



タイトル 科学技術をよく考える
クリティカルシンキング練習帳

編者 伊勢田哲治+戸山田和久+
調麻佐志+村上祐子

出版社 名古屋大学出版会

発売日 2013年4月15日

ページ数 285頁

2011年3月11日以降、原発がもたらしたリスクにどう向き合うかが大きな課題になっている。「原発の安全を政治家が宣言するのはおかしい」と橋本徹大阪市長が言ったのに対し、政府も、安全だと判断したのは科学者であると説明している。

こういう両者の姿勢は正しいのだろうか。科学が本来の領分を越えて、政治的価値判断にまで踏み込んでいいのだろうか。

現代社会では、科学技術と無縁に暮らすことのできる人はほとんどいないのではないかな。すなわち、科学技術に関する問題を、科学者でない市民がいつまでも判断を保留して専門家に任せてばかりではいられない現状がある。とくに震災以後の原発事故をはじめとする科学・技術が世の中に大きな影響を与えており、市民はこれらを総合的に判断するための基礎的な教養を身につけることが欠かせないものになってきた。

本書の執筆陣は主に大学の教員であるため、読者として念頭に置いているのは大学・大学院生だ。もちろん、もっと広く科学技術について考えたい人達にも役に立つ内容になっている。すなわち、「科学技術と社会との関りについて考えていくための考え方の枠組み、スキル、背景知識などを身につけてもらおう」と言うのが本書の趣旨である。

本書の構成は、全部で10のユニット（通常の書の章と同じ、つまり10章）からなっており、ユニットのテーマは多岐にわたっている。

各ユニットの中心となるのは、ある問題についての二つの意見である（本書では課題文とよんでいる）。課題文の前には「背景説明」が付けられている。

課題文は、読んでみると判るが、文は吟味するための課題という性格上、わざと詭弁的な議論をしている部分や論理のあまい部分も入っている。ただし、本書では事実誤認や意図的な嘘は除かれている。

課題文は、二つの議論が拮抗するような形で作られており、科学や技術を重視した立場と、それに反対する立場が登場する。しかも、二つの課題文のどちらか一つは、これまで私達が当たり前だと思っていたことに異議を唱えるような文章になっている。

異論に対し頭ごなしに「間違っているはずだ」と決めつけずに、よく読んでみて欲しいと述べ、これまで疑いを持たなかったものも疑ってみるという批判的思考態度が大切だと指摘する。

スキルや知識については、それぞれ独立に読めるように書かれており、その他の知識はコラムという形で補っている。

本書の構成は、

- ユニット 1. 遺伝子組み換え作物
- ユニット 2. 脳神経科学の実用化
- ユニット 3. 喫煙を認めるか否か
- ユニット 4. 乳がん検診を推進すべきか
- ユニット 5. 血液型性格判断
- ユニット 6. 地球温暖化への対応
- ユニット 7. 宇宙科学・探査への公的な投資
- ユニット 8. 地震の予知
- ユニット 9. 動物実験の是非
- ユニット 10. 原爆投下の是非を論じることの正当性

の 10 テーマを題材に選び、対峙する二つの議論を並列し、多面的に考察しながら、合理的な思考法を紹介するユニークな教科書スタイルになっている。

本書は、考え方の枠組みとして、以下のような問いが念頭にあるという。

- ・そもそも筋道を通して考えると科学的に考えるとはどういうことなのか。
- ・科学記事などを読むとき、素人が気を付けなくてはならないのはどういう点か。
- ・科学的知見を社会問題に当てはめるとき、気を付けなければならないのはどういう点か。
- ・科学技術と社会の望ましい関係というのはどういうものだろうか。

さらに、「科学技術についてよく考える」ための手助けとしてクリティカルシンキング (CT) という分野と、科学技術社会論 (STS) という分野の知見をミックスして利用することを挙げている。

科学的思考と呼ばれるものも、それぞれの領域に特有の要素を取り除いて骨組みだけを取り出せば、一種の CT になっている。その意味で、CT を学ぶことは、科学のものの考え方の骨組みを学ぶということにつながると述べている。

さて、どのユニットも興味が尽きないところだが、中でも地球温暖化問題では現在と将来のあらゆる社会的主体の利害について、科学的不確実性の下での調整と対応が求められている。

これまで多くの衛生問題、産業公害問題、都市公害問題などを克服してきた現代社会だが、地球温暖化問題については国際的な取り組みをはじめて 20 年以上経た現在も、実践的な解決へ向けては十分に踏み出せずにいる。

筆者は、かつて「国立環境研究所」、「東京大学気候システム研究センター」、「海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター」の合同研究チームが、世界最大規模のスーパーコンピュータの「地球シミュレータ」を用いて、2100 年までの地球温暖化の見通し計算を行い、これを 2004 年 9 月に発表した論文を詳しく読んだことがある。理論の運びに説得力があり、ほぼ納得したことを思い出す。そこで、本書に関しては、科学や技術を重視した立場から地球温暖化の項を読んでみた。

「地球シミュレータ」というのは、1 秒間に 36 兆回の計算が可能なコンピュータで、コンピュータでは加減乗除をすべて加算で行うという優れものです。

地球温暖化を予測するシミュレーションは、従来も世界各国の研究機関で行われてきたが、「地球シミュレータ」による計算では、これまでとくらべて格段に詳細な温暖化予測が可能になっている。

計算の結果、大気中の CO₂ がこれからも増えつづけるという条件のもとでは、2071 年から 2100 年で平均した全地球の気温は、1971 年から 2000 年の平均に対して 4℃上昇することが判った。気温の上昇は北半球高緯度で大きく、また海上にくらべて陸上で大きくなっているという結果が出ている。

さらに、この計算では、2100 年までの日本の夏の気候についてもくわしく調べられ、温暖化が進むにつれて「真夏日の日数」、「豪雨の頻度」などが増加していくという結果が得られている。

コンピュータ・シミュレーションによる気候変動の研究では、この他にもとても興味深い結果が出ている。現実的な条件をもとに現在の気候を再現しようとしたところ、二通りの異なる気候の状態が出てきたという。

一つは、現在の気候とよく似た結果。もう一つは、北半球の高緯度の気温が、それより 3℃ほど低くなっているというものである。後者の結果を見てみると、北大西洋の北部で沈みこむ深層海流の循環の度合いが弱くなり、南から北上して熱を運んでくる表層の海流も衰えているということが判った。

北大西洋の海面水温は、北部を中心に 5℃以上も低くなっており、深層海流の衰えにより地球が寒冷化するかも知れないということが、実際のシミュレーションで示されたわけである。このことは、計算は同一条件で行なわれているにも拘らず、**二通りの地球が存在する可能性**があり、現在の気候は、たまたまその内の一方が実現しているに過ぎないことを意味している。このように、気候変動を表わすための方程式が複雑だと、答えが多重解になることを示している。

「地球シミュレータ」の最大の用途は、地球規模の気象メカニズムの解明である。計算

モデルは、地球の大気や海洋を 3 次元の要素に分割し、要素ごとに温度、気流や海流の向きと速さといったデータを計算する。その上で流体であればナビア・ストークスの方程式、大気であれば温められたり冷やされたりした時の気温や密度の変化を示す数式に基づいた計算用モデルを作って、コンピュータで計算する。各要素は節点で結ばれており、要素内の物理量は節点を介して他の要素と結ばれている。ただ、こうした理論モデルからすぐさま高い精度の結果が得られるわけではない。

計算結果と観測結果を比較したり、経験則などによって計算モデルを修正、また計算して修正するという試行錯誤の繰り返しによって、シミュレーションの精度を高めていくのである。

計算モデルがよくできたとしても、すぐにコンピュータの性能の限界にぶち当たってしまう。気象シミュレーションの場合、それぞれの要素は相互に影響を及ぼし合った末に全体としての動きが決まってしまうため、計算は非常に複雑で時間がかかる。

要素を細かくすればするほど計算精度は高まるが、細かくし過ぎると計算に何カ月どころか何年もかかってしまう。つまり、計算モデルは 3 次元的に要素分割をするわけだから、分割する要素数が多いほど解くべきマトリックスが大きくなり、計算時間が増大する。その上、計算は一度に解が出てくるわけではなく、現象を時間刻みで計算していくため、時間刻みが小さいほど計算に要する時間は膨大なものになる。

台風進路の予測では、計算の範囲を日本付近に限定しているため、要素をかなり小さくしても結構正確な結果が得られる。しかし地球温暖化といった地球規模の異常気象のメカニズムを解明するためには、地球全体を対象にかなり細かい要素に区切って計算する必要がある。

従来の計算では、1つの要素の大きさは 100km 四方程度が実用上の限界だった。これは台風 1つが収まるぐらいの粗い精度であり、得られる計算結果も大雑把だった。

しかし、「地球シミュレータ」では、地球規模の計算モデルの要素を 10km 四方にまで縮めることが可能になり、精度が格段に向上した。

これで、海面温度をシミュレーションするプログラムを実行したところ、日本の銚子沖で暖流と寒流がぶつかり混じり合う様子などがほぼ忠実に再現されたという。

現在、このレベルの精緻な計算は、世界のどこを探しても「地球シミュレータ」でしかできないため、世界中の研究者の垂涎の的となっている。

「地球シミュレータ」による地球全体の大気・海洋を計算結果としては世界最高の解像度を実現しており、IPCC 第 4 次報告書への反映が期待されている。また、さらに地球全体を 3.5km 四方に分割して大気変動を予測するという壮大な計画も進行中と言われている。

「地球シミュレータ」では、従来の分割モデルは 100km 四方程度が実上の限界だとされていたが、それがどの程度のレベルなのかを参考のために、福井県を例に示しておこう。



図1. 従来の分割モデル
(100km 四方の要素)

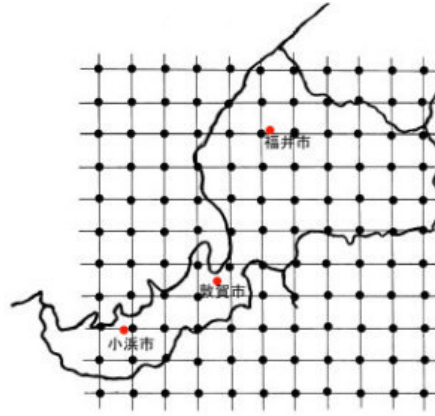


図2. 「地球シミュレータ」の分割モデル
(10km 四方の要素)

図1. が1要素の大きさが100km四方のもので(2次元で書いているが、実際には要素は3次元で、これに時間軸まで加わる)、図2. は分割モデルの1要素の大きさが10km四方のものである。図からも判るように、従来型の分割モデルでは福井県の気象などは誤差の対象にもならない。一方、「地球シミュレータ」のモデルは従来型の10倍の分割数に増やすことができ、この程度であれば福井県の気象予報もある程度可能かも知れない。

通常天気予報のために行なうコンピュータ計算では、海面の水温は変化しないものと考えて省略する。というのも、大気の動きや気温変化の速さに比べれば、海の変化はとてもゆっくりしているので、何日間か先の予報なら、海の状態は変わらないと仮定しても現実を大きく外れることはないからだ。不要になった海洋の分割分を他の分割の精度を上げることに使えば、より精度の高い計算が可能になる。

これは、ある科学者の話だが、計算モデルを作成して何かがわかったような気になっている時に、ある観測結果一発で計算結果の解釈が完全に覆されることがよくあるという。すなわち、観測に拠らない計算モデルは存在価値がないとも言われる所以である。

これらの他にも、コンピュータ・シミュレーションでは初期値がちょっと変わっただけで、その後の挙動が大きく変わってしまう「カオスの問題」などもあり、この分野の理論の解明は前途多難である。

さて、「人間が石油、石炭など燃やして大気中のCO₂を多量に排出していることが原因で地球温暖化が起きた」とされているが、では、「この地球温暖化が本当に人間が原因で起きていると断言できるのか」と問われれば、誰も答えることが出来ない。

人間などいなくても、つまり**地球の未来を認識できる唯一の生物である人間などがいなくても**、地球は自然の状態でも温暖化したり、寒冷化したりすることは、過去の例が実際に証明して

いる。

ただ、現代の温暖化は、自然の温暖化にしてはペースが速すぎ、人間の活動の影響が濃厚だと多くの科学者が考えているだけなのである。

「現段階では、CO₂が原因であるとは科学的に証明出来ない」からといって、「したがって、CO₂が原因ではない」と断定出来ないのが今の科学技術なのである。

ビョルン・ロンボルグ氏の「環境危機をあおってはいけない」（文芸春秋）に興味を持ち、薬師院仁志氏の「地球温暖化への挑戦」（八千代出版）などを読んでいくと、何が正しいのか途方にくれる。

人類の知の先端では、何が正解か判らないことが多いのは確かだが、地球温暖化問題に限らず、原発事故問題にしても**科学的事実とは離れたところで、一般大衆や政治を動かす何らかの力が働いているような気がしてならない。**

というような知識を持ったうえで、本書の背景説明に頷き、タクミさんの議論に納得し、ユウさんの議論にもそれなりに賛同し、それでどうしようかと、途方に暮れてしまった。

本書を読むと判るが、賛成・反対論の論拠には違和感を持つ部分、あるいは共感を持つ部分もある。もちろん、突き詰めて考えるための手がかりや方法論の提供が本書の目的であるから、個々のテーマに対する解答は示されていない。編者らが、生徒たちに与える解答例がどんなものかは興味の尽きないところである。

本書は、「個人の独習」にも、「大学での授業」でも利用できるように考えて作成していると編者は述べているが、本書は、さらに「学力の高い高校生諸君」にもお薦めである。

あるユニットにスキルや知識を別のユニットの課題文に当てはめてみて、そうした順列組合せをすることで、本書は「一粒で二度、三度、いや十度くらい美味しい本へと変貌するはずだと編者たちは述べている。

なお、編者の一人である戸田山和久氏は「**科学的思考**」の**レッスン**：学校では教えてくれないサイエンス でも知られている。

どのテーマを覗いても、現代の科学技術の現状をみていると、科学的不可知論に陥ってしまいそうだが、若い諸君は、地球温暖化問題や原発事故問題などマスコミで報じられている内容を頭から信用しないで、何事に関しても、何時も、「本当かな」という疑問を持ち続けて欲しいと願っている。

本書は、ページ数があまりない（285頁）にも関わらず、読むのに時間が掛った。文字が小さく、年配者には少し読みづらいかも知れない。著者が読者として念頭に置いているのが大学・大学院生とあるので我慢したい。

本書の優れたところは具体例に即した広く、深い思考の実践書であるところで、うまくまとめているので、科学技術についてこれまでよりもっと「より深く考える」ための手がかりを与えてくれるはずです。

2013.6.10