

河川整備基金助成事業

河川・沿岸域における船舶のエコ化および船舶活用による環境改善貢献等の多角的検討報告書

助成番号：23-1216-003

社団法人 海洋産業研究会

平成 23 年度

はじめに	1
1. 既存の河川・沿岸域における船舶の現状整理	1
1.1 日本の河川舟運	1
1.2 河川舟運の可能性	3
1.2.1 荒川、隅田川を運航中の船舶についての調査	4
(1) 旅客船	4
(2) タンカー	4
(3) 鋼材運搬船	6
(4) 荒川、中川、隅田川を運航している船舶のまとめ	6
1.2.2 舟運輸送と陸上輸送の比較	7
1.2.3 静脈物流	9
1.2.4 災害時の輸送手段	10
2. 船舶の環境負荷低減の各種方策	11
2.1 船型改良によるCO ₂ 削減	11
2.2 船舶の主機関と燃料、推進方法	11
2.2.1 船舶の主機関	12
2.2.2 船舶用の燃料	12
2.2.3 C重油、A重油、軽油の呼称	13
2.2.4 C重油、A重油、軽油の規格	13
2.2.5 燃料別CO ₂ 排出量	14
2.3 SO _x の削減	15
2.4 NO _x の削減	15
2.5 PMの削減	15
2.6 燃料としての天然ガス	15
2.6.1 シェールガス	16
2.6.2 LNG運搬船（液化天然ガス運搬船）	16
2.6.3 CNG	18
2.7 電気推進化の進展	18
2.8 隅田川の旅客船の省エネ検討	20
2.8.1 在来型客船と新省エネ型客船	20
(1) 航走中の在来型客船Aと波形	20
(2) Fn数と造波抵抗	21
(3) 在来客船Aと新省エネ客船の概略主要目	23
(4) 在来客船Aの速度別抵抗割合推定	24
(5) 新省エネ客船の速度別抵抗割合推定	24
(6) 在来客船A、新省エネ客船の推定速力馬力の比較	25
2.9 荒川航行のタンカー省エネ検討	26
2.9.1 在来型タンカーと新省エネタンカー	26
(1) 在来タンカーAの速度別抵抗割合推定	27

(2) 新省エネタンカーの速度別抵抗割合推定	27
(3) 在来型、新省エネ型タンカー推定速力馬力	28
2. 10 船舶の引き波	29
2. 10. 1 引き波推定法	29
2. 10. 2 隅田川の旅客船とタンカーの引き波推定	30
(1) 旅客船	30
(2) タンカー	31
3. 船舶を活用した環境への貢献	32
3. 1 河川・沿岸域の環境問題と船舶の貢献	32
3. 2 河川・沿岸域の環境改善に資する船舶	32
3. 2. 1 水質浄化船	32
3. 2. 2 ゴミ回収船	34
(1) 漂流・漂着ゴミ問題	34
(2) 隅田川の小型ゴミ回収船	35
(3) 水面浮遊物清掃艇	37
(4) 中国長江の水質浄化船	38
(5) 海面における浮遊ゴミや油の回収船	38
(6) 外洋型清掃船のコンセプト	39
3. 2. 3 河川環境整備船	40
(1) 浚渫船及び覆砂船	40
(2) 河川環境改善船	40
3. 3 船舶を活用した環境教育	45
3. 3. 1 船舶を活用した環境教育について	45
3. 3. 2 琵琶湖	46
(1) 滋賀県びわ湖フローティングスクール	46
(2) 沖島（琵琶湖）	48
3. 3. 3 水中展望船紹介	50

はじめに

平成 23 年の我が国は早々に未曾有の大災害を被り、その後も豪雨被害が絶えず、加えての大規模停電や度重なる鉄道網の麻痺など、災害、特に水に対する備えや避難手法、救援体制、或いは減災に対する考え方など、再検討が求められる時代となっている。

しかしながらその一方では、河川は水辺空間を活かした潤いのある生活環境や地域文化を形成し、多様な生物の生育環境の場でもあり、治水・利水の役割を担うだけでは無いことは、平成 9 年の河川法改正にも理念（「河川環境の整備と保全」）として盛り込まれている。

これは、人、あるいは生物が水と関わり生活する上で、変わること無い悠久からの摂理であり、河川だけではなく、河口（汽水）域から続く沿岸域も同様であり、平成 11 年の海岸法の一部改正についても同様の理念（「海岸環境の整備と保全」及び「公衆の海岸の適正な利用の確保」）が踏襲されている。

今般の大災害を乗り越えるための復旧・復興事業に際しても、旧来の垂直護岸やそびえるばかりの防波堤の設置だけではなく、“常日頃から水に親しみ、且つ、水に備える”理念の下に、水場環境の整備やレクリエーション・物流等の平常時からの舟運利用などの立案実施とそれらの普及に必要な法制整備を期待するところである。

1. 既存の河川・沿岸域における船舶の現状整理

1.1 日本の河川舟運

我が国の河川の特徴としては、明治期の海外招聘技師であり「砂防の父」であるオランダ人“ヨハニス・デ・レーケ”が富山県の常願寺川（標高差：約 3,000m、河川長：約 56km）を見て言ったと伝えられている「此れは川では無い、滝である」が表すとおり、河川長が短く勾配が急であること、さらにはモンスーン気候帯による夏・秋の多量の雨、日本海側での多量の降雪など、季節毎の河川流量の差が激しいことが特徴である。

（参考：英国－テムズ川：標高差：約 160m、河川長：約 340km

日本－利根川：標高差：約 1,800m、河川長：約 322km）

これ等の特徴から、かつての高瀬舟などに代表される喫水 1～2 尺の和船を利用した河川中流域での観光用溪流下りは別として、現時点では、通常に存在する船舶を利用し物流を目的とした遡上可能な範囲は、河口から 20～30km が限度であり、且つ、道路・鉄道橋梁や取水堰の存在などによって遡上可能な河川は限られる。

下表 1.1 には、当研究会が過去において実施した、干潮時・渇水期水深 2m と定義した場合の船舶遡上境界点調査を示している。

なお、当該調査では河川遡上船舶や調査関連項目を次の様に設定し、各河川を所管する河川工事事務所の定期縦・横断面図や河川平面図、あるいは河川舟運検討時の資料閲覧調査に基づき検討を行った。

- 船長：15～16m
- 物資満載状態での喫水：1.5m程度
- 物資未積載状態での水面上からの高さ：3m未満
- 橋梁の桁下クリアランス：3m以上
- 水深 2.0m以上を維持する水域の幅が 20m以上（回頭を考慮）

表 1.1 関東地域における主要河川の遡上境界

	河川名称	遡上境界(水深 2m)	遡上境界地域の目標物
1	荒川	29km	笹目橋 付近
2	江戸川	22km	上葛飾橋 上流
3	多摩川	10km	ガス橋 上流
4	鶴見川	9km	鷹野大橋 付近
5	利根川	40km	水郷大橋 付近
6	相模川	2km	馬入橋 付近

（出典：平成 12 年度河川整備基金助成事業：

「河川・沿岸域におけるローコスト防災情報・救援システムの研究報告書」（社）海洋産業研究会）

実際の物流舟運や人員輸送に実効性のある遡上境界点は上表の通りと思われるが、その他の遡上境界点に関する調査として平成 16 年に関東運輸局が実施したアンケート調査がある。ここでは関東地方整備局が所有する監視船等の浅喫水と想定される船舶等も含んだ遡上境界地点を図 1.1 に示している。

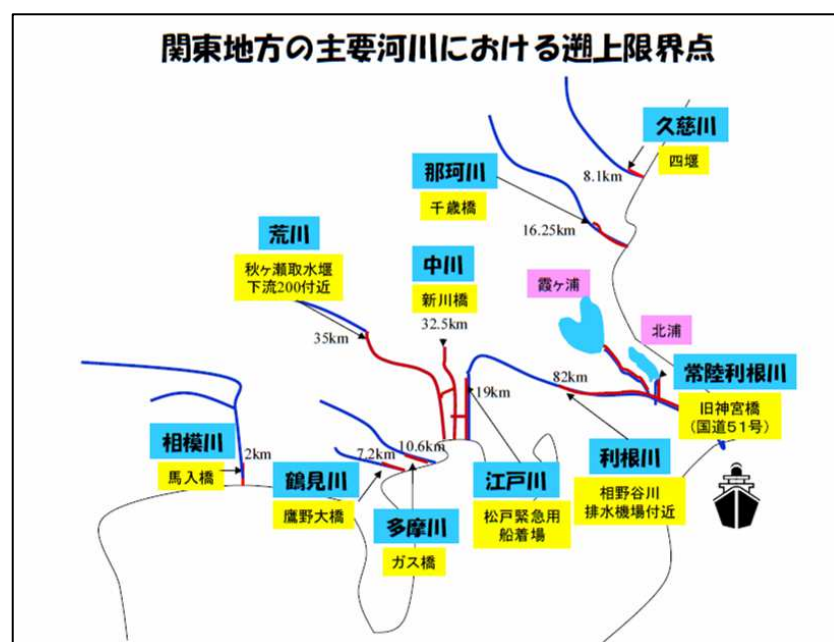


図 1.1 関東地区における河川舟運の活性化（出典：H16. 10 関東運輸局海事振興部）

1.2 河川舟運の可能性

我が国の現状では、個人のレクリエーション利用は別として、採算性のある観光利用や物流としての舟運可能性のある河川は、その市場適格性や運搬物資の妥当性、或いは代替交通手段との利便性やコスト比較等が問題となり、関東地域では“荒川”、近畿圏では“淀川”の両河川にほぼ絞られる。

実際に“荒川”では東京湾内の臨海部から河口 25km ほど上流の埼玉県戸田市辺りまで、油槽船によるガソリン輸送が実現しているが、残念ながら“淀川”では河口至近にある堰により臨海部からの輸送が現時点では不可能な状況となっている。

一方、旅客輸送の代表的なところでは、都下の隅田川（荒川）や、大阪市の大川（淀川）で水上バスの定期運航が事業実施中である他、広島県（太田川）、新潟県（信濃川）で表 1.2 に示すように事例がみられる。

また、不定期運航ではあるが都内では日本橋川や神田川を経由する航路やドック式閘門を通過する航路の設定もされており、さらには、平成 24 年度に竣工となる東京スカイツリー見学用の水陸両用バス運航も計画中のことである。

表 1.2 河川における旅客輸送

河川名称	代表的な運航事業者	運航概要
隅田川(荒川)	東京都公園協会	定員 70～200 名迄の 4 隻 浅草迄の航路が人気
〃	東京都観光汽船(株)	5 系統の航路、11 隻で運航
大川(淀川)	大阪水上バス(株)	中之島周辺航路が 3 隻、河口域航路が 1 隻
太田川(広島)	(株)アゲネット広島	中心部の周遊船、30 分間、大人：1,000 円
信濃川(新潟)	信濃川ウォーターシャトル(株)	河口域のシャトル便と、朱鷺メッセ周辺の周遊便

また、一部の自治体では NPO 法人との協働事業として図 1.2 に示す電気推進船を利用したツアーも期間限定ではあるが開催されている。



図 1.2 「千代田区エコボート 清流号」 （出典：千代田区観光協会 HP）

1.2.1 荒川、隅田川を運航中の船舶についての調査

(1) 旅客船

例として、隅田川を運航している旅客船の航路、隻数、サイズを表 1.3 に示す。

表 1.3 隅田川運航旅客船 一覧

(旅客船リスト)											H16. 4現在				
船名	航路			船の種類	総トン数	定員	船質	長さ	幅	深さ	喫水			喫水からの最高高さ	速力
	起点	経由	終点								船首	中央	船尾		
潮音	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	56.00	175	鋼	23.80	5.57	1.44		0.98		2.5	11.0
スーパーシティ	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	115.00	430	鋼	26.55	7.00	2.24		1.45		4.4	11.0
すみだ3号	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	97.84	206	鋼	21.00	6.40	2.21		1.38		3.2	11.0
マイタウン	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	118.00	508	鋼	28.90	7.60	2.38		1.50		3.6	11.0
リバータウン	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	141.00	550	鋼	29.74	7.70	2.35		1.50		3.6	11.0
アワータウン	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	141.00	550	鋼	29.75	7.70	2.35		1.50		3.6	11.0
竜馬	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	143.00	506	鋼	32.01	7.80	1.90		1.50		3.6	11.0
ユアータウン	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	143.00	550	鋼	29.75	7.70	2.35		1.50		3.6	11.0
海舟	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	146.00	540	鋼	33.18	8.00	1.90		1.50		3.6	11.0
道灌	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	148.00	553	鋼	32.35	7.80	1.90		1.50		3.6	11.0
ジュビリー	浅草	浜離宮	日の出	水上バス	148.00	530	鋼	30.78	7.50	2.35		1.50		3.6	11.0
ヒミコ	浅草	お台場	日の出	水上バス	114.00	171	鋼	30.50	8.00	2.29		1.50		3.3	12.0
こすもす	両国	小豆沢	両国	水上バス	76.00	200	軽合金	28.11	7.00	1.99		1.32	1.60	2.1	12.0
あじさい	両国	小豆沢	両国	水上バス	53.00	140	軽合金	23.99	6.00	1.94		1.29	1.60	2.1	13.0
さくら	両国	小豆沢	両国	水上バス	53.00	140	軽合金	23.99	6.00	1.94		1.29	1.60	2.1	13.0

★平成 14 年度の輸送実績

(財) 東京都公園協会：大回りルート（両国～小豆沢～両国） 572 回 28,263 人
 (船舶所有者：東京都)：小回りルート（両国～千住～両国） 775 回 19,261 人

★平成 14 年度の輸送実績

東京都観光汽船㈱：往航（浅草～浜離宮～日の出） 6,250 回 706,994 人
 (船舶所有者：当該者)：復航（日の出～浜離宮～浅草） 6,249 回 291,554 人

(出典：関東地区における河川舟運の活性化報告書 関東運輸局、平成 16 年)

(2) タンカー

荒川、中川、隅田川を運航中のタンカーのサイズ、隻数（出典は旅客船に同じ）を次ページの表 1.4 に示す。

表 1.4 荒川、中川、隅田川運航タンカー 一覧

(タンカーリスト)

H15. 10現在

船 名	船の種類	種類	総トン数	積載容量	船質	長さ	幅	深さ	喫 水			喫水からの 最高高さ	速力
									船首	中央	船尾		
第2浜川丸	油槽船	白油	102.00	350kl	鋼	36.32	7.10	2.60	2.30	2.50	2.50	2.8	8.5
第21照平丸	油槽船	白油	145.00	500kl	鋼	40.83	8.50	2.80	2.30	2.65	2.65	2.9	8.5
第10福裕丸	油槽船	白油	173.95	350kl	鋼	33.26	7.40	2.60	2.30	2.50	2.50	3.0	8.5
第8富士宮丸	油槽船	白油	40.83	500kl	鋼	40.83	8.50	2.80	2.20	2.60	2.60	3.2	8.5
第5常盤丸	油槽船	白油	141.00	500kl	鋼	40.22	8.40	2.85	1.80	2.65	2.65	3.9	8.5
第21栄喜丸	油槽船	白油	239.00	650kl	鋼	44.43	9.20	3.25	2.27	3.00	3.00	5.1	8.5
第5けいひん丸	油槽船	白油	244.00	650kl	鋼	43.00	9.00	3.20	2.45	2.56	2.56	4.8	8.6
第8わよう丸	油槽船	白油	236.00	650kl	鋼	42.99	9.00	3.30	2.41	2.69	2.69	4.8	8.6
第18美成丸	油槽船	白油	271.00	650kl	鋼	43.00	9.20	3.25		2.70		5.1	8.7
開運丸	油槽船	白油	235.00	650kl	鋼	42.90	9.20	3.25	2.60	2.70	2.70	4.0	8.8
第11栄造丸	油槽船	白油	146.00	390kl	鋼	36.50	7.85	2.65	2.40	2.60	2.60	3.5	9.0
第12栄造丸	油槽船	白油	143.00	500kl	鋼	40.38	8.50	2.80	2.40	2.60	2.60	2.5	9.0
第15栄造丸	油槽船	白油	199.60	400kl	鋼	36.48	7.85	2.65	2.30	2.50	2.50	2.5	9.0
第5富士宮丸	油槽船	白油	199.31	400kl	鋼	36.48	7.85	2.65	2.20	2.45	2.45	2.7	9.0
第12富士宮丸	油槽船	白油	37.01	400kl	鋼	37.01	7.85	2.65	2.18	2.72	2.72	3.0	9.0
第8けいひん丸	油槽船	白油	144.00	500kl	鋼	40.38	8.50	2.80	2.35	2.65	2.65	3.8	9.0
協邦丸	油槽船	白油	328.00	1000kl	鋼	47.08	10.00	4.00	2.80	3.50	3.50	6.2	9.0
第8大福丸	油槽船	白油	141.00	500kl	鋼	40.36	8.50	2.85	2.40	2.60	2.60	4.0	9.0
第28照平丸	油槽船	白油	115.00	410kl	鋼	37.06	7.85	2.70	2.20	2.60	2.60	3.1	9.0
豊興丸	油槽船	白油	88.00	290kl	鋼	31.83	7.10	2.60	2.20	2.40	2.40	1.9	9.1
第3興雄丸	油槽船	白油	82.00	280kl	鋼	29.98	7.10	2.50	1.60	2.28	2.28	1.9	9.1
第28栄造丸	油槽船	白油	165.00	550kl	鋼	43.50	8.50	2.90	1.90	2.80	2.80	5.7	9.2
第5芝浦丸	油槽船	白油	139.00	500kl	鋼	40.00	8.30	2.90	2.40	2.70	2.70	2.3	9.2
第8翔栄丸	油槽船	白油	95.00	300kl	鋼	33.20	7.40	2.50	2.00	2.50	2.50	2.6	9.3
興運丸	油槽船	白油	99.00	320kl	鋼	33.22	7.40	2.60	1.60	2.20	2.20	2.4	9.3
第8豊顕丸	油槽船	白油	85.00	250kl	鋼	31.83	7.10	2.60	1.80	2.60	2.60	3.4	9.4
第8黒潮丸	油槽船	白油	166.00	560kl	鋼	43.50	8.50	2.90	2.40	2.90	2.90	4.0	9.4
第1ながと丸	油槽船	白油	88.00	310kl	鋼	31.90	7.40	2.60	2.20	2.60	2.60	3.4	9.5
第11福裕丸	油槽船	白油	146.00	500kl	鋼	40.59	8.50	2.80	2.00	2.50	2.50	2.4	9.5
第7聖栄丸	油槽船	白油	104.00	300kl	鋼	37.52	7.40	2.50	2.00	2.30	2.30	2.6	9.5
第5照平丸	油槽船	白油	145.00	500kl	鋼	40.83	8.50	2.80	2.20	2.60	2.60	2.7	9.5
第8照平丸	油槽船	白油	145.00	500kl	鋼	40.83	8.50	2.80	2.30	2.65	2.65	2.8	9.5
第2伊都丸	油槽船	白油	112.00	350kl	鋼	37.31	7.40	2.60	2.00	2.50	2.50	3.4	9.5
第8ながと丸	油槽船	白油	87.00	310kl	鋼	31.86	7.40	2.70	2.23	2.66	2.66	3.4	9.6
新盛丸	油槽船	白油	142.00	480kl	鋼	41.50	8.60	2.80	2.50	2.73	2.73	2.8	10.0
官正丸	油槽船	白油	141.00	500kl	鋼	40.63	8.50	2.85	2.25	2.65	2.65	3.0	10.0
第11豊栄丸	油槽船	白油	238.00	650kl	鋼	43.00	9.20	3.20	2.41	2.69	2.69	5.1	10.0
第1すずらん丸	油槽船	白油	679.00	2060kl	鋼	68.37	12.00	5.30		4.75		9.2	10.5
東丹丸	油槽船	白油	149.00	500kl	鋼	41.77	8.50	2.80	1.26	2.63	2.63	2.9	10.7
ひかり丸	油槽船	白油	141.00	500kl	鋼	40.40	8.50	2.85	0.93	2.42	2.42	3.0	10.7
昭東丸	油槽船	白油	499.00	1450kl	鋼	58.00	11.00	4.50	4.00	4.20	4.20	7.7	11.2
旭徳丸	油槽船	白油	749.00	2000kl	鋼	77.00	11.50	5.00	4.20	5.00	5.00	8.5	11.5
第8妙章丸	油槽船	白油	699.00	2000kl	鋼	74.50	11.20	5.00	4.50	4.60	4.60	8.0	11.5
第31栄豊丸	油槽船	白油	499.00	1200kl	鋼	64.25	10.40	4.30	2.42	3.92	3.92	6.8	11.5
第23嘉栄丸	油槽船	白油	498.00	1320kl	鋼	61.20	11.00	4.25	3.10	4.20	4.20	7.7	12.0
第21豊栄丸	油槽船	白油	464.00	1000kl	鋼	55.00	11.00	4.80	4.20	4.35	4.35	7.7	12.0
興銚丸	油槽船	白油	97.00	320kl	鋼	35.73	7.40	2.50	2.30	2.30	2.30	2.4	9.1
第8豊興丸	油槽船	白油	96.56	240kl	鋼	29.20	7.20	2.40	2.00	2.20	2.20	2.1	8.7
第8宏福丸	油槽船	白油	80.00	250kl	鋼	29.84	7.20	2.55	2.00	2.30	2.30	2.1	8.7
第10富士宮丸	油槽船	白油	91.00	300kl	鋼	33.15	7.50	2.40	2.20	2.50	2.50	2.5	8.9

★荒 川 (エクソンモービル北東京油槽所・ジャパンエナジー朝霞油槽所)

★隅田川 (出光興産荒川油槽所・渡辺鉱油等)

★中 川 (三愛石油東京オイルターミナル)

9月 (1ヶ月)	運航船舶数	運航航海数	総輸送量 (KL)
荒 川	15	200	93,470
隅田川	28	220	68,323
中 川	10	136	48,970

(出典：同前)

(3) 鋼材運搬船

荒川、中川、隅田川を運航中の鋼材運搬船のサイズ、隻数を表 1.5 に示す。

表 1.5 荒川、中川、隅田川運航鋼材運搬船 一覧

(鋼材運搬船リスト)										H15.10現在	
船名	船の種類	種類	総トン数	積み付け面積	船質	長さ	幅	深さ	中央喫水	喫水からの最高高	速力
第3君津丸	鋼材運搬船	鋼材	154.50	90.16	鋼	32.20	7.50	1.60	2.30	3.7	7.0
第1君津丸	鋼材運搬船	鋼材	180.90	100.29	鋼	33.70	8.00	1.60	2.30	3.7	7.0
200三栄	デッキバージ										
201三栄	デッキバージ										

★平成14年度の輸送実績

製鉄運輸(株)：鋼材運搬船 月間約 10 回 2,200 トン (船舶所有者：京葉港運(株))

三栄商会(株)：デッキバージ月間約 19 回 6,000 トン

(出典：同前)

(4) 荒川、中川、隅田川を運航している船舶のまとめ

旅客船の運航実績として、平成14年度の隅田川では、15 隻にて延べ年間輸送人員が約 106 万人となっている。また、タンカーでは同年度の荒川、隅田川、中川では、輸送量は1ヶ月、53 隻で延べ56 回、1 回あたりの輸送量は約 380kL であり、単純年間換算 4,560kL となる。

ちなみに年度は異なるが平成20年の内航船のタンカー隻数は1,028 隻、平均総トン数は757t、年間輸送量は約1億 t となっている。日本の他の河川によるタンカー輸送はほとんどないと考えられるので、現状ではタンカー河川輸送の割合は非常に少ないと言える。

鋼材運搬船は4 隻と少ないが、輸送量は1ヶ月で延べ29 回、8,200t、1 回あたり輸送量 283t、単純年間換算約 10 万 t となっている。(内航船輸送量データからは鋼材のみはなく、金属で一括りであり、他の金属も含まれているが、これを鋼材と読み替えても、年間輸送量の約 0.2%に過ぎない)

1.2.2 舟運輸送と陸上輸送の比較

前記データからタンカーで1回の輸送では、380kLに対し、陸上のタンクローリでは主力は13kL級（MAX級で20kL）であり、河川タンカー1回の輸送量はタンクローリの約20～30倍となっている。鋼材運搬船の積載量については、陸上大型トラックの最大積載量が16t級であることから、大型トラックはその18倍となっており、舟運は1回当たりの輸送量が多いことがわかる。

社団法人日本海難防止協会は、平成15年度日本財団助成事業「船舶の河川航行に関する調査」として、荒川や隅田川の水深、川幅、橋桁高さ、リバーステーション岸壁、道路からリバーステーションへのアクセスなどの調査を行い、川崎～住商浮間、川崎～荒川三愛石油、君津～荒川東京製造所までの航路を想定し、陸路と船舶輸送のコスト、燃費、時間などについて詳細な検討を行った。結論として、船舶輸送の場合、時間は30～24%、コスト50～90%、CO₂は23～17%とそれぞれの削減割合を示している。

関連データをまとめたものを表1.6に示す。

表 1.6 船舶輸送とトラック輸送の時間、コスト、CO₂のまとめ

航路	君津～東京製造所	川崎～三愛石油	川崎～住商浮間
海路距離	70 k m	40 k m	50 k m
海路平均速度	5～6 ノット	5～6 ノット	5～6 ノット
陸路距離	93.4 k m	47 k m	43.5 k m
陸路平均速度	63.6 k m/h	29.1 k m/h	27.3 k m/h
時間：陸上/水上	4.2	4.3	3.4
コスト：陸上/水上	2.4	1.2	1.1
CO ₂ ：陸上/水上	6.4	5.6	4.2

（平成15年度日本財団助成事業「船舶の河川航行に関する調査報告書」（社）日本海難防止協会より抜粋）

他のデータでは（社）日本プロジェクト産業協議会（JAPIC）による「新たな河川舟運構想報告書」が、トラック輸送と河川タンカーなどの輸送費用やエネルギーの比較を行っている。内容を下記に抜粋する。

都心部での交通緩和を図るため、港湾と港外の主要道路とを連結させるとともに、東京湾～荒川～中川～利根運河～北浦を連結するルートを確認することにより、河川舟運の活用範囲をより拡大する場合の舟運効果は以下の通りである。

コスト低減効果では自動車輸送に比べ、

石油類輸送で年間約200億円（40%低減）

セメント輸送で年間約14億円（30%低減）

CO₂排出量低減効果では

石油類輸送で年間約21t（36%低減）

セメント輸送で年間約6t（52%低減）

エネルギー消費量低減効果では

石油類輸送で年間約620×109kcal（47%低減）

セメント輸送で約年間 $170 \times 109 \text{kcal}$ (59%低減)
都心部通行車両の低減効果では
石油類輸送で1日当たり 2,720 台低減
セメント輸送で1日当たり 210 台低減

都心部の交通渋滞緩和、大気汚染の緩和、廃棄物輸送や非常の輸送手段として重要である他、災害発生時の陸上の交通網途絶に際し、救命、消火、救援、資材搬入など、災害時の支援の可能性がある。

1.2.3 静脈物流

一般的には物流と言えば、資材・商品等を運ぶ姿が頭に浮かぶが、河川物流の可能性を検討する上では、消費物資や生産物運搬などの“動脈物流”の視点ではなく、急がない貨物であるゴミ・廃棄物等を中流域から静穏海域にある最終処分場やリサイクルポート迄に運ぶ“静脈物流”視点での幹線として河川を捉える必要がある。

ゴミ・廃棄物の都市内移動を抑制するモーダルシフトの一環として、河川舟運を上記の様に捉えた場合、収集車両から運搬船への中継基地設営など、構想の実現までには幾つかの改善箇所がある。静穏海域に設置されている最終処分場に対しては関東圏の“江戸川”や中京圏の“木曽川”など、リサイクルポートとの組み合わせでは中京圏の“木曽三川”や東北圏の“最上川”など、幾つかの河川に新たな物流可能性が生ずる。



図 1.3 「リサイクルポート__三河港明海地区」 （出典：三河港振興会 HP）

上記図 1.3 に示す“三河港”では、廃棄自動車等を念頭に置いた“金属くず”の電炉に拠る再資源化を計画実施しており、トピー工業(株)傘下の明海リサイクルセンター(株)において日本最大級のシュレッダープラントを用いて鉄やアルミの再資源化を進めている。

1.2.4 災害時の輸送手段

河川舟運は非常時に際し、帰宅難民への交通手段や救援物資の運搬手段としても、その有用性が高いことは、平成7年1月17日の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）による陸域交通網遮断に際して、瀬戸内海各地からの漁船や小型船舶が発災初期に救援物資等の運搬や人員輸送に活用された事例でも理解される。

人員輸送として、平常時からの河川舟運の運営は、市場性や他の交通機関との競合からハードルが高すぎるが、鉄道・道路等の陸路が遮断された場合の非常時代替交通手段として、船舶規制や岸壁接岸上の規制などの法的規制を、緊急・臨時的な対応として緩和することへの官民関係者間での事前合意が可能であれば、平常時からの船舶や舟運への理解促進を図ることが可能となる。



図1.4 「しながわ防災朝市」 （出典：なぎさの会HP）

防災・救援への船舶・舟運利用を前提とした試みとして、都市域の臨海部・河川周辺の住民と、遠隔地の漁業者や船舶運航者との交流が図られている。

図1.4に掲載した「防災朝市」は、旧東海道品川宿周辺まちづくり協議会が母体となる“なぎさの会”が、北品川・南品川の旧東海道周辺へ移入してきた新住民との交流を図ることを目的とした“しながわ運河まつり”の関連行事として開催するものであり、防災ネットワークとしての運河利用と防災協定を前提に千葉・九十九里町の特産品販売と同町住民との交流を目的としている。

2. 船舶の環境負荷低減の各種方策

船舶の環境負荷低減については、国際航路のみならず内航船についても主機関の CO₂、NO_x、SO_xの排出基準について国際基準が定められ、環境負荷低減が行われている。この中で CO₂低減については省エネルギー化が求められ、その主たる対策として船型改良による抵抗の減少と機関の効率アップをあげることができる。主たる対策である。NO_x低減については機関の燃焼温度の制御や、NO_x 回収技術の採用、SO_xについては燃料の硫黄分によってきまる。このため船舶の環境負荷低減については船型と主機関の種類、使用燃料によってほとんど決まってくる。

しかし近年、一部の船舶については電気推進化や、小型船についてはリチウムイオン電池などを利用した環境負荷低減技術も開発されつつあり、これらは河川航行用の比較的小型船舶に採用が可能な技術である。

なお、本項では略語が多用されているので略語表を表 2.1 に示す。

表 2.1 船舶の環境関連の略語

略語	英文	訳語
LNG	Liquefied Natural Gas	液化天然ガス
LPG	Liquefied Petroleum Gas	液化石油ガス
CNG	Compressed Natural Gas	圧縮天然ガス
PM	Particulate Matter	粒子状物質
DPF	Diesel Particulate Filter	粒子状物質減少装置
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
CaO	Calcium Oxide	酸化カルシウム
SCR	Selective Catalytic Reduction	選択的触媒還元
CFD	Computational Fluid Dynamics	数値流体力学
IMO	International Maritime Organization	国際海事機関
Cb	Block Coefficient	方形肥瘠係数
Cp	Prismatic Coefficient	柱形肥瘠係数
Cw	Waterplane Area Coefficient	水線面積係数

2.1 船型改良による CO₂削減

近年、CFD の進歩により、大掛かりな水槽試験をすることなく船型改良が容易となり、船型改良や大型化による輸送量当たりの CO₂が削減されつつある。特に燃料価格が高騰したため、省エネ船型の開発、航行に関しては波浪や風圧、潮流抵抗が少なくなる最適航路予測などが導入されつつある。しかしながら河川を運航中の船舶は設計も古いことが多く、船型の改良によって CO₂削減が可能となると考えられることから、2.8、2.9 では河川の客船やタンカーについての船型改良の例を示した。

2.2 船舶の主機関と燃料、推進方法

以前は大出力のディーゼル機関がなかったため大型船舶の主機関は蒸気タービンが多かったが、近年大

出力のディーゼル機関が製作されるようになってきている。また、燃費の関係で現在では外航、内航船を問わず大型から小型までほとんどの船舶の主機関がディーゼル機関でプロペラを回転させる推進方法となってきた。

しかし LNG 船に関しては積み荷の LNG ボイルオフガスを炊く関係で蒸気タービンが使用される例が多いが、LNG 船も近年ボイルオフガスをディーゼル機関に使用する例も出現しつつある。

また、一部の船舶ではディーゼル機関で発電しモータでプロペラを回す電気推進船や自動車と同じリチウムイオン電池式の小型船も開発されつつある。

2.2.1 船舶の主機関

外航大型船舶では出力は1基で1万馬力から10万馬力級をカバーする、主にC重油を燃料とする、超ロングストローク、回転速度 100～300rpm という低回転のユニフロー掃気2ストローク低速ディーゼル機関が主流となっている。内燃機関の中でも特に熱効率に優れ、強力な過給器と組み合わせることで熱効率は大型では50%を超え、燃費は 120～130 g / ps・hr と原動機の中では最も効率が高い。プロペラは主機関に直結され、大口径低回転のプロペラを駆動するのでプロペラ効率も良い。

4ストローク中速ディーゼル機関では出力は1基で500～1万馬力級位、回転数 300～1,600 回転位、燃費は 140～150 g / ps・hr と2ストローク低速ディーゼル機関に及ばないものの、出力当たりの重量や外形寸法が小さく、複数基以上の組み合わせで出力増大が可能、機関配置の自由度が高いという利点があり、河川航行用船舶や作業船、調査船、フェリー、大型漁船クラスから外航大型船舶まで幅広く使われている。燃料は機種によってA重油を使用するものとC重油を使用できるものがある。また近年の電気推進船では中速ディーゼル機関で発電機を駆動するが、これらは配置の自由度により船尾部の船型改良が可能となるので最近よく使用されている。

高速艇やプレジャーボート、小型漁船、河川航行用の小型船などでは、自動車同様に軽油（A重油も可）を燃料とする4ストロークの高速ディーゼルエンジンが使われており、出力は数馬力～2千馬力級までであり、回転数は 1,800～3,000rpm、燃費は約 160 g / ps・hr 程度と低速や中速に比べ低下するが、ガソリン機関に比べると30%位燃費が良い。出力 500kw 以下の小型ではバスやトラック、建設機械と共通のエンジンが使われているケースが多い。

これら2ストローク、4ストロークの最近のディーゼル機関はコモンレール式燃料噴射システムが用いられ、潤滑油を高圧ポンプで200barに加圧し、燃料をノズルにて1,000～1,800barに昇圧し、電子制御で燃焼時に分散噴射するシステムが使用されるようになり、さらなる燃費低減やNO_xが低減されるようになってきた。

2.2.2 船舶用の燃料

船用燃料のC重油は原油を蒸留してナフサやガソリン、軽油、A重油を取り除いた後の残渣燃料で、硫黄分やピッチ分が多く、不純物が多く、粘度が高く流動性が小さい。これらを加熱して流動性を上げ、油清浄機で不純物を取り除き使用する。B重油は用途に応じて、A重油とC重油を混合したものである。

2.2.3 C重油、A重油、軽油の呼称

以下に表 2.2 としてC重油、A重油、軽油の呼称を示す。

表 2.2 重油、軽油の呼称

JIS 規格	国際的名称
軽油	GO (Gas Oil : 軽油)
A 重油	DO (Diesel Oil : ディーゼル油) MDF (Marine Diesel Fuel : 船用ディーゼル燃料) MDO (Marine Diesel Oil : 船用ディーゼル油)
B 重油	—
C 重油	MFO (Marine Fuel Oil : 船用燃料油) HFO (Heavy Fuel Oil : 重質燃料油) RFO (Residual Fuel Oil : 残渣燃料油)

2.2.4 C重油、A重油、軽油の規格

以下に表 2.3 としてC重油、A重油、軽油の規格を示す。

表 2.3 重油、軽油の規格

性状→ 種類↓		引火 点 ℃	動粘度 (50℃) cSt (mm ² /s)	流動点 ℃	残 留 炭素分 質量%	水 分 容量%	灰 分 質量%	硫黄分 質量%	
1 種 (A 重 油)	1号	60 以 上	20 以下 (20 以下)	(注) 5 以下	4 以下	0.3 以下	0.05 以 下	0.5 以下	(LSA 重 油)
	2号	60 以 上	20 以下 (20 以下)	(注) 5 以下	4 以下	0.3 以下	0.05 以 下	2.0 以下	(HSA 重 油)
2 種 (B 重油)		60 以 上	50 以下 (50 以下)	(注) 10 以下	8 以下	0.4 以下	0.05 以 下	3.0 以下	
3 種 (C 重 油)	1号	70 以 上	250 以下 (250 以下)	—	—	0.5 以下	0.1 以下	3.5 以下	
	2号	70 以 上	400 以下 (400 以下)	—	—	0.6 以下	0.1 以下	—	
	3号	70 以 上	400 を超え 1000 以 下 (400 を超え 1000 以下)	—	—	2.0 以下	—	—	

2.2.5 燃料別CO₂排出量

CO₂排出量については、船舶航行中の機関出力、時間、燃料の種類がわかれば、表2.4の基準によって算出が出来る。

表2.4 主なエネルギー、燃料の単位発熱量および排出係数（使用時）

	単位発熱量	単位	CO2排出係数	単位	CO2排出係数 (固有単位)	単位
電気	—	—	—	—	0.378	kgCO ₂ /kWh
熱	—	—	0.067	kgCO ₂ /MJ	0.067	kgCO ₂ /MJ
一般炭	26.6	MJ/kg	0.0906	kgCO ₂ /MJ	2.410	kgCO ₂ /kg
ガソリン	34.6	MJ/リットル	0.0671	kgCO ₂ /MJ	2.322	kgCO ₂ /l
灯油	36.7	MJ/リットル	0.0679	kgCO ₂ /MJ	2.492	kgCO ₂ /l
軽油	38.2	MJ/リットル	0.0687	kgCO ₂ /MJ	2.624	kgCO ₂ /l
A重油	39.1	MJ/リットル	0.0693	kgCO ₂ /MJ	2.710	kgCO ₂ /l
C重油	41.7	MJ/リットル	0.0716	kgCO ₂ /MJ	2.986	kgCO ₂ /l
LPG	50.2	MJ/kg	0.0598	kgCO ₂ /MJ	3.002	kgCO ₂ /kg
都市ガス	41.1	Nm ³ /年	0.0513	kgCO ₂ /MJ	2.108	kgCO ₂ /Nm ³

出典) 「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン (試案 ver1.5)」 (環境省)
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/index.html> 参照

2.3 SO_xの削減

SO_x削減については、陸上では発電所の大型排煙脱硫装置などがあるが、船用ではサイズの的に困難性があり、現状では硫黄分の少ない燃料を使用することで対応している。船用のSO_x削減技術としては海水スクラバー方式などが候補に挙がっている。

2.4 NO_xの削減

ディーゼル機関のNO_x削減については、今後さらに基準値が厳しくなってくると、燃焼温度制御のみでは達成できないので、燃焼後回収の必要から、尿素SCRシステムが開発されている。トラックなどではNO_xの他、PM規制もあるため現在のトラック用ディーゼルエンジンではPMを酸化触媒とセラミックフィルターで捕捉、NO_xは尿素をSCR触媒と酸化触媒にて水と窒素に分化する装置が設置されている。船用大型ディーゼル機関では尿素SCR装置は試作機段階である。

2.5 PMの削減

PM(煤塵などの粒子状物質)に関する規制については、NO_x/SO_xに引続きIMO(国際海事機関)で健康被害の観点も含め議論されている。現状では船舶からのPM排出削減のため、低硫黄燃料の使用や燃料油添加剤による燃焼の改善が進められており、PM低減にも寄与するところではあるが、積極的PM除去技術としては不十分である。

軽油を使用する小型船であれば陸上で使用されるトラック等のPM削減技術を流用できるが、出力が大きく重油(A or C)を使用する船用では多くの課題がある。しかし、既に重油を使用した内航大型ディーゼル主機関や外航発電機関にPM削減技術であるDPF(PM除去装置)を搭載した実証試験も実施されており、環境保全に向けた技術開発は進んでいる。

2.6 燃料としての天然ガス

天然ガスは燃焼後のCO₂の排出量が少なく(石炭10、石油8、天然ガス6)硫黄分もほとんど無く、発電用のエネルギーとして世界的にも需要が増大中であり、資源的にも非在来型天然ガスであるシェールガスが世界中で大量に埋蔵されていることが確認されている。

シェールガスは米国で埋蔵量が多いことが知られていたが、掘削に困難性があった。しかし近年米国で掘削方法が開発され、ガスの採掘が可能となったことから、シェールガスにより米国は一躍天然ガス資源大国となった。この結果カタール生産のLNGの米国向け輸出が廃止され、カタールやロシアの天然ガスの価格が低下し、今後LNGの安定供給が実現すると期待されている。

天然ガスとシェールガスの可採掘埋蔵量単位を兆m³とし天然ガス/シェールガス埋蔵量を表すと、中国5.6/100、北米8.8/109、中南米7.6/60、旧ソ連56.5/18、中東、アフリカ87.4/100、アジア6.6/74と、シェールガスは天然ガスよりはるかに多い。可採埋蔵量は天然ガスの約60年がシェールガスによって約100年と想定され、中東依存の世界のエネルギー事情が変わるシェールガス革命と言われ注目が集まっている。

日本場合は震災前の発電資源構成は天然ガス火力29.3%、石炭火力25%、石油火力7.5%、火力全体で61.8%、原子力28.6%、水力8.5%、その他1.1%と日本はLNG火力への転換が比較的早かった。現在の天然ガス価格はほとんどの国で石油価格連動契約となっているが、今後シェールガスの開発が進めば契約変更も期待できる。

川崎には東京電力ではない、地域共同体が設立した84万KWの新しい天然ガスの発電所が完成している。ガスコンバインドサイクル式で天然ガスをガスタービンで燃焼させ、発電機を回し、排気熱から蒸気をタ

ービンで回し発電をしており、蒸気、温水利用で熱効率は 58%と高効率である。今回の東日本大震災での福島原発事故を契機として、都心臨海部に川崎と同様の原発並みの 100 万キロワット級の天然ガス発電所建設構想などが発表され、立地面積と建設コストは原発の 1/10、ガスタービンと廃熱回収蒸気タービンにて熱効率は原発の 2 倍、火力の 1.5 倍と言われている。このように今後天然ガスは発電用クリーンエネルギーとして世界中から期待されている。

2.6.1 シェールガス

シェールガスは非在来型天然ガスと呼ばれ、天然ガス層のさらに下のシェール層に糸状に上下に分布している天然ガス層である。従来は掘削できなかったが、米国でシェール層に沿って掘削し糸状の上下に分布しているシェールガス層に高圧水でひび割れを生じさせガス回収に成功し、近年実用化が始まり、天然ガス産出量では米国が世界最大となった。

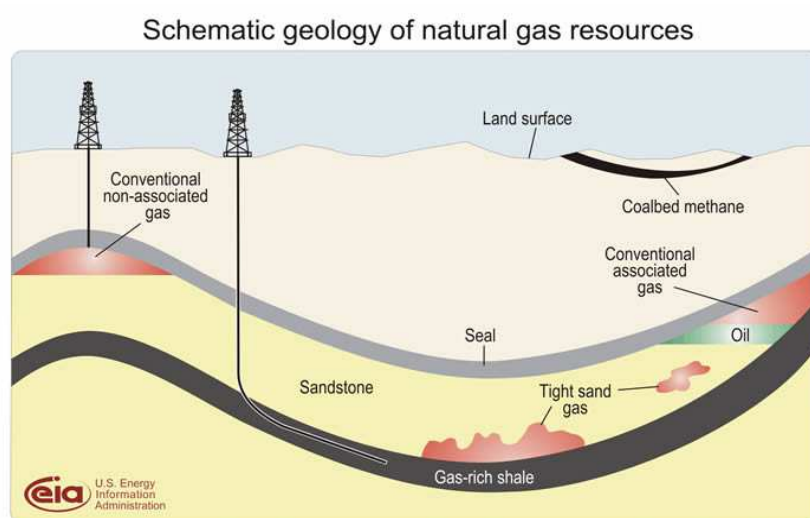


図 2.1 ガスの賦存イメージ
(U. S. Energy Information Administration 資料)

2.6.2 LNG 運搬船（液化天然ガス運搬船）

天然ガスは圧縮では液化せずマイナス 162℃に冷却すると液化し容積は 1/600 となる。LNG 船はタンクを防熱し-162℃に保持し液化状態で運搬する船舶である。航海中侵入熱によりタンク内の LNG が気化するので、通常はこのガスをボイラーで炊いて蒸気タービンを回しプロペラを駆動する。蒸気タービンは熱効率がディーゼルに比べて落ちるので、最近の LNG 船では天然ガスをオットーサイクル（低圧吸入着火式、パイロット着火希薄燃焼型）の中速ディーゼル機関を設置、発電機を回し、モータでプロペラを駆動する電気推進の LNG 船が出現した。しかしながらこれらは効率面が低い。

このためさらに効率の高い高圧（300bar）ガスをインジェクションする高効率の低速ディーゼル機関が開発され、これを搭載し CO₂ を 30%削減した LNG 船が提案されている。最近の LNG 船は主機や推進方法の競争となっている。

例として、三井造船で開発を完了させた新型 LNG 船について、参考までに関連情報を同社のホームページより転載する。

2011 年 07 月 12 日

**燃料費・CO₂ の排出を 30%削減した LNG 船“Double Eco MAX”を市場投入
-ガス焚き低速ディーゼルエンジンの採用-**



三井造船株式会社(社長:加藤 泰彦)は、推進システムにガス焚き低速ディーゼルエンジン「ME-GI」を採用し、燃料費・CO₂ の排出量を30%削減した新型LNG 船「 Double Eco MAX (ダブル・エコマックス)」の開発を完了させ、147,000m³型、155,000m³型、180,000m³型とラインナップを揃え、顧客への提案を開始しました。

Double Eco MAX の最大の特長としては、燃料費・CO₂ 排出量の 30%削減を達成した ME-GI エンジンを搭載していることが挙げられます。このエンジンは熱効率の高い 2 サイクル低速ディーゼルエンジンでありながら、使用燃料としてガス専焼・重油専焼・ガス重油の混焼を可能としております。これにより、2 元燃料焚きのプロペラ直結推進システムを実現させ、最大限に燃料費・CO₂ 排出量の削減を図ります。 (“Ecology MAX”) また、この 2 元燃料焚き推進システムは、変化する燃料価格情勢に応じて、その時々で最も経済的な燃料を選択することで、運航上の経済的なメリットを創出することができます。 (“Economy MAX”)

実用化が難しいとされてきたガス焚き低速 2 サイクルエンジンの完成には、当社千葉事業所において 2 万時間にもおよぶ実証運転をおこなった“GIDE”(Gas Injection Diesel Engine/世界で初めてガス焚き低速ディーゼルエンジンによる発電プラント)の技術がベースにあります。

ME-GI エンジンは、GIDE のガス焚き機能を継承しつつ電子制御化し、運転領域全域にわたり環境性能や効率を向上させています。新形式エンジンであることから、MAN DIESEL & TURBO 社、DNV・ABS(船級)などによるリスクアセスメントを実施し、高度な安全性が立証されています。

2.6.3 CNG

CNG とは圧縮天然ガスのことである。天然ガスは圧縮しても液化しないので、200bar 位の高压に圧縮し、ガスのまま高压容器に詰めて輸送や貯蔵を行う。容積は 1/200 位にしかならないため LNG に対し容積は 3 倍になる。しかし、-162 度の低温にする代わりに高压ポンプ等を使用するための設備費用が安価になり、気化設備も不要となる等の利点がある。

天然ガスの多くは家庭用や産業用として使用されている。産業用は大型のボイラー経由蒸気タービンやガスタービンに連結された発電機で発電する。これらは排気ガスで蒸気を作り、この蒸気で発電や温水利用し総合効率を高めるシステムが導入されている。

天然ガス使用の中型以下の発電では、ディーゼルエンジンベースのガスエンジンを用い、オットーサイクル（低圧吸入着火式、パイロット着火希薄燃焼型）の中速ディーゼル機関で発電機を駆動し、排気ガスで蒸気や温水利用などを行えば、これらの総合効率は 70%位となる。

トラックやバス用として CNG が使用され始めており、これらはディーゼル機関を改造して利用し、200bar のポンプを搭載する例が多い。天然ガス自体が石油に比べ CO₂ 排出量が少なく SO_x がほとんどないので、環境への配慮から都バスや国立公園内の輸送バスなどでも使用される例が多くなってきた。河川用の船舶の動力装置としても使用可能であり、軽油のディーゼル機関に比べ排気ガス臭がない。東京ディズニーリゾート内の東京ディズニーシーで航行する遊覧船に採用されている。

このほか天然ガスではないが、タクシーなどでは従来からガソリンエンジンを改良し LPG を燃料としたエンジンが使用されている。LPG の場合 40bar で液化するので液化プロパンガス（LPG）タンクを搭載し、液化されている分、高压ガスに比べ貯蔵量が多い利点がある。

2.7 電気推進の進展

近年、中速ディーゼルと発電機を組み合わせ、負荷の分担や制御によって全体の効率を上げる電気推進が脚光を浴びている。これらは航行および推進中以外の停泊中や、荷役中の大きな出力が必要な客船、また一部の特殊船では発電機関が不要となり、さらにはコンパクトで配置の自由度が高く船尾部の船型改良が可能なこと、騒音や振動の静穏化が可能であることから電気推進が進みつつある。

国内では国土交通省の補助の元、セメント船、タンカーなどの内航船に対し電気推進が進みつつあるものの、発電、回転数制御、モータ回転時の変換効率が 15%程度低下するので、上記のような一部の船舶に対しては有効となるが、一般の大型タンカー、バルクキャリアー、コンテナ船など一定速度で長時間航行する海上輸送の大部分を占めるこれらの船舶では、必ずしも電気推進が適するわけではない。

しかしながら、河川用の船舶は機関出力が比較的小さいので、環境負荷低減対策として電気推進やハイブリッド推進船、またリチウムイオン電池推進船などが出現してきた。東京海洋大学ではリチウムイオン電池推進船について交通艇として「らいちょう I」、漁船として「らいちょう S」を試作している。これらの紹介として東京海洋大学のホームページより次頁に概要を抜粋した。

東京海洋大学は、平成 22 年春に世界初の急速充電対応型電池推進船「らいちょう I」を建造しました。この電池推進船は、リチウムイオン電池・推進モータを動力とすることで、「低騒音・低振動」、「航行中の排気ガスや二酸化炭素を出さない」、「高出力かつ短時間の充電時間」などを特徴としています。

また、「らいちょう I」に続き、平成 23 年 6 月に世界初の急速充電対応型電池推進漁船「らいちょう S」を開発建造しました。ウォータージェット推進の採用により、水面付近にロープが張ってあるような海藻の養殖水域にも進水が可能です。



特徴として、

- ・ 急速充電対応型リチウムイオン電池の使用により、従来の鉛蓄電池船に比較して優れた運航性能
- ・ 従来の蓄電池船に比較して非常に短い充電時間 30 分（80%充電）
- ・ 40 分全速航行・30 分充電という運航が可能
- ・ 運航速度 10 ノット（時速 19km）を可能にし、平水区域だけでなく、従来の鉛蓄電池船が航行できなかった気象海象条件の厳しい港湾区域も航行可能

電池推進であるがために、内燃機関船に比較して優れた環境特性と快適性

- ・ 低振動
- ・ 低騒音
- ・ アジマスプロペラなどの使用による運動性能の向上
- ・ 電池推進船の運航コストは従来のガソリンディーゼルに比較すると約 1/2
- ・ 建造コストのうち推進機関コストが占める割合が低い、すなわち建造コストの上昇割合が低い

「らいちょう I」の概要

主要目：長さ 10m、幅 2.3m、モータ出力 25kW、搭載電池容量 18kWh、旅客定員 12 名、

連続航行時間 45 分（最大船速運航時）。

システム構成：リチウムイオン電池、インバータ、永久磁石型同期モータ、急速充電器、
オンボードチャージャー、バウスラスタ、制御系機器。

2.8 隅田川の旅客船の省エネ検討

河川用船舶の環境負荷低減の具体策として、現状運航中の代表的なサイズの旅客船を選定し、これらの燃費を推定、省エネ型の新型旅客船の概念計画を行い、燃費を比較する。

2.8.1 在来型客船と新省エネ型客船

在来型客船では鉄道・運輸機構資料集に掲載されている在来型客船 A について、船体性能諸数値、試運転データから摩擦抵抗、剰余（造波）抵抗を推定し、これらから船体サイズを同じとして新しい省エネ型客船の概略計画を行った。

(1) 航走中の在来型客船 A と波形

図 2.2 に示す在来型客船の航走中波形から判断すると、大きな波は発生しないで中央部よりやや前に小さい第二の波の山があるので、 F_n は 0.26 位で速度は約 8 ノット前後と推定される。速度を上げていくと第二の波の山が後ろにずれていき、10 ノットでは F_n が 0.32 となり、中央部よりやや前に大きな波の谷が来る（図 2.2 参照）。この写真からは 8 ノット位で航走していると推定される。



図 2.2 航行中の在来型客船

図 2.3 にある船舶の F_n 0.25 と F_n 0.37 時の水槽試験時の波形を示すが、在来型客船 A の波形は F_n 0.25 に近く、8 ノット前後と推定される。

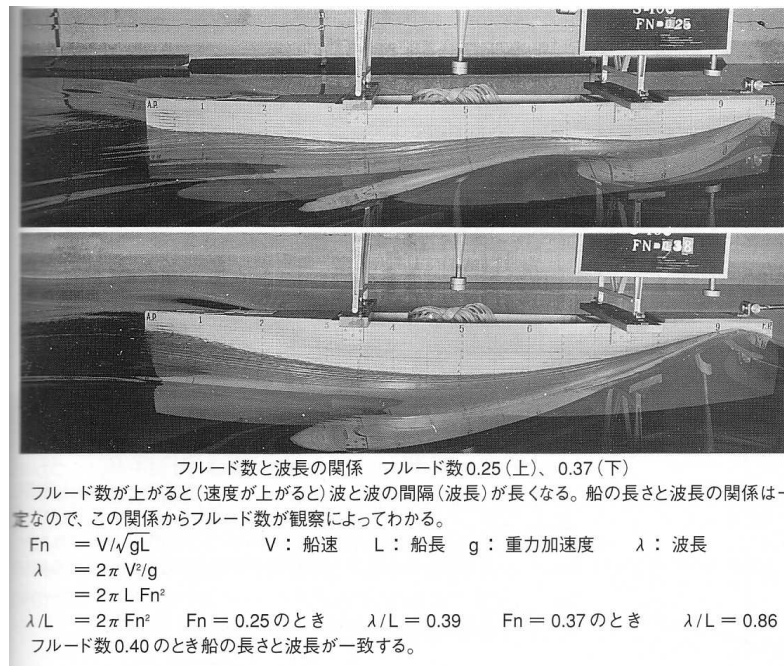


図 2.3 フルード数と波長の関係

(出典：シップ・アンド・オーシャン財団「ヨットの科学」 第3章 流れの科学 P73)

(2) Fn 数と造波抵抗

船舶の造波現象とは、船が水中と空中の境界面を航走するため、造波を生じ速度によって造波の干渉による抵抗が大幅に増減する。これは船の速度と長さで造波現象が決まり、生じる波の数によって造波抵抗が決まる。この原理を解明したのが 130 年前のイギリスの造船技師ウィリアム・フルードでフルード数 (Fn) を発見した。Fn は運動する物体が起こす波の波長と物体長さの関係を表し、Fn が同じ時、相似形状船では大きな船でも小さな船でも同じ波を生じる。このため模型試験を行う場合 Fn を尺度にして行くと造波抵抗が相似となるので造波抵抗の推定が可能となった。

$$Fn = V/\sqrt{Lg}$$

V : 速度 (m/s)、L : 船の水線長さ (m)、g : 重力加速度 (9.8m/s²)

しかしながら摩擦抵抗はレイノルズ数が相似則となるが、Fn ベースだとレイノルズ数が相似にならないので、Fn でテストを行い、旧来の 2 次元法では便宜的に全抵抗から摩擦面積が同じ板の摩擦分を差し引いた値が剰余抵抗 (ほぼ造波抵抗) として解析している。近年では全抵抗から造波抵抗を分離し解析を行っている。

次頁に Fn ベースの造波抵抗係数を示したが、Fn 0.4 以降は、大きな波を生じ造波抵抗係数が極大となる。通常の船舶ではいくら馬力を上げて、波ばかり造り速度が増加しない限界速度となる。このため経済速度は高速商船で 0.33 以下、一般商船では 0.28 以下、大型タンカーなどでは 0.18 以下が用いられる。

この造波抵抗の山を超すには、船体を軽量化して高馬力を搭載し、馬力で山を超す高速艇型と船体を細長し山を低くする艦艇型の 2 種類がある。

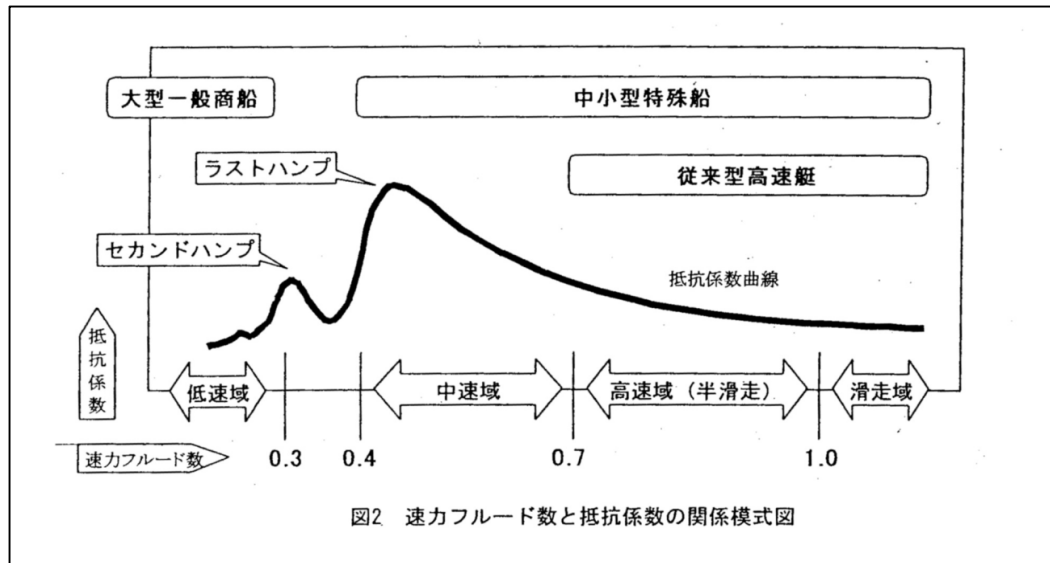


図 2.4 速力フルード数と抵抗係数の関係模式図
(出典：三井造船（株）技術論文資料)

前記の在来客船Aで10ノットはFn 0.32で限界速度に近く、8ノットでFn 0.26であり、造波抵抗係数が急増する領域である。10ノットでは造波も大きくなることから、(6)にて在来客船Aの速力馬力を試算しているが8ノット：80psが10ノット：330psと増加する。このため実際の運航は「(1)航走中の在来型客船Aと波形」前記写真の如く8～9ノット程度で運航していると推定される。船舶のFnは経済速度と密接な関係があるので慎重に選定する必要がある。

(3) 在来客船 A と新省エネ客船の概略主要目

在来客船 A の試運転諸データ（鉄道・運輸機構資料）から、摩擦抵抗、造波抵抗を推定し、これらから、新省エネ客船の概略計画を行いこの主要目を表 2.5 に示す。

表 2.5 在来客船 A ・新省エネ客船 主要目

船名	在来客船 A	新省エネ客船計画
総トン数	115	115
全長(m)	27.5	27.5
垂線間長(m)	25.7	25.7
巾(m)	7	7
深さ(m)	2.1	2.1
満載喫水(m)	1.49	1.5
喫水から高さ(m)	4.4	4.4
満載排水量(t)	134.6t	134.6t
航海速力(ノット)	10 ノット	10 ノット
10 ノット Fn	0.33	0.33
主機出力	400ps×1	340ps×1
Cb 値	0.49	0.49
Cp 値	0.728	0.68
SL 係数=水線長さ/排水容積 ^{1/3}	5.0	5.0
プロペラ rpm×直径	545rpm×1.2m	400rpm×1.4m
船首バルブ	無	付

(4) 在来客船 A の速度別抵抗割合推定

試運転データから、各種性能関連数値を推定し、これらから在来客船 A の速度別抵抗割合推定を図 2.5 に示す。10 ノットの速度域からは $F_n=0.324$ と造波抵抗が非常に大きくなる領域であるので、船体の太り具合を示す方形肥瘠係数 C_b 値は 0.49 と極限に痩せさせている。しかし長さが比較的短く SL 係数が 5 と太短い船型で、柱状肥瘠係数 C_p が 0.728 と大きく、水線面積係数 C_w も 0.952 と大きい。これらは前部の客室を広くした結果であり、客室配置を優先した線図形状で、推進性能上からは異常に C_p 値、 C_w 値が大きくなっている。このため造波抵抗が 8 ノット位から急増しており、8 ノットで摩擦抵抗と造波抵抗が等しくなっているのがわかる。

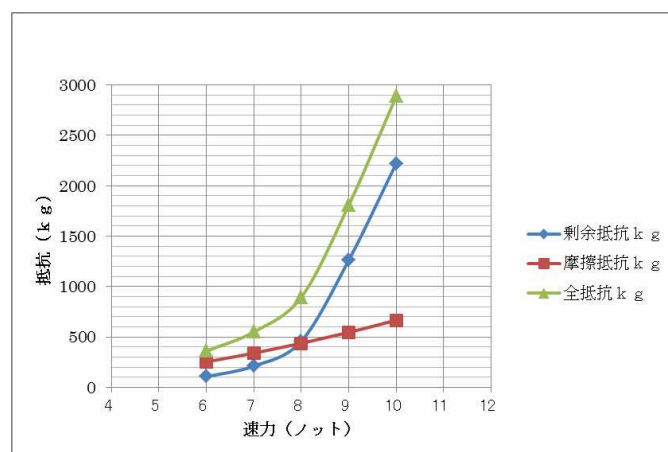


図 2.5 在来客船 A 抵抗割合

(5) 新省エネ客船の速度別抵抗割合推定

在来客船 A を改善するには SL 係数を大きくし、 C_p 値を小さくすれば大きな効果があるが、ここでは一応長さ SL 係数は同じとして検討を行う。大きな船首バルブを設置し、且つ C_b 値は 0.49 と同じとし、 C_p 値を 0.728 から 0.68 程度まで小さくし造波抵抗を減少させ、且つプロペラ回転数を低下させ直径を大きくするとプロペラ効率があがり、大幅な省エネになる。しかしながら配置上は船首部を細くしなければならない。図 2.6 に新客船の速度別抵抗割合推定を示すが、船型改良によって摩擦抵抗と造波抵抗が等しくなる速度が 8 ノットから 8.3 ノットになり、10 ノット域では全抵抗が大きく減少すると推定される。

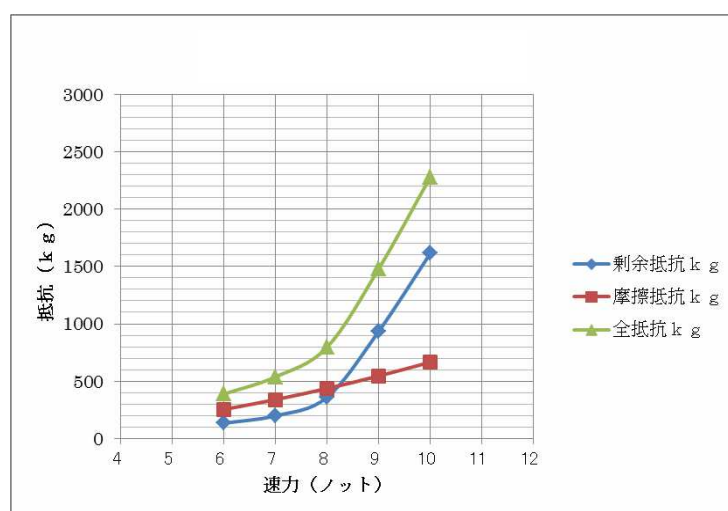


図 2.6 新省エネ客船抵抗割合

(6) 在来客船A、新省エネ客船の推定速力馬力の比較

新省エネ客船は図 2.7 に示すように在来船 A に比較して、船型改良とプロペラ効率により 10 ノット時の出力が約 20%減少すると推定される。

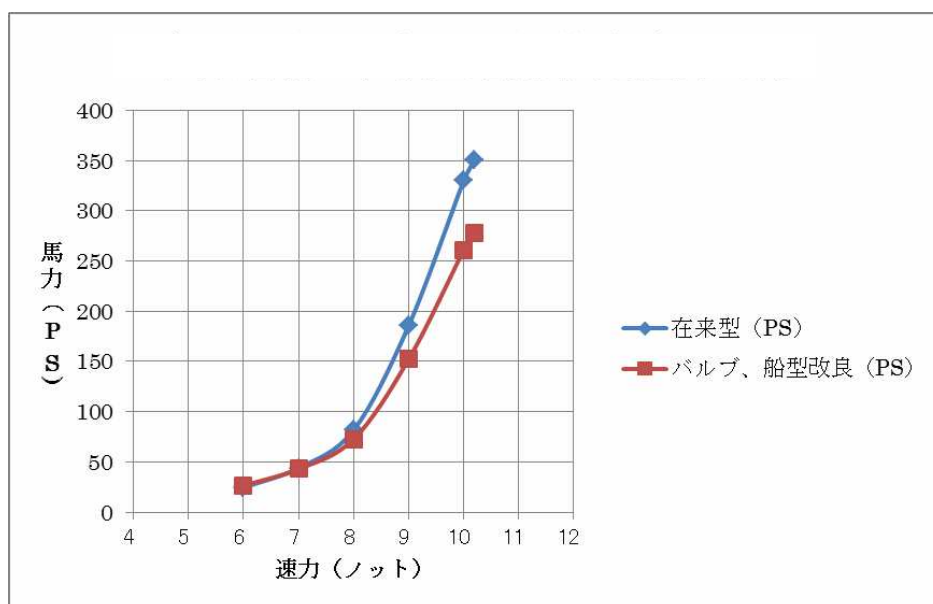


図 2.7 在来客船 A・新省エネ客船推定速力馬力

2.9 荒川航行のタンカー省エネ検討

2.9.1 在来型タンカーと新省エネタンカー



在来型の船型データが少ないため概算で推定したが、低速域で肥大船にて F_n が同じの場合は、船型を改良しても抵抗値の減少は少ない。このため長さを長くし大型化によって輸送量を増加させると、 F_n が小さくなり造波抵抗が減少するので全抵抗はほとんど増加しない。船型を大型化することによって輸送量を増加させ省エネを可能とした。表 2.6 に示すように、概算では同じ出力で貨物量が 1.3 倍に増加するので、貨物量当たりの省エネは 23%になる。

表 2.6 在来型 A・新省エネ大型化 主要目

船名	在来型 A	新省エネ大型化
総トン数	149	48
全長	41.77	45
垂線間長	40	43
巾	8.5	9
深さ	2.8	3.2
満載喫水	2.63	3
喫水から高さ	2.9	3
載貨重量(t)	500	650
満載排水量(t)	700	892
C_b	0.75	0.75
SL 係数: 水線長さ/排水容積 ^{1/3}	4.5	4.47
航海速力	9 ノット	9 ノット
9ノット F_n	0.233	0.22
主機出力	500ps×1	500ps×1
船首バルブ	無	無

(1) 在来タンカーA の速度別抵抗割合推定

在来タンカーの推定される速度別抵抗割合を図 2.8 に示す。肥大船であり 8 ノットで摩擦抵抗と造波抵抗が等しくなり、8 ノット以上は造波抵抗が急増し経済的ではない。

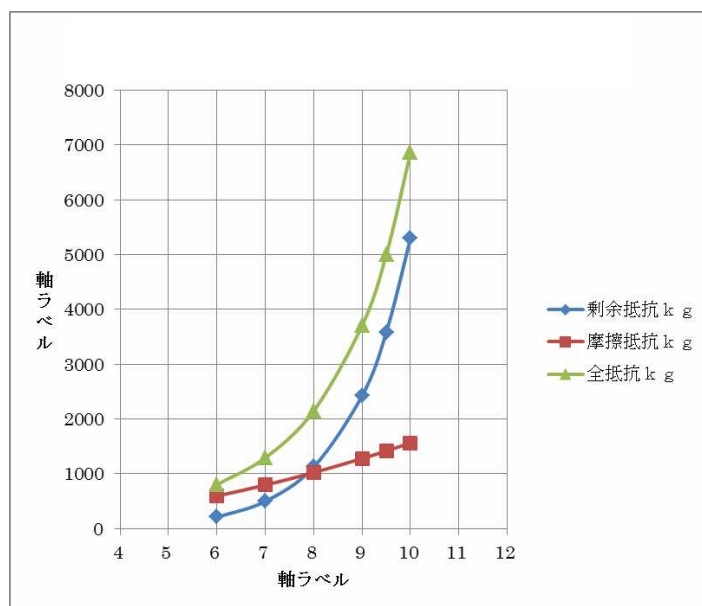


図 2.8 在来タンカー抵抗成分

(2) 新省エネタンカーの速度別抵抗割合推定

新省エネタンカーの推定される速度別抵抗割合を図 2.9 に示す。長さを増したため、9 ノットの同じ速度で F_n が低下し、8.3 ノット位で摩擦抵抗と造波抵抗が等しくなっている。排水量が 27% 程度増加したが、9 ノットの抵抗値はほぼ同じである。

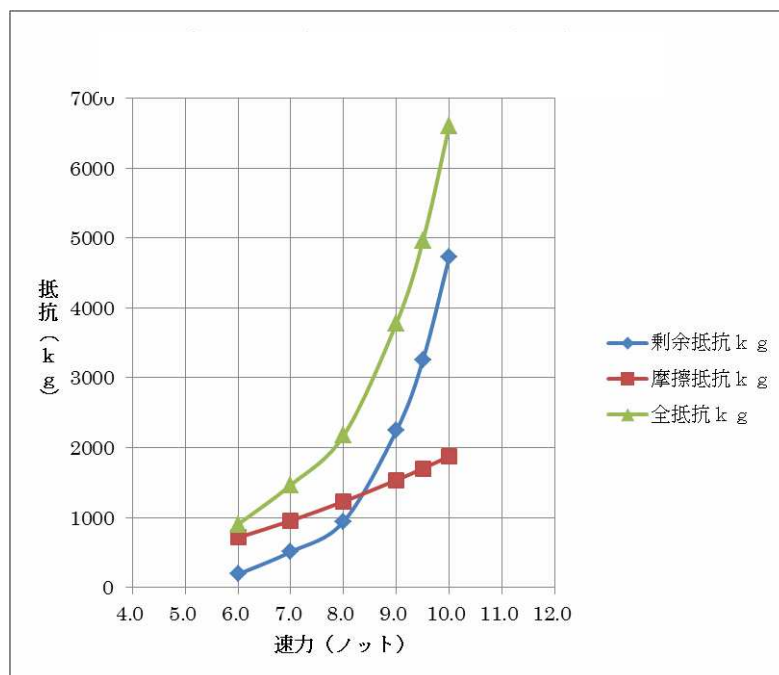


図 2.9 新省エネタンカー抵抗成分

(3) 在来型、新省エネ型タンカー推定速力馬力

在来型、新省エネ型タンカー推定速力馬力を図 2. 10 に示す。大型化し船首バルブや船型改良により、輸送量が 30% 増加したが、速力馬力はほとんど変わらず、主機馬力は同一で良いため、23% の省エネになる。このように船舶では大型化しても抵抗があまり増加しないので、船舶ではよく使用される省エネ方法でもある。これは大型化しても抵抗の大きな部分を占める摩擦抵抗に関する摩擦面積が大きく増えないためである。すなわち容積は長さの 3 乗に比例するが摩擦面積は長さの 2 乗に比例するため、大型化しても摩擦面積の増え方が少ないためである。

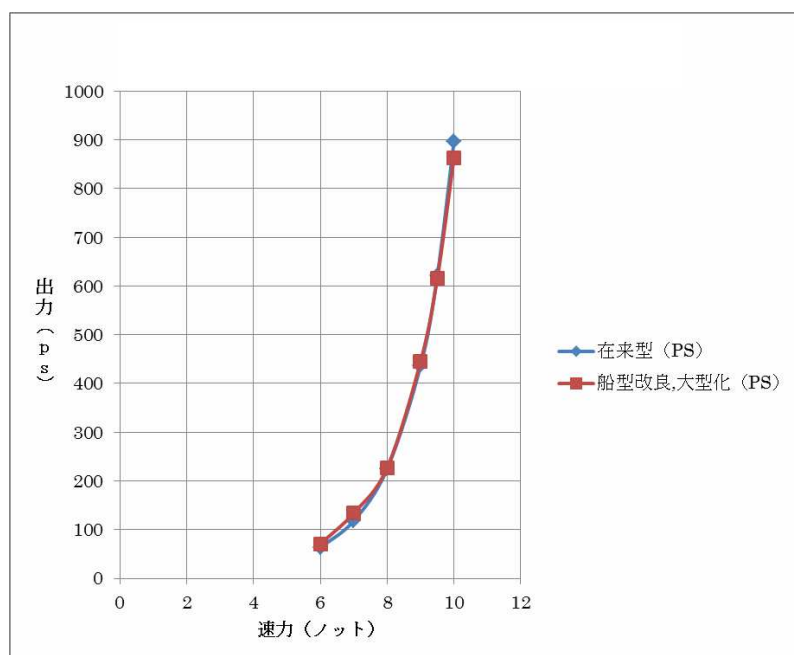


図 2. 10 在来型、新省エネタンカー速力馬力

2.10 船舶の引き波

2.10.1 引き波推定法

船舶の引き波は高速になるとFnとともに大きくなる。河川の航行に際しては引き波が大きいと、護岸への影響も大きくなる。また、停泊中の船舶を揺らすことで損傷を与え、停泊中の船舶に旅客や乗員がいると危険を及ぼすことになる。このため河川航行船は引き波の大きさに注意が必要である。

さらに引き波が小さいことは航走時の出力が少ないことを示し、環境負荷低減対策としても重要となる。本項では船舶の航行中の引き波の推定式の例を示し、これを使用し、2.8、2.9の旅客船とタンカーについて引き波の大きさを概算比較した。

航走中の造波高さの推定式の一例を下記に示す。

$$\text{曳き波の波高 (m)} = \left(\frac{L}{100}\right)^{1/3} \sqrt{\frac{(0.6 \times BHP - EHP_f) \left(\frac{100}{R}\right)^{1/3} \left(\frac{V_a}{V_k}\right)^3}{2.2 \times L \times V_k}}$$

ここで、

L：船の（垂線間）長さ（m）

BHP：主機関馬力（PS）

W：満載排水量（トン）

V_k：航海速力（ノット）

V_a：実際の速力（ノット）

R：対象地点と船の最接近距離（m）

$$\text{また、渦を造る馬力 } EHP_f = \frac{0.0177 \times \sqrt{W} \times L \times V_k^3}{\left(\log_{10}(4.28 \times 10^5 \times V_k \times L) - 2\right)^2}$$

出典：（社）日本海難防止協会（東京大学 田宮眞教授を中心に検討、提案された式）1976 年

本式は造波抵抗理論の定性的結論を骨組みとして、経験データのあてはめにより導かれたものである。造波によるエネルギーは波高の2乗に比例、波高が距離の1/3乗に反比例、波高が速力の3乗に比例する式で、定数などは計算例や実験例などによって定められており、船型による要素などが反映されない簡便式のため精度的には限界がある。

しかしながら主要寸法と速力、馬力、出力などのインプットで概略波高の算定が可能と簡便であるため、本式を用いて、在来客船、新型客船および在来タンカー、新省エネタンカーの引き波波高を計算し比較を行う。

上式を含め、一般的には速度と出力を下げることで、引き波波高は激減する。またFnを出来るだけ小さくし、船体は細長くすると造波抵抗が減り、結果的に引き波も減少する。

河川用船舶で引き波が問題となる場合は、双胴型として一つの船体を細長くし、造波抵抗を減少させる手法が良く使用されている。豪州のシドニー、欧州の河川等では双胴の細長船型の高速艇が使用されている例がある。

2.10.2 隅田川の旅客船とタンカーの引き波推定

(1) 旅客船

前式にて、在来客船、新型客船から 50m 地点の引波波高を推定した結果を表 2.7、図 2.11 に示す。新型客船は省エネになっており、この分引き波も小さくなっているが、一番効果があるのは速力を落とすことであることがわかる。

表 2.7 在来客船、新型客船から距離 50m 地点の引波波高

速力(ノット)	在来客船波高(m)	新型客船波高(m)
10	0.50	0.46
9	0.36	0.34
8	0.26	0.24

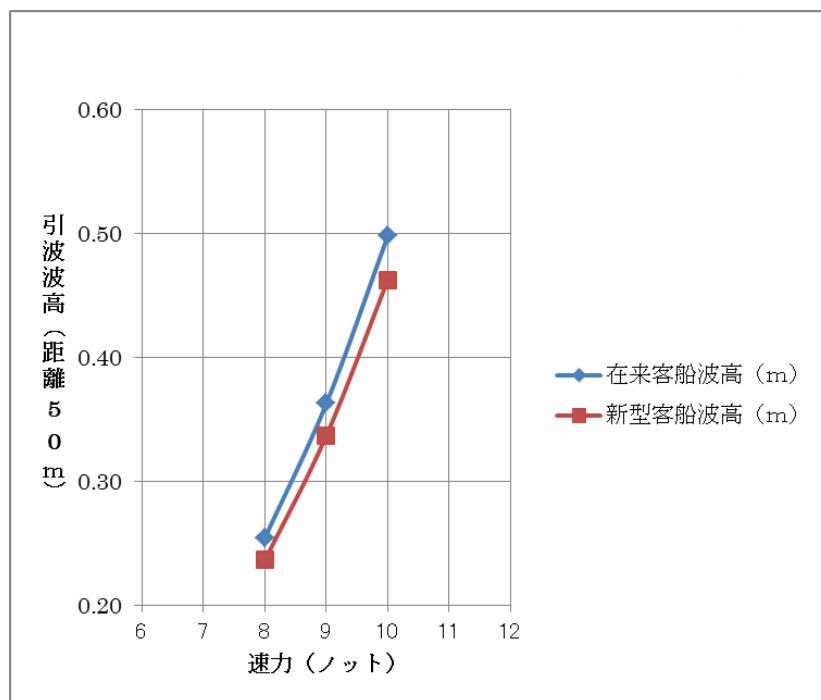


図 2.11 在来客船、新型客船引波波高比較

(2) タンカー

前式にて、在来型、新省エネタンカーの50m地点での引波波高を推定した結果を表2.8、図2.12に示す。大型化しかつ速度と主機馬力が同じであるにもかかわらず、引波が減少しているのは、長さを増したため F_n が減少し、造波抵抗係数が減少したためである。しかし、一番効果があるのは速力を落とすことであることがわかる。このタンカーのサイズ、速力、積載量、主機馬力比較は2.9.1 在来型タンカーと新省エネタンカーを参照されたい。

表2.8 在来タンカー、新省エネタンカー距離50m地点の引波波高

速力(ノット)	在来型波高(m)	新省エネ型波高(m)
10	0.49	0.47
9	0.36	0.34
8	0.25	0.24

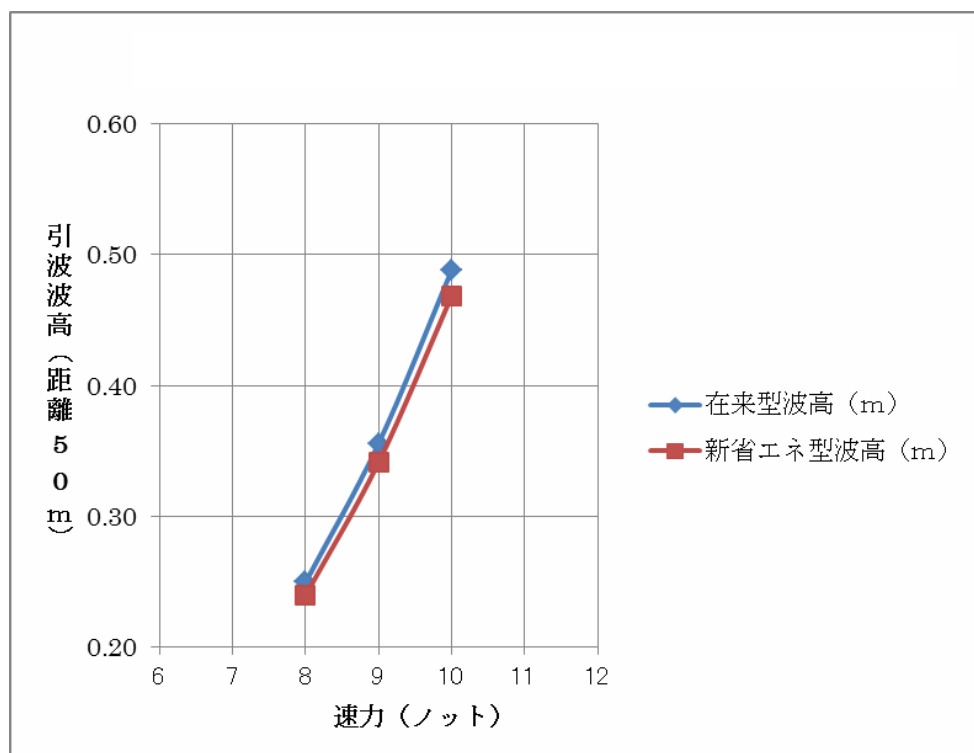


図2.12 在来タンカー、新省エネタンカー引波波高比較

3. 船舶を活用した環境への貢献

ここでは、河川・沿岸域の環境問題全般を概観し、これらの問題を改善するための有効な手段の一つとして考えられる船舶を用いた環境への貢献について整理を行った。

また、船舶を用いた環境教育のあり方についても検討した。

3.1 河川・沿岸域の環境問題と船舶の貢献

河川・沿岸域の環境問題をカテゴリー別に整理すると、

- ① 大気に対する環境問題として「CO₂、NO_x、SO_xの削減」
- ② 景観・美観に関する環境問題として「漂流・漂着ゴミ」、「流木」
- ③ 水や土壌に関する環境問題として「水質や底質の悪化・汚濁」、「海洋汚染」
- ④ 自然環境に関する環境問題として「生物多様性の喪失」

等が挙げられると思われる。

これらの環境問題の中で、環境改善のために船舶が貢献できるものとして、まず①については、河川航行船の省エネ化、電気推進化等を推進し、排出する CO₂、NO_x、SO_x を削減することが考えられる。これは前章で詳述されているのでここでは省略する。②については、漂流ゴミ等を処理する船舶が存在し実用化されている。③については、河川・沿岸域で悪化した水質や底質を浄化する船舶が存在する。また、④については、浅場・干潟の造成やビオトープの整備等が生物多様性の回復に効果的であるが、この工事に船舶の活用が考えられる。

以下では、これらの河川・沿岸域の環境改善に資する船舶の現状について整理するものとする。

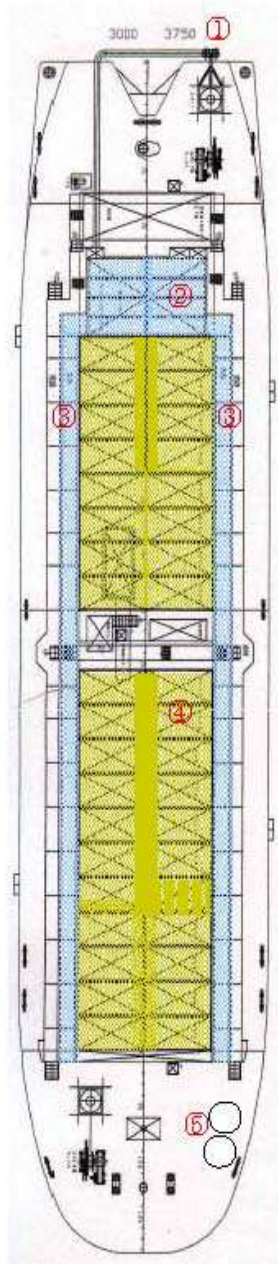
3.2 河川・沿岸域の環境改善に資する船舶

3.2.1 水質浄化船

青木マリーン(株)と東海大学では、平成14年から海水浄化船の実証試験を各地の閉鎖性の沿岸域で水質悪化が進んだ海域で行い、その有効性を実証している。水質の悪化が進む主な原因は生活排水であるが、各々の排出源が小規模で、効果的な排水処理が難しいため、結果的にはその影響は大きく、水系の富栄養化に大きく働く。現在の水質汚濁の原因の7割近くは生活排水によるものであるとも言われている(出典：フリー百科事典 Wikipedia)。海水浄化船は土運船を改造したもので、海水をポンプで揚水して船内のろ過層に投入し、繊維ろ材、炭素繊維及び砂・高炉スラグの3種のろ材でろ過された海水を海に戻すというシステムである。富栄養化した水系を大量に浄化するシステムとして有効なシステムであると言える。

浄化システムの概要を図3.1に示す。

浄化の効果は図3.2に示したように、兵庫県の西宮海域の実証実験では、汚濁防止膜で区切られた容量10,000m³の小海域を、6,000m³の処理水量で稼働させれば、汚濁防止膜の外側に比べ内側では、透明度を1m向上させることが可能で、COD(化学的酸素要求量)については、1.7mg/lほど低くなることが検証された。



① 揚水ポンプ

海水浄化船の船尾に設けたポンプによって、10,000m³/日の海水が揚水されます。



② 1次処理槽

揚水された海水は、船体後部の繊維ろ材槽に上向流で送られます。ここでは懸濁物が除去されます。繊維ろ材槽の容量は70m³であり、0分間海水が滞留します。



③ 水路

繊維ろ材槽を通過した海水は、船体の左右に設けた水路を通して、船首方向へと輸送されます。水路には炭素繊維を設置しています。水路の各所には、ユニットへ海水を供給するパイプが接続されています。



④ 浄化ユニット

散水パイプを通して、海水が浄化ユニットに供給されます。海水浄化船は、38基のユニットを搭載しています。ユニットに供給された海水は、砂と高炉水砕スラグによってろ過され、ユニットの下部から直接海に戻されます。



⑤ 沈殿(貯留)タンク

繊維ろ材や砂を洗浄(更生)した際に発生する洗浄濁水を貯留し、1日静置。自然沈降により固・液分離させます。



図3.1 水質浄化船の浄化システム

(出典 : <http://www.aokimarine.co.jp/heisakaiikyousakasen.pdf>)

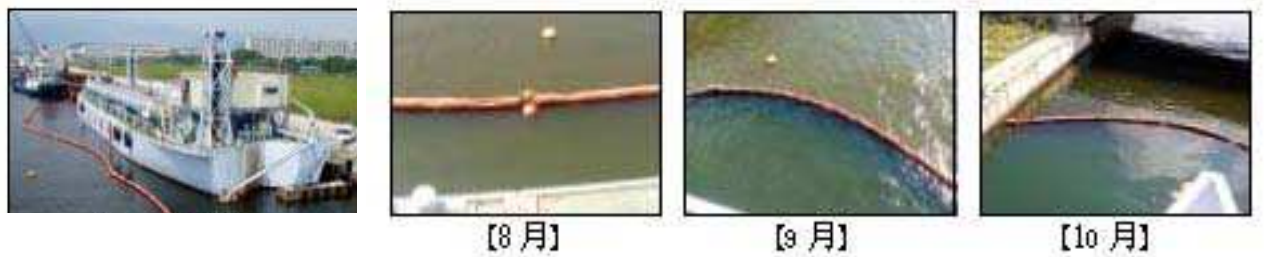


図 3.2 浄化の効果

(出典 : <http://www.aokimarine.co.jp/heisakaiikijyoukasen.pdf>)

3.2.2 ゴミ回収船

様々な調査の結果、海に流れている（または沈んでいる）ゴミの約8割は「陸上で投棄されたもの」すなわち「陸にある道路や工場などで捨てられたゴミが雨と一緒に排水溝に入り川へ流れ出し海に流れ込んでいる」ことが確認されている。これより、河川を漂流するゴミの回収・処理は単なる「河川美化」の問題だけでなく、海洋汚染の問題としても捉える必要がある。そこでここでは、漂流・漂着ゴミ問題について述べ、河川や海で活動するゴミ回収船を概観するものとする。

(1) 漂流・漂着ゴミ問題

漂流ゴミとは「海岸に流れ着くゴミ」のことであり、次のように種類が極めて多様でリサイクルしにくい上に塩分を含むので処理が困難なゴミである。

- ・硬化プラスチックの破片
- ・発泡スチロール
- ・ガラスの破片
- ・ビン・缶・ペットボトル
- ・冷蔵庫、テレビ、自転車
- ・ドラム缶
- ・漁網 等

(財) 環日本海環境協力センターが算出した計算によれば、一年間に日本全国の海岸に漂着するゴミの量はおよそ 14 万 6,000 トンと算出されている。様々な海洋生物がこれらをエサと間違えて飲み込み死亡しており、その数は海鳥だけで毎年 100 万羽以上、海洋哺乳類やウミガメは 10 万匹以上と言われ海の生態系が崩れる恐れがある。一方、「漂流ゴミ」は流れついた自治体が回収・処理すると同時にその莫大な費用を負担することになっており、手付かずの状態になっている海岸は多い。

(出典 : http://onigiri.weblogs.jp/gomimondai/mondai_sono_05.html)

(2) 隅田川の小型ゴミ回収船

東京都では、河川水面清掃（対象範囲内において、河川水面に浮遊するゴミ、死魚と動物死骸等の回収物を作業船により収集・処分する作業）を目的に、13m級の小型のゴミ回収船を運用している。現場への往復は約6～7ノットで航走し、作業中は1～3ノット位で船首のゴミ回収用コンベアを回して作業を行っている。ゴミ回収船の写真を図3.3に、推定要目を表3.1に示す。



図 3.3 隅田川の小型ゴミ回収船
(出典：東京都第一建設事務所 HP)

表 3.1 ゴミ回収船の推定要目

型式	コンベア式小型河川用ゴミ回収船		
総トン数	約 7 t	航行区域	平水区域
全長	約 12m	船体材質	鋼製
巾	約 3m	主機関	高速ディーゼル 1 基
深さ	約 1.5m	出力×回転数	約 130ps×3,100rpm
喫水	約 1 m	発電機	主機駆動直流約 1KW
速度	約 6 ノット	操舵機	主機駆動油圧
作業時速力	約 1～3 ノット	油圧コンベア駆動	主機駆動油圧
満載排水量	約 21 t	油圧コンベア上下	主機駆動油圧
軽荷重量	約 16 t	ごみ重量	約 2～3 t
載貨重量	約 5 t	燃料	約 1 t

(出典：平成 21 年度河川整備基金助成事業「河川・沿岸域における水陸一体型船舶等による防災支援等活用方策の検討報告書」(社) 海洋産業研究会)

(3) 水面浮遊物清掃艇

まだ開発実証段階であるが、水面浮遊物清掃艇「YUKAI（油匙）」を紹介する。これは長崎総合科学大学の慎教授の特許である「強制的に作り出した水面差による流入方式」を用いて、(株) オプティ（本社：横浜市）が開発製造したもので、安価に製造することができるという特徴がある。平成 23 年 7 月に行われた公開実験の様様を図 3.4 に示す。



図 3.4 水面浮遊物清掃艇（YUKAI）の公開実験模様

(出典： <http://blog.livedoor.jp/ken5231/archives/3864955.html>)

(4) 中国長江の水域浄化船

水域浄化船が中国の武漢市内の長江流域で使用されている。この船の操作に必要な作業員は2名。水面に浮遊するゴミなどを除去する機械（その方法は不明）が搭載されているほか、川岸のゴミの清掃、油と水の分離などの作業を行う。水上では1日150m³のゴミの除去が可能とのことである。写真を図3.5に示す。



図 3.5 長江流域の水域浄化船

(出典 : [http://j/people.com.cn/2001/07/19/jp20010719_7619.html](http://j.people.com.cn/2001/07/19/jp20010719_7619.html))

(5) 海面における浮遊ゴミや油の回収船

国土交通省では、船舶航行の安全を確保するとともに、海域環境の保全を図るため、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海、有明・八代海等において、海面に浮遊するゴミや油の回収を国の海洋環境整備船により実施している。海洋環境整備事業の概要を図3.6に示す。最近の例では、東日本大震災による津波により、東北地方沿岸域に多数の浮遊物が漂流し、港湾への入出港や船舶航行に支障をきたしたが、この浮遊物の回収に海洋環境整備船が活躍した。回収作業状況を図3.7に示す。



図 3.6 国土交通省による海洋環境整備事業の概要
(情報出典 : 国土交通省)

◆浮遊物の回収作業状況



流 木



漁 具

◆回収作業を行った船舶

近畿地方整備局所属
海洋環境整備船「海和歌丸」



総トン数：198トン 航行区域：沿海

四国地方整備局所属
海洋環境整備船「みずき」



総トン数：154トン 航行区域：沿海

図 3.7 東日本大震災での海面浮遊物の回収

(出典：www.thr.mlit.go.jp/Bumon/kisya/saigai/images/36038_1.pdf)

(6) 外洋型清掃船のコンセプト

(社) 日本作業船協会では、平成 18 年度の「海洋漂流・漂着ゴミ対策検討会」において、外洋に漂流する流木等の大型ゴミに対応する外洋型清掃船の検討を実施している。堰の原理（水面浮遊物清掃艇と同様の原理）を利用しており、船上に広いオープンホールドを有し、回収時には船を半潜水状態にして堰の高さを調節することにより漂流ゴミを一挙に海水ごと大量にオープンホールドに誘引する。回収作業終了後、海水はポンプにより排水し、ゴミは回収タンクに移送するというシステムである。概念図を図 3.8 に示す。

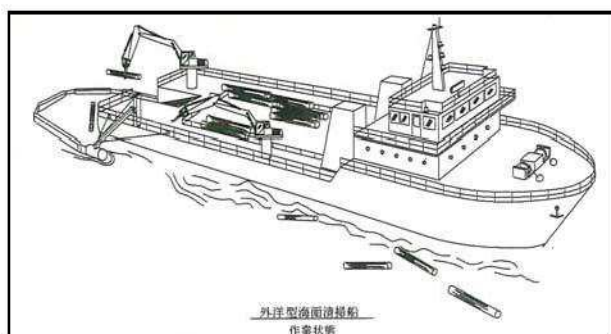


図 3.8 外洋型清掃船概念図

(出典：平成 18 年度「海洋漂流・漂着
ゴミ対策報告書」(社) 日本作業船協会)

3-2-3. 河川環境整備船

(1) 浚渫船及び覆砂船

河川・沿岸域で悪化した底質を浄化する船舶としては、浚渫船や覆砂船がある。浚渫船は水底に堆積したヘドロ等の有害物を直接取り除くことが出来る。浚渫船には、ポンプを使って水底の土砂を取り除くものや、バックホウのような機械で土砂をすくい上げるものなど様々なタイプがある。

一方、覆砂船は砂や鉄鋼スラグをヘドロの上に覆砂し、これにより底質の酸素消費量低減や生物生息環境の改善などを図るものである。鉄鋼スラグは近年、天然の砂や石の代替物として注目されており、CaO を多く含み、ヘドロの堆積した水底の環境浄化に効果を有することが知られている。環境修復のために砂を使う場合、天然資源の採取になり、新たな自然破壊になるケースもあり、鉄鋼スラグの活用は今後益々重要になってくると思われる。

浚渫船と覆砂船の作業状況の概要を図 3.9 に示す。

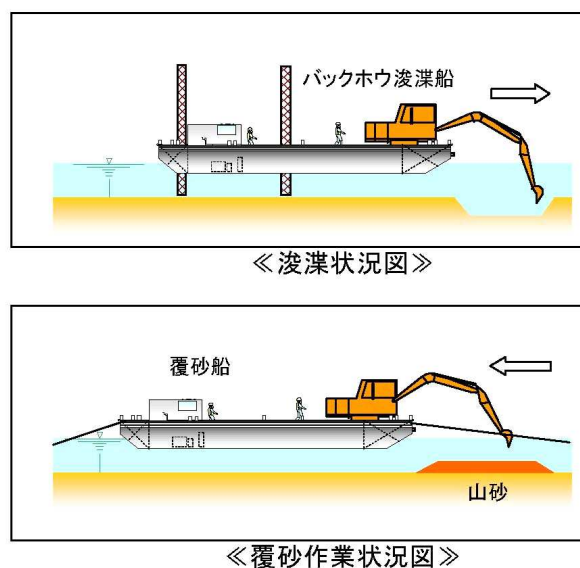


図 3.9 浚渫船と覆砂船の作業状況図

(出典: www.suzukimarinejet.com/0429-keburu.pdf)

(2) 河川環境改善船

生物の生息環境の改善や多様性を促進する浅場や干潟の造成には川砂および生物親和性の高いブロック等が必要である。川砂はこれまでにセメント・コンクリートの原材料として多く掘り出され、現在では多くの自治体が環境保全のために採掘を禁止している状況である。したがって、環境改善のために川砂を用いることはまさに本末転倒であり、川砂に替わる材料を用いる必要がある。このため、当研究会では、平成 17 年度の研究におい

て、川砂に替わる材料として高炉スラグを、コンクリートブロックに替わる材料としてマリ
ンブロック（スラグから製造）を提案し、これらの工事を行う新しい作業船として河川
環境改善船を提案した（平成 17 年度河川整備基金助成事業「河川・海域の総合的活用
による河川舟運活性化に関する研究報告書」（社）海洋産業研究会）。

そこで、以下では河川環境改善船の概要について述べる。

高炉スラグとマリンブロックを用いた人工浅場モデルを図 3.10 に示す。まず浅場造成
をする水域を囲むように潜堤を造成する。潜堤の材料は製鋼スラグ（製鋼スラグは高炉ス
ラグとは異なる工程で発生する副産物）を用いる。次にヘドロで汚れた水底に高炉スラグ
を覆砂材として浅場を造成する。その後太陽の光が届く水深まで浅くした覆砂の上にマリ
ンブロックを置いて完成となる。マリンブロックは任意の形状にすることが可能であるた
め、植物の造成礁としてだけでなく消波ブロックとしても用いることができる。

これ等の工事を行う河川環境改善船の設計与件としては、都市部の河川は喫水より橋脚
の桁高さがネックとなり航行できないケースが多いので、エアードラフトが小さい作業船
を計画する。従来のような台船では、台船の甲板上に貨物や工事機械を積載するため、エ
アードラフトが必然的に高くなり、橋脚下を通過できないことになる。このためドック船
のように側部を高くし、貨物積載場所は 2 重底の直上に積載し、エアードラフトを小さく
した。

貨物の積み込みは RORO 方式とし、ダンプカーにてそのまま積み込み可能とする。河川
にスラグを撒く方法としては、パワーショベルにて掬い取り、舷外に撒く方式か又はクレ
ーン車にてグラブにより撒く方法のいずれかとする。

ダンプカーやショベルカーがランプウェイより船内に乗下船する際、船体のトリムが大
きくなる場合は、バラストポンプでトリムを調整しながらゆっくりと移動するものとする。

河川環境改善船の主要目を表 3.2 に示し、図 3.11 および図 3.12 に一般配置図について
高炉スラグを積載した場合と、トラックを積載した場合に分けて掲載する。

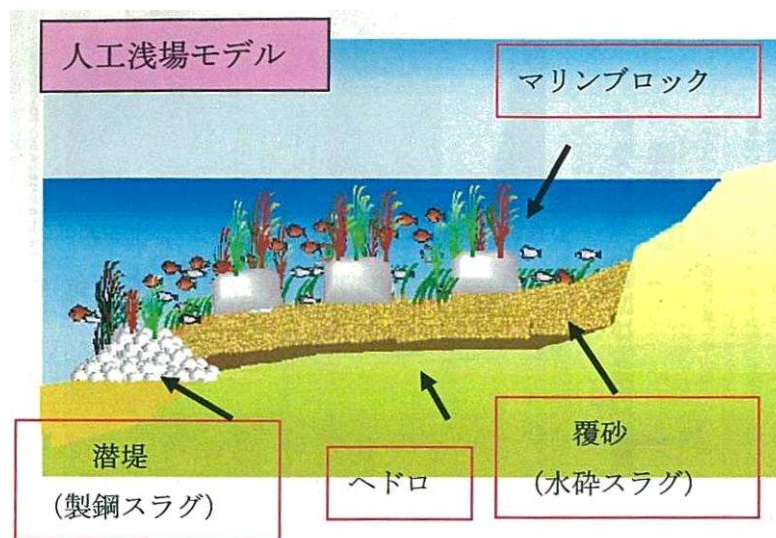


図 3.10 人工浅場モデル

(出典：平成 17 年度河川整備基金助成事業「河川・海域の総合的活用による
河川舟運活性化に関する研究報告書」(社) 海洋産業研究会)

表 3.2 河川環境改善船主要目

船型	凹型船型
材質	鋼製
航行区域	平水区域
全長	約 43.0m
全幅	約 10.6m
深さ	約 3.5m
喫水	約 2.0m
エアードラフト	約 3.5m
載貨重量	約 200t
主機関	約 300ps×2 基
航海速度	約 7 ノット
バラストタンク	4
荷役装置	パワーショベル 1 式
船橋上下装置、ランプウエー	油圧式 1 式

(出典：平成 17 年度河川整備基金助成事業「河川・海域の総合的活用による
河川舟運活性化に関する研究報告書」(社) 海洋産業研究会)

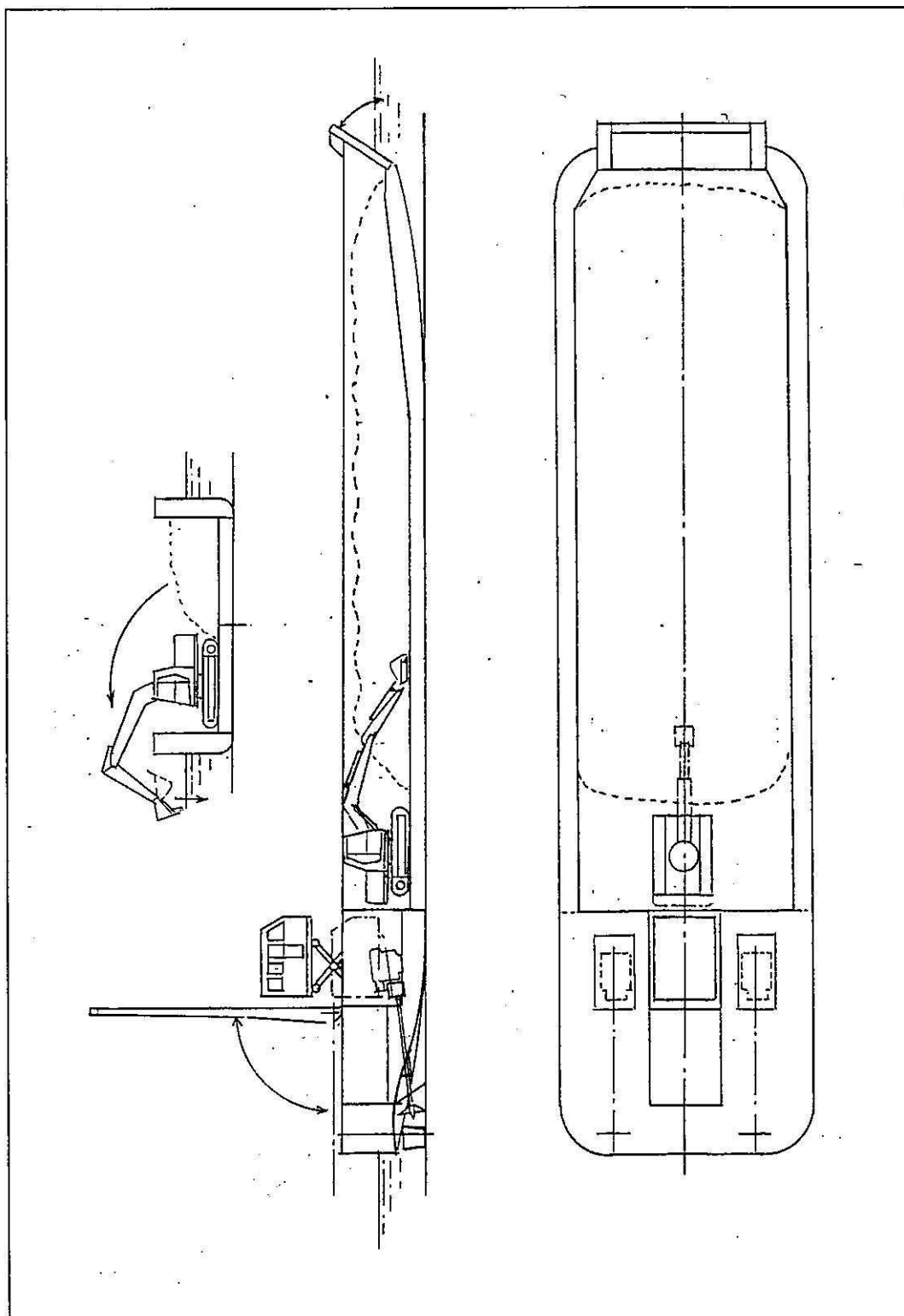


図 3.11 高炉スラグ用一般配置図

(出典：平成 17 年度河川整備基金助成事業「河川・海域の総合的活用による
河川舟運活性化に関する研究報告書」(社) 海洋産業研究)

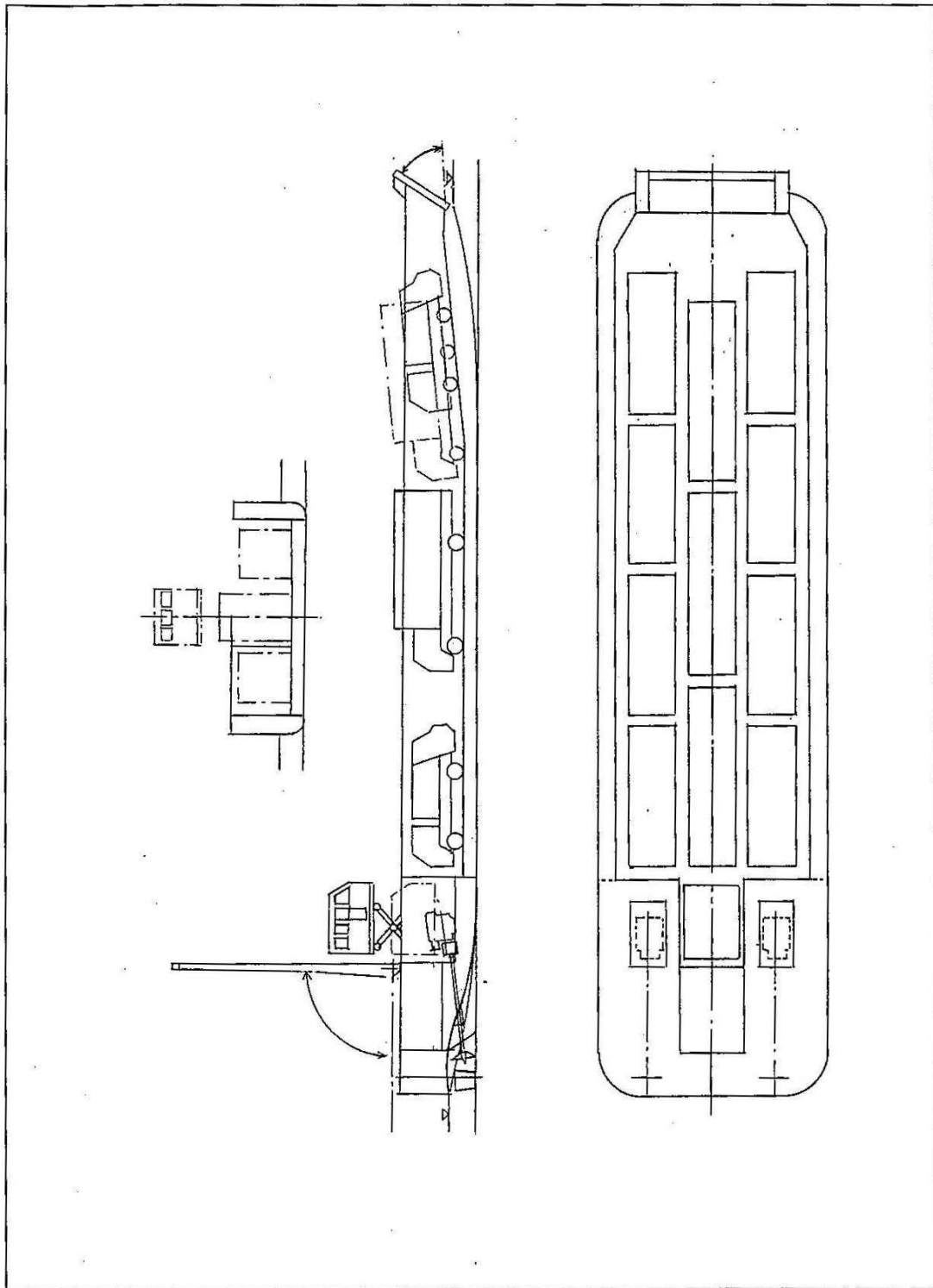


図 3.12 トラック輸送時の一般配置図

(出典：平成 17 年度河川整備基金助成事業「河川・海域の総合的活用による
河川舟運活性化に関する研究報告書」(社) 海洋産業研究会)

3.3 船舶を活用した環境教育

3.3.1 船舶を活用した環境教育について

これまで、小学校等の多くでは、「川や池等の危険な場所では遊んではいけません」という教育や指導をしてきた。近年になり、その考え方を是正する動きとして、平成5年度の文部省「水泳指導の手引」では着衣泳の取り扱い方を示している例をあげることができる。学習指導要領には着衣泳そのものの記述は無いが、小学校、中学校、高等学校それぞれの解説書の保健体育編には、水泳における態度の内容の中で「着衣のまま水に落ちた場合の対処の仕方については、各学校の実態に応じて取り扱うことができる」と示している。

日本人の平均的な意識としては、海洋や河川に対する理解、或いは親しみが、四面を海に囲まれている割には低いのが実情である。

海岸や水辺での散策、或いは釣り等でも親しみを覚えるが、この様な陸域側からの触れ合いだけではなく、船舶への乗船や遠泳など水域側からの触れ合いが、波の強さや流れの速さ、潮の干満や水温の変化、水の汚れや臭い、河岸・海岸の植生や漂着ゴミの存在などの理解を一層深めることが可能となる。

この様な観点からの環境教育の一環として、大阪府堺市立神石小学校では「親しめる石津川をめざして」とする活動を展開し、石津川に植栽した葦などを利用して図 3.13 にある「葦船づくり」を平成 18 年度より行っている。



図 3.13 「葦船」 (出典：堺市報道提供資料 2011. 05. 16)

3.3.2 琵琶湖

琵琶湖への流入河川は野洲川や安曇川、愛知川を始めとして 100 本を上回るのに対し、流出河川は瀬田川（淀川水系）が唯一あるのみである。また、琵琶湖並びに淀川水系から近畿2府3県の約 1,400 万人への飲料水や工業・農業用水が取水され、琵琶湖が近畿の水がめと称される所以である。

またさらには、琵琶湖は固有種の種類と量の多さから淡水生物の宝庫とされており、その自然環境の保全と、より良い水質の未来への継承は等しく我々への大きな課題である。

(1) 滋賀県立びわ湖フローティングスクール

滋賀県では、環境教育の大きな柱として、県内全域の小学5年生を対象に“びわ湖環境学習”を行っており、その一環として船舶を活用した1泊2日の体験学習を実施、運航開始以来これまでに45万人の児童が利用している。

図3.14に示した学習船「うみのこ」（1983年就航、全長65m、総トン数928t、速力8～9ノット）は、そのために専用船として建造されたものであり、船内の諸設備は小学5年生用のサイズに整えられ、どの部屋も多目的利用が可能な構造になっている。



図3.14 「うみのこ」 （出典：滋賀県立びわ湖フローティングスクールHP）

平成23年度には、2～4校程度の150～200名弱を1つの乗船グループとして94回の航海が計画実施されており、また、他校との交歓交流も重要な目的であり、学習班編成にも生かされている模様である。

さらには平成23年度では、6航海を京都府・大阪府の小学校との“琵琶湖・淀川流域小学生交流航海”（平成11年度から実施）として計画実施している。

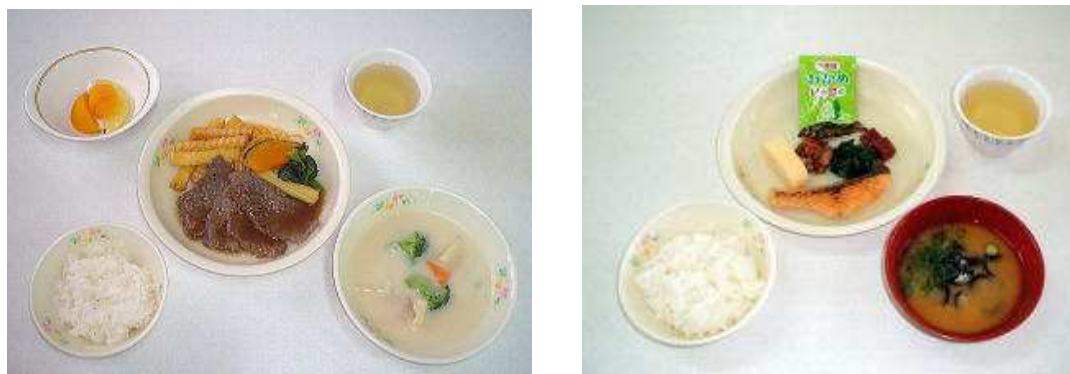
出航・帰港、寄港地には琵琶湖岸の7港（大津、帰帆島、長命寺、彦根、長浜、今津、琵琶湖大橋）を設定、船内での体験学習のみならず竹生島への上陸見学や寄港地でのタウンウォークラリーなども盛り込まれており、琵琶湖の成り立ちや生態系の学習などと共に、琵琶湖沿岸を利用した総合学習となっている。

図 3.15 に掲載した「水の湖_水調べ」では細長のアクリル水槽を使った透明度観察を行っており、特に琵琶湖南域での水質汚濁を容易に理解することが出来る。



図 3.15 「水の湖_水調べ」と「プランクトンウォッチング」
（出典：滋賀県立びわ湖フローティングスクールHP）

また、食育教育にも力を注いでおり、米・肉・野菜など滋賀県産食材による給食を4食、食事の献立と食材の説明、調理にたずさわる人たちの紹介などの時間も設けており、特に2日目の朝食では「和風焼魚定食」として、琵琶湖産の“びわます塩焼”、“小鮎の甘露煮”、“蜆の味噌汁”を献立に加えている。



ポークカツ
カレーソース
ポテトサラダ
リンゴヨーグルト
福神漬
ライス

びわます塩焼
厚焼たまご
季節のおひたし
えび豆煮
赤こんにやく
小あゆのかんろ煮
みそ汁
わかめふりかけ
ごはん

図 3.16 「夕食」と「朝食」 （出典：滋賀県立びわ湖フローティングスクールHP）

(2) 沖島（琵琶湖）

琵琶湖の南域、近江八幡市の 1.5km 先には、世界的にも希で国内唯一の淡水湖上での生活が営まれている島である“沖島”が浮かんでおり、平日 11 便の渡船（乗船時間 10 分、料金 500 円/大人）が通っている。

図 3.17 に沖島の地図を示す。



図 3.17 沖島「主要部地図」（出典：近江八幡観光物産協会 HP）

沖島の歴史は古く、万葉集にその記述がみられ、後白河法皇や平清盛などが登場する保元・平治の乱（1156～1159）の頃から本格的な居住が始まったと伝えられており、現在でも約 140 世帯・380 人程が居住する。

島内には、就学児童数全 10 名程の近江八幡市立沖島小学校が存在し、また、全戸数の約 7 割が漁業に関係、漁獲量は琵琶湖全体の約半分に当たる約 500 トンである。

水質の悪化などもあり、漁獲量は年々減少傾向にあり、特に水質が低下しつつある琵琶湖の南域に当たる沖島漁協では、既に蜆漁は廃れた状態であり、また、沖島漁協でのブルーギルやブラックバスなどの外来魚駆除も年間 50～60 トンになる。

（資料参考：沖島小 HP、沖島漁協 HP、京都新聞 HP）

一方、沖島そのものに渡航する観光者も見られるが、団体でチャーター船により大津市付近から来るか、個人レベルで沖島通船により渡航し1時間ほど滞在、次の便で近江八幡市に戻るパターンが殆どの模様である。

これは、島そのものに観光資源が無いことに拠るが、淡水湖に浮かぶ有人島であることの稀有な存在性を生かし、且つ、京阪神地区 1,400 万人の水がめとしての琵琶湖、その水質悪化に警鐘を与える環境教育の場としてスポットライトを与えることが出来ると思われる。

その際には、沖島の観光振興も兼ねた通船利用の検討として、図 3. 18 に示したような、近年脚光を浴び始めた“水陸両用車両”を利用した通船も考えられる。



図 3. 18 水陸両用バス
(出典：日本水陸観光株式会社 HP)

現在でも、沖島へ渡るためには、JR 近江八幡駅から最寄りの「堀切港」迄はバス便で 30 分程を要し、其処から通船で 10 分程を要す。

此れを、水陸両用車両を利用して JR 近江八幡駅から往復 2 時間程度の行程とすることに拠り、名所旧跡の観光案内も兼ねた 3 往復/日程度の観光ツアーを組むことが可能になる。

3.3.3 水中展望船紹介

環境教育の一環として、サンゴ礁の観察などがあるが、従来の箱メガネ式の上から海底を見るグラスボートと異なる海中視界が広い水中展望船を図 3.19, 20 に示し、概要を紹介する。この水中展望船は半潜水式で窓は海中の船側にあり、乗客は椅子に座ったまま前方や側部にある大型の水中窓から海中が見渡せ、海中視野が広いのが特徴である。



1988 年沖縄万座ビーチリゾートホテルに納入の第 1 船
潜水艦スタイルで大人気を博す

図 3.19 水中展望船「サブマリンジュニア」
(出典：ANA インターコンチネンタル万座ビーチリゾート)



図 3.20 水中展望船の内部

船底にガラス箱があるグラスボートと異なり、海中の船側にガラスがあり、座ったままの正面に海中が見える、半潜水型水中展望船潜水艇と同じ、広く立体的な視野があり、手軽な海中散歩が可能となり大人気を博している。

展望室内部、椅子の横に窓がある。
大型の 40mm 厚の亚克力窓とし、万一窓から浸水しても、両側の浮力タンクにより、60 cm 程度の沈下ですみ、航行が可能な安全設計となっている。

また、三浦半島の三崎で人気を博している同様のタイプ的水中観光船「にじいろさかな号」を図3.21に、そのコースを図3.22に示す。

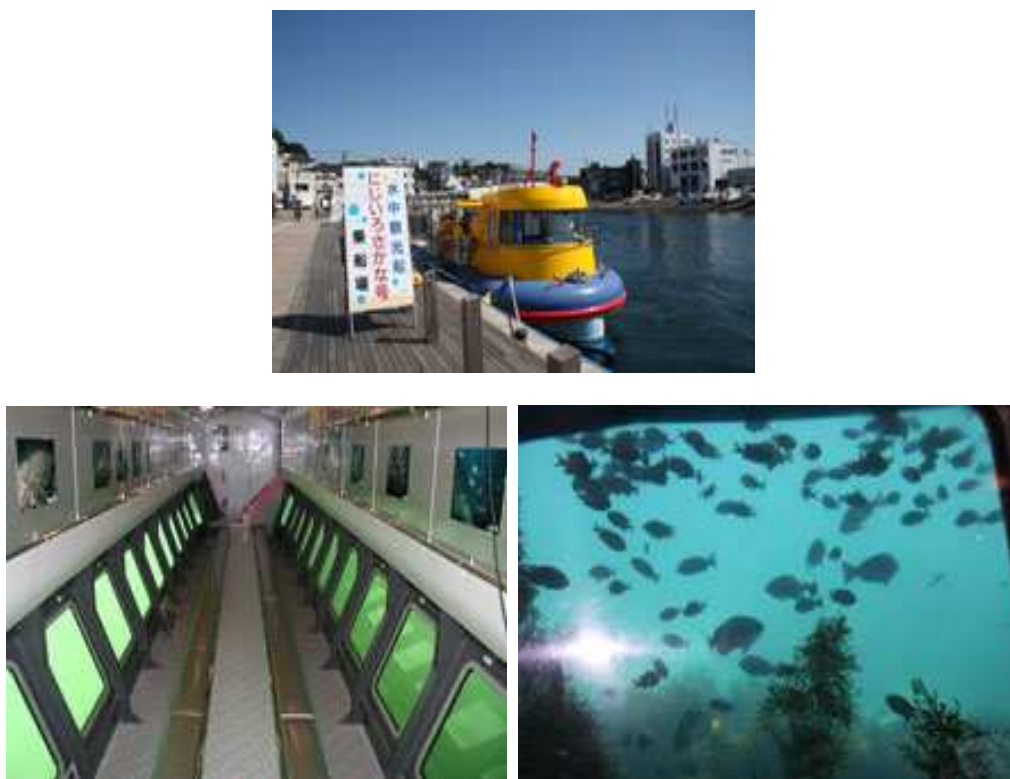


図3.21 水中観光船の外観／内部／海中の様子
(出典：(株)三浦海業公社 <http://www.umigyo.co.jp/>)



図3.22 水中観光船の運航コース
(出典：同前)

以下の図 3. 23 に水中展望船の主要目と図面を示す。

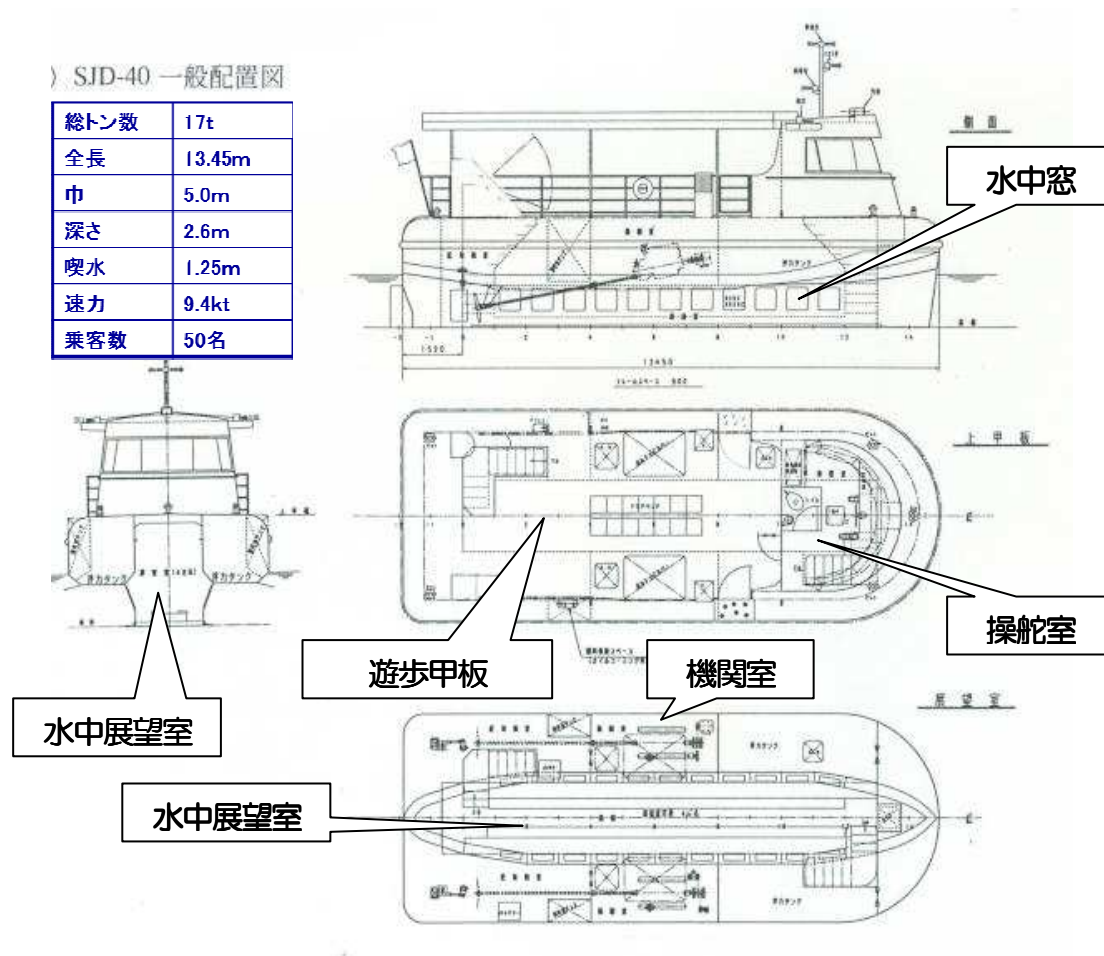


図 3. 23 水中展望船主要目 一般配置図

安全対策としては、海中に窓があるため、岩礁などに接触しても安全のように窓の外にはバンパーなどが設置されている。また、万一窓が破損し浸水しても両側の大型浮力タンクにより沈下量を少なくし、乗客は上甲板に退避可能とし、航行も可能となっている。万一水中窓から浸水しても、図 3. 24 に示すように両側の浮力タンクにより、沈下は 60 cm で乗客は顔が水上に出るため、浸水状態で航行も可能である。

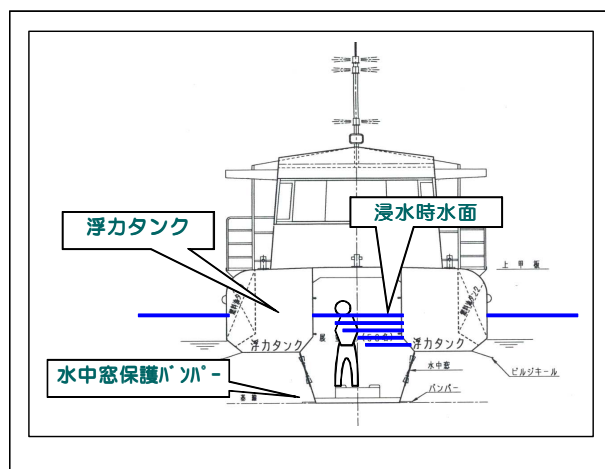


図 3. 24 水中展望船の安全対策