

(研究ノート)

## 制御技術の歴史——Mindell, David A., *Between Human and Machine:*

### *Feedback, Control, and Computing before Cybernetics* をめぐって

新倉 貴仁

#### はじめに

1944年、ナチス・ドイツはイギリスとベルギーを攻撃すべく新兵器を投入した。無人の飛翔体がかつてない速度で、長距離から都市を襲う。V-1爆弾、あるいはバズ爆弾として知られるものである。この開発で得られた技術と人材によって、戦後のアメリカとソ連で、核弾頭と人工衛星とを載せるロケットが生み出される。

だが、実際、この攻撃のかなりの部分は撃ち落された。無人のV-1は低空を高速で飛び、レーダーによって捕捉することは難しい。しかし、その動きは単純であり、あたらしい射撃統制システム fire control system には格好の標的となった。第二次大戦末に、二つのロボットが戦っていた。

このエピソードはトマス・リッドの『サイバネティクス全史』に掲載されている<sup>1)</sup>。脚注で参照されるように、この部分の記述は、2002年に発表されたデビット・ミンデル (Mindell, David A.) の *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing before Cybernetics* (『人間と機械の間——サイバネティクス以前のフィードバック、制御、コンピューティング』) の議論に依拠している。

本稿は、「制御 control」の問題系の輪郭を探る試みの一部として、このミンデルの『人間と機械の間』の議論を検討する。これは、「制御社会」あるいは「管理社会」と呼ばれる現代社会を考察

するための理論的な準備作業にあたる。

#### 1. この書の位置け——制御文化のなかで

##### 1.1. 『人間と機械の間』について

本書『人間と機械の間』の構成は以下の通りである。

- 1 イントロダクション 制御システムの歴史
- 2 海軍の制御システム 兵器局とフォード・インストゥルメンタル社
- 3 機械の時代の野獣を飼い馴らす スペリー社
- 4 ブラックの箱をあける ベル研と信号の伝達
- 5 電力システムの人工的表象 MITのアナログコンピュータ
- 6 戦争のドレス・リハーサル 四人の騎手とパロマ
- 7 戦争のための組織 NDRCの射撃統制部門
- 8 サーボメカニズム研究所と量のための射撃統制
- 9 アナログの最もよき時間
- 10 放射線研究所でのレーダーとシステム統合
- 11 サイバネティクスとデジタルの思考
- 12 結論 1945年のフィードバックと情報

本書は、戦前の制御技術の系譜を扱う前半と、戦時の制御技術の発達を扱う後半によって構成されている。第2章では海軍とフォード・インストゥルメンタル社が、第3章ではスペリー社が、第4章ではベル研究所が、第5章ではマサチュー

セツ工科大学 (MIT) が、それぞれ開発し研究していた制御技術に焦点があてられて描き出される。やや短い第6章は前半と後半をつなぐ幕間として、パロマー山天文台の望遠鏡を扱う。星をおう望遠鏡の原理は、空を動く標的に銃を合わせるといふ問題と共通する。

第7章以降では、戦中の制御技術の歴史が、ヴァネバー・ブッシュとワレン・ウィーバーが深く関わって設立したアメリカ国防研究委員会 (NDRC) の活動を中心に論じられる。ブッシュは、原子力爆弾を開発したマンハッタン・プロジェクトの中心人物であり、また、「メメックス」の構想で知られるが、戦前、MITでのアナログ・コンピュータを開発し、クロード・シャノンの指導教員であった。ウィーバーは、シャノンの情報理論の共著者として知られるが、戦前、ロックフェラー財団に勤めていた。NDRCが中心となり、サーボ研、放射研といった研究所が立ち上がり、新しい射撃統制システムやレーダーが開発され、「システム統合」や「デジタル」といった概念が生みだされていく。

著者のミンデルは、MITの教授で技術者としての経歴をもつ。他に *Iron Coffin* や邦訳された『デジタル・アポロ』などの著作がある。*Iron Coffin*、本書、『デジタル・アポロ』の三つの著作は、人間と機械の関係をめぐる三部作になっている。

## 1.2. 制御社会という問題

別稿で論じたように、近年、現代社会を「管理／制御社会 control society」と考えることが重要な課題となっている<sup>2)</sup>。この問題は、1990年のジル・ドゥルーズの論文で提起され、2000年のマイケル・ハートとアントニオ・ネグリの『帝国』で独自に光があてられた。日本でも北野圭介が

2014年の『制御と社会』でその問題の重要性を示している。「制御」は、ミシェル・フーコーが「規律 discipline」と呼んだ権力とは異なる新しい権力の形態であり、それは情報化社会を編成する力となっている<sup>3)</sup>。

とはいえ、このように整理しても、なお、我々にとって「制御」という言葉の意味は十分に理解することが難しい。北野が説得的に論じているように、「制御社会」が「管理社会」と訳されることで、「制御」の概念が、「トップダウン型の一元管理的な権力図式」として流通してしまっている(北野 2014: 20)。そのような一方向的な支配／被支配の関係は、近代社会における「規律」権力との違いを曖昧にするばかりか、そもそもフーコーの権力論以前の権力イメージをひきずっている。結果、私たちは現代社会をみつめているつもりで、近代社会の影ばかりを追いかけることになってしまう。

あらためて私たちは、「制御」とは何か、「制御社会」とはいかなる社会であるのか、そして、「制御社会」である現代社会はいかなる社会であるのか、という問いを考える必要がある。そして、そのためには、「制御」という問題系を歴史的に探求する必要がある<sup>4)</sup>。

そもそも「制御」の問題は、コミュニケーションの問題と不可分な関係にある。戦後に出版されたノーバート・ウィーナーの『サイバネティクス』は「動物と機械における制御 control と通信 communication」という副題をもつ。その議論は、第二次大戦中の対空砲撃の予測理論に従事したウィーナー自身の経験を背景としている。また、クロード・シャノンは、ウィーバーと共著で、『通信の数学的理論』を発表している。シャノンもまた、暗号解読や計算機の開発において、第二次大戦に深く関わっている。戦後、第二次大戦の経験

を背景に、通信と制御の問題が深く結びついて論じられていた。

## 2. 本書の企図

### 2.1. サイバネティクス以前の制御文化

だが、本書の副題「サイバネティクス以前のフィードバック、制御、コンピューティング」が示すように、ミンデルは、制御技術の起源を、ウィーナーが提起したサイバネティクスにではなく、戦前のエンジニアリングの文化に求める<sup>5)</sup>。

ウィーナーが発表した『サイバネティクス』は、制御と通信、機械と人間との新しい関係のビジョンを示すものであった。その影響力は広汎であり、社会や科学や文化にまで拡張され、「サイバースペース」や「サイボーグ」といった用語を生み出してきた。しかし、ウィーナーの歴史の描き方は、制御技術の歴史の多くを切り落としてしまう。

そもそも産業革命以降の科学と技術は、人間と機械の関係を問うていた。科学的管理法は人間の仕事を合理化し、よりよく一致するように機械と身体の動きをデザインしなおす。第一次大戦は、新しい技術を導入とともに、義足や義肢といったかたちで、有機体と機械のあいだの線分を曖昧にする。ミンデルが目にするのは、このようなサイバネティクス以前の制御技術、さらにいえば、20世紀前半のアメリカ社会における制御文化である。すなわち、軍事的な射撃統制、航空制御、航行制御、さらにコミュニケーション・エンジニアリングである。のちにサイバネティクスが主題とした通信と制御の収斂は、むしろ戦前のアメリカにおいてはじまっていた。

また、ミンデルは、1934年という年に注目する。この年、マシーン・エイジの絶頂のただなかで、ルイス・マンフォードが『機械と文明』を出版す

る。機械を主題とするこの本からは、奇妙なことに、制御の技術と、人間と機械の相互作用が抜け落ちている。しかし、1934年は、MITのハロルド・ヘイゼンによるサーボメカニズムの論文、ベル研のハロルド・ブラックによるネガティブ・フィードバックの電話増幅器の理論が発表され、フィードバックについての重要な理論が登場した年でもあった。制御技術が進み、人間と機械の関係が変容しつつあった。

### 2.2. 『人間と機械の間』の6つの主題

ミンデルは、自身の著作を6つのテーゼにまとめている (Mindell 2002: 9-11)。

①第二次大戦にさかのぼること数十年前から、さまざまな場面で、エンジニアたちは、フィードバック、制御、コミュニケーション、コンピューティングの問題にとりくみ、それに関する技術や思考を発展させてきた。

②それゆえ、第二次大戦が大きな境目となるのではなく、技術と研究の双方の水準において、戦前の先行者たちとの連続性がある。

③特に、対航空兵器の問題にとりくんだエンジニアたちが、通信と制御の問題を統合させた。それは、サーボ機構、システム統合、人間機械のインターフェイス、そして、アナログとデジタルのコンピューティングといった領域で展開された。

④しかし、こういった共通性にもかかわらず、戦時プログラムは、単一の統合された原理を提示することはなかった。

⑤だからといって、数学者の考えを中心としたコンピューティングの歴史を描き出すことは不十分である。

⑥戦前と戦中のエンジニアリングの歴史に注目するとき、アナログとデジタルは、機械における世界の表象へのアプローチとして区別される。両

者は同時期に出現し、密接に関係する。

### 2.3. エンジニアリングの文化

ミンデルがこの本で探求するのは、彼が「エンジニアリングの文化」(11)とよぶものである。エンジニアリングの文化は、エンジニアをその環境に結びつけ、また、その環境を構成する。このような文化は、特定の企業や研究所や制度といった局所的な文脈に特徴的なものであり、その技法や知識を用いることができる人々の集団に埋め込まれている。ミンデルは、技術決定論とその批判のように、技術と文化・社会を切り離して論じることはしない。技術には文化が込められており、文化はまた技術によって貫かれているのである。人間と機械やモノとの相互作用が一つのシステムをつくっている。

このような技術の文化とシステムを考えるための枠組みとして、ミンデルは、知覚 perception・統合 integration・分節 articulation という図式を示す(22-3)。知覚は、システムが世界を理解し、データを収集する実践である。統合では、ばらばらの要素を結合し、データを処理する。そして、分節では、口頭の指令であれ、数値であれ、出力がなされ、具体的な行動が行われる。この図式は、制御システムの歴史を考えるものであるが、このとき、人間はそれぞれのシステムを結びつける存在となる。ここに人間と機械との問題が登場する。

以下では、本書が描き出す制御文化の歴史の内容を概括していく。なお、著者の力量不足と紙幅の制限のため、網羅的に議論を紹介することはできず、また、技術内部に深く入り組んだ議論を十分に紹介することはできないことをあらかじめとわっておきたい。

## 3. 戦前の制御技術

本書の前半の四つの章では、ミンデルが「四つの伝統」(13)と呼ぶものの第二次大戦以前の歴史があつかわれている。すなわち、海軍(第2章)、スペリー・ジャイロスコープ社(第3章)、ベル研究所(第4章)、MIT(第5章)である。本節では、このそれぞれの章を概括し、ミンデルが論じる制御文化の姿を、ごく粗くではあるが、描き出すことを目指したい。

### 3.1. 海軍とフォード・インストゥルメント社

戦前の制御文化の第一の伝統として、ミンデルは、最初に海軍の射撃統制の問題を扱う。

20世紀に入り、戦艦の大砲の射程は、ますます長距離になる。さらに、船舶のスピードは上昇する。標的は遠くなり、着弾までに時間がかかり、その間に自己と対象は移動し、戦場の地理的状況は一変してしまう。命中には未来の予測が必要であった。

伝統的な目視による射撃はすたれ、中央のプロットングルームでの作業に変わり、さらには機械の支援を受けるようになる。第一次大戦中のユトランド海戦で、イギリス海軍の着弾率は3パーセントを下回る。このため、計算を人から機械へと変える装置が考案される。それが、主砲台のための「レンジキーパー」である。これは、海軍の射撃統制システムの中心となり、機械式積分器を搭載し、戦前に「コンピュータ」という名称でも呼ばれた。

この開発の前提となったものが、第一次大戦前の制御技術であるスペリー社のジャイロコンパスである。ジャイロコンパスは、磁力を帯びる鉄の潜水艦や潜水艦の航行のための重要な装置となる。さらに、そこで用いられるジャイロスコープ

は、電気的な信号を生み出し、一つのシステムを形成しうる。アメリカ海軍は、ジャイロスコープを射撃のための参照点として使用することを考案する。かつてスペリー社にいた技術者であるハンニバル・フォードが設立したフォード・インストルメント社が「レンジキーパー」を創った。それは、「射程の変化の変化率を、継続して、追跡することのできる装置」であり、標的の未来の位置を予測する機械であった(34-5)。

こうして海軍の砲術は、きわめて高度な技術的で、高度に分散された制御システムの一部となった。すなわち、いまや「情報のシステム」となった。システムのなかで、人間のオペレーターは自動化された測量に置き換えられ、人間の仕事はポインターマッチングのような単純なオペレーションへと変容する。だが、第二次大戦までに確立したこのシステムは、高速で立体的に動く対象によって再考せざるをえなくなる。すなわち、飛行機の登場である。

### 3.2. Sperry Gyroscope 社

第3章ではスペリー社のジャイロスコープとオートパイロット、さらにはそれがつくりあげた陸軍での射撃照準機が扱われる。

スペリー社のジャイロスコープは、船舶の安定的な航行のみならず、飛行機のためのオートパイロットに応用される。また、スペリー社は、陸軍の対空射撃統制システムを提供することになる。船の安定、飛行機の誘導、そして銃の照準のいずれにおいても、人間と機械との関係が問われる。

ジャイロスコープは、操舵手 helmsman と船の舵輪とのあいだのフィードバックループをつくる。ウィーナーは、サイバネティクス概念をつくるにあたって、ギリシア語の「キュベルネテス」をもちいたが、それは「舵手」を意味する。ラテ

ン語では govern であり、蒸気機関のガバナーなどに用いられる。ジャイロスコープは、この操舵手を支援する。環境に応じて、パラメーターを調整し、そのパフォーマンスをモニターし、制御を交換する。

さらに、スペリー社は、飛行機にオートパイロットを提供した。ジャイロスコープの計器と航空制御とあいだにフィードバックループがつけられ、自動制御は、パイロットの疲労を減じる。1933年にウィリー・ポストは、スペリーのオートマティックパイロットによって世界一周の飛行をする。

他方で、飛行機は、対空砲の問題を浮かび上がらせる。これまでとはくらべものにならない速さ、高度を飛ぶ飛翔体に弾丸をあてなくてはならない。そこには、途方もない量の計算が問題となる。軍とスペリー社は、フィードバックループに注目し、自動化された照準システムを構築した。「対空射撃統制では、人間のオペレーターはフィードバックループの一部となり、ひとつの複雑な計算のそれぞれのステージで、データを増幅し、解釈した」(103)。

それは人間が機械の網の目に入り込んでいくような情景である。このような世界の表象が、運転するものだけでなく、製造するものにも広がり、社会全体に拡散していく。

### 3.3. ベル研

第4章では、戦前の制御文化の伝統の三つ目のものとして、ベル研でのフィードバック理論の発展が扱われる。

AT&Tは、大陸中にテレフォン・ネットワークをはりめぐらせる。AT&Tの中興の祖とされるセオドア・ヴェイルは、1910年に、「一つのポリシー、一つのシステム、ユニバーサルなサービ

ス」をかかげた。ベルシステムと呼ばれたこのシステムを実現するために、ネガティブ・フィードバック増幅器が開発され、制御理論の基礎が築かれた。

AT&Tがネットワークのシェアを拡大する鍵は、長距離伝送にあった。だが、電線の抵抗を通じて、減衰 attenuation が決定的な問題となる。くわえて、天候や混信の問題に悩まされる。AT&Tは、装荷コイルや増幅器や中継器の開発、さらにオーディオの特許の購入と真空管の開発を通じて、1915年の万博で大陸間通話を実現させる<sup>6)</sup>。

ミンデルが強調することは、テレフォン・ネットワークの構築を通じて、世界のより多くの部分が伝送可能なメッセージへと翻訳されたことである<sup>7)</sup>。ネットワークは機械となり、エンジニアリングの対象となる。1925年、企業研究における画期となる、ベル研がAT&Tの研究開発部門として創設された<sup>8)</sup>。

1934年、ハロルド・ブラックは、歪みの問題を解決するネガティブ・フィードバック増幅器のデザインを発表した。ミンデルは、これを、「世界の表象としての電気信号の歴史的出現」に関わり、「その信号を操作し、伝送するために開発された技術」に関わり、そして、「これらの技術を可能にした経済的、組織的条件」に関わるものと評価する。電話は、電線といった物質的基盤を離れ、抽象的な信号の伝送として理解されるようになる。ベルシステムは、「情報」を運ぶ「普遍的なシステム」(ヴェイル)となったのだ(106-7)。

ブラックの理論は、ナイキストの周波数についての研究、ボード Bode のネットワークの研究とともに、ベル研におけるフィードバック理論を構成した。だがこのようなフィードバック理論と急速に発展する情報理論は、まだ、ガバナーやレ

ギュレーターやサーボ機構といった制御のエンジニアリングとは結びついていなかった。

### 3.4. MIT

第5章で、四つ目の伝統として扱われるのが、MITの微分解析機であり、その中心にいたヴァネバー・ブッシュとハロルド・ヘイゼンの仕事である。彼らの仕事は、機械とシステムの双方に関わる理論をもたらすものであった。

二人の仕事は、電力を中心としたMITの制御文化から出現したものだ。1920年代から30年代にかけて、ヴァネバー・ブッシュのもとで、システムをモデル化する機械と技法が発達する。

1920年代までに地域的な電力システムが国中で増加した。地域間、あるいはナショナルなグリッドに接続した。負荷率 (load factor) を平たんにして、市場を拡大させることがめざされる。だが、「スーパーパワー」システムと呼ばれるネットワークは、過渡現象 (transient phenomena) に代表される、難しい技術的問題をひきおこした。MITでこの電力システムの安定性の問題が集中的に取り組まれ、物理的な世界を表象する「アナログ」としての計算機が設計された。

1934年、ヘイゼンは、フィードバックに関する二つの決定的な論文を発表する。フィードバック文化は、安定状態のメカニズムからダイナミックなシステムへと変わり、あらゆるタイプのループに適用できるようになる。サーボメカニズムと、増幅器が結びつけられる。

さらに、1935年、ロックフェラー財団の支援で新たな微分解析機が作られる。ロックフェラー財団の自然科学部門のディレクターは、ワレン・ウィーバーであった。戦時のNDRCでの制御文化に決定的な二人の人物が邂逅する。この微分解析機に携わったもう一人重要な人物が、クロー

ド・シャノンである。シャノンは、中継器そのものの計算機としての可能性を示唆する。1937年の修士論文では、ブール代数を用い、スイッチングシステムのデザインを数学的論理とネットワーク理論の世界に移動させる。そして、スティブリッツは、シャノンの論文に触発され、「デジタル」という新しい用語を生み出す(174)。「アナログのアプローチは、サーボ機構の理論に導くばかりか、スイッチング、ルーティング、そして二値的表象へと導いた」のである(139)。

## 4. 戦中の制御技術

本書の第7章から第11章では、第二次大戦期の制御文化があつかわれている。第二次大戦期は、制御技術が急激に発達した時代である。スピードと高度を増す飛行機に対する対空砲火は決定的な問題となった。レーダーが開発され、航空機の追跡を可能にするが、「精密で急速な射撃統制」はそのような器具をシステムへと接続することを必要とした。電話や電力のネットワークの研究から生み出されたフィードバックや制御の理論が、サーボ機構などのエンジニアリングの文化に結びつく。人間と機械の間の問題はさらに先鋭化し、自動化の問題が浮上する。

### 4.1. アメリカ国防研究委員会 (NDRC)

第二次大戦は科学と技術との関係を変容させた。マンハッタン・プロジェクトと原子爆弾に代表されるように、大規模な研究開発がおこなわれ、政府が研究に資金を提供するようになる。その中心人物が、ヴァネバー・ブッシュであった。

1939年にヨーロッパで戦争がはじまり、「対空問題」がさしせまったものとして認識されるなかで、1940年にNDRCが設立された。実際、翌1941年12月には、アメリカ海軍が真珠湾で飛行

機の攻撃にさらされる。

NDRCは、「軍備と調達」をつかさどるAから、「レーダーと射撃統制」をつかさどるDまでの四つの部門からなる。さらにDは、追跡とレーダーを担当するD-1、射撃統制を担当するD-2、計器を扱うD-3、熱放散を扱うD-4に分かれた。本書でミンデルは、主として、制御システムを扱うD-2とその後継であるDivision 7を追跡していく。ブッシュがD-2セクションの長を依頼したのが、ワレン・ウィーバーであった。

D-2の主たる課題は射撃統制であった。さらに、D-2は、対航空システムにおける人間の役割を自動化するという課題に直面した。D-2が契約したMITとベル研には、学術的に訓練を積んだエンジニアと数学者たちがおり、彼らは、射撃統制システムのパフォーマンスと正確性を改善するために、システム内でのデータの流れを、コミュニケーションの問題として研究しはじめた。

D-2とその後継であるDivision 7は、情報、技術、設備を、さまざまな契約者や研究室に移転させた。これは知的インフラストラクチャーとして、標準化をもたらし、射撃統制のための共通言語を生み出した。ミンデルはそれを物流配送センターの比喻と呼ぶ。またミツバチの受粉という比喻を用いるように、さまざまなディシプリンや制度に、制御の問題が移転していく。NDRCは、戦前のエンジニアリング文化が合流する地点であり、そしてそこから戦後の情報学や計算機技術、デジタル文化が花開いていく。

## 4.2. NDRCのいくつかのプロジェクト

### 4.2.1. MITとサーボ研

D-2との契約によって、MITに、ゴードン・ブラウン率いるサーボ研が創設された。サーボ研は、WhirlwindとSAGE対空防衛システムとい

う戦後のコンピュータの歴史の中で重要な開発をおこなった機関となる。戦中においてサーボ研は、サーボ機構をテレフォン・エンジニアリングに結びつけ、コミュニケーションとコントロールの問題を融合した。

ブラウンの論文「サーボ機構の行動とデザイン」は、NDRCによって閲覧と流通を管理され、軍事制御システムの新しい共同体のための教科書となった。サーボ機構は、精密で低圧の信号から重量のある機械の位置を制御するための電気・液圧モーターである。1930年代のMITに在籍したブラウンは、コミュニケーション技法を、サーボ機構の問題に結びつける。

こうして開発されたのが、Mark 14である。動く標的に対して正確にむかう新しい照準機であり、その精密さ、使用の容易さ、簡素さによって、戦時中に85,000台も大量生産された。ここには、サーボ機構とフィードバック増幅器のあいだのアナロジーの関係がある。ラジオや電話技術で用いられた理論やツールが、サーボメカニズムに適用される<sup>9)</sup>。コミュニケーションエンジニアの用語と方法をつかって、機械システムを論じることが可能になる。「いまやメカニズムそのものが、より大きなシステムのほかの部品のように、信号処理器となった。」(230)

#### 4.2.2. T-10と放射線研

NDRCとの最大の契約を交わしたベル研は、T-10という電気照準機をつくった。それは戦中の制御システムのプロジェクトの代表的なものとなった。光学的距離測定器とレーダーのインプットを受け、スペリーの油圧制御によって、90mm対空弾を撃つ。この前提は、サーボ機構がコミュニケーションの言語で概念化されたことであった。「ベル研のエンジニアたちは、T-10照準機

を、増幅器から、サーボを経て、計算機にいたるまでのすべて、あらゆるレベルでのフィードバックシステムとして構想した」(238)

ベル研が開発したM-9照準機は、電気的な入力を受けることができ、それゆえにレーダーと接続可能だった。アメリカにおけるレーダーの開発は、高出力のマイクロウェーブを生み出す空洞マグネトロンがイギリスから提供されたことで、飛躍的に進む。特に、MITには放射研究所Radiation Labが設立され、自動射撃統制に取り組んだ。レーダーでの追跡は、人間のオペレーターが行っていたが、戦中に自動化される。レーダーの信号が、アンテナを動かすサーボを駆動することで、動く標的の自動追尾が可能になる。

このプロジェクトのなかで、システムとは部分以上のものであるという考えが生まれた。さらにノイズという要素が加わる。「ノイズを最小化し、可能な限り信号をゆがめることを最小限にする」(251)。レーダーと電気コンピュータによって、制御エンジニアリングは、伝送、信号、コミュニケーションの実践となった。こうして完成したSCR-584レーダーシステムは、M-9とともにヨーロッパに配備され、自動対空砲火制御システムとして、V-1爆弾を迎撃することになる。オペレーターの訓練がすすみ、レーダーを沿岸に配備し海面に向けることで陸地より干渉エコーが減り、さらに別のフィードバック技術である近接信管が開発され、V-1の迎撃に目覚ましい戦果を挙げる。

#### 4.2.3. Mark 56とシステム統合

第二次大戦の戦場の片方でロボット同士が戦争を繰り広げていたのだとすれば、その反対側では別の人間と機械を結びつける兵器がアメリカ海軍を悩ませた。日本軍の神風特攻である。V-1は予測可能な動きをするが、人をのせた飛行機は早



く、低く、予測不可能であった。「早く、動く標的は、知覚、統合、分節を、単一の高いパフォーマンスをもったユニットへと合体させる射撃統制システムを必要とした」(260)

放射研のシステム部門にいたイヴァン・ゲッティングを中心に、新しいMark56射撃統制システムが構想される。ゲッティングにとって、「『統合された』システムとは、物理的装備や機械的部品以前に、信号、時定数、フィードバックダイナミクスを考慮して、レーダー、コンピュータ、コントローラーを同時にデザインされたものであった」(265)。

だがこのような「システム統合」は、機械や信号の問題にとどまらない。制御システムのなかでは、人間のオペレーターも動的な要素となる。また、兵器の開発、生産の仕事もシステムであった。機械の部品のあいだの信号の流れが制御の対象となるように、制度間の関係もまた制御の対象となった。

デザイン段階からのコーディネーションすることの価値が評価される。対照的に、歴史、偏見、組織、人格といったものが克服すべき複雑な要因と考えられるようになる。そうして、システムが統合され、要素はそのために考慮されることになる。

#### 4.2.4. ウィーナー、シャノン、ENIAC

NDRCは、戦前のエンジニアリング文化の伝統をよりあわせ、戦時の制御技術を発達させていった。だが、戦時という性格のために、戦後に重要となった制御技術のいくつかを支援することはなかった。その代表的なものが、ノーバート・ウィーナーの仕事とENIACである。

奔放なウィーナーのスタイルは軍事機密を扱うNDRCにそぐわず、NDRC自体が基礎研究より

も実際のプロジェクトと具体的結果を志向するように変化していたこともあり、1942年後半にウィーナーとの契約は終わった。他方で、人間の要素の問題は、心理学者による軍事研究への貢献としてすすめられ、「ストレス下の人間」が研究され、戦後の人間工学研究等につながっていく。ウィーナーの仕事はこのような人間と機械との境界をダイナミックなシステムという観点から考える研究の情景のなかにおかれていたのである。

ウィーナーと同様に、戦時中の状況から、NDRCは、その価値をみとめつつも開発が長期におよぶことから、電子計算機の建造に関する契約を拒んでいる。

ここで、ミンデルがくりかえし強調することは、通信と制御の理論が、数学者への啓示から突然に発見されたわけではなく、制御システムに関する戦前のエンジニアリング文化との伝統との関係のなかで生じたのである。そして、システム統合や、システム・エンジニアリングや、デジタルといった概念が、このなかから生み出されていったのである。

### 4.3 機械から情報へ

第二次大戦は、戦前、ばらばらであったサーボ機構と、電話や電力のネットワークの研究からうみだされた情報理論とを結びあわせていくものであった。NDRCは、プロジェクトの契約を通じて、制度や組織や分野を超えて、制御の知識をひろめ、標準化していった。

いまや、世界のさまざまな側面はシステムとして理解することができ、フロー、フィードバック、人間と機械の相互作用としてモデル化することができる。このような考えはその対象をグローバル経済から都市交通までひろげていく。フィードバック、制御、コミュニケーション、情報の言語

は、非常に柔軟で適用可能性がひろい (316)

第二次大戦を通じて、通信（コミュニケーション）と制御が合流し、世界は伝達可能な信号へと翻訳される (319)。エンジニアたちは、世界を、信号、ノイズ、情報の言語によって記述しはじめる (320-1)。機械の世界から、情報の世界が生み出され、制御と通信の二つが結びつくのである。

## 5. 展望——制御と通信の文化

本書は、人間と機械との関係をおいながら、アナログからデジタルへの移行を描き出している。とはいえ、すでに述べてきたように、アナログとデジタルは対立する二項ではなく、それぞれに別の世界の表象の仕方である。機械から通信へと世界を理解し記述する枠組みが変わっていき、信号、ノイズ、情報といったものが重要になっていく。このプロセスは具体的で物質的な技術の歴史のなかで展開される。ウィーナーやシャノンに先駆けて、ベル研のエンジニアたちは、連続的な信号を離散的な信号に変える「翻訳」に従事していた。

本書のもう一つの特色は、「エンジニアリング文化」「制御文化」をいきいきと描き出していることにある。「文化」という問題設定を通じて、制御は、信号や通信などの理論や技術の領域だけではなく、制度や人脈などの問題にも深く関わる。たとえば、「システム」という概念は、工学の水準と社会性の水準の双方に関わり、両者の問題を収斂させていく。

このような社会史的試みは、日本社会を対象としてもすすめられていくべきであろう。

一つの課題として、戦前の技術をめぐる社会的な研究が考えられる。電話や電力の問題は、当然のことながら戦前の日本社会にも導入されている。後進であるとはいえ、同様の課題に直面した

ことが考えられる。さらに、制御をめぐる問題が、産業技術のなかで、能率や合理化、科学的な管理といった主題とどのように絡まりあって議論されていたのか、検討する作業が必要であると思われる。

もう一つの課題として、戦後における情報学や経営学の展開を考えることができる。両者は、「フィードバック」の概念によって、第二次大戦後に隆盛した。これは、一方で、日本社会における情報社会論の検討というプロジェクトを求めると同時に、戦後から高度成長を経て現代社会に至るまで、自己の制御をライフスタイルの中心におく人びとの文化についての研究にも開かれているものであろう。そして、いずれも、技術と文化、社会とモノという領域に関わる研究となるであろう。

## 註

- 1) Rid (2016-2017) の第 1 章。V-1 爆弾に対する射撃統制については Ceruzzi (2012=2013) も触れている。
- 2) 新倉 (2020) を参照。
- 3) この方向で、情報社会と制御社会について議論したものとして、Franklin (2015) がある。
- 4) この「制御社会」をめぐるはいくつかの潮流がある。サイバネティクスをめぐるのは、ダナ・ハラウェイの「サイボーグ宣言」、キャサリン・ヘイルズの『いかにしてポストヒューマンとなったか』、さらに、第二次大戦とそれ以後の「サイボーグ言説」について詳細に論じるポール・エドワーズの『クローズド・ワールド』などの著作がある (Haraway 1991=2017; Hayles 1999; Edwards 1996=2003)。

制御技術については、ドナルド・マッケンジーは、ミンデルが何度も参照するように、「ジャイロ文化」を論じている (MacKenzie 1990)。また、トーマス・パーク・ヒューズは、

その初期の仕事として、エルマー・スペリーの伝記を著し、フィードバック装置の産業の初期を描き出す。また、名著『電力の歴史』によって、電力エンジニアのあいだで「システム」の考えが出現してきたことを明らかにする。このようなヒューズの仕事は、後の *American Genesis* や、ミンデルやドナルド・マッケンジーの寄稿をうけた *Systems, Experts, and Computers* にもつながっていく (Hughes 1971; 1983=1996; 1989; 2004; Hughes and Hughes eds. 2000)。

このような制御の主題については、なによりも、19世紀後半から20世紀初期にかけて生じたビジネスと技術の変容を論じた、ジェイムズ・ベニガーの『制御革命』をあげることができるであろう (Beniger 1986)。また、フィードバック・コントロールの歴史を扱ったスチュアート・ベネットがいる (Benett 1979=1998; 1993)。オットー・マイヤーは、制御機構の源流に時計の機構をみる (Mayr 1986=1997)。他方、ジェイムズ・ワットの蒸気機関における遠心フライボールによる調速機は、技術者にひろく用いられるとともに、人々の意識にのぼった最初のフィードバック機構である。回転する球体は、機械的運動のよく知られたアイコンとなった。これらはいずれもメディア研究やコミュニケーション研究にとって必須の文脈であるといえるであろう。

- 5) このような企図は、情報革命の起源を、第二次大戦ではなく、19世紀にまでさかのぼるジェームズ・ベニガーの『制御革命』の議論と共振する (Beniger 1986)
- 6) ベルシステムの拡大については、Brooks (1976=1982) を参照。
- 7) ジョナサン・スターンは情報理論と音響研究の関係の問題の重要性を指摘している。「情報理論は、コミュニケーションの歴史記述において復興をみてきたが、ポール・エドワーズやデビット・ミンデルらの仕事を除けば、情報理論が心理音響学や電話研究に深いかかわりをもつ

ていることは重要な主題となつてこなかった」 (Stern 2012: 30)

- 8) ベル研については Bernstein (1984=1987), Gertner (2013=2013) を参照。
- 9) そのような理論として、周波数応答, ブラックの特性方程式, ナイキストの安定性基準, そしてボードのマグニチュード位相関係などがある。

## 文献

- Beniger, James R., 1986, *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*, Harvard University Press.
- Bennett, Stuart, 1979, *A History of Control Engineering 1800-1930*, The Institution of Electrical Engineers. (古田勝久・山北昌毅監訳, 1998, 『制御工学の歴史』コロナ社.)
- , 1993, *A History of Control Engineering 1933-1955*, The Institution of Electrical Engineers.
- Bernstein, Jeremy, 1984, *Three Degrees above Zero: Bell Laboratories in the Information Age*, Cambridge University Press. (長沢光男訳, 1987, 『ベル研——AT& Tの頭脳集団』HBJ 出版局.)
- Brooks, John, 1976, *Telephone: The First Hundred Years*, Harper & Row. (北原安定監訳, 1982, 『テレフォン——アメリカ電話電信会社, その100年』企画センター.)
- Ceruzzi, Paul E., 2012, *Computing: A Concise History*, MIT Press. (山形浩生訳, 2013, 『コンピュータって——機械式計算機からスマホまで』東洋経済新報社.)
- Deleuze, Gilles, 1990, "Post-scriptum sur les societe de controle," in Pouparders, Minuit. (宮林寛訳, 1992, 「追伸——管理社会について」『記号と事件』河出書房新社.)
- Edwards, Paul N., 1996, *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, The MIT Press. (深谷庄一監訳,

- 2003, 『クローズド・ワールド——コンピュータとアメリカの軍事戦略』日本評論社.)
- Franklin, Seb, 2015, *Control: Digitality as Cultural Logic*, MIT Press.
- Gertner, Jon, 2013, *The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation*, Penguin books. (土方奈美訳, 2013, 『世界の技術を支配するベル研究所の興亡』文藝春秋.)
- Haraway, Donna J., 1991, *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*, Routledge. (高橋さきの訳, 2017, 『猿と女とサイボーグ——自然の再発明』青土社.)
- Hardt, Michael and Antonio Negri, 2000, *Empire*, Harvard University Press. (水嶋一憲ほか訳, 2003, 『帝国：グローバル化の世界秩序とマルチチュードの可能性』以文社.)
- Hayles, N. Katherine, 1999, *How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Inofomatics*. The University of Chicago Press.
- Hughes, Agatha C. and Thomas P. Hughes eds., 2000, *Systems, Experts, and Computers: The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and after*, MIT Press.
- Hughes, Thomas Parke, 1971, *Elmer Sperry: Inventor and Engineer*, The John Hopkins University Press.
- , 1983, *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, The John Hopkins University Press. (市場泰男訳, 1996, 『電力の歴史』平凡社.)
- , 1989, *American Genesis: A Century of Invention and Technological Enthusiasm*, The University of Chicago Press.
- , 2004, *Human-Built World: How to Think about Technology and Culture*, The University of Chicago Press.
- 北野圭介, 2014, 『制御と社会——欲望と権力のテクノロジー』人文書院.
- Levin, Miriam R. 1996, *Cultures of Control*, Routledge.
- MacKenzie, Donald, 1990, *Inventing Accuracy: A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance*, MIT Press.
- Mayr, Otto, 1986, *Authority, Liberty, and Automatic Machinery in Early Modern Europe*, The Johns Hopkins University Press. (忠平美幸訳, 1997, 『時計じかけのヨーロッパ——近代初期の技術と社会』平凡社.)
- Mindell, David A., 2002, *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing before Cybernetics*, The Johns Hopkins University Press.
- , 2011, *Digital Apollo: Human and Machine in Spaceflight*, MIT Press. (岩澤ありあ訳, 2017, 『デジタルアポロ——月を目指せ 人と機械の挑戦』東京電機大学出版局.)
- 新倉貴仁, 2020, 「(研究ノート) 情報社会と制御革命——Beniger, James, *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*をめぐって」『コミュニケーション紀要』31: 189-199.
- Rid, Thomas, 2016, *Rise of the Machine: A Cybernetic History*, W. W. Norton & Company. (松浦俊輔訳, 2017, 『サイバネティクス全史——人間は思考するマシンに何を夢見たのか』作品社.)
- Shannon, Calude Elwood and Warren Weaver, 1949, *The Mathematical Theory of Communication*, the University of Illinois Press. (植松友彦訳, 2009, 『通信の数学的理論』ちくま学芸文庫.)
- Sterne, Jonathan, 2012, *MP3: The Meaning of a Format*, Duke University Press.
- Wiener, Norbert, 1948, *Cybernetics: Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press. (池原止戈夫他訳, 2011, 『サイバネティクス——動物と機械における制御と通信』岩波書店.)

## A History of Control Technologies: A Tentative Review of David A. Mindell's *Between Human and Machine*

NIIKURA Takahito

### Abstract

This article examines the arguments of David A. Mindell's *Between Human and Machine*, exploring the concept of "control" in society. Mindell emphasizes that the history of control culture began with prewar engineering. In the first half of this book, Mindell traces four control culture traditions: the US Navy Bureau's fire-control systems, Sperry Gyroscope Company's feedback-looping actuators, Bell Telephone Laboratories' negative-feedback amplifiers, and MIT's differential analyzer. In the latter half, he focuses on how the interactions among those institutions helped the Naval Defense Research Committee (NDRC) develop anti-aircraft weapons, converging the prewar engineering culture with communication theories. This colorful history of technologies expands the horizons of social histories of not only the information society but also the lifestyle of Japan's middle class.