²)

・Crusher はカーネギーメロン大学の国立ロボット工学センターの研究者が DARPA のために開発した 13,200 ポンド (6,000 kg)²⁸³の自律型オフロード無人地上戦闘車であり、前作スピナーに続く車両であ

²⁷⁷ US Army picks winners to build light and medium robotic combat vehicles. Defense News. 9 January 2020.

²⁷⁸ GVSC, NGCV CFT announces RCV Light and Medium award selections. Army.mil. 10 January 2020.

²⁷⁹ Army Picks 2 Firms to Build Light and Medium Robotic Combat Vehicles. Military.com. 14 January 2020.

²⁸⁰ Army Setting Stage for New Unmanned Platforms. National Defense Magazine. 10 April 2020.

²⁸¹ Meet The Army's Future Family Of Robot Tanks: RCV. Breaking Defense. 9 November 2020.

²⁸² Robotics and Autonomous Systems - Ground IOP (RAS-G IOP)(UGV TALON Gen. IV. Future Forces Forum 2018

²⁸³ "UPI: UGCV PerceptOR Integration" . Carnegie Mellon University. 16 December 2013.

る²⁸⁴。 DARPA による Crusher の技術名称は Unmanned Ground Combat Vehicle and Perceptor Integration System であり²⁸⁵、プロジェクト全体は Unmanned Ground Combat Vehicle PerceptOR Integration の略語である UPI で知られている。



(図 8-2 Crusher²⁸⁶)

・CATS Warrior は陸上と空母からの海上での離着陸が可能な自律型ウイングマン・ドローンとなり、Tejas、Su-30 MKI、Jaguar といった IAF の既存の戦闘機プラットフォームと組み、その母船のような役割を果たすことになる²⁸⁷。Warrior は主にインド空軍の使用のために想定されており、同様の小型版がインド海軍のために設計される予定である。母艦によって制御され、偵察、敵の砲火の吸収、必要

²⁸⁴ Carnegie Mellon's National Robotics Engineering Center Unveils Futuristic Unmanned Ground Combat Vehicles"

²⁸⁵ Carnegie Mellon's National Robotics Engineering Center Unveils Futuristic Unmanned Ground Combat Vehicles"

²⁸⁶ カーネギメロン大学の研究室 Retrieved from; <https://www.nrec.ri.cmu.edu/solutions/defense/other-projects/crusher.html>

²⁸⁷