

難しいことは重要ではない?



随 筆

梶 島 岳 夫*

One would like to believe the problem would be small

Key Words : Polytechnic College, Simulation, Turbulence

はじめに

元日に原稿を書き始めた矢先、日本はどうなってしまうのかと不安になる災害や事故の報道に釘付けになっていました。厳冬期にある能登半島の地震被災地は、複雑な地形で広範囲にわたる被害の詳細が把握されないままで、たいへん気掛かりです。一刻も早く救援が届き、復興に向かうことを願うばかりです。

わたしは、大阪大学工学研究科を退職した2022年3月まで、17年ほど「生産と技術」に関わる機会をいただきました。定例の懇親会付き編集委員会(編集委員会付き懇親会?)は良い思い出です。最後の2年はオンライン会議となり、直接ご挨拶できなかった委員各位、また、多くの執筆者、生産技術振興協会の皆様には、この場を借りてお礼申し上げます。

依頼を受けた随筆の参考にしようと、本誌のウェブサイトでバックナンバーを閲覧しました。かつて編集委員会でご一緒した先生方ひとりひとりの人柄がにじみ出た文章に懐かしさを感じます。随筆の他にも、幅広い分野の読者を想定して工夫を凝らした解説、研究や教育に対する高い見識など、良質の記事が本誌を支えてきたことを再認識しました。あれこれと読みふけているうちに「締切厳守」のリマインダーが舞い込みました。

辛苦了

香川県丸亀市にある四国職業能力開発大学校に2年前から赴任しております。大学に対して、文部科学省以外が所管するのが省庁大学校で、本校は厚生労働省関連の独立行政法人によって運営されています。職業能力開発大学校は全国10ブロックに1校ずつ、加えて付属の短期大学校が計14校あります。それぞれの地元では、ポリテクカレッジの通称の方が親しまれているようです。四国能開大は前身を含めて開校43年目で、わたしの前任まで9名の校長のうち、最近の30年余は大阪大学の名誉教授(荻野和己、世古口言彦、中村喜代次、稲葉武彦、中山喜萬、相良和伸の各先生)が務められました。

着任して2年目ですが、職場でいまだに馴染めない習慣があります。ねぎらいだけでなく、挨拶言葉としての「お疲れさま」です。まだ仕事をしていないのに、朝からお疲れさま。相手が見えないのに、メールの冒頭でお疲れさま。当初は、自分がくたびれた風体に見えるのかと戸惑いました。阪大内でもよく見た事務的なメールの冒頭にある「いつもお世話になっています」は、以前は気になりましたが、今は読み飛ばすだけです。一方、製造業の現場の「ご安全に」は、形式的な声かけにもかかわらず、心がこもっていると感じます。しかし、挨拶としての「お疲れさま」には、協調の顕れなどと好意的な解釈を聞いた記憶もありますが、違和感をぬぐうのは容易ではありません。

お疲れさまに対応する中国語に「辛苦了」がありますが、こちらは文字通り、相手の苦勞を了解している時しか使わないそうです。インタビュー番組で、同様の意図、あるいはより深い思いを込めて日本語の「お疲れさま」を使っている人を知りました。自分に対して「ありのままのサイズに戻る呪文」という使い方もすばらしい。このまま拙文を読み続ける



* Takeo KAJISHIMA

1958年9月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 機械工学
専攻 博士後期課程修了
現在、大阪大学 名誉教授、四国職業能力開発大学校 校長
専門/流体工学
E-mail : kajisima@mech.eng.osaka-u.ac.jp

より、NHKのウェブサイトにある『ジェーン・スーさんが「おつかれさま」に込める思い』に移っていただく方が有益かもしれません。

さて、「生産と技術」のバックナンバーを読みふけたことを前述しましたが、かなり以前から、大学の変容についての危機感をあらわにする論評が多いことに気づきます。ほとんど同感です。現役の先生方、ほんとうに、辛苦了。

概念と表現

1980年代前半に出現した国産スーパーコンピューターは、1980年代後半には世界で最高水準に達し、ついに日米貿易摩擦を引き起こすに至りました。国産機が世界一を競っていた頃、わたしは工学研究科機械工学専攻の大学院生で、研究テーマは乱流の数値シミュレーションでした。

ある研究領域に対して、その対象を明確に表現することは、出発点として不可欠と考えています。乱流に関しては、揺らぎが主流におよぼす影響に渦粘性という仮説 (Boussinesq, 1877) が提案され、現象を表す用語として “turbulence” (Thomson, 1887) が充てられ、揺らぎを区別する数学的操作 (Reynolds, 1895) が示された経緯から、19世紀第4四半期が理論的研究の始まりと考えられています。ただし、上記3者の間には互いの引用がありません。草創期はそんなものかもしれません。

乱流はありふれた現象ですが、気象を例にするまでもなく、いまだに予測も制御も困難であるという実感は共有されていると思います。Heisenbergには「神は、相対性理論の問いにはお答えになるだろうが、乱流については答えをお持ちではないだろう」と言わしめたそうです。また、Feynmanは「乱流は古典力学に残された最後の未解決問題である」と書き残しています。また、流体力学の基礎方程式のひとつである Navier-Stokes 方程式の解は、ミレニアム懸賞問題のひとつで、最後まで未解決のまま残りそうです。これらは、乱流の奥深さの説明として、乱流が予測不可能である理由として、さらに、その状況が一向に変わらない言い訳としても、乱流研究者によってしばしば引用されます。

悩ましいのは、「乱流」に明確な定義が与えられていないことです。実は「流体」も、定義が困難どころか、一般用語として通用しないことを体験した

ことがあります。われわれが活動する学会について、世間では「日本・流体力学会」ではなく「日本流・体力学会」と読まれる方が多いという自虐ネタがあります。しかし、自身で試したところ、それが作り話でない場面に遭遇しました。横道にそれでしたが、「流体」も「乱流」も、該当するかどうかを区別できる物質や現象ではなく、これらを学術的に扱うための概念と考えるべきでしょう。

ところで、日本語の「乱流」に対して、中国語では、乱れるのではなく「たぎる」として、「湍流」と表記します。表現された概念の違いが研究の手法や進展の違いに顕れるのか、興味深いテーマです。また、「乱」の旧字体は「亂」で、もつれた糸がほどけない様子を表すそうです。これが分野の難しさを暗示するとは考えたくありませんが、日本では何とも罪深い文字を充ててしまったものです。

模擬実験

コンピューターの発達とともに、理論、実験に加えて第三の手法として計算が台頭したと言われて久しいのですが、長らく、計算結果を提出する際には理論解や測定結果に一致したかどうかを問われ続け、それを確認したうえで、計算で初めて得られる知見で理論や実験を補完するという使われ方が続きました。また、第一原理的な計算でなければ、経験的なモデルやパラメーターへの依存は避けられないことから、調整可能な因子を含む手法はサイエンスではないとの陰口もありました。

そんな時代を知る者にとって、眞鍋淑郎博士の2021年ノーベル物理学賞受賞は、数値シミュレーションに対して、その先駆性、導かれた知見や予測の重要性が認められたという意味で、深い感慨を覚えます。

ふつう、辞書で「シミュレーション」を引くと、印象の悪い説明が先行します。一般には、まず「見せかけ、振り、真似、偽ること」が並び、次に「模擬 (実験)」が続くこともあるのですが、悪意としか思えない「模造品、偽物」が加わることもあります。その究極が、サッカーで最も卑怯な反則であるシミュレーションでしょう。あきらめずに調べたところ、岩波生物学辞典 (第5版) でようやく求める説明に行き当たりました。シミュレーションは模擬実験であり、「ある現象を、それと本質的に同じで、しか

もわかりやすい、あるいは取り扱いやすい現象をもって模擬すること。本質的に同じとは (以下略) と続いています。

今も「結果を測定値と比較したか?」「実際の現象を表しているのか?」の質問には辟易します。多くのシミュレーションは、実現象をそのままではなく、調べたい事柄の本質を抽出した現象モデルを設定し、その解析を通して実現象を調べる手段なのです。実際の現象と計算の対象に違いがあるのは当然です。実験屋は自分たちだけが現象を扱っているという意識が強いのもかもしれません。しかし、実験の対象の多くは、実際の自然現象や工業装置の実機そのものではなく、一部であったり、模擬された設定であったり、つまりシミュレーションです。その意味では、数値シミュレーションは計算という手段を用いる模擬実験であり、in situ に対して、in vivo, in vitro の実験があれば、in silico の実験もあると考えます。

測定結果との比較にこだわると、せつかくの数値計算の価値を自ら見失うリスクが高まると思います。計算の対象とする現象モデル、それに支配方程式や境界条件などを与えた数値モデル、プログラミングするための計算モデルに分けて検討すべきです。各段階が吟味された結果の意味と意義を説明できて初めて、「数値シミュレーションによる〇〇の研究」と題する論文を書くことができるのです。

二の次

前述の眞鍋博士の受賞の際、しばしば米国海洋大気庁 (NOAA) の地球流体力学研究所での写真が報道に使われました。気象分野に限らず、工学系でも乱流の数値シミュレーションに関わる者であれば、Smagorinsky を久しぶりに見たか、この人があの Smagorinsky かと思ったかは世代の違いですが、眞鍋博士と議論をする相手に目が留まったはずです。乱流は非常に細かいスケールの変動を含んでいますが、限りある計算機資源では、それほどの分解能を得ることはできません。とはいうものの、次の2つの理由により、単に細かいという都合だけで切り捨てることはできません。まず、乱流は強い非線形現象なので、切り捨てられた側と残った側に相互作用があるからです。次に、変動のスケールによって役割が異なり、小スケールの役割を切り捨てると、運

動エネルギーの散逸が考慮されなくなるからです。これらを数式表現して支配方程式に組み込むことにより、低分解能でも何とか乱流のシミュレーションを可能にしたのが、1963年に気象専門誌で発表され、今では Smagorinsky モデルとよばれる数式です。これは前述の渦粘性の形式を採用しており、Boussinesq から 86 年後のことです。

他分野でも似た話があるかもしれませんが、「乱流研究で新しいことをしようと思ったら、古い文献を読め」という教訓?があります。その昔、現象を深く鋭く観察した研究者が書き留めた着眼点が、当時は満足な検証手段がなかったため、そのまま眠っているという意味でしょう。あるいは、型破りは、型 (学術の世界では古典的文献) を身につけた者だけに許されるという教えかもしれません。

さて、Smagorinsky モデルおよび後の改良版は、数値計算の格子 (速度や圧力などの数値を与えるための網目) の幅をパラメーターとして含んでいます。とすると、前述の3段階のうち、数値モデルと計算モデルのどちらなのかという疑問をもたれても不思議ではありません。あるいは、数値計算のパラメーターを含むモデル、さらにそれを使うシミュレーションはサイエンスとしてどうなのかという疑義も想定されます。この問題は非常に根が深く、実はモデル以前の支配方程式に重大な不備が隠れているのです。教科書でもふれられているから誰も知らないとは言えないのですが、その著者は「難しいことは重要でないと信じることによって二の次にされている」と嘆じています。修正された支配方程式 (数値モデル) は導出されているのですが、プログラムに実装すると非現実的な計算モデルになってしまうのです。わたし自身は、モデルをモデルによって解決しようと試みたことはありますが、正攻法では挫折しています。

研究としては成熟して、最後の詰めだけが残っているように見える分野では、新規参入する学生や若手にとって、過去の蓄積をすべて学んでから着手しなければならぬ負担が大きくなります。乱流もそれに該当するかもしれません。その場合、耳目を引く応用先に飛びつき、簡単な手法の寄せ集めで結果を出して見せる傾向が強まります。これでは、未解決問題が放置され続けるどころか、落とし穴を見逃さず懸念があります。家を買うなら、中古か新築か

に関わらず、土台に施工不良がないかは必須の確認項目であるはずで

おわりに

博士課程の学生の頃、「実験もしないで学位論文を書くの?」と問われたことがありました。大学に残った後、同僚どうしの会話で「計算は頭の悪い人がやることだと思っていました」と言い放った教授もいました。自分には手の出ない新しい動向を低く見たり、否定的になる人ほど、そこから新たな成果がでてくると「それは、ワシが昔から言うてたことや」と居直るものです。「こういう先生にだけはな

りたくねえな」と思ったものです。ひるがえって、データサイエンスを併用する最近の動きに追随できない自分を客観視すると、「それは前世紀に議論されたあのモデルと何が違うの?」と言い出しそうで、嫌な気分になります。まあ、良い潮時を得られたと思います。

筆の赴くままに書き散らす文と、随筆を身勝手に解釈し、落としどころが見つからない三題噺になってしまいました。代わりに、上述とは逆に良い意味で心に残った、先輩教授による本寸法「大学とは、何が本当のことかを考えるところである」を引用して結びとします。

