



Kobe University Repository : Kernel

タイトル Title	蒸気機関とスチームシップ(Steam Engines and Steam Ships)
著者 Author(s)	杉田, 英昭
掲載誌・巻号・ページ Citation	海事資料館年報,15:11-23
刊行日 Issue date	1987
資源タイプ Resource Type	Departmental Bulletin Paper / 紀要論文
版区分 Resource Version	publisher
権利 Rights	
DOI	
URL	http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/81005747

Create Date: 2017-12-17



蒸気機関とスチームシップ

杉 田 英 昭

1. まえがき

ロンドンの科学博物館 (Science Museum) (図1)に入ると、先ず目に付くのが1階ホール中央に設置されている蒸気機関である。これは、700馬力の船用三段膨脹機関 (三連成機関ともいう) で、1890年から1950年までの60年間もの長い間船用主機として使用されていたとはとても思えないほどピカピカに磨かれており、モータによって定格回転数118rpm (revolution per minute, 毎分回転数) よりもかなりゆっくりとした速度で回転している。蒸気配管をすれば多分蒸気で立派に動くだろう。

一方、このホール右側の壁際には10馬力と12馬力の2台のワット機関が置かれている。1788年と1797年製のもので、さすがに年代を感じさせる黒

っぱいくすんだ色をしている。両者ともかなり大きい機関で、年代の古い方がシリンダ径48cm、ストローク1.22m、そしてフライホイールの径が4.80mもあり、ワットの回転機関に対して有名な大直径の遊星歯車と、あのワットのガバナが非常に印象的である。

また、反対の壁際には対称的に大気圧機関が置かれているのが面白い。これはニューコメン機関の改良形で1791年につくられたものである。シリンダ径1.45m、シリンダ長さ3.35mそしてストローク2.16mと大変大きく、揚水量などから計算すると25馬力に相当する出力を出したそうだ。

筆者は2年前の1986年3月から11月までの8ヶ月間、在外研究員としてロンドンに滞在していたが、ロンドン市内北のヘンドンにあるフラットから研究先のインペリアルカレッジまで毎日地下鉄を利用して通っていた。カレッジは地下鉄のサウスケンシントン駅から徒歩で約10分の距離にあり、その途中にこの科学博物館がある。さらに軒を連ねてという感じで自然史博物館 (Natural History Museum)、地質学博物館 (Geological Museum) そしてメイン道路を隔ててビクトリア・アルバート博物館 (Victoria & Albert Museum) と4つの博物館がこのあたりに集中している。したがって、暇を見つけてはカレッジを抜け出してこれらの博物館へよく足を運んだものだが、特に科学博物館は蒸気関係の展示品が多く、最初に述べた蒸気機関の他にトレビシックが“Catch me who can”という宣伝文句と共に1808年に開催した興行に使ったであろう蒸気機関車 (約1803~1808年)、リバプールとマンチェスター間を走った有名なスチーブンスンの蒸気機関車“ロケット号 (Rocket)” (1829年)、ボイラ・蒸気機関・復水器の三者を見事に小形化して乗用車に組み込んだスチームカー (1903年)、最初のタービン船“タービニア号”に搭載されたパーソンズタービン (1894年) 等々に感動し、ここへ来るた



図1. ロンドン科学博物館の玄関
入口は意外に狭いが中は大変広い

びに写真を撮り、説明文を手帳に写しているものだから顔を覚えられていかめしいガードマンと眼が合うとお互いになっこりする間柄になってしまった。

イギリスは産業革命発生の地であり、その原動力となった蒸気機関はイギリスで生まれイギリスで育ったので、その遺物が数多く残っているのは当然である。しかしそれらを博物館としてきちんと子孫に残しているのが見事である。グリニッチの国立海事博物館（National Maritime Museum）やリバプールのマーサイド海事博物館（Merseyside Maritime Museum）、動態保存で有名なヨークの鉄道博物館（Railway Museum）、ニューキャッスルの科学工学博物館（Museum of Science and Engineering）等へも見学に行ったがそれぞれの博物館の展示品に感動し、期待を裏切られることはなかった。また、ケンブリッジの郊外へ行ったときその地区で使っていた古いボイラと蒸気機関を博物館と称して保存し、市民に開放していたが、こういう例はイギリス国内にはいくつもあるらしい。

当然こういうことは何も蒸気機関に限ったものではない。かの大英博物館（British Museum）も無料で入館できるようにしているとは何と素晴らしいことだろう。

さて、蒸気機関は早々に自動車の分野からは姿を消したが、船用および鉄道用としては長い間主役の座を占めていた。しかし新しい原動機の出現によって蒸気機関が今世紀半ばにその主役の座を追われたことはまだ記憶に新しい。

ところがこの蒸気機関は蒸気タービンに姿を変えて現在まで力強く生き続けている。特に火力発電所や原子力発電所のような大出力が要求される分野では蒸気タービンの独壇場である。現在、蒸気タービン 1 基で約1200MW（120万キロワット＝164万馬力）もの出力を出すことができる。一方、船用では1973年の石油危機以来ディーゼル機関の驚異的な性能向上（最近では熱効率が50%を越えるものが出現している）によって蒸気タービンの占める位置が急速に狭まれてきている。最近では石油燃料を使わない LNG 船（LNGは液化天然ガス）、石炭だき

船、原子力船など特殊な船舶に蒸気タービンが主に使われているが、今後の世界のエネルギー事情の変化によっては再びディーゼル機関と競合する日が来るであろう。

いまここで、蒸気機関の発明から、船用主機への適用すなわちスチームシップの出現、そしてさらにそのスチームシップの発達してきたプロセスを振り返って見ることによって、将来のスチームシップの姿をかい間見ることができるのではないだろうか。

2. 蒸気機関の発達

蒸気機関（steam engine）とは一般に蒸気往復動機関（steam reciprocating engine）のことを指している。この蒸気機関を蒸気によって作動する熱機関と解すると当然蒸気タービン（steam turbine）もこの中に含まれるはずだが、ふつう蒸気タービンとは区別している。「蒸気機関」という用語は、1719年に印刷されたニューコメンが最初につくった機関の説明図（図2）に初めて出てくるが、当時は「火力機関（fire engine）」という呼称が一般的であったらしく、その50年後の1769年にワットが特許申請したときも「蒸気機関」ではなく「火力機関」という語が使われている。

ピストンがシリンダ内を往復運動する機関、すなわちレシプロ機関は蒸気機関の他にディーゼル機関やガソリン機関のような内燃機関に対しても該当するが、われわれがふつう「レシプロエンジン」とか「レシプロ船」とか呼んでいる対象は蒸気機関である。しかしこれは船舶に関係する者の独断で、内燃機関でも「ロータリーエンジン」と区別するために「レシプロエンジン」と呼称する場合があるので、用語の使用については十分注意しなければならない。

また、「蒸気」という文字についてであるが、水蒸気に対して以前は「蒸汽」という文字を使って水蒸気以外のいわゆる「蒸気」とは区別していた。しかし、使用漢字が制限される現在では水蒸気を単に「蒸気」と書いて「蒸汽」の文字は用いられていない。その代り、一般の蒸気

に対してはふつうその物質を明示して、たとえば「フロン蒸気」と書くようになっている。英語では周知のように、一般蒸気に対して「vapour (英), vapor (米)」の単語を使い水蒸気 (water vapour) に対しては「steam」の単語を使っている。

一方、スチームシップ (steam ship) に対し

ては「蒸気船」または「汽船」という文字を使い、「気船」とは決して書かない。筆者の偏見かも知れないが「蒸気船」というとペリーの黒船以来のいわゆるレシプロ船のイメージが非常に強く、近代的なタービン船のイメージがどうしても浮かんでこない。そこで本文のタイトルに「スチームシップ」の語を使用したのは、タ

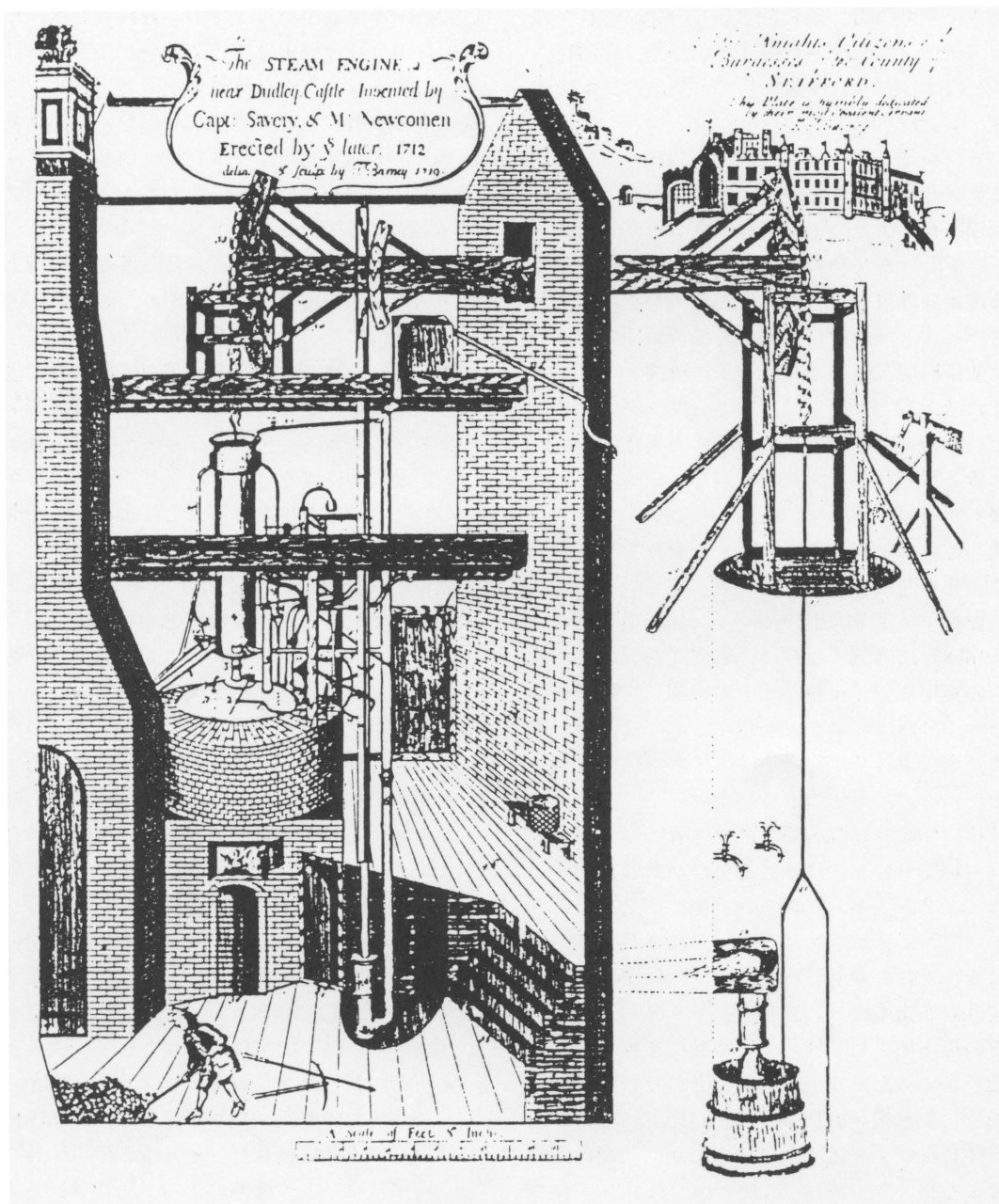


図2. ニューコメンが最初に作った大気圧機関この印刷物に初めて「STEAM ENGINE」の語が使われた。

ービン船も含んでいますよと言いたかったわけである。

さて、蒸気から動力を取り出す最初の試みは紀元1世紀頃アレキサンドリアのヘロンによる反動タービンの元祖や、1629年のイタリアのブランカによる衝動タービンの元祖にみられるように蒸気を細い管から噴出させて得られる速度エネルギーを利用しようとするもので、これが蒸気タービンの原理である。しかし先に実用化されたのはピストン機関としての蒸気の利用である。

フランス人のバパン（1647～1712）は1690年に実験装置ではあるが、ピストン下部の蒸気を凝縮させることによって真空をつくり、ピストンを下降させて動力を得ることに成功した。この装置は真空をつくるために蒸気を利用しており、ピストンを押し下げる力は大気圧であるので蒸気機関というよりは大気圧機関というべきものである。しかしバパンはシリンダとピストンの摩擦が大きくてこの機関の実用化は不可能と考えていたので、その名声をニューコメンに譲ってしまった。だが、バパンは「バパンの鍋」といういわゆる圧力鍋や安全弁を発明するなど立派な業績を残している。

なお、イギリス人のセバリ（1650頃～1715）は1698年に蒸気の凝縮による真空を利用した最初の実用機関「セバリの火力機関」で特許を得たが、これはピストンを用いるものではなく単に真空によって水を吸上げる揚水ポンプであった。

バパンより16歳若いイギリス人のニューコメン（1663～1729）は独自で（バパンは28歳のときにフランスからロンドンに来て活動していたので、ニューコメンはバパンの論文等からの情報を得ていたかも知れないが）大気圧機関の開発に取り組んで、1712年ダッドリ城の近くに炭鉱の揚水用として初めて実用機関を据え付けることができた。この機関を紹介した1716年の印刷物に初めて「STEAM ENGINE」という語が使われたことはすでに述べたが、同図の説明によると、シリンダ径は53cm、シリンダ長さは2.13mで、揚水量などから計算すると約5.5馬力の機関であった。バパンの実験装置はピス

トン下部のシリンダ内で水の蒸発と凝縮を繰り返すものであったが、ニューコメン機関はボイラを分離してシリンダの下にそれを設置していることが特徴である。この機関のボイラの直径は1.68m、高さは1.85mで内容積は3.1m³である。

ニューコメン機関の動作を簡単に説明すると、大気圧の蒸気がボイラでつくられており、ピストンの上昇过程中にこの蒸気がピストン下部に流入する。それから蒸気弁が閉じ、シリンダ内に冷水が噴射されて蒸気が凝縮し、その結果ピストン下部が真空となる。したがって、シリンダ頂部は開放になっているので大気圧がピストン上部に作用してピストンを下降せしめる。次に再びピストンはビームによってこの原理とポンプロッドの重量によって上昇し始める、という具合にこれらの動作を繰り返すのである。大事な点は、ピストン下部が噴射式復水器の役目をするので、シリンダとピストンの隙間の気密性を良くすることである。ニューコメンはピストンの周囲に皮をはり付けてピストン上部からその部分に水を供給することによってこの問題を解決した。

すでに1643年にイタリア人のトリチェリが「トリチェリの真空」の実験を行い、1648年にはフランス人のパスカルが水銀柱の高さを測定して大気圧の存在を示す実験を行った。1654年にはドイツ人のゲーリケが有名な「マグデブルクの半球の実験」によって大気圧による力の大きさを実証してみせた。したがって当時、真空と大気圧に関する研究は最先端の研究だったことがうかがえる。そのような背景のもとで大気圧機関が最初に出現したのは当然のことだったかも知れない。ちなみに、真空の単位に用いられるトール「Torr」はトリチェリの頭文字からとったものである。

ニューコメン機関はその後少しずつ改良が加えられて1770年代にはシリンダ直径1.83m、出力76.5馬力の機関が出現するなど、大気圧機関は最高水準に達した。そしてこのニューコメン機関はワットの機関によって駆逐されるまで鉱山の揚水機関として長く使用されていた。

筆者がインペリアルカレッジを去る日が近づ

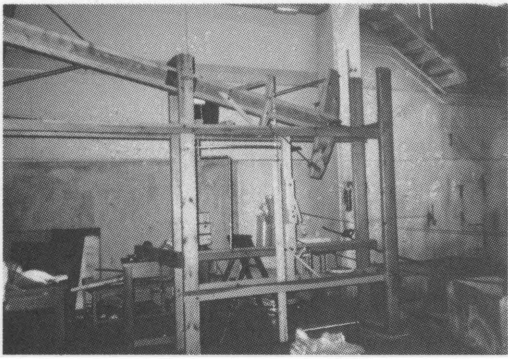


図3. インベリアルカレッジで製作中の大気圧機関

いたある日、カレッジの地下室にある蒸気実験室へ行くと天井に届くほどの大きさのニューコメン機関が製作中であった（図3）。すでに木製のビームやアーチヘッド、ポンプロッドが組み立てられており、金属製のシリンダとピストンもかたわらに置いてあった。科学博物館から製作を依頼されたとのことで、今頃は博物館でデモンストレーションされていることだろう。この機関は大気圧蒸気を使うので強度的にはあまり問題はなく意外と容易に作れるかも知れない。

ニューコメン機関はピストンの下降過程でシリンダが冷水で冷やされるので、蒸気が次の上昇過程でシリンダに入るとき最初のうちは蒸気がむだに凝縮してしまい、シリンダを沸点まで熱するためには多量の蒸気が必要であった。このことに気がついたのがイギリス人のワット（1736～1819）である。ワットは27歳のときにグラスゴー大学からニューコメン機関の模型の修理を依頼されたが、このことが新しい蒸気機関の開発のきっかけになったという話は有名である。

1765年にワットはシリンダを冷やして蒸気を凝縮させることをやめて、シリンダから分離した復水器（コンデンサ）の中で凝縮させるアイデアを考え模型をつくった。そして、1769年にワット機関の特許の申請が認可された。その主な特徴は、復水器を分離したことによってシリンダを断熱材で保温して蒸気と同じ温度に保つことができ蒸気の消費量が大幅に減少したこと、従来の大気圧の代りに蒸気の圧力によって

ピストンを動かすから冷水のない所では復水器を設けずに排気を大気に放出でき、またシリンダの横置も可能にしたことである。ワットはその後、遊星歯車装置によって往復運動を回転運動に変えてワット機関を揚水用だけではなく、一般の機械を動かす原動機としてその利用範囲を著しく広めた。さらに、ピストンの両側に蒸気を交互に供給する複動機関を開発し、かつ蒸気の圧力だけでなく蒸気の膨脹力をも利用する方法をとり入れて熱効率を一段と高めた。また、シリンダへの蒸気の供給量を自動的に加減する遠心調速機（ガバナ）や機関の馬力測定のための指圧器（インジケータ）も発明している。当時の馬1頭の力をベースにした馬力の単位もワットが考え出したものであるが、現代の馬は約4馬力に相当する力を出すそうである。

ニューコメン機関の燃料消費量の1/3～1/4ですむワット機関はニューコメン機関を完全に打ち負かし、その後も改良が加えられて工場用や交通機関用として19世紀から20世紀初めにかけての機械文明の原動力となった。

この偉大な機械技術者で発明家のワットは現



図4. グラスゴー大学の博物館にあるワットの像

在グラスゴーの市庁舎前に10mもあろうかという高さの銅像となって立っている。また、グラスゴー大学の構内にある博物館にはワット機関の模型やワットの遺品、ワットの像(図4)などが展示されており、その隣のコーナには蒸気原動所の基本サイクルであるランキンサイクルを1854年に提唱した同大学の教授であったランキン(1820~1872)の遺品も展示されている。

3. 初期の蒸気船

蒸気機関を船舶の推進のために用いようとする試みについてはいろいろ伝えられているが、1736年にイギリス人のハルス(1699~1758)がすでに実用化されていたニューコメン機関によって駆動されるパドルホイール(外車)を船尾に設けた船の設計に対して特許を得ており、彼が蒸気機関を船用に使おうとした最初の人であると言える。ハルスは回転運動をピストンからロープで駆動される爪車の使用によって可能としている。しかし船の推進に必要な出力を得るためには当時の蒸気機関はあまりにも重くなりすぎて実際にはつくられなかった。

結局船用機関はニューコメン機関では成功せず、ワット機関によって初めて実現するわけだが、そのためには多くの人々の努力があった。フランス人では前述のパパン、オーシロン、ペリエ、ジュフロワ、アメリカ人ではラムジー、フィッチ、そしてイギリス人ではミラー、サイミトン、ダンダス等の名前を挙げることができる。

1800年代に入る頃にはほぼ船用機関として技術的には実用の域にまで達していたと考えられるが、あとは蒸気船の有用性と経済性が世間に認められることが必要であった。これに成功したのがアメリカ人のフルトン(1765~1815)であった。

フルトンは1807年に“クラーモント号(Clermont)”をニューヨークのイースト川で進水させた。排水量100トンの船体は、長さ40.5m、幅3.96m、深さ2.13mそして吃水61cmの細長いもので、その両舷側には長さ1.22m、

幅61cmの8個のフロートを持つ直径4.57mのパドルホイールが設けられている。

搭載された機関はイギリス製の20馬力(名目馬力, Nominal Horse Power, これは公称馬力と訳されているが適当でない。)機関で、シリンダ径は61cm、ストロークは1.22mである。ボイラは銅製で長さ6.10m、高さ2.13m、幅2.44mである。なお、この名目馬力とは19世紀前半に船用の蒸気機関の出力比較のために用いられた単位で、次式から求められる。

$$NHP = D^2 \times \sqrt[3]{L} / 47$$

ここで、Dはシリンダ直径(インチ)、Lはストローク(フィート)である。しかし、ボイラ圧力が上昇して回転数も高くなってきた19世紀半ばからは高出力となった実際の出力を表すためにインジケータから求めた指示馬力(Indicated Horse Power)が用いられるようになった。本文ではこれ以後、名目馬力にはNHP、指示馬力にはIHPの記号を用いるが、この両者には定量的な関係はない。

1807年8月にクラーモント号はハドソン川でニューヨークとオールバニ間の241kmの距離を4.7ノットで航行した。そしてそのシーズンの終りまで郵便船として使用されてその後改装され、ハドソン川で長い間使われていた。フルトンは蒸気船を商業ベースに乗せたところに意義があり、船の大きさや航行した距離もそれまでの蒸気船とは比較にならない。したがって現在ではフルトンの名前とともにクラーモント号が最初の蒸気船と言われている。

一方、ヨーロッパで最初に蒸気船をつくったのはイギリス人のベル(1767~1830)で、1812年に“コメット号(Comet)”をグラスゴーで進水させた。これは排水量28トン、全長15.5m、幅3.43mとクラーモント号よりもかなり小さい船であった。蒸気機関は4NHPでシリンダ径32cm、ストローク41cm、船速は約6.7ノットである。

蒸気船はこのようなクラーモント号やコメット号から出発して、それ以後急速な発達を遂げるようになる。

4. 蒸気船の発達およびパドルホイールとスクリュープロペラ

クラームント号から12年後の1819年には長さ33.5mで320グロストンのアメリカの“サバンナ号 (Savannah)” が27日と11時間かかって初めて大西洋を横断している。ただし、この船は機関付きの帆船であって帆走のときはパドルホイールをデッキの上にあげることができるようになっていた。この大西洋横断のときも機走したのはわずか85時間すなわち3日と13時間に過ぎない。機関は90 I H P (58 N H P) で蒸気圧は大気圧よりわずか0.07kgf/cm²高い圧力である。この圧力をゲージ圧力といいこれに大気圧1.03kgf/cm²を足すと絶対圧力1.10kgf/cm²となる。この絶対圧力を記号ataで表す。

また、蒸気機関のみで初めて大西洋を横断したのは長さ63.4mで703グロストンのイギリスの“シリウス号 (Sirius)” であった。機関は2シリンダの320 N H P で、シリンダ径は1.52 m、ストロークは1.83mである。ボイラは箱形の煙道ボイラで、蒸気圧は1.38ata、パドルホイールは直径7.32m、回転数15rpmで9ノットの速度を出した。この船の顕著な特徴はこれまで使われていた噴射式（混合式ともいう）復水器の代りに1834年にホールが特許を得た表面式復水器（排気の潜熱が伝熱面を通して冷却水に奪われる方式）を採用したことである。それまではボイラ水に海水を使用していたのでボイラの腐食がはげしく、また航海中にしばしば機関を止めて海水が濃縮してたまった塩をボイラ内から除去しなければならなかった。ところが、この表面式復水器を採用することによってボイラ水に清水を使用することができ、そのようなトラブルが回避でき長時間の航海が容易になった。

シリウス号は1838年4月4日に40人の乗客を乗せてイギリスからニューヨークに向った。はげしい向い風に会って乗組員から「こんな小さな船で横断するなんて狂気のさただ」と反対されながらも平均速度6.7ノットで18日と10時間かかって4月22日にニューヨークに着いた。

一方、“グレートウェスタン号 (Great

Western)” はシリウス号が出航した4日後の4月8日に同じくニューヨークに向けてイギリスから出航した。有名な大西洋横断競走が始まった。750 I H P (450 N H P) の機関を搭載した全長71.9m、1,320グロストンのこの船はシリウス号と同じく木造船であり、平均速度8.8ノットで15日と5時間かかって4月23日にニューヨークに到着した。すでに4日前にイギリスを出航したシリウス号はそのわずか数時間前にニューヨークに着いたところだった。

イギリスの有名な大西洋定期航路の“キューナード汽船会社” が設立されたのはこの大西洋横断競走の2年後の1840年で、同社はその年に4隻の木造船をつくった。その内の1隻が“ブリタニア号 (Britanni)” で姉妹船はアカディア号、カレドニア号、コロンビア号である。

ブリタニア号は全長69.5m、排水量2,050トンで直径8.53m、回転数16rpmのパドルホイールを設けており、蒸気圧1.67ataの機関は直径1.83m、ストローク2.08mの2シリンダ、出力740 I H P (440 N H P) である。1840年7月にリバプールを出航して平均速度10ノットで大西洋を11日と4時間かかって横断し、カナダのハリファックスに着いた。そしてボストンまでは14日と8時間かかっている。

蒸気船の発達は蒸気機関の改良と推進器の開発によるところが大である。

まず、ボイラにおいて初期の箱形のボイラから煙管ボイラ、水管ボイラの開発によって高压の蒸気が効率よく得られるようになり、蒸気機関が高压化されて回転数も高くなってきた。一方、蒸気機関には初期復水という現象がある。これは蒸気機関の膨脹過程においてシリンダ内壁の温度が蒸気の膨脹によって流入蒸気の温度よりも低くなっているから、蒸気が新しくシリンダに流入すると蒸気の一部が凝縮することをいう。そのために蒸気消費量が多くなり熱効率の低下となる。そして蒸気が高压になるとますますこの温度差が大きくなる。そこで、2個あるいは3個、場合によっては4個のシリンダを設けてその中で順々に蒸気を膨脹させることによって、1個のシリンダで行わせる膨脹を少なくし、したがって温度差も小さくなるようにし

た。高圧、低圧の2個のシリンダを用いれば二段膨脹機関、高圧、中圧、低圧の3個のシリンダを用いれば三段膨脹機関となる。

一方、推進器に関しては1830年代にスクリュープロペラの開発が盛んに行われた。スクリューに関する特許は1827年にオーストリア人のレッセル、1836年にはイギリス人のスミス、そしてスミスの1ヶ月後にスウェーデン人のエリクソンによってそれぞれ申請され認可されている。そして1843年には大西洋横断の最初のスクリュー船“グレートブリテン号 (Great Britain)”が進水した。出力1,000 NHP、6翼プロペラで速度は11ノットであった。

従来のパドルホイール船と新参のスクリュー船のどちらがすぐれているかははっきりしないまま1800年代半ばまで両者は共存してきたが、それに決着をつけようとして行われたのが1845年のイギリス海軍が軍艦で行った有名な綱引きによるテストである。1843年に進水したイギリス海軍最初のスクリュープロペラ船“ラトラ (Rattler)”と、パドルホイール船“アレクト (Alecto)”の船尾をロープで結んで綱引きが行われ、ラトラが前進全力を出している同形船のアレクトを2.8ノットの速度で反対方向に曳航するという圧倒的な結果に終わった。ラトラのプロペラは砲金製の直径が3.08m、ピッチが3.35mの2枚翼で、回転数は113rpmである。この高い回転数は機関回転数をスプールギヤ(平歯車)を用いて4倍に増速することによって得られた。

このテストは1843年から1845年にかけて行われた一連のテストの内の1つであり、両船とも機関出力は200 NHPであったが実際にはラトラは300 IHPでアレクトはわずか141 IHPであったという。またアレクトは1839年につくられた船で新しいラトラよりも船体抵抗が大きかったとも考えられる。このような事情からか、この綱引きテストの結果にもかかわらずスクリュー船の優位性はなかなか認められず、イギリス海軍がスクリュー船に踏切ったのは1854年のクリミア戦争による大きな痛手を受けてからである。パドルホイールは砲弾には弱かったのである。軍艦にはそれ以後スクリュー船を採

用するようになったが、商船の場合はすべてがスクリュー船になるまでしばらく時がかかった。

1858年にできた“グレートイースタン号 (Great Eastern)”は全長211m、排水量32,000トンの鉄製の客船で、乗客4,000人を乗せて大西洋を平均14ノットで航行する船であった。この船の特徴は推進器としてパドルホイールとスクリュープロペラの両方を使っている点にある。出力3,411 IHP (1,000 NHP)の機関が直径17.1m、重さ90トンのパドルホイールを駆動し、出力4,890 IHP (1,600 NHP)の機関が鋳鉄製の4翼プロペラを駆動していた。ともに蒸気圧は2.72ataである。この船は商業用としては失敗して1888年にスクラップとして売却された。大洋航海をする最後のパドルホイール船は1861年につくられたキューナード社の“スコシア号 (Scotia)”である。この有名な全長122m、排水量6,520トンの船は鉄製で船形が非常に優雅であった。蒸気圧2.79ata、シリンダ径2.54m、ストローク3.66m、出力4,570 IHP (975 NHP)の機関が直径12.2mのパドルホイールを駆動して大西洋を平均13.5ノットで8日と3時間で横断した。このスコシア号はかの有名な“ブルーリボン (Blue Riband)”を1862年から5年間保持していた。

その後もパドルホイールは吃水の浅い船などには採用されていたが、1865年以降のすべての大形大洋航海船はスクリュープロペラ船となった。ただ、この頃より20年以上も後の1887年に進水したマン島とリバプール間の郵便船“クイーンビクトリア号 (Queen Victoria)”にパドルホイールが採用されたがこれは特殊なケースである。この船は全長104m、幅11.9m、1,568グロストンで、6,500 IHPの二段膨脹機関を搭載しており試運転では21ノットを出した。

1880年代に入ると船体がこれまでの鉄製から鋼製になってきた。周知のように鋼は鉄よりも丈夫で耐久性がよく、同じ強度では船体を約15%も軽くできるという。1881年に進水したリバプールとニューヨーク間の定期船“サルビア号 (Servia)”は初めての鋼製の商船で、全長は166m、排水量は12,300トンである。しかも船内に初めて電燈をつけた船でもあった。この

サルビア号もブルーリボン保持者で、記録は6日と23時間50分である。蒸気機関はストローク1.98m、直径1.83mの高圧シリンダ1個と直径2.54mの低圧シリンダ2個から成る出力10,300 I H Pの二段膨脹機関である。蒸気圧は7.36 ataとかなり高くなっている。この機関によって17.8ノットの出した。

5. 蒸気タービン船の出現と発達

蒸気タービンの原理は早くからわかっており、かの有名なワットやトレビシックのようなすぐれた技術者が実用タービンをつくろうとしてもうまくいかなかった。最初に高速回転する蒸気タービンの実用化に成功したのはスウェーデン人のド・ラバルであった。彼は1883年に1個またはそれ以上のノズルから出る高速蒸気を単一段の翼列に吹きつけて回転させる衝動タービンを発明し、その特許を1889年に得た。しかしこのド・ラバルタービンは回転数の非常に高いものである。なお、蒸気タービンの段（ステージ）とはノズルと翼の組合せをいう。

一方、1884年にイギリス人のパーソンズ（1854～1931）は多数の段を設けて蒸気的全圧力降下を細分割することによって回転数の減少をはかり、さらに回転する翼をノズルのような形状にしてこの翼を通る蒸気の反作用からも回転力を得るようにしたいいわゆるパーソンズ反動タービンの製造に初めて成功した。

その他、1896年にフランス人のラトー、同年にアメリカ人のカーチスがそれぞれ衝動タービンに対して特許を得、またスイス人のツェリーも1899年に同じような衝動タービンで特許を得た。

このような蒸気タービンを最初に船用機関として試みたのはパーソンズである。パーソンズタービンはすでに陸上で発電機用として使われていたが、タービンの発明者がタービン船の開発者になるという図式は時代がちがうというもの。彼の蒸気機関の歴史にはなかったことである。彼はニューキャッスルに“パーソンズ船用蒸気タービン会社”を設立して、先ずタービン船に

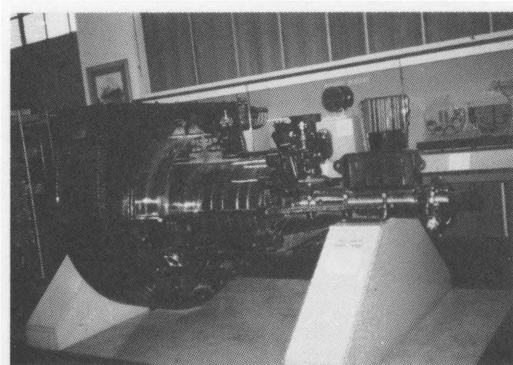


図5. 科学博物館に展示されているタービニア号に最初に搭載された外向き半径流パーソンズタービン

関するモデル実験を行いタービンの所要出力やプロペラのスリップ比などについて研究した。

そして、1894年に最初の蒸気タービン船“タービニア号（Turbinia）”を作った。船体は鋼製で、全長30.5m、幅2.74m、深さ2.13m、吃水91cm、排水量は44.5トンである。搭載したタービンはユニークな外向き半径流パーソンズタービン（図5）でプロペラはこれに直結されていた。このタービンは数列の同心円上に翼を植え込んだ回転円板と、同じように翼を植え込んだ固定円板を向い合せて一対にし、蒸気が両円板の間を軸付近から外周に向かって流れるようにしたものである。このタービンはその後設計思想が受継がれ、近年まで両円板とも回転するユングストロームタービンとして発電機用に実用されていた。このタービンを長年製作していたのはスウェーデンのスタルラバル社であった。筆者がストックホルムから電車で2時間のノルショーピングにある同社を訪問したときにはすでにアセアスタル社と社名も変り、このような半径流タービンの製造も中止されていた。広い工場内を案内されてもかつての日本のタービンメーカーの工場と同じく軸流タービンばかりで、芸術的な半径流タービンの製造過程を見ることができなくてがっかりしたことを今なつかしく思い出される。

さて、1895年に行われたタービニア号の試運転の結果は振動もなくスムーズに船は航行したけれども、速度は19.75ノットしか出ず失敗に終わった。パーソンズはこの失敗の原因を高回転によるプロペラのキャビテーション（空洞現

象)であることに気が付いた。一般に蒸気機関ではプロペラ回転数が100rpm以下で低速機関、100～200rpmで中速機関、200rpm以上で高速機関といわれており、当時高速三段膨脹機関の水雷艇のプロペラでキャビテーションは経験済みではあったけれども、タービンのように高回転に対しての詳しい知識は未知であった。パーソンズはすぐにキャビテーション研究用水槽を作り、その中でタービニア号に使用した直径76cm、ピッチ69cmの2枚翼プロペラを、1,730rpmで回転させたとき48%のスリップが生じることを見つけた。その後、翼数を変えたりして数多くの実験を繰り返し、最終的には青銅製の3枚翼のプロペラを1軸に3個取り付けこれを3軸にした。すなわち合計9個のプロペラを用いた。その結果スリップは約20%に減少した。

また、蒸気タービンも半径流タービン1基から軸流反動タービン3基に取り替え、高圧タービンを右舷側の軸に、中圧タービンを左舷側の軸に、そして低圧タービンを中央の軸にそれぞれ直結に取り付けた。この軸流反動タービンとは回転するドラムの周囲に翼を幾列も植え込み、その翼列の間に固定翼を挿入して蒸気を回転軸方向に流れるようにしたものである。後進タービンは中央の軸に前進タービンとは別に取り付けられた。さらに、表面式復水器の冷却水の吸込みが船の速度を利用するスクープ方式という超近代的なものには驚かされる。そしてボイラは三胴式ヤロー水管ボイラ1基で、ボイラ出口蒸気圧は15.8ata、高圧タービン入口蒸気圧は減圧されて11.9ataであった。前進用の3基のタービンは合計で2,000 S H P (Shaft Horse Power, 軸馬力といい軸端で取り出せる馬力である)で回転数は2,000rpmである。

これらの改装を1896年に終えて新しいタービニア号の劇的な試運転が1897年3月にイギリス南海岸のポーツマスとワイト島の間の沖合で行われた。丁度ビクトリア女王即位六十年祭でイギリス海軍の観艦式が開催されているときである。その海上をタービニア号は当時いまだかつて水上では得られなかった34.5ノットという猛スピードで航走し、沿岸の見物人を歓喜させた。海軍は監視ボートを出してこれを止めようとし

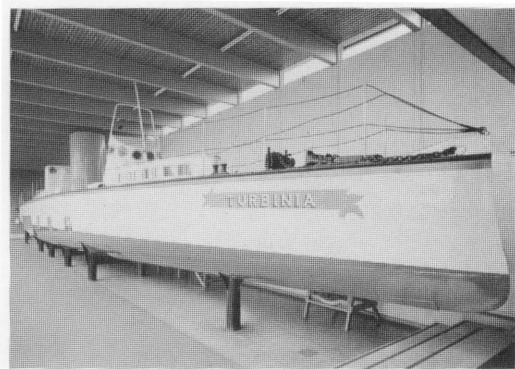


図6. タイン・アンド・ウェア博物館のタービニア号 (絵葉書)

たがあまりにも速すぎてタービニア号の波によってひっくり返りそうになったということである。

このタービニア号の大成功によって、船用としての蒸気タービンの重要さが世に認められ直ちに軍艦および商船に採用された。タービニア号自身は翌年の1899年にイギリス海軍の水雷艇に変身した。そして現在ニューキャッスルの近くのサンダーランドにあるタイン・アンド・ウェア博物館 (Tyne and Wear Museum) に置いてあるが、筆者が訪れた時には貸出しているのか見当らず絵葉書 (図6) とポスターを買うことでがまんをした。しかしパーソンズの半径流タービンはロンドンの科学博物館でじっくりと見ることができた。

先ず軍艦では、1900年に進水した駆逐艦“ビーパー (Viper)”が最初で、排水量370トン、速度37.1ノットでタービン出力は12,300 S H Pである。また最初の戦艦は1906年進水の“ドレッドノート (Dreadnought)”で、排水量17,900トン、出力23,000 S H Pの4軸船である。タービンは前進用6基と後進用4基の計10基で、蒸気圧は18.6ataである。

次に商船では、1901年と1902年につくられた“キングエドワード号 (King Edward)”と“クイーンアレクサンドラ号 (Queen Alexandra)”の姉妹船が最初である。アレクサンドラ号の方が大きく、665グロストン、全長82.3m、幅9.8m、の3軸船で、出力4,400 S H Pの3基の軸流タービンで駆動される。速度は試運転で21.6ノット出ている。蒸気圧は11.6

ataで、高圧タービンが中央軸を750rpmで回し、2基の低圧タービンが両舷の軸を1,100rpmで回した。後進タービンは2基の低圧タービンの排気側に設けられている。

大西洋定期航路の最初のタービン船は1904年に同時に進水した“バージニア号 (Virginian)”と“ビクトリア号 (Victorian)”の姉妹船である。ともに3軸船でタービン配置はアレクサンドラ号と同じである。10,754グロストンのバージニア号は全長165m、幅18.4mで、無線装置や船内電燈が完備している。蒸気圧13.7ataのタービンは合計12,000 S H Pのパーソンスタービンで回転数は280rpm、プロペラは4翼で直径2.44mであった。

さてここでキューナード社の客船“モレタニア号 (Mouretania)”について述べなければならないだろう。この船は1906年9月にリバプールとニューヨーク間の定期船としてつくられ、同じ年に姉妹船“ルシタニア号 (Lusitania)”も進水した。全長241m、幅26.8m、排水量44,000トンの船体に乗組員812名、乗客2,335名を収容する豪華客船である。蒸気レシプロ船ウィリヘルム皇帝II世号からブルーリボンを奪って、1929年にタービン船ブレイメン号にそれを奪われるまで22年間もブルーリボンを保持し続けた輝かしい記録をもっている。これは4軸船で蒸気タービンは両舷2軸を駆動する高圧タービン2基と、内側2軸を駆動する低圧タービン2基の計4基で、蒸気圧は14.7ata、出力は70,000 S H Pである。また、プロペラは直径5.11mの4翼で回転数180rpm、船速は平均26ノットである。第一次世界大戦中は軍の輸送船と病院船として働き、1922年に大改装されボイラ火炉も石炭用から石油用に変えられた。しかしついに1934年に引退したが丁度その年にクイーンメリー号が進水している。

タービニア号以降のタービン船ブームの中で、1911年5月に進水し翌年4月に氷山に衝突して沈没した“タイタニック号 (Titanic)”とその姉妹船“オリムピック号 (Olympic)”は蒸気タービンと蒸気機関の両方を採用した。タイタニック号の場合、両舷の2軸は各17,000 I H Pの4シリンダ三段膨脹機関2基で駆動され、中

央の1軸は同じく17,000 S H Pのパーソンスタービン1基で駆動される。タービンは蒸気を低圧まで十分膨脹させてエネルギーを有効に利用することができるから、蒸気を先ず2基の蒸気機関に入れて仕事をさせた後、その排気をタービンに流入させるようにしている。

これまで述べてきたタービン船は、タービニア号と同じくタービンの回転数とスクリューププロペラの回転数が同じであるいわゆる直結タービン方式を採用していたが、元来タービンは高回転数で効率がよく、プロペラはそれよりもはるかに低い回転数で効率がよいのでタービンの回転数を歯車で減速してやるいわゆるギヤードタービン方式がその後採用されるようになってきた。

最後にギヤードタービン船の例として、1938年に進水した“クイーンエリザベス号 (Queen Elizabeth)”の場合、船体は83,673グロストン、全長314m、幅36.1mで、乗組員1,250名、乗客2,288名を乗せてサザンプトンとニューヨーク間を航海していた。そして1946年10月に平均速度28ノットで4日と16時間18分という記録をつくった。この船は4軸船で各軸はパーソンズ一段減速ギヤードタービンで駆動され、それは高圧タービン1基、中圧タービン2基、低圧タービン1基で構成されている。合計出力は定格で158,000 S H P、最大では181,700 S H Pというすごいものである。また、減速歯車としてダブルヘリカルギヤ (山形はすば歯車) が採用されており、蒸気圧力は32.7ata、蒸気温度は400°Cである。この有名な客船も進水してから丁度30年後の1968年11月に引退している。

6. 蒸気タービン船の現状

蒸気タービン船は近代になり客船から巨大タンカーや高速コンテナ船へと移って行ったが、1973年の石油危機以来燃料費が高騰して、船舶の大形化・高速化の必要性は減退し、船用機関もそれほど大出力を要しなくなってきた。これまで蒸気タービンは、急速に発達してきたディーゼル機関とその出力分野を分け合って共存し

てきたが、ここに至ってタービンの優位性を保っていた大出力の分野が必要でなくなったのである。さらに、ディーゼル機関の技術革新が驚異的に進み、大出力に対しても適用できしかも燃料消費量が少ないという機関が続々と開発されてきた。両者の現時点での経済性を大ざっぱに比較してみると、例えば1馬力の出力を1時間出すためには蒸気タービンは170グラムの燃料を必要とするのに対して、ディーゼル機関はわずか120グラムの燃料ですむ。これではとても勝負にならない。

雑誌「モーターシップ」によると1975年から1986年までの各年に世界中でつくられたタービン船の隻数は132, 113, 50, 32, 14, 22, 13, 2, 10, 7, 1, 1と激減している。この内、1985年は889隻中の1隻でこれは日本のLNG船、1986年は906隻中の1隻でこれはソ連の原子力砕氷船である。この数字から見て明らかに石油燃料を使う限りにおいては蒸気タービンプラントに画期的な発明がない限り船用主機としての蒸気タービンの生き残る道はなさそうである。

一方、ディーゼル機関での使用が不可能あるいは困難であり、蒸気タービンでの使用に適している燃料となると、冒頭にも述べ、上記の製造実績にも出てきた石炭、LNG、原子力エネルギーであろう。石炭だき船は1982年に日本の造船所がオーストラリアの船会社の注文ですでに建造している。その船が代替エネルギー船として再登場した世界初の石炭だき船であり、その後も石炭だき船の就航予定がある。また、LNG船は約-160℃以下で液化した天然ガスを輸送する船であるが、そのLNGを完全に液体の状態に維持することは困難で一部は気化してしまう。したがって気化した天然ガスをボイラで燃焼して蒸気を得ようとするもので、LNG船の主機関としてはタービンが適している。次に原子力船であるが、世界で初めての原子力船は1954年に進水し翌年4月に就航したアメリカの潜水艦ノーチラス号で、排水量3,500トンの艦に15,000SHPのタービンを搭載している。以来、アメリカ、ソ連、イギリス、フランスで200隻以上の軍艦が原子力船になっている。軍

用以外では、1957年12月に進水、1959年9月に完成したソ連の原子力砕氷船“レーニン (Lenin)”が最初である。船体は全長134m、幅27.6m、深さ16.1m、排水量16,000トンで、タービン出力44,000馬力の電気推進方式を採用している。速度は18ノットである。また初めての原子力商船は1959年7月に進水、1962年5月に完成したアメリカの貨客船“サバンナ (Savannah)”，それから1964年6月に進水、1968年12月に完成した西ドイツの鉱石運搬船“オットハーン (Otto Hahn)”，そして日本の“むつ”である。サバンナは全長182m、幅23.8m、深さ15.5m、排水量22,000トンで、タービン出力は22,000SHP、速度は21ノットである。オットハーンは全長172m、幅23.4m、深さ14.5m、排水量25,812トンで、タービン出力は11,000SHP、速度は16ノットである。この両船はすでに試験航海を終えており、その間原子炉事故は皆無である。しかし各国ともその後続く原子力商船の建造はしておらず、現在ソ連の原子力砕氷船5隻が北極海で活動しているだけである。新聞の記事によると、フランスとカナダは共同で原子力潜水調査船「サガ・エヌ」を開発中で1990年頃完成の予定と伝えられている、とある。

一方、むつは1967年11月に日本原子力船開発事業団により発注され1969年6月12日に進水した原子動力実験船である。全長が130m、幅19.0m、深さ13.2m、排水量10,000トンで、タービン出力10,000SHP、回転数は200rpm、速度は17ノットである。このむつは日本の原子力船開発にいろいろな問題を投じた船で、1974年の放射線漏れ事故以来たたかれ続けてきた。この原稿を書いている約1週間前の1月27日によりやうく新母港の関根浜に入港したが、1991年度には廃船というスケジュールになっており、1989年度の出力上昇試験および1990年度の実験航海ですでに旧式の原子炉になっているとはいえ後世のために十分な実験データを採取してもらいたいものである。

7. あとがき

いまようやくここまで筆を進めて、蒸気機関について振り返ってみるとニューコメンが大気圧機関を完成させて以来、船舶や鉄道から蒸気機関が消えるまでざっと250年かかっている。また、タービンについてはパーソンズが反動タービンを完成させて以来、第一次石油危機まで約90年、現在まで約100年の歴史である。一方、ニューコメンから現在までずっと続いているのはボイラである。

今回蒸気機関やタービンの形式の移り変りの詳細にはあまりふれなかったが、それ以上にボイラをかなりまま子扱いにしてしまったようである。また日本のスチームシップについてもあまりふれなかった。紙面の関係もあったが、今後機会があればそれらを取りあげてみたい。

現在、神戸商船大学の構内にある蒸気機関は、まず陸上に据えられている進徳丸の主機関、海

事資料館裏に置かれているヤロー社製水雷艇の主機関であるといわれている三段膨脹機関、蒸気原動機関学実験室にあるかつての本学実習船たちばな丸の主機関であった二段膨脹機関、これは筆者が学生時代に深江の沖で指圧図をとったなつかしい機関である。そして現在でも学生実験に使用しており卒業生に評判がよい単シリンダ機関、これは1 IHP程度のランチの主機関で後進レバーもついておりなかなか立派なものである。

最後に本文を記すに当たって内外の多数の文献や資料を参照させていただきました。ここにひとつひとつ挙げることはできませんが著者の方々に厚くお礼申し上げます。特に船舶の要目等についてはロンドン科学博物館再版の「Marine Engineering」と「Merchant Steamers and Motor Ships」によったことを付記いたします。