

1815年から35年の間のマルク・スガンにおける技術革新と技術移転について*

Innovations of Marc Seguin between 1815 - 1835

ミッシェル・コット** ・小林一郎***

by Michel COTTE and Ichiro KOBAYASHI

概要

フランスの産業革命は1820年代に始まったとされる。本論文は、マルク・スガンのフランスにおける技術革新と技術移転についてまとめたものである。この時期の彼の功績の主なものは、1. 鉄線によるケーブルの発明、2. 水中コンクリート及び鉄筋コンクリートの先駆的な使用、3. 円筒ボイラーの使用、4. フランスにおける最初の貨車及び機関車の製作等である。本論文では、これらについて詳述し、これまであまり評価されることのなかった土木人としてのスガンの全体像と土木史上の功績についてまとめる。

なお、本研究は新しい試みとして、フランスの科学史研究者と日本の土木構造の研究者とのマルク・スガン及びフランス吊橋史に関する一連の共同研究の序論として位置づけられるものである。

1 はじめに

19世紀におけるフランスの工業化は、1. 隣国イギリスからの技術移転と、2. フランス国内の政体の変化（とそれに伴う中央政府の行政機構の変化）の結果によるところが大きい。特に、公共事業に関しては後者の強い影響によって、フランス独自の工業化が行われた。しかし、正しい歴史上の実例の分析からは、それぞれの状況、個々の企業や計画によって、多様性に富んだ事柄のあったことが示される。この二つの要因のみで全てを説明することは、あまりにも物事を極度に単純化するという恐れはあるが、いくつかの重要なニュアンスの付加や個々の事柄についてのより詳細な分析を通じて、それらの要因の説明は完全なものとなっていくであろう。

我々は本論文で、フランスの一地方で始まった同族の私企業における技術革新と技術移転の問題を取り上げる。それは主として、フランス史における王政復古（Restauration）¹⁾のときで、時期的には1815年のナポレオン帝政の軍事的崩壊から7月の君主制²⁾のはじめの数年までの約20年間である。第1次の工業化はフランスでは1820年頃であるとされるが、それは主として英米の歴史家の用語³⁾を用いるならば「交通革命」であった。ところで、当時の英米両国におけるのと同程度に強く、交通路についての経済的必要性の圧力をフランスにおいても見出せるであろうか。さらに、その圧力は、交通の発展に対する障害の根本的な打破のためには、技術革新をもって望まねばならぬという確固たるものであったらうか。もしも国のレベルで見るとその答えは否定的である。なぜなら、政府は古典的な解決策に全幅の信頼を置いていたのである。しかし、もし、我々がいくつかの経済的に活発な地域のみを目を付けるならばその答えは全く肯定的である。例えばリヨン市、サン＝テチエンヌの炭田地帯そしてローヌ溪谷の中流域から形成される地域の場合がその好例である⁴⁾。

当時、フランスの公共事業は、ほぼ全て中央政府によって行われていたようである。特に、18世紀中葉以降は土木大学（Ecole des Ponts et Chaussées）⁵⁾出身の円熟した技術者の手になる計画に従って行われていた。フランス革命は国の軍事及び民主関連の土木技術教育についてもこの方向を強化していった。特に理工科大学（Ecole polytechnique）によって科学的水準は極めて高いものに保たれていた⁶⁾。帝政時代には、特にヨーロッパでの戦争に対する卑俗な要求の前に、中央集権主義や干渉主義の傾向が強まっていったようである。

一方、社会的な側面や、科学・技術的な側面では、他の伝統つまり他の勢力がフランス社会の中で力を持ちつつあった。それは私企業による工業的な発展によるものであった。フランス革命の以前から英仏間には商業あるいは技術交流の長い伝統が存在している。商業のための旅行や買物物はよく行われていた⁷⁾。職人、企業家、労働者の両国間の交流は盛んであったし、宗教的あるいは政治的理由⁸⁾や単に手早くひとまわししようということで海を渡る人々は多かった。

* keywords : フランス、産業革命、マルク・スガン

** 研究員 Centre Pierre Léon, University of Lyon 2.

*** 正会員 工博 熊本大学助教授 工学部土木環境工学科 (〒860 熊本市黒髪2丁目)

また、フランス革命はアンシャン＝レジュール時代の企業の独占を廃して、個人による仕事の自由を促した⁹⁾。これらの企業は職人達の仕事上の個人的自発性や技術上の工夫を検閲¹⁰⁾していたが、革命は商業を刺激しフランス国内の経済的自由主義の形成を確かなものにした。個人による発明の保護と奨励のための特許のシステムも革命がもたらしたものである¹¹⁾。帝政下でも個人及び私企業による特許の所有は保護された。工芸学校のような協会が工業技術の修得を目指した教育に携わるようになった。それは完全な職業のための教育であり、機械や模型を使った実用的教育が実施された¹²⁾。

1815年に再び平和が訪れた後、古い手工業や商業を営む企業家の社会的グループは技術革新、工業化による発展、仕事の自動化といった観点から、特に歓迎すべき状況が出現したことを理解した¹³⁾。絹の町リヨン、綿のミュールーズ、紙のアノネイといった幾つかの町や幾つかの地域は活況を呈し先駆的役割を演じた。

まさしくこの時代、マルク・スガン（1786-1875 図-1）は、はじめ父のもとで、ついで、5人の兄弟¹⁴⁾との協同で一連の同族企業を起こした。そしてそれらから、異なる分野における、彼らの様々な技術的可能性を示す技術革新が産み出されていった。彼らは家族にとって伝統的な部分、つまりアノネイの製紙業¹⁵⁾の機械化に手を貸しながらも毛織物の商いを始めた。一方土木工事や交通に関する計画も手がけた。それらに対する地域の要請は重要なものであり成功の場合の利益を彼らは大いに語り合った。

いくつもの異業種会社からなるこの同族グループは特に、英米の技術の応用を試み、その中に多様で重要な技術革新をもたらした。その主なものは次の通りである。（図-2参照）

1. フランスへの吊橋の導入（1821-1825）、2. 鉄線によるケーブルの発明（1822-1825）、3. 水中コンクリート及び鉄筋コンクリートの先駆的な使用（1824-1825）、4. 船舶交通用の高圧蒸気機関の建設（1825-1828）、5. 円筒ボイラーの使用（1827-1828）、6. 機関車で牽引される鉄道のフランスへの導入（1826-1828）、7. フランスにおける最初の機関車の製作（1828-1835）、8. 貨車及び客車のための鉄道の経営（1830年以降）。

マルク・スガンはまた、第一級の科学的精神の持ち主であり、特に蒸気機関の応用に関連して熱力学の分野の先駆者の一人となった。また、土木技術者としてのマルクについては、これまで語られることが少なかったためか、わが国だけでなくアメリカでも名前が誤記されていることがある¹⁶⁾。

2 毛織物商から機械の開発へ

父、フランソワ・スガンの活躍したのは、フランス革命からナポレオンの帝政までの時代であった。毛織物の商いでは、特に有力な商人の一人でアノネイの背後に広がる山岳地帯への行商やアノネイ市内の店で仕事をしていた。その他にも片手間に紙商人であった両親¹⁷⁾の関係の品物や食料品の商いも行っていた。長男のマルク、続いて、カミーユとシャルルも同族企業スガン社のために毛織物の行商で青年時代を送った。父の企業は当時の同タイプの企業とよく似ていた。それはごく平凡な業務に留まっていたようである。しかし、いくつかの要素が、この企業を他とは異なるものにしていった。すなわち、資本の出資社の存在、商業網の開発、技術面での下請けの役割などである。スガン一家は、毛織物を商品としてみるだけでなく、原料の準備、仕上げ、染色等も行うようになる。それは、例えば、その地域の重要な製作、販売の会社であったクレニエ社のためでもあった。¹⁸⁾

弟達も同様であったが、マルクは、家庭内で初等教育を受けた後、パリの評判の高いサント＝バルブ校へ通った。しかし、それは約3年間の不完全で、二次的なものであった。1803年からは、アノネイに戻った。父が革命の終り頃には、仕事を新しくするために、マルクを必要としたのである。パリ滞在中の彼の人格形成に大きな影響を与えたのは、当時、工芸学校の実践者であった大伯父ジョセフ・モンゴルフィエとの行き来であった¹⁹⁾。

アノネイに帰ってから、勤勉で自発的なマルクの性格が、科学や技術に関する野心的な独学の計画を実行させる事になる。独学は主として、当時発行されていた雑誌・マニュアルの類の読書や市内での読書会によってなされた。天与の才能が環境によって花開きはじめる。その背景には、経験に基づいた科学や進取の気性に富んだ技術に対する関心を常に喚起する一家や町の問題といったものがあつた。1818年に27才で結婚するまでの十数年間余暇を定期的な学習のために使う生活が続いていた。この時期の終り頃、彼は書物から得た知識を拡充するために家の中に化学の研究室を作っている²⁰⁾。両親の店での仕事や知的生活とならんで、いとこや知人達の製紙工場へ通っていたが、そこは技術革新と工業化の宝庫であった。1804年から22年まで、いくつかのアノネイの製紙組合との付き合いは欠かさずに行っていた。そこには、サン＝マルセルの新しい工場から、バルテレーミー・カンソンから継続して購入していた英国製の機械まで、彼の興味の対象となるものが総てあつた²¹⁾。1815年、スガン社はその経営戦略の変更を決定した。すなわち、毛織物の販売のために製作をも行うこととした。この選択は、これまでスガン社が築いてきた製造業者との友好関係を自ら放棄することを意味し、財政・販

売に関する組織を根本的に改革せざるを得なかった。アノネイ近郊のサン＝マルクの工場の建設を決めたことは、一家にパリ地方やベルギーといった北フランスへの旅をさせることになる²²⁾。この地方は南のラングドックに比べてはるかによい技術的評価を得ていた。当時ラングドックは、その辺りまでスガン社が販売していた商品の、完成品や半完成品を作るための昔ながらの出入り商人が多くいた地方である。この家族工場は、技術面の責任者であるマルクのもと、その後の2年間で大いに発展していく。製品価格を低く抑えるための、ひとつの大きな仕事はサン＝マルクで効率良く、糸を紡ぎ、織り、生地仕上げるための、機織り機の改良を図ることであった。当時は機織り用の機械は必要な台数すべてを納入業者（例えば英国出身のパリの機械工 ジョン＝コリエなど）から仕入れるのではなく、見本一台を購入し、それをもとに、自らが機械そのものを作っていかなければならなかった²³⁾。このため工場内に、木工及び鉄工用の仕事場を造ったが、ここには、製紙工場で働いていたボイラーや機械関係の優秀な職人が集められた。

新たな事業展開を探し求めるスガン社は、これ以降、毛織物の販売と並んで新たに能力を持った機織り機の製造・販売を手掛けることになる。さらにマルクは、工場内に機械類の動力エネルギーとなる、水車の設置に関する重要なノウハウを手に入れた。1818年から22年の間、彼らの第一の目標は、ごく平凡な機織り機の製作であったが、第二の目標が実現されるようになると地方の技師としての「スガンの長男」の評判は徐々に広がっていった。これと並行して、科学の研究室がサン＝マルクの工場内に移設された。そこでマルクは新しいスタイルをとるようになる、つまり、本格的な工業の研究室のスタイルである。もちろん、それは直接的にはスガン社の染色技術に関する研究のためであったが、鉱物、金属、あるいは地域の企業のための様々な製品に関する化学分析ができるものであった。

スガン一家によって英米流の実利的研究が始まり、砂糖のシロップ、リンゴの粉末や保存用の肉の乾燥法などがこの研究室を経て製品化されていった。しかし、経済的な面からは、ここの活動の中心はあくまで毛織物の製造と販売であった。兄弟によるいくつかの技術的な試みによって、販路は拡大しフランス南西部の広い範囲におよび、1820年代のはじめにはスイスのフランス語圏まで達している。しかし、毛織物の商売は、競争の激化で厳しいものになっていた。特に市民層への綿製品の普及に直面せざるを得なかった。スガン社の経営は停滞し、発展はほとんどなかった。この時期の唯一の成功は「製紙用のフェルト」であった。彼らは製品を改良し、フランス市場でトップの品質を得、国外にも輸出できるようにした。

3 ワイヤーケーブルによる最初の長大吊橋

チェーンケーブルによる、近代吊橋は19世紀はじめに北米で使用され1815年以降イギリスで広がっていった²⁴⁾。イギリスでは、冶金や機械の分野での進んだ技術を用いて、吊橋が発達し、当時の野心的な計画に用いられることとなった。王政復古のはじめからフランスでは技術に関する考え方的一般化、研究や商業に関係したイギリスへの旅行を通して、工業化が促進されていった²⁵⁾。一方、フランス政府も、特に交通の分野でのイギリスの先進性を認めざるを得なかった。土木局 (La direction des Ponts et Chaussées) は、英国の現状調査のために何人かの技術者を送っている。例えば、クロード・ナヴィエは1812年と1823年に、イギリスへの吊橋に関する調査旅行を行っている。土木大学の機械学の教授であり、優秀な技術者でもある彼は、微積分を用いた計算法によって、完全な吊橋の理論的解析法を伴った詳細なレポートを提出している²⁶⁾。これは、技術的な事物のモデル化への初めての応用事例であり、フランス流の応用数学の分野での野心的な企みであった²⁷⁾。後にナヴィエの吊橋の撓度理論として完成する。これは理論的な概念に基づくイギリスのノウハウの再生産である。1823年にはナヴィエによって、パリでチェーンケーブルによる大規模吊橋の計画がなされ、1824年には建設が始まった。しかし、政府の技術者の吊橋に関する認識不足が一因であるが、この橋は完成には至らなかった²⁸⁾。

一方、スガン兄弟は1821年以降、より実利的な方法で吊形式の土木構造物 (ouvrages d'art suspendus) に関心を示していた。それはトゥルノン＝タン間のローヌ河に橋を架ける機会に巡り会ったためであり、また、架橋は技術革新によって新しい市場を開拓することを求めている同族企業の共通した意志でもあった²⁹⁾。その土地の工場の生産能力、より広く言えば、地域の技術システムの分析を通して、イギリス式のチェーンの製作は、ローヌ地方の職人には困難であり、また高価なもので、耐荷力も一定していないことがわかった。地方の土木局の技術者であったプラニョルとの共同で、スガン兄弟は「100本程度の鉄線を平行に束ねて一本のケーブルを形式する方法」を用いることにした³⁰⁾。

1822年をはじめスガン兄弟はローヌ河を渡る吊橋についての書類を完成した。図-3に吊橋の概要を示す。強い流れで水位変動の激しいローヌ河には当時ほとんど永久橋は架けられていなかった³¹⁾。この主要な計画と並行して、国の建設許可を取る前に、彼らは研究室で鉄線についてはじめての一連の実験を行った。さらに、サ



図-1 マルク・スガン

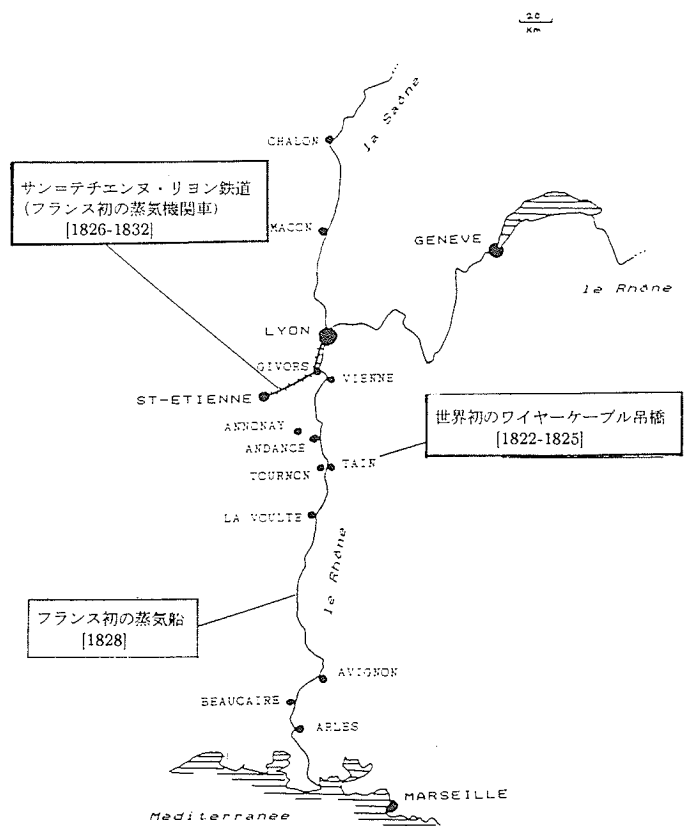


図-2 ローヌ流域におけるマルク・スガンの仕事

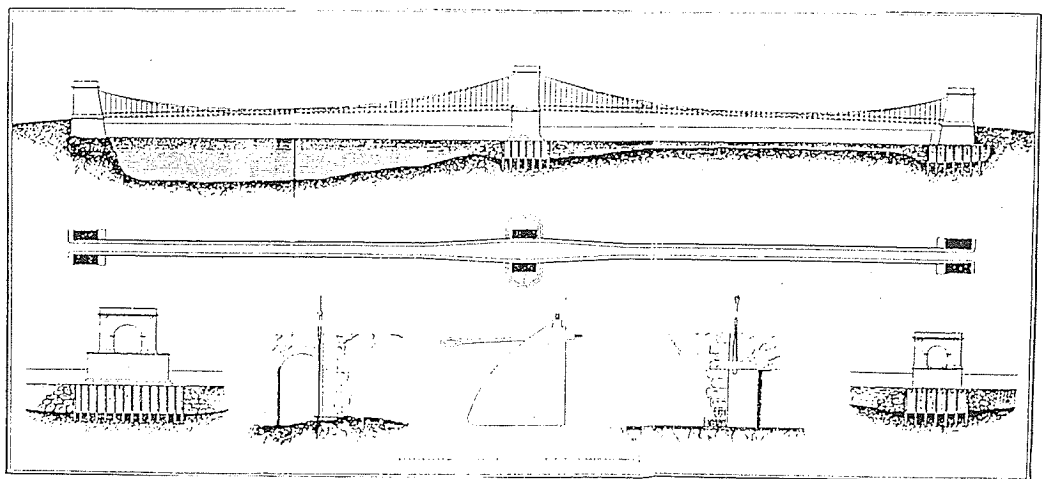


図-3 トゥルノン＝タン橋 (文献33より)

ン＝マルク工場の脇を流れるカンス川の上に歩道の実験橋を造った。はじめ経済上あるいは製作上の理由から選ばれた鉄線は、すぐに鉄棒よりも優れた引張抵抗を示すようになった。製作の過程で鉄線を引き出す際の表面の仕上がり強度に影響すること、また鉄線の直径によってさらには当時いくつかあった製法によって引張抵抗はイギリス製の鍊鉄チェーンの2倍にまで達することが可能であることがわかった³²⁾。図－4はマルクによって示された実験の結果を示したものである。マルク・スガンのこの実験的研究は、彼の本の中でも最も興味ある部分のひとつであり、当時生まれつつあった材料科学への大きな貢献のひとつである³³⁾。彼の事物への接近の仕方は、まずなによりアングロサクソンの世界に共通する私企業人のもつ実利的なものであったが、一方において、特にケーブル張力推定に関する計算では、十分独創的な数学的推定を行っていた³⁴⁾。

フランスでは、ナヴィエの理論的な成果とスガン兄弟の実証的な方法の間でひとつの論争が起こった。この論争は特にリヨン地方では、交通網の発達に大いに寄与するものとなった。これは、互いに関連のある、二つの大きな問題を含んでいた。ひとつは技術の問題であり、他方は政治の問題であった³⁵⁾。マルク・スガンとクロード・ナヴィエの間の議論の中心は、ワイヤーケーブルの使用の実現性についてであった。前者はいくつかの使用許可申請書類を提出し問題提起を行い、後者は、政府の土木局の求めに応じて書かれたレポートで反論した³⁶⁾。論争は1823年秋の科学アカデミーでの両者の意見聴取によって頂点に達した。これを通して、両者とも再考と新たな創造力の刺激を経験することとなり、最終的には吊橋の建設に決定的な改良がもたらされる結果となった。ワイヤーケーブルを用いたより軽い吊橋という新しい考えは、主として、マルクの進むべき道を決定づけた³⁷⁾。政府への吊橋の建設許可申請の要求は、ひとつの吊橋の問題に止まらず、当時のフランスの社会の政治的あるいは社会的な諸々の側面に影響を与えることとなった。すなわち、特に建設事業におけるフランス政府の権限の在り方、官側の土木技術者と民間の土木技術者との間の摩擦、政治的な勢力による自由経済思想の高揚、王政復古政府と地方の間での、特に地方における国土開発の主導権の在り方々々である。スガン兄弟は、最終的には、有利な条件の下で吊橋の建設許可を得ることに成功した。

工事は、橋脚のコンクリート基礎を造るための水面下での矢板締め切りのための杭打ちが1824年春に開始された。河中に直接打設するに十分なラファルジュ氏³⁷⁾が提供した、ターユ産の水硬性の石灰による高品質のコンクリートが生産された。これはタン側の橋台と、その周辺の河床の砂利の中にも用いられ、ついで、最も流れにさらされた岩の上に立てられたトゥルノン側の橋台にも使用された。その秋の大洪水によって、大きな災害をうけはしたが、水面下での工事は良好な条件下で行われた。これらの工事は、杭打ち機、鉄製の浚渫具といった古典的な方法や道具と、釣り鐘型潜水機、コンクリートミキサーといった幾分独創的なものを用いて行われた³⁹⁾。

橋脚と橋台の石造工は、基礎工の続きとして行われたが、接続部の均一化をはかるため、表面の仕上げ石とコンクリートの中心部を結ぶ長い鉄棒が用いられた。この種の構造、つまり鉄筋コンクリートの先駆けといえるような鉄棒を用いた構造物は塔においても使われているが、そこではケーブルによって生じる応力に見合う剛性を作り出すために用いられている。

桁は2面各6本のケーブルで吊られているが、各ケーブルは100本強の直径3mmの直線の束からなり、予め、防錆のためのニスが塗られていた。床板は、U字の断面で剛性を高め、橋軸方向にも、木製の縦桁を歩道部に設けているし、高欄はサン・タンドレの十字と呼ばれるトラス構造で1mごとに縦に入れられた鉄棒で固定されていた。これは、後年ハウがアメリカで特許をとった形式そのものである。

トゥルノン＝タン橋において、新しく多様なアイデアが再構成されたことが見てとれるが、これは、技術革新と呼べるものである⁴⁰⁾。鉄のチェーンの2倍の引張強度をもつワイヤーケーブルにより、桁の剛性を高めつつも軽い吊橋を実現させることが可能となった。これはまた施工法をも変化させ、英米の第一世代の吊橋とは異なる第二世代を形成することとなる。これは急速にフランスをはじめヨーロッパ大陸へと普及していった。そして、多少遅れるが、1840年から60年代のアメリカで第二世代の吊橋の決定的な影響を受けた架橋技術者が登場することとなる。すなわち、エレットとロープリングである。

4 ローヌ河の蒸気船と円筒ボイラーの開発

ローヌ河は、中・下流、つまりリヨンからアルルの間では、その勾配も流れも他のフランスの河と比べて急なことが特長である。一方北部ヨーロッパの各地と地中海を結ぶ唯一の自然の回廊として古来交通の要衝であった。特に19世紀にはいと、その役割は、いっそう重要なものとなっていたので、流れの改善が図られれば、この地域の将来的発展は極めて明るいものとなると期待されていた。しかし、工業化初期のフランスの技術レベルを持ってしては、ベッキーの当初の運河計画は、実現可能なものからはほど遠かった⁴¹⁾。

1817年以降、ピエール＝フランソワ・モンゴルフィエとルイ・デーメ⁴²⁾は、これまでの馬や人力にかわって、土手に設置した固定点から蒸気機関でケーブルを巻きながら船を曳くシステムを作ることを決めた。彼らは特許を取っていたが、長い間計画の段階に止まっていた⁴³⁾。それはローヌ河の流れに対して十分機能し得る蒸気機関がなかったこと、フランスではこの機械に対するノウハウが十分でなかったことによる。

1820年代はじめ、リヨン地方でも蒸気船の利用が取り沙汰されるようになった。しかし、それはリヨンに流れ込むソーヌ河の穏やかな流れに対してであった⁴⁴⁾。英国の機械の完成度の高さ、アメリカでの成功の影響などがこの事業の成功を保証しているように思われた。株式の投機の対象ともなって1825年にスガン・モンゴルフィエ・デーメ社によって、ローヌ河での蒸気船による曳き船の会社が設立された。⁴⁵⁾

その頃すでにトゥルノ＝タン橋の成功の後有名な技術者と見なされていたスガン兄弟は、この事業を成功させるべく、アノネイ地方とパリからの資金面での十分な支援を保証され、新会社の技術部を担当することとなった。この二つの都市には兄弟の一人がほぼ常駐のかたちで住んでいたからである。この事業はローヌ河の交通の大部分を手に入れることになるものであった⁴⁶⁾。各地に散らばった橋の建設やその都度必要となる各地の土木局との工事許可申請への準備といった仕事と比べるとはるかに重要であったと言える。

残された最も困難な仕事は、ローヌ川の航行用に蒸気機関を改造し、麻の長いロープを巻取るための曳航用の船（ルモルクールと呼ばれていた）へ取り付けることである。ロープはヴォルテジュールと呼ばれる小型の蒸気船タグボートによって一方の固定点から他方へと掛け替えられることとなる。英米の実物から着想を得ながら、推進装置の働きを理解し、製作者を選び、ウインチの機構を考え、ローヌ河に適した蒸気船の構造を研究する⁴⁷⁾といったことは、結局会社の技術士⁴⁸⁾にしかできないことであった。

1825年からマルクは高压で膨張機関のついた船舶用の蒸気機関の原理を考えていた。ここでは、互いに120度の間隔で取り付けられた3本のクランクによって連結された主軸の上に力を伝えるための3本のシリンダーを備えている（英国製は2本）。この簡潔な配置によって主軸はほぼ一定の速さで回転することが保証された。この装置は軽く、従って容易に回転でき、始動用の操作ハンドルも特に付けていなかったが、従来のものの中では、最も速い回転数を得ることが出来そうであった⁴⁹⁾。この全体的な着想の正しさは認められていたが、1825年の段階では実現されず、一つの仮説に止まっていた。しかし、それは高い技術を持ったイギリスの製作所には理解されていた。マルクとポール・スガンがマルティノ・テラー社と上記のタイプの装置2台の契約を交わしたのは、1825年から26年にかけてのイギリス旅行中のロンドンにおいてであった。最初の1台が、アノネイ近郊のローヌ河畔の町アンダンスにあるスガン社のドックに届いたのは1826年夏の終わりの頃であった。二人のイギリスから来た職人が、外輪船の型式になったヴォルテジュールの上にこの装置を取り付けた。

1826年の終わりまでの、ローヌ河での蒸気船の最初の一連の試験から直ちに技術上の利点や欠点が明らかになった。スガン兄弟の最初の蒸気船は、機能的には満足の行くものではなかったが、ローヌ河中流のいくつかの区間、特にリヨンまでのぼることが可能であった。リヨンでは好意的な歓迎を受け勇気づけられたし、ソーヌ河にも船を進めることができたが、そこは河の流れも穏やかで航行には適した所であった。しかし、一方でいくつかの問題点も明らかになった。装置は当初の考えていたよりもずっと重かったが、結果的にはそれ以上軽くは出来なかった。大きな理由の一つは吃水の問題があったためである。機械のテストからイギリス製の蒸気機関は高压ではうまくいかなかった。アドミッションの頻繁な修理と蒸気の調節が必要であった。シリンダーの止水性と潤滑性が悪かった。柔軟性という観点からは、旧式の二台の大きなボイラー内での蒸気の生成は量的に不十分であると思われた。モーターの回転速度が期待したよりも微妙に低かった⁵⁰⁾。

リヨン・ヴィエンヌ間の定期旅客運行が1827年2月から3月にかけて試みられた。はじめは希望に満ちたものであったが、一定の旅客数の確保の難しさ、石炭の消費量の増大といったいくつかの欠陥も見えて来た。1827年3月、リヨンの中心部で、競争相手のガイヤール社の蒸気船でボイラーの爆発によって生じた死亡事故が問題を一層複雑なものにした。

スガン兄弟はこれに迅速に対応した。問題解決に向けて1827年中、技術面での改善を行った。主として蒸気の処理を中心とした、機械の一連の小さな改良を積み重ねた。機械を軽くするための部品の研究が行われ、効率の良いものは順次新しいものと取り替えていった。特に重要な変更は、重い鋳鉄の釜を鉄板にしたことであった。このとき、ボイラー内の水中に熱煙を循環させるアイデアが出される。はじめは社内、次いでマルクとパリの専門家の間でこの問題に関していくつかの重要な論議がなされた。蒸気機関の製作であるアラスのハレットにも問い合わせがいった。ついで、イギリスの第一線の技術者と1827年の冬の旅でこの件が話し合われたが、この間スチーブンスン社でリバプール・マンチェスター間の蒸気機関車の建設が公表された。

新しいヴォルテジュールの建造が始まり、夏には完成した。機械部分は最初の船のものを転用していたが、新しい3台の小さなボイラーは円筒ボイラーであった。しかし、この船は最初のものとは比べてそれ程効率の良い

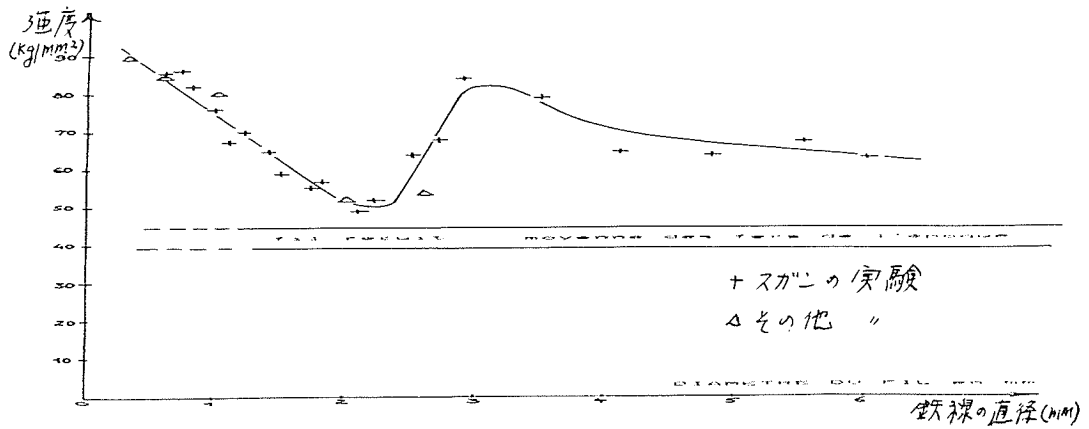


図-4 鉄線の引張り抵抗曲線 (文献29より)

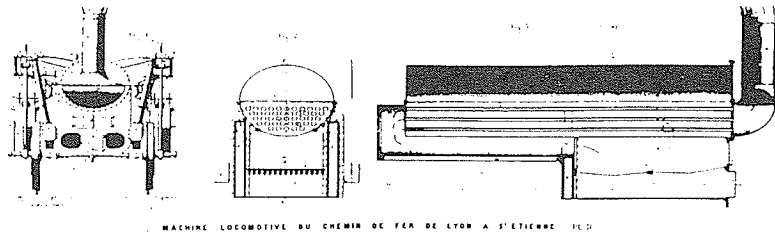


図-5 マルク・スガンの円筒ボイラー (文献68より)

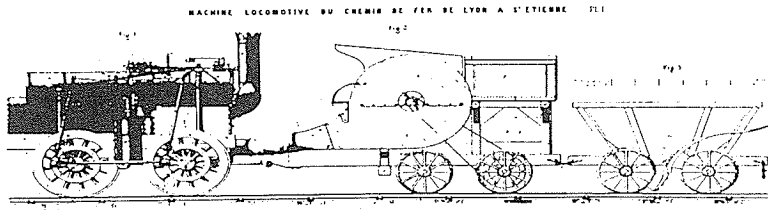


図-6 マルク・スガンの蒸気機関車 (文献68より)

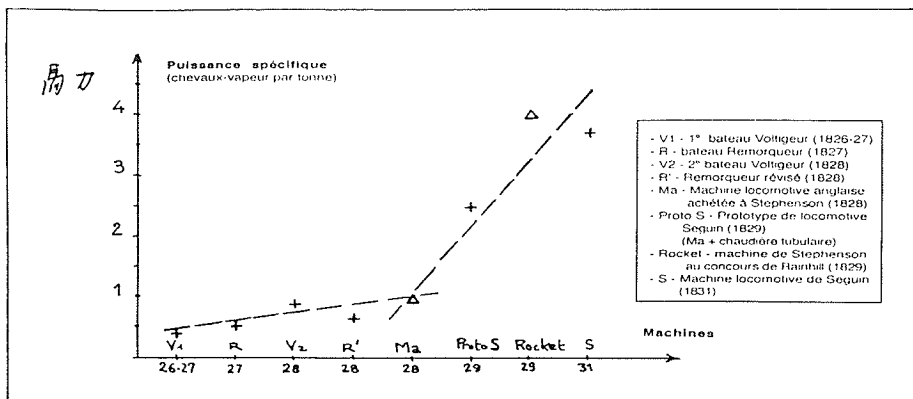


図-7 馬力の変化

ものではなかった。試験航行での速度は十分であったが、石炭の消費が多過ぎ、曳船用ロープの操作は複雑であった。三番目の船で特に改良の効果が表れて来た。これは曳船用の船でマルチノーの二番目の機械を用いたが、これは一番目のものよりは馬力が弱かった。1827年の終わりに平底船の曳航のテストがジヴォール・リヨン間で行われ12回とも順調で機械的な事故はほとんどなかった。

しかし、株式による資本は、これらの標準船の建造と試験のためにその90%を費やしてしまった。1826年春と夏の技術的な成功にも関わらず、決断を迫られる時がやってくる。それは、会社の売却という避けられない道を辿りながらも、激しく複雑なものであった。ポールの指導の下、最後の予算がいくつかの試験のために使われた。そのうちの2つの試験によってアルルからリヨンまでのローヌ河上りが無事成功した。この結果ルモルクルのエンジンが多くの石炭を消費する割には、牽引力が弱いことが判った。いずれにしても、利潤追求という点では壁に直面することになる。計画続行に関する株主間の軋轢やスガン兄弟の考え方に対する不信からサン＝テチエンヌ・リヨンの鉄道を競売にかけるとなったし、1828年から29年にかけての冬の蒸気船の売却につながっていった⁵¹⁾。

機能的に十分満足できる実験用円筒ボイラーの使用は、1827年12月にはじまったが、ローヌ河での機械の使用にいくつかの反省を必要とする結果となった。しかし、曳航が困難であるからこそ、マルクは会社のためにこの研究を続けた。最初の研究のときから、彼は発明特許を求めている⁵²⁾。ボイラーは煙用の40本の管が水の中に設置されていた。材料は鋼でリヨンのボイラー職人によって作られ、この金属の使用にはこの地方の上質の技術力がそそぎ込まれていた。軽く、小型で、すぐに機能するこの装置は曳航に対する技術的問題を、恐らく解決するであろう。しかし、いくつかのグループの非難があり、マルクはこの装置を鉄道用の機関車にのみ適用することとなる(図-5)。

5 リヨン・サン＝テチエンヌ間の鉄道建設

蒸気船の事業への参加にも拘わらず、1825年秋のはじめ鉄道への興味を呼び起こす二つの「要求」がスガン兄弟に起こった。第1の要求はパリの物理学者ジャン＝バプティスト・ビオのサン＝テチエンヌの炭田地帯とローヌ溪谷の間を結ぶ鉄道の可能性の調査のための請願であった。技術者ボーニエによってはじめられた有望な鉱床の広がる地域の開発計画であった。ロワール河のアンドレジュまでの約20kmの最初の区間が建設されようとしていた。第2の要求はサン＝テチエンヌの炭坑へ直接達する道を探していたジヴォールの石炭商人たちから出たものであった。彼らはサン＝テチエンヌとリヴ＝ドゥ＝ジュールを結ぶジヴォール運河の独占を打ち破ることを求めている⁵³⁾。テールノワールの山といくつかの起伏のある地帯のためジヴォールとサン＝テチエンヌを直接運河で結ぶことは不可能と考えられていた。はじめ、スガン兄弟は、経済的、工業的な側面から検討することを受け入れた。1825年から26年にかけても冬の間、英国への旅を行いダーリントンの鉄道を訪れている。帰国後、政府への工事許可申請によって、すぐに公式の最初の行動がとられ、国会でも取り上げられた。ジヴォール運河社の反対にも拘わらず、彼らはすぐに営業権を落札してしまった。

1826年春のことであるが、それは彼らが考えた以上に容易なことだったようである。なぜなら、彼らの示した運賃は極めて安いものであった。1 t・kmあたり9.8サンチームという当時では破格の値段であった⁵⁴⁾。なぜマルク・スガンは開発のはじめに重荷となるような財政上の約束をしたのであろうか。それは、特に石炭等の重い荷物を集中して輸送する鉄道によって経済的發展を誘発するという意図的な選択であったことを強調しておくべきであろう。「鉄道の本質的な目的と最大のメリットは、重量のかさむものや一般的には小さいが本来高価なものを迅速に低価格で輸送することにある。基本的な存在の条件は、競合する他の交通方法と比較し、安い料金のときのみである。」⁵⁵⁾ これはひとえに、旅客のための路線という新しい経済的な選択であった。同じ選択が少し前にリバプール・マンチェスター間で検討されていた。はじめはサン＝テチエンヌからローヌへの石炭の積み出しのルートであったが、落札時にはジヴォールとリヨンの間は河に沿って鉄道が敷設されることになった。はじめの計画に論理的な考えがつけ加わった。つまり、都市圏間の接続である。しかし、この決定は船の曳航のための会社、つまり、もうひとつのスガン社にとっては満足のいくものではなかった。まだ、スガン兄弟には60km弱、鉄道の路線選定や施工法といった技術的検討が残っていた。新しい会社による資金的、あるいは法的な面での問題もあった。資本金は1000万フランで、資金は政府による委員会と年2回の株主総会にコントロールされていたが、実際の運営は、はじめの会社から出たスガン兄弟とビオの5人の経営陣が中心であった⁵⁶⁾。路線は土木局と政府の承認に従わなければならない。最初の計画書が1826年夏に出されたが、計画に直接関与した物理学者ビオと義理の兄弟バルナベ、ブリソンという二人の有力な専門家の技術的アドバイスがついていた。

ビオは測量学で有名なアラゴの下で、フランス革命とナポレオン帝政の間、パリの南とスペインの子午線の測量に関する報告書を出している。彼はこの問題に関しては恐らく生存している中で最も優秀な専門家であったと思われる。ブリソンは1821年から22年の運河網の計画の技術的中心人物で、路線の決定に多くの経験を持っていた。彼は土木局の第2位の地位を占めていた。計画書は質の高いもので、すぐに政府の許可が得られた。それは意図的で全く新しいものであった。上下線同時に利用できる複線とするため長い区間に渡って等勾配の原則が守られ⁵⁷⁾、カーブも規則的で極力急なものを設けていない。短い急勾配な場所に貨車を引くための固定式の機械を設けるという考えにはじめからとられなかった。また、同時に、水平のカーブと等高線に沿った路線の選定もしなかった。ただし、このために橋梁、トンネル、切盛土等は少なくはなかったが、蒸気機関車が走りやすい構造となっていた。この計画と路線選定は、リバプール・マンチェスター間の鉄道と同じくらいに現代的なものであった。イギリスと比較して、より困難な地形であったが、これに対しても十分なものであったといえる⁵⁸⁾。すでに言及したように、スガン兄弟は1827年はじめ、英国を訪れている（マルク本人は英語が喋れないが、弟たちをはじめ通訳がいたようである）が、そこは英仏の技術者が意見を交換するのには良い所であった。マルクは、当初の計画における選択の正しさを確かめて帰国した。例えば、カーブは、半径500mよりも小さくしないというのは、ステーブソンと全く同じものであった。最終案では、いくつかの付随的なトンネルと切盛土に関する選択があった。トンネルの計画は、大胆なものであり、10以上の小さなものと、3つの大トンネルから成っている。ミュラティエールからリヨンへ抜ける特に岩の硬い所、リヴ＝ドゥ＝ジュール近くのワゾン、そしてテールノワールの本路線最高点から1.5kmの地点の3つである。英国の例に従って圧延鋼によるレールが、クルーズにある新しい圧延鋼のための工場で作製されることとなった。そこは、フランスに移り住んだマムビーやウィルソンといった英国人の企業家たちによって、最近大きな製鉄地帯が形成されていた⁵⁹⁾。ジヴォールからリヴ＝ドゥ＝ジュールまでの全体の半分の区間の線路の工事は1827年に開始された。

この区間は、小さな土木構造物の建設も伴うため、必ずしも最も容易な所ではなかったし、ジヴォール運河がすでにあるので、交通上不可欠なものでもなかった。それはまさしく、容赦ない競争原理の導入を早急に行わせることによる独占の破壊のためであった。この区間は、1830年6月に完成し、供用が開始された。それに続く数カ月は危機的なものであった。7月革命によって生じた事柄は地方政治に変化をもたらし、その反響はこの企業にも財政上の困難をもたらした。路線沿いの土地が投機の対象となっていた。年末には資金的な困難に直面することとなった。会社の資金は底をついた。株式の再公開を行ったが、それ程効果がなく、料金の一時的な値上げを検討したが、政府から認められたのはシヴォールからサン＝テチエンヌ行きの貨物のみ（反対方向は石炭の輸出となるため）であった⁶⁰⁾。

かつての政治的、行政的支援を失ったスガン兄弟の立場は微妙なものであった。彼らは、多くの収用に関する裁判に耐えなければならなかった。ついで、彼らが失った財産についての裁判があった⁶¹⁾。工事を続けるための現金にこと欠いていたし、会社の委員会は継続を躊躇し、批判し、スガン兄弟に反論するようになった。しかし、彼らは一方では、沿線で行くつかの大規模な投機に加わっていた。

それにも拘わらず、リヨンとサン＝テチエンヌ方面の最後の2区間は予定の期間内で完成し、1832年のうちに全線開通となった。

6 サン＝テチエンヌ・リヨン鉄道の蒸気機関車

大きなカーブばかりになる等勾配の路線選定は、はじめから蒸気機関車による牽引を考えたものであった。株主に対するはじめの報告書においても、詳細な見積りの示された設備計画で特に、「35台の機関車は、ニューカッスルのステーブソン氏の工場において制作されるもの」⁶²⁾となっていた。しかし、リヴ＝ドゥ＝ジュールとサン＝テチエンヌ間の20km程の区間で、280mの高低差を通過しなければならない地点で、英国の初期のどの鉄道もそのような勾配の経験がなく、実際に英国の機関車を直接持って来たただけでは、解決できないと予想された。サン＝テチエンヌ・リヨン鉄道における最大の挑戦のひとつが始まった。当初のマルクの計画では、この難関の解決のために十分と思われる額の予算を確保してあった。なぜなら、当然ながらレールとの摩擦力や、馬力から考えて、これ程の勾配を現在の機関車が登るだけの能力があるという考えに疑問を持っていた。1826年はじめ、船に使われている方法の応用でチェーンで機関車を引く方法か、路線の全体構造からは矛盾するが固定動力を用いるかの選択に直面していた。しかし、スガン兄弟は、当時の技術的進歩を視野に入れつつ未知の解を実験し、技術革新を行う自らの能力を信じていたという点を強調すべきであろう。「我々の大きな関心のひとつは、蒸気機関の進歩の速さである。…それは、徐々に固定動力にとってかわるであろう」⁶³⁾ 1827年の旅行以降、スガン兄弟は2台の機関車と10台の貨車をステーブソン社に注文した⁶⁴⁾。当時の最も優れた

モデル（つまり英国製）を導入し、フランスで再生産するという、スガン兄弟のあるいは広い意味では時代の技術移動という考えが選択された。そのために、英国からスガン兄弟が連れてきた東北フランスのアラスの機械工ハレットとの間に一つの協定が結ばれた。すなわちスティブンソンの機関車の一台を直接ハレットの工場へ搬入するというものであった。このことが将来の新発明に対する人々の誤解を招く要因となる。ただし、アラスがリヨンから遠いこと、円筒ボイラーはそのころすでに造られていたことからこの発明（円筒ボイラーによる蒸気機関車）がアラスでなくリヨンで兄弟自らによって造られたことは明らかである（図－6）。

1825年から26年にかけての冬の実演として知られるスティブンソンの選択は直接的に関連があるが、それをコピーした、「最初の外国の客」の能力をスティブンソン自身よく知っていた（図－7）。もし貨車の配送より早ければ機関車はもっと多くを牽引したであろう。1828年7月の終わりにリヨンで受け取った、2本の鉛直のシリンダーと平衡桿によって技術的な問題は乗り越えられようとしていた。輸入された機械が使われたこの高性能の装置は、はじめの試験から十分満足のいく結果を与えた。しかし同時に馬力には多少不満が残った。スガン兄弟はさっそく円筒ボイラーの独創的改良に乗り出した。

この機械の改良は1829年1月には終わっていた。試験結果は格段に向上し、サン＝テチエンヌまでの空の貨車の直接牽引が可能であると考えられた。1829年から30年にかけて、スガンはこの基本モデルからいくつかのものを作り出した。鉛直シリンダーと平衡桿、円筒ボイラー、釜への空気の圧力装置等がそれである。特有の馬力をもって1829年秋の伝説的なレインヒルの勝者となった有名なスティブンソンのロケット号に匹敵する水準をそなえていた⁶⁵⁾。しかしシリンダーとモーターの力を伝える機構の設計の点で機械的には、機能性が劣っていた。また、両者の開発の目的が全く同じものではなかったことにも注意を払う必要があるだろう。スガン兄弟の目的は重量のある貨物の大量輸送であり、リバプール・マンチェスター間の目標は旅客の高速輸送であった。スティブンソンはロケット号の機関車の標準とされる統一的なタイプを完成させた⁶⁶⁾。これに対してスガン・タイプは、機械効率の良いもので1830年以降急速に標準型となっていく⁶⁷⁾。

「蒸気機関」そのものが、急速に動力の主役の座から落ちていく中で、「円筒ボイラー」のみが生き残る道はなかった。しかし、このアイデアは原子力発電におけるジェネレーターとして使用されている。

ニューカッスルの会社が英国モデルの何度かの改良の流れの中でいくつかの機関車の製作と研究を行ったのに対しスガン・モデルは若干の修正があったのみである。1830年代後半からのすぐに過密になっていった営業運転において、4台の機関車の使用は、一方でもう一つの明らかな問題に直面した。つまり維持管理である。会社は運営において、財政的、人的問題に苦しんでいた。委員会では、機械の拡充は最後に考えるべきで、彼らにしてみれば、馬を借り上げる方が容易なことであった。マルクがリヨン・サン＝テチエンヌ鉄道の経営から退いた数年後の1835年の時点でさえジヴォホールまでの下りは馬車、それから蒸気機関車という併用システムが使われていた。

7 おわりに

本文は、著者の一人（コット）のマルク・スガンに関する一連の科学史的研究の概要をまとめたものである。フランスに限らず、産業革命は交通革命と表裏一体のものであり、フランスにおいてこれに最も寄与した人物のひとりが、マルクである。

ワイヤーケーブル吊橋の開発はフランスに留まらず、ヨーロッパ全体の交通体系の変更をもたらした。フランスへの鉄道の導入はフランス人のライフスタイルを根本的に変えることとなった。本文がこれまであまり知られることのなかったマルク・スガンとその時代の理解の一助となれば幸いである。

注釈及び参考文献

- 1) ルイ 18 世 (1815-1824) とシャルル 10 世 (1824-1830) の治世。
- 2) ルイ=フィリップ (1830-1843) の治世。
- 3) 例えば George R. TAYLOR: The Economic History of the United States of America: The Transportation Revolution, vol. 4, New-York, 3rd ed. 1958. 最近のものでは, Rich SZOSTAK: The rôle of Transportation in the Industrial Revolution, Mc Gill Q. U. P. Montréal 1991.
- 4) Michel COTTE: "Les mutations dans les travaux publics français et les ingénieurs de la Restauration" *Ambianti e tipologie dell'industrializzazione* ed Einaudi. (印刷中)。
- 5) 学校は、道路、橋梁、運河、河川航行、交通一般のための国の機関であった。各学科には専門の技術者と技能者が配属されていた。
- 6) Antoine PICON: L'invention de l'ingénieur moderne: L'École des Ponts et Chaussées, 1747-1851. Presses ENPC, Paris 1992. また同校の関係については、次のものが詳しい。栗田啓子: エンジニア・エコノミスト, 東大出版会, 1992.
- 7) 例えば、アンシャン・レジューム下でロンドンでのフランス製の綿製品を買うため, Serges CHASSAGNE, *Oberkampf und entrepreneur capitaliste au siècle des Lumières*, Paris Aubier-Montaigne, 1980.
- 8) アンシャン・レジューム下のフランスのプロテスタントや、アイerlandのカトリック革命の間の貴族など。
- 9) 1789 年以前の絶対王政下では商業も活発ではなかった。
- 10) 1791 年 6 月 14 日のシャペリエ法。
- 11) 1791 年 1 月 7 日と 5 月 25 日の法令。
- 12) 工芸学校は 1794 年創立。それについては次の二つの文献がある。Claudine FONTANON: "Les origines du Conservatoire des Arts et Métiers"; Robert FOX "UN enseignement pour une nouvelle ère: le Conservatoire des Arts et Métiers", *Les cahiers d'histoire du CNAM*, 1992-1.
- 13) Louis BERGERON: Les hommes d'affaires au temps des Lumières in Michel Vovel *L'uomo dell'illuminismo*, ed. Laterza 1992. "Culture de l'entrepreneur et innovation dans l'industrie", *Le culture della tecnica*, 1. 1992.
- 14) マルクは長男で、カミュー、ジュール、ポール、シャルルの 5 人兄弟。ただし、若くして物故したテレーズの夫ヴァンサン=ミニョも忘れてはならない。
- 15) 19 世紀はじめ、この小さな町は一族の所有するいくつかの有名な製紙会社があった。例えば、モンゴルフィエ、カンゾン、ジョアノ等。
- 16) フランス語の母音の発音の微妙さがその原因の一つであろうが、セガン(Séguin)、セガン(Séguin)だけでなくセカン(Séquin)と書かれたものもある。最後のものは明らかに誤記であるが、かなり古い文献に誤記があったのではないと思われる。例えば、Timoshenko (最上武雄監訳): 材料力学史, 鹿島出版会, 1974 年、あるいは藤井師夫編: 橋梁年表史, (株) 海洋架橋調査会, 1991 年。
- 17) 妻は、アノネイの有名な製紙業者で発明家、ジョゼフとエティエンヌ・モンゴルフィエの姪にあたる。
- 18) アルデッシー県所蔵古文書 41J/130: 彼らの得意先グレンニエ社は当時毛織物のリヨン地方の中心地ヴィエンヌにあった。
- 19) ジョゼフ・モンゴルフィエは、弟エティエンヌと共に 1873 年熱気球 (フランスではモンゴルフィエと呼ばれる) の発明者。Charles C. Gillispi: *The Montgolfier Brothers and the invention of Aviation*, Princeton U.P. 1983.
- 20) マルクの初等教育と独学については, Michel COTTE: *Sur la formation initiale et l'autoformation de Marc Seguin, L'innovation technique chez Marc Seguin*, Thèse en cours, chapitre 2. がある。
- 21) Luis ANDRÉ: "La papeterie en France, 1799-1860", aspects d'une mécanisation, Thèse Paris 1, 1993.
- 22) アルデッシー県所蔵古文書 41J/56 旅行レポート。
- 23) アルデッシー県所蔵古文書 41J/178.165 1815 年から 19 年にかけてのスガン社の手紙コピー。
- 24) 例えば, Emory KEMP: "James Finley and the modern suspension bridge", *Long Span Suspension Bridge: History and Performances*, A.S.C.E. National Convention 70-78, Boston 1978, p.1-31; Emory KEMP: "Samuel Brown Britain's Pioneer Suspension Bridge Builder", *History of Technology*, London, 1977, p.1-39.
- 25) Michel COTTE: "Circulation de l'information technique et innovation: quelques exemples (France début 19^o)", *Le Culture della tecnica*, 2, torino, en cours de publication.
- 26) Claude NAVIER: *Rapport et mémoire sur les ponts suspendus*, Paris 1823, 2^o éd. 1830.
- 27) Amy DAHAN DALMEDICO: *Mathématisations: Augustin-Louis Cauchy et l'École française*, Blanchard, Paris, 1993.
- 28) 1821 年から 22 年にかけての大規模な運河計画が遅れ、資金的にも困難なことがわくと、吊橋は数年後には見直されることになる。バルザックの「村の司祭」では、この間のことが話題となっている。
- 29) Michel COTTE: Seguin et Cie (1806-1824), du négoce familial du drap à la construction du pont suspendu de Tournon-Tain, *History and Technology*, vol. 6, p.95-144, 1988.
- 30) このアイデアの起源と影響については, Michel COTTE: "L'innovation technique chez Marc Seguin" に詳しい解説がある。
- 31) リヨンから地中海までの約 300km の間には、リヨン市内のギョティエールの石橋とモランの木橋の他にはボン=サンテスプリの石橋とアヴィニヨンの木橋しか橋はなかった。
- 32) 英仏の当時の文献では、棟鉄の引張破壊強さは平均 40 kg/mm^2 としている。一方スガンは、1822 年の末に、フランス、ジュラ地方で製作された直径 3mm の鉄線は 70 kg/mm^2 であることを示している。デュフォールもジュネーブでスイスの鉄線について同様の結果を得ている。
- 33) SEGUIN Aimé [Marc]: *Des ponts en fils de fer*, 1824, 2^o éd. 1826; il étudie également les allongements progressifs sous la traction avant la charge de rupture.
- 34) Michel COTTE: "L'approche mathématique du pont suspendu chez Marc Seguin, 1822-1826", *Revue d'Histoire des Sciences*, XL VI/2-3, p.233-257, 1993.
- 35) 詳しくは, Michel COTTE: *Pour une approche détaillée des enjeux*, *History and Technology*, 1988.
- 36) アルデッシー県所蔵古文書 41J/27. 1822 年 5 月には歩道橋, 1822 年 11 月には、重量の重い馬車の通れる橋の計画という二つの連続した計画があった。
- 37) 初めて一般に供用されたこのタイプの吊橋は、マルクの研究に従ってスイスの技術者でデュフォールによって、1823 年ジュネーブで建設された。Tom F. Peters: *Transitions in Engineering: Guillaume H. Dufour and the early 19th Century cable suspension Bridges*, Baselm, London, 1987.
- 38) ローヌ渓谷のはじめの数橋の吊橋に用いられた水中コンクリートの成功は 19 世紀に発展したラファルジュ社によるものである。この会社は、現在でもセメントの分野では上位の多国籍の企業である。
- 39) Michel COTTE: *Le système technique des Seguin*, *History and Technology*, vol. 7-2, p.119-147, 1990.
- 40) USHER, A History of Mechanical Invention, Harward U.P., 1954.

- 41) ロースの中、下流での運河建設は大規模な発電及び灌漑計画とともに1950年から80年にかけて行われた。
- 42) 前者はジョセフ・モンゴルフィエの息子、後者はアノネイの資産家。
- 43) アルデッシュ県所蔵古文書41J/284と294。1817年にモンゴルフィエ・デーメの特許が与えられているが、同様のアイデアはいくつかあり特にトゥラスとメンによるものがある。
- 44) アンシャン＝レジュームの時代からソーヌ河での蒸気船の使用がジュフロワ・ダバンによって試みられた。彼は、1816年から19年にかけて再び試みたがいずれも大きな成功は得られなかった。
- 45) Félix RIVET : La navigation à vapeur sur la Saône et le Rhône (1783-1863). Paris, 1962. または、ESCUDIER, COMBES, PAYEN : Vapeurs sur le Rhône: histoire scientifique et technique P.U., Lyon, 1991.
- 46) 例えば、トゥルノンの吊橋は19万フラン、蒸気船による曳き船の会社は最終的には資本金1千万フラン、1年間の交通は6百万フランになる。
- 47) SEGUIN Aîné : Mémoire sur la navigation à vapeur, 1828. これは、科学アカデミーへの、急流における船の水の動力学に関するレポートである。
- 48) 中心は、マルク、ポールのスガン兄弟とビエール＝フランソワ・モンゴルフィエ。
- 49) アルデッシュ県所蔵古文書41J/290. Notice imprimée de la Société de halage à la vapeur 1825 ; 41J/109-1, Documents préparatoires de l'Assemblée générale constitutive, août 1825.
- 50) 毎分20回以上の予定にに対して、15から17回。
- 51) Michel COTTE : Les bateaux à vapeur des Seguin et la navigation sur le Rhône, in Alexandre HERLEA, Science-Technology Relationships, San Francisco Press, p.356-372, 1993.
- 52) 10年間の発明特許が1828年2月22日スガン社に与えられる。
- 53) リヴ＝ドウ＝ジュールはロワール県の炭田地帯の東南の端に位置し、いくつかの鉱床を持っていた。運河による積出しが可能で、18世紀中葉までに集中的な開発が行われたが1820年、その需要が高まった頃にはすでに枯渇し始めていた。
- 54) サンチーム/t kmの単位で、当時陸上交通を用いて25から32、ジボール運河で、20から30、ローヌ河で13.5から25、アンドレジュの鉄道で23から37であった。
- 55) SEGUIN Aîné : Compte rendu aux actionnaires du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, p.2, avril 1826.
- 56) ビオははじめ息子のエドワールも入れようとしたが、スガン兄弟によって排除された。
- 57) 勾配はリヨン・ジボール間でほとんどなく、ジボール・リブ＝ドウ＝ジュールの間で0.57%、リブ＝ドウ＝ジュールとサン＝テチエンヌの入り口の間に1.35%であった。
- 58) Mickael BAILEY : George Stephenson Locomotive Advocate : The Background to the Rainhill Trials, Transactions of the Newcomen Society, n° 52, p.171-179, 1980-1981. リバプール・マンチェスター間の路線の選定の経緯は極めて複雑である。機関車の参考のためのはじめのいくつかの計画は1824年秋になされたが、スティブソンによる最終案は1826年夏にようやく出している。
- 59) アルデッシュ県所蔵古文書41J/188と177. Le marché est conclu le 8 juin 1827.
- 60) ロース県所蔵古文書XIIIS44. Ordonnance royale du 16 septembre 1831. リヴ＝ドウ＝ジュールまで12サンチーム/t kmその後13サンチーム。
- 61) ロース県所蔵古文書XIIIS44.
- 62) SEGUIN Aîné : Compte rendu aux actionnaires du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, p.29., avril 1826.
- 63) 国立古文書館蔵F14-9031, SEGUIN frères : Mémoire manuscrit de préparation de l'Assemblée générale des actionnaires du chemin de fer, 4 décembre 1826.
- 64) アルデッシュ県所蔵古文書41J/272と33. Ferdinand ACHARD et Laurent SEGUIN : The first British Locomotives of the Saint-Étienne-Lyon Railway, Transactions of the Newcomen Society, vol.7, p.63-80., 1926-1927.
- 65) 二つの機構の正確な比較は Jacques PAYEN : La machine locomotive en France, P.U.Lyon, chapitre III, p.49-68., 1988.
- 66) M.C.DUFFY : Technomorphology and the Stephenson Trac-tion System, Transactions of the Newcomen Society, vol.54, p.55-78., 1982-1983.
- 67) Michel COTTE : L'apport technique de Marc Seguin à la navigation à vapeur et au chemin de fer, Colloque C.N.R.S.de Firmin, 1992.
- 68) ミュールーズ工業会資料：リヨン・サン＝テチエンヌ鉄道について, 1831.