

鉄道の歴史

1. 創生期の鉄道

木の車輪が木の軌道上を走行する鉄道は 16 世紀ドイツで始まったとされる。18 世紀後半にワット (Watt, J.) により蒸気機関が発明され,これを走行に利用する試みの中で,1804 年にトレヴィシック (Trevithick, R.) が最初の蒸気機関車 (steam locomotive) を走らせた。

1810 年代のナポレオンの戦乱により馬匹が不足したことが契機となり,イギリス各地で馬の補助手段として蒸気車が使用されるようになった。当初は軌条と車輪を歯車でかみあわせていたが,ハドレーによって粘着力による走行が実現され,スチーブソン (Stephenson,G.) による排気を煙突に導くドラフトの利用など次第に改良が進んできた。

1825 年にはストックトンアンドダーリントン鉄道が開業した。屈曲した運河をショートカットして結ぶ船運の補助手段である。馬車もその上を走り,据付機関による巻上げも併用するなど,専用馬車道に近い形態であったが⁽¹⁾,一般道路を走る馬車や運河との競争に勝たなければ鉄道の存立はあり得なかった。技術は競争により鍛えられる。スチーブソンのロケット号が最優秀となった 1829 年のレインヒル機関車走行コンテストもそのような公開競争の場の一つであった。

さらに,熱効率を向上させるフランスのセガンによる多管式ボイラ,蒸気供給時期を任意に調整するスチーブソンの弁機構や蒸気ブレーキなどを通じて,ほぼ現代に至る蒸気機関車のコンセプトが作られ,1830 年には蒸気機関車による専用鉄道としてのリバプール アンド マンチェスター鉄道が開業する。馬車,船運との競争に勝つため,当初から長大橋りょうなどを用いた直線的な複線線路が建設された。

1831 年にはアメリカでもボルチモア アンド オハイオ鉄道が開業した。鉄道を敷設すれば政府から周辺土地の入手と権益の確保が約束されるようになり,たとえ急曲線の弱い路盤であっても他者に先駆けて一刻も早く鉄道を建設する開拓者間の競争が,アメリカの鉄道の象徴となった。厳しい路線条件に対応して,ポギー先台車の機関車,ポギー客車の導入が他国に先行して行われた⁽²⁾。

2. 鉄道の発展と機械工学の誕生

リバプール アンド マンチェスター鉄道の軌間は現在も標準である 1,432mm であるが,1838 年にはイギリスでブルネルが 2,134mm 軌間を提唱し,グレートウェスタン鉄道を開業させた。馬車の補完から始まった技術改良の延長線上ではなく,鉄道全体を新しいコンセプトで創造しようとする思想であった。路線の設定から始まり,軌道構造,機関車,橋りょうから建築デザインに至るまで総合的なシステム設計がなされた。後に規格統一に敗れて改軌されるが,広軌鉄道の優位性を誇示して 1840 年には最高速度 92km/h を達成した。

1839 年のアメリカのハリソンによる軸受をイコライザ(釣合いばり)によって連結して負荷を複数の車輪に分散させる支持方式,1840 年代のイギリスのクラプトンによる巨大な単動輪高速機関車の設計などを通じ,次第に機械運動にまつわる課題が認識されてきた。運転速度の上昇によって車軸破損が多発し,鉄橋の破壊によって起きた列車転落事故では設計者が裁判に付され,技術者の責任,倫理が問われるようになった。線路上で死神の待つ姿が当時の風刺画に描かれている。

このような状況には組織的な対応が必要になる。1847 年,鉄道関係者を中心にスチーブソンが初代会長となり,Institution of Mechanical Engineers (イギリス機械学会) が設立された⁽³⁾。問題を共有する「機械技術者」のコンセプトが生まれたのである。協会ではマコーネルが車輪のバランスの重要性を指摘すると

ともに、車軸の破壊に関する委員会が組織され、繰返し荷重による材料の変化を究明しようとした。同時期にドイツ、ヴェーラーも車軸破壊に関する研究を進め、これらが疲労研究の発端となった。経験から学理への道が始まったのである。

1856年のドイツ、ルーロー（Reuleaux, F.）による蒸気機関の弁動作の解析などを通じて機械運動学の考えが生まれ、1859年には鉄道技師出身のランキンが熱機関、応用力学に関する著書を著し、ロッド、動輪の高速運動の解析とともに、危険速度、応力、ひずみの概念を唱えた。工学が単なる科学の応用でなく、独自の体系を作ようになってきたのである。ランキンの著書は明治初期の日本でも教科書となり、また日本へのイギリス人技術者派遣においてもアドバイザとなったことが知られている。

1883年、イギリスのタワーが車両の滑り軸受での圧力発生を観察したことからレイノルズ（Reynolds, O.）が油膜圧力の解析を行い、レイノルズ方程式を導いて流体潤滑理論、トライボロジーの研究が始まる。同年にはクリンゲルが車両の蛇行動に関する最初の論文を発表した。20世紀初頭に材料力学の体系を築いたティモシェンコ（Timoshenko, S.P.）も鉄道技師の出身であった。このように鉄道を母胎として現代に至る、技術者、工学、機械工学の概念が誕生したのである⁽⁴⁾。

3. 黄金時代の鉄道と電気鉄道、内燃動車の誕生

鉄道は次第に場を広げてくる。1828年にアメリカ、ボルチモアにおいて馬車鉄道が市内ケーブルカーや小型蒸気自動車による市内交通に発展する。1863年には蒸気機関車によるロンドン地下鉄道が開通した。1869年にアメリカ大陸横断鉄道が全通するころにはヴァンダービルトなどの鉄道王が経済の覇権を握り、一国の繁栄が鉄道に大きくかかる時代となってきた。

安全の確保は鉄道輸送の課題である。1856年にイギリス、サクスピーが転轍機と信号機の動作を関係づける機械連動装置（inter-locking）を考案して信号の誤動作を防いだ。これが、論理回路の始まりといえる。列車のブレーキは永らく機関車の蒸気ブレーキと人力に頼っていたが、1874年に真空ブレーキが誕生し、すべての車両を制御する貫通ブレーキが可能になる。空気ブレーキは1869年にアメリカ、ウェスティングハウスによって考案されていたが、安全への投資の無理解から実用化されるのは1893年であり、そこでようやく長大列車の安全運転が可能になった。

列車速度では、イギリスでの東西ルート間の特急列車競争から1880年に124 km/h、アメリカで誕生間もない飛行機との競争から1893年に181 km/h が記録された。

この時代、蒸気機関に次いで電動機と内燃機関が動力源として誕生してきた。1879年にドイツ、ジーマンズが出力2kWの電気機関車を試作し、ベルリン郊外でレールからの集電による電気鉄道の営業を行ったが、現代の電車は1888年のスプレグによるアメリカ、リッチモンドでの市街電車運転に始まる。集電は架線とポールで行い、歯車伝達、界磁巻線制御、総括制御が用いられた。

電気機関車はアメリカで大型化し、1909年には出力3,000kWにまで至った。速度ではドイツが実験線を用いて電車による記録更新を目指した。最初は甚だしい蛇行動で走行に耐えなかったが改良を加え、1903年に210km/hに達した。1920年代のアメリカでは都市を中心に6万両の電車が運転され、GE、ウェスティングハウス、ブリルなどが世界的メーカーとして君臨していた。

電気鉄道では出力制御が容易なことから、通常、直流整流子電動機が用いられたが、変電所での交直流変換が必要であるため交流の使用も試みられた。三相交流を採用した場合もあるが、多くは周波数の低い16-2/3ないし25Hzが使用された。商用周波数では1933年よりハンガリー、カンドにより50Hz、15kV相数変換誘導電動機が試験され、ドイツでは1935年から交流整流子電動機、車上での水銀整流器の使用、相変換が比較実験された。第二次世界大戦後にその技術を接収したフランスがこれを基盤に先行した開発を進めること

になる⁽⁵⁾。

もう一つの動力源として内燃機関がある。1908年のT型フォード誕生と前後して小型機関を利用した簡易な鉄道車両が出現するが、本格的な車両は1913年ドイツの900kWディーゼル機関車、1914年スイスの150kW電気式ディーゼル動車に始まる。第一次世界大戦を通じ、飛行機、潜水艦、戦車の発展によって内燃機関の飛躍的な高効率化と軽量化が図られ、これを基盤に高速内燃動車が発展する。その背景には内燃機関による自動車、そして来るべき航空機との競争があった。馬車を駆逐した鉄道が今度は追われる立場になってきたのである。

1931年にはドイツがプロペラカーで230 km/hを達成する。周囲への風圧から到底実用には耐えないが、それを承知でのプロパガンダであった。1932年にはドイツに都市間電気式ディーゼル動車、フリーゲンダー・ハンブルガーが生まれる。一部にはトルクコンバータ車も採用され、その後ドイツはトルクコンバータによる大型ディーゼル機関車にも力を注ぐことになる。

蒸気機関車の高速化も挑戦された。1936年ドイツは200.4 km/hの達成を公表した。鉄道本家のイギリスがその信憑性を疑い現地調査するなどの一幕もあったが、1938年にはイギリスでも202.7km/hを達成した。鉄道の速度記録（speed record of railway）は国の威信に関わる技術であった。

アメリカでも長距離電気式ディーゼル動車の運転が始められたが、編成の長大化から次第に電気式ディーゼル機関車によるけん引に移っていく。1937年には機関車の出力が1,500 kWに達し、第二次世界大戦後は軍需産業転換の施策もあって、急速に蒸気機関車からディーゼル機関車に移行し、1949年には12,000kWの機関車が誕生した。大型電気式ディーゼル機関車は現在のアメリカの膨大な鉄道貨物輸送を支えるとともに、輸出も多く世界的にシェアが高い。

蒸気機関車は1941年にアメリカで出力5,600kW、重量300tにまで達した。新しい機構も各国で模索され、動輪ごとのVシリンダの配置、ロータリバルブ、ポペットバルブの採用、蒸気タービン駆動機関車、蒸気タービン電気機関車などが試みられるが、電動機、内燃機関の容易な制御性には勝てず、1960～1970年代にかけて鉄道発祥以来の蒸気機関車が各国で終焉を迎えることになる。

4. 日本の鉄道の創設

蘭書などを通じて鉄道の存在は認識されていたが、実際に日本人の目に触れた最初の鉄道は1853～1854年にペリー、プチャーチンが持参した汽車模型である、目の当たりにすれば作る意欲が生まれてくる。早くも1855年に佐賀藩、中村奇輔が蒸気機関車模型を完成させ運転を行った。

1866年に幕府により蒸気軍艦が建造されているが、船舶と違って鉄道では軌道の建設が必要であり、新政府が雇った外国人モレルらによって1872年に新橋～横浜間が開通した。車両、軌条などはすべてイギリスより輸入された。日本の交通は徒歩、乗馬の時代であり基本的に競争する交通機関はなく、国策として事業が進められた、軌間はコスト面から1,067mmとなった。

1875年に鉄道付属工場で客貨車の国産化が始まるが、鉄材部品はすべて輸入であり木工が中心であった。1893年には官設神戸工場で機関車の父トレヴィシックの孫に当たるF. トレヴィシックによって日本製初の機関車が1両製作された。基幹部品は輸入であるが、当時注目されていた複式シリンダの先端技術に挑戦している⁽⁶⁾。

1897年に機械学会（The Society of Mechanical Engineers、1938年に日本機械学会に改名）が設立されるが、このころになるとトレヴィシックなどの直接の弟子に加えて、工部大学校で英語による教育を受けた第一世代の工学者を師として日本語の講義、教科書による教育を受けた第二世代の工学者が巣立ってくる。後に鉄道省の技術をリードする島安次郎もその一人である⁽⁷⁾。

1899年には帝国鉄道庁長官であった井上勝が政財界の支援を得て、日本最初の機関車メーカーである汽車製造合資会社を設立した。図面は既存のものを借用し、シリンダ鑄造を砲兵工廠（しょう）へ依頼したり、輸入部品を加工するなどして小型タンク機関車を完成させた。同型を41両製作したがいずれも良好な成績であり、すでに製造技術が十分蓄積されていたことを示している⁽⁸⁾。

政府資金の不足から多くの幹線が私鉄により敷設されていたが、日露戦争を契機として軍隊輸送一元化の必要もあり、1906年に幹線の私鉄が国有化される。それまでは名古屋・大阪での官設鉄道・関西鉄道間、山陽鉄道・海運間での激しいサービス競争などがあったが、以後の鉄道は官僚体制となり、「我田引鉄」と称されたように政治との関連のもとに全国津々浦々に敷設されるようになる。また1906年には朝鮮半島とともに標準軌間に統一された南満州鉄道が設立され、日本植民地政策の一環を構成するなどを背景に、自主鉄道技術の重要性が次第に高まってくる、

鉄道車両の国内生産と輸入額が等しくなった時期は1910年前後と見られるが、当時機関車の国産シェアは1割に満たなかった⁽⁹⁾。しかし鉄道事業の政府一元化により、国策として鉄道車両工業（rolling stock industry）の育成を行うことが可能になってきたのである。

5．日本鉄道車両工業の進展

1907年に鉄道技術研究所が設立され、国産巡洋艦も進水するなど次第に国産技術が標榜されるようになってきた。1911年に6700型中型テンダ機関車が太田吉松によって完成するが、次第に幹線の輸送力強化、優等列車の運行が必要になってくる。しかし、大型蒸気機関車の設計力は当時の日本にはまだなかった。また、ドイツではシュミット考案の蒸気効率を向上する過熱蒸気機関車も生まれていた。このため1911年にドイツ、アメリカ、イギリスより大型高速機関車を60両輸入することになった。同時期に重量輸送用の連接式マレー型機関車も同数輸入されたが取扱いの困難さから定着しなかった。

技術の早期樹立のため、機関車が到着すると分解して各部を測定し、2形式30両のデッドコピーが製作された。コピーであっても再現には技術が必要である。コピー機の部品精度はオリジナルを上回り性能もなんら遜色なかった。またオリジナルの一部は台枠が圧延鋼板切抜きであったが、材料の入手難から綿密な検討を経て、より困難な鑄鋼台枠を製作している。

このような経過を踏まえて技術が次第に蓄積され、設計経験も次第に増し、1912年に過熱式9600型機関車、次いで8620型機関車が島安次郎、朝倉希一、太田吉松らによって完成する。また1912年には森彦三によって満鉄工場でも機関車が製作される。さらに1919年の幹線用C51型機関車によって、日本の蒸気機関車技術はほぼ完成する。



図 2・48 南満州鉄道あじあ号をけん引するパシナ型機関車（生方良雄提供）

その頂点の一つが図 2・48 に示す南満洲鉄道あじあ号をけん引した 1934 年の流線形機関車パシナである。特殊鋼，鋳鋼を多用し，ローラベアリングの使用など，列車全体の軽量化と空調設備とともに世界の先端を行くものであった⁽¹⁰⁾。しかし，1941 年に開戦した太平洋戦争の末期になると，機関車は「勝つまで 2，3 年もてばよい」粗製濫造となつてたびたび缶破裂事故が発生した。ドイツの戦時型機関車は全くそのままで戦後も使用できたといわれるのに比べて，日本の工業力はまだ底が浅いものであった。

日本の電気鉄道は 1890 年に上野博覧会で藤岡市助が電車運転を行ったのが最初であり，1895 年には京都電気鉄道が開業した。その後 1904 年に甲武鉄道（中央線），1907 年に山手線で電車運転が行われるなど，都市内，都市間で電車が活躍してくる，ただし台車，電動機，制御装置は輸入品であり，のちに国産化も始まるがその多くはアメリカ製品のコピーであった。

1912 年にはドイツよりアプト式電気機関車が輸入され，1919 年には鉄道省大宮工場と同機関車が製作されるに限られた技術であった。1925 年に東京付近の東海道，横須賀線の電化を行うことになり，先進のアメリカ，イギリス，ドイツ，スイスより電気機関車を 58 両輸入することになる。

実績がないにもかかわらずイギリスから大量に輸入したのは政治的判断とされており，低価格で構造も単純であったがトラブルが多く，反面教師として参考になったと伝えられている。スイス製品は電動機を台枠上に置き，扇形歯車，リンク，クランクピンで伝導するプフリ式の高級機であったが，緻密な保守が必要なため現場で嫌われ使いこなすには至らなかった。また，国産技術を開発してきた日立製作所の機関車も同時期に運行されるようになった。

輸入電気機関車の結果を踏まえ，1928 年に幹線用国産標準電気機関車 EF52 が鉄道省主導のもとに各メーカーの協同で設計が行われた。仕様は各社計画を勘案し，提出された図面は参加各社に公開される。成果は鉄道省に帰属するが，参加企業は指定メーカーとなり受注が約束される。各社製品は同一図面のため互換性があり，運用・保守は容易になる，限られた技術資源が有効に活用され早期に実用化もなされる。しかし，独自技術の占有は認められないので，当時においても当該企業のトップデータは出さない傾向があったとされ，最大公約数的になるのはやむを得ない，軍艦，航空機は軍事国際競争が前提であるが，鉄道は信頼度が要求される官需が中心となる，日本の鉄道の正確な定時運行はこのようなシステムによるところが大きい，その反面国際競争力に問題も生まれる。

1921 年ごろからは私鉄の電化が盛んになり電車が高速化・大型化し，1926 年には横須賀線に電車列車が運行され，そのコンセプトが湘南電車，新幹線へつながっていく。

内燃動車は，1920 年代を中心に自動車用機関を用いた小型車が地方鉄道で用いられていたが，諸外国に触発され満鉄で 1931 年にディーゼル電気列車，1937 年にトルクコンバータ，電磁遊星歯車変速機などを搭載したディーゼル動車が完成した，鉄道省では燃料事情から，試作や地方交通用のガソリン動車程度で木格的な採用はなかった。

ディーゼル機関車は 1929 年に第一次世界大戦の賠償としてドイツより電気式，機械式機関車が各 1 両輸入されたが，本格的に使用されるのは 1952 年からの動力近代化によってであり，電気式，トルクコンバータ式ディーゼル機関車とディーゼル動車が地方線区で多く用いられるようになり，蒸気機関車を駆逐していく，しかし日本全体では電化の比重が大きく，特に大型ディーゼル機関車の需要が限定されている。

6．メカトロニクスから新幹線へ

太平洋戦争が終わり，1947 年に島秀雄提唱のもとに高速台車振動研究会が作られるなど，車両技術は強度とばね計算の段階から，高速運転での蛇行動解析など振動理論へとレベルが変わってくる。これには松平精など航空機の自励振動を扱っていた軍事技術者が鉄道へ移ってきたことにもあづかっている。オイルダンパ，

空気ばね，リンクや平行ばねによる軸箱支持，電動機を台車ばね上に装架するカルダン式などの新型台車が生まれ，車体の軽量化も図られて私鉄を中心に電車の性能は格段に向上していく。

1950年には長編成電車列車，湘南電車が運転される。主導した島秀雄が，オランダの低湿地で都市間電車が頻繁に運転されていることから，日本では機関車けん引より動力を分散させる電車運転が適していると判断したもので，以後の新幹線につながる思想となる。

同時代にフランスが中心になり商用周波数交流電化（alternative current electrification）開発が盛んになってきた。さらに1955年にはフランスの電気機関車列車が331 km/hを達成して速度記録を大幅に塗り替え，鉄道技術の新しい可能性が浮かび上がってきた。

日本でも交流電化を検討することになり，当初フランス，スイスよりサンプル輸入を計画したが交渉が成立せず，一方で日立製作所によって機関車用交流整流子電動機が完成したことから独自技術で進めることになり，1957年に仙山線の交流電化が行われた，試験結果から整流器式の優位が認められた。当初は水銀整流器を用いていたが1960年にはシリコン整流器が採用され，やがてチョッパ制御，インバータ回生制動など交流電気機関車の技術開発の中で，次第に制御・回路系解析，コンピュータシミュレーションが行われるようになり，鉄道技術は次第にメカトロニクス化されていく。

車両制御の固体素子化（solid state control of rolling stock）への構想は1940年ドイツの機械的パルス制御に始まり，1955年ごろにヨーロッパで試みられた交流電車のダイオード整流，1960年ごろのアメリカでのトランジスタチョッパによるディーゼル電気機関車の界磁制御実験，ドイツでのサイリスタ制御実験などがあるが，直流電車の半導体によるチョッパ制御の実用化はパワーエレクトロニクス，電力用半導体技術を基盤にして日本が先駆けることになる。

1965年に営団地下鉄で電機子チョッパ制御試験が開始され，地下鉄，私鉄電車を中心に実用化が進んでいく。薄い板のウェーハで電車が制御できるとは技術者も理屈ではわかっては当初半信半疑であったと伝えられるなか，営団責任者の強い思いと三菱電機，日立製作所2社のパルス回路，制御方式，スイッチング素子を巡るし烈な開発競争が寄与する⁽¹¹⁾。その後コンピュータ制御の発展を通じ，1970年代後半からはVVVFインバータ制御による誘導電動機の採用が実現し，さらに長く続いた空気ブレーキを脱した走行の全電気制御へと技術開発が進んでいる。その一方では大量輸送の安全性も重要な課題であり，列車・軌道全体を通した機械運動系としてのさらなる最適化が望まれている。

さて，1939年には幹線調査会が組織され，広軌別線のいわゆる弾丸列車構想が生まれていたが，これを母胎にして1964年に交流電車列車運転による新幹線（Super-Express railway）が開業する。従来の鉄道は100km/hクラスであったが，一気に200 km/hクラスの新しい鉄道システムを実用化したことは世界の鉄道界に衝撃を与え，高速鉄道の新時代を作ることになった。

フランスがTGV（Train a Grand Vitesse）で，次いでドイツがICE（Inter City Express）で追随した。後発のフランスは1990年に515.3km/hを達成し，高速鉄道は300 km/hクラスに向かうことになるが，日本は東海道新幹線の開業後，鉄道延伸に関心が集中し技術開発が停滞した。2003年にリニア実験線で581km/hを到達しているが，新幹線は1996年の443 km/hにとどまっている。

速度競争は実用を別にして，他国への政治的アピールと販売，技術のリーダーシップ確保につながるが，日本は多分に国内指向である。一部の地下鉄，通勤電車での優位性があるとはいえ，鉄道車両輸出額で日本は先進国の間で低い地位にあり，鉄道車両生産額でも日本全体をあわせたとしても世界各企業に比べて小さい⁽¹²⁾。

世界的に見て鉄道は大量輸送と環境性で見直されつつあり，交通システム全体を見据えた日本の今後の寄与が期待される。

【参考文献】

- (1) 青木栄一，鉄道ピクトリアル，310(1975)，6。
- (2) 加山昭，アメリカ鉄道創世記，(1998)，159-161，山海堂。
- (3) Skeat, W.O.，George Stephenson，(1973)，238-249，Inst. M. E.
- (4) 三輪修三，機械工学史，(2000)，71-77，丸善。
- (5) Freeman, A. G.，Railways : Past, Present and future，(1982)，152-157，Orbis。
- (6) 前田清志編著，日本の機械遺産，(2000)，30，31，オーム社。
- (7) 堤一郎，近代化の旗手，鉄道，(2001)，94-96，山川出版社。
- (8) 臼井茂信，国鉄蒸気機関車小史，(1956)，10，11，鉄道図書刊行会。
- (9) 沢井実，日本鉄道車両工業史，(1998)，25-27，日本経済評論社。
- (10) 斎藤晃，蒸気機関車の挑戦，(1998)，188-191，NTT 出版。
- (11) 刈田威彦，鉄道ピクトリアル，666(1999)，10。
- (12) 日本鉄道車輛工業会，鉄道車両工業五十年の歩み，(1998)，52-59，日本鉄道車輛工業会。