

先進技術が変える戦場： 統合防空ミサイル防衛（IAMD）

—ロシアのウクライナ侵攻における教訓から—

一般社団法人 日本宇宙安全保障研究所 理事

長島 純

はじめに

「ほら、ほら、同じ場所にとどまるためには、できる限り、走ることを続けるのです。別の場所に行きたければ、少なくとも、その2倍の速さで走らなければなりません」¹⁾(ルイス・キャロル (Lewis Carroll) 『鏡の国のアリス』1871年)

この一節は、「赤の女王」が主人公のアリスに対して、変化し続ける世界の中で、進化するための努力を継続する重要性を示唆するくだりであるが(図1)、その後、生物による環境適合の仮説として注目されることになる。それは、米国の進化生物学者リー・ヴェーレン (Leigh M. Van Valen) が提起した、地上の生物は種としての生き残りをかけた絶え間ない戦いにさらされる運命にあり、とどまることな



図1

い進化を続けても、その戦いには終わりが無いとする「赤の女王」仮説として知られる²⁾。

そして、この仮説はCovid-19のような感染症との戦いや兵器の軍拡競争にも当てはまるとされ、これに基づけば、技術の進化を背景とする空を經由して飛来する脅威(経空脅威)の攻防を巡る戦いにも終止符が打たれることはないことになる³⁾。現在、攻撃ミサイルや防衛システムに係る開発や配備は競い合うように続けられているものの、その進化の早さの中では、自らの優位を絶対的なものとする努力は期待されるような結果を生み出し得ていない。今後も、この競争を続ける余裕が残っているかぎり、どちらも経空脅威に係る競争の「踏み車」を降りようとはせず⁴⁾、生物の生存競争と同じように、その攻防を巡る戦いは果てしなく続くと思われる。

進化し続ける経空脅威

1940年のロンドン大空襲(The Blitz)では、ドイツ軍の爆撃機から投下された爆弾によって43,000人を超える民間人の犠牲者が生み出された⁵⁾。更に1943年、英国とベルギーに向けて発射された新型V2ロケット(弾道ミサイル)は街全体を一瞬にして破壊し尽くしたのである⁶⁾。これらの経空脅威の出現は、その類まれな破壊力と速度をもって人々を恐怖に陥れるとともに

に、新たな軍拡の火蓋を切らせることになった。事実、第2次世界大戦が終わり、東西冷戦の主人公となった米・旧ソ連両大国は、核弾頭を搭載した弾道ミサイルの開発・取得に邁進し続けた⁷⁾。

その後、両国は「相互確証破壊」(Mutual Assured Destruction : MAD) に基づく相互抑止戦略によって戦略的な均衡を享受してきたが、冷戦の終焉以降、大規模な地域紛争や国際テロの発生に加えて、北朝鮮やイランなどの第三世界における大量破壊兵器の拡散に直面した。米国は、この安定した戦略環境が変化したことを受けて、迎撃ミサイル制限 (Anti-Ballistic Missile treaty :

ABM) 条約 (1972年) からの脱退を決心し、2001年には弾道ミサイル防衛 (Ballistic Missile Defense : BMD) 重視へと戦略転換を図ったのである。

その一方で、近年、従来の弾道ミサイルや巡航ミサイルの進化のみならず、極超音速飛翔体、無人機やスウォームなどの新たな経空脅威による、既存の防空システムへの挑戦が始まっている。そして、米国のみならずBMDシステムを採用する日本、NATOなどの関係国は、一方向から飛来する弾道ミサイルを破壊するBMDシステムだけでは、これらに十分対処できないとの認識を共有しつつある。

新たな防衛システムの必要性

このような安全保障を取り巻く環境変化の中で、多面的な進化を続ける経空脅威への抑止と対処において、統合防空ミサイル防衛 (Integrated Air and Missile Defense : IAMD) への期待が高まっている。その目的は、主に領域外から空を經由して飛来するあらゆる脅威を破壊もしくは無力化することを通じて、国民、領土、戦力を防衛することであり、これまでの基本的な防空の考えと変わるところはない。しかし、経空脅威に関する新たな課題として、技

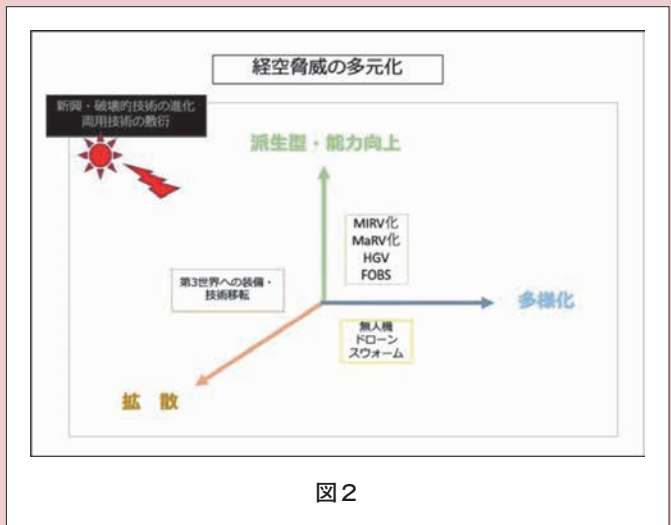


図2

術面における①弾道ミサイルの長射程化②弾頭のMIRV (Multiple Independently-targetable Reentry Vehicle : 複数個別誘導再突入体)・MaRV (Maneuverable Reentry Vehicle : 機動再突入体) 化③迎撃することが難しい変則的な飛翔軌道、これらに加えて運用面での④発射形態〔固定式発射台、輸送起立発射機 (Transporter Erector Launcher : TEL)、潜水艦〕の多様化による奇襲攻撃⑥同時発射能力による飽和攻撃など、複雑多岐な可変要因が顕在化したことで、IAMDには従来とは異なる防衛構想が求められている (図2)。

また経空脅威が、前述した「赤の女王」仮説をなぞるように、その進化によって多元化し続ければ、防衛側は飛来する経空脅威を機械的に迎撃し、破壊を行うという「対処」能力だけで十分とはいえない。経空脅威の強大化と多様化に対して、国民の生命と財産を最大限守るという観点から「抑止」機能を強化すべき時期を迎えたのである。これまでBMDシステムにおいては、経空脅威の物理的な排除、特に弾道ミサイルが発射された後の上昇、安定、再突入という各飛翔段階における迎撃が重視されてきた。しかし、今後はIAMDにおいて、それらが発射される以前の段階、いわゆる Left of Launch (「発射の左側」)⁸⁾ (図3) を含む時系列的に境目のない抑止と対処を実現することが求められている。

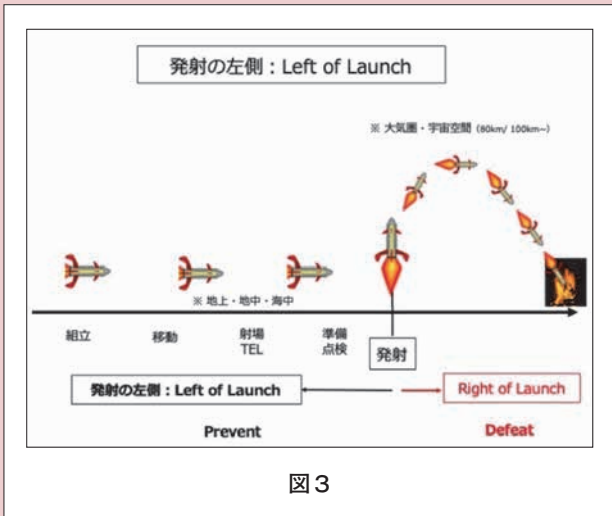


図3

部からの刺激に対して円滑かつ瞬時に対応させるためには、これらシステムを個別に機能させるのではなく、各システム相互間の調和と協調を意識した全体システムを構築するという設計コンセプトが必要となる。それは、各独立システムをネットワークで結合しつつ、個々の装備品を足し合わせただけでは実現できない融合的な統合システム、いわゆるシステム・オブ・システムズ (System of Systems) の構築に等しい。一般的に、将来戦において、兵器体系はより全体システムの一部として位置づけられ、個々の戦闘能力の高さよりも、システム・オブ・システムズとしての全体能力の発揮が重視されることから、IAMDの整備方針もそれに合致するのは自然である。

システム設計の主眼： キル・ウェブと分散兵器システム

まずIAMDの基本設計は、経空脅威の多元的な進化への対応に万全を期すために、能力面における多元的要素を有機的に組み合わせ、それを一つの統合システムとして柔軟に機能させることが前提となる。IAMDの主な構成要素としては、①経空脅威に係るリアルタイムの情報②脅威を破壊・無力化するための対処能力③反撃力としてのスタンド・オフ防衛能力があげられる(図4)。そして変化要因の多い経空脅威に対して、IAMDを人間の身体のように外

またIAMDの作戦運用面からは、経空脅威の排除や無力化が最終目的であるため、その攻撃のプロセス/手順(チェーン)を破壊(キル)することが対処の主眼として注目される。具体的には、経空脅威が攻撃目標に指向され、発射され、着弾するまでの各段階を再整理し、その中から脅威に固有の脆弱性を明らかにして、そこに集中的な攻撃を加えることにある。しかし、情報通信技術(ICT)の急速な進化の下で、戦場のあらゆるアセットが蜘蛛の巣(web)のようにネットワーク化した状況下での攻防が一般的になれば、防衛側は二次元的なキル・チェーンではなく、三次元で経空脅威の活動を停止または阻害させるキル・ウェブ(Kill Webs)⁹⁾がIAMDにおいて重視されるべきであろう¹⁰⁾。

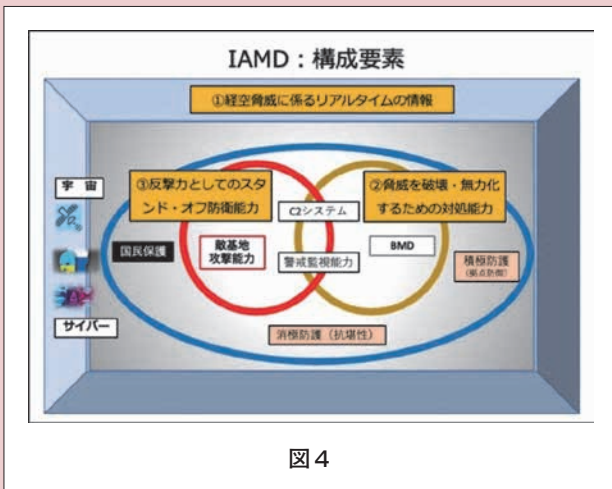


図4

このキル・ウェブは、相手の攻撃を平面的な二次元のものとして捉えるのではなく、陸海空に加えて宇宙、サイバー空間が作戦領域として融合する環境下、ネットワークで結合された三次元単位で脅威を評価し、対応についても各システムを有機的に結合して、シームレスな戦いを進めることを指す(図5)。また防衛側は、最先端の技術を搭載した高付加価値の装備品の戦闘能力に依存することを避

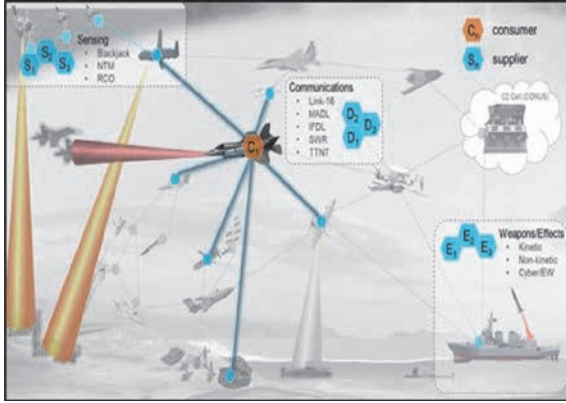


図5



図6

け、AIに制御された有人・無人機混合編隊など、新興・破壊的技術(EDT: Emerging Disruptive Technology)¹¹⁾を実装化した非対称な戦力群を、そのキル・ウェブに一元的に統合し、外部から見ると一つに見えるような分散兵器システム(distributed weapon systems)を併せて整備することが求められる¹²⁾(図6)。

実際に米国は、中露の核弾頭搭載可能な極超音速兵器やレーダの見通し外から飛来する新たな経空脅威に対して、低軌道に多数配置される(Proliferated Low Earth Orbit: PLEO)人工衛星群(constellations)による宇宙センサシステムの開発や弾道ミサイル発射直後における破壊・迎撃用の指向性エネルギー兵器開発に着手し、宇宙空間における分散兵器システムを活用したIAMDの検討を進めている。IAMDにおいて、宇宙システムが中核となる分散兵器システムのキル・ウェブへの統合は、多元化する経空脅威に対する作戦の中核となる可能性が高い。

システムの主要構成要素

(1) 情報

いかなるIAMDにおいても、積極的に経空脅威の情報を収集し、分析、配布、共有を確かかつ迅速に行うことは、作戦インフラとして不可欠な要素であることは言うまでもない。特に攻撃者の企図とその期待する攻撃成果を事前に把握して、それらの情報をIAMDの各システム間においてリアルタイムで共有し続けることは、経空脅威の発射や発動を未然に防ぐ可能性を高め、攻撃者の行動の自由を制限することにも結びつくはずである。事実、現在も核兵器や弾道ミサイルの開発、配備を進める北朝鮮は、固定式発射台、TEL、潜水艦などによる発射形態の多様化を続けながらも、それらの兵器が敵によって可視化され、先制・奇襲攻撃の対象となることを恐れていると見られる。

事実、2022年のウクライナ侵攻においては、宇宙、サイバー空間からの画像、信号、電波などの各種情報やオープン・ソース情報(OSINT)がビッグ・データ化され、戦場の可視化が実現することとなり、当初のロシア軍に対するウクライナ軍の反攻を成功に導いた原因にもなった。その背景には、戦場の可視化により実現された「ガラス箱の中の戦争」と言われるオープンな作戦環境が、民間アセットを含む収集センサの増加と活用によって進化し、莫大な戦術データとして共有されたことがあろう。

更に今後、これら情報収集の対象となるアセットの数的・質的な増大とそのリアルタイム化およびビッグ・データ化に加えて、AIの深層学習による時系列予測に係る分析機能の組み合わせによって、現在の経空脅威の現状のみならず、将来の活動予測を可視化し得ることが期待される。その際に防衛側は、先行的な対処行動を準備する時間的猶予を得られるばかりか、攻撃者に対して直接的に抑止効果を及ぼし得ることが期待される。

(2) 破壊・無力化

経空脅威が発射等により攻撃が開始された、いわゆる Right of Launch 以降は、時系列的な流れの中で、C2システム、警戒監視システム、情報システムを統合的に活用し（図7内①）、脅威の質（レーダ反射面積、飛翔速度・形態、弾頭種別等）・量（攻撃規模）を正確に掌握し、防護領域までの距離や高度、そして迎撃手段の能力を計算して、最適の迎撃・破壊手段を組み合わせながら、飛来する脅威の要撃・撃破を適時適切に行う計画にある（図7内③～⑤）。その対処プロセスは、極めて短い時間の中で繰り返され、経空脅威の多様化に伴って、絶えず適時適切な戦術判断を求めることになり、指揮官等に対して多大なストレスが与えられることに伴って状況判断や意思決定における死活的なミスが誘発されかねないおそれがある。そのような事態を防ぐには、IAMDの複雑な環境下における情報活動の分散と現場への権限委譲を実現する高機能的な処理システムが必要であり、ここでは大容量高速処理と意思決定支援を可能とするAIや自律システムの実装化の有無が問われるであろう。

AIは、アルゴリズムとデータ入力によって進化を続けるデジタルエコシステム（生態系）であり、実証的に使用されながら新たなデータのインプットを繰り返すことによって、その進化を遂げていく。その中から、過去に蓄積されたそれらデータとAIが実施する深層学習を通じて、現場におけるリアルタイムの情報データと予測分析が組み合わせられることで、意思決定者に対して最適な情報判断のオプションを提供されることが期待される。機械化や自律化が急速に進む戦闘領域において、これらの先進技術の実装化を一層進めることによって、指揮官等の状況判断や意思決定の適正さを維持し続ける必要がある。

(3) スタンド・オフ防衛

反撃力としてのスタンド・オフ攻撃は、交戦中においても、大容量・超高速の情報通信技術（ICT）によって、目標情報としての形で攻撃アセットに伝達、共有されることを通じて、短時間で行われることが望ましい（図7内⑥）。またスタンド・オフ攻撃にとって最も重要な戦闘要素である、攻撃目標に関する正確な諸元情

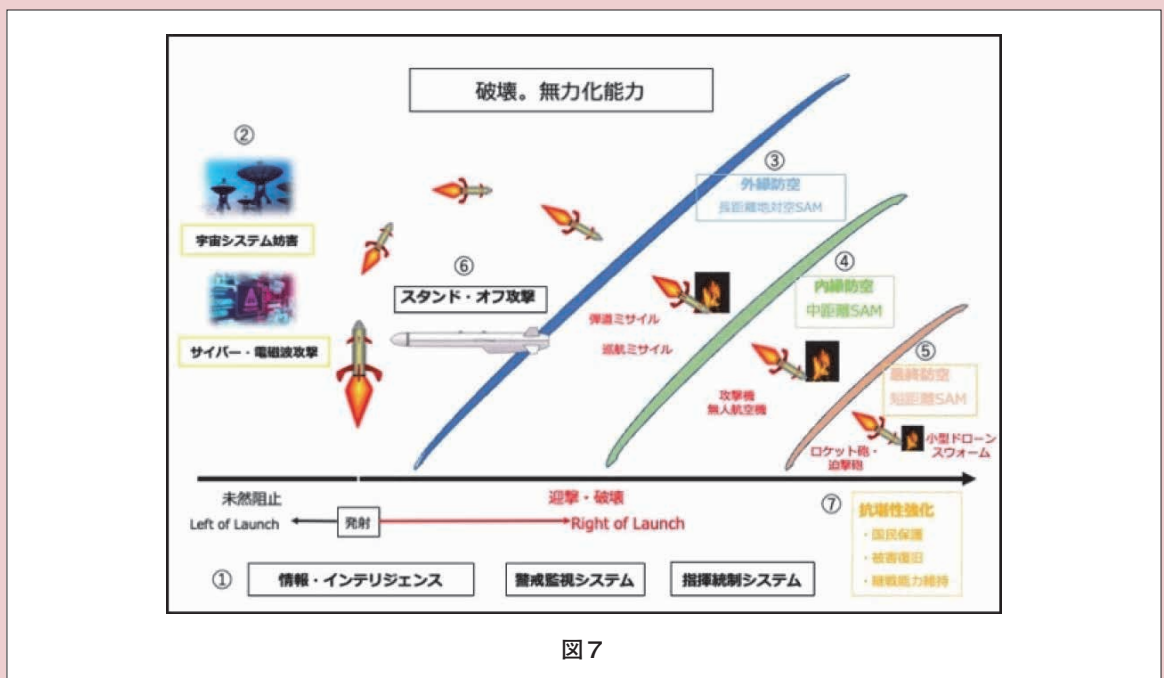


図7

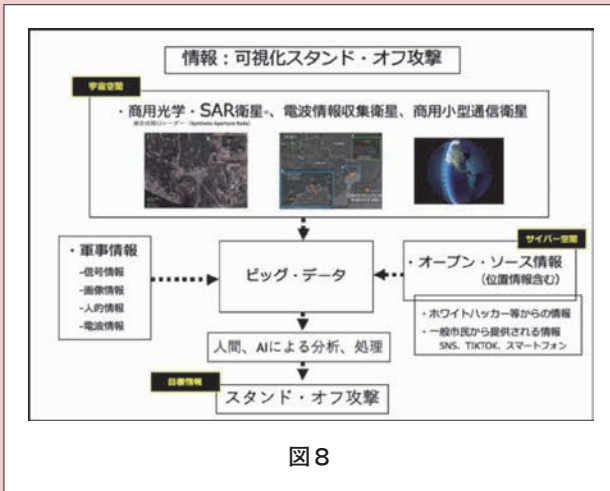


図8

報を最新のものに保つためにはセンサーによる収集、包括的な分析、各アセットへの配布というサイクルを繰り返しながら、その精度を上げていくことも重要である（図8）。

最近でも2022年のウクライナ侵攻において、GPSやドローンからの情報に基づいて攻撃速度を大幅に向上させた砲撃支援システム「GIS Arta」は、各情報収集アセットから集められたデジタルデータの処理速度を早めることによって、情報サイクルを加速化させ、戦場における優位性の確保に結びつけることに成功した。統合打撃力の中核として、GIS Artaのような統合戦闘管理システムは、軍事アセットが宇宙システムへの依存を強めつつある中で、スタンド・オフ防衛能力を構築する際に中心的役割を果たすことが予想される。

日本の歩むべき道

核兵器およびそれらを搭載する弾道ミサイルの開発を進める北朝鮮は、1998年以降、日本上空を越える同ミサイル発射を7回も実施するなど、日本を含む近隣国に対して、経空脅威による重大な挑発・危険行為を繰り返している。また2022年8月4日、中国も台湾に対する軍事演習において、5発の弾道ミサイルをわが国のEEZ（排他的経済水域）に着弾させたにも関わらず、

日本とのEEZの境界は未だに確定していないとして、日本の抗議を受け入れようとしめない。


このように長らく弾道ミサイルを含む経空脅威の下に置かれている日本であるが、2004年以降、BMDシステムの整備に着手し、これまでに海上イージス艦への弾道ミサイル対処能力の付与やベトリオットPAC-3迎撃ミサイルの配備などの対処計画を着実に実行してきた。これらは弾道ミサイルの飛行経路に応じて、上層においてはイージス艦、下層ではPAC-3によって迎撃することが想定され、これらに自動警戒管制システム（JADGE）を組み合わせることで、より信頼性を高めた多層防衛システムの実現を図ってきたのである。

しかし、昨今、日本周辺においても、既存の防空システムやBMDシステムの無力化を目的として、ロシアの極超音速巡航ミサイル3M22ツイルコン、アヴァンガード、中国のDF-17（HGV）、ステルス巡航ミサイル（Kh-101）など様々な経空脅威が増え続けている。このような状況に対して、日米両国は既存のBMDシステムの改良やSM-3艦船発射型弾道弾迎撃ミサイルの開発を通じて、その対応に全力を傾けてはいるが、周辺国との経空脅威を巡る攻防の戦いに終止符が打たれることは期待し得ない。

2022年12月16日、日本は新たに閣議決定された国家安全保障戦略において、敵からのミサイル攻撃に対して、日本から有効な反撃を相手に与える能力、すなわち反撃能力を保有する必要性を正式に認めた。そのために敵の領域において反撃を加えるべく、自衛隊のスタンド・オフ防衛能力の整備が始まるとされている。この能力は同戦略においてIAMDの範疇に位置づけられ、日本として持続可能なIAMD態勢を構築する観点から、優先的に取り組むべき課題として新領域¹³⁾の活用、同盟等の強化、レジリエンス（抗堪性）確保を重点事項としてあげる。

(1) 新領域の活用と常設統合司令部

日本としては引き続き、専守防衛を遵守する



観点から IAMD の中核に防衛的な BMD を配置し、その外縁に反撃力としてのスタンド・オフ攻撃力、それらを全般的に支援する宇宙、サイバー空間の作戦、更に国家としてのレジリエンスを高めるための国民保護、被害復旧能力の整備を進めていくことになろう。このような戦略的な守勢を旨とする日本の防衛態勢において、新領域の能力を積極的に活用し、できる限り非物理的（ノン・キネティック）な手段を多用することを検討すべきである。そのためには、仮想空間における活動と現実空間における作戦をシームレスに行い得る態勢を整備し、Left of Launch において、敵の攻撃意志を挫き、発射を未然に阻止するための、サイバー攻撃や宇宙アセットへの妨害の選択肢を抽出すべきであろう。

特に宇宙空間において、超高速、大容量、多接続、低遅延を特徴とする 5 G や 6 G などの ICT によって、あらゆるものがインターネットにつながる宇宙 IOT (Internet Of Things) が実現すれば、地上の警戒監視機能を支援する能力が宇宙システムに付加されることを通じて、IAMD における宇宙空間の価値がより高まるであろう。そして、新たな防衛力整備計画にも設置が明記された常設の統合司令部は、シームレスな IAMD 態勢の中核となるばかりでなく、これらの新領域の活用に関して、平時から領域横断的な作戦の準備や訓練、関係省庁や機関等との調整を継続的に行うことが期待されることである。

(2) 同盟・パートナーシップの強化

経空脅威のみならず、国際公共財たるサイバー空間や宇宙空間における安全の確保という課題が国境を越え、グローバル化しつつある中、各国は独自の情報や技術を囲い込むことをせず、それを共有して、主に分析や開発を加速化させるオープン・ソース戦略 (Open Source Strategy) へと移行する兆しを見せている。特に2022年のウクライナ侵攻において、ウクライナを支援する西側諸国は「開示による抑止

(Deterrence by disclosure)」と呼ばれる¹⁴⁾ インテリジェンスの積極的な共有と開示を進め、ロシアが流布する偽情報を打ち消し、ロシアのハイブリッド戦争の機先を制することに成功した経験を有する。

今後も脅威の多様化と多元化が進むとともに、軍事作戦におけるサイバー、宇宙、認知領域の重要性が増大する中で、多国間の連携や協力を前提とした全般的な作戦能力を高めることは、IAMD システムの能力向上にも貢献すると考える。特に IAMD の脅威が顕在化する過程において、情報共有と協力連携を多国間で実現し得る取り組みは必要不可欠である。

更に、長期的にオープン・ソース戦略に基づいて同盟・パートナー国との間で、技術情報の共有、共同研究開発態勢の整備を可及的速やかに図ることは、軍民融合戦略の中で軍事的な技術優位を図る中国の動きを抑止し、その脅威対処の実効性を高めることに結びつくであろう。2019年に公表された中国国防白書で示された「智能化戦争 (Intelligentized Warfare)」を見据えれば、AI が実装化されたインテリジェントな自律型無人システムが多用されるような戦場の未来図は現実に近づきつつあり、西側諸国にとって、更に高度化する技術集約型の経空脅威への対応が急務となることは間違いない¹⁵⁾。

(3) 国家的なレジリエンスの確保

現在、ウクライナではロシアのミサイルや軍用無人機 (ドローン) による空からの攻撃によって、電力などの重要インフラが被害を受けており、それに伴ってウクライナ市民を巻き添えにするロシアの非人道的な攻撃への非難が強まっている。このような経空脅威による攻撃は、その到達速度と破壊力の大きさから、対象国の情勢の不安定化や社会全体の脆弱化を通じて、国民の意思を挫くことを最大の目的とするが歴史的には人々の抵抗心や士気を鼓舞する効果が高まり、最終的な勝利には結びつかないと見られている¹⁶⁾。

しかし日本としても、万一、経空脅威が本土に攻撃手段として使用され、その被害が発生した場合、それを国家や社会として吸収、緩和し、結果的に無力化することは大きな課題である。そのために軍民レベルの一元的なレジリエンス態勢の構築が欠かせないであろう。そして、その前提として、国家機能が依存を強める重要インフラの脆弱性を掌握し、速やかな被害復旧、原状復帰を実現し得る、大規模災害や不測事態に強い社会を作り上げておくことが求められている。それは弾道ミサイルをはじめとする経空脅威の対処に関して、早い段階から軍官民が一体となって協力・連携する枠組みを準備し、国家として一元的かつ横断的な対処態勢を

確立すべきことを意味する。

おわりに

現在、IAMD 構築に向けて様々な問題や課題が存在するものの、日本は多角的かつ柔軟な視点をもって、それらを一つ一つ丁寧に解決しつつ、IAMD の完成に向けて前進していくべきである。「赤の女王」が指摘するように、現状を維持するためには走り続けなければならないばかりか、更に進化し続ける経空脅威の機先を制することを望むのであれば、倍の速さで走らなければならないことを、われわれは肝に銘じるべきであろう。

参考文献等

- 1) Lewis Carroll, *Alice Through the Looking Glass*, (Enhanced Media Publishing, 2016), p. 20.
- 2) Van Valen, Leigh (1973). "A new evolutionary law". *Evolutionary Theory* 1: 1-30.
http://ebme.marine.rutgers.edu/HistoryEarthSystems/HistEarthSystems_Fall2010/VanValen%201973%20Evol%20%20Theor%20.pdf.
- 3) Matt Ridley, "Human Nature." *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*, Harper Perennial, 1993, p.67.
- 4) Matt Ridley, *Ibid.*, p.67.
- 5) Paul Kerley, "When the UK was bombed nightly for eight months in a row", *BBC News Magazine*, 10 July 2015.
- 6) Tom Benson, "Brief History of Rockets", NASA, June 12 2014,
https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html.
- 7) James J. Wirtz and Jeffrey A. Larsen (eds), *Rockets' Red Glare: Missile Defenses and the Future of World Politics* (Boulder, CO: Westview, 2001), pp.21-53.
- 8) ミサイル攻撃の流れを発射から弾着までを時系列に並べた場合、発射前は、時系列上、発射の左に位置づけられることから、「発射の左側」と呼ばれる。
- 9) Tamir Eshel, "Sensor to Shooter Chains Turn into Kill Webs," *European Security & Defense*, October 11, 2022,
<https://euro-sd.com/2022/10/articles/27530/sensor-to-shooter-chains-turn-into-kill-webs/>.
- 10) Dr. Greg Kuperman, "Adapting Cross-Domain Kill-Webs (ACK)," *DARPA*, undated,
<https://www.darpa.mil/program/adapting-cross-domain-kill-webs>.
- 11) NATOによれば、新興技術とは2020年から2040年の間に成熟することが期待される技術を指すが、現在一般に普及するまでには至っておらず、これからも軍事、安全保障、経済面で大きく、革命的な影響を与えると予想される技術が想定される (NATO Science & Technology Organization, "Science & Technology Trends 2020-2040," March 2020,
https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf.)
- 12) NATOが考える分散兵器システムとして、The Alliance Future Surveillance and Control (AFSC) プロジェクトがあげられる。それはEDTを活用して、情報を共有するための相互に接続する空中、地上、宇宙、または無人システムをシームレスに組み合わせることを追求し、2035年に引退予定のNATO空中早期警戒管制システム (AWACS) に代替する予定になっている (https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/7/pdf/200701-Factsheet_Alliance_Future_Surveil-1.pdf.)
- 13) 陸・海・空のみならず、宇宙・サイバー・電磁波・認知という新たな作戦領域を指す。
- 14) Eric Edelman, "THE PROS AND CONS OF 'DETERRENCE BY DISCLOSURE'," UVA Miller Center, February 21, 2022, <https://millercenter.org/pros-and-cons-deterrence-disclosure>.
- 15) Elsa B. Kania, "Innovation in the New Era of Chinese Military Power," *The Diplomat*, July 25, 2019,
<https://thediplomat.com/2019/07/innovation-in-the-new-era-of-chinese-military-power/>.
- 16) Robert A. Pape, "Bombing to Lose," *Foreign Affairs*, October 20, 2022,
<https://www.foreignaffairs.com/ukraine/bombing-to-lose-airpower-cannot-salvage-russia-doomed-war-in-ukraine>