

鉄道あれこれ5

日本の製鉄業はレールと車輪の研究開発で発展した。鉄道はまさに製鉄業発展の恩人
～ 鉄道の道は、武士道の道と同じく、人間のあるべき姿、道徳原理を意味しており、日本人の性格を形作ってきた～

香川大学医師会 原 量 宏

日本人にとっての武士道、剣道の道と同じく、鉄道の道は鉄そのものの本質の意味や、鉄道を運用する組織としてのあるべき姿、道徳原理を意味している様に感じられ、鉄道はまさに日本人の性格にぴったりというか、逆に日本人の性格を形作ってきたとも言えそうです。

鉄道を運営するには、機関車の設計、橋梁の建設、トンネルの掘削、駅舎の設計・建築、列車ダイヤの作成、発電所、変電所の建築、送電線、レールと車輪、信号システム、会社組織の運営等々、すべてを完璧にやり遂げる必要があります、まさに製鉄業発展の恩人であり、日本社会の仕組みそのものと言えます。今回は、鉄道の道としての観点から考えてみたいと思います。

18. 鉄は宇宙で一番安定した物質

皆さん高校で習ったと思いますが、宇宙のすべての物質は素粒子から水素が生まれて、水素が核融合してヘリウムになり、その後次々と核融合して、酸素や炭素を経過して鉄までは核融合で生成されます。それ以上の重い物質（元素）は、太陽の内部で起きている様な通常の核融合ではどうしても生成されません。要するに宇宙の中で一番安定している物質が鉄なので、そのこともあり、地球に一番多い元素は鉄です。銅や銀や金、そしてウランなどは、太陽より圧倒的に大きい超新星爆発の時の高い温度と圧力でできた貴重な金属です。そのためウランなどの重金属は、原子の構造の中にすごいエネルギーが詰まっていて、壊れる時（核分裂）に莫大なエネルギーを放出します。逆に水素から鉄までは原子が融合する時にエネルギーを出します。というわけで宇宙の中でも鉄は特別な物質と言えます。銅や錫（すず）の精錬（酸素を還元）にはそれほどエネルギーはいらないため、文明の早い時期から青銅（銅と錫の合金）として利用されましたが、鉄の精錬にはかなりのエネルギーが必要で、アナトリア半島のヒッタイト

により初めて可能になったことは有名です。鉄は大変硬いため農機具はもちろん強力な武器になりました。鉄は電気を通し、磁石にもなるため、発電機やモータ、さらに電圧を変換するトランスにも利用され、まさに奇跡的な物質です。鉄は炭素の量で硬さや弾力を調整しやすいため、レールや車輪に利用されるだけでなく、連結器、車体、鉄橋、駅舎など、電化区間の架線（銅線）や変電所への送電線、トランス内の電線を除くと、鉄道に関するものの大部分が鉄からできています。鉄は錆びやすいため、なかなか光っているところを見られませんが、レールの表面だけは光ってみえるなど、鉄道ファンには鉄の素晴らしさを感じる事が沢山あります。

19. 線路「レール」について

随筆3-4では、もっぱら車輪のことを書いてきましたが、今回は車輪が走るレールそのもの、そして車輪とレールの微妙な関係に関して考えてみたいと思います。

「線路は続くよどこまでも」と歌まであるほどですから、皆さん子供の頃、線路をじっとみて、このレールは田舎までずっと続いているんだなー、汽車に乗って田舎まで行きたいなー、早く夏休みにならないかなーと、途中の山や川を思い浮かべたことがあると思います。「線路は続くよ・・・」の歌を調べてみると、元々は米国の鉄道労働者の歌で「I've Been Working on the Railroad」と呼ばれていた様で、本来はアメリカ大陸の大平原をイメージすべきかもしれませんが、日本では、列車から見える景色が、野越え山越え、町と畑、田んぼと次々に変化し、春は沿線の桜、秋は山の紅葉が目に入り、本当にきれいで、あきることがありません。

また青函トンネル、関門トンネル、瀬戸大橋で、北海道、本州と九州、そして四国のレールがすべて繋がっていることはすごいことです。ただ

宇野線が岡山駅から出るところが未だに単線であることがすごく残念ですが。

1) 鉄の種類、レールと車輪に使われる鋼鉄

鉄は炭素の含有量により、純鉄（炭素含有量0.02%以下）、鋼（炭素0.02%～2.1%）、鋳鉄（2.1%以上）に分類され、その中で高炭素鋼（炭素0.6%以上）は、高い引張強度、硬度、耐摩耗性を持っており、さらに熱処理（焼入れ）により、硬さと耐衝撃性を柔軟に調節できるため、レールと車輪に最適な性質を持っています。

レールに使われる鉄は高炭素鋼が使われており、車輪もほぼ同じ組成の高炭素鋼が使われています。

2) レールの重さ

レールの種類は、長さ1mあたりの重さで分類され、37kg、40kg、50kg、60kg（最近では80kgも有）の規格があり、重量が重い（頑丈な）レールは、列車が高速で走行する路線、重量の重い貨物列車が走行する路線、頻回に列車が走行する路線に使われます。

60kgのレールは、東海道・山陽新幹線や東海道本線などの主要幹線はもちろん、山手線や大手私鉄に導入され、山陰本線などの地方の亜幹線には40kgレールが使われています。

3) レールの長さ

一本のレールの長さは25mが基本で、なぜ25mになったかの理由は、ほぼ20mの貨車で運びやすかったための様です。レールは夏の暑い日には膨張して長くなるため、継ぎ目を密着して敷設すると圧力でレールが曲がる可能性があるため、継ぎ目に少し隙間があげてあることはご存じと思います。実際には気温が20度ぐらいの時に10mm程度あけておくと、真夏に伸びても大丈夫の様です。逆に冬には隙間が少し広がりますが広くても2mm程度です。レールの長さ（25m）が車体の長さ（20m）より少しだけ長いおかげで、音鉄の好きなりズミカルな音が聞こえるわけで、もし車体より短かったらどうなるでしょうか。

4) ロングレール

継ぎ目で音がするという事は、レールと車輪

にとって継ぎ目ごとに強い衝撃が起きるわけで望ましくありません。昔はレールをまくら木に犬釘で支えていたため、レールが膨張した時の力を抑える力が不十分だったために、継ぎ目に隙間をあげていました。最近は鉄筋コンクリート性の「PCまくら木」を利用することにより、継ぎ目のないロングレール（200m以上）が使われています。これによりレールの伸びを力ずくで抑え込んでいる形です。

ロングレールを作るために、これまでは25mのレールを列車で敷設現場に運び、必要な長さに溶接していました。レールは製鉄所で圧延して作るので、置き場所さえあれば、本来はいくらでも長いレールができるはずですが、（電線の様に巻き取れないので）これまではわざわざ25mに切断して、その後また現場で溶接していました。しかしレールの溶接に手間がかかりますし、溶接した部分がどうしても弱くなるので、最近は初めから長いレール（150m単位）を直接現場に運ぶ方向になっています。鉄道・運輸機構（旧鉄建公団、JRTT）は、北海道新幹線用に150mのレールを、北九州市（日本製鉄八幡製鐵所）から工事現場の長万部駅まで、関門トンネル、青函トンネルを越えて、ほぼ2,100kmを運搬しています。ちなみに、現在日本で一番長いロングレールは、東北新幹線のいわて沼宮内～八戸間の全長60.4kmで、青函トンネル内はやや短く53kmとなっています。

20. レールと車輪の微妙な関係

レールと車輪の絶妙な関係理解することにより、静止摩擦と転がり摩擦の関係をようやく理解できた。

1) レールと車輪はどちらが硬いのか

ところで、レールと車輪はどちらが硬いのかに關して、いろいろな意見があるようです。レールより車輪の方が修理・交換しやすいのでレールの方が硬いはずとよく言われますが、はたしてどうでしょうか。例えば、直径860mmの車輪は1回転で約2.7m進むので、1kmを走るだけでレールの370倍も負担がかかることになり、さらにブレーキ時の熱負荷にも耐える必要があるので、車輪の外周に焼入れをしてやや硬めにして耐久性を高めています。ただし必要に応じてレールの継ぎ

目付近や、レールの表面に焼入れをする場合もあるようで、特に強度が必要なポイントの交差部（クロッシング、隙間がある）では衝撃摩耗に強いマンガン鋼が使われています。

2) レールと車輪の間の摩擦、すべり摩擦と転がり摩擦

機関車は自分よりはるかに重い列車を高速で牽引しますが、すべりやすいレールと車輪の間の摩擦（ころがり摩擦）はどうなっているか大変興味深いです。鉄と鉄の関係だとなかなかイメージしにくいのですが、自動車のタイヤと道路の関係を考えると理解しやすいです。タイヤは自動車の重みで少しへこんで（平らになって）道路に接地し、その面積は葉書1枚程度です。タイヤでは接地する部分（トレッド）のパターンをいろいろ工夫して雨の時にも摩擦が低下しない様になっています。接地面積が大きい方が牽引力が得られるわけで、接地面積を一番増やす方法が戦車やブルドーザーについているキャタピラです。

レールと車輪の場合は、非常に硬いので両方がほんの少し変形するだけで、接地面は非常に小さく楕円形で1円玉程度といわれます。ただし接地部分にかかる力（軸重）は自動車よりはるかに重いので、この小さな面積でも牽引力が得られます。鉄の表面は完全にはなめらかではないので、微小な粗面同士がかみ合って摩擦力が出てきます。

タイヤが前に進む際に、接地面の前側のゴムが新たにへこみ、後ろ側のゴムはもとの円形に戻りますが、この時にゴムの内部で消費されるエネルギー（ヒステリシス）が熱となり、その熱がころがり摩擦になると考えると理解しやすいです。

レールと車輪では硬さがほぼ同じなので、両方もほんの少しだけ変形（車輪の元の円弧より少しゆるい円弧）しますが、その際に鉄の変形に消費されるエネルギーが非常に少ないため、鉄道の運送効率がよいと考えられます。

3) 軸重

鉄道車両の左右一对の車輪にかかる重さの合計を軸重（個々の車輪ではなく）といいます。軸重が重いほど牽引力が得られますが、重すぎるとレールが破損されます。そこで日本の鉄道では、

東海道新幹線や東海道本線など主要な幹線で、60kgレールが使われており、軸重の上限を16トンと定めています。6軸の電気機関車EF65の重量は96トンなので軸重はちょうど16トン、パワーのあるEF66の軸重は16.6トンで0.6超過していましたが、特別に東海道本線上を走行できるようになっていました。山陰本線などの亜幹線の軸重は昔は14トン（最近では16トンに改良）と低い時期があり、そのためディーゼル機関車DF50は軸重14～14.3トンと軽く、設計には大変苦勞をしていました。

地形が急峻で強い軌道を作れない日本とは異なり、地盤が強固な欧州の軸重制限は21.5トンとされ、ドイツ国鉄の103型電気機関車の軸重は19トン、米国の幹線の軸重制限はさらに重く実に30トンということで、日本の軸重制限がいかに厳しいかがわかります。ちなみに満鉄の超特急あじあを牽引する蒸気機関車（パシナ）の軸重は24トンで、当時の技術者の意気込みが感じられます。

4) 低い軸重制限のおかげで日本は電車王国になった。

この様に、日本の鉄道では厳しい軸重制限のため、高速の旅客列車や重い貨物列車を牽引するための強力な機関車を導入できませんでした。そこで注目されたのが軸重の軽い電車の導入です。国鉄では1950年に東海道本線に、80系湘南電車（緑とオレンジが特徴）を導入し、電車でも長距離運転に十分耐えることを実証し、1958年に日本初の電車特急「こだま」が東京－大阪間を6時間30分（特急つばめでは8時間だった）で結びました。さらにその6年後には東海道新幹線が東京－大阪間を3時間10分で結ぶことになったわけで、軸重制限の問題があったからこそ、日本が電車王国になり、世界に誇る新幹線が実現したわけで、弱点を克服することがいかに大事かよくわかります。ちなみに最近の電車の軸重は山手線8－9トン、JR四国のディーゼルカー2700系は、やや重く11トン、初代新幹線0系は16－18トンでしたが、最近ではアルミ車両とVVVFインバータ制御を導入することにより11トンまで軽減されています。

（次回も思いつくまま鉄道のテーマに関して書きたいと思いますのでご期待ください。）