

# 船\_この巨大で力強い輸送システム

野澤和男著

Ship! This huge and powerful transport system

Kazuo Nozawa

Корабль! Эта огромная и мощная транспортная система

Кадзуо Нодзава

船は歴史が古く、大航海時代や産業革命を経て現代まで絶え間なく深化してきた。科学技術・資本主義の発達と共に船と運航システムは高度化しグローバル化を深めている。本書は船の世界史を知って現代の船を理解する本である。

口絵、はじめに

第1章: 船とはどのようなものなのか?

第2章: 船の世界史と日本の造船史

第3章: 船の分類としくみ

第4章: 船の性能と理論

付録一実船の馬力計算とプロペラ計算の演習一

紙の本/電子書籍

2005年初版第1印刷、2015年初版第4印刷

[https://honto.jp/netstore/pd-book\\_02712229.html](https://honto.jp/netstore/pd-book_02712229.html)

<https://www.kinokuniya.co.jp/f/dsg-08-9981186376> etc



## はじめに

2021年現在、地球の196の国には78億人(2010年には68億人, 15%増)が住む。この驚くべき人口を支えるに必要な膨大な量の物品、その99%を船は七つの海に張り巡らされた海上輸送路を休むことなく輸送する。そして形を変えながら人々のもとまで搬送され日常生活を支えている。まさに船は物と人を運ぶ不可欠な“巨大で力強い輸送システム”と言える。

しかし、政治・経済・社会上の事件、気候変動など予想外の異変がひとたび起こるといとも簡単に物流システムは滞り金融/経済上のダメージを与える。直近の例ではスエズ運河のコンテナ船閉塞事故、現下のコロナパンデミックや付随する原油価格の高騰がそれ

である。商船は世界の動向と密着して動いている重要な輸送機関であるにも拘らずその存在感を実感する機会がほとんどない。現在では商船は巨大化したためにコンテナ埠頭や石油コンビナートなど荷役専用の特別な施設に直接停泊するためである。四方を海に囲まれた島国の日本人は海運即ち、船舶輸送に支えられていることを忘れがちである。

本書は奥深い船の世界史を知って現代の船を理解する本である。巨大な船の役割、形やしぐみ、推進性能、構造と安全性、波と動揺性能など船と海そして世界との係わりについて知る。これが本書著作の動機である。

以下、現下の関連課題も考えながら本書の概要を紹介する。

# § 1 巨大船を見る

①巨大クルーズ客船QM2(クイーンメリー二世：2004年1月竣工)：長さ345m、幅41m、高さは72m(煙突上部まで)、15万総トン、約15万馬力の電気推進機船、最新型のプロペラ4個を回して29.5ノット(48km/h)で走る。乗客3,090人、乗務員1,254人(合計4,344人)



②巨大タンカー「Esso Atlantic」 史上最大の大型タンカー：長さ406.6m、幅71m、深さ31.26m、45,000馬力(蒸気タービン)、直径10mのプロペラ(回転面積約24坪)、船速15.15ノット(28km/h)原油50万9千トンを一度に運ぶ。これは日本が1日に消費する石油総量約90万トンの約半分に相当する。



③大型コンテナ船「MSC Oscar」：長さ395.4m、幅59m、喫水16m、83,800馬力のディーゼル機関を装備し、船速22.8ノット(42.2km/h)で走り、19,224個(TEU)のコンテナを運ぶ。TEUは20feet長さコンテナ(L×B×D=6.1×2.44×2.6m)での換算個数で、貨物列車で隙間なく連結すると117kmになる。(2014年12月竣工)写真はMSL Company Richard Depery氏寄贈





大人と子供

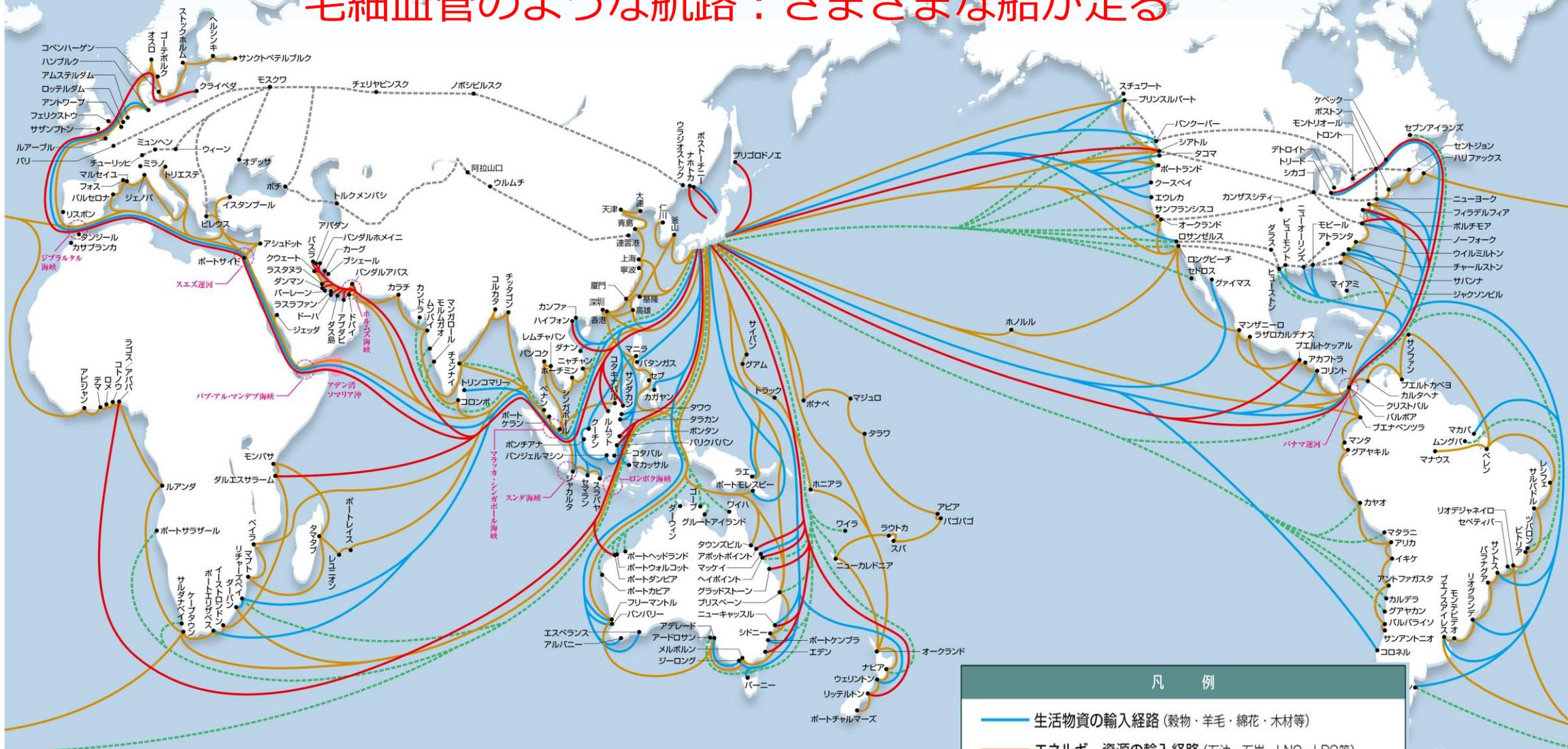


大きさ比較のイメージ  
船～飛行機、列車、建物、乗用車、人



図 2

# 毛細血管のような航路：さまざまな船が走る



・コンテナ船、タンカー、LNG船、自動車運搬船、ばら積み運搬船、クルーズ船の航路  
 ・この他、砕氷LNG船用北極海回り航路(NSR)が開発中である。

凡例	
<span style="color: blue;">—</span>	生活物資の輸入経路(穀物・羊毛・綿花・木材等)
<span style="color: red;">—</span>	エネルギー資源の輸入経路(石油・石炭・LNG・LPG等)
<span style="color: green;">- - -</span>	工業原料の輸入経路(鉄鉱石・原料炭・銅鉱石・ニッケル鉱石等)
<span style="color: orange;">—</span>	国際定期航路(製品等の輸出入航路)
<span style="color: gray;">- - - - -</span>	ランドブリッジ・サービス

出典：<https://www.jsanet.or.jp/data/shipping.html> に加筆

## §2 船の主要用語

強力なヘリコプター  
で船を吊り下げ  
船の全体を見ると  
.....

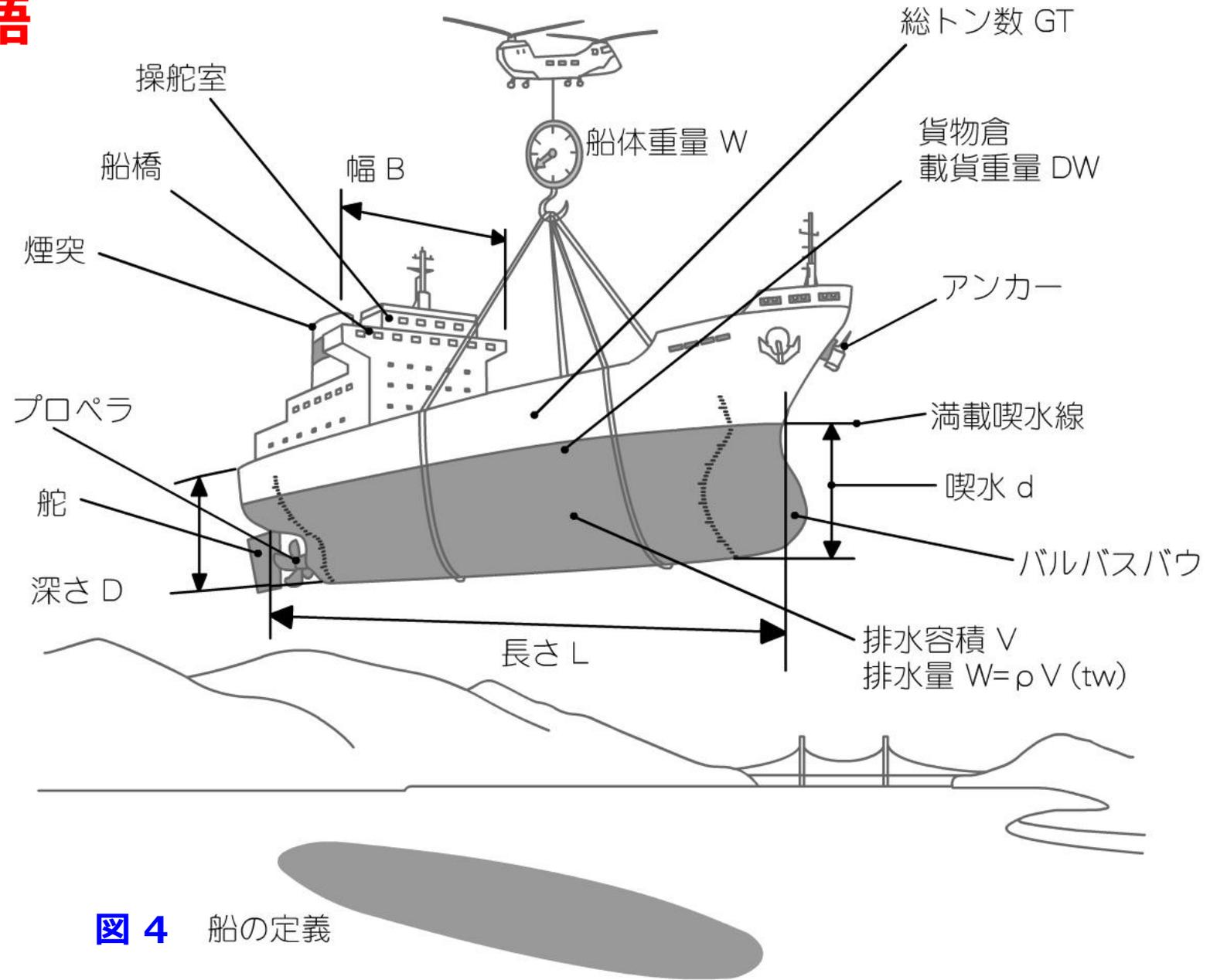


図 4 船の定義

# 船の主要用語

- ・ **船の主要寸法**：長さ L、幅 B、深さ D、満載喫水 d、満載排水量 W
- ・ **満載排水容積V**：満載喫水線以下の船の体積(排水した海水の体積)
- ・ **満載排水量W**：満載排水容積と同じ容積の海水重量  $W = \rho V(tw)$   $\rho$ ：海水密度( $t/m^3$ )  
これは船の重量 $W_S$  (図4の秤が示す重量)、アルキメデスの原理により船が浮かぶということは  
$$W_S = W = \rho V(tw)$$
- ・ **軽荷重量LW**：荷物を積まない船体自身の自重
- ・ **載貨重量DW**：積載最大重量、つまり、満載排水量から船の自重を引いたもの。  
$$DW = W - LW$$
- ・ **容積トン数(総トン数)GT**：船から上甲板以下の容積に上甲板より上の閉囲された場所の容積(ただし、航海、推進、衛生関連の場所は除く)を加えた容積に対して100立方フィートを1トンの単位で表示した数値。客船に多く使われるトン数
- ・ **TEU**：コンテナ船の積載個数の単位。長さ20フィートコンテナへ換算した個数
- ・ **主機関**：船の推進機関でディーゼル、ガスタービン、電気推進、原子力等の機関がある。  
主機関を動かすための機械類を補機という。
- ・ **プロペラ (スクリュープロペラ)**：通常型プロペラとPOD型プロペラがある。通常型プロペラには固定ピッチプロペラと可変ピッチプロペラがある。POD型プロペラはPOD内の電動モーターでプロペラを回す。船体固定式と全方位式 (Azipod：垂直軸周りに360°回転可能で全方位に推力を出せる) がある。
- ・ **船速Vs**：ノット(kts)で表示。1 kts = 1.852km/hour = 0.5144m/sec  
1ktsは1時間に地球の赤道周りに経度1分を走る距離
- ・ **舵**：1軸船ではプロペラの直後に置く。 転舵時、強いプロペラ後流により大きな横力が発生し船を旋回させる。

### §3 船の用途と分類

地球上に張り巡らされた航路を種々のエネルギー資源、鉱石、車両、各種製品、衣料、食料、冷凍食料品など世界の輸送物の99%を各国の港湾に輸送する。

物流ルートのもっとも身近な終着駅である私たちの家庭、食卓に毎日、いろいろな製品、燃料、食料を運び続けている。また、大型クルーズ客船は動く巨大豪華海上ホテルとして、多くの船客を居ながらにして美しい自然や名所旧跡に誘い悠久の時の流れを楽しませてくれる。

古代の人々が生活から船を切り離せなくなっただように、現代の社会においても日常の物資輸送から船を切り離すことは不可能であり人間社会に最も密着した巨大で力強い輸送システムとなっている。

船は、輸送する製品の量、速度、航路等に応じて

- ・ 大きさ
- ・ 船型
- ・ 構造
- ・ 機関・速力
- ・ 艀装品

が設計開発され、輸送効率が高い船が建造される。

大分類に見るように、現代の船も太古の昔の人間が抱いたのと同じような目的

- ・ 水面を渡る
- ・ 人や物を運ぶ
- ・ 漁労をする
- ・ 水域での作業をする
- ・ 探検をする
- ・ 守る・戦う
- ・ 楽しむ

で進化を続け、長さ400mのような巨大船が生まれた。



図 5

船の種類と大きさ比較: 上から、コンテナ船、原油タンカー、客船、LNG船、自動車運搬船、木材ばら積み船、ばら積み船 (URL is unknown, unfortunately.)

No.	用途	大分類	小分類
1	人や物を運ぶ	商船	客船 カーフェリー 貨物船 タンカー コンテナ船 ばら積み運搬船 特殊貨物船 LNG船
2	漁労をする	漁船	漁業船 母船 漁業調査船
3	作業をする	作業船	曳船 浚渫船 起重機船 補給船 施設船 石油掘削船
4	観測・調査する	特殊船	海洋調査船 砕氷船 気象観測船 航海練習船 巡視船
5	守る・戦う	艦船	
6	楽しむ	レジャーボート	高速艇 ヨット

# §4 国際物流に関する海事産業クラスター

海事産業は造船業と海運業を中核とした巨大なクラスター (cluster: 葡萄の房のような) を構成する。

船を作る造船会社は運航する商船会社など海運業、港湾管理、船級協会など多くの会社と強く関わっている。

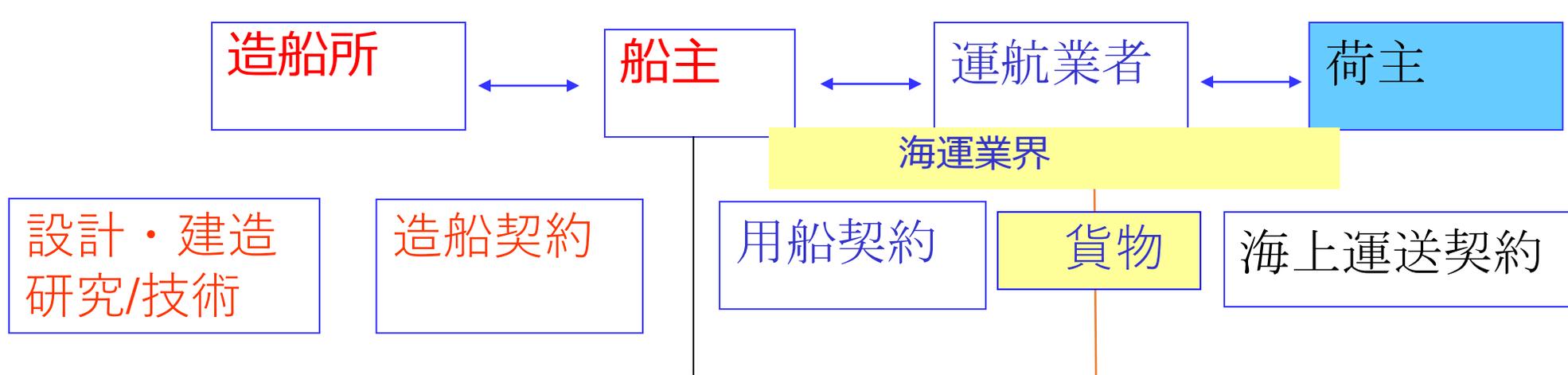
船舶を技術的・経済的に発展させるためには各関連クラスターとの境界課題を把握し設計に取り入れてゆくことが大切である。

(JSA 一般社団法人日本船主協会 の資料から引用)

図 6

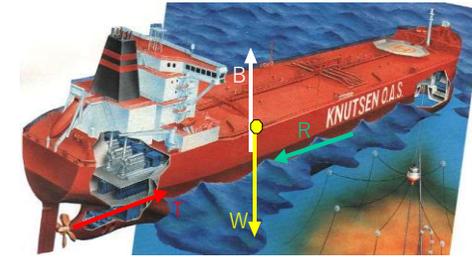


# 国際物流：造船と海運の関わり合い



商船 → 航路    ロジスティクス・物流

- ▶ 定期航路 :Liner, コンテナ船
- ▶ 不定期航路 :Tramper、タンカー、バルクキャリア



ニーズ：船種  
DW/Vs、航路？

運賃：(定期船) 海運同盟、運賃同盟、TARIFF表  
(不定期船) その時々海運市況(荷動き・船腹需要バランス) により  
荷主と船会社の交渉で決める。バルチック海運指数が一つの目安。

※物流: 物的流通(Physical Distribution:PD) :  
生産物を生産者から消費者へ空間的、時間的に引き渡すこと。  
輸送・保管・荷役・包装・流通加工・物流情報処理が重要な機能である。  
ロジスティクスの目的は物流の管理を最適化して、消費者のニーズに対応したり、より良い取引をしたりすることにある。

世界の海運航路へ

世界経済・海運市況の動向・変化

# §5 船の輸送効率

大量な荷物をゆっくり運ぶ船は輸送効率が高い！

## 輸送コスト指数(TCI)

(Karman-Gablielliの式)

$$TCI = P / (W \cdot V) \sim V \dots\dots ①$$

P:馬力(PS)、W:重量(tw)、V:速度(km/h)

貨物:Wを単位時間に距離:V運ぶための馬力:Pの大きさ

つまり輸送コスト指数

例えば、距離Lを運ぶ場合、輸送時間は $T=L/V$ 。∴  $V=L/T$

$$TCI = P / (W \cdot V) = PT / WL = \text{全仕事量 (燃料消費量)} / WL \dots\dots ②$$

TEIは①の逆数で同一距離に対する輸送効率指数を表す。

## 大型タンカー、コンテナ船、ジャンボジェット(B737)

TCI 0.03      0.025      0.8

TEI 333(270)      40(32)      1.25(1)

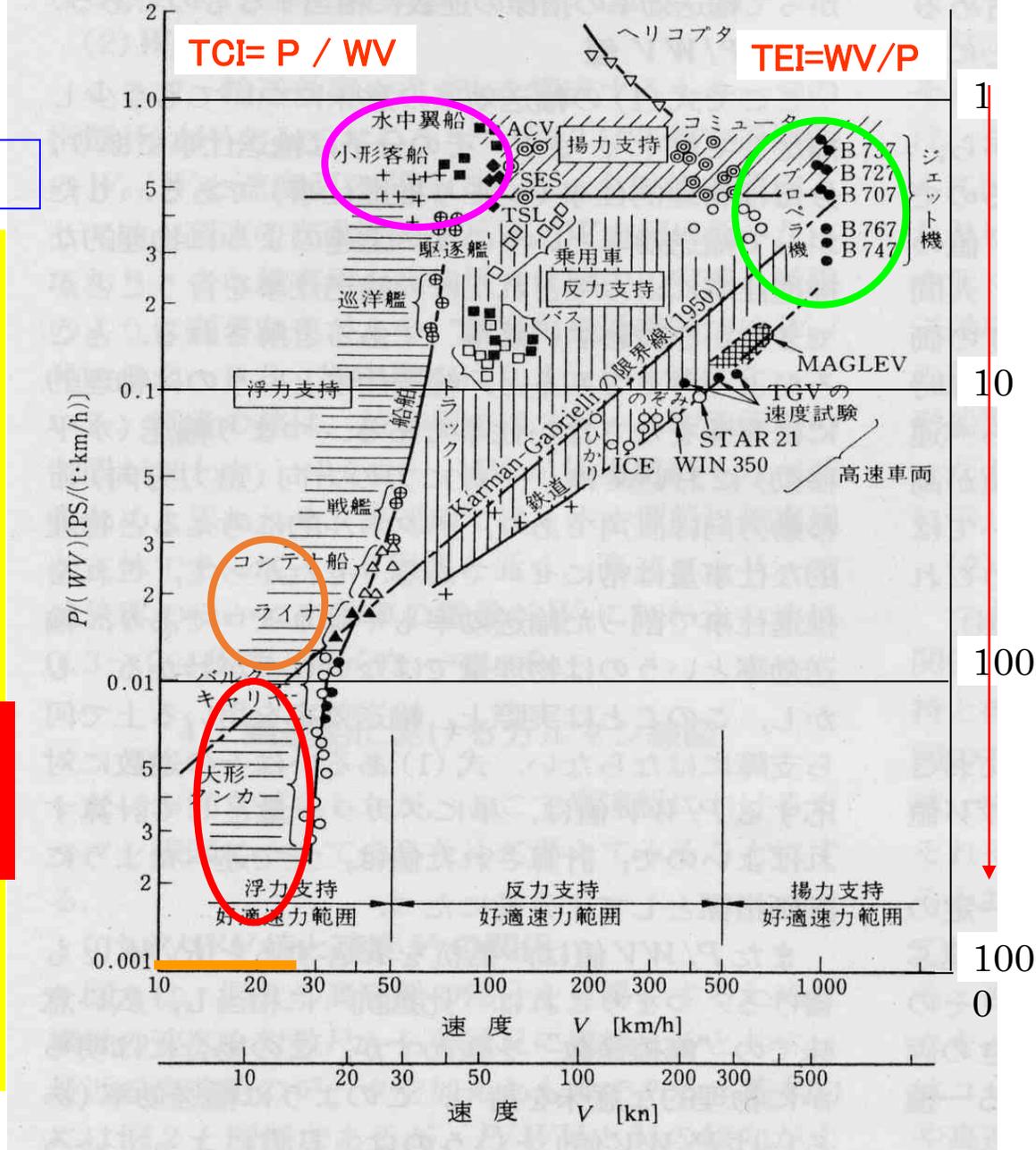
## 輸送効率指数TEI:

大量な荷物をゆっくりと運ぶ大型タンカーはコンテナ船より90倍、ジャンボより270倍輸送効率が良い。

注) エネルギー効率関連条約 (IMO:EEDI及びSEEMP)

地球温暖化低減の観点から①式のTCI式は変形されてEEDI (エネルギー効率設計指標) に関連付けられた。船舶の新しい課題である。

$$EEDI = CO_2 \text{排出量} / \text{輸送量} \propto P / (W \cdot V)$$



各種輸送機関の輸送コスト指標TCI (右尺度: 輸送効率指標TEI) (Karman-Gablielli線図 赤木新一: 関西造船協会誌No.212より転載加筆)

## 船の特徴を纏めると

- ①水に浮く・・・浮力の恩恵 (Archimedes' principal)→ 重いものを浮かせて運べる
- ②水面を走る・・・抵抗が少ない→  $R \propto V^2$  速度が遅いほど抵抗が小さい
- ③大量な物をゆっくり輸送する巨大構造物・・・輸送効率が大きい ①②の利点
- ④海という自然の中で走る・・・巨大化が可能
- ⑤国際航路を航行する
- ⑥国と国を結ぶ国際的製品である
- ⑦世界の物流輸送(99%以上)に貢献する社会的経済的構造物
- ⑧自己完結的製品である：洋上に浮かぶ都市、施設、倉庫
- ⑨総合工学的製品：学際的製品、自然科学/社会科学/人文科学の課題に係わる
- ⑩海洋環境、海難事故に関連する構造物・・・船級協会等検査体制
- ⑪船とは、大洋を大量な物資を積んで、地球上を休むことなく、人類のために物資をゆっくりと運ぶ輸送効率の高い輸送システムである。

## § 6 船の歴史

船の長い歴史をキーワードで辿ってみる。その一つ一つに奥深い歴史があり現在・将来につながる。

### 世界

1. 太古の船：浮き、筏、刳舟
2. 河を行く船：パピルス船、木造組み立て船・櫂・マスト
3. 海を行く船：エジプト、フェニキア、ギリシア、ローマ、バイキング船
4. 地中海と海運共和国、十字軍の遠征
5. 大航海時代：コロンブスなど、イギリス海洋進出と軍船、クリッパーと大西洋航路、東インド会社
6. 産業革命：蒸気機関、蒸気タービン、ガスタービン、推進器：外車、スクリュープロペラ、蒸気船
7. 大西洋航路蒸気船：グレイト・ウエスタン等1838-、キュナードと各国の競争、Titanic, QM, QE (old)
8. 第2次世界大戦後：大西洋横断定期航路 (United States, France, QE2等)
9. クルーズ時代の大型客船：QE2, QM2, ダイヤモンド・プリンセス等

詳細は本文P25～P83参照

### 日本

日本では黒船来航までの和船の発展、1853年黒船ペリー来航による産業革命の受容、急速な海運・造船の発展を経て1960年代に世界の造船国、海運国となる。世界の造船海運の基盤を構築し現在も貢献。

詳細は本文P84～P121参照





# 船の新発展 保持形態

船を水面に浮上させる力の原理として浮力 (X)、揚力 (Y)、空気圧力 (Z) の3つの要素が考えられる。図 3-1 に示すようにこれらを三角形の頂点として描くと、その頂点はその原理に100%依存する船である。 $X+Y+Z=1$  として要素 (X、Y、Z) をもつ船を考えると、各要素を併せ持つ種々の船が考え出される。



高速化により増大する抵抗をいかに減らすか？  
船の形態を変える。  
今後どのような船が出てくるのだろうか？

図 10 揚力、空気圧力を3頂点とした各種保持形態の船舶

# § 7 船舶設計の初期条件と守備範囲

## 初期条件

何を、どこに、どのような量を、如何なる速度で 運ぶのか？  
 船種 航路 DW Vs

上記の条件の基に  
 下記の要素を満たすように最適設計される。

①安い運航コスト

運航効率大：  $TCI = P / (DW \cdot Vs)$  小 PS小、DW大

②安全性

実海域波浪中性能（推進/運動/操縦）

③居住性

構造設計：大型化、堅牢で船殻重量小

④環境への考慮

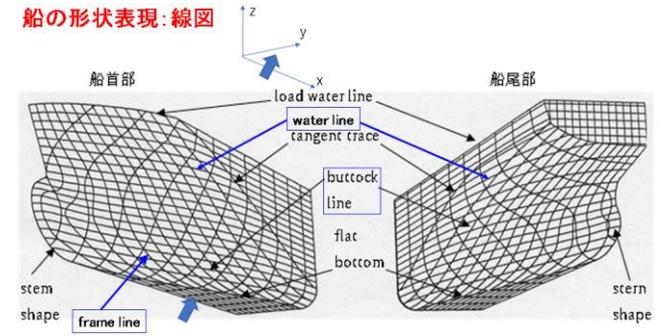
防振、低騒音、

⑤ロジスティクス

温室効果ガス排出低減

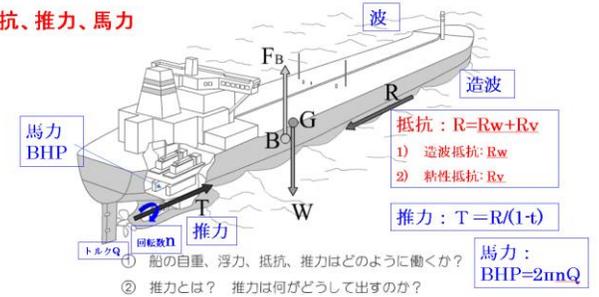
船型計画、運航計画

船の形状表現：線図



§ 8 船の走るメカニズム

抵抗、推力、馬力



§ 10 復原性能の原理

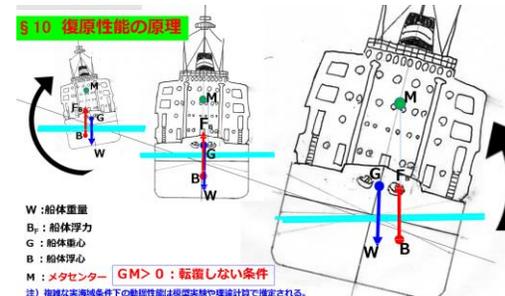


図 11

現在の船型性能開発設計では  
**CFDと船型試験水槽が併用**されている。さらなるCFDの深化により所謂数値水槽が実現すれば両者の相互補完が高度化し次世代船型開発及び海難事故防止への強力なTOOLとなろう。

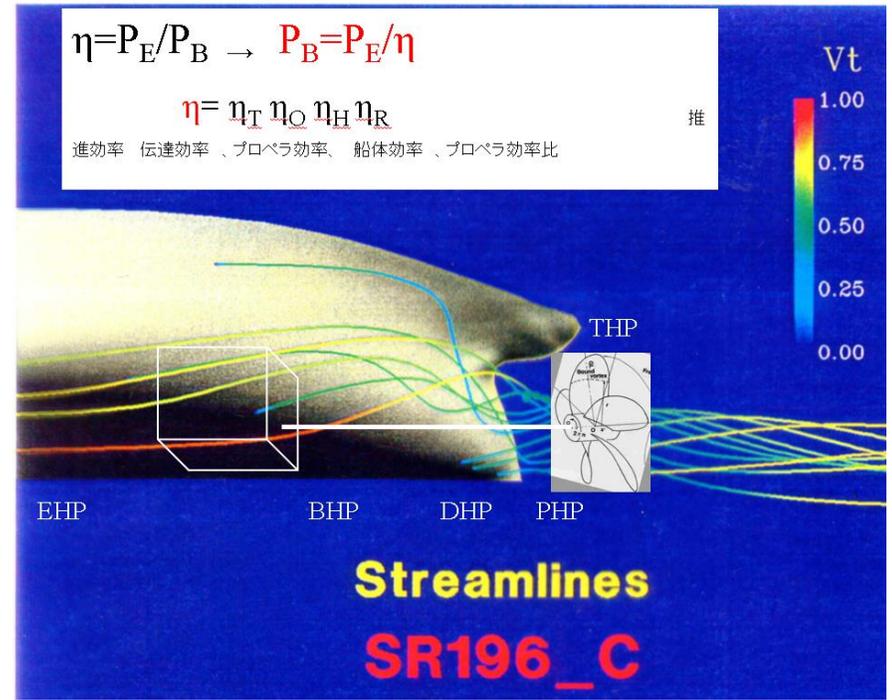
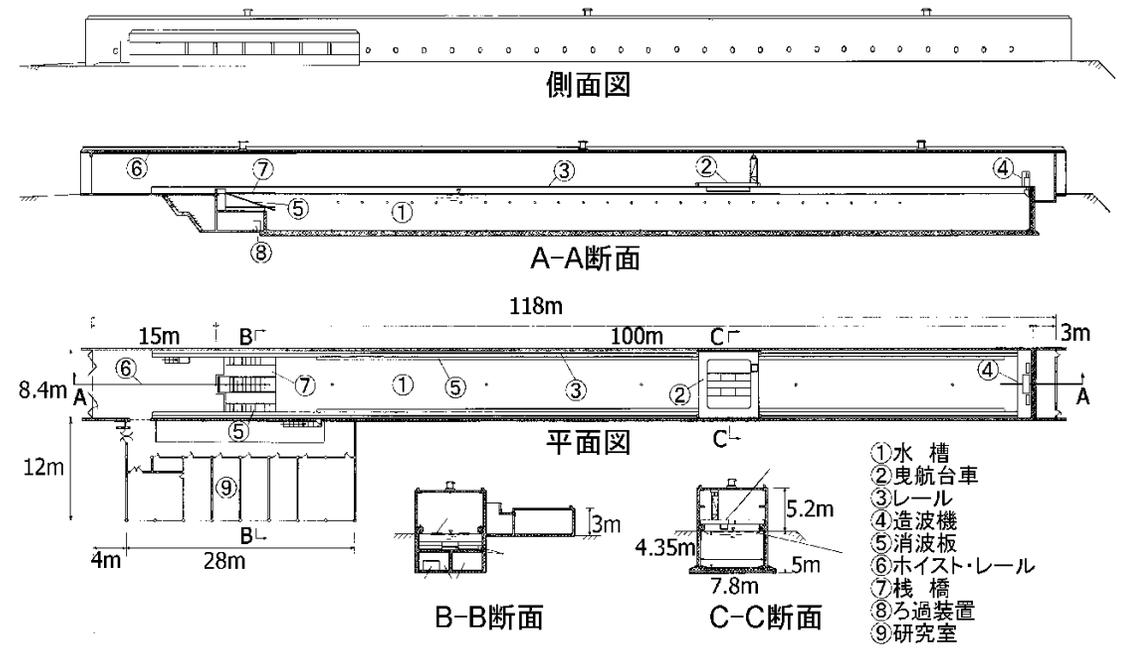


図 12

CFDによるタンカー船型の船尾粘性流場の解析 (SR222) 本文236頁 参照



大阪大学船舶海洋試験水槽 本文226頁 参照