

# モデルベース開発と人工知能



足立 修 一

慶應義塾大学理工学部  
物理情報工学科 教授

1986年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。工学博士。同年(株)東芝入社、総合研究所に勤務。1990年宇都宮大学工学部電気電子工学科助教授、2002年同教授。2003～2004年ケンブリッジ大学客員研究員。2006年慶應義塾大学理工学部物理情報工学科教授となり、現在に至る。システム同定理論・制御理論とそれらの産業応用に関する研究に従事。計測自動制御学会、日本鉄鋼協会の理事を歴任。計測自動制御学会フェロー、電気学会、日本機械学会、IEEEなどの会員。

## 1. はじめに

私が「モデルベース開発」(Model-Based Development: MBD)という言葉が自動車メーカーの技術者から初めて聞いたのは、15年くらい前のことだった。英語表記にしたがって「モデルベースト開発」としたらどうでしょうか？とそのときに言ったことを覚えているが、「モデルベース」という方が言いやすく、現在ではこの表現が定着した。アカデミックな世界だけでなく、産業界においても「モデル」という用語が浸透してきたことを大変うれしく思っている。モデルという用語は使う人によってさまざまな意味をもつが、本稿では複雑な現象の本質を数式で表現したものをモデルと呼ぶ。モデルを得ることによって、実システムをシミュレーション可能になる。また、モデルを活用することによって、標準的な設計の道筋が開ける。

一方、いわゆるビッグデータを活用した「機械学習」に代表される「人工知能」(artificial intelligence: AI)<sup>(1)</sup>への関心が非常に高まり、第3次AIブームが到来した。本稿では、モデルベース開発と機械学習の密接な関係について、筆者の専門である制御理論<sup>(2)</sup>の観点から紹介したい。

## 2. モデルベース開発

各工程ごとにテストを対応させたソフトウェアサイクルは、Vサイクルモデルと呼ばれる。特に、自動車産業では、Vサイクル全体にモデルを活用することにより、工数の低減や開発期間の短縮化を図るモデルベース開発(MBD)が普及してきた。このVサイクルでは、モデルを用いた設計にはじまり、計算機上でのシステム設計の検証を経て、プロトタイプハードウェアによる検証を実施する。そして、モデルに基づいて量産コードを生成し、システム検証におけるシミュレーションにこのモデルを継承する(図1参照)。

部品点数が3万個とも言われる巨大システムである自動車を開発する上で、車両システ

ムの品質確保や性能向上のためにモデルは利用されている。自動車のさらなる高機能化と複雑化に直面している現状において、モデルなしでは開発できない時代になってきた。自動車産業においては、『CAE ツール (たとえば, MATLAB/Simulink) を使って, 制御対象と制御装置をモデリングし, それらに基づいて制御システムを開発する方法』を MBD の定義とすることが多い。

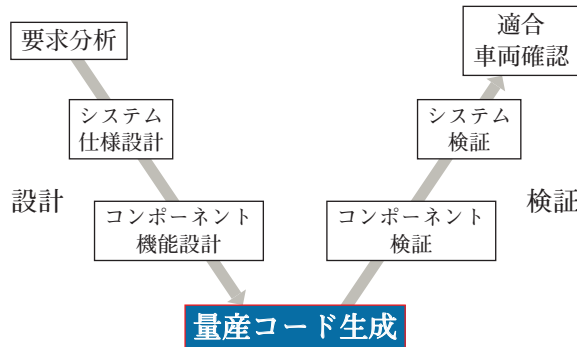


図1 MBDにおけるVサイクル

### 3. モデルと AI の関係

ある現象を理解し, それを対象物として設計するサイクルを図2に示した<sup>(3)</sup>。

最初に, 自然界における何らかの現象を「理解」したいという科学的探究心から出発する。いわゆるサイエンスである。その手掛かりとなるものが「データ」である。たとえば, ケプラーは, 膨大な観測データに基づいて太陽に対する火星の運動を推定し, ケプラーの3つの法則を発見した。ケプラーの真の功績は, 数学的な裏付けをもつ物理モデルを導出する方法の先駆者だったところにある。すなわち, 観測データから物理法則を発見し, それをモデル(数式)として表現したのである。

ケプラー, ガリレオなどにより定量的に発見・研究されてきた物理や, 同時代の自然哲学者らが得ていた知識を, 微分・積分に代表される数学的記述を用いて体系的にまとめあげたのが, 『プリンキピア(自然哲学の数学的諸原理)』(1687)を著したニュートンである。このニュートンとデカルトにより近代科学が誕生したとされるが, その礎になったものが, 複雑な現象を単純化して数式で表すことであった。その典型的な例がニュートンの第二法則(質量×加速度(すなわち, 位置の2階微分)=力)であり, この微分方程式は力学システムのモデルであると考えられることができる。

このように, 膨大なデータ(すなわち, ビッグデータ)から法則や原理を導き出し, それを数式で表現しモデルを得たのである。このプロセスを「モデリング」と呼ぶ。ニュートンの時代から, この作業を行うことができるのはごく一握りの天才と呼ばれる人間だけだった。しかしながら, 近年, ビッグデータを用いて, このプロセスを機械に代行させようとするのが機械学習であり, このような技術は人工知能(AI)と総称される。ここまでの, 図2の左半面である。このように, モデルとAIとはデータを介して密接に関係しているのである。

モデルを手に入れると, つぎの欲求はそれを活用することだろう。その第一歩が「解析」

である。モデルを用いることによって、対象の性質を調べ、対象の未来の挙動を「予測」することが可能になる。たとえば、精密な気象モデルが計算機の中に構築できれば、台風の未来の動きを予測することができる。さらに、対象を思いのままに操ってみたいくなる。これが「設計」と呼ばれる工学的創造心である。いわゆる「工学」である。このとき中心的な役割を果たすのが「制御」である。このように、図2の右半面がMBDに対応する。



図2 現象の理解から設計まで

#### 4. モデルベースの考え方

前節で述べたように、複雑な自然現象をモデルという単純化された数学的表現に変換することは非常に重要であり、さまざまな分野で独自のモデリング技術が発展してきた。

大規模・複雑なシステムを対象とするとき、「モデル」という共通言語をベースとすることにより、標準化が図られ、開発効率が向上する。また、モデルを共有することにより、開発担当者間での「摺り合わせ」が容易になり、開発の質が向上する。このように、モデルを用いることにより専門の壁を突破することが期待される。

たとえば、自動車を開発する場合、自動車はエンジンをはじめとしてパワートレイン、ブレーキ、エアコン、オーディオなどさまざまな構成要素から成り立っている。特に、電気自動車では、駆動源である「モータ」とエネルギー源である「電池」が主要な二大部品になる<sup>(4)</sup>。前者のモータは、フレミングの法則、ニュートンの法則、キルヒホッフの法則などの物理法則にしたがう。一方、後者の電池は、電気化学の分野における複雑な化学反応式によって動作する。そのため、物理と電気化学という異なる技術領域の双方を結びつけるインターフェイスが必要になる。その有力な候補が「モデル」である。モータを物理モデリングすることにより、モータの入出力関係を表現するモデル(具体的には、伝達関数)が得られる。電池<sup>(5)</sup>は、電池に流入出する電流を入力、電池の端子間電圧を出力として入出力データからシステム同定<sup>(6)</sup>と呼ばれる方法でモデリングされ、同じく伝達関数というモデルが得られる。これらのモデルを利用することによって、モータと電池を同じ土俵で取り扱うことが可能になる。ひとたびモデルが得られれば、それを用いて制御系を設計することもできるし、カルマンフィルタ<sup>(7)</sup>を用いて測定できない物理量を推定することも可能になる。

## 5. まとめ

「モデル」は知の結晶である。そして「データ」はモデルを生み出すために必要な源である。本稿で取り上げたモデルベース開発 (MBD) とデータを活用した機械学習に代表される人工知能 (AI) は独立したものではなく、密接に関係していることを制御理論の立場から述べた。特に、自動車の代表されるような物理的な法則にしたがう対象を相手にする場合、データだけではなく、その物理的な性質 (ダイナミクス) を活用することを決して忘れてはならない。

## 参考文献

- (1) C. M. ビショップ著, 元田浩ほか監訳: パターン認識と機械学習 (上, 下), 丸善 (2012)
- (2) 足立修一: 制御工学の基礎, 東京電機大学出版局 (2016)
- (3) 石川, 平野, 本多, 南, 大須賀: 因果関係を理解するためのデータ駆動手法とモデル駆動アプローチ, MSCS2017, 1B1-3, 岡山大学 (2017)
- (4) 廣田, 足立 編著, 出口, 小笠原 著: 電気自動車の制御システム, 東京電機大学出版局 (2009)
- (5) 足立, 廣田 編著, 三原, 押上, 馬場, 丸田 著: バッテリマネジメント工学～電池の仕組みから状態推定まで～, 東京電機大学出版局 (2015)
- (6) 足立修一: システム同定の基礎, 東京電機大学出版局 (2009)
- (7) 足立, 丸田: カルマンフィルタの基礎, 東京電機大学出版局 (2012)