

特集にあたって—機関車 OR 号—

八巻 直一 (静岡大学)

鉄道の歴史は、19世紀から20世紀の技術史そのものを写す映画にも例えられるだろう。しかも、鉄道は単独の機械ではなく、システムであり、その意味でORの発想が数多く含まれている。本稿では、OR的視点から鉄道技術の発展のごく一部を追跡する。

キーワード：鉄道，技術史，OR

「鉄道」、その言葉は限りない郷愁となって胸に響きます。映画の黎明期に撮影された、雨のしきりに降り注ぐフィルムの中を、忙しく走り去る小さな列車に始まり、今にも空を飛びそうな超近代的な特急列車まで、少年心を揺さぶらずにはおきません。

鉄道の技術史は近代科学技術史そのものであり、OR的見地からも先人の知恵の宝庫です。特に、産業革命の勃興とともに出現し、瞬く間に大発展を遂げたと思う間もなく、20世紀半ばにこれまたあっけなくほとんどが絶滅した「蒸気機関車」の技術史には、先人の創意工夫競争がちりばめられています。しかし一方で、わが国の近代科学技術への対応の一種侘しいような卑屈な態度を、これまた一抹のペーソスをもって読み取ることになるのです。

ここに拾ったエピソードは、「蒸気機関車の興亡」(斎藤晃, NTT出版, 1996), 「蒸気機関車の挑戦」(斎藤晃, NTT出版, 1998), 「アメリカ鉄道創世記」(加山昭, 山海堂, 1998), そして「新幹線をつくった男」(高橋団吉, 小学館, 2000) から採らせていただきました。これらの書物から鉄道に学ぶORの心は、今日でも十分通用するものと思います。また、明治から昭和初期に至るわが国の先駆者の苦勞とともに、それ以来のある意味で伝統となった日本技術文化さえ見ることができようというものです。

初期の鉄道マン(あるいは経営者)も、あくなきスピードへの挑戦者でした。無茶な運行による事故も数多く記録されていますが、限られた条件のなかでできるだけ速く走る機関車を設計する、という正に最適化の世界が19世紀にしのぎを削っていたのです。です

ので、鉄道の歴史に見るOR的エピソードを採録することは、もしかすると何らかの意味があるのではないか、と思う次第です。以下、極め付きの受け売りではありますが、そのいくつかを拾ってみました。

1. ラバのエピソード

アメリカで最初に鉄道が開業したのは、1826年のことだそうです。当時の鉄道は、いわゆるインクラインといわれるもので、坂道に敷設された線路上の貨車を引き上げる方式だったようです。下りは重力が使えるというわけです。また、蒸気機関車は登場しないのです。お話は、アメリカで二番目の鉄道で、1827年にペンシルベニア州のある鉱山からの石炭輸送を目的として開業された、やはりインクライン方式によるものでした。この鉄道では、登りの貨車はラバで引き上げるというユニークなものでした。下りは重力ですので、ラバは貨車に乗せて食事を与えながら下ることになっていたそうです。書物によれば、鉄道史最初の食堂車ということだそうです。

ジョブスケジューリングとしては、まことに効率のよい手順と申せましょう。ORにおける最適化には、作業者のインセンティブを考慮することが重要であるという教えがありますが、この事例では、そこまで考えられている参考にするべきものでしょう。ただ、何かの都合でラバ達を歩いて下らせようと試みても、絶対貨車から降りようとはしなかったそうですが…。

2. 蒸気機関車の設計

しばらくはアメリカの様子を観察しましょう。アメリカで蒸気機関車が導入されたのは、1830年のことだそうです。1829年ごろから計画や実験は行われていました。そもそも、導入を最初に計画した経営者

は、平坦部の運行では馬車と比較して経済的に成立するという机上の検証を行っていたそうです。蒸気機関車の黎明期に、どういう仮定や推定を行って経済性を検証したのか、不思議な気がします。しかし、実験では肝心の線路が木製だったりして、強度的に無理ということになったようです。

その後のアメリカの鉄道が目覚ましい発展を遂げたことは、ご存知のとおりです。西部劇には、しばしば列車強盗が登場して活劇が始まります。荒野を駆け抜ける独特のスタイルの蒸気機関車は、たとえば北海道の鉄道黎明期に活躍した「義経」と「弁慶」を筆頭に、今でも各地の遊園地や博物館で大人気です。

ところで、蒸気機関車の設計は、当時どのような問題とそれに対するアイデアがあったのでしょうか？ 営業的側面から、機関車の性能には、まずもって速度の追求が最大の課題であったようです。速度を上げるには、いくつかの問題があります。まず、ボイラの出力を上げることでしょう。ついで、動輪の直径を大きくすることです。それから、回転数を上げることも追求しなければなりません。さらに、速度があがると脱線の危険も増しますので、線路の凹凸や左右の揺れに確実に追従する仕組みが必要です。

曰く、動輪径を大きくすれば速く走れるが、ボイラの重心が高くなって安定しない。その上、トルクが下がるので、牽引できる客車の数が制限され、営業的な問題が発生する。動輪の回転数を上げれば速く走れるが、シリンダの工作精度を格段にあげなければならない。表定速度（出発から到着までの平均速度のようなもの）をあげればいいではないか、と思えば給水や乗務員の交代計画などを解決する必要がある。波乱万丈の競争が、群雄割拠の鉄道界では巻き起こっていました。

さて、くだんの荒野をかける西部劇の機関車ですが、当時非常に高い評価を受けて定番になったスタイルで、いわゆる4-4-0（アメリカンと称する）というものです。4-4-0は、先輪といわれる線路の揺れを追従して機関車の走行方向を制御する車輪が四つ、その後ろに動輪が四つ、という車輪配置であることを示します。アメリカンの特徴は、ある程度自由に横移動する先輪によって、線路への追従性を非常によくしたことで、カウキャッチャと呼ばれる、牛などを蹴散らかす（キャッチャーではないですね）ための最前部にしつらえた鋤のような構造物、大きな動輪と夜間運用を可能にした大きなヘッドランプ、などでしょう。その独特のスタイ

ルは、速度の追求の末に到達した当時の最先端技術の結実であったのです。

そこに落ち着くまでには、さまざまなアイデア機関車が数多く出現し、淘汰されていったのです。たとえば、動輪をたった1軸とし、直径3mはあろうかという巨大な動輪で速度を稼ごうという思想のために、民家なら2階に匹敵する高さに運転席を置かなければならず、まことに珍妙な形となった機関車（鉄道マニアの間ではゲテモノと称して珍重されています）、ボイラの重心を下げることで動輪の直径を大きくすることを両立させるために、ボイラの中を車軸が貫くというアイデア、はたまた、二つの機関車を背中合わせにして、前後にボイラと動輪を置き、運転手を真中におくことで、バランスを得るというアイデアなどなど。もちろん、この陰にはフレームやシリンダの工作技術向上などの努力はありましたが、自由なそして独自の発想を、いろんな登場人物が主張することによって、飛躍的な発展がもたらされたことは、紛れもない事実でしょう。決められた範囲での改善ではなく、目的の最適化に対してあらゆる英知を傾けるという、ORの原点を見たように思います。

一方、列車を早く走らせるためには、ブレーキ性能の向上が不可欠であることはいうまでもありません。初期のブレーキは手動で、効き目は不十分な上大変危険な作業を伴うものでした。また、機関車だけでなく列車全体をバランスよく減速するための技術はありませんでした。その後、大気圧を利用した真空ブレーキの登場で、飛躍的な進歩を遂げましたが、列車全体のブレーキをバランスよく同期をとって動かせる技術や、空気漏れ事故の際には安全に自動ブレーキがかかるといった工夫が未解決でした。

空気ブレーキの発明は、これらの問題を一気に解決するものでした。空気ブレーキは車両に取り付けたブレーキシリンダに圧搾空気を送り込んで動作させるものですが、アイデアは制御方法にあります。各車両を結ぶ空気ホースにはあらかじめ大気圧より少しだけ高い圧力の空気を充填しておき、運転席でホースの圧力を少し下げると、各車両に用意されたボンベからブレーキシリンダに圧搾空気が供給されるように工夫されたのです。空気圧を下げてブレーキをかけるという発想がすばらしく、これによって安定的な制動性能と、安全性が保証されたのです。もし車両を結ぶ空気ホースが外れたならば、ホースの空気圧が急にさがって自動的に各車両のブレーキが作動するからです。逆転の

発想の効用を、ここでも見るができます。

この辺で、アメリカから世界の鉄道に目を向けてみましょう。鉄道の敷設での最初の判断は、線路の幅(すなわちゲージ)であることは当然ですが、黎明期の鉄道ではさまざまなゲージが登場しました。なぜならば、ゲージが広ければ大きなボイラと大きな動輪をより安定な状態で実現でき、したがって高い速度とトルクが得られますし、大型の貨車や客車が作れるので、輸送力も大きくなります。一方、大型の鉄道は建設コストがかかり経営を圧迫するばかりでなく、地形によっては敷設そのものが困難になります。

さてこそ、いろいろなゲージが出ては滅びつしながら、現在のいくつかのゲージが生き残ったというわけです。現在のゲージは大別すれば「標準軌」と「狭軌」になりますが、世界的には「標準軌」が多く採用されています。諸々のバランスがもっともよいという経験則の結果でありましょう。わが国の鉄道(現JR)では狭軌が採用され、かつその後それが一種の列強に対する劣等感(?)となって、「広軌への改軌論」が巻き起こったことはよく知られた歴史ですが、結局そのまま現在に至っています。

鉄道に限られたことではないのですが、欧州では国によって技術に対する考え方(技術文化)がだいぶ異なっていたようです。現在でも鉄道技術をリードするフランスは、たとえば蒸気機関車の動力の伝達構造に、非常に凝った設計をいくつも発案しています。それらの多くは、高い工作技術、高い保守技術とともに運転技術にも大変高度なものを要求するものでした。携わる人々の高度な技能を前提とする工業製品は、最高の性能を維持しながら運用することが難しく、他の国では受け入れることが困難な、独特の風土といえましょう。イギリスやドイツは、着実に堅牢な構造を好み、高度な技能を要求せず運用できる製品を追求する風土があるようで、蒸気機関車にもその違いが色濃く受け継がれています。

蒸気機関車の発達は、スピードと力の追求とともにありました。そのための主な技術は、「大きく効率のよいボイラとそれを支えるフレーム」、「動輪をすばやくスムーズに駆動する仕組み」、「早く走っても線路の凹凸を追従する足回り」などになります。歴史上知られている最優秀の機関車達の多くは、巨大なボイラ、直径2mを超す動輪、フレームの中に隠された第3のシリンダを加えた3気筒だったようです。これらのうち数機は、なんと時速200km以上という記録

を出しています。

3. 日本の鉄道

明治5年、汽笛とともに新橋駅を出発した列車こそ、わが国の鉄道の始まりであることは、誰でも知っている事実でしょう。日本の鉄道はイギリスからの技術導入、および人材導入を基礎として出発しました。これまでの話にもあるように、当時の欧米の鉄道では、いわゆるスピード競争が盛んで、速く走るのが運転手の腕の見せ所になっていました。わが国最初のお召し列車が運転されたときも、もちろんイギリス人の運転手でした。意気に感じた彼は、ここぞ、とばかり腕を発揮して飛ばしに飛ばしたお陰で、予定時刻のはるか前に到着したそうです。ところが、横浜駅ではブラスバンドなど出迎え陣は大慌て、わが運転手氏は、大目玉を食らったそうです。それはともかく、はるばる日本に渡ってきた運転手や、技術者も気概十分な人々でした。その一方で、明治維新の成功要因としていわれているように、鉄道分野でも日本人の資質は非常に高く、彼らは急速に技術を吸収していくのでした。しかし、あらゆる分野で見られたように、鉄道技術においてもわが国の創世記は、外来技術の丸ごと導入と外来技術者の指導、という環境下に育ったのでした。

しかし、技術導入という戦略には、当然弱点もありました。それは、試行錯誤の経験の機会を失うこと、独自の発想が制限されることでした。失敗の経験が不足するわが国では、「外国で定着した定番技術を採用する」ことによりリスクを回避し、ほとんど失敗なしに発展を遂げたのでした。定番技術の模倣には、挑戦的な発想の機会を捨て去るという問題がありました。たとえば、先駆的技術者が欧州に留学し、動輪の回転数は毎分300回転程度を限界とする、という当時の常識を知りましたが、ついにこれを打ち破ってさらに高い回転数に挑戦することはありませんでした。かくして、日本の代表的な蒸気機関車のほとんどは、外国からまず新型機関車を輸入して、それを模倣することを基礎として完成しました。当然、大きな失敗はありませんでしたが、いわゆる技術的ブレイクスルーもまた、ありませんでした。ただ、狭軌最大の直径1750mmの動輪を実現し、C51を皮切りに最大の機関車C62に至る名機を世に送り出したのは、唯一の先進性であった、と書物では評価されています。世界の狭軌鉄道は、一般にはいわゆる軽便鉄道に類するものが多かったのですが、南アフリカなどでは、狭軌でありながら

C62を大きく凌駕する先進的機関車を生み出していますので、わが国の技術者が今一步挑戦的であったならば、世界をリードできたかもしれません。つい蒸気機関車時代には、わが国は真の意味での先進国にはなれていなかったようです。

4. 満州を駆け抜けた特急あじあ号

現在の歴史観のもとでは、大変悪名高い満州帝国ですが、開国当時の日本には大いにパイオニア精神が高まったそうです。鉄道では、南満州鉄道（これも政治的には悪名高い）がありました。狭い国土で狭軌鉄道にあまじっていた鉄道マンは、果てしない荒野を駆け抜ける標準軌の鉄道に夢を馳せました。そして、束縛からはなれた技術者たちは、有名な「あじあ号」を生み出したのです。あじあ号はたった8年の運転で生涯を終えましたが、日本の鉄道人（いや鉄道ファンにも）かぎりない夢を与え続けてくれています。

あじあ号の先頭に立つのは、巨人機パシナです。2mの動輪を3軸もち、当時の世界のデザイン界を注目させた流麗な流線型の車体は、見事なまでの造形美を誇っています。客車はもっと自慢できます。当時最高の流線型の展望車、列車全体が統一されたデザインの特急列車が、満州の荒野を駆け抜けたのです。しかも、驚くなかれ全列車完全空調付だったのです。当時の欧州のどの特急列車も空調はありませんでしたから、世界的評判になったのはいうまでもありません。

あじあ号について語ると紙面が尽きてしまいますので、この辺にしましょう。わが国の技術者たちは、旧弊な組織に束縛されている中では、コンサパティブな考え方からなかなか抜けられなかったのですが、これらから開放されると一気にエネルギーを爆発させたというわけです。自由な発想を助ける環境が、いかにORにとって大切か知ることができます。

5. 新幹線の登場

わが国の鉄道史、いや歴史上で技術力において世界に先駆けたのは、新幹線の登場が初めてではないでしょうか？ もっとも、鉄道技術という視点でいえば、新幹線にはことさら革新的なものは見当たらないのです。スピードでいえば、すでにフランスでは時速500kmを記録していますし、その他ほとんどの要素技術においても然りです。では、新幹線の何が技術的さきがけなのでしょう？ ずばり、ORにほかならない、というのが著者の見るところです。そのわけを探る前

に、新幹線登場のいきさつを振り返ってみましょう。

新幹線構想自身は、戦前の軍事的背景化で進められた、「弾丸列車構想」にさかのぼりますが、ここでは戦前のいきさつは度外視しましょう。国鉄では、終戦以来輸送需要の増大に対応すべく電化・動力近代化、線路改良などあらゆる努力を払ってきました。そして、ついには、平均10分に1本列車が走行する状態になりました。平均10分に1本といえば大都市の通勤電車では当たり前ですが、当時の東海道線は特急、急行、各駅停車、急行貨物、各駅停車貨物と様々な停車パターンの列車が走り、また最高速度は時速65~110kmと差があり、実質上満杯状態でした。しかも、1963年頃にはさらに3割以上の輸送需要が予想され、追加対策に迫られることになったのです。

このような状況から、東海道線の輸送力増強を検討することになったのは、当然の成り行きだったのです。まずは、東海道線の現状および利用特性を踏まえ、具体的な輸送力増強方法としていろいろな方法が立案されました。AHPが使われたとは聞いていませんが（まだなかった！）、とまかく代替案を比較検討して、いわゆる新幹線構想が浮上したというわけです。代替案の比較検討で生き残ったのは、「東海道線に添わせて複々線化」という案でした。新幹線は、もともと在来線の線路増強案だったのです。すなわち、複々線化の一つの方法として現在の線路とは離して増設する方法（新幹線の考え方）が採用されたのです。この方法では全線工事完了しないと使用開始することができませんが、既存の線路が抱える弱点箇所（急曲線、急勾配など）は全て解消することができ、用地買収も並行買収するよりは簡単です。既存の線路の車両が乗り入れないという前提をつければ、線路幅や電力供給方式も制約を受けずに新しく設定することができ、最適な方式を採用することができます。上記の考え方を基に、別線路のスペックが策定されました。

まず、「当時の技術力」で効果的に高速化を実現するため、線路幅は1435mm（標準軌）とされました。最高速度は時速200kmと想定されました。その他、全線立体交差化、あるいは旅客用車両は1形式のみとして「標準化」が徹底されました。しかし、なんといっても、新幹線の仕様で画期的なのは、「旅客用車両を電車列車」とすることでした。鉄道先進国である欧州では、現在に至るまでどういうわけか「電車」はあまり信用されていないようです。

一説によれば、馬車文化の名残で、動力車が先頭に

立って客の乗る箱を雄雄しく引っ張ることこそ、旅客輸送のあるべき姿として「固定観念」化されているのだそうです。重量の均等化や、動力の分散あるいは旅客スペースの効率化など、電車がいいに決まっているのではないですか。日本には馬車文化の固定観念がないことが、自由なOR的発想をもたらしたともいえるようです。しかし、新幹線での電車の採用には、わが国鉄道技術の貴重な経験も生きているのです。戦後まもなく実現し、鉄道マンの大変な苦勞の末に定着した「湘南電車」こそ、長距離電車列車のさきがけでした。電車はすでに欧州では走っており、ことさら新しい技術ではありませんでしたが、欧州では近距離の簡便な列車に限るという「固定観念」があり、それ以上に発展しなかったのです。つまり、既存技術の活用範囲を広げたのです。

このように、とりわけ新しい技術を開発したわけではないのですが、「当時の技術で実現できる」という確実な計画と、固定観念にとらわれないそれらの活用こそ、新幹線の成功といえましょう。さらには、多くの技術者（多くの企業）の連携をうまく制御して、最

終目標を達成させるという、システムズエンジニアリング、あるいはスケジューリング技術もまた、当時の日本で成功しつつあった産業界の生産管理技術の適用に負うところが大きであったはずで、これらのシステムの技術（すなわちOR）の結集と運用こそ、新幹線の新幹線たる所であると申せましょう。新幹線の登場は、衰退気味であった世界の鉄道の再生をもたらした、高速鉄道を今日の世界的隆盛に導いた救世主となったのです。これすなわち、歴史的偉業以外のなにもありません。

6. おわりに

かくして、鉄道の視点からORの歴史とヒントを垣間見ることができるのでした。本特集では、スケジューリングの問題、経路探索の問題、あるいは現代の鉄道事情といった多彩な記事を用意しました。それにより、楽しい鉄道物語をとおしてORの実践を学ぶという仕掛けとなっています。どうか存分にお楽しみください。