

海幹校戦略研究

JAPAN MARITIME SELF-DEFENSE FORCE COMMAND AND STAFF COLLEGE REVIEW

特別号（通巻第 19 号）2020 年 4 月

特集 技術と戦争

巻頭言	大町 克士	2
— 特 集 —		
第 2 の戦間期における海上自衛隊の軍事技術 イノベーションについて	武居 智久	6
日本海軍の航空への取り組みにかかる問題点 — 技術の「ひずみ」の形成過程と影響 —	岩村 研太郎	23
第 1 次レバノン戦争の教訓が米軍の無人航空機 開発に及ぼした影響とその意義	楠山 博康	39
米海軍とクロス・ドメイン・シナジー — 概念と資源：新たな戦い方と戦力構造の模索 —	高橋 秀行	56
サイバーリザーブ（予備役）の研究 — エストニア サイバーディフェンスユニットと IT 職種で採用された予備自衛官の意識の比較を通じて —	日高 智雄 井手 達夫	78
次世代の電子戦について — 機械学習とネットワークを活用した EMS 活動 —	天貝 崇樹	97
【研究ノート】中国の ASBM の開発動向 — DF-21D を中心に —	山下 奈々	116
— 特別寄稿 —		
衛星リモートセンシングの活用について — 海洋安全保障応用を中心として —	渡辺 秀明	136
量子コンピュータ時代に対応する情報セキュリティ — 量子雑音ストリーム暗号 Y-00 (Yuen2000 プロトコル) —	原澤 克嘉	145
英文要旨		
執筆者紹介		
編集委員会よりお知らせ		
表紙：技術の進展と戦争形態の変化		

巻頭言

昨年の夏、『アルキメデスの大戦』という映画が上映された。この映画では、一人の天才数学者が、戦艦「大和」の建造を阻止するため、不当に安く見積もられた建造費を数学を用いて証明し、もって戦争を止めようとする頭脳戦が描かれている。しかし、映画は「大和」最期の戦闘のシーンから始まる。つまり、「大和」は計画通り建造された。その謎は映画を観ると分かるのだが、兵器開発に関わる技術者の心情を考える上で興味深い。

「技術」は戦争の様相を大きく変える要因の一つである。最先端技術は、それぞれの時代において、兵器の破壊力を増大させ、戦いのテンポを上げ、空間を広げ、そして戦術や組織文化にも変化をもたらしてきた。近年、開発が進められている高出力レーザー兵器、極超音速兵器、人工知能（AI）、無人機、量子科学技術などに代表される先端技術も、新たな戦略理論の誕生を触発し将来の戦いの様相を変え、そして戦いの勝敗を左右する可能性がある。

また、近年の軍事分野の技術革新は、民間企業が主導しており、民生技術の軍事的利用、デュアル・ユース技術の活用が一般的となっている。進展の極めて速いこれらの技術を組織として受け入れ、戦い方を確立することは、軍事組織にとって大きな課題である。海上自衛隊としても、こうした技術を取り入れた装備体系への転換と、それを運用するための大規模な組織の構造改革は不可避ではないか。そのためには、技術分野における学術研究や民生技術の将来動向に対して常に注意を払い、変化の兆候を掴み、構想を練り、変革を進めていく姿勢が重要である。

日露戦争当時、日本海軍は、軍艦に装備した無線電信機、水底線（海底ケーブル）、望楼（見張り台）、通報艦等を用いた情報通信ネットワークを構築して運用した。「信濃丸」によるバルチック艦隊発見の報告は、対馬の第三艦隊旗艦「巖島」から鎮海湾に停泊中の連合艦隊旗艦「三笠」へ伝達され、そして有名な連合艦隊出撃電もこのネットワークを通じて東京霞ヶ関の海軍軍令部長へと伝えられた。無線電信の登場は、日清戦争後のことであるが、これをいち早く軍艦に装備し、他の技術と組み合わせて一大情報通信ネットワークを構築したことは注目に値する。

他方で、日本海軍は日露戦争の劇的な勝利を過度にロールモデル化したことによって、その戦略、戦術思想から抜け出せず、先の大戦で敗れた。新たな技術の導入を阻害した例としては、レーダーの開発と装備化が大幅に遅れ

たことが挙げられる。この結果、日本海軍がそれまで得意とした夜戦において戦果を上げることができなくなったことは歴史の示すとおりである。このレーダーが欧米において開発されているという情報は、大戦前のかかなり早い時期から海軍にもたらされていたが、最大の抵抗勢力は、現場の運用者だったともいわれている。レーダーの必要性が強く主張されるようになったのは、結局のところ海戦に敗れ、目に見えて犠牲者が増えるようになってからではなかったか。

また、新技術を用いた兵器が完成しても、それを戦術や作戦に適用できなかった場合もある。日本海軍の空母の集中運用は画期的であったが、航空中心の用兵思想に転化できなかったことは、その一例であろう。兵器の技術的進歩を軍事的効果につなげるためには、新たな組織の編成、教育・訓練、ドクトリンの開発などの仕組み作りが必要である。

大きな成功を経験した組織は、時代の変化への感度を鈍らせ、新たなものを受容することを拒否する傾向にあるといわれる。特に高度に官僚化した組織である軍事組織では、変化への抵抗が強く、自己革新が行われにくい傾向があることは、我々としても大いに戒めとすべきと考えている。

今次特別号では、「技術と戦争」を特集する。将来を見通すために、過去にも遡る。なお、特別号の発刊にあたっては、部外の方から 2 編の論文と 2 編の論説をご寄稿いただいた。誌面を借りて御礼申し上げたい。

最初の米海軍大学教授であった武居氏の論文は、戦間期における日本海軍の軍事技術イノベーションに関する先行研究をひもとき、海上自衛隊の新技術への適応について議論する。

次の当校職員である岩村の論文は、日本海軍が抱えた航空技術の「ひずみ」の形成過程と影響から、海軍航空発達の特徴と問題点を明らかにする。

また、第 78 期幹部高級課程学生であった楠山の論文は、第 1 次レバノン戦争の教訓が 1991 年の湾岸戦争までの間、米軍の無人航空機の開発に及ぼした影響について、イノベーションの視点から評価する。

次の当校職員の高橋の論文は、米海軍におけるクロス・ドメイン・シナジーの必要性和その方向性について、作戦運用の観点から考察する。

第 67 期指揮幕僚課程学生であった日高と当校職員の井手の共著論文は、エストニアのサイバーリザーブであるサイバーディフェンスユニットと日本の IT 職域における予備自衛官の意識を比較しつつ、サイバーリザーブの必要性等について考察する。

防衛大学校准教授である天貝 3 等空佐の論文は、今後の電子戦技術の開発と進展から、次世代電子戦の形態を分析し、その効果が作戦に与える影響等について考察する。

次の当校職員であった山下の研究ノートは、中国のいわゆる A2/AD (Anti Access/Area Denial : 接近阻止／領域拒否) 能力を構成する要素の一つである対艦弾道ミサイルの開発経緯、現状、展望等を整理する。

また、リモートセンシング技術センター技術参与／日本宇宙安全保障研究所理事である渡辺氏の論説は、衛星リモートセンシング技術について、我が国の取り組みの現状を踏まえ、海洋状況監視等、安全保障分野への活用を提言する。

そして、最後の日立情報通信エンジニアリング事業企画本部主管技師長である原澤氏の論説は、量子コンピュータ時代において情報セキュリティを構築するために重要な量子暗号の実用化について述べる。

現在の先端技術の開発状況は、国家戦略レベルにも大きな影響を与えている。昨今、新冷戦と表現される米中関係は、5G に代表されるように、技術覇権競争、あるいは、デジタル覇権競争の様相を呈している。

2014 年、当時の米国防長官チャック・ヘーゲル (Chuck Hagel) は第三のオフセット戦略 (third offset strategy) に発展していく「国防革新イニシアティブ (Defense Innovation Initiative)」を発表した。これは、いわゆる A2/AD への対応であった。また、ほぼ同時期に戦略予算評価センター (Center for Strategic and Budgetary Assessments : CSBA) のマーティネージ (Robert Martinage) が発表した『新たなオフセット戦略に向かって (Toward a New Offset Strategy)』は、国防省に対する新たな戦略の開拓に向けた提言であった。その核心は、技術的優位を活用しつつ、米軍のグローバルな戦力投射能力を回復し、相対的な米国の優位を保ち、戦略的に自由な軍事作戦を可能とすることにある。米国が技術的優位を保持し得る分野として、特に無人システム、長距離及びステルス作戦能力、水中戦能力、複合的なシステムエンジニアリングといった技術が挙げられている。

他方で、2015 年に中国国務院より発表された『中国製造 2025 (Made in China 2025)』では、建国 100 周年の 2049 年までに製造強国のトップグループに入ることが目標とされた。そこで重点とされた技術分野は、まさに米国が進めようとする第三のオフセット戦略で重視されている技術分野を含んでいたほか、その自主保障、すなわち、革新的技術の国産化の方針が示されていたことから、米国内において安全保障の観点から警戒感が広がった。

また、中国が進めてきた「軍民融合」は、2018 年の「軍民融合発展法」の立法計画の発表など、近年、目に見える形で具現されるようになった。特に、海洋、宇宙、サイバー、人工知能といった分野の取り組みが強調されており、生産段階から民生品の活用を念頭においた体制作りは、今後の中国軍の能力向上に大きな影響を与える可能性がある。

対して、米国の 2019 会計年度の国防授權法において、中国製通信機器の締め出しなど、中国への強攻策が多く盛り込まれたほか、米国技術の流出防止のための法的措置がとられたことは記憶に新しい。

こうした米中の技術覇権競争の長期化、特に技術や経済を梃子とした、いわゆるエコノミック・ステイトクラフト（Economic Statecraft）による国家の戦略的目標の追求は、今後の国際社会の秩序形成にも影響を及ぼす可能性がある。

冷戦後のグローバリゼーションにより国家間の経済的相互依存関係は深まったが、政治や思想のグローバル化は必ずしも進んでいない。民間企業が自由な経済活動を行い、革新的技術がグローバルなサプライチェーンを形成している中、各国は安全保障という観点から自国の技術的優位を確保するための議論を進めていこう。そのとき、新たな境界線が作られ、世界は分断されていくのだろうか。

2018 年 12 月に発表された新たな防衛計画の大綱では、宇宙・サイバー・電磁波といった新たな領域の急速な利用の拡大は、これまでの国家の安全保障のあり方を根本から変えるものと認識され、「多次元統合防衛力」を構築することとされた。また、昨年 6 月には『統合イノベーション戦略 2019』が閣議決定され、経済産業省に「経済安全保障室」が新設された。今後、我が国の技術や産業の保護・育成、輸出管理等の政策も安全保障の観点から推進されていくこととなるだろう。しかし、大國間競争に対応していくためには、「政府全体（All Government）」のみならず、官民を合わせた「日本全体（All Japan）」での対応が必要な時期にあるように思う。

今回の特集が、技術の進展がもたらす今後の戦い、あるいは安全保障への影響を考える上で参考となれば幸甚である。

（海上自衛隊幹部学校副校長 戦略研究会会長 海将補 大町 克士）

第 2 の戦間期における海上自衛隊の軍事技術

イノベーションについて

武居 智久

はじめに

第一次世界大戦から第二次世界大戦に至る約 20 年間に戦間期（interwar period）と呼ぶ。この間に 3 回の海軍軍縮会議（第二次ロンドン軍縮会議を含めれば 4 回）があって、ワシントン海軍軍縮会議からロンドン海軍軍縮条約が失効する昭和 11（1936）年末までの間は主要国が条約に基づき無秩序の建艦競争を避け比較的平和な時代が続いた。他方で戦間期は第一次世界大戦で出現した新たな技術を装備やドクトリンとして確立する軍事技術イノベーション¹の期間でもあった。

総合的に見て、米海軍に比べ日本海軍の戦間期の軍事技術イノベーションは不完全であった。第一次世界大戦をともに戦い、同じものを見ながら、戦間期の日米海軍になぜギャップが生じたのか。

2017 年 12 月、アメリカは国家安全保障戦略と引き続き国防衛戦略でアメリカが中国とロシアを自国のヘゲモニーを脅かす存在として認め、大国間競争に優先して取り組むと宣言した²。世界は国家間の対立関係が曖昧であったポスト冷戦期から国家が明確に対立する新たな時代に入ったと言える³。仮に、この新たな大国間競争の先に軍事的衝突があるとすれば間違いなく大国

¹ 本稿では軍事技術イノベーションを、新たな軍事技術を装備化するとともに、関連するドクトリンの変更と策定、組織の改編と新編など総合的な軍事力として取り込むことと定義して論述する。

² マティス（James Mattis）国防長官は国防衛戦略に関する演説において、アメリカはテロとの戦いを継続しつつも、米国の安全保障戦略は大国間競争（the great-power competition）を優先する時代になっていると述べた。Secretary of Defense James N. Mattis, “Remarks by Secretary Mattis on the National Defense Strategy,” January 19, 2018, <https://www.defense.gov/Newsroom/Transcripts/Transcript/Article/1420042/remarks-by-secretary-mattis-on-the-national-defense-strategy/>.

³ イギリス海軍第 1 海軍卿ラダキン（Tony Radakin）大将も国家間の衝突（state-on-state conflict）の危険が高まっていると述べている。Ben Graze, “Risk of ‘state-on-state’ military clash rising, warns top Royal Navy officer,” *Mirror*, October 30, 2019, <https://www.mirror.co.uk/news/politics/risk-state-state-military-clash-20758103>.

間の戦争であって、未来の歴史家は今この時代を第 2 の戦間期と呼ぶであろう⁴。

先の戦間期と同じく、第 2 の戦間期における新たに登場した軍事技術に対するイノベーションの違いが大国間競争の結果を左右する可能性が高い。日本の防衛政策は大国間競争の例外ではあり得ず、海上自衛隊は先の戦間期の教訓を踏まえ、ポスト冷戦期から戦間期へと軍事技術イノベーションについてパラダイム・シフトしていく必要がある⁵。

本稿は、日本海軍の軍事技術イノベーションに関する先行研究をひもとき、新たな大国間競争の時代における海上自衛隊の新技术への適応について議論していく。

1 第 1 の戦間期のイノベーションの特徴

第一次世界大戦中の海戦における新技术は潜水艦と航空機が特筆できる。潜水艦は 20 世紀初めに各国海軍に導入されていたが、ドイツ海軍 U ボートに代表されるように、戦争の行方を左右するほどの役割を担ったのは第一次世界大戦が最初となった。1903 年にライト兄弟 (Wright brothers) が発明した飛行機が飛んでから 10 年余、航空機が陸戦や海戦の兵器として本格的に登場したのもこの戦争であった。第二次世界大戦の経過を見るように、戦間期に潜水艦と航空機を海軍兵力に効果的に取り込んだ側が作戦を主導し、特に広大な太平洋という地理的環境から、太平洋戦争では潜水艦と航空機が海戦の主役となった。

高木は、ジュットランド沖海戦が戦艦同士が戦った近代戦としては最大にして最後のもので、以後の戦いを現代戦と位置づけた。これは、本格的に登場した航空機と潜水艦が従来の平面的な戦いを立体化し、水上艦艇に代表さ

⁴ 冷戦終結以降を第 2 の戦間期と呼ぶ論文もあるが (例えば、Harvey M. Sapolsky, Benjamin H. Friedman and Brendan Rittenhouse Green eds., *US Military Innovation since the Cold War: Creation without destruction*, Routledge, 2009)、本稿では米国政府が公式に大国間競争の時代を宣言した 2017 年国家安全保障戦略以降を第 2 の戦間期と呼ぶ。

⁵ 後方支援体制についても同様であって、米海軍作戦副部長のバーク大将 (Robert Burke) は大国間競争の時代における艦船のメンテナンスに従来のモデルは使えないと述べている。Megan Eckstein, “VCNO Burke: Navy Needs New Readiness Model for New Era of Conflict,” USNI News, October 25, 2019, https://news.usni.org/2019/10/25/vcno-burke-navy-needs-new-readiness-model-for-new-era-of-conflict?utm_source=USNI+News&utm_campaign=6d96800771-USNI_NEWS_DAILY&utm_medium=email&utm_term=0 Odd4a1450b-6d96800771-231167173&mc_cid=6d96800771&mc_eid=7668058854.

れる在来型兵器との比重を変え、軍需資材等の勝敗に及ぼす比重が急変した理由による⁶。

明治の開国以来、日本海軍は軍備の充実に励み常に最新鋭の戦艦を求め続けた。しかし、航空機については青島攻略戦（大正 3（1914）年）で航空機が性能を誇示したにもかかわらず、あくまでも航空機を艦隊決戦の補助兵力と認識し、具体的には水上機の開発に力を入れた⁷。また、空母中心の艦隊編成も、米海軍が太平洋戦争前に基本的な運用方法を確立していたの⁸と比べ、日本海軍は戦艦中心の思想から完全に抜けきれなかった。高木によれば、航空機について日本海軍は近代戦から現代戦への変革期に明らかに立ち後れた⁹。

ドイツ海軍 U ボートによる通商破壊戦はイギリスを窒息寸前まで追い詰めた。イギリスの戦訓に学べば、日米が戦争となれば同じ島国である日本にとって海上交通保護は不可欠であったが、艦隊中枢部は終始冷淡であった¹⁰。その一方で、艦隊作戦用の兵力として潜水艦を高く評価し、水上艦部隊と共同した作戦が可能な航洋性や滞洋性の高い大型潜水艦の開発には熱心であった¹¹。米海軍は対日戦争計画の立案を始めた当初から、日本を屈服させるために地理的な包囲戦（封鎖）が有効であると考え、潜水艦をそのための兵器と位置づけていた¹²。第一次世界大戦中、日米海軍はともに対潜水艦戦に従事しながら、戦間期の潜水艦のイノベーションの方法について対照的な道をたどったと言えるであろう。

⁶ 海上自衛隊幹部学校篇『高木少将講話集』（防衛研究所所収）、海上自衛隊幹部学校、1979年、12頁、31頁。また、井上成美も新軍備計画論（昭和 16（1941）年 1 月）のなかで、「航空機、潜水艦ノ異常ノ発達ハ、戦争ノ方式ニ大ナル変革ヲ来シツツアリ」と述べ、航空機と潜水艦が海戦に多大な影響を及ぼすと指摘した。井上成美伝記刊行会編『井上成美』井上成美伝記刊行会、1982年、資-127頁。

⁷ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、第一法規出版、1995年、422頁。

⁸ 八木浩二は、米海軍は 1923 年から 21 回実施した艦隊演習（Fleet Problem）において駆逐艦等による空母護衛方法など運用方法を確立したと述べている。八木浩二「米海軍における空母の誕生と発展」田所昌幸、阿川尚之編『海洋国家としてのアメリカ：パクス・アメリカーナへの道』千倉書房、2013年、207-211頁。

⁹ 海上自衛隊幹部学校篇『高木少将講話集』11頁。

¹⁰ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 4 巻、545頁。

¹¹ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、420-421頁。

¹² Edward S. Miller, *War Plan Orange: the U.S. Strategy to defeat Japan, 1897-1945*, Naval Institute Press, 1991, p. 150.

2 日本海軍が独自に責任を負うべき太平洋戦争の敗因

『日本海軍史』は、先の大戦で実質的な敗戦処理とも言える昭和 19 (1944) 年 7 月上旬以降を除き海軍が責任を負うべき敗因として、大艦巨砲主義の墨守、航空部隊への過信と認識の不足、潜水（艦）部隊の育成と用法の不適切、海上輸送力と海上護衛の軽視、そして高級部隊指揮官の闘志と作戦指揮能力の不足を挙げている¹³。このうち技術と密接に関係する敗因を英米海軍の軍事技術イノベーションと比較してみる。

(1) 大艦巨砲主義の墨守

大艦巨砲主義を戦艦や巡洋戦艦など主力艦中心主義と解釈するならば、それは第二次世界大戦が終わるまで程度の差はあるが世界の海軍に共通して流れる思想であった。米海軍も例外ではなく、オコーネル (Robert O'Connell) は、日本海軍の真珠湾奇襲攻撃から 20 日を経たあとでさえ、ジェネラル・ボード¹⁴が戦艦勢力を回復する目的で、真珠湾事件 (the Pearl Harbor affair) は戦艦「ビスマルク」の沈没、戦艦「プリンス・オブ・ウェールズ」の撃沈と並んで特殊な環境の結果 (result of special circumstance) であるとの所見を海軍長官に提出したことを紹介している¹⁵。

日本海軍には主力艦中心主義が顕著に根を張り、太平洋戦争初期の作戦で我の海軍航空部隊が英米のほとんどの戦艦を撃沈、撃破したあとも根強く残った¹⁶。

戸部良一等は、その主たる原因として、日本海軍が日露戦争を成功体験として、戦艦とりわけ砲術を重視する政策をとり続けるうちに特殊化してしまい、次第に組織が硬化して、新技術を遠ざけ、思考を固定し、柔軟さに欠けた用兵思想を生んでいったと指摘している¹⁷。加えて、日本海海戦から 1 年を経ない 1906 年 2 月に進水した英戦艦「ドレッドノート」が建造中のも

¹³ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 4 巻、558-597 頁。

¹⁴ ジェネラル・ボード (General Board) は米海軍長官の諮問機関であり、設立目的は、戦争の際の効率的な準備と沿岸防備を確保することであった。Jarvis Butler, "The General Board of the Navy," *Proceedings*, Vol. 56/8/330, August 1930, pp. 700-705.

¹⁵ Robert L. O'Connell, *Sacred vessels : the cult of the battleship and the rise of the U.S. Navy*, Westview Press, 1991, p. 316.

¹⁶ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 4 巻、592 頁。

¹⁷ 戸部良一、寺本義也、鎌田伸一、杉之尾孝生、村井友秀、野中郁次郎『失敗の本質 - 日本軍の組織論的研究』中公文庫、1991 年、360 頁。

のを含め列国海軍の戦艦を一気に陳腐化し¹⁸、以後、列国海軍は短期間で目まぐるしく技術革新を繰り返す建艦技術と砲熕技術に連続して対応せざるをえなかった事情も作用したと思われる¹⁹。

「ドレッドノート」後、列国海軍は世界的な海軍拡張機運のなかで建艦競争を繰り広げた。とりわけ大砲の大口径化と長射程化、砲弾の炸裂力・装甲貫徹力の向上など、技術競争は熾烈であった。米海軍でも、戦列を維持する必要から結局は見送られたものの、建造予定の戦艦「ミシガン」と「サウス・カロライナ」を 16,000t から 18,000t に急遽大型化する検討を行っている²⁰。

当初、日本海軍内部には、日露戦争で近代的な砲戦をした経験から、一度に撃ち込む砲弾量や炸裂量を向上させる目的²¹で大口径砲ばかりを揃える弩級戦艦に対して、実際の戦闘や戦術を理解していないとの批判的な意見が強く存在し、むしろ速力面での対応が急務であると認識されていた²²。

しかし、結局のところ日本海軍は弩級・超弩級の波に抗しがたく、12 インチ砲 12 門を揃えた戦艦「河内」と「摂津」以降、大艦巨砲と遠距離砲戦の道を進み²³、大正 7 (1918) 年頃には遠距離砲戦中心主義が確立したと推察されている²⁴。この方向を決定づけたのは、遠距離砲戦で戦われたフォークランド沖海戦とジユットランド沖海戦であった。また、ジユットランド沖海戦後にドイツ海軍が優勢なイギリス海軍の根拠地に釘付けにされ、結局敗北したことも日本海軍に艦隊決戦による早期決着の必要性を認識させ、より主力艦中心主義へと向かわせることになった。ドクトリン（海戦要務令）はそ

¹⁸ 連装 12 インチ砲を 5 基 10 門搭載、副砲を廃し、21 ノットの高速航行が可能な「ドレッドノート」は、戦艦「三笠」を就役から 4 年を経ずして時代遅れにした。Fred T. Jane, *FIGHTING SHIPS 1906/7*, Sampson Low, Marston Co., Ltd., 1906, p. 65.

¹⁹ 日本海軍が明治 40 年の帝国国防方針に基づき建艦目標とした八八艦隊は第 1 期（艦齢 8 年未満）の戦艦と装甲巡洋艦（巡洋戦艦）各 8 隻の編成であった。つまり戦艦等は 8 年で時代遅れとなるということであり、当時の技術革新の速さを物語っている。海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、279 頁。

²⁰ O'Connell, *Sacred vessels*, p. 110.

²¹ イギリス海軍は日露戦争における日露海軍の砲数・射撃速度・炸裂力を合わせた砲力に圧倒的な差があった戦訓から、砲力に優れた戦艦「ドレッドノート」を建造した。海軍歴史保存会『日本海軍史』第 5 巻、385 頁。

²² 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、73-81 頁。射法や砲熕技術の改善が進んでも射撃管制装置を光学照準に頼る限り砲煙や気象状況の測的距離や精度への影響を免れず、また遠距離になるほど砲弾の散布が必然的に広がるなど、遠距離砲戦には必ずから技術的な限界があった。高速航行については、米海軍も戦列速力 16kt より 5kt も速い革命的な推進システムとして注目した。O'Connell, *Sacred vessels*, p. 110.

²³ ジューン海軍年鑑は戦艦「薩摩」を準弩級戦艦と記述しているため戦艦「河内」以降を弩級戦艦とした。Jane's *Fighting Ships 1916: An encyclopedia of the navies of the world*, Sampson Low, Marston & Co., Ltd., 1916, p. 178a.

²⁴ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、83 頁。

れに対応すべく改訂が加えられ、昭和 10（1935）年に無条約時代に入ってから、技術革新の勢いは建艦技術・砲術技術の粋を集めた「大和」・「武蔵」の建造へと日本海軍を一気に駆け上らせた。

（2）航空部隊への過信と認識の不足

日本海軍において航空技術の発展は、大正 10（1921）年から約 18 か月間にわたって訪日したイギリスのセンプル元空軍大佐（William Sempill）の飛行団まで待たねばならない。センプル大佐は、最新航空兵器（魚雷、爆弾、機関銃、カメラ、通信機器等）を紹介したばかりか、20 種類 100 機を超す航空機を持ち込んで指導を行った²⁵。しかし、新たに登場した航空機に対して海軍内には懐疑的な見方が強く、昭和 2（1927）年に海軍航空本部が新設され行政、教育、技術など総合した管理ができるようになるまで、一部に技術的な発展はあったものの一貫したアプローチは取られなかった²⁶。また、日本国内の厳しい財政状況と国際連盟加盟による平和主義も海軍航空には逆風に働いた²⁷。

『日本海軍史』は、日本海軍が航空機作戦に失敗した理由のひとつに、「航空部隊の実力を正当に判断して、その戦力の維持と増強に周到な配慮をすることに努力した高級の幹部が極めて少なかった」ことを挙げている²⁸。これは高木も指摘するところであり²⁹、日本海軍が人事までも砲術を重視した弊害と考えられる。

イギリス海軍の航空機は第一次世界大戦中に著しい発展を遂げ、終戦時には空母を 12 隻保有したが、第二次世界大戦開戦時には第一線空母は 4 隻（他に旧型艦 3 隻）にまで激減していた。ティル（Geoffrey Till）によれば、同じ期間に航空分野で著しい発展を遂げた日米海軍との比較において、イギリス海軍が第 1 世代の空母多数を艦隊に保有していたことが不利に働き、また戦間期のイギリスには、太平洋を挟んで対峙する日米のように敵が明確でなかった分だけ国家として危機感が薄く、航空行政について官僚機構が割れており、それが資源の適正な割り当てを阻害し、空母の保有や海軍航空の発展

²⁵ David C. Evans, Mark R. Peattie, *KAIGUN: Strategy, tactics, and technology in the Imperial Japanese Navy 1887-1941*, Naval Institute Press, 1997, pp. 300-301.

²⁶ Geoffrey Till, “Adopting the aircraft Carrier: the British, American, Japanese case studies,” Williamson Murray and Allan Millet eds., *Military Innovation in the Interwar Period*, Cambridge University Press, 1996, p. 212.

²⁷ Yoichi Hirama, “Japanese Naval Preparations for World War II,” *Naval War College Review*, Vol. 44, No. 2, Spring 1991, p. 7.

²⁸ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 4 巻、591-593 頁。

²⁹ 海上自衛隊幹部学校校篇『高木少将講話集』11 頁。

の障害となった。また、このうち最も大きな問題は、制約された資源がイノベーションの実験をする意志を減じ、他の軍種と共同することを難しくしたことであった³⁰。

前述のとおり、米海軍内にも主力艦優先主義が根強かったが、米海軍は海軍大学の図上演習や艦隊訓練を通じて徐々に空母を中心とする艦隊編成に切り替えていった。何よりシムズ（William Sims）やモフェット（William Moffett）などイノベーション期に人を得たことが大きかった³¹。また 1922 年から 1940 年まで 21 回シリーズで行われたシナリオによらない対抗型の艦隊演習（fleet problem）が、平和時において指揮官等を作戦計画や作戦環境に習熟させる場になったとともに³²、駆逐艦等による十分な護衛を得られない空母が敵空母機動部隊や潜水艦からの攻撃に脆弱であること示すなど、太平洋戦争前に空母の基本的な運用方法の確立する役割を果たした³³。

賛否はあるが³⁴、米陸軍ミッチェル少将（William Mitchell）の編成した戦術爆撃部隊が、第一次世界大戦の戦利品としてドイツ海軍から接收した弩級戦艦「オストフリースランド」（SMS Ostfriesland）³⁵を特別に製造した 2,000 lb 爆弾（TNT1,000 lb）³⁶の水中爆発によって攻撃開始から約 16 分後、6 発目の攻撃で沈没させたことも、米海軍内に主力艦中心主義の終焉を強く印象づけた³⁷。

（3）潜水（艦）部隊の育成と用法の不適切、海上輸送力と海上護衛の軽視 戦間期、日米英海軍の潜水艦の発展は特色ある道を歩いた。

³⁰ Till, “Adopting the aircraft Carrier,” p. 226.

³¹ 八木「米海軍における空母の誕生と発展」、204-205 頁。

³² Albert A. Nofi, *To train the fleet for war: the U.S. Navy fleet problems, 1923-1940*, Naval War College Press, 2010, pp. 1-4.

³³ 八木「米海軍における空母の誕生と発展」、207-211 頁。

³⁴ 例えばノフィ（Albert Nofi）はミッチェルの攻撃を実験規則を無視した新聞受けを狙った行為（grabbing headlines）と非難し評価していない。Nofi, *To train the fleet for war*, pp. 30-31.

³⁵ 常備排水量 22,800t、1909 年 9 月就役。同時期に就役した米海軍弩級戦艦「ノースダゴタ」（常備排水量 20,000t）より優れた装甲を持っていた。*Jane's Fighting Ships 1916: An encyclopedia of the navies of the world*, pp. 130a, 155.

³⁶ 日本海軍の 93 式 1 型酸素魚雷は 1,000 lb より重い 500 kg（約 1,100lb）、同 3 型は 780 kg（約 1,720 lb）の炸薬を搭載した。海軍歴史保存会『日本海軍史』第 7 巻、650 頁。

³⁷ O'Connell, *Sacred vessels*, pp. 254-260.

第一次世界大戦中に日本海軍は第二特務艦隊を地中海に派遣し、死傷病者を出しながら総計 348 回 7,887 隻の船舶を U ボートの攻撃から護衛した³⁸。自国の戦略環境を考慮すれば、日本海軍は同盟国イギリスに船団護衛システムなど対潜水艦戦の教訓や聴音技術を積極的に求めるべきだったが、潜水艦攻撃から通商路を保護することよりも潜水艦の攻撃力の方に関心が集まった³⁹。これにはワシントン海軍軍縮会議で戦艦保有量が対米 7 割に満たなかった状況を補助艦で補う必要も働いた。日本海軍は作戦計画で潜水艦を邀撃漸減作戦の一兵力と位置づけた。主力部隊のはるか前方に潜水艦を展開し、米海軍部隊を待ち伏せ攻撃する。日本海軍は第一次世界大戦後に戦利品として持ち帰った U ボートを徹底的に研究し、大正 13 (1924) 年にはイ-51 型潜水艦を作り上げるなど、主力部隊に随伴できる推進装置と船体の技術を達成したことも潜水艦の攻撃力により目を向けさせることにつながった。他方、潜水艦は追跡、触接、攻撃能力を重視した反面、騒音を小さくする配意は不十分であった。日本海軍が太平洋戦争中に失った潜水艦のほとんどが騒音とレーダーの不備によるものと推測されているように、日本海軍は潜水艦の性能や長所短所を客観的に見ることができなかった。海上護衛についても同様であって、対潜作戦に対する独りよがりの判断から、日本海軍には開戦時に専用の機能を備えた艦船や航空機用レーダーはなく、海上護衛を専門に担当する中央機関も部隊もなかった⁴⁰。

イギリスが第一次世界大戦から得た潜水艦に関する教訓は、潜水艦の攻撃から通商を保護する対潜水艦戦の必要性であり、ワシントン海軍軍縮会議以降一貫して潜水艦を国際法で禁止する立場を取った。またアメリカに熱心に働きかけ、アメリカも外交上はイギリスに同調し、国際法を遵守する立場から潜水艦による商船の無制限攻撃を禁じた「潜水艦の戦闘行為に関する議定書」（1930 年 4 月 22 日のロンドン条約第 4 編）を対日作戦計画のなかでも支持していた⁴¹。

しかし、結果的にアメリカは潜水艦による通商破壊の道を選んだ。その背景には対日作戦計画と技術力の問題があった。

³⁸ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、346-365 頁。第二特務艦隊は軍令部の命令によって潜水艦の用法や対潜戦を含む調査を行い、英仏の軍用水中聴音機に関する報告をしている。同 355-358 頁。

³⁹ 同上、360 頁。

⁴⁰ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 4 巻、590-596 頁。

⁴¹ Eliot A. Cohen and John Gooch, *Military Misfortune: the anatomy of failure in war*, Vintage Books, a Division of Random House, Inc., 1990, pp. 59-94; Gary E. Weir, "The Search for an American Submarine Strategy and Design, 1916-1936," *Naval War College Review*, Vol. 44, No. 1, Winter 1991, p. 44.

米海軍の対日作戦計画（オレンジ計画）は、当初から太平洋の地理を克服することが大戦略であった⁴²。太平洋を横断し、開戦当初に日本軍に攻め取られるであろうフィリピンやグアムをどのようにして回復するか。石油を含め、海外からの資源に依存している日本の戦略的な特徴にかんがみ、日本の物資輸送を止め、最後には日本を外部から地理的に孤立させることが作戦計画の目標となった。米海軍は潜水艦を通商破壊（*guerre de course*）のための兵器と認識していたが⁴³、第一次世界大戦後しばらくは日本海軍と同様に艦隊型潜水艦（*fleet submarine*）の研究に努めた。しかし、米海軍は技術的に信頼できる艦隊型潜水艦を長く製造できず、特にディーゼル機関の信頼性が低く、開戦直前に S 型潜水艦が登場するまで信頼できる潜水艦が存在せず、日米開戦時に潜水艦に付与できる任務は技術的にも通商破壊以外はなかった。ウィア（Gary Weir）はこの状況を「これまでは戦略が船の性質を決定していたが、（米海軍の）潜水艦の場合は逆になった。」と評している⁴⁴。

3 戦間期における日本海軍の技術的な失敗

以上を総括すれば、戦間期の軍事技術イノベーションについていくつかの教訓を指摘できる。

まず、日本海軍は日露戦争の成功体験に縛られ、第一次世界大戦で新たに登場した技術を日本の戦略環境に適した形で取り入れられず、また関連するドクトリン開発ができなかった。先の戦争の遺産が戦間期の軍事技術イノベーションにマイナスに働いたのはイギリス海軍も同様であった。他方で、ホーン（Trent Hone）は、米海軍が旧来思考にとらわれなかった理由のひとつに、米海軍には、イギリス海軍や日本海軍のように将来の戦略思想を左右するほど大きな戦争経験がなかった点を指摘する⁴⁵。また、試行錯誤を重ねる米海軍の教育手法と艦隊訓練が、太平洋戦争冒頭の壊滅的な打撃を乗り越え、2年のうちに新たな作戦計画を作り出した知的アプローチを可能にしたと述べている⁴⁶。

⁴² Miller, *War Plan Orange*, p. 4.

⁴³ Clay Blair, Jr., *Silent Victory: the U.S. submarine war against Japan*, Bantam Book, 1975, p. 45.

⁴⁴ Weir, "The Search for an American Submarine Strategy and Design, 1916-1936," pp. 34-35.

⁴⁵ Trent Hone, *Learning war: the evolution of fighting doctrine in the U.S. Navy, 1898-1945*, National Institute Press, 2018, p. 344.

⁴⁶ *Ibid.*, pp. 122-123.

第 2 に、日本は本格的に第一次世界大戦に参加しなかったため、戦訓を客観的に取り入れられなかった。日本は日英同盟に基づくイギリスからの強い要請に応え第一次世界大戦に参戦したが、日本海軍の主たる活動海域は戦争の主たる戦域から外れた地域に限られた。多くの観戦武官を大西洋に派遣したものの、U ボートによる通商破壊より、ジユットランドの戦いが中枢部の思考にインパクトを与え、通商破壊戦に対するイギリスの苦悩は伝わらなかった。戸部は「日本軍にとって誠に不幸であったのは第一次世界大戦という近代戦あるいは消耗戦を組織全体がまともに体験しなかったことであった。戦車や航空機など軍事組織の戦略や組織自体を根底から変革させる技術革新にも、実感をもって十分目を向けることができなかつた。外部環境から来る脅威をテコにして、過去の戦略、組織、行動様式を自己革新する機会を失つた。」と分析している⁴⁷。

第 3 は、戦間期の過度の建艦競争と戦艦中心主義が、常に日本海軍の造兵将校に列国に勝る技術開発を求め、次第に技術開発のための技術開発となつて行き、その結果、達成された高度な技術がかえつて戦略の変更を難しくしていった可能性である。航洋性に優れた潜水艦の開発成功が、邀撃漸減作戦への潜水艦の活用と船団護衛の軽視につながつたことは前述したが、砲撃技術についてこの傾向は顕著で、口径 48 センチ砲の試作及び試射はワシントン海軍軍縮条約前の大正 9（1920）年には終わつていた⁴⁸。つまり、日本海軍では、米海軍で潜水艦の技術開発の遅れが戦略を変更させたのとは逆の状況、いわば技術開発の成功が戦略変更を難しくする状況を生じさせたと言えるのではないか。潜水艦開発における日米海軍の違いは、兵力運用と技術開発の関係の難しさを物語る。

第 4 として、アメリカが「軍備のための想定敵国」から「実際に戦う可能性のある想定敵国」に変わった時期に、日本海軍が兵力整備の量的・質的な抜本的見直しができなかつたことがある。日露戦争後、日米が外交面で対立しつつあつた明治 40（1907）年の帝国国防方針はアメリカを想定敵国としたが、これは陸軍と違って具体的な仮想敵国を持たなかつた海軍が海主陸従政策を推し進めるための便宜上の手段であつた⁴⁹。戦間期の海軍軍縮条約をめぐる交渉で日本海軍がこだわつた対米 7 割の比率は、アメリカの開戦意志をくじく最小限度の必要数量と考えられた。他方で米海軍にとつても日本を 7 割以下に抑える必要は、米大陸西岸から太平洋を横断して極東に兵力を展

⁴⁷ 戸部他『失敗の本質-日本軍の組織論的研究』382-383 頁。

⁴⁸ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 3 巻、96 頁。

⁴⁹ 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、282-284 頁。

開する途中で兵力が 3 割減耗する見積りに基づいており、5:3 の比率は譲れない数値であった⁵⁰。日本海軍にとって第 2 次ロンドン海軍会議からの脱退が自主的な軍備への転向点となったが、その後 3 年を経ても、井上成美航空本部長（当時）の言う「軍縮条約廃棄ノ際、海軍ガ多大ノ希望ヲ懸ケ、国民ニ迄声明セシ自主的軍備ハ何処カニ置キ忘レラレタルノ観」は否めなかった⁵¹。他方、『日本海軍史』は、新しい戦争様相の洞察と創意に富む特徴ある軍備が必要とされていたものの「潜水艦による海上交通破壊には厳しい国際法上の制約が課せられ、航空機の可能性は豊かでも現実の能力はまだ期待をかけられないこの当時、対称的軍備を持ち、その活用に期待する以外の方法は見出し得なかった」として、意図はあっても軍備の転換が困難だったと記している⁵²。いずれにせよ、日本海軍は軍備想定敵国から想定敵国に対応する軍備へと転換する時期を失した。

第 5 は、兵器の使用に国際法上の制約があっても、政治が必要と考えれば使用されるということである。日本海軍は対米開戦当初から民間人への被害を局限しようと努め、また無制限潜水艦戦をしない立場を守った。しかし、ハワイの米海軍潜水艦部隊は真珠湾攻撃から 6 時間後に「日本に対し無制限航空・潜水艦戦争 (UNRESTRICTED AIR AND SUBMARINE WARFARE) を行え」とのメッセージを海軍省から受け取っている⁵³。米海軍の無制限潜水艦戦は真珠湾攻撃の報復行為と説明されているものの、タルボット (J. Talbott) は戦間期における米海軍の潜水艦作戦の研究から「米国にとって無制限潜水艦戦は 1919 年以前から戦間期を通じて決められていた可能性の高い結論」だったと指摘している⁵⁴。

政府が必要なら国際法が禁止していても使う。この状況を、同じくタルボットは、開発に要する期間と経費の観点から「(米海軍の) 潜水艦開発の歴史は、責任ある当局が戦争遂行をより効率的にすることを約束する兵器を手にした場合、それを使用することも確認する。」と評した⁵⁵。これは現在でも変

⁵⁰ Hone, *Learning war*, pp. 124-125.

⁵¹ 井上成美伝記刊行会『井上成美』資-127 頁。

⁵² 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 3 巻、233-235 頁。

⁵³ Blair, *Silent Victory*, p. 107.

⁵⁴ J.E. Talbott, "Weapon Development, War Planning and Policy: The U.S. Navy and the Submarine, 1917-1941," *Naval War College Review*, Vol. 37, No. 3, May-June 1984, p. 56.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 68.

わらない。国際法によって厳しく禁止された化学兵器をシリア政府軍が使用した可能性が度々報じられているように、国際法には限界がある⁵⁶。

4 第 2 の戦間期における海上自衛隊の軍事技術イノベーション

海上自衛隊は第 2 の戦間期でどのように軍事技術イノベーションに取り組むべきか。

軍隊にとって平和時のイノベーションは難しい。イギリス海軍が艦載航空機と空母の価値を理解したのは戦争中であり、日本海軍が船団護衛の重要性や特殊な船舶や航空機が必要なことに気付いたのも戦争が始まって一般商船の被害が拡大してからであった。最終的に戦争の圧力が新たな技術の可能性を認識させたということであろう。

太平洋戦争が始まったとき、米海軍は新たな作戦計画を作り、艦隊を整えるために 2 年間に要した。次の戦争ではそうした時間はない。米海軍太平洋情報戦センターのゲイナー大佐 (Andrew Gainer) は「1940 年代の海上における戦争の速度は、船や飛行機の速度であった。今世紀の戦争のペースは、もしそうなれば、光子と電子のペースになるだろう。」「それらを用いて効果的に戦う方法を見つけた最初の国がおそらく勝つだろう。2 年間の学習曲線はない。戦いの最中にそれを解明する時間はないだろう。」と語っている⁵⁷。

以上から導き出される結論は、新たに登場する軍事技術イノベーションは実際に軍事行動が始まってから着手するのでは遅く、平素から適時に行っていかなければならないということである。

第 2 に、戦間期は軍事技術イノベーションと並行してポスト冷戦期に半減した防衛力の量的回復を同時に進める必要がある。そのためには十分な資源配分と、政府と民間セクターの双方で、軍事技術イノベーションに対するパラダイム・シフトと協力した取り組みが不可欠である。

先の戦間期にイギリス海軍が十分な資源を得られず航空機のイノベーションが遅れたのと同様に、明確な脅威がないポスト冷戦期の西側軍隊は技術開発に関する政府や民間の強い支持が得られず、強い量的削減の圧力に耐えな

⁵⁶ 例えば、Lara Jakes, “U.S. Concludes Syria Used Chemical Weapons in May Attack,” *New York Times*, September 26, 2019, <https://www.nytimes.com/2019/09/26/world/middleeast/syria-chemical-weapons-us.html>.

⁵⁷ Gidget Fuentes, “Navy, Marines Exercising How to Use Information Warfare in Future Conflicts,” USNI News, April 12, 2019, Updated: April 14, 2019, <https://news.usni.org/2019/04/12/navy-marines-exercising-how-to-use-information-warfare-in-future-conflicts>.

が技術開発を進めていかざるを得なかった⁵⁸。冷戦後の米海軍も、米海軍の軍事的ヘゲモニーを脅かす競争者が世界の海に存在しないままにインクリメンタルな技術革新と対称的な量的縮小を繰り返し、航空部隊、水上艦部隊、潜水艦部隊の海軍三大コミュニティは相対的な比率をほぼ保ちつつ量的に半減した⁵⁹。2016 年末、メイバス (Ray Mabus) 米海軍長官は「テロとの闘いを継続し、増大する中国および復活するロシアと適切に競争しながら、米国を守り、世界中の戦略的利益を守り続けるために、米国海軍は成長を続けなければならない。」と述べ、米海軍は冷戦期から半減した体制を 355 隻体制へと増勢させるべく動き始めている⁶⁰。

軍隊と民間セクターの緊密な連携は軍事技術イノベーションの鍵となる。新たな技術について軍事技術と民生技術の区別はさらに不明確となり⁶¹、例えば AI 技術は人間の生活を豊かにするが、同時に自律型致死兵器システム LAWS に不可欠なように、潜在的な破壊的技術 disruptive technologies のほとんどが軍民両用の性質を持っている⁶²。また、新技術の研究開発に軍事組織よりはるかに多い資金を投入できる民間セクターは、技術開発のスピードや幅において優れ⁶³、今後は民から軍への技術スピノフはあってもその逆

⁵⁸ David T. Burbach, Brendan Rittenhouse Green, and Benjamin H. Friedman, “The technology of the revolution in military affairs,” *US Military Innovation since the Cold War*, p. 15.

⁵⁹ Benjamin H. Friedman, “The Navy after the Cold War: Progress without revolution,” *US Military Innovation since the Cold War*, pp. 71-91.

⁶⁰ 2016 年兵力体制評価 (2016 Force Structure Assessment) は 355 艦隊 (空母 12 隻、大型水上艦 104 隻、小型水上艦 52 隻、両用戦艦艇 38 隻、潜水艦 66 隻) を推薦し、メイバス米海軍長官はその必要性を強調した。The Office of the Secretary of the Navy, “Secretary of the Navy Announces Need for 355-ship Navy,” *Navy News Service*, December 16, 2016, https://www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=98160.

⁶¹ Douglas J. Feith, “China’s Maritime Strategic Challenge,” Hudson Institute, October 18, 2019,

<https://www.hudson.org/research/15404-china-s-maritime-strategic-challenge>.

⁶² Imperial Techforesight, “Interrogate our table of disruptive technologies,”

Imperial College London,

<https://imperialtechforesight.com/visions/table-of-disruptive-technologies/>.

⁶³ 2017 年度の米ハイテク企業上位 5 社の研究開発予算は 76 億ドル、米海軍は約 18 億ドル。Amazon だけでも 23 億ドル。Donna Fuscald, “Amazon’s \$23B R&D Budget Sets Record: Recode,” Investmedia, June 25, 2019,

<https://www.investopedia.com/news/amazons-23b-rd-budget-sets-record-recode/>;

Department of Defense Fiscal Year (FY) 2019 Budget Estimates Research, Development, Test & Evaluation, Navy Budget Activities 1, 2, and 3, February 2018,

https://www.secnav.navy.mil/fmc/fmb/Documents/19pres/RDTEN_BA1-3_BOOK.pdf.

は難しく、新たな技術領域で競争を優位に進めるためには民間セクターの協力は欠かせない。米国政府の第 3 次オフセット戦略も、限られた予算の中で官民が協力して競争相手に対する技術的および運用上の優位性を維持する戦略であった⁶⁴。

第 3 は、軍事技術イノベーションを進めるに当たって、強いリーダーシップと担当者の意志、そして業務を統括する組織がイノベーションを実現させるということである。

バーバック（David Burbach）他は、ミサイル技術の進歩とともに消え去る運命にあった有人爆撃機が運用上の必要からステルス爆撃機の開発となった例を挙げ、技術の進歩が防衛計画を変えたのではなく、防衛計画立案者が能力開発の必要性を認識した後に重要な技術的な進展がなされたと述べている⁶⁵。戦間期の日米海軍ともに航空機技術の開発には強いリーダーが必要であった。また、日本海軍で航空機が急速に発達していった時期は、それまで分割して管理されてきた機能を集約し、昭和 2（1927）年に海軍航空本部が設立され統一的な発展が可能となったあとであった。

以上は、これからの海上自衛隊が行う軍事技術のイノベーションに当然ながら当てはまるが、海上自衛隊を取り巻く環境はそれ以上に厳しい。

これまで海上自衛隊の軍事技術イノベーションは一貫して平時に行われ、とりわけ基盤的防衛力構想を採用した昭和 51（1976）年からは特定の「軍備想定敵国」も「想定敵国」もない中性的なイノベーションを長く行い、護衛艦、航空、潜水艦の基幹部隊は相対的な比率を保ちながら 25 防衛大綱（2013 年）まで約 20 年にわたって相対的に縮小した。また、海上自衛隊には冷戦中はもとより冷戦後についても実戦に参加した経験がない分、米海軍のように技術開発が作戦上の必要から生まれることは不可能で、帰納的で受動的な対応にならざるを得なかった。

創設以来実戦に従事した経験のない海上自衛隊には固執するような成功体験はない。しかし、約 20 年にわたって厳しい財政の圧力に耐え相対的な体制の縮小と限られた技術分野についてインクリメンタルな適応を繰り返した結果、次第に基幹部隊の維持が目的化してしまい、日本海軍とは違った意味で、新たな技術を取り込むインセンティブが低下していったことは否めない

⁶⁴ The International Institute for Strategic Studies, “Chapter Three: North America,” *The Military Balance, 2017*, Routledge, 2017, pp. 27-62.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 35.

66. 研究開発予算や正面装備経費の縮小もこれに拍車をかけた。日本海軍は大正初期から八八艦隊に向けて大型の建造計画に着手したが、大戦景気の一時期を除いて日本の財政状況はこうした大計画に耐えられる状況にはなく、また実際の建艦費は常に計画値を上回った⁶⁷。日本海軍がジュットランド沖海戦の戦訓を新造艦にはいち早く取り入れたものの既成艦への適用が大幅に遅れたか不十分に終わった⁶⁸理由に厳しい財政状況があった可能性を否定できず、これと同様に海上自衛隊も厳しい資源の制約から、新たな技術への適応を新規艦艇や航空機による旧型装備の代替更新をもって行い、したがって既就役装備への適用は見送り、同じ機種や艦種のなかでも装備の不均衡を作り出してしまった。

30 防衛大綱は、新たな安全保障環境のもと、わが国の地理的特性も踏まえたうえでシミュレーションや総合的な訓練・演習を拡充し、対処態勢の実効性を高め、わが国の平和と安全を守る中核として、多次元統合防衛力を構築するとしているが⁶⁹、いままでと同じ防衛力整備の計画体系を踏襲するならば、重点的な予算配分や新装備の開発、新技術に適した組織改編が行われる可能性は高いとは言えず、大国間競争に真剣に取り組み始めた米海軍との装備面でのギャップは広がってしまう。

マンスール (Peter Mansoor) は、「RMA (軍事力の革命) とは、技術の飛躍的進歩、組織的な適応、ドクトリンの革新などが組み合わせられてきた戦争の変革であり、軍事作戦を実行するための新しい、より効果的な方法につながるものである。」と言っている⁷⁰。新たな技術とそれを運用する組織、そしてドクトリンの 3 要素が適切に組み合わせられたときに軍事技術イノベーションが可能となるということである。第一次世界大戦中に出現した航空機が太平洋戦争では両用戦の重要兵力となってアメリカを勝利に導いた例はこの典型と言えよう。

ワシントン海軍軍縮会議に臨み日本海軍の主張した対米 7 割は、何回もの図上演習を重ねた結果得られた「勝てないにしても負けることはないと思わ

66 武居智久「哨戒艦は海上防衛力整備の「異端」となり得るか」『世界の艦船』2019 年 8 月号 (通巻第 905 集)、2019 年 8 月、141-145 頁。

67 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 2 巻、435-594 頁。

68 同上、422-423 頁。

69 『平成 31 年度以降に係る防衛計画の大綱』平成 30 年 12 月 18 日。

70 Peter R. Mansoor, "The Next Revolution in Military Affairs," *STRATEGIKA*, Issue 39, Hoover Institution, March 15, 2017, <https://www.hoover.org/research/next-revolution-military-affairs>.

れる」⁷¹ 数値であった。対米不戦の考え方のもと、戦ったら相手に手強いと思わせる、戦争を抑止するための数値であることは、ワシントン海軍軍縮会議からロンドン海軍軍縮会議を通じて海軍には理解されていた⁷²。井上成美の新軍備計画論も、戦えばアメリカを屈服させるのは不可能であることを理解しつつ、日本の防衛体制を安全に固める軍備のあり方を進言したものであった⁷³。

防衛力は最後の手段である。第 2 の戦間期における防衛力整備もその目的が抑止にあることは揺るぎない原則である。それを踏まえた上で、まず海上自衛隊は防衛力整備のパラダイムをポスト冷戦期から戦間期へとシフトしなければならない。そして想定される作戦シナターと作戦概念を踏まえ、ポスト冷戦期の「整備するための防衛力」から「戦うための防衛力」を目指し技術、組織、ドクトリンの 3 つの観点から新たな技術への適応を進めて行く必要がある。軍事技術イノベーションは間違いなく既存装備の全能発揮が土台となる。周知のとおり、太平洋戦争開戦当初、日米海軍とも開戦時に魚雷の信頼性の低さに苦労したが、海上自衛隊にとって既存装備の信頼性向上は早急に取り組むべき課題である。これはまた技術者の良心の問題でもある。

おわりに

かつてインターネットは一握りの人々のものだったが、いまでは空気のよう
に人々はインターネット技術に支えられていることに気付かず暮らしている。
新たに登場した AI 技術は間違いなく社会生活に広く溶け込んでいき、
軍事分野にも否応なく浸透するであろう。

マンスールは「最も有望な新技術の一つはロボット革命である。ロボット
技術の発展に伴い、将来の戦場では自律システムや半自律システムが主流に
なるかもしれない。この進化は、重大な軍事的発展とともに、特に、引き金
を引くときの意思決定ループに人間がいない完全自律型ロボット兵器に関し
て、挑戦的な倫理的問題をもたらすだろう。」と述べている⁷⁴。すでに、AI
技術とロボット技術が結びついた自律型致死兵器システムの禁止について国
際人道法の検討は始まっている。

⁷¹ 山梨勝之進『歴史と名将—戦史に見るリーダーシップの条件—』毎日新聞社、1981年、159-162 頁。

⁷² 海軍歴史保存会『日本海軍史』第 3 巻、231-235 頁、540-541 頁。

⁷³ 井上成美伝記刊行会『井上成美』資-126-資-127 頁。

⁷⁴ Peter R. Mansoor, “The Next Revolution in Military Affairs.”

しかし、シャーレ（Paul Scharre）は次のように問う。「(AI システムの) 軍拡競争は防げるのか、それともすでに始まっているのか。すでに起こっているのであれば、止められるのか。危険な技術をコントロールしてきた人類の実績はまちまちだ。危険すぎるか非人道的な兵器を禁止しようとする動きは古くからあった。20 世紀初頭に潜水艦や航空機を禁止しようとした試みを含め、これらの多くは失敗した。化学兵器の禁止のように成功した試みでさえ、バッシュール・アルアサド（Bashar al-Assad）のシリアやサダム・フセイン（Saddam Hussein）のイラクのようなならず者政権をほとんど阻止できていない。もし国際的な禁止令が、殺人ロボットの軍隊を建設する世界で最も憎悪に満ちた政権を止めることができなければ、私たちはいつか、人生にもたらされた最も暗い悪夢に直面するかもしれない⁷⁵。」

新たに登場する軍事技術に国際法の観点からの検証は不可欠である。他方で国際法には限界がある。政治が必要と認めたならば、国際法によって禁止された兵器でも使う。化学兵器用防護器材を整備するのと同様に、国際法で制限された場合であっても完全自律型致死兵器への備えは必要である。これも第 1 の戦間期の軍事技術イノベーションから得られた重要な教訓である。

⁷⁵ Paul Scharre, *Army of None: Autonomous weapons and the future of war*, W.W. Norton and Company, 2018, pp. 7-8.

日本海軍の航空への取り組みにかかる問題点

一 技術の「ひずみ」の形成過程と影響 一

岩村 研太郎

はじめに

歴史の中で、戦闘空間は技術の発展により陸上、海上、空中へと漸次拡大してきた¹。戦間期は、第三の作戦領域である航空の技術が著しく発達した反面、未だ理論家が突飛な主張を行う「夢と理論」の期間であった²。科学技術の進歩に伴い、宇宙、サイバー、電磁スペクトラムの新たな領域が目される現在、当時の日本海軍の航空に対する取り組みを再評価する意義は大きい。

世界的に戦艦主兵の観念が色濃く残る中、日本海軍は航空技術の進歩に追随し、他国海軍に例のない独自の陸上専用機を始め、自国の陸・空軍とほぼ同数の飛行機を持つ、世界で異色の航空部門に成長した³。開戦時における兵器の性能や搭乗員の技量は陸軍にも優り、真珠湾攻撃、マレー沖海戦において、航空戦力の威力が決定的なことを示した。この点のみ捉えれば、日本海軍が先見性を持って航空に取り組んだとも言える。

一方、海軍航空の敗因は、一般に消耗戦に対応できなかったこと、と認識されている⁴。つまり、作戦指導の問題に言及しながらも、最終的には日米の生産力の差に還元されてきた。生産力の問題は否定できないが、他方で米国戦略爆撃調査団は、日本陸海軍が「制空権を持続させるための必要条件の全範囲と複雑性を正しく評価することに失敗した」と、航空戦力に対する考え方の問題を指摘している⁵。これは、先進的な機体設計とは対照的に、発動機、防弾、無線

¹ 長尾雄一郎、石津朋之、立川京一「戦闘空間の外延的拡大と軍事力の変遷」石津朋之編『戦争の本質と軍事力の諸相』彩流社、2004年、108頁。

² ウィリアムソン・マレー「エア・パワーの誕生と発展」防衛研究所編『平成17年度戦争史研究国際フォーラム報告書』2006年3月、61頁。

³ 渡辺洋二『局地戦闘機「雷電」－異貌の海鷲－』文春文庫、2005年、15頁。

⁴ 荒川憲一『戦時経済体制の構想と展開－日本海軍の経済史的的分析－』岩波書店、2011年、206頁。

⁵ 富永謙吾「米軍の日本海軍航空論評－戦略爆撃調査団報告書その他－」海空会編『海鷲の航跡』原書房、1982年、552頁；United States Strategic Bombing Survey, *United States Strategic Bombing Survey I: Summary Report (European War) (Pacific War)*, Reprinted by Air University Press, October 1987, p. 69.

や照準器等の周辺技術、飛行場設営や衛生等の面で遅れていた航空技術の「ひずみ」に表れており、元海軍軍人も反省を語っている⁶。これらの技術のひずみはどのように形成され、また作戦にいかなる影響を及ぼしたのだろうか。これを解明することは、海軍航空の本質的特徴を知ることにつながる。

海軍の航空技術・軍備に関する先行研究は、全般に航空機の性能と生産体制に偏重し、用兵や他の技術分野への言及が不十分である⁷。戦間期における日米英の海軍航空の発達、特に空母の運用は、軍事における革新（RMA）の一例として注目されており、艦隊決戦思想が日本海軍の空母運用に及ぼした制約も指摘されている⁸。しかし、一般的な海軍航空の範疇を超えた、陸上機の運用は十分包含されていない。柳澤潤は、エア・パワーの観点から日本の航空戦力の問題点を包括的に指摘したが、陸海軍の相違を意識していない⁹。なお、陸軍航空については、固有の特徴の究明が進んでいる。横山久幸は、陸軍航空が空軍と

⁶ 柄沢英一郎「航空技術のひずみ」近代戦史研究会編『日本近代と戦争 6 軍事技術の立遅れと不均衡』PHP 研究所、1986年、193-221頁；戸高一成編『証言録』海軍反省会 6』PHP 研究所、2014年、169-177頁。

⁷ 特に海軍の航空軍備と関係の深いものは、稲澤宏行「軍事戦略の形成と軍産関係—戦間期の日本海軍における航空戦力と技術力向上の視点から—」『政策科学』第19巻第4号、2012年3月、211-224頁；野田富男「軍需産業における技術開発と航空兵力の育成—ゼロ戦の開発とパイロットの育成—」『九州情報大学研究論集』第14号、2012年3月、25-38頁；相澤淳「ロンドン会議後の航空軍備と山本五十六」海軍史研究会編『日本海軍史の研究』吉川弘文館、2014年、151-179頁；千田武志「日本海軍における航空機生産体制の形成と特徴」横井勝彦編著『航空機産業と航空戦力の世界的転回』日本経済評論社、2016年、51-92頁；小野塚知二「戦間期航空機産業の技術的背景と地政学的背景」横井篇著『航空機産業と航空戦力の世界的転回』189-237頁；西尾隆志「戦間期ドイツから日本への航空技術移転—日本航空技術『自立』化過程と『軍縮下』の軍拡—」『国際武器移転史』第4号、2017年7月、89-115頁；西尾隆志「1930年代におけるドイツから日本への航空技術移転—ハインケル社と日本海軍との関係を中心に—」『国際武器移転史』第6号、2018年7月、89-117頁。土木技術に関しては、佐用泰司、森茂『基地設営戦の全貌—太平洋戦争海軍築城の真相と反省—』鹿島建設技術研究所出版部、1953年が代表的。

⁸ 塚本勝也「戦間期における海軍航空戦力の発展—山本五十六と軍事革新—」『戦史研究年報』第7号、2004年3月、33-46頁；塚本勝也「『空・海協同』の運用思想—日・米・英の空母運用の進展—」防衛研究所編『平成26年度戦争史研究国際フォーラム報告書』2015年3月、75-87頁；塚本勝也「日本海軍の空母運用思想」石津明之、山下愛仁編著『エア・パワー—空と宇宙の戦略原論—』日本経済新聞出版社、2019年、122-145頁；Geoffrey Till, “Adopting the Aircraft carrier: The British, American, and Japanese case studies,” Williamson Murray and Allan R. Millet eds., *Military Innovation in the Interwar Period*, Cambridge University Press, 1996, pp. 191-226; Thomas C. Hone, and Mark D. Mandeles, *Interwar Innovation in three Navies: U. S. Navy, Royal Navy, Imperial Japanese Navy*, *Naval War College Review*, Vol. 40, No. 2, Spring 1987, pp. 63-83.

⁹ 柳澤潤「日本におけるエア・パワーの誕生と発展 1900～1945年」『平成17年度戦争史研究国際フォーラム報告書』79-108頁。

しての作戦目的を示せず、「地上作戦協力」と「空軍的用法」のいずれが主体か曖昧だったことが、用兵や兵器体系に悪影響を及ぼしたと論じた¹⁰。また、小数賀良二は飛行場設定の観点から、陸軍航空の戦争観の未熟さを指摘した¹¹。これに対し、由良富士雄、齋藤大介は、空軍的用法の一つである、開戦劈頭に爆撃機によって敵航空戦力を飛行場ごと撃破し、増援の各個撃破を図る「航空撃滅戦」（現代の攻勢対航空作戦に相当）の思想を高く評価している¹²。他方、海軍航空の特徴を論じた先行研究は限られる。立川京一は海軍航空の運用思想を通史的に紹介したが、技術や作戦には深く言及していない¹³。由良は陸軍航空との比較から、長期の消耗戦（対峙戦）に対する考慮が薄く、一発勝負の艦隊決戦に特化した海軍航空の問題点を指摘した¹⁴。しかし、海軍航空に対する分析は、1930年代後半以降が主体である。総じて、海軍航空の抱えた技術の「ひずみ」自体はある程度理解されているが、その形成過程は追究の余地がある。

以上を踏まえ、本稿は海軍航空の特徴と問題点を明らかにするため、戦間期における日本海軍の航空に対する取り組みを対象とし、技術のひずみを生じた過程と影響を追究する。

¹⁰ 横山久幸「日本陸軍におけるエア・パワーの発達とその限界—運用規範書を中心に—」『戦史研究年報』第7号、2004年3月、1-21頁；横山久幸「日本陸軍の軍事技術戦略とエア・パワーの形成過程」石津朋之、ウィリアムソン・マーレー編著『21世紀のエア・パワー』芙蓉書房出版、2006年、131-161頁。

¹¹ 小数賀良二「ニューギニア戦にみる日本陸軍の飛行場設定」『軍事史学』第46巻第4号、2011年3月、116-133頁。

¹² 由良富士雄「航空撃滅戦ドクトリンについて—日本陸軍航空のドクトリン形成過程—」『鵬友』第33巻第5号、2008年1月、21-50頁；齋藤大介「日本陸軍の機械化の特質—軍備上の趨勢への対応—」防衛大学校総合安全保障研究科博士論文、2016年3月、26-34頁。

¹³ 立川京一「旧日本海軍における航空戦力の役割」『戦史研究年報』第7号、2004年3月、22-32頁；立川京一「第二次世界大戦までの日本陸軍の航空運用思想」石津朋之他編『エア・パワー』芙蓉書房出版、2005年、123-166頁；立川京一「日本陸軍のエア・パワー」石津、山下編著『エア・パワー』84-121頁。

¹⁴ 由良富士雄「作戦機の防弾装備における陸軍の相違—航空運用理論を中心として—」『軍事史学』第46巻第4号、2011年3月、98-103頁；由良富士雄「太平洋戦争における航空運用の実相—運用理論と実際の運用の差異について—」『戦史研究年報』第15号、2012年3月、65-91頁。

1 評価の視点

(1) 航空戦力の構成要素

海軍航空が技術のひずみを露呈する端緒となったのは、ソロモン、ニューギニア方面（以下、南東方面）における基地航空主体の航空戦である。同方面では、航空機の消耗のみならず、戦力集中のため、飛行場の急速設営の競争も生じた。組織的には独立空軍ではないが、同方面において空軍に準じた作戦に従事し、設営能力等、技術のひずみを露呈した海軍航空の実態を適切に評価するには、航空戦力の特性を踏まえる必要がある。なお、当時の日米間において、軍事的勝利による前進拠点の確保なしには戦略爆撃は不可能だった¹⁵。これを考慮し、評価の重点を空対空の作戦遂行能力に置く。

西尾隆志によれば、第二次世界大戦が勃発した時点で、航空戦力は重要な戦略的任務を担えるほどの発展段階に到達していた一方、航空機産業は、既存の工場での実践と技術的経験に適合する大量生産が可能な限界点に達していた¹⁶。つまり、航空機の威力は決定的となっていたが、建造に数年を要する主力艦、高度に複雑化した現代の航空軍備と異なり、未だ短期間での補充・拡張が可能だった。従って、南東方面のように、彼我の航空戦力が伯仲する地域では、一度の交戦では決着せず、対峙戦となる傾向があった。

一方、当時であっても「高度の技術戦力である航空武力の發揮は、広範多岐にわたる諸機能の総合・有機的な協力活動を必須の要件とし、戦力諸要素間の相互依存度が極めて高い¹⁷」。代表的なエア・パワー論者であるドゥーエ (Giulio Douhet)、ミッチェル (William Mitchell) や、日本陸軍を教育したフランス空軍のジョノー (Marcel Jauneau) は、航空戦力の複雑性を1920年代から論じていた¹⁸。

陸軍航空の『戦史叢書』の体系は、この二点を明確に意識しており、同時代の海軍航空の評価にも参考となる。具体的には、『陸軍航空の軍備と運用』（計

¹⁵ 小野塚「戦間期航空機産業の技術的背景と地政学的背景」216-218頁；柳澤「日本におけるエア・パワーの誕生と発展 1900～1945年」95頁。

¹⁶ 西尾「1930年代におけるドイツから日本への航空技術移転」112頁。

¹⁷ 防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 陸軍航空作戦基盤の運用』朝雲新聞社、1984年、454頁。

¹⁸ ドゥーエ「制空 第一篇」瀬井勝公編著『戦略論大系⑥ドゥーエ』芙蓉書房出版、2002年、102頁；ミッチェル「空軍による防衛、近代エア・パワーの可能性と発展—経済と軍事—」源田孝編著『戦略論大系⑩ミッチェル』芙蓉書房出版、2006年、52頁；堀丈夫『航空戦術 第一巻』陸軍航空部、1923年、2、201頁。

3巻)に加え、『陸軍航空兵器の開発・生産・補給』『陸軍航空作戦基盤の運用』、未公開の「陸軍航空要員の教育補充」の三本立てで、航空戦力の基礎的要素の解明を図った。特に、飛行場設定、航空地区勤務、補給修理、航空輸送及び航空路勤務、航空情報・通信・気象・航空衛生、衣服・衣糧を総称する作戦基盤は、航空戦史研究上、絶対看過できない重要性を持つ¹⁹。以上から小教賀は、航空戦力を「航空機を用いて作戦を行う上で必要となる①編制及び運用思想体系、②兵器体系、③教育体系、④作戦基盤体系の総体」とした²⁰。このうち、技術のひずみが直接現れたのは、②と④である。但し、軍事組織の取り組みの結果として評価するには、これら単体ではなく、運用思想体系との関係を論じる必要がある。次項では、その意義を明らかにする。

(2) 運用思想体系の意義

コヴィー (Stephen Covey) は、「すべてのものは二度作られる」の原則に基づき、物事の「終わりを思い描くことから始める」こと、そして「第一の創造（知的創造）」の重要性を主張した²¹。これは兵器開発でも同様である。マクニール (William McNeill) は、20世紀の兵器や機械の設計の特徴を、使用者が割り出した性能諸元が先行する「意図的で計画的な発明」とした²²。「第一の創造」たる性能諸元の適否を左右するのは、兵器の可能性、未来の戦場に対する軍人の想像力である。稲澤実行によれば、「日本海軍の航空軍備の歩みは、軍事戦略と技術・産業の関係性の強さ」を示しており、海軍航空も例外ではない²³。

やや単純化した説明になるが、第二次世界大戦初期の戦車の運用には、この差が表れた。元来、戦車は第一次世界大戦中、機関銃の脅威を克服し、塹壕を突破する目的で造られた。フランスの戦車はこの経験を踏襲し、歩兵の前進支援を第一義とした²⁴。他方、ドイツはベルサイユ条約で保有を禁じられていた頃から、戦車の潜在的な可能性に基づく用兵の研究を進めた。内燃機関を持ち、

¹⁹ 防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 陸軍航空の軍備と運用〈1〉—昭和十三年初期まで—』朝雲新聞社、1971年、まえがき；防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 陸軍航空作戦基盤の運用』まえがき。本稿では、この意味で作戦基盤の用語を用いる。

²⁰ 小教賀「ニューギニア戦にみる日本陸軍の飛行場設定」117頁。なお、運用思想と用兵思想は同義であるが、本稿では運用思想に統一する。立川「第二次世界大戦までの日本陸海軍の航空運用思想」125頁。

²¹ スティーヴン・R・コヴィー『完訳 七つの習慣—人格主義の回復—』フランクリン・コヴィー・ジャパン訳、キングベアー出版、2013年、120-121頁。

²² W. マクニール『戦争の世界史』高橋均訳、刀水書房、2002年、451-452頁。

²³ 稲澤「軍事戦略の形成と軍産関係」221頁。

²⁴ 葛原和三『機甲戦の理論と歴史』芙蓉書房出版、2009年、81-82頁。

敵地奥深く（縦深）を直接打撃できる能力を活用し、敵兵の殺傷より戦略的麻痺（指揮の破壊）を狙う戦い方である²⁵。再軍備途上のドイツの戦車は、フランスの戦車に攻防力で劣り、数も下回ったが、均一な速力、無線の標準装備等、新たな用兵に適合した機能を備えていた。1940 年の西方電撃戦ではこれが功を奏し、6 週間でドイツが勝利した。

軍の新技術導入の成否は、装備品の性能や数量だけでなく、起こり得る革新の本質を見抜く軍人の能力に左右される。本節の視点を踏まえ、次節では航空戦力としての海軍航空発達の特徴を明らかにする。

2 「世界で異色の航空部門」の内実

(1) 実用重視の導入期

まず、導入期における海軍航空の特徴を、陸軍と比較しながら明らかにする。陸軍航空の発達は、当初から理論が先行していた²⁶。これは、1919 年に仏国航空団の航空術講習を受けた際、日本の将校は学理的研究に力を注ぎ、実技教育に熱心でない、と評されたことにも窺える²⁷。

陸軍最高位の典令範である、1918 年の「大正七年統帥綱領」における航空機の用法の規定は、搜索を始め地上作戦協力の具体的方法に留まるが、1921 年の「大正十年統帥綱領」では「航空機関ノ活動ハ作戦ニ影響スル所極メテ大」（下線筆者）と、航空の重要性の認識を明確に示した（第 33）²⁸。更に、1921 年に来日したジョノ一の「仏国航空界ノ現況ヲ紹介セシニ止ラス寧ロ遙ニ超越シタル将来ノ理想ヲ啓示」した講義を基に、翌年小笠原少佐が「航空部隊ノ用法ニ関スル一般原則」を纏めた²⁹。本文書の綱領には、地上の搜索に関する「大正七年統帥綱領」第 50、51 が引き継がれており、地上作戦協力の性格が強いことは否定できない³⁰。一方、敵戦力の集中間において「積極的制空権獲得ノ為敵飛行場ヲ爆撃」する、作戦基盤を攻撃する用法も示された³¹。これは、後

²⁵ 齋藤「日本陸軍の機械化の特質」13・15、24・26 頁。

²⁶ 同上、26・36 頁。

²⁷ 防衛省防衛研修所戦史室『戦史叢書 陸軍航空の軍備と運用〈1〉』110 頁。

²⁸ 「大正七年統帥綱領」（防衛省防衛研究所蔵）；「大正十年統帥綱領」JACAR（アジア歴史資料センター）Ref. C13071280500（防衛省防衛研究所）。

²⁹ 堀『航空戦術 第一巻』1 頁；小笠原數夫『航空戦術講授録』陸軍大学校将校集会所、1922 年、1・2 頁。

³⁰ 小笠原『航空戦術講授録』1・2 頁；「大正七年統帥綱領」（防衛省防衛研究所蔵）。

³¹ 小笠原『航空戦術講授録』21 頁。

の「航空撃滅戦」に通じる思想と評価されている³²。このように、陸軍航空の運用思想体系は、地上作戦協力、空軍的用法のいずれが主体か曖昧だった反面、普遍的な航空戦力の特性に対する考察が逐次反映されていた。

他方、海軍航空は、当初から海戦を有利に導くという目的が一貫しており、理論を嫌い、実践を重視した。横須賀海軍航空隊練習部は、陸軍とともに受講した仏国航空団の講習が「迂遠ナル理論ヲ避ケ事々物々實際的ニシテ直ニ実践ニ応用シ得ル貴重ノ材料多キヲ認ム」と報告している³³。そして、海軍省は講習の最中に「空中兵力ノ用途ハ海陸自ラ別アリ」として、海軍独自の講習を別個に企画した³⁴。2年後の 1921 年、英国空軍飛行団による講習が実現した。講習事項は操縦を始めとする術科技能中心であり、成果報告でも強調された³⁵。

海軍の理論軽視の傾向は、同じ頃米国のミッチェルが唱えた空軍独立論に、組織としてはほぼ一貫して反対した反面、彼を含めた米国内における「航空機は戦艦を撃沈できるか」という論争や、米軍の行った対艦爆撃実験に高い関心を示したことに窺える³⁶。これは典令範も同様である。伝えられる 1920 年の「第二改正海戦要務令」は、敵情偵察を始めとする具体的用法とともに、「航空の敏速果敢な協同動作は、戦場の全局に甚大の効果をもたらす」（下線筆者）ことを強調しており、術科中心の記述であったと考えられる³⁷。以後海軍は、操縦等、術科面の規定を中心に充実を図った³⁸。これは、包括的な原則の確立を重視した陸軍とは対照的である。

海軍の取り組みは、短期間のうちに高い効果を表した。例えば、1929 年の小島砲台に対する爆撃実験初日、海軍機が約 9 割の命中率を挙げた反面、陸軍機

³² 齋藤「日本陸軍の機械化の特質」36 頁。

³³ 「仏国海軍大尉『グランメーゾン』航空術講話報告」JACAR: C8021349100（第 25 画像目）（防衛省防衛研究所）。

³⁴ 「英国空軍軍人傭傭ノ件」JACAR: C08050770500（第 3 画像目）（防衛省防衛研究所）。

³⁵ 日本海軍航空史編纂委員会編『日本海軍航空史（1）一用兵篇一』時事通信社、1969 年、713-717 頁。

³⁶ 「戦艦対飛行機問題」JACAR: C08050219900（第 21 画像目から）（防衛省防衛研究所）；高橋秀幸『空軍独立と組織のイノベーション—旧軍ではなぜ独立できなかったのか—』芙蓉書房出版、2008 年、73-74 頁。

³⁷ 防衛省防衛研修所戦史室『戦史叢書 海軍航空概史』朝雲新聞社、1976 年、25 頁。当該文書は現存しないが、宮田義一「基本戦術講義摘要 第二編」海軍砲術学校、1923 年（海幹校資料課所蔵）97-99 頁；坂本海軍中佐「基本戦術講義摘要」海軍水雷学校、1926 年（海幹校資料課所蔵）47 頁から、伝えられる内容は概ね正確と考えられる。

³⁸ 日本海軍航空史編纂委員会編『日本海軍航空史（1）一用兵篇一』時事通信社、1969 年、647 頁。

は命中弾を得られなかった³⁹。艦載機を主体に、艦隊決戦用の兵力としての運用に留まる限り、問題は顕在化しなかったかも知れない。しかし、1930 年代には、航空機の性能が向上し、元来の運用思想を超えて兵器としての可能性が拓がった。次項では、これに対する海軍の対応と問題点を論じる。

(2) 兵器の可能性と運用思想の不均衡

1930 年のロンドン条約により、1 万 t 未満の空母を含む補助艦艇が制限されると、日本海軍は、制限外の兵力として、特に索敵や攻撃に用いる飛行艇や陸上攻撃機等の大型機に注目した。そして、1932 年以降「海軍航空機試作三ヶ年計画」を通して世界的な航空技術の進歩に追随し、主要な航空機の国産化を成し遂げた。「敵ノ艦船及航空機ニ対スル海上ニ於ケル航空任務」は海軍の担当事項であり、開発の動機は従来思想の延長上にある⁴⁰。

しかし、1936 年に制式化された九六式陸上攻撃機は、双発機の水準を抜く航続力と、戦闘機に匹敵する速力を持ち、海軍単独による島嶼間の航空戦、戦略爆撃等を行う可能性をもたらす、画期的な航空機だった。実際、中国奥地の重慶等、陸軍が行うべき「海岸又ハ大河ヨリ離隔セル地方⁴¹」への爆撃にも活用された。陸軍軍人から見ても、「支那事変発生直後の陸軍航空の不振、特に北支（筆者注：華北地域）への集中すら満足にできなかったのに対し、海軍側の堂々たる渡洋爆撃は、陸軍の航空関係者が（中略）自らの実質向上に努力しなかったことを如実に示した⁴²」。

本機の登場と並行して、海軍部内では航空を艦隊決戦の補助戦力とするだけでは飽き足らず、主戦力とする考え方、更には実質的な空軍に発展させる構想（海空軍化）が表れた。後者の立場からは、一度の艦隊決戦だけでなく、繰り返し敵地の攻撃に使用することを前提に、航空機の防御力強化の必要性も主張された⁴³。開発の準拠となる「性能標準」によれば、1938 年以降、陸上攻撃機の主任務に敵航空基地攻撃が追加され、防御力強化も求められた⁴⁴。結果的に不十分に終わったが、兵器体系のあり方を見直す必要性が認識されていた。

³⁹ 同上、732 頁。

⁴⁰ 「陸海軍航空任務分担協定ノ件」JACAR: C30022595800（防衛省防衛研究所）。

⁴¹ 同上。

⁴² 西浦進『昭和戦争史の証言』原書房、1980 年、93 頁。

⁴³ 由良「作戦機の防弾装備における陸海軍の相違」102 頁。

⁴⁴ 日本海軍航空史編纂委員会編『日本海軍航空史（1）』425、428 頁。

但し、基地航空は艦隊と異なり、日常的に兵站や基地の作戦基盤に依存する。本来ならば、基地航空重視に移行した時点で、運用思想体系を全面的に見直す必要があった。例えば、マハン（Alfred Mahan）は、蒸気軍艦の運用に関し、ガレー船、帆船との類似点だけでなく、相違点も意識しなければ誤った推論に陥ると警告している⁴⁵。しかし日本海軍では、海空軍化を唱えた先進的な航空主兵論者でさえ、作戦基盤の重要性を認識せず、術科面における艦艇との類似点から、以下のように安易に航空作戦を類推していた。1937年に航空本部教育部長の大西瀧治郎が纏めた「航空軍備ニ関スル研究」は、海軍省軍務局から回収を指示されるほど先鋭的であったが、航空戦力と海上戦力が共に「行動圏内ニ於テハ其ノ威力ヲ随時随所ニ移動集中發揮シ得ル」ため、「兵術觀念ニ於テモ相互間ニ極メテ近似セル」とし、「航法ノ実施容易ナル陸上ニ定位セル都市、工場、飛行基地等ヲ空襲」する「純正空軍式作戦ヲ海上作戦ニ対シ訓練セラレタル大型機ヲ以テ実施セルハ極メテ容易」と主張している。そして、「多数ノ航空隊及航空基地ヲ整備」し、「前進基地ハ敵機ノ空襲ニ対シ相当ノ持久力ヲ保持セシムル」ことを主張したが、その具体的手段には言及していない⁴⁶。

他方、陸軍は数で優るソ連空軍に対抗するため、理論的考察を進め、1930年代後半に「航空撃滅戦」を確立した⁴⁷。しかし、兵器の性能と搭乗員の技量に自信を持つ海軍は、陸軍航空を低く見る傾向があった⁴⁸。そして、「観念論的議論に終始して内容の充実が伴わない」陸軍の傾向を「陸式」と称して嫌い、理論・政策面の長所に目を向けなかった⁴⁹。こうした理論的考察の不足は、以後、航空戦力としての海軍航空のいびつな発達に表れてくる。

(3) いびつな発達

日米開戦直前の海軍航空の運用思想体系を体表するものに、1940年に航空関係者が纏めた「海戦要務令続編（航空戦ノ部）草案」（以下、「航空戦ノ部」）がある。先行研究では、『航空主兵』の思想が色濃く反映された「従来のもとと比べて相当進歩した内容」である一方、長期戦を考慮しない「一発勝負の艦隊決戦に賭ける」コンセプトに留まると評価されている。更に由良は、航続力や

⁴⁵ マハン『海上権力史論』北村謙一訳、原書房、1982年、8頁。

⁴⁶ 防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 ハワイ作戦』朝雲新聞社、1967年、520、526-527頁。

⁴⁷ 由良「航空撃滅戦ドクトリンについて」22頁。

⁴⁸ 防衛省防衛研修所戦史室『戦史叢書 海軍航空概史』74頁。

⁴⁹ 西浦『日本陸軍終焉の真実』94頁；戸高編『証言録海軍反省会』457-458頁。

搭載量を優先したことによる防弾装備の欠如、消耗に対応する搭乗員の大量養成の遅れといった、兵器体系、教育体系の問題との関係を指摘している⁵⁰。

兵器体系に対する影響は、一貫性を欠く防空への対応にも窺える。1930年代には、極東ソ連空軍の増強を背景に、全国的に防空意識が高まった。海軍も独自の防空演習を行う中、防空の困難さが認識され、「戦闘機不要論」の一因となった。これは1937年以降、日中戦争において陸上攻撃機が大損害を受け、沈静化した⁵¹。ところが、中国軍機に対する日本海軍の防空は効果が挙がらず、海軍としては異例の、陸上専用の局地戦闘機、遠距離戦闘機を導入するに至る⁵²。反面、対空捜索レーダーの開発等、早期警戒網の強化には不熱心であった。当時、海軍技術研究本部のレーダー開発は、夜間の砲戦指揮や見張りを補完する「暗中測距装置」に主眼が置かれていた。対空捜索用としての研究が本格化するのには、英独における活用の実態を知った1941年以降であり、陸軍にも遅れていた⁵³。

作戦基盤の考え方は、更に問題が顕著である。陸軍の「航空作戦綱要」は、敵機の撃滅を本義とする一方、「航空施設及資材ヲ覆滅シ航空戦力活動ノ根幹ヲ断ツコト亦極メテ緊要」(第88)と、作戦基盤を攻撃する意義を明示している⁵⁴。他方、「航空戦ノ部」は、一応「前進航空基地ノ設営」の規定を設けている(第134-137)ものの、航空戦の「能力ニ関シ考慮スベキ事項」は、「航空関係者就中搭乗員ノ能力」「航空機並ニ搭載兵器ノ能力」「航空機ノ準備及発着ニ関スル能力」「天象、気象ノ飛行ニ及ボス影響」という狭い範囲で考え、作戦基盤には触れていない(第92)。そして、専ら「敵航空兵力ヲ一方面ニ窮迫シテ之ヲ撃

50 立川「旧日本海軍における航空戦力の役割」28-29頁；由良「太平洋戦争における航空運用の実相」65-91頁；由良「作戦機の防弾装備における陸海軍の相違」97-115頁。

51 日本海軍航空史編纂委員会編『日本海軍航空史(1)』287-294頁。

52 同上、400頁。

53 日本のレーダー開発の遅れは、軍の関心以外の要因も関係する。詳細は前島正裕「旧日本海軍における電波探信儀の開発過程—大野茂資料を中心に—」『国立科学博物館研究報告 E 類：理工学』第20巻、1997年12月、23-37頁；横山久幸「陸海軍の遺独視察団にみる技術交流の実態—日本における初期のレーダー開発との関係において—」『戦史研究年報』第3号、2000年3月、56-71頁；河村豊「旧日本海軍の電波兵器開発過程を事例とした第2次世界大戦期日本の科学技術動員に関する分析」東京工業大学博士論文、2001年11月、81-89頁参照。

54 「航空作戦綱要」JACAR: C01004848400(第49画像目)(防衛省防衛研究所)。

滅スル」目的で、一部の飛行場の「施設滑走路地区ヲ攻撃シ之ガ使用ヲ困難ナラシメ」と規定している（第 30）⁵⁵。

ブルドーザー等、飛行場設営に有用な土木機械の存在は知られていたが、失業対策という国内の政治的要請が優先されたため、導入が遅れた⁵⁶。換言すれば、飛行場を急速設営する軍事的必要性の認識が薄かった。研究が進んだのは、南東方面での航空戦が熾烈化し、守勢に陥った 1942 年後半以降であった⁵⁷。日本本土に近く、彼我の既設飛行場が多い満洲での運用を前提に作戦基盤を考慮した陸軍航空も、ニューギニアを始め想定外の太平洋の戦場では限界を露呈した⁵⁸。実際の飛行場設備は、海軍の方がやや良かったとの評価もある⁵⁹。しかし、運用思想の欠点は、海軍の方が深刻と言えよう。

1941 年のドイツ、イタリアに対する軍事視察報告には、海軍自身の抱える問題点に対する認識の低さが表れている。陸軍は、ドイツがイタリアにない「補充隊ヲ兼タル教育戦隊」を持ち、「空軍作戦能力極メテ強靱」なこと、対仏戦において「地上ニ於ケル諸準備中独空軍ノ最大困難ハ弾薬、燃料ノ推進ナリシ」こと等、航空戦の特徴に目を向けている⁶⁰。他方、海軍は基地航空の対峙戦に参考となるドイツ空軍の「数回ニ亘ル大作戦初頭ノ空襲」「適時適切ニ行ハレタル集中転用」が、「何レモ陸上ニ於ケル作戦ヲ主」とするとして十分に検証せず、「敵軍艦ニ対スル攻撃ガ決シテ適時適切ニ行ハレズ（中略）空軍ノ作戦協力ハ所期ノ半ニモ達シアラス」と、独立空軍が海上作戦に適さない点を強調した⁶¹。

このように、海軍航空は兵器の可能性の拡大、他国空軍の軍事的成功を目の当たりにしても、運用思想の見直しを十分に行わなかった。そのため、作戦基盤を中心に、「第一の創造」が適切に実施できず、いびつな発達を遂げた。航空戦力の特性に対する不十分な認識は、南東方面に対する進攻の開始にも影響している。次節では、これを航空戦力に対する海軍の認識から明らかにする。

⁵⁵ 「海戦要務令続編（航空戦ノ部）草案」JACAR: C14121197800（第 1、22-24 画像目）；JACAR: C14121197200（第 15-16 画像目）（防衛省防衛研究所）。

⁵⁶ 防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 中部太平洋方面海軍作戦（1）—昭和十七年五月まで—』朝雲新聞社、1970 年、61 頁。

⁵⁷ 佐用、森『基地設営戦の全貌』16-18 頁。

⁵⁸ 由良「航空撃滅戦ドクトリンについて」42-43 頁；小数量「ニューギニア戦にみる日本陸軍の飛行場設定」130-132 頁。

⁵⁹ 田中宏巳『消されたマッカーサーの戦い—日本人に刷り込まれた（太平洋海戦史）—』吉川弘文館、2014 年、56 頁。

⁶⁰ 「独伊派遣軍事視察団報告資料 航空其二」（防衛省防衛研究所所蔵）。

⁶¹ 「海軍遣独軍事視察団報告」（防衛省防衛研究所所蔵）31 頁。

3 南東方面作戦に及んだ影響

(1) 対英米同時開戦の意味

米海軍との艦隊決戦に際し、中部太平洋において日本海軍が最も重要視した根拠地は、トラック（現チューク諸島）である。ここは「予想決戦場に近いうえ、広大な泊地と航空基地があり、わが海軍の中部太平洋における戦略的中枢」だった⁶²。そして、トラックとハワイの間に横帯を為すマーシャル諸島は、米国にとって前進基地に適した環礁を多数有する。反面、艦隊のみで来襲する米国に対し、日本は索敵・攻撃に基地航空を活用し得る地の利があった⁶³。保守的な艦隊決戦論者の福留繁でさえ、戦後「諸島にでき得る限りの防備を施し（中略）随時随所に有利な島嶼攻防戦を展開して長期不敗戦に導くこと強ち不可能にあらず」「アメリカ艦隊の進攻を喰い止め得ると判断」したと回想している⁶⁴。こうした地の利を前提とする限り、航空機の防御力を犠牲に航続力、搭載量を追求する利点もあった。また、我の既設飛行場の利用を前提とするため、未開の地域における急速設営能力の必要性も高くなかった。

しかし、以上の利点は対英米同時開戦により失われた。理由は、トラックを始め日本の委任統治領の南方にある、豪州を始めとする英領（自治領、委任統治領含む）の存在である。この地域は、対米戦では中立、対英戦でも主戦場とされていなかったが、同時開戦の場合、米国の前進基地となり得るため、海軍は無視できなかった。しかし、その脅威認識には、航空戦力に対する偏った理解が窺える。

(2) 艦隊決戦思想としての泊地空襲

特に脅威とされたのは、トラックの約 1,200km 南にある、ラバウルからの空襲である。1940 年頃には、B-17 等、ラバウルから直接トラックを空襲し得る米軍機の登場が認識されていた⁶⁵。この脅威の封殺が、当初の攻略目的だった⁶⁶。

⁶² 防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 南東方面海軍作戦（1）－ガ島奪回作戦開始まで－』朝雲新聞社、1971年、15頁。

⁶³ 同上、24頁。

⁶⁴ 福留繁『史観真珠湾攻撃』自由アジア社、1955年、121頁。

⁶⁵ 海軍有終会編『海軍要覧昭和十六年版』海軍有終会、1941年、314頁。

⁶⁶ 「連合軍司令部の質問に対する回答文書綴」JACAR：C15010011300（防衛省防衛研究所）；戸高編『証言録』海軍反省会 6』159頁。

泊地に対する航空偵察、攻撃の有効性は、早くから注目されていた。1920年代に日本海軍が入手した米海軍の *The Conduct of an Oversea Naval Campaign* には、夜間に敵基地に近接し、夜明けに航空機で偵察する空母の用法が示されている⁶⁷。著者の一人のヤーネル（Harry Yarnell）が、1932年の演習中、空母でハワイ空襲を行い、成功したことは知られる⁶⁸。日本海軍の反応を直接示す史料は未見だが、翌年の同様の演習について「真珠湾軍港ハ敵空軍ノ襲撃ニヨリ甚大ナル損害」を受けたこと、原因がハワイの「予備空軍ノ不足即チ敵空軍ニ対シ防空機ノ欠陥」であることが報告された⁶⁹。

日本国内でも、1923年の海軍水雷学校の講義録には、「敵力防御港湾ニ在泊ノ場合 航空機ニヨル爆撃、雷撃ニ依ルノ外水上艦艇ヲ以テスル湾内侵入ハ今後殆ト成功ノ望ミナキカ如シ」とある⁷⁰。以後、航空機の進歩に伴い、航空攻撃への期待は高まった。『海軍要覧昭和十年版』には「防御港湾と雖も必ずしも（ママ）艦隊の安全休養所たるを保し得ざるに至るであらう」とある⁷¹。更に1941年、中島権吉海軍少将は、飛行機を「大量に強引に用うれば、陸軍に代わつて港内蟄伏艦隊に止めを刺すこともできる」と、外務省幹部に講義した⁷²。これが艦隊決戦思想の延長であることは、「航空戦ノ部」において、「邀撃作戦ニ於ケル航空戦」の章中に「航空部隊ハ情況之ヲ許サバ敵艦隊ヲ其ノ根拠地ニ奇襲シ是ヲ撃破スルヲ要ス」と規定されたことから分かる（第48）⁷³。

第一段作戦では、兵力と兵站の不安から、当初ラバウル攻略までに留める意向だった⁷⁴。しかし、ここを攻略することにより、ポートモレスビーを始め、ニューギニア島や豪州本土の敵根拠地に近づき、航空対峙戦の可能性が高まる。加えて、南東側にはソロモン諸島等、島伝いの航空戦が生起し易い地形が広がる（図）。結果的に日本海軍は、ラバウル防衛のために更に遠方に進出し、かえ

⁶⁷ Lieutenant Commander H. H. Frost, Commander W. S. Pye, and Captain H. E. Yarnell, *The Conduct of an Oversea Naval Campaign*, Government Printing Office, October 1, 1920, San Francisco Public Library, p. 28.

⁶⁸ 実松讓『海軍大学教育—戦略・戦術道場の功罪—』光人社、1980年、107頁。

⁶⁹ 「布哇ニ於ケル米国陸海軍演習ノ終了ト其結果ニ関スル件」JACAR:C05022805400（第2-3画像目）（防衛省防衛研究所）。

⁷⁰ 宮田「基本戦術講義摘要 第二編」141-142頁。

⁷¹ 海軍有終会編『海軍要覧昭和十年版』海軍有終会、1935年、489-490頁。

⁷² 中島少将「訓練叢書第二巻 海軍戦略講義」JACAR: B10070136600（第32画像目）（外務省外交史料館）。

⁷³ 「海戦要務令続篇（航空戦の部）草案」JACAR: C14121197300（第2画像目）（防衛省防衛研究所）。

⁷⁴ 防衛庁防衛研修所戦史室『戦史叢書 南東方面海軍作戦〈1〉』104頁。

って作戦基盤の弱点をさらけ出した。攻略範囲の拡大を主張した一人は、航空主兵論者として知られる、井上成美である⁷⁵。次項で述べるように、日本海軍の航空主兵論者は、対英米同時開戦を考慮しながら、依然として作戦基盤の認識が不十分であった。

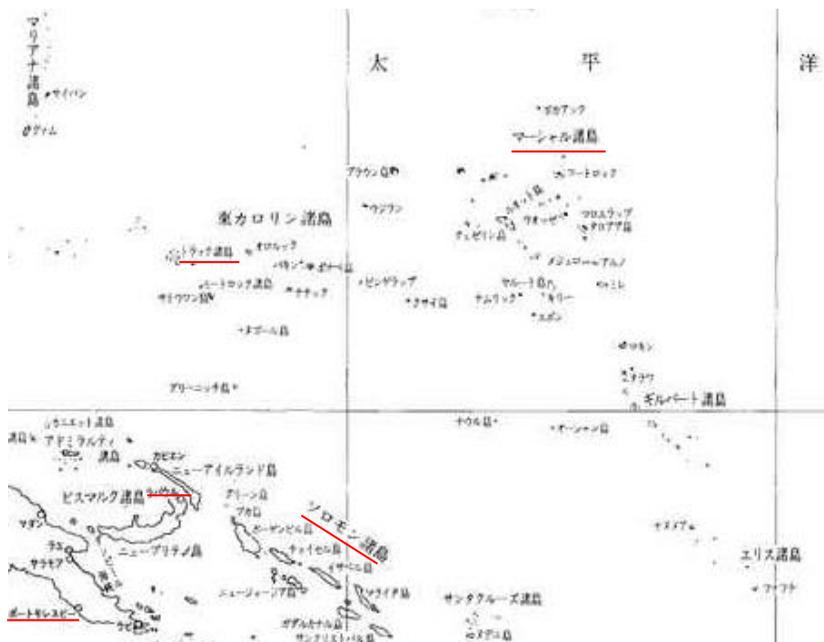


図 南東方面要図

(出所)『戦史叢書 南東方面海軍作戦〈1〉』別図をもとに筆者作成

(3) 航空主兵論者の限界

1940年、軍令部において航空軍備計画を立案した三代一就は、当時の情勢から米国が英領の島々を利用する可能性を考慮したことを証言している。そこでは、B-17等、米陸軍航空隊の大型機との交戦が予想された。そして、日本も多数の大型機が必要なこと、これらは防御力に優れるべきこと、敵大型機の捕捉撃滅のため、陸上用の偵察機、遠距離戦闘機、局地戦闘機が必要なことを考慮し、性能標準に反映した。しかし、1941年1月、第一部長の宇垣纏に「どの

⁷⁵ 同上、103頁。

位の航空兵力があれば対米戦に自身が持てるか」問われた際の回答は、彼の回想を全面的に認めたとしても、航空機の機種、性能、機数に留まり、作戦基盤は考慮されていない⁷⁶。

1941 年に井上成美が著した「新軍備計画論」は、日米戦を根本から見直し、その様相が航空機を主体とする島嶼の争奪であることを見抜いたとして高く評価されている。しかし、「敵地攻略作戦用兵力ヲ整備スルヲ要ス」としながら、範囲は「艦型及数、航空機ノ機種及数」に留まり、作戦基盤への言及がない。これは満洲の陸軍同様、「敵航空基地ノ奪取、及吾ニ之ガ利用」を前提としたためでもあろう。また、現実の南東方面同様の、「米ガ対日戦ニ於テ英其ノ他ノ国ノ領土ヲ作戦ニ利用スル場合」については「ソノ攻略戦ハ（中略）帝国領土ニ近キモノヨリ順次ニ足場ヲ固メツツ、歩歩前進的ニ実施セラルベキ」と、作戦基盤の構築要領に言及しないまま、占領地域の拡大を主張している⁷⁷。

島嶼争奪戦の作戦基盤は、むしろ陸戦の専門家である今井秋次郎の方が深く考慮している。今井が 1940 年に著した「我国国防上軽戦闘部隊編制充実ノ必要」は、島嶼に航空機、豆潜水艇、魚雷艇、陸戦隊等の「軽戦闘部隊」を配備し、相互の連携を確立して「対米鉄壁ノ陣」とする構想である。今井は「軽戦闘部隊」が「急速ニ拡充短時間ニ多量生産可能」なことを明示した上で、「南方進出戦」において、占領地域の「防空及補給施設」を「急速設営シ得ル如ク特殊部隊ヲ編制練成」することを訴えていた⁷⁸。

このように、対英米同時開戦がもたらす作戦様相の変化に気付き、既存の殻を破ろうとした先進的な航空主兵論者でさえ、考察は兵器体系に留まり、作戦基盤の認識が不十分だった。海軍部内における、航空戦力の位置づけを巡る議論の中心は、戦艦と飛行機のいずれが主兵かになり、作戦基盤のあり方を議論するに至っていなかった⁷⁹。南東方面における不本意な航空対峙戦への突入は、一面では日本海軍の航空戦力に対する不十分な理解を反映している。

⁷⁶ 三代一就「海軍の航空軍備計画」海空会編『海鷲の航跡』22-23、32 頁；戸高編『証言録]海軍反省会 6』438-441 頁。

⁷⁷ 井上成美伝記刊行会『井上成美』井上成美伝記刊行会、資-128、130 頁。

⁷⁸ 今井秋次郎「我国国防上軽戦闘部隊編制充実ノ必要」1940 年 10 月 15 日（防衛省防衛研究所所蔵）。

⁷⁹ 佐用、森『基地設営戦の全貌』139 頁。

おわりに

本稿は、技術のひずみを手掛かりに、航空戦力としての海軍航空の特徴を明らかにすることを試みた。日本海軍は、導入期から艦隊決戦に直接役立つ能力を求め、航空機の性能や術科技能の向上には熱心に取り組み、成果を挙げた。この功績は評価に値するが、状況の変化に際しても、航空戦力の本質的な特性を顧みる意識に乏しく、様々なひずみを抱えたいびつなもとなつた。特に、作戦基盤体系への考慮は薄く、適切な「第一の創造」がなされなかった。

こうした見えない部分では、陸軍航空の方が優れた点もあった。しかし、陸軍軍人から見ても、機材・術科面における海軍航空の長所が明白だったこともあり、海軍は自身の欠点に対する無自覚から脱却できなかつた。これは、先進的な航空主兵論者とされる人々も例外ではない。そして、日本海軍は航空戦力の特性を十分理解しないまま、南東方面における消耗戦に突入し、弱点を露呈した。

日本海軍の航空に対する取り組みにかかる問題点は、新しい分野において、戦力構成上は枢要であっても、平素は定量的に評価し難い要素を育成することの難しさを物語っている。これを克服するためには、技術革新の意義を適切に把握し、用兵者の構想と吻合させる、運用思想体系の充実が必要である。

元海軍軍人達は、航空に限らず、全体的に艦隊決戦を前提とした術科面のみ重視し、物事の本質的考察を欠いた点を、戦後反省している⁸⁰。これは海上自衛隊も無関係ではない。大熊元海将補は、「戦術、術科レベル偏重のアプローチによる防衛装備開発に専念し『我が事終われり』としてきた」ことへの反省を述べている⁸¹。技術の重要性がますます強調される現在、未来への洞察を基礎とする「意図的で計画的な発明」の意義が、これまで以上に高まっている。新技術によって拓かれた分野が、安全保障環境にいかなる影響を及ぼし得るのか、戦力としていかなる特性や可能性を持つのか、意識して本質を追究する必要がある。

⁸⁰ 例えば、実松『海軍大学教育』176頁；千早正隆『日本海軍の戦略発想—敗戦直後の痛痕の反省—』プレジデント社、1982年、291-296頁。

⁸¹ 大熊康之『戦略・ドクトリン統合防衛革命—マハンからセブロスウキーまで米軍事革命思想家のアプローチに学ぶ—』かや書房、2011年、2頁。更に、これが日本人共通の問題とする意見もある。野中郁次郎、竹内弘高『知識創造企業』梅本勝博訳、東洋経済新報社、1996年、38-45頁。

第 1 次レバノン戦争の教訓が米軍の無人航空機開発に 及ぼした影響とその意義

楠山 博康

はじめに

「ベトナム戦争はヘリコプターの戦いであったが、2つの戦争（筆者注：アフガニスタン紛争とイラク戦争）は無人航空機の戦争であった」という米陸軍無人機プロジェクト副マネージャーのオーウィングス（Tim Owings）の言葉がある¹。これは、アフガニスタン紛争とイラク戦争を通じて無人航空機がいかに重要な戦力であったかを象徴する言葉として、2010年に米陸軍のホームページに掲載されたものである。また、この言葉に呼応するかのよう、*Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036*においては、2000年以前は低調であった無人航空機の飛行時数が年々増加し、2010年には50万飛行時間を達成したことを示している（図1参照）²。もはや無人航空機は、現代の米軍の作戦を支えている重要な装備品と言えよう。

では、米軍にとって現代の戦争において不可欠となっている無人航空機は、いつ頃から実用に足るレベルに発展してきたのであろうか。これについて米海軍のスミス（Greg Smith）は、1990年以前の米海軍は艦隊の必要性に応じ、対潜戦のみ、もしくは偵察のみ、といった狭い範囲の任務を行う無人航空機を指向したが、1990年代は無人航空機の信頼性と有用性が向上したことで、偵察や対テロ任務の目的で全世界的に無人航空機を投入したとしている³。すなわち、スミスによれば、現在の無人航空機の成功は、1990年代の無人航空機の発展の上に成り立っているというのである。

¹ Kris Osborn, *Army Surpasses 1 Million Unmanned Flight Hours*, U.S. Army, April 29, 2010, https://www.army.mil/article/38236/army_surpasses_1_million_unmanned_flight_hours.

² *Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036*, Office of the Secretary of Defense, p. 22.

³ Greg Smith, "Organization and Innovation," *Naval War College Review*, Vol. 70, No. 3, 2017, p. 80.

その一方で、米軍は 1982 年の第 1 次レバノン戦争の教訓として、戦場における無人航空機の優位性を見出している⁴。では、この 1982 年の第 1 次レバノン戦争から 1991 年の湾岸戦争までの約 10 年間、無人航空機に関して、現在に通じる進展には至らなかったと言えるのであろうか。確かに、米軍ではその約 10 年の間で様々な無人航空機プロジェクトが存在し、その一部は失敗に終わったことは否定できない。しかし、米軍の中でも特に米海軍が第 1 次レバノン戦争から得た教訓を元にしたイノベーションによって、湾岸戦争において意義のある戦果を収めたということは、現代の無人航空機の成功を語る上で強調されるべき点であろう。

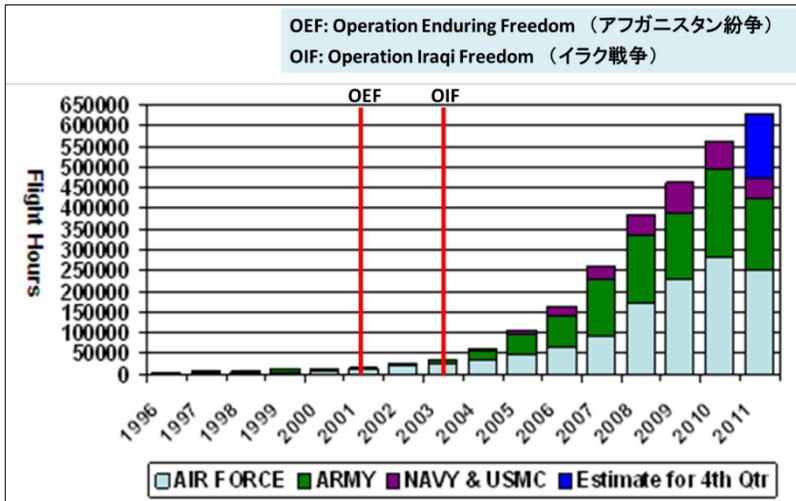


図 1 米軍における無人航空機の飛行時数の推移（1996 年～2011 年）

（出所）*Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036*, Office of the Secretary of Defense, p. 22 を元に筆者作成

以上を踏まえ、本稿は、1982 年の第 1 次レバノン戦争から 1991 年の湾岸戦争までの間、特に米海軍の無人航空機に関してどのようなイノベーションが起こり、その意義は何であったのかを主たる検討の対象とする。第 1 節では、第 1 次レバノン戦争において、イスラエルが戦場における無人航空機の優位性を如何に証明し、米軍がどのような教訓を得たのかを分析する。第 2 節では、米国が介入したレバノン内戦以降、無人航空機のパイ

⁴ Gordon Clarke, et. al., *The 1982 Israeli War in Lebanon: Implications for Modern Conventional Warfare*, The National War College, National Defense University, April 1983, pp. 33-34.

オニア（型式：RQ-2 Pioneer）がどのように進展し、後の湾岸戦争に投入されたのかを明らかにする。そして第 3 節では、パイオニアが米軍の無人航空機の発展に及ぼした影響について示すとともに、その意義と要因についてイノベーションという視点で評価する。

1 第 1 次レバノン戦争から米軍が得た無人航空機の教訓

米軍は、1982 年の第 1 次レバノン戦争においてイスラエルが使用した無人航空機の運用実績から教訓を導出したが、イスラエルはこの第 1 次レバノン戦争で突如として実戦的な無人航空機を投入したわけではなかった。すなわち、第 1 次レバノン戦争における無人航空機の活躍の伏線として、1973 年の第 4 次中東戦争から得た教訓というものがあったのである。

そこで本節は、米軍が第 1 次レバノン戦争からどのような教訓を得たのかについて、次の順序で論述する。第 1 項では、イスラエルが第 4 次中東戦争においてどのような経緯で無人航空機の戦場における有効性を見出したのかを明らかにする。第 2 項では、第 4 次中東戦争について米軍がどのような教訓を導出したのかを明らかにする。第 3 項では、イスラエルが第 4 次中東戦争の教訓を得て、どのような無人航空機を導入したのかを明らかにする。第 4 項では、イスラエルが第 1 次レバノン戦争でどのような戦果を収めたのかを示す。そして第 5 項では、第 1 次レバノン戦争から米軍がどのような教訓を得たのかを示す。

（1）第 4 次中東戦争の概要とイスラエルが得た無人航空機の教訓

第 4 次中東戦争は、1973 年 10 月 6 日のユダヤ人のヨムキプールの日に、エジプト軍がスエズ東岸に対し、そしてシリア軍がゴラン高原において攻撃を開始したことから始まった、同年 10 月 24 日まで続いたアラブとイスラエルの戦争であった。これは、1967 年 6 月の第 3 次中東戦争以後も、消耗戦ともいべき武力衝突が停戦ラインに沿って展開し、また、各地で激しいゲリラ行動が頻発していた中で生じた出来事であった⁵。

この第 4 次中東戦争におけるイスラエル空軍の主要任務は、地上部隊の支援であったが、この時のイスラエル空軍にとって最大の脅威となったのが、ソ連の後ろ盾によって強化された地対空ミサイル（Surface to Air

⁵ 奥村房夫「第四次中東戦争の意義」『海外事情』第 22 巻第 6 号、1974 年 6 月、57 頁。

Missile: SAM) であった。そして、この SAM の脅威を回避するために、イスラエル空軍機は低空を飛行せざるを得ず、低空飛行するイスラエル機を標的とした対空火砲による損害も甚大なものとなった。これらの結果として、イスラエルは主力攻撃機である スカイホーク (A-4) について 172 機中 53 機を、ファントム (F-4) について 99 機中 32 機を、それぞれ損失したのであった⁶。

こうした甚大な被害を受けた中、イスラエルの外交史及び軍事史の研究者であるロッドマン (David Rodman) は、イスラエルがその対策の 1 つとして採った無人航空機戦術の有効性を挙げている。この有効性とは、イスラエルが米国から導入したファイアービー (BQM-34) やチャッカー (BQM-74) といった無人航空機を投入し、画像収集と攻撃支援 (デコイ) を行うことでその空軍機の損失を抑制したという点にあるというものである⁷。最終的にイスラエル空軍は、アラブ側の SAM の完全な排除には至らず、戦車を主体とした地上部隊を投入することで SAM を掃討したものの、イスラエルにとって無人航空機の果たした役割は極めて大きかったと言える。

(2) 第 4 次中東戦争から米軍が得た教訓

米軍は、第 4 次中東戦争終了後に USMOST (United States Military Operational Survey Team) や USMEVTI (US Military Equipment Validation Team, Israel) と呼ばれる、各軍種から構成される統合の教訓収集チームを派出して教訓を取りまとめた⁸。この第 4 次中東戦争におけるアラブ側の SAM の脅威については、対ソ連軍を意識した米軍にとっても大いに注目すべきものとなっており、特にドイルは USMEVTI のレポートを分析し、「大量に投入される SAM は戦場のバランスを大きく変えることになるため、改善された航空攻撃と近代的な電子戦は、地上軍の支援を確実にを行うために必要である」と結論付けている⁹。そして、こうした教訓から得られた改善が、後の湾岸戦争において威力を発揮した戦闘機のステル

⁶ Joseph Doyle, *The Yom Kippur War and the Shaping of the United States Air Force*, Air University, 2016, p. 34.

⁷ David Rodman, “Unmanned Aerial Vehicles in the Service of the Israel Air Force: They will Soar on Wings Like Eagles,” *Middle East Review of International Affairs*, Vol. 14, No. 3, September 2010, p. 78.

⁸ Doyle, *The Yom Kippur War and the Shaping of the United States Air Force*, pp. 28-29.

⁹ *Ibid.*, p. 38.

ス技術や精密誘導兵器などの圧倒的な戦力として結実したことは言うまでもない。

以上のとおり、米軍の基本的な関心は、SAM の脅威というものに対して如何に対抗するかに向けられており、第 4 次中東戦争からは無人航空機の有効性に係る教訓を導出することはなかったのである。この理由として考えられるのが、第 4 次中東戦争以前のベトナム戦争における米軍の無人航空機の運用経験である。それは、米軍がベトナム戦争において、ファイアービーの派生機であるライトニング・バグを対 SAM 用やストラトフォートレス (B-52) 支援用のデコイとして投入し、当初はデコイとしての機能を果たしたものの、すぐにベトナムのレーダー員にデコイと実機の違いを見分けられ、結果的にその効果は短命に終わったという経験である¹⁰。このように、イスラエルは第 4 次中東戦争で米軍の無人航空機を用いたものの、米軍では既に有効ではないという判断があったため、教訓的事項から外れたと推察されよう。

(3) イスラエルによる第 4 次中東戦争の教訓の反映

第 4 次中東戦争においてイスラエル軍が使用した無人航空機は、画像収集と攻撃支援の観点から使用したものの、リアルタイム性に欠け、戦闘機の支援という点ではその能力を補完できたわけではなかった。そこでイスラエルは偵察機とデコイという 2 つの方向でそれらの改善に注力したのであった。以下にそれぞれの発展の概要を示す。

第 1 に、偵察機としての発展である。第 4 次中東戦争においてイスラエル空軍が使用した無人航空機は、敵の画像を画像データとして記録するものであったため、帰投後にこれを取り出して解析することになり、リアルタイム性には欠けていた。これは、特に SA-2 や SA-3 のように固定的に運用する SAM よりも、SA-6 のように展開移動できる SAM に対しては致命的な欠点であった。また、地上では確認できない丘の向こうにいる相手の状況を知る上でも問題があった。そのため、イスラエルがリアルタイムの画像を取得出来る無人航空機を指向したのは、当然のことであったと言えよう。

そこで、イスラエルは第 4 次中東戦争後、リアルタイムな画像を取得するためにスカウトとマスティフという 2 種類の無人航空機の開発に着手することになった。1974 年にイスラエル・エアロスペース・インダストリー

¹⁰ Thomas Ehrhard, *Air Force UAVs The Secret Story*, Mitchell Institute Press, 2010, p. 25.

ズ社はスカウトの開発を開始し、1979 年に機体をイスラエル空軍に納入した。また、1973 年にタディラン社はスカウトと同程度の能力を有するマスティフの初飛行を行った。そして、いずれの機体においても特徴的なのが、当時としては画期的であった、高解像度の光学カメラによる画像取得と戦術データリンクシステムによる画像伝送機能を有していることであった¹¹。

第 2 に、デコイとしての発展である。第 4 次中東戦争においてイスラエル空軍は無人航空機をデコイとしても用いたが、これはあくまで無人航空機を有人航空機に似せることで相手を欺瞞するというものであり、米軍がそれ以前のベトナム戦争においてこの用法を実践するも、失敗に終わった用法であった。そこでイスラエルは、単にデコイとしての用法だけでなく、第 4 次中東戦争から得られた戦訓を元に、チャフのようなその他の機能も追求したのであった。これは、SA-6 が、目標となる機体というよりは、自機防御用のチャフを追尾してきたというイスラエルのパイロットの証言に基づく改善であったと推察される¹²。

そこでイスラエルは、米ブランズウィック社が開発したマキシデコイと呼ばれる空中発射式デコイに注目し、第 1 次レバノン戦争の前に導入した。このマキシデコイは、イスラエルではサムソンと呼ばれ、ファントムの主翼の片側に 3 機のサムソンを搭載でき、チャフやフレアの散布や電子的なジャミングが可能であった¹³。

（4）第 1 次レバノン戦争における無人航空機の戦果

1982 年 6 月 4 日に、駐英イスラエル大使狙撃事件におけるパレスチナ解放機構（Palestine Liberation Organization: PLO）によるテロへの報復とその撤退のためとして、イスラエルが越境してレバノンに侵攻したことで、第 1 次レバノン戦争が生じた¹⁴。そして、第 1 次レバノン戦争の緒戦では、レバノンに駐留するシリア軍が占領するベッカー高原に配備した SA-6 を主体とした SAM 網を撃破することがイスラエルにとって喫緊の課題であった¹⁵。このシリア軍の堅固な SAM 網を制圧するためのモール・

¹¹ Mary Dobbins and Chris Cole, *Israel and the Drone Wars*, Drone Wars UK, February 2014, p. 9.

¹² Doyle, *The Yom Kippur War and the Shaping of the United States Air Force*, p. 44.

¹³ “Israelis Saturated Syrian SAMs,” *Flight International*, August 20, 1983, p. 479.

¹⁴ 佐々木伸『レバノン戦争 アラファートの 90 日』共同通信社、1984 年、12 頁。

¹⁵ Ralph Saunders, “An Israeli Military Innovation UAVs,” *Joint Force Quarterly*, Winter 2002-03, p. 115.

クリケット 19 作戦においてスカウトやサムソンなどの無人航空機が偵察機やデコイとして活躍したことなどによって、戦争の初日に 20 もの SAM 網の撃破に成功したのであった。しかも、最終的に SAM 網の無力化に成功したイスラエル軍は、1 機の被害も出すことなく、80 機以上のシリア軍機を撃墜するという戦果を収めたのであった¹⁶。

この時イスラエルが採った戦法は、次のようなものであった。攻撃に先立ち、イスラエルのボーイング 707（有人固定翼航空機）と偵察用無人航空機がシリア軍の SAM の詳細な位置及び敵レーダーと通信周波数をとらえた。次に、攻撃に際しては、ボーイング 707 がジャミングを敵のレーダーに行いつつ、ファントムから空中発射されたデコイが敵のレーダー波を引き付け、これに対してファントムが対レーダーミサイルで敵レーダーサイトの攻撃を行ったのであった¹⁷。

（5）第 1 次レバノン戦争から米軍が得た教訓

米国防大学のクラーク（Gordon Clarke）らは、第 1 次レバノン戦争を分析した上で多数の教訓を導出した。中でも無人航空機に関する教訓として、「既に存在している武器と装備品を使用してイノベーションを起こしたのは、無人航空機と地上発射型の対レーダーミサイルであり、そのような能力は米軍にとって、限られた航空戦力で同様の任務を行う上で有効な手段となる」としている¹⁸。これは、スカウトやマスティフ、サムソンといったイスラエルの無人航空機が第 1 次レバノン戦争において有効に機能したということを米軍が高く評価した証左であると言えよう。

2 米海軍における無人航空機パイオニアの発展

本節は、1982 年の第 1 次レバノン戦争の教訓が米海軍の無人航空機の開発に及ぼした影響について明らかにするため、第 1 次レバノン戦争後から 1991 年の湾岸戦争までの期間を対象とする。その中で米海軍が装備化に取り組んだ無人航空機であるパイオニアを主たる研究の対象とするとともに、その他の無人航空機として、TALD (Tactical Air-Launched Decoy) 及び MR-UAV (Medium Range-UAV) に注目する。

¹⁶ Rodman, “Unmanned Aerial Vehicles in the Service of the Israel Air Force,” p. 78.

¹⁷ David Eshel, “Israel’s Essential EW Tool – the UAV,” *The Journal of Electronic Defense*, June 2008, p. 36.

¹⁸ Clarke, et. al., *The 1982 Israeli War in Lebanon*, pp. 33-34.

以上を踏まえ、本節は次の順序で論述する。第 1 項では、第 1 次レバノン戦争の終結後、パイオニアの開発の契機となったレバノン内戦に米国が介入した経緯とその結果を示す。第 2 項では、米軍機のパイロットの被害局限と艦砲射撃における SAM 位置の標定のため、レーマン(John Lehman)海軍長官がイスラエルに協力を求めたことを示す。第 3 項では、前項の結果開発されたパイオニアが湾岸戦争においてどのような戦果を収めたのかを明らかにする。そして第 4 項では、パイオニア以外の機体がどのような成果や問題をもたらしたのかを示すとともに、その問題の要因について明らかにする。

(1) 第 1 次レバノン戦争の終結と米国によるレバノン内戦への介入

第 1 次レバノン戦争では、イスラエル軍がシリア軍と PLO に圧勝し、最終的には徹底抗戦していた PLO も停戦に応じ、1982 年 8 月 30 日にアラファト (Yasser Arafat) 率いる PLO 指導部と主力部隊がチュニジアへ追放された¹⁹。そこで、レバノン政府は米国や仏国等に対して、PLO 部隊撤退を監視するために現地にも多国籍軍という形で派遣することを要請し、米国は 1982 年 8 月 25 日に第 32 海兵両用戦部隊をレバノンに上陸させたのであった²⁰。

米海兵隊を中心とした米軍の派遣期間中における被害は甚大なものであり、1984 年 2 月にはレバノンからの撤兵を余儀なくされ、結果的にレバノンの情勢は更に混迷を深めることとなった。中でも、この期間における当該派遣が如何に過酷なものであったかを象徴する事件として、1983 年 10 月 23 日のバイルート米海兵隊宿舎爆破事件が挙げられる。これは、ヒズボラのメンバーが爆弾を積んだトラックをバイルート空港周辺の米海兵隊本部に突入させ、241 名の米隊員が死亡したというものであり、米軍の歴史上、最も甚大な被害が生じた事件の 1 つとしても知られている²¹。

(2) 米軍機の被攻撃とレーマン海軍長官による要請

1980 年代の各種の戦争から、現地指揮官が戦場の状況認識を把握する必要性が米軍の中で認識され、低価格でありながらも迅速に使用でき、水平

¹⁹ 佐々木『レバノン戦争』191-214 頁。

²⁰ ベニス M. フランク著、アメリカ海兵隊司令部編『国連平和維持軍 アメリカ海兵隊レバノンへ』高井三郎訳、米海兵隊司令部、大日本絵画、1991 年、32 頁。

²¹ 芝實「レバノンに見る国家の脆弱性の原因」『文京学院大学外国語学部文京学院短期大学紀要』第 7 号、2008 年 2 月、252 頁。

線の向こう側を把握できる無人化システムの必要性が米軍指揮官の中で広がっていた²²。こうした無人化システムの必要性に関する認識が広がる中、これを後押しする事件が生じたのであった。それは、米国がレバノン内戦へ介入した最中の 1983 年 9 月 20 日に、空母を発進した海軍の偵察機が携帯式 SAM である SA-7 の攻撃を受け、米海軍は 2 目標に 5 インチ砲弾合計 90 発の艦砲射撃を行ったというものであった²³。また、同年 10 月 5 日には米海兵隊のヘリコプター 2 機が地上火力で被弾するなど、米軍機を標的とした地上からの攻撃が行われたのであった²⁴。

そこで、レーマン海軍長官は、パイロットの被害局限と艦砲射撃を行うための SAM 位置の標定のため、1983 年 12 月にイスラエルに対して支援を求めたのであった²⁵。ただし、米軍機への攻撃が行われた 1983 年当時の米国は、基本的に自国で装備品を製造していたため、共同開発という形を採ることとなったのである²⁶。このレーマンの支援要請は、1 (5) 項で示したクラーケらの評価のとおり、第 1 次レバノン戦争においてイスラエルが無人航空機を効果的に使用した実績を念頭に置いたものであったと言える。

(3) パイオニアの開発と湾岸戦争における戦果

1985 年に米海軍が契約した AAI (Aircraft Armaments, Inc.) 社はイスラエル・エアロスペース・インダストリーズ社との共同開発により、1986 年 7 月には 8 機のパイオニアと発進・管制装置を米海軍に納入したのであった²⁷。

パイオニアの性能諸元について、図 2 に示す。パイオニアは、第 1 次レバノン戦争においてイスラエル軍が使用したスカウトやマスティフといった、リアルタイム画像を取得できる無人航空機の運用実績を踏まえ、搭載

²² Clarke, et. al., *The 1982 Israeli War in Lebanon*, p. 33.

²³ フランク『国連平和維持軍』142 頁。

²⁴ 同上、209 頁。

²⁵ Barak Carlson, *Past UAV Program Failures and Implications for Current UAV Program*, Air Command and Staff College, Air University, April 2001, p. 5.

²⁶ 当時の米国は、1989 年の外国武器評価 (Foreign Weapon Evaluation: FWE) という外国製の兵器を評価する仕組みが出来るまでは純粋な外国製の兵器の導入には消極的であり、自国のみで完結しない装備品の開発には共同開発という形を採ることが最適な手段であった。FWE の細部については、次による。

<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a270683.pdf>.

²⁷ US Navy Fact File, *RQ-2A Pioneer UAV*,

http://www.navy.mil/navydata/fact_display.asp?cid=1100&tid=2100&ct=1.

カメラによって取得した偵察画像について、リアルタイムな把握ができるようにデータリンクを組み合わせた無人航空機であった。

パイオニアは、1986 年 12 月から 1987 年初頭にかけて実施した米艦艇アイオワにおける試験を経て、4 隻のアイオワ級艦艇とオースティンをはじめとする揚陸艦などで広く運用されることとなった。そしてパイオニアは、ロケット・ブースター付きであったため、陸上の急造の滑走路、あるいは艦艇の飛行甲板から離陸することもでき、他の軍種にも採用されることとなった²⁸。

そして、湾岸戦争では、パイオニアは 545 ソーティー、1,600 時間以上の飛行任務を行い、米海軍のみならず、米陸軍と米海兵隊への画像情報の提供によってその作戦を支援した。これに加え、特に米海軍では、艦砲射撃支援、戦闘被害評価及び機雷搜索といった任務にも使用したのであった²⁹。こうしたパイオニアの実績について、1992 年に米国防省は、「米海軍のパイオニア・システムは、期待以上の成果をもたらした」と評価している³⁰。

	長さ	4.96 m
	翼幅	5.12 m
	高さ	1.00 m
	最大離陸重量	195 kg
	ペイロード重量	45 kg
	最大速度	185 km/h
	巡航速度	90~130 km/h
	飛行高度	4,575 m
	飛行時間	6~9 h

図 2 パイオニアの性能諸元

(出所) *Jane's All The World's Aircraft 1986-87*, p. 820 他を元に筆者作成

(4) その他の無人航空機の開発

ア TALD (Tactical Air-Launched Decoy)

TALD は、イスラエルの空中発射式デコイであるサムソンの成功に触発された米海軍が採用したサムソンの改良型であり、ADM-141 という型式

²⁸ Ibid.

²⁹ Richard Major, *RQ-2 Pioneer: The Flawed System that Redefined US Unmanned Aviation*, Air Command and Staff College, Air University, February 2012, p. 9.

³⁰ Ibid., p. 10.

が付与された。TALD が登場する以前に、ADM-20 という大型の空中発射式デコイがあったが、これは、B-52 爆撃機のような大型の航空機にしか適用できず、米海軍の空母艦載機には不向きであったと考えられる。

導入初期の TALD は無動力滑空機で、36kg までのチャフを散布できるものと、小さな TALD を有人航空機と誤認させるため、レーダー投影面積を増加させる機能を有したものが使用されたが、後の 1990 年代には、無動力式ではなく、ジェットエンジンを搭載した ITALD (Improved TALD) が導入された。そして、TALD は、1985 年から 1980 年代末までに 2,000 機以上が導入され、湾岸戦争にも投入されることとなった。

湾岸戦争では、ホーネット (F/A-18)、イントルーダー (A-6)、コルセア II (A-7) 及びバイキング (S-3) といった空母艦載機に対して 1 機あたり最大 8 機の TALD が搭載され、100~40,000 ft の高度で運用した。TALD が発射されると、250~500kt でパッシブとアクティブの両方のレーダーを駆使しながら 83 マイル滑空した³¹。

また、当該戦争で使用されたイラクの防空システムであるカリシステムを攪乱するために大量の TALD が投入され、TALD は米海軍の航空作戦において有効に機能した。その具体的な効果とは、イラクの防空システムが、TALD のことを自分たちに接近してくる航空機と見なして多くのミサイルを消耗したことで、イラク軍のレーダーの位置が暴露されたことにより、米軍の対レーダーミサイルの攻撃を受けることとなったというものであった³²。

イ MR-UAV (Medium Range-UAV)

1985 年に米海軍と米空軍は、第 1 次レバノン戦争も含めたそれまでの戦争の教訓を念頭に、戦術的な敵識別能力の不足を補うべく、MR-UAV 計画と呼ばれる計画に合意した。その MR-UAV 計画では、パイオニアの最高速度の 6 倍以上となるマッハ 0.94 で飛行できる無人航空機が想定され、可視・赤外線センサーによるリアルタイムな画像データ取得を 350 マイルの範囲でできることが目標とされるなど、パイオニアと比較して先進的なものであった。そして、当該計画における役割分担としては、米海軍は機体の開発を、米空軍は、ATARS (Advanced Tactical Airborne Reconnai-

³¹ Anthony H. Cordesman, *Lessons of Gulf War: 1990-1991*, CSIS, 2013, pp. 376-377.

³² Ibid.

ssance System) と呼ばれるセンサーシステムの開発をそれぞれ担当することとなったのであった³³。

米海軍が MR-UAV の機体として手掛けたのが、ペレグリン (BQM-145) であった。これは、当該計画が進行中の 1991 年時点で、米海兵隊が 35 機、米空軍が 260 機、米海軍が 230 機を導入することが計画されており、1996 年には運用されることが期待されていた³⁴。また、ATARS について、米海軍が米空軍及び米海兵隊用分も含めて 525 台を購入する計画がなされていた³⁵。

しかし、当該計画は、1993 年 10 月に終了し、失敗に終わっている。その主たる要因は、異軍種間の運用ニーズの違い及び当初見積もりからの大幅なコスト増や計画の遅延であった。その細部について、以下に示す³⁶。

第 1 に、MR-UAV 計画に携わった米海軍と米空軍の間で、運用構想が異なっていたという点である。これは、米海軍が航空機もしくは艦艇からペレグリンを射出し、洋上においてヘリコプターで回収するという方式を採ろうとしたのに対し、米空軍は、陸上からの発進を主たる発射方式とし、航空機からの射出はあくまでバックアップと考えていたということである。このように発射／回収方式が異なると、それぞれに対応した改修が必要となり、その分の時間と費用と労力を費やすことになるのである。そして、最終的に両軍種の運用構想の違いという溝は、埋まらなかったのである。

第 2 に、MR-UAV 計画で当初想定されたコストや日程が大幅に超過したという点である。これは、特に ATARS において顕著に見られ、コスト面で言えば当初 1 億 6,400 万ドルで想定されていたものが、最終的には 3 億 4,600 万ドルとなり、当初の計画を大幅に超えるものとなったのである。また、それ以外にも、ペレグリンの開発に合わせた形で ATARS を設計しなければならず、開発期間が不足していたことや、ペレグリンのペイロードの制約により、ATARS の重量を軽減することが必要となったことなども挙げられる。

³³ Ehrhard, *Air Force UAVs The Secret Story*, pp. 41-42.

³⁴ “Medium-Range UAV to Help Military Narrow Tactical Intelligence Gap,” *Aviation Week & Space Technology*, October 15, 1990, p. 42.

³⁵ *Ibid.*, p. 53.

³⁶ Louis J. Rodrigues, *Unmanned Aerial Vehicles DoD's Acquisition Efforts*, GAO, April 9, 1997, p. 3.

3 パイオニアが米軍の無人航空機の発展に及ぼした影響とその意義

本節では、湾岸戦争に投入された無人航空機がその後の米軍の無人航空機の発展に及ぼした影響とその意義について考察する。ただし、前節において湾岸戦争ではパイオニアと TALD が有効であったことを示したが、後者の TALD はあくまで空中発射式のデコイであるため、パイオニアのみを対象とする。

そこで本節は、次の順序で論述する。第 1 項では、パイオニアにおいて採用されたリアルタイム画像を取得できる機能が、以後の米軍の無人航空機において標準化されたことを明らかにする。第 2 項では、パイオニアがもたらしたイノベーションの意義について考察する。そして第 3 項では、パイオニアを導入したというイノベーションが起こった要因について考察する。

(1) 米軍における無人航空機のリアルタイム画像の標準化

無人航空機に搭載されたカメラで画像を取得してそれを操作員等にデータリンクで伝送するという、今では当たり前の技術は、最初にイスラエルが実現してこれを実戦に投入し、そこから教訓を得た米軍がパイオニアという形で追従したことに端を発していることは、これまで述べてきたとおりである。

そして、このパイオニアの登場以降における米国の無人航空機を俯瞰するに、米国では様々な無人航空機（例えば、ハンター、グローバルホーク、プレデター等）が開発、装備化されてきたが、いずれの機体においてもリアルタイム画像を取得できることが標準的な機能となっている。しかも、近年登場しつつある高性能化した無人航空機では、人工知能の搭載によって自律的な判断を行うことや、多数の機体が群れを形成して行動することが可能であるが、その基本的な機能は依然として画像取得にある。すなわち、リアルタイム画像を取得できるパイオニアが登場したことで、この機能が以後の無人航空機の標準的なものとなり、現在に至っていると言えよう。

以上のことから、本稿の冒頭において述べた、1990 年代に無人航空機の信頼性と有用性が向上したことが現在の無人航空機の発展に繋がったというスミスの見解が正しいのではなく、第 1 次レバノン戦争の教訓から得て開発したパイオニアこそが、現代の米国における無人航空機の発展の原点であるという仮説を裏付けるものと言えよう。

（2）パイオニアによるイノベーションの意義

リアルタイム画像を取得できるパイオニアは、既存の技術を採用して自らの作戦に応用したことで劇的な成果を収めたという点において、イノベーションが起こったと評価できるものであり、ここでその意義について改めて考えてみたい。

米国の戦略研究家であるクレピネビッチ（Andrew Krepinevich）は軍事における革命（*Revolution in Military Affairs: RMA*）について、「多数の軍事システムに新技術が適用され、それが紛争の性質と戦い方を根本的に変容させるような方法で、革新的な運用概念と組織的受容が組み合わさった時に生起する」としている³⁷。そして RMA は歴史上様々な形で実現されており、その代表的なものとして第2次世界大戦のドイツによる電撃戦が知られている。これは、当時の新兵器であった戦車を中核とし、これにオートバイや装甲車両などで構成される装甲部隊とそれを支援するための空軍機を組み合わせた作戦構想であり、第1次世界大戦の教訓を元にした高速機動戦であった。この電撃戦の採用により、ドイツ軍がポーランド領内に侵攻し、ソ連軍の侵入も相まって、ポーランド政府は1か月も経たないうちに亡命を余儀なくされたのであった³⁸。

では、湾岸戦争では RMA が実現されたと言えるだろうか。まず、パイオニアが投入された湾岸戦争では、多国籍軍に属する米軍のステルス戦闘機や長距離精密誘導兵器などの先進的な装備が劇的な戦果をもたらし、イラクに対して圧倒的な勝利を収めたことが知られている。そして、パイオニアはリアルタイム画像の提供や艦砲射撃における敵の位置標定等に効果を発揮した。このことから、湾岸戦争の成功は新たな技術の導入に依るところが大きかったと言えよう。

このような中、米国の戦略研究家で、長年米国防省の総合評価局の局長を務めたマーシャル（Andrew Marshall）は、電撃戦などの過去の RMA において決定的な要素となったのは、「技術面での斬新さではなく、既存の入手可能なシステムを凌駕するような、革新的な作戦概念と、組織体制の採用である」としている³⁹。すなわち、RMA が実現されるための要件として、技術面はそれほど重要ではないというのがマーシャルの見解である。

³⁷ Andrew Krepinevich, "Cavalry to Computer; the Pattern of Military Revolutions," *The National Interest*, No. 37, Fall 1994, p. 30.

³⁸ 吉本隆昭「電撃戦理論の成立—軍事理論と政軍関係からの考察—」『国際関係学部研究年報』第39集、2018年2月、27-34頁。

³⁹ Andrew Marshall, "The 1995 RMA Essay Contest: A Postscript," *Joint Force Quarterly*, Winter 1995-96, p. 81.

一方、先の問いに対して海上自衛隊の山下啓治は、「これ（筆者注：湾岸戦争における戦果を指す。）が RMA の効果と結論づけるのは短絡であるが、要因の一つであると認識することに疑いをもつものはいない」とした上で、湾岸戦争の中で具体的にどのような事例に RMA の事態が見られたのかを検証しており、無人航空機をその 1 つとして挙げている⁴⁰。このように、RMA における技術の発展の役割を無視することは難しいことを挙げている者もあり、湾岸戦争と RMA の関係については様々な意見があるのも事実である。

しかし、パイオニアは電撃戦と同様に、当時の技術を採用して新たな戦術を生み出したことで大きな戦果を収めたことから、イノベーションという点では共通しており、技術というものが RMA において重要な地位を占めていると言えるのではないだろうか。このように考えると、RMA の萌芽であると言える湾岸戦争では、技術もこれを支える要因として機能を発揮したと言えるのではないだろうか。

（3）パイオニアによるイノベーションの要因

パイオニアは、イスラエルの技術を使用して米軍に導入されたものであり、米軍にとって無人航空機としては初めてリアルタイム画像を取得できるものであった。そして、これが湾岸戦争において威力を発揮したのであった。

では、なぜ米軍においてこうしたイノベーションを実現できたのであろうか。勿論、偵察活動におけるパイロットの人命確保や艦砲射撃における SAM 位置の標定という、運用上のニーズと、これを可能としたイスラエルの無人航空機技術というシーズが合致したこともその理由の 1 つであろう。しかし、その最大の要因は、レーマン海軍長官という文民のイニシアティブにあると考える。

パイオニアの開発が進められていた時期に、MR-UAV のように米国のみで開発を試みた無人航空機は失敗に終わったわけであるが、その失敗の要因は、米海軍と米空軍との間で起こった不協和音にあった。このような米国独自で開発を試みた無人航空機とは対照的に、パイオニアはパイロットの人命を守るという目的で導入されたこともさることながら、レーマンのイニシアティブによって開発が進められ、湾岸戦争における成功を収めた

⁴⁰ 山下啓治「湾岸戦争に見る軍事革命（RMA）の実態について」『波濤』第 23 巻第 6 号、1998 年 3 月、47-53 頁。

のである。このように、軍事組織においてその装備を開発・取得する際に、文民が関与することには一定の意義があるものと考えられる。

なぜならば、一般的に軍事組織は高度な官僚組織とも言われており、組織が変わることへの抵抗が強いからである。換言すれば、軍隊自身が変革を行うことは、稀であるということである。しかも米国は、1957年のソ連による人類初の人工衛星スプートニク1号の打ち上げ成功に衝撃を受けて以降、自らの軍事技術を向上させることでその優位性を保ってきたのである。そのような中でイスラエルという他国の技術を採用したのは、米海軍の価値観に固執するのではなく、その時あるものに価値を見出したレーマンの慧眼であったと言えよう。

なお、米シンクタンクのRAND研究所のグリッサム（Adam Grissom）は、RMAが起る理由について、①文民による介入、②軍種間競争、③組織内政治、④組織文化の4つに分類しており、レーマンのイニシアティブは①に該当するものと言えよう⁴¹。

おわりに

パイオニアは米軍における無人航空機の歴史の中で、文字どおりの「先駆者」になったと言えるものであるが、ステルス戦闘機や長距離精密誘導兵器などの先進的な装備と比べて、システムとしては不完全な点も内包していた。これは、例えば米空軍大学のメジャー（Richard Major）が指摘しているように、導入前の検討不足のために導入初期に墜落が多発したことやエンジンへの過度な負荷に加えて機体をネット回収する煩雑さといった艦上運用上の問題点が存在していたということである⁴²。こうした問題は後の改善につながるわけであるが、人的被害なしにリアルタイム画像を取得できるということは、そうした欠点を補ってもなお余りある利点として強調されるべきであろう。そして、リアルタイム画像を取得する技術は、既存の技術を使って起こしたイノベーションによるものであり、決して新しい技術の発展によるものではなかったが、その契機となったのが、米国自身ではなくイスラエルという他国が戦った戦争の教訓にあったことは、興味深い点であると言えよう。

⁴¹ Adam Grissom, “The Future of Military Innovation Studies,” *Journal of Strategic Studies*, Vol. 29, No. 5, October 2006, pp. 908-919.

⁴² Major, *RQ-2 Pioneer*, pp. 7-8.

また、米海軍と米空軍との不協和音もあって装備化には至らなかった MR-UAV をはじめとし、本稿では示すことが出来なかった米国における多くの無人航空機施策上の失敗の実例があったことも、多くの教訓を今に伝えている。すなわち、運用のニーズに技術のシーズを整合させることが望ましいが、運用のニーズが技術のシーズを大幅に超過してしまうと、開発スケジュールの遅延やコストの増大を招くということである。そうしたことを防ぐためにも、自らの考えや方針に固執することなく時代の流れに乗ることが重要である。そして、現代の無人航空機の発展は、そうした失敗の歴史の上に成り立っているということも、現代に生きる我々にとって忘れてはならないことであると言えよう。

最後に、本稿において示した内容を踏まえ、わが国における無人航空機開発のあり方について提起する。わが国は無人航空機の開発に関して長い歴史を有しているものの、自国開発のものほとんどは装備化には至っておらず、今は米国製のスキャンイーグルやグローバルホークといった無人航空機が主流となっている。そして、今後もその流れは変わらないであろう。しかし、米国においては過去の装備品となったものを導入することが、わが国の装備体系を整備する上で果たして最適解であると言えるだろうか、という疑念を私は払しょくし得ない。それよりもむしろ米国がイスラエルの教訓を元にパイオニアを見出したように、他国の最新動向を踏まえた上で、わが国独自の運用コンセプトに基づく無人航空機を開発することこそが、技術の進展が著しい現代において保持すべき視点であると考えている。

米海軍とクロス・ドメイン・シナジー

— 概念と資源：新たな戦い方と戦力構造の模索 —

高橋 秀行

はじめに

近年、「クロス・ドメイン・シナジー（Cross-domain synergy: CDS）」という概念が注目されている。CDS は、陸、海、空、宇宙、サイバー空間、電磁波における個別の領域(domain)における能力を各々強化しながらも、全ての領域における能力を有機的に融合して相乗効果(synergy)を創出することによって、劣勢な個別の領域を他で補い優越する概念といわれる¹。

CDS は、2012 年 9 月に米統合参謀本部が発表した『統合運用のためのキャプストーン・コンセプト：統合軍 2020 (Capstone Concept for Joint Operations: Joint Force 2020: CCJO)』で初めて扱われた。CCJO は、CDS をグローバル統合作戦における決定的な優位性を作り出すものと説明している²。また、米海軍は、2015 年 3 月に発表した『21 世紀の海軍力のための協力戦略 (A Cooperative Strategy for 21st Century Seapower: CS21R)』中で CDS を扱った。CS21R は、CDS を敵の「接近阻止／領域拒否 (Anti-Access/Area Denial: A2/AD)」を撃退する「全領域アクセス (All domain access)」の選択肢を統合軍指揮官に提供するものと説明した³。

では、なぜ米海軍は、CDS という概念を必要とするのだろうか。また、米海軍は、抱えている課題のソリューションをどのように考えているのだろうか。CDS に言及した研究は、管見の限り 2 つに大別できる。1 つは抑止概念に係るものであり、1 つは作戦運用に係るものである。

¹ 防衛省『平成 31 年度以降に係る防衛計画の大綱』平成 30 年 12 月 18 日、9 頁。米陸軍は、同概念をある領域から別の領域に影響を与えるものと定義している。U.S. Army Training and Doctrine Command, *TRADOC Pamphlet 525-3-1 The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, December 6, 2018, p. GL-3, https://www.tradoc.army.mil/Portals/14/Documents/MDO/TP525-3-1_30Nov2018.pdf.

² U.S. Joint Chiefs of Staff, *Capstone Concept for Joint Operations: Joint Force 2020*, September 10, 2012, p. 4.

³ U.S. Navy, *A Cooperative Strategy for 21st Century Seapower: Forward, Engaged, Ready*, March 2015, p. 21.

前者について、例えば法政大学の福田潤一は、今日的な抑止態勢の構築を考察する中で CDS に言及した⁴。また、核のエスカレーション・ラダーに係る共通枠組みが無い故の誤算や複雑性の議論は、八木直人やマンツオ（Vincent Manzo）、マロリー（King Mallory）の論考に見られる⁵。

後者について、例えば防衛研究所の菊地茂雄は、米陸軍が2016年10月に公表した「マルチドメイン作戦（Multi-Domain Operation: MDO）」を基に新たな作戦について論考した⁶。また、米軍退役将校のオドム（William Odom）とヘイズ（Christopher Hayes）は、複雑な課題や資源の制約に備えるため、各軍種は統合の焦点を地理的定義の境界線に沿った機能間調整から共有領域の機能統合に移行する理解を受容すべきだと主張した⁷。

上記研究はいずれも示唆に富むものであるが、米海軍に係る先の問題意識は明らかでない。また、同問題意識を論考することは、インド太平洋地域における海洋安全保障を考察する上でも大きな意義があるものとする。

以上の理由から、本稿の目的は、米海軍における CDS 概念の必要性とソリューションの方向性について、作戦運用の観点から考察することにある。考察の鍵は、CDS に至る統合化の経緯、戦闘概念と戦力構造の関係にあると考える。対象年代は、CCJO が CDS を使用した2012年から2018年を中心とし、統合化の経緯確認は冷戦期まで遡る。考察は、第1節において、なぜ米軍が CDS を必要としたのかを確認する。第2節では、なぜ米海軍が CDS を必要としたのかを考察する。第3節では、米海軍が CDS に対して如何なるソリューションを求めようとしているのかを論証する。

4 福田潤一「『複合的』で『全段階的』かつ『領域横断的』な抑止」『エア・パワー研究』第5号、航空自衛隊幹部学校、2018年12月、71頁。

5 八木直人「抑止概念の再考—新たな脅威様相と『テーラード抑止』」『海幹校戦略研究』第2巻第2号、2012年12月、105頁；Vincent Manzo, “Deterrence and Escalation in Cross-domain Operations: Where Do Space and Cyberspace Fit?” *Joint Force Quarterly*, issue 66, 3rd quarter, 2012, p. 12; King Mallory, “New Challenges in Cross-Domain Deterrence,” *Perspectives*, RAND, 2018, pp. 6-9, <https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE259.html>.

6 菊地茂雄「米陸軍・マルチドメイン作戦（MDO）コンセプト」『21世紀の諸兵科連合』と新たな戦い方の模索』『防衛研究所紀要』第22巻第1号、2019年11月、40-42頁。

7 William O. Odom, Christopher D. Hayes, “Cross-Domain Synergy: Advancing Jointness,” *Joint Force Quarterly*, issue 73, 2nd Quarter, 2014, pp. 123-125.

1 米軍におけるクロス・ドメイン・シナジーの必要性

本節は、米軍が CDS を必要とする理由について、戦略的課題と国防資源の関係を視点に考察する。

(1) 冷戦期から冷戦終焉後における統合化の動き

現代的な統合化は、ベトナム戦争の教訓を基に米陸軍が作成した 1982 年公表の FM100-5 Operations におけるエアランドバトル・ドクトリン⁸ や 1986 年制定のゴールドウォーター・ニコルズ国防省再編法が端緒といわれる⁹。また、冷戦終焉後に米軍は「基盤戦力 (Base Force: BF)」や「ボトムアップ・レビュー (Bottom Up Review: BUR)」による戦力再構築を始めた¹⁰。BUR は、同時 2 正面の大規模地域紛争に勝利するための BF に戦力を最適化した¹¹。統合化と戦力最適化は、1996 年に米統合参謀本部が発表した『統合ビジョン 2010 (Joint Vision 2010: JV2010)』につながった。JV2010 が提示する 4 つの作戦概念の中核である支配的機動は、戦闘空間の支配に必要な状況認識力の改善を前提とした。それは、複雑な情報や信号を成分毎に感知するマルチスペクトル・センシング等、情報システムの機能と範囲を対象とした。その実現は、意思決定者の正確でタイムリーな情報入手、戦闘の応答時間短縮、戦闘空間の透明化に寄与すると考えられた。また、戦闘機等の兵器は、ステルス、機動性、分散、高度な作戦テンポの能力で致死性 (lethality) を高めた戦闘空間を主体的に創出し、優位性を高めるとされた¹²。更に JV2010 は 4 つの作戦概念が相乗効果を創出すれば、分散した軍隊でも高強度の伝統的な軍事作戦と低強度の人道支援などの非伝統的な軍事作戦に適用できると説明した¹³。つまり米軍は、

⁸ Thomas G. Mahnken, *Technology and the American Way of War*, Columbia University Press, 2010, pp. 118, 127-129; Headquarters Department of the Army, *FM100-5 Operations*, August 20, 1982, p. 1-1; 菊地「MDO」26-27 頁。

⁹ 福田毅『アメリカの国防政策－冷戦後の再編と戦略文化』昭和堂、2011 年、181-182 頁；Goldwater-Nichols Department of Defense Reorganization Act of 1986, Pub. L. 99-433, 100 Stat. 1004, 1986.

¹⁰ Lorna S. Jaffe, *The Development of the Base Force 1989 – 1992*, Joint History Office, Office of the Chairman of the Joint Chiefs of Staff, July 1993, pp. 3-12; Les Aspin, *The Bottom-Up Review: Forces For A New Era*, Department of Defense, U.S. DoD, September 1, 1993, pp. 1-5.

¹¹ 福田『アメリカの国防政策』148 頁。

¹² Joint Chiefs of Staff, *Joint Vision 2010*, pp. 1, 13-14.

¹³ *Ibid.*, p. 25.

冷戦終焉後に最適化した戦力を、あらゆる軍事作戦の支配、即ち全スペクトラム支配に適用するため、統合化による相乗効果に期待したのである¹⁴。

防衛研究所の高橋杉男は、当時の新たな戦闘概念に合致した戦術や組織の構築、情報・兵器システムへの高度技術応用による指揮運用に係る動きを情報の「軍事における革命（Revolution in Military Affairs: RMA）」と整理した¹⁵。つまり、米軍の現代的な統合化は、戦力最適化と相乗効果に期待した情報 RMA の動きといえよう。

（2）変革と GPR による統合化の動き

2001 年 9 月の米国同時多発テロは、統合化の動きに影響を与えた。2001 年の『4 年毎の国防見直し（Quadrennial Defense Review: QDR）』（QDR2001）は、想定を同時 2 正面对応型から「1-4-2-1」型に転換した¹⁶。2003 年の国防省による年次報告は、同時 2 正面对応型よりも「1-4-2-1」型の方が広範にわたる戦域に高速で戦力を展開できる能力に依存しなくてはならなくなると説明した。その理由は、突然発生する軍事的イベントに個別かつ迅速に対応すると、各軍種の個別戦闘力の影響範囲（footprint）が縮小するからである¹⁷。また、QDR2001 は弾道・巡航ミサイルの飽和攻撃や高度な防空システムで構成する A2/AD 脅威と宇宙、サイバーの脆弱性を指摘した¹⁸。これらの認識は「変革（transformation）」や「グローバル態勢の見直し（Global Posture Review: GPR）」の課題につながった。

変革の課題は、任務に応じて適切な規模に調整できるモジュール化したタスク編成の統合軍を実現するための高度ネットワーク化技術と共同の指揮統制に必要とするドクトリンの追求による相互運用性の達成であった¹⁹。

¹⁴ 上野英詞「21 世紀の米軍像」『新防衛論集』第 27 巻第 4 号、2000 年 3 月、32-35 頁。

¹⁵ 高橋杉男「情報革命と安全保障」『防衛研究所紀要』第 4 巻第 2 号、2001 年 11 月、99 頁。

¹⁶ U.S. DoD, *Quadrennial Defense Review Report*, September 30, 2001 (hereafter *QDR2001*), pp. 17-21. 「1-4-2-1」は、米軍の兵力計画における基本目標であり、詳しくは、福田『アメリカの国防政策』214-215 頁を参照。

¹⁷ Donald H. Rumsfeld, *Annual Report to the President and the Congress*, DoD, 2003, pp. 42-44.

¹⁸ U.S. DoD, *QDR2001*, p. 31.

¹⁹ エリノア・スローン『現代の軍事戦略入門（増補新版）—陸海空から PKO、サイバー、核、宇宙まで—』奥山真司、平山茂敏訳、芙蓉書房出版、2019 年、271 頁；U.S. DoD, *QDR2001*, p. 32. 相互運用性は、様々な検討が必要である。大嶋康弘他「米国のトランスフォーメーションと我が国の防衛力の在り方—NCW への対応を中心として—」『防衛研究所紀要』第 10 巻第 1 号、2007 年 9 月、56 頁。

GPR の課題は、グローバルな影響範囲と同盟の関係であった。2004 年 9 月の米上院軍事委員会において、国防長官のラムズフェルド（Donald Rumsfeld）は、駐留部隊のグローバルな影響範囲の代わりにローテーション部隊のプレゼンスに同盟国が依存すれば同盟を手頃なコストで持続させることができると説明した²⁰。他方、2003 年の年次報告は影響範囲の縮小を更なる統合化、高度ネットワーク化に期待すると述べた²¹。

つまり、米国同時多発テロは、統合化の必要性を更に高めたのである。なお、国立国会図書館の福田毅が指摘するように、米軍が様々な脅威に対して全ての時と場所に対抗を継続する限り、変革等の諸政策の方向性に大きな変化はないとみる考えもある²²。

（3）予算の制約と統合化の動き

米国は、2001 年以降に対テロ戦争や武装勢力の鎮圧、安定化作戦のため、戦費を拡大した。2006 年の QDR は、国防計画や予算策定上の優先事項を決定する基礎として統合ニーズを重視した「需要主導型（demand-driven）」アプローチに移行すると述べた。これは、計画上の不要な重複部分を削ぎ落とし、統合化の相互運用性を改善しつつ、調達及び予算編成プロセスの合理化を図るものであった²³。

一方で国防予算の増加が継続したことも一因となり、2011年8月に2011年予算管理法（Budget Control Act of 2011: BCA）が施行された²⁴。BCA を受けて2012年1月に国防省は、いわゆる『国防戦略指針（Defense Strategic Guidance: DSG）』を発表した。DSGは、BCAが義務付けた、10年間で約4,870億ドルの国防予算削減に従って、2010年の『国家安全保障戦略』の目的達成のために優先すべき投資先を10項目提示した²⁵。

²⁰ マケイン上院議員の海外駐留費 35%削減策に関する質問の回答。The Global Posture Review of United States Military Forces Stationed Overseas, Senate Hearing 108-854, September 23, 2004, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CHRG-108shrg23080/html/CHRG-108shrg23080.htm>。

²¹ Rumsfeld, *Annual Report*, p. 42.

²² 福田毅「米軍の変革とグローバル・ポストチャー・レビュー（在外米軍の再編）」『レファレンス』平成 17 年 5 月号、63-64 頁。

²³ U.S. DoD, *Quadrennial Defense Review Report*, February 6, 2006, p. 4.

²⁴ *Budget Control Act of 2011*, Pub. L. 112-25, 125 Stat. 240, 2011, <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-112publ25/pdf/PLAW-112publ25.pdf>.

²⁵ Catherine Dale, Pat Towell, *In Brief: Assessing the January 2012 Defense Strategic Guidance (DSG)*, Congressional Research Service, R42146, August 13, 2013, <https://fas.org/sgp/crs/natsec/R42146.pdf#search='Admiral+James+A.+Winnefel>

DSGを受ける形で、2012年9月に米統合参謀本部は、前述のCCJOを発表した。CCJOは、JV2010に次いで2000年5月30日に国防省が発表した『統合ビジョン2020（Joint Vision 2020: JV2020）』が提示した統合軍の戦力開発に言及した。その内容は、JV2020に沿った開発プログラムが約80%進行する中で、残り約20%は大幅に変更可能であることを前提に戦力の使用先を変更するものであった。その使用先とは、米軍の脆弱性を悪用した非対称手段を用いてグローバル・コモンズへのアクセスを危険に晒そうとしている潜在的敵対者に目を向けるものであった。その具体策が8要素で構成される「グローバル統合オペレーション（Globally integrated operation）」であり、CDSはその一要素であった。CCJOは、CDSを将来の統合部隊がある領域の小さな利点を他領域の利点としつつ増殖し、敵を圧倒するまで相互補強し、更に利点を強化する「時間と空間の中の領域横断能力（capabilities across domains in time and space）」と説明した²⁶。

また、対テロ戦の中での大国間競争の再来は、新たな概念を必要とした。

2010年のQDR（QDR2010）は、潜在的敵対国の台頭に対抗するために8つの近代化プログラムを挙げ、空軍と海軍で共同戦闘を行う「統合エアシー・バトル構想（Joint air-sea battle concept: JASBC）」を1番目に提示した²⁷。JASBCは、前述のCCJOを受けて2012年1月に統合参謀本部が発表した『統合作戦アクセス・コンセプト（Joint Operational Access Concept: JOAC）』の下位概念と化した。他方、この中でJASBCは「統合」を外し、単に「エアシー・バトル（Air-Sea Battle: ASB）」と表記された²⁸。さらに2013年5月、エアシー・バトル室（Air-Sea Battle Office）が公表した要約版『エアシー・バトル』は、関連文書の階層を提示した。それは、戦略レベルにDSG、作戦レベルにCCJO、作戦構想にJOAC、戦術レベルにASBと「侵入作戦のための統合コンセプト（Joint Concept for Entry Operations: JCEO）」を据えるものであった。その上で要約版は、JOACやCCJOが前提とするCDSを重要な要素として扱い、開発の歩調を合わせると説明した²⁹。また、要約版はASBの中核的考え方を「ネットワーク化され、統合化された部隊による縦深攻撃によって敵兵力を妨害、破壊、

d+November+2012'; U.S. DoD, *Sustaining U.S. Global Leadership: Priorities for 21st Century Defense*, January 3, 2012, pp. preface-6.

²⁶ Joint Chief's of Staff, *Capstone Concept for Joint Operations: Joint Force 2020*, September 2012, pp. iii-7.

²⁷ U.S. DoD, *Quadrennial Defense Review Report*, February 2010, p. 32.

²⁸ JCS, *Joint Operational Access Concept: Version 1.0*, January 17, 2012, p. 4.

²⁹ Air-Sea Battle Office, *Air-Sea Battle: Service Collaboration to Address Anti-Access & Area Denial Challenges*, U.S. DoD, May 2013, p. 8.

打倒するための能力（networked, integrated forces capable of attack-in-depth to disrupt, destroy and defeat adversary forces: NIA/D3）」の構築にあると述べた。その中で NIA は、相互依存する全戦闘ドメインにわたるクロス・ドメイン作戦の適用を必要とするものであると説明された³⁰。つまり、CDS の概念は、戦略から戦術にわたる統合化概念の中核となり、NIA の達成に必要なものとされたのである。

他方、後に ASB は、「グローバル・コモンズにおけるアクセスと機動のための統合構想（Joint Concept for Access and Maneuver in the Global Commons: JAM-GC）」に進化する形で生まれ変わった。ハッチェンス（Michael Hutchens）らの論文によれば、2016年10月19日に米統合参謀本部副議長のセルバ（Gen. Paul Selva, USAF）は、JAM-GC に署名した。JAM-GC について同論文は、ASB を洗練し、A2/AD を D3（妨害、破壊、打倒）するためのアプローチであると述べている³¹。

このように、冷戦期以降の統合化は、情報 RMA と調達及び予算編成プロセスの合理化に係る相互運用性の改善に係る動きの中でニーズを強めた。その焦点は、BCA の制約が強まる中で米軍の脆弱性を突く非対称手段への戦闘概念と国防資源に集中した。その結果、米軍は統合化概念と対 A2/AD 資源による NIA/D3 のために、CDS の概念を必要としたのである。

2 米海軍におけるクロス・ドメイン・シナジーの必要性

本節は、米海軍が CDS を必要とする理由について、戦闘概念と兵器システムの関係を視点に考察する。

(1) 冷戦期に見る統合化の必要性と兵器システムの特性

戦間期以降、米海軍の戦闘概念と兵器は機動部隊の運用が中心であった。例えば 1986 年 1 月に海軍作戦部長のワトキンス（Adm. James Watkins）は、「海洋戦略（“The Maritime Strategy”）」を発表した³²。同論文は、国

³⁰ Ibid., p. 4.

³¹ Michael E. Hutchens, William D. Dries, Jason C. Perdew, Vincent D. Bryant, and Kerry E. Moores, “Joint Concept for Access and Maneuver in the Global Commons: A New Joint Operational Concept,” *Joint Force Quarterly*, issue 84, 1st Quarter, 2017, pp. 135-136.

³² Peter M. Swartz, “U.S. Navy Capstone Strategies and Concepts (1970-2010): A Brief Summary,” CNAS, December 2011, p. 19, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a563232.pdf>; Admiral James D. Watkins, “The Maritime Strategy,” *Proceedings*, Vol. 112/1/995, January 1986,

家戦略の三本柱である抑止、前方防衛、同盟連帯を重視し、平時の空母ブレイズや陸上戦域を直接的、間接的に支援する統合作戦を強調した。また、侵攻中のソ連軍は米空母を優先的に攻撃するため、複合的な対潜戦や対空・対水上戦が重要な戦闘になると説明した。

中でも米海軍は、第 2 次大戦の経験から、空母への「神風攻撃」を懸念していた。その対策に空母は、重層的なエリア・ディフェンスを必要とした。そのために米海軍は、戦闘機、対潜機、戦術データリンクを整備した。新米国家安全保障センター（Center for a New American Security: CNAS）のヘンドリクス（Jerry Hendrix）によれば、米空母の脅威は 8,000nm（14,816km）の航続距離を持ち、射程が 300nm（556km）超の AS-3 等対艦ミサイルを搭載したソ連の Tu-95 爆撃機であった。これに対して F-14 戦闘機は、空母から 650nm（1,204km）圏内を行動し、100nm（186km）の捜索レンジを持つ AWG-9 レーダーでソ連機を索敵し、60nm（111km）の射程を持つ AIM-54 対空ミサイルで迎撃する構想であった。また、各ユニットは、海軍戦術データリンク・システム（Naval Tactical Data System）を搭載し、戦闘システムを通じたリアルタイムの相互通信を可能とした³³。

このように冷戦期の米海軍は、「海洋戦略」が唱えた戦略的役割を果たす兵器を整備した。統合化は、海軍の役割である戦力投射を行う上で重要な取組みであった。他方、戦力の中心である空母は、脆弱性を補うために打撃力の他にも防御力の強化を必要とした。その焦点は、彼我の兵器が有する性能の影響範囲にあったのである。

（2）冷戦終焉後に見る統合化の必要性

高橋弘道によれば、冷戦終焉後における前述した地域紛争対処型への動きは、米海軍の政策にも影響を与え、対ソ戦を前提とする戦力構造、戦略、作戦、戦術の考え方を一変させる契機になったといわれている³⁴。

例えば 1991 年 4 月に海軍長官のギャレット（Lawrence Garrett）らは「ウェイ・アヘッド（“The Way Ahead”）」を発表した。同論文は、抑止

<https://www.usni.org/magazines/proceedings/1986/january-supplement/maritime-strategy-0>. 前方防衛は、対欧州「前方防衛戦略（Forward Strategy）」と対アジア太平洋「前方展開戦略（Forward Deployment）」の意味を包含すると考える。川上高司『米軍の前方展開と日米同盟』同文館、2004 年、3-5 頁を参照。

³³ Jerry Hendrix, *Retreat From Range, The Rise and Fall of Carrier Aviation*, Center for a New American Security, October 2015, pp. 35-37.

³⁴ 高橋弘道「1945 年以降のアメリカ海軍の戦略概念・マハンとコーベットの戦略思想を援用して」立川京一他編『シー・パワー-その理論と実践』芙蓉書房出版、2008 年、318 頁。

を担う海上基盤戦略部隊（sea-based strategic forces）の他、沿岸地域に橋頭堡を築いて、海軍と海兵隊を迅速に増派し、揚陸する前方展開遠征部隊（forward-deployed expeditionary forces）と海上基盤事前集積部隊（sea-based maritime prepositioned force）を重視した³⁵。また、1992 年 9 月に海軍長官のオキーフ（Sean O’Keefe）らは「フロム・ザ・シー（“From the Sea”）」、1994 年 11 月に海軍長官のダルトン（John Dalton）らは「フォワード・フロム・ザ・シー（“Forward from the sea”）」を各々発表した。これらは、戦闘領域を外洋から沿岸に近付け、海上から精密な戦力を投射し、揚陸する概念を提示した³⁶。このように米海軍の戦略的焦点は、大洋の制海を中心とする海洋戦略から、沿岸からの戦力投射を中心とする沿海戦略に転換した。つまり、冷戦期以上に統合化の所要が生じたのである。

他方で各軍種は A2/AD 脅威を懸念した³⁷。その中で 1999 年 11 月に米海軍大学校長のセブロウスキー（Vice Adm. Arthur Cebrowski）は論文「艦隊の再均衡（“Rebalancing the Fleet”）」の中で艦隊の規模と均衡に係る 4 つの要素を挙げた。1 つ目は「ネットワーク中心の戦争（network-centric warfare: NCW）」を米海軍の組織化原則であり統合作戦の原則とすること、2 つ目は外洋から沿海の空中、水上、水中における伝統的作戦領域と宇宙、サイバー空間における新作戦領域のアクセスを確実にすること、3 つ目は複雑な沿海環境と平時の交戦で勝利する規模と均衡を確保するため、艦艇、航空機、センサー、無人ビークルの数を増加する必要があること、4 つ目は技術に伴う新ルールと機会の創出である³⁸。

つまり、米海軍は、沿海戦略に転換する動きと高まる A2/AD 脅威への対応を両立するため、NCW を原則とした統合、領域、兵器、技術を考慮した艦隊の規模と均衡で対処しようと考えたのである。

³⁵ H. Lawrence Garrett, Admiral Frank B. Kelso, General A. M. Gray, “The Way Ahead,” *Proceedings*, Vol. 117/4/1,058, April 1991, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/1991/april/way-ahead>.

³⁶ Sean O’Keefe, Frank B. Kelso, Carl E. Mundy, Jr, “. . . From the Sea Preparing the Naval Service for the 21st Century,” *Proceedings*, Vol. 118/11/1,077, November, 1992,

<https://www.usni.org/magazines/proceedings/1992/november/sea-preparing-naval-service-21st-century>; John H. Dalton, Jeremy M. Boorda, Carl E. Mundy, Jr, “Forward. . . from the Sea,” *Proceedings*, Vol. 120/12/1,102, December 1994, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/1994/december/forward-sea>.

³⁷ Bill Gertz, “The Air Force and Missile Defense,” *Air Force Magazine*, February 1996, p. 72.

³⁸ Arthur K. Cebrowski, Wayne P. Hughes, “Rebalancing the Fleet,” *Proceedings*, Vol. 25/11/1, 161, November 1999, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/1999/november/rebalancing-fleet>.

NCW 依存傾向は、2002 年 10 月に海軍作戦部長のクラーク (Adm. Vern Clark) が発表した「シー・パワー21 (“Sea Power21: SP21”）」に見られる。同論文は、21 世紀の海軍が精度、到達距離、接続性を飛躍的に高めれば統合作戦の有効性を新時代に導くと述べた。また、革新的な概念と技術は、各領域を統合して統一の戦闘空間を生み出し、海洋は広大な戦域を提供して世界中に直接的かつ決定的な戦力を投射する基礎になると説明した。その具体策に SP21 はシー・ストライク、シー・シールド、シー・ベージング、フォース・ネットの 4 機能を挙げ、QDR2001 の「1-4-2-1」に必要な戦闘力を提供すると説明した。これらは艦隊が分散しても個々の戦闘力が劇的に向上すれば、戦闘効果、つまり影響範囲も拡大するため、統一の戦闘空間が拡大しても決勝点で勝利する「グローバル作戦概念 (Global Concept of Operations)」に寄与すると考えられた。その戦闘力の中心は、全種類の作戦能力を提供する空母打撃群であり、より低脅威環境下におけるシー・ストライクは遠征打撃群が担う。特にシー・ストライクは、有人・無人の海軍資産が情報・監視・偵察 (ISR) で得た敵の軍事的、経済的、政治的な脆弱性データの包括的な分析が、正確な時間と場所で統合攻撃を調整する際の迅速な計画プロセスに必要不可欠とされた³⁹。

このように冷戦終焉後の米海軍における統合化は、海洋戦略中心型から、「ウェイ・アヘッド」以降の沿海戦略と A2/AD 脅威の両方に艦隊規模を均衡させる手段としての NCW に依存した。その流れは SP21 に受け継がれ、QDR2001 の「1-4-2-1」が提示した戦闘力の提供を革新的な概念と技術で補う考え方に移行した。その考え方は、作戦領域へのアクセスの不安を統一の戦闘空間を通じた戦力投射能力で払拭しようとするものであり、それには戦闘力の精度、到達距離、接続性が必須となったのである。

(3) 2010 年の QDR 以降の統合化と課題

前節では QDR2010 以降に概念と資源のため CDS を必要とした経緯を説明した。その概念の内、ASB は様々な批判がある。例えばプリンストン大学教授のフリードバーグ (Aaron Friedberg) は、ASB は 3 つの問い、

³⁹ Vern Clark, “Sea Power 21: Projecting Decisive Joint Capabilities,” *Proceedings*, Vol. 128/10/1, 196, October 2002, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2002/october/sea-power-21-projecting-decisive-joint-capabilities>.

即ち軍事作戦の成否、武力行使後の速やかな外交的解決の可能性、核エスカレーションに至るリスクへの疑問に答える必要があると述べている⁴⁰。

核エスカレーションは、最重要課題である。例えば石原敬浩は、ヨシハラ（Toshi Yoshihara）らの論考を基に ASB が核戦争の閾値までエスカレートする危険性を制限戦争の範疇に留める方策を考察した⁴¹。また、平山茂敏は、「オフショア・コントロール（Offshore Control: OC）」戦略を基に ASB と OC 戦略の批判と OC 戦略の同盟国における有効性を考察した⁴²。

他方、CDS の観点で注目するのは ASB による軍事作戦の成否である。フリードバーグは、敵の先制攻撃に対する反撃は敵中枢部の盲目化作戦の成否に左右され、それは戦域外からの敵防空網を侵入突破するステルス能力に左右されると指摘する⁴³。問題となるのは、ステルス能力と電子戦能力の関係、並びに ASB に使用される戦闘力の到達距離にある。

現在「統合防空システム（Integrated Air Defense Systems: IADS）」と呼ばれる防空網は、1990年代半ばに技術の高度化に伴う脅威化が指摘されていた⁴⁴。IADS は、一例として約 400km の射程を持ち、ステルス機も検出可能な高性能レーダーを有する SA-20（ロシア名：S-400 Triumph）を中心に、ランチャー間で標的情報を共有するネットワークや GPS 妨害装置で構成される⁴⁵。その突破は「敵防空網制圧（Suppression of Enemy Air Defenses: SEAD）」による中和が必要となる。例えば国際問題研究者のトロンプリー（Daniel Trombly）は、米国海軍協会の Web ページ上でマサチューセッツ工科大学のハガティ（Brian Haggerty）が 2011 年 3 月の対リビア作戦を基に行った評価結果を紹介した。同報道によるとハガティは、強度を増した航空機シュルター等を破壊するのにトマホーク・ミサイルは

⁴⁰ アーロン・L・フリードバーグ『アメリカの対中軍事戦略—エアシー・バトルの先にあるもの』平山茂敏監訳、芙蓉書房出版、2016年、105頁。

⁴¹ 石原敬浩「AirSea Battle と対中抑止の理論的分析—トシ・ヨシハラ、ジェームズ・ホームズの論考を題材として」『海幹校戦略研究』第2巻第2号、2012年12月、29-30頁。

⁴² 平山茂敏「オフショア・コントロール戦略を論ずる—『戦争を終わらせるための戦略』と日本の選択—」『海幹校戦略研究』第4巻第1号、2014年6月、1-21頁。

⁴³ フリードバーグ『アメリカの対中軍事戦略』107頁。

⁴⁴ James R. Brungess, *Setting the Context: Suppression of Enemy Air Defenses and Joint War Fighting in an Uncertain World*, Air University Press, June 1994, p. xvi,

https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B_0054_BRUNGES_S_SETTING_CONTEXT.pdf.

⁴⁵ Christopher Bolkcom, *Military Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD) : Assessing Future Needs*, Congressional Research Service, RS21141, May 11, 2005, p. 2-3, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/RS21141.pdf>.

十分でなく、爆撃機で複数の精密誘導弾薬を投下するためには、高密度覆域を持つ IADS を中和する SEAD 任務が不可欠だと指摘した⁴⁶。

しかし、ステルス能力が優先される一方で、SEAD 能力は後回しにされたように見受けられる。例えば 1993 年の会計検査院による報告書は、F-22 戦闘機と B-2 爆撃機の取得を優先する一方で SEAD 機である F-4G 等を退役させ、その代わりに F-16 電子戦ポッドと米海軍の EA-6B に SEAD を担任させる決定に係る脆弱性リスクを指摘した⁴⁷。実際、1999 年のコンボ紛争では、米軍機の SEAD は IADS に影響を及ぼさなかったといわれる⁴⁸。

EA-6B の後継には強力な全スペクトラム電子戦能力を持つ EA-18G が配備された⁴⁹。その電子戦能力は、米海軍の戦闘基盤となる共同交戦能力（Cooperative Engagement Capability: CEC）と海軍統合火力統制防空（Naval Integrated Fire Control-Counter Air: NIFC-CA）を保護する。CEC は、NCW の実装化プログラムであり、NIFC-CA は CEC と E-2D 等を組み合わせて、敵の巡航ミサイルに対する地上での破壊による防空を実現するプログラムとなる⁵⁰。他方、ステルスは高度化する IADS を前に検知時間の遅延を期待する程度となり、その時間も短縮しつつある。また、レーダー波に対するノイズ検出信号率を減少させて低観測性を求めるステルスと、ノイズを増加させる SEAD の関係は調和が必要となる⁵¹。つまり、陸上部に効果的な航空攻撃を行うためには、ステルスの相対的脆弱化に伴う被探知時間の短縮を IADS 能力以上の SEAD 能力で補う必要がある。

また、EA-18G は同型艦載機の F/A-18E/F と同様に耐用命数の問題を孕んでいる。議会調査局（Congressional Research Service: CRS）の報告書によれば、EA-18G は、2016 年度までに計 163 機調達し、空母 1 隻当た

⁴⁶ Daniel Trombly, “The Cost Of a Syrian Intervention,” *USNI News*, August 22, 2012, <https://news.usni.org/2012/08/22/cost-syrian-intervention>.

⁴⁷ General Accounting Office, *Suppression of Enemy Air Defenses Air Force Plans*, September 1993, p. 2-3.

⁴⁸ Mike Pietrucha, “The Need For SEAD Part1: The Nature of SEAD,” *War on the Rocks*, May 17, 2016, <https://warontherocks.com/2016/05/the-need-for-sead-part-i-the-nature-of-sead/>; Bolkcom, *Military Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD)*, p. 6.

⁴⁹ Jeremiah Gertler, *Navy F/A-18E/F and EA-18G Aircraft Program*, Congressional Research Service, RL30624, October 19, 2011, p. 3, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL30624>.

⁵⁰ Ronald O'Rourke, *Navy Network-Centric Warfare Concept : Key Programs and Issues for Congress*, Congressional Research Service, RS20557, April 12, 2007, pp. 1-2, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RS/RS20557>.

⁵¹ Dave Majumdar, “Stealth Vs. Electronic Attack,” *USNI News*, April 21, 2014, <https://news.usni.org/2014/04/21/stealth-vs-electronic-attack>.

り4～5機搭載したが、追加調達計画がないため、2030年の退役に備えて耐用命数の延長を続けている⁵²。耐用命数の延長は、空母の打撃力を担うF/A-18E/Fも同様である。原因について米海軍の航空部隊を監督していたシューメーカー（Vice Adm. Mike Shoemaker）は、F-35の調達遅延を理由とする同型機の追加購入断念を挙げる⁵³。F/A-18E/F、EA-18G購入上の財政問題は、2012年度の海軍予算案を削減する議会の動きに見られる⁵⁴。

また、耐用命数の問題は航空機の到達可能距離問題と関連する。A2/ADを構成する兵器の到達距離は、米海軍の兵器の到達距離を超えつつある。例えば米特殊作戦軍のアドバイザーであるハディック（Robert Haddick）の研究によれば、米国と中国が保有するミサイルや航空機の到達距離は、表1に示すような格差が生じている。

表1 米中間の対艦・弾道ミサイルや航空機の到達距離比較

	米 国		中 国	
	対艦ミサイル	Harpoon	124km	YJ-83
			SS-N-22	250km
			SS-N-27	300km
航空機	F/A-18E/F	1,300km	Su-30※	1,500km
	F-35C	1,300km	J-20（開発中）	2,000km
弾道ミサイル	—		DF-21D	1,500km

（出所）“The Real U.S.-China War Asia Should Worry About”を元に筆者作成。
※YJ-12 対艦ミサイル（到達距離400km）を搭載する可能性有。

上記を基にハディックは、関係国間のレンジ競争が戦闘概念に影響を及ぼし、ASBは元より、OC戦略についても、封鎖境界線をいわゆる“多孔質化”させるため、実行を困難にすると指摘している⁵⁵。また、CNASのヘンドリクスも、空母の戦力投射能力を支えた米空母艦載機の陸上部に対する縦深攻撃能力は、高度化するA2/ADによって相対距離を縮小化し、空母

⁵² John R. Hoehn, *U.S. Airborne Electronic Attack Programs: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, R44572, May 14, 2019, p. 6, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44572>.

⁵³ “Interview with the ‘Air Boss,’” *Proceedings*, Vol. 143/9/1,375, September 2017, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2017/september/interview-air-boss>.

⁵⁴ Gertler, *Navy F/A-18E/F and EA-18G Aircraft Program*, p. 1.

⁵⁵ Robert Haddick, “The Real U.S.-China War Asia Should Worry About: The ‘Range War,’” *The National Interest*, July 25, 2014, <https://nationalinterest.org/feature/the-real-us-china-war-asia-should-worry-about-the-range-war-10952>.

を A2/AD の範囲外に押し戻していると懸念している。特に注目されるのは、ヘンドリクスが、表 2 に示すように艦載機の搭載重量が高止まりであるのに対して、平均航続距離が 1996 年の 815nm (1,509km) から半分近くの 496nm (919km) に落ち込んだ原因を、冷戦終焉後の寛容な海洋環境下で追求したステルス技術にあると見ていることである⁵⁶。

表 2 米海軍空母艦載機の平均航続距離、搭載機数、搭載重量の推移

年	空母名	平均航続距離		搭載機数	搭載重量
1922	USS Langley	140nm	259km	30	610lbs
1930	USS Lexington	258nm	478km	70	371lbs
1943	USS Essex	758nm	1,404km	90	1,800lbs
1956	USS Forrestal	1,210nm	2,241km	46	4,522lbs
1986	USS Nimitz	938nm	1,737km	85	12,781lbs
1996	— (※記載なし)	815nm	1,509km	75	11,575lbs
2006	USS Nimitz	496nm	919km	62	12,040lbs

(出所) *Retreat From Range* を元に筆者作成

この課題を補うため、米海軍は、F/A-18E/F に燃料タンクを搭載して飛行任務の 20~30% を僚機に対する空中給油任務に当てている。しかし、それは F/A-18E/F の利用率上昇につながり、更なる耐用命数不足を招く悪循環を生み出している⁵⁷。つまり、ASB、恐らく現在の JAM-GC の概念は、ステルスと SEAD の関係、打撃任務機と SEAD 機の耐用命数、艦載機の到達距離の減少に係る資源上の問題を抱えている。それは、NCW を原則に個々の戦闘力を高めて影響範囲を拡大すれば、拡大する統一の戦闘空間の中でも艦隊の規模と均衡で対処可能と主張したセブロウスキーやクラークの概念と実際の資源は相反する様相を呈していることを意味する。

その問題は、水上艦艇における戦力構造も同様である。例えば大谷三穂は、BCA の影響を受けた 2012 年の戦力構造査定 (Force Structure Assessment: FSA) が 306 隻体制を決定する一方、2015 年には 2030 年代に 300 隻を割り込むと予測されたため、米海軍が艦艇増産を主張した経緯を考察した。大谷によれば、米海軍は 2014 年に 450 隻、2016 年には 355 隻体制の必要性を主張し、FSA も本来的には 653 隻の必要性を認めた。そ

⁵⁶ Hendrix, *Retreat From Range*, pp. 11, 15, 19, 27, 37, 47-50.

⁵⁷ "Interview with the 'Air Boss.'"

の上で大谷は、米海軍が「武器分散（Distributed Lethality: DL）」による攻勢的なシー・コントロール能力を軸とする作戦、戦術構想を模索するも所要艦艇数の確保と整備能力の向上が必須になると述べている⁵⁸。

つまり、概念と資源の課題克服は予算の制約を如何に回避し「質と量」を備えるかが焦点となる。例えば 2014 年の QDR は、敵との均衡を保つため、予算の制約による戦力縮小の中でも重要機能を残すためのトレードオフが必要と述べている⁵⁹。また、2018 年 1 月の『国家防衛戦略(NDS2018)』は、全領域の優位性が急速に損なわれるため、領域を超えた技術を組み合わせ、破壊的な戦場に対処する必要があると述べている⁶⁰。

これに関し、2014 年に国防長官のヘーゲル（Charles Hagel）が提唱した「国防革新イニシアティブ（Defense Innovation Initiative）」と「第三の相殺戦略（Third Offset Strategy: TOS）」は、技術的優位性や敵対国へのコスト強要という側面が強調され易い⁶¹。しかし、上記経緯から注目すべきは、同年 11 月にヘーゲルが発言した「財政の現実を考慮し、より少ない資源で軍事力を強化する投資に焦点を合わせる」視点が必要となっているのである⁶²。つまり、米海軍は、戦闘概念と予算の制約に係る経緯から生じた課題を克服して全領域の優位性を保つことができるより現実的な「質と量」の問題に備えるため、CDS 概念を必要としているのである。

3 米海軍のソリューション

本節は、米海軍が前節のソリューションを如何に考えているのかを考察したい。

⁵⁸ 大谷三穂「21 世紀の米海軍戦略の方向性—なぜ海軍は『シー・コントロール回帰』を目指すのか」『海幹校戦略研究』第 8 巻第 2 号、2019 年 1 月、119-124 頁。

⁵⁹ U.S. DoD, *Quadrennial Defense Review 2014*, March 4, 2014, p. 56.

⁶⁰ U.S. DoD, *Summary of the 2018 National Defense Strategy of The United States of America*, 2018, p. 3.

⁶¹ ロバート・マーティネッジ「新たな相殺戦略に向けて—米国のグローバルな兵力投射能力を取り戻すために長期的優位事項を活用する—」松本裕児訳『海幹校戦略研究』特別号、2016 年 11 月、87-88 頁。

⁶² Chuck Hagel, “Reagan National Defense Forum Keynote” (Secretary of Defense Speech, Ronald Reagan Presidential Library, Simi Valley, CA, November 15, 2014), <https://www.defense.gov/Newsroom/Speeches/Speech/Article/606635/>.

(1) 米海軍の課題：CDS を考慮した概念と資源の模索

米海軍は、概念と資源の課題に CDS を考慮した如何なるソリューションを導き出そうとしているのだろうか。その方向性を知る上で、前述した 2015 年の CS21R は示唆的である。CS21R は、海軍の効果を補強するため、新しい戦闘概念を如何に活用し、技術革新を促進するのかを説明した。その目的は、前方展開、前方配備された海軍力が、グローバルな海洋 commons を行動媒体とした海外地域の作戦を持続するためのアクセス能力を獲得して、明確な優位性を維持することにあった⁶³。

その中核は、海軍種の伝統的な必須機能である抑止、シー・コントロール、戦力投射、海上安全保障に加えて、陸、海、空、宇宙、サイバー、電磁波の各領域における適正な行動の自由を保証する能力を意味する全領域アクセスの機能を導入することにあった⁶⁴。全領域アクセスは、戦場認識、指揮統制、サイバー空間作戦能力、電磁機動戦 (Electromagnetic Maneuver Warfare: EMW)、統合火力の同期によって、CDS を達成し、A2/AD を撃退する多様な選択肢を統合軍指揮官に提供する機能である⁶⁵。

他方、CS21R は緊縮財政を戦略遂行上のリスクとし、海軍力の質と量を維持するためには 300 隻以上の艦隊を維持する必要性を示した。一方で、強制歳出削減等に伴う一層の小規模化は、米海軍に困難な選択肢を与え、任務リスクの増大、前方プレゼンスの減少、一部地域の影響範囲の縮小が生じる可能性も示した⁶⁶。この必須機能を達成するために海軍種は、隙間や継目をなくし、不要な重複を減らし、A2/AD 脅威に対抗するための作戦概念における空軍や陸軍との相乗効果を増大する構想を通じて、統合軍の相互依存性を改善する必要性が生じた⁶⁷。そのために CS21R は 7 つの概念を挙げ、中でもグローバル・commons へのアクセスと活動の自由を獲得、維持するために必要な、JOAC による統合作戦を実施するための地域的かつ地球的な戦力投射能力を開発する必要性を最重要課題とした⁶⁸。次いで CS21R は、戦力投射とシー・コントロールに係る 8 つの重点事項を示した。特に注目されるのが、既存の兵器システムと異なる、次の 3 つである。1 つ目は、「激しい競合環境下の水中支配を維持する無人潜水艇などの海軍能

⁶³ U.S. Navy, *A Cooperative Strategy for 21st Century Seapower*, p. iii.

⁶⁴ *Ibid.*, p. 2.

⁶⁵ *Ibid.*, pp. 19-21.

⁶⁶ *Ibid.*, p. 27.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 28.

⁶⁸ この考え方が、前述した 2016 年の JAM-GC につながっていると考えられる。
Ibid., p. 31.

力の開発」である。2 つ目は、「人間の耐久力の限界を超えた、競争が激しい高リスク環境下における作戦能力としての航空、水上、水中、陸上配備の無人システム開発と統合」である。3 つ目は、「指向性エネルギーや電磁レールガン等の代替兵器システムの開発」である⁶⁹。つまり、CS21Rを通じて米海軍は、海軍の必須機能の中でも CDS の達成を目的とする全領域アクセスを最上位とし、JOAC による戦力投射とシー・コントロールを基盤とした無人システムと指向性エネルギー兵器の開発を重視したのである。

この CS21R で明確化した目的を達成する最初のステップとして、米海軍は 2016 年 1 月に『海上優勢の維持への構想 1.0 (A Design for Maintaining Maritime Superiority, Version 1.0: Design 1.0)』を発表した。Design1.0 は、3 つのグローバルな力として、海洋システム、情報システム、環境に侵入する技術を挙げ、その相互作用は海軍力に深い意味を持つと説明した⁷⁰。その上で、Design1.0 は、海洋の戦闘が高度に情報化される競合環境下において、海軍が陸上から遠ざけられる中で長期間の精密攻撃に備えたブルーウォーター・シナリオに対処する必要があると述べている。その備えとは何かについて Design1.0 は、EMW、宇宙、サイバーを含めた情報戦と力学的・非力学的兵装、有人・無人システムを含めた、既存システムを代替する艦隊設計の検討であると説明している⁷¹。

約 3 年後の 2018 年 12 月、米海軍は『海上優勢の維持への構想 2.0 (A Design For Maintaining Maritime Superiority, Version 2.0: Design2.0)』を発表した。Design 2.0 は、Design 1.0 の進捗と戦略的環境の想定を再評価し、健全性を確認するものであった。Design 2.0 は、2017 年 12 月に発表された『国家安全保障戦略 (NSS2017)』、2018 年の NDS2018 及び『国家軍事戦略 (NMS2018)』を前提に Design 1.0 の取組みが健全であると評価した。その理由から Design 2.0 はこれを踏襲し、プロセスではなく結果を重視した 4 つの努力線 (Line of Effort:LOE) の必要性を示した。具体的には、LOE Blue : 核抑止力を中心とした海軍力の強化、LOE Green : 主要プラットフォームなどの迅速な取得による成果の高速化、LOE Gold : 人事と訓練の近代化による将来を見据えた海軍力強化、LOE Purple : 更なる統合化と複数ドメインの分散運用によるネットワークの拡大強化であった。この取組みを通じて Design 2.0 は、戦略的な勢いを奪還

⁶⁹ Ibid., p. 35.

⁷⁰ Chief of Naval Operations, *A Design for Maintaining Maritime Superiority, Version 1.0*, January 2016, pp. 1-6.

⁷¹ Ibid., p. 6.

し、優位性を高めるため、統合で争いのあるスペクトル全体の敵にコストを課す、と述べている。中でも LOE Green は、プラットフォームの取得計画について、以下の 11 項目を提示している（表 3）⁷²。

表 3 Design 2.0 におけるプラットフォーム取得目標

- 2020 年に将来型フリゲート艦（Future Frigate）契約授与、できるだけ早く提供
- 2023 年に大型水上戦闘艦（Large Surface Combatant）契約授与、できるだけ早く提供
- 2023 年に大型無人水上ビークル（Large Unmanned Surface Vehicle）契約授与、できるだけ早く提供
- 2023 年に将来型小型両用艦艇（Future Small Auxiliary）契約授与、できるだけ早く提供
- 2023 年に将来型大型両用艦艇（Future Large Auxiliary）契約授与、できるだけ早く提供
- 無人水中ビークル・ファミリー（Orca, Snakehead, Razorback, Knifefish）をできるだけ早く契約し、2025 年に遅れないように配備
- 無人航空ビークル：2021 年に MQ-25 の最初の飛行を達成し、できるだけ早く最初の運用能力を獲得。2021 年に MQ-4C の初期運用能力を達成
- 2019 年末までに F/A-18E/F と EA-18G を 2030 年までにリプレイス（replace）するシステムのファミリー全体を通じた要件を特定
- 2025 年までに攻撃的な極超音速兵器を開発し、配備
- 2019 年に開始し、2025 年に遅れないようにレーザー兵器ファミリー（low power lasers, high power lasers, Surface Navy Laser Weapons System）を開発、配備
- 2019 年に現在のエンタープライズ・ネットワークのパフォーマンスを改善。これらのネットワークを NGEN-R（Next Generation Enterprise Network Re-Compete）契約下で近代化

（出所）Design 2.0, p. 9 を元に筆者作成

このように、2015 年の新たな海洋戦略である CS21R は、概念と資源の課題解決の方向性を示し、その具体的な設計図として Design1.0 と Design

⁷² Chief of Naval Operations, *A Design For Maintaining Maritime Superiority, Version 2.0*, U.S. Navy, December 2018 (hereafter *Design 2.0*), pp. 1-9.

2.0 を提示した。その内容は、海軍の伝統的な機能に加えて CDS の達成を目的とした全領域アクセス機能を最上位とする新たな概念を基軸とし、グローバル・コモンズへのアクセスを確保するために JOAC による統合作戦を重視した。それは、戦力投射能力とシー・コントロール能力の獲得とともに緊縮財政を克服する「質と量」の獲得を念頭に置いた、新型艦艇、有人・無人の有機的連結、既存兵器のリプレイス、極超音速兵器、レーザー兵器の導入を課題のソリューションとするものだったのである。

（2）無人システム開発に見るソリューションの光と影

Design 2.0 が提示したソリューションは、実現できれば米海軍が抱える「質と量」の問題解決につながる可能性を秘めている。中でも表 3 における無人システムの開発と配備は、米海軍の戦力構造を変える可能性がある。例えば 2019 年 11 月に CRS が公表した「海軍部隊構造と建艦計画（Navy Force Structure and Shipbuilding Plans）」と題する報告書によれば、米海軍は水上と水中の部隊に無人水上ビークル（Unmanned Surface vehicle: USV）や超大型無人潜水艦（extra-large unmanned underwater vehicles : XLUUV）を導入する可能性を述べている⁷³。XLUUV は、表 3 の Orca プログラムが該当する。XLUUV は、将来的に対潜戦、対水上戦、電子戦、機雷戦の能力を持つ構想であり、2019 年 3 月にボーイング社が契約を獲得した⁷⁴。また、MQ-25A は、空母に搭載し、F/A-18E/F や EA-18G、F-35 などの空母艦載機に対して空中給油を行うために開発中の無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle: UAV）であり、2018 年 8 月にボーイング社が契約を獲得した⁷⁵。MQ-25A が実現すれば、F/A-18E/F 等の到達距離と耐用命数の問題を両方解決できる。MQ-4C は、RQ-4 の洋上監視型 UAV であり、長時間滞空して海洋領域の情報を収集し、P-8 哨戒機とペアリン

⁷³ 高橋秀行「米海軍の戦力構造：議会調査局報告から（トピックス 072）」海上自衛隊幹部学校、2019 年 11 月 15 日、<https://www.mod.go.jp/msdf/navcol/SSG/topics-column/072.html>。

⁷⁴ Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, R45757, July 24, 2019, pp. 1-4, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R45757.pdf#search='Navy+Large+Unmanned+Surface+and+Undersea+Vehicles%3A+Background+and+Issues+for+Congress'>。

⁷⁵ Megan Eckstein, Sam LaGrone, "Navy Picks Boeing to Build MQ-25A Stingray Carrier-Based Drone," *USNI News*, August 30, 2018, <https://news.usni.org/2018/08/30/navy-picks-boeing-build-mq-25a-stingray-carrier-based-drone>。

グしてデータを共有する⁷⁶。このように、無人システムは有人システムとのペアリングを含めた開発が進行中である。その試みが成功すれば、有人システムの数量不足に係る問題を補う可能性が高まると考えられる。

また、無人システムは、単体の兵器システムに高コストをかけて高性能を追求する考え方から、高性能でありながら低コストを実現するため、単体ではなく「群制御（swarm）」技術を活用した戦闘概念を追求する方向に向かいつつある。群制御技術の取組みは、米国の高等研究計画局の「グレムリン（Gremlins）」構想、米海軍の海軍研究局の「低コスト無人航空機群制御技術（Low-Cost UAV Swarming Technology）」構想、米国防省の戦略能力局の「パーディクス（Perdix）」構想が代表的である。群制御技術の強みは、兵器を失うリスクの分散、低コスト化の実現、戦闘力の敏捷性向上にある。例えば、敵の A2/AD による攻撃は、米海軍が保有する高価値システムに集中する。しかし、群制御による分散アーキテクチャーへの移行は、敵に対してターゲティングの課題を複雑化するため、戦力損失を低減できる。それは、戦闘において戦術的には有利であるが有人プラットフォームにはリスクが過大な戦域に展開する際の選択肢を指揮官に提供する⁷⁷。また、高価値の兵器システムが戦闘概念の中心である場合、これを破壊されると総合的な戦闘力の低下につながり、彼我の戦力差によっては戦闘継続が困難となる可能性を高める。しかし、そのリスクを分散した兵器システムは、一部が欠けても比較的早期に代替戦力を再投入することで戦闘力の早期回復を可能とする。また、分散化によって低コスト化が期待できれば、配備、整備、再配備という物流の流れを高速化することにもつながる。指揮通信システムのハードウェア的なシームレス化とともに、米海軍が Design 2.0 等で「ミッション・コマンド」⁷⁸と呼ぶリーダーシップも正しく具現化するなどにより意思決定速度も向上すれば、部隊全体における戦闘サイクルの高速化が期待できる。それは、ハードとソフトの両面から戦闘力の敏捷性を飛躍的に高める。高度技術の拡散と潜在的敵対国の軍事力強化ともに高速化を増す現代戦において、その実現は重要性を増す。また、高性能ながらも高額な兵器のリプレイス問題やレガシー化問題を抱

⁷⁶ Sam LaGrone, “Navy, Industry Looking for Design ‘Sweet Spot’ for MQ-25A Stingray,” *USNI News*, August 18, 2016, <https://news.usni.org/2016/08/18/navy-industry-design-sweet-mq-25a-stingray-missions>.

⁷⁷ O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles*, p. 6.

⁷⁸ 主導性と創造性を駆使して指揮官の意図を実行する能力を指す。Chief of Naval Operations, *Design 2.0*, p. 9.

える米軍を有利にする⁷⁹。強化された戦闘力は、長期持久戦が予想される戦闘様相の中で優位性を保ち続けるための持続性に貢献するのである。

他方、これらの実現可能性は、コストと技術の成熟度や取得に係る問題に左右されている。例えば 2019 年 7 月の CRS 報告書は、無人システムの導入が米議会に多くの監視問題を引き起こす可能性を秘めていると懸念を示した⁸⁰。このような問題は、米軍の国防政策上、繰り返されている。例えば藤井健一は、前述した TOS が抱える問題点として、予算制約に伴う費用対効果のシビアな評価が戦略の実行を不可能にするリスク、あらゆる脅威への対応を前提とする米国のジレンマ、技術的優位性の過剰な追求に伴う自らへのコスト強要のリスク、競合相手に対する正確なネットアセスメントの困難性を挙げた⁸¹。また、高橋杉男は、2010 会計年度予算において国防長官のゲーツ（Robert Gates）が大量の調達経費所要を解決するために先進的な軍事技術を扱い高額化した F-22 戦闘機や DDG-1000 駆逐艦の生産中止に係る「ハード・チョイス」を行った経緯について説明した⁸²。

米海軍が目指すソリューションが抱える課題は、無人システムに限らず、極超音速兵器やレーザー兵器も同様と考える。つまり、米海軍は、新たな概念を追求した故に不足した戦闘力を補うため、CDS 概念の流れにある国防政策に基づいて、新たな技術と古い技術を共存させた戦力構造への転換を模索することにより、現在の課題に対処しようとしている。しかし、そのソリューションは、有効性と実現性に光と影を有しているのである。

おわりに

本稿は、米海軍における CDS 概念の必要性和ソリューションの方向性について考察した。米軍は、統合化の概念と対 A2/AD 資源の両方を考慮した作戦概念のため、また、米海軍は、戦闘概念と予算の制約に係る経緯から生じた課題を克服して全領域の優位性を保つことができるより現実的

⁷⁹ T. X. Hammes, “Cheap Technology Will Challenge U. S. Tactical Dominance,” *Joint Force Quarterly*, issue 81, 2nd Quarter, 2016, p. 84.

⁸⁰ その問題とは、米海軍の取得戦略と資金調達の関係、プログラム上の技術・計画・コストのリスク、年間調達率、産業基盤への影響、海洋における交戦時のエスカレーションに係る潜在的影響、人的基盤の影響、契約上の適正な経費に関するものである。O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles*, preface.

⁸¹ 藤井健一「米国の第 3 のオフセット戦略—その概要と日本への影響可能性—」『海幹校戦略研究』第 8 巻第 1 号、2018 年 7 月、132-133 頁。

⁸² 高橋杉男「オバマ政権の国防政策—『ハード・チョイス』への挑戦—」『国際安全保障』第 37 巻第 1 号、2009 年 6 月、34-37 頁。

な「質と量」の問題に備えるため、同概念を必要とした。そのために米海軍は、CDS 概念を取り入れつつ、新たな技術と古い技術を共存させた戦力構造に転換することで現在の課題に対処しようとしている。その議論の中心は、拡大する統一の戦闘空間において、特に広大な海洋を活動の媒体とする米海軍が、新たな戦闘概念の所要と不足する戦闘力の均衡を技術力で補うことができるのかという古くて新しい議論に他ならない。

ポーゼン (Barry Posen) は、2003 年の論文において、冷戦後の米国が相対的な優位性の拡大による覇権のため、莫大な予算を投じて軍事的努力を払い、コモンズである海、空、宇宙の支配、即ち「コマンド・オブ・コモンズ」を達成しようとしていると述べた。そしてポーゼンは「莫大な軍事的努力は軍事的全能性を生み出しておらず、恐らく不可能だ」と述べた⁸³。

他方、ハンチントン (Samuel Huntington) は、1954 年の論文において、米海軍の特徴を、戦闘艦隊の闘争の場を太平洋とユーラシア大陸の広大な空間との間に存在する狭い土地と狭い海の双方に移す傾向があること、決定的な戦いの場所が海から陸に移る場合、空中、海中、または地球上で生じる可能性のある最新の技術による全ての武器の最も巧妙な組み合わせと集中によってのみ特定の状況下で望ましい政治的 목적を達成することができること、海軍の新たな役割を受け入れられることが統合軍において有利な立場につながることを考えることについて述べた⁸⁴。

現状がポーゼンの説明に当てはまるのか否かについては、今後も米海軍における取組みの推移を注意深く観察し、議論する必要がある。他方でハンチントンの説明は、米海軍における現在の取組みと合致するものと考えられる。このような傾向が続けば、米海軍は従来と全く異なるメカニズムの新たな戦争形態を生み出す可能性も否定できず、CDS の概念は、その起爆剤となり得るかもしれない。それは、米軍と関係が深い同盟国においても組織的なパラダイム・シフトを必要とする方向に向かわせる可能性がある。しかし、その時には既に技術面の相互運用性における大きな格差が生じ、その追従のためには大きな財政的困難性を伴うかもしれない。また、大きな痛みを伴う長期持久作戦において無人システムを投入する米海軍に対して、同盟国は有人システムで対応するしかない状況を想定しなければならぬかもしれない。今後も CDS については議論を重ねる必要がある。

⁸³ Barry R. Posen, "Command of the Commons The Military Foundation of U.S. Hegemony," *International Security*, Vol. 28, No. 1, 2003, pp. 5-46.

⁸⁴ Samuel P. Huntington, "National Policy and the Transoceanic Navy," *Proceedings*, Vol. 80/5/615, May 1954, pp. 485-493.

サイバーリザーブ（予備役）の研究

— エストニア サイバーディフェンスユニットと
IT 職種で採用された予備自衛官の意識の比較を通じて —

日高 智雄

井手 達夫

はじめに

有事において、サイバー領域で戦うのは正規の軍人だけではない。2007 年のエストニア、2008 年のグルジア、また 2014 年のクリミア・ウクライナでも国家の意図を体して、あるいは自発的に多くの民間人等がサイバー領域での戦いに参加した¹。

そのため、各国とも軍隊内だけでなく外部にもリザーブ等の形で、有事に備えた人材を確保しようとしている。英国でも、数百人規模のコンピュータのエキスパートをサイバーディフェンスの最前線で勤務するリザーブとして採用し²、中国ではサイバー民兵の数は 1,000 万人を超えている³。他方日本では自衛隊内のサイバー人材も少ない上にリザーブそのものが国家の規模に比して少数であり、議論の俎上に上ることも多くはない⁴。しか

¹ 廣瀬陽子「ロシアが展開するハイブリッド戦争の脅威」現代ビジネス、2019 年 7 月 8 日、<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/65415?page=2>。

² 防衛省『平成 28 年版 防衛白書』2016 年、158 頁。

³ Nigel Inkster “*China Cyber Power* (Routledge, 2016),” p. 104. Nigel Inkster は英国 MI6 元副長官。

⁴ 平成 30 年度第 196 回国会では「諸外国のサイバー関連部隊について、米国は六千二百人規模、北朝鮮は約六千八百人、中国に至っては十三万人規模などの情報がある中で、日本の約四百三十人というのはあまりに手薄」との指摘がなされている。日本郷友連盟「新防衛大綱策定への提言 一新「防衛計画の大綱」はどう描くべきか？」2008 年 12 月 23 日、<http://www.ssri-j.com/SSRC/ssrc/20-proposal2008.12.23.html>。この中では「中国は現役約 220 万人に対して予備役約 80 万人、人民武装警察約 150 万人、民兵（基幹民兵のみで）約 1,000 万人、併せて千数百万人以上（現役比率 560%以上）、北朝鮮は現役約 110 万人に対して約 470 万人（同 420%）、韓国は現役約 69 万人に対して約 450 万人（同 652%）、台湾は現役約 29 万人に対して約 165.7 万人（同 571%）の予備役をそれぞれ保有しているのに対し、わが国は、陸海空自衛官総計約 24 万人に対して予備自衛官、即応予備自衛官および予備自衛官補を合わせて約 4.4 万人に過ぎず、規模的には現役比率にして 20%に満たない予備要員の備えしかない。」とされている。

しながら他国がリザーブも含めて充実させている以上、その動向にも関心を払う必要がある。

では、なぜサイバーリザーブの構成員はそれに志願するのか。またその効果的な運用にはどのような考慮が必要か。本研究では世界初の国家に対するサイバー攻撃を受けた⁵という教訓から、先進的な取り組みを行っているエストニアのサイバーリザーブであるサイバーディフェンスユニットを取り上げ、日本の予備自衛官において IT 職種で採用された者との意識を比較する中に、それを明らかにしようとするものである。

論述の順序として第 1 節では、エストニアの国情、サイバーディフェンスユニットの役割、それに日本の予備自衛官制度を紹介したのち、第 2 節では、これまでの先行研究を吟味する事と併せて今回行ったアンケート調査の内容を説明し、第 3 節では実施結果を明らかにするとともに、第 4 節でそれに対する考察を行う形で論を進めることとする。

1 研究背景

(1) エストニアの国情

エストニアは小国ではあるが、先進的な政府 IT システムを導入しており、世界初の国家に対するサイバー攻撃を受けたことから、サイバー防衛への取り組みに関しても熱心に取り組んでいる。

歴史を振り返ると近代以降、エストニアは長らくロシアの支配下にあった。1917 年の帝政ロシアの崩壊に伴い、一時的に独立を果たしたものの、ソ連の成立とともに再びその勢力圏に組み込まれ、ソビエト連邦を構成する共和国の 1 つとなった。第 2 次世界大戦時には、一時的にドイツ勢力下におかれるが、戦後再びソ連の構成国の一部に戻ることになる。この体制は 1991 年まで続き、ソ連の崩壊をもってエストニアは再び独立を果たした⁶。

独立当初、目ぼしい産業も天然資源もなく、森林に覆われ、多くの離島を持つエストニアは、政府の公的サービスを国全体に広めるのに非常に厳しい環境下にあった⁷。そこで当時普及し始めたインターネット技術に目をつけ、情報通信技術に資本を集中させることで問題解決を図ろうとした。2002 年には、eID カードを 15 歳以上の国民へ配布し、2005 年には世界に

⁵ 伊東寛『「第 5 の戦場」サイバー戦の脅威』祥伝社、2012 年、142 頁。

⁶ 小森宏美『エストニアを知るための 59 章』明石書店、2012 年、111 頁。

⁷ 同上、39 頁。

先駆けて地方政府の選挙で初めて自宅からインターネットを介して電子投票を行ったことで世界の注目を集めた⁸。

そうした中、2007 年 4 月にエストニア政府が首都タリンの中心部にある第 2 次世界大戦でのソ連軍の勝利を記念した銅像の移設を決定し、それに対するロシア系住民の反発から街頭で暴動が発生、それを契機にエストニアに対するサイバー攻撃が生じた⁹。世界初の国家に対するサイバー攻撃ともいわれるこの攻撃は、当初政府機関やニュースポータルをターゲットとした比較的単純な DoS 攻撃 (Denial of Service: 大量のデータを送り、機器の処理能力をマヒさせるもの) だったが、次第に激しさを増し、数日後には重要インフラをも対象とするボットネット (他人の PC に遠隔操作するためのウィルスを送って乗っ取ったもの) を使った非常に高度で大規模の攻撃へと移行していった。攻撃は 3 週間にわたって行われ、あらゆる面で電子化が進んでいたエストニア国民にとって、大きな衝撃を与える結果となった。

一連の事件を受け、エストニアは当時はまだ米国、ドイツ、スウェーデンの 3 か国しか採用していなかった「サイバーセキュリティ戦略¹⁰」を打ち出し¹¹、国家安全保障委員会の下にサイバーセキュリティ審議会が新設され、国家のサイバーインシデントに対応することとした。またエストニア情報センターには情報インフラ保護部門が創設される等、重要な情報インフラのリスク分析と保護対策を実施した。さらに、国家のサイバーセキュリティを高めるより具体的な実行的部門として、準国防組織のエストニア防衛連盟の下部にサイバーディフェンスユニットを編成することとなった¹²。

⁸ ラウル・アリキヴィ、前田陽二『未来型国家エストニアの挑戦 ―電子政府がひらく世界―』インプレス R&D、2017 年、50-53 頁。

⁹ 同上、126 頁。

¹⁰ サイバーセキュリティ戦略は、エストニア国防省が 2007 年の大規模サイバー攻撃の被害を受けてから関係各省と協力し、2008 年に「サイバーセキュリティ戦略 2008-2013」を策定した。2011 年にはサイバーセキュリティ政策に関わる権限が国防省から経済通信省に移管され、現行のサイバーセキュリティ戦略としては、経済通信省が出した「サイバーセキュリティ戦略 2014-2017」がある。

¹¹ Piret Pernik and Emmet Tuohy, “Cyber Space in Estonia: Greater Security, Greater Challenges,” *International Centre for Defense Studies*, August 2013, p. 2.

¹² *Ibid.*, pp. 60-61.

(2) サイバーディフェンスユニットについて

サイバーディフェンスユニットの存在意義は、エストニアの「重要インフラを保護し、広範な国防の目標を支援することによって、エストニアのハイテクな生活を保護すること」にある¹³。

エストニア国防軍は陸海空軍の軍種からなり、平時においてその規模は約6,000人であり、その半分は徴兵から成り立ち、有事ではリザーブが動員され、その規模は60,000人に増大する¹⁴。

また国防軍の他に、主に16,000人の民間人で構成される¹⁵国防連盟というボランティアから成る準国防組織が存在する。同組織は「エストニア防衛連盟法」によって、有事においては国防軍の指揮下に入るものと定められ¹⁶、図1に示すとおり、同連盟下には15の地域別ユニットとサイバーディフェンスユニットがある¹⁷。

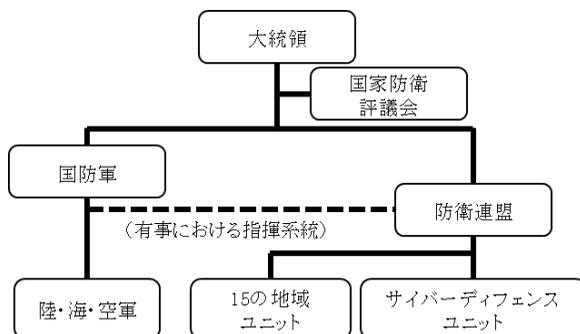


図1 エストニア国防組織の概要

(出所) 山口嘉大「サイバー防衛における官民連携の強化について—エストニア共和国との比較を通じて—」196頁を元に筆者作成

サイバーディフェンスユニットでは、以下の3つの主要な目標を掲げている¹⁸。

¹³ Kaitseliit, “Estonian Defence League’s Cyber Unit,” <http://www.kaitseliit.ee/en/cyber-unit?ncid=txtlnkusaalp00000618>.

¹⁴ Estonian Defence Forces HP, “Estonian Defence Forces,” <http://www.mil.ee/en/defence-forces>.

¹⁵ Kaitseliit HP, <http://www.kaitseliit.ee/en/edl>.

¹⁶ 山口嘉大「サイバー防衛における官民連携の強化について—エストニア共和国との比較を通じて—」『防衛研究所紀要』第21巻第1号、2018年、197頁。

¹⁷ 同上、196頁。

¹⁸ Kaitseliit, “Estonian Defence League’s Cyber Unit,” <http://www.kaitseliit.ee/en/cyber-unit?ncid=txtlnkusaalp00000618>.

- ・資格認定されたボランティア IT スペシャリスト間の協力関係を強化するとともに、危機発生時に官民の専門知識を融合させるための、ネットワークを構築すること
- ・定期的に脅威認識とそれに対する処置手順を共有すること、そして危機発生時の準備態勢を強化することにより、重要な情報基盤のセキュリティレベルを上げること
- ・隊員に対して継続的にサイバーセキュリティ教育・訓練の機会を提供するとともに、国際的なサイバーセキュリティ訓練への積極的な参加を促進すること

これらの目標を達成するために、サイバーディフェンスユニットは以下の 2 つの主要な任務を課している¹⁹。

- ・教育と訓練

サイバーディフェンスユニットの目標を達成するために隊員の知識、スキル、経験、サイバーセキュリティに対する意識を向上させること。

- ・国民のサイバーセキュリティの強化と確保

各種公的及び民間機関のサイバーセキュリティ体制構築支援を行うこと。

その具体的な活動として、以下のような事業を行っている。

- ・学校のコンピュータのスクリーニング
- ・電子投票システムのセキュリティ構築・検証支援²⁰
- ・エストニアで開催されているサイバー演習のための準備作業
- ・軍事演習（Spring Storm²¹、Locked Shield²²等）への参加

入隊するためには、サイバーセキュリティに関する知識と経験が必要とされ、入隊希望者はすでにサイバーディフェンスユニットで勤務している

¹⁹ Kadri Kaska, Anna-Maria Osula and Jan Stinissen, “The Cyber Defence Unit of the Estonian Defence League - Legal, Policy and Organisational Analysis,” *NATO Cooperative Cyber Defence centre of Excellence*, 2013, pp. 22.

²⁰ *Ibid.*, pp. 22-23.

²¹ 山口「サイバー防衛における官民連携の強化について」190 頁。

²² 2019 年の演習では約 30 か国から、1,200 人以上の専門家が参加している。各国のチームがそれぞれ 2,500 を超えるサイバー攻撃に対応しつつシステムを維持すると同時に、戦略的決定、法的処置、メディアへの対応などの現実に対応した場合の対処を仮想システムの中で実施し、その技量を競い合っている。

隊員の 2 人から身分を保証するために推薦を得る必要があり、当該 2 名の推薦者は、入隊希望者の任務遂行上の適合性について、責任を負うことになっている²³。

また隊員がサイバーディフェンスユニットの特定の活動に対して参加することは義務ではなく、隊員の自主的な判断により参加することが認められている²⁴。

(3) IT 職種で採用された予備自衛官について

日本のリザーブの中で、エストニアのサイバーディフェンスユニット制度に近似するのは予備自衛官補の中の IT 職種で採用された者である。これは情報通信技術（IT）革命や自衛隊の役割の多様化等を受け、自衛官未経験者であっても、その優れた専門技能を有効に活用し得るよう設けられた制度である²⁵。

自衛隊のリザーブ制度には、予備自衛官、即応予備自衛官及び予備自衛官補がある。

予備自衛官制度は 1954 年、諸外国と同様に予備の要員が必要²⁶とされたことから自衛隊の創設と同じくして発足した。隊員は自衛官として 1 年以上の勤務経験がある者からなり、年間 5 日の訓練を受け、防衛召集命令等が発令された場合、駐屯地警備等の任務が与えられる。その定数は 47,900 名である。

即応予備自衛官は 1997 年、予備自衛官陸上自衛隊の人員削減を補い、予備自衛官より高い即応性を担保するべく発足した。隊員は同じく自衛官として 1 年以上の勤務経験がある者からなり、年間 30 日の訓練を受け、防衛召集命令等が発令された場合、第一線部隊の任務が与えられる。その定数は 8,075 名である。

予備自衛官補は 2001 年、将来的に予備自衛官数を確保するとともに民間の専門技能の活用を図るため発足した。隊員は自衛官としての経験がなくても任命され、後方地域警備等に従事する「一般」と各種技能を通じて従事する「技能」に分かれ、前者は試験、後者は選考により採用される。各種技能には衛生、語学、整備、情報処理、通信、電気、建設、放射線管

²³ 山口「サイバー防衛における官民連携の強化について」199 頁。

²⁴ Kaska, Osula, Stinissen, “The Cyber Defence Unit of the Estonian Defence League,” p. 18.

²⁵ 「予備自衛官補」防衛省、

<https://www.mod.go.jp/gsdf/reserve/yobijiho/index.html>。

²⁶ 防衛省「平成 16 年版 防衛白書」2014 年、308 頁。

理、法務、船舶がある。「一般」は 3 年以内に 50 日、「技能」は 2 年以内に 10 日の教育訓練を修了すれば、予備自衛官に任用される。その定数は 4,621 名である²⁷。

このうち情報処理の枠組みで採用されるのに必要な資格は、国内で行われている経済産業省の認定する情報処理技術者資格であり、国外で著名な CompTIA、(ISC)²等の IT 資格である²⁸。

また平時において求められるのは、予備自衛官に任用されたのち職種訓練を含む基本教練や射撃検定、制度教育等²⁹の 5 日間（場合によっては 2 回に分けることも可）の訓練を受けることである。

2 研究方法

(1) 先行研究

国外ではパダー（Andrus Pader）が、エストニアの国情やサイバーディフェンスユニットの活動を言及し、成功の要訣は技術と人に投資し、それを柔軟性を失わない範囲で法的枠組みの中に組み入れることとしている³⁰。カスカ（Kadri Kaska）他の研究は、エストニア国防省が NATO サイバー防衛研究所に委託し、サイバーディフェンスユニットをモデルとして他の同様な活動を支援するため行われたもので、サイバーディフェンスでボランティアを使用する法律等の、制度的側面等について議論している³¹。ルイツ（Monica Ruiz）は、歴史を振り返り米国にもボランティアが国防の任に当たったことに言及しながら、米国との比較の中でエストニアのサイバーディフェンスユニットを取り上げ、サイバーディフェンスに求められ

²⁷ 「予備自衛官制度の概要」防衛省、<https://www.mod.go.jp/gsdf/reserve/yobiji/index.html>；防衛省『令和元年版 防衛白書』防衛省、2019 年、534 頁。各種予備自衛官の定数は 2019 年 3 月 31 日現在。

²⁸ 「予備自衛官補採用案内（技能公募）」防衛省、<https://www.mod.go.jp/gsdf/jieikanbosyu/pdf/y/31yobihoginouy.pdf>。

²⁹ 「予備自衛官の訓練」防衛省、<https://www.mod.go.jp/gsdf/reserve/yobiji/training.html>。

³⁰ Andrus Pader “Cyberspace Defence: The Estonian Kaitseliit Model,” *NATO Science for Peace and Security Series E-Human and Societal Dynamics*, Vol. 141, February 2019, pp. 159-167. Pader はサイバーディフェンスユニット隊長。

³¹ Kaska, Osula, Stinissen, “The Cyber Defence Unit of the Estonian Defence League.”

ている社会全体の取組としてそれを米国としても検討する価値があるものとしている³²。

国内では、佐藤が米国のサイバー予備構成部隊を取り上げ、自衛隊において高い技術力と専門性を有したサイバー攻撃対処要員を長期にわたり確保することは困難であることなどから、米国をモデルとした予備自衛官制度の有効活用と制度設計³³について議論している。また山口は日本とエストニアの比較の中で、サイバーリザーブの有用性を指摘し、サイバーディフェンスユニット制度の有効部分の導入には政府主導によるボランティア組織の設立を推進するとともに、既にある予備自衛官等の制度を活用して、民間のエキスパートが国防に関与できる枠組みを構築するのが適当としている³⁴。

しかしながらそのいずれもサイバーリザーブ等の制度等に関して議論するもので、アンケートを通じて個々の構成員の所見等から最良慣行等を導き出すような議論は見当たらなかった。

(2) 研究手法

本研究の研究課題は、「なぜサイバーリザーブの構成員はそれに志願するのか。またその効果的な運用にはどのような考慮が必要か。」を実際の構成員の所見を通じて明らかにすることである。そのため関係者に対してアンケートを送り、回答を得ることとした。

研究対象としたのは、エストニアのサイバーディフェンスユニットの構成員 19 名と、日本の予備自衛官の中で情報処理技術によって採用された者 12 名である³⁵。

回答時期は、2019 年 8 月から 9 月にかけてであった。
質問の内容は以下のとおりである。

³² Monica M. Ruiz “Establishing volunteer US cyber defense units: A Holistic Approach,” *The Cyber Defense Review*, Vol. 4 No. 1, 2017, pp. 45-58.

³³ 佐藤智美「サイバー人材不足の解決策に関する一考察～米国のサイバー予備構成部隊（RC）をモデルとした提言～」『情報セキュリティに関する懸賞論文受賞作品』防衛基盤整備協会、2015 年、39-52 頁。

³⁴ 山口「サイバー防衛における官民連携の強化について」161-209 頁。

³⁵ 本来であれば無作為抽出の多数の標本を選ぶべきであるが、関係者の協力を得てそのコミュニティに回答を依頼した。

（回答者の背景）

Q1：あなたの年齢はおいくつですか？

（選択肢）～19 歳／20～29 歳／30～39 歳／40～49 歳／50～59 歳
／60 歳～

Q2：あなたの性別はどちらですか？

（選択肢）男性／女性

（回答者の入隊前の状況）

Q3：予備役³⁶になった理由はなんですか？（複数回答可）

（選択肢）国防のため／社会への貢献／社会的な評価があるから／
会社が勧めるから／家族（親戚）が参加しているから／
自身のスキル向上のため／その他

Q3-1：「自身のスキル向上のため」と答えた方に尋ねます。あなたはど
ういったスキルの向上を考えていますか？（記述）

Q3-2：「その他」と回答した方に尋ねます。あなたはどいういった目的で予
備役になったのですか？（記述）

Q4：予備役になる前に不安はありましたか？

（選択肢）はい／いいえ

Q4-1：「はい」と答えた方にお伺いします。その不安はどいういったもので
たか？（記述）

（回答者の活動現況）

Q5：予備役としての活動頻度はどれくらいですか？

（選択肢）週に 3 回以上／週に 1 回以上／月に 1 回以上／3 か月に 1
回以上／半年に 1 回以上

Q6：1 度の活動時間は平均するとどれくらいになりますか？

（選択肢）1 時間未満／1～2 時間／2～3 時間／3 時間以上

（回答者の入隊後の所感）

Q7：あなたは予備役としての活動に満足していますか？

（選択肢）はい／いいえ／どちらともいえない

³⁶ 本論の中で予備役を「リザーブ」の語で揃えようと考えたが、アンケートに関し
ては実施時に使用したとおり「予備役」の語を用いた。

Q7-1：「はい」と回答した方にお伺いします。満足できた理由はなんですか？（記述）

Q7-2：「いいえ」と回答した方にお伺いします。満足できない理由はなんですか？（記述）

3 研究結果

アンケートを集計し、以下の結果を得た。

(1) (回答者の背景)

Q1：あなたの年齢はおいくつですか？

年齢層は、図 2 のとおり、サイバーディフェンスユニットでは 30 代を中心に、20 代から 50 代まで多くの世代を含んでいるのに対し、予備自衛官は 20 代が 8%（1 名）いるほか、すべて 40 代であった。

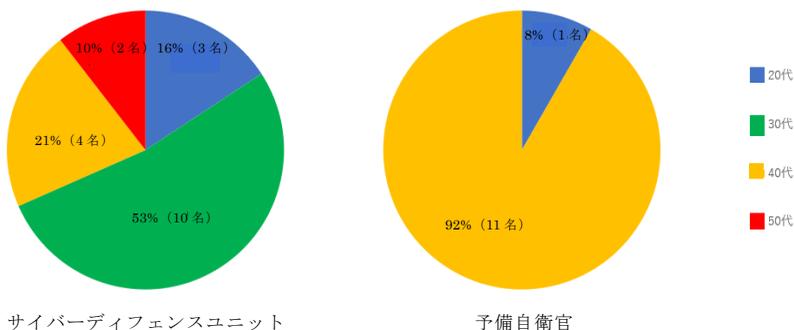


図 2 構成員の年齢

(出所) 筆者作成

Q2：あなたの性別はどちらですか？

性別は、図 3 のとおり、サイバーディフェンスユニットには女性隊員も 11%（2 名）存在していたのに対し、予備自衛官では 100%（12 名）男性であった。

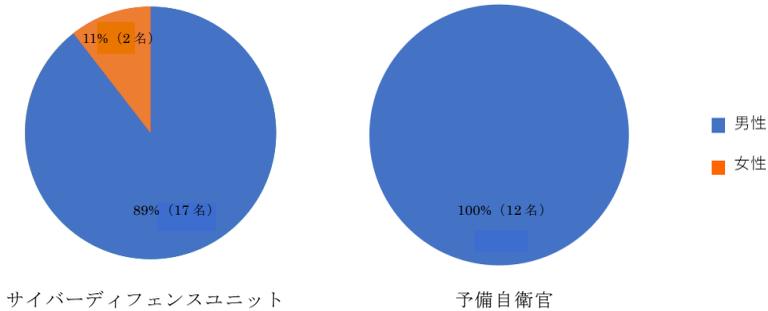


図 3 構成員の性別

（出所）筆者作成

（2）回答者の入隊前の状況

Q3：予備役になった理由は何ですか？（複数回答可）

予備役への志望理由は、図 4 のとおり、サイバーディフェンスユニットでは第 1 位に「国防のため」（17 名）、次いでそれとほぼ同数の「自身のスキル向上のため」（16 名）を挙げているのに対し、予備自衛官で第 1 位は同じく「国防のため」であるが、第 2 位には突出したものは特になかった。

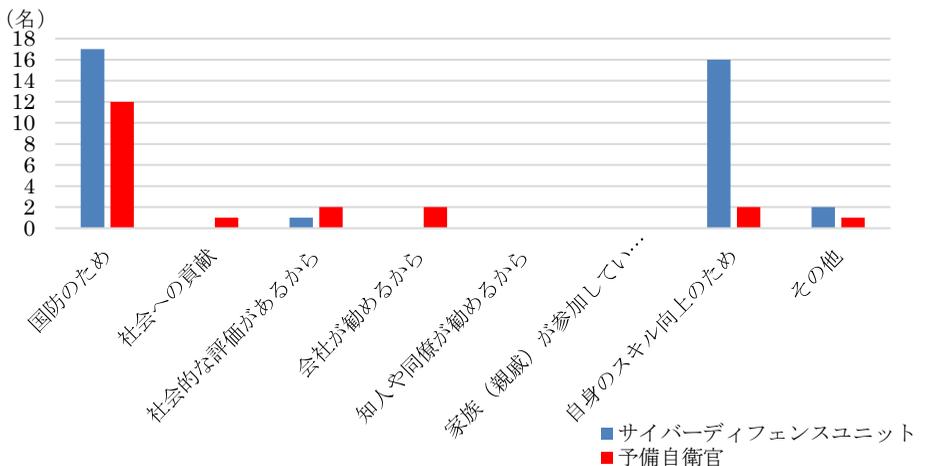


図 4 予備役への志望理由

（出所）筆者作成

Q3-1: 「自身のスキル向上のため」と答えた方に尋ねます。あなたはどのようなスキルの向上を考えていますか？

スキルの向上についての具体的な内容に関しては、サイバーディフェンスユニットでは以下のような記述があった。

- ・セキュリティソリューションに関する技術（12 名）
- ・軍に関するスキル（2 名）
- ・組織や法に関する技術
- ・チームワーク
- ・重要インフラなしで生き残る技術

これに対し予備自衛官では以下のような記述があった。

- ・業務でつけているサイバーセキュリティの知見に、国防の観点を加えスキルの幅を広げたい。
- ・予備役一般が取得すべきスキル

Q3-2: 「その他」と回答した方に尋ねます。あなたはどのような目的で予備役になったのですか？

志望理由の「その他」に関しては、サイバーディフェンスユニットでは以下のような記述があった。

- ・サイバー攻撃から国家を守ることに興味のある IT エキスパート同士のコミュニティを作りたい。
- ・他の人々の成長を促したい。

これに対し予備自衛官では以下のような記述があった。

- ・自衛隊の現状と国および周辺との関係性の現実を知るため。

Q4：予備役になる前に不安はありましたか？

図 5 のとおり、サイバーディフェンスユニットでは 5%（1 名）の者だけが入隊前に不安を感じていたのに対し、予備自衛官では 67%（8 名）の者が不安を感じたと答えた。

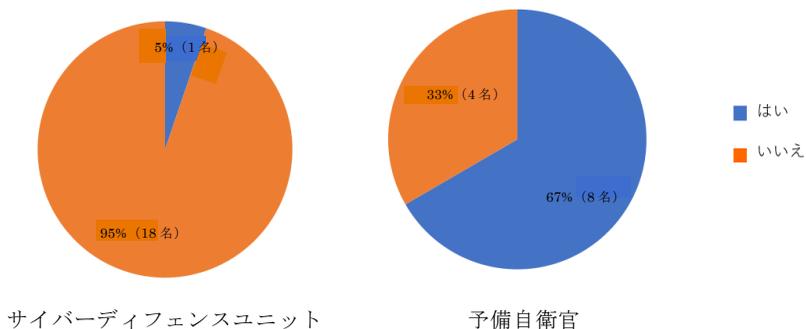


図 5 予備役入隊前の不安の有無

(出所) 筆者作成

Q4-1：「はい」と答えた方にお伺いします。その不安はどういったものでしたか？

不安の具体的な内容に関しては、サイバーディフェンスユニットでは以下のような記述があった。

- ・新たな人に出会うこと

これに対し予備自衛官では以下のような記述があった。

- ・訓練参加の時間の確保（2 名）、
- ・体力的な不安（2 名）
- ・サイバーセキュリティに関連する訓練や招集の可能性が小さい点
- ・周囲の理解が得られるか。

(回答者の活動現況)

Q5：予備役としての活動頻度はどれくらいですか？

活動頻度は、図 6 のとおり、サイバーディフェンスユニットでは 3 か月に 1 回以上のところが大半であるのに対し、予備自衛官では全員半年に 1 回以上のところに回答があった。

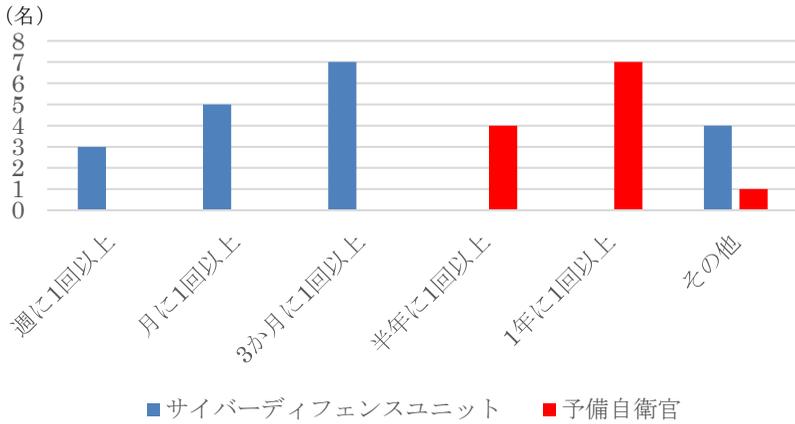


図 6 活動の頻度

(出所：筆者作成)

Q6：1 度の活動時間は平均するとどれくらいになりますか？

活動時間の平均（1 回あたり）は、図 7 のとおり、サイバーディフェンスユニットでは大半が 3 時間以下であるのに対し、予備自衛官では全員が 3 時間以上であった。

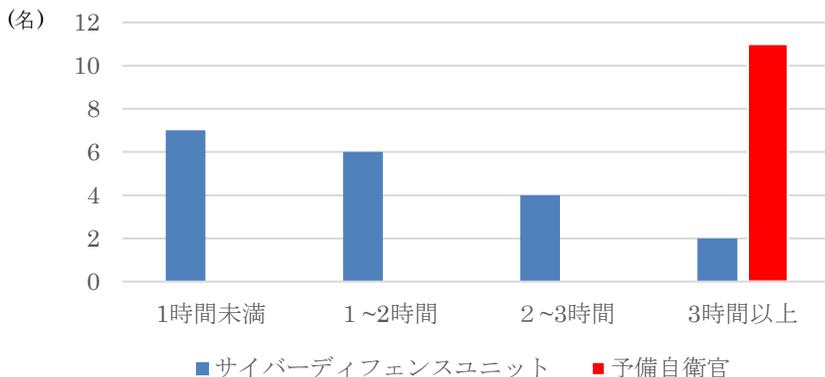


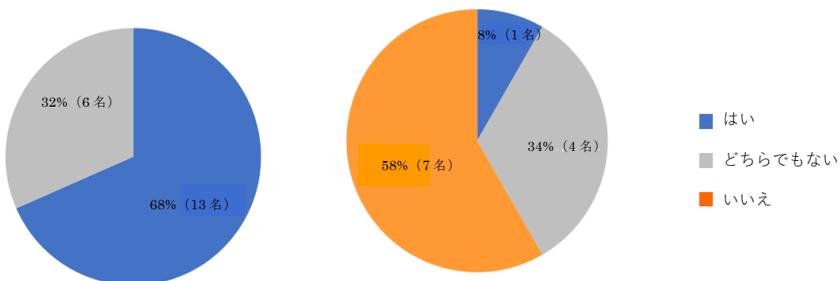
図 7 活動時間の平均（1 回あたり）

（出所）筆者作成

（回答者の入隊後の所感）

Q7：あなたは予備役としての活動に満足していますか？

予備役としての満足度は、図 8 のとおり、サイバーディフェンスユニットでは「はい」という肯定的な回答が 68%（13 名）であるのに対し、予備自衛官では「いいえ」という否定的な回答が 58%（7 名）であった。



サイバーディフェンスユニット

予備自衛官

図 8 予備役としての満足度

（出所）筆者作成

Q7-1：「はい」と回答した方にお伺いします。満足できた理由はなんですか？
満足できた具体的な理由に関しては、サイバーディフェンスユニットでは以下のような記述があった。

- ・新たな知識・技術が得られるから。（4名）
- ・国の安全保障に貢献できるから。（2名）
- ・時間に関して柔軟であり、多くの活動に参加できるから。
- ・イベントが多くあるから。
- ・メンバーが素晴らしいから。

これに対し予備自衛官では以下のような記述があった。

- ・国防の一端を国民として担うことができているという実感があること。
- ・自身の技能を活かし、国防に寄与できている。
- ・コミュニティや知識の幅が広がったから。

Q7-2：「いいえ」と回答した方にお伺いします。満足できない理由はなんですか？

満足できなかった具体的な理由に関しては、サイバーディフェンスユニットでは以下のような記述があった。

- ・人々からより多くを得るには、より集中的なトレーニングが必要である。

これに対し予備自衛官では以下のような記述があった。

- ・サイバーセキュリティの専門知識を活かせる訓練をしたい。（4名）
- ・実際の運用に向けた訓練を受けられない。（2名）
- ・日本における予備の使用計画、育成・維持計画が不十分でありその点が改善されないこと。（2名）

4 分析・考察

以上の結果から、研究課題に対し、以下の分析・考察を行った。

(1) なぜサイバーリザーブの構成員はそれに志願するのか

国防への強い関心とともに、スキルの向上が見込めるとき、エキスパートは志願を検討するものと考えられる。

入隊前の予備役への志望理由（Q3）に対し、サイバーディフェンスユニット隊員の多くは「国防のため」の次に「自身のスキル向上のため」と答え、その具体的な内容は多くが「セキュリティソリューションに関する技術（12名）」としている。また入隊後の予備役としての満足度（Q7）についてもその満足とする理由（Q7-1）についてサイバーディフェンスユニット隊員は「国の安全保障に貢献できるから。」（2名）と併せて「新たな知識・技術が得られるから。」（4名）としている。

これらはサイバーディフェンスユニットにおいてその3つの主要な目標の中に「隊員に対して継続的にサイバーセキュリティ教育・訓練の機会を提供するとともに、国際的なサイバーセキュリティ訓練への積極的な参加を促進すること」が掲げられ、主要な任務の一つに「サイバーディフェンスユニットの目標を達成するために隊員の知識、スキル、経験、サイバーセキュリティに対する意識を向上させること。」と示され、実際 Spring Storm、Locked Shield 等の国際的な軍事演習にも参加させていることの成果と言える。

一方、予備自衛官では、予備役入隊前の不安の理由（Q4-1）として「サイバーセキュリティに関連する訓練や招集の可能性が小さい点」が挙げられ、予備役としての満足できない理由（Q7-2）に「サイバーセキュリティの専門知識を活かせる訓練をしたい。」（4名）、「実際の運用に向けた訓練を受けられない。」（2名）とあり、改善の余地があるものと考えられる。

(2) サイバーリザーブの効果的な運用にはどのような考慮が必要か

高度な技量を持つ志願者の能力を活用するためには、民間において多忙な彼らの参加を促すために、多くのオプションを与えて訓練時間に対する柔軟性を確保するとともに、エキスパートの連携を可能とする彼等を中心としたコミュニティを育む配慮が求められると考えられる。

先述のようにサイバーディフェンスユニット隊員の参加は義務ではなく、自主的な判断に任せられており、1回あたりの教育訓練の時間は短く（Q5）、頻度は高い（Q6）。満足とする理由（Q7-1）に「イベントが多くあるから。」とあるように教育訓練の機会が数多く設けられ、「時間に関して柔軟であり、多くの活動に参加できるから。」とあるように、そのよう

な数多くのイベントを柔軟に選択しながら活動できることが満足度を向上させている。

また頻繁な接触機会は、コミュニティ構築を促すものである。予備役への志望理由に関する具体的な内容（Q3-1・2）に「チームワーク（のスキルを向上させたい）」、「サイバー攻撃から国家を守ることに関心のある IT エキスパート同士のコミュニティを作りたい。」とあることから、エキスパートである彼等もまたそれを重要と認識しているものと考えられる。満足である理由に「メンバーが素晴らしいから。」（Q7-1）とあるのは、高い技量を持った者同士が相互にその技量を認め合う環境を構築することが満足度を向上させ、それはまたコミュニティの持続的な運営を可能とするものであることと推察する。

一方予備自衛官では、予備役入隊前の不安（Q4-1）として「訓練参加の時間の確保」が挙げられるように、年 5 日（場合によっては 2 回に分けることも可）の集中した訓練のため平均活動時間（Q6）は長く、また活動頻度（Q5）も最大年 2 回でしかなく、柔軟な参加やコミュニティ構築の配慮は必ずしも十分ではない。

そもそも、IT 職種で採用された予備自衛官は、既存の有事における駐屯地警備、後方地域の任務での活躍を期待されている予備自衛官制度を基に制度設計されており、先述のように 5 日間の訓練の内、職種訓練は 1 日しかなく、他は基本教練や射撃検定、制度教育等、既存の組織に馴染ませることに主眼が置かれたもののように見受けられる。その発想が新たな領域での活動に適切なものか否か、検討の余地があるものと考えられる。

おわりに

本論は「なぜサイバーリザーブの構成員はそれに志願するのか。その効果的な運用にはどのような考慮が必要か」を明らかにするため、第 1 節では、研究背景としてエストニアの歴史的背景等を明らかにしたのち、そのサイバーディフェンスユニット及び IT 職種で採用された予備自衛官について、それぞれの位置付け、目的、活動等を紹介した。第 2 節では、研究方法として先行研究を吟味した上で、今回の調査状況とアンケートの質問内容を説明した。第 3 節では、調査結果として、質問に対する回答の集計結果を提示した後、第 4 節では、それを分析・考察し、「なぜサイバーリザーブの構成員は志願するのか」という課題に対しては、高い国防意識と併せて所属することで高い技術が得られるからであり、また「サイバーリ

ザーブの効果的な運用にはどのような考慮が必要か」という課題に対しては、訓練時間に対する柔軟性の確保と、エキスパートの連携に対する配慮が必要とした。

調査したアンケート結果に関しては、標本数が共に 2 桁と少なく、必ずしも全体の所見を反映していない可能性も否定できないが、防衛分野の研究の常として、組織としてではなく、研究者の私的な研究として実施できることは限られていることを理解いただければと考える。

また結果としてエストニアのサイバーディフェンスユニットと、日本の中でそれに一番近似した IT 職種で採用された予備自衛官の者と比較し、後者に低い評価を与えることとなった。しかし後者にはサイバーセキュリティに関心の高い者もいる一方で、他の分野で任用された者もあり、セキュリティ専任の制度であるわけではない中で、それも致し方のない面もあることと考える。

冒頭に述べたようにこれからの紛争は、民間／防衛、平時／有事等の境界が明確でないハイブリッド戦となる。それを助長しているのは、デュアルユーステクノロジーであり、また今日の社会全体を支えるサイバー関連技術であり、そのため各国とも産官学それに軍が連携してサイバー能力の増強を図っている。他方日本の自衛隊では予備役入隊前の不安の理由（Q4-1）に「周囲の理解が得られるか」が挙げられているように、国内に自衛隊に対する忌避感がまだ根強くあり、社会に十分溶け込んでいない。また自衛隊は隊内のネットワークに責任を負っても、重要インフラ等の防護は一義的に金融庁、総務省、厚生労働省等の各所掌官庁の所管であり、さらに国家公務員の数は減らすことが求められても、増やすのは困難である。

民間／防衛、平時／有事に柔軟に対応できる高度な技術を有するサイバーリザーブは、いまだ備えが十分でない日本におけるこれらの問題の解決の一助となるものである。自衛隊に忌避感があるのであれば、平時にはセキュリティクリアランスを確認の上、内閣サイバーセキュリティセンターの所属として活動し、有事には海上保安庁のように自衛隊と行動を共にすることなども考えられてよい。いずれにせよ少ないリソースを、どう補強していくかは緊喫の課題である。そのような中、本研究が、日本におけるサイバーリザーブ制度充実の資となれば幸いである。

次世代の電子戦について

— 機械学習とネットワークを活用した EMS 活動 —

天貝 崇樹

はじめに

米国国防科学委員会（Defense Science Board: DSB）は、2015 年、陸・海・空の 3 つの戦闘領域と衛星通信、戦術通信、位置航法時刻制御、情報・監視・偵察機能（Intelligence, Surveillance and Reconnaissance: ISR）の 4 つの戦闘支援分野における電子戦能力の不足を指摘した¹。また、2016 年、戦略予算評価センター（Center for Strategy and Budgetary Assessments: CSBA）からは電磁スペクトラム領域（ElectroMagnetic Spectrum: EMS）優位性回復のためのコンセプトとも位置付けられる *Winning the Airwaves* が発表された²。

これらの動きは、米国が EMS の活動に危機感を抱いていることを示しており、電子戦能力の不足により EMS の優位性を失ったとの結論に達した米国では、米国先進研究計画局（Defense Advanced Research Project Agency: DARPA）が、EMS の優位性を考慮した電子戦機器の開発を進行させている³。

EMS に関するコンセプトや機器の開発研究が多く進行しているなか、特に注目されるのは、人工知能（Artificial intelligence: AI）を用いた電子戦技術である。何故なら電子戦の最も重要な工程である信号識別を機械学習（Machine Learning: ML）によって強化することは、単なる電子戦能力の不足の解消に止まらず、大きな影響を陸・海・空の作戦行動に与える可能性があるからだ。

そこで本稿では、従来の電子戦の特性と開発されている電子戦機器の進展から、次世代の電子戦の形態について分析し、新しい形態が作戦に与える効果とその効果を拡大するための方策を考察する。

¹Defense Science Board, “*21st Century Military Operation in a Complex Electromagnetic Environment*,” July 2015.

² Bryan Clark and Mark Gunzinger, “*Winning The Airwaves*,” CSBA, 2015.

³ 電波関連任務統合装置（CONverged Collaborative Elements for RF Task Operation: CONCERTO）等。

1 従来の電子戦活動の限界

(1) 従来の電子戦機器とアルゴリズム

航空自衛隊の作戦機を含めた多くの軍用機にはレーダ警戒装置（Radar Warning Receiver: RWR）を始めとする電子戦機器が搭載されている。脅威となる追尾レーダやミサイル誘導に使用される照射レーダを感知して操縦者に警報を与える RWR（図 1 参照）や接近するミサイルの誘導装置を欺瞞するチャフやフレア（図 2 参照）を機外に放出する射出装置（Counter Measure Dispenser: CMD）は、ベトナム戦争時に米軍戦闘機に搭載され、その有効性が立証されたことで急速に汎用化が進んだ。

CMD や追尾レーダを欺瞞するレーダ妨害装置（Electronic Counter Measure: ECM）は、プラットフォームの安全を確保することを目的として開発された電子戦機器であり、自己防御装置（Self Protection Jammer :SPJ）と呼ばれている。今日、危険な地域や戦域を航行するためには SPJ が必要との認識は、広く浸透し、輸送機や救難機でも関連した装備品を搭載することが常識となりつつある。



図 1 V-22 オスプレイ等に搭載されている AN/APR-39A (V)2 の信号処理装置、受信装置、表示器、アンテナ等。

図 1 RWR の構成品

（出所）米グローバルセキュリティ HP から引用⁴

⁴ “RADAR WARNING RECEIVER (RWR) AN/APR-39A (V)2,” Global Security.org, www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2000/dot-e/navy/00apr39.html.



図 2 C-130 から放出されるフレア
(出所) 英チャーミング・グループ HP から引用⁵

SPJ 以外の電子戦機器としては、通信妨害装置、捜索レーダに干渉する遠距離レーダ妨害措置 (Stand Off Jammer)、電子戦環境を掌握するための電子戦支援装置 (Electronic Warfare Support Measures: ESM) 等があり、航空機のほかに、艦船や車両にも搭載され、陸・海・空の各軍でそれぞれの作戦に適応した電子戦が運用されている。

これらの電子戦機器の共通の特徴としては、収集された信号に基づいて作動が設定されている点あげられる。つまり、全ての電子戦機器は、追尾レーダや照射レーダといった脅威となるレーダ信号との照合を前提に設計されており、機能を発揮するためにはレーダ信号を蓄積したデータベース（以下「電子戦データ」という。）が不可欠となっている（図 3 参照）。

⁵ Chemring Group PLC, “Countermeasures,” www.chemring.co.uk/~media/Files/C/Chemring-V2/PDFs/Chemring-Countermeasures.pdf.

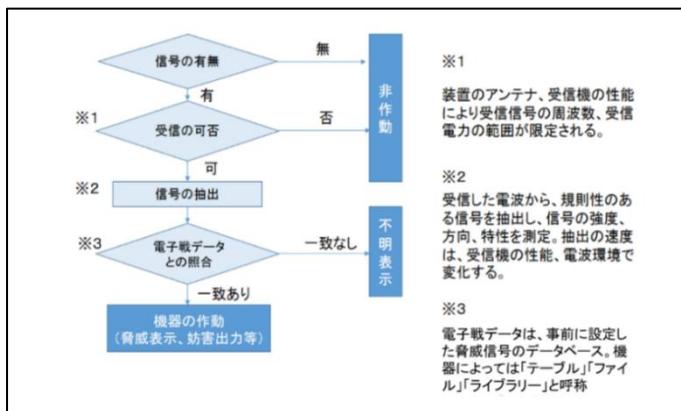
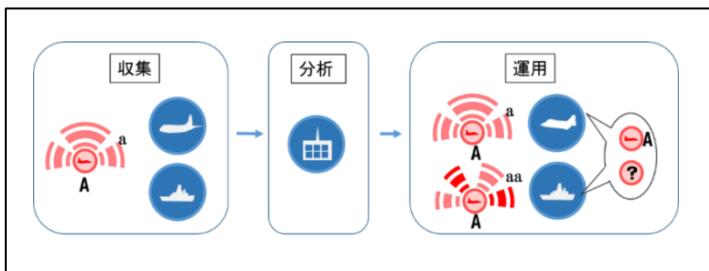


図 3 電子戦機器の作動シーケンス

(出所) 筆者作成

(2) レーダ及び通信の進化

前述したように電子戦機器は、探知した信号を電子戦データと照会することで脅威となるレーダ信号の有無を判定して運用されている。だが、脅威となる追尾レーダや照射レーダからの信号を受信したとしても、その信号があらかじめ電子戦データとして収集されていなければ、電子戦機器はその信号の発信源（エミッタ:Emitter）を脅威として判定することができない（図 4 参照）。



RWR（Radar Warning Receiver）や ESM（Electronic Support Measures）は、事前に収集された脅威信号と照合できた信号だけを脅威と判定する。

図 4 電子戦データの流れ

(出所) 筆者作成

現在、運用されている電子戦機器の多くが、最近の電子戦環境下で対応することが厳しい状況にあると考えられている⁶。

電波状況に応じて使用諸元を変更する適合型レーダ（Adaptive Radar: AR）や周波数を移動する周波数供用型のコグニティブ無線⁷等の技術が開発されたことで、事前に収集することのできない信号が頻繁に用いられるようになった。その帰結として更新が日単位で行われる電子戦データに依拠した従来型の電子戦機器では対応することができない状況を想定する必要があるが生じている。

こうした状況に加えて、信号そのものの受信が困難となっていることも電子戦支援（Electronic warfare Support: ES）や電子攻撃（Electronic Attack: EA）を窮地に追い込んでいく。レーダ及び通信する側は、対抗側に対して信号の抽出、あるいは電波源の位置特定を困難にするため、搬送周波数の拡散や指向性ビーム等の様々な手法を用いた低被傍受／探知確率（Low Probability of intercept: LPI）信号を利用することがある⁸。これら信号探知を困難にする技術の発達は、電子戦の前提となる信号の収集を阻んでいる。

（3）周波数の狭隘化

電子戦を含めた EMS の活動は、信号となるパルス電波⁹に搬送させて行われている。電波を利用するにあたり重要なのが電波の性質と密接な関

⁶ Sally Cole, “Cognitive electronic warfare: Countering threats posed by adaptive radars,” Military Embedded Systems, January 31, 2017, mil-embedded.com/articles/cognitive-electronic-warfare-countering-threats-posed-by-adaptive-radars/.

⁷ コグニティブ無線には、ネットワークを切り替えるヘテロジニアス型と周波数供用型に区分される。NICT (National Institute of Information and Communications Technology :情報通信研究機構) では、2010 年に後者の基礎試作に成功している。「周波数供用型無線通信システムの基礎試作に成功」情報通信研究機構、2010 年 5 月 7 日、www.nict.go.jp/press/2009/05/07.html。

⁸ デビッド・アダミー『電子戦の技術（通信電子戦編）』河東晴子他訳、東京電機大学出版局、2015 年、177 頁。

デビッド・アダミー『電子戦の技術（基礎編）』河東晴子他訳、東京電機大学出版局、2013 年、131-151 頁。

⁹ 電界（電場）と磁界（磁場）を発生させながら空間を伝播する電磁波の一種である。日本では電波法（昭和 25 年法律第 131 号）第 2 条に基づき、300 万 MHz 以下の周波数の電磁波が「電波」と定義され、使用の承認等が行われている。

係にある波長の長さ、つまり周波数である。周波数は有限な資源であるとの認識は、古くから各国で共有されており、国際電気通信連合（International Telecommunication Union: ITU）¹⁰での決定等に基づき、各国の無線通信主管庁が、軍用も含めた行政サービス用や民間の事業用の周波数について用途等を付して管理している。

図 5 は、米国における周波数の割り当てを示したものであるが、一般の電子機器の発達により、電波を利用する機器が増大したため非常に細かく区分されていることを容易に読み解くことができよう¹¹。

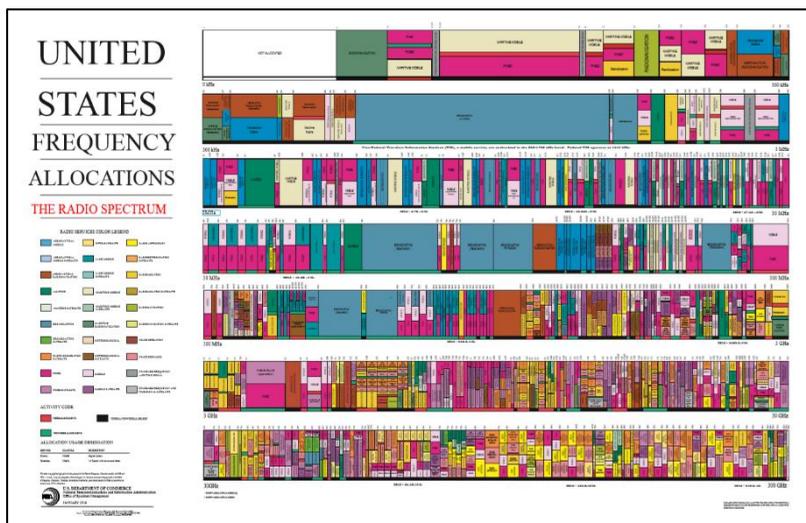


図 5 米国の周波数割り当て表

（出所）米国電気通信情報庁 HP から引用¹²

電波を利用する電子機器の増加は、周波数の狭隘化及び各種信号の飛躍的増大をもたらし、周波数、すなわちチャンネルの使用制限や負荷の増大等の影響を電子戦機器に与えている。電子戦機器は脅威信号を識別するにあたって、事前に設定した周波数帯を走査して、自機に到来する全ての信

¹⁰ 通信の国際接続の促進を目的として 1865 年に設立された国際機関。周波数と衛星軌道の指定、技術標準の開発等を行う。

¹¹ 金子めぐみ「将来の無線アクセスネットワーク」国立情報学研究所 HP、2018 年 10 月 24 日、www.nii.ac.jp/event/upload/shimin_kaneko_20181024.pdf。

¹² www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/january_2016_spectrum_wall_chart.pdf。

号の抽出を行い電子戦データと照合する。そのため、信号が多ければ多いほど信号の抽出に負荷がかかり、運用者が電子戦機器の判定によって行動に移すまでの時間を圧迫することになる。有事の際、日本周辺において 5000 万個に及ぶ電磁パルスが 1 秒間に飛び交うものとの試算もあり¹³、電子戦機器が正常に作動する条件として、高速かつ大量の信号を分析できる処理能力も必要とされている。

2 電子戦技術の開発と進展

電子戦機器がその役割を果たすためには、厳しい環境や機器の進化を踏まえ、かつデータベースのみに依拠しない電子戦のアルゴリズムの確立が求められる。そうした認識に基づいた技術の開発が、既に始められている。

(1) ML による新しい識別のアルゴリズム

BAE Systems 社（以下「BAE 社」という。）の無線・電子戦及び先進電子技術製品ライン・ディレクターであるラッパ（Rappa）は、ML に信号の波形を分析・学習させることで、レーダや通信機の型式に加えて製造工程で生じる品質のバラつきを特徴づけて個体の判別も可能になると予測している。こうした予測の下、電波指紋と呼ばれるアンテナ等の個体差を認識するための研究が DARPA で進められている¹⁴。また、DARPA では、新しい識別技術を確立するため、ML のアルゴリズムを使用してリアルタイムでレーダと通信のエミッタを評価・特定する研究が行われている¹⁵。

DARPA で行われている対適応型レーダ装置（Adaptive Radar Countermeasure: ARC）¹⁶の研究も「リアルタイムに信号を生成する未知

¹³ 新見昌武「実力とは 8 レーダー警報装置 (RWR) その 1」『エアワールド』2004 年 11 月号、118-121 頁。

¹⁴ Charlotte Adams, “Cognitive Electronic Warfare: Radio Frequency Spectrum Meets Machine Learning,” *AVIONICS INTERNATIONAL*, August/September 2018,

interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/august-september-2018/cognitive-electronic-warfare-radio-frequency-spectrum-meets-machine-learning/.

¹⁵ Ameer Sameer Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System,” University of Babylon, October 2016,

www.researchgate.net/publication/309292171_Cognitive_Electronic_Warfare_System.

¹⁶ ML を用いて DARPA が行っている研究。BAE 社が支援。

の適応型レーダに対して妨害を自動的に実行する」ことが目的として掲げられ、同様に ML のアルゴリズムが用いられている。

こうした ML を識別に用いた電子戦は、コグニティブ EW (Cognitive Electronic Warfare) と呼ばれている。ML による信号識別については、図 6 のように対象信号の諸元 (周波数) 変更と低信号対雑音比の条件下で確度 95%以上の成果が得られたことが 2017 年の AOC¹⁷の年次総会で発表されている¹⁸。

Case	Training score	Test score	Comment
Clean Signals	99.4%	99.4%	Ideal signal with high SNR
Frequency Offset	98.1%	97.9%	Frequency offset + high SNR
Low SNR	97.5%	97.6%	Low SNR
Offset + low SNR	95.8%	95.7%	Combined

1 行目は雑音なし、周波数の変更なしの条件での試験結果 (99.4%)、2 行目は周波数変更を条件した場合の試験結果 (97.9%)、3 行目は低信号対雑音比を条件とした場合の試験結果 (97.6%)、4 行目はそれらを複合した条件での試験結果 (95.7%)

図 6 各種データで訓練した場合の試験結果

(出所)『防衛技術ジャーナル』2018 年 11 月号から引用¹⁹

(2) 携帯型戦術センサ

携帯型戦術センサは、監視システム解析向上 (Computational Leverage Against Surveillance Systems : CLASS) 計画の下、DARPA と BAE 社によって開発された装備品である。地上戦闘員にレーダや通信機の位置等の EMS に関わる状況を理解させることを目的としており、広帯域かつ変化する電波環境下において、対抗側の妨害装置や通信等の信号を迅速に探知してエミッタの位置特定を行う能力を保有している。同センサはコグニティブ EW ネットワーク (Cognitive Networked Electronic Warfare : CNEW) と名付けられたシステムと接続して、信号の学習、最適化、推定

¹⁷ Association of Old Crows. 世界 47 か国の 13,500 人余の産官学の会員から構成される電子戦技術の学会 (協会) で、本部は、米ワシントン DC。米国、欧州、豪州、日本など 20 か国に支部がある。

¹⁸ 防衛技術協会防衛用電子戦レーダ研究部会「2017 年 AOC 年次シンポジウムから見た電子戦の動向 (II)」『防衛技術ジャーナル』2018 年 11 月号、58-63 頁。

¹⁹ 電子戦研究部会「2017 年電子戦動向 (II)」59 頁。原図は、2017 年 AOC 年次総会における Mr.Marty Mosier の講演 “Innovations in Artificial Intelligence and Machine Learning”。

と検証を行うほか、地形や位置関係を解析して被妨害の影響を局減するための活用が可能とされている²⁰（図 7 参照）。



地上戦闘における電子戦に関わる状況認識向上のために開発された。

図 7 携帯型戦術センサ

（出所）米リサーチゲート HP から引用²¹

(3) CONCERTO

無人航空機（Unmanned Air Vehicle: UAV）を利用した電子戦システムの開発も進行している。電波関連任務統合装置（CONverged Collaborative Elements for RF Task Operation: CONCERTO）は、電子戦、通信・レーダ（センサ）の複数任務を担う多機能無人機システムである²²（図 8、図 9 参照）。

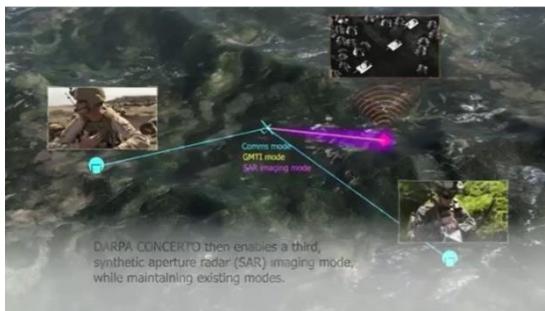
CONCERTO は、これまで個別に設計、調達されていた、通信、レーダ、電子戦の機器を一つの機器に集約して同等の能力を持たせるように設計が行われている。また、脅威レーダの変化に合わせて、迅速に改修できるように UAV 等のハードウェアから切り離れた開発が進められている²³。

²⁰ Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System.”

²¹ Ibid.

²² George I. Seffers, “Unleashing Radio Frequency Power,” *SIGNAL*, June 21, 2017, www.afcea.org/content/Article-unleashing-radio-frequency-power.

²³ John Keller, “DARPA hires three companies for blended RF system to reduce size and ease technology insertion aboard UAVs,” *Military Aerospace Electronics*, June 11, 2019, www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/14034822/blended-rf-system-uavs-technology-insertion, accessed November 27, 2019.



図中央付近の無人機（水色）が、対抗側のレーダ（赤紫）を監視すると同時に通信、戦闘支援の任務を担う。

図 8 CONCERTO の運用例

（出所）ユーチューブから引用²⁴



図 9 CONCERTO に使用されている無人機

（出所）軍通信電子機器協会 HP から引用²⁵

(4) Dash-X

現在、米海軍とノースロップグラマン（Northrop Grumman）社は、Remedy 計画との名称で電子戦機 EA-18G グラウラーとネットワークを構成する UAV で電子的な偵察の研究を行なっている。

同計画では、VX エアロスペース（VX Aerospace）社が開発した UAV・Dash-X を多数投入し、EA-18G に先行させて危険な空域における信号の収

²⁴ “CONCERTO Concept of Operations,” June 5, 2017, www.youtube.com/watch?v=kC6oDKIUA_.

²⁵ Seffers, “Unleashing Radio Frequency Power.”

集、SAM 等のプラットフォームの位置特定と妨害、データリンクによる情報伝達を可能とするシステムの構築を目指している。Dash-X は、地上からの発射によって各種試験を行っている段階にあるが、最終的には主翼下に専用の投下装置を設置した EA-18G または FA-18E/F から射出して、任務に供される。同 UAV は低速度で飛行し、また 10 時間以上の滞空が可能とされている²⁶（図 10 参照）。



左図のような形態で航空機に搭載され、滞空中は右図のように翼を広げる。

図 10 格納時の状態と飛行形態の Dash-X

（出所）C4ISR ネット HP から引用²⁷

3 次世代の電子戦の形態について

以上のように UAV、ネットワーク、AI による識別アルゴリズム等を用いて、従来とは違った形態の電子戦が模索されている現在、EMS に関して、その活動と認識を大幅に見直す時期に来ているといえよう。こうした手法や技術を用いる電子戦を次世代の形態と位置づけて、それに関する分析を以下に述べる。

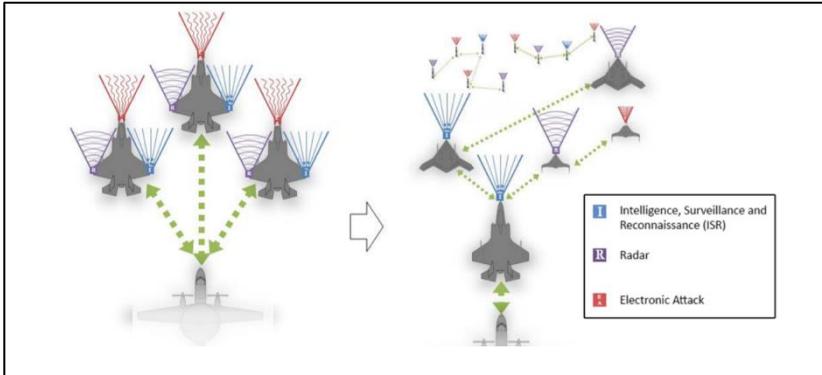
(1) ネットワークの電子戦・コグニティブ EW

図 11 は、プラットフォームに必要な機器を搭載した従来の電子戦から今後のネットワーク化された電子戦への変化を図示したものである。ネットワークを用いることの意義を考察すると、その利点を二つあげることができる。一つは、各センサの情報を統合することが可能となること。これにより、今まで断片に過ぎなかった判別不明のエミッタでも位置特定に関

²⁶ Grant Turnbull, “The Navy plans to test its new electronic warfare drones this fall,” C4ISRnet, February 19, 2019, www.c4isrnet.com/electronic-warfare/2019/02/19/the-navy-plans-to-test-its-new-electronic-warfare-drones-this-fall/.

²⁷ Ibid.

しての精度向上が期待できる。また、ネットワークに電子戦データの迅速な更新とその共有を可能とするシステムを並行して構築するならば、確度の高い識別も高速で実現できるようになるだろう。このネットワーク化にあたり、枢要な機能となるのが ML による識別技術である。



プラットフォーム毎に、パッシブ・ISR（青）、レーダ索敵（紫）、EA（赤）の機能を保有していたが、無人機を含めて機能を分散させることが予想される。

図 11 従来型の電子戦（左）と今後の電子戦（右）

（出所）米戦略予算評価センターHP から引用²⁸

BAE 社の技術ディレクター、トランキリィ（John Tranquilli）によると、コグニティブ EW は、専門家の知見とネットワーク化した監視システムの情報を併せて、妨害方法を決定するように設計されているという²⁹。コグニティブ EW において AI は、電子戦データとの照合、機器の作動といったプラットフォームに搭載された機器ごとに運用されていた行程を、ネットワークによって迅速かつ正確に実行することを期待されているのである。

ネットワーク化することのもう一つの利点は、（パッシブ）センサ、レーダ、ジャマー（Jammer）、シューター、ネットワーク統制の各機能を端末に割当てその役割を限定することで、端末を簡素化できることである。各機能を担う端末の簡素化は、複数の機能を担う有人プラットフォームに

²⁸ Bryan Clark and Jesse Sloman, “Winning in The Gray Zone,” CSBA, 2017, p. 38.

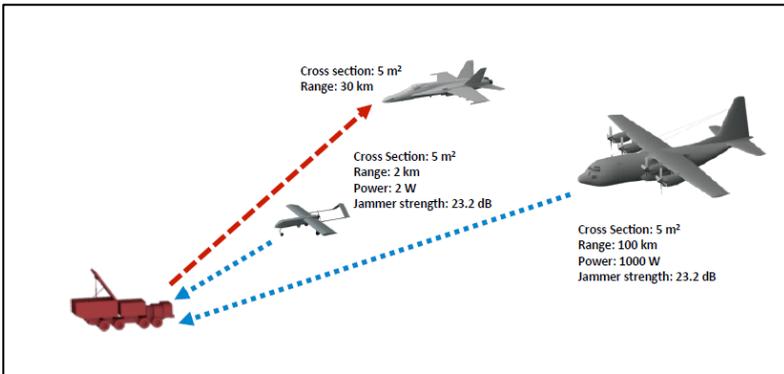
²⁹ Cole, “Cognitive electronic warfare.”

比べて開発や更新に関わる制約条件を少なくすることができる。つまり、状況が変化した際に対応するのまでの時間を大幅に圧縮することが見込めるのである³⁰。

(2) UAV 等による探知と妨害

ネットワーク化された電子戦の運用に UAV や無人航走体（Unmanned Surface Vehicles: USV）等（以下「UAV 等」という。）の活用は、必須であると考えられる。それは、指向性のあるアンテナや探知困難な LPI 化した信号を運用する高度かつ複雑な防空網に対抗するには、レーダ及び SAM の位置の掌握とそれに対する妨害が不可欠であり、その達成には、センサ及びジャマーを対象に接近させることが必要条件となるからだ。

UAV に搭載可能な出力に制限のある機器でも、適切な位置に機動することができれば、省電力で大型機と同等の効果を得るジャマーとして活用することができる（図 12 参照）。EA による妨害効果は、妨害信号の出力の大きさだけでなく、対象との距離や彼我の位置関係も影響する。SAM 等の対空火器を多数配置した対抗側の防空能力を EA によって減殺するのにセンサと火器の数に応じたジャマーを必要とすることを考えれば、UAV 等の利用は費用対効果の観点から正しい選択といえるだろう。



無人機による近接妨害 (Stand in Jam) と大型機による遠距離妨害 (Stand Off Jam) の効果が同程度であることを表している。

図 12 ジャマーのタイプと出力の比較

（出所）米戦略予算評価センターHP から引用³¹

³⁰ Clark and Sloman, “*Winning in The Gray Zone*,” p. 38.

³¹ Ibid., p. 35.

人的な損耗を許容するならばベトナム戦争時のウィーゼル（Wild Weasel）のようにセンサとシューターを兼ねる有人プラットフォームを選択して対抗することもあり得るが³²、ネットワーク化された UAV 等によってその機能を果たすことが可能と見込まれている今日において、有人プラットフォームに固執する理由は失われている。対抗側の支配する空域への侵入等の危険を伴う任務には、ISR と電子攻撃を担う UAV 等を用いたネットワークを構成しリスクの軽減を計るのが妥当な選択である。さらに UAV 等であれば体積を局限し、レーダ有効反射面積（Radar Cross Ratio: RCS）も小さくすることも可能であることから、被探知の確率も低くなり、企図を秘匿する上でも有利といえよう。

4 次世代の電子戦が与える効果とその拡大

陸・海・空のほとんどの作戦において、通信やレーダ等の EMS に関する活動が行われていることから、電子戦がネットワークと ML を駆使する新しい形態に移行することの影響を受けることが予想される。EMS の攻防における特質を鑑みて、各種作戦に与えるその可能性等について考察する。

(1) EMS の優位性と目標選定

ア EMS における優位性を目指して

EMS の攻防を簡潔に述べると EA 側は対抗側の使用する周波数と位置を探索し、ジャマーを的確な位置に占位させ妨害信号を出力し、対抗側のレーダによる探索と追尾、データリンクを含めた無線通信を妨害する。一方、対抗側は妨害信号や EA 側の EMS 活動を察知して、被妨害の影響を減ずるため運用周波数の移行、センサ（レーダ）とアンテナの移動等の対応をとる。EA 側と対抗側の EMS の行動は、時として立場を入れ替え、EMS に関する機能を失うか、その必要がなくなるまで反復して行われる。

こうした EMS の攻防において、その優位性を決定する要素がいくつか考えられる。それは、① センサとアンテナ、ジャマーの数と配置、② 使

³² 1965 年、米軍は北ベトナムの SAM の脅威に対処するため F-100F スーパーセイバーにレーダ探知警戒装置（Homing And Warning System: RHAWS）を搭載し、対レーダ・ミサイル AGM-45 シュライクによる敵防空網制圧（Suppression of Enemy Air Defence: SEAD）の任務を与えた。ロバート・F・ドール『ベトナム航空戦』難波皎訳、大日本絵画、1990 年、59-61 頁。

用可能な周波数の幅（チャンネルと帯域）、信号出力の大小、③ それらを運用する速度である。2015 年に米国の電子戦能力の不足を指摘した DSB の報告では、俊敏性を EMS における優位性回復の要件の一つとしてあげており³³、また、BAE 社技術開発マネージャー、ラピア (Randall Lapierre) は開発中の CONCERTO に関して、「防衛網への侵入、作戦の遂行には、俊敏性が重要である」と語っている³⁴。こうした見解に基づき電子戦の運用に速度の追求が不可欠との認識に立てば、信号識別に ML が導入されるのは必然の流れといえるだろう。

イ 電子状況認識 (ESA) による EMS の管理

作戦行動において、EMS における優位性は、対抗側のレーダ運用及び通信等の EMS に関する活動の拒否を意味する。言い換えるならば EMS の優位性の喪失によって、行動に大きな制限が課せられるのである。その EMS の優位性を確立するために、必要と考えられるのが、電子状況認識 (Electronic Situation Awareness: ESA) である³⁵。

ESA とは、適切な EA、あるいは電子防御 (Electronic Protection: EP) を行うため、空中及び地表 (水上) のプラットフォームの位置及び EMS の状況をリアルタイムに把握することである。

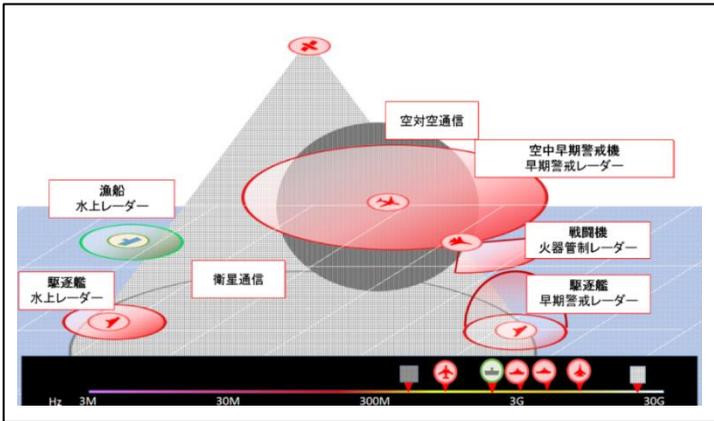
現在、図 13 のように ESA を共通作戦図 (Common Operational Picture: COP) に準えた形で表示できる技術が確立されているかは不明である。しかし、可視化された ESA を共有することができれば、作戦域全体において、全てのエミッタを友軍や対抗側、中立に分類したうえで EMS に関する活動の把握と理解が容易となる。こうした ESA に、ユーザー・フレンドリー³⁶なインターフェイス機能を充実させることで、各プラットフォームの EA や EP のみならず、EMS に関する活動全般をより迅速かつ的確に行うことが可能となり、妨害の実施や被妨害に対する回避、狭隘な周波数環境下における通信やレーダの運用を統制する周波数管理に資することができると考えられる。

³³ DSB, “21st Century Military Operation,” p. 5.

³⁴ Tammy Waitt, “DARPA Tech to Improve UAS Adaptability & Mission Efficiency,” American Security Today, June 5, 2017, americansecuritytoday.com/darpa-tech-improve-uas-adaptability-mission-efficiency/.

³⁵ Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System.”

³⁶ ユーザー・インターフェイスの設計思想のひとつで、コンピューターなどが使いやすい状態のこと。画面やアイコンの操作手順などを表示して入力しやすさを工夫し、コンピューターの操作をわかりやすくする方法がある。(ASCII.jp デジタル用語辞典による。 <http://yougo.ascii.jp/caltar/> ユーザーフレンドリー。)



プラットフォームの位置及び電波の使用状況（下部の黒の部分）を可視化することで、迅速な周波数運用が可能と見込まれる。

図 13 ESA のイメージ

（出所）筆者作成

米海軍が掲げるリアルタイム・スペクトラム作戦（Real Time Spectrum Operation: RTSO）³⁷の実現にあたっては、ESA と同様の機能は必須といえる。

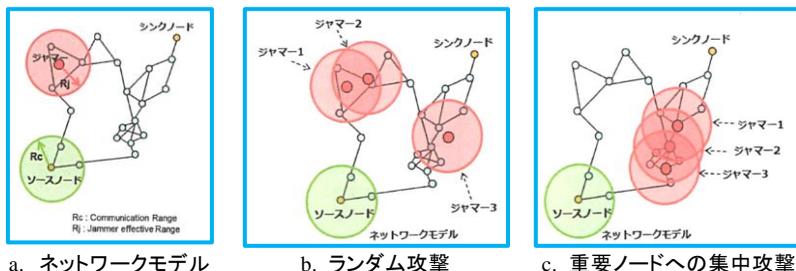
ウ ESA による重要ノードの解析と目標選定

こうした ESA は、対抗側の EMS に関する活動だけでなく、作戦能力そのものを低下させるにも有為と考えられる。

現在、図 14 のように通信ネットワークに対して、結節点となるノードを攻撃して、効率的にシステムを攻略する研究が進められている³⁸。ESA によって、対抗側の通信ネットワークを解析することができれば、こうした研究成果を用いて効率的な攻撃を選択することも可能になるだろう。通信ノードあるいは指揮通信システムの攻略に際し、アセット全般を統括する権限があるのであれば、手段として EA とサイバー、物理的な攻撃を組み合わせて、攻略をさらに効率的に行うことも期待することができる。

³⁷ ソフトウェアによる周波数干渉の回避、周波数の使用状況掌握、電磁波環境の観察による EMS の活動。Mark Johnson, “Real-Time Spectrum Operations,” National Spectrum Management Association 2019 Conference, 2019, nsma.org/conferences/nsma-presentations-2019/.

³⁸ 防衛技術協会防衛用電子戦レーダ研究部会「2016 年 AOC 年次シンポジウムから見た電子戦の動向（Ⅱ）」『防衛技術ジャーナル』2017 年 11 月号、48-49 頁。



ジャマーの妨害効果範囲（赤）がノードの通信範囲（緑）に比べて著しく狭い場合には、a. ネットワーク（左）に対する攻撃方法としては、b. ランダム攻撃（中）より c. 重要ノードへの集中攻撃（右）を選択した方が高い効果を得られる。

図 14 ネットワークに対する攻撃モデル

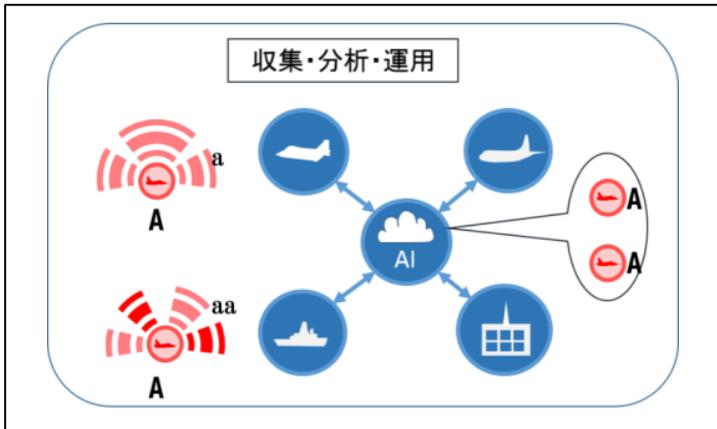
（出所）『防衛技術ジャーナル』から引用³⁹

(2) 関連機能の集約と見直し

ネットワークによるセンサ収集信号の統合と ML による識別を行うコグニティブ EW では、SIGINT (SIGnal INTelligent)、ESM や RWR のデータ管理など、電子戦の収集から分析、運用にいたる電子戦の一連のプロセスをほぼ同時並行的に行うことが可能と考えられている⁴⁰。現在行われている電子戦が、収集から運用に至るまで、日単位の時間を必要とするのに対して、コグニティブ EW では秒単位で運用に供することが期待されている（図 15 参照）。

³⁹ 防衛技術協会防衛用電子戦レーダ研究部会「2016 年 AOC 年次シンポジウムから見た電子戦の動向 (II)」、48-49 頁。原図は 2016 年 AOC 年次シンポジウムにおける Dr. Haruko Kawahigashi の講演“Effect of Jammer Location in Wireless Networks”。

⁴⁰ Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System.”



各センサで探知した信号は、ネットワークによって瞬時に共有される。信号「aa」が初度探知信号だとしても、ネットワークによってエミッタが「A」と識別される。

図 15 コグニティブ EW のイメージ

(出所) 筆者作成

電子戦データは、作戦を実行するプラットフォーム単体で利用されてきたが、コグニティブ EW では、データの共有を想定していることから、陸・海・空の関連部隊によるデータの共有や作戦指揮官あるいは司令部を含めてのネットワーク設計も考えられる。また、レーダ、光学、赤外線による収集情報に、収集信号の解析による ESA を加えることができるのであれば、目標選定の確実性が高まることが予想される。こうして、目標を柔軟に選択する態勢を整えることで、目標に対して効率的に最適のプラットフォームを指向することが可能となり、人員や器材の損失や危険を最小にとどめることができるようになるだろう。

このような効率的な作戦の実施に当たっては、C4（指揮・統制・通信・電算機）と ISR、作戦運用を担う部署間の連携が極めて重要になると考えられる。EMS における作戦活動の効果を拡大するにあたり、米国統合参謀本部内の第 2 部（情報部門）、第 3 部（作戦部門）、第 6 部（C4 部門）の組織的障壁が今後の課題という指摘がなされていることから⁴¹、今後の

⁴¹防衛技術協会防衛用電子戦・レーダ研究会「2016 年 AOC 第 53 回年次シンポジウム調査報告」2017 年 6 月、47 頁。

コグニティブ EW の進展に合わせて、陸・海・空の電子戦関連部隊の任務及び作戦指揮の権限の再構築も視野に入れる必要があると料する。

おわりに

ベトナム戦争時、プラットフォームに対する脅威の排除を主たる目的として RWR や CMD、ジャマーが導入され今日まで続く電子戦のシステムが形成されたが、電子技術の進歩等によりその効果を失った電子戦は大きな転換点を迎えている。次世代の電子戦を想定して様々な機器や形態が開発されているが、その中でも ML とネットワークを活用したコグニティブ EW が大きな役割を果たすものと予想する。

1998 年、当時アメリカ海軍中将であったセブロフスキー（Cebrowski）が提唱した「ネットワーク中心の戦い（Network Centric Warfare: NCW）」は、国や軍種を超えて普遍化し、ネットワーク化された戦闘力は、もはや目新しいものではなくなっている⁴²。今後は、NCW におけるセンサ、意思決定者、シューターの意味を理解した上で、戦闘力の維持と減殺を目的としたネットワークの攻防にも焦点があてられるだろう。そうした意味において EMS における彼我の活動の把握を目的としたコグニティブ EW は、電子戦やネットワークのみならず作戦全体に大きな影響を及ぼすと考えられる。ただし、解決すべき課題が多くあり、実現にはしばらくの時間を必要としている。

今後ネットワークの攻防は、EMS における活動の速度によって競われるものと推定される。EMS の優位性がミリ秒、あるいはそれ以下の単位で競われるようになった場合、電子戦データの更新サイクルが日単位である従来の電子戦機器では、対抗する余地はない。自衛隊が、陸・海・空の各領域において対抗する勢力と対峙し、その実力を発揮するには、EMS の活動によって保証された領域横断のネットワークを確立し、情報認識の共有と迅速な作戦実行の態勢が不可欠である。防衛省は、EMS の攻防が短時間で行われることを認識した上で、次世代の電子戦について明確な方向性を定める必要があると料する。

⁴² Arthur K. Cebrowski, “Network-Centric Warfare: Its Origin and Future,” January 1998, 以下の URL で閲覧可能。
pdfs.semanticscholar.org/1c8d/70a1abf6764cd308427e505124637dfd193a.pdf.

【研究ノート】

中国の ASBM の開発動向

— DF-21D を中心に —

山下 奈々

はじめに

現在、中国には複数の ASBM（Anti Ship Ballistic Missile：対艦弾道ミサイル）がある。従来の弾道ミサイルが地上の固定目標（基地や施設等）を攻撃するのに対し、ASBM は空母のような洋上を移動する目標を攻撃する。ASBM が空母を無力化するためには、広大な海洋における空母の位置を正確に把握し、空母機動群に属するイージス艦のミサイル防衛網を突破する必要がある。中国の ASBM は空母に命中することができるのかという疑問も散見されるが、現在、中国の ASBM の開発はどのような状況にあるのだろうか。

本稿は、公開情報に基づき中国の ASBM の開発動向について DF-21D を中心に分析する。まず、ASBM の歴史を探り、中国の ASBM の開発の経緯を踏まえ、開発状況等を把握する。また、ASBM と密接な関係にある ISR(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance: 情報収集・警戒監視・偵察)センサーの状況を整理し、最後に開発が継続中の ASBM の今後について推察する。

1 ASBM の歴史

DF-21D のように射程が 1,500km 以上の地上発射型 ASBM を保有するのは、現在、中国のみである。しかし、世界で最初に対艦攻撃用の弾道ミサイルの開発を手掛けたのはロシア（ソビエト連邦（当時））である。そのミサイルは SS-NX-13 と呼ばれ、最大射程が 900km 程度の核弾頭を搭載した潜水艦発射型弾道ミサイルである。1972 年から 1973 年の間に潜水艦から実際に模擬弾頭を搭載して発射試験が実施されている。11 回中 10 回が成功したとみなされ、最後の発射は標的艦に命中したと評価されている。しかし、1972 年の第 1 次戦略兵器制限交渉の影響やソ連海軍司令部が同ミサイルを外洋艦隊の建設計画を打ち消す存在であるとみなしたことによ

り、1973 年 11 月を最後に発射試験は行われなかった¹。以降、中国が DF-21D を開発し、配備するまで ASBM を配備した国はなかったのである。

2 中国の ASBM 開発の経緯

エリクソン (Andrew Erickson) によると、中国に ASBM の開発を余儀なくさせたのは、第 3 次台湾海峡危機 (1995～1996 年) である²。しかし、チャンドラセカール (S. Chandrashekar) らによると、「中国の台湾統一という目的が ASBM 開発計画の主要な推進力であると考えるのは、単純化しすぎである」として、「ASBM が海洋戦略と作戦に及ぼす影響は、沿岸紛争の範囲をはるかに超えている。中国が ASBM の配備に成功することは、西太平洋のみならず、世界的にも地政学的方程式に影響を与えるだろう。」と述べている³。それから約 9 年が経過した現在、中国は ASBM を多様化させ、その攻撃範囲を拡大し続けている⁴。チャンドラセカールらの主張は正鵠を射ていたようである。また、同氏らは ASBM のミサイル本体のみならず、ASBM の運用に不可欠な ISR センサーについての研究も重ねており、「中国は世界最強の宇宙大国としての米国の支配的な地位に挑戦できる唯一の国として台頭しつつある。」と述べている⁵。

¹ “SS-NX-13 [KY-9] R-27K, 4K18 SLBM (SS-NX-13),” Global Security.org, <https://www.globalsecurity.org/wmd/world/russia/ss-n-13.htm>.

² Andrew Erickson, *Chinese Anti-Ship Ballistic Missile (ASBM) Development: Drivers, Trajectories, and Strategic Implications*, The Jamestown Foundation, 2013, p. 5.

³ S. Chandrashekar, R. N. Ganesh, C. R. Raghunath, Rajaram Nagappa, N. Ramani and Lalitha Sundaresan, *China's Anti-Ship Ballistic Missile: Game Changer in the Pacific Ocean*, National Institute of Advanced Studies, November 2011, p. 29,

<http://isssp.in/wp-content/uploads/2013/01/2011-november-r-5-chinas-anti-ship-ballistic-missile-report2.pdf>.

⁴ 本稿では、「攻撃範囲」とは「ミサイル単体の射程に発射プラットフォームの進出距離を加えたものであり、伸縮するものである」と定義する。

⁵ S. Chandrashekar and N. Ramani, *China's Space Power & Military Strategy -The role of the Yaogan Satellites*, National Institute of Advanced Studies, July 2018, p. 26, http://isssp.in/wp-content/uploads/2018/07/Chinas-Space-Policy_July2018.pdf.

3 DF-21D

(1) DF-21Dの性能

DF-21Dは、全長約15m、直径約1.4m、射程約1,500km以上の2段の固体燃料推進方式のASBMである⁶。ミサイルの本体は、キャニスターに格納され、TEL (Transporter Erector Launcher: 輸送起立発射機) に搭載されている(図1)。また、弾頭部の鮮明な画像は確認できていない⁸。DF-21Dは、2010年に初めて配備されたが、当時、発射試験等の実施が確認されず、ISR能力がまだ不十分であると考えられた。同ミサイル



図1 DF-21DのTEL
(出所) China Analysis from Original Sources⁷

が洋上を移動する艦船への攻撃能力を実際に保有しているのかについて疑問視されていた⁹。しかし、同年5月、米海軍の上級司令官はDF-21Dは初期運用能力を獲得したという見解を示した¹⁰。このようなミサイルが、どのようにして艦船を攻撃するのかについて、前述した諸元や外観のみから推測するのは困難であるが、各種の情勢を分析すると、このミサイルが艦船を攻撃するための能力を示す特徴が見えてくる。

(2) MaRV (Maneuverable Reentry Vehicle: 終末機動弾頭)

DF-21Dによる対艦攻撃には、1,500kmという遠方を移動する目標の識別と位置の特定が必要である。このためには、ミサイル本体に搭載されているセンサーとは別にISRセンサーが必要であるが、それについては、第

⁶ Dr. Lee Willett, *Jane's Weapons : Strategic 2018-2019*, IHS Markit, p. 15.

⁷ Andrew Erickson, "China's DF-21D Anti-Ship Ballistic Missile (ASBM) - Officially Revealed at 3 September Parade - Complete Open Source Research Compendium," China Analysis from Original Sources, September 2015, <http://www.andrewe Erickson.com/2015/09/chinas-df-21d-anti-ship-ballistic-missile-asbm-officially-revealed-at-3-september-parade-complete-open-source-research-compendium/>.

⁸ R. Savelsberg, "The DF-21D antiship ballistic missile," *Guidance, Navigation, and Control and Co-located Conferences*, August 19-22, 2013, p. 2.

⁹ Andrew Erickson, *Chinese Anti-Ship Ballistic Missile (ASBM) Development: Drivers, Trajectories, and Strategic Implications*, p. 10.

¹⁰ S. Chandrashekar, et al., *China's Anti-Ship Ballistic Missile: Game Changer in the Pacific Ocean*, p. 1.

5 節において詳述する¹¹。ここで、目標が空母であると仮定しよう。DF-21D は ISR センサーが入手した空母の位置情報に基づいて発射された後、弾頭部に搭載された慣性航法システムやレーダーによって誘導される。弾着するまでに空母が移動する距離や必要とされる弾着の精度を考慮すると、ISR センサーにより入手した情報と慣性航法のみによる誘導では精度が不十分である。また、弾頭部がレーダーの誘導に追従するためには機動する必要がある。このように機動する弾頭は、新しいものではなく、MaRV (Maneuverable Reentry Vehicle: 終末機動弾頭) と呼ばれており、米国の中距離弾道ミサイル「パーシング II」に用いられていた¹²。

パーシング II は、全長約 11m、直径約 1m、射程 1,700km、2 段の固体燃料推進方式の中距離弾道ミサイルである¹⁴。CEP (Circular Error Probability: 半数必中界) は約 40m である¹⁵。パーシング II は 1983~1991 年の間、欧州に配備された後、中距離核戦力全廃条約によって全て廃棄された¹⁶。パーシング II (MaRV) は、終末段階においてレーダーの誘導に従い、機動して目標へ向かうため、命中精度が高まる¹⁷。

パーシング II の弾頭部には 4 枚の翼がある (図 2)¹⁸。翼は可動式であり、弾頭部の姿勢を制御し、弾頭部にかかる空気力を変化させ、飛翔方向を変えることができるため、弾頭部はレーダー誘導に従い、精密攻撃を行うことができる。MaRV は理論的にはほぼ直上からマッハ 6 で目標へ近接するた



図 2 パーシング II の外観 (出所) Missile Defense Project¹³ (点線、矢印、拡大図は筆者作成)

¹¹ R. Savelsberg, “The DF-21D antiship ballistic missile,” p. 1.

¹² R. Savelsberg, “The DF-21D antiship ballistic missile,” p. 1.

¹³ “MGM-31B Pershing II,” Missile Threat CSIS Missile Defense Project, <https://missilethreat.csis.org/missile/mgm-31b-pershing-2/>.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ U. S. Congress. House. Committee on Government Operations. Legislation and National Security Subcommittee, “Government secrecy after the Cold War: hearing before the Legislation and National Security Subcommittee of the Committee on Government Operations, House of Representatives, One Hundred Second Congress, second session,” March 18, 1992, p. 306.

CEP は命中確率そのものではなく命中率を表す尺度の 1 つである。

¹⁶ “MGM-31B Pershing II,” Missile Threat CSIS Missile Defense Project.

¹⁷ R. Savelsberg, “The DF-21D antiship ballistic missile,” p. 1.

¹⁸ 図からは 3 枚の翼しか確認できないが、裏側にもう 1 枚存在する。

め、終末段階における迎撃が困難である¹⁹。DF-21D の外観が不明であるにも関わらず、中国が MaRV の技術を保有していると考えられているのは、2009 年の中国の軍事パレードにおいて公開された短距離弾道ミサイル

DF-15B の弾頭部がパーシング II に類似していることによる²²。弾頭部にはレーダー誘導装置が搭載され、翼があり、機動の程度は不明だが MaRV のようである²³ (図 3)。

また、DF-21D と同様に MaRV とされる DF-21C (図 4) や DF-26 の弾頭部 (図 9)、DF-21D の派生型の可能性が示唆される ALBM

(Air-Launched Ballistic Missile) CH-AS-X-13 (図 18) にも類似した翼が確認できることから DF-21D は MaRV であると考えられる。



図 3 DF-15B の弾頭部
(出所) Air Power Australia²⁰
(点線は筆者作成)



図 4 DF-21C
(出所) East Pendulum²¹
(点線は筆者作成)

(3) シミュレーション結果の分析

セーブルスバーグ (R. Savelsberg)

のシミュレーション結果によれば、空母を識別して位置を特定した情報をミサイル部隊に速やかに送ることができるならば、DF-21D の弾頭部は機動により、空母の移動に十分、対応することができる²⁴。図 5 は DF-21D の軌道イメージであり、DF-21D は①入手した目標の初期位置の情報に基づき、②地上から発射され、③途中まで弾道軌道（放物線を描く軌道）をとり、終末段階に入る前に④スラスタによって姿勢を整え、⑤終末段階ではレーダーの誘導に従い、制御翼により機動し、⑥最終的な目標の位置に弾着する様子が分かる。

¹⁹ R. Savelsberg, “The DF-21D antiship ballistic missile,” p. 1.

²⁰ “PLA Ballistic Missiles DF-15D,” Air Power Australia, <https://www.ausairpower.net/APA-PLA-Ballistic-Missiles.html>.

²¹ Henri Kenhmann, “DF-21C: Quand l’Inde est dans la vise...,” East Pendulum, September 28, 2016, <http://www.eastpendulum.com/df-21c-linde-visee>.

²² R. Savelsberg, “The DF-21D antiship ballistic missile,” pp. 1-2.

²³ Dr. Lee Willett, *Jane’s Weapons : Strategic 2018-2019*, p. 13.

²⁴ R. Savelsberg, “The DF-21D antiship ballistic missile,” p. 18.

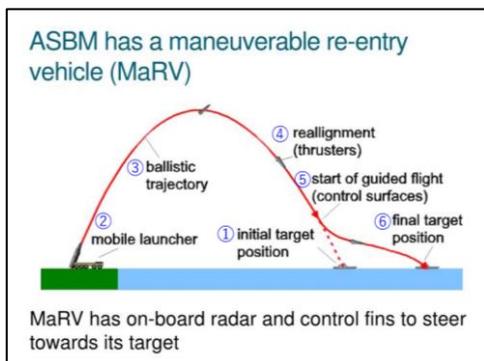


図 5 DF-21D の軌道イメージ

(出所) The DF-21D Antiship Ballistic Missile²⁵
 (番号は筆者作成)

また、DF-21D の弾頭部がパーシング II の MaRV に類似すると仮定して算出された弾頭重量は約 1,000kg、射程は約 1,800km であり、この射程は DF-21D の射程を 1,500km 以上と推定する米国の報告書と一致する²⁶。

さらに、シミュレーションの結果をかなり控えめな値であるとしながらも、終末誘導の開始を目標の約 50km 手前に設定する等の条件の下、空母が発射点から離隔する方向に移動する場合は 13.7km、近接する方向に移動する場合は 12.1km 以上を移動しなければ、DF-21D の弾頭部に搭載されたレーダー（以下、DF-21D のレーダー）に捕捉されるという²⁷。艦船が 12 分間に 30kt で航行した場合、移動距離は約 11km である。米国の空母のように動力が原子力であるならば、長時間、30kt 以上で航行できるので、DF-21D のレーダーの覆域の外に逃れることも不可能ではないかもしれない。しかし、その他の艦艇（ガスタービンまたはディーゼル）にとっては覆域外に逃れることが難しいものと考えられる。

さらに、DF-21D のレーダーが目標の 50km 手前から誘導を開始するのに十分な覆域をもつ等の条件を満たせば、空母は同ミサイルを回避することができないことになる²⁸。チャンドラセカールらは、航空機に搭載されるレーダーの覆域から DF-21D のレーダーの覆域を 300km 程度と見積も

²⁵ R. Savelsberg, “The DF-21D Antiship Ballistic Missile,” <https://www.slideserve.com/dilian/the-df-21-antiship-ballistic-missile>.

²⁶ Ibid., p. 5.

²⁷ Ibid., pp. 12-13.

²⁸ Ibid., p. 11.

っており、DF-21D のレーダーは十分な覆域をもつ可能性がある²⁹。

以上をまとめると、DF-21D は、弾道ミサイルであるがゆえの極超音速飛翔と MaRV による軌道の複雑化により迎撃と回避を困難にしている。

（4）子弾の可能性

チャンドラセカルらによると、DF-21D が空母を無力化するためには強化された飛行甲板を貫通し、深刻な損傷をもたらす通常弾頭が必要であるとしながらも、別の方法として子弾による攻撃を挙げている。DF-21D は最大で 1,000 個の子弾 (bomblets) を広範囲にわたって散開させると考えられている。子弾による攻撃は、空母の甲板上の航空機や電子機器、艦橋などの艦上構造物等への広範な損傷を与えるため、空母の本来の機能を発揮できなくさせる「ソフトキル」を達成できる³²。さらに、子弾は単弾頭に比べて精密攻撃を実施する際の精度要求を低減できるという利点もある。子弾によるソフトキルは、致命傷を与えず、空母を無力化できるため、貫通力の高い単弾頭よりも子弾の方が使用のしきい値は低いだらうと述べている³³。DF-21D の子弾 (bomblets) の画像を入手できないため、子弾 (bomblets) を搭載する米国の短距離弾道ミサイル ATACMS のイメージ (図 6) と子弾 (bomblets) の散開する様子 (図 7) を示す。

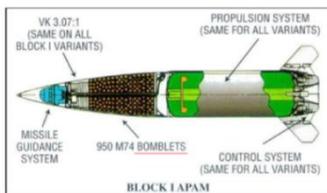


図 6 ATACMS の子弾 (bomblets)
(出所) Federal of American Science³⁰



図 7 散開中の子弾 (bomblets)
(出所) Military-Today.com³¹

²⁹ S. Chandrashekar, et al., *China's Anti-Ship Ballistic Missile Game Changer In The Pacific Ocean*, p. 20.

³⁰ “M39 Army Tactical Missile System (Army TACMS),” Federal of American Science, <https://fas.org/man/dod-101/sys/land/atacms.htm>.

³¹ Military-Today.com, *MGM-140 ATACMS Short-range ballistic missile*, <http://www.military-today.com/missiles/atacms.html>.

³² ここで用いられている「ソフトキル」とは、甲板上の航空機やマストやアンテナ、装甲車両などを「ソフトターゲット」とし、これらを破壊することにより、任務能力を無力化することである。S. Chandrashekar, et al., *China's Anti-Ship Ballistic Missile Game Changer In The Pacific Ocean*, pp. 27-28.

³³ *Ibid.*, pp. 17-18, 27.

4 多様化していく ASBM

DF-21D が 2010 年に配備されて以降、DF-26（2015 年公開、2018 年配備）や CM-401（2018 年公開）のような射程の異なる ASBM が開発され、その数は年々、増加傾向にある。また、ASBM の発射プラットフォームの多様化も図られている。

(1) DF-26

DF-26 は全長約 14m、直径約 1.4m、射程 3,000～4,000km の 2 段の固体燃料推進方式の準中距離弾道ミサイルである³⁵。

DF-21D と同様にキャニスターに格納されており、同ミサイルの外観から派生型を区別することは困難である（図 8）。



図 8 DF-26 の TEL
（出所）Missile Defense Project³⁴

DF-26 の対艦型は 2015 年の中国の軍事パレードにおいて初公開されたときの説明によると航行する中～大型の艦船への攻撃が可能である³⁶。同ミサイルは、2018 年 4 月に部隊へ正式に配備されており、2019 年 12 月には山東省青州市の南にある訓練場に多数の DF-26 の発射台の存在が確認されている³⁷。また、2019 年の台湾の国防報告書によれば、DF-26 には核弾頭搭載用（A 型）と対艦攻撃用（B 型）がある³⁸。DF-26 は、対地攻

³⁴ “Dong Feng-26 (DF-26),” Missile Threat CSIS Missile Defense Project, January 15, 2019, <https://missilethreat.csis.org/missile/dong-feng-26-df-26/>.

³⁵ Ibid.

³⁶ “Full Video: China’s Grand military parade celebration,” *CCTV English*, September 8, 2015,

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://m.youtube.com/watch%3Fv%3DJzrpCC7XmyE&ved=2ahUKEwi8-YT46ozmAhV9IDQIHXYuCBAQo7QBMA6BBAEAI&usg=AOvVaw2rOnxdOz1kc7Yb8O2IVQk6>.

³⁷ Hans Kristensen, “China’s New DF-26 Missile Shows Up At Base In Eastern China,” *Federation of American Scientist*, January 21, 2020, <https://fas.org/blogs/security/2020/01/df-26deployment/>; 『産経ニュース』2018 年 4 月 26 日。

³⁸ 『産経ニュース』2019 年 9 月 12 日。

撃が可能であるという初公開時の説明を考慮すれば、上記の2種類の他に通常弾頭を搭載した派生型が存在する。

中国中央テレビの軍事チャンネルは、米国が中距離核弾力全廃条約の履行の停止を公式に発表する約1週間前の2019年1月23日にDF-26の発射訓練の様子を初め

て公開した⁴⁰。図9は、その一部であり、ズームアップされたDF-26の弾頭部である。弾頭部の後端には、制御翼（黄色矢印）が確認できる。図中の説明によると、高い機動性により、空母のような移動目標への攻撃が容易である。

DF-26もDF-21Dと同様に高い機動性と極超音速飛翔によって迎撃の困難性を高めているようである。

(2) CM-401

中国航天科工集団は2018年11月の珠海航空ショーにおいて新型ASBMのCM-401を公開した（図10）。CM-401は小型であり、直径は最大約85cmと見積られており、

ロシアの短距離弾道ミサイルのイスカンデルM（Iskander M）に似ている（図11）。CM-401の最小射程は約16km、最大射程は約290kmを超える。終末段階における速度はマッハ4からマッハ6であり、一部、極超音速に達している⁴²。



図9 DF-26の弾頭部
（出所）South China Morning Post³⁹
（矢印、日本語は筆者作成）

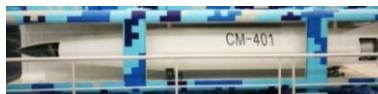


図10 CM-401の模型
（出所）Defence Blog⁴¹

³⁹ “Full Video : China’s Grand military parade celebration,” *CCTV English*.

⁴⁰ 『朝日新聞デジタル』2019年2月5日。

⁴¹ Dylan Malyasov, “China promotes new CM-401 supersonic ballistic anti-ship missile,” *Defence Blog*, November 5, 2018, <https://defence-blog.com/news/china-promotes-new-cm-401-supersonic-ballistic-anti-ship-missile.html>.

⁴² *Ibid.*

その軌道は DF-21D の軌道よりも複雑であり、終末段階において少なくとも 1 度は急激な弾頭部の引き起こし（プルアップ）を行い、不規則な飛翔をすると考えられている（図



図 11 イスカンデル M
（出所）Gettyimages.com⁴³

12)。このように不規則な飛翔中の動きは、「ポーポイズング」または「スキップグライド」と呼ばれている。このような弾頭部の動きは、軌道をさらに複雑にして進路を調整するためのみに使用されてきたが、現在では迎撃を困難にする役割も果たしているようだ。さらに展示されていた発射台（推定）は、1～2 つの目標を同時に攻撃できる能力を有しており、船上に設置できるという利点があるようだ。また、同ミサイルの最大射程は輸出のために意図的に最大射程を控えめにしている可能性が指摘されている⁴⁴。

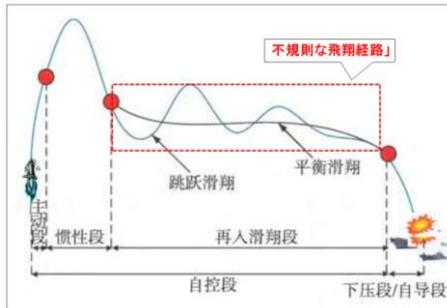


図 12 CM-401 の軌道イメージ
（出所）The War zone⁴⁵
（赤色点線及び日本語は筆者作成）

⁴³ Gettyimages.com, “Military hardware on display in Yekaterinburg as part of Army-2017 International Military-Technical Forum,” <https://www.gettyimages.co.jp/detail/%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B9%E5%86%99%E7%9C%9F/an-iskander-m-missile-system-during-a-demonstration-show-as-%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B9%E5%86%99%E7%9C%9F/838983718>.

⁴⁴ Joseph Trevithick, “China Reveals Shorts-Range Anti-Ship Ballistic Missile Designed To Dodge Enemy Defenses,” *The War zone*, November 5, 2018, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/24699/china-reveals-short-range-anti-sh-ship-ballistic-missile-designed-to-dodge-enemy-defenses>.

⁴⁵ Ibid.

(3) ASBM の艦船搭載の可能性

図 13 は、艦船から発射された ASBM が空母群らしき船団を攻撃している様子である。報道によると、元中国海軍少将が大学の講義に使用したスライドであり、講義では ASBM の海上配備を含む新たな海軍の兵器の壮かさやミサイルの多数攻撃により米国の海上防衛を圧倒する能力を大幅に向上させることについて述べられたという。同図に示すイメージのミサイルの射程は、DF-21D や DF-26 と同程度であると考えられているが軌道は CM-401 に類似している⁴⁶。仮に、中国がこのように複雑な軌道と DF-21D や DF-26 と同程度の射程を有する ASBM（仮に CM-401 改とする。）を開発中ならば、より技術を進展させていることになる。

ここで注目すべきは、艦船発射型の ASBM という点にある。このように艦船から発射される弾道ミサイルを ShLBM(Ship Launched Ballistic Missile: 艦船発射型弾道ミサイル)という⁴⁸。

ShLBM は以前から存在し、艦上から発射されるインドのダヌーシュ (Dhanush) 等がそれに相当する (図 14)。

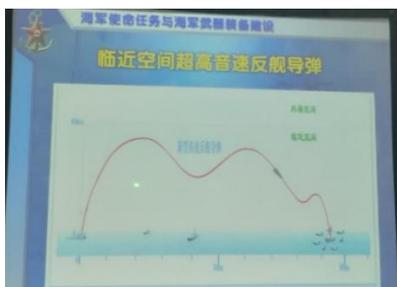


図 13 艦船発射型 ASBM のイメージ (出所) CIMSEC⁴⁷

今後、ASBM を発射するようになるとして注目されているのは、巡洋艦レンハイ (RENHAI) 級 (055 型) (以下、レンハイ) である⁴⁹。レンハイには、総数 112 の VLS (Vertical Launching System: 垂直発射装置) の

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ Richard D. Fisher, Jr., “The PLA Navy’s Plan for Dominance : Subs, Shipborne ASBMs, and Carrier Aviation,” *Center for International Maritime Security*, October 24, 2017, <https://cimsec.org/pla-navys-plan-dominance-subs-shipborne-asbms-carrier-aviation/34497>.

⁴⁸ Defense Intelligence Ballistic Missile Analysis Committee, *Ballistic And Cruise Missile Threat 2017*, p. 6. https://www.nasic.af.mil/Portals/19/images/Fact%20Sheet%20Images/2017%20Ballistic%20and%20Cruise%20Missile%20Threat_Final_small.pdf?ver=2017-07-21-083234-343.

⁴⁹ U.S. Office of the Secretary of Defense, *ANNUAL REPORT TO CONGRESS Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2018*, May 16, 2018, p. 66, <https://media.defense.gov/2018/Aug/16/2001955282/-1/-1/2018-CHINA-MILITARY-POWER-REPORT.PDF>.

セルがある（図 15）。個々のセルは正方形であり、直径は 0.85m である。全長（深さ）は 3 種類あり、最長 9m のものは米国のズムウォルト（Zumwalt）級の新型 VLS の Mk-57（直径：0.71m、全長：7.81m）よりも大きく、CM-401 改のような ASBM を格納できる可能性がある⁵⁰。



図 14 ダヌーシュ
（出所）Ballistic And Cruise
Missile Threat 2017⁵¹



図 15 レンハイ級巡洋艦
（出所）War is Boring⁵²

（4）ASBM の空中発射化

ASBM は ShLBM の他に ALBM も開発されているようだ。ALBM にも前例があり、世界初の ALBM は、米国が開発したスカイボルト（Skybolt）（図 16）である。スカイボルトは、開発中に失敗が相次いだ、開発中止が決定された当日である 1962 年 12 月 19 日に B-52 からの発射試験に成功した⁵³。その後、ロシアが 2018 年にキンジャル（Kinzhal）を公開するまで ALBM を開発し、配備する国はなかった（図 17）。近年になって、再びキンジャルや CH-AS-X-13 のような ALBM が開発されているのはなぜか。スカイボルトが核の残存性の向上を主な目的として開発されたのに対し、これらの ALBM は核弾頭を搭載できるが通常弾頭による運用を主な目的としているようにも考えられる。

⁵⁰ Rick Joe, “All You Need to Know About China’s New Stealth Destroyer,” *The Diplomat*, June 8, 2018, <https://thediplomat.com/2018/06/all-you-need-to-know-about-chinas-new-stealth-destroyer/>.

⁵¹ Defense Intelligence Ballistic Missile Analysis Committee, *Ballistic And Cruise Missile Threat 2017*, p. 6.

⁵² David Axe, “China’s Giant New Cruiser Matches America’s Naval Firepower,” *War Is Boring*, October 5, 2017, <https://warisboring.com/chinas-giant-new-cruiser-matches-americas-naval-firepower/>.

⁵³ GUNTER’S SPACE PAGE, “Skybolt(GAM-87/AGM-48A)ALBM,” https://space.skyrocket.de/doc_lau/skybolt.htm.

ALBM は、発射プラットフォームである戦闘機や爆撃機の速力を初速として利用し、射程を延伸することができるのである⁵⁵。これらの航空機は高速移動することによって発射点を柔軟に変更できる利点がある。例えば、キンジャルは THAAD（Terminal High Altitude Area Defense: 終末ミサイル防衛）に使用されるセクターレーダーに負担をかけることができる⁵⁶。

中国は、2つの新しい ALBM を発射プラットフォームの航空機と共に開発中であり、2025 年までにこれらを配備する可能性がある⁵⁸。これらの ALBM の 1 つが、米国の情報機関において CH-AS-X-13 と呼ばれるミサイルの可能性がある。

CH-AS-X-13 は、射程約 3,000km、2 段の固体燃料推進方式であり、2018 年までに戦略爆撃機 H-6K の改良型からの空中発射試験が施されている⁵⁹。図 18 は新型爆撃機 H-6N が CH-AS-X-13 を搭載したイメージ図である。



図 16 スカイボルトを搭載した B-52
(出所) Air Force Space & Missile Museum⁵⁴



図 17 キンジャルを搭載した MiG-31s
(出所) Russian Aviation⁵⁷

⁵⁴ Air Force Space & Missile Museum, “Skybolt,” <http://afspacemuseum.org/missiles/Skybolt/>.

⁵⁵ Ankit Panda, *Russia Releases Footage of New ‘Kinzhal’ Nuclear-Capable Air-Launched Missile*, *The Diplomat*, March 12, 2018.

⁵⁶ Ankit Panda, *Russia Releases Footage of New ‘Kinzhal’ Nuclear-Capable Air-Launched Missile*, *The Diplomat*, March 12, 2018.

⁵⁷ Russian Aviation, *Putin inspected MiG-31 fighter jet armed with hypersonic missile Kinzhal*, May 14, 2019, <https://www.ruaviation.com/news/2019/5/14/13497/>.

⁵⁸ U.S. Office of the Secretary of Defense, *ANNUAL REPORT TO CONGRESS Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2019*, May 2, 2019, p. 67, https://media.defense.gov/2019/May/02/2002127082/-1/-1/1/2019_CHINA_MILITARY_POWER_REPORT.pdf.

⁵⁹ Ankit Panda, “Revealed: China’s Nuclear-Capable Air-Launched Ballistic Missile,” *The Diplomat*, April 10, 2018, <https://thediplomat.com/2018/04/revealed-chinas-nuclear-capable-air-launched-ballistic-missile/>.

H-6N は、2019 年 10 月の中国の 70 周年の軍事パレードにおいて公開された。同機の機首には空中給油用のプローブがあり、吊下部は大型ミサイルや爆弾を搭載することができる構造になっている⁶¹。H-6N は、

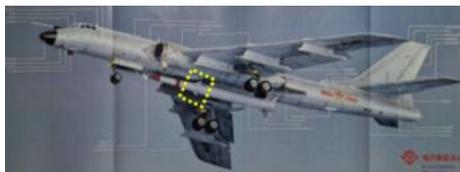


図 18 H-6N と CH-AS-X-13（可能性）
（出所）The National Interest⁶⁰
（黄色点線は筆者）

従来の H-6 シリーズに比べると航続距離が延伸されており、巡航ミサイル CJ-100 を搭載した場合の攻撃範囲は 6,000km 以上とされている⁶²。

CH-AS-X-13 を搭載した場合の攻撃範囲は不明であるが、同ミサイルの重量により H-6N の戦闘半径が短くならないとしても空中給油が可能であり、攻撃可能距離が延伸している可能性がある。また、同ミサイルが DF-21D の派生型ならば対艦攻撃も可能と考えられる。

（5）多様化する ASBM のもたらす影響

このように H-6N の航続距離が延伸している状況において、仮に、中国が南太平洋エリアに同機を運用するために 3,000m 級滑走路をもつ拠点を構築できた場合、攻撃可能距離はさらに東へと延伸する。また、前述のレンハイも洋上補給を繰り返せば、太平洋へ大きく進出することは可能であり、CM-401 改の攻撃可能範囲も延伸できる。よって、これらの ASBM は、ハワイ沖付近、即ち、第 3 列島線付近までを攻撃圏内に収める可能性が考えられる⁶³。現在、中国は南太平洋への関与を強めている。南シナ海の環礁に 3,000m 級滑走路を建設した実績があり、南太平洋エリアにおける米

⁶⁰ David Axe, “Navy Killer: Is This China’s Dangerous New Anti-Ship Missile?,” *The National Interest*, November 20, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/navy-killer-china%E2%80%99s-dangerous-new-anti-ship-missile-97812>.

⁶¹ Joseph Trevithick, “New Photos Point To Chinese Bomber Being Able To Carry Huge Anti-Ship Ballistic Missiles,” *The War Zone*, September 23, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29975/new-photos-point-to-chinese-bomber-being-able-to-carry-huge-anti-ship-ballistic-missiles>.

⁶² David Axe, *China’s H-6 Bombers Just Got Even Deadlier Against America’s Navy*, *National Interest*, November 19, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/chinas-h-6-bombers-just-got-even-deadlier-against-americans-navy-97607>.

⁶³ 第 3 列島線については以下を参考。海上自衛隊幹部学校戦略研究会コラム 142 『増えていく列島線と第 3 列島線について』、<http://www.mod.go.jp/msdf/navcol/SSG/topics-column/col-142.html>.

中を中心としたパワーバランスの変化次第では、図 21 に示すような状況が生起する可能性がある（図 19）。



図 19 拡大していく ASBM の攻撃範囲
(出所) Google map を元に筆者作成

5 ASBM の ISR センサー

最後に ASBM に空母の位置情報を提供する ISR センサーについて考察する。

通常、弾道ミサイルが地上の固定目標を攻撃する場合、ミサイルに目標の位置情報をプリセットすることや GPS による誘導が可能である。しかし、広大な太平洋を移動する空母への攻撃には、空母の概略の位置情報を入手後、目標が確実に空母であることを識別し、追尾することが必要である。空母の位置が分からなければ、発射方向を定めることもできない。つまり、DF-21D のセンサーが空母を捕捉できるように発射する必要があり、そのためには、ミサイル本体とは別に ISR センサーを必要とする。これらの ISR センサーの例として、人工衛星、UAV や OTH レーダーが挙げられる⁶⁴。これらのセンサーの特徴を比較し、ASBM の ISR の有効性について考察する。

(1) 人工衛星

中国が多数の人工衛星を運用する中で、特に「遥感コンステレーション」

⁶⁴ S. Chandrashekar and Soma Perumal, *China's Constellation of Yaogan Satellites & the Anti-Ship Ballistic Missile: May 2016 Update*, p. 2, <http://isspp.in/wp-content/upload/2016/05/Yaogan-and-ASBM-May-2016-Report.pdf>.

と呼ばれる衛星群は ASBM 用であると考えられてきた⁶⁵。遥感は 2006 年から打ち上げが開始され、2010 年には運用が始まった。DF-21D が初期運用能力を獲得した根拠にも挙げられている。遥感搭載するセンサーにより、エリント、SAR（Synthetic Aperture Radar: 合成開口レーダー）、光学画像の 3 種類に大別される。チャンドラセカールらによると、「中国は 2015 年に遥感 28 号、29 号を打ち上げ、2016 年に遥感 30 号を打ち上げており、公海上の空母機動群を恒常的に識別し、位置を特定し、追跡する能力を示している。」という⁶⁶。これらの打ち上げ時期が、DF-26 が初公開された 2015 年 10 月にも近いという点は注目すべきである。

ア エリント衛星

遥感のエリント衛星は、2 種類に分けられる。1 つ目は、地球の公転面に対して約 63.4° 傾斜した高度約 1,200km の軌道を 3 機の衛星が三角形を形成して、周回する衛星の集合（クラスター）である（図 20）。これらは、遥感 9 号（9A、9B、9C）（あるいは遥感 9 号 ABC）のように表記される。その覆域は 3,500km であり、空母の放出する電波を探知し、太平洋上の空母群の概略位置を提供する⁶⁸。

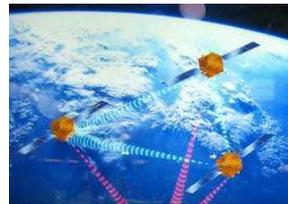


図 20 遥感 9 号 ABC(イメージ)
（出所）GUNTER'S
SPACEPAGE⁶⁷

なお、運用中のクラスターは、遥感 17 号 ABC、遥感 20 号 ABC、遥感 25 号 ABC、遥感 31 号 ABC と推定されている⁶⁹。

2 つ目は、新しいシアター・エリント・コンステレーションと呼ばれる遥感 30 号である。遥感 30 号は 3 機を 1 グループとして同時に打ち上げられるが、前述のエリント衛星のような三角形は形成しない⁷⁰。遥感 30 号は、

⁶⁵ S. Chandrashekar and N. Ramani, *China's Space Power & Military Strategy -The role of the Yaogan Satellites*, p. 2,

http://isspp.in/wp-content/uploads/2018/07/Chinas-Space-Policy_July2018.pdf.

⁶⁶ S. Chandrashekar and Soma Perumal, *China's Constellation of Yaogan Satellites & the Anti-Ship Ballistic Missile: May 2016 Update*, p. 2.

⁶⁷ GUNTER'S SPACE PAGE, *Yaogan 9, 16, 17, 20, 25, 31 (JB-8 1, 2, 3, 4, 5, 6)*, https://space.skyrocket.de/doc_sdat/Yaogan-9.htm.

⁶⁸ S. Chandrashekar and Soma Perumal, *China's Constellation of Yaogan Satellites & the Anti-Ship Ballistic Missile : May 2016 Update*, p. 2.

⁶⁹ *Ibid.*, p. 9.

⁷⁰ *Ibid.*, p. 4.

1 つの軌道面に 2 グループ（合計 6 機）の衛星が 60° 間隔で配置される⁷¹（図 21）。最終的には 6 グループまで打ち上げが予定されており、18 機体制で運用される計画である⁷³。2019 年 7 月 25 日には第 5 グループが打ち上げられている⁷⁴。

遥感 30 号は、1 つの軌道に 6 つの衛星が配置され、最終的に軌道の本数は 3 本になる。これらの軌道は地球の公転面に対して 35° の傾斜をとり、高度約 600km である。チャンドラセカールらによれば、遥感 30 号のシアター・エリント・コンステレーションの完成により、北緯 35° から南緯 35° の間にある陸地と海洋をほぼ完全に監視できる⁷⁵。

イ SAR 衛星

遥感コンステレーションには全天候下、昼夜を問わず、対象地域の画像を撮像できる SAR 衛星が含まれている。

現在、6 機の SAR 衛星（遥感 18 号、遥感 21 号、遥感 23 号、遥感 26 号、遥感 28 号、遥感 29 号）が運用中と推定されてい

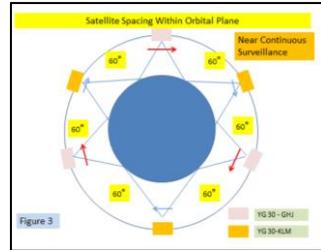


図 21 遥感 30 号の配置
（出所）China's Space Power & Military Strategy⁷²

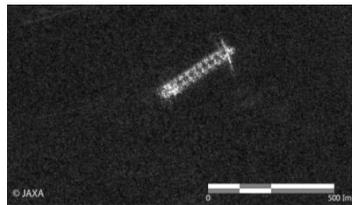


図 22 SAR 画像の一例
（出所）ALOS 解析研究プロジェクト⁷⁶

⁷¹ Ibid., pp. 15-17.

⁷² S. Chandrashekar et al., *China's Space Power & Military Strategy -The role of the Yaogan Satellites,*” p. 17.

⁷³ Ibid., p. 2.

⁷⁴ Rui C. Barbosa, Long March 2C lofts Yaogan -30 Groupe 05 satellites, NASA Spaceflight.com, July 25, 2019, <https://www.nasaspacesflight.com/2019/07/long-march-2c-yaogan-30-groupe-05-satellites/>.

⁷⁵ S. Chandrashekar et al., *China's Space Power & Military Strategy -The role of the Yaogan Satellites* p. 16.

⁷⁶ ALOS 解析研究プロジェクト EORC、JAXA「陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」(ALOS-2) 初期機能確認期間中の観測画像衛星について（その 5・船舶編）」、https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jpal2_check005_20141107.html.

る⁷⁷。遥感コンステレーションの SAR 衛星の解像度は不明であるため、ALOS-2（陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」）の SAR 画像を一例として示す（図 22）。これは、東京湾を航行するバラ積み船を分解能 3m の SAR で撮像したものである⁷⁸。

ウ 光学画像衛星

光学画像衛星は SAR のように曇天時や夜間の撮像はできないが SAR よりも画像は鮮明かつ判別が容易である。遥感の光学画像衛星には、中分解能（3～10m）と高分解能（1～3m）のセンサーがあり、中分解能は SAR の補完用であると考えられている。また、遥感（高分解能）と非常によく似た軌道をとる光学画像衛星 LKW(Ludikancha weixing) が確認されており遥感と同様のミッションを付与されている可能性がある⁸⁰。分解能 1m の光学画像衛星の撮像画像の例としてカザフスタンの光学衛星 KazEOSat-1 画像を示す（図 23）⁸¹。



図 23 光学画像の一例
（出所）eo Porta Directory⁷⁹

遥感コンステレーションにおいては、主に広域を監視するエリント衛星が空母の概略の位置を特定し、空母を撮像可能な位置にある SAR 衛星や光学画像衛星が識別をするという精緻な識別システムを構築している。中国は遥感や LKW 以外にも多数の民間用の高解像度 SAR と光学画像衛星を保有しており、これらは軍民両用とすることができる。これらを使用すれば、さらに追加の SAR および光学画像のセンサーの覆域を提供することができる⁸²。また、遥感により入手した情報は、リアルタイムに地上局にダウンリンクする必要があるが、データ中継衛星の天鏈 2 号 01 も存在し、不可能なことではないだろう⁸³。

⁷⁷ Ibid., p. 13-14.

⁷⁸ Ibid.

⁷⁹ eo Portal Directory, *KazEOSat-1*,

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/k/kazeosat-1>.

⁸⁰ S. Chandrashekar and N. Ramani, *China's Space Power & Military Strategy - The role of the Yaogan Satellites*, p. 3.

⁸¹ eo Portal Directory, *KazEOSat-1*.

⁸² S. Chandrashekar and N. Ramani, *China's Space Power & Military Strategy - The role of the Yaogan Satellites*, p. 13.

⁸³ "China successfully launches second generation data relay satellite," *The Economic Times*, April 1, 2019.

(2) UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

無人機については、以前より、ASBM の ISR センサーになる可能性が指摘されてきたが、具体的な機種については諸説あり、不明な点が多い。しかし、無人偵察機 WZ-8 は H-6N と同様に、2019 年 10 月のパレードにおいて初公開された（図 24）。H-6N から発射され、高高度を超音速で飛翔することが可能であり、DF-17 や DF-26 の ISR センサーとして機能すると報道された⁸⁵。DF-21D については触れられなかったが同ミサイルについても DF-17 の射程と同程度であり、運用できると考えられる⁸⁶。



図 24 無人偵察機 WZ-8
（出所）The Telegraph⁸⁴

(3) OTH (Over The Horizon) レーダー

中国は、OTH レーダーの開発に 1960 年代後半から取り組んでおり、同レーダーの開発を大きく進歩させている⁸⁷。OTH レーダーには、電離層からの後方散乱に依存し、覆域が 1,000～4,000km の OTH-B（スカイ・ウェブ・レーダー）と電波の届く範囲がはるかに狭い OTH-SW（地上波（表面波）レーダー）があり、まとめて OTH-R と呼ばれている⁸⁸。DF-21D や DF-26 の射程を考慮すると、覆域の広さから OTH-B レーダーは早期警戒能力があるとされており、ASBM の ISR センサーとして有用である。また、OTH レーダーの波長は非常に長く、ステルス機も検出することができる⁸⁹。

⁸⁴ “China’s 70th anniversary: Parades in Beijing, protest in Hong Kong - in pictures,” *The Telegraph*, October 1, 2019.

⁸⁵ Ibid.

⁸⁶ Malcolm Davis, “China’s Military IS Transforming Into a Powerhouse (And This Parade Proves It),” *The National Interest*, October 6, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/chinas-military-transforming-powerhouse-and-proves-it-85746>.

⁸⁷ S. Chandrashekar, et al., *China’s Anti-Ship Ballistic Missile Game Changer In The Pacific Ocean*, p. 7.

⁸⁸ “Project 2319 Tianbo [Sky Wave] Over-the-Horizon Backscatter Radar [OTH-B],” *GlobalSecurity.org*,

<https://www.globalsecurity.org/wmd/world/china/oth-b.htm>.

⁸⁹ Ryan Pickrell, *China says it has developed a new radar system that can spot*

しかし、OTH-B は、空間解像度が低く、電離層の変化の影響を受けやすいという欠点を持ち、空母を他の商業船舶等と区別することやレーダーにより入手した情報の補正が難しいとされており、ISR センサーとして運用するには他の ISR センサーとの連携が必須である⁹⁰。

おわりに

中国の ASBM はそのプラットホームも含めて開発が継続している。対処が困難であると考えられる ASBM への対策として、ミサイルが発射されるまでのキル・チェーンを破壊することが必要である。ISR センサーが空母等の目標を捜索する段階において電波管制や電子妨害により、位置情報の取得を困難にすることや ASBM の弾頭部のレーダーの誘導を欺瞞する方法がある。位置情報の伝達手段（ネットワーク）への妨害も 1 つの方法である。どれも簡単なことではない。さらに、これらに関しては新設が見込まれる航空自衛隊の宇宙作戦隊（仮称）や陸上自衛隊のイージスアショアを運用する部隊等と緊密な連携が必須である。これらは「平成 31 年度以降に係る防衛計画の大綱について」に示された新領域に関連することである。他に、米国の兵器分散コンセプト（Distributed Lethality）も 1 つの方策であるかもしれない。ASBM への対処が困難ならば、抑止手段も検討しなければならない。2019 年 8 月の中距離核戦力全廃条約の失効後、米国はミサイル発射実験を実施し、ロシアも中距離ミサイル開発を再開すると表明している⁹¹。

科学技術の進歩と情勢の変化は著しく、現在は第 4 次産業革命の真っただ中であるが、このような変化に適応し、数々の問題を乗り越えた先にこそ我が国の防衛に資する多次元統合防衛力を構築できるのである。

US stealth fighters at incredible distances, Business Insider June 12, 2019, <https://www.businessinsider.com/china-says-new-radar-can-spot-stealth-fighters-at-range-2019-6>.

⁹⁰ S. Chandrashekar, et al., *China's Anti-Ship Ballistic Missile Game Changer In The Pacific Ocean*, p. 9.

⁹¹ 『東京新聞』2019 年 8 月 22 日（夕刊）。

【特別寄稿】

衛星リモートセンシングの活用について

— 海洋安全保障応用を中心として —

リモートセンシング技術センター（RESTEC）技術参与
日本宇宙安全保障研究所（JISS）理事
渡辺 秀明

1 日本の衛星への取り組みについて

日本における宇宙関連技術は、政府、JAXA、メーカー、リモートセンシング技術センター等の産学官の関係者の努力もあり、世界的にも高度なレベルに達している。特に、東海大学の坂田教授^①は、我が国において 1960 年代から衛星によるリモートセンシング技術に注目され、1970 年代には自ら高度な研究を実施されると共に、高性能なリモートセンシング衛星の開発に関し、日本の官民の関係者を指導されて来られた。その結果、現在、日本は情報収集衛星をはじめとする高度な衛星技術に関し、JAXA を中心として官民が共に保有している状況である。

一方、リモートセンシングは、衛星からの地球観測を行うもので、気象観測、防災、防衛等の幅広い目的のために使用されるものであるが、日本においては公的機関及び関係会社の関係者間で衛星情報が共有され、商業利用を含む一般社会での活用は限定的であった。欧米では、米国では GEOINT と呼ばれる衛星リモートセンシングに関する国際会議^②が毎年開催されるとともに、アジアでもリモートセンシングの国際会議が 2017 年のマレーシア^③及びシンガポール^④に引き続き、2018 年 6 月にはインドのニューデリーでも開かれている^⑤、日本では未開催であり、諸外国に比べてこうした取組が遅れているように見受けられる。

今後、欧米を中心に世界的に商業衛星の活発な利用展開^⑥が予想される中、日本におけるリモートセンシングへの民間事業者の取り組みは、本格化する国際的な衛星ビジネスへ乗り遅れないようにする必要がある。そのためにも、日本の衛星技術に関する国際的なプロモーション活動を進め、世界的な規模でのビジネスを展開していく必要があると思われる。

最近低軌道上に多数の小型衛星を投入し、コンステレーションを形成することで、新しい衛星利用サービスを行うビジネスが世界的規模で急速に展開されつつある状況である。日本においても小型衛星の技術は、光学及び電波（SAR）について高性能なものが、民間のベンチャーをはじめとする関係者の努力によって、一部は既に実用化が進められている。我が国においても、民間の衛星コンステレーション事業を推進させ、衛星利用の低コスト化等を実現するとともに、官民の潜在的なユーザの掘り起こしを図ることは重要である。

この衛星コンステレーションについては、弾道ミサイルの早期警戒、海洋状況監視（MDA）等の安全保障への応用の可能性は、非常に大きいものと思われる。そのためには、安全保障上のニーズと衛星コンステレーション等宇宙利用が提供できるシーズを綿密に擦り合わせ、調整する必要がある。

また、衛星コンステレーション以外にも安全保障に役立つと思われる技術がある。例えば、我が国においては、JAXAが研究を進めているSLATS（つばめ）という新しい衛星技術のがある。これは、衛星にイオンエンジンを搭載し、低軌道でも長期間の観測期間を確保することが可能なものであり、今後の発展が期待できるものである。



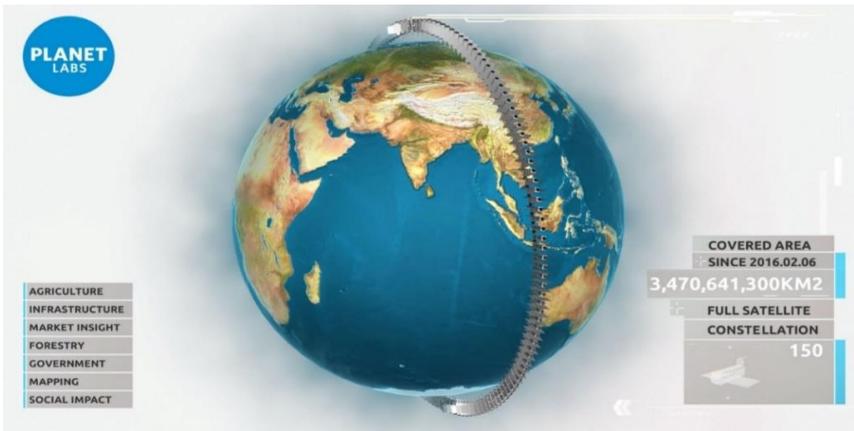
多数の小型衛星開発の例（米プラネット社）

static1.businessinsider.com/image/52b206366bb3f7c36eb3cc23-1200/planet-labs-calls-this-the-dove-nest-1-a-rack-filled-with-satellites.jpg



プラネット社の小型衛星

apogeospatial.com/wp-content/uploads/2016/05/Dove-Satellite-2016-.jpg



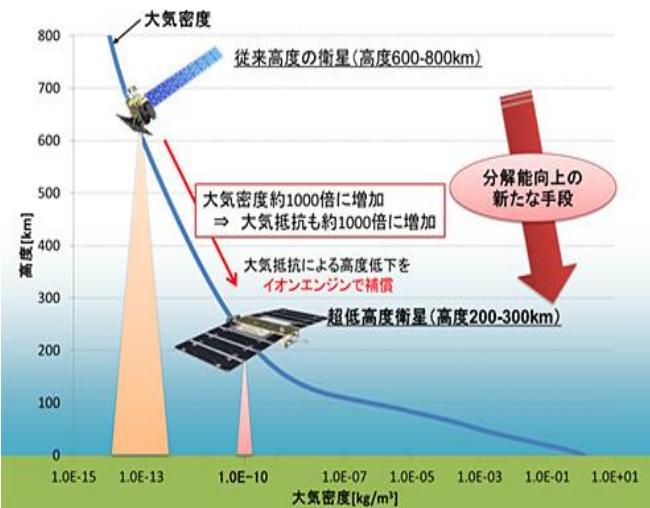
衛星コンステレーション（プラネット社）

<https://superuber.com/planet-labs-at-ted-global/>



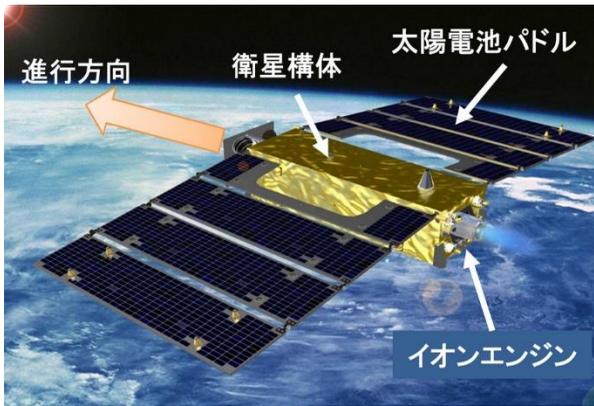
Part of the Paracel Islands group in the South China Sea, on February 15, 2017 and on March 6, 2017 © Planet Labs / Reuters（ロイター新聞社記事）

<https://www.reuters.com/article/us-southchinasea-china-paracels-idUSKBN16L2SS>



SLATSの特徴(JAXA ホームページ)

www.satnavi.jaxa.jp/project/slats/



SLATS 外観 www.satnavi.jaxa.jp/supports/project/slats_sasaki.html

2 中期防における宇宙に関する記述

我が国政府は、昨年 1 2 月に防衛計画の大綱及び中期防衛力整備計画を策定し、今後自衛隊が具備すべき能力構築に関し、宇宙・サイバー・電磁波領域は、大きな役割を果たすことが記述された。これによると、宇宙・サイバー・電磁波は従来の陸海空の戦闘領域と共に、今後の主要な戦闘領域になるという認識のもと、これまでの陸海空の戦闘領域に宇宙・サイバー電磁波の領域を含めた多次元統合防衛構想（クロスドメイン防衛構想）に基づく能力構築をすべきという方針／計画を新たに打ち出した。その上で、宇宙領域での能力構築に関しては、以下のように記述している。

（宇宙領域での能力構築）

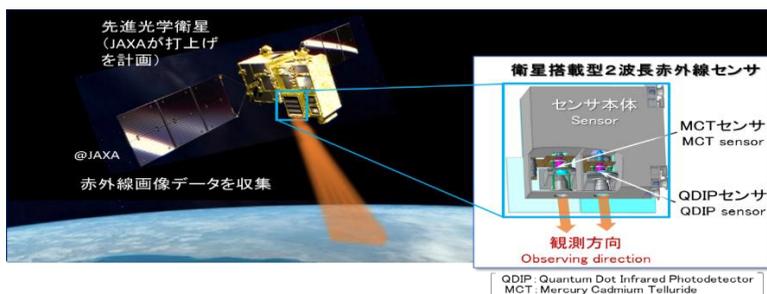
- ① 宇宙領域専門部隊の新編や宇宙状況監視（SSA）システムの整備を行うと共に、関係省庁と連携して、宇宙状況監視能力及その体制を構築する
- ② 情報収集、通信、測位等の各種能力を向上させるため、様々なセンサーを有する各種の人工衛星を活用した情報収集能力を引き続き充実
- ③ 高機能な X バンド衛星通信網の着実な整備により、指揮統制・情報通信能力を強化
- ④ 準天頂衛星を含む複数の測位衛星信号の受信や情報収集衛星（IGS）、超小型衛星を含む商用衛星等の利用

- ⑤ 我が国衛星の脆弱性への対応を検討・演練するための訓練用装置や我が国衛星に対する電磁妨害状況を把握する装置を新たに導入
- ⑥ 電磁波領域と連携して、相手方の指揮統制・情報通信を妨げる能力を構築
- ⑦ 民生技術を積極的に活用するとともに、宇宙航空研究開発機構（JAXA）等の関係機関との協力を推進。

3 我が国におけるリモートセンシング技術の取り組みと今後の課題

前項の中期防衛力整備計画のうち、「様々なセンサーを有する各種の人工衛星を活用した情報収集能力の強化」に関しては、我が国がこれまで培ってきたリモートセンシング技術を利用することが重要である。ただし、本件に関して、防衛、防災、対テロ（不審船対策を含む）等の安全保障の分野で、広域にわたる状況監視に関し大変有効な手段になることを如何に周知していくかは大きな課題である。

これまで、防衛省（自衛隊）の宇宙利用については、「宇宙の平和利用」の理念のもと、厳しく制限されてきたため、防衛省は他国と大きく異なり、宇宙関連装備は殆ど保有していない。また、これと同様に、長年の間、防衛省宇宙における運用（作戦）上のニーズについても検討できなかったため、ニーズに基づいて行われるべき研究開発も行われてこなかった。従って防衛宇宙分野については、殆ど防衛生産技術基盤なるものは存在してこなかった。近年なってようやく防衛装備庁がJAXAと研究協力を締結して、赤外線を利用した火山あるいはミサイル発射等の衛星宇宙からの警戒監視のための基礎的研究を開始したところである。



衛星搭載型 2 波長赤外線センサ
 (装備庁 <https://www.mod.go.jp/atla/center.html>)

一方、わが国は、447万平方キロメートルという世界第6位の広大な排他的経済水域を有する。この領域の監視は、わが国の安全保障にとって大変重要である。しかしながら、この領域全体を網羅的に監視することは、航空機及び艦船による監視手段のみでは、不十分であると思われる。従って、監視任務遂行にあたる自衛隊及び海上保安庁の隊員には、大きな負荷を継続的に強いることになるため、より効率的・効率的かつ信頼性のある監視手段が求められている。

今後、既存の地球観測衛星等の総合的な利用に加え、前述の商用の低軌道の小型衛星を含めた衛星監視は、広大な排他的経済水域を効率よく監視でき、海上保安庁及び自衛隊に大きな運用上の効果をもたらすものと思われる。

しかし、こうした衛星リモートセンシングの活用がどの程度、自衛隊の運用上にメリットをもたらすかについては、一定の期間をかけた客観的な評価が必要である。特に、陸海空自衛隊により、運用上の効果を検証することは多変重要であると思われる。具体的な言及はできないが、こうした将来的な衛星利用が如何に現実の部隊運用に役立つものであるかは、シミュレーションを用いれば、客観的に検証できるものと思われる。

他分野の防災、防犯、対テロ、農業分野の活用についてもシミュレーションによる同様の検証ができれば省庁横断的な GEOINT 活用の必要性を訴えることができると思われる。

4 小型衛星等の動向と安全保障への応用について

今後、欧米の特に民間部門が中心となって、多数の小型衛星のコンステレーションでの各種サービスが開始されると、地球上のあらゆる地域への通信及びリモートセンシングが可能となると思われる。中国も小型衛星のコンステレーションを実現すべく開発と実用化を推進しているようである。^④こうした、小型衛星利用は、安全保障を含む様々な業務をより効果的にサポートする重要なツールとなり、宇宙の利活用が一気に進むことが予測される。今後こうしたサービスを予定しているのは、欧米で製造される衛星が主体となっている。

一方、日本においても、小型衛星の分野で、光学については、アクセルスペースやキャノン電子、また SAR については九州のベンチャー（QPS 研究所）や内閣府総合科学技術会議が推進する革新的研究開発推進プログ

ラム（ImPACT）をベースに民間の会社として設立されたシンスpekティブ社による取り組みが行われている。

こうした小型衛星によるコンテレーションの取り組みにより、日本の宇宙利用の活性化が実現できれば、日本における安全保障分野を含む新たなユーザの掘り起こしや国際的な宇宙ビジネスに関する取り組みの幅が広がるものと期待できる。しかし、ユーザが明確になっていないこともあり、民間部門からの積極的な投資が十分行われておらず、先行きは不透明である。これとは異なり、欧米の民間部門が中心となって推進している小型衛星利用サービスは、民間企業間の競争による衛星利用の大幅なコストダウンによって、安価な衛星利用サービスが民間に広く利用されることが期待されている。これによって、民間による衛星利用ビジネスが活性化して経済発展効果が図られるとともに、安価に安全保障分野での活用も企図していると思われ、Dual-Use 技術の特性を上手に活用しようとする欧米政府の思惑に沿った方向で進んでいると考えられる。

こうした小型衛星、特に地球監視衛星は低軌道運用になるため、衛星の寿命が短い欠点があるが、JAXA の SLATS 技術によって、低軌道衛星であってもイオンエンジンの利用により長寿命化を図る技術が実証されている。これは世界に例のない技術であり、日本発の技術としてしっかり育てていく必要があると思われる。

超小型衛星の世界的な潮流を的確に捉え、官民が連携して、世界に遅れることなく日本の優れた技術を民間の衛星利用ビジネスあるいは、安全保障の分野で活用することは極めて重要である。

5 結び（将来の海洋安全保障への応用の可能性）

厳しさを増すわが国の安全保障環境を考えると、政府を中心に積極的に宇宙の利活用を検討すべき時が来たと思われる。既存衛星及び今後の小型衛星のコンステレーションにより取得される衛星画像の有効利用は、海洋の広域状況監視等の安全保障上の重要なツールとなると思われる。さらに我が国に限らず、南シナ海を含むインド太平洋地域の監視にも役立つものである。更に、気象観測、環境観測等にも役立ち、ビジネスにも貢献するものと思われる。

このためには、日本の宇宙技術の適切なプロモーションも重要である。政府については、リモートセンシング技術の安全保障への取り組みについて、関係省庁による検討を深めるとともに、このための予算を含め必要な

措置を講ずることが期待される。また、こうした安全保障に関するリモートセンシングへの取り組みについて、各省庁を統括する司令塔についての政府部内での検討も必要であると思われる。また、民間企業においても日本の産業界の新たなチャンスと捉え、実施へ向けて真摯に取り組むべきであると考えている。

6 謝辞

本稿をまとめるにあたり、RESTEC 理事長池田要様及び常務理事井上準二様並びに JISS（日本宇宙安全保障研究所）副理事長の西山淳一様には貴重なご助言等を頂きました。ここに感謝申し上げます。

7 参考

- (1) 坂田俊文 オーラルヒストリー「坂田俊文が語る日本でのリモートセンシングの活動とその裏表」 2015 年（一般財団法人リモートセンシング技術センター）
- (2) GEOINT SYMPOSIUM: <http://geoint2020.com/>
- (3) GEO SMART ASIA 2017: <https://geosmartasia.org/2017/>
- (4) 9th Annual Geospatial Defence and Intelligence APAC 2017: <https://www.eventfinda.sg/2017/9th-annual-geospatial-defence-and-intelligence-apac-2017/singapore/marina-bay>
- (5) GEOINTELLIGENCE ASIA 2018 : <https://geointelligenceasia.org/>
- (6) NewSpace Index: <https://www.newspace.im/>
- (7) 超低高度衛星技術試験機「つばめ」(SLATS): www.satnavi.jaxa.jp/project/slats/; China to build 300-satellite Hongyan communications constellation in low-Earth orbit, 2018; <https://gbtimes.com/china-to-build-300-satellite-hongyan-communications-constellation-in-low-earth-orbit>

【特別寄稿】

量子コンピュータ時代に対応する情報セキュリティ
— 量子雑音ストリーム暗号 Y-00 (Yuen2000 プロトコル) —

原澤 克嘉

はじめに

近年、世界各国で量子技術の研究開発に国家レベルでの巨額な投資がおこなわれ、急速な進化を遂げだしている。特に中国では、量子技術開発だけで年間 1 兆円を超える規模の研究投資がおこなわれている。

量子関連技術の中でも「量子コンピュータ」、「量子センサー」、「量子暗号」の分野においては、早期実現化に向けた開発競争が激化し、各国から様々な成果が論文やメディアで報告されている。その様な中でも特に量子コンピュータの開発が著しい進化を遂げ出している¹。

量子コンピュータの実用化は新材料や創薬開発などの化学計算や各種シミュレーション等、現在のスーパーコンピュータでは膨大な計算量(計算時間)を要する課題に対しては非常に有効であり期待されているが、同時に計算量を安全性の根拠としている現代暗号においては、解読の脅威にさらされることになる。

現代の情報化社会においてライフラインをコントロールする IoT や AI、経済活動の中心となるキャッシュレス決済や仮想通貨など情報通信の役割は非常に重要であり、安心・安全な国家を安定に維持するための生命線となる。そのため情報通信のインフラは、強靱なセキュリティで確実に守ることが必須になる。本稿では、量子技術の動向および将来の量子コンピュータ時代に向けた情報セキュリティを構築できる量子雑音ストリーム暗号の実用化について述べる。

1 量子技術の動向

現在、量子技術は、各国で盛んに研究されている。この量子技術を先行して実現することにより、国間関係における安全保障の面において、より

¹ Frank Arute et al. “Quantum supremacy using a programmable superconducting processor,” <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1666-5.pdf>.

優位な立場で展開することが可能になる。表1は、中国、米国、日本で実用化に向けて開発の進む主な量子技術について開発状況を比較したものである²。今までは米国、日本が先行して研究開発を行ってきたが、ここ数年で中国が驚異的な勢いで急成長してきている。

表1 主な量子技術の比較

	量子コンピュータ(ゲート型)	量子センシング(量子レーダー)	量子暗号(Y-00)
中国	①中国科学院、中国科学技術大学 12 Q-bit ②Alibaba、中国科学院 11 Q-bit クラウドサービス開始	①CETC (China Electronics Technology Group Corporation) 検出範囲:100km 検出技術:量子相関	①College of Communication Engineering, Army Engineering University of PLA ■ Y-00(強度変調:ISK) 2.5Gbps, 100km(古典雑音)
	トピックス ■量子鍵配送:QKD BB-84プロトコル 中国科学院、中国科学技術大学、etc. ①China/Austria間伝送 145kbps, 7600km(衛星移動きよりを含む)、128bitAES[インターネット]+QKD[衛星通信] ②北京/上海間伝送 1kbps, 2000km 32拠点中継 ■量子通信(テレポーテーション):青海省と雲南省間約1200km衛星通信 量子もつれ状態の光子ペア伝送		
米国	①IBM 53 Q-bit クラウドサービス開始 ②Google 53 Q-bit 量子超越性(?) ③Intel 49 Q-bit	①米国陸軍研究所 検出範囲 数m 検出技術 古典相関、量子相関	①ノースウェスタン大学(Y-00位相変調:PSK) 2.5Gbps, 200km ②MIT、オクラホマ大学 Y-00の応用研究を開始
日本	現在、日本国内では、量子ゲート型の開発期間はなく、量子アニーリングが主流になっている	①玉川大学 距離性能 数百m(計算値) 検出範囲 古典相関、量子相関	①日立(Y-00 ISK) 1.25Gbps~10Gbps、500km ②玉川大学(Y-00:PSK) 28Gbps、1000km ③東北大学(Y-00:直角位相振幅変調:QAM) 70Gbps、100km

² Frank Arute et al. "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor"; Feihu Xu, Xiongfeng Ma, Qiang Zhang, Hoi-Kwong Lo, and Jian-Wei Pan1, "Secure quantum key distribution with realistic devices" <https://arxiv.org/pdf/1903.09051.pdf>; Haisong Jiao, Tao Pu, Jilin Zheng, Hua Zhou, Lin Lu, Peng Xiang, Jiyong Zhao, and Weiwei Wang "Semi-quantum noise randomized data encryption based on an amplified spontaneous emission light source," <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-26-9-11587>; *MIT Technology Review* 「兵器としての「量子技術」 激化する米中間開発競争の行方」 <https://www.technologyreview.jp/s/123739/the-us-and-china-are-in-a-quantum-rms-race-that-will-transform-warfare/>; M. Nakazawa, M. Yoshida, T. Hirooka, and K. Kasai, "QAM quantum stream cipher using digital coherent optical transmission," *Opt. Express* Vol. 22, No. 4, pp. 4098-4107, February (2014); Ken Tanizawa and Fumio Futami, "Digital coherent PSK Y-00 quantum stream cipher with 217 randomized phase levels", Vol. 27, No. 2, 21 Jan 2019, *OPTICS EXPRESS* 1071; K.Harasawa, "New Quantum Cipher Optical Communication: Y-00", 2012, *Optical Communication*, Intech open, <https://www.intechopen.com/books/optical-communication/new-quantum-cipher-optical-communication-y-00>.

特に、量子コンピュータは、クラウド利用できる実用段階に入ってきており、多くの研究機関が新たな計算アルゴリズムの開発やアプリケーションの開発に利用を始めている。このような計算能力が高い量子コンピュータ時代における情報通信のセキュリティ(特に暗号)を改めて考えなおし、先行して対策していくことが重要である。

2 量子コンピュータ時代の暗号

(1) 現代暗号

数学的根拠に基づく計算量を安全性の根拠にする現代暗号は、現在、最高性能のスーパーコンピュータを用いたとしても暗号解読には、膨大な計算量を必要とするため、天文学的な時間が必要となる。しかし、この計算量は、コンピュータの性能に大きく依存する。日本の CRYPTREC (Cryptography Research and Evaluation Committees) からは、スーパーコンピュータの性能の進化と、現代暗号に対する脅威が報告されている³。

この報告では、一般的に公開鍵暗号として利用されている RSA (1024 ビット) 暗号は、現存のスーパーコンピュータである「京」でも 1 年以内に解読可能である。このため暗号の安全性を強化する必要があり、より複雑な (2048 ビット等) RSA へ移行されてきている。このような安全性強化は、進化し続けるスーパーコンピュータの進化の状況に合わせてアップデート継続しなければならない。更に量子コンピュータ (超電導量子ビット型やイオントラップ型) の出現と、その実用化により、予測を遥かに超えた計算能力の進化が始まろうとしている。

量子コンピュータの性能予測については、様々な意見があるが、現在の開発状況から最速の進化予測 (ビット数が 4 年で 14 倍の予想) をすると、ショアのアルゴリズムを用いることで因数分解計算が容易になり RSA 暗号は、2030 年代に容易に解読されるようになり、2040 年代には、Grover のアルゴリズム (総当たり攻撃に適したアルゴリズム) を使うことにより、現在一般的に利用されている共通鍵暗号である AES の解読時間も大幅に短縮される。また新たに最適なアルゴリズムが開発されると時間軸は大幅に縮まることになる⁴。

³ “CRYPTREC Report 2018,”

<https://www.cryptrec.go.jp/report/cryptrec-rp-2000-2018.pdf>

⁴ “イノベーションジャパン 2019 JST 事業セミナー” 講演資料より
<https://www.jst.go.jp/crds/sympo/20190829/pdf/02.pdf>.

そのため、現在では、耐量子コンピュータ暗号として数学的により複雑な暗号方式として格子暗号や多変数多項式暗号などの研究が盛んに行われてきている。しかし、暗号化、復号化を行うために、より複雑な計算処理が必要となるため、公開鍵暗号や認証に期待ができるが、AES やストリーム暗号の代替としては非常に困難である。しかし、前述のように暗号化、復号化に必要な計算量が大きいため、高速・大容量のリアルタイムに伝送に適応するのは困難である。

(2) 量子暗号

ア [BB84]

一般的に量子暗号と言うと、光の最小単位である単一光子の伝送を利用し、鍵の共有化をおこなう Quantum Key Distribution (QKD) を想像する人が多い。この方式は、情報理論的安全性が証明されている暗号プロトコルである「One Time Pad (OTP)」を実現するための条件の一つ(絶対的に安全な鍵の配送)を実行するための手段である。OTP を実現する条件には、「鍵の長さ \geq データの長さ」、「鍵は 1 回ごとに使い捨てる」、「同じ鍵は繰り返し使用ができない」、「絶対に安全な鍵の配送」などがある。この中で、「絶対に安全な鍵の配送」に QKD を用いて、OTP を実現する技術(この暗号プロトコルを BB84 と呼ばれている)である。しかし、単一光子伝送では、平均送信パワーが光子 1 個の最小単位なので、伝送路(光ファイバ)損失の影響等を受け、確率的に受信端に到達できる光子の数は非常に少なくなる。このため伝送速度(伝送容量)と伝送距離が大きく制限されてしまい、長距離化、大容量化が進む現在の情報通信ネットワークへの直接的な適用は不向きになる。

BB84 を大容量伝送に適用する考え方としては、中国で実験されているように、AES (128 ビット)の共通鍵の共有に BB84 を組合せ、ビデオ会議を実施している例がある。しかし、これは OTP を実現するわけではなく、単に安全な鍵配送を実現しているだけにすぎないため、データ伝送の安全性は従来通りの AES の計算量で決定する。この伝送は中国科学アカデミー(北京)とオーストリア科学アカデミー(ウィーン)の間の約 7600km の距離を人口衛星の利用で実施されたが、QKD は地上の拠点と衛星間のアップ・ダウンの空間通信で使用し、中国-オーストリア間の移動は人口衛星で行われている⁵。

⁵ “Real-world intercontinental quantum communications enabled by the Micius satellite,” psy. org,

鍵の伝送速度は 128bps であり、総量が「約 560 キロビット」の鍵伝送を行っている。その時のビデオ会議のための伝送されたデータの総容量は「約 2 ギガバイト」であり OTP の条件である「鍵の長さ(量) \geq データの長さ(量)」は満たせていないことになる。

また、同じく中国では、北京—上海間で約 2000km の伝送試験を実施している⁶。

この伝送区間には 32 の中継拠点があり、各拠点では復号化/暗号化を繰り返し、従属的に繋ぎ合わせ距離を稼いでいる。鍵の伝送速度は 1kbps であり、OTP を実施しているとすれば暗号化されたデータ伝送速度は 1kbps 以下となる(ちなみに ISDN での電話 1 回線の伝送速度は 64kbps である)。

イ [Y-00]

Y-00 暗号は、唯一物理レイヤーを直接守れるセキュリティ技術であり、共通鍵暗号であるが、高速・大容量のリアルタイム伝送に対応できる量子雑音効果を利用したストリーム暗号である⁷。

表 2 に ISO (International Organization for Standardization) の通信ネットワークを 7 階層に分割した OSI (Open Systems Interconnection model standardized) 参照モデルを示す。

ネットワークを構築する 7 つのレイヤーの機能の内、レイヤー 1 の物理層だけ、現在、対応できるセキュリティ技術がない。今までは、上位レイヤーのセキュリティ技術だけでも何とか安全性を保つことができたが、光通信の周辺技術の進歩と共に、コンピュータ性能も進化して、特別な技術や設備がなくとも誰でも簡単に光ファイバーからの盗聴を行うことが可能になった(後節参照)。情報戦が重要視される現在の安全保障活動において、

<https://phys.org/news/2018-01-real-world-intercontinental-quantum-enabled-micrus.html>.

⁶ J. Qiu, "Quantum communications leap out of the lab," *Nature* 508(7497), 441–442 (2014).

⁷ O. Hirota, M. Sohma, M. Fuse, and K. Kato, "Quantum stream cipher by Yuen 2000 protocol: Design and experiment by intensity modulation scheme," *Phys. Rev. A*, Vol. 72, p. 022335, 2005; K. Harasawa, O. Hirota, K. Yamashita, M. Honda, S. Akutsu, T. Hosoi, Y. Doi, K. Ohhata, T. Katayama, T. Shimizu, "Consideration of the Implementation Circuit of Randomization for Physical Cipher by Yuen 2000 protocol", *The Transactions of the IEICE C*, Vol. J91-C, No8, p1-10, 2008; K. Harasawa, O. Hirota, K. Yamashita, M. Honda, K. Ohhata, S. Akutsu, and Y. Doi, "Quantum encryption communication over a 192 Km, 2.5 Gbit/sec line with optical transceivers employing Yuen-2000 protocol based intensity modulation", *IEEE/OEA. Journal of Light Wave Technology*, vol-29, No. 3, p316-323, 2011.

情報ネットワークのレイヤー 1 を直接守ることは非常に重要であり、Y-00 は、レイヤー 1 を守ることのできる唯一のセキュリティ技術と考えている。

表 2 国際標準化機構（ISO）の OSI 参照モデルの 7 階層

Layer	通信機能階層	セキュリティ技術
L7	アプリケーション層	XML, S/MIME(e-mail), PGP, SET(credit card), SSH(remote)
L6	プレゼンテーション層	
L5	セッション層	
L4	トランスポート層	SSL/TLS, Socks
L3	ネットワーク層	IPSec
L2	データリンク層	PPTP, WEP, AES
L1	物理層（伝送路）	無 ⇒ (Y-00)

図 1 に示すように、IoT やクラウドコンピューティングが進む現在、ユーザーアプリケーションでのデータは増え、光通信、無線通信は、それぞれの技術開発に伴い通信速度も増大している。レイヤー 1 のセキュリティ技術を、通信ネットワークに適用するためには、光通信やモバイル無線通信などの技術的な進化や利用されるアプリケーションを無視することはできず、高速・大容量伝送およびリアルタイム伝送への対応が必須である。特に海に囲まれた日本においては、離島間や国間の伝送には、海底ケーブルを利用した長距伝送も不可欠であり、長距離化への対応も必須となる。

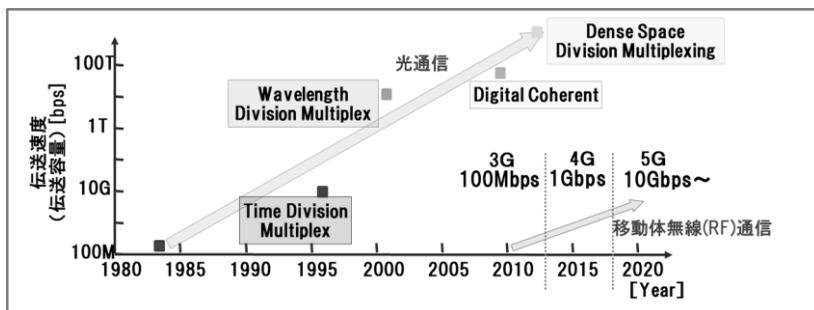


図 1 通信の大容量化

3 光ファイバーの盗聴

「自社のネットワークは、インターネットとは切り離れたクローズド環境であり、専用線を使っているから安全」という考えがある。しかし拠点や施設が特定できると、そこへ出入りする専用の通信線路は比較的簡単に見つけることができる。

現在は、様々なサイバーセキュリティ対策が開発されており、クラウド内やデータセンタ内を強固に守ることが可能になってきている。入退管理システム等で拠点内を強固に守ることはできるが、データがその守られた拠点から一歩外へ出ると、全伝送線路を設備的に守り抜くことは経済的に不可能であり現実的でない。盗聴ターゲットのビルの周辺の通信マンホールや、遠隔地などのターゲット施設から出てくる専用線は、簡単に特定しやすく、通信事業者の保守員やケーブルテレビの工事者装うことで、疑われることなく誰でも簡単に伝送路にアクセスすることが可能になる(図2)。更に量子コンピュータのクラウド利用が始まれば、誰でも簡単に高度な解析計算も可能になる。

次に光ファイバーの脆弱性について説明する。未だに「光ファイバーは盗聴できない」と言う光ファイバー安全神話を信じている人も多い。光ファイバーのタッピングは非常に簡単である。図3のように光ファイバーは、コア部とクラッド部を屈折率の違う石英ガラスで構成している。光信号はその境界面にできるミラー効果を利用し、コア内を全反射しながら進行していく。光ファイバーを鋭角に曲げると、屈折率と光の入射角の関係で一部の光信号がクラッドを通過し、光ファイバーの外へ漏れ出す。この原理を利用して光信号を抜取ることができる光ファイバー検査治具がインターネットの通信販売で（\$ 1000 程度）されており、誰でも入手することが可能である。

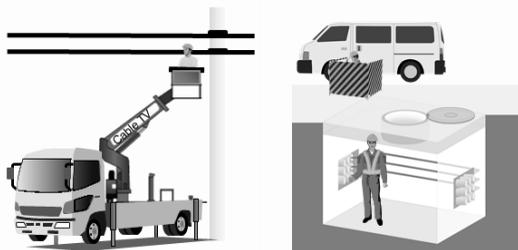


図2 光ファイバーのタッピング（1）

実際の盗聴は、光ファイバーの被覆をカッターで剥き、芯線を露出させ、曲げることで漏れ出した光をレンズで集光し取り出す（治具を使えば光ファイバーを挟むだけで良い）。この抜き出した光を光ファイバーアンプで増幅することにより伝送中の光信号と同様な信号を生成することができる。これには特別な技術はいらず、誰でも簡単に行える。抜取ったデータは、量子コンピュータのクラウド利用で解読可能になる。



図 3 光ファイバーのタッピング（2）

4 Y-00 の概要

(1) 量子雑音と信号検出

前述のように現在光ファイバーで伝送するデータは、殆どの場合レイヤー 2 以上の階層で暗号（現在暗号）化されている。現代暗号で暗号化されたデータは数学的に複雑な処理を施されているが、光ファイバーに流れる信号は、“1”、“0”のデジタル（バイナリ）信号である。前節で説明したように、盗聴者は簡単にこの“1”、“0”の暗号化された信号を正確に抜き盗ることができ、後は計算機の処理能力次第で解読できるため、計算処理能力の非常に高い量子コンピュータの実用化は脅威となる。

Y-00 の暗号化は、光の特殊な多値変調方式と量子雑音を利用した秘匿効果を利用することで“1”、“0”のデジタル信号ではない多値変調信号を生成し、盗聴者には物理的な量子雑音効果（不確定性原理）を顕著に与え完全ランダムに誤ったデータしか取得することができないようにする新たな暗号方式である。基本的に、規則性のないランダムに誤るエラーを持ったデータを用いた計算で正しい解を導き出すことはできない。

一方、正規の受信者は共通鍵の情報により量子雑音の影響を受けることなく正しいバイナリ情報（“1”、“0”）を直接導き出すことができる。図 4 を用いてこの仕組みを説明する。この図は、光ファイバー内の伝送信号を 1 ビットごとに時間軸（X 軸）をずらして波形を重ね合わせたもの（アイパターン）である。

信号が 2 値の場合、“1”、“0”は、視覚的にもはっきりと判別でき、そのスペースの中心に閾値を置くことで、受信者は“1”、“0”の信号識別が可能になる。波形中心部のスペースが広いほど受信側で正しく信号を識別できる。図のように多値数を 4 値、16 値と増やしていくと、スペースは狭くなり、受信側で多値レベルの識別誤り発生確率は高くなる。多値数が 4000 値にもなると、各々のレベルの持つ雑音が隣接する複数のレベル値まで覆うようになり、正しいレベルの識別は不可能になる。ここで影響する雑音が量子雑音（実際には古典の影響も付加され安全性は、より強化されるが設計上は量子雑音の効果のみで安全性を考える）であり、Y-00 の暗号化には、この量子雑音効果を利用する。盗聴者は、この雑音を量子力学の理論上除去することができないため、その影響を直接受けることになる⁸。

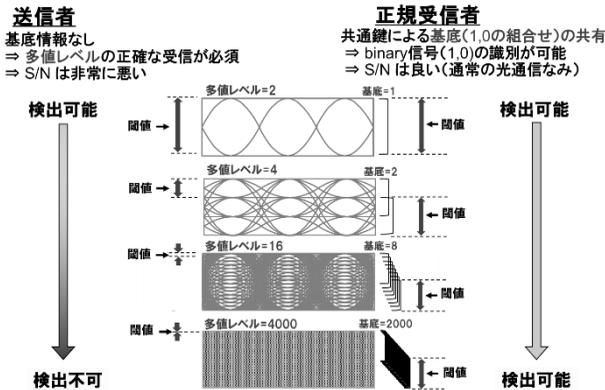


図 4 Y-00 の量子雑音効果(強度変調)-

(2) 基本的な Y-00 の暗号化、復号化の考え方

Y-00 の送信者は、多値の信号レベル配置の中に基底（2 値の組合せ）を論理的に埋め込み、共通（秘密）鍵で 1 ビットごとに基底を選択し、そこ

⁸ K. Harasawa, O. Hirota, K. Yamashita, M. Honda, S. Akutsu, T. Hosoi, Y. Doi, K. Ohhata, T. Katayama, T. Shimizu, “Consideration of the Implementation Circuit of Randomization for Physical Cipher by Yuen 2000 protocol”, *The Transactions of the IEICE C*, Vol. J91-C, No8, p1-10, 2008; K. Harasawa, O. Hirota, K. Yamashita, M. Honda, K. Ohhata, S. Akutsu, and Y. Doi, “Quantum encryption communication over a 192 Km, 2.5 Gbit/sec line with optical transceivers employing Yuen-2000 protocol based intensity modulation”, *IEEE/OSA. Journal of Light Wave Technology*, vol-29, No. 3, p316-323, 2011.

に“1”または“0”の情報を載せた信号レベルを伝送する。送受信者間では共通鍵を利用することにより選択している基底を共有できている。

受信者は、送られてくる基底がわかっているので“1”、“0”の中心レベルに信号の識別のため閾値を移動させることで量子雑音の影響を受けることなくバイナリ検出が可能になる。この基底の選択は、送受信者間で1ビットごとにランダムに行い伝送するため、ストリーム暗号が実現できる。

盗聴者は、共通鍵の情報が無いため、基底の選択情報を持っていないため“1”、“0”のバイナリ検出は不可能となる。そこで盗聴者は、多値レベルの変化を正確に観測し、その動きから共通鍵の情報を得ようと試みる。しかし、前述のように多値数が多くなると、量子雑音による信号レベルの変動（量子揺らぎ）が回避できず、常に誤った観測結果を得ることになる。このため量子雑音によるランダムなエラーを含む観測結果から正しい解を一意に求めることはできない。

このように正規受信者と盗聴者の信号と雑音効果の関係（SNR : Signal to Noise Ratio）を極端に差別化（正規受信者には小さく、盗聴者には大きく）することで、計算処理（計算量）では解決できない物理的な安全性を担保することができる。盗聴者は、直接的な盗聴ができないため、物理的に全数探索攻撃を試みようとする。SNR の差別化を回避するためには、盗聴用に正規受信者と同等性能の Y-00 受信機を用意し、考えられる全ての鍵を用いて一斉に解読する全数探索の攻撃が考えられる。しかし、これを同時に実行しようすると盗聴者は 10^{79} 台（256 ビットの共通鍵を使う Y-00 の場合）の受信機による並列検出を行う必要がある。この数は、宇宙を構成している原子の総数（ 10^{80} ）と同等の個数であり、非現実的である。また、1 台の受信機で盗聴者がシリアルに解読を試みる場合、 10^{79} ビットのデータを取得する必要がある、暗号データの伝送速度が 10Gbps の場合のは、 10^{60} 年間データを取得し続ける必要がある。これも非現実的な時間である。

このように Y-00 の安全性は、計算能力（計算量）に依存しない天文学的な物理量やデータ取得時間で決定することができる⁹。

⁹ K. Harasawa, O. Hirota, K. Yamashita, M. Honda, S. Akutsu, T. Hosoi, Y. Doi, K. Ohhata, T. Katayama, T. Shimizu, “Consideration of the Implementation Circuit of Randomization for Physical Cipher by Yuen 2000 protocol”, *The Transactions of the IEICE C*, Vol. J91-C, No8, p1-10, 2008; K. Harasawa, O. Hirota, K. Yamashita, M. Honda, K. Ohhata, S. Akutsu, and Y. Doi, “Quantum encryption communication over a 192 Km, 2.5 Gbit/sec line with optical transceivers employing Yuen-2000 protocol based intensity modulation”, *IEEE/OSA. Journal of Light Wave Technology*, vol-29, No. 3, p316-323, 2011.

5 Y-00 の研究体制

Y-00 の基本アイデアは、ノースウェスタン大学の H.P.Yuen 教授によって発案され、玉川大学の廣田修教授との共同研究で理論の体系化を開始し、2000 年に Yuen 教授によって公開されたことで、Y-00 (Yuen2000 プロトコル) と呼ばれるようになった¹⁰。

アメリカでは、Northwestern 大学が中心となり DARPA がきっかけとなりプロジェクトで本格的な研究が開始されてきた。日本では、玉川大学と日立グループ、東北大学で異なる変調方式で研究開発が進められてきている¹¹。

最近では、中国の研究機関が、積極的に研究を始めている。中国の研究機関が公開している Y-00 伝送実験の例では、ISK (光強度変調方式) を採用し、2.5Gbps で 100km の伝送試験が報告されている¹²。しかし、まだ日本の技術のトレースのように見えるが、中国は量子技術の研究開発に莫大な投資を行う計画であり驚異的である。そのためには、中国に負けないよう、国家的な計画と支援が必要である。

¹⁰ H. P. Yuen, "A new quantum cryptography," Report in Northwestern University, 2000.

¹¹ M. Nakazawa, M. Yoshida, T. Hirooka, and K. Kasai, "QAM quantum stream cipher using digital coherent optical transmission," *Opt. Express* Vol. 22, No. 4, pp. 4098-4107, February (2014); KEN TANIZAWA AND FUMIO FUTAMI, "Digital coherent PSK Y-00 quantum stream cipher with 217 randomized phase levels", Vol. 27, No. 2, 21 Jan 2019, *OPTICS EXPRESS* 1071; K.Harasawa, "New Quantum Cipher Optical Communication: Y-00", 2012, *Optical Communication*, Intech open, <https://www.intechopen.com/books/optical-communication/new-quantum-cipher-optical-communication-y-00>; E. Corndorf, C. Liang, G. S. Kanter, P. Kumar, and H. P. Yuen, "Quantum-noise randomized data encryption for wavelength-division-multiplexed fiber-optic networks," *Phys. Rev. A*, Vol. 71, p. 062326, 2005; O. Hirota, "Optical communication network and quantum cryptography," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. J87-B, No. 4, pp. 478-486, 2004.

¹² Haisong Jiao, Tao Pu, Jilin Zheng, Hua Zhou, Lin Lu, Peng Xiang, Jiyong Zhao, and Weiwei Wang "Semi-quantum noise randomized data encryption based on an amplified spontaneous emission light source" <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-26-9-11587>

項目	日本			米国	中国
	HITACHI	Tamagawa University	Tohoku University	Northwestern University	College of Communication Engineering, Army Engineering University of PLA
変調方式	強度変調	強度変調 位相変調	直角位相振幅 変調	位相変調	強度変調
伝送速度	1.25Gbps 10Gbps	1.25Gbps 28Gbps	70Gbps	2.5Gbps	2.5Gbps
伝送距離 <small>光ファイバアンブ中継</small>	500km	1000km 800km	100km	100km	100km

表 3 各国の Y-00 暗号プロトコルの開発状況

まとめ

現代の情報通信は、更に進化をし続け、その役割は国家を安全に維持するために重要な存在となっている。このような社会の中核を担う情報通信のネットワークは、テロリストや外敵の攻撃的な活動から確実に守り抜くことが重要である。

量子力学を核とした技術（量子技術）は、一部の分野で実用化段階に入り出した。これらの技術を先行開発することにより国際関係やテロ対策などに対して常に優位性を保つことができるため、各国で大きな研究開発投資が行われるようになった。特に量子コンピュータの分野では、米国の大手企業が実用化に向けた大きな成果が報告され、クラウドサービスの試行も始まっている。また、中国では、国家的に莫大（年間 1 兆円規模）な研究開発投資がおこなわれ、国をあげて量子技術での先行優位性を急速に確立しようとしている。

量子コンピュータの実用化が加速すると現在使用されている計算量的安全性を安全性の根拠とする暗号技術は、一気に解読の脅威に襲われる。このため、計算量だけに頼らない量子暗号の実用化開発も急務になってきた。

本稿では、現代の進化し続ける情報通信ネットワークへ適用可能で早期実用化に期待ができ、実用化理論と実装技術において日本主導で世界に先行してきた量子暗号である Y-00（Yuen2000 プロトコル）を中心に紹介した。このような、技術を実際に国内の重要ネットワークへ適用し、活用することで日本のネットワークの安全性を世界に向けて発信することにより、情報通信セキュリティ分野における国家的な優位性を確立することが

重要だと考える。そのためには、日本においても量子技術の「実用性・実用化」について真剣に考え、理論や実験室内での成果だけでなく、社会や安全保障のフィールドにおいて実際に装備し運用できる国家的な研究開発投資が急務と考える。更に、日本の情報通信を守り抜くためには、データセンターやイントラネットワーク等の限られたエリアのサイバーセキュリティだけでなく、専用線をはじめ、ラスト・ワンマイルと言われる加入者線路等を物理的に盗聴から守ることも必須であり、ネットワーク全体を総合的に守り抜くサイバーセキュリティをいち早く構築することが必要である。

Abstract

JMSDF's Military Technology Innovation in the Second Interwar Period

TAKEI Tomohisa

World has entered an era of new great power competition since the U.S. National Security Strategy issued in December 2017, which meant the end of 28 years post-Cold War era. If a war is waiting in the end of the great power competition, it must be a war between great powers. If so, future historians might call this period we live in now as the Second Interwar Period.

As in the previous interwar period, the difference in innovation over newly emerging technologies would affect the outcome of competition among major powers. Regarding innovation to adapt to new technologies, the Japan Maritime Self-Defense Force needs to take the lessons learned from the previous interwar period and shift its paradigm of defense capability buildup from the post-Cold War period to the interwar period.

The Imperial Japanese Navy's Aviation development and its problems: The emerging process of "strain" of technology and its effects

IWAMURA Kentaro

Imperial Japanese Navy Air Service is almost comparable to Army Air Service, because it has many land-based aircrafts. In this point, it is unique among other countries' navy.

Generally speaking, Imperial Japanese Navy Air Service failed in the Pacific War because of lack of ability to withstand attrition. But this is

not the only problem. U. S. Strategic Bombing Survey evaluated that they had failed fully to appreciate the strategic revolution brought about by the increased capabilities of air power. This problem reflected the “strain” of technology. Imperial Japanese Navy Air Service could produce aircraft with advanced fuselage design, but they were behind in many elements such as the ability to build airbases. How did the “strain” of technology emerge? How did it affect aerial warfare?

This article answers these questions, focusing on characteristics of Imperial Japanese naval air power development during the interwar period and aerial warfare in Solomon Islands and New Guinea during Pacific War, with care to components of military air power.

Impact and the Significance of Lessons from 1st Lebanon War on Unmanned Aerial Vehicle Development for U.S. Armed Forces

KUSUYAMA Hiroyasu

This paper attempts to understand the impact of Pioneer UAV (RQ-2) made from lessons of 1st Lebanon War on subsequent UAV development and the significance for U.S. Armed Forces, and the author explains in the following order.

- a) Analyze how Israel proved the superiority of UAV on the battlefield and what U.S. armed forces learned in 4th Arab- Israeli War and 1st Lebanon War.
- b) Unveil how Pioneer evolved since the Lebanon Civil War that U.S. intervened and how it was introduced in the later Gulf War.
- c) Show the impact of Pioneer on the development of U.S. armed forces' UAV and evaluate the significance and factors from viewpoint of innovation.

As the result of this research, the author gets the following conclusions.

- a) Factors behind Pioneer innovation were the wisdom of SECNAV

- Lehman who found value in technology from another country, Israel.
- b) The success of Pioneer set the standard of UAV for the U.S. armed forces to acquire real-time images.
 - c) Significance of innovation by Pioneer will be it proved technology plays a key role in RMA through the Gulf War.

U.S. Navy and Cross-Domain Synergy Concepts and Resources : Exploring new ways of fighting and force structure

TAKAHASHI Hideyuki

This paper examines the need for Cross-Domain Synergies (CDS) and the direction of solutions in the U.S. Navy, from a strategic operational perspective. The key of consideration was the integration process up to CDS, and the relationship between the battle concept and the force structure. The consideration was performed in the following order;

- a) Section 1 examines the reasons why U.S. military needs CDS, considering the relationship between strategic issues and defense resources.
- b) Section 2 examines why U.S. Navy needs CDS, considering the relationship between combat concepts and weapon systems.
- c) Section 3 examines what solutions U.S. Navy is considering for the issue identified in Sections 1 and 2.

As the result of this research, the author gets the following conclusions.

- a) U.S. military needs CDS because of the concept of operations that took into account both the integrated concept and anti-A2/AD resources.
- b) U.S. Navy needs CDS to overcome the challenges arising from the history of combat concepts and budget constraints, and prepare for more realistic 'quality and quantity' issues that could retain

its dominance in all domains.

- c) For that reason, U.S. Navy seeks to address current challenges by embracing new way of fighting with CDS concept and exploring a transition to force structure that combines new and old technologies.

Study of Cyber Reserve : Comparison of consciousness between Estonian cyber defence unit and Reserve Self-Defense Force serving in cyber domain

**HIDAKA Tomoo
IDE Tatsuo**

The purpose of this paper is to clarify the reasons why the members of the Cyber Reserve apply for it and what considerations are necessary for its effective operation. Using the historical background of Estonia as a framework for research, in the first part, the position, purpose and activities of the Cyber Defense Unit and the Reserve SDF are introduced. After examining previous research, both the target of the survey and the questionnaire's content are explained. Following, the results of the survey are presented and analyzed. Regarding the reasons behind the application to the cyber reserve it has been found that their members have a high awareness of national defense and aim to obtain high IT skills. To address the issue of the conditions for the effective operation of cyber reserves, it would be necessary to consider a flexible setting for the activities of the unit members and the creation of a community for them.

Next generation EW **— EMS activities utilizing machine learning and networks —**

AMAGAI Takaki

The EW (electronic warfare) system established in the Vietnam War to secure the platform has lost its effectiveness today. Conventional EW equipment, such as RWRs (radar warning devices) and jammers, rely on a library of EW information that is updated on a daily basis, and these have been evaluated as inadequate for radar evolution. In addition, the narrowing of the frequency due to the development of consumer electronics has seriously affected EW activities.

In light of these circumstances, new forms of EW are being explored. Of particular note are the researches being conducted at the Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) and the like. A system called cognitive EW, which has built a network of small drones by identifying signals using ML (machine learning), aims to be a system that does not depend only on the stored library, and is expected to be responsible for the next generation of EW.

The purpose of this paper is to consider how EW should be based on the characteristics of cognitive EW.

Development of ASBM in China **: Focusing on the DF-21D**

YAMASHITA Nana

This report aims to provide an overview and analysis of Chinese ASBM with a focus on the DF -21 D. I summarize the current status of Chinese ASBM and consider future development trends. It was believed that DF -21 D has been in service since 2010, but there was a question of the ability to attack a moving target at high sea. Also, it was believed that China didn't have enough ISR sensor ability required for the operation of the ASBM.

However, ASBM with different ranges are appearing one after another and there are signs that new ASBM launch platforms are being developed after about 9 years the DF -21 D was deployed. Also, ASBM's ISR sensors may be well developed, such as the artificial satellites. China operates a large number of satellites that can provide accurate information on the offshore targets needed to operate the ASBM. If ASBM can attack a moving target in the high sea far away, it will be great effect around the world.

On the Use of Satellite Remote Sensing to Maritime Security

WATANABE Hideaki

Recently, various satellite technologies have been intensively developed in the US and Europe. Especially, satellite constellation whose orbit is LEO (Low Earth Orbit) is about to be used for satellite communication and remote sensing.

As for satellite communication, Oneweb and Space-X are two big powers that will launch more than thousands of satellites. Although most of satellite constellation companies are doing business for commercial applications, some companies' satellites are considered to be applicable to MDA (Maritime Domain Awareness).

In Japan, the government stipulated its defense guideline and the mid-term defense program in 2018 which insisted that the government would introduce Multi-domain battle including cyber, space, and electromagnetic spectrum.

As for space, the government would introduce Space Situational Awareness System, set up Space Mission Unit in JASDF, and improve information gathering capabilities of satellites.

As Japanese exclusive economic zone is very large, the use of satellite remote sensing will be indispensable in the near future. In Japan, a few companies started to use satellite constellation for their commercial business. It's a good time for MSDF to study and develop satellite technologies for their maritime security application.

Information security for the quantum computer era
: Quantum noise stream cipher Y-00 (Yuen2000 protocol)
HARASAWA Katsuyoshi

At present, quantum technology is being actively developed around the world, and tests for its practical use have begun. On the other hand, the current cryptography, which uses the currently used amount of computation as the basis of security, will be exposed to the threat of decryption. In the modern information society, the role of information and communication, which is the center of economic activities such as controlling the lifeline by IoT and AI and cashless accounting, is very important. The network that supports this information and communication will be the lifeblood of maintaining a safe and secure nation stably. For this reason, it is essential that the information and communication infrastructure be protected with robust security. This paper describes trends in quantum technology and the practical use of quantum noise stream cipher (Y-00: Yuen2000 protocol) that can build information security for the future quantum computer era.

執筆者紹介

武居 智久（たけいともひさ）

防衛大学校（電気工学）卒。筑波大学大学院（地域研究学修士）。米海軍大学指揮課程。防衛研究所特別課程。

統合幕僚監部指揮通信システム部長、呉地方総監部幕僚長、海上幕僚監部防衛部長、大湊地方総監、海上幕僚副長、横須賀地方総監などを経て、海上幕僚長を最後に退官。元海将。平成 29 年 4 月より令和 2 年 1 月まで米海軍大学教授兼米海軍作戦本部長特別国際フェロー。

岩村 研太郎（いわむら けんたろう） 3 等海佐 海上自衛隊幹部学校防衛戦略教育研究部戦史統率研究室員

防衛大学校（機械システム工学）卒。防衛大学校総合安全保障研究科前期課程修了（安全保障学修士）。

第 1 航空隊、幹部候補生学校などを経て、現職。

楠山 博康（くすやま ひろやす） 2 等海佐 航空集団司令部後方主任幕僚（執筆時、海上自衛隊幹部学校第 78 期幹部高級課程学生）

防衛大学校（材料物性工学）卒。防衛大学校理工学研究科前期課程修了（工学修士）。

自衛艦隊司令部副官、第 21 検査隊長、海上幕僚監部航空機課、自衛艦隊司令部幕僚、海上幕僚監部防衛課などを経て、現職。

高橋 秀行（たかはし ひでゆき） 2 等海佐 海上自衛隊幹部学校防衛戦略教育研究部戦略研究室員

防衛大学校（機械工学）卒。拓殖大学大学院国際協力学研究科安全保障専攻博士前期課程在学中（執筆当時）。

航空プログラム開発隊プログラム第 1 科長兼第 2 科長、統合幕僚監部防衛計画部計画課、岡山地方協力本部募集課長などを経て、現職。

日高 智雄（ひだか ともお） 3 等海佐 海上幕僚監部指揮通信課（執筆時、第 67 期指揮幕僚課程学生）

防衛大学校（機械工学）卒。

第 5 航空隊、海上自衛隊幹部学校副官、第 81 航空隊などを経て現職。

井手 達夫（いで たつお） 2 等海佐 海上自衛隊幹部学校運用教育研究部未来戦研究室員

防衛大学校（航空工学）卒。早稲田大学大学院国際情報通信研究科博士後期課程修了（国際情報通信学博士）。

統合幕僚監部指揮通信システム部員、防衛大学校准教授などを経て、現職。

天貝 崇樹（あまが い たかき） 3 等空佐 防衛大学校防衛学教育学群准教授

防衛大学校（応用物理学）卒。

航空総隊司令部飛行隊電子戦管理隊、航空戦術教導団電子作戦群電子戦隊、航空自衛隊幹部航空研究センターを経て現職。

山下 奈々（やました なな） 3 等海佐 横須賀教育隊（執筆時、海上自衛隊幹部学校防衛戦略教育研究部戦略研究室員）

神戸大学（経済学）卒。防衛大学校理工学研究科前期課程修了（情報工学修士）。

補給本部、南関東防衛局、艦艇開発隊、海上自衛隊幹部学校防衛戦略教育研究部戦略研究室員などを経て、現職。

渡辺 秀明（わたなべ ひであき） リモートセンシング技術センター

（RESTEC）技術参与／日本宇宙安全保障研究所（JISS）理事

昭和 54 年 慶応義塾大学修士課程修了後、同年防衛庁技術研究本部に入庁、昭和 62 年工学博士（慶應義塾大学）、平成 23 年 大臣官房技術監、平成 25 年 技術研究本部長、平成 27 年 10 月初代防衛装備庁長官を歴任、29 年 7 月 退官後、政策研究大学院大学 客員研究員として活動している。

原澤 克嘉（はらさわ かつよし） 株式会社日立情報通信エンジニアリング事業企画本部主管技師長

2008 年 工学博士（鹿児島大学）、1983 年 日立通信システム株式会社（現、株式会社日立情報通信エンジニアリング）入社、1983 年 日立製作所中央研究所で高速系光通信の研究開発に参画。以来 35 年以上、光通信関連の研究開発に従事。1998-2004 年「シームレス分散コンピューティング光インターコネクション」の研究開発に従事、2003 年～「光通信量子暗号（Yuen2000 プロトコル：Y-00）」の研究開発に従事、光・無線通信開発

部門の本部長を経て、現在は事業企画部門の主管技師長、2008 年～ 玉川大学量子情報科学研究所特別研究員、2009 年 PIF（Photonic Internet Forum）セキュアフォトリック分科会参加、2018 年～ 日立製作所ディフェンスビジネスユニットを兼務。

【編集委員会よりお知らせ】

『海幹校戦略研究：Japan Maritime Self-Defense Force Command and Staff College Review』は、海上自衛隊幹部学校職員・学生等の研究成果のうち、現代の安全保障問題に関して、海洋国家日本の針路を考えつつ、時代に適合した海洋政策、海上防衛戦略を模索するという観点から取り扱ったものを中心としてまとめ、部外の専門家に向けて発信することにより、自由闊達な意見交換の機会を提供することを目的として公刊するものです。

なお、本誌に示された見解は執筆者個人のものであり、防衛省または海上自衛隊の見解を表すものではありません。論文の一部を引用する場合には、必ず出所を明示してください。無断転載はお断りいたします。

Japan Maritime Self-Defense Force Command and Staff College Review is the editorial works of the staff and students' papers from the viewpoint of security issues concerning the course of action of Japan as a maritime nation, and seeking maritime defense strategies and policies suited for today. The purpose of this publication is to provide an opportunity for free and open-minded opinion exchange to the experts of security studies all over the world.

The views and opinions expressed in *JMSDF Command and Staff College Review* are solely those of the authors and do not necessarily represent those of Japan Maritime Self-Defense Force or Japan Ministry of Defense. To cite any passages from the review, it is requested that the author and *JMSDF Command and Staff College Review* be credited. Citing them without clearly indicating the original source is strictly prohibited.

【戦略研究会役員】

会 長 大町 克士
副 会 長 藤田 勝史 吉川 尚徳

【『海幹校戦略研究』編集委員】

委 員 長 八木 直人
委 員 松尾 聡成 石原 敬浩 井手 達夫 石原 明德
奥田 哲也 岩切 憲一 岩村 研太郎

【戦略研究会事務局】

事務局長 川合 文子
企画調整 高島 太
(2020 年 3 月 2 日編集終了時)

『海幹校戦略研究』特別号（通巻第 19 号）

発行日：2020 年 4 月 25 日

発行者：海上自衛隊幹部学校

(ホームページ：http://www.mod.go.jp/msdf/navcol/)

〒153-0061 東京都目黒区中目黒 2 丁目 2 番 1 号

TEL：03-5721-7010（内線 5624） FAX：03-3719-0331

e-mail：navcol-cintpln@inet.msdf.mod.go.jp

担 当：戦略研究会事務局

印刷所：海上自衛隊印刷補給隊