

米国における軍事 OR¹

Alan R. Washburn²

米国におけるオペレーションズ・リサーチ (OR) の歴史を簡単に振り返った後、軍事 OR に特有の 3 つのテーマ、損耗モデル、ゲーム理論および搜索理論について簡単に解説する。

キーワード：OR の歴史、ランチェスター・モデル、ゲーム理論、搜索理論

1. 歴史

オペレーションズ・リサーチ (OR) は今日民間での応用が盛んであるものの、歴史上は軍事的活動をその契機にしている。第 2 次世界大戦中に英国で生まれた OR は、戦争が進むにつれ米国に広まっていった。戦闘形態は複雑化し、技術が急速な進歩をとげつつあった当時、実際の戦闘遂行に OR という科学的なアプローチを適用することは大いに魅力的であり、かつ効果的なものとなった。初期の軍事的応用は、英国における防空戦および英国、米国における対潜水艦戦 (対潜戦) に対してなされた。

軍事と科学がもつそれぞれのカルチャーは時に衝突を起こしたため、OR の誕生はそんなに生やさしいものではなかった。Morse と Kimball がその著書「OR の方法」[8]の中で述べているように、『科学者は、どんな意思決定に対しても常に懐疑的でなければならず、しばしば短気を起こす。管理者は、ある程度の曖昧さを容認しつつ、現実に意思決定をしなければならないから、懐疑主義に対しては短気とならざるを得ない。この両者の間で緊密なパートナーシップが成り立ち得ることを理解するためには、多くの相互理解と相互の信頼が必要である』(文中の管理者とは、軍関係者のことである)。

たとえ民間であったとしてもカルチャーの衝突は現にあり、OR の適用を成功させるためには、その対処が必要となる。第 2 次戦における OR 活動の成功は、この衝突を認識し、適切に対処し、タイムリーにかつ効果的に作戦分析を実施できたことにある。特に戦闘場面ではそうであるが、作戦に関する精緻なデータを

取得し記録することは大変手間暇の掛かることであるものの、その結果作戦に改善が見られれば、掛けた努力は無駄にはならない。

第 2 次大戦後の米国では、大学教育の中でも OR カリキュラムが始まるなど、OR は制度化され民間へと急速に普及し、Operations Research 誌の刊行が 1951 年に始まった。Morse と Kimball が活躍した戦時中の作戦評価グループ (The Operations Evaluation Group: OEG) という組織は海軍分析センター (The center of Naval Analyses: CNA) に鞍替えし、次の世代に受け継がれてゆく。戦後の軍事 OR 活動は、現に進行中である作戦の分析から将来の戦闘を睨んだ作戦分析へとシフトしてゆく。特に当時の Robert McNamara 米国防総省長官の在任中に行われたこれらの活動に対しては、システム分析 (Systems Analysis) という言葉が使われている。大陸間弾道弾の配備競争に見られるような米国とソ連の冷戦期にあっては、両大国の衝突に関する分析に多くの OR 的努力が払われている。

現代の軍事 OR 活動を支えている組織は、主として次の 3 つである。1 つは国防総省そのものであり、そこで働く職員や制服に対し OR 教育・訓練がなされている。Morse と Kimball が警告したカルチャーの衝突を予防する手っ取り早い方策は、アナリストと制服組双方に OR 教育を施すことである。しかしながら、軍事 OR のほとんどの活動は、制服組でない専門家の組織に負っている。例えば、連邦政府によって設立された陸軍分析センター (The Center for Army Analyses: CAA) や国防分析局 (The Institute for Defense Analyses: IDA)、CNA、RAND 社、MITRE 社およびその他の組織がある。また、民間企業のアナリストも国防総省との契約によって分析業務を請け負っており、その傾向は年々強くなっている。

¹ Military Operations Research in the United States.

² Naval Postgraduate School, Monterey, U. S. A.

総じて、国防総省は毎年十億ドル程度を軍事 OR に充てている。

軍事 OR に関わるアナリストの多くが軍事 OR 学会 (The Military Operations Research Society: MORS, www.mors.org) に所属しているが、この学会は、IN FORMS (Morse が設立に尽くした米国 OR 学会のその後の組織) の支援を得て、毎年 1 回会議を主催し、論文誌である Military Operations Research 誌と学会誌である Phalanx を年に 4 回発刊している。

2. 軍事 OR の基礎的分野

国防総省は、人事、在庫、制御、スケジューリング、信頼性およびメンテナンスといった分野において、民間組織と同じような問題を抱えている。その個々の問題にはこれ以上言及する必要はないと思うが、軍事特有の次の問題については特に触れておく価値があるだろう。

2.1 損耗モデル

戦闘を特徴付けるものの 1 つに、破壊性、損耗性がある。戦闘に突入した兵力は、補強が無い限り時間とともに損耗することは避けられない。戦闘の帰趨は、ある種のダイナミクスに大きく影響を受ける。Lanchester[6]は第 1 次世界大戦における航空戦力の相互的損耗を微分方程式により研究し、その損耗過程に 2 次則というダイナミクスを見た。この法則は、戦闘部隊の戦力は戦闘単位の射撃速度に比例するが、同時に兵力量の 2 乗にも比例することを示しており、兵力の質と量とのトレードオフに関し、特に量の重要性を明示した法則として知られている。それ以来、多くの微分方程式系が戦闘過程の分析に適用され、そのシステム・パラメータやモデルの適合性を確認する統計的な研究がなされている。後者の研究はある程度成功し、Engel[4]が第 2 次戦の硫黄島の戦いにおいて 2 次則が良く適合することを示すレポートを著した。逆に、Lucas and Turkes[7]は様々な戦闘に対してランチェスターの法則を試したものの、第 2 次戦の東部戦線におけるクルスク (Kursk) の戦いと西部戦線におけるアルデンヌ (Ardennes) の戦いに対してはあまり適合しないことを示した。Taylor[11]は、ランチェスター・モデルに関する包括的な参考文献である。

微分方程式に基づく通常のランチェスター・モデルは、戦闘に関する決定論的な連続時間モデルである。この決定論的であることがしばしば非難的になり、

モンテカルロ・シミュレーションを用いた確率モデルが使われることもある。計算機の計算速度の驚異的な進展が、これまで予想もできなかった数の繰り返し計算とシミュレーションを現実的なものにした。このように確率事象を持ち込んでの考察もあるが、状態ベクトルを使って戦闘の損耗現象を探索しているという意味では、このようなモデルのほとんどは通常のランチェスター・モデルと変わらないといってよい。

2.2 ゲーム理論

軍事作戦の帰趨は、通常複数の意思決定者たちの決定に左右される。気晴らしとしてプレイされるチェスや碁のように、極端な場合は、完全に相反する利害を持つ 2 人の意思決定者間で行われる 2 人ゼロ和ゲームと見なすことができる。このような複数意思決定者の間にある相互依存性は時に複雑であるものの、それを何らかの方法で取り扱わなければならない。

相手の意思決定の影響を取り扱う 1 つの方法は、自明なこととして仮定すること、場合によっては自動機械と見なすことである。確かに相手の意思が自明、あるいは全く影響力がなければ、これはうまいモデリング法かもしれない。しかし、このような条件がいつも成り立つとは限らないし、相手の立場から見ても最良な意思決定をどのように見つければよいかという疑問は解決されずに残る。かくして、すべての意思決定者たちの意思決定を同等に扱う理論が必要となる。

混合戦略まで許せば、有限個の戦略を持つゲームは唯一のゲームの値を持つと von Neumann[12]が証明した 1928 年まで、2 人ゼロ和ゲームに関する適切な理論は存在しなかった。これによって、ジャンケンに対する最適な手は、どのプレイヤーも 3 分の 1 の確率でグーかチョキかパーかをランダムに出すことであると分かった。

前述の冷戦期における大陸間弾道弾配備競争は、2 人ゼロ和ゲームが適用できる 1 つの問題である。攻撃側がどの目標を標的にするかを決めている間に、防衛側はどの目標を守るべきかを決めるが、それは相手の選択を知らずに行われる。ゲーム理論的な観点から、配備ミサイルの損耗ゲームに関して論じたものが、Berkovitz and Drescher[2]や Washburn[15]の研究である。

意思決定者を悩ますのは、実際には 1 つの純粋戦略しか取れないにもかかわらず、混合戦略をとる論理的な必要性である。実際に実行されている混合戦略の 1 例として、機雷の確率的作動機構がある。掃海部隊に

対する対抗策として、ある種の機雷では起爆機構の作動が確率的に行われるようにできている。

ゲーム理論の普及は、von NeumannとMorgensternによる著書『ゲーム理論と経済行動』[13]に始まる。この本の大部分はゼロ和でも2人ゲームでもない問題について記されており、その後の研究でも非ゼロ和の研究は数多くあるが、軍事問題に関していえば、2人ゼロ和ゲームほど着実な研究成果はあげられていない。正確に解くことの難しい2人ゼロ和ゲームと同様、非ゼロ和ゲームに対しては、ウォー・ゲームやロールプレイングゲーム等のシミュレーションによる研究が続いている。ウォー・ゲームは大きな資金を必要とし、また色々な問題を抱えているが (Bracken[3]やPerla[9]参照)、プレイヤーの相互作用が不可欠であるものの受容可能な理論解が見つからないような問題に対し幅広く用いられている。

2.3 搜索

鉱物探査や道に迷ったハイカーの搜索など、民間でも取り上げられる搜索の問題も、軍事ORで研究されているテーマである。「ORの方法」以外にも、第2次戦中におけるOEGの活動を著したKoopman[5]の本は、全編このテーマに費やされているが、当時の搜索対象は潜水艦であった。

初期にはランダム搜索と呼ばれる搜索法が研究の対象となっていた。横幅 W 内にあるすべての目標を感知できる速度 V の搜索者を考えると、時間 t の間に VWt の面積をカバーすることになるだろう。したがって、全面積が A である領域内に一様に隠れた目標に対する感知確率は VWt/A となる。この計算は搜索者にとっては楽観的な予想であり、網羅搜索と呼ばれる理想的な搜索の結果として得られる。現実に近い感知確率を与える評価式は $1-\exp(-VWt/A)$ である。これは、搜索中の搜索者の航法に誤差があり、搜索中にも目標が移動する等の現実的な搜索状況によく合致する式である。その適合性ゆえに、2次戦ではよく使用された。この評価式は、搜索者が紙吹雪を面積 A の領域にばらまき、どこかに隠れている目標の上によく落ちることを期待する際の理論にも似ている。もちろん、意図的にそのような搜索の方法を採るのはばかげているが、現実の搜索状況では予期しがたい搜索上の無駄が上のような結果をもたらす。搜索理論は、主として時間経過のあるこのような搜索プロセスを基に作られている。

もし目標が一様に分布しているというのであれば、

搜索資源(紙ふぶきの小片)を一様にばらまくべきではない。搜索資源の最適配分問題は、戦時中に研究された搜索問題の1つである。それ以来、搜索理論は拡張され、搜索者および目標側それぞれにとっての様々な評価尺度の下、色々な搜索センサーを用いて、移動する目標や真の目標とは異なる対象物が存在する場合の搜索が研究されてきた。これらの研究の内容や歴史については、1991年までのサーベイ論文が引用されているBenkoski and Weissinger[1]や、Stone[10]、Washburn[14]の本を参照願いたい。搜索者をあえて避けようとする目標をもつ搜索は典型的な対潜戦の問題であり、ゲーム理論の良いテーマでもあるが、これに関する最近の研究にはWashburn and Hohzaki[16]がある。

3. 総論

軍事ORは第2次世界大戦中に米国で体系的に始まり、現在その研究は軍事OR学会での活動に集約されつつある。国防総省隷下の組織は、民間企業やNGOの組織とも多くのテーマで共同研究を行っているが、軍事OR特有の問題も相変わらず存在する。ここでは、それらの中の3つの研究分野を取り出して解説した。

(訳: 宝崎隆祐 防衛大学校)

参考文献

- [1] Benkoski, S., Monticino, M. and Weisinger, J. 1991. "A Survey of the Search Theory Literature," Naval Research Logistics, Vol. 38, pp. 469-494.
- [2] Berkovitz, L. and Drescher, M. 1959. "A Game theory Analysis of Tactical Air War," Operations Research, Vol. 7, pp. 599-620.
- [3] Bracken, P. 1976. "Unintended Consequences of Strategic Gaming," Hudson Institute HI-2555-P, New York.
- [4] Engel, J. 1954. "A Verification of Lanchester's Law," Operations Research, Vol. 2, pp. 163-171.
- [5] Koopman, B. 1946. "Search and Screening," report 56 of the Operations Evaluation Group, Department of the Navy.
- [6] Lanchester, F. 1916. Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm, Constable, London.
- [7] Lucas, T. and Turkes, T. 2004. "Fitting Lanchester Equations to the Battles of Kursk and Ardennes," Naval Research Logistics, Vol. 51, pp. 95-116.
- [8] Morse, P. and Kimball, G. 1950. Methods of Opera-

- tions Research, Technology Press.
- [9] Perla, P. 1990. "The Art of Wargaming," Naval Institute Press, Annapolis.
- [10] Stone, L. 1975. Theory of Optimal Search, Academic Press, New York.
- [11] Taylor, J. 1983. Lanchester Models of Warfare, INFORMS, Rockville, MD.
- [12] von Neumann, J. 1928. "Zur Theorie der Gesellschaftsspiele," *Mathematische Annalen*, Vol. 100, pp. 295-320.
- [13] von Neumann, J. and Morgenstern, O. 1944. Theory of Games and Economic Behaviour, Princeton University Press.
- [14] Washburn, A. 2002. Search and Detection (ed. 4), INFORMS, Rockville, MD.
- [15] Washburn, A. 2003. Two-Person Zero-Sum Games, INFORMS, Rockville, MD.
- [16] Washburn, A. and Hohzaki, R. 2001. "The Diesel Submarine Flaming Datum Problem," *Military Operations Research*, Vol. 6, pp. 19-30.