

鉄道の起源と車両用軸受の変遷(1)

- 鉄道を中心とした地上輸送機関の源流 -

大山忠夫

Origin of Railways and Transition of Bearings for Railway Cars(1)

- The Cradle of Ground Transportation Centering on Railways -

T. OHYAMA

Since the practical railway systems with steam locomotives originated in the beginning of 19th century, it had played the major part of ground transportation for about one hundred years. On the other hand, automobiles appeared at the end of 19th century and remarkably developed as the important means of transportation during 20th century. At present, both ground transportation means are playing the peculiar part in respective field and more technological developments are necessary to meet social requirements such as global environment protection. Here the cradle of ground transportation means which have developed for 200 years centering on railways is described.

Key Words: origin of railway and its technology, steam locomotive, rail and gauge, cradle of automobile

1. はじめに

19世紀初めに実用的鉄道システムが誕生して一世を風靡し、他方19世紀末から今世紀初めに萌芽した自動車は20世紀の重要な交通手段として発達した。ここでは、鉄道を中心にこの200年で発展した地上輸送機関の源流について述べる。本稿は、日本トライボロジー学会第3種研究会の「機械技術の進展史研究会」で報告するにあたって調査した資料をもとにまとめたものである。

2. 鉄道の源流

2.1 鉄道システムの誕生

鉄道の起源をたどる時、1825年に開業の英国ストックトン・ダーリントン鉄道を世界最初の鉄道システムの誕生として捉えるのが一般的である。事実、1925年に英国で鉄道誕生100年記念行事が行われている。ストックトン・ダーリントン鉄道を最初の鉄道システムとする所以は、(1)車上動力で走行する鉄道、(2)料金をとる公共の鉄道、(3)国による認可、(4)旅客と貨物の輸送、の各条件を満たしているからである。最初のストックトン・ダーリントン鉄道は貨物輸送を目的としたものであ

ったが、その後、蒸気機関車による旅客輸送も行っている。

英国で最初に認可された鉄道は、1758年のミドルトン・トロッコ鉄道であり、初めて公共に供されたのはサリー・アイアン鉄道の旅客用馬車鉄道で、1801年に認可され、1803年に開業している。

また、車上動力で自力走行した最初の鉄道は、R.Trevithickの蒸気機関車を導入したペニダラン炭坑鉄道で、1804年のことである。

E.Peaseの資本によるストックトン・ダーリントン鉄道(18km)は1823年に認可され、G.Stephensonが技師長となって建設を進めた。1825年の開業時にはロバート・スティブソン社で製造した“ロコモーション号”(図1)が、38両から成る小さな貨車で旅客を含めて90トンを19km/hで牽引した。G.Stephensonは鉄道を建設するにあたり走行抵抗を系統的にしらべ、とくに勾配抵抗が大きいので鉄道はできるだけ勾配を小さく建設することが望ましいとした。しかし、ストックトン・ダーリントン鉄道では急な勾配を避けることができず、一部の勾配区間では地上の蒸気機関によるケーブル牽引が残った。



図1 ストックトン・ダーリントン鉄道のロコモーション号 (1825年)³⁾

"Locomotion No.1" of Stockton & Darlington Railway (1825)³⁾

その後、1826年に認可され、1830年に開業したリバプール・マンチェスター鉄道では、G.Stephenson技師長のもとで勾配を少なくする方向で建設が行われ、そのためチャットモス湿地帯の横断や63個所の橋梁や高架橋、2 kmにわたるトンネルなど土木工事の面でも新技術が展開された。この鉄道を開業するにあたり、B.Thompsonが主張した定置式蒸気機関によるケーブル牽引と蒸気機関車のいずれを採用するかで意見が分かれた。調査にあたったJ.U.RastrickとJ.Walkerは、蒸気機関車の技術は未熟であるとして定置式蒸気機関を支持した。しかし、蒸気機関車の実用性を立証するための有名なレインヒルにおけるトライアルでStephenson父子の“ロケット号”(図2)が優勝するにおよんで、蒸気機関車による鉄道の本格的幕開けとなった。

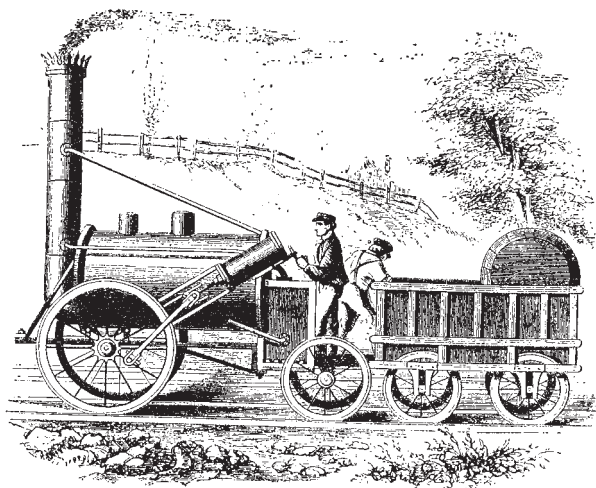


図2 レインヒル・トライアルで優勝したロケット号 (1829年)¹⁾

Stephenson's "Rocket" which triumphed in the Rainhill Trials (1829)¹⁾

その後、英国では1851年まで9000km以上の鉄道が敷設され、Stephenson父子が多くの建設にたずさわった。なかでも1838年に開業したロンドン・バーミンガム鉄道では2.2kmにおよぶキルズビー・トンネルなど7個所のトンネルが建設され、Stephenson父子は蒸気機関車の実用化はもとより、鉄道建設という土木技術の面でも先駆的働きを担った。

2.2 アメリカおよび各国の鉄道の発祥

アメリカで最初の公共鉄道は、1826年開業のクインシー・グラナイト・ロードで花崗岩を輸送する馬車による貨物鉄道であった。それ以前にも、私有では1795年のビーコンヒルなど幾つかの木製レールの短距離鉄道が敷設されている。アメリカで初めての馬車による旅客および貨物の営業輸送はバルティモア・オハイオ鉄道のバルティモア・エリコッツミルズ21kmの区間で1830年に開始された。この線区ではP.Cooperが製作した試験用の蒸気機関車“トムサム号”が1830年に試験走行を行い一応の成果を収めた。これは鉄道馬車と競争したことで有名で(図3)、最終的にはボイラの送風機の故障により僅差で負けたが、蒸気機関車を一般に認識させる点では効果があった。1831年6月には、同鉄道で実用機を選択するためのコンテストが行われ、P.Davisが製作した“ヨーク号”が優勝し、同年7月から旅客運転に投入された。P.Davisはさらに大型化した“アトランティック号”を製作し実用に供した。同じく1831年には、サウスカロライナ鉄道で“ベストフレンドオブチャールストン号”がアメリカで最初の営業運転列車を牽引している。

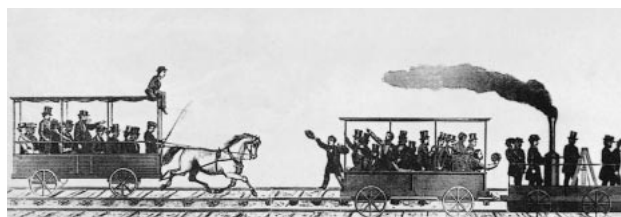


図3 バルティモア・オハイオ鉄道における“トムサム号”と鉄道馬車の競争(1830年)⁵⁾

The race between Peter Cooper's "Tom Thumb" and Horse cars on Baltimore & Ohio Railroad (1830)⁵⁾

アメリカにおける鉄道は、1840年に4500km、1850年に14400km、1860年に49000kmと総延長が急速に伸び、1869年には、西海岸のサンフランシスコに到る最初の大陸横断鉄道が完成した。

ヨーロッパ大陸でも、1835年にG.Stephensonの指導のもとにベルギー政府によりブラッセル・マリーンズ間で鉄道を開業し、ドイツでもニュルンベルグ・ファース間で最初の鉄道が1835年に開業した。フランスでは、1831年にM.Seguinがリオン・サンエティーネ間の私鉄に蒸気機関車を導入し、公には1837年にパリ・サンジェルマン間に鉄道が敷設された。また、1839年にオランダのアムステルダム・ハーレム間で鉄道が開業した。

ロシアでは、ウイーン出身のVon Gerstner教授の提案で皇帝の強い希望によりサンクトペテルブルグ近郊に軌間6フィートの鉄道が試みに25km敷設され、1837年には英国およびベルギーから輸入した蒸気機関車により旅客輸送を開始している。さらに、サンクトペテルブルグ・モスクワ間に、アメリカ人技術者のG.W.Whistlerの助言により軌間5フィートの鉄道を敷設し、1847年に部分開業、1851年に全線開業した。

なお、日本における鉄道の開業は1872年の新橋・横浜間である。

2.3 蒸気機関の誕生と車両への応用

密閉容器の中の蒸気を冷却し凝縮すると真空状態が得られることを提案したのはフランス人科学者のD.Papin(1647~1712年)であるが、それを蒸気ポンプとして地下水の汲み上げ用に実用化したのは、T.Savery(1698年特許)であった(鋳夫の友)。その後、Saveryの特許に拘束されながらも、T.Newcomenは1712年にシリンダとピストンを組み合わせた往復動の“ニューコメンエンジン”を完成させ、主として炭坑の地下水の汲み上げに用いられた。これはシリンダの中の蒸気に直接水を噴射して凝縮し真空状態を得てピストンを動かすものであったが、鑄造だけで製作したシリンダの精度が悪く、熱効率は極めて低かった。その後、J.Smeatonはシリンダ内径の加工精度を向上して効率の良いニューコメンエンジンを多数製作したが、技術的に抜本的改良を行ったのはJ.Wattである。

J.Wattは凝縮用の冷却復水器(1769年特許)、シリンダの外側の蒸気による保温、ピストンの両側で真空と蒸気の膨張を交互に行わせるダブルアクティング機関(1782年特許)、膨張行程の途中で蒸気の供給を止めるカットオフ方式(1782年特許)や调速機などを開発した。クランクとフライホイ-

ルを用いて往復動を回転運動に変える機構は、すでにJ.Pickardの特許(1780年)を得ていたため、Wattはその特許が失効する1794年までは遊星歯車を用いる方式を採用した。Wattの機関が成功した理由の一つとして、シリンダの加工精度の向上もある。これには、J.Wilkinsonが1774年に開発した中ぐり盤が寄与している。また、実業家のB.Boultonと1775年にパートナーを組んだことも事業が成功した理由であった。

ボールトン・ワット社の社員であったW.Murdockは石炭ガスによる照明のパイオニアであったほかにも、遊星歯車装置や滑動弁の発明に貢献したが、1784年に高圧の蒸気機関による路上走行の車を試作した。しかしながら、高圧蒸気機関に危険を感じていたWattが反対したために、それはものにならなかったが、その考えは、後にR.Trevithickに引き継がれた。

蒸気を利用した車両に関しては、重力式安全弁の発明でも有名なフランス人のD.Papinが1698年にシリンダとピストンを用いて蒸気車を軍事用に試作したという話もあるが、路上を走行する蒸気車を初めて試作したのは1769年にN.J.Cugnotである。これは、独立に開発したニューコメン型のエンジンを積み、駆動はラチェットと歯車によるもので6.4km/hで走行したが実用性に乏しかった。

R.TrevithickはWattの復水器の特許を回避するために、高圧蒸気を用いる機関を開発した。1801年にこの機関により路上を走行する車両を試作したが失敗に終わった。1803年に次の車を試作してロンドンの路上で走行することに成功したが、一般の関心は低く実用にはならなかった。さらに、ペニダラン炭坑鉄道で初めて鉄道を走行する蒸気機関車を製作し(図4)、10トンの鉄と70人の乗客をのせた5両の貨車を14km/hで牽引することができた(1804年)。しかし、鑄鉄製のレールは機関車の重量に対してあまりにも弱く実用化はできなかった。その後、1808年にロンドンで円形軌道によるデモンストレーションを行ったが、成功には至らなかった。この時の機関車は、後にアメリカの“スタウエアブリッジライオン号”を製作したJ.U.Rastrickによるもので“キャッチミーフーキャン”と称した。なお、Trevithickは煙管に蒸気を送り込む方法や歯車で接続した4輪を駆動する方法を考案するとともに、平滑なレール上を平滑な車輪で駆動できること、すなわち粘着駆動の可能性を実証した点で重要な示唆を与えている。

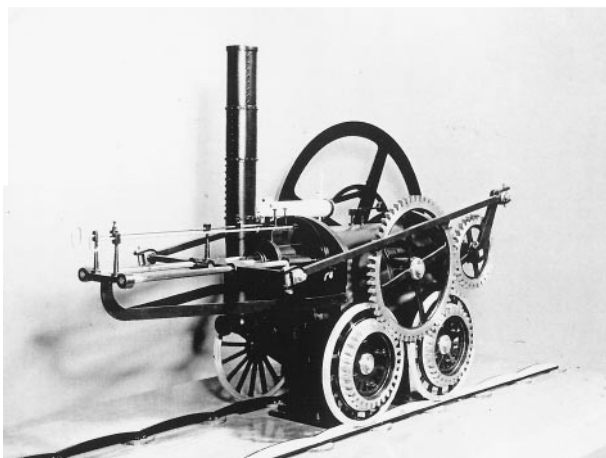


図4 ペニダラン炭坑鉄道で走行したTrevithickの蒸気機関車の模型(1804年) (交通博物館提供)
The model of Trevithick's steam locomotive on Penydarran tramway (1804)
(by courtesy of the Transportation Museum)

一方、1811年にJ.Blenkinsopは歯車とラックレールによる駆動方式の特許を取った。当時のレールは鋳鉄製で弱かったために、軽量の機関車で重量貨車を牽引する方式として考案したものである。これとM.Murrayが設計・製作した蒸気機関車(Trevithickのものを発展させた)を組み合わせ、1812年にミドルトン炭坑鉄道で110トン牽引に成功した。同年、ワイラム炭坑鉄道でも蒸気機関車の導入が検討され、W.Hedleyの設計のもとにT.Hackworthが製作した通常のレール上を走行する蒸気機関車(パフティングピリー号など)を導入したが、レールの強度上の問題から、4輪を8輪にして軸重を分散する方策などを採り入れて運行せざるを得なかった。

Geoge & Robert Stephenson父子は、周知のように蒸気機関車を実用化して鉄道システムとして完成させる上で大きな貢献をした。G.Stephensonは1814年に1煙管で立型の2シリンダとしピストンロッドと歯車で動輪を駆動する“ブラッチャー号”を製作し、キリングワース炭坑で30トンの貨車を牽引して6.4 km/hで走行したが、運転コストがかなり高いことが問題であった。その後、1823年に機関車製造のためにロバート・ステイブソン社を設立し、ストックトン・ダーリントン鉄道に導入した“ロコモーション号”(図1)を1825年に完成した。これは、2シリンダとしコネクティングロッドで2対の動輪を連結している。

1829年にリバプール・マンチェスター鉄道のレインヒルで蒸気機関車を実用化するためのトライアルが行われたが、そこで優勝したのが“ロケッ

ト号(図2)である。これは、ボイラの後方に斜めにシリンダを配置し、直接クランクで1輪軸を駆動するもので、H.Boothの提案でボイラの中に25本の銅製煙管を置き、伝熱面積を増やして蒸気圧を増大させた。この多煙管方式は、フランスのM.Seguinも採用しており、アメリカのJ.Stevensも同様の方式を採っている。レインヒルのトライアルでは、この他“ノベルティ号”など全部で4両の蒸気機関車が競争に参加した。“ノベルティ号”の製作者の一人であるJ.Ericsonは蒸気船のスクリュープロペラの発明者(1835年)であり、“サンパレーユ号”の製作者T.Hackworthはパフティングピリー号(1812年)を製作し、ばね式安全弁を開発している。また、“パーシピアランス号”を作ったT.Burstallは蒸気自動車の開発でも有名である。さらに、レインヒルトライアルに参加した変わり種は、T.S.Brandrethによる“サイクロピード号(図5)”という馬力自走車で、車上の傾斜したエンドレスキャタピラを馬が踏むことによって駆動するものであった。これは2.4km走行することを許可され、9.7km/hで一応走行したと言われる。Brandrethは、G.Stephensonの親友であり、1825年に石炭貨車用ローラベアリングの特許を取得している。

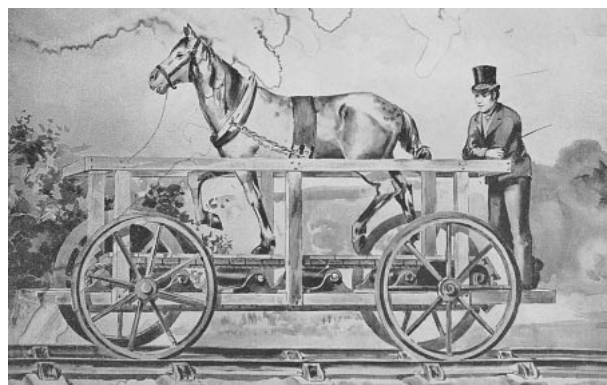


図5 レインヒル・トライアルの変り種 - “サイクロピード”(1829年)⁵⁾
The odd entrant for the Rainhill Trials; Brandreth's horse locomotive "Cycloped" (1829)⁵⁾

1830年9月にリバプール・マンチェスター鉄道の開通式が行われ、本格的鉄道時代に入っていき、Stephenson父子はロケット号の改良型である“ノーザンブリアン号”を開通式に導入し、さらに、シリンダを前方に配置し動輪を後にして粘着重量を大きくした“プラネット号”、また、後方に従輪を追加して荷重分布を均一にした“パティンティ号(1833年)”と矢継ぎ早に蒸気機関車を改良していった。

一方、アメリカでは本国のイギリスによってWattの蒸気機関の情報を流すことが厳しく禁じられていたが、1803年にO.Evansは高圧の蒸気機関を製作し、製粉機に適用する特許を取り、1804年には浚渫船を陸上輸送するための水陸両用蒸気車を試作した(図6)。Evansは1812年に著した書物で既に蒸気機関車による鉄道の実用化を予見していた。また、1804年に世界で初めて蒸気機関によるスクリュープロペラ式船舶を開発したJ.Stevensは、1825年にラックレール式で高圧ボイラの蒸気機関車を試作し実験を行っている。その後、デラウエアハドソン運河会社のH.AllenはJ.Jervisの指示により英国から蒸気機関車を購入し、“スタウェアブリッジライオン号”と称して1829年に同鉄道で試験を行ったが、アメリカの線路では重量が大き過ぎて走行できないことがわかり、導入中止となった。

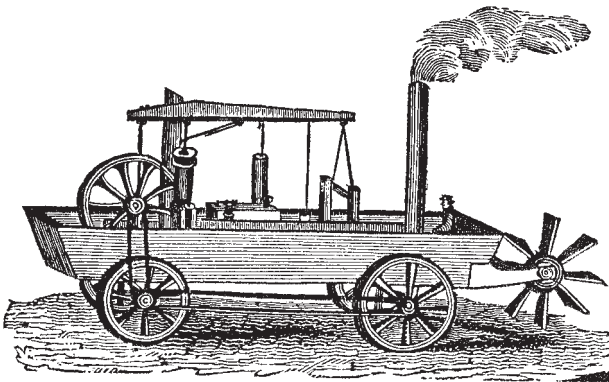


図6 アメリカのEvansの水陸両用自走車(1804年)¹⁾
Evans' self-propelling steam vehicle for transporting the dredging scow (1804)¹⁾

H.Allenはその後サウスカロライナ鉄道に移り、建設中のチャールストン・ハンバーグ間219kmに蒸気機関車を導入することを計画し、ウエストポイント工場で製作した。この機関車は“ベストフレンドオブチャールストン号”と命名され、1831年より運転を開始した。これがアメリカ製で最初の営業運転列車を牽引した蒸気機関車である。

イギリスの鉄道はG.Stephensonの考えにより、できるだけ線路を直線に勾配を小さくし、軌道もしっかりしたものとして建設されたが、広大なアメリカでは線路を延ばすことが優先されたため、軌道が弱く、また地形上からも曲線や勾配がきつい鉄道であった。その結果、蒸気機関車も独自の構造で発展した。1831年に開通したカムデンアンドアンボイ鉄道では、ロバート・スティブソン社から購入した“ジョンブル号”をR.L.StevensとI.Drippsがアメリカの線路に合わせ

て改良し、先頭に1軸の先台車を設け、動輪間のコネクティングロッドをはずして後輪のみの1軸駆動とした。H.Allenは、1832年に軸重を小さく均一に分布し、曲線通過を容易にするために、1従輪軸と1動輪軸から成る2つの台車をつないだ接続式機関車を製作した。同年に、J.Jervisは2軸の旋回台車を前方に付け、動輪1軸で駆動する機関車(エクスペリメント号、後にブラザージョナサン号)を実用化して走行安定性を著しく向上させた。W.Norrisは1836年に、2軸先台車と1動輪軸で構成し、動輪軸に全重量の2/3を負担させ粘着重量を増し、勾配区間の牽引力を著しく向上した。1836年に、H.Campbellは煙管の下に先台車を置き、火室の下に2軸の動輪を配置する方法で特許を得て製作した。この方式は、その後アメリカの蒸気機関車の主流となった。さらに、1838年にJ.Harrisonが軌道の凹凸に動輪が追従できるように軸箱をつなぐイコライザー方式を考案し、走行性能が一段と向上した。

以上のように、蒸気機関車による鉄道は、イギリスとアメリカにおいて1830～1840年のわずか10年間でその後の基礎が固まったことは注目に値する。

2.4 レールとゲージの起源

レールウェイにはもともと鉄という意味は含まれていないようで、木製の軌道の原型は中世の鉱山に認められ、1600年代にドイツの鉱夫がイギリスに導入したとされる。その後1700年代の後半に、ぶなや樫の角材の上に鑄鉄の帯を固定したもの(ストラップレール)が使われるようになった。アメリカでは、1860年代までストラップレールが残っていたと言われる。

レールの進歩は形状的なものとともに、鉄の生産と密接な関係がある。イギリスではA.Darbyが1709年に木炭の代わりにコークスで鑄鉄を生産する技術を開発した。また、1740年頃に時計師のB.Huntsmanはルツボ溶解法で鑄鋼を製造したと言われるが、長い間その技法は秘密にされ、コストも高いものであった。1784年にH.Cortは半溶体の銑鉄を練って錬鉄にするパドル法に関して特許を取り、また、圧延技術を進展させた。そして、1856年にH.Bessemerの転炉法の発明により、鋼の大量生産が可能となり、さらに1879年にS.G.Thomasが脱燐法に成功し、転炉法の難点を解決した。同様に、1856年にSiemens兄弟は平炉法を開発し、1864年のP.Martinによる屑鉄・銑鉄合金法と組み合わせたSiemens - Martin法により平炉法が拡大した。レールの材質は、このような

生産技術の進歩に対応して改良されていった。

鑄鉄製のレールを開発したのは、1767年に R.Reynoldsであるが、レールの形状に関しては、1776年にJ.Currがフランジ付きレールを考案し、B.Outrumが使用を拡大した。1789年にW.Jessopは鑄鉄製の縁付きレール(エッジレール)を開発し、1805年にはストラップレールに鑄鉄が用いられた。1820年にJ.Birkinshawは頭部が大きいレールの特許を取り、鑄鉄で製作した。ストックトン・ダーリントン鉄道およびリバプール・マンチェスター鉄道に敷設されたレールは鑄鉄製のパーキンシヨウ型で、石の枕の中間部は魚腹型である(図7)。

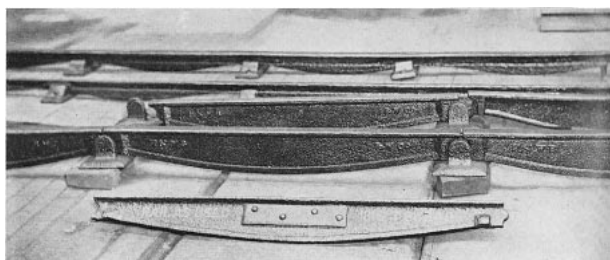


図7 スtockton・ダーリントン鉄道およびリバプール・マンチェスター鉄道の魚腹型レール(1816~1848年)²⁾
Fish-bellied rail used on Stockton & Darlington as well as Manchester & Liverpool Railways (1816-1848)³⁾

1830年には、J.Stevensの息子が蒸気船の技術でも大いに貢献したR.L.Stevensは現在のレール断面に近いT型平底レールを考案してイギリスにおいて鑄鉄で製造し、1832年からアメリカで採用され、1850年頃まで幹線鉄道に拡大使用された。同じ頃、イギリスのC.VignolsもT型レールを考案し、1836年から使われている。1835年には、イギリスの高名な土木技術者のJ.Lockeが双頭レールを開発し、その後1858年にこれが変形して頭部の大きい牛頭レールとなり、イギリスの標準型レールとして普及した(図8)。さらに、1857~58年にベッセマー法で最初の鋼製レールが圧延され、1860年にイギリスで、1865年にアメリカで導入された。また、英国のR.A.Hadfieldは1883年にマンガン鋼を開発し、耐摩耗性が要求されるポイントやクロッシングに適用された。



図8 レール断面形状の変遷
Transition of cross section of rails

レールを支持する方法については、前述のように中世の軌道は、木のまくらぎの上に長手方向に木の角材を固定するものであった。

さらに、Stephensonの頃のイギリスでは、木のまくらぎに変わって石のブロックに鑄鉄製のレールを鑄鉄の座を介して固定する方法(図7)が流行した。アメリカにおいても、当初、石のブロックが用いられたが、石材不足もあってT型レールを木のまくらぎに直接固定するようになった。逆に、この方が軌道に適度の弾性を与えることができるので、その後の高速化にとって有利となった。

レールのゲージの起源をたどると、紀元前3000年のバビロンの石畳に掘られた平行な溝が3キュービットで、1キュービットが1フィート8インチであるから、これは5フィートに相当する。また、ローマのチャリオットの車輪の幅は内側が4フィート8インチとされている。さらに、北イングランドの炭坑の軌間は4フィート8.5インチであり、ストックトン・ダーリントン鉄道も4フィート8.5インチ(1435mm)で敷設された。このゲージの選択には明確な根拠があるわけではないようで、二頭だての鉄道馬車に適した幅として選ばれたとも言われている。

イギリスでは、1840~50年頃にStephensonの4フィート8.5インチとI.K.Brunnelが建設したグレートウエスタン鉄道の広軌7フィートとの間でゲージバトルが起こり、1864年のゲージ法により4フィート8.5インチ(1435mm)が標準軌となった経緯がある。

一方、狭軌(3フィート6インチ:1067mm)の起源は明確でないが、ノルウェーで比較的初期に採用している。R.Stephensonの下で一時期働いたことのあるノルウェー人のC.A.Pihlは、後にノルウェー鉄道の建設を指導した人だが、地形および建設コストの点からノルウェーでは狭軌による鉄道が有利であると主張し、1857年に建設を開始し1861~64年に狭軌の鉄道を開業した。その後、数百キロの鉄道は狭軌であったが、1870年代にノルウェーでもゲージ論争が起こり、Pihlの死後1898年以降は全て標準軌で建設された。Pihlの狭軌鉄道の主張はその後、南アフリカ、ニュージーランド、日本などのゲージに対して大きな影響を与えた。日本の場合は、明治維新後の国家財政事情により、建設費を抑えて総延長距離を延ばすのが得策とされ、1067mmの狭軌の鉄道が建設された。その後、明治、大正、昭和と幾度かゲージ論争が起きているが、日本国鉄では、1964年の東海道新幹線による標準軌の採用まで狭軌ゲージで鉄道が敷設された。

3. 鉄道における主な技術の起源

車両の技術では、1812年にイギリスのW.Chapmanがボギー台車の特許を取っているが、英国で当初は採用されず、1831年にアメリカでR.Winansが馬車鉄道の客車に初めて導入した。1832年にJ.Jervisが蒸気機関車にボギー先台車を用いたことは前述した。英国では1872年にC.E.Spoonerによってボギー客車が狭軌鉄道(軌間600mm)に初めて導入され、標準軌の客車には1875年に採用された。

車輪については、古くは鋳鉄あるいは木製の輪心に鋳鉄の輪をはめたものが用いられていたようである。1827年に英国キリングワース鉄道に鋳鉄の圧延タイヤが採用されており、1848年にR.C.Mansellは車輪の輪心をチーク材とし鋳鉄製のタイヤをはめ、保持用リングで固定する方法で特許を得ている。アメリカでは、鋳造工程で車輪の踏面を硬化したチル鑄物の一体車輪が1850年頃に導入され、1900年代にも貨車用に使われた。鋼製車軸など鉄道部品を手がけていたドイツのA.Kruppは、1850年代に鋼製圧延タイヤを製作した。アメリカの機関車製造で著名なM.W.Boldwinは、1862年にKrupp社からこの鋼製タイヤを購入している。車軸に関しては、ドイツのWöhlerが1850年代にすでに疲労破壊に関する広範な試験研究を行い、S-N線図を考案した。

連結器では、H.Boothが1836年にねじ式カップリングの特許を得ており、また、1868年にはアメリカのE.H.Janneyがそれまでのリンクとピンによる連結器に代えてナックル式の自動連結器を発明した。これは1874年にペンシルバニア鉄道に導入された後、1893年にはアメリカ合衆国の法律で採用が義務づけられた。

ブレーキについては、昔は手動レバーやハンドル機構を通してブレーキシューを車輪の踏面に押し付けるものであったが、G.Westinghouseが1869年に空気ブレーキ(直通ブレーキ)の特許を取り、さらに1872年に三動弁、補助空気溜および自動ブレーキを発明した。自動ブレーキは1893年に合衆国で装着が法制化された。一方、イギリスでは、G.Stephensonが1833年に蒸気ブレーキの特許を取っているが、J.NasmythとC.Mayは1848年に真空ブレーキの特許を取り、1874年にJ.R.Smithが実用化を進め、1875年の公式のブレーキ試験の後、1876年にグレートウエスタン鉄道に初めて採用された。その後、イギリスでは真空ブレーキが広く用いられるようになり、1923年には英国の鉄道の標準規格装置となった。

信号に関しては、R.Stephensonの下にいたS.C.H.Gregoryが1841年にロンドン・クロイドン鉄道に腕木式信号機を初めて導入した。1856年には、英国のJ.Saxbyがポイントと信号を連動させる装置の特許を取り、1860年代に実用化している。最初の手動式軌道閉塞方式は1864年にペンシルバニア鉄道に導入され、W.Robinsonは1871年に初めて自動信号用軌道回路の開発に成功した。

鉄道車両への電気動力の適用については、1879年のベルリン博覧会でE.W.Siemensが電気動力車を500mの線路で公開試運転したのが最初で、その後、1881年にベルリン郊外で市電による公共輸送を世界で初めて開始した(図9)。英国出身のL.Daftは1883年にアメリカで電気機関車“アンペア号”を製作し、サントガマウントマグレゴア鉄道に導入した。この集電方式は第3軌条によるもので、これが標準軌における最初の幹線用電気機関車と言われる。1895年には、蒸気機関車の煤煙と熱の問題を避けるため、バルティモア・オハイオ鉄道のトンネル区間(3.4km)が電化され、電気機関車が蒸気機関車列車を牽引する方式が採用された。後に米国電気学会会長を務めたF.J.Spragueは、架線の下部にロッドで支持したローラを押し付けて集電する方法や主電動機を車軸に一部支持するつりかけ方式を考案し、1888年にリッチモンドの市電に適用した。さらに、Spragueは電気動力を分散した電車列車方式を初めて開発し、1898年にシカゴの高架鉄道に導入した。その後の十数年で電車列車方式は世界的に普及した。

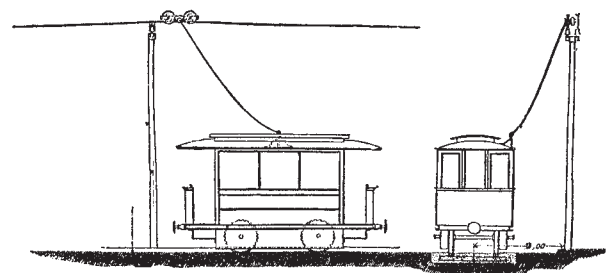


図9 Siemensによる最初の市電のイメージ(1881年)¹⁾
Image of Siemens's electric street railway in Berlin (1881)¹⁾

なお、1860年に開業したロンドン地下鉄は最初蒸気機関車によるものであったが、1905年に電化され、パリの地下鉄は1898年、ニューヨーク地下鉄は1900年に、いずれも電気動力方式で開業した。ロンドンの小断面地下鉄(チューブ)には、1890年開業当初から第3軌条による集電方式の電気機関車列車が導入され、電気動力の地下鉄としては世界最初のものであった。ちなみに、日本で初めて

開業した地下鉄は、1927年に浅草・上野間2.2kmである。

1892年にドイツのR.Dieselはディーゼル機関の特許を取っているが、米国でディーゼル・電気機関車の導入は、入換え用として1924年頃に始まり、1935年には高速旅客列車を牽引するようになり、貨物列車への適用は1938年に始まっている。ディーゼル・電気機関車の開発には、エレクトロ・モータィブ社を創設したH.L.Hamiltonが大きく貢献した。電化率の低いアメリカでは、1940年代後半には、ディーゼル・電気機関車の大量採用により蒸気機関車は100年の歴史を終え、実用的にはほとんど姿を消すようになった。ただし、イギリスでは1930年代にもモータリゼーションに対抗して蒸気機関車による列車の高速化にこだわり、H.N.Gresleyは1938年に203km/hという蒸気機関車列車の世界最高速度記録を達成している。

4. 鉄道と対比した他の地上交通機関の源流

鉄道は、イギリスとアメリカで最初に発展したが、内燃機関による自動車は初めにドイツやフランスなどヨーロッパ大陸で目覚しく発達した。

道路上の交通機関として、初めは蒸気車がイギリスで登場した。化学者として著名でM.Faradyにも影響を与えたG.Gurneyは1820年代後半に、コークスを燃料とした鑄鉄車輪の蒸気車を考案し、1832年にはロンドンにおいて10km程度の区間で3000人の乗客を無事故で輸送した。なお、Stephensonのロケット号の成功には、Gurneyが考案した煙管への蒸気ジェット法が寄与しているとされる。1830年代に蒸気車の製作はレインヒルトライアルに参加したT.Burstallの他W.Hancockなども行い、定期輸送を実施した。その後、馬車業者の圧力で蒸気車には重税を課したり、重量や速度に厳しい制限を加えることが議会で承認され(1861年口コモータィブ法)、遂には1865年の“赤旗法”で自走車には赤旗を持った先導者をつけることを義務づけた。この法律は1896年まで継続し、イギリスにおける自動車の開発を阻害した。しかし、1900年代初期にはイギリスでも、F.H.RoyceとS.Rollsがパートナーを組んで高品質の自動車の製造に成功している。

1900年代に地上輸送の花形となった自動車に対しては、初期の段階で自転車の技術が多く転用されている。自転車の起源は、1817年にドイツのB.C.F.Draisが発明した前輪操舵の木製自転車“ドライジーネ”(図10)にある。その車輪は木製

であったが、1839年にアメリカのC.Goodyearがゴムの熱加硫法を発明し、1842年にはドライジーネにソリッドゴムタイヤが装着された。1860年代には、フランスのP.Michauxがフレームを錬鉄とした前輪ペダル駆動の“ミショー自転車”(図11)を開発し、1870年にはイギリスで前輪が極端に大きい前輪ペダル駆動の“オーディナリー自転車”が考案された。1872年にスポーク車輪、1876年に差動ギアが導入され、1879年には、イギリスのH.J.Lawsonが前後輪の中間部にペダルを有し、スプロケットとチェーンで後輪を駆動する“セーフティ自転車”を“Bicyclette”として実用化した。なお、1883年には、車輪にボールベアリングが採用され、1889年にJ.B.Dunlopがゴム製空気タイヤ(空気入りタイヤの特許は1845年にイギリスのR.W.Thomsonが取得)を発明し、1892年に自転車に適用された。

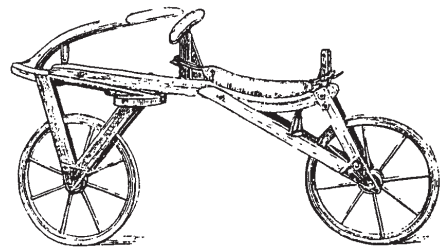


図10 最初の木製自転車“ドライジーネ”(1817年)¹⁾
The first wooden bicycle "Draisienne" by F.Drais (1817)¹⁾

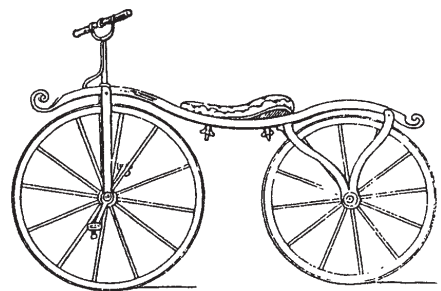


図11 前輪ペダル駆動のミショー型自転車(1860年)¹⁾
Michaux's bicycle with driving pedals on a forward wheel (1861)¹⁾

内燃機関については、1860年にフランスのJ.E.Lenoirが2サイクルエンジンの特許を得ており、また、フランスの鉄道技術者であったJ.E.Rochasは4サイクルエンジンの理論をもとに1862年に特許を得た。Lenoirの2サイクルエンジンに興味を抱いたドイツのN.A.Ottoは1861年に最初の4サイクルエンジンを製作し、さらにE.Langensの協力を得て1876年に“オットーサイレント”を開発し量産した。ただし、ドイツの裁判所はオットーのエンジンはRochasの特許を侵害しているとの判定を下している。Ottoの会社の

工場長で、その後Ottoと袂を分ったG.Daimlerは、W.Maybachと共同で単気筒エンジンを開発し、1885年に自転車に装着して初めてモータサイクルを製作した。さらに、1886年には前輪軸をピボットで支持し操舵する4輪の自動車を開発した。

一方、鉄道の機関士の息子で定置式ガスエンジンを製作し販売していたK.F.Benzは、1885年に水冷4サイクルエンジンを搭載した差動ギア付きで3輪の自動車“モートル・ヴァーゲン”(図12)を開発し特許を得た。このエンジンには、ラジエータ、キャブレタ、電気点火装置を備え、ソリッドゴムタイヤでベルト駆動するものであった。1893年には、キングピン式前輪操舵システムで特許を取得し、“ビクトリア”に採用し、1894年の量産車“ベンツ・ヴェロ”につながった。

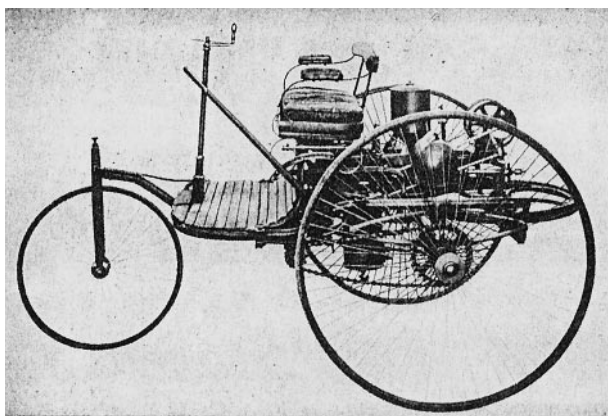


図12 Benzによる最初の3輪自動車“モートル・ヴァーゲン”(1885年)¹⁾

The first automobile with three wheels "Motorwagen" by K. Benz (1885)¹⁾

ダイムラーエンジンのライセンスはフランスのパナール・ルヴァソール社やブジョー家に譲渡され、1890年以降、フランスでも自動車の開発・製造が盛んに行われた。1901年にダイムラー社は、富豪な実業家で同社の取締役であったE.Jellinek(娘の名前がMercedes)の強い要請で、W.Maybachの設計による最初の“メルセデス35(図13)-市販型はジンプレクス”を世に出してレーシングで優勝し高い評価を得た。

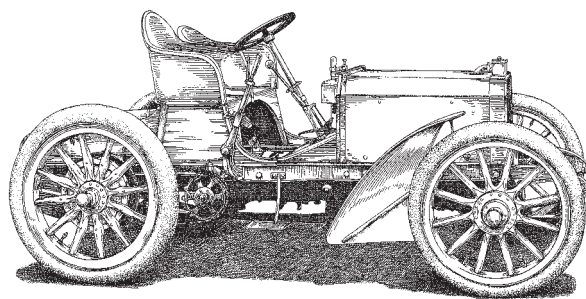


図13 Daimler社の“メルセデス35(1901年)”⁹⁾
"Mercedes 35" designed by Maybach of Daimler Company (1901)¹⁰⁾

なお、自動車に空気入りゴムタイヤを装着したのは、1895年にMichelin兄弟であり、また、R.Boschは1897年に低圧点火装置を実用化し、Benzは1899年にギヤボックスを導入した。

鉄道では、蒸気機関車の後に電気動力により近代化がなされたが、自動車においても、1900年にオーストリアのF.Porscheは、ガソリンエンジンで発電しハブモータで駆動する電気自動車を開発した。しかし、電気動力の導入は、その後1990年代になるまで注目されることはなかった。なお、Porscheはその後ダイムラー社に移ってレーシングカーで名声を博し、1934年には大衆車の“フォルクスワーゲン”を設計し、ダイムラー・ベンツ社(1926年に合併)で1935年に量産を開始した。

アメリカでは、1877年に出されたセルデンの特許に縛られて自動車の開発が遅れ、1893年にシカゴでのコロンビア博覧会に出展されたベンツ車は、アメリカの技術者に大きな刺激を与えた。その時点で、アメリカの技術はヨーロッパに比して10年遅れていたとされる。その後、H.Fordは1896年に最初の自動車を製作した後、1908年にT型フォードを市場に出し、大量生産方式で自動車の大衆化を促し、モータリゼーションの時代の基礎を築くに至った。

5. おわりに

鉄道を中心とした陸上輸送機関の源流をたどってみたが、鉄道および自動車とも技術の芽が出た後、10~20年で急速に進歩していることが注目される。そして誕生から100年位でシステムチェンジが要求され、鉄道ではそれが蒸気機関車から電気動力(ヨーロッパや日本)あるいはディーゼル・電気機関車(アメリカ)への変換であったし、さらに数十年後の新幹線やTGVに代表される高速鉄道への変貌であった。

自動車の歴史も100年を超えた現在、今後のシ

システムチェンジが求められよう。それがITS(高度道路交通システム)か、エネルギー源の変換となるかの予測は容易ではないが、今後の動向が非常に興味のあるところである。

本文中に引用した図面は全て出版元から転載許可を得て掲載しており、ここに、出版各社および交通博物館に謝意を表する。

参考文献

- 1) R. S. Kirby, S. Withington, A. B. Darling and F. G. Kilgour : Engineering in History, Dover Publications (1990).
- 2) L. Day and I. McNeil : Biographical Dictionary of the History of Technology, Routledge (1996).
- 3) The Railway Gazette, Special British Railway Centenary Number, June 22, 1925.
- 4) J. N. Westwood : A History of Russian Railways, George Allen and Unwin Ltd. (1960)
- 5) J. R. Day : More Unusual Railways, Frederick Muller Ltd. (1950).
- 6) 斉藤 晃 : 蒸気機関車の興亡, NTT出版 (1996)
- 7) C. C. ドーマン, 前田清志訳 : スティブソンと蒸気機関車, 玉川大学出版部 (1992)
- 8) 加山 昭 : アメリカ鉄道創生期, 山海堂 (1998)
- 9) 折口 透 : 自動車の世紀, 岩波新書 (1997)
- 10) インゴ・ザイフ, 中村昭彦訳 : メルセデス・ベンツの思想, 講談社 (1999)
- 11) 自転車実用便覧(第5版): 自転車産業振興協会 (1993)

筆者



大山忠夫*
T. OHYAMA

* 営業本部 工学博士