

磁気研究よもやま話

今回の磁気研究よもやま話は、法政大学名誉教授の齊藤兆古先生にご執筆いただきました。数値電磁界解析、画像認識をはじめ、幅広い分野にわたるご研究を通して涵養された思想、なかでも過去に積み重ねられた経験知識を学ぶことと独創・創造との関係についてのお考えは、読者の皆様にも大いに参考になることでしょう。

モッキンバード

Mockingbird

齊藤兆古 法政大学名誉教授

Y. Saito, Emeritus Professor of Hosei University
Tel: 042-596-3214, Fax: 042-596-3214, E-mail: ysaito@hosei.ac.jp

まえがき

後進の勉強になる話を書いて欲しいと依頼された。素晴らしい研究をするためや研究者になるための含蓄を書くのは不得手である。私は面白い研究だけを思い付くままやった人間だから私の話がためになる自信がない。

自分の好きなことだけを生業とする職業を探して漫然と大学へ入学した。大学で最初の講義を受講して「大学教員」になろうと決心した。理由は単純である。中学や高校の教員と違い大学の教員に「自由」の雰囲気を感じたからである。教員になった後、職員の方から大学の教員は「研究教授、教育教授、行政教授、遊民へ分類される」と伺った記憶がある。おそらく私が大学で初めて受講した講義を担当された先生は「遊民」の雰囲気を醸し出されたのであろう。高校までの先生は授業内容を押し付ける傾向が否めない。他方、大学の先生は「きちんと講義はやる、講義を聞か聞かないかは受講者の自由」と感じた。なげやりな雰囲気は否めないが高校までの教育と違い、講義を聞か聞かないかは自己責任で決めればよい。これが高校までの教育と本質的な相違である。

この教育文化の違いは、受験が控える高校までの教育が持つ「しがらみ」が大学教育ではないことによる。大学で学んだことが先々問われることがないと考える学生は卒業単位だけをそろえることに終始し大学教育を通過儀礼へ形骸化させる。これも本人次第である。教え子の進学率で評価される高校までの教員に対し、教育の成果がほとんど問われないのが大学教員である。換言すれば、仕事の結果を問わず自分なりにキチンと仕事をすればよい。これが大学教員のスタンスである。

よし、大学の教員になろう。講義をキチンとやれば後は自由だ。講義は先々の試験を前提にしない。これこそ私が求めていた人生だ。そんなことで大学入学後、大学教員になる決意を固め、チャランポランだった勉強を多少真面目にすることとした。その結果、幸運にも大学教員となるこ

とに成功し、自分なりに仕事を全うして定年退職を迎えた。退職にあたってまとめた話がモッキンバード（まねツグミ）である。

Harper Lee (1926~2016)なるアメリカ人によって書かれた“To Kill a Mockingbird”なる題目の有名な小説がある。本稿の題目「モッキンバード」はHarper Leeのそれとは全く無関係ですのでご注意ください¹⁾。

モッキンバード

マイルスデービスはジャズの帝王と呼ばれている。彼は幼いころからトランペットの英才教育を受け、音楽エリートに登竜門であるジュリアード音楽院へ入学した。当時のジャズトランペットの演奏は体力が勝負の世界であった。さほど体力に恵まれてなかったマイルスは自分の才能に見切りをつけ音楽院を止めたいと父親に相談した。父親が彼に語った話がモッキンバードである。モッキンバードはあらゆる鳥の鳴き声をまねることができる。しかし、自分の鳴き声を持たない。こんな話である。この話を聞いてマイルスはニューヨークへ帰り、独自のジャズトランペットの演奏法を確立した。すなわち、彼は自分の鳴き声を持ったモッキンバードへ成長した²⁾。

よく理科系は思考力や推理力が大切であり、暗記ばかりではよろしくない。こんな話を聞くことがある。しかし、すべからく学問はまず既存の知識取得であり、思考力や推理力を多少は必要とするが基本は憶えることに尽きる。換言すれば、得手不得手はあるがまずは既存の鳥の鳴き声をまねる技量が肝要である。これは、マイルスが幼少期からトランペットの英才教育を受け、既存の鳥の鳴き声をまねる技量を身に着けた後、独自の演奏法を確立したことから明らかである。

高校の数学で記憶に残った授業は2次関数である。たまたま代理で授業に来られた先生であったが良い先生だった。2次関数は面積を意味する。面積の最大最少で物品の面寸法を決める話である。例えば、ドアの面積は2次関数

であるから最大値をとる。この性質を利用してドアの初期設計値を決める。こんな話であった。これは、知識を学ぶうえで知識の効用を知ることの重要性を示唆している。

主な高校の授業科目は練習問題を解くための基礎知識の取得が目標であり、基本的には暗記である。入試レベルの応用問題は解答や解法を知らねば解くことが不可能に近くパズルの感がある。いずれにしろ、まずは憶えることである。英会話でも単語の語彙が少なくでは会話が成立しない。まずは英単語の語彙を増やすことが第一義であり、次に単語の組み合わせを学ぶ。

農業経済学のオーソリティから工系教育に関するコメントをいただいたことがある。工系教育は自動車教習所とどこが違うのか？ こんなコメントである。確かに自動車の教習は自動車の構造や法規などに関する座学と運転の実習からなる。工系教育は理論的側面の座学と実際の機材を使つての実験からなる。自動車の運転免許を取得するプロセスと工系教育の違いがわからない。工系の大学は技能取得学校であるとする考え方である。この先生は陸軍士官学校出身で専門は通信であり、農業経済学は戦後に大学へ入り直して学ばれた。このため、工科系に関して全くの素人ではない。

農業経済学のオーソリティはおそらく若き日に学んだ士官学校と戦後学んだ文系大学教育の相違から工系＝専門学校論が生まれたのであろう。文系の大学教育では自分の意見が許される。自分の意見が許容され生かされる世界が大学であるとする話は文系の先生方からよく伺う。

自然科学をベースとする理工系では初級学生の意見など歯牙にもかけられない。自然界の普遍的性質を学ぶ理学とそれから文明の利器を創造する工学は、それぞれ、人類の知的探求心の果実と文明生活の利便性を向上させる方途である。文系と違い理工系は議論するに足り知識が精緻で膨大であるため学部教育の大部分が高校の延長となり、その意味で自動車教習所と同じである。自動車教習所は免許取得で終わり発展性がない。しかし、理工系大学教育は、運転免許に対応する知識を駆使して自然界の新しい知見の取得や文明の利器を開発する能力を育成する世界である。要するに、大学教育はまねだけではなく自分の鳴き声を持つモッキンバードに育てることである。文系と理系の相違は自分の鳴き声を持つまでのアプローチの長さの相違であろう。これは医学部の教育を考えれば自明である。

かくして高等学校までのすべての知識と学部で学ぶ大部分の知識は研究者として基礎学力となる。高等学校までに学んだ基礎知識は偏差値として測ることができる。偏差値の高い大学はモッキンバードとしての資質、これをここでは「モッキンバード指数」と呼ぶ、が高い学生のみが入学できる。

モッキンバード指数の効用

世間一般ではこのモッキンバード指数、すなわち、偏差値をもって学校が優秀か否かを評価する。この傾向はアジア圏の発展途上国ほど顕著であり、基本的にモッキンバード指数の高い大学は国家を代表する教育機関であり、国家を支える人材を輩出する高級テクノクラート養成機関である。熟成された先進国家では必ずしもモッキンバード指数がすべてではない。しかし、世間一般では、大学の評価はやはりモッキンバード指数が独り歩きする。

熟成された先進国家では必ずしもモッキンバード指数がすべてではない。これは既存の知識の集大成に対応するモッキンバード指数だけでなく、「創造性」が評価されるためである。創造性は他の動物が持たない人間だけが備えた知的能力である。既存の学術や技術に習熟することはあらゆる鳥の鳴き声を精緻にまねることを意味する。他方、創造性は新しい学術や技術分野を開拓する能力であり、単に新しいだけでなく他の鳥がまねせざるをえない鳴き声を持つモッキンバードを意味する。一般に創造性の高い赤ちゃんモッキンバードを見いだすのは極めて困難であり、創造性と言う人間のみが持つ特異な能力の発現予知は簡単でない。

発展途上国では先進国家から知識を学び吸収することが先進国に追いつき追い越すために必須である。このため、大多数の発展途上国では、モッキンバード指数だけで大学が評価される。非常に多くの工業製品が発展途上国で作られる。大部分が先進国家で作られている製品と同じであり、いわゆる「パクリ」などと言われたりする製品も多い。製品によって、パクリはさして高度な技術を必要としない。しかし、精緻な電子機器などではパクリも簡単でない。高度なパクリには高度な知識と技術が必要となる。これを可能とするのが高いモッキンバード指数を持つ人材である。高度な工業製品を製造する能力は国力そのものであり、発展途上国が熟成した国家に育つ必要条件でもある。

世間一般では、入学試験が難しく高いモッキンバード指数を持つ学生しか合格できない大学を優秀な名門大学と評価する。この評価の面白さは教育機関や教員が入学者のモッキンバード指数で評価される点にある。言い換えれば、モッキンバード指数が高い大学の教員は優秀であり、モッキンバード指数が低い大学の教員は優秀でない。善悪しは別として、現実はこのような考え方が大勢である。

熟成された先進国家においても、学術や技術レベルを他国に追随するため、モッキンバード指数が高い人材は重要である。また、高度な社会システムの維持管理に高いモッキンバード指数を有する人材は必須である。例えば、法治国家では万事をあらかじめ制定された法律と先行事例に基づいてなす。当然、すべてを取り仕切る政府は法律と先行事例に熟知した人材で構成される。言い換えれば、政府は高いモッキンバード指数を持つ役人で構成される。

モッキンバード指数が高い人材が入学する教育機関がいわゆる名門と呼ばれる。例えば上級国家公務員の合格者を多数輩出する大学、司法試験や公認会計士試験などの難関と言われる国家試験の合格率が高い大学が名門大学である。人類が試行錯誤的に積み重ねてきたあらゆる経験知識の集大成である人文科学・社会科学・自然科学、すなわち、文学、政治学、地政学、刑法、経営学、経済学、社会学などの国家運営に関する学術、さらに、医学、生物学、物理学、理工学などの高度な専門知識を身につけた人材は一流の先進文明国家運営に欠かすことができない。

モッキンバードは西欧の鳥

極めて高度な技術を持つ企業が巨大プラントを受注したとしよう。理論的側面は当然として、企業の真の実力は過去に受注した経験が大きなウェイトを占める。過去に受注した数が膨大であっても経験を生かすのは経験から蓄積されるデータベースである。根幹となるデータの蓄積とそれを生かす能力は学習と問題解決に長けた人材で決まる。

データベースをどのように構築するかでデータベースの在り方が異なる。個々の人間が得た知見を文献情報で記録した西欧に対して、東洋では口伝を主体とする伝承による情報伝達であった。前者は情報が利用される都度、情報自体がリファインされ、結果として洗練されたデータベースが構築され、世界を席卷する学問体系の創成へつながった。後者は剣術の極意など、主として体に憶えさせる術としての要素が大きく、筆舌に尽くせない知見として伝承された。誰でもが読んで使うことが可能な西欧型の文献情報は、誰が使っても同じ結果が得られる普遍的な情報へ精製され、最終的には系統的に体系化された多くの学問の基礎となった。他方、いわゆる体で憶える東洋型の情報伝達手段は名人芸などを歴史に残すにとどまった。すなわち、人類が経験的に獲得した知識や技術を集積するデータベースは、その構築方法で栄枯盛衰が決まったようである。

西欧が創始した文献情報型データベースは人類共通の自然科学の基盤を生んだ。誰でもがデータベースをアクセス可能な形で構築すれば、不特定多数の利用がデータベースを普遍性のあるものへリファインし、洗練された学術基盤へつながった。中国の古い文献によれば磁石の発見など東洋でも多くの知見があったと記されている。しかし、残念ながら情報の伝達が伝承型であるため、世界の主流とならず埋もれた。この結果は、学術書の中に見られる大部分の法則や式が西欧人の名前を冠していることからもうなずける。

西欧を起源とする自然科学の手法は汎用性に富み多くの課題へ適用できる。しかし、与える結果は基本的な筋道だけであり、個々の事例に対する詳細なプランを与えない。基本的な筋道である概念設計から個々の事例への対応は東洋型の伝承による熟練技術でなされる。この熟練技術に長

けた民族が日本人かもしれない。これは、同じ工業製品でも日本製の仕上げの精緻さ、使い勝手の良さ、耐久性などを考えれば自明であろう。日本的な熟練技術を系統的に整理し、新しい学術体系を構築する試みが過ぎてなされたが完成した話は聞かない。

最近視聴覚情報を直接データベース化する技術が広範に用いられる。また、従来スパコンでのみ可能であった巨大な演算機能がマイクロコンピュータに実装され、いわゆるディープラーニングがポータブルな電子機器で可能となった。その結果、音声認識や画像識別がスマートホンですら実用的となった。このようなオーディオビジュアルなデータベースやAI技術の学術的な位置づけを考えよう。

古典的な西欧型データベースは解析的な数式のハンドリング、理工系に限定すれば線形システムである。いろんな入力に対して線形システム（連立方程式）としての解を与える。他方、東洋的な伝承型熟練技術は数式や記述だけでは不可能な非線形システムである。

近年のオーディオビジュアル技術は視聴覚情報をありのまま記録する。音声認識や画像識別では記録された視聴覚情報を何らかの形で計数化している。計数化後のハンドリングは線形システムでなされる。認識や識別には必ず学習過程が必要である。学習過程は何らかの非線形演算であり、熟練技術型プロセスそのものである。この熟練技術、すなわち、AI（人工知能）は大型の線形システムの反復計算で実現される。大型線形システムの反復計算はシミュレーションそのものであり、シミュレーションが熟練技術を代替える。この種のシミュレーションは従来スパコンでのみ可能であった。しかし、半導体の高度集積化技術の進歩がマイクロコンピュータにも部分的にスパコン並みの能力を付与し、結果として、従来の学術から距離感のある世界を生み出した。

視聴覚情報を計数化する技術はデジタル技術である。音声信号は一定の間隔でサンプリングされた量子化信号として記録される。画像信号は可視光の波長に応じて赤(R)、緑(G)、さらに青(B)色情報へ分類して記録される。RGBそれぞれの画像を構成する画素は通常8ビットの256階調である。1画面当たりの画素数が解像度と言われ、高解像度はより高精細画像を意味する。

しばらくして視聴覚情報信号は離散化された数値で近似され、デジタル計算機でハンドリングされる。膨大な数の視聴覚信号を用いてシミュレーションによる学習が行われ、閾値などの経験に依存するパラメタが決定される。学習は膨大なデータをハンドリングする線形システムの反復演算であり、デジタル・シグナル・プロセッシング・ユニット(DSP)やグラフィック・プロセッシング・ユニット(GPU)で行われる。

視聴覚信号を用いた音声認識や画像識別は明らかに古典的な線形システムと経験値を融合させたデータベースのハ

ンドリングにほかならない。換言すれば、デジタルコンピュータは西欧と東洋型データハンドリング技術を融合し、新しい世界を生んだ。

大学のモッキンバード

工業製品を作る産業の評価はプロダクトの品質でなされる。大学であれば卒業生が大学で身につけた学力や技能で評価されるとする考え方である。天皇陛下の心臓手術はモッキンバード指数が最も高い医学部の卒業生によって行われていない。これは、モッキンバード指数が高い超難関医学部の医療技術は優秀であるが必ずしも最優秀でないことを意味する。この状況は医学部だけでなくほかの学部でも同様である。

学生を産業プロダクトとみなした場合、高いモッキンバード指数を持つ学生を集めた大学は高品質であるが必ずしも最優秀の卒業生を生まない。いわゆる名門と言われる大学だけの卒業生が必ずしもノーベル賞を受賞しないことから明らかである。

熟成された先進国家では創造性が大きな評価点である。既存の学術や技術に習熟すること、すなわち、あらゆる鳥の鳴き声をまねる能力に加えて、新しい学術や技術領域を創始する能力が評価される。新しい学術は人類の知的創造力の果実であり、新技術は生活をより快適にする文明の利器を生む。

大学の教授陣を見渡すと大学教授は大きく「研究教授、行政教授、教育教授、遊民」へ分類されるようである。大学の役割は完成した既存学術や技術の取得だけでなく、研究とその研究成果を教育へ還元することと言われる。日本では、最近の大学進学者の増加により、大学では学部の教育よりも大学院での研究が中心となっている。換言すれば「研究教授」が持てはやされる時代かもしれない。

研究教授には諸外国や他大学発信の新しい理論や実験を組織的に追従する方がおられる。最新流行の鳴き声を必死でまねるモッキンバード型教員である。この種のモッキンバード型教員は重要な研究課題を最新知識で解決する。大学としても国家としても諸外国に遅れない最新学術と技術を取り込むために重要な人材である。

膨大な最新知識をものにするモッキンバード型教員が重要な研究課題を独自の発想で解決する場合がある。独自の発想が人類のより豊かな文明生活へ寄与する知的財産を生む場合がある。これがノーベル賞クラスの教員であり、優秀なモッキンバードでありながら自分独自の鳴き声を持つ創造型モッキンバードである。少なくともマイルスデービスはジャズトランペット界の創造型モッキンバードである。

最新学術をつまみ食いしながら独自の研究を進める研究教授も存在する。この種の研究教授は独自の研究課題を持ち、この課題をスマートに解決するために最新学術の調査

を怠らない。ほかの研究者のアイデアの単なる模倣でなく、概念を学び、他者のアイデアを自分の研究課題へ拡張し適用する研究者である。この種の研究者を独創型モッキンバードと呼ぼう。創造型モッキンバードはノーベル賞クラスの研究を行う人材であるが、独創型モッキンバードは必ずしもノーベル賞までの創造性を持つ人材でない。独創型モッキンバードは特許のような新技術開発につながる研究成果を生む研究者である。

日本の大学の研究者は大多数が優秀なモッキンバードであり知識人としては世界へ誇れる。創造型モッキンバードの数は国家や大学の先進性を表すバロメータと言える。独創型モッキンバードの数は国力のバロメータである。

まねが下手なモッキンバード

筆者の学部時代は教授すべてが旧帝大出身であった。研究論文を書く先生は少なかったが実務能力は秀逸であった。第二次世界大戦前の日本がいまだに発展途上国であり、大学教育が知識集約型モッキンバード養成であったこと、および第二次世界大戦が実務能力をブラッシュアップしたことによるのであろう。当時の教授陣が口癖のように「新制大学だから云々」という言葉が印象的であった。最近の「ゆとり教育だから云々」の言葉と同じで老人の嘆きにはほかならないと考える。

その後、教授陣の若返りが進むにつれて研究が盛んになり、研究用機材の整備が進んだ。また、研究論文の数が研究成果として競われ始めた。歴史の浅い新規研究分野の論文数が歴史ある熟成した研究分野のそれに比較して圧倒的に多い。新しい鳴き声生まれる都度それをまねる鳴き声がたくさん聞こえるが、まねの鳴き声が出尽くした成熟度の高い研究分野ではまねが少ない。したがって、両者を単純な論文数で比較することはナンセンスである。

筆者は電気機器内の磁界測定を試みた結果、磁性材料の磁化特性が支配する世界を知った。この複雑怪奇な世界を解明するため、如何にして磁化特性を厳密に数値電磁界解析へ導入するかがライフワークとなった。

誘導電動機のスロットヘサーチコイルを装着し空隙中の磁界分布を初めて測定したときのショックは忘れられない。電気機器のテンソル解析³⁾など絵空事であり、磁性材料の磁化特性を考慮しない数値電磁界解析は無意味と感じた。逐次直線近似による磁気飽和特性導入だけではとうてい高精度な数値電磁界解析は不可能であり、磁気履歴特性まで勘案した数値電磁界解析技術の開拓が、結果として、現在でも未完成であるライフワークとなった。

磁化特性を考慮した数値電磁界解析を行うためには磁化特性を表す構成方程式が必要である。磁化特性のモデリングは2系統に大別される。微小な矩形磁石を仮定した古典的なPreisach型モデルとデジタル計算機を前提とする回路解析のために開発されたChua型モデルである。両者を

Rayleighの関係式を通じてつないだことが筆者の細やかなモッキンバードの鳴き声である⁴⁾。

かくして、筆者自身は「まねが下手なモッキンバード」であり、時々細やかな鳴き声を試みるアカデミックライフを過ごした。

References

- 1) <http://www.sparknotes.com/lit/mocking/>
- 2) <https://www.milesdavis.com/>
- 3) Y. Saito: The theory of the harmonics of the m, n -symmetrical machine, *ETZ-A*, H.10, Oct., 1974, 526–530.
- 4) Y. Saito, Y. Kishino, K. Fukushima, S. Hayano, and N. Tsuya: Modelling of magnetization characteristics and faster magnetodynamic field computation, *J. Appl. Phys.*, **63**, 3174 (1988).

(2017年11月1日受理)



齊藤兆古 さいとう よしふる

1946年7月24日生。1975年3月 法政大学大学院工学研究科博士課程修了。同年同大学助手、1976年 同講師、1978年同助教授、1987年 同教授、2017年同名誉教授、現在に至る。主として、計算電磁力学、生体磁気、磁気応用、逆問題、可視化電磁気学などに関する研究に従事、工学博士、マックギル大学客員研究員(1981)、清華大学高級訪問学者(2001)、南オーストラリア大学客員教授(2002)、*International Journal of Applied Electromagnetics in Materials and Mechanics*, Editorial Board. IEEE, 電気学会, 電子通信情報学会, 日本磁気学会, 日本生体磁気学会, 日本シミュレーション学会, 日本AEM学会会員, 計算工学会, 日本保全学会, Electromagnetic Academy (MIT) 会員。