

橋の歩み より遠くへ、より安全に

● 監修 藤野 陽三氏 東京大学大学院工学系研究科特任教授

離れた場所をつなぐことで人や物の往来が生まれ、新たな文化と豊かさがもたらされる——人類にとって重要な役割を果たしてきた橋は、どのように進化していったのでしょうか。その歴史は技術者たちの挑戦の歴史でもありました。

橋の誕生と発展

ガール水道橋

南フランスのガール水道橋はローマ時代に築かれた。高さ49メートル、長さ275メートル。3層の石造アーチで構成され、上段は水道、中段・下段は人や車が通行できる。世界文化遺産にも登録。

西洋と中国で栄えたアーチ技術

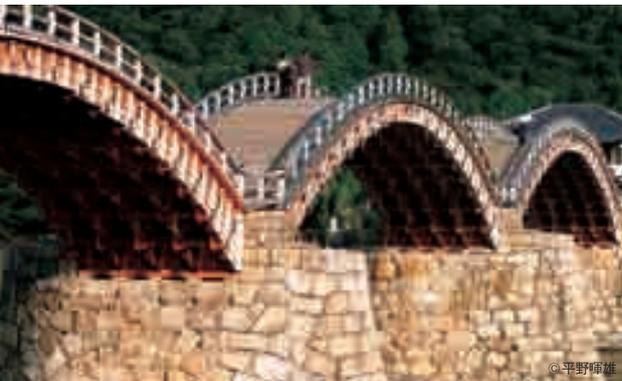
そもそも橋はどのように誕生したのでしょうか。その起源ははっきりしていませんが、目の前に川や谷があれば丸太を渡す、植物の蔓で吊橋をつくる。そうしたものが橋の原点であったことは容易に想像できます。

石橋は西洋で発展しました。石をアーチ状に積み上げる技術は紀元前4000年ごろに古代メソポタミアで誕生し、ギリシャやエジプトに伝わったとされています。そのアーチ技術が飛躍的に進化したのが、古代ヨーロッパで繁栄を極めたローマ帝国の時代でした。彼らは道路橋や水道橋をヨーロッパ全土に築きました。ガール水道橋（1世紀初頭ごろ）



ちょうしゅう
趙州橋

安濟橋とも言われ、中国・河北省趙県に架かる石造アーチ橋。建設は600年前後とされ、支間は37メートル。ローマのアーチ橋より高い技術を誇った。



きんたい
錦帯橋

1673年完成の、世界でも類を見ない五連の木造アーチ橋。1950年のキジア台風により流失したが3年後に再建。傷みが目立つようになり、2001年から「平成の架け替え」が行われた。



こうつや
上津屋橋(流れ橋)

1953年、京都・木津川に架けられた「流れ橋」。川が増水すると橋桁が浮き、流される設計となっている。ただし、橋桁は流失しないよう橋脚にワイヤロープでつながれている。



ヴェッキオ橋

イタリア・フィレンツェの石造アーチ橋。洪水で何度も流され、現在の橋は1345年に再建されたもの。上下2層で2階は宮殿をつなぐ回廊として用いられた。両側には宝石店などが軒を連ねる。

桁橋 最もポピュラーで、2つ以上の支点に桁を架けた橋

トラス橋 部材を三角形に組み合わせ、交点を結合した橋

アーチ橋 アーチを使い、重力を圧縮力に換えている橋

ラーメン橋 橋脚と主桁を結合した骨組(ラーメン)構造の橋

吊橋 ケーブルやロープなどで桁を引っ張っている橋

斜張橋 主塔から複数のケーブルを伸ばして桁を支えている橋

さまざまな橋の種類

橋に求められる要素は多々あるが、それを集約すると頭文字がEではじまる3つの言葉で表せるとされる。それが **Efficient**、**Economical**、**Elegant**。Efficientは機能的で力学的にも効率的で丈夫な構造、すなわち使いやすく安全という意味である。また、橋は土地のランドマークになり得るため、誰もが洗練されたものであって欲しいと願っていることから、**Elegant**も重要な要素となる。

Efficient
Economical
Elegant

橋の3つの「E」

やセゴビア水道橋(1世紀末ごろ)など、高度なアーチ技術を駆使した橋が現存しています。ローマ帝国滅亡後、西洋のアーチ技術は一時停滞しますが、中世ルネッサンス期になり再び発展します。それまで半円型であったアーチを扁平にすることで、支間(橋脚と橋脚の間)を伸ばし、さらに橋桁を連ねることでより長い橋を架けることが可能となりました。その結果、フィレンツェのヴェッキオ橋(1345年)、プラハのカレル橋(1402年)などの名橋が数多く生まれます。また、石橋だけでなくヨーロッパではスイスなどの山岳地帯で木造橋も発展しました。200メートルの長さを誇る屋根付きのカペル橋(1333年)などが有名です。

一方、東洋では特に中国で架橋技術が栄えました。古代から桁橋や吊橋のほか、煉瓦や石を使ったアーチ橋も数多くつくられています。現存する中国最古の橋が趙州橋(600年前後)。支間37メートルの扁平型アーチの石橋で、当時半円型のアーチしか築くことのできなかったローマの技術をしのいでいました。

日本における最古の橋は、『日本書紀』に記された「猪甘津の橋」とされています。森林に囲まれた日本では石橋ではなく木橋文化が育ち、谷の両側に梁材を差し込んだ猿橋(山梨県)や、世界でも珍しい木造アーチの錦帯橋(山口県)などはその象徴と言えるでしょう。また、日本は西洋や中国と違い、川の流れが急であるため、増水時に橋桁だけが外れる「流れ橋」や水面下に沈む「沈下橋」など、独自の橋文化が育ちました。



フォース鉄道橋

英国エディンバラのフォース湾に架かる鉄道橋。1890年完成。全長2,528メートル、支間521メートルの歴史的巨大構造物。スコットランド銀行が発行する20ポンド紙幣にも描かれている。



アイアンブリッジ

世界初の鉄橋で、英国製鉄業発祥の地でもあるコールブルックデイルのセバーン川に架かる。鉄や石炭などの輸送に使われた。1779年完成。世界文化遺産に登録。

鋼橋の時代へ

産業革命が橋を進化させた

18世紀に英国で起こった産業革命は、橋の歴史にも大きな影響を与えました。石や木から鉄へ。製鉄技術の進歩で大量の鉄が生産できるようになると、それが橋にも使われるようになったのです。

世界初の鉄橋は英国コールブルックデイルに架けられたアイアンブリッジ(1779年)です。鉄のアーチで組まれた美しい姿は現在、世界文化遺産にも登録されています。

初期の鉄は鑄鉄(いわゆる「鑄物」)で、引張りや曲げなどに弱いという弱点がありました。が、その後の製鉄技術の改良により、強く加工しやすい錬鉄、鋼へと進化し、強度のみならず設計においても自由度を増していきました。

1870年代、トーマス転炉製鋼法と呼ばれる、溶銑から不純物を効率よく除去できる技術が発明され、品質のよい鋼が大量生産できるようになると、鉄道の敷設需要も追い風となり鋼橋の普及が急激に進みます。世界で初めて鋼を本格的に使った米国セントルイスのイーズ橋(1874年)や、19世紀最大の鋼構造物で鋼材重量5万トンを超える英国エディンバラ郊外のフォース鉄道橋(1890年)などが有名です。

日本で最初の鉄橋は長崎のくろがね橋(1868年)。しかしこれは海外から輸入された橋であり、国産第1号は東京の弾正橋です(1878年)。現在は移設され八幡橋と改称)。東京では1923年の関東大震災によって木橋から鋼橋への架け替えが

橋の「ABC」

桁橋、アーチ橋、吊橋などさまざまな種類がある橋の構造は「ABC」の3要素で表せるとされる。AはAxial force。トラス橋のように一本一本の部材に働く、押したり引いたりする軸力のこと。BはBending。桁橋のように曲げモーメントで車などの荷重を支持するという意味。Cは曲線を意味するCurvatureの頭文字。アーチ橋や吊橋のように、曲線の部材で重力に抵抗する方法が、長いスパンの橋でよく使われる。

A : Axial force

B : Bending

C : Curvature



イーズ橋

世界で初めて本格的に鋼材が使われたアーチ橋。1874年、米国セントルイスのミシシッピ川に架けられた。



永代橋

隅田川に架けられたアーチ橋。関東大震災からの復興の象徴として雄々しい意匠とされた。



ニューヨークの鋼製高架橋

ニューヨークでは1940年に建設された鋼製の高架橋が、拡幅を重ねて現在でも使われている。ニューヨーク市交通局の責任者であるヤネフ技師長は、「あと30年でも40年でも問題なく使えるだろう」と語っている(写真上が建設当時、写真下が拡幅後の現在の状態)。

数々の名橋を生み出した日本の橋梁の父

田中豊 (1888～1964)

長野県出身。関東大震災後、帝都復興院の初代橋梁課長として、復興事業の架橋において陣頭指揮を執った。海外の新技术を導入し、隅田川に架かる永代橋、清洲橋など東京の象徴として今もなじみの深い数々の名橋を生み出している。土木学会の田中賞は氏の功績を称えて創設されたもので、橋梁・鋼構造工学における優秀な業績に対して毎年贈られている。



秩父宮殿下に隅田川諸橋梁復旧工事の説明を言上する田中博士(右)

提供：公益社団法人土木学会

進み、隅田川では永代橋や清洲橋など多くの鋼橋が架けられ、今も現役で使われています。

鋼材は「軽い(強い)」「品質が高い」「工期が短い」などのメリットがあり、現在も建設材料の中心として活躍しています。たとえば首都高速道路の桁のほとんどは鋼桁であり、柱も鋼製が多く使われています。

また現在、コンクリートに鉄筋を埋め込んだ鉄筋コンクリート(RC)も橋の主材料となっています。RCは1867年に発明され、橋にも応用されるようになりました。1928年にはあらかじめ鉄筋に張力を与えるプレストレストコンクリート(PC)工法が実用化。さらに強度と耐久性が高まり、広く使われています。



ハーバー橋

オーストラリア・シドニー湾に架かる鋼アーチ橋。支間503メートル。オペラハウスと並ぶシドニーの象徴。1932年完成。

ゴールデン・ゲート・ブリッジ

米国サンフランシスコ湾に架かる吊橋。支間1,280メートル。その美しい姿は人々を魅了してやまない。1937年完成。

長大橋時代の幕開け

技術者たちのあくなき挑戦

鋼の誕生は架橋技術に進化をもたらしましたが、同時にそれは技術者による長大橋への挑戦の始まりでもありました。橋にとって大きな技術評価となるのが支間の長さです。19世紀の米国では、それまでの常識を打ち破る挑戦が次々行われました。中でも有名なのがジョン・ローブリングによるブルックリン橋（1883年）の建設。486メートルという当時世界一の支間に挑戦し、13年の歳月をかけ親子2代で完成させています。20世紀に入っても長大橋の主役は米国で、支間1067メートルのジョージ・ワシントン橋（1931年）、同1280メートルのゴールデン・ゲート・ブリッジ（1937年）といった長大橋が続々と竣工していきました。

ただし、こうした長大化への道のりは平坦なものではありませんでした。そこにはいくつもの痛ましい落橋事故があったことも忘れてはなりません。当時世界最長を目指したカナダ・ケベック橋（1917年）は、強度設計のミスによって建設中に2度にわたって崩落。100人近くが犠牲になりました。1940年、当時世界3位の支間を誇った米国・タコマ橋も風による振動で落橋。技術者たちはそうした悲劇を乗り越え、より安全な架橋技術を模索していったのです。

日本での長大橋の歴史は欧米に遅れましたが、戦後急激にキャッチアップしてきます。支間216メートルの西海橋（1955年）を皮切りに、同367メートルの若戸大橋（1962年）、同876メートルの大鳴

世界最長ブルックリン橋への挑戦 ジョン・ローブリング (1806～1869)

世界で最も有名な橋のひとつといえる米国ニューヨークのブルックリン橋。中央スパン486メートルの風格たどよう吊橋を建設したのがジョン・ローブリングだ。ドイツ移民である彼は、米国に渡った後にワイヤロープ事業で成功を収め、多くの橋梁建設を手がける。1869年、当時世界最長支間となるブルックリン橋の建設に着手するが、工事中のケガが原因で亡くなる。息子のワシントンがその遺志を引き継いだ。彼もまた工事中に潜函病にかかり障害を負う。すると今度はワシントンの妻のエミリーが現場を指揮し、1883年にとうとう橋を完成させた。ブルックリン橋は今も街のシンボルとして市民に愛され続けている。



© Brooklyn Museum Collection

先進的な日本の技術—ミレニアムブリッジの制震

耐震・耐風設計など、日本の高度な構造設計技術や研究開発は、長大橋に限らず世界の多くの橋に活かされている。たとえば2000年を記念してつくられた英国テムズ川のロンドン・ミレニアム・フットブリッジは、開通わずか3日目に横揺れが原因で閉鎖された。このとき、世界で初めて歩行者による橋の「同期現象」を解明した藤野教授らの研究とアドバイスを参考に制震対策が講じられ、1年後に再開通された。



ブルックリン橋



ケベック橋

カナダ・ケベック州のセントローレンス川に架かる鋼トラス橋。支間549メートル。2度の崩落事故を経て1917年完成。



©平野輝雄

西海橋

長崎県の佐世保市と西海市の間に架かるアーチ橋。支間216メートル。完成は1955年で日本の長大橋のさきがけとされる。

戸橋(1985年)、同1100メートルの瀬戸大橋(1988年)と次々に長大橋を架け、1998年とうとう世界一となる支間1991メートルの明石海峡大橋を完成させました。

この30年、長大橋は世界各地でつくられ、今も建設計画が世界中で進められています。長大橋は自重とのたたかいであり、材料の性能が極めて重要です。例えば現在の3倍も4倍も強い鋼材が生まれれば、長大橋はさらに進化を遂げることでしょう。より遠くに、より安全な橋を架けたい。その思いを胸に技術者たちの挑戦は続きます。

監修 藤野陽三(ふじの・ようせう)
東京大学大学院工学系研究科特任教授

1976年、カナダ・ウオータール大学博士課程修了、Doctor of Philosophy (Ph.D)。東京大学地震研究所、筑波大学などを経て、90年東京大学工学部教授。2013年東京大学名誉教授。専門は橋梁の計画・設計。内閣府政策参与(総合科学技術会議)、土木学会100周年記念事業実行委員会委員長、国際構造工学会副委員長など多数の要職を務める。



藤野教授の作品「レインボーブリッジ」

参考文献

「プロが教える橋の構造と建設がわかる本」藤野陽三(ナツメ社)、『橋の文化誌』三浦基弘、岡本義高(雄山閣出版)、HP「橋と文化のテクノロジー」長崎大学松田研究室(<http://www.strngesaki-u.ac.jp/ken/maitsuda/bridge-culture-tech/bridges.html>) ほか