

地理

Vol.43,1998,KOKON-SHOIN

10月号

特集

鉄道とトンネル

通巻
515号

Vol.43, No.10 1998

0

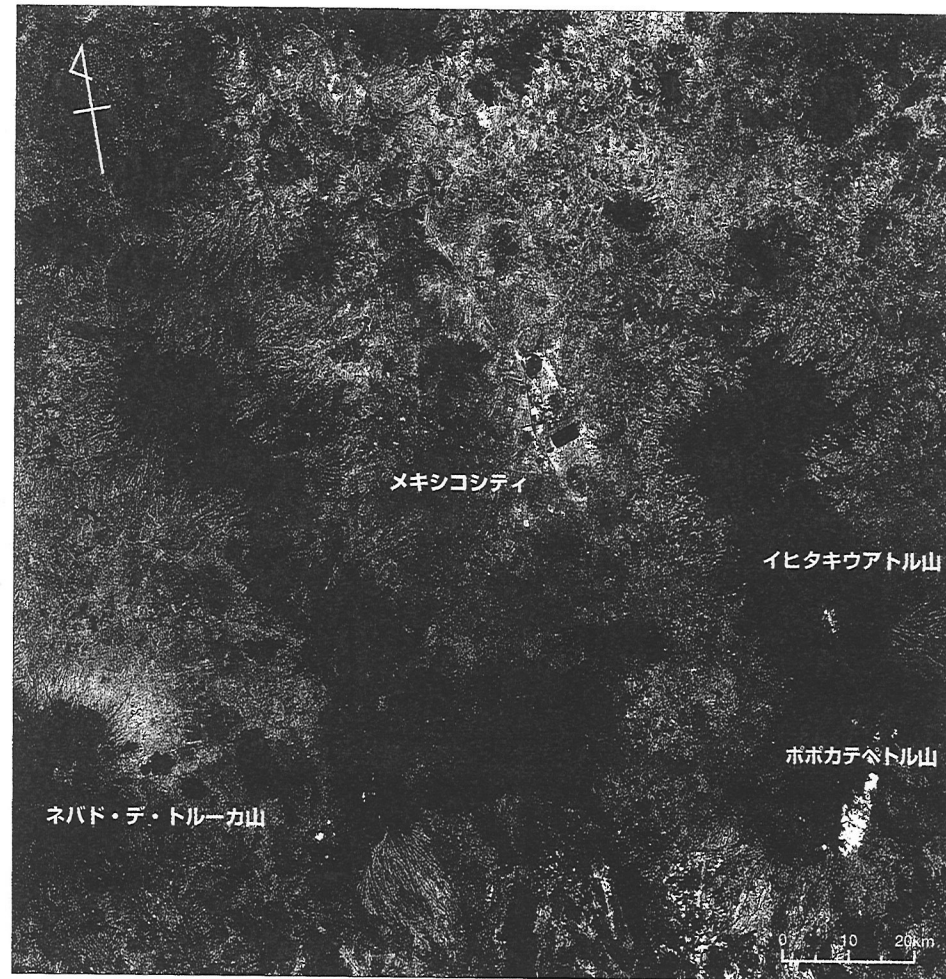
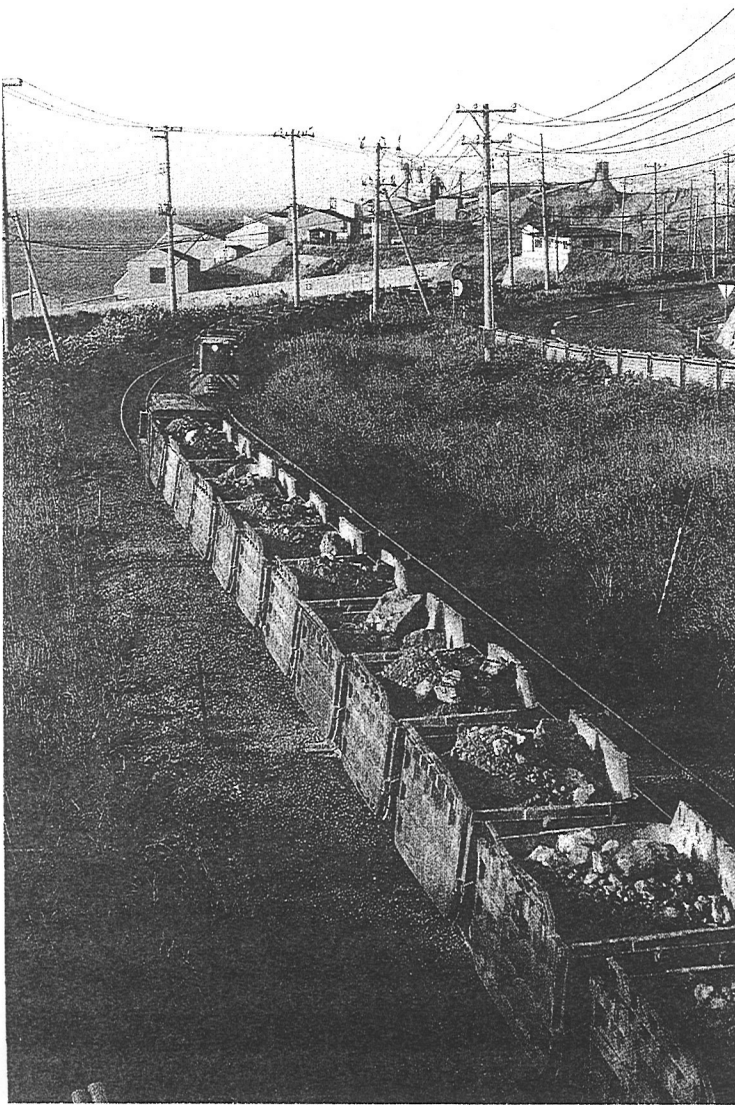
特集 鉄道とトンネル

地理 ①古今書院1998 振替00100-8-35340 電話03-3291-2757 FAX03-3233-0303 印刷所 理想社+カシヨ Printed in Japan
43-10 1998年10月1日発行（毎月1回1日発行）1956年10月16日第3種郵便物認可 編集・発行人 橋本恭實 発行所 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台2-10 古今書院
増大定価1100円 本体1048円 送料92円

増大定価1100円 本体1048円 送料92円

日鉄鉱業炭田所運搬線

坑外複線区間で行き交う「実車」と「空車」。穏やかな夏の午後の情景。背後に選鉱場施設群が望める。一九九二年七月、炭田所運搬線への陸橋上から。撮影：石川浩稔



地球の表面

RESTEC
中山 裕 則
田中 総太郎

北西から南東に二つの山脈が走り、その内部に灰色の円形パターンが見える。これがメキシコシティの市街地で、その直径は約45kmほどである。北緯20°より南に位置するが、標高が2200m以上もあり、温暖で乾燥した気候は過ごしやすい。中心部の連邦区には800万以上の人口が集中し、都市圏を含めると2000万を超えるといわれる。

周辺地域には火山地形を見ることができる。北側の平地に点在する数多くの小さな黒い斑点は、円錐形やドーム状の小規模な火山である。一方、山脈の中には大きな火山がある。南東部のボボカテペトル山(5452m)はメキシコ第二の高さを誇り、イヒタキウアトル山(5286m)や南西部のネバド・デ・トルーカ山(4577m)などがそびえる。これらの火山では、冠雪域、溶岩域、森林、ステップと変化する植物

相の垂直分布が見られる。

メキシコシティの歴史は、アステカ帝国の首都テノチティランとして建設された14世紀にさかのぼる。市街地北東部に見える人工的な小さな水面は、火山群に囲まれたメキシコ盆地の中に広がっていた大きなテスココ湖の名残である。街はスペイン人によって破壊され、その遺跡の上に新たに建設され発達してきた。

市街地から北西へは、排水のための直線的な運河が読み取れる。低湿な盆地地形は、近年、自動車や工場の排ガスによる強度の大気汚染や地震による都市災害をひきおこした。市中心部から約45km北東には大ピラミッド群からなる遺跡がある。ここでは紀元前4世紀から紀元7世紀にかけテオティワカン文明が栄えた。

LANDSAT/MSS「赤外カラー」1989.3.7

ISSN 0577-9308 雑誌コード 06155-10

T1106155101100

No. 241

(1/7)

かなり無理な線形を採用してトンネルを少しでも短くしようとする方式は過去のものとなった。

高速運転に適した線形重視の典型は新幹線鉄道のトンネルである。トンネルはもともと山を越えるのに、なるべく山に登らずに効率的に、すなわちスピードも、輸送力もあまり落とさずに、山の向こう側に行こうとする手段であった。新幹線のトンネルはその意味でトンネルのもつ意義を最も完全に具現したものといえようか。

また、戦前は鉄道トンネルが世界的にもトンネル建設をリードしていたが、戦後は道路網、とくに高速道路の整備とともに長大な道路トンネルが次々と造られるようになった。戦前は道路整備にあまり力を入れてこなかった日本はもちろんであるが、ヨーロッパ大陸でも道路トンネルの発達はずいぶん早い。例えば、アルプス山地では一九六五年開通のモン・ブラン (Mont Blanc) トンネル (長さ二一六〇〇メートル) を最初として、とくに一九八〇年以降には多くの長大道路トンネルが開通している。ちなみに現在世界最長の道路トンネルは、セント・ゴタルトトンネル (長さ一六九一八メートル、一九八〇年開通) であり、日本のそれは関越トンネル (長さ一一〇五メートル、一九九一年開通) である。ただ道路トンネルは自動車の排気ガス換気の問題があるため、鉄道トンネルのように数十キロに及ぶ長さのものを造ることは困

難で、モータリゼーションの進む現在でも世界第一と第二の長さをもつ青函トンネルとユーロトンネルは鉄道トンネルとして建設されたのであった。

[注]

- (1) Barker, T. C. & Savage, C. I. (1974) *An Economic History of Transport in Britain*. Hutchinson Univ. Library. (revised ed.), pp. 37-38, 43.
- (2) Schneider, A. (1963) *Gebirgsbahnen Europas*. Orell Füssli (Swiss), S. 306-313, 44-45.
- (3) Dittlinger, J. (1987) *150 Jahre Lokomotiv-Eisenbahnen in Österreich: Beiträge zur Österreichischen Eisenbahn-Geschichte*. Verlag Dr. Rudolf Erhard (Österreich), S. 55-64.
- (4) 前掲2, Schneider (1963) S. 105-113.
- (5) およびブラック・A (平山復二郎訳) (一九三九) 『トンネルの話』岩波書店、四六一四九頁
- (6) 前掲3, ブラック (一九三九、一〇〇一〇四頁)

あおきえいいち・駿河台大学文化情報学部教授、東京学芸大学名誉教授
一九三三年生まれ。東京教育大学大学院理学研究科博士課程(地理学専攻)修了。理学博士。著書(共編著)『日本の鉄道―成立と展開―(日本経済評論社)』ほか。交通地理学を専攻し、主に鉄道交通の調査研究に従事してきた。

特集●鉄道とトンネル

青函トンネルと英仏海峡トンネル

持田 豊

1 海峡連絡とビッグプロジェクト

古来、交通の障害としては地峡、海峡、険しい山脈、大きい河川などが存在した。このなかで河川は一方では舟運の一助ともなり、交通の補助的役割も大きかった。水底トンネルの歴史のなかで最も古いのがチグリス川底のトンネルで、東西バビロニアの交通の大動脈となっていたようである。これは四千年も昔のことである。

地峡も古くからの海洋交通の障害で、これも四千年前からナイル川経由の紅海への運河が何度も建設されたが、エジプトの需要を満たすだけで常に砂に埋没されていた。一九四七年バスコ・ダ・ガマによる喜望峯回りのアジア―ヨーロッパの航路の開発以降、東方航路は国際的に重要なルートとなって、ついにレセブス(フランス)に于一八六九年(日本では明治二年)スエズ運河が開通し、イギリス―インド間は一挙に八〇〇〇キロメートル

も短縮された。その後、中東戦争前後の通行禁止を除いては今なお海運の大動脈であり、いきさつは省略するがイギリスの帝国主義的拡大に大きい役割を果たした。コロンブスは死ぬまで自分の発見した大陸はインドだと信じ、パナマ地峡にも第五回遠征で達した。その地峡も一五〇〇年にはスペイン人によってその向こうに太平洋が存在することを知られ、その後道路や鉄道で地峡一八〇キロメートルを結んでいたが、スエズ完成前後からレセブスもからんで紆余曲折の後、一九一四年にはパナマ運河の完成をみた。これもアメリカの遅れて出発した帝国主義、米西戦争により得たフィリピンや東洋への最短かつ容易な交通路となった。

これら二つの運河は世界の交通の歴史では特記すべき革命的な出来事というべきであろう。

海峡トンネル工事はその後起こった新しい技術を用いながら実施されるようになった。これは時代とともに

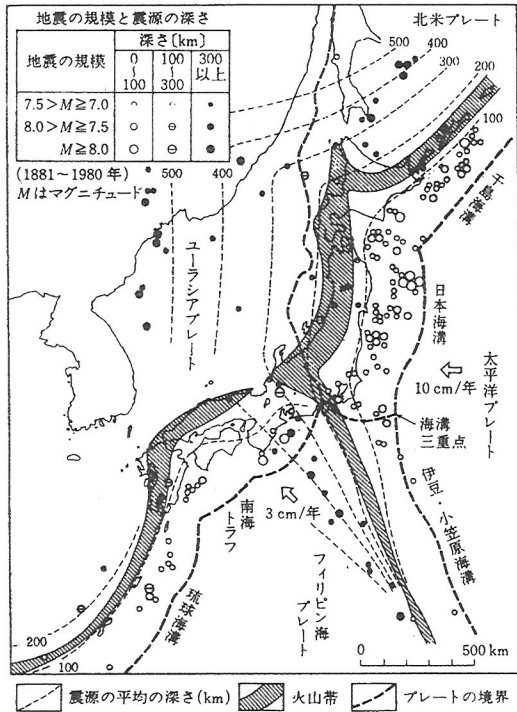


図4 日本列島周辺のプレート境界(『地学』東京書籍より)

STでは歴史は割合浅く、大正中期の函館大博覧会では津軽海峡連絡トンネルが提案され、その後昭和一四年頃に全国縦断広軌鉄道網計画のなかで東京から近い下北半島回りのルートが書かれている。この鉄道は戦後新幹線として一部ずつ実現されているが、まだ全国縦断するには至っていない。戦後日本は本州北海道をはじめとする四島のなかで生きてゆかねばならないので、これらを有機的に結合させるべく、STの調査が始められた。その結果、下北半島回りは水深も二七〇メートルと深く、那須火山帯の中心が通るとの理由

まったく同じに割れ目が少なく、工事もあるでうまく進んだ。これはユーロトンネル社が私企業なので技術的なプリンシプルとして、すでに実証された技術を使うこととしていたため、私も数十年間日欧を年に四回以上往復しつつ、上級技術顧問として関与した理由でもある。何しろCTはSTより自然条件は良いのだからSTをやったり抜いた人間を傍にしてアドバイスを受けていれば間違いないと考えたのであろう。トンネル掘削は非常にう

まく運んで、各所に青函トンネルの教訓が生かされた。気の使い方は多少オーバー気味と思われたが、安全に越したことはない。作業の局部ではやはり英仏の考え方がよく出ていたが、次の章でまとめて述べたい。

【社会的条件】

このような大プロジェクトではモチーフ(動機)が大切で、それが事業の永続性をきめてゆく。前述の両運河は大陸間航路の画期的時間短縮と当時の一種の帝国主義的進出を兼ねてできたもので、その後のいきさつは多くあるが、ここでは触れる余裕がない。

表1 両トンネルにおける自然条件の比較

a 地形			
	海底距離	水深(ルート)	海流
青函 英仏	23km	140m	強弱
	38km	60m*	
*途中ヴェルネ浅瀬=5mあり			
b 地質			
	地殻運動	年代	断層等 岩石
青函	プレート(膨張, 地圧)	新第三紀(含火山岩)	多い 硬~軟
英仏	ほとんどなし	白亜紀(チョークマール)	非常に少ない 中軟
c 線形			
	平面画面	勾配	土盛り
青函 英仏	6,500 m	12%	100m
	4,000 m	11%	40m
d トンネル断面			
	本トンネル	サービストンネル	パイロットトンネル
青函 英仏	複線1本 単線2本	1本 1本	1本 なし

意味で成功の可能性を高めるのに不可欠である。そこで地質調査の不十分さを補うにはトンネルの数メートル先までボーリングをして自然条件の調査を十分に調べるのが第一要件であり、次いでそれで判明した自然条件の悪い箇所を掘れる程度に固めて湧水を止める方法を開発した。水を止める方法はさまざまあるが、種々の選択の結果、水ガラスとセメントを濃度を変えながら海底深

断できる人たちの養成することであった。石の上にも三年というが、その倍の六年かけて一応の目途がついたと思ったので本工事に着手した。まったく予想通りの難業苦業の連続であったが、その間も貫通間際まで約二十年技術開発を続けた。

一方CTは非常に地質が良く、二十年くらい前にパリで見せてもらった英仏海峡のボーリングのサンプルとま

部で高い圧力で押し込んで注入するのが低コストであると考えた。

私は日本人の常として、遣唐使のように先進国にそのような技術はないものか? と約三カ月アメリカ、ヨーロッパからソ連(当時)をまわり、非常にたくさんの人びとに方針を説明し、必要技術をさがした。しかしそのような技術はどこにもないことが調査でわかった。ある所では「そのようなことは不可能」とか「幸運に恵まれないとできない」などといわれ、個々の説明は親切なのだが得る所の少ない遣唐(欧)使であった。今考えてみると、私がまわった先進諸国は自然条件のきわめて良い所なので、あまり考えようとはしなかったともいえるかもしれない。そのため結果的には自己開発による以外の方法は無いと考え、必要な技術開発を進めていった。しかしまた、それは海底トンネルを掘れる、また判

で、この段階で津軽半島回りのルートに絞られた。一九五四年（昭和二九）九月二六日、いわゆる洞爺丸台風によって、タイタニック事件に次ぐ一四三〇名の死者を出してしまった。交通機関の主要素である安全、正確、迅速、快適を確保するためにも、海底トンネルの建設にゴーサインが出て、調査が始まり、多くの問題を解決しながら一九六四年から現場での掘削が始まり、技術開発を行った。したがってSTの最大のモチーフは安全輸送であった。そして建設されたトンネル構造にも水圧が直接かかからないように細心の注意を払った。水圧に対する考え方が長期間使用する上つい忘れがちになりさまざまな事故が起こることになる。

CTのほうは歴史は古く、フランス側から見るとドーバーの白い崖は手に取るようで、素朴な考えでも何かの方法で連絡したくなる。STの不正の頃の「あれば便利」という段階は、一七世紀ルイ一三世の頃に連絡案を募集したのに始まり、一九世紀始めのナポレオンの案やその後フランス、英国の双方にも有志による海峡連絡会社などもでき、海底地質調査が始まり、白い崖であるチョーク層が両岸から海底まで連なっていることが確認された。一八八〇年には英仏両岸からトンネルが着手され両岸から一マイル程度掘られたが、翌年、主として英国の軍事的理由で中止させられた。その後戦争などで長

く日の目を見なかった。一九七六年頃から再着手されてきたものの、主として英国側の経済的理由で再度中止された。一八八〇年に掘ったトンネルは今回の工事でも横断したが、ほとんど素掘りに近い形で安全に残っている。このように何度かの中断はあったが、一九九四年一月STのパイロット坑貫通後の十一月に英サッチャー首相と仏ミッテラン大統領との間でトンネル協定が結ばれた。今まで主として英国側が最終的に中断した理由の大きいものは、大英帝国（連合王国）がヨーロッパと対等の存在だと考え、陸路で結ぶことによりヨーロッパの一半島となることに対する心理的な抵抗が基盤にあったと思われる。事実、協定を結んでもからも四千件以上の反対請願が国会に寄せられている。しかし、当時のサッチャー首相としては過去の栄光よりもECという対米第二極のほうにより強い将来性を感じ決心したものと考えられる。したがってCTのモチーフの最大は、EC次いでEUという欧州の一員としての発展可能性にある。

このような大プロジェクトでは資金が大きい要素を占めている。STは政府の財政投融資によったが、その主な原因は日本経済の高度成長によるもので、その後のオイルショックの後ではスタートはむずかしかったと思われ、最も適当で唯一の時期にスタートし、その後バブル崩壊後の経済悪化で所期の効果を速やかに出し難い。や

はり全国新幹線網の一環としてSTにカートレインを通す道鉄併用の重大幹線として機能する必要がある、海峡に関する限りはほとんど一〇〇%できているといっている。また青森―函館両市のゾーンとしての開発もこれによって観光協調や学術都市開発なども可能なので、なるべく早期にやってみてほしいと思っている。すると仙台―青函―札幌という北日本軸が分散型全国開発の姿を明らかにしてくると思われる。

一方CTのほうはユーロトンネル社が五〇%ずつ英仏トンネル会社の出資により設立され、一九八四年の協定の建設コンペに参加し、翌一九八五年にユーロトンネルの案が採用された。ほかに橋梁案、橋梁トンネル併用案、大トンネル案などがあったが、私が三十年前に世界一周した時に逢って討議したトンネル研究会案が採用されたのである。この案がコストが低く合理性が高いので、

この案を採用することは、今度は本気で建設しようと考えていると推測できたので、日本の銀行なども融資を呼びかけた。その翌年から建設が始まり、私も上級技術顧問として「実施された海底トンネル技術」のサンプルとなったのである。

ユーロトンネルは私企業なので大半の資金は融資により、全体の約二割くらいが資本金で構成されている。したがって技術顧問の大きい役割は融資先の安定にあった。しかし欧州のバブルはスタートの一助となったが、開始後二年くらいで崩壊し経済的な低迷期に入った。一方では私企業ユーロトンネルのさまざまな事情で構造的にもコストは高くなっていった。とくに労務費の増大つまり従事人数の増大が大きい要素を占めてきた。一方金利も最も高い時に借入したのでその圧迫もあり、財政上の会議もたびたびあり、その度ごとに日本から飛んでゆかざ

《地理学選書》

基礎からの
交通地理

木村辰男 著

交通研究の視点、知っておきたい基礎的事項と研究方法、今後の課題を基礎から説く。初学者向け。

A5判 2000円

— おもな目次 —

- I. 交通の空間的性質
- II. 交通研究の基礎的事項
- III. 交通路網の構造
- IV. 交通様式の空間的パターン
- V. 交通と集落社会
- VI. 地域間の輸送と流動

《交通関連 専門書》

交通変革と
地域システム

藤目節夫 著 7600円

交通流動の空間構造

村山祐司 著 5000円

(表示価格は税別)

古今書院

東京神田駿河台 2-10
03-3291-2757

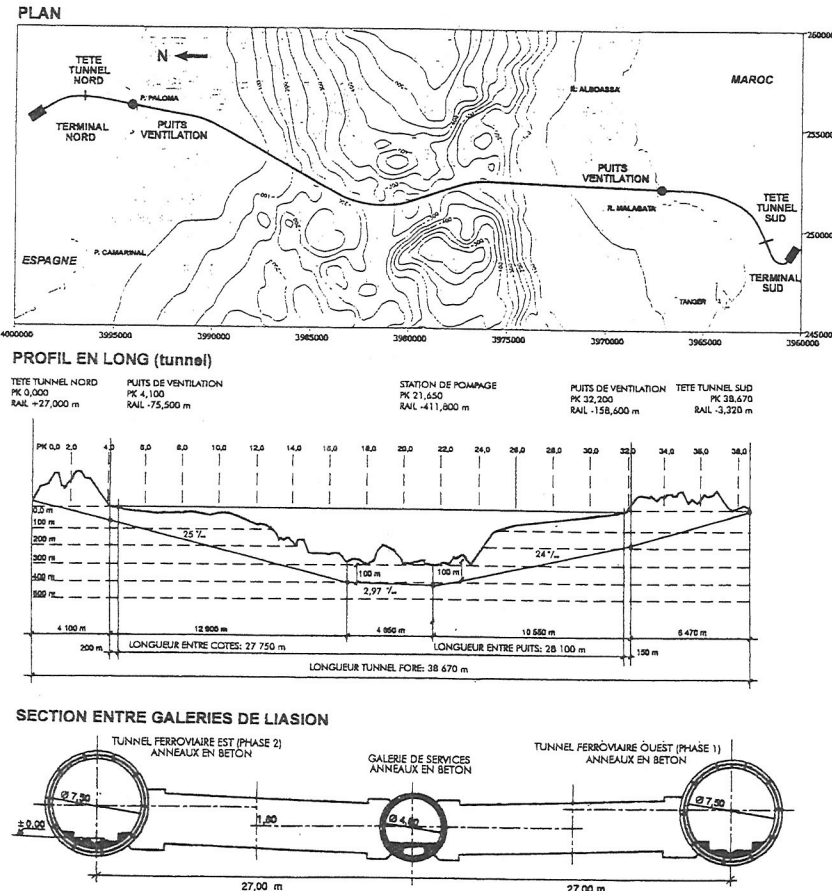


図6 ジブラルタル海峡トンネルのプラン

みると両国の文化カルチャーそのものを具現させるという側面をもつので仲を取り持つのはまったく楽ではなかったが、またよい勉強になった。STと違って、CTは二国間であることを厭というほど知らされた十年間であった。

CTはその後欧州、とくに英国の好景気にも支えられ順調な発展をとげ、ロンドン―パリ間の旅客の六〇％は航空から転移している。さらに英国国内の整備が終わるとロンドン―パリが二時間半となりかつ両国の高速鉄道網の充実とともにさらに伸びが増えると考えられ、資金償還はそれほどむずかしくはなくなってきた。

最終的に、日本と欧州（英仏）を比較すると日本は技術的には現役で、英仏は大きい

名称	縦断面図	備考
豊子海峡	西国 九州	調査中
紀伊海峡	和歌山 淡路島	調査中
青函トンネル	本州 (S) 北海道 (N)	営業中
ドーバートンネル (イギリス)	U.I. (Y) フランス (E)	営業中
ジブラルタル海峡トンネル	スペイン (N) モロッコ (S)	調査中 (1979～)
スンダ海峡 (インドネシア)	スマタラ (Y) ジャワ (E)	調査中 (1985～)
マラッカ海峡 (マレーシア - インドネシア)	マレーシア (E) カリマン プサル	調査中 (1987～1990) 建設中 (1990～)
グレートベルト (デンマーク)	(Y) (E)	
宗谷海峡	サハリン (N) 北海道 (S)	
間宮海峡	シベリア (Y) サハリン (E)	
ベーリング海峡	シベリア (Y) アラスカ (E) チュコト半島 シュアード半島	
日韓トンネル	韓国 (W) 日本 (E)	

図5 世界の海峡トンネルプロジェクト

るを得ないことになるので、交渉などで大きい負担にもなった。

コストの増大はトンネルそのものより本車両費の著増、さらに安全関連設備の増大によるもので、英仏両国の二カ国委員会を納得させねばならない。これは単なる安全設備だけではなく軌道構造信号通信などにも関連するものである。世界で初めて鉄道を通した英国と、戦後その電化や高速化に大きい実績をもつフランス。もともと自分のほうが種々の面で優越しているというプライドをもつ両国の間にとって、「後進国」ながら唯一海底トンネルの経験をもつ者としては苦心の要った所である。もともと基本的にはあまり仲が良いといえない両国であり、安全とはつきつめて

インフラ整備がほぼ一九世紀に終わっているので格段の差がついて日本優位である。野球で名球会の過去の大選手と今の最下位球団とが試合しても現役に歯が立たないのと同様である。

一方、教育程度も江戸時代の鎖国時代からの寺子屋をはじめとする初中等教育のレベルが上り、明治、敗戦後と質は違うが追いつけ追い越せで、大変高い教育水準を少なくとも実用的にもっている。これが大きい支えとなつて技能者のレベルが高い。日本が一〇とすると英国は五、六、フランスは六、七くらいがせいぜいの所で初中等教育水準は問題にならない。これが日本の技術技能を支えている。技術者（エンジニア）の水準はあまり変わらず、それぞれ特色をもっているが、実際の現場つまり仕事の質と速度を支えるのは作業員と技術者の間にいる技能者（テクニシャン）で、これの質が最終的にコストと品質を支える。今は日本は優等であるが、一時期の現地生産や現在のリストラなどで技能者の育成を怠り、教育程度も比較的優位が失われれば、国内産業の減少傾向とあいまって二一世紀の日本を今までのように支え持続させるには今一倍の努力が必要であると思われるし、アジア―世界への貢献もやり場を失うことになりかねないので、重心をよく考えて二一世紀に入らないと資源のない国の将来は？ と思わざるを得ない。

3 今後のプロジェクト

図5のように多くの新しい交通障害を越えるプロジェクトが計画されている。現在まで会議に行ったり、現地に行ったのをあげてもかなりある。このうちジブラルタル海峡（図6）は海底立坑を掘り終わり、中央の作業坑を進めている。海底部の二八キロ強を掘り地質の程度などを示して単線部の一方のみの融資を世界に求めようとしている。二本目の単線は輸送量が増加してから逐次かかる予定である。作業坑さえ掘ればケーブル、パイプなどが通せるのでかなり大きい効果がある。このトンネルは欧州とアフリカ二大陸間をつなぐものである。その他の海峡トンネルにもそれぞれのメリットがありこれが全部できあがると五大大陸を陸路で、かつ浮上式リニヤをパイプの中の低圧にすれば日本―ロンドンも三時間以内で行けることになるが、これは別の機会にゆずりたい。

【参考文献】

- ・持田 豊（一九九五）『青函トンネルから英仏海峡トンネルへ』中公新書
- ・Y. Mochida (1991) Seikan Tunnel. *Corridor of under sea Tunnel*
- ・Y. Mochida (1995) Comparison of the Seikan tunnel and the Channel tunnel with reference to link across Gibraltar. *MDColoqui Internacional Sobre el Ertice Fiji d Gibraltar*

もちだゆたか・サンコーコンサルタント最高技術顧問 一九二八年奈良県生まれ。京都大学理学部卒。工学博士。著書『青函トンネルから英仏海峡トンネルへ』中公新書

特集●鉄道とトンネル

山岳鉄道トンネルの進歩

鉄道トンネルは、列車が通るために必要な空間を地中に確保するために建設される土木構造物である。地中の閉塞された空間で行われるトンネル工事はさまざまな危険を伴い、かつては難工事の象徴としてのイメージが強かった。しかし、先人たちの苦勞によってあちこちに長大トンネルが完成し、その恩恵でより大量に、より早くより少ないエネルギーで人や物を運べるようになった。また、技術の進歩とともにトンネル工事もより安全に、より合理的に施工することが可能となった。こうした鉄道トンネルはどのような掘削ののだろうか？ 長大トンネルを可能にした技術には、いったいどんなものがあるのだろうか？

1 トンネルの分類と山岳トンネル

鉄道トンネルの分類には、施工法、立地条件、断面などさまざまな方法があるが、最も一般的な分類は施工法

によるものであろう。トンネルの施工法は、主として地盤条件によって支配され、硬い岩盤を掘削する場合、軟らかい岩盤を掘削する場合、未固結の土砂地山を掘削する場合など、それぞれの地盤条件に合ったトンネルの掘り方が工夫されている。

小野田滋

一方、トンネルの立地条件による分類では、山岳地帯で掘られる山岳トンネルと、都市部の地下鉄などで掘られる都市トンネルとに大別され、この両者は施工法ときわめて密接な関係にある。すなわち、主として岩盤から構成される山岳トンネルでは山岳工法が、主として砂や粘土などの未固結の土砂地山からなる都市トンネルでは開削工法もしくはシールド工法が用いられる。山岳工法は、最も一般的に用いられる施工法で、トンネルの両側または片側から横方向にトンネルを掘り進めて貫通させるものである。これに対して開削工法は、一度土砂を取り除いてトンネルを構築してから再び土を被せて完成さ