

# 19世紀蒸気船の時代における帆船

## ——研究序説——

吉 田 勉

### 目 次

- I はじめに
- II 帆船から蒸気船への移行時期に関する論争
- III 19世紀の海運と造船
- IV 帆船の繁栄が継続された要因に関する研究
- V 結びにかえて：19世紀における帆船の繁栄に関する実証研究の課題

### I はじめに

18世紀後半から19世紀初期にかけてイギリスで起こった産業革命といわれる工業上の変革は、製造面におけるそれまでの手工業を工場制機械工業に取って替えた。この変化には産業革命に重要な働きをした蒸気機関が寄与していた（ここでは通説に従い、イギリス産業革命の期間をおよそ1733年から1825年までとしている）。

この産業革命後の蒸気機関の発展について、George Porterは『国民国家の進歩』1851年度版で「異常な速さ」と言う表現で紹介し、「近い将来蒸気機関を装備した動力船が帆船を凌駕するであろう<sup>1)</sup>」と予言した。しかし、19世紀における蒸気船と帆船の発展過程に関するこれまでの研究の結果、実際に蒸気船が帆船を凌駕したのは、一部に反論があるものの、彼の予言後30年以上後の1880年代後半であるというのが一般的となっている（後述）。19世紀における蒸気船と帆船の優位性に関する研究は、主として海運業における蒸気船と帆船の利用率、すなわち経済性・労働生産性の面からと、主として舶用蒸気機関の技術的進歩の面からの研究に分かれており、帆船が海運業を担い続け優位を継続していたことを確認するものと

なっている<sup>2)</sup>。歴史家の関心は産業革命と蒸気機関とに集中しており、蒸気船の未成熟という側面からの検証に偏っている観がある。その要因として考えられることは、帆船が動力として風力と海流を利用していたために、産業革命とは無関係な存在という印象を与えていたことにあると思える。

そこで、「鉄と蒸気の時代」<sup>3)</sup>と言われた19世紀に、なぜ帆船が優位を継続できたのか、その要因について、産業革命によって生じた技術の進歩、及び当時の社会の状況と経済活動の変化の影響を、あらためて帆船の進化に即して見直す必要があるのではなからうか。19世紀イギリスを中心とする西ヨーロッパ、アメリカにおける帆船の進化を検討する場合、どのような方法で、どのような実証的課題に取り組むべきであろうか、そうした問題を明らかにするために、本稿ではまず、先行研究を検討することとしたい。

## II 帆船から蒸気船への移行時期に関する論争

Gerald Grahamは「これまで、このこと〔蒸気船航路の創設—引用者〕をもって、世界的な英国貿易帝国の継続的な成長が、蒸気船による安定した発展に基づいていると示唆するのが慣例であったが、この英国の蒸気船建造における優勢は、船用蒸気機関の技術と工夫、安い石炭そして鉄鋼産業の能力という、これら要因の組合せの結果であり、これら要因の強調が蒸気船の発展に注意を向けさせ、商業的な帆船から注意をそらし、蒸気船が19世紀イギリス帝国の発展の鍵であったとの誤った印象をつくる傾向があった」<sup>4)</sup>と述べている。実際に「帆船から鋼鉄の商業蒸気船（物資輸送専用）への移行は1850年以降さらに30年以上完成せず、帆船の繁栄は19世紀の中頃以前のみならず以後にも継続し、極東までの航路が喜望峰経由である限り、蒸気船は競争することが望めなかった。そして、スエズ運河開通の後でさえ、ベンガル湾、東インドそしてオーストラリアへの多くの通商は、帆船によって行われていた」<sup>5)</sup>。この事実は、長距離航海に適した船用蒸気機関の開発が遅れていたことと、スエズの開削が帆船から蒸気船

への分岐点ではなかったことを示している<sup>6)</sup>。

海運業の主役である、船舶の帆船から蒸気船への移行時期については、GrahamやNorth<sup>7)</sup>等の研究によって、1885年以降であるというのが現在では一般的である。

この説に対する反論として、1871年から1887年の間のドイツ商船隊における蒸気船と帆船の生産性について研究・分析したRamon Knauerhaseは、その論文の中で、「全生産性で94.1%の増加を示し、其の内の68.3%は蒸気船への2段膨張機関（compound engine）の導入他による生産性の増加で、僅か14.7%が帆船技術の発展による増加であった」<sup>8)</sup>と結論し、Graham, North等の1880年代においても帆船の重要性は存在していたと言う主張に対して、蒸気船の重要性を強調した。

Knauerhaseのこの論文に対して、Gary Waltonは、彼の論文<sup>9)</sup>で、1870年以降においても帆船の重要性は存在しており、むしろ蒸気船以上で、その重要性は1880年代半ばまで継続されていたとしている。

## 1 Knauerhaseの生産性を測る尺度

生産性の変化を表す尺度として、一般的に「出力指数」と「入力指数」の二つの指数の比率を用いる。Knauerhaseは、入港船、出港船の平均トン数による乗員一人当りの平均総港湾決済（average total port clearing）を分析に用いている。しかし、Waltonによれば「この尺度は、労働生産性としては使用できるが、航海した距離当りの貨物輸送量（ton-miles）や船舶の利用の変化を評価することはできない。なぜなら、この時期、蒸気船は船客と郵便を輸送し、沿岸航路や海峡といった短距離で使用され、帆船は長距離に使用されていたために、貨物輸送量よりも出入港回数の比較では、短距離輸送に従事していた蒸気船の数がはるかに多く、港湾決済量も高いことは良く知られていた」<sup>10)</sup>。従って、この尺度でKnauerhaseが生産性変化を見積もった「1873年から1877年の総工業生産性は、一人当たり（帆船と蒸気船を合わせた）の平均的総生産額で94%に上がった」<sup>11)</sup>という結果は

誇張されているとWaltonは反論している。また、Knauerhaseは「調査した15年間では、蒸気船の労働生産性の平均的レベルは、帆船の労働生産性のそれより約4倍高かった」<sup>12)</sup>と結論付けているが、Waltonは「これも蒸気船の出入港回数が帆船に比べ、先に述べた理由で多かったことによるもので、港を利用した乗組員一人当りの貨物輸送量が、蒸気船で帆船の4倍であることを意味するものではない」<sup>13)</sup>と反論している。

## 2 帆船と蒸気船の移行時期

Knauerhaseは、1870年から1900年までの10年間ごとの、当時の主要海運国の帆船と蒸気船の総トン数と蒸気船の輸送力を示した表1、及び「ドイツの記録に基づけば、帆船から蒸気船への移行時期は、1875年から1880年である」<sup>14)</sup>と主張した。

表1 主要海運国に登録された船舶と蒸気船の輸送力（単位：1000トン）

年	帆船	蒸気船	帆船に換算した蒸気船	蒸気船比率	蒸気船輸送力
1870	12,242	1,756	5,268	12.5	30.0
1880	11,878	3,986	11,958	25.1	50.2
1890	9,137	7,707	23,121	45.7	71.7
1900	6,743	11,939	35,817	63.9	84.1

帆船に換算した蒸気船：蒸気船1トンが帆船3トンに相当するとして換算

資料：Charles Fayle, *A Short History of the World's Shipping Industry* (New York: The Dial Press, 1933), pp.246-47.

しかし、Knauerhaseの示したこの表には「輸送距離についての分析が無く、沿岸及び短距離に使用された蒸気船のトン数を削除すれば、帆船の輸送能力はより高く、仮に蒸気船1トンが帆船3トンと同等としても、蒸気船の重要性が誇張されている」<sup>15)</sup>と、前述の出入港回数における所見と同様の理由でWaltonは反論している。

また、蒸気船の運賃が帆船の運賃より低くなる場合は、長距離における

蒸気船と帆船の相対的経費が変化した場合で、たとえば、蒸気船の二段膨張機関の改良等により、蒸気船の経費曲線が帆船の経費曲線より低くなった場合である。この場合、蒸気船への投資が帆船への投資より高い利益率となり、蒸気船の参入が促進され運賃を低下方向に向かわせる。しかし「実際には、蒸気船の平均経費曲線は1880年代中頃まで、帆船のそれ以下に落ちなかった」<sup>16)</sup>。このため、帆船による物資輸送における優位は1880年代中頃まで続いたと言える。

これらのことから、Waltonは「1875年から1880年まで長距離において、帆船の能力が蒸気船より低かったという、Knauerhaseの結論は疑わしいものである」<sup>17)</sup>と結論し、GrahamやNorth等の、帆船から蒸気船への移行時期は1880年代中頃であるという説に賛同している。

また、Richard Tamesは、英国海運業における帆船と蒸気船のトン数の推移を表2のとおり示し「帆船から蒸気船へのターニング・ポイントは、1884年に発明された船用蒸気タービンであった」<sup>18)</sup>と、GrahamやNorthの説と同じく、1880年代中頃であったことを支持している。

表2 英国海運業における帆船と蒸気船のトン数の推移（単位：百万トン）

年	帆 船	蒸気船
1853	3.8	0.25
1873	4.1	1.7
1893	3.0	5.7
1913	0.8	11.3

出所：Richard Tames, *The Transport Revolution in the 19<sup>th</sup> Century*.  
3. *Shipping*, Oxford University Press, (1971) p.24.

GrahamやNorthと違い、Knauerhaseがとりあげたのがドイツ商船隊であるという対象の違いはあるものの、その方法については疑問が多く、帆船から蒸気船への移行時期については、Grahamなどが主張する1880年代中頃とする説が有力であり、また説得力もあると思われる。

### Ⅲ 19世紀の海運と造船

前述したように、1880年代中頃まで、長距離の商業輸送は木造帆船が主として担っていた<sup>19)</sup>。しかし、当時のイギリス造船業は深刻な木材不足に悩まされており、そうした状況のもとで、増大する輸送物資への対応を進めざるをえなかった。

#### 1 産業革命期のイギリス造船業と木材不足

工場制機械工業によって生じた大量の物資は、その輸送のための船舶量の増加を要求した。当時の船舶は木造船が主であったことから、当然として大量の木材を必要とした。しかし状況は、ジェイムズ・ドッズとジェイムズ・ムーアの共著『英国の帆船軍艦』に「特にイギリスにおいては、製鉄業に石炭の利用が始まるまでの長い間木炭が使用され、このために木材資源はすでに減少しており、さらに18世紀におけるイギリスのオーク、榆、樅は造船用として多量に消費され木材供給量は逼迫し、7年戦争（1756～63年）の時は、海軍の必要量も充たせなかった」<sup>20)</sup>と記述されている通りで、製鉄にコークスが使用されるようになり、英国の木材不足も改善されると思われたが、造船用木材不足の状況は表3及び表4に示すように「マスト・側板・樅材について、1780～82年から1800～1802年の間の輸入量の増加を見ると、平均して2.9倍で、1801年から1831年までのあいだの木材輸入増加率は3.4倍であり」<sup>21)</sup>、19世紀に至っても深刻なままであった。

木材不足の対策として、一つは、小さなオーク材を組み合わせて使用するか、オーク材の代わりにカラマツやチーク材を使用することであり、もう一つは、建造費ないし船価の上昇をきたすが、輸入木材を使用することであった。船舶価格の上昇傾向について、Robin Craigは、普通より大型の東インド貿易船を例にあげ「800トンの船体に対するトン当りの価格は、1781年には14ポンド14シリングであったが、1790～92年には12ポンド10シリングに下落したものの、その後は22ポンドに達した1801年まで絶えず上昇している」<sup>22)</sup>と記述している。

表3 木材輸入量(1) (年間平均)

年	マスト (大) 数	側板 (100ロード)	樺材 (ロード)
1780~82	4, 283	53, 614	61, 659
1800~1802	15, 503	106, 676	193, 186

出所：片山幸一、「イギリス産業革命期の貿易と海運業(1)」、『明星大学経済学研究紀要』第27巻第2号，1996年3月，6頁。

資料：Schumpeter, E. B., *English Overseas Trade Statistics, 1697~1808*, The Clarendon Press, 1960, pp.57,59.

表4 木材輸入量(2) (単位：1000ロード※)

年	植民地	外国	合計
1801	3	159	162
1811	154	125	279
1821	318	99	417
1831	127	419	546

※：1ロード=50ft<sup>3</sup>の木材量

出所：片山幸一、「イギリス産業革命期の貿易と海運業(1)」、『明星大学経済学研究紀要』第27巻第2号，1996年3月，6頁。

資料：Porter, G. R., *The Progress of Nation, Methuen & Co. Ltd.*, 1912, p. 425.

また、表5に示す300トンの船の生産費比較からも、イギリス製船舶の建造費ないし船価は、単に上昇傾向にあったのみならず、木材が豊富なアメリカ製船舶やカナダ製船舶のそれより上回っていたことが分かる。

表5 300トンの船の生産費比較

年	イングランド	アメリカ	カナダ
1825	100~110ドル/トン	75~80ドル/トン	90~100ドル/トン
1830	73~120	50以下	30~50
1845	87~90	75~80	—

出所：片山幸一、「イギリス産業革命期の貿易と海運業(2)」、『明星大学経済学研究紀要』第28巻第1・2号，1997年3月，39-40頁。

資料：Report on the Ship-Building Industry of the United States, p.87. / Graham, G. S. , "The Ascendancy of Sailing Ship 1850-85", *Economic History Review*, Aug. 1956 / Hutchins, "American Maritime Industries".

そして、1820年にはリバプールの造船業は輸入木材に依存するようになり、建造費の上昇は植民地カナダからの船舶の輸入を促進させた。また、東インド会社はその船をインドで建造する等、イギリスの造船業に打撃を与え、1833年当時多くの造船業者を廃業に追い込んでいる<sup>23)</sup>。1814年から1835年までの時期に、グレート・ブリテンで建造された船舶の隻数とトン数の変化は、表6のとおりである。

表6から、1814～18年までの5年間平均の船舶数とトン数は815隻、8万9130トン、また1830～34年の5年間平均のそれは761隻、9万183トンであり、それ程増大していないことが分かる。

また、片山幸一氏は、これ以前にグレート・ブリテンで建造され、登録された船舶数とトン数に注目し「1787～91年の5年間平均の船舶数とトン数は724隻、6万7820トンであり、1830～34年の5年間平均の761隻、9万183トンと比較すると、ほぼ産業革命期に建造され登録された船舶数とトン数の増加は、それぞれ1.05倍、1.3倍という低率であった」<sup>24)</sup>と述べている。

表6 グレート・ブリテンで建造され、登録された船舶の数とトン数

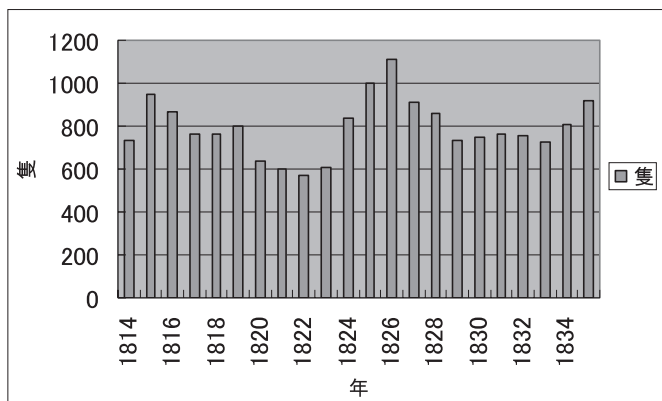
年	船舶の数とトン数		年	船舶の数とトン数	
1814	733隻	86,880トン	1825	1,003隻	124,029トン
15	949	104,479	26	1,113	119,086
16	866	85,119	27	911	95,038
17	766	82,108	28	857	90,069
18	761	87,060	29	734	77,635
19	797	90,472	30	750	77,411
20	635	68,142	31	760	85,707
21	597	59,482	32	759	92,915
22	571	51,533	33	728	92,171
23	604	63,788	34	806	102,710
24	837	93,219	35	916	121,722

出所：片山幸一、「イギリス産業革命期の貿易と海運業(2)」、『明星大学経済学研究紀要』第28巻第1・2号、1997年3月、41頁。

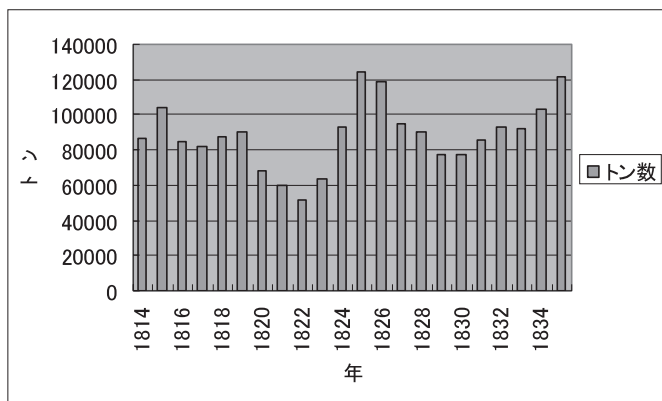
資料：Craig, R. S., "British Shipping and British North American Shipping in the Early 19th Century", in Fisher, H.E.S. (ed), *The South-West and the Sea*, Exeter Papers in Economic History, University of Exeter, 1968, Table 3.



なお、表6の隻数、及びトン数の年度ごとの変化を見やすくするため、グラフ化したものを図表6-A及び図表6-Bに示す。



図表6-A 隻数の変化



図表6-B トン数の変化

一方、産業革命の主導部門である他の製造業の消費量、生産量は、表7に示すように船舶数及びトン数の増加量に比べ極めて対照的であり、木材不足と木材価格の上昇とが、必要な造船量の増大の足枷となっていたといえる。

表7 産業革命主導部門の消費量、生産量の変化

年	原綿消費量	鉄鋼生産量	年	木材輸入量
1814	30,300トン	400,000トン	1811	279,000ロード
1830	112,000	680,000	1831	546,000

出所：片山幸一、「イギリス産業革命期の貿易と海運業(2)」、『明星大学経済学研究紀要』第28巻第1・2号，1997年3月，42頁。

資料：Michell, B.R., *European Historical Statistics, 1750-1970*, The Macmillan Press Ltd., p.252. / Riden, P., "The Output of the British Iron Industry before 1870" *The Economic History Review*, Second Series, Vol. XXX, No.3, Aug. 1977, P.455. / Porter, G.R., *The Progress of the Nation*, Methuen & Co. Ltd., 1912, p.425.

## 2 増大する輸送物資への対応

イギリス海運業界は、増大する輸送物資に如何に対応したのであろうか。

### (1) 拿捕船の利用と国外での建造

潜在的船舶不足に対する対応として、まず考えられることは、戦時に捕獲された船舶、及び植民地等国外で建造されイギリスで登録される船舶の活用である。「戦時拿捕船のトン数は1790年から1812年にかけて7万4470トンから51万3000トンに大きく増加しており、またイギリスの植民地等で建造され登録された船舶は、1787～91年の平均で1万8240トンであったが、1830～34年の平均では2.4倍の4万3740トンに増加している」<sup>25)</sup>。この事実は、これらの船舶が、当時の大量の物資輸送にある程度使用されていたことを物語っている。

### (2) 船舶の効率的運航と港湾設備の整備

拿捕船等による隻数、総トン数の増加以外に、一隻あたりの出港回数を増加させ、船舶を一層効率的に運航することも行われていた。この点について、Gordon Jacksonは「出港する50トン以上の船舶の隻数とトン数が、1790年と1841年の間に2倍以上になったとしても、登録された全トン数は55%だけ増大するに過ぎないが、船舶一隻あたりの出港回数は、年間5.5回から

12. 1回に増加し、トン当りの出港回数は3.9回から6.0回に増加している。この事実は船舶の隻数以上に、生産性の顕著な上昇があったことを示している」<sup>26)</sup>と述べている。

この出港回数の増加をもたらした要因として、Northは「ニューヨーク〜リバプール間の大西洋郵便船の平均的航海日数が、以前は8週間程度であったのが、東航の場合24日、西航の場合38日と短縮された」<sup>27)</sup>ことから、船の速度増加を挙げ、John McCullochは「船の荷を揚げ降ろしするためのドックや、蒸気起重機 (steam-hoisting machines) その他の装置、及び船を敏速に繫留場所に曳航し、そしてそれを海に引き戻す蒸気曳船の使用等によって、4隻の船によってなされる程度の仕事を3隻で行うことが可能になった」<sup>28)</sup>ことを示し、港における停泊期間の短縮を挙げている。また、Richard Tamesは「蒸気動力ウィンチを装備した木鉄交造船 (Composite Ship : 後述) は、これまでの木製帆船に比べてより強力で性能が高く、乗組員はより広い範囲の帆を操り、より多くの荷物を取扱うことができ、当時の同じ規模の蒸気船に比べても約半分以下の乗組員で運用された」<sup>29)</sup>と述べている。そして、David Wellsは港湾荷揚げ作業の生産性上昇を論じ、「1870年から1880年の間に、英国の貿易船の保有量は2,200万トンに変動したが、この大きな変動に対して、雇用された労働者の数は1870年と比較して1880年には約3,000人程度減少している。この減少の要因は、波止場やドッグへの蒸気起重機や穀物倉 (grain-elevator) の設置、そして船上での操舵、帆や錨の揚げ降ろし、ポンプによる水の汲出し、及び積荷の荷降ろしへの蒸気動力の利用によるものであり、短時間により大量の積荷を運ぶために、航海にかかわる労働者の増加なしに (現実にはかなりの削減) なしえられた。1870年に47人の労働者が必要であった仕事を、1885年には27.7人で実行可能にし、或いは1885年の同じ仕事量を1870年当時の状態で行うとすると70%以上多くの筋肉労働者を必要とした」<sup>30)</sup>と述べている。

#### IV 帆船の繁栄が継続された要因に関する研究

イギリスの海運業は19世紀始め世界の海を独占していた。「この強い地位は他国の海運業の弱体によるもので、真にイギリスに脅威を与える国がなかったことによる。このためイギリス造船界は、長い間帆船の改善を必要とするような刺激が全く無く、18世紀の標準的貿易船の大きさを少し大きくする程度の改善に留まっていた」<sup>31)</sup>。ところが、1849年の航海法の全廃によって、イギリスの外地における市場が世界に開放され、アメリカがその豊富な木材を使用した木製帆船を擁してイギリスの新しい脅威として現れた。「1816年に海運業界に新規設立されたアメリカのブラック・ボール・ライン社 (Black Ball Line) は、新しい、より速い帆船オリエンタル号 (Oriental) で挑戦し、1850年に香港からロンドンに1,118トンの茶を97日間で運んだ」<sup>32)</sup>。この出来事は、イギリスの海運業界と造船業界に非常な脅威をもたらし、これに対抗するためイギリスは、船体部材への錬鉄の使用、木製帆柱から鋼製帆柱への変更、チェーン・ケーブルの使用、蒸気動力装置の艀装等、当時の新技術を導入することによる船体重量の軽減と大型化、および省人化を可能にする改善・改良を継続的に自国の帆船にほどこし進化させた。蒸気船の発達の遅れともあいまって、これらが結果的に19世紀における帆船の繁栄の継続につながったといえよう。

#### 1 19世紀における蒸気船と船用蒸気機関の発展状況

帆船の繁栄を継続させた要因の一つとして、船用蒸気機関の開発の遅れが挙げられる。そこで、19世紀の蒸気船と船用蒸気機関の発展の状況についての先行研究を振り返ることにする。

##### (1) 蒸気船の発展状況

蒸気船による交易の足跡は「1820年代には貿易港が整備されたアイルランド海と北海で、1830年代には地中海のマルタ、エジプトそしてコンスタンチノーブルにまでひろがっており、1835年以降にはスエズ地峡を経由し

てインドに拡がっている。1840年以降、外輪船がインドから中国に到達し、そして徐々に英国諸島から西インドそして南アメリカに到達している。そして地中海とレパントの殆ど全ての英国の取引は、帆で補助されたスクリュー・プロペラを装備した蒸気船に独占されていた<sup>33)</sup>。そして、Lillian Knowlesは、19世紀の英国における産業と商業の革命について、「それは、大英帝国の成立を可能にしたグレート・ブリテン島の早い時期の汽船網による、無敵の支配力であった<sup>34)</sup>と述べている。しかし、II章で述べたように、これは蒸気船に対するあまりに楽観的な見方である。

最初の頃の蒸気船は、運河や河川、沿岸部及び近海を航行し、主として艀の曳航、郵便や人員の輸送に従事する比較的小型の船で、19世紀初頭にはかなりの地域で活躍していた。しかし、当初、蒸気船で物資を輸送することは考えられていなかった。帆船と同じように物資を輸送する蒸気船は、ボイラー、圧縮機、スクリュー・プロペラを装備した効率的な高圧蒸気機関の鋼船への適応まで待たざるを得なかった。この点についてGrahamは「蒸気船の三つの構成要素である、船体、機関、外輪またはスクリュー・プロペラは、各々それ自体が非常に難しい開発であり、大きな船を千マイル以上、水上を経済的に、高速かつ安全に運航させることは、陸上で技術者が直面している問題よりはるかに困難な問題を提供した。機械的あるいは構造的な小さな研究でさえ、長い年月をかけた厳しい実験と無駄な支出を必要とし、海軍局あるいは造船会社の保守主義と革新への嫌悪感もあり、結果としてその必要性の認識の広がりを疎外した。また、その満足行く解決策は、この世紀の最初には存在していなかった機械技術と理論的学識に依存していたため、1850年代以前の産業分野の外にあった<sup>35)</sup>と述べている。このため、効率的な高圧蒸気機関の開発には、その後約30年を必要とし、帆船の繁栄を継続させた。

## (2) 船用蒸気機関の発展

船用蒸気機関については、1850年代に導入された管式ボイラーの蒸気圧

力が20lbs.で、とても高速化は困難であった。「1860年代に入って複式シリンダー、高圧に耐え得る円形ボイラー（スコッチ・ボイラ）、及び真水使用のための復水器を組合せた2段膨張機関によって50~60lbs.の圧力が可能となり、初めて蒸気船による経済的な物資輸送の道が開かれ、1870年代には125lbs.以上の圧力が可能<sup>36)</sup>となり、商業蒸気船への期待から、1871年には帆船の建造数を減少させているが、それは一時的な現象にすぎなかった。蒸気船はこの段階ではまだ、帆船に対して競争上優位にはたてなかったのである。

## 2 帆船への新しい技術導入による経費削減

海上輸送における輸送収益の大半は、大きな輸送スペースを必要とする小麦や石炭のような安価で嵩張る商品によって継続的に占められていた。これらの商品は、基本的に食料品と原材料であり、これらを輸送する海上輸送経費の増減は、経済の発展にも影響をおよぼした。このため、帆船は海上輸送経費削減のために、蒸気動力機械（ウィンチ等）の艀装等の改善・改良を実施し、省人化を図り結果として蒸気船に対する優位を維持した。

### (1) 木鉄交造船の建造による大型化

一度にどれだけ大量の物資を輸送できるかは、経費削減の方法の一つであり、帆船の大型化が要求された。しかし、大型化に必要な長尺の木材の調達は困難で、短い木材を貼り合わせて造らざるを得ず、強度面から「木造船の縦横比は、全長:全幅=4.3:1、全長も300ft（約90m）が構造上の限界<sup>37)</sup>とされていた。このため、強度上の問題を解決するとともに、木材不足を補うために、船体の主要部にも錬鉄材を用いた木鉄交造船が建造された。「木鉄交造船の建造方法は、イギリスのWatsonによって1839年に発明され、1851年にJordanは、リバプールで総トン数787トンのチューバル・ケイン号（Tubal Cain）を建造した。これが最初の木鉄交造船といわ

れている」<sup>38)</sup>。この種の船では、図1に示すように「キール、船首材、船尾材、外板と甲板は木材を用い、フレーム（梁）、ピラー（梁柱）、縦通材等に錬鉄材を用い、従来の木造船より船体の縦横比が大きく、より軽量で、より長い大型の帆船が建造できるようになった」<sup>39)</sup>。

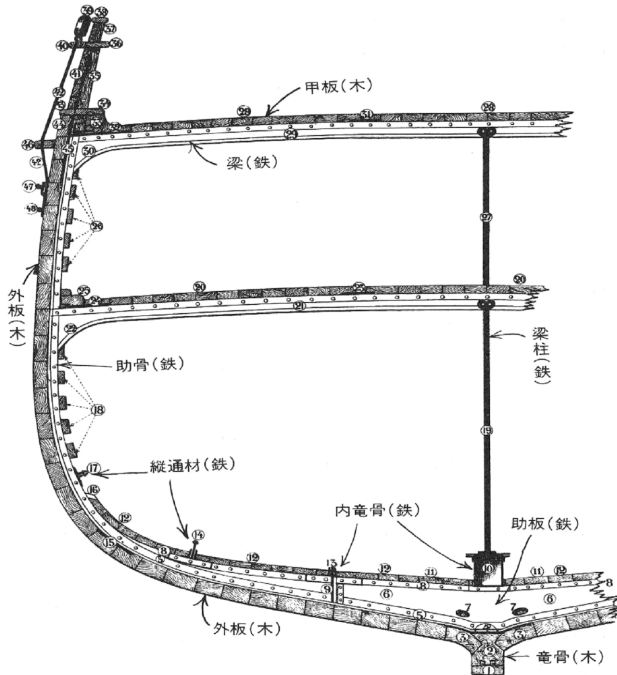


図1 木鉄交造船の構造（鉄は錬鉄を意味する）

出所：上野喜一郎著『船の世界史・上巻』p. 290.

木鉄交造船は、その後約10年間盛んに建造され「特に1850年頃からヨーロッパと東洋を結ぶクリッパーにもこの方式が用いられた」<sup>40)</sup>。そして、1849年以降更に安価になった造船資材一木、錬鉄、銅、麻、帆布一を利用し、以前に建造された船より安い条件で運航することができ「1868年にはロイド船級協会でも、木鉄交造船に関する構造規則が制定」<sup>41)</sup>されている。

## (2) 帆船の高速化

Ⅲ-2-(2)で述べたとおり、長距離航路における速度の増加は、経費削減の重要な考慮点である。当時、すでに、錬鉄材が造船材料として優秀であることが分かって、鉄船 (Iron Ship) の建造が次第に増加していた。「鉄の蒸気船は、同じ大きさの木造帆船より多くの船倉を持ち、火災に対してより安全であるが、たった一つの大きな欠点は、鉄船はフジツボ等の海洋生物の付着により船底が汚れる」<sup>42)</sup> ことであつた。このため、鉄の蒸気船は船底の汚れのために長距離の航海において、木製帆船と真に同じ速度で航行することができなかつた。

一方、木鉄交造船の利点は、海洋生物の付着を防ぐために「船底を銅かマンツメタル〔亜鉛と銅を4対6の割合で合金化された四六黄銅のこと一引用者一〕、あるいは亜鉛で包むことができ、船足(速度)を大きく妨げないよう保つことができた」<sup>43)</sup> ことである。銅板等で覆われた木鉄交造船は「少なくとも1870年までは蒸気船や鉄製帆船の両方を凌ぐ非常な利点を有し、熟練した船員の操船によって驚異的な速度を達成できた帆船に対して、当時の鉄船は対抗できなかつた」<sup>44)</sup>。

## (3) 艀装品への蒸気動力機械と鋼鉄製製品の導入

省人化及び効率的な運航も輸送経費削減の方策であり、帆船はこれらを実現するために艀装品の改善・改良も行っていた。これらの艀装品は、新しい技術を利用した物であり、帆の展開及び、錨や積荷の揚げ降ろし等に利用された蒸気動力のウィンチ類や、帆柱、索具等に対する鋼鉄製製品の導入であつた。この情況について、Grahamは「継続して帆船を建造していた、ThamesとClydeの造船所の約1200重量トンの標準型貨物船には、最新の船員の労働の節約と、棧橋や、帆の揚げ降ろし、そして錨の揚げ降ろしに使用するウィンチのような蒸気機械で一杯であつた。またチェーン・ケーブルも一般的に使用され、ついには鋼のワイヤー・ロープ、鋼の帆柱、そしてヤードと続き、これらは全て比較的少人数の乗員(約1/3)で、



帆船のより無駄のない作業を可能にする為のものであった」<sup>45)</sup>と述べている。

このような帆船への新技術導入による継続的な改善・改良は船員数の削減を生み出し、前述のドックや蒸気起重機等の設置、蒸気曳船による出入港の敏速化等によって、帆船の運航に掛かる総経費の削減と運賃の低下を生み出した。そして「蒸気船が主として船客と助成金を得た郵便物を運ぶことによって、海外取引に活用される展望が生じたにもかかわらず、1860年代と1870年代の進化した帆船 — より速く、総トン数に比例して2倍の倉庫を有し、約1/3の人数によって運航できる — は、沿岸で、またヨーロッパ近隣の海上におけるスクリュウ式蒸気船に対する注目度と同じくらい、広い海洋での優勢を維持」<sup>46)</sup>した。一方で、蒸気船の隻数、トン数も表8に示すように増加していたが、「英国の商業用船舶としての蒸気船の比率はごく小さく、長距離貿易航路で蒸気船による商業的輸送への挑戦は通常考えられておらず、蒸気船の役割は限られ、1850~70年の間は依然として帆船が優位」<sup>47)</sup>であった。

表8 英国登録の蒸気船

年	隻数	トン数	年	隻数	トン数
1814	1	69	1835	497	52,767
1820	34	3,018	1840	768	87,539
1825	151	15,764	1845	912	118,140
1830	295	30,009	1849	1,142	158,729

出所：Richard Tames, *The Transport Revolution in The 19<sup>th</sup> Century*. 3. Shipping, Oxford University Press, p.14.

資料：G. R. Porter, *Progress of the Nation* (1851 ed.) pp.316-19.

### 3 法律改定の遅れ

帆船が優位を継続できた要因には、産業革命のような改革の時代に特徴的な新しい法律の制定・改定がある。この法律の制定・改定は、1850年代を通して海運業の更なる発展に対しても間接的、直接的に影響を与えた。

大部分の改定は、1849年の航海条例の廃止以前におこなわれており、この期間を通して保護貿易主義の低下と、世界中いたるところで輸送と貿易拡大の新しい時代に入った。また「1834年には、ロイドの株式・社債引受人達が、帆船の特別な利益のために、英国の商業用船舶の適切な調査と分類管理をするため、進歩的な船主の支援の下でロイド船級協会を再編成」<sup>48)</sup>した。

この時期の最も重要な改定は、1836年の「総トン数法(The Tonnage Laws)」の改定であった。測定の方法を単純化し、それによって脱税を防ぐための新しい規則は、船の大きさに根本的な改善を強いた。

1773年に制定された総トン数法は、船の全体の貨物積載能力を意味する数字を提供することを目的とし、船の長さと同幅の寸法が使用され、深さは幅の半分として仮に用いられた、次の奇妙な公式によって得られていた。

$$(L - 3/5 B \times B \times 1/2 B) \div 94$$

ここで、L：船長（竜骨の長さ）、B：船幅（船体中央部の内包幅）

したがって、港と灯台使用の税金は、船の長さと同幅で見積もられた人工的総トン数で支払われ、船の幅を増やすことなく船倉を深くすることで多額の節約が可能となっていたが、速度が遅く不安定で転覆の危険性が高い船となり、Porterは「野蛮なシステム」と呼んでいた<sup>49)</sup>。

また、1836年の改定総トン数法は強制法であったが、この新しい法律は全ての船に対して必須ではなく「アメリカが旧計測法を継続して使用していたことから、商船造船会社は1854年の商船法(Merchant Shipping Act)の最終版が準備され、1855年に新しい計測方法が実行されるまで旧システムの下で引続き行動した」<sup>50)</sup>。そしてアメリカが旧計測法を廃止した1864年まで、英国は実質的な経済的利益を得ていた。

## 4 海図の進歩と輸送物資の種類

海図の進歩と輸送物資の種類も、帆船にとって有利に働き、その繁栄を継続させたと言われている。

### (1) 海図の進歩

帆船による長距離貿易の優位性は、進歩した広範な海洋学の知識の結果であった。二つのポイント（港）を最短距離の航路で航海できる蒸気船と異なり、帆船の航路は季節風と海流によって異なった。18世紀のJames Cookの航海は、水路測量研究の基盤を充実させたが、最初の海洋学研究は、James Rennell少佐が多くの貿易船の乗員に対して行った海流と風に関する情報の収集であり、この情報を基にした海図が1830年に出版された。その後、彼の研究を継承した米海軍のMathew Maury大尉によって拡大され、統計編集された最初の海図が1850年に発刊されるまでは、大洋の海流、風、そして気象についての組織的な研究はなされていなかった。Mauryは、同じ海域を航海した何百という船舶の航跡を海図の上に書き留めることによって、違った時間、違った年に、そして全ての季節を通して、毎日遭遇する風と海流に関する多くの帆船の経験を総合し、一般化することに成功した。

Mauryが発刊したこの海図は「船長にどのような特定の月、週でさえ、最適の航路を示す一連の兆候を提供することができ、この海図によって風と海流の特徴だけでなく、磁針に対する磁場の影響も観察できた。この海図の使用によって1850年代の初期、赤道までの航海日数を10日短くし、英国から喜望峰回りでオーストラリアまでの航海日数を通常約125日であったのを約92日に減らすことを可能にした。そして、蒸気船がスエズ運河を経由することによりオーストラリアへの距離が短くなったにも関わらず、高速帆船は偏西風を利用し殆ど同じ航海日数で航海でき、二つの航路で競争することを可能にした」<sup>51)</sup>。このことも帆船の優位を継続させた要因である。

## (2) 輸送物資の種類

1860年代後期の船用2段膨張機関の成功は、蒸気船の航続距離を増加させ、また石炭補給基地の増加によって、大きな石炭庫の必要性を減じ、輸送物資の搭載量を増加させた。より経済的なこの船用高圧機関の出現に直面し、帆船の建造は一時抑制されたが、羊毛、硝酸塩、油及び石炭のような大量で嵩張る安価な原材料の輸送と、安価で大量の商品による商業の発達で、帆船の優位を1870年以降も継続させた。「帆船は、最も安い石炭の輸送船として、同様に世界で最も安い倉庫として、海外の給炭基地や貯蔵所への主要な補給者となっていった」<sup>52)</sup>。

また、1874年以降の新世界における穀物取引量の非常な成長も、帆船に対するもう一つの強力な刺激となった。総トン数法の改定により、帆船の建造に個々の職人の技能と独創性が生かせるようになり、また、船主は特定の取引のために特別に設計された、より大きく、より快速の帆船を建造した。加えて、米国の南北戦争は米国の殆どの商船を破壊し、米国西部の小麦生産地からの穀物の自国商船での輸送が不可能となった。この穀物輸送を独占したのが新型帆船を含めた英国の帆船であった。また、オーストラリアのゴールドラッシュと羊毛取引のために建造された、英国とカナダのより高速性能に優れた帆船、すなわち「快速帆船」は、穀物輸送とサンフランシスコへの石炭輸送にも従事し「1882年には主として英国の550隻の帆船が、米国の西海岸から英国への穀物輸送に従事し、同様に、オーストラリアの穀物、羊毛の取引は1880年代を通して殆ど独占的に帆船のままで、1874年にオーストラリアの穀物輸送量は907,500トンに達し、1888年には2,315,700トンに達した」<sup>53)</sup>。そして、オーストラリアへの帰航便は移民船として使用された。また「東南アジアとの米取引においても、スエズ運河が開通していたにもかかわらず、1880年代に運河使用料金が低減されるまでは、帆船がほぼ独占していた」<sup>54)</sup>。

## V 結びにかえて：19世紀における帆船の繁栄に関する実証研究の課題

19世紀は産業革命によって工場制機械工業が発達し、大量生産された物資を輸送する手段として、陸上では鉄道が発達し、海上では蒸気船が帆船に代わる手段として発達を期待されていた。1840年代には蒸気機関を搭載し、外輪やスクリュー・プロペラを装備した大型の鉄船が建造され、大西洋を横断するまでに発達していたにもかかわらず、実際に大量の物資を輸送できる蒸気船は、1880年代後半になってようやく実現され、それまでの長い期間、大量の物資輸送は帆船が担っていた。

しかし、ここでまず検討されなければならないのは、産業革命期イギリスにおいて諸産業が深刻な木材不足に見舞われていたということである。産業革命によって生じた大量の輸送物資は、19世紀の海運業に非常な活況をもたらした。その一方で、大量の物資を輸送するための船舶の供給は、造船用木材の不足によって十分に対応できる状態ではなかった。

深刻な木材不足に由来する潜在的な船舶不足に対抗して働いた諸要因としては、隻数及びトン数ではイギリス本国で建造された船舶に加えて、戦時拿捕船、及びイギリス植民地等海外で建造された船舶の利用、生産性の面では船舶の高速化、及び港内作業における蒸気動力を利用した機械装置等による積荷の揚げ降ろし作業の短縮、蒸気曳船による出入港作業の効率化が挙げられており、それらにより海運業界の需要に対応していたと考えられている。しかし、Graham, North, Wells等の先行研究をみても、造船資材である木材不足への根本的な対策については、これまでの研究では明確に示されていない。木材不足への対応は当時の国家的課題であったはずであり、この点について、技術的進歩の面のみでなく、国家によってなされた政策や法律の改定等についても研究する必要がある。

さらに、帆船の繁栄を継続させた要因としては、船用蒸気機関の開発の遅れ以外に、継続的な新技術の導入による帆船の進化と港湾設備の整備が大量輸送を可能にし、運航に掛かる総経費を削減させ、運賃の低下を導き出したことがあげられる。Northは、この運賃の低下の要因を「第一に、港

における停泊時間の短縮、第二に、風と海流に関する知識の向上による航海時間の短縮、第三に、帆船と蒸気船両方における技術的変化であり、これらは19世紀を通して海上輸送の経費の低下を可能にした。それ故、帆船から蒸気船への変化が、海上輸送運賃の低下の主要な決定要素ではなかった」<sup>55)</sup>と結論し、19世紀を通して帆船の果たした役割の重要性を認めている。

19世紀の後半からの船用蒸気機関における高压化技術の進歩は、上述したように一時的な帆船の建造低下をもたらしたが、帆船は運航に関する総経費の削減によって運賃の低下を実現し、帆船の優位を保った。Northが示している、帆船と蒸気船両方における技術的変化について、その技術的変化の相違については、蒸気船の場合は効率的な船用蒸気機関の開発にそって多くの詳しい研究がなされているものの、帆船については、鉄の利用や省人化技術の導入を行ったと言う程度で、詳しい研究はなされていない。

この点について、船を一つのシステムと考えた場合、船は、その構成要素である個々のサブシステムを組み合わせることによって完成されている。また、個々のサブシステムは多かれ少なかれ、他のサブシステムとの関係を有している。このため個々のサブシステムの発展段階がバラバラで整合性が取られていなければ、組み合わせることができずシステムの構築は困難である。すなわち、船としての形はしているが、機能しない船が出来上がる可能性が大きい<sup>56)</sup>。この点に注目し、帆船の進化の過程における各構成要素への技術導入が、帆船というシステムの他の構成要素と整合性をもって導入されていたかを検証し、帆船が優位を維持できた要因を改めて見直すとともに、併せて、木造帆船から木鉄交造の帆船へ、そして鍊鉄・鋼鉄帆船への移行過程で、船体構造の強度面に関する分析と、その効果についても調査・研究する必要がある。

また、帆船の航海は長期間を要したが、この費消時間は当時の諸産業の維持発展にとって問題とならなかったのか。すなわち、風と海流という自然条件に左右されない蒸気船を、物資輸送に利用した方がはるかに時間的

な無駄がなかったと考えられるにも関わらず、物資輸送の蒸気船の建造が遅れた要因について、効率的な船用蒸気機関開発の遅れがその要因であったとする研究結果はあるものの、物資輸送に蒸気船を利用することの利点について、船主、荷主の選好に関する研究はなされていないように見られる。単に、効率的な船用蒸気機関の開発が遅れていたことのみであったのであろうか。

これらの疑問に対して、あらためて帆船と蒸気船の進化の過程を、それぞれの技術的進歩の相違とその要因について研究するとともに、19世紀という時代背景、すなわち産業革命後の社会的・経済的変化が帆船の繁栄にどのように影響を与えていたのかを研究することが今後の課題となろう。

## 注

- 1) G. R. Porter, *Progress of the Nation* (1851), pp. 319-20.
- 2) David Wellsは「概ね1875年以前の海洋蒸気船は、貨物輸送船として恐れるべきものではなかった。蒸気機関は重くて大きな容積を必要とし、石炭の消費量も多かった。船客の輸送や、小さな容積で高価な物品の輸送用としては十分であったが、安価で嵩張る大量の消費材のような交易品の輸送手段としては不満足なものであった。これまでの古いタイプの3000トン蒸気船は、燃料として2200トンの石炭を搭載する必要があり、貨物の積載能力は800トンしか確保できなかったが、現在（1885年）の効率の良い複式機関を搭載した蒸気船は、同じ距離を航海するのに必要な石炭は800トンでよく、2200トンの貨物を積載でき、帆船に変わって蒸気船による貨物輸送が可能となった」と述べている（D. A. Wells, *Recent Economic Changes* quoted in B. Rand, *Economic History Since 1783*, pp. 305, 307-8.）。また、上野喜一郎は「海運業界からの大量物資輸送における船舶需要に対する要求に対して、帆船に当時生産量が増加していた鉄（錬鉄）を造船部材に使用し、木材不足を補うとともに船体強度の増加をはかり、帆船の大型化を可能にし

た、木鉄交造船を建造した。また、この工法を当時の快速船であったクリッパーにも適用し、大量の物資を同時代の蒸気船よりも短期間輸送することを可能にした」と述べている（上野喜一郎著『船の世界史』舵社 上巻、1980年、289頁.）。

- 3) Gerald S. Graham, "The Ascendancy of the Sailing Ship 1850-85" *The Economic History Review*, New Series, Vol.9, No.1 (1956), p. 74.
- 4) *Ibid.* p.74.
- 5) *Ibid.* p.75.
- 6) スエズ運河の運河使用料が低減されはじめた1880年代までは、東南アジアの米取引は帆船がほぼ独占していた事実から、スエズ運河の開通が即、帆船から蒸気船への分岐点ではなかった (*Ibid.* p. 84.)。
- 7) Douglass North, "Ocean Freight Rates and Economic Development 1750-1913", *The Journal of Economic History*, Vol.18, No.4 (Dec.1958), pp. 537-555.
- 8) Ramon Knauerhase, "The Compound Steam Engine and Productivity Changes in the German Merchant Marine Fleet, 1871-1889," *The Journal of Economic History*, X X V III (Sep. 1963), p. 401.
- 9) Gary M. Walton, "Productivity Change in Ocean Shipping after 1870: A Comment", *The Journal of Economic History*, Vol.30, No.2 (Jun.1970), p. 436.
- 10) *Ibid.* p. 436.
- 11) Ramon Knauerhase, *Op.cit.*,p. 393.
- 12) *Ibid.* p. 394.
- 13) Walton, *Op. cit.*, p.436.
- 14) Ramon Knauerhase, *Op. cit.*, p. 400.
- 15) Walton, *Op. cit.*, p. 438.
- 16) *Ibid.* p. 439.
- 17) *Ibid.* p. 439.



- 18) Richard Tames, *Op. cit.*, p. 24.
- 19) Gerald S. Graham, *Op. cit.*, p. 81.
- 20) James Dodds & Jamwes Moore, 渡辺修治訳, 『英国の帆船軍艦 (原題: *Building The Wooden Fighting Ship*)』, 1995年, 16頁.
- 21) 片山幸一, 「イギリス産業革命期の貿易と海運業(1)」, 『明星大学経済学研究紀要』, 第27巻第2号 (1996年3月), 6頁.
- 22) R. Craig, "Capital Formation Shipping", in Higgins, J. P. Pollard, S. (eds.), *Aspects of Capital Investment in Great Britain, 1750-1850*, Methuen & Co., 1977, p. 143.
- 23) 片山幸一, 「イギリス産業革命期の貿易と海運業(2)」, 『明星大学経済学研究紀要』, 第28巻第1, 2号 (1997年3月), 40, 41頁.
- 24) 片山幸一, 「イギリス産業革命期の貿易と海運業(3)」, 『明星大学経済学研究紀要』, 第30・31巻合併号 (2000年3月), 5頁.
- 25) 同上. pp. 6-9頁.
- 26) Jackson, G. , "The Shipping Industry" in Freeman, M. J. and Aldcroft, D. F. (eds.) *Transport in Victorian Britain*, Manchester U. P. , 1988, p. 262.
- 27) North, D., "The Role of Transportation in Economic Development of North America", p. 218.
- 28) McCulloch, J. R., *A Dictionary Practical, Theoretical and Historical, of Commerce and Commercial avigation*, Longman, Orme, Brown, Green, and Longman 1840, p. 1024.
- 29) Richard Tames, *Transport Revolution in the 19<sup>th</sup> Century. 3. Shipping*, Oxford University Press, (1971) pp. 17, 58.
- 30) *Ibid.* pp. 58, 59
- 31) Tames, *Op. cit.*, p. 1.
- 32) 上野喜一郎, 『船の世界史』舵社 上巻, 1980年, 154頁.
- 33) Gerald S. Graham, "The Ascendancy of the Sailing Ship 1850-85" *The Economic History Review*, New Series, Vol.9, No.1 (1956), p. 74.

- 34) Lillian Knowles, *Industrial and Commercial Revolutions in Great Britain During the Nineteenth Century*, E.P.Dutton & Co. (1922), p. 195.  
Quoted in Gerald S. Graham, "The Ascendancy of the Sailing ship 1850-85" *The Economic History Review*, New Series, Vol.9, No.1 (1956), p. 75.
- 35) Gerald S. Graham, "The Ascendancy of the Sailing Ship 1850-85" *The Economic History Review*, New Series, Vol.9, No.1 (1956), p. 75.
- 36) *Ibid*, pp. 82-83
- 37) A.M. ロップ (鈴木高明訳) 「造船」 チャールズ・シンガー 『技術の歴史』 筑摩書房 第9巻 鉄鋼の時代／上 第16章, 1979年, 275頁.
- 38) 庄司邦昭, 『船の歴史』 河出書房新社, 2010年, 60頁.
- 39) 上野, 前掲書., 289頁. 木鉄交造船の建造方法は, 1839年に発明されていたにもかかわらず, 実際に木鉄交造船が建造されたのは1851年であった。この遅れの要因解明について当時の学識資料を発掘するとともに, 併せて帆船と蒸気船の船体構造に関する強度面の解析についても今後の研究課題である。
- 40) 庄司, 前掲書., 60頁.
- 41) 上野, 前掲書., 289頁.
- 42) Tames, *Op. cit.*, p. 11.
- 43) ジョージ・ネイシュ (須藤利一訳) 「造船」 チャールズ・シンガー 『技術の歴史』 筑摩書房 第8巻 産業革命／下 第19章, 1979年, 500頁.
- 44) Graham, *Op. cit.*, p. 76.
- 45) *Ibid* p. 79. 帆船及び蒸気船の造船材料として鋼材が広く使用されるようになったのは, 1856年に酸性転炉製鋼法 (ベッセマー転炉法) が発明され, それ以降, 鋼の大量生産が可能となり安価になったことがあげられる。(バリー・トリンダー著, 山本 通 訳 『産業革命のアルケオロジー』 新評論, 1986年, 220頁.)
- 46) *Ibid* p. 81.

- 47) Richard Tames, *Op. cit.*, pp. 14-15.
- 48) Gerald S. Graham, *Op. cit.*, p. 77.
- 49) *Ibid.* p.78.
- 50) *Ibid.* p.78.
- 51) *Ibid.* p.82.
- 52) *Ibid.* p.84. 東洋航路の蒸気船への石炭供給のために置かれた貯炭場 (coal station) については、一例として、イギリスの海運企業ペニンシュラー・アンド・オリエンタル汽船会社 (Peninsular and Oriental Steam Navigation Company) の社内記録に、「1852年から53年に配置していた貯炭場は、スエズ、アデン、セイロン、マドラス、カルカッタ、ボンベイ、ペナン、シンガポール、香港」という記述がある。そして、これらの貯炭場への石炭輸送は、多くの帆船によって行われていた。(後藤 伸著『イギリス郵船企業P & Oの経営史 1840-1914』勁草書房、2001年、139-140頁.)
- 53) *Ibid.* p. 84.
- 54) *Ibid.* p. 84.
- 55) Douglass North, *Op. cit.*, p.541
- 56) 船をシステムとしてとらえる見地から、船用タービンと船の構造との相互作用に着目した研究に、坂本茂樹『船用蒸気タービン百年の航跡』があげられる。船を構成する、構造技術、動力技術、通信／制御技術という各々の技術サブシステムは単独では殆ど意味をなさず、他のそれぞれと組み合わせあってシステムとして完成されたものとなるが、各々の技術サブシステム間の進化の不整合が存在したまま組み合わせられると、システムは悲劇的な事故を引き起こす。一例をあげれば、タイタニック号の氷山との衝突事故がある。タイタニック号の船用蒸気プラントは同時期における最高度の動力技術に支えられていたが、他方、動力技術と整合せしめられるべき構造技術の面を見ると、縦通隔壁がなく、二重船底部分の深さや水密隔壁の高さが不十分であり、加

えて、使用されていた船殻構造用鋼板も厳冬期の北大西洋の水溫レベルにおいて低温脆性を起こすと指摘されるほどの品質であったこと、また、蒸気プラントと危急後進時における舵の効き具合の不整合も氷山の回避動作を遅らせている。このようなサブシステム間の不整合が、船体に亀裂を生じさせ、浸水を十分に防ぎきれずに沈没をまねいている。