

トンネル換気と30年
東京大学教授 大橋秀雄
30 Years with Tunnel Ventilation
Hideo Ohashi, Prof., University of Tokyo

道路トンネルの換気と防災に関係し始めてから既に30年余が過ぎ去った。思い出せば、留学先のドイツに会社¹から届いた一通の手紙が始まりだった。当時1957年には、シュツットガルト市内にヴァーゲンブルクトンネルが完成し、最新式の横流換気設備として話題を集めていた。名神高速道路の天王山、梶原トンネルの換気方式を検討中だった日本道路公団の意向を受けて、私に調査の依頼が来たわけである。資料をとり集め、その要約をつけて送ったことを覚えている。

その縁があつてか、帰国後東大に移籍するまでの1年ほどの間、会社ではトンネル換気が主要な仕事になってしまった。天王山トンネルを想定したサッカルド式縦流換気の模型実験を、東大の河村竜馬先生の下請けとして受託し、模型実験の計画から測定、データ整理、報告書作成にいたるまで大いに勉強させて頂いた。模型トンネルの路面をガラス張りにし、天地逆さまにして中の流れをガラス越しに上から覗けるように設置したところ、最初は大いに抵抗があつたが、だんだんとその利点を認めて頂くことが出来た。

もう一つの思い出が幻の明石トンネル計画である。東名を最短距離の直線で結ぶとそこに明石山脈がある。長さは正確には覚えていないが、それを横流式で換気するのに必要な送風機の見積を命ぜられ、直径5メートルの軸流送風機を設計して道路公団の委員会で説明した。確かにその送風機は機械としては辻褄が合っていたのかもしれないが、地下換気室に収まるようなしろものではない。面と向かつては言われなかったが、非常識と思われたのは確実である。



ドイツは高速道路の元祖のような国である。アメリカのインターステートハイウェイは、その規模においてアウトバーン上回るが、時速65マイルでは原則速度無制限と比較にならない。エネルギー問題、環境問題に触発されてドイツ国内でも速度制限の導入が幾たびか国民的議論の的となったが、世論は世界唯一の速度無制限を支持し続けている。速度無制限とは、与えられた速度で走るのではなく、状況に応じ自らの判断と責任で速度を決めることを意味している。運転に対する真剣勝負的な心構えが、速度無制限と対になって運転者を律しているのである。

私はドイツで免許を取って日本で書き換えた口である。ドイツの自動車学校は最初から公道を使った路上運転で教えてくれる。従って教習の重点が、クラッチ合わせ、ギヤシフト、ハンドルさばきなどの技能的側面よりも、如何に周囲を見て、その状況に対応するかの注意力の配分に当てられる。免許の最終試験では警察官が後ろの座席にすわり、街なかを右に行け、左に行けと指示する。バックミラーを通して運転者の目の動きを見ており、

¹石川島重工業(株)に在籍、留学中

左車線に移るのに左側方の車の確認を怠れば直ちに落第である。

教室の学習では、優先通行権(Vorfahrt)の意識が徹底的に教え込まれる。道路標識で優先権が指示されていないときは、今でもそらで覚えている次のルールに従う。

(1) Wer von rechts kommt, hat Vorfahrt.

(2) Wer sich im Kreisverkehr befindet, hat Vorfahrt.

すなわち、交差点では右から来る車(日本では左)が優先、ロータリー(roundabout)では先に入っている方が優先の原則である。

この優先通行権には甘えが許されない。交差点などで日本の調子で適当に進んでしまうと、猛然と抗議される。交差点での衝突事故で亡くなった方の墓石に

Hier schlaeft einer, der Vorfahrt hatte.

(ここに優先通行権持ちしもの眠る)と書かれていたという話さえある。権利の行使のためには、命をも辞さないという意気込みである。



幸いにして自動車の構造は万国共通である。自動車が生まれたての頃は、車によってペダルやレバーの機能が異なっており、簡単に車を乗り換えることが出来なかった。今では世界のどこでレンタカーを借りても、右ハンドル、左ハンドルの差を除けば基本機能は完全に同じである。もっとも安全・保安装備は国によって違う。北欧で車を借りて、昼間でも自動的に点灯するヘッドライトを消そうとしても無駄なあがきである。

30年前に比べると、国際標準による道路標識も格段に普及し、頭をかしげるような図柄には滅多にお目にかからなくなった。国には国境があり、道路も検問所によって明確に区切られている。しかし、言葉の境、語境は地図にも出ていないし、標識もない。高速道路のインター出口は、英語ではExit、ドイツ語ではAusfahrt、フランス語ではSortieである。スイスのような多言語国家をドライブしていると、出口標示が例えばAusfahrtからSortieに突然変わる。見えない語境も道路標示がちゃんと教えてくれるのである。

道路と自動車はほとんど万国共通になりつつあり、グローバリゼーションの時代を先取りしてきた。私は海外旅行先ではなるべくレンタカーを利用するが、最初が左ハンドルだったせいか、順応は早い。交差点を曲がった直後とか、前後に車が全く無いときなど、どちら側を走ろうか一瞬迷うこともあるが、しばらく走ればその迷いも消えてしまう。

速度制限の無いところでは、走行車線と追越車線の区別が峻別される。追越しのために車線を変更しても、さらに自分を追越す車がないか7、3の割合で前後に注意を配分し続けなければならない。追越し車線を塞ぐ遅い車があっても、内側からの追越しは暴挙とみなされる。むしろパッシングライトで立ち退きを要求する方が礼にかなっている。この辺のドライブ文化の違いは、様々な国でハンドルを握る機会が増えるにしたがって、最も留意しなければならない点だろう。



東大に移ってからは、トンネル関係のいろいろな委員会に参加する機会が多くなった。当時、本格的な横流式換気設備を備えた関門トンネルが開通しており、その後のトンネル換気計画に多大の影響を与え続けた。名神高速道路の天王山、梶原トンネルは、我国としては初めての高速道路用2車線一方交通トンネルであり、その換気方式をどう決めるかについては公団内で多くの議論が交わされていた。実績のある横流をよしとする説は、大断

面の施工の困難さと設備コストの点から早く消えてしまい、最後は縦流と半横流の対決に絞られた。一方交通の道路トンネルに誘起される強力な交通換気力（ピストン作用）に着目した人たちは縦流式を推し、その一可能性として先述したサッカルド式の模型実験を実施して設計データを整えたわけである。

結論として半横流が採用された。その決定要因については外部圧力説その他いろいろな話を耳にしたが、私は歴史の一つの必然として見ている。今だったら当然縦流式を採るが、交通換気力を見積るデータが十分でない、気象による逆風圧のデータが少ない、渋滞時や火災時の対応について経験や実績が無いなどの当時の状況で考えると、これを敬遠する意見にも根拠が充分あった。採用された送気半横流は、交通量、気象条件に関わらず、トンネルの隅々まで確実に新鮮空気を補給してくれるし、火災時には送風機の逆転によって天井ダクトから排気もできるなど、信頼感に富んでいたのである。

名神の天王山から東名の都夫良野、日本坂に至る第一期の高速道路トンネルは、送気半横流で統一されたが、オイルショックを一つの契機として、より省エネルギーでかつ掘削断面の小さい縦流式に移行して行った。半横流の採用は失敗だったと批判する声も時折耳にするが、私は「無経験の代償として信頼性を買った」と擁護することにしている。その後、恵那山の時代、関越の時代と実績を重ねるにつれて、それぞれの条件に適合する新しい換気技術が次々と生み出されてきた。電気集塵機を世界に先駆けてトンネル換気に導入するなど、今や我国の換気技術は確実に世界の最先端を走っている。



初期の換気設計では「スイスレポート」と呼ばれる分厚い論文がバイブルのように尊重された。これは、チューリッヒ連邦工科大学のアッカレット教授のもとでヘアター博士（Haerter）が行なった研究のまとめであり、特に適正流量配分を確保するための送、排気ダクトの設計法に特色があった。このレポートを関係者で分担翻訳し、それに設備例を加えてまとめたのが昭和39年出版の「道路トンネル換気設計便覧」である。これは日本道路公団の限定出版として関係者にのみ配布されたが、いま見てもなお価値を失わない名著である。

前述のヘアター博士と共著でトンネル換気の本を書こうと約束したからもう数年が経ってしまった。前祝いにと、互いに Alex, Hideo とファーストネームで呼び合うことにし、ワインを傾けて氣勢だけはあげたが、筆勢の方は残念ながらさっぱりである。

過去20年くらいは、毎年高速道路調査会が受託する調査研究の委員長を二三お引受けすることが続いてきた。河村先生のお手伝いをしていた初期の頃は、自分で翻訳し、自分で報告書の図面と文章を書き、実態調査の受託では自らトンネルダクトに潜って計測器のセットからデータ読みまで手伝ったものである。委員長を引受けるようになるとぐっと楽になり、委員会当日だけ議論の収束に意を用いればよい。有難い話であるがちょっとさびしい感じもする。しかし報告書をまとめる担当者の労は、昔の体験から充分理解しているつもりである。実測を伴う研究委託は、初期の頃は委員会のメンバーが計測装置を抱えて直接現場におもむき測定を分担するのが普通であった。今では委託者側も豊かになり、専門の計測会社に外注する予算を用意出来るようになった結果、仕事は楽になったが、反面現場から遊離して実態に触れにくくなってきた。委員会活動の枠内でも、なるべく現場に密着できよう配慮することが必要である。



道路トンネルの換気，防災設備を中心に，日本道路公団や首都高速道路公団との関係が長らく続いてきた．土木技術者は機械技術者に比べて義理人情に厚いところがあり，気持ちよく協力を続けることができたことに感謝している．

大学においては，私は流体機械の非定常流や二相流を研究しており，トンネル換気とはほとんど関係ない．したがって，トンネル換気はホビーですと自称してきた．但し，ホビーと研究を結びつけたことが一度だけあった．旧来の換気理論では，汚染物質は空気の流れに乗ってのみ移動し（対流輸送），空気が淀んで動かないところでは，汚染物質が滞留蓄積されて濃度は上がる一方である．具体的に上下線のピストン作用が相殺する対面交通のトンネルを考えると，換気風はゼロであり中には排ガスが溜る一方である．しかし実際には，走行する車の激しい攪拌作用と乱れによって汚染成分は坑口から運び出され（拡散輸送），中の濃度は一定値で飽和する．換気理論に拡散輸送という新しい見地を導入するために行なったこの研究は，模型実験によって拡散係数の実験式を導くことに成功し，坑口環境対策の厳しい都市トンネルを中心に排ガスの移動を正確に予測するために実用されている．この研究のユニークさが認められ，日本機械学会から論文賞を授与されたのも懐かしい思い出である．

高速道路網が整備されるにつれて，建設に対して設備の維持管理の比重が増して来るのは当然なことである．また新設の設備に対しては，環境，安全，防災，省エネルギーなどに関し従来以上の高い基準が要求され，技術向上に対する一層の努力が必要である．このようなときに，日本道路公団本社に新たに施設部が設置され，組織としての対応が強化されることは，外野席から見ても喜ばしい限りである．

日本道路公団は，類似の立場にある組織と比べてみると，伝統的に新しい技術の導入に積極的であり，担当者の裁量範囲が広く，また決断が早い．これは，組織の巨大化にともなう硬直化を防ぐのに有効な資質であり，この素晴らしい伝統は是非守ってほしい．

自動車は道路の上を走る．道路は自動車を走らせるためにある．道路あつての車であり，車あつての道路である．私はは日本機械学会や自動車技術会の会員でありながら，どちらかと言えば道路サイドから自動車を見るが多かった．そこで感じることは，道路を作る側は自動車のことをあまり考えないし，自動車側も道路をまるで空気のように当り前のものと思い込んでいる．

自動車・道路のインターフェースには，自動車の力学特性，操縦者のヒューマンファクターに加え，路面材料の物性，施工，照明，景観，気象など多くの分野が関連し，学際領域の典型とも言えよう．道路と自動車の融合を図るため，1963年以来高速道路調査会から本誌「高速道路と自動車」が発行されてきたが，内容は自動車用高速道路に留まり，自動車との接点はほとんど見当らない．これからは，自動車と道路が自由に注文を出し合う機会を積極的に設けて，例えば，タイヤ騒音と低騒音路面，高速走行に適したカントと線形，路面摩耗の許容限界，横風特性と道路環境，渋滞を起しにくい景観設計など，自動車・人間・道路系にまつわるテーマと共同で取り組んだらよい．

高速道路調査会が，自動車・人間・道路系の融合に重要な役割を果たすことを大いに期待している．