

技術の革新性と保守性について

— なぜ江戸時代初期の洋式造船術は継承されなかったのか：補記 —

信州大学名誉教授 伊藤 稔

科学論や技術論は、人文・社会科学系の人たちからは敬遠され、自然科学や技術に携わる人たちからは疎まれ軽んじられる傾向があるように思われる。海事技術を主要な研究課題とする船舶海洋工学の分野で論じられる科学や技術も例外ではないだろう。人文・社会系の人たちには、科学や技術にたいする抜き難い苦手意識があり、自然科学者や技術者には、そんな問題に関わっているくらいなら、少しでも眼の前の問題の解決に取り組みたいという強い思いがある。

昨年「海事技術史研究会誌」第 22 号に、「なぜ江戸時代初期の洋式造船術は継承されなかったのか」という論文を書いた⁽¹⁾。それにたいし、ある国語教師の方からは、「海事史研究者への『挑戦状』のようですね。洋式帆船に関する内容というよりも、ものの認識の仕方というものを教えられたように感じています」との返事をいただいた。一方、船舶海洋工学を専攻された方（複数）からは、結論の妥当性に賛同するけれど、「技術には保守性・機密性がある」という主張には違和感を覚えました、との感想が寄せられた。

後者のような感想に接したとき、わたしにはなによりもまず、さもありませんと思われた。実際に科学や技術に携わった人ほど違和感は大きかったのかもしれない。なぜなら、自分はそのような保守性や機密性とは縁がなく、自由に発想していたとの経験（自負）があるからだろう。その意味ではわたしも同じで、技術に「保守性・閉鎖性」があると記述することに迷いがなかったわけではない。しかし一方では、本当にそれほど自由だったのだろうか、との自省の念もあった。

先の論文(1)において、わが国が江戸時代のはじ

めに、ウィリアム・アダムスやセバスティアン・ビスカイノらにより導入された洋式造船術を、その後継承しなかった理由を検討した。そこでは、徳川幕府の「鎖国」政策等により、海外に渡航可能な洋式船の建造が許されなかった（建造する必要がなかった）ことに、その理由を求める従来の海事史関係者の「定説」にたいし、それは歴史資料によってしか物事を見ていないことによる思い違いであることを指摘した。そして、当時の将軍・幕閣や向井将監（しょうげん）のような御船手奉行・船大工たちに、洋式船が和船より優れた船体構造をしていることを技術学的に理解できなかったことにこそ、継承しなかった根本的な理由を求めるべきであると主張した。

「洋式船＝航洋船」とのみ理解して、「洋式船＝構造的に優れた船」との思いに至らなかった背景には、洋の東西の船体構造の優劣を客観的に理解できるだけの近代科学が未発達であり、日本に紹介されてもいなかったことがある。この江戸時代初期の洋式造船術にたいする無理解の結果、和船の構造的な脆弱性が見過ごされ、その後、経済の発展にともない海運業が盛んになるにつれて、日本近海におけるそれらの海難（難破）事故が相次いだ⁽²⁾。この海運史上の現実を考慮する視点が、従来の議論には欠けていたのではないだろうか。日本を含む東洋には、近代科学を生み出し発展させる素地が乏しく、そして、ガリレオ・ガリレイのような人物が現れることはなかった。

本論考の目的は、先の論文(1)の議論を補記することにある。

「技術」は英語の「technique, technology」に、その語源はギリシャ語の「technē（テクネー）」

に当たるけれど、日本語の「技術」という言葉は、西周（にしあまね）が 1870 年（明治 3 年）に「百学連環」で使ったのが最初とされている。英語の「science」を「科学」と訳出したのも西であり、彼はそれ以外にも「哲学」、「知識」、「概念」といった訳語も創っているという。わが国で「技術」が学問的に取り上げられるようになるのは、経済活動が活発になり工業化が急速に進行して、生産力とは何か問題になりつつあった 1930 年代以降のことである。

科学と技術の関係は、18 世紀後半から 19 世紀初頭にかけてイギリスで起こった、産業革命の成立以降急速に接近する。アリストテレスは、その主著「形而上学」のなかで、「理論的な学の目的は真理であるが、実践的な学の目的は行為である」と述べている。大雑把に言えば、科学は世界に起こる現象に関する体系的な理解を追究するのにたいし、技術は何らかの目的を達するための手段を指すと理解してよいだろう。あるいはまた、科学は真理の追究であり、技術はその応用であると考えてよいかもしれない。ただ現実には、技術は科学の基礎にもなりうるわけで、科学と技術の関係はかなり重層的であるため、両者を基礎と応用とに単純に分けることはできない。

文明批評的な技術論^(3,4)、社会科学的考察による技術論⁽⁵⁾、哲学的考察による技術論^(6,7)、政策立案的な技術論⁽⁸⁾など、様々な視点からの技術論がある。これら「技術論」と銘打って世の中に流布している成書を読んで、教えられることはもちろん多かったけれど、空疎な読後感を抱くことも珍しくなかった。

江戸時代の為政者（もしくは船大工）が、なぜ洋式造船術に関心をもち、それを継承しなかったのかを理解するためには、技術そのものがもつ特性を検討しなければならないと考えた⁽¹⁾。そして「技術」と呼ばれているものには、非社会的・科学的側面とともに社会的・人間的側面があることを指摘した。技術の非社会的・科学的側面としては、(1) 地形・地質や気候・風土など自然環境へ

の適応・依存（材料の入手や利用法）、(2) 科学的原理の応用・利用、があり、技術の社会的・人間的側面としては、(1) 社会制度から影響（技術者の社会的評価や職階性）、(2) 継承時における秘密保持（徒弟制度、一子相伝、口伝）、(3) 伝統重視と職人気質、(4) 経済的利益の創出・醸成（国家機密・企業機密）、があるとした。

このような検討を基に、技術には「革新的で開放的」なポジティブな面とともに、「保守的で閉鎖的」なネガティブな面があると集約⁽⁹⁾。そして技術に継承や転移を阻む保守的な特性がある限り、その保守性を打破するには、物事の本質や優劣を普遍的・客観的に示す実験的手法（精神）の確立と、それを人類共通の言語である数学を使って記述する近代科学（今の場合は特に、静力学と動力学）の発達が必要不可欠であった、と結論付けた。

ガリレオが実験の重要性を人々に示したのは 17 世紀前半になってであり、その影響の下に、ニュートンが「プリンキピア（自然哲学の数学的原理）」を出版したのは 1687 年 7 月 5 日である。そのニュートン物理学を志筑（しづき）忠雄が日本にはじめて紹介したのは 1800 年前後であった。これらの歴史的経緯を考えるならば、日本人が洋式船の優秀性を理解・認識できるようになるのが、19 世紀半ばの江戸時代末になってからであったことがよくわかる。その上で、徳川幕府により 17 世紀中頃までに整備・施行された、切支丹禁教令や鎖国政策、さらには大船建造禁止令などに、継承されなかった理由を求める従来の定説は正鵠を欠くと指摘した。これらの法規制が、当時の為政者や船大工の精神や発想を拘束していたことはあったにちがいないが、そのような諸政策が施行されなかったとしても、洋式造船術の導入は起り得なかった、というのがわたしの主張の骨子である。

明治時代になって洋式造船術が紹介されたとき、和洋折衷の「合いの子船」が各地の船大工によって数多く造られた。この事に、西洋技術にた

いするわが国の受容形態の典型的な例を見ることができのではないだろうか。

この「合いの子船」の建造について、わたしは日本文化の「雑種性」の観点から論じたことがある⁽¹⁰⁾。さらに、幕末から明治のはじめにかけて、各地の家(町)大工によって建てられた「擬洋風建築」の流行も、技術論的には「雑種性」という意味で、同じようなものだったと考えてよいだろう。

改めて論考(1)を読み直してみると、結論を急ぐあまり、「技術」についての考察が手薄なことに気が付く。それは、技術を取り扱う中心的な学問である「工学」についての論及が不足していたことからわかる。「工学」とか「工作」を意味する英語の「engineering (エンジニアリング)」は、ラテン語の「ingenium (生み出すもの)」を語源としているという。したがって「工学者・技術者 (エンジニア)」には、「生み出す人、考案する人」という意味があり、「工学」は「物を創る=発明」と密接に結びついていると言える。

論考(1)において、和船(弁財船)の逆風帆走性能を向上するため、江戸時代後期になると敷(底板)が平板なものから下に凸型に突き出すように改良された例を紹介しつつ、技術は自らを改良・発展させる力(特性)を内在していることを指摘した。そして、「大工」とは大いに工夫する人を意味するとも述べた⁽¹¹⁾。また、優越性や先進性が科学的(客観的)に認識・理解されない状況であっても、彼我の技術の差が歴然としている場合には、模倣という形で相手の技術を取り入れることは起こりうることもした。

とはいえ、「必要は発明の母」という言葉に表されるように、社会的な外からの要請(必要性)が技術者を突き動かし、新しい発見や発明に導くことまでは論及しなかった。その意味では、論考(1)の論旨そのものには影響しないものの、技術もしくは工学にたいする評価が不十分であったとの指摘は免れない。

古くからある工学の典型的な例のひとつが造船術だろう。船を使って水上を物や人を運ぶという知恵(手段)は、水辺で生活するすべての民族が持っていた。それは水に浮かぶ樹木を見て思いついたのであって、「浮力」といった科学的な認識に基づいたものではなかったにちがいない。丸太の利用からはじまり、やがて沢山の物や人を運ぶために構造船が考案された。これらの構造船は洋の東西において、地域ごとの自然環境の影響や技術的な伝承のもとに造られた⁽¹⁾。推進力も初期の櫂(かい)のような人力に頼るものから、帆を使った風力、さらにはディーゼルエンジンのような内燃機関を利用するものへと発展した。

論考(1)で指摘したように、ガレオン船のような大海を航行可能な大型洋式帆船は、近代科学成立以前にすでに完成していた。そして、そのような造船の工作現場から啓発されたこともあって、ガリレオは「力学」の研究へと向かった。このことは、当時の造船現場に力学的諸問題が集中して表れていたことを意味している。実験を重視した力学の発展が、近代科学の幕あけであったことを考えるならば、このガリレオの逸話などは、技術が科学の基礎になった好例として、もっと記憶・紹介されてもよいだろう⁽¹²⁾。

科学者と呼ばれる職業が本格的に登場するようになるのは、産業革命の成立以降の19世紀半ばになってからである。技術者と違って、彼らが研究する上での動機づけは、あくまで内的な(知的な)好奇心であって、そこには実用・社会性といった外的な要因はほとんどの場合含まれていない。その例は枚挙にいとまはないけれど、ここではその典型的な例としてレーザーの発明を挙げておく。

レーザー(laser: 誘導放出による光増幅)は、DVDやCDといった情報処理や光通信、レーザー手術、レーザー加工、レーザー計測など、われわれの日常生活に欠かせないものになっているだけでなく、10以上のノーベル物理学・化学賞に寄与している20世紀最大の発明と言ってもよい

だろう。現に、今年度 (2022 年度) のノーベル物理学賞の対象となった「量子もつれ」を証明する実験においてもレーザーが使われている。そのようなレーザーの基になるマイクロ波の共振増幅にチャールズ・タウンズが成功したのは、アインシュタインが 1916 年に、光の誘導放出の考えを提出した 40 年後のことである。

レーザーを開発・発明した後の数年間、タウンズは同僚から「そのアイデアは素晴らしいけれど、実用的問題の解決には役立たないね」と、からかわれたと述懐している⁽¹³⁾。このことは、彼も強調しているように、好奇心から研究している人たちには、その研究が将来どのように発展していくのか、本人を含め誰にも予想ができないことを示している。換言すれば、好奇心を許容する (できる) 社会でない限り、科学は発展しない (できない) といえるだろう。

好奇心といった内的な要因であれ、役に立つといった外的な要因であれ、科学も技術もわれわれの自由な精神活動によって生み出される。この事は、強調してもしすぎるということはないだろう。とはいえ、発想が自由であることは、得られた結果が革新的であることを必ずしも意味しない。さらにまた、じゅうぶん発展した分野にいる人ほど発想そのものが保守的になりやすい。なぜなら、多くの既存の知識を学ぶうちに、柔軟な思考が妨げられやすくなるからである。優れた研究とは、その話を聞いた人が「どうして今まで誰もそのことに気が付かなかったのでしょうか」と言うものである。

既存の知識やモデルから抜け出るのは、それほど容易でも自由でもないと言わざるをえない。定説と呼ばれる大きな枠組みのなかで——つまりは、保守的・閉鎖的な思考回路のもとで——「自由」に考えている場合が多いのではないだろうか。その例のひとつが、論文(1)で考察した江戸時代の洋式造船術の継承問題だったのだと思う。思考の保守性を示す例を、さらに以下で二つ取り上げてみたい。ひとつはノーベル物理学賞に関連してお

り、もう一つはわたしが経験した自省的なものである。

自然の空間を鏡に映して (反転して) も、左右反転対称性 (パリティ対称性) は保存されるという性質がある。この「パリティ保存則」は、長い間すべての物理現象で成立すると考えられていた⁽¹⁴⁾。1956 年にヤン (楊振寧) とリー (李政道) は、当時理解不能だった K 中間子の崩壊現象を説明するには、その崩壊に関与している弱い相互作用においては、パリティ対称性が破れていればよいとした⁽¹⁵⁾。そして、それまでの実験結果を慎重に検討した結果、弱い相互作用に関する限りパリティ保存則を証明したものはなく、新たな実験の必要性を提唱した。

ヤンとリーの話聞いて、電子スピンやニュートリノを提唱した著名な理論物理学者であるパウリは、「クレイジーだ!」と叫び、「そのような検証実験が失敗に終わるほうに大金を賭けてもよい」とさえ述べた⁽¹⁶⁾。しかし彼の予言 (期待) にもかかわらず、直ちに実施されたウー (吳健雄) らの実験により、物理学の基本法則とされていたパリティ保存則が成立しないことが実証された⁽¹⁷⁾。この発見の後、数々の研究が急展開することになる。今日では、パリティ変換 (P 変換) だけでなく、粒子を反粒子に反転する電荷共役変換 (C 変換) も同時に起こる PC 対称性も、わずかながら破れていることがわかっている。

入射された光によりイオン結晶のような凝縮体内に生成された励起子 (電子と正孔から成る水素原子様の複合粒子) は、フォノンとの強い相互作用により周囲に格子変位を誘起して自発的に緩和する。そのときの緩和形態について、アメリカのグループにより「on-center (オン・センター) 模型」が提案されたのは、わたしが大学院に進学する少し前の 1964 年のことだった⁽¹⁸⁾。わたしの光物性の勉強は、この論文を読むことから始まったといってもよい。この対称的な緩和形態を主張するモデルは、世界中から支持され、わたしを

含め多くの研究者により、それをベースにした様々な研究が遂行された。そのような趨勢のなかで、励起子は非対称な「off-center (オフ・センター)」形状に緩和しているとする実験結果が、1978 年にフランスのグループから報告されたものの、ほとんど顧みられることはなかった。

しかし 1986 年になって、「オン・センター模型」と同じグループが「オフ・センター模型」を提唱するに及んで事態は一変する。この新しい模型によれば、それまで未解決だった励起子による格子欠陥の生成問題もうまく説明できるという。そのときまでに何百篇という論文が「オン・センター模型」を基に書かれたけれど、これ以降急速に「オフ・センター模型」に沿って研究は展開されはじめた。この出来事は、わたしも渦中にあった一種の「パラダイムシフト」であったといえるだろう。励起子の緩和形態問題の最終的な解決は、適切な実験手段が実現可能になったとき、改めて挑戦してほしいと願っている。

論考(1)では、技術の本質には非社会的・科学的側面のみではなく社会的・人間的側面もあるとした。そしてこの補記では、技術は思考力をそなえた人間がもつ創造的な行為であり、自由な精神活動によって生み出されるものであることに論及した。それと同時に、そのような創造的行為が、多くの社会的・学問的制約を受けたものであり、けっしてわれわれが考えているほど自由なものでも革新的なものでもないことにも注意を喚起した。

おそらく船舶海洋工学の分野でも同じだと思いうけれど、あるシステムに関する力学的な問題が課されたとき、技術者や科学者にとってそれを解くのに、初期条件と束縛条件については最適なものを選ぶ自由はあるし、その選択が革新的なものですらあり得るだろう。とはいえ、いずれにしろニュートン力学もしくは解析力学（あるいは、それらをベースにした、構造力学、流体力学、材料力学など）を解くという点では変わらない。

理念の弁証法的展開として世界史を説いた哲学者ヘーゲルに、「自由とは必然性の洞察である」という至言がある。あるいはまた彼が、ドイツ語の「auf (上方へ)」と「heben (持ち上げる)」を合成して創った、哲学用語「aufheben (アウフヘーベン)」を思い出すのも無意味ではないだろう。この哲学用語（概念）は、日本では「止揚（しよう）」もしくは「揚棄（ようき）」と訳出されており、今回の問題に即して言えば、物事は「保守性」を棄てて（経て）、はじめて「革新性」を獲得できる（に至る）、と解釈できるかもしれない。

われわれはものを考えるとき、意識するしないにかかわらず、常識や定説といった様々な「目くらまし効果」にあっていることを常に自覚しなければならない。それを乗り越え先に進むには、失敗を恐れぬ勇気と情熱、そして思考上の飛躍を必要とする。

科学も技術も、いつの日かその仕事が世に認められることを願いながら、夢と希望を心に秘めて日夜研鑽努力し続ける人たちによって支えられているのだと思う。昨今の日本の科学技術力が低下しているとの報道に、心を痛めているのはわたしだけではないだろう。

謝辞 — 科学と技術がもつ革新性と保守性について、有益な議論をしていただいた香川大学創造工学部の鶴町徳昭さんに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 伊藤稔：「なぜ江戸時代初期の洋式造船術は継承されなかったのか」（海事技術史研究会誌、第 22 号、9 頁、2021 年）。
- (2) 例えば、戸田村史編さん会議・沼津市教育委員会編：「戸田村史 通史編」（沼津市、88 頁、2016 年）。
- (3) 佐々木力：「科学論入門」（岩波新書、1996 年）。
- (4) 池内了：「科学・技術と現代社会（上）、(下)」(み

すず書房、2014 年)。

- (5) ア・ア・クージン (金子不二夫・馬場正孝訳) : 「マルクスと技術論」 (大月書店、1973 年)。
- (6) 三枝博音: 「技術の哲学」 (岩波全書、1951 年)。
- (7) マルティン・ハイデガー (森一郎編訳) : 「技術とは何だろうか—三つの講演—」 (講談社学術文庫、2019 年)。
- (8) 佐藤靖: 「科学技術の現代史—システム、リスク、イノベーション—」 (中公新書、2019 年)。
- (9) ここでは、取り上げている問題の議論を展開する上で、伝承や職人氣質など技術のもつ保守的な側面を、一括してネガティブであると評している。だがしかし、無形文化財に指定されている伝統工芸の技のようなものだけでなく、最先端の工業技術などをみてもわかるように、技術の継承性にはわれわれにとって必須で重要な要素が含まれている。ポジティブやネガティブといった評価は、それを下す視点に強く依存することは言うまでもないだろう。
- (10) 伊藤稔: 「日本近代造船の礎—ヘダ号の建造—」 (羽衣出版、153 頁、2020 年)。
- (11) 「大工」は、律令制の下での「木工寮 (もくりょう)」に属した、宮中の土木・建築・造船などに従事した「大工 [大匠] (おおたくみ)」が語源という。江戸時代になって、木造建築の職人を広く「大工」と呼ぶようになる。
- (12) ガリレオの研究には、天体望遠鏡による観測に基づいた、星の運行に関する問題も動機付けになっている。
- (13) C.H. タウンズ (霜田光一訳) : 「レーザーはこうして生まれた」 (岩波書店、1999 年)。
- (14) パリティ保存則に関連した、わたしの仕事を紹介しておく。伊藤稔: 「パリティ選択則と 2 光子分光—パラエキシトンの観測—」 (固体物理、第 30 巻、第 1 号、51 頁、1995 年)。
- (15) T.D. Lee and C.N. Yang : 「Question of Parity Conservation in Weak Interactions」 (Physical Review、第 104 巻、第 1 号、254 頁、1956 年)。
- (16) ヴォルフガング・パウリには、1930 年代半ばに、新しい素粒子である「中間子」を思い付いた学生

の論文を却下した「前歴」がある。さらに、量子論の育ての親とされるニールス・ボーアが来日したとき、中間子論を提唱した湯川秀樹に、「君は新粒子が好きなのか」と苦言を呈したとの話が残されている。

- (17) 吳健雄 (永宮正治訳) : 「パリティ非保存発見への道—C.S. Wu 博士追悼にかえて—」 (日本物理学会誌、第 52 巻、第 9 号、660 頁、1997 年)。
- (18) M.N. Kabler : 「Low-Temperature Recombination Luminescence in Alkali Halide Crystals」 (Physical Review、第 136 巻、第 5A 号、A1296 頁、1964 年)。