

日本とフランスの新幹線比較

—日本の鉄道技術者の奮起を願って—

井口雅一*

部分開業ながら、フランスの高速鉄道 TGV の開通によって、日本の新幹線も強力な競争相手を得ることができて幸いであった。新幹線はこれまで競争相手に恵まれぬまま、システムの仕上げを怠っていた。新幹線の競争相手はいまや TGV ばかりでなく、自動車、航空機とも競争してゆかなければならない。性能向上と経済性向上とを両立させるという新幹線の仕上げが日本の鉄道技術者の責務である。

Comparison between Japanese Shinkansen and French TGV

—In Hope for Brace-up of Japanese Railway Engineers—

Masakazu IGUCHI*

By opening of the French rapid railway TGV though it is a partial operation, it is lucky that the Japanese Shinkansen could get a strong competitor. The Shinkansen has not had any strong competitors, and neglected finishing of the system. The Shinkansen's competitor is not only TGV now but it must compete also with automobiles and airplanes. Finishing of the Shinkansen to make performance advancement and better economy consistent with each other is the responsibility of the Japanese railway engineers.

1. 競争こそが進歩の源泉

「競争のないところに進歩はない」。スポーツでも強力なチャレンジャーがいれば、チャンピオンも強くなるといわれる。技術の分野も同様である。競争相手があり、相互に切磋琢磨し合うことによって技術は進歩してゆく。

1981年9月、フランスは部分開業の形ではあるが、パリーリヨン間に新幹線 TGV (Train Grande Vitesse) を、営業運転最高速度260km/h で開業したのに伴って、最高速度210km/h で営業する日本の新幹線は、速度の点でフランスの TGV に王座を明け渡してしまった (Fig.1)。

1964年に東海道新幹線が営業運転最高速度210km/h で開業して以来、その記録的な速度と営業的成功とが、それまで自動車と航空機に押されて衰退を続けてきた世界の鉄道関係者に、将来への希望を与えると同時に、新幹線に世界的名声をもたらした。そして、「シンカンセン」という日本語は世界語となった。

新幹線が17年間も営業運転の速度記録を持ち続け

ることができたのは、見方によれば幸福であったかも知れない。しかし、17年間もの長い間、孤独なチャンピオンのままで、ライバルに恵まれなかったことは、日本の鉄道ばかりでなく、世界の鉄道にとっても不幸であった。

ところで、TGV の出現によって新幹線もようやく強力な競争相手を得ることになった。とくに TGV は後に述べるように、日本の新幹線とは多くの点で違った発想のもとに設計されている。発想が違えば共通の条件下での比較は困難になるが、しかし、今後の設計の自由度を増やすことになり、将来の鉄道技術の進歩を促すことになる。



Fig. 1 フランス国鉄自慢のTGV
French national railway pride,
Train Grande Vitesse

* 東京大学教授 (本学会員)
Professor, University of Tokyo
原稿受理 昭和58年7月5日

2. “つき”に見放された新幹線

旅客輸送の主流が鉄道から自動車へと転換したのは、イギリス、アメリカでは1920年代、ドイツ、フランスでは1940年代である。産業革命が欧米より1世紀～1世紀半遅れた日本では、鉄道から自動車への転換が1970年頃に起こった。1966年は日本でマイカー元年とよばれる年であり、それ以後モータリゼーションが急速に進展した。東海道新幹線の開業はその直前の1964年であった。

東海道新幹線の開業は日本国有鉄道の最盛期を飾るにふさわしい出来事であった。その成功の美酒に酔っている間に、鉄道のシェアは自動車に奪われ、国鉄の経営状態は下り坂をころげ落ちるように悪化の一途を辿って行った。まさに平家物語の一節「おごれる者久しからず、盛者必衰のことわりを表わす」を思い出させる。

新幹線に与えられた最初の試練は騒音・振動公害問題であった。新幹線の開発過程で、騒音・振動問題は評価項目として明示されていなかった。「新幹線列車の速度は速いので、あっという間に通り過ぎてしまい、騒音・振動などを感ずる間がありません」という話を聞いた記憶がある。

同じような説明を、1970年にフランスのアエロトランの開発関係者から聞いたことがある。当時オレアンに建設された全長18kmの試験線路で空気浮上・プロペラ推進の実車実験を250km/hで実施していた。端末駅で停車時に聞くプロペラによる推進音は大変大きな音であったので、その社会的受容可能性を質問したところ、上記と同じ答が返ってきた。そして、実験線と在来鉄道とが数百メートルの間隔で並行に走っている場所に案内され、両者の騒音の聞きくらべをさせてくれた。

たった1両で、250km/hの速度で走るアエロトランは確かに一瞬の間に通り過ぎ、在来鉄道を走る貨物列車は数分にわたりレールの継ぎ目衝撃音を轟かせていた。しかし、その後アエロトランは燃料経済性の悪さと騒音の大きさ故に開発は中止され、発案者 Jean Bertin はその後亡くなってしまった。

開発の過程で落ちていた項目が、実用化してから重大な評価項目となって加わって来た場合、新しい評価項目に合うようにシステムを手直しすることは一般に困難が伴う。日本国鉄では新幹線騒音規制値を満たすべく、幸いにも東北新幹線の開業が遅れたために実験線として使うことができた通称小山実験

線で、防音、防振技術の開発が行われた。新しい遮音、吸音技術が開発されて、その結果、東北、上越新幹線では80ホーンを切ることに成功したといわれている (Fig.2)。

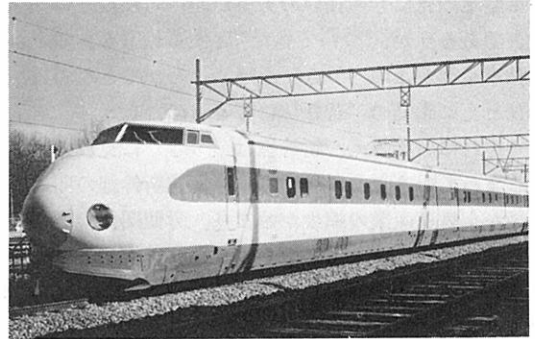


Fig. 2 完全にスカートをはいた新幹線試験列車
The test Shinkansen with skirt

騒音対策に一応の成功を治めたことを、残念ながら手放して喜ぶわけにはいかない。それは3年後にはさらに厳しい規制値が待ち構えていることのほかに、次のような理由がある。

(1)騒音対策に資金も人材も割かれてしまい、速度向上への努力が弱まってしまった。と言うよりもむしろ、新幹線の振動・騒音に対する社会的批判が鉄道関係者の速度向上の意欲を削いでしまった。

(2)レールと車輪間から発生する騒音の減少、つまり発生源対策が困難なため、軌道側に対策を講ずる遮音、吸音手段による解決であるために、実施に金がかかる。

(3)開発技術の波及効果が少ない。

さて、これと対照的な例が、鉄道の商売敵である自動車である。自動車も鉄道と同様、あるいはそれ以上の試練を経ている。欠陥車問題、排気ガス規制、石油危機、それに続く石油価格の高騰と、自動車産業の存立を危くする危機に遭遇している。自動車技術者は死にもの狂いでこれらの諸問題に立向かい、欠陥車問題では自動車の信頼性を高めて品質を向上させ、排気ガス研究では燃焼技術を向上させ、その成果を次に続く石油価格の高騰に際しては、エンジンのエネルギー効率向上に役立たせ、石油価格の高騰に対しては、コストの増大を生産合理化で吸収するため、生産性向上と欠陥率減とを実現した。

その結果は品質が良く、燃費が良く、しかも安い自動車が出来上り、第2次石油危機以降、アメリカ自動車産業の小型車自動車生産が遅れたという幸運も手伝って、日本の自動車はアメリカ市場に急速に

伸びていった。つまり自動車産業では次々と課せられる試練に真っ向から立向かって、これらをすべて克服したばかりか、その際の成果が波及効果をもち、その後の自動車産業の発展に生かされている。自動車産業の死にももの狂いの努力が報いられたというべきであろうが、“ついていた”とする見方もある。自動車産業がこの“つき”を呼ぶことができたのは、ひとえに産業の“若さ”によるものと思う。

それに引き替え、新幹線は“つき”に開放されてしまっているように思える。東海道新幹線の開通直後から鉄道産業の縮少が始まり、労使関係の悪化、経営赤字の累積と悪循環が続き、新幹線に磨きをかける間もなく、騒音・振動問題という解決の容易でない難問に出合ってしまった。しかも、その問題に一応の解決法を見出したものの、コスト増を招く解決法である。

もし、鉄レールと鉄車輪間の転動音を直接減少させる発音源対策の技術開発に成功すれば、コストも安く済み、技術波及効果も大きく、鉄道の有用性を社会に再認識させ、鉄道を再興することができるのであるがと惜まれる。鉄道に“つき”を呼び戻すには、まず“若返り”をはからなければならない。

3. フランスの高速鉄道 TGV の開発環境

TGV に関しては、1981年の部分開業以来、多くの人々によって紹介され、また、既に試乗された人々も多い。筆者も、1979年にアルザス平野で行われていた TGV02 の260km/h 試験運行に試乗した体験を踏まえて、新幹線と TGV との技術的比較を紹介したことがある¹⁾。したがって、細かな技術の比較論はそれらの文献にゆずりたい。

フランス国鉄が、東海道新幹線の成功に刺激されて、自国内に新線を建設し、鉄道の高速度化を図る計画を発表したのが1966年である。それから部分開業の1981年まで15年を要している。最初の TGV001 試験列車（ガスタービン駆動）の製作が1972年で、それから開業まで9年の歳月を要している。

一方、東海道新幹線の場合、どの時点プロジェクトの開始時点と見るかいろいろ見方があろうが、新幹線開発の開始時点としてよく紹介されるヤマハホールでの鉄道技術研究所主催の講演会「超特急、東京・大阪3時間の可能性」が開かれたのは1957年、試験列車が完成したのが1962年前後である。東海道新幹線開業の1964年までそれぞれ7年と2年しかたっていない。

TGV と新幹線のこの開発期間の長さの違いをどう見るか。新幹線開発開始当時の日本では、鉄道の旅客輸送分担率は人・キロベースで80%もあり、鉄道の独壇場であった。また、同時に高度成長期であり、良いものを作れば少々コストは高くても社会的受容性はあると考えられていた。世界一の超特急電車開発をめざす技術者の士気は高く、その熱気はすさまじかった。

TGV 開発開始当時のフランスでは既に鉄道は自動車と航空機とに押され、極端な表現をすれば落ちる所まで落ちてしまった状態であった。鉄道の旅客輸送分担率は人・キロベースで20%を割っていたのではなかろうか。つまり、開発当時の社会環境は日本とはかなり違っていた。自動車と航空機に対抗して少しでも利用客を奪うには、速度が速く、サービスが良く、しかも料金が安くなければならない。ここにシステム計画の基本的な概念の違いが生まれたように思われる。

TGV の開発期間が長かったことは、開発体制が小規模であったためなのか、あるいは慎重なためなのか、2つの見方をすることができ、この間に、在来線が同じ軌間であるという幸運を生かして、在来線を使つての試験を新幹線開発とは及びもつかないほど豊富に行っている。フランス国鉄の発表では試験走行の距離は試験列車が60万km、営業用列車が300万km以上と発表している。

さらに、TGV にとって幸いであったことは、開発期間の早い時期に石油危機と石油価格の高騰という社会経済の大変革に会い、最初の計画である列車のガスタービン駆動を電動機駆動に変更するとともに、徹底的に省エネルギー対策を行ったことである。TGV-PSE (Paris-Sud-Est パリ南東線) 開業後にこの石油ショックに見舞われたとしたら、TGV は大きな痛手を受けたであろう。その意味では TGV はついていた。

4. TGV の基本設計

東海道新幹線に追い付け追い越せと始められた TGV 開発では、これまでのわが国がそうであったように、先発開発例である新幹線を冷静に観察し、データを収集し、分析し、新幹線の弱点に対策を施している。そして、決して新幹線の真似をしなかった。この最後の点に鉄道先進国フランス鉄道技術者のプライドが感じられる。

TGV 設計目標の柱は速達性と経済性であると見

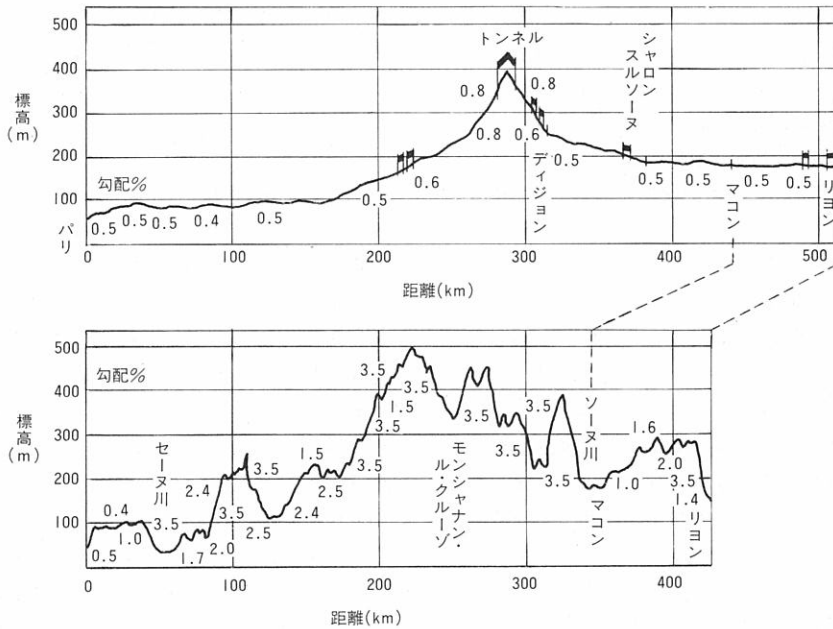


Fig.3 TGV-パリーリオン間の新線(下図)は在来線(上図)よりも93kmも短くなり、8箇所にあったトンネルも無くすことができた。

Comparison of distance and height above the sea level between TGV and ordinary line

られる。まずパリーリオン間の在来線による所要時間3時間45分を最高速度260km/h運転により2時間に短縮して、航空旅客を奪い返す。そして、自動車旅行の経済性に対抗するために運賃を安くする。そのために建設費を低く押える。それには、鉄道建設費の最も大きな部分を占める軌道建設費を低減させることが最も重要である。

そこで、路線の最大勾配を3.5% (東海道新幹線の最大勾配は2.0%)と大きくして、丘陵地帯の迂回路線をやめて、できるだけ最短距離で、パリーリオン間を結んでいる。これにより、パリーリオン間の路線長は在来線520kmに対して、TGV-PSEでは425kmと20%も短縮している (Fig.3)。もし、最大勾配が1.5%に制限されたとすると、軌道建設費は30%も増加すると関係者は説明している。

また、工事費の高いトンネルを作らず、橋梁と高架橋とを少なくし、スラブ軌道は使わず、碎石を用いた有道床を多用している。パリとリヨンの取付部という最もコスト高になる路線部分は新設せず、在来線を用いている。これらの建設費低減策によってTGV-PSEの建設費は1979年当時の説明では5億円/kmとのことであった。この値は東北新幹線の建設費といわれる48億円/kmの約1/10である。軌道単価

が安く、路線長が短くなれば、そのコスト低減効果は二重になって効いてくる。

以上のような条件、すなわち営業最高速度260km/h、最大勾配3.5%という条件を満たすには、新幹線の210km/h、2.0%に比較して、その分だけ高度の車両技術を要する。TGV列車はこれらの仕様条件を10両編成列車に動力集中・分散折衷方式と、単一パンタグラフによる集電方式とを採用することで実現している。新幹線は動力完全分散方式であり、2両ごとに1個のパンタグラフを用いて集電している。

動力集中・分散折衷と呼ぶのは、TGV10両編成列車は13個の台車を持っているが、そのうち半分6個を駆動台車とし、あとの半分7個を従動台車としているからである。一般常識としては、急な勾配には動力分散方式が必要であり、高速大電力集電の離線対策には複数個のパンタグラフが必要と考えられていたことからみれば、まさに逆転の発想である。

列車運用費に占める動力費の割合は、一般にかなり大きなものになる。列車の動力費を小さくするには、列車の走行抵抗を低減させる必要がある。200km/h以上の高速で走行する列車の走行抵抗力の中で、最も大きな抵抗力は空気抵抗力であるので、TGVでは空気抵抗力を小さくするために列車断面積を縮

少している。

車両の幅×高さでTGVと新幹線の断面積を比較すると、TGVは客車部分で $2814\text{mm} \times 3420\text{mm} = 9.6\text{m}^2$ 、新幹線は $3380\text{mm} \times 3975\text{mm} = 13.4\text{m}^2$ で、TGVは新幹線の71%である。TGVと新幹線との走行抵抗力を公表されている式を用いて比較してみると、速度 200km/h でTGVは約25%、 250km/h で約30%と、東海道新幹線車両よりも小さくなっているようである。この違いはそのまま電力消費量の差につながる。しかしその反面、TGVでは乗客1人当りの空間をビジネス特急列車であるからという理由で切り詰め、新幹線より狭くしている。

列車構成では、前3台車、後3台車は動力台車で、動力台車の上部車体には客室を設けず、動力機器および車両機器室とし、いわば機関車部としている。中間車両は客車で、従動台車に支持された連接車両形式を採用している。新幹線列車は、前後の運転台を除けば、車体床上のほとんどすべてが客室であって、いわば電車型であり、車両は1車両がそれぞれ2個の動力台車によって支持されるボギー車である(Fig.4)。

機関車方式がよいか、電車方式がよいか、連接車か、ボギー車か、動力集中か分散かの議論は古くからたたかわされ、TGV開業後もこの優劣比較の議論がわが国で盛んに行われた。日本国鉄では小田急電鉄(株)の連接車を借用して、国鉄線路で試験運転を行ったほどである。ここでこの問題の議論を再開するつもりはないが、筆者の意見は、どちらにも利点と欠点とがあり、優劣はコスト、性能、列車運用、メンテナンスをすべて含めてシステムとして見ると、利点をいかに生かし、欠点をどれだけ押し切れるかにかかわっていると考える。“どちらが良いか”ではなく、どう“良くするか”である。TGV

が機関車プラス連接車方式を採用したからと言って、日本がすぐその真似をするのでは日本の見識が疑われる。

5. 設計における余裕と無駄

前章で新幹線とTGVとの構造上の違いを簡単に述べたが、どちらが良いかはどちらにも長所と欠点とがあり、簡単には優劣を決められない。特にTGVではメンテナンスに新幹線以上の高度の技術レベルとシステムとを必要とするので、この面での実績の積み重ねをしばらくの間のみならば、正確な比較評価はできない。

そうは言っても、TGVは速達性と経済性という設計目標のもとに、美事に筋の通った計画と設計とがなされている。鉄車輪と鉄レールの間は空気入りゴムタイヤに比較してすべりやすい(粘着係数が小さい)ので、車体を支持するすべての車輪を駆動しなければ急勾配を登坂できない。そこで新幹線では、すべての車輪を駆動する動力分散方式としたうえ、さらに最大勾配を東海道線では2.0%に押えている。これに対してTGVでは、列車総重量の約 $\frac{1}{2}$ を支持する(13台車中の)6台車を駆動するだけで、3.5%の最大勾配を登坂させている。つまり二重の苦しさを甘受している。

粘着係数は車両走行速度が大きくなるほど小さくなる性質を持っている。TGVでは、 260km/h の高速走行時でも90%の確率で7%以上の粘着係数を期待する設計を行っている²⁾。これから逆算すれば、発進時の粘着係数は10%以上を期待していることになると思われる。一方の新幹線では、粘着係数は4%程度で設計されているといわれる。レール表面が水で濡れていたり、土や埃りで汚れていたりすれば粘着係数は低下する。極端な例として、レール表

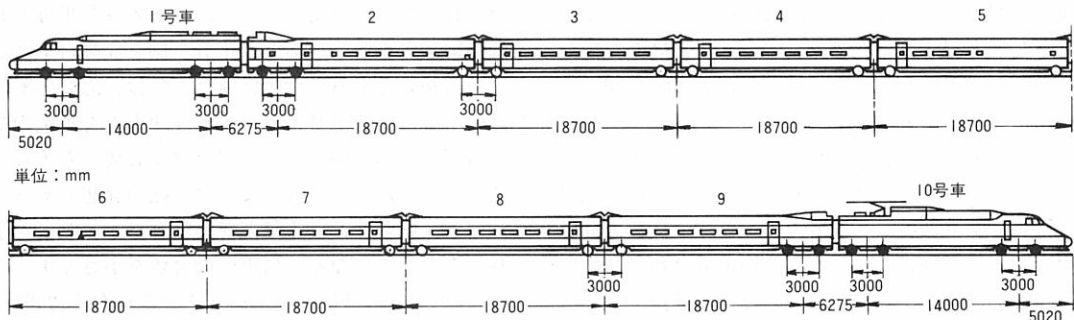


Fig. 4 TGV列車の略図 10両編成、375座席、全長約200m、黒丸が動力軸
A rough sketch of TGV

面に油が付着していれば、4%以下に粘着係数が低下することもあり得よう。新幹線では十分の余裕を見て、ひかえめに設定した値が粘着係数4%という値であろう。

十分の余裕が、それに対する代償を払うことなく採用できるのであれば申し分ない。ところが粘着係数を低く見積り、路線の最大勾配を小さく設定すれば、山岳地帯の多いわが国では工事費の嵩むトンネルや高架軌道部分が増え、システム建設費を高くする。TGVでは最大勾配3.5%を許容したためにパリーリオン間の路線を短縮したばかりか、在来線ではトンネルが8箇所あるのに、新線ではトンネルを1箇所も造らずにすませている。

現時点で考えると、新幹線では旅客需要が多くて採算がとりやすく、したがって、建設にそれだけコストを掛けることが許される東海道線では、関が原前後の路線をトンネルにしておけば良かった。トンネルであれば毎冬繰返される雪による列車遅延も避けられたであろう。旅客需要の少ない山陽線こそ最大勾配を大きくとり、トンネルを少なくし、建設コストを下げるべきであった。

粘着係数の設計値を大きくとり、余裕を少なくするには、それだけ高度な車両技術を必要とする。新幹線車両技術者は、これまで軌道に金を掛けることによって粘着係数に大きな余裕を見てもらい、楽をしすぎて来たとはいえないだろうか。

6. 仕上げをしていない新幹線

それ以前の長い期間にわたる基礎研究と構想の熟成期間はあったにせよ、日本国鉄が新幹線構想を外部に発表した1957年から7年間で東海道新幹線は開業した。営業最高速度210km/hは未知への挑戦であったばかりか、1日数十万人を輸送する交通システムには高い信頼性と安全性とが要求された。それを7年という短期間に完成し、しかも開業後18年間乗客死亡事故ゼロの偉業をなしとげ、立派にその安全性と採算性を証明した。

自動車のテストコースのような専用試験線路を持たない日本の鉄道では、営業を続けながら運行データを収集して分析し、弱点を補強し、贅肉を削り、最適システムへ仕上げていくというのが東海道新幹線開業後の仕事のはずであった。ところが前述したように、開発時には思いも寄らなかった騒音・振動公害の批判にさらされ、高速は悪であるような社会論調の中で、性能向上の意欲を失い、鉄道の地盤沈

下と経営状態の悪化に気をとられているうちに、時代が変わったことを忘れてしまった。

交通機関は速達性が生命であることはいつの世でも変わりはない。また、安全性、信頼性、快適性の向上についても同じである。ただ変わったのは、それらの性能の向上と経済性の向上とを両立させなければならなくなったことである。特に東海道以外の旅客需要の少ない路線では、経済性、すなわち建設コスト、運転コスト、維持保全コストの低減に対する重要性が大きい。

東海道新幹線を十数年間運用した豊富な経験とデータとから、最適システムへと仕上げられて出来上ったはずのシステムが、東北・上越新幹線であった。たしかに東北・上越新幹線の振動乗心地は素晴らしい。雪対策の見事さも世界に例を見ない。部外騒音と振動は減り、雪対策のために車両の床下を覆ったため、空気抵抗が減って電力費が減少したという効果まであった。しかし、それらの高性能、高品質はいずれも建設コストを上げることによって実現された。

金を掛ければ良い物が出来るのは、意地の悪い見方をすれば、いわば当然である。金を掛けずに高性能、高品質を実現することに、東海道新幹線の経験が生かさなければならなかった。いいかえれば、東海道新幹線の経験が贅肉削りに生かされなかった。日本の鉄道関係者の頭を、鉄道万能時代の金はどうにかなるといふ思考から、経済性とのバランスを実現する発想に転換しなければ、結局は自分で自分の首を絞める結果になるのではなからうか。

7. 競争と協調の時代へ

TGVが開業した当時の、極端なもととれるTGVと新幹線との優劣論も、今年に入ると収まり、ようやく冷静に両者を比較することができるようになったと思われる。鉄道の性格として、運用とメンテナンスの良否がシステム評価の大きな部分を占める。フランスの鉄道技術者がこれまで日本の新幹線を冷静に観察し、分析したのと同様、今後は立場を変えて、日本の鉄道技術者がTGVの運用とメンテナンスとを冷静に観察し評価する番である。

パリーリオン間の新線、TGV-PSEは、ほとんどが田園地帯であるために沿線の人家が少なく、騒音・振動公害問題が起らない。そのため、パンタグラフが1個ということは思いがけず騒音防止に役立っているといふものの、台車その他には騒音軽減対策を施してあるようには見えない。TGV列車の

部外騒音測定データが手に入らないのは残念である。その点、東北新幹線では、遮音、吸音という間接対策であるにせよ、80ホン以下に騒音を押える技術を完成している。

日本の厳しい社会環境が生んだ先進鉄道技術である。今後、騒音・振動公害防止に対する社会的要求は世界的に強まることはあっても、弱まることはないであろう。さらに、発生源対策にも力を入れ、世界市場における競争力の切り札とすべきである。

TGV が在来鉄道で記録した最高速度380km/h は、素直にその技術力を評価すべきであると考ええる。問題によっても異なるが、一般に速度上昇に伴って、技術的困難性は速度の1乗以上に比例して増してゆく。新幹線の最高速度319km/hの技術レベルよりも確実にTGVのそれは優っている。電動機、制御装置、駆動系、台車、集電装置等について見習う点が少ない。特に筆者の専門とする機械工学の面では、電動機を車体の床下に装架し（新幹線では電動機を台車の中に装架している）、そこから輪軸に動力を伝えるための“トライポッド (tripod)”と呼ぶすべり軸継手、それに新幹線よりも小型で高性能のベアリング等の基礎部分に優れた技術を見ることができ。

縮少しつつある日本の鉄道産業の中で、これらの基礎部品の開発が困難であれば、部品の輸入をしたらいかがであろうか。日本の市場開放にもなるし、

日本の鉄道技術者への刺激にもなる。

日本の鉄道技術者にとっての責務は、今後の社会の中で鉄道が再認識され、再発展するよう、システム性能の向上と、経済性向上とを両立させることである。そのためには日常の運行経験や、試験走行データから、システムの限界特性を明らかにし、それから何が必要な余裕で、何が無駄な余裕かを峻別し、贅肉を殺ぎ落してゆくこと、これが第1であると考ええる。そうは言っても、速度向上には高度技術を必要とし、コスト増加となる要因もまた多い。鉄車輪—鉄レールという走行・誘導機構に対しては、安全性と経済性からみて、妥当な最高速度はどの辺にあるのだろうか。TGVの380km/hであろうか、あるいはそれを越える400km/hであろうか。わが国では、すでに高速領域では車輪を使わなくてもすむ磁気浮上鉄道の技術も開発中である。速度向上のある時期になれば、新幹線も磁気浮上方式に切り換えるべきではないだろうか。

参考文献

- 1) 井口雅一：日経メカニカル、1979年8月20日号、pp. 88~93
- 2) Metzler, J. M. : Proceedings International Symposium on Traffic and Transportation Technologies, Vol. B1, pp. 1~17, June 18-20, 1970, Hamburg