

持田 豊著

青函トンネルから 英仏海峡トンネルへ

地質・気質・文化の壁をこえて

中公新書

1198

青
函
ト
ン
ネ
ル
か
ら
英
仏
海
峡
ト
ン
ネ
ル
へ

持
田
豊
著

中
公
新
書



1198



9784121011985



1921251006995

ISBN4-12-101198-8

C1251 ¥699E

定価 本体699円+税

青函トンネルから英仏海峡トンネルへ

中公新書 1198



中公新書 1198

持田 豊著

青函トンネルから
英仏海峡トンネルへ

地質・気質・文化の壁をこえて

中央公論社刊

青函トンネルから英仏海峡トンネルへ

旧国鉄に入社以来、種々の困難に直面しながらも青函トンネルの完成にまでたずさわり、その実績を買われ、テクニカル・アドバイザーとして英仏海峡トンネルの建設にも貢献した著者の体験記である本書は、また自然と人間と技術とのかかわり合いにも貴重な示唆を与えてくれる。さらに、自然だけでなく、国民の気質や文化の違いが技術にもたらす課題にも言及し、最後に、大陸をむすぶ世界の海底トンネル網という壮大な夢を展開する。

目次

序章 自然と人間と技術

海底トンネル² 技術の進歩 7 自然と人間¹⁰

第一章 青函トンネル

青函トンネル建設の経緯¹⁶ 調査一〇年(ドレッジ/現場体験/音波探査/海底を見る/注入試験/試掘調査/津軽海峡の地質)²⁰ 計画と設計のあらまし⁴⁸ 当時の世界のトンネル技術⁶² 技術開発と技術力⁶⁸ 施工⁷⁷ 出水事故⁷⁹ 自然と人智⁹¹ トンネルの鉄道網における位置づけ⁹⁵ 工事費その他¹⁰⁴

第二章 英仏海峡トンネルの開通

トンネルの構想と実現化の歴史(かつての交通の要衝/海底トンネル案の実現可能性/再三の中止と英国人の潜在意識)¹⁰⁸ 協定と民営組織¹¹⁷ 自然条件¹²¹ 計画と設計(卜

第三章 技術と自然条件の違い 181

ンネルの計画・設計／輸送計画／自動車輸送／トンネル内
外設備¹²⁶ 施工計画（原則／契約方式／トンネル施工／
ロジスティック）¹³¹ 施工実績（全体を通じて／トンネル
の進行／ロジスティックと進行／裏込め注入／貫通／全体
のうごき）¹⁴³ 二カ国間なるがゆえに——輸送設備（全体
計画とターミナル／国際連絡／軌道／信号・制御・運転）¹⁵⁶
民間なるがゆえに——安全テスト¹⁶⁹ 建設費¹⁷² テクニ
カル・アドバイザーとして¹⁷⁸

第四章 気質・文化の違い 207

サッチャー前英首相との対話¹⁸² 日本の地質の特質——
プレートテクトニクス（地質の特性／トンネルの地質条
件）¹⁸⁴ 英仏海峡の地質の特性¹⁹³ 自然の変化を読む¹⁹⁷
継続した経験の重要性と二世代の空白²⁰⁰ テクニシャン
の教育²⁰²

日本とヨーロッパの違い²⁰⁸ 英国とフランスの間²¹⁵ 英
仏をめぐるその他のこと²¹⁹

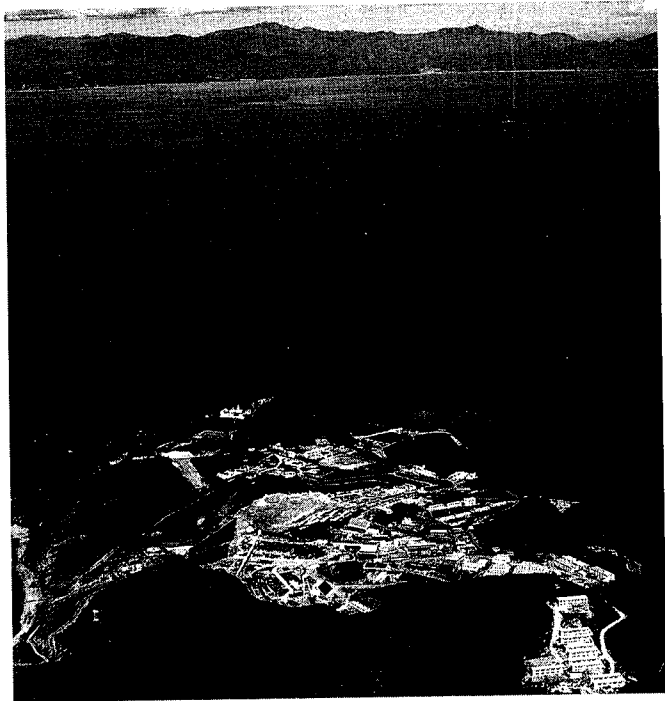
第五章 世界の海峡をつなぐ 223

大陸間海底トンネル群（ジブラルタル海峡／ボスボラス海
峡／ベーリング海峡／スエズ運河／チモール海）²²⁴ 地域
間の海峡トンネル²³¹ グローバル・トランスポートテーショ
ン・システム²³⁵

「あとがき」にかえて 247

主な参考文献²⁵⁴

序 章 自然と人間と技術



竜飛崎から北海道を望む

海底トンネル

うす碧く晴れた初夏の一日、険しい竜飛崎たつびさきに立って眼下の青黒く渦巻いた潮からその先を北にたどると、北海道の山々が青く見える。この本州北端の竜飛崎から、向いの北海道南端の白神岬しろがみまでは約二〇キロメートル余ある。行き交う船もなく、ただ広い海面が続いている。かつてこの海峡での連絡船事故で一四三〇人の命を奪った海とは見えないくらい穏やかで、潮は西から東へ、日本海から太平洋へと流れている。

この広い海峡の下、何があるかもわからない所を、列車を通すトンネルを掘るのかと思うと、まるで他人事のように思えるが、明日からは自分で調査をしなければならぬ。何がわかるか知らないが、なんとかやってみよう。しかし、この広さ深さは、こちら側から泳ぐ人をも拒否しつづけていた強い自然である。この強い自然は、その下を人間がトンネルを造って列車を通すことをどう思うであろうか。いったん荒れ狂うと多くの人命を飲みこむような猛々しさは今はまだ見られない。つまり機嫌が良いのである。この機嫌の良さを頼って、明日から小船で、海峡の下を探ってみよう。なにしろ前方は遠いとはいえない見えているのだから。そして連絡船も、さらに昔は松前藩の参勤交代の船もここを通ったのだから、なんとか

やるよりほか方法はないだろう。

淡く白雲を浮べて、空は爽やかに続いている。なんとも涼しいそよ風が足下の草々をそよがせている。そして向い側のはるか彼方には、北海道の山々が青く東西に続いて茫洋としている。今日は良い天気である。

これに近い思いは、海峡や大きい川のほとりに立つと、昔の人も同じように感じたのではないだろうか。海峡や大河は、ひとたび荒れると人や物の往き来に大きい壁となって立ちふさがると、兩岸の間をなんとか歩いて、あるいは車馬で渡りたいとの気持が往古からあったと思う。なにしろ対岸が見えるのだから。その幅が狭ければ橋ですむのであるが、広くなればなるほどトンネルで連絡しようと、その時々々の学術水準に応じて考えられ、実施もされてきた。またその実施の背後には数々の失敗や挫折があったにせよ、なんとか実現できているものもある。

これらの中で最も古い時代の建設の記録としては約三七〇〇年前の、バビロニアの首都バビロンの町を流れるユーフラテス川の河底トンネルがある。ギリシャの歴史家ヘロドトスの伝えるところでは、栄華を極めたバビロンの宮殿はユーフラテス川の左岸（東側）にあり、多くの建物が立ち、繁栄と混雑を示していた。そのうちに川の右岸に新しい町ができて、神殿もそこに建設された。新旧都市の連絡は、水源を遠くトルコの東に持つユーフラテス川の舟運に頼るほかはなく、

バビロンのみならず上流地方の天候に大きく支配されることになる。今と違って人間の持つ時間感覚はのんびりしたものだったと想像されるが、生鮮品の腐敗速度などは変わらないし、支配階級の時間観念もさほど今と変わったものではないであろう。そこでこのユーフラテス川の下にトンネルが、女帝セミラミス二世の頃に掘られることになった。

まず川を、その付近で別の人工の河道に導き、河床を干上がらせ、そのあとで、現在行なわれている浅い地下鉄工事と同じように、河床の表面から掘り下げて溝を造り、その中にトンネルを造ってから、その上を覆い、人工の一次的な河道からものユーフラテス川に水流をもどして、長さ約九五〇メートル、幅三・六メートル、高さ四・五メートルのユーフラテス川東西連絡トンネルを建設したのである。川の流れを一時変える工法は「付け替え工法」として現在もあるし、青函トンネルの入口近くも同じ工法を取っている。また上から掘り下げるのは「開削工法」といって、都市地下鉄や水路などでも用いられ、青函トンネルでも二カ所、英仏海峡トンネルでも一カ所は陸上部においてこの工法によっている。ユーフラテス川のトンネルそのものは、バビロンの都ともども残っていないが、チグリス、ユーフラテス兩大河からなるメソポタミア文明はかなり程度が高く、今の国名のイラクも、もともと低い所を意味するのであるから、このような川での土木工法は各所にあつたのではないかと思われる。トンネルの大きさは青函トンネルや英仏海峡トンネルのサービス・トンネル(後述)と同じくらいの大きさで、その断面の大きさからも、

女王たちの馬車や、多くの人々の便利な通路となつたのであろう。バビロンの痕跡はまだ少しは残っているが、この歴史的な水底トンネルは見るよすがもない。

このあたりは多くが降雨量が少ないので、イランではガーナート、トルキスタンではカレーズと呼ばれる小さいトンネルがあり、山麓のような水の豊富な所から、水を蒸発させないで耕地まで運ぶトンネルが未だに残されている所もある。なかには長さ二四キロメートルにも及ぶものもあるので、大雨時には一時的に水底トンネルとなるものもあるであろう。

その後、トンネル技術そのものはいろいろな理由で進んだ。アブシンベルやアジャンタなどの神殿の岩盤の中の宗教施設や、ローマなどで迫害されたキリスト教徒が集合所としたり、遺骨を収納するために地下に掘られたカタコンベなどは、今も残っている。また、このような宗教的なものではなく、たとえばイスタンブール(当時のトルコの首都)にある地下の大貯水池で、籠城の際の水の補給源とするような地下構造も、その時代時代のニーズに応じて、現在から見てもかなり高い水準で建造されていた。

水の底のトンネルは、溜る水の排水という厄介な問題があつたので、簡単な動力による排水ポンプができ上がるまでは、人間の通路として大規模なものは難しく、十八世紀以後にならないと出現してはこなかった。それで、鉄道の発明とともに川の底にトンネルが造られてきた。それらは今も残っている。たとえばセバイン川トンネルは、ロンドンの北西、イングランドとウェール

ズとの境にあるセバーン川の河底トンネルである。六三〇メートルの長いトンネルで一八八六年に完成し、今もイングランドからウェールズへの通路として幹線の一部となっている。

ロンドンの地下には、路面の馬車道や電車通のかわりに地下鉄ができた。これも開削工法ではじめられたが、ロンドンを南北にへだてるチームズ川の河底トンネルがどうしても必要であり、多くのトンネルが造られた。チームズ川は海から割合上流まで大きな船が上れるので、橋は開閉橋で有名なタワーブリッジのように船を通すことができるような工夫が必要であった。そこで下流では河底を通さなければならなかったのである。

ロンドンの街の下は深い所にロンドン・クレイ(割合硬い粘土)という地層があつて掘りやすいので、今も深い地下鉄があり、第二次大戦ではドイツの空襲に対し、多くの市民の退避所として使用することができた。地下鉄が深い所にあるのは、このようなシェルトーのためではなく、掘りやすい地層、ロンドン・クレイが深くにあったからである。

ところで、ロンドン・クレイのさらに上にある層はやわらかくて掘りやすいので、最初はこの層の中でチームズ川を横断する河底トンネルが造られた。そのためにフランス生れのブルネルという技術者が発明したシールド工法が利用された。この工法で一八二五年から四三年までかかつて最初のシールド・トンネルを掘った。これは上の土が崩れないように、トンネルの内側にシールドという大きい円型または楕円型の筒のようなものを造り、その中で作業を進める工法である。

現在では、このような筒は鉄で一体のものとして造られるが、この頃は筒の中を、それに沿って板を並べて進めてゆく工法を取っていた。人力を使ってやるのだが、排水ポンプで上に汲み出すのは、当時すでにあつた蒸気機関を使ってやった。なにしろこの時代、つまり十九世紀は蒸気動力が主な時代で、それに馬や人力が使われていた。

このブルネルの発明した方法の基本的な考え方は、今も各国で使われている。特にやわらかく、水を含んでいる地層に適しているので、河底でのみならず、開削工法のできない深い所の地下鉄では、このシールド工法を取っている。技術の進歩に従って掘る装置やシールドなどは変わっているが、すでに前世紀にこのようなものが発明されていたのである。英仏海峡トンネルもおおむね海底部の掘削にはこれが使用されている。

技術の進歩

シールドのように一〇〇年以上も前に発明された工法以外に、トンネルを掘る機械TBM(トンネル・ボーリング・マシン。Tunnel Boring Machine。以下TBMと略称)といった、トンネル前面(普通は切羽^{きりば}といっている)の地盤を金属の刃を埋めたものを回転させながらガリガリと掘り進める機械も発明された。動力としては、蒸気機関のような排煙の多いものはトンネルのような閉ざ

された空間での仕事に不向きなので、最初はトンネル外で蒸気機関によって圧縮空気を作り、それをホースでトンネルに入れてTBMを回す方法を取り、さらに電気機関の発明とともに、電気動力によってTBMを回転させ、掘削を進めていく方法に変わっていった。圧縮空気の方は、現在ではさく孔機で岩盤に火薬をつめる孔を掘り爆破させる工法として、設備が簡単なので、普通の硬い岩のトンネルや短いトンネルなどで通常よく使われている。

また、トンネルを掘った跡が崩壊しないようにするのも、掘る以上に大切なことである。前述のシールド工法も、その後方から、普通は少し曲面のあるコンクリートの板（セグメントという）をつなぎ合わせて円い覆い（覆工といっている）を完成しながら、前へ進んでいっている。地下鉄などに見られる、切れ目のついたコンクリートの壁がそれである。普通の爆破をする工法では、昔は切羽のすぐあとに地盤が崩れるのを、丸太と板で止めていた（これを支保工と呼んでいる）。鉄を使うようになったのはここ五〇年くらい前からで、はじめはレールを曲げてトンネルなりの型にし、それを一メートル前後の間隔で入れて、その間は板（矢板と呼ばれる）でかこっていた。のちにはレールのかわりにH型の鋼製のものを使っている。最近では、板のかわりに、コンクリートに早く固まる薬品を混ぜて、圧縮空気で吹きつけて、薄い一時的な覆工をすることも多い。また鉄の長いボルト（ロックボルトと呼んでいる）を地盤に何本も深く打ち込むことで、地盤の崩れを防ぐ方法も使われた。

このようにトンネルの工法は、種々の分野の製作技術が進み、その中からトンネルのニーズに合ったものが、地盤などの自然条件に応じて取り入れられてきたのである。

木製の支保工の時代には、地盤がゆるんで生じた大きい荷重が支保工に伝わると、木が割れたり、きしんだりする。そのときに音が出る。これがトンネルの崩壊する前兆なので、常に注意を払っている。そして応急手当が、必要に応じて施工される。つまり「自然からの警報」が、木の支保工から出るのである。

この木が重圧で折れかけたり、きしんだりするときに出る音はビュッビュッとという割合高い音なので、女性の声に似ている。トンネルの中では多くの作業が行なわれて、ただでさえも音が多い。その中から警報を聞くには細心の注意が必要である。聞きのがすと重大事故にもなりかねないし、女性の高い声がまぎらわしく聞き損ねると大変なので、トンネルの作業場には女性が入ると具合が悪い。それで切羽や支保工の立っている所には女性が入らないようにというしきりや、この頃に来た。自然の警報とまぎらわしいための予防法である。それがいつの間にかトンネルクリートが主で、ましてトンネル・ボーリング・マシンの現場などではもはや通用しないのだが、何かジnkスのために厭がる習わしがある。

技術の進歩でトンネルの工法は種々の変遷をみせてきたが、まだ人間の心の方が追いつかなく

て、このような習慣が残っている。もっとも日本の労働基準法にも女子と年少者はトンネルの作業に従事させてはいけないという条文もあり、守られているが。今のトンネル工法の多くの部分は、労働保護の面は残すとしても、重労働以外に女性がするような技術作業は沢山あるといつてもよい。

自然と人間

ここまでは非常に大雑把にトンネルの話をしたのだが、それらの中で海底トンネルというのはどのような特色があるのか、を簡単に述べてみたい。

まず、海の下だから、供給量無限の水が上にある。つまり水は洩れたら限りがないということである。そして海面からの深さにつれて、水圧が地盤に作用していることである。この質と量が、人間にとってはかなり厄介な問題である。そしてそれらは共同して、掘っている側に襲ってくるという相互性がある。つまり地盤の圧力だけではなく、水圧も加わると、支保工はギンギンいい、折れたり変形したりする。そして、ゆるんだ地盤の一部から水が吹き出してくる。その供給源は無限大で、汲み上げても切りがない。青函トンネルでも起こったが、一八七三年から一八八六年（明治六一十九年）に掘られた前述のセバイン河底トンネルでも、トンネルの水圧による崩壊で全

体が建設中に水没したことがある。このトンネルはすぐ南西がブリストル湾なので、河底といっても三・二キロメートルの幅がある河口トンネルである。干満の差が一五メートルもあって、水圧が満潮と干潮で繰り返し変わる。大潮のときは深さは二九メートルにもなる（これは関門トンネルよりも深い）。この水圧と地盤の悪さで、トンネルが崩れてから一年以上も水没していたのである。

海底トンネルとして世界最初のもは関門トンネルである。第二次大戦中の労働力不足、資材不足に悩まされながら掘り進んだ偉業である。水深は十数メートルと浅いが、やはり湧水と水圧との闘いであった。その話を私たちは先輩から聞き、青函トンネルへの多くの教訓を得たが、トンネルを掘って上を通る船のポンポンという機関の音が聞こえたという。その下で、支保工の折れるビシビシという音、トンネルが圧力で締まってくるという困難さ、まさに水と自分との苦しい闘いであったと思う。その関門トンネルも一九九二年に開通五十周年を迎えた。

この水量が無限大で、しかも圧力を持っている水がいろいろな障害となる。それが深ければ深いほど都合が悪くなる。青函トンネルは最大水深一四〇メートルの下を、英仏海峡の場合は最大水深六〇メートルの下を掘ることになる。この深さの違いもいろいろな形で計画や設計・施工に大きく影響するが、大水圧であることには変わりはない。どのようにして水圧に耐え、どのようにして湧水量を減らすかが、建設中、完成後を問わず、最大の問題である。また海水は真水と成分

が違うので、建設中に使用する機械や電気、建設資材に対する配慮も必要であるし、完成後もトンネルの機能、品質の保持のためには多くの配慮が必要である。

第二の問題は、自然条件を確実に知ることである。地盤の状態によって工事の可能性の判断、また工事が困難かどうか、などの問題点が浮かび上がってきて、多くの判断を下さねばならない。ましてや前述の水の問題があるだけに、特に配慮すべきことは多い。また他方では、水の問題は、工事以前の調査にも多くの困難さや不正確さをもたらす。現在では人工衛星などで位置決定も容易とはなったが、それでもいろいろな調査をしているのに、どこで、何を調査しているかの精度が陸上に比べて相当劣る。そのため地質調査も、陸上のそれに比べるとかなり不正確であることは否めない。自然条件の把握が計画・設計上に必要にして充分とはいえないし、調査費も、海上からの場合は格別に大きいので限度がある。いったん間違えば大出水でトンネルが永久に掘れなくなってしまいうような海底トンネルでは、海底を掘る前に、水圧とともに地盤を含めた自然条件を陸上以上に知っておくことが大切であり、しかも陸上よりも自然条件の調査はきわめて高価で不正確であるという、二律背反の関係にある。

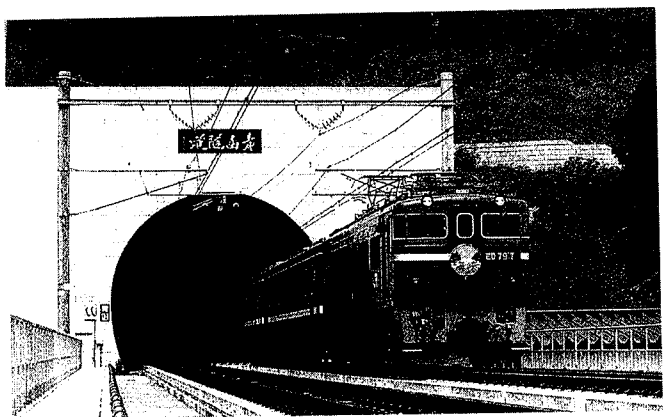
敵を知り、己を知らば百戦して殆うからず、と孫子は言っている。これを金科玉条として調査を進めたが、いろいろ難しいことがあって、せいぜい敵を知らず、己を知るは一勝一負す、くらのところをなんとかクリアーするのが精一杯である。もちろん「戦わず」が最善であるが、そ

うともいつていられないので、せめて敵をある程度の深さまでは知っておきたいものである。

海底トンネルには短いものはないから、調査から完成までに多くの期間がかかる。そのためには、何がしかの先見力がないと右往左往することになる。何事にもよく考えて先見力をもつことは大切だが、特に海底トンネルの初期段階でこれは最も大切なことである。

とにかく「百戦して殆うからず」の域に達することはないし、水の問題も実際に施工しなければわからないことも多い。それで決断力や勇氣が必要である。ここでの勇氣はもちろん匹夫の勇ではなくて、攻守進退を心得て退くときに退き、そして持ちこたえることのできる勇である。そして自然との約束事、つまり法則を、自分だけは許されるだろうといったおごりを持たないで、信用することである。その法則を厳しく守って逆らわないかぎり、自然は敵ではない。むしろよく観察して、そのような法則を通して、自然の中にはゆるやかなものと激しいものがあるのだから、なるべくその間隙をついて、ゆるやかな方に敵密に進めていく心構えが必要であろう。所詮、自然は私たちにわからないほど変幻自在であり、私たちの心にはより乱された自然の映像が、まことしやかに、しかも自分に都合の良い方に現れやすいことを考えると、自然は途方もなく大きな相手である。したがって、その広い懐の中で、なるべく楽に道を見つけてゆく以外に私たちに人間には方法がない。そのためにも、こちらにフレキシブルな対応ができること、そして、そのできることの中に、少しはもがける余地を残しておくことであると思う。

第一章 青函トンネル



青函トンネルの本州側入口

これは単に自然に対してのみならず、調査から計画、そして完成までの長い期間にわたる社会的・経済的变化についても言えることである。このことは予算や運行・運営の方で端的に現れてくる。そのためには、単なる先見性だけではなく、遠見性もないと、その海底トンネルを社会的に有効なものにはできない。それは今現在だけではなく、大きくいうと歴史、時の流れを見る必要がある。

以上、特に後半の議論は、海底トンネルに限られたことではなく、一般的にも通用することなのであるが、海底トンネルの場合、これらを誤ると取り返しがつかないような事態が強く現れることを覚悟しなければならないので、海底トンネルの特異性の一つとして経験に照らして大きく取り上げた次第である。