

9. もしも日本の鉄道が狭軌でなく始めから標準軌だったら、現在の新幹線はなく世界の鉄道は衰退していた。

当時日本では、政治的、経済的な問題もあり、狭軌から標準軌へ改軌が、遅々として進まず、大変残念に思っていた鉄道技術者達は、その夢を実現すべく南満州鉄道（満鉄、まんてつ）、朝鮮鉄道（鮮鉄、せんてつ）に渡り、世界最速の列車を走らせていました。

流線型の大型蒸気機関車（パシナ、動輪直径2.0m）に牽引された世界最速の超特急「あじあ」が、大連からハルビンまで一気に走行する姿は、世界の鉄道関係者をあっと驚かせました。「あじあ」には、当時最先端の空調装置が整備され、食堂車にはロシア人ウエートレスが勤務していて大変国際色豊かでした。

また当時は、急行「のぞみ」と「ひかり」が、釜山から朝鮮鉄道を経由して、朝鮮と満州の国境、新義州・安東をこえて、奉天で満鉄と接続して新京まで、さらに釜山、北京間を急行「大陸」と「興亜」が走っていました。東京から下関まで特急「富士」に乗り、関釜連絡船で日本海をこえて、釜山から京城（現ソウル）を経由して、北京はもちろんのこと、新京、ハルビン、さらにはシベリア鉄道で欧州まで行けたことは、今から思うと夢のようです。

話はかわりますが、なぜか「せんてつ」と「まんてつ」という名称が大変興味深いです。今から考えても、世界最速の超特急「あじあ」が大変格好よくみえていたことと想像します。きっと当時の鉄道少年は、将来は国鉄か「せんてつ」あるいは「まんてつ」に入社することを夢見ていたことと思います。

終戦後、断腸の思いで超特急「あじあ」を大陸に残して、心ならずも日本に戻ってきた満鉄の技術者達（四国出身の国鉄総裁十河信二と島安次郎、その子息の島秀雄）により乾坤一擲、まさに

奇跡的に実現したのが東海道新幹線です。偶然か必然か、現在の新幹線に「のぞみ」と「ひかり」の名称が使われていることは、日本の鉄道技術者達の、標準軌への熱い夢と情熱を感じます。将来東アジアの政情が安定して、いつの日か「あじあ」の名前を使える時代がくることを期待しますが、やはり夢のまた夢でしょうか。

新幹線を新たに建設する際には、従来の東海道本線に狭軌の鉄道を平行して（複々線にして）整備すべきという意見も多かったのですが、当時日本の経済は高度成長期にあったこと、戦前から弾丸列車の計画があり、すでに日本坂トンネルなどで着工していたこと、また東京オリンピック（1964年）と大阪万博（1970年）が予定されており、世界にむけて国威発揚の意味もあったため、奇跡的に実現したと思われま

す。新幹線が実現する頃は、世界で航空機が急速に普及した時代で、鉄道王国のドイツ、フランスでも時速200kmを越す列車はなく、鉄道は完全に斜陽とされており、日本でも新幹線の計画を20世紀の万里の長城と揶揄する人達がいたほどです。幸い、極東の日本で時速200km以上の新幹線が実現したことにより、高速鉄道への評価が一気に高まり、その後、フランスでTGV、ドイツでICEがスタートし、衰退しつつあった鉄道が息を吹き返しました。ご存知の様に、最近欧州では飛行機に乗ることはFlight shame（飛び恥）とまで言われる時代になっています。

10. 交流電化の技術がなければ新幹線は実現しなかった。

新幹線の実現には、満鉄の技術者達の熱い夢と情熱なしでは不可能だったことを述べましたが、さらにその情熱に加えて、交流電化の技術が決定的な役目を果たしていることを忘れるわけにはいきません。新幹線は高速を出すために大電力を必要としますが、交流でないと大電力は送れないか

からです。日本の直流電化では1500ボルトが一般的ですが、在来線の交流電化では20000ボルト、新幹線では25000ボルトを使っています。同じ電力を送るために、25000ボルトに対して1500ボルトでは、16.7倍の電流、すなわち20倍近く太い電線を使い、かつ電圧降下が多いので変電所の数を多くする必要があります。

鉄道に使われる動力を歴史的にみると、まずは蒸気機関、その後電気で動くモーター、そしてその後出てきたのがディーゼルエンジンです。

自動車でもそうですが、鉄道も動き出すときに最も大きな力が必要で、蒸気機関車ではスタート時点で、ゆっくりですがすごい力（トルク）を出すことができます。ただピストンの構造上速度をあまり早くすることができません。自動車で使うギアを使えないので、動輪の直径で調整していて、旅客用にはC62（動輪直径1.75m）や満鉄のパシナ（動輪直径2.0m）の様に大きな動輪（3軸）を、貨物用のD51（動輪直径1.4m）には小さめの動輪（4軸）を使っています。D51は4軸なのでレールとの摩擦力が大きく速度はあまりでませんが貨物の牽引に適しています。蒸気というと大変古めかしい感じがしますが、実際には火力発電や地熱発電はもちろん、原子力発電でも水蒸気によるタービン（ピストンではなく）を用いて発電機を回転させていますので、最近の太陽光発電や風力発電を除くと、電気は基本的には水蒸気を使って発電されているわけで、本来は動力の最も基本的なしくみとも言えます。

少し詳しくなりますが、なぜ当初は直流で電化がすすめられ、その後交流電化が取り入れられるようになったかについてお話したいと思います。

モーターには、直流モーターと交流モーターがありますが、両者の構造は全く異なります。直流モーターは、内側で回転する素子（回転子）そのものにコイルが巻いてあり、ブラシと整流子を用いて、回転する素子に電流を流す必要があります。直流モーターは動き出す時にコイルに流す電流を増やすことにより大きな力を出せるため、鉄道に大変適した特性を持っています。また電圧を上げることにより回転速度が上がります。

交流モーターでは、理屈は難しいのですが、交流による磁界の変化を用いて回転子を回転させます。直流モーターの様に回転子に直接電流を流す

必要がないため、ブラシと整流子を必要とせず、保守が楽で耐久性に優れています。ただし回転速度は交流の周波数に依存するため、鉄道には使いにくい面がありました。

両者の特性を簡単にまとめると、直流モーターの場合、トルクは電流、速度は電圧で制御し、交流モーターの場合には、トルクは電流で、速度は周波数で制御することになります。（さらに難しくなりますが、交流には単相交流と三相交流があり、三相交流モーターが最も使いやすい。野原の中の送電線や町中の電線を見ると、電線が3本1組になっていますが、三相交流を送るためです。）

ただし、直流では電圧の制御が難しく、交流では電圧は変えやすいのですが、周波数を変えるのが難しいという二律背反の関係がありました。

要するにははじめは直流モーターしか使えなかったことで直流電化になったことをご理解いただけたと思います。モーターの回転速度の制御に関してですが、電圧に関しては、複数のモーター（実際は1両にモーター4個）を直列に接続したり並列に接続したり、さらには間に電気抵抗を入れる方法でどうにか無理やり解決していました。抵抗を使うということは、エネルギー的には大変な無駄であり、また電気回路を切り替える際に、トルクが急に変動して車輪の空転がおきやすい弱点がありました。

交流電化の初期には、電気機関車の中で、交流20000ボルトからトランスで適切な電圧に下げたから、初期は水銀整流器、後にパワー半導体で直流に変換して直流モーターを回転させていました。交流の場合トランスを用いることにより、電圧を細かく調整できるため、トルクの変動が少なくスムーズな動きになり、交流電気機関車では直流電気機関車に比べてけん引力が増しました。

その後パワー半導体の技術が進むことにより、いわゆるVVVFインバーター制御により、交流をいったん直流に変換して、その直流をさらに変換して必要な電圧と周波数の交流が得られるようになり、一気に鉄道に交流モーター（しかも三相交流）が導入されるようになりました。交流電化が始まった当初は、電気機関車や電車の中で交流から直流に変換して、直流モーターを回していましたが、現在は交流電化の区間はもちろん、直流電化の区間でもVVVFインバーター制御を用いて三

相交流モーターを用いています。たとえば「特急しおかぜ・いしづち」などの電車は、直流電化の区間ですが、現在は完全に交流モーターに置き換わっています。電車が動き出す時にVVVFインバーター制御によるリズムカルな音がして「音鉄、おとてつ」には大変喜ばれています。

新幹線でも初期の車両（0系）は交流から直流に変換したあと、直流モーターで走行していましたが、300系以降は、もっぱら交流モーターが使われています。

以上の歴史的経緯から、大電力が必要な新幹線は交流電化でなくしては実現できなかったことをご理解していただいたと思います。

## 11. 交流の周波数とパワー半導体に関して

日本では富士川を境にして、東日本が50ヘルツ、西日本が60ヘルツの交流であることはご存知と思います。これも昔電気のことを理解していないお役人が、東京にはドイツから50ヘルツ、大阪には米国から60ヘルツの発電機を輸入したためと言われています。国内に2つの周波数があることは大変不便ですが、逆に異なる周波数を自由に使いこなす技術が進み、米国と欧州はもちろん世界中へ、家電製品だけでなく発電機など工業製品の輸出力がつきました。日本は狭軌だったからこそ新幹線が実現したことと大変似ています。昔から50ヘルツと60ヘルツはどちらがいいかに関して議論がありますが、60ヘルツの方がトランスも軽くてよく効率がよいと言われています。航空機では軽いトランスでよい400ヘルツが使われています。

逆に低い周波数の交流を使っている例としてドイツ（オーストリア、スイス、スウェーデン、ノルウェーも）の鉄道があります。ドイツではかなり早い時期から交流電化に取り組んでいました。直流モーターでも低い周波数の交流であればどうにかそのまま使えたので、苦肉の策で交流15000ボルト、16.7ヘルツ（50ヘルツの1/3）対応の電気機関車を開発しました。ドイツ鉄道の103型電気機関車は格好が良く鉄道ファンには超有名です。ドイツは交流電化に早く取り組みすぎた？ので、現在でも全国が16.7ヘルツになっています。

フランスはドイツとは異なり後に25000ボルト、50ヘルツで電化して、日本はフランスから交流電

化の技術を導入した経緯があります。

東海道新幹線では60ヘルツ対応の車両を使っているため富士川の鉄橋をこえて東京駅までわざわざ50ヘルツから60ヘルツに変換して配電しています。東北新幹線は50ヘルツ対応の車両でしたが、北陸新幹線の車両では、両周波数の境界地域（途中で50-60-50-60と3回かわる）を走るため、両方の周波数に対応できます。

ところで、なぜ社会で交流が使われているかという、発電機を回転させて得る電力が本来交流であることに加え、トランスを用いて電圧を容易に変換できるためです。昔からラジオやテレビの中では直流を使うため、交流から直流へ変換（整流）する技術は進んでいきましたが、逆に直流から交流は大変難しかったです。その後日本では上記の理由（異なる周波数を自由に使いこなす）でパワー半導体の技術が急速に進んで、大電力でも交流から直流、そして直流から交流に（周波数も）自由に変換できるようになりました。そうすると、鉄道で使うモーターも保守に手のかかる直流モーターでなく、効率が良く保守も楽な三相交流モーターになるのも時代の趨勢でした。現在では家電でもインバーター制御の名前をよく聞きます。

鉄道にとってモーターが適している性質に、この他に2つあります。その1つが、電流の流れを変更することにより回転方向を容易に逆転できることです。蒸気機関車は走る向きが決まっているため、機関車の向きを変えるための転車台が必要です。ディーゼルエンジンは回転方向を変えられないため、逆転させるために強力な変速機が必要です。それに対して電車はまったく必要なく簡単に逆方向に走れることが大きな特徴です。

もう1つさらに良い点があります。その理由として、モーターは発電機にもなるので、列車が減速する時には、モーターで発電してその電力を架線を通して変電所にもどしたり、近くを走行する列車で使うことにより、エネルギーを大変効率よく使うことができることです。この技術を自動車に用いたのが、もちろんPHVとかEVです。現在すでに鉄道でも、大型バッテリーをのせた電車（EV-E301系電車）が制作されて、JR烏山線で利用されています。

（次回も思いつまま鉄道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。）